

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YEŞİLYURT (TRABZON) HEYELANI'NIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE GERİYE DÖNÜK ANALİZLERLE ŞEV DESTEK DİZAYNI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeo. Müh. Bilgehan KUL

**HAZİRAN 2012
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YEŞİLYURT (TRABZON) HEYELANI'NIN JEOTEKNİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE GERİYE DÖNÜK ANALİZLERLE
ŞEV DESTEK DİZAYNI

Jeoloji Mühendisi Bilgehan KUL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2012
Tezin Savunma Tarihi : 11.06.2012

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY

Trabzon 2012

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Bilgehan KUL tarafından hazırlanan**

**YEŞİLYURT (TRABZON) HEYELANI'NIN JEOTEKNİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE GERİYE DÖNÜK ANALİZLERLE
ŞEV DESTEK DİZAYNI**

**Başlıklı bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulunun 22 / 05 / 2012 gün ve 1457 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fikri BULUT

Üye : Doç. Dr. Hakan KARSLI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı yöneten, çalışmanın her safhasında desteğini, bilgisini, tecrübesini ve yardımını esirgemeyen çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasına bilgi, eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan Sayın Yrd. Doç. Arzu FIRAT ERSOY'a ve Uzman Dr. İrfan TEMİZEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında jeofizik yöntemlerdeki yardımları için Doç. Dr. Aysel Şeren, Araş. Gör. Ali Erden BABACAN ve Araş. Gör. Zeynep Öğretmen'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarının birçok aşamasında yardımcı dokunan Kaya Mühendislik Zemin-Beton Laboratuvar Hizmetleri çalışanlarından Jeoloji Yüksek Mühendisi Günay SÖNMEZ'e ve şirket sahibi Jeoloji Mühendisi Turan SİVRİKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmaları esnasında yardım eden Mesut İŞ'e ve bölümümüz teknik elemanı Makine Yüksek Mühendisi Erdoğan TİMURKAYNAK'a teşekkür ederim.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımları dokunan Araş. Gör. Mustafa SOFTA, Araş. Gör. Tuğba EROĞLU, Araş. Gör. İsmail YILDIRIM ve Araş. Gör. Samet SAKA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezin her aşamasında yardımını ve desteğini esirgemeyen Jeo. Müh. İrfan YAHŞI'ye teşekkür ederim.

Her evlat için ailesi çok kıymetlidir. Her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen kıymetli aileme "anneme, babama ve kardeşime" en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bilgehan KUL

Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yeşilyurt Heyelanının Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması ve Geriye Dönük Analizlerle Şev Destek Dizaynı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/05/2012

Bilgehan KUL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.3. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu.....	2
1.4. Morfoloji.....	2
1.5. Yerleşim ve Ulaşım.....	3
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü.....	3
1.7. Bölgesel Jeoloji.....	5
1.8. Önceki Çalışmalar.....	8
1.9. Kütle Hareketleri.....	11
1.9.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması.....	11
1.9.1.1. Düşmeler (Kopmalar).....	12
1.9.1.2. Devrilme.....	13
1.9.1.3. Akma.....	14
1.9.1.3.1. Yavaş Akma (Krip).....	15
1.9.1.3.2. Hızlı Akma.....	16
1.9.1.4. Yanal Yayılma.....	16
1.9.1.5. Kayma.....	17

1.9.1.5.1.	Dairesel (Dönel) Kaymalar.....	17
1.9.1.5.2.	Düzlemsel Kayma.....	19
1.9.1.5.3.	İki veya Çok Yüzeyle Kayma.....	19
1.9.1.6.	Karmaşık Hareketler.....	20
1.10.	Kütle Hareketine Neden Olan Faktörler.....	20
1.11.	Türkiye Heyelanları.....	22
1.12.	Doğu Karadeniz Heyelanları.....	23
1.13.	Yamaçların ve Şevlerin Stabilitesi.....	23
1.13.1.	Basit (Ordinary) Dilim Yöntemi (İsveç Dilim Yöntemi).....	24
1.13.2.	Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi.....	26
1.13.3.	Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi.....	31
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1.	Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar.....	34
2.1.1.	1/25000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması.....	34
2.1.2.	Mikroskopik Tayinler.....	34
2.2.	Jeofizik Yöntemler.....	35
2.2.1.	Sismik Kırılma Yöntemi.....	35
2.2.2.	Elektrik Özdirenç Yöntemi.....	38
2.2.3.	GPR Yöntemi.....	40
2.3.	Laboratuvar Çalışmaları.....	42
2.3.1.	Örnek Alımı.....	43
2.3.2.	Dane Boyu (Granülometri) Analizi Deneyi.....	43
2.3.2.1.	Elek Analizi.....	44
2.3.2.2.	Hidrometre Analizi.....	45
2.3.3.	Su İçeriği Deneyi.....	48
2.3.4.	Atterberg (Kıvam) Limitleri.....	49
2.3.4.1.	Likit Limit Deneyi.....	50
2.3.4.2.	Plastik Limit Deneyi.....	51
2.3.5.	Özgül Ağırlık Deneyi.....	52
2.3.6.	Boşluk Oranı, Porozite, Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Tayini.....	55
2.3.7.	Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyi.....	57
2.3.7.1.	Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU) Deneyi.....	60

2.3.7.2.	Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU) Deneyi.....	61
2.3.7.3.	Konsolidasyonlu-Drenajlı (CD) Deneyi.....	62
2.4.	Slide Programı.....	63
3.	BULGULAR.....	66
3.1.	Giriş.....	66
3.2.	İnceleme Alanının Genel Jeolojisi.....	66
3.2.1.	Kabaköy Formasyonu.....	67
3.2.2.	Beşirli Formasyonu.....	70
3.2.3.	Taraça ve Alüvyonlar.....	71
3.3.	Yapısal Jeoloji.....	71
3.4.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremelliği.....	72
3.5.	Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Jeoteknik Açısından İncelenmesi.....	73
3.5.1.	Mühendislik Jeolojisi Haritası.....	73
3.5.2.	Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri.....	77
3.5.2.1.	Zeminlerin İndeks Özellikleri.....	77
3.5.2.2.	Zeminlerin Plastik Özellikleri.....	83
3.5.2.3.	Zeminlerin Sınıflandırılması.....	88
3.5.2.4.	Zeminlerin Şişme Özellikleri.....	91
3.5.2.5.	Zeminlerin Dayanım Özellikleri.....	93
3.5.3.	Düşey Zemin Profilinin ve Kayma Yüzeyinin Tanımlanması.....	98
3.5.4.	Şev Stabilite Analizi.....	102
3.5.5.	Geri Analizler Yardımıyla Destek Basıncının Belirlenmesi.....	106
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	113
5.	KAYNAKLAR.....	117
6.	EKLER.....	126
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

YEŞİLYURT (TRABZON) HEYELANI'NIN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE GERİYE DÖNÜK ANALİZLERLE ŞEV DESTEK DİZAYNI

Bilgehan KUL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY
2012, 125 Sayfa, 6 Sayfa Ek

Bu çalışmada, Trabzon ili Yeşilyurt köyü ve çevresi heyelan potansiyeli açısından incelenmiştir. Çalışma arazi gözlemleri/ölçümleri ve laboratuvar testleri olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında elektrik-özdirenç, sismik kırılma ve yer radarı yöntemleri uygulanmış ve ana kaya derinliğinin yüzeyden itibaren 5-7 metre arasında değiştiği belirlenmiştir. Yaklaşık olarak 2-6 metreler arasındaki düşük özdirenç değerleri ise bu zonda suyun varlığını işaret etmektedir. Laboratuvar çalışmalarında, zeminin fiziksel ve dayanım parametreleri belirlenmiştir. Tane boyu analizi zemin örneklerinin %7-25 çakıl, %25-41 kum, %18-22 silt ve %30-35 kil boyutu malzemelerden oluştuğunu göstermektedir. İnce taneli malzeme örneklerinin özgül ağırlıklarının 2.71-2.77 arasında olduğu tespit edilmiştir. Likit limit %45 ile %56 arasında ve plastisite indisi %19.4 ile %27.1 arasında olduğu belirlenmiştir. Kohezyon 44-56 kPa arasında ve içsel sürtünme açısı değerleri 8-15° arasında kaydedilmiştir. Çalışmada, saha ve laboratuvar çalışmaları sonuçları kullanılarak stabilite analizleri iki boyutlu Slide 5.0 bilgisayar programı ile yapılmıştır, geriye dönük destek tasarım analizleri sonucunda alt kotta bulunan şevin duraylı hale gelmesi için 60 metrelik (ana kaya içerisine kadar) ve her biri 420 kN kapasiteli 5 adet ankraj, üst kotun duraylı hale gelebilmesi için ise 35 metrelik (ana kaya içerisine kadar) ve her biri 80 kN kapasiteli 6 adet ankraj önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Trabzon, Stabilite, Geri Analiz

Master Thesis

SUMMARY

GEOTECHNICAL INVESTIGATION ON YEŞİLYURT (TRABZON) LANDSLIDE
AND SLOPE SUPPORT DESIGN USING BY BACK ANALYSIS

Bilgehan KUL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geology Graduate Program
Supervisor: Assist. Doc. Dr. Hakan ERSOY
2012, 125 Pages, 6 Pages Appendix

In this study, Yeşilyurt village (Trabzon) was evaluated by considering to the landslide potential. The studies including determination of geotechnical properties of the soils were conducted in two stages: field observations/measurements and laboratory tests. With the seismic surveys, during the field surveys, were made electrical-resistivity method. During field studies, the electrical-resistivity, seismic refraction and ground penetrating radar methods were applied, and varied between 5-7 meters from the surface to the depth of the bedrock. Between the low resistivity values of approximately 2-6 meters, indicating the presence of water in this zone. In the laboratory studies, physical and strength parameters of the soils were determined. Grain size analysis show that the soil samples are composed of 7-25 % gravel, 25-41 % sand, 18-22 % silt and 30-35 % clay size materials. Specific gravity of the samples in the fine grained materials is determined about 2.71-2.71. Liquid limits are between 45.3 % and 56.6 %, and the plasticity index extended from 19.4 % to 27.1 %. The values of cohesion and friction angel were recorded as between 44 and 56 kPa, and 8-15 respectively. In the study, stability analysis were performed by using the results of the field and laboratory studies with two dimensional slide (X) computer program, as a result of a retrospective support-design analysis, 5 units (to bedrock) of 60meters in length, with a capacity of 420 kN anchors in order to make stable on the lower levels of the slope and 6 units (to bedrock) of 35 meters in length, with a capacity of 80 kN anchors in order to make stable on the upper levels of the slope is proposed.

Key Words: Landslide, Trabzon, Stability, Back Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Çalışma alanına ait yer bulduru haritası..... 2
Şekil 1.2.	Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı..... 4
Şekil 1.3.	Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı..... 4
Şekil 1.4.	Doğu Karadeniz Bölümü'nün jeoloji haritası (Güven, 1993'den değiştirilerek)..... 7
Şekil 1.5.	Kaya kütlelerinde düşmeye neden olan süreçler (Ulusay, 2001)..... 13
Şekil 1.6.	Doğada gözlenen devrilme türleri ve kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Goodman ve Bray, 1976; Ulusay, 2001)..... 14
Şekil 1.7.	Yanal kaya yayılması (a) ve yanal zemin yayılması (b)..... 16
Şekil 1.8.	Dairesel kayma (Ulusay, 2001)..... 17
Şekil 1.9.	İleri derecede eklemli kaya kütlelerinde (a) ve ayrılmış kayaçlarda (b) dairesel kayma (Ulusay, 2001)..... 18
Şekil 1.10.	Tipik bir heyelan kesiti ve çeşitli kısımlarına verilen isimler (Ulusay, 2001)..... 18
Şekil 1.11.	Düzlemsel kayma (a), kama tipi kayma (b) ve farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (c) (Ulusay, 2001)..... 20
Şekil 1.12.	Dilim Yöntemi dilimlere ayrılmış kayma kaması (a) ve i dilimine etkileyen kuvvetler (b) (Cernica, 1995)..... 26
Şekil 1.13.	M_{α} değerleri grafiği (Lambe ve Whitman, 1979)..... 27
Şekil 1.14.	m_{α} değerleri grafiği (Budhu, 2000)..... 28
Şekil 1.15.	Çekme çatlağının kayma yüzeyine etkisi (Budhu, 2000)..... 29
Şekil 1.16.	Sadeleştirilmiş Bishop yönteminin uygulanması (Budhu, 2000)..... 30
Şekil 1.17.	Genel şekilli (dairesele olmayan) kayma yüzeyi (a) ve dilime etkileyen kuvvetler (b) (Budhu, 2000)..... 32
Şekil 1.18.	Genel şekilli kayma boyutları (d , L) (a) ve düzeltme sayısı (f_{ϕ}) grafiği (b) (Hunt, 1986)..... 33
Şekil 2.1.	İki tabakalı bir ortamda zaman - uzaklık eğrisi (URL-1,2002) (a) ve iki tabakalı bir ortamda dalga yörüngesi eğrisi (URL-1,2002) (b)..... 36
Şekil 2.2.	Arazide özdirenç ölçüm şekli (Robert, 2000)..... 39
Şekil 2.3.	Profil dizilim gösterimi..... 40

Şekil 2.4.	Yer radarının şematik gösterimi (Smemoe, 2000).....	41
Şekil 2.5.	Zeminden örnek alımı.....	43
Şekil 2.6.	Elek Seti (ASTM 1993'e göre)	44
Şekil 2.7.	Hidrometre deney aleti.....	45
Şekil 2.8.	Casagrande deney aleti.....	50
Şekil 2.9.	Plastik limit deneyinde elde edilen 3mm çapındaki silindirik parçalar.....	52
Şekil 2.10.	Piknometre deney düzeneği.....	54
Şekil 2.11.	Hücre kesme deneyinde Mohr daireleri ve Mohr zarfı (a), örnek gerilmeler (b) (Cernica, 1995).....	58
Şekil 2.12.	Üç eksenli hücre kesme deneyinde tipik şekil değiştirme ve kırılma (Lambe ve Whitman, 1979).....	59
Şekil 2.13.	<i>UU</i> deneyde gerilmeler (a), gerilme izi (b) ve Mohr daireleri (c) (Budhu, 2000).....	61
Şekil 2.14.	<i>CU</i> deneyde konsolidasyon aşamasında gerilmeler (a), kesme aşamasında gerilmeler (b), toplam ve efektif gerilme izleri (c) (Budhu, 2000).....	62
Şekil 2.15.	<i>CD</i> deneyde konsolidasyon aşamasında gerilmeler(a), kesme aşamasında gerilmeler(b), efektif ve toplam gerilme izi (c) (Budhu, 2000).....	63
Şekil 2.16.	Slide programından bir görüntü (URL-3).....	64
Şekil 3.1.	Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (Baykan, 2011'den değiştirilerek).....	66
Şekil 3.2.	Kabaköy formasyonuna ait bazaltların ince kesitlerdeki görünümü (a ve c: Ç.N, b ve d: T.N; Op: opak mineral, Plj: plajiyoklas, Kp: klinopiroksen).....	68
Şekil 3.3.	Kabaköy formasyonuna ait traki bazaltların ince kesitlerdeki görünümü (a ve c: Ç.N, b ve d: T.N; Op: opak mineral, Plj: plajiyoklas, Kp: klinopiroksen).....	69
Şekil 3.4.	Kabaköy formasyonuna ait dasitlerin ince kesitlerdeki görünümü (a ve c: Ç.N, b ve d: T.N; Plj: plajiyoklas.....	70
Şekil 3.5.	Çalışma alanının, T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından 1996 yılında hazırlanan 1/1000000 ölçekli Türkiye Deprem Bölgesi Haritası'ndaki konumu.....	72
Şekil 3.6.	Çalışma alanında yapılan jeofizik yöntemler (mavi renk hat yer radarı ölçü profilini, yeşil renk hat sismik kırılma ölçü profilini ve kırmızı renk hat elektrik öz direnç ölçü profilini göstermektedir).....	73

Şekil 3.7.	Çalışma alanına ait 3 boyutlu arazi modeli (kırmızı poligonlar yığma binaları göstermektedir).....	75
Şekil 3.8.	Çalışma alanına ait 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası.....	76
Şekil 3.9.	Örnek-1'e ait yıkamalı elek analizi deney sonuçları.....	78
Şekil 3.10.	Örnek-2'e ait yıkamalı elek analizi deney sonuçları.....	79
Şekil 3.11.	Örnek-3'e ait yıkamalı elek analizi deney sonuçları.....	80
Şekil 3.12.	Örnek-1 (a), 2 (b) ve 3'e (c) ait hidrometre deneyinden elde edilen veriler yardımıyla çizilen granülometri eğrileri.....	81
Şekil 3.13.	Çalışma konusu zeminlere ait dane dağılım eğrileri.....	82
Şekil 3.14.	Zeminlerin rötre limitlerinin belirlenmesi.....	83
Şekil 3.15.	Örnek 1'e ait likit limit ve plastik limit deney sonuçları.....	84
Şekil 3.16.	Örnek 2'e ait likit limit ve plastik limit deney sonuçları.....	85
Şekil 3.17.	Örnek 3'e ait likit limit ve plastik limit deney sonuçları.....	86
Şekil 3.18.	Üçgen sınıflandırma sistemine göre zemin cinslerinin belirlenmesi.....	88
Şekil 3.19.	Casagrande kartında çalışma konusu zeminlerin gösterimi.....	89
Şekil 3.20.	XRD'ye göre kil cins tayini a:1. örnek, b:2. örnek, c: 3 örnek.....	90
Şekil 3.21	Şişme potansiyeli için sınıflama grafiği (Van Der Merwe, 1964).....	93
Şekil 3.22.	Doğal su içeriği, LL ve serbest şişme yüzdesi ilişkisi (Das, 1999).....	94
Şekil 3.23	Örnek 1'e ait üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	95
Şekil 3.24.	Örnek 2'e ait üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	96
Şekil 3.25	Örnek 3'e ait üç eksenli basınç deneyi sonuçları.....	97
Şekil 3.26.	Sismik yansıma ölçümleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak çizilen düşey zemin profili (a: Sp1-Sp1' ve b: Sp2-Sp2' profilleri).....	99
Şekil 3.27	Altındaki bazik volkaniklerin ayrışması sonucu oluşmuş yaklaşık 4 metre kalınlığındaki regolitik toprak profili (Kalkınma Mahallesi) (Baykan, 2011).....	100
Şekil 3.28.	Elektrik-özdirenç ölçümleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak çizilen düşey zemin profili (a: Ep1-Ep1' ve b: Ep2-Ep2' profilleri).....	101
Şekil 3.29	Çalışma alanı üst bölge (a) ve alt bölge (b) için yer radarı sonuçları.....	102
Şekil 3.30.	Çalışma konusu şevin Slide 5.0 programındaki görünümü.....	104

Şekil 3.31.	Heyelan sonucu yığma binada gözlenen çatlaklar (a) ve ağaç gövdesinin yataydan sapması (b). Heyelanlı sahada yapılan sismik (c), elektrik-özdirenç (d) ve yer radarı çalışmaları (e) Heyelan bölgesinde hasar gören bir yapı (f).....	105
Şekil 3.32.	Heyelanlı bölgede stabilite analizleri uygulanan iki farklı bölge.....	107
Şekil 3.33.	Heyelan alanında Janbu yöntemi kullanılarak alt bölge (a) ve üst bölge (b) için yapılan şev stabilite analizleri şevlerin stabilitesi için gerekli yatay kuvvet hesabı.....	108
Şekil 3.34.	Geri analizler yardımıyla alt şevin duraylı olması için gerekli olan ankraj kapasiteleri ve miktarlarının hesaplanması.....	109
Şekil 3.35.	Geri analizler yardımıyla üst şevin duraylı olması için gerekli olan ankraj kapasiteleri ve miktarlarının hesaplanması.....	110
Şekil 3.36.	Farklı iki şevde ankrajların olması durumunda yapılan stabilite analizleri ve elde edilen güvenlik sayısı değerleri.....	111
Şekil 3.37.	Şevin duraylı hale gelebilmesi için geri analizler ile belirlenen ankraj sistemleri.....	112

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Trabzon iline ait meteorolojik veriler (DMİGM, 2011 yılına ait).	4
Tablo 1.2 Varnes kütle hareketleri sınıflandırma sistemi (Varnes, 1978).	12
Tablo 3.1. Zemin örneklerinin indeks özellikleri	77
Tablo 3.2 Farklı örneklerle ait dane dağılımları	82
Tablo 3.3. Çalışma konusu zeminlerin plastik özellikleri.....	87
Tablo 3.4. İnce taneli zeminlerin kıvamlilik indisine göre sınıflandırılması (Ulusay, 2001).....	87
Tablo 3.5. İnce taneli zeminlerin likitlik indisine göre sınıflandırılması (Ulusay, 2001).....	87
Tablo 3.6. Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması (Ulusay, 2001).....	87
Tablo 3.7. IAEG (1976)'nin likit limit değerlerine göre yaptığı zemin sınıflaması .	91
Tablo 3.8. Burmister (1951) plastisite sınıflaması	91
Tablo 3.9. Zeminlerin şişme potansiyeline bağlı olarak sınıflandırılması	92
Tablo 3.10. Çalışma konusu zeminlerin kayma dayanımı parametreleri.....	94
Tablo 3.11. Sismik kırılma yöntemi ile elde edilen veriler.....	98

SEMBOLLER DİZİNİ

A_j	: Mezürün kesit alanı (cm^2) (27.17 cm^2)
A_T	: Silindirik tüpün alanı (cm^2)
c	: Kohezyon
D	: Dane boyu (mm)
d	: Hidrometre düzeltme değeri
D_T	: Silindirik tüpün çapı (cm)
e	: Boşluk oranı
E_m	: Elastisite modülü (MPa)
G	: Kesme modülü (MPa)
G_s	: Numunenin özgül ağırlığı
H_T	: Silindirik tüpün yüksekliği (cm)
H_V	: Hidrometre hacmi (cm^3) (67 cm^3)
I	: Akım
I_c	: Kıvamlılık indisi
k	: Bulk modülü (MPa)
LI	: Likitlik indisi
LL	: Likit limit
L_0	: Örneğin başlangıç boyu (yüksekliği)
N	: D dane çapından küçük tanelerin yüzdesi (%)
n	: Porozite
PI	: Plastisite indisi
ρ	: Yoğunluk (gr/cm^3)
PL	: Plastik limit
P_z	: Piston yükü (deviatör yük)
p_a	: Görünür özdirenç
r_0	: Örneğin başlangıç yarıçapı
r_1, r_2, r_3, r_4	: Elektrotlar
r	: Süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması
ra	: Deney sırasında süspansiyondaki hidrometre okuması

RL	: Rötire limit
r_s	: Sudaki hidrometre okumasıdır (süspansiyon ile aynı sıcaklıkta)
Qal	: Alüvyon
S_r	: Doygunluk derecesi
t	: Kesme direnci
V	: Potansiyel farkı
V_{sp}	: Süspansiyonun hacmi (cm^3)
V_0	: Örneğin başlangıç hacmi
V_p	: Boyuna dalga hızı (m/sn)
V_T	: Silindirik tüpün (numunenin) hacmi (cm^3)
ν	: Poisson oranı
\emptyset	: İçsel sürtünme (kayma direnci açısı)
μ	: Dene sıcaklığındaki suyun viskozitesi
γ_w	: Dene sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)
t	: Toplam geçen zaman (dk)
$\gamma_{w(Tx)}$: Tx sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)
$\gamma_{w(Ta)}$: Ta sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığıdır (gr/cm^3)
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
γ_s	: Tane birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık (kN/m^3)
W_n	: Su muhtevası (içeriği) (%)
W_y	: Yaş numune ağırlığı (gr)
W_k	: Kuru numune ağırlığı (gr)
$W_{pw(Tx)}$: Düzeltilmiş piknometre+su ağırlığı (gr)
$W_{pw(Ta)}$: Gözlemlenen piknometre+ su ağırlığı (gr)
W_p	: Piknometre ağırlığı (gr)
V_1	: Birinci tabakanın hızı
V_2	: İkinci tabakanın hızı
Δz	: Örnek boyundaki değişme
Δr	: Örnek yarıçapındaki değişim

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Jeolojik yapısı, morfolojik ve iklimsel özellikleri nedeniyle ülkemiz, afete dönüşebilen doğal kökenli olayların sıkça gözleendiği bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Ülkemizin en fazla yağış alan bölgesi olan Doğu Karadeniz Bölümü'nde ise heyelan, kaya düşmesi ve taşkınlar nedeniyle çok sayıda afet olayı meydana gelmekte ve bu afetler çok sayıda can kaybına ve büyük ekonomik zararlara yol açmaktadır.

Doğu Karadeniz bölümündeki heyelanlar, özellikle Trabzon ve Rize illerinde yoğun olarak görülmektedir. Trabzon, 2010 yılı itibariyle 1137 olay ile en fazla heyelan olayına maruz kalan ilimizdir. Meydana gelen veya gelmesi muhtemel heyelan olaylarına karşılık nakline karar verilen konut sayıları incelendiğinde Trabzon'un en fazla etkilenen illerin başında geldiği görülmektedir. Bu verilerden yola çıkarak, bölgede heyelan araştırmalarının yapılarak, meydana gelebilecek can ve mal kayıplarına engel olmak büyük önem arz etmektedir. Çalışma alanının bu yöre olarak seçilmesinde meydana gelen bu kütle hareketleri ve yapılan bu araştırmalar etkili olmuştur. Bu kapsamda bölgesel çalışmalardan ziyade yerel çalışmaların (küçük ölçekli, <1/5000'lik haritalar) yapılması zorunluluğu artmıştır.

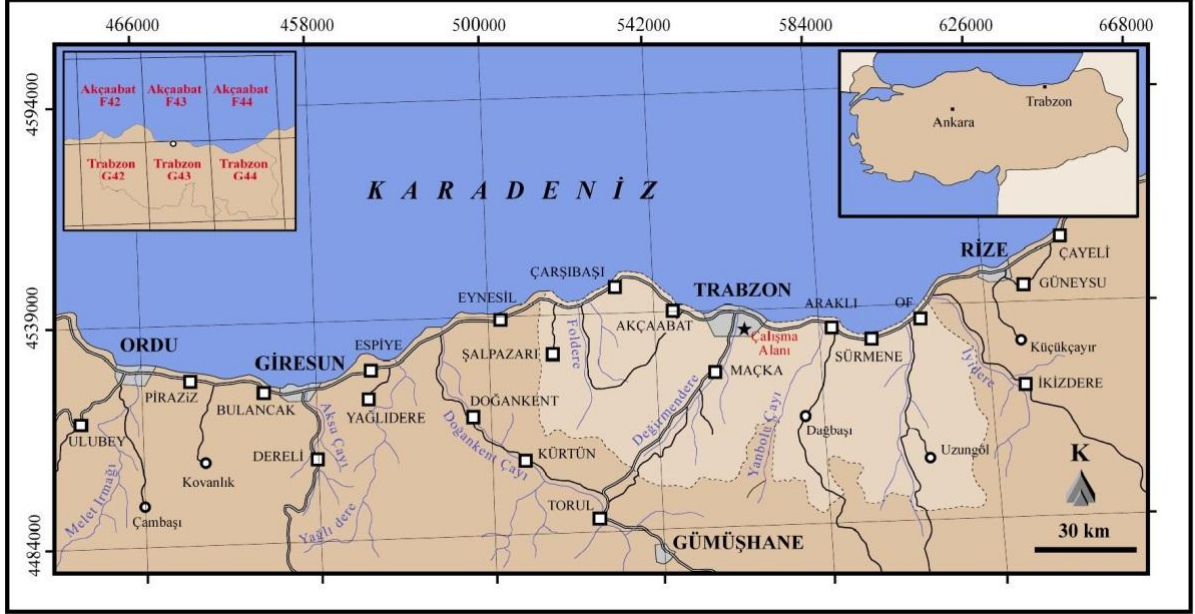
Geri analiz kaymış ve kaymakta olan şevlerin analitik modelini geliştirmek için gerekli bir yöntemdir. Çünkü şevler için şu andaki durum kadar gelecekteki mukavemeti de önem taşımaktadır. Geri analiz sırasında, arazi ve laboratuvar araştırmalarından elde edilen bileşen; kayma yüzeyi, dış yüklerin etkisi, kayan kütleinin birim hacim ağırlığı ve mukavemet değerleri göz önüne alınmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada Trabzon ili merkez ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve il merkezinin 10 km güneydoğusunda bulunan Yeşilyurt köyü sınırları içerisindeki yaklaşık 10000 m²'lik alanın heyelan potansiyeli araştırılmış, bu kapsamda jeolojik, jeoteknik ve jeofizik çalışmaları yapılmış elde edilen veriler yardımıyla geriye dönük analizler yapılarak kütle hareketinin önlenmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

Çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Trabzon ilinin Yeşilyurt (Trabzon) köyünde yer alır ve 1/25.000 ölçekli Trabzon G43-b1 paftası içerisinde yaklaşık 30 km²'lik bir alanı kapsar (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer buldurular haritası

1.4. Morfoloji

Çalışma alanı oldukça engebeli bir morfolojiye sahip olup Karadeniz Bölgesi'nin morfolojik özelliklerini yansıtmaktadır. Morfolojik yapılar, vadiler ve bu vadilerin sınırladığı tepelerin oluşturduğu yükseltilerdir. Doğu-batı doğrultusunda Yeşilyurt Deresi'nin bir kolu inceleme alanını ikiye ayırmakta ve derin bir vadi oluşturmaktadır. Yeşilyurt Deresi'nin kolu taban olmak üzere, yükseklikler 360 m kotundan başlayarak yaklaşık 500 m kota kadar değişmekte, eğim ise vadi yamaçlarında 10°-30° arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki tepeler; Yeşil Tepe (560.1 m.), Kargadağı Tepesi (712 m.) ve Esen Tepe (639 m.) en belirgin yükseltilerdir.

İnceleme alanının çevresinde yoğun yapılaşma mevcut olmayıp, yapılan araştırmalarda yapı temellerine zarar verecek yeraltı suyu gözlenmiştir.

Bölgede Karadeniz Bölgesi'nin genel nemli iklimi hüküm sürmektedir. Her mevsim yağış alan bölgede, yazlar serin, kışlar ise ılık geçer. Sıcaklık denizin denetimindedir. Bu nedenle sıcaklık farkları azdır. Her mevsim yağış alan bölgede yağışların büyük bir bölümü, sonbahar ve kış aylarında görülür.

1.5. Yerleşim ve Ulaşım

Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki şehir merkezlerinin çoğu kıyı şeridinde yer almaktadır ve kırsal yerleşmeler büyük alanlara dağılmıştır. Bölgede 477 adet köy bulunmaktadır. Yaklaşık 763.984 olan kırsal nüfus, köy sayısına bölünerek, ortalama köy nüfusu 550 olarak tespit edilmiştir. Bu dağınık yerleşim yapısı, sosyal hizmetlerin ulaştırılmasının pahalı olmasına ve yetersiz kalmasına neden olmaktadır.

Trabzon İli'de, bölgenin tipik yerleşim ve ulaşım yapısını yansıtmaktadır. İlde ulaşım hattı doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusunda uzanan devlet karayollarıdır. Kuzey-güney istikametinde geçiş kapasitesi ise sınırlıdır. Birçok dar dağ yolu ana sahil yolundan güneye doğru uzanmaktadır. Bu yollar köyleri sahildeki şehir ve ilçelere bağlamaktadır. Bu durum, doğu-batı yönündeki yüksek dağ sıralarının şekillendirdiği sert topografyanın bir sonucudur.

Yeşilyurt köyü, Trabzon ilinin güneydoğusunda bulunup, il merkezinden yaklaşık 16 km. ve sahil yolundan 12 km uzaklıkta dağlık arazide kurulmuş bir yerleşim birimidir. Köyde ulaşım, su, elektrik sorunu yoktur. Genel olarak engebeli olan köy arazisinde ulaşım, köy otobüsleriyle sağlanmaktadır. Köyde üç mahalle bulunur. Bunlar Dere Mahallesi, Orta Mahalle ve Sırt Mahalleleri'dir.

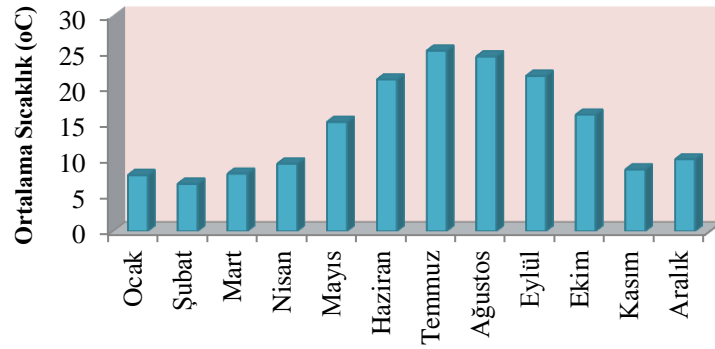
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

Doğu Karadeniz Bölümü kıyı şeridinde, yazlar sıcak, kışlar ılık ve her mevsim yağışlı bir iklim hakimdir. Aylık ortalama sıcaklık kıyı bölgesindeki illerde hemen hemen aynıdır. Yıllık ortalama sıcaklık 13.7 °C ile 14.5 °C arasında değişmektedir (DMİGM, 2011). Yıllık yağış miktarı ise bölge içinde farklılıklar göstermektedir. Batıda yıllık yağış yaklaşık 1000 mm iken, doğuda bu değer 2000 mm'nin üzerindedir.

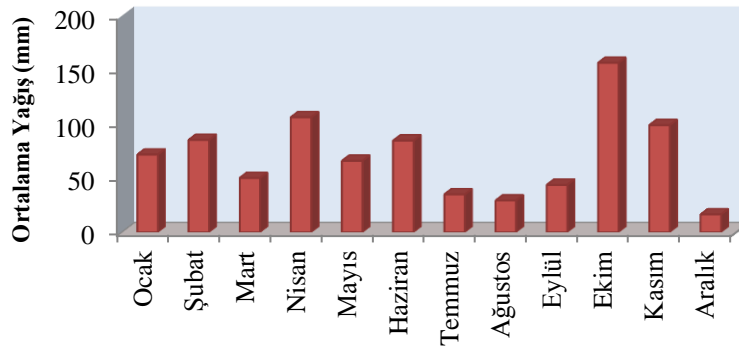
Bölgede, kıyı kesimlerdeki nem oranı iç kesimlere göre fazladır ve iç kesimlerin aksine yazın yüksek kışın düşüktür. Trabzon İli ise 14.5 °C derecelik ortalama sıcaklık, 843.3 mm'lik yıllık ortalama yağış ve % 64.76 oranındaki nem değeriyle Doğu Karadeniz kıyı illerinin en sıcak, en az yağış alan ve en düşük nem yüzdesine sahip ilidir (Tablo 1.1, Şekil 1.2 ve 1.3).

Tablo 1.1. Trabzon iline ait meteorolojik veriler (DMİGM, 2011 yılına ait).

AYLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.8	6.6	8.0	9.4	15.2	21.1	25.1	24.3	21.6	16.2	8.6	10.0	14.5 (ort.)
Ortalama Yağış (mm)	71.7	85.2	50.1	106.2	65.9	84.6	34.9	29.2	43.7	156.5	98.9	16.4	843.3
Ortalama Buharlaşma (mm)	1.2	1.5	1.6	1.8	2.2	3.4	4.0	3.2	3.3	2.0	1.5	1.5	27.2 (ort)
Ort. Bağıl Nem (%)	66.4	69,3	69.9	80.5	81.6	75.7	76.7	73.7	70.2	71.1	64.2	59.4	64.76 (ort.)
Hakim Rüzgar Yönü	G	G	G			G	G	G	G	G	G	G	G
	GB	GB	GB	KD	KD	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB



Şekil 1.2. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı



Şekil 1.3. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı

1.7. Bölgesel Jeoloji

Bölgede, genellikle Liyas'tan Eosen'e kadar belli zaman aralıklarında gelişimini sürdüren magmatik faaliyetlerin ürünleri olan magmatik kayalar ve magmatik faaliyetlerin durduğu dönemlerde çökelen tortul istifler yaygındır (Şekil 1.4). Bölgede, Doğu Pontidler Kuzey ve Güney Zon olmak üzere farklı litostratigrafik özellikler taşıyan iki ayrı zona ayrılmıştır (Ketin, 1966, Özsayar, 1981 ve Bektaş, 1995).

Bölgesel olarak, Paleozoyik, metamorfik kayalarla temsil edilmektedir ve bunlar temel kayaları oluşturmaktadır. Birim genellikle, gnays, mikaşist, kuvars-klorit şist ve metabazaltlardan oluşmaktadır (Ketin, 1951). Liyas yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısal uyumsuzlukla üstlenen temel kayaların yaşı, bölgesel metamorfizmanın yaşı ve stratigrafik konumu göz önünde bulundurularak Paleozoyik olarak kabul edilmiştir. Birim, Paleozoyik yaşlı granitler tarafından kesilmiştir (Yılmaz, 1972).

Çalışma alanı ve çevresinde Mesozoyik, Liyas, Geç Jura-Erken Kretase ve Geç Kretase yaşlı birimler yüzeyleme vermektedir. Liyas'ın volkanik, Üst Jura-Alt Kretase'nin platform karbonatlarıyla temsil edildiği bölgede Üst Kretase dönemi farklı ortam koşullarında gelişmiş birimler ile karakteristiktir. Magmatik aktivitelerin yoğun olduğu Kuzey Zon'da kalın volkanik ve volkano-tortul istifler gelişirken, Güney Zon'da karbonatlı kayalar ve fliş karakterli tortul seriler çökelmiştir.

Mesozoyik'in en alt seviyesinde her iki zonda da yüzeylenen volkano-tortul seri (Ağar, 1977) genellikle, bazalt, andezit, dasit ve bunların proklastitlerinden oluşmuştur ve birimin kalınlığı 500 metrenin üzerindedir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenen birimin yaşı, stratigrafik konuma, bölgesel korelasyon sonuçlarına ve fosil bulgulara dayandırılarak Liyas olarak kabul edilmiştir (Ketin, 1951; Baykal, 1952; Ağar, 1977).

Bölgede, volkanik birimler arasında yer alan platform karbonatlarının kalınlığı 100-200 metre arasında değişmektedir ve bu seri her iki zonda da yüzeylenmektedir. Birim Kuzey Zon'da daha masif yapıları killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir.

Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda Geç Kretase yaşlı flişlere geçiş yapan kireçtaşları, Kuzey Zon'da yine Geç Kretase yaşlı volkano-tortul bir istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin yaşı, bölgesel korelasyona ve paleontolojik

bulgulara dayandırılarak Üst Jura-Senomaniyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993; Güven, 1998).

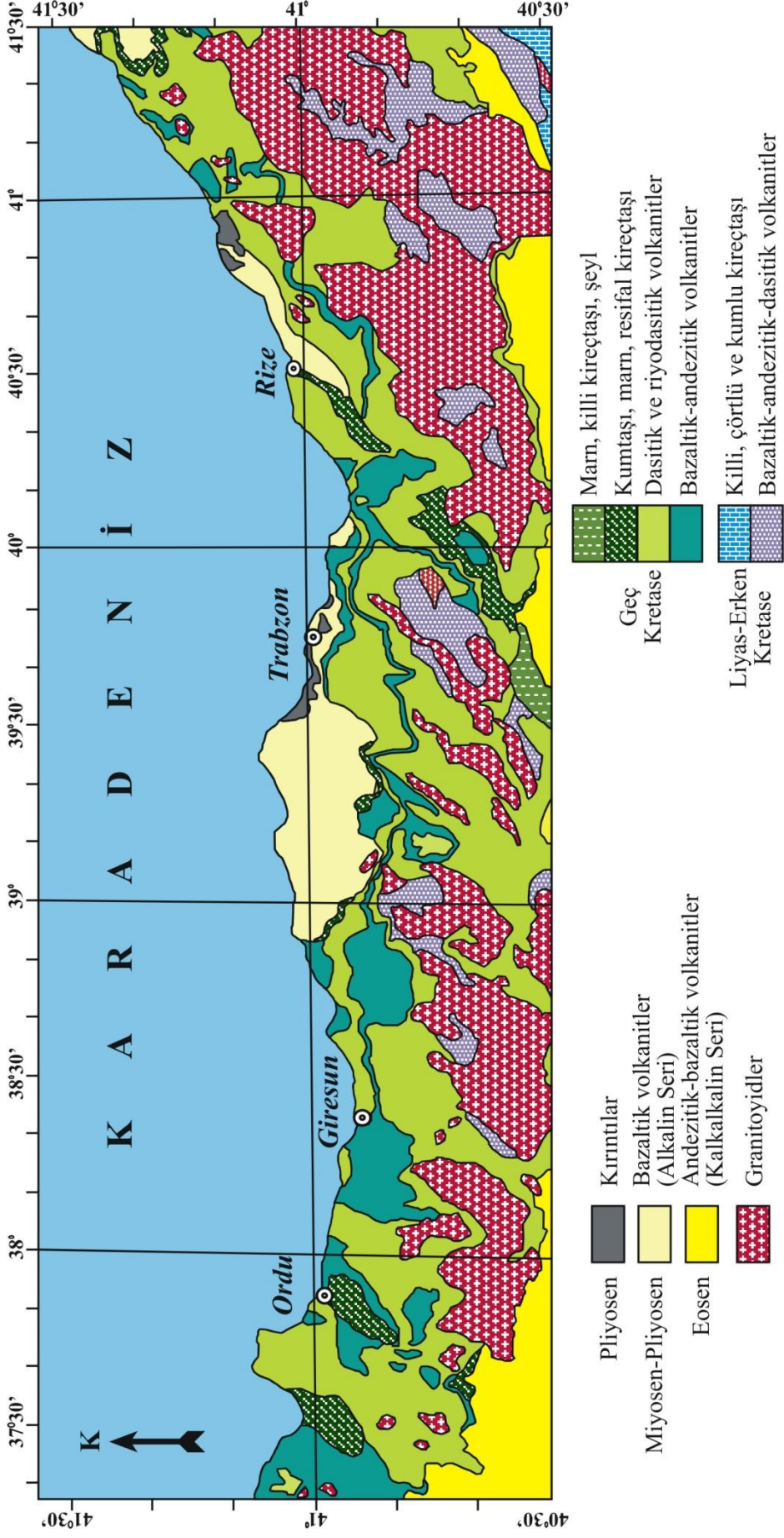
Doğu Pontidler'in Güney Zonu içinde yüzeyleyen flişler kuzey Zon'daki 5 formasyonun yanal karşılığı olarak kabul edilmektedir ve bu birimin kalınlığı 600-800 metre arasında değişmektedir. Üst Kretase boyunca Doğu Pontidler'de gelişen volkanik aktivitenin etkisi dışında kalan ve derin deniz ortamında çökelmiş olan birim, Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.

Üst Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu kalın bir volkanik istif gelişmiştir. Bu istifin ilk evreleri bazik ve asidik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bazik karakterli genellikle kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı arakatkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan yaklaşık 900 metre kalınlığındaki serinin yaşı fosil tanımlamalarına göre Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen olarak kabul edilmiştir.

Asidik karakterli riyodasit, dasit ve piroklastitlerden oluşan birim ise yer yer tuf, aglomera ve breş arakatkıları içermektedir. Yaklaşık 150-200 metre kalınlığında olan birim, Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen yaşlı birincil evre bazik nitelikli seri üzerine uyumlu olarak geldiği için, Santoniyen yaşlı kabul edilmiştir. İkinci evreli bazik ve asidik volkanik kayalar bu birimlerden sonra oluşmuştur.

Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli kireçtaşı ara katkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan ikincil evreli bazik kayalar yaklaşık 800 metre kalınlığındadır. Kırmızı renkli kireçtaşları içinde bulunan fosillerden yararlanarak birimin yaşı, Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993; Güven, 1998). Bazik karakterli volkano-tortul seri üzerine uyumlu olarak gelen ikincil evreli asidik kayalar, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşmaktadır.

100-200 metre kalınlığında olan birimin yaşı, stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir. Bunları uyumlu olarak üzerleyen seri ise tortul kayalardan oluşmaktadır (Güven, 1993). Bu birim genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kalınlığı 200-250 metre arasında olan birimin yaşı, fosil bulgularından yararlanılarak, Maastrichtiyen-Erken Paleosen olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanında sadece Kuzey Zon'da yüzeyleyen resifal kireçtaşları (Güven, 1993) 150-200 metre kalınlığındadır ve Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı birimler ile yanal geçişlidir ve Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.



Şekil 1.4. Doğu Karadeniz Bölümü'nün jeolojisi haritası (Güven, 1993'den değiştirilerek)

Doğu Karadeniz Bölümü'nün doğu kesimlerinde yer alan Kaçkar Dağları, Doğu Pontid Kuzey Zonu içerisindeki granitoidlerin en fazla yüzeylendiği bölgedir. Bu bölgede, genellikle Eosen yaşlı birimlerin içine sokulan intrüzif kayalar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoidleri olarak tanımlanmıştır.

Üst Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve büyük ölçüde Paleosen sonunda yerleşimini tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı birimler arasında bir aşınma düzlemi bulunmaktadır. Eosen döneminde yenilenen granitoid intrüzyonları ise Eosen yaşlı kayalarda kontakt etkiler yapmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinde Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve açısız uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların proklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir.

Yaklaşık 700 metre kalınlığındaki birim, kumlu ve killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içeren ve Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenmektedir (Güven, 1993). Tüm bu birimlerin üzerine Kuvaterner yaşlı taraçalar ve alüvyonlar gelmektedir.

1.8. Önceki Çalışmalar

Tarhan (1991), "Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış" isimli çalışmasında; değişik orijinli kayalarda meydana gelen farklı türdeki 100'e yakın kütle hareketini jeolojik ve jeotektonik açıdan incelemiş ve bu hareketlerin nedenlerini ortaya koymaya çalışmıştır. Yaptığı çalışmalar neticesinde, kütle hareketlerinin meydana gelmesinde, bölgenin morfolojisi, jeolojisi, iklim karakteristikleri ve bunlara ilaveten kayaların ayrışması, değişik amaçlı kazılar, bitki örtüsünün tahribi ve yapay sarsıntıların etkili olduğunu belirtmiştir.

Bulut vd. (1993), "İsopleth Haritaları Yardımıyla Heyelan Açısından Tehlikeli Alanların Belirlenmesi-Fındıklı (Rize) Yöresi Örneği" isimli çalışmalarında; öncelikle isopleth haritalarının tanımlamasını yapmış ve bu haritaların nasıl hazırlanabileceğini anlatmışlardır. Özellikle yerleşimin yoğun olduğu bölgelerle kıyaslandığında, heyelan riskinin daha düşük olduğu kırsal bölgelerde, heyelan tehlikesi değerlendirmeleri için uygulanabilecek bir yöntem olduğunu ve bu haritalardan hangi koşullarda

yararlanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, yöntemin uygulanmasına yönelik araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda, Fındıklı yöresi için hazırladıkları isopleth haritası yardımıyla yörede heyelan açısından ihmal edilebilir (tehlikesiz), düşük orta derecede tehlikeli olmak üzere 3 zon ayırtlamışlardır.

Genç (1993), Çatak (Maçka) heyelanının yapısal ve jeomorfolojik görünümünü incelemiş; eklem sistemlerinin, faylanmanın, yaygın ayrışmanın, bitki örtüsünün, akarsuyun yamaç topuğunu oymasının, aşırı yağışların ve mühendislik amaçlı açılan şevlerin bu heyelana neden olduğunu belirlemiştir.

Yılmaz (1995), “Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları” isimli çalışmasında; bölgede heyelanları etkileyen faktörlerin başlıcalarını, morfolojik durum, yağışlar, kazılar ve akarsu oymaları, kayaçların ayrışmaları, bitki örtüsünün tahrip edilmesi ve değiştirilmesi, zemin özellikleri ve diğer nedenler (kaynaklar, atık sular, yükleme vb.) olarak belirlemiştir. Ayrıca aktif veya potansiyel heyelanların önlenmesi için yapılacak ilk işin, bu alanlarda morfoloji göz önüne alınarak yüzey ve yer altı suyu drenajı olduğunu açıklamış ve gerekli olan diğer önlemleri sıralamışlardır.

Bulut vd. (1995), “Fındıklı (Rize) İlçesi Doğu Yöresindeki Heyelanların Nedenleri” isimli çalışmalarında; yöredeki heyelanların oluşumunda etkili oldukları düşünülen morfoloji, iklim, bitki örtüsü, ayrışma ve kayaçların jeoteknik özellikleri gibi faktörlerin heyelanlarla ilişkisini ortaya koymuşlardır. Yapılan detaylı çalışmalar neticesinde, heyelanların oluşmasında yağışın birinci derecede etkili olduğu sonucunda varılmıştır. Oluşan heyelanların % 85’inin ayrışmış kayaçlar içerisinde meydana gelmesi, ayrışmanın heyelan oluşumunda ne derece etkili olduğunu göstermektedir. Tamamen ayrışmış kayaçlardaki kil içeriğinin artmasının heyelan sayısında artışa neden olduğu belirtilmiştir. Heyelanların çoğu eğimi 10^0 - 25^0 arasında değişen yamaçlarda olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca heyelanların %77’sinin yerleşim merkezi ve çay tarımı yapılan alanlarda yer alması, bitki örtüsünün değiştirilmesinin heyelan oluşumundaki etkisini göstermesi bakımından önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Bulut vd. (2000), 1983 yılının Temmuz ayında Fındıklı (Rize) yöresinde, sağanak yağış neticesinde tamamen ayrışmış andezit, dasit ve yamaç döküntüleri içerisinde çeşitli büyüklükte meydana gelen 109 adet heyelanı incelemişlerdir. Yaklaşık 25 km^2 ’lik alanda yayılım gösteren bu 109 adet kayma referans alınarak oluşturulan heyelan envanter haritası temelinde, hazırlanan heyelan isopleth haritasının güvenilirliğini tartışmışlardır. Hazırlanan

isopleth haritasında, isopleth değerinin %1'in altında olduğu alanlar risksiz, %1-10 arasındaki alanlar orta derecede riskli ve bu değer %10'dan büyük olduğu alanlar ise gelecekte başka heyelanların da meydana gelebileceği riskli alanlar olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamalarında bu hipotezin geçerliliğini test etmek için, alandaki heyelanlar 12 yıl süre ile düzenli olarak gözlemlenmiş ve bu süre içerisinde meydana gelen heyelanlar, daha önce hazırlanmış olan isopleth haritasına işaretlenmiştir. Sonuçta yeni oluşan heyelanların dağılımının isopleth değerinin %10'dan büyük olduğu alanlar içerisine düştüğü gözlemlenmiş ve bu şekilde isopleth haritalarının güvenilirliği ve yararlılığı test edilmiştir.

Yalçın A., (2001), Kanlıca (Giresun-Yağlıdere) heyelanı ve çevresindeki yamaçları mühendislik jeolojisi açısından incelemiştir.

Ceryan ve Korkmaz (2003), Torul (Gümüşhane)-Diker Mahallesi (Torul) karayolunda yüzeyleyen bazik volkanitlerin jeo-mühendislik özelliklerini araştırmıştır.

Yalçın A., (2005), Ardeşen (Rize) Yöresini Heyelan Duyarlılığı açısından incelemiştir.

Erçıkı vd. (2006) Araklı Taşönu kireçtaşı sahasında 19 Ekim 2006'da meydana gelen heyelan sonucu oluşan şevin duraylılığını deterministik yöntemle araştırılmışlardır. Bu araştırmada yer altı su durumu için iki farklı model kurulmuş, yapılan analizlerden elde ettikleri güvenlik katsayısı değerlerinin genel itibarıyla şevlerin uzun dönemde duraylı kalması için güvenlik sınırı olarak kalması kabul edilen 1.2 limit değerinin genelde altında olduğunu, bu nedenle incelenen şevin uzun dönemde duraylı kalmayacağını risk taşıdığını belirtmişlerdir.

Akgün ve Bulut (2007), coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanarak Trabzon iline bağlı Yomra ve Arsin ilçeleri çevresinde heyelan duyarlılığına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada heyelan topografik haritaların analizi ve detaylı arazi çalışmaları neticesinde hazırlanmıştır. Yörede heyelan oluşumunda etkili oldukları düşünülen yamaç eğimi, bakı, drenaj ağına olan uzaklık, yola uzaklık ve litolojik birimlerin ayrışması gibi faktörler yapılan analizlerde değerlendirilmiştir. Mantıksal regresyon ve ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak çalışma sahasının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar yapılan bu çalışmada sonuçları iki açıdan değerlendirmiştir. Bunlar; kullanılan yöntemlerin etkinliği ve heyelanlara neden olan faktörlerin etkinliğidir. Elde edilen sonuçlar, ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme modelinin mantıksal regresyon modeline göre daha uygun olduğunu

göstermiştir. Ayrıca seçilen parametreler içerisinde jeoteknik birimler olarak değerlendirilen litolojik birimlerin ayrışma durumları ile yamaç eğimi parametreleri heyelan duyarlılık değerlendirmesinde en etkili parametreler olarak belirlenmiştir.

Dağ S., Bulut, F. ve Akgün, A., (2007), İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile Çayeli (Rize) ve çevresindeki heyelanların değerlendirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır.

Ersoy ve Bulut (2008) “Kütle Hareketlerinin Oluşumunda Yağışın Rolü” isimli çalışmalarında, Doğu Karadeniz Bölümü’nde meydana gelen heyelanların büyük çoğunluğunun ani yağışlarla ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Kul ve Ersoy (2011), “Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Mühendislik Jeolojisi Özelliklerinin İncelenmesi” isimli çalışmalarında; heyelan alanındaki zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişler ve heyelan potansiyeli irdelenerek önerilerde bulunmuşlardır.

1.9. Kütle Hareketleri

Kütle hareketi zemin, kaya veya yapay dolgu malzemesinden oluşan bir yamacın yerçekimi, eğim, su ve benzeri diğer kuvvetlerin etkisiyle aşağı doğru kütle hareketi olarak tanımlanabilir. Bu tanım daha da genişletilirse kütle hareketi, yerel jeolojik, hidrolojik, jeomorfolojik koşulların ürünü olarak bitki örtüsü, arazi kullanımı ve insan aktiviteleri tarafından etkilenen, yağış ve sismik aktivitelerin sıklığı ve şiddeti tarafından kontrol edilen yapay veya doğal şev duraysızlığı olarak tanımlanabilir (Soeters ve Van Westen, 1996).

1.9.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Sınıflandırmalar çeşitli faktörler göz önünde tutularak yapılmaktadır. Sharpe (1938) aşağıdaki faktörleri esas almıştır:

- hareketin tipi, miktarı ve hızı,
- harekete neden olan faktörler,
- hareket eden malzemenin cinsi ve dizilişi,

- hareket eden kütlelerin şekli,
- su miktarı,
- hareket edenle alttaki zemin arasındaki bağıntı,
- kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ).

Heyelanlar veya kütle hareketlerinde meydana gelen duraysızlıklarla ilgili bir çok sınıflama bulunmakla birlikte en çok kullanılan Varnes (1978) tarafından önerilen sınıflamadır (Tablo 1.2).

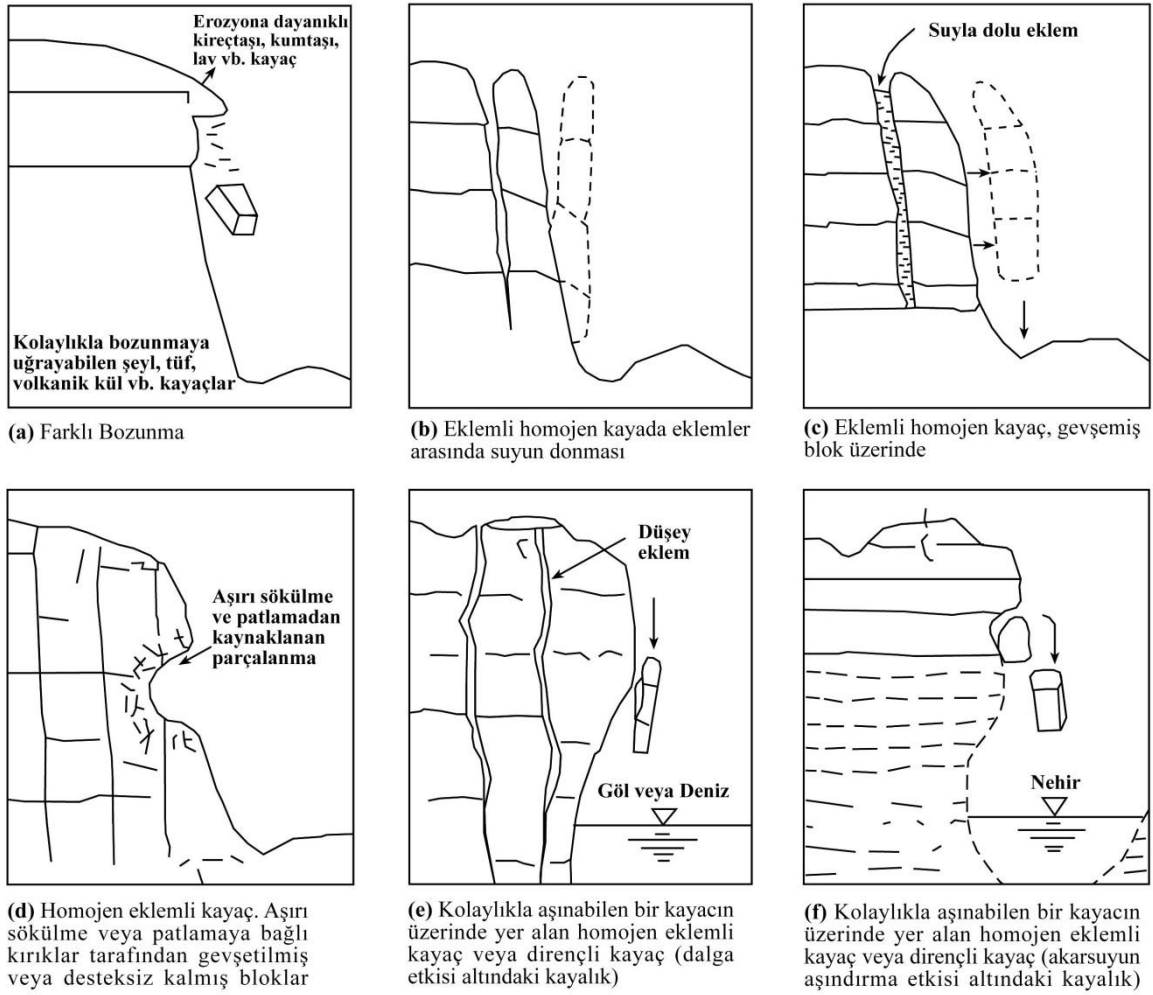
Tablo 1.2. Varnes kütle hareketleri sınıflandırma sistemi (Varnes, 1978).

Hareket Türü		Malzemenin Türü		
		Kaya	Zemin	
		Kayaçlar	İri Daneli	İnce Daneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zeminde devrilme
Akma	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
Kayma	Ötelenmeli	Kayada Blok Türü Ötelenme	Zeminde ve Molozda blok türü ötelenme	
	Dönsel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönel Kayma	Zeminde ve Molozda dönel kayma	
Yanal Yayılma		Kaya Yayılması	Zemin veya Moloz yayılması	
Karmaşık		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

1.9.1.1. Düşmeler (Kopmalar)

Deniz, göl kenarlarından ve dik kazı şevlerinden, dik yamaçlardan, mağara tavanlarından, sivri dağ doruklarından, deniz kenarındaki dik falezlerden, özellikle süreksizlik yüzeyi ile sınırlanmış münferit kaya bloklarının yer çekimi etkisi ile aşağıya doğru hareket etmesi olayıdır.

Şekil 1.5'te kaya düşmesine neden olan süreçler verilmiştir. Düşen malzemenin cinsine göre "Kaya düşmesi, moloz düşmesi, zemin (toprak) düşmesi" gibi adlar alabilirler. Toprak ve kaya düşmelerinde kütle havada serbest düşme, sıçrama, sekme ya da yuvarlanma hareketi yapar. Hareketler hızlıdan son derece hızlıya kadar değişir. Hareketler başlamadan önce tali hareketler olabilir.

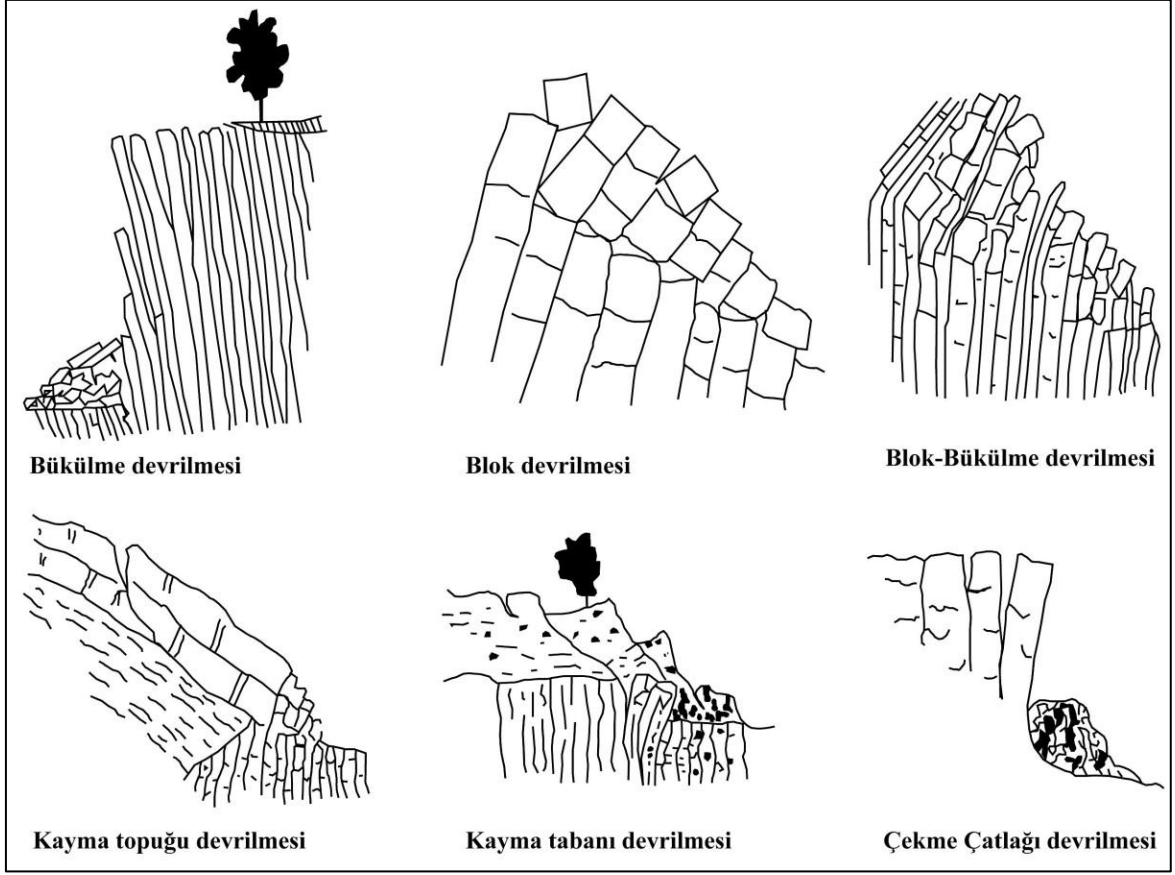


Şekil 1.5. Kaya kütlelerinde düşmeye neden olan süreçler (Ulusay, 2001)

1.9.1.2. Devrilme

Fazlaca süreksizlik içeren kayaların orijinal konumlarının bozularak yıkılmalarına “Devrilme” denilmektedir. Doğada çeşitli devrilme tipleri saptanmıştır. Bükülme devrilmesi, Blok devrilmesi veya her ikisinin karışımı olan bir devrilme çeşidi oluşabilir (Şekil 1.6). Devrilmenin başlıca koşulu bloğun ağırlık vektörünün taban alanı dışına çıkmasıdır.

Devrilme türü kütle hareketinde eğik yüzey boyunca kayma söz konusu değildir. Burada önemli olan blok ağırlık vektörünün bloğun eğik yüzey üzerindeki dayanma alanı ile olan ilişkisidir. Ağırlık vektörü, dayanma alanı içerisinde kalıyorsa blok duraylı, dışına çıkıyorsa blok duraysızdır. Dayanma sınırından geçiyorsa blok limit dengededir.



Şekil 1.6. Doğada gözlenen devrilme türleri ve kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler (Goodman ve Bray, 1976; Ulusay, 2001).

1.9.1.3. Akma

Yüzeysel kayaçların ayrışması sonucu oluşmuş kumlu ve killi zeminlerde, toprak ya da taş-toprak karışımından ibaret yüzeysel örtüde, su muhtevasının artması sonucunda bazen hızlı, bazen de gözle fark edilemeyecek kadar yavaş akmalar meydana gelebilir. Malzemenin akma hızına göre yavaş akma ya da hızlı akma denir. Akan malzeme türüne göre ise kaya-blok, moloz, toprak akması ya da krip denir. Su miktarının çok fazla artması halinde ise topraklar çamur akması haline gelir.

Toprak ve çamur akmaları bir çığ haline dönüşebilmektedir. Böyle akmalar jeolojik geçmişinde buzullar altında kalarak içinde kum ve silt bulunan killerde çok yaygın olmakta, moloz akması ise bitki örtüsünün olmadığı killerde görülmektedir. Kumdaki akmalar ise su altında ya da kuru yamaçlarda meydana gelmektedir.

1.9.1.3.1. Yavaş Akma (Krip)

Yamaç ya da şevlerde yüzeysel kısmın çok yavaş ve sürekli olarak yer değiştirmesine krip adı verilir. Krip başta yerçekimi olmak üzere, yüzeysel kısımdaki malzemenin ıslanma-kuruması, ıslak olması halinde içerdiği suyun donma-erimesi, yeraltı ve yerüstü sularının etkisi, bitki köklerinin büyümesi ve benzeri olayların etkisiyle meydana gelir.

Kripte hareket çok yavaş olup yılda 3-5 cm kadardır. Hareket miktarı devamlı gözlemsel ölçülerle saptanabilmektedir. Blok boyutundan kil boyutuna kadar her türlü malzemede krip olayı görülebilir. Hafif eğimli yamaçlarda (3-5 derece) meydana gelebilen kripin doğadaki belirtileri bitki köklerinin eğilmesi, değişik amaçla dikilmiş direklerin, yapı ve ağaçların düşeyden sapması, yol, çit, duvar gibi yapıların yer değiştirmesi, tabaka uçlarının kıvrılması, topografya yüzeyinin küçük basamaklı bir yapı kazanması gibi görüntülerdir. Krip oluştuğu malzemeye göre toprak krip, moloz krip, kaya krip gibi isimler almaktadır. Toprak kripinde en etkili faktör danelerin su ile ıslanıp kurumasıdır. Bu esnada su alıp şişen daneler yerçekiminin etkisi ile yamaç eğimine dik olarak hareket ederler. Moloz kripinde ise etkili olan faktör, molozu oluşturan blok ve iri parçalar arasındaki suyun donup-erimesidir. Bu nedenle moloz krip daha çok soğuk bölgelerde meydana gelir. Sıcak bölgelerde ise hareketin nedeni gece, gündüz arasındaki ısı farkından dolayı molozu oluşturan elemanların genişleme ve büzülmesidir.

Molozlarda kripe neden olan diğer bir faktör ise danelerin biçimidir. Molozun yassı elemanlardan oluşması hareketi kolaylaştırıcı bir faktördür. Kaya krip ise, yamaçlardaki bloklu kayaçların, içerdiği yamaç dışına doğru eğimli düzlem üzerinde, bu düzlem boyunca eğim aşağı yavaş hareket etmesidir. Buradaki hareket akmadan çok kayma olup, hareketin hızı bakımından kripe benzer. Kaya kripinde de hareketin nedeni iklim koşullarına bağlı olarak, süreksizliklerdeki suyun donması ve erimesidir. Ayrıca tabakalı kayaçlarda ince killi ara tabakaların bulunması, su, hareketin oluşmasında önemli rol oynar.

Krip başta yerçekimi olmak üzere; yüzeysel kısımdaki malzemenin ıslanması kuruması, ıslak olması halinde içerdiği suyun donması-çözülmesi, yeraltı ve yerüstü sularının etkisi, bitki köklerinin büyümesi ve oyucu hayvanların etkisi gibi nedenlerle meydana gelir.

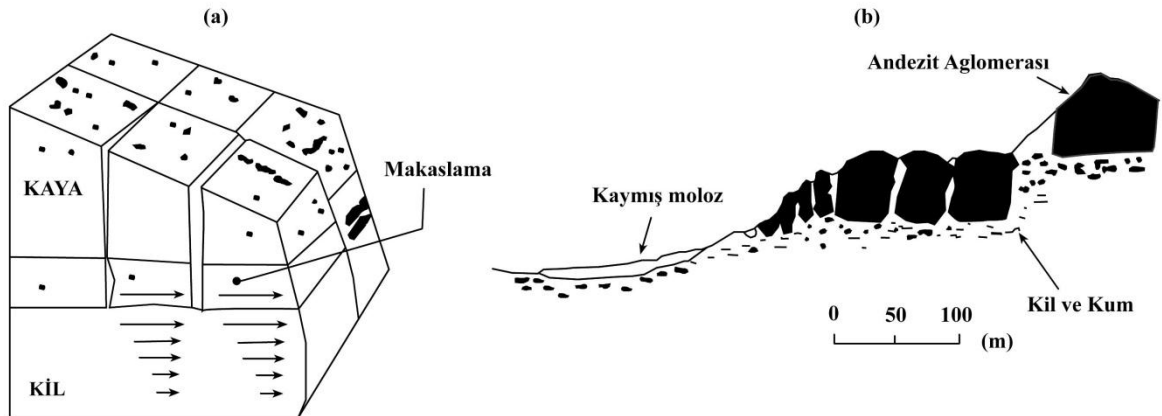
1.9.1.3.2. Hızlı Akma

Yavaş akmanın meydana geldiği zemin, zemin-blok karışımı veya ayrılarak gevşemiş kısımlar ortamda bulunan suyun çoğalması ve buna bağlı olarak da boşluk suyu basıncının artması, çeşitli titreşimler (deprem veya araç yükleri gibi) sonucunda altta bulunan nispeten sağlam tabaka üzerinde gözle görülebilecek bir hızla hareket ederler. Bu olaya hızlı akma adı verilir. Bu hareket eğimi 2-3 derece olan yamaçlarda görülebilir. Kayan malzemenin cinsine bağlı olarak kaya blok akması, toprak akması ve moloz akması gibi isimler alırlar.

1.9.1.4. Yanal Yayılma

Bu tür duraysızlığın meydana gelmesinde, makaslama ve çekme çatlaklarının eşlik ettiği yanal bir genişleme hareketi rol oynamaktadır. İki türü bulunmaktadır. Yanal kaya yayılmasında, şev yumuşak bir malzemenin üzerinde yer alan daha sıkı-sert birimden oluşur. Yumuşak malzeme şevin dışına doğru plastik bir davranış sergiler ve akma şeklindeki harekete bağlı olarak alttaki sert malzeme de bloklara ayrılır ve plastik malzeme tarafından taşınarak bu harekete katılır (Şekil 1.7a).

Yanal zemin yayılmasında, bu duraysızlık türü killi, göreceli olarak zayıf ve sünümlü bir malzeme içinde yüzer konumdaki sert ve eklemlili büyük kaya bloklarının bu malzeme ile birlikte yavaş bir harekete maruz kalması olarak tanımlar. Yıllık hareket hızı 10-25 mm arasında değişir ve genellikle hareket kolay fark edilmez (Şekil 1.7b).



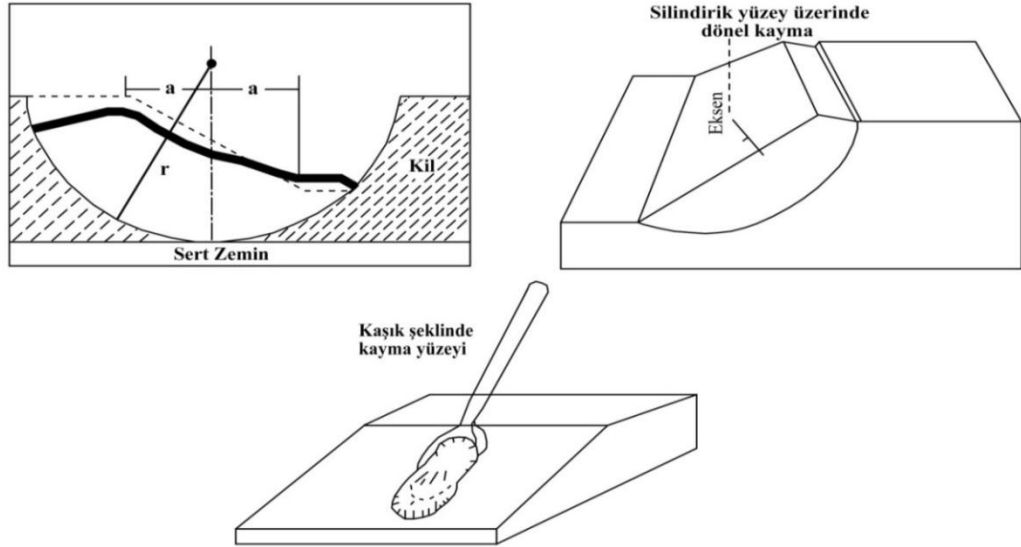
Şekil 1.7. Yanal kaya yayılması (a) ve yanal zemin yayılması (b)

1.9.1.5. Kayma

Şevlerde karşılaşılan en yaygın duraysızlık türü olan kaymalar, şevi oluşturan malzemede, belirgin bir yüzey boyunca ve makaslama yenilmesine bağlı olarak, kazı boşluğuna doğru dönel veya ötelenmeli (düzlem üzerinde) bir hareket sonucu meydana gelen duraysızlıklardır. Dönel ve ötelenmeli kaymalar olmak üzere iki şekilde gelişirler (Ulusay 2001).

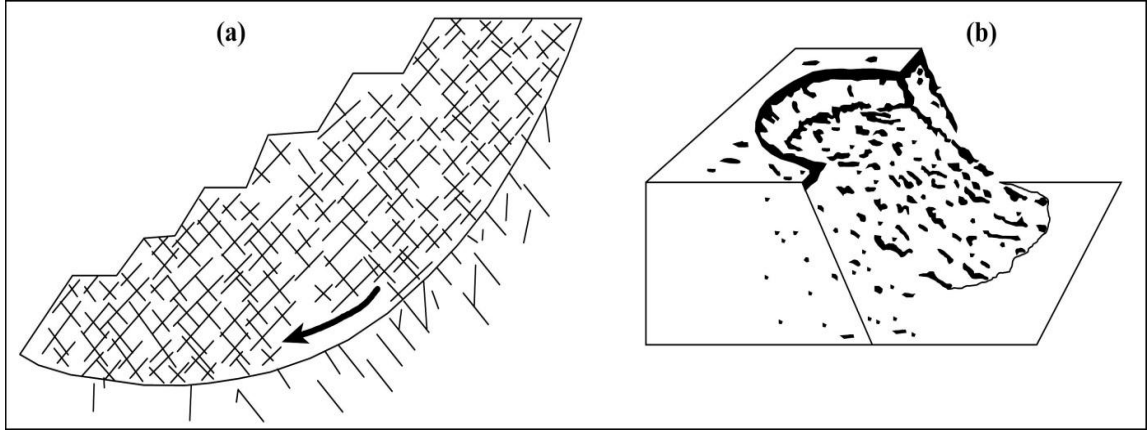
1.9.1.5.1. Dairesel (Dönel) Kaymalar (Heyelanlar)

Bu tür kaymalar, daireSEL (kaşık şeklinde) yüzeyler boyunca gelişir ve hareket sırasında kayan kütle geriye doğru yatmış bir konum kazanır. Kayma yavaş veya orta derecede bir hızla ve belirgin bir yenilme yüzeyi boyunca meydana gelir (Şekil 1.8).



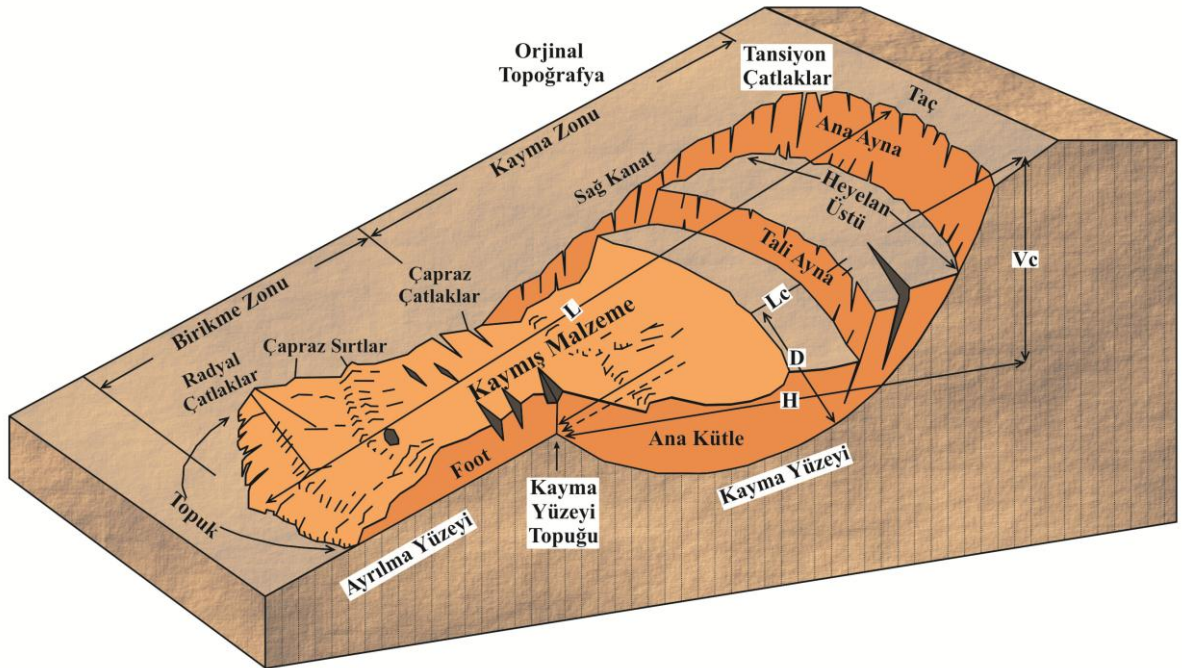
Şekil 1.8. Dairesel kayma (Ulusay, 2001)

Dairesel kayma; kil, silt, kum vb. türdeki toprak zeminlerin yanı sıra, akarsu kanallarında, yol yarmalarında, dolgularda, atık yığınlarında ve ileri derecede eklemli kara kütlelerinde ve/veya ileri derecede ayrılmış kayalarda meydana gelebilir (Şekil 1.9).



Şekil .1.9. İleri derecede eklemli kaya kütlelerinde (a) ve ayrılmış kayaçalarda (b) dairesel kayma (Ulusay, 2001).

Heyelanlarda üst seviyeler aşağıda doğru hareket ederken (Kayma zonu), alt kısımlarda “çökme”, “kabarma” ve “akma” bölgeleri (Birikme zonu) meydana gelir. Heyelan kütlesi üzerinde birbirinden farklı karakteristik kısımlar bulunmaktadır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Tipik bir heyelan kesiti ve çeşitli kısımlarına verilen isimler (Ulusay, 2001)

Bunlar;

Taç: Heyelanın en üst kısmıdır. Ana aynanın zeminde hareketsiz kalmış kısım olarak tanımlanır.

Karakteristik olarak gerilme çatlakları gözlenir.

Ana (Esas) Ayna: Kayan zemin kitlesinin dik veya dike yakın yüzeyi. Esas aynanın önünde kayan bölge içerisinde bir kayma kaması ve tali aynalar meydana gelebilir.

Tepe: Hareket eden kütle ile ana aynanın kesiştiği yerin en üst noktası.

Ana Kütle: Kayma yüzeyi boyunca hareket eden malzemenin tümü.

Çapraz (Enine) Çatlaklar: Heyelanın topuğunun üst kısmında meydana gelen çatlaklardır. Genellikle kabarma bölgesinde meydana gelir. Kabarma bölgesine karşılık çökme bölgelerinin karakteristikleri ise heyelan gölcükleridir.

1.9.1.5.2. Düzlemsel Kayma

Eğimi şev eğiminden küçük olan düşük dayanımlı zayıf bir düzlem üzerindeki kütlelerin kazı boşluğuna doğru hareket etmesidir. Genel olarak kaya kütlelerinde süreksizlikler boyunca gelişir (Şekil 1.11a).

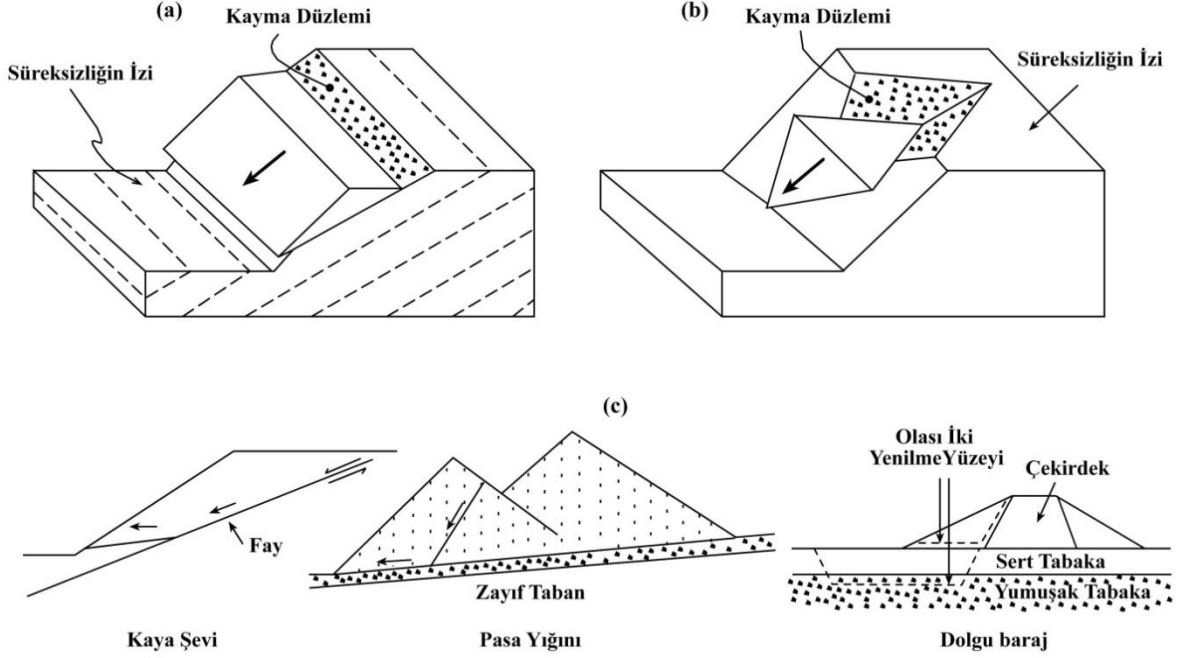
Düzlemsel kaymanın özel bir türü olan kama tipi kayma ise, kesişen iki süreksizliğin oluşturduğu tetrahedral bir kama bloğunun, eğimi şevinkinden daha yatık olan kesişme hattı boyunca öne doğru hareket etmesi sonucu meydana gelir (Şekil 1.11b).

Düzlemsel kaymanın diğer bir özel türü olan ötelenmeli kaymada ise düz veya çok az ondülasyonlu bir yüzey boyunca gelişen makaslama yenilmesine bağlı olarak, malzemenin kayma yüzeyine paralel şekilde öne doğru hareketiyle görülür. Hareket eden kütle dairesel kaymalarla karşılaştırıldığında, aşırı derecede deforme olmaz. Bu tür duraysızlıklar kayaç veya toprak zemin malzemesine oranla daha düşük makaslama dayanımına sahip olan süreksizlik yüzeyleri (tabakalanma, eklem, fay, makaslama zonu, şistozite vb.) boyunca meydana gelen, dolayısıyla süreksizlik denetimli duraysızlıklardır.

1.9.1.5.3. İki veya Çok Yüzeyle Kayma

Bu duraysızlık türü, birden fazla süreksizlik veya zayıflık yüzeyi üzerinde meydana gelir. Özellikle fay veya tabakalanma yüzeylerinin birleşmesi sonucu doğal ortamlarda

veya zayıf zeminler üzerinde yer alan pasa yığınları ile dolgularda gelişebilen tipik bir duraysızlıktır (Şekil 1.11c).



Şekil 1.11. Düzlemsel kayma (a), kama tipi kayma (b) ve farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (c) (Ulusay, 2001)

1.9.1.6. Karmaşık Hareketler

Birden fazla türde heyelanın bir arada görüldüğü olaylara karmaşık heyelanlar denir. Örneğin devrilme türü bir hareket kaya düşmesine, daha sonrada kaya akmasına, kaya kayması da kaya düşmesine dönüşebilir. Killi siltli zeminlerde meydana gelen heyelan daha sonra çamur akmasını meydana getirebilir.

1.10. Kütle Hareketlerine Neden Olan Faktörler

Heyelanlara etki eden nedenler iç ve dış nedenler olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Dış nedenler; şev ve yamaç eteklerinde yapılan kazılar, şev ve yamaç topuklarının sular tarafından oyulması, aşınma ile şev eğiminin artması, yani şev yüksekliğini (H) ve şev açısının (β) değişmesi, zemine doğal ve yapay olarak ek yüklerin yüklenmesi, zemin üstündeki bitki örtüsünün kaldırılması, yüzey sularının sızmasının kolaylaştırılması, çatlak

ve fisürlerde suların donması, depremler ve yapay patlamalar ve sarsıntılar (dinamit patlatılması gibi) olarak verilebilir.

İç nedenler; boşluk suyu basıncının artması, şev ve malzeme kohezyonunun azalması, kabarma ve şişme basınçları olarak verilebilir.

Yeraltı su tablasının yükselmesi, sızma, yağış veya kar erimesi gibi zeminin su içeriğinin artmasına neden olacaktır. Zeminde artan su içeriği nedeniyle kohezyonsuz zeminlerin sürtünme direncinin azalmasına, kohezyonlu zeminlerde şişme potansiyelinden ötürü ilave gerilmelerin artmasına, efektif kohezyonun azalmasına, ayrıca yeraltı suyunun yaratacağı yatay toprak basıncından ötürü kaymaya çalışan kuvvetlerin artmasına ve kayma dirençlerinin azalmasına neden olacağından şevin stabilitesi bozulacaktır.

Özellikle sonbahar ve kış aylarındaki şiddetli yağışlardan sonra yeraltı su seviyesinin yükseleceğini diğer bir deyişle; şevin boşluk basınç oranının büyük değerler alabileceğini, daima göz önünde bulundurmalıdır. Ayrıca, çamurtaşı gibi içeriğinde kil bulunan şevler, şiddetli yağışlardan sonra kuruyarak bünyesindeki fisürleşme (ince çatlaklar) daha da yaygın hale gelebilir ve izleyen şiddetli yağış sonrasında şev stabilitesini tamamen kaybederek göçebilir. Bununla birlikte, çamurtaşında gözlenen ayrışmanın boyutu, başka bir deyişle ayrışma derecesi kohezyon “ c ” ve içsel sürtünme açısı “ ϕ ” değerlerini azaltarak şevin stabilitesini olumsuz yönde etkiler.

Kar ve yağmur, yeraltı su düzeyinin değişmesine, şev malzemesinin kısmen ya da tamamen doymuş hale gelmesine, boşluk suyu basıncının artmasına ve içsel sürtünmenin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, büyük heyelanlar şiddetli yağışlardan sonra oluşur. Ayrıca su, zeminin birim hacim ağırlığını azaltır ve ince daneli kum zeminlerde kohezyonu sağlayan yüzeysel gerilimi azaltır. Bazen de su; yağlayıcı etki yapar, ortamın kayma direncini azaltır ve içsel sürtünme açısını düşürür.

Sıcaklık, zeminlerde donma ve çözülme yoluyla erozyona ve gerilme değişikliklerine sebebiyet vermektedir. Bitkiler suların kütle içerisinden uzaklaştırılmasını kolaylaştırmakta, yüzeysel akışı yavaşlatmakta ve azaltmaktadır.

Erozyon ve yapılan kazılar şevlerin yüksekliklerini ve eğim açılarını etkilediği için şevi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu değişimler kütlede gerilme değişikliğine sebebiyet verdiği için, kütle yüzeyinde çatlaklar oluşmakta ve buradan sızan sular kütlede direncini zayıflatarak harekete geçmesine sebebiyet vermektedir.

Tanelerin biçimi kayaçların porozite, boşluk oranı, özgül ağırlık gibi fiziksel özelliklerini, içsel sürtünme açısını, sıkışabilirliklerini, basınç direnci gibi mekanik

özellikler üzerinde etkili olur. Tanelerin köşeli olması içsel sürtünme açısını, sıkışabilirliğini ve boşluk oranını arttırır. Buna karşılık basınç direncini azaltır. Taneleri birbirine bağlayan çimento türü ve çimentolanma derecesi denge üzerinde etkilidir.

Kütlelerin oluşturduğu yamaçlara, herhangi bir şekilde ilave bir yük konulması gerilme artışına sebebiyet vermekte, killi zeminlerde ise boşluk suyu basıncının artmasına neden olmaktadır. Bu yüklemeler sonucu dengede olan şev kritik bir hal alabilmektedir.

Titreşimler kütlelerin ilave gerilmeler oluşmasını sağlayarak kütlelerin dengesini etkilemektedir. Kütlelerin, kohezyon ve içsel sürtünme açısının azalmasına neden olarak zemin harekete geçmesini tetikleyebilmektedir.

1.11. Türkiye Heyelanları

Türkiye’de diğer doğal olayların yanında kütle hareketlerinin ve özellikle de heyelanların ayrı bir yeri vardır. Bu olaylar hemen her yıl ülkenin pek çok yerinde görülmekte, önemli ölçüde can ve mal kaybına neden olmaktadır. Heyelanların bu kadar yaygın bir şekilde görülmesi ve olayların sonucunda büyük kayıpların ortaya çıkması ülkemizin doğal özellikleri yanında sosyoekonomik yapısından da kaynaklanmaktadır.

Türkiye’nin iklimi, jeomorfolojik ve jeolojik özellikleri her türlü kütle hareketlerinin oluşması için uygun koşullara sahiptir. Ayrıca yamaçlar üzerindeki bitki örtüsünün yok edilmesi veya tahribi, çeşitli amaçlar için arazinin yanlış kullanılması bu tür hareketlere hız kazandırmaktadır.

Nitekim yerleşim alanlarının seçiminde her türlü alt yapı çalışmalarından önce heyelan oluşumuna neden olacak unsurların kapsamlı bir zemin etüdü çalışması ile belirlenmemesi heyelan sonucunda meydana gelen zararları da artırmaktadır. Ayrıca, yol, köprü, tünel ve baraj gibi çalışmalarda yörenin doğal ve sosyoekonomik yapısının dikkate alınmaması da ülkemizde sık görülen heyelanların etkili bir şekilde ortaya çıkmasına temel oluşturmaktadır.

Türkiye yüzölçümünün % 80’ini kütle hareketlerini kolaylaştıran eğimli ve sarp araziden oluşan alanları kapsamaktadır. Ayrıca eğimli arazilerin tarım alanı olarak kullanılması, jeolojik özellikler ve ormanların tahribi, buna paralel olarak meraların aşırı otlatılması kütle hareketlerini önemli ölçüde tetiklemektedir. Bununla beraber Türkiye, Dünyanın kurak ve yarı kurak bölgesinde bulunmaktadır. Bu nedenle büyük bir bölümünde yarı kurak iklim koşulları yaşanır. Bu iklim tipinin özelliği çok yağışsız geçen bir dönemi;

bol yağışlı geçen bir dönemin izlemesidir. Bu durum kütle hareketlerinin meydana gelmesinde önemli bir nedendir. Yine uzun süreli ve bol yağışın görüldüğü nemli iklime sahip yörelerimiz de kütle hareketlerinin çok sık olarak görüldüğü yerlerdir.

1.12. Doğu Karadeniz Heyelanları

Türkiye’de en fazla yağış alan bölge olan Doğu Karadeniz Havzasında ortalama yağış değeri 1200 ile 1300 mm arasındadır. Havza güneyde Doğu Karadeniz dağları, kuzeyde ise Karadeniz ile çevrilidir. Toplam alanı 24 077 km² olan havza, yılda ortalama 14.9 km³ yüzeysel su potansiyeli ile Türkiye potansiyelinin %7.9’una sahiptir (DSİ, 2005).

Topografik faktörlerin etkisiyle Trabzon’un doğusundan itibaren yağışlar artmakta, doğuda Rize, Arhavi ve Hopa’da yağışlar en yüksek seviyeye erişmektedir. Bölgenin yağış dağılımında hakim rüzgar yönü ile yamaçların konumu ve yükseltisi en önemli etkenlerdir. Doğu Karadeniz Havzası içinde yer alan illerin ortalama yıllık yağış yüksekliği değerleri, Ordu 780 mm, Giresun 926 mm, Trabzon 900 mm, Rize 1264 mm, Artvin 700 mm, Gümüşhane ise 465 mm’dir.

Doğu Karadeniz Bölgesi’nde her yıl yağışlı mevsimlerde ve sağanak yağışlardan sonra mal ve can kaybına neden olan pek çok heyelan meydana gelmektedir. Bunlardan başlıcaları, 1929 Sürmene (Trabzon Heyelanı), 1950 Sera (Trabzon) Heyelanı, 1971 ve 1975 Yomra (Trabzon) Heyelanı, 1973 Çayeli (Rize) Heyelanı, 1979 Fındıklı (Rize) Heyelanı, 1982 İkizdere (Rize) Heyelanı, 1988 Maçka-Çatak (Trabzon) Heyelanı ve 2011 Gündoğdu (Rize) Heyelanı şeklinde sıralanabilir.

1.13. Yamaçların ve Şevlerin Stabilitesi

Şevlerle şekillendirilmiş zemin / kaya kütlelerinin verilen proje suresi ve yükleme koşulları altında denge konumlarını araştıran “stabilite analizi” zemin ve kaya mekaniğinin temel konularından biridir. Stabilite analizinde temel amaç tasarlanan şev kütlelerinin verilen işletme ve yükleme koşullarında güvenlik katsayısının belirlenmesidir.

Şev stabilite analizlerinde kritik kayma yüzeyleri aranmaktadır. Bu şekilde en küçük güvenlik sayısı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu araştırmalar yapılırken, şevleri

oluşturan malzemenin cinsine göre, harekete neden olan ve direnen parametreler belirlenmelidir.

Güvenlik sayısı dengeyi koruyan kuvvet veya momentlerin, kaymayı sağlayacak kuvvet ve momentlere oranı olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Güvenlik Sayısı}(F) = \frac{\text{Kaymaya karşı koyan kuvvetler}}{\text{Kaydırmaya çalışan kuvvetler}} \quad (1.1)$$

Güvenlik sayısının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerde, zemin kütlesi içinde kayma veya göçmeye neden olan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini ortaya koyan eşitlik Mohr-Coulomb eşitliğidir.

$$\tau = c + \sigma \tan \emptyset \quad (1.2)$$

Burada; \emptyset : içsel sürtünme açısı, c: kohezyon, τ : kayma gerilmesi, σ : normal gerilmedir.

Doğal ya da yapay şevlerin analizi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında uygulamada ve kullanım alanında bazı farklar olmasına rağmen, hemen hepsinde ortak özellik, bilinen veya kabul edilen kritik kayma yüzeyinde kayma kütlesinin dengesinin araştırılmasıdır. Şev stabilite çalışmalarının amacı yapılarda, kazılarda ve dolgularda çözüme güvenli ve ekonomik yoldan ulaşmaktır. Uygulama en çok kullanılan şev stabilite yöntemleri aşağıda açıklanmıştır;

1.13.1. Basit (Ordinary) Dilim Yöntemi (İsveç Dilim Yöntemi)

Kayan kütleyi tümüyle inceleyen yöntemler zeminin tabakalı veya üniform olmayan ortamlar olması durumunda uygulanır ise, yanlış sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle, kayma analizi kütlenin yeterli incelikte dilimlere ayrılması ile gerçekleştirilir (Şekil 1.12a ve b). Dilim yöntemi ilk kez İsveç'te geliştirildiği için İsveç Dilim Yöntemi, Fellenius'un yoğun uğraşları nedeniyle Fellenius Yöntemi ya da Adi Dilim Yöntemi (ADY) olarak bilinmektedir. Yöntemde yanal kuvvetler bileşkesinin her dilimin tabanına paralel etki ettiği kabulü yapıldığından tabana dikey kuvvetler etkilenmemekte böylece güvenlik sayısı en düşük düzeyde çıkmaktadır.

Şekil 1.12b'de bir dilime etkiyen dilimin ağırlığı, normal ve kayma gerilmeler ve boşluk suyu basıncı yanı sıra analizde kullanılmayan efektif normal gerilmeleri (yanal toprak basıncı, E) ve kayma gerilmeleri (kesme kuvveti, X) görülmektedir. Diğer deyişle yanal kuvvetler sıfır kabul edilmektedir.

Bir dilimin (i) birim kalınlık ağırlığı birim ağırlığın dilimin kesit alanı ile çarpımına eşittir,

$$W_i = A \cdot \gamma_i \cdot (1) \quad (1.3)$$

ve dilim alanının orta noktasına etkir (Şekil 1.12 b). Dilim üzerinde diğer kuvvetler

$$N_i = W_i \cos\alpha_i \quad (1.4)$$

$$N'_i = W_i \cos\alpha_i - U_i = W_i \cos\alpha_i - ul_i \quad (1.5)$$

$$T_i = W_i \sin\alpha_i \quad (1.6)$$

$$S_i = N_i \tan\phi_d + c_d l_i = (W_i \cos\alpha_i - U_i) \tan\phi_d + c_d l_i \quad (1.7)$$

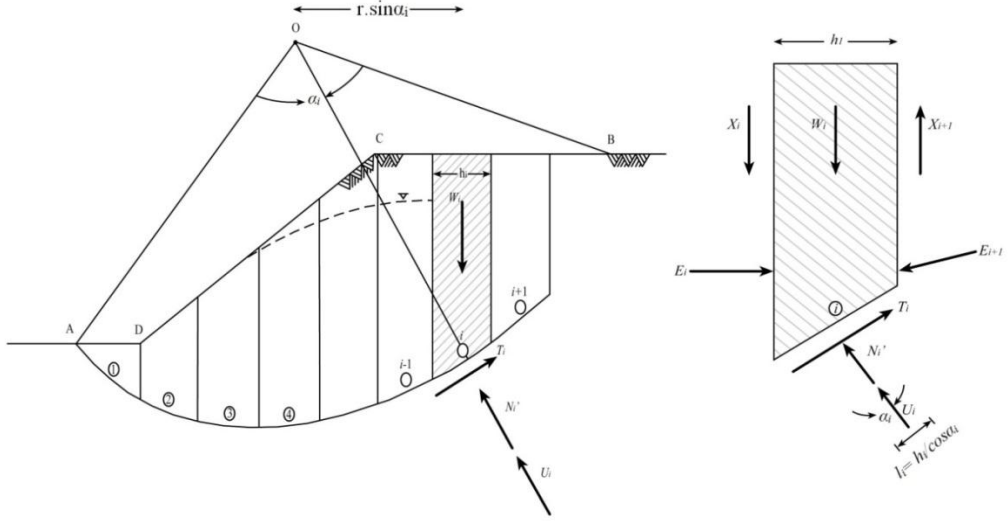
Buna göre, toplam gerilme analizinde güvenlik sayısı

$$F = \frac{r \sum_{i=1}^{i=n} S_i}{r \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin\alpha} \quad (1.8)$$

elde edilir. Efektif parametreler (c' , ϕ') türünden güvenlik sayısı ise,

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(W_i \cos\alpha_i - U_i) \tan\phi' + c' l_i]}{r \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin\alpha} \quad (1.9)$$

ile ifade edilir.



Şekil 1.12. Dilim Yöntemi dilimlere ayrılmış kayma kaması (a) ve i dilimine etkiyen kuvvetler (b) (Cernica, 1995)

1.13.2. Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi

Terzaghi ve Peck (1967) tarafından kısmen batık yamaçlara uyarlanan yöntemde dilimlere etkiyen yanıl kuvvetlerin yatay olduğu kabul edilmiştir. Güvenlik sayısı her koşulda ADY yönetiminden elde edilenden daha yüksek ve daha gerçekçidir.

Bishop (1955) çözümünde boşluk suyu basıncı katsayısı ağırlığın (W) fonksiyonu olarak

$$r_u = \frac{u_i \cdot b_i}{W_i} \quad (1.10)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Güvenlik sayısı, m_α katsayısını içerdiği için yöntemde çözüme doğrudan ulaşılammakta ve önceden kabul edilmiş bir güvenlik sayısının doğruluğu kontrol edilmektedir. M_α katsayısı Şekil 1.13 den ya da

$$M_\alpha = \left(1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{F}\right) \cos \alpha = \cos \alpha + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha}{F} \quad (1.11)$$

eşitliğinden ve m_α

$$m_{\alpha} = \frac{1}{M_{\alpha}} = \frac{1}{\cos\alpha + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha}{F}} \quad (1.12)$$

bağıntısından bulunur (Şekil 1.14).

Dilim ara yüzeylerinde kayma kuvvetleri ihmal edildiğinde %1 hata ile efektif gerilme türünden analizde (ESA) güvenlik sayısı

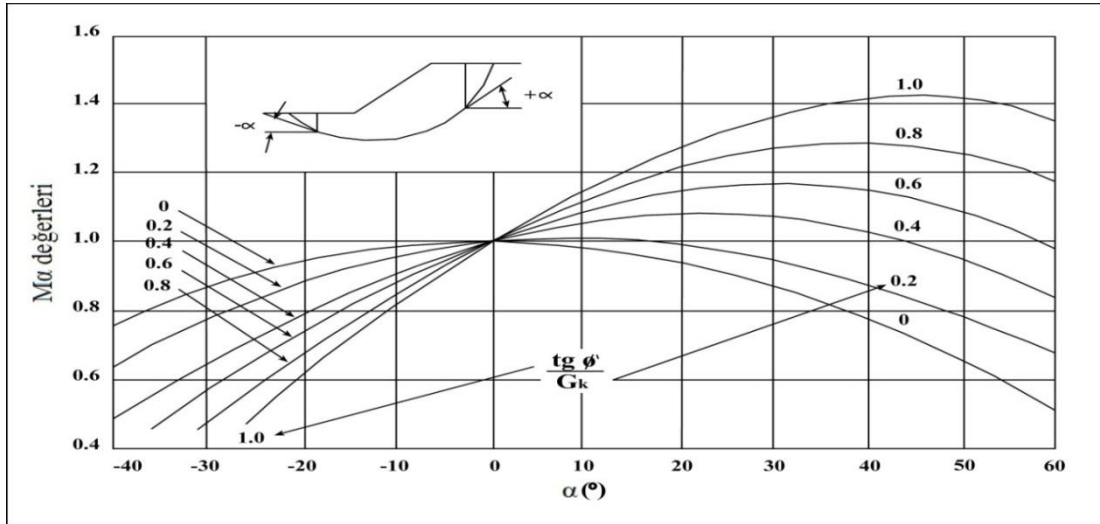
$$F = \frac{\sum m_{\alpha} [W_i (1 - r_u) \tan\phi' + c' b_i]}{\sum W_i \sin\alpha_i} \quad (1.13)$$

ile tariflenir.

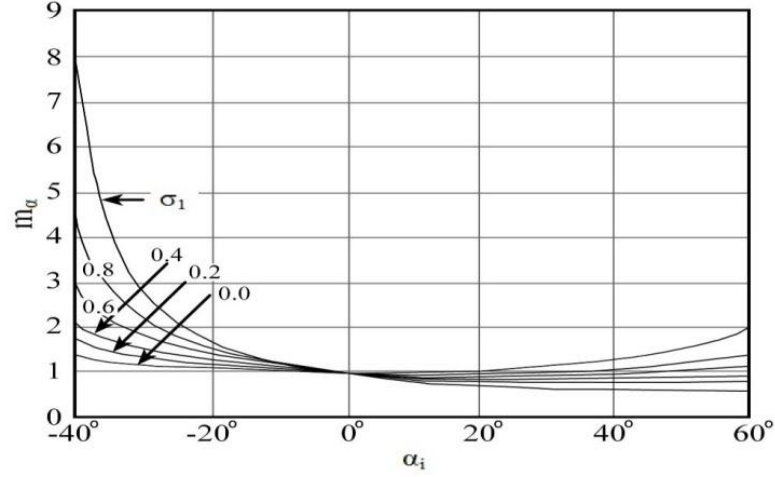
Eğer yeraltı suyu kayma yüzeyi altında ise $r_u=0$ için eşitlik

$$F = \frac{\sum m_{\alpha} [W_i \tan\phi' + c' b_i]}{\sum W_i \sin\alpha_i} \quad (1.14)$$

şeklini alır.



Şekil 1.13. M_{α} değerleri grafiği (Lambe ve Whitman, 1979)



Şekil 1.14. m_α değerleri grafiği (Budhu, 2000)

Toplam gerilme türünden analizde (TSA) güvenlik sayısı

$$F = \frac{\Sigma s_u l_i}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} = \frac{\Sigma s_u \frac{b_i}{\cos \alpha_i}}{\Sigma W_i \sin \alpha_i} \quad (1.15)$$

ile ifade edilir.

İnce daneli zeminlerde yamaç tepesinde ya da yamaç yüzünde çekme çatlakları gelişebilir. Çekme çatlağının üç önemli etkisi vardır.

1. Kayma yüzeyini denetler. Kayma yüzeyi yeryüzünü kesmez çekme çatlağının altında son bulur (Şekil 1.14) ve çatlak derinliği $z_c = 2s_u / \gamma$ ile ifade edilir.
2. Çekme çatlağı su ile dolabilir. Bu durumda kritik derinlik $z_c' = 2s_u / \gamma'$ ile tariflenir ve hidrostatik basınç çatlak derinliği boyunca etkir. Çekme çatlağındaki hidrostatik basınç momenti (TCM)

$$TCM = \frac{1}{2} \gamma_w z_c^2 \left(z_s + \frac{2}{3} z_c \right) \quad (1.16)$$

nedeniyle sürücü moment artar ve güvenlik sayısı azalır (z_s çekme çatlağının üstünden daire merkezine olan düşey uzaklık). Böylece güvenlik sayısı ESA türünden

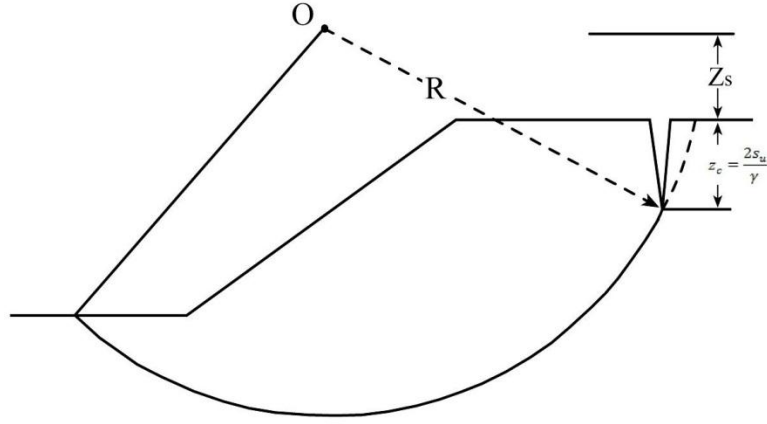
$$F = \frac{\Sigma m_\alpha [W_i (1 - r_u) \tan \phi' + c' b_i]}{\Sigma W_i \sin \alpha_i + \frac{1}{2} \gamma_w z_c^2 (z_s + \frac{2}{3} z_c)} \quad (1.17)$$

TSA türünden

$$F = \frac{\sum S u \frac{b_i}{\cos \alpha_i}}{\sum W_i \sin \alpha_i + \frac{1/2 \gamma_w z_c^2 (z_s + 2/3 z_c)}{R}} \quad (1.18)$$

ile ifade edilir.

3. Çekme çatlağı alttaki zemin tabakalarına suyun ulaşmasında bir kanal görevi görür ve su sızma kuvvetleri oluşturur ve zemin tabakalarını zayıflatır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Çekme çatlağının kayma yüzeyine etkisi (Budhu, 2000)

Sadeleştirilmiş Bishop yöntemi Şekil 1.16 dan yararlanarak aşağıda belirtildiği şekilde uygulanır.

1. Yamaç ölçekli bir şekilde çizilir, dış yüklerin yeri ve büyüklükleri belirtilir (Şekil 1.16a).
2. Deneme kayma yüzeyi çizilir ve dönme merkezi belirlenir.
3. Gerekli ise feratik yüzey (üst akım çizgisi) çizilir.
4. Zemin ince daneli ise çekme çatlağı derinliği hesaplanır ve üstte yüzeyden başlatılıp çatlak derinliğinin kayma yüzeyi üzerinde kalacak şekilde uygun bir yere yerleştirilir.
5. Kayma yüzeyi üzerinde kalan kayan zemin kütlesi tercihen eşit genişlikte, 10 dolayında dilime ayrılır. Çoğu problem 5 den fazla dilim gerekmektedir.
6. Her dilimde;
 - a. Genişlik (b_i) ölçülür.

$$r_u = \gamma_w z_w / \gamma_i z_i \quad (1.21)$$

bağıntısından bulunur.

7. Bu aşamada tüm parametreler elde edildiği için güvenlik sayısı önceden tahmin edilmiş bir güvenlik sayısına göre hesaplanır. Bunun için bir tablo hazırlanır ve tahmin edilen ile hesaplanan güvenlik sayısı arasındaki fark yaklaşık 0.01 oluncaya kadar işlemler tekrarlanır. Çekme çatlağının olması durumunda çatlağın üzerindeki dilimde ESA için $W_i (1-r_u) \tan \phi'$ m_α terimi sıfır, TSA için $s_u=0$ alınır buna karşılık $W \cdot \sin \alpha_i$ hesaba katılır.

8. Yukarıda açıklanan 2 den 7. maddeye kadar işlemler en küçük güvenlik sayısı bulununcaya kadar yinelenir. Bunun için en basit yöntem kayma dairesi merkezinin civarında ızgara oluşturmak ve kesişme noktalarını kayma dairesi merkezi olarak yeni kayma yüzeyleri elde etmektir.

1.13.3. Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi

Sadeleştirilmiş Bishop yöntemine dayandırılan ve Janbu tarafından önerilen bu dilim yöntemi, genel şekilli kayma yüzeylerine uygulanabilmektedir. Sadeleştirilmiş Bishop yönteminden farklı iki temel özelliği vardır.

1. Kayma yüzeyi bir seri kritik daire kabulü yerine bir kayma yüzeyi kabulüne dayandırılır.

2. Güvenlik sayısı düzeltme sayısı (f_0) ile belirlenir.

Şekil 1.17a'da dairesel olmayan bir kayma yüzeyi, Şekil 1.17b'de ise dilime etkileyen kuvvetler görülmektedir. Janbu yatay kuvvetleri dengede kabul etmiştir ($E_i - E_{i+1} = 0$).

Ara yüzeylerde kayma kuvvetleri yerine düzeltme sayısı (Şekil 1.18) koyularak ESA türünden sadeleştirilmiş Janbu eşitliği

$$F = f_0 \frac{\sum [W_i (1-r_u)] m_\alpha \tan \phi' \cos \alpha_i}{\sum W_i \tan \alpha_i} \quad (1.22)$$

ile, yeraltısuyu kayma yüzeyi altında ise ($r_u=0$)

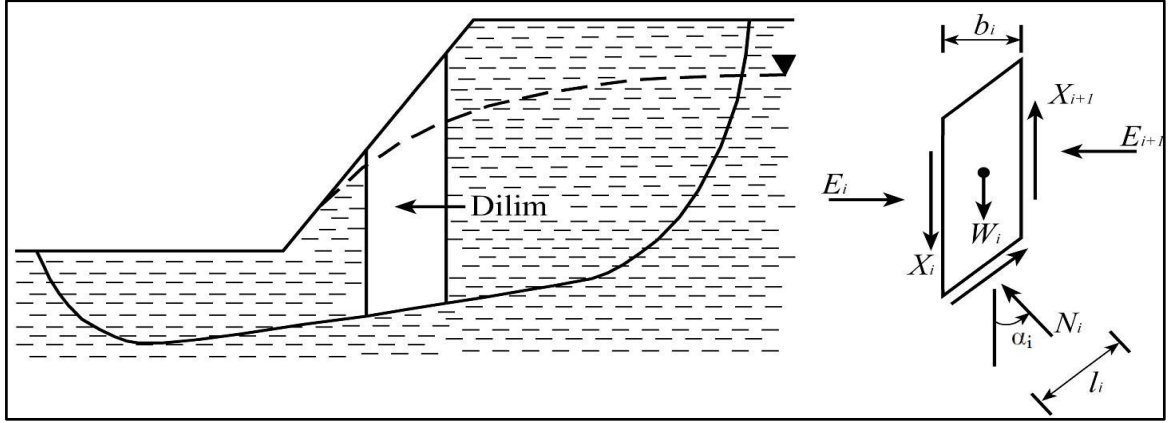
$$F = f_0 \frac{\sum W_i m_\alpha \tan \phi' \cos \alpha_i}{\sum W_i \tan \alpha_i} \quad (1.23)$$

eşitliği ile ifade edilir.

TSA türünden güvenlik sayısı,

$$F = f_0 \frac{\sum s_u b_i}{\sum W_i \tan \alpha_i} \quad (1.24)$$

bağıntısı ile tariflenir.



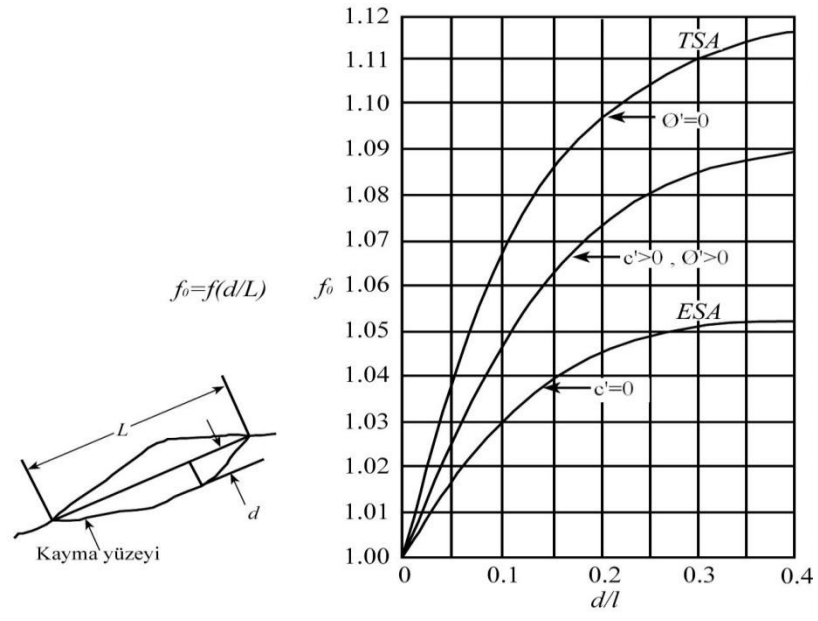
Şekil 1.17. Genel şekilli (dairesel olmayan) kayma yüzeyi (a) ve dilime etkiyen kuvvetler (b) (Budhu, 2000)

Düzeltilme sayısı kayan kütlelerin derinliğinin (d) uzunluğuna (L) oranına (Şekil 1.18a) ve zeminin türüne bağlı olup Şekil 1.18b'den ya da

$$f_0 = 1 + K[d/L - 1.4 (d/L)^2] \quad (1.25)$$

bağıntısından bulunur.

$c' > 0$, $\phi' > 0$ zeminler için $K=0.50$ ve $c'=0$ zeminler için $K=0.31$ 'dir.



Şekil 1.18. Genel şekilli kayma boyutları (d , L) (a) ve düzeltme sayısı (f_0) grafiği (b) (Hunt, 1986)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Genel Jeolojik, Stratigrafik ve Petrografik Çalışmalar

2.1.1. 1/25 000 Ölçekli Jeoloji Haritanın Hazırlanması

Çalışma Doğu Karadeniz Bölümü'nün en büyük ili olan Trabzon'un merkez Yeşilyurt köyünü kapsamaktadır. Yeşilyurt köyü Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde ve 1/25000 ölçekli Trabzon G43-b1 paftasında yer almaktadır.

Genel jeoloji çalışmalarında, Taslı (1984), Gülibrahimoğlu (1985), Dokuz (1990), Yalçınalp (1992), Güven (1993), Aydın (2003), Arslan ve Aslan (2006) ve Kırmacı ve Akdağ (2005) tarafından yapılmış olan çalışmalardan yararlanılmış, farklı stratigrafik özelliğe sahip litolojik birimler ve bu birimlerin birbirleriyle yaptığı dokanaklar belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır.

2.1.2. Mikroskobik Tayinler

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit hazırlama laboratuvarında yaptırılan ince kesitler, James Swift (Model MP3500MBL) marka polarize mikroskopta incelenerek kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiş ve kayaç adlamaları yapılmıştır.

Bunun yanı sıra, kayaçlardaki önemli mineralojik özelliklerin gösterilmesi amacıyla mikroskobik ölçekte fotoğraflar çekilmiştir.

2.2. Jeofizik Yöntemler

2.2.1. Sismik Kırılma Yöntemi

Sismik kırılma yöntemi yeryüzünde veya çok sığ derinliklerde yapay olarak meydana getirilen sismik dalgaların yer içerisinde kritik kırılarak yayıldıktan sonra, yeryüzündeki alıcılara gelmeleri için geçen zamandan faydalanarak yer altının yapısı, farklı birimlerin devamlılığı, fiziksel ve elastik özellikleri hakkında fikir veren ve en çok tercih edilen bir yöntemdir.

Arazide atılan ters ve düz sismik profillerden elde edilen zaman-uzaklık grafiklerinde eğimli tabakaya ait doğruların eğimi, boyuna ve enine dalga hızlarını verir. Şekil 2.1'den yararlanılarak kırılma dalgasının S noktasından çıkıp SABG yolunu alarak G deki alıcıya varması için geçen zaman

$$T_{SG} = T_{SA} + T_{AB} + T_{BG} \quad (2.1)$$

olarak verilir.

Yüzeyin yatay ve düzlem olması durumunda $T_{SA} = T_{BG}$ 'dir ve gecikme zamanları olarak isimlendirilir. Buna göre geometriden

$$T_{SA} = T_{BG} = \frac{Z \cos i_c}{V_1} \quad (2.2)$$

Gecikme zamanı;

$$T_{SA} = \frac{s_A}{V_1} - \frac{s'_A}{V_2} \quad (2.3)$$

$$t_1 = 2 \times (\text{gecikme zamanı}) \quad (2.4)$$

t_1 = kesiş zamanı

olarak belirlenir.

Buna göre;

$$T_{SA} + T_{BG} = \frac{Z \cos i_c}{V_1} \quad (2.5)$$

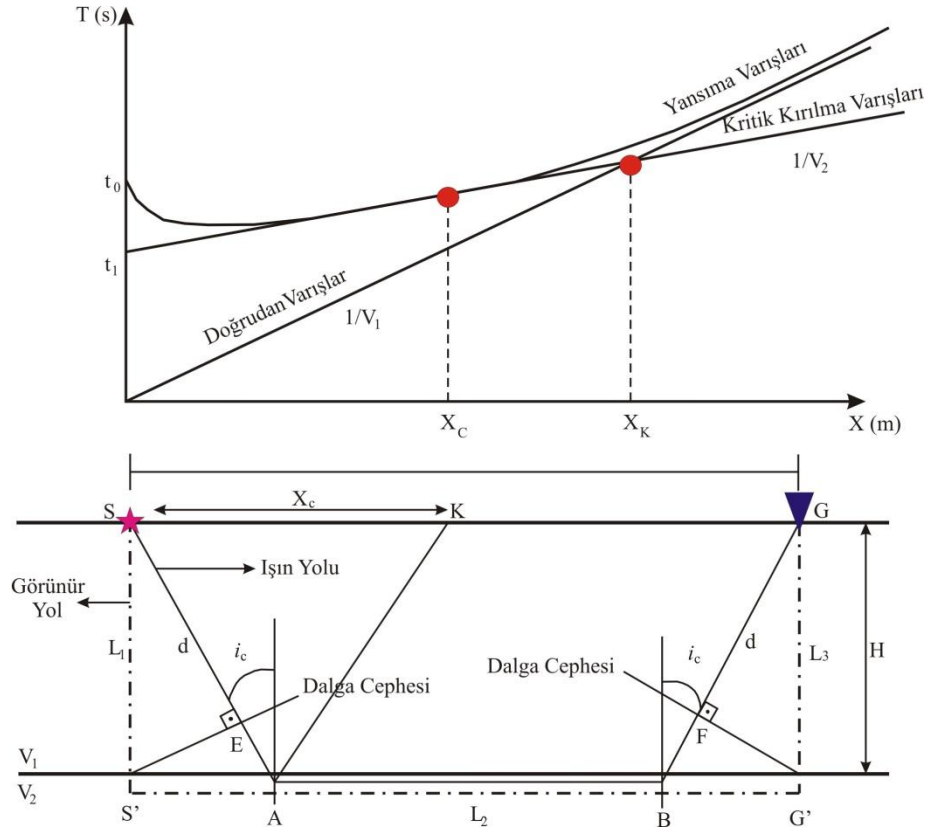
$$t_1 = \frac{Z \cos i_c}{V_1} \quad (2.6)$$

$$Z = \frac{t_1 V_1}{2 \cos i_c} \quad (2.7)$$

$$\cos i_c = \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_2} \quad (2.8)$$

$$Z = \frac{t_1}{2} \frac{V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.9)$$

bulunur.



Şekil 2.1. İki tabakalı bir ortamda zaman - uzaklık eğrisi (URL-1, 2002) (a) ve iki tabakalı bir ortamda dalga yörüngesi eğrisi (URL-1, 2002) (b).

$$T_{SG} = \frac{2Z}{V_1 \cos i_c} + \frac{(\times - 2Z \tan i_c)}{V_2} = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z}{V_1 \cos i_c} \left(1 - \frac{V_1}{V_2} \sin i_c\right) \quad (2.10)$$

kritik açı snell kanunuyla verilir ve

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.11)$$

olarak ifade edilir ve

$$T_{SG} = \frac{X}{V_2} + t_i \quad (2.12)$$

$$t_i = \frac{2Z \cos i_c}{V_1} = \frac{2Z(V_1^2 - V_2^2)^{\frac{1}{2}}}{V_1 V_2} \quad (2.13)$$

elde edilir. Tabakanın derinliği olan Z kesiş zamanından yararlanarak

$$Z = \frac{t_i V_1 V_2}{2\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (2.14)$$

elde edilebilir. Ayrıca, kesiş uzaklığından da yararlanarak tabakanın derinliği,

$$\frac{X_{cross}}{V_1} = \frac{X_{cross}}{V_2} + \frac{2Z\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \quad (2.15)$$

$$Z = \frac{X_{cross}}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \quad (2.16)$$

olarak bulunur.

2.14ve 2.16 formülleri kalınlıklar içindir. Eğer yüzey eğimsiz ise derinlik=kalınlıktır. Aksi halde bu iki kavram birbirinden farklıdır.

Burada;

T_{SG} = Kırılma dalgasının S den çıkıp G noktasına varması için geçen zaman

T_{SA} : Kırılma dalgasının S den çıkıp A noktasına varması için geçen zaman

T_{AB} : Kırılma dalgasının A den çıkıp B noktasına varması için geçen zaman

T_{BG} : Kırılma dalgasının B den çıkıp G noktasına varması için geçen zaman

I_c : Kritik açı

V_1 : Birinci tabakanın hızı

V_2 : İkinci tabakanın hızı

t_i : Kesiş zamanı

Z : Tabaka derinliği

X_{cross} : Kesiş mesafesi

Çalışmada, sismik kırılma ölçülerinin alımında 12 kanallı, Geometrics marka ve ES3000 model araştırma sismografi kullanılmıştır. P dalgalarını (boyuna dalga) üretmek için enerji kaynağı için zemin üzerine yerleştirilmiş çelik levhaya (20 cm x 30 cm ebadında) balyozla vurulmuştur. P dalgalarını algılayabilmek için düşey bileşenli alıcılar (jeofon) kullanılmıştır. 2 farklı istasyonda alınan profillerde düz, ters ve orta vuruşlar yapılmıştır.

2.2.2. Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi, yeryüzündeki belirli iki noktadan yer içerisine büyüklüğü bilinen bir akımı vermek ve kullanılan elektrot dizilimi vasıtasıyla yer içerisinde oluşan gerilim farkını saptamak şeklinde uygulanır. Sonuçta, arazide uzaklığın değişkeni olarak ölçülen özdirenç farklılıklarının yarattığı görünür özdirenç (ρ_a) eğrilerinden yararlanmak suretiyle yeraltındaki jeolojik yapı tanımlanır. Değerlendirmede amaç; (ρ_a) eğrisini veren yapıyı oluşturan katmanların özdirenç (ρ_a) ve kalınlıklarının (h) bulunmasıdır.

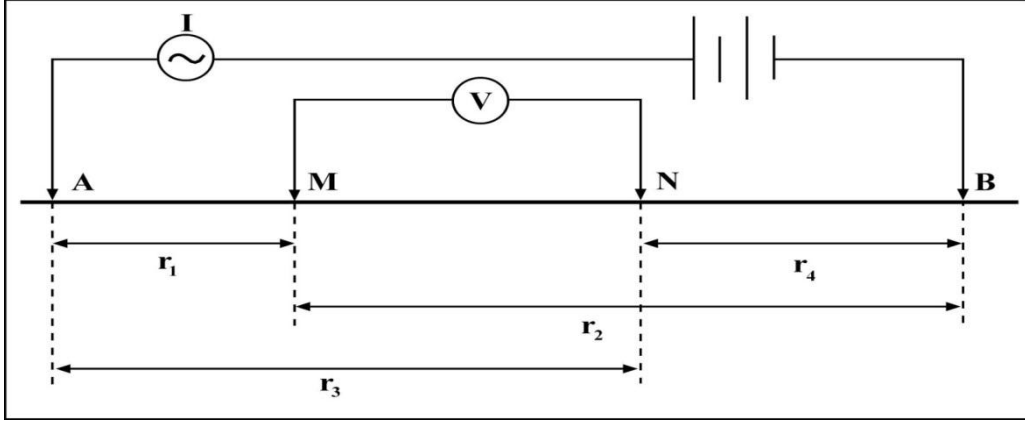
Özdirenç yönteminin arazide uygulanışı üç şekilde olur. Bunlardan birincisi, yerin yanal yöndeki değişimini araştıran "Elektrik Haritalama veya Profil", ikincisi yer içerisindeki tabakaların düşey yöndeki değişimlerinin incelendiği "Düşey Elektrik Sondajı (DES)" ve üçüncüsü elektrot aralıkları artırılarak yatay eksen boyunca birçok konumda ölçümlerin alınması ve yeraltının iki boyutlu yorumunu sağlayan "Birleşik Sondaj Profil Tekniği" dir.

DES jeofizikte çok yaygın kullanılan bir yöntemdir. DES'in en önemli özelliği, her ölçü sonunda iki akım elektrotu arasındaki uzaklığın artırılması ve böylece akımın daha

derine erişmesinin sağlanması ve görünür özdirenç derinlik değişiminin grafik olarak elde edilmesidir.

Arazide yapılan özdirenç ölçümleri için kullanılan ekipmanı genel olarak, güç kaynağı, akımölçerler, voltaj ölçerler, akım elektrotları, potansiyel elektrotları, makara kablolar, 2 adet çekiç, 2 adet keser, tornavida, pense vb. malzemelerdir.

Ölçüm ekipmanları ise iki akım elektrotu ile genelde iki potansiyel elektrotu, bir DC akım (doğru akım) kaynağı ve ölçüm cihazından oluşmaktadır (Şekil 2.2). Yere yerleştirilmiş iki akım elektrotu ile akım verilir ve potansiyel elektrotları ile oluşan potansiyel farkı ölçülür. Sonra izleyen bağıntı yardımıyla görünür özdirençler hesaplanabilir.



Şekil 2.2. Arazide özdirenç ölçüm şekli (Robert, 2000).

$$p_a = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad (2.17)$$

Burada p_a ; görünür özdirenç, I; akım, V; potansiyel farkı, r_1 , r_2 , r_3 , r_4 ise elektrotlar arası uzaklıkları göstermektedir.

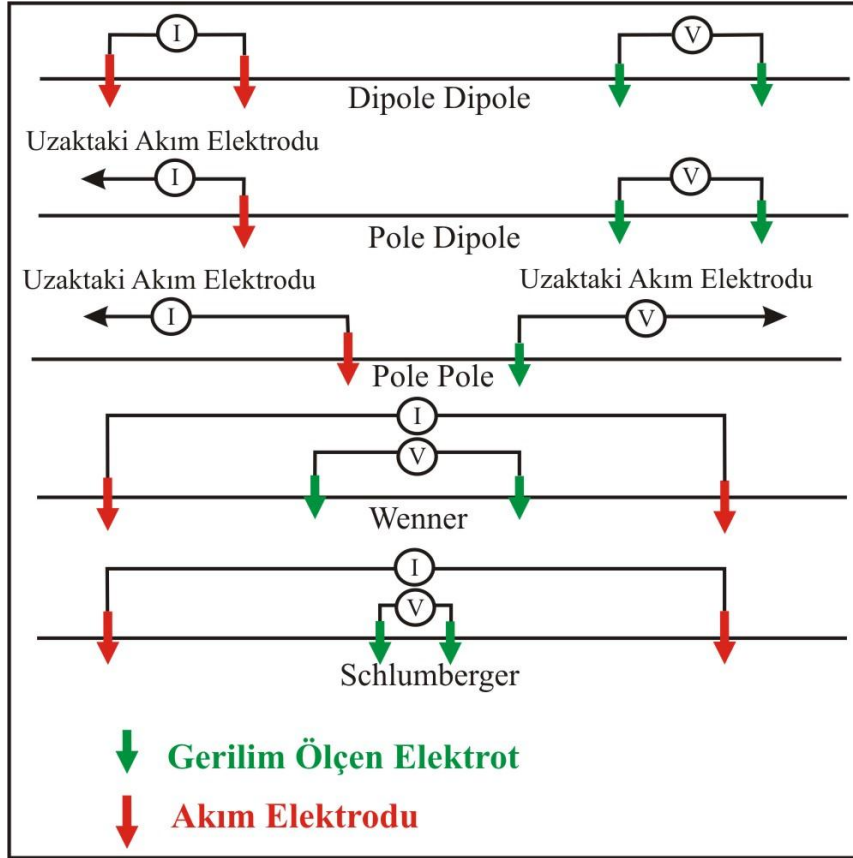
Derinlik hassasiyeti; elektrotlar arası uzaklık, dizilimin türü, akım girişine ve ölçüm ekipmanın hassasiyetine bağlıdır. Bu yöntem düşey ve yatay profillere olmak üzere iki tip uygulanır. Eğer elektrotlar arasındaki uzaklık çok geniş veya akım çok güçlü ise en derinlerdeki materyaller potansiyel elektrotlarındaki potansiyeli etkileyecektir (artırır).

Dizilim merkezi sabit iken düşey profil yönteminde elektrotlar arası uzaklık düzenli olarak artırılır. Yatay profil boyunca yapılan ölçümlerde ise, potansiyel ve akım elektrotları hat üzerinde hareket ettirilir. Yukarıda tanımlandığı gibi yüzey araştırmalarının dışında yer içi elektrik araştırmaları tek veya birden fazla kuyuda yapılabilir. Akım ve potansiyel

elektrotları için tek bir kuyu kullanılırsa ölçümlerin yorumlanması farklı yönelimli olan yüzey araştırmalarına benzer. Şayet akım ve potansiyel elektrotları farklı kuyularda ise tomografi biçimi uygulanır.

A, B akım ve M, N gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir (Şekil 2.3). Aynı yer için farklı elektrot dizilimi ile ölçülen gerilim farkları ve dolayısı ile görünür öz direnç değerleri de farklı olmaktadır. Geleneksel elektrot dizilimleri, elektrotların bir simetri merkezine göre çizgi boyunca dizilmesinden elde edilen; Wenner, Schlumberger, Dipol-Dipol, Pol-Dipol, ve Pol-Pol dizilimleridir.

Bu çalışmanın amacına uygun olarak arazide ölçümler birleşik sondaj profil tekniği kullanılarak Dipol-Dipol ve Pol-Dipol dizilimi ile elde edilmiştir.



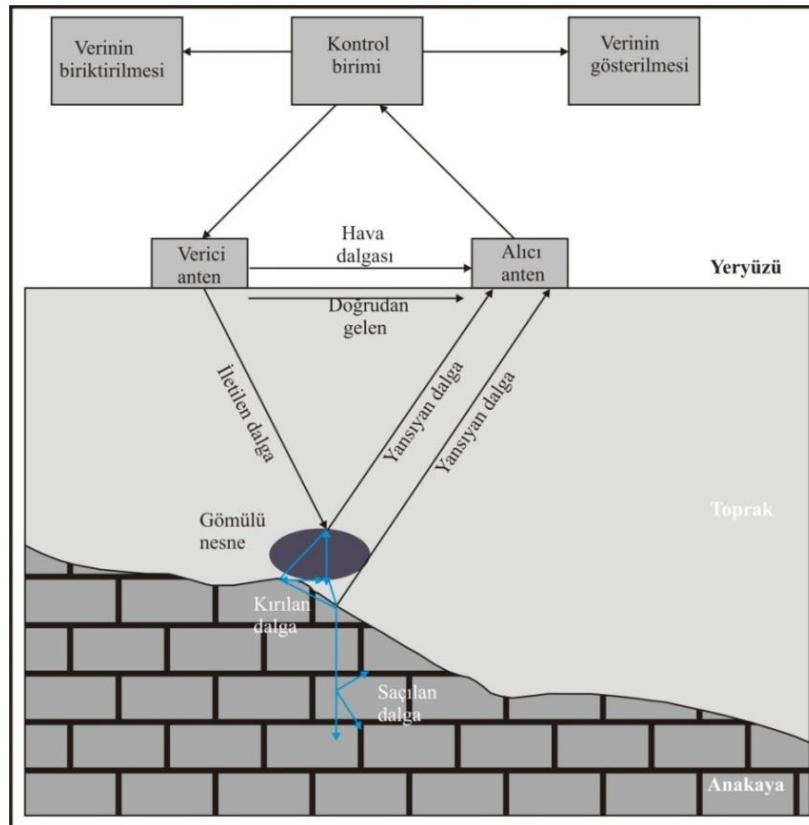
Şekil 2.3. Farklı elektrot dizilimleri (URL-1)

2.2.3. GPR Yöntemi

Yer Radarı (GPR) yeraltının yüksek çözünürlükle görüntülenmesini sağlayan ve son zamanlarda uygulama alanı gittikçe artan bir jeofizik yöntemdir (Lorenzo vd., 2002;

Carcione, 1996). Yer Radarı yönteminde kaynak olarak yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanılmaktadır. Yöntem özellikle sığ derinliklerde yüksek ayrımlılık sağladığından yeraltı jeolojisi ve heterojenliği hakkında bilgi vermektedir. Sondaj yapmadan, kazı yapmadan ya da patlatma yapmadan kullanılması, çevreye zarar vermeden uygulanması yöntemi oldukça çekici hale getirmiştir (URL-2, 2001; Tillard, 1994). Gelişen teknoloji, geliştirilen sayısal radar sistemleri çok farklı uygulamalarda kullanılmak amacıyla elde edilebilmektedir (Knight, 2001).

Bu yöntemde yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar bir verici antenle yeraltına gönderilmektedir. Gönderilen bu dalgaların bir kısmı yeraltında farklı dielektrik özelliklere sahip yüzeylerden yansırken, diğer kısmı da daha derin ortamlara ilerleme fırsatı bulabilmektedir (Şekil 2.4.). Alıcı bir anten ise yansıyan sinyalleri kaydetmektedir. Alınan sinyal, kontrol biriminde biriktirilmekte ve çift-yol seyahat zamanı nanosaniye olarak kaydedilmektedir.



Şekil 2.4. Yer radarının şematik gösterimi (Smemoe, 2000).

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında, çalışma sahasından alınan numuneler (örselenmiş ve örselenmemiş numuneler) laboratuvara getirilerek deneye tabi tutulmuştur.

Çalışma sahasından alınan numuneler üzerinde dane boyu analizi, Atterberg (kıvam) limitleri deneyleri, doğal (tabii) birim hacim ağırlık, su içeriği tayini ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında yapılan deneyler sonucunda zeminin indeks özellikleri ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

✓ İndeks Özellikler

Dane boyu analizi

Atterberg (Kıvam) limitleri

- Likit limit (LL)

- Plastik limit (PL)

- Rötire limit (RL)

Plastisite indisi (PI)

Kıvamlılık indisi (I_c)

Likitlik indisi (LI)

Özgül ağırlık (G_s)

Tane birim hacim ağırlığı (γ_s)

Suyun birim hacim ağırlığı (γ_w)

Doğal su muhtevası (içeriği) (W_n)

Tabii (doğal) birim hacim ağırlığı (γ_n)

Kuru birim hacim ağırlığı (γ_k)

Boşluk oranı (e)

Porozite (n)

Doygunluk derecesi (S_r)

Doygun birim hacim ağırlığı (γ_d)

✓ Pastisite Özellikleri

Statik özellikler

- Kesme direnci (t)

Direnç özellikleri

- Kohezyon (c)

- İçsel sürtünme (kayma direnci açısı) (\emptyset)

2.3.1. Örnek Alımı

Çalışmada yapılacak deneyin türüne göre örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmış, örselenmemiş örnekler 13 cm çaplı tüple (Shelby ve yarık tüplü) temin edilmiştir (Şekil 2.5). Ortam koşullarının korunduğu bu örnekleme yönteminde, örnek alımı özel gereçlerle ve genellikle hidrolik baskı kullanılarak yapılır. Daha sonra çakılan tüplerin alt ve üst kısımları parafinlenerek örneklerin hava ile teması kesilmiştir. Araziden örselenmiş zemin örnekleri ve kayaç örnekleri alınmış ve hava almayacak şekilde poşetlenmiştir.



Şekil 2.5. Zeminden örnek alımı

2.3.2. Dane Boyu (Granülometri) Analizi Deneyi

Zeminlerin katı kısmını meydana getiren taneler boyut ve şekil bakımından farklıdır. Zeminlerin tane boyutları çaplarına göre blok, çakıl, kum, silt ve kil olarak isimlendirilir. Dane boyu dağılım deneylerinde amaç, verilen bir zeminde bulunan her tane boyutunun hangi oranda olduğunu saptanması ve sınıflandırılmasıdır.

İri taneli (çakıl ve kum) zeminlerde tane boyu dağılımı önceden saptanmış elek serileri ile elek analizi yapılarak tespit edilir. İnce taneli (silt ve kil) zeminlerde ise tane boyu dağılımı hidrometre yöntemi kullanılarak bulunur. Elek analizi 200 no'lu elek (0.074

mm) üzerinde kalan numuneler için uygulanırken, hidrometre analizi ise 200 no'lu elek altında kalan numuneler için uygulanmaktadır.

2.3.2.1. Elek Analizi

Zeminler farklı geometri ve boyutlardaki danelerin bir araya gelmesi ile oluşurlar. Zeminleri oluşturan bu danelerin zemin içerisindeki dağılımları zeminlerin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle zeminleri sınıflandırırken zemini oluşturan danelerin dağılımı da etken olmaktadır. Elek analizi deneyi ile zeminleri oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılımı tespit edilir.

Zemini oluşturan danelerin zemin içerisindeki dağılımını tespit edilmesi amacı ile elek analizi yapılır. Bu deney ile zemin içerisindeki ince kum boyutunda ve daha iri tanelerin dane çapı dağılımları elde edilir. Ayrıca zemin içerisindeki kil ve siltin toplam miktarı da bu deney sonunda elde edilebilir.

Deneyde ASTM elek seti, terazi, tepsi, kürek, fırça ve 1000-1500 gr zemin numunesi kullanılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Elek Seti (ASTM 1993'e göre)

Elek analizi ASTM D 422-63 (1993) standartlarına göre yapılmıştır. Yıkamalı elek analizi için bir miktar örnek alınır ve etüve konularak 105° C'de 24 saat kurutulur. Kurutulan örnekten 500 gr alınır ve bir kaba konulur.

Kurutulan numune üzerine 2 gr sodyum hegzametafosfat ve 1lt saf su eklenerek 24 saat bekletilir. Oluşan karışım elek setine aktarılır ve numune alttan temiz su akıncaya kadar saf su ile yıkanır. Yıkanan bu numune saf su kullanılarak bir kurutma kabına aktarılır

ve etüvde 105° C’de 24 saat kurutulur. Kuru numune ağırlığı bulunur. Kuru numune elek setine konur ve birkaç dakika mekanik çalkalayıcı ile çalkalanır. Her eleğin üzerinde kalan numune tartılır ve elek numarası ve açıklığı ile birlikte kaydedilir. Geçen yüzdelere bulunarak granülometri eğrisi (tane boyu eğrisi) çizilir. Deneyin başındaki ve sonundaki numune kaybı % ± 3 ’den fazla olmamalıdır.

2.3.2.2. Hidrometre Analizi

İnce daneli zeminlerin dane dağılımı (200 No’dan küçük) hidrometre yöntemiyle saptanır.

Deney için gerekli araçlar; buharlaşma kabı, desikatör, etüv, fırça, karıştırıcı (mikser), kronometre, hidrometre, piset, terazi, termometre, 2 adet mezür, ayrıştırıcı madde olarak sodyum hegzametapofat, saf su, buharlaşma kabı ve spatula gereklidir.

Hidrometre analizinde kullanılan hidrometreler iki tiptir. Bunlardan birincisi 20° C’de ve özgül ağırlığa göre derecelenmiştir. Bu derecelenmeler 0.995-1.030, 0.995-1.040, 1.000-1.060 limitleri arasında olabilir. 20° C’de 1 litrelik süspansiyonun gram cinsinden değerini veren ikinci tip hidrometreler ise 0-50 limitleri arasında derecelenmektedir.

Karıştırıcı (Mikser), dakikadaki devir sayısı en az 10000 olan bir elektrik motoru ile dönen düşey bir şaft ucunda metalden yapılmış sökölüp takılabilir pervaneler ile ayrıştırma kabından oluşur. Silindirik çökme mezürleri 1000 cm³ hacminde ve yaklaşık 45 cm yüksekliğinde 6-6.5 cm çapındaki camdan oluşmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Hidrometre deney aleti

Hidrometre analizi American Society of Testing Materials (ASTM) D 422- 63 (1993) standartlarına göre yapılmıştır. Deneyin yapılışı kısaca aşağıdaki gibidir:

Killi zeminler için 50 gr, kumlu zeminler için ise 100 gr etüvde kurutulmuş numune alınır. Numunenin üstünü örtecek kadar saf su eklenir, karıştırılır ve numune bu şekilde 24 saat bekletilir. Numune saf su kullanılarak karıştırıcı kabı içerisine aktarılır. Sodyum hegzametaphosfat eklenir. Karıştırıcıya konan bu malzeme üzerine saf su eklenerek 10 dk süreyle karıştırılır. Karışım saf su kullanılarak mezüre aktarılır ve mezürün 1000 ml çizgisine kadar saf su eklenir.

Okumalara başlamadan önce, süspansiyonun bulunduğu mezürün açık ağzı avuç içiyle kapatılarak birkaç kez baş aşağı getirilir. Böylece karışımın homojen duruma gelmesi sağlanır. Yaklaşık 60 saniye süreyle bu işlem yapılır ve 0.25, 0.5, 1, 2 dakikalarda hidrometre süspansiyondan çıkarılmadan okumalar alınır. Daha sonra hidrometre süspansiyondan çıkartılarak karışım yukarıda belirtildiği üzere tekrar çalkalama işleminden geçirilerek karışımın homojen hale gelmesi sağlanır ve ilk 2 dakika için okumalar alınır. Aynı zamanlar için birbirine çok yakın son iki okuma dizileri alınmaya kadar bu işlem sürdürülür. Karışımın sıcaklığı ölçülür.

Bu işlemden sonra süspansiyon tekrar karıştırılır ve ilk 2 dakika için okuma alınmadan bundan sonraki aşamalarda 5., 10., 20., 30. dakikalarda ve bunu takip eden 1., 2., 4., 8., ve 24. saatlerde hidrometre ve sıcaklık ölçümleri yapılır.

Deney sırasında kaydedilen hidrometre okumaları için düzeltme yapmak söz konusudur. Hidrometreler belli bir sıcaklıkta (örneğin 20° C gibi) kalibre edilirler. Düzeltme için deney süresince her bir hidrometre okumasının alınması sırasında mezürün içindeki suyun ölçülen sıcaklığı baz alınır. Daha sonra EK 1'deki eğriden bu sıcaklığa karşılık gelen hidrometre düzeltme katsayısı belirlenir ve alınan hidrometre okumalarından düzeltme katsayısının çıkarılması ile düzeltilmiş hidrometre okuması elde edilir.

$$r = ra - d \quad (2.18)$$

Burada,

r : Süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması

ra : Deney sırasında süspansiyondaki hidrometre okuması

d : Hidrometre düzeltme değeridir (EK 1).

Elde edilen ölçüm değerleriyle tane çapı hesabı iki şekilde yapılır. Bunlardan birincisi ilk 2 dakikadaki ölçümler için tane çapı hesabı, ikincisi ise 2. dakikadan sonraki ölçümler için dane çapının hesabıdır.

İlk 2 dakikadaki ölçümler için dane çapı hesabı Stokes kanununa göre sıvı içindeki serbest düşen bir kürenin hızı aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$V = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}{30 \times \mu} \times D^2 \quad D = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}} \times \sqrt{\frac{Z_r}{t}} \quad (2.19)$$

2 dakikadan sonraki ölçümler için tane çapı hesabı;

$$D = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(\gamma_s - \gamma_w) \times 980}} \times \sqrt{\frac{Z_r - \left(\frac{V_H}{2 \times A_j}\right)}{t}} \quad (2.20)$$

Burada;

D : Dane boyu (mm)

μ : Deneysel sıcaklıktaki suyun viskozitesi (EK 2)

γ_s : Tane birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

γ_w : Deneysel sıcaklıktaki suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm³) (EK 2)

Z_r : Süspansiyonun yüzeyinden hidrometre hacim merkezine olan uzaklık (cm) (EK 1'deki efektif derinlik eğrisinden bulunur)

H_v : Hidrometre hacmi (cm³) (67 cm³)

A_j : Mezürün kesit alanı (cm²) (27.17 cm²)

t : Toplam geçen zamandır (dk).

Geçen yüzde hesabı, herhangi bir hidrometre okumasına karşılık bulunan D dane çapından daha küçük danelerin yüzdesi aşağıdaki formül yardımıyla bulunur:

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{V_{sp}}{W_s} \times (r - r_s) \times 100 \quad (2.21)$$

Burada;

N : D dane çapından küçük tanelerin yüzdesi (%)

G_s : Numunenin özgül ağırlığı

V_{sp} : Süspansiyonun hacmi (cm^3)

W_s : Kuru zemin ağırlığı (gr)

r : Süspansiyondaki düzeltilmiş hidrometre okuması

r_s : Sudaki hidrometre okumasıdır (süspansiyon ile aynı sıcaklıkta) (EK 2).

2.3.3. Su İçeriği Deneyi

Doğal ortamındaki haliyle muhafaza edilmiş zemin numunelerinde doğal su içeriğini tespit amacıyla yapılan deneydir. Su içeriğinin belirlenmesinde kullanılan standart metodun amacı, yaş zemin örneğini etüvde kurularak içerdiği suyun kütlesini belirlemek ve bunu zeminin kuru kütlesinin yüzdesi olarak vermektir.

Deney yapımında $105^\circ C - 110^\circ C$ arasında tutulabilen bir etüv, kapaklı cam tartım şişesi veya paslanmaz, hava geçirmez, yaklaşık 50 mm çapında, 25 mm yüksekliğinde metal kutu, 0.01 gr duyarlılıkta terazi, içinde susuz silika jeli bulunan, yaklaşık 200-250 mm çapında bir desikatör, 500 gr kadar numune konabilecek büyüklükte, paslanmaz, hava geçirmez, kapaklı kap ve yaklaşık 200 mm uzunluğunda ve 100 mm genişlikte bir bakkal küreği gereklidir.

Su içeriği tayini American Society of Testing Materials (ASTM) D6780-05 (2005) standartlarına göre yapılmıştır. Deneyin yapılışı kısaca aşağıdaki gibidir:

Bir cam tartım şişesi veya metal kutu (nem içeriği kabı) temizlenip kurutulduktan sonra kapağı ile birlikte 0.01 gr duyarlılıkla tartılır (m_1). 10 g dan az olmayan bir zemin numunesi ufalanıp gevşek olarak kabın içine konur ve kapatılır. Kap ve içindeki numune en yakın 0.01 gr duyarlılıkla tartılır (m_2). Kap, kapağı açık olarak etüve konur ve $105^\circ C - 110^\circ C$ sıcaklıkta kurutulur. Bünyesinde jips bulunması ihtimali olan zeminlerin numuneleri $800C$ den fazla olmayan sıcaklıkta ve daha uzun bir süre tutularak kurutulur. Numunenin tam kurumuş kabul edilmesi için gereken kurutma süresi zeminin türüne ve numunenin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. İlke olarak numune, değişmez kütleyle erişene kadar kurutulur. (Etüvde kurutulan numune soğuduktan sonra tartılır ve tekrar etüve konarak 24 saat kuruduktan sonra soğutulup tartıldığında, bu iki tartım arasındaki fark numunenin başlangıçtaki (yaş haldeki) kütlesinin % 0.1'inden büyük değilse, numune değişmez kütleyle erişmiş sayılır. Çoğu durumda 16-24 saatlik kurutma süresi yeterlidir)

Numune etüvde iken kabın kapağı kapatılmaz; ancak kabın altına yerleştirilecek kapla birlikte etüvde tutulur. Numune kuruduktan sonra etüvden çıkarılarak desikatöre konur ve soğumaya bırakılır. (Numune kutusunun ağzı kapakla kapatıldıktan ve tartımdan sonra gereğinden fazla bekletilmeyecekse desikatöre konulmasına gerek yoktur). Numune oda sıcaklığına eriştiğinde kapağı kapatılan kap, içindeki numuneyle birlikte 0.01gr duyarlılıkla tartılır (m_3).

Zeminin nem (su) içeriği, w , kuru zeminin kütlelerinin yüzdesi olarak aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$W = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} \times 100 \quad (2.22)$$

Burada;

W : Su içeriği (%)

m_1 : Kabın kütlesi (gr)

m_2 : Kap + yaş numunenin kütlesi (gr)

m_3 : Kap + kuru numunenin kütlesidir (gr).

2.3.4. Atterberg (Kıvam) Limitleri

İnce daneli zeminler su içeriklerinin değişmesi ile sıvı, plastik ve katı malzeme davranışlarına sahip olabilmektedirler. İnce taneli zeminlerin bu değişik hallerini belirleyen su içerikleri, Atterberg (Kıvam) Limitleri deneyi ile elde edilir. Atterberg (Kıvam) limitlerinin bir zemin laboratuvarındaki önemi büyük olup özellikle zeminin özelliklerini saptamada kullanılır.

Bir zeminin plastiklik özelliğinin düşük veya yüksek oluşu ile killerin yağlı ve yağsız oluşu Atterberg (kıvam) limitleri ile belirlenebilir. Atterberg (Kıvam) limitleri; likit limit (LL), plastik limit (PL), ve rötre limiti (RL)'den oluşur. Atterberg (Kıvam) limitleri ayrıca, zeminin tane boyu değerleri ile birlikte kullanılarak zeminlerin sınıflandırılmasında da kullanılır. Likit limit (LL), plastik limit (PL) ve doğal su muhtevası (W_n), ve 0,002 mm' den küçük (kil boyutu) tane boyu yüzde değerlerinden (J) faydalanılarak zeminin plastisite indisi (PI), kıvamlılık indisi (I_c), likitlik indisi (LI) değerleri hesaplanıp, zemine ait çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir.

2.3.4.1. Likit Limit Deneyi

Likit Limit (LL): Zeminin kayma direnci azalarak, akmaya başladığı andaki su muhtevasıdır (Uzuner, 1998). Bunun belirlenmesinde kullanılan deney aleti (Casagrande Metodu) 1 cm yüksekten, sert tabana düşürülen küre parçası bir metal kaptan oluşur (Şekil 2.8). ASTM D 4318-84 standardına göre yapılır.

Casagrande aleti (Likit limit aleti), oluk açma bıçağı, saf su, 40 no' lu elek, terazi (0.01 gr duyarlılıkta), etüv (Numuneyi kurutmak için gerekli fırın) ($110 \pm 5^\circ \text{C}$ sıcaklıkta), numune kapları (numaralı), porselen kap, spatula ve cam plaka gereklidir.

Araziden alınan numune açık havada kurutulur ve daha sonra 40 no' lu elekten elenerek yaklaşık 250-300 gr numune alınır.



Şekil 2.8. Casagrande deney aleti

Deneye başlamadan önce Casagrande aletindeki (likit limit aletindeki) pirinç kabın sert plastiğe düşüş yüksekliğinin 1 cm olup olmadığı kontrol edilmelidir. Casagrande aletindeki numune konulan kabın (pirinç kap) sert plastiğe düşüş yüksekliğinin 1 cm olması gerekir. Bu yüksekliğin kontrolü için en kesiti kare 1 cm boyutlarında olan standart oyuk açma bıçağının sapı kullanılabilir. Deney aleti ve oyuk açma bıçağı her deneyden önce temiz, kuru ve çalışır durumda olmalıdır.

Likit limit deneyi ASTM D 4318-84 (1993) standartlarına göre yapılmıştır. Deney için 40 no'lu elekten geçen malzeme üzerine saf su eklenerek bir porselen kap içerisinde spatula ile karıştırılır. Hazırlanan bu numuneden bir parça alınarak Casagrande aletindeki (likit limit aletindeki) pirinç kap için konur. Maksimum yüksekliği tabana paralel olarak düzlenir. Oluk açma bıçağı kullanılarak zemin belirgin bir şekilde iki eşit kısma bölünür. Bu işlem yapılırken oluk açma bıçağı pirinç kap yüzeyine dik olarak tutulmalıdır. Likit

limit aletindeki kol, saat yönünün tersi yönünde saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek zeminin iki parçasının oluk tabanında 1 cm boyunca birleşmesini sağlayacak darbe sayısı saptanır. Su içeriğinin belirlenmesi için, birleşen kısımdan kuru ve temiz spatula ile bir miktar (yaklaşık 10 gr) yaş numune alınıp ağırlığı bilinen bir kaba (numune kabına) konulur. 0,01 gr duyarlılık bir terazide kap+yaş numune tartılarak ağırlığı kaydedilir. Numune kuruması için etüve konur ve 24 saat beklenir. 24 saat sonunda etüve kurutulan numunenin kuru ağırlığının belirlenmesi ile numunenin su muhtevası saptanır.

Daha sonra kaptaki malzeme porselen kaba alınır ve su içeriği arttırılarak yeni bir darbe sayısı saptanır. Bu işlemlere 10 ile 40 arasında en az 4 darbe sayısı saptanıncaya kadar devam edilir. Saptanan her darbe sayısı için su içeriği belirlenir.

Her denemede elde edilen su içeriğine karşı darbe sayısı, yarı logaritmik bir grafik kağıdı üzerine işaretlenir. Bu işlem için, su içeriği değerleri ordinat eksenini boyunca, darbe sayısı logaritmik apsis eksenini boyunca işaretlenir. Elde edilen noktalardan uygun biçimde bir doğru geçirilir ve bu doğru üzerinde 25 darbeye karşılık gelen su içeriği değeri zeminin likit limit (LL) değerini verir.

2.3.4.2. Plastik Limit Deneyi

Plastik Limit (PL): Zemin numunesinin cam tabla üzerinde avuç içi ile yuvarlanırken 3 mm çapında 8 mm boyunda silindirik numuneler haline getirildiği ve bu silindirik numuneler üzerinde çatlakların oluştuğu andaki su içeriği olup % olarak ifade edilir (Uzuner, 1998).

Geniş cam plaka (levha), saf su, terazi (0.01 gr ağırlıkta), etüv (110 ± 5 °C sıcaklıkta), numune kapları (numaralı) ve spatula gereklidir. Plastik limit deneyi ASTM D 4318-84 (1993) standartlarına göre yapılmış olup deneyin yapılışı aşağıdaki gibidir:

40 no'lu elekten geçen malzemeden yaklaşık 20 gr numune alınıp bir kap içerisine konur. Daha sonra üzerine saf su eklenerek homojen duruma gelene ve plastik olana kadar karıştırılıp yoğurulur. Numune cam üzerine konarak avuç içi ile 3 mm çapında silindirik parçalar elde edilinceye kadar yuvarlanır. Bu yoğurma ve yuvarlama işlemine 3 mm çapındaki zemin yüzeyinde çatlama ve kopmalar meydana gelinceye kadar devam edilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Plastik limit deneyinde elde edilen 3mm çapındaki silindirik parçalar

Zemin istenilen özelliklere ulaştığında en az 5 gr'lık numune bir kaba konur. 0,01 gr duyarlıklı bir terazide kap+yaş numune tartılarak ağırlığı kaydedilir. Numune kurumasi için etüve konur ve 24 saat beklenir. 24 saat sonunda etüvde kurutulan numunenin kuru ağırlığının belirlenmesi ile numunenin su muhtevası (içeriği) (W_n) saptanır.

Bütün bu işlemler birkaç defa daha yapılarak su içeriği değerleri bulunur ve bu değerlerin ortalaması alınarak plastik limit (PL) değeri belirlenir.

2.3.5. Özgül Ağırlık Deneyi

Özgül Ağırlık: Bir zeminin özgül ağırlığı, belli hacimdeki zemin tanelerinin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta eşit hacimdeki saf suyun havadaki ağırlığına oranıdır (Can ve diğerleri, 1992).

Piknometre (50, 100, 250, 500 ml 'lik piknometrelerden uygun olanı), saf su, vakum uygulayıcı alet, terazi (0.01 gr duyarlıkta), etüv ($110 \pm 5^\circ$ C sıcaklıkta), 1° C hassaslığa kadar okunabilen bir termometre ve damlalık ya da pipet gereklidir.

Piknometre yıkanır. Piknometre ters çevrilip 15-20 dakika beklenecek şekilde kurumasi sağlanır. Piknometre üzerinde bulunan ve yapımçı firma tarafından konulan işarete kadar havası alınmış saf su ile doldurulur. Sudaki menüsküsün alt yüzeyi işarete getirilir. Piknometrenin boş kalan kısmı ve dış yüzeyleri kurulanır. Piknometre, içerisindeki su ile birlikte 0.01 gr duyarlıktaki bir terazide tartılır. Ağırlık ($W_{pw(T_a)}$) olarak kaydedilir.

Piknometre içerisinde bulunan suyun sıcaklığının üniform olmasını sağlamak için piknometre birkaç defa baş aşağı getirilir (alt-üst edilir). Suyun sıcaklığı hassas bir şekilde kaydedilir (T_a).

Suyun sıcaklığını mevcut oda sıcaklığının 4-5° C altına getirebilmek için piknometre soğuk su kabına konulur. Gerekirse soğumanın hızlandırılması için buz da kullanılabilir.

Üniform sıcaklık sağlanıncaya kadar son üç adımda açıklanan işlemler tekrarlanmalıdır. Piknometredeki suyun soğuması ile hacmi azalacağından, azalma miktarı kadar su ilave edilerek menüsküs tabanının tekrar piknometrede bulunan işaretin üzerine teması sağlanır.

Kalibrasyon eğrisinin çizilmesinde kullanılacak üçüncü bir nokta için piknometre ve içerisindeki su ısıtılarak mevcut oda sıcaklığının yaklaşık olarak 5° C üstüne çıkarılması sağlanır. Su ısınınca hacmi artacağından su seviyesini sabit tutabilmek için bir miktar suyun boşaltılması gerekebilir.

Kalibrasyon eğrisinin çizilebilmesi için piknometre ve içindeki su, oda sıcaklığının yaklaşık olarak 10-15° C üstündeki (veya altındaki) sıcaklıklarda ısıtılarak en az 4 nokta (daha fazla nokta daha iyi sonuç verecektir) elde edilir. İçi su dolu piknometre ağırlığına $W_{pw(T_a)}$ karşılık, sıcaklık T_a kalibrasyon eğrisi elde edilir. Piknometre kuru ve temiz olarak tartılır (W_p). Piknometre oda sıcaklığında saf su ile doldurulur ve piknometre+su ağırlığı bulunur ($W_{pw(T_a)}$). Piknometrenin şişkin kısmından termometre ile suyu sıcaklığı (T_a) ölçülür.

$W_{pw(T_a)}$ ağırlığı daha sonra herhangi bir T_x sıcaklığı için aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$W_{pw(T_x)} = \left[\frac{\gamma_w(T_x)}{\gamma_w(T_a)} \times (W_{pw(T_a)} - W_p) \right] + W_p \quad (2.23)$$

Burada;

$W_{pw(T_x)}$: Düzeltilmiş piknometre+su ağırlığı (gr)

$W_{pw(T_a)}$: Gözlemlenen piknometre+ su ağırlığı (gr)

W_p : Piknometre ağırlığı (gr)

$\gamma_w(T_x)$: T_x sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığı (gr/cm³)

$\gamma_w(T_a)$: T_a sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığıdır (gr/cm³).

Özgül ağırlık deneyi ASTM D 854-92 (1993) standartlarına göre yapılmıştır. 4 no'lu elekten geçen, etüvde kurutulmuş kohezyonlu zeminden 20-75 gr; etüvde kurutulmuş

kohezyonsuz zeminden ise 100-150 gr alınır. 0,01 gr hassasiyetle tartılan bu malzeme kalibre edilmiş piknometreye aktarılır.

Üzerine piknometrenin yarısını dolduruncaya kadar su eklenir. Böylece piknometrenin ince boyun kesiminde kalabilecek olan malzeme piknometrenin içine yıkanmış olur. Karışım içerisindeki havayı çıkartmak için piknometrenin ağzından vakum altında karışım yaklaşık 10 dakika süre ile yavaşça kaynatılır. Kaynamadan sonra 10- 15 dakika süre ile tekrar kısmi vakum uygulanır. Bu sırada hava kabarcıklarının çıkışını izlemek mümkündür. Kaynama sırasında karışımın taşmamasına dikkat edilmelidir.

Hava alma işleminin sonuna doğru piknometreye ince boyun kesimindeki kalibrasyon çizgisinin yaklaşık 1-1.5 cm altına dek havası alınmış saf su eklenir. Piknometrenin dış yüzeyi ve su bulunmayan iç kısımları kağıt havlu ya da peçeteler yardımıyla kurulanır.

Saf suyun havası alınıncaya dek vakum uygulanır. Vakum uygulaması kesildiğinde süspansiyon seviyesi 1 mm'den az alçalırsa süspansiyonun içindeki havanın tümünün alınmış olduğu kabul edilir. Piknometreye havası alınmış saf su ilave edilerek menüsküsün tabanının piknometre üzerinde bulunan kalibrasyon çizgisine kadar gelmesi sağlanır. Piknometrenin dış yüzeyi ve su bulunmayan iç kısımları kağıt havlu ya da peçeteler yardımıyla kurulanır.

Piknometre, içerisindeki karışım ile birlikte 0,01 gr duyarlıklı terazi ile tartılır ve $W_{psw(Tx)}$ (Piknometre+kuru numune+su) olarak kaydedilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Piknometre deney düzeneği

Tartımdan hemen sonra karışım sıcaklığının her noktada aynı olabilmesi için piknometrenin ağzı kapatılarak birkaç defa baş aşağı getirilir (alt-üst edilir). Karışım sıcaklığı T_x olarak kaydedilir.

$$G_{s(T_x)} = \frac{W_s \times G_w(T_x)}{W_s + W_{pw(T_x)} - W_{psw(T_x)}} \quad (2.24)$$

Burada;

$G_{s(T_x)}$: Zemine ait özgül ağırlık

W_s : Kuru numune ağırlığı (gr)

$W_{pw(T_x)}$: T_x sıcaklığındaki piknometre + su ağırlığı (gr)

$W_{psw(T_x)}$: T_x sıcaklığındaki piknometre + numune + su ağırlığı (gr)

$G_w(T_x)$: Suyun T_x sıcaklığındaki özgül ağırlığıdır.

2.3.6. Boşluk Oranı, Porozite, Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlığı Tayini

Çalışma sahasında alınan bozulmamış silindirik örneklerden $6 \times 6 \times 2$ boyutundaki kare ringler kullanılarak numuneler alınmış ve zeminin tabii (doğal) birim hacim ağırlığı bulunmuştur.

Ayrıca zeminin yaş ve kuru ağırlığı belirlendikten sonra zemine ait doğal su muhtevası (içeriği) bulunmuştur. Bulunan bu sayısal verilerden yararlanarak zemine ait numunenin doğal su muhtevası (içeriği), tabii (doğal) birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, doygunluk derecesi, boşluk oranı, porozite ve doygun birim hacim ağırlığı bulunmuştur.

$$V_T = A_T \times H_T \quad (2.25)$$

Burada;

D_T : Silindirik tüpün çapı (cm)

H_T : Silindirik tüpün yüksekliği (cm)

A_T : Silindirik tüpün alanı (cm²)

V_T : Silindirik tüpün (numunenin) hacmi (cm³)

$$\gamma_n = \frac{W_n}{V} \quad (2.26)$$

W_n : Doğal numune ağırlığı (kN)

γ_n : Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m³)

$$W = \left[\frac{W_y - W_k}{W_k} \right] \times 100 \quad (2.27)$$

W : Su muhtevası (içeriği) (%)

W_y : Yaş numune ağırlığı (kN)

W_k : Kuru numune ağırlığı (kN)

$$\gamma_k = \frac{\gamma_n}{1 + W_n} \quad (2.28)$$

γ_k : Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m³)

$$\gamma_s = G_s \times \gamma_w \quad (2.29)$$

γ_s : Tane birim hacim ağırlığı (kN/m³)

G_s : Özgül ağırlık

γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı (kN/m³)

$$S_r = \frac{G_s \times W_n}{\frac{\gamma_s - 1}{\gamma_k}} \quad (2.30)$$

S_r : Doygunluk derecesi (%)

$$e = \frac{W_n \times G_s}{S_r} \quad (2.31)$$

e : Boşluk oranı

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (2.32)$$

n : Porozite

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s + e \times \gamma_w}{1 + e} \quad (2.33)$$

γ_d : Doygun birim hacim ağırlığıdır (kN/m³).

2.3.7. Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyi

Üç eksenli hücre kesme deneyinde yaygın olarak 35-150 mm arasında değişen çapta silindirik zemin örnekleri kullanılır. Zemin örneği lastik bir kılıf içine konarak hücre içine yerleştirilir ve hücre su ile doldurulur.

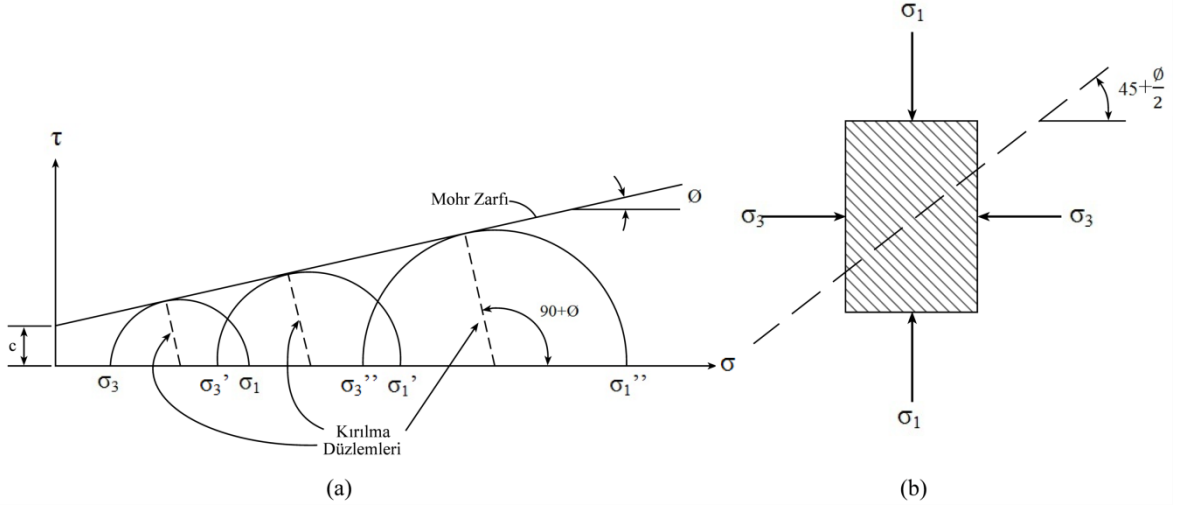
Örneğin alındığı derinlikteki küçük ve orta asal gerilmeleri sağlayan uygun bir hücre basıncında numune kırılıncaya kadar düşey yükün uygulanması sürdürülür. Drenajlı ya da drenajsız koşullarda gerçekleştirilen bu işlem farklı hücre basınçlarında yinelenir. Mohr dairesi asal gerilmeler olarak tanımlanan çevre ve düşey normal gerilmelerinden (σ_3 ve σ_1) elde edilir (Şekil 2.11a).

Yanal basınç örneğin bütün düşey düzlemlerine dik yatay gerilmeler yaratır. Oysa yalnız iki düşey düzlemde gerilme σ_3 değerine eşittir (Şekil 2.11b). Gerek düşey gerekse çevre basıncı hiçbir yatay düzlemde ve düşey iki düzlemde kayma gerilmesi oluşturmaz. Bu nedenle zeminin yatay ve düşey düzlemleri yalnızca büyük (σ_1) ve küçük (σ_3) asal gerilmelerin etkisindedir.

Deneyde kullanılan örnek çap uzunluk oranı genellikle 1:2 ile 1:3 arasındadır ($1/2 \leq D/L \leq 1/3$). Bu oran iki dolayında tutulduğunda düşey eksen boyunca eşit olmayan boy kısaltmalarının etkisi en aza indirilmektedir.

Üç eksenli deney cihazı ile deviatör gerilme ve çevre basıncı kontrol edilmekte ve ayrıca boşluk suyunun drenajı sağlanabilmekte ve boşluk suyu basıncı kontrol edilebilmektedir.

Deneyde uygulanan eksenel yük deviatör yük gerilme de deviatör gerilme (σ_d) olarak bilinir ve büyük asal gerilme (σ_1) ile küçük asal gerilme (σ_3) farkı olarak ifade edilir. Deney sırasında düşey yük uygulanan silindirik yüzeyin ilk alanı (A_0) boy kısaltması nedeniyle bir (A) değerine ulaşır ve deviatör gerilme yükün düzeltilmiş alana oranından elde edilir.



Şekil 2.11. Hücre kesme deneyinde Mohr daireleri ve Mohr zarfı (a), örnek gerilmeler (b) (Cernica, 1995)

Üç eksenli hücre kesme deneyinde tipik şekil değiştirme ve kırılma Şekil 2.12’de görülmektedir. Eksenel yük uygulandığında silindirik zemin örneğinde yanal genleşme orta kısımda daha fazla, alt ve üst kısımlarda ise zemin ile disk arasındaki sürtünmeden dolayı daha azdır. Bu nedenle silindirik zemin örneği yumuşak killerde varil şekline dönüşmekte ve kayma yüzeyi her zaman belirmemektedir. Aşırı konsolide killerde ise varilleşme belirmemekte, buna karşılık kayma düzlemleri oluşmaktadır.

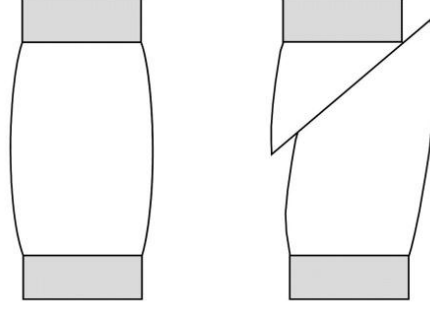
Deney sırasında numunenin ilk alanı (A_0) değişmez kalmayacağı için düzeltilmiş alan (A)

$$A = A_0 \frac{1-\varepsilon_v}{1-\varepsilon_z} \quad (2.34)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

ε_v : Birim hacimsel değişim ($\varepsilon_v = \Delta V/V_0$)

ε_z : Eksenel birim boy değişimi ($\varepsilon_z = \Delta z/L_0$).



Şekil 2.12. Üç eksenli hücre kesme deneyinde tipik şekil değiştirme ve kırılma (Lambe ve Whitman, 1979)

Üç eksenli hücre kesme deneyinde zemine uygulanan ortalama gerilmeler ve deformasyonlar

$$\text{Eksenel toplam gerilme : } \sigma_1 = \frac{P_z}{A} + \sigma_3 \quad (2.35)$$

$$\text{Deviatör gerilme : } \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P_z}{A} \quad (2.36)$$

$$\text{Eksenel deformasyon : } \varepsilon_z = \frac{\Delta z}{L_0} \quad (2.37)$$

$$\text{Radyal deformasyon : } \varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r_0} \quad (2.38)$$

$$\text{Hacimsel deformasyon : } \varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V_0} = \varepsilon_z + 2\varepsilon_r \quad (2.39)$$

$$\text{Deviatör deformasyon : } \varepsilon_d = \frac{2}{3}(\varepsilon_z + \varepsilon_r) \quad (2.40)$$

bağıntıları ile tanımlanır.

P_z : Piston yükü (deviatör yük)

Δz : Örnek boyundaki değişme

L_0 : Örneğin başlangıç boyu (yüksekliği)

Δr : Örnek yarıçapındaki değişim

r_0 : Örneğin başlangıç yarıçapı

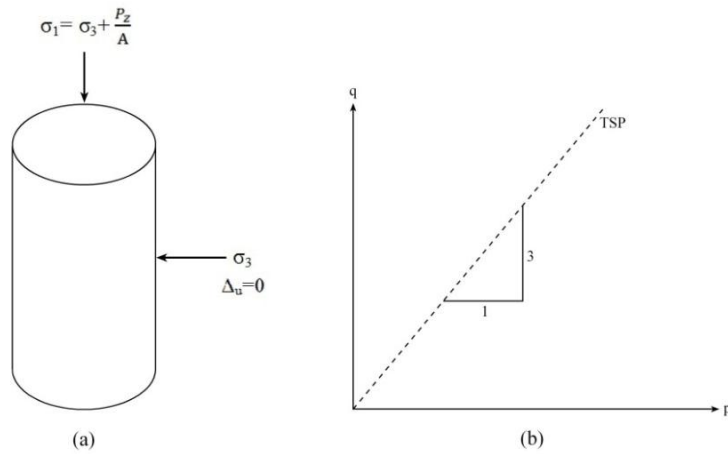
ΔV : Örneğin boyundaki değişme

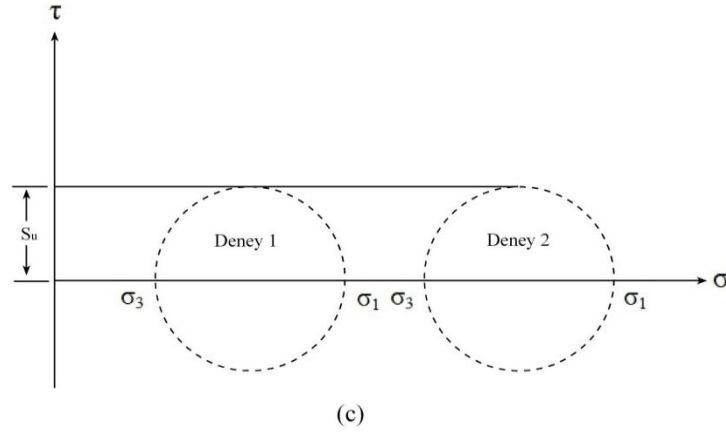
V_0 : Örneğin başlangıç hacmi

Deney sırasında örneğin hacmi artarsa Eşitlik 2.34 de değer $(1 + \epsilon_v)$ ile ifade edilir. Drenajsız deneyde birim hacim değişme yoktur. Bu nedenle drenajsız deneyler değişmez Drenajlı deneylerde orta ve küçük asal gerilmeler eşit olduğu için birim hacimsel değişim, aksenal ve radyal değişimin fonksiyonudur (Eşitlik 2.39). Üç eksenli hücre kesme deneyleri boşluk suyu basıncı değişimine göre konsolidasyonsuz-drenajsız (UU), konsolidasyonlu-drenajsız (CU) ve konsolidasyonlu-drenajlı (CD) deneyler olmak üzere üç şekilde yapılır.

2.3.7.1. Konsolidasyonsuz- Drenajsız (UU) Deneyi

Doygun zeminlerde çok uygun olan UU deneyi, numunenin konsolide olmasına izin verilmeden aksenal gerilmenin artırılması ile yapılır ve kesme ani olarak gerçekleştirilir. Bu nedenle hızlı olarak da bilinmektedir. Drenaja izin verilmediği için drenaj hattı kapalı tutulur, böylece numunenin su içeriği ve hacmi değişmez kalır. Boşluk suyu basınçları sistem çıkamadığı için en yüksek düzeye çıkar. Aynı zemin örneği üzerinde farklı hücre basınçlarında yapılan UU deneylerde Mohr daireleri aynı boyutta olup yalnızca ötelenmiştir (Şekil 2.13).





Şekil 2.13. *UU* deneyde gerilmeler (a), gerilme izi (b) ve Mohr daireleri (c) (Budhu, 2000)

2.3.7.2. Konsolidasyonlu- Drenajsız (CU) Deney

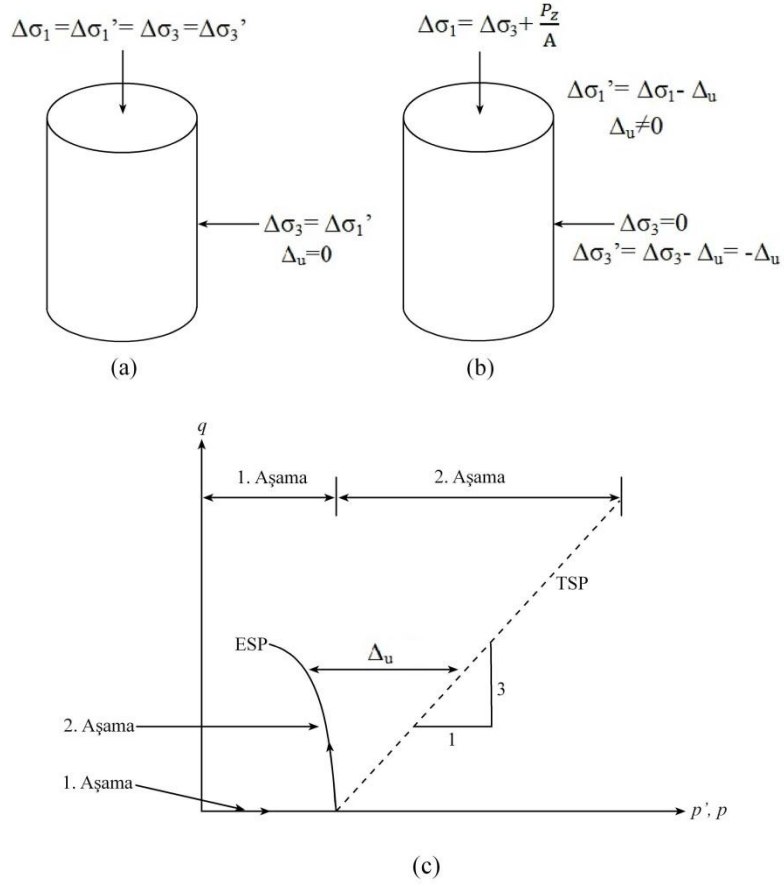
Deney, konsolidasyon aşaması ve kesme aşaması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. Zemin örneği kesme aşamasından önce yerindeki çevre basıncına eşdeğer basınçta konsolide edilir.

Numunenin konsolidasyonu izotrop (I) ve (A) olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir ve deneyler konsolidasyon türüne göre CIU ve CAU olarak simgelendirilir. İzotrop konsolidasyonda numuneye her yönden eşit çevre basıncı uygulanıp fazla boşluk suyu basıncının sönmülmesine izin verilir.

Anizotrop konsolidasyonda ise numunenin K_0 koşullarında olduğu kabul edilerek yanal basınç artırılırken düşey basınç da $\sigma_1 = \sigma_3 / K_0$ oranında yükseltilir.

CU deneyinin konsolidasyon aşamasındaki gerilmeler Şekil 2.14a'da, kesme aşamasındaki gerilmeler Şekil 2.14b de görülmektedir. CD deneyden farklı olarak kesme aşamasında izin verilmez.

Eksenel yük drenajsız koşulda artırılırken boşluk suyu basınçları ölçülür. Böylece CU deneyde direnç parametreleri toplam ve efektif gerilmeler türünden bulunabilir ve gerilme izlerinin efektif (ESP) ve toplam (TSP) gerilme türünden bilinmesine olanak sağlanır. TSP doğrusal özellikte buna karşılık boşluk suyu basıncının artışının doğrusal olmaması nedeni ile ESP doğrusal değildir ve zeminin kırılması sırasında eğrilir (Şekil 2.14c).

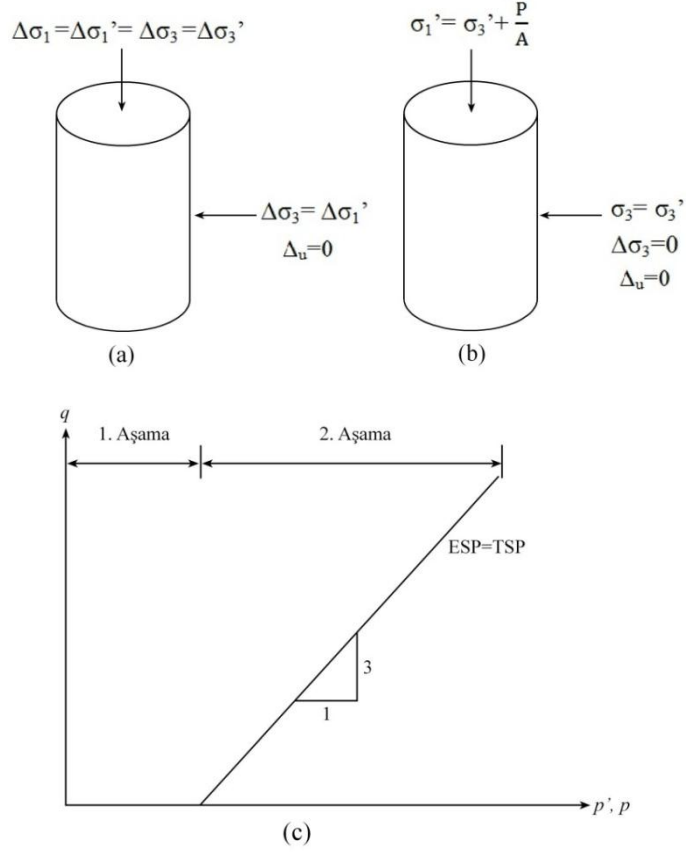


Şekil 2.14. *CU* deneyde konsolidasyon aşamasında gerilmeler (a), kesme aşamasında gerilmeler (b), toplam ve efektif gerilme izleri (c) (Budhu, 2000)

2.3.7.3. Konsolidasyonlu-Drenajlı (CD) Deneyi

CD deneyde önce numune konsolidasyonlu- drenajsız deneylere benzer şekilde öngörülen çevre basıncında konsolide edilir. Doygun zeminlerde izotropik konsolidasyon aşamasında başlangıç fazla boşluk suyu basıncı çevre basıncına eşittir ($\Delta u = \Delta \sigma_3$). Boşluk suyu basıncı bu aşama sonunda sıfırdır ($u=0$). İkinci aşama olan kesme aşamasında drenaja izin verilerek boşluk suyu basınçlarında artış olmayacak hızla kesilir.

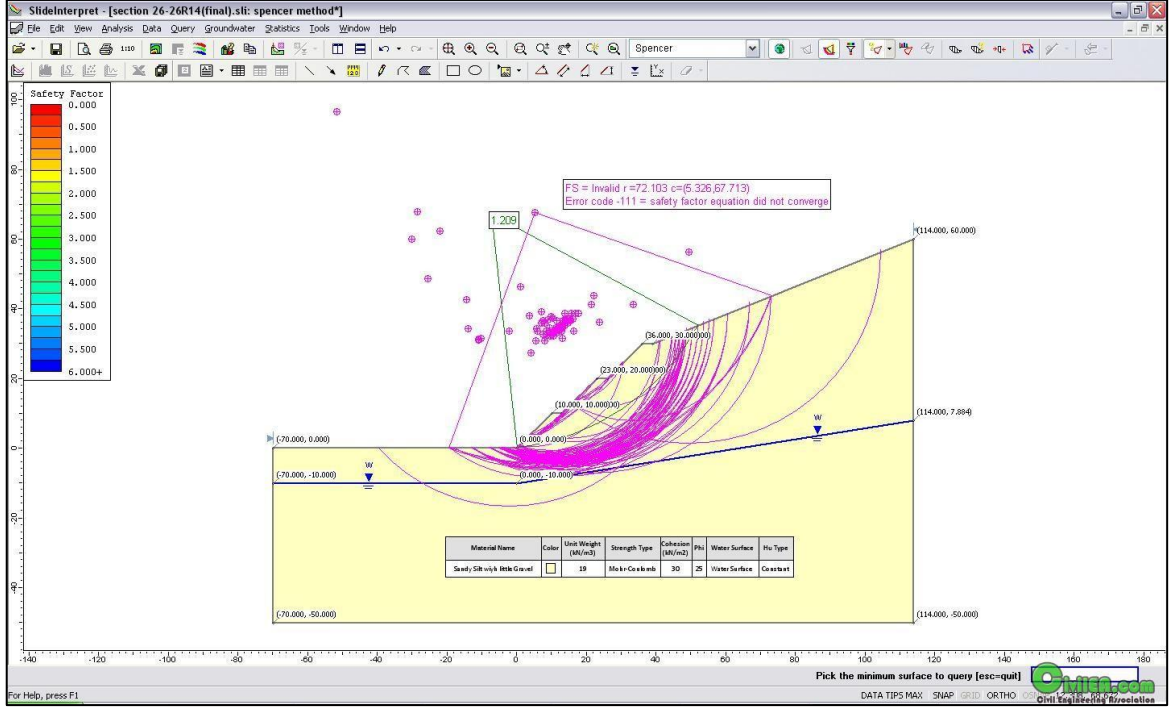
Böylece boşluk suyu basıncı sıfır olduğu için toplam ve efektif gerilmeler birbirine eşit ($\sigma_3' = \sigma_3$, $\sigma_1' = \sigma_1$) ve bunlara göre çizilen Mohr daireleride aynı olur. CD deneyin konsolidasyon ve kesme aşamasındaki gerilmeler Şekil 2.15a ve b, gerilme izi ise Şekil 2.15c'de görülmektedir.



Şekil 2.15. *CD* deneyde konsolidasyon aşamasında gerilmeler(a), kesme aşamasında gerilmeler(b), efektif ve toplam gerilme izi (c) (Budhu, 2000)

2.4. Slide Programı

“Slide v.5.0” programı zemin şevleri için güvenlik sayılarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır (Şekil 2.16). Program ile değişken özellikler gösteren, farklı geometrilerdeki yüzeyler gibi basit ve karmaşık problemler modellenebilmekte, boşluk suyu basıncının etkisi, zemin özellikleri ve çeşitli analiz yöntemleri ile yükleme koşulları belirlenebilmektedir. Ayrıca, programda analiz yaparken heterojen zemin tipleri ve karmaşık stratigrafik durumlarda değerlendirilebilmektedir.



Şekil 2.16. Slide programından bir görüntü (URL-3)

Slide v.5.0 programı kullanılarak Bishop ve Janbu yöntemi ile güvenlik sayıları belirlenmektedir.

Genelleştirilmiş Janbu yönteminde herhangi bir varsayım yapılmadığından, genel denklemdeki bilinmeyen sayısı, bilinenlere karşı artmaktadır. Bu nedenle çözüm karmaşıklaşmakta, çoğu zaman da el ile çözüme imkan vermemektedir. Böylece çözümde dilimler arası kayma kuvvetleri sıfır alınarak, basitleştirilmiş Janbu yöntemi geliştirilmiştir.

Janbu tarafından geliştirilen yöntemin en önemli özelliği, her tipteki kayma yüzeyine uygulanabilir olmasıdır. Basitleştirilmiş Janbu yönteminde, kuvvet dengesi kullanılarak stabilite analizi yapılmıştır

(Janbu, 1956). Janbu kendi adıyla anılan bu metodu (Janbu, 1954; 1957) hem dairesel kayma yüzeyleri hem de, dairesel olmayan kayma yüzeyleri için incelemiştir. Genelleştirilmiş Janbu yöntemi, dilimler arası kuvvetlerin etkidiği noktayı dikkate alarak yapılan bir kabulle, dilimler arası kuvvetlerin etkisini içerir.

Dairesel kayma yüzeylerinde, şev stabilite analizi yapan Bishop yöntemi, önceleri genel şekilli yüzeyler için geliştirilmiş fakat daha sonradan dairesel yüzey varsayımının önemli hata vermeyip hesaplarda kolaylık sağladığı anlaşılınca bu şekilde uygulamaya alınmıştır (Bishop, 1955; Bishop ve Morgenstern, 1960)

Genellikle homojen zeminlerde meydana gelen dairesel kaymalar için limit denge kabulüyle, dilimlere etkiyen yanal kuvvetlerin yatay, dilimler arası kesme kuvvetlerinin sıfır olduğu ayrıca normal kuvvet ve ağırlığın dilim tabanının ortasına etkiği varsayılır (TS 8853).

Daha önceki şekliyle genel kayma yüzeyleri için geliştirilen bu metot, sonradan dairesel yüzey varsayımının hesaplarda önemli hatalar meydana getirmediği, pratik olduğu anlaşılınca sadece dairesel kayma yüzeylerine uygulanır olmuştur (Halilođlu, 1997).

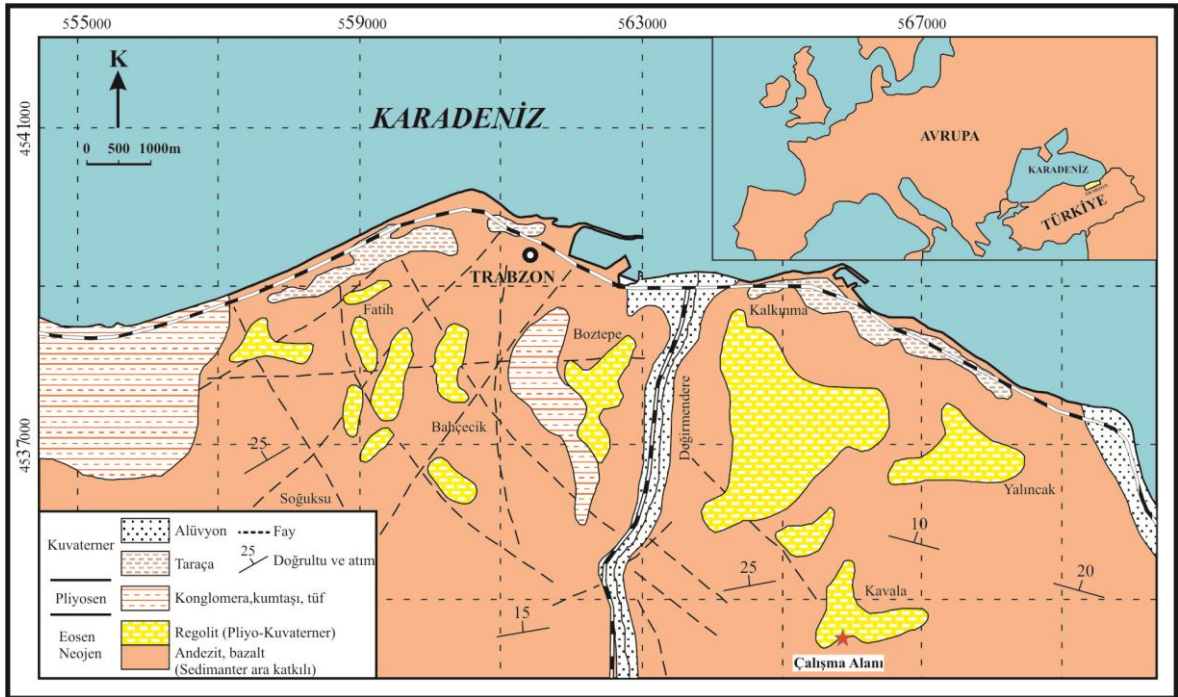
3. BULGULAR

3.1. Giriş

Bu çalışmada Trabzon ili Yeşilyurt Köyü heyelanı jeoteknik açıdan incelenmiş, çalışmanın temelini oluşturması amacıyla ilk olarak çalışma alanı ve çevresinin genel jeolojik özellikleri ortaya koyulmuştur.

3.2. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayalar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında yaşlıdan gence doğru Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyonların yüzeyleme verdiği belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (Baykan, 2011'den değiştirilerek)

3.2.1. Kabaköy Formasyonu

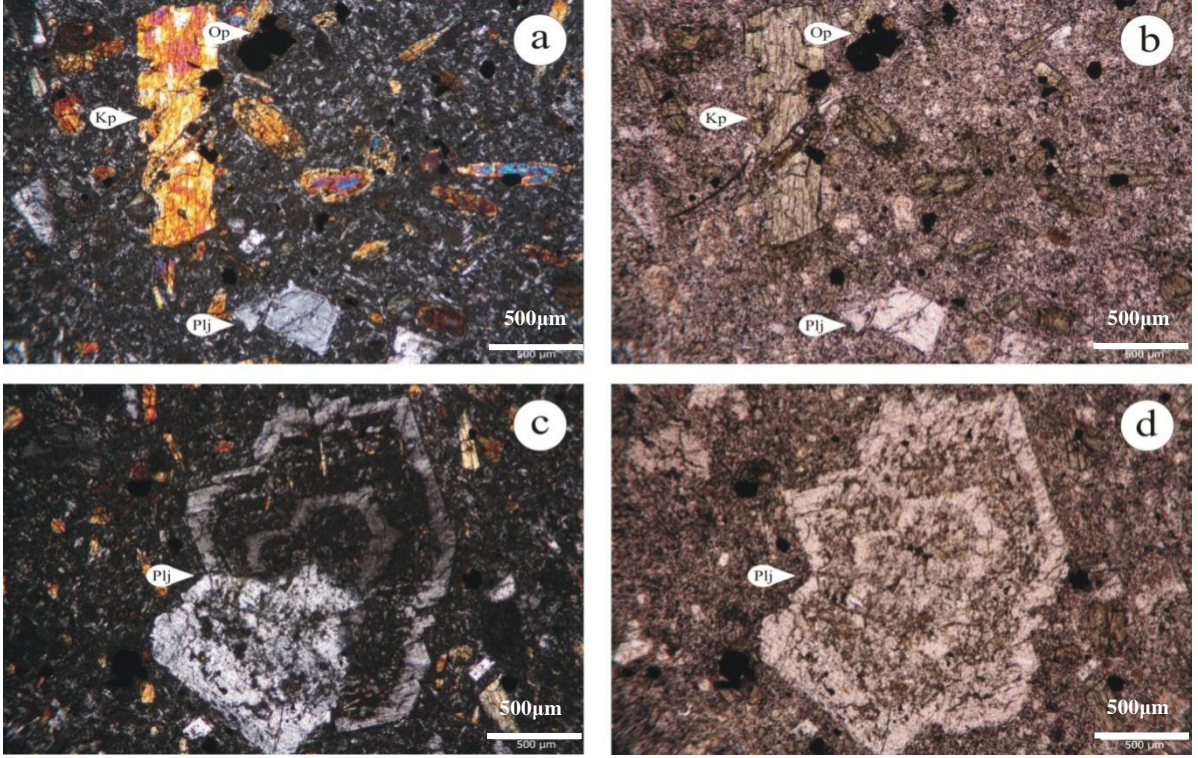
Tipik olarak Kabaköy (Gümüşhane) yöresinde yüzeyleme veren ve genellikle kırıntılı çökellerle başlayıp üst zonlara doğru volkanik karakterde olan volkanotortul istif ilk olarak Güven (1993) tarafından Kabaköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanının tamamında yayılım gösteren ve sedimanter arakatlı andezit, bazalt, trakibazalt ve piroklastitlerden oluşan birim Kabaköy Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özellikler gösterdiği için aynı isimle adlandırılmıştır. Geç Kretase yaşlı birimler üzerine bir taban konglomerası ile açısız uyumsuzlukla gelen formasyon, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakaları içeren andezit, bazalt ve piroklastitlerden oluşmaktadır. Formasyonun taban kesiminde bulunan tortul kayalar killi, karbonatlı bir matriks içindeki yuvarlak şekilli volkanik kayaç çakıllarından ve killi kireçtaşı, marn bloklarından oluşmaktadır.

Birimden alınan bazalt, trakibazalt ve dasit örneklerinden yapılan ince kesitlerin petrografik özellikleri incelenmiş ve bazalt örneklerinin genel olarak hyalo-mikrolitik, mikrolitik ve kümülofirik doku gösterdiği anlaşılmıştır.

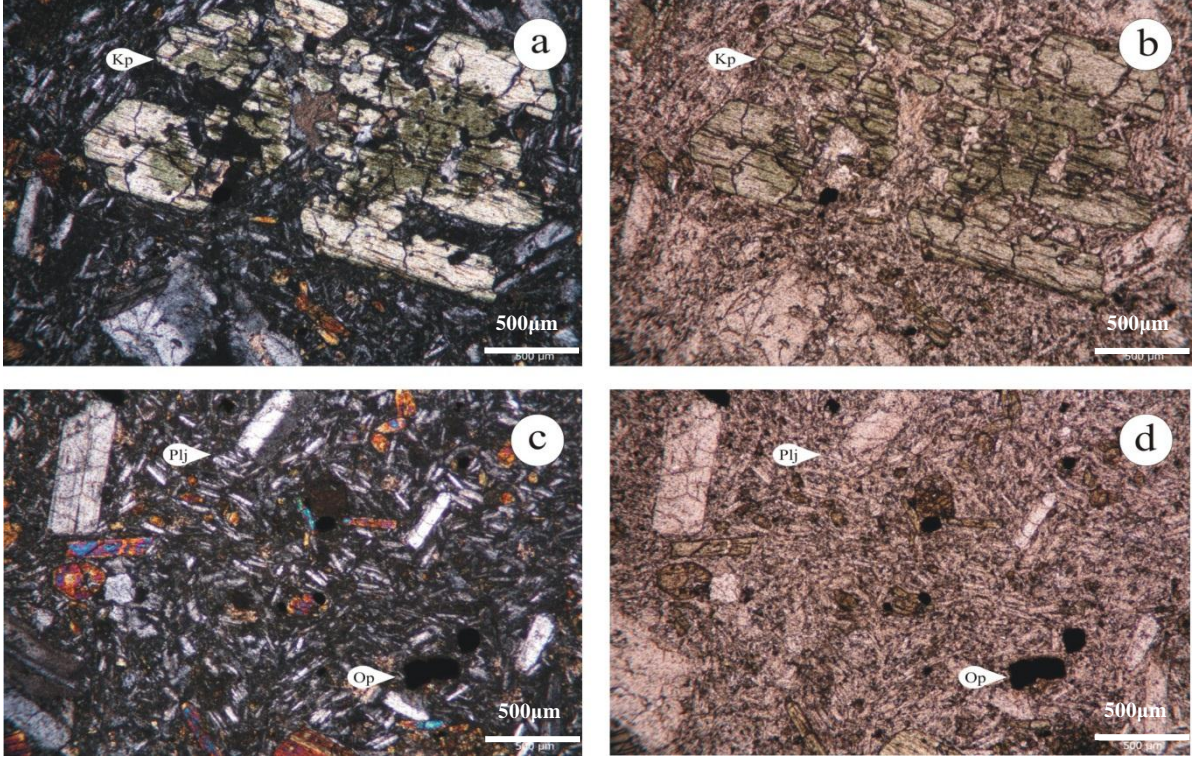
Kayaç içerisinde fenokristal olarak plajiyoklas, klinopiroksen ve opak mineraller yer almaktadır (Şekil 3.2). Plajiyoklaslar genel olarak yarı özşekilli ve özşekilli fenokristaller halinde, nadiren özşekilli mikrofeno-kristaller halinde gözlenmektedirler. Fenokristal olarak gözlenen özşekilli plajiyoklaslarda genelde karmaşık zonlu ikizlenme gözlenmektedir. Bazı minerallerde de albit ikizi gözlenmektedir.

Yer yer plajiyoklaslarda elek veya sünger dokusuna rastlanmıştır. Bazı plajiyoklas fenokristalleri, opak mineral ve klinopiroksen inklüzyonları içermektedir. Klinopiroksenler genel olarak yarı özşekilli ve özşekilsiz mikrofeno-kristaller halinde, nadiren yarı özşekilli fenokristaller halinde gözlenmektedir. Mikrofeno-kristaller oldukça kırıklı ve çatlaklı yapıya sahiptirler. Yer yer kloritlemişlerdir. Fenokristal olarak gözlenenler genel olarak opak mineral inklüzyonları içermektedirler. Klorit minerali daha çok mafik minerallerin alterasyonu sonucu oluşmuştur.



Şekil 3.2. Kabaköy formasyonuna ait bazaltların ince kesitlerdeki görünümü (a ve c: Ç.N, b ve d: T.N; Op: opak mineral, Plj: plajiyoklas, Kp: klinopiroksen)

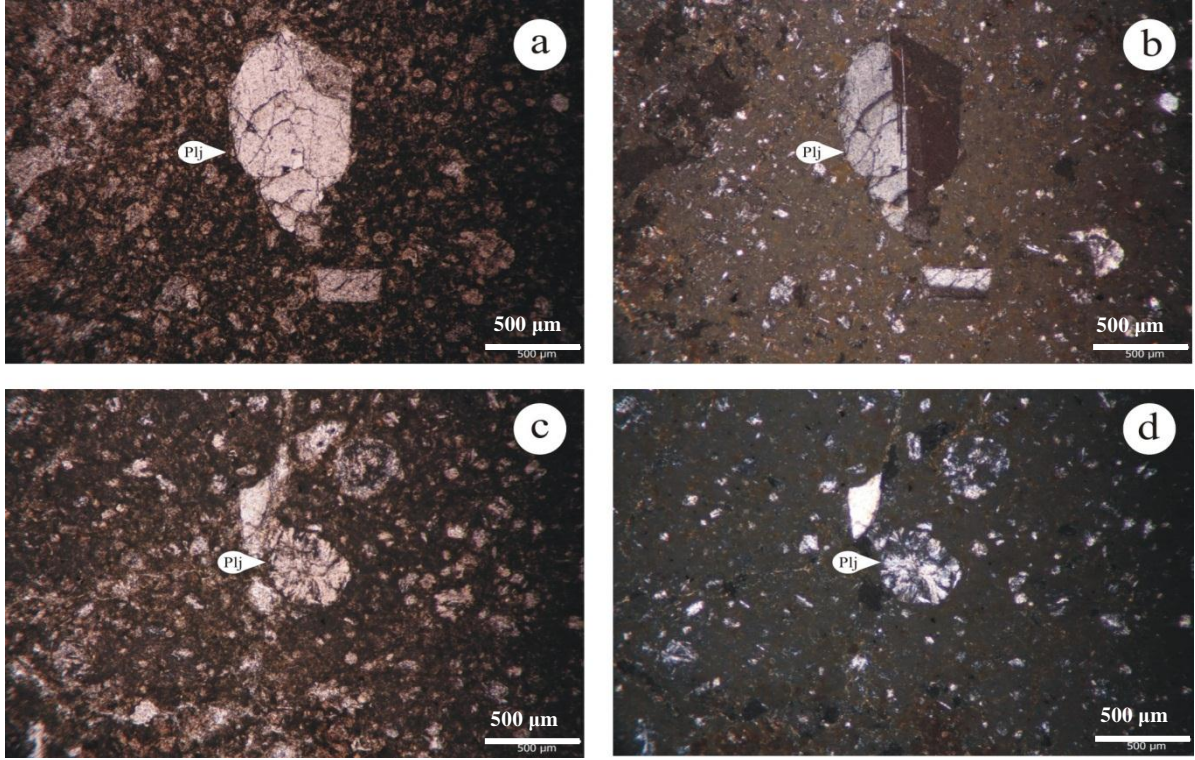
Trakibazalt örnekleri genel olarak fluidal, kümülofirik, hyalo-mikrolitik ve trakitik doku gösterirler. Kayaç içerisinde fenokristal olarak plajiyoklas ve klinopiroksen mineralleri yer almaktadır (Şekil 3.3). Plajiyoklaslar genel olarak yarı özşekilli ve özşekilli fenokristaller halinde, nadiren özşekilli mikrofenokristaller halinde gözlenmektedir. Tek nikelde renksiz, çapraz nikelde gri ve beyaz renklerde gözlenmektedir. Fenokristal olarak gözlenen özşekilli plajiyoklaslarda genelde karmaşık zonlu ikizlenme gözlenmektedir. Bazı minerallerde de albit ikizi gözlenmektedir. Klinopiroksenler genel olarak yarı özşekilli ve özşekilsiz mikrofenokristaller halinde, nadiren de özşekilli ve yarı özşekilli fenokristaller halinde gözlenmektedir. Tek nikelde renksiz bazen de kahverengimsi yeşil, çapraz nikelde ise II. Sıranın mavi, yeşil renklerini sunmaktadır. Mikrofenokristaller oldukça kırıklı ve çatlaklı yapıya sahiptirler. Yer yer kloritleşmişlerdir. Fenokristal olanlar genel olarak opak mineral inklüzyonları içermektedirler. Opak mineraller genel olarak hamur içerisinde çok ince küçük taneler halinde gözlenmektedirler.



Şekil 3.3. Kabaköy formasyonuna ait traki bazaltların ince kesitlerdeki görünümü (a ve c: Ç.N, b ve d: T.N; Op: opak mineral, Plj: plajiyoklas, Kp: klinopiroksen)

Alınan dasit örnekleri genel olarak hyalo-mikrogranüler porfirik doku gösterirler. Kayaç içerisinde plajiyoklas, kuvars, amfibol, kalsit ve zeolit mineralleri yer almaktadır (Şekil 3.4). Plajiyoklaslar genelde hamur içinde mikrogranüller halinde, nadiren fenokristaller halinde gözlenmektedir. Oldukça kırıklı ve çatlaklı yapıya sahiptirler. Genel olarak karlsbad ikizi göstermektedirler. Kuvarslar özşekilsiz fenokristaller halinde ve daha çok hamur içerisinde mikrofenokristaller halinde gözlenmektedirler. Amfiboller tamamen ayrıışmışlardır ve opak minerallere dönüşmüşlerdir. Zeolit ve kalsit mineralleri daha çok boşluk dolgusu şeklinde gözlenmektedir. Opak mineraller nadiren hamur içerisinde çok ince küçük taneler halinde gözlenmektedirler.

Genellikle koyu renkli olan volkanitlerin tabanında yer alan sarımsı renkli bol fosilli tortul kayaçlar bir kılavuz seviye niteliğindedir. Bu seviye içerisindeki tortul kayaçlarda bulunan *Nummulitescf. globulus (Leymerie)*, *Assilina cf. Exponens (Sowerby)*, *Assilina cf. Spira*, *Nummulite sp.*, *Discocyclina sp.*, *Asterocyclina sp.*, *Actinocyclina sp.* ve *Alveolina sp.* fosilleri formasyonun yaşının Erken-Orta Eosen olduğunu göstermektedir (Güven, 1993).



Şekil 3.4. Kabaköy formasyonuna ait dasitlerin ince kesitlerdeki görünümü (a ve c: Ç.N, b ve d: T.N; Plj: plajiyoklas)

Aydın (2003), Arslan ve Aslan (2006) tarafından yapılan son çalışmalarda, Trabzon ve çevresinde yüzeyleme veren volkanitlerin yaşının Gümüşhane ve çevresinde yüzeylenen volkanitlere göre daha genç olduğu (Orta Eosen-Neojen) radyometrik yaş tayinleriyle belirlenmiştir.

3.2.2. Beşirli Formasyonu

Tipik olarak Beşirli (Trabzon) ve çevresinde yüzeyleme veren ve kaba taneli kırıntılı çökellerle başlayıp üst zonlara doğru tüflerle temsil edilen istif ilk olarak Güven (1993) tarafından Beşirli Formasyonu olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanının kuzeybatı kesimlerinde yayılım gösteren ve çakıltaşı, kumtaşı ve tüflerden oluşan Beşirli Formasyonu Kabaköy Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Genellikle gevşek çimentolu, iri taneli konglomera, daha az kumtaşı ve kıltaşı seviyelerinden oluşur. Beşirli Formasyonu malzemesi tümüyle Kabaköy Formasyonu'ndan türemiştir. Konglomeralar, yer yer iri andezit veya bazalt çakıl ve blokların ile onları bağlayan çimentodan oluşmuştur.

Bazen iyi derecelenme ve çapraz tabakalanma yapıları gözlenirse de genelde etkin aşınma ve kısa mesafeli taşınma sonucu hızlı çökelmiş bir malzeme yığılmasını göstermektedir.

3.2.3. Taraça ve Alüvyonlar

İnceleme alanının kuzey kesimlerinde yüzeyleme veren Kuvaterner yaşlı taraçalar genellikle blok, çakıl, kum, silt, kil gibi malzemelerden oluşmaktadır. Volkanik ve sedimanter kayaç parçalarından oluşan blok ve çakılların boyutları 0.5 cm ile 50 cm arasında değişmektedir. Taraçaların içerdiği fosil topluluğu genellikle, molluska kavkılarında oluşmaktadır. Plaj kesiminde genellikle kum, kil, silt boyutu malzeme içeren taraçalar, iç kesimlere doğru gidildikçe çakıl, blok gibi daha iri taneli malzemelere geçiş göstermektedir (Keskin, 2007).

3.3. Yapısal Jeoloji

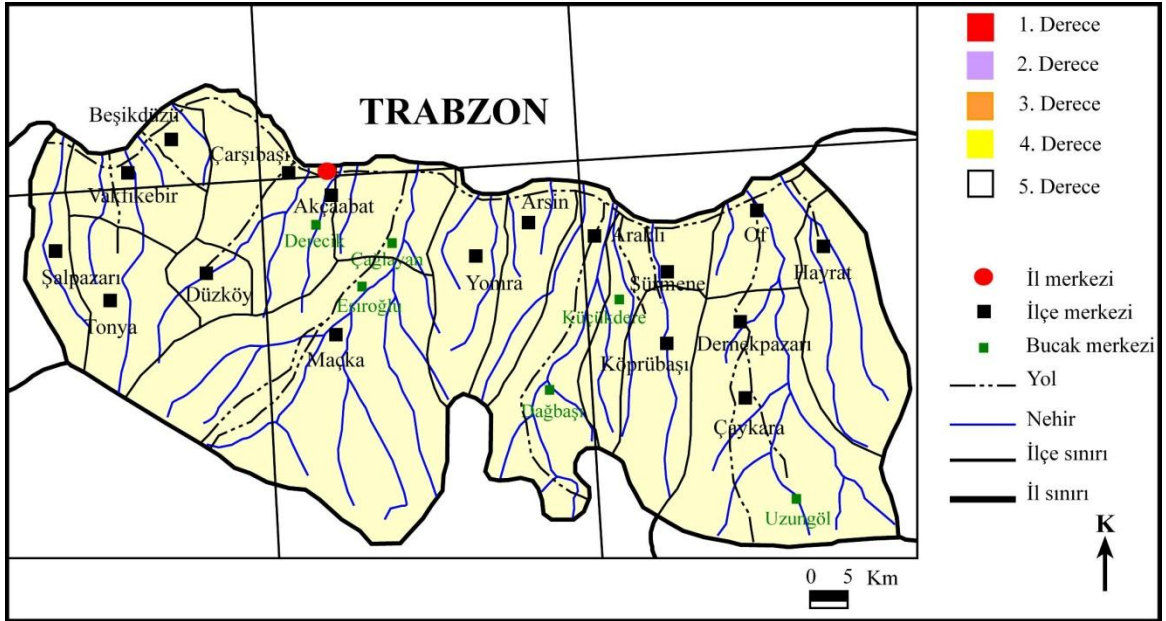
Türkiye'nin tektonik ve jeolojik birlikteliklerinden biri olan Doğu Pontidler, yapısal ve litolojik özellikler göz önünde bulundurularak Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Gedikoğlu vd., 1979; Bektaş vd., 1999). Kuzey Zon Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayaçlarla karakteristik iken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir Trabzon ilini kapsayan çalışma alanı ise Doğu Pontid'lerin Kuzey Zonu içerisinde yer almaktadır ve bu bölgede bulunan kayaçlar magmatik aktivitenin yoğun olması nedeniyle oldukça kırıklı yapıya sahiptir.

İnceleme alanı içerisinde yapısal özellikler tabakalanma, çatlak ve fay şeklinde olup kıvrımlanma görülmemiştir. Çalışma alanı ve çevresinin büyük bir bölümünde tortul arakatlı volkanik kayaçlardan oluşan Kabaköy Formasyonu hakimdir. Kabaköy Formasyonu volkanitleri arasında ara katkı olarak bulunan kireçtaşları, marnlar, kumtaşları, belirgin tabakalanma göstermekte olup tabaka kalınlığı 5-150 cm arasında değişmektedir. Tabakalar genellikle 40/30 duruşludur. Çalışma alanında yer alan volkanik birimlerde çatlaklar belirgin olarak izlenmektedir. Çatlaklar genelde açık ve dolguludur. Dolgu malzemesi olarak genellikle kil tespit edilmiştir. Çatlak açıklıkları değişken olmakla beraber 0,1 mm ile 5 cm arasında değişmektedir.

3.4. Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremselliği

Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan ülkemizde olan depremler, Atlantik Okyanus ortası sırtının iki tarafa doğru yayılmasına bağlı olarak Afrika-Arabistan levhalarının kuzeydoğuya doğru hareket etmeleriyle ilişkilidir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAF), Alp-Himalaya kuşağının en aktif bölümlerinden biridir. D-B doğrultulu ve buna dik bazı kırık sistemlerine sahip olan KAF, doğrultu atımlı sağ yönlü bir fay olup, yer yer 500-1000 m genişliğe sahiptir. KAF sistemi, Anadolu Bloğu'nun, güneyde Arap Plakası (yılda 2.5 cm'yi bulan hızlı sıkıştırma hareketi ile) ve kuzeyde (neredeyse hiç hareket etmeyen) Avrasya Plakası'nın arasında kalması ve bu sebeple batıya doğru açılma şeklinde hızla hareket etmesi sebebiyle yüksek sismik aktivite göstermektedir. Trabzon ili, T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından 1996 yılında tamamen aktif fay zonlarının (Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonları) konumlarına göre hazırlanan 1/1000000 ölçekli Türkiye Deprem Bölgesi Haritasına göre dördüncü (4.) derece deprem bölgesi içine girmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Çalışma alanının, T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından 1996 yılında hazırlanan 1/1000000 ölçekli Türkiye Deprem Bölgesi Haritası'ndaki konumu

3.5. Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Jeoteknik Açından İncelenmesi

Bu çalışmada Trabzon ili merkez ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve il merkezinin 10km güneydoğusunda bulunan Yeşilyurt köyü sınırları içerisindeki yaklaşık 10000 m²'lik alanın heyelan potansiyeli araştırılmış, bu kapsamda jeolojik, jeoteknik ve jeofizik çalışmaları yapılmış elde edilen veriler yardımıyla geriye dönük analizler yapılarak kütle hareketinin önlenmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur. Heyelan Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Çalışma alanında jeofizik yöntemlerin uygulandığı profillerin görünümü (mavi renk hat yer radarı ölçü profilini, yeşil renk hat sismik kırılma ölçü profilini ve kırmızı renk hat elektrik özdirenç ölçü profilini göstermektedir)

3.5.1. Mühendislik Jeolojisi Haritası

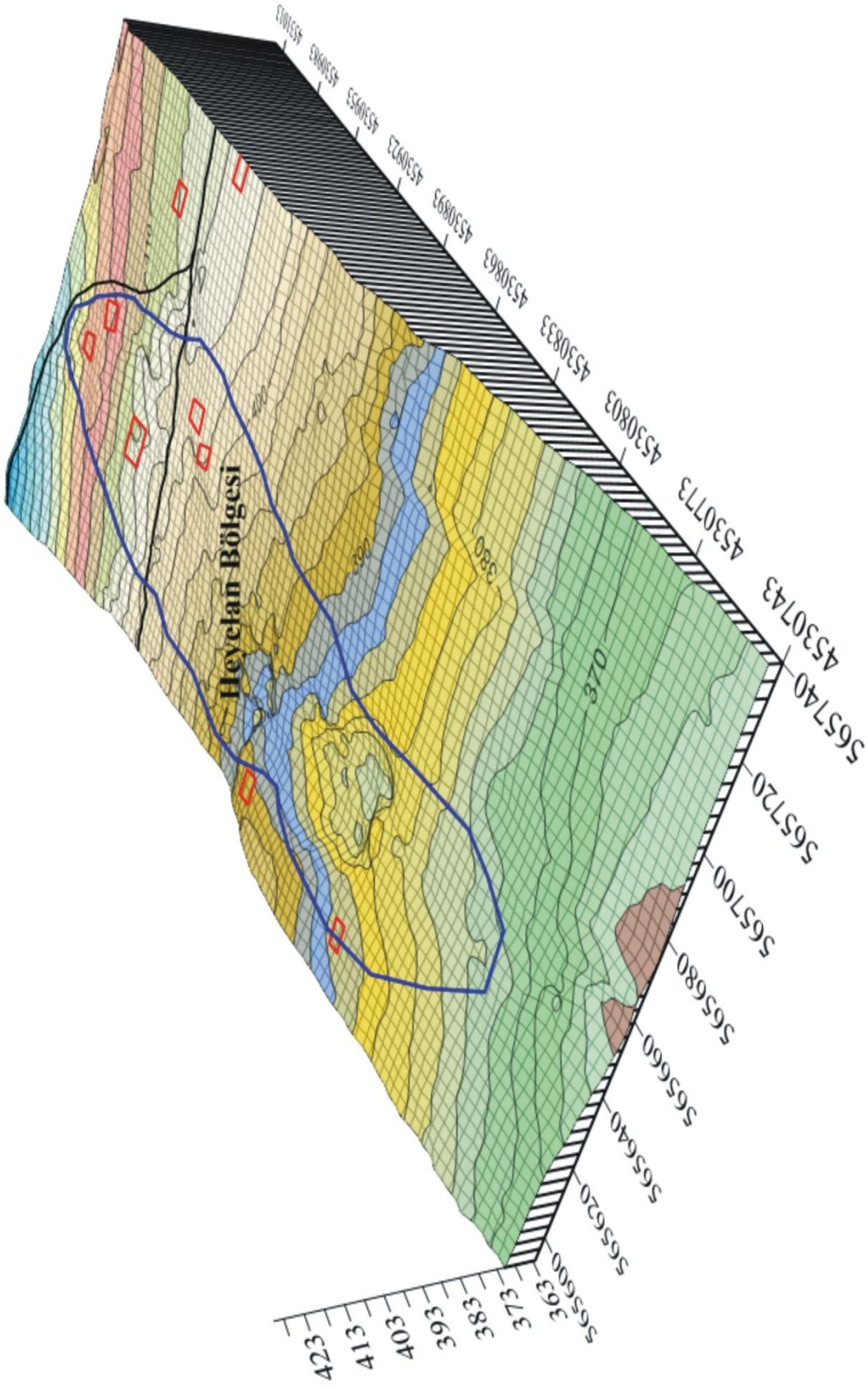
Yeşilyurt Köyü ve çevresinde yapılan arazi çalışmaları neticesinde yaklaşık 200 metre uzunluğunda, 50 metre genişliğinde bir alanın olası bir kütle hareketinden etkilendiği

düşünülmüştür. Kütle hareketi potansiyeli düşünülen bölgede gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonucunda gerilme çatlakları gözlenememiştir. Ancak düzensiz topografik yapı, yığma binalarda ölçülen yaklaşık 5 cm'lik çatlaklar ve ağaç gövdelerinin düşeyden sapması gözlemsel olsa da bir heyelanın kanıtıdır. Alt noktası ile üst noktası arasında yaklaşık 40 metre kot farkı olan heyelan bölgesinin ortalama eğimi ise yaklaşık 10 derecedir.

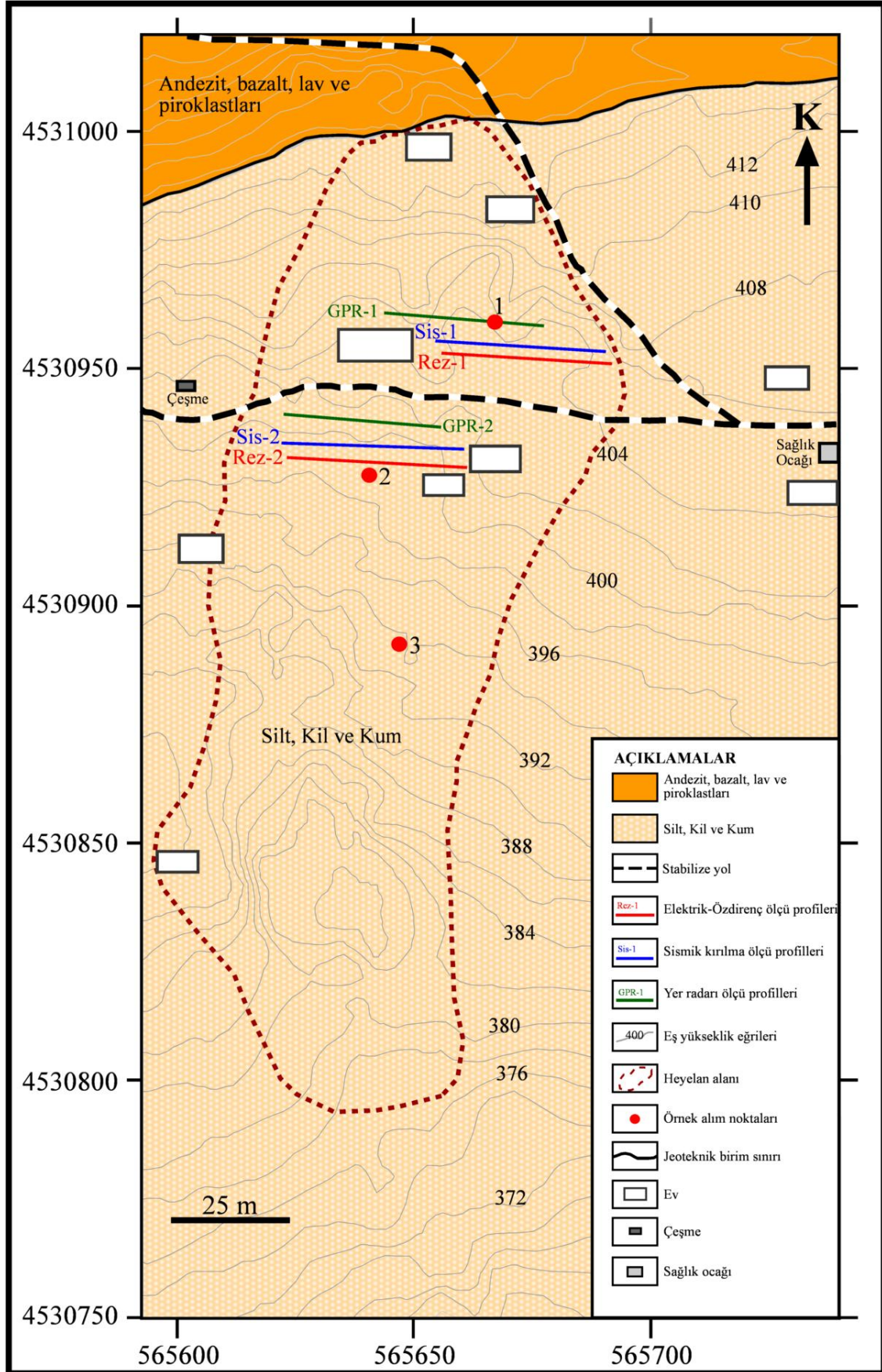
Çalışmada ilk olarak, heyelanlı bölgenin morfolojisini ortaya koymak amacıyla inceleme alanında topografik ölçümler yapılmış ve heyelanlı sahaya ait 3 boyutlu morfoloji haritası üretilmiştir (Şekil 3.7). Bu harita ise mühendislik jeoloji haritası için altlık oluşturmuştur.

Mühendislik jeolojisi haritalarında, 1/5000-1/10000 ölçekleri arasında tanımlanabilen, mineralojik bileşim ve yapısal anlamda homojen, ancak mekanik özellikler açısından uniform olmayan birimler “litolojik tür” olarak ifade edilir. Bu sınıflamada, birimin mekanik özellikleri için gerçek anlamda ve temsil edici ortalama değerlerin verilmesi mümkün olmayıp, mühendislik özellikleri belirli aralıkları temsil eden değerler şeklinde verilebilir. 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen ve fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip birimler ise “jeoteknik birim” olarak ifade edilir (IAEG, 1976; Dearman, 1981).

Bu çalışmada mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanırken çalışma alanında bulunan birimler ilk aşamada litolojik türlere ardından 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen jeoteknik birimlere ayrılmıştır. Bu ilke çerçevesinde, mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanırken, ANON (1976), IAEG (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından modifiye edilen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılmıştır. İnceleme alanına ait 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Çalışma alanına ait 3 boyutlu arazi modeli (kırmızı poligonlar yağma binaları göstermektedir)



Şekil 3.8. Çalışma alanına ait 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası

3.5.2. Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri

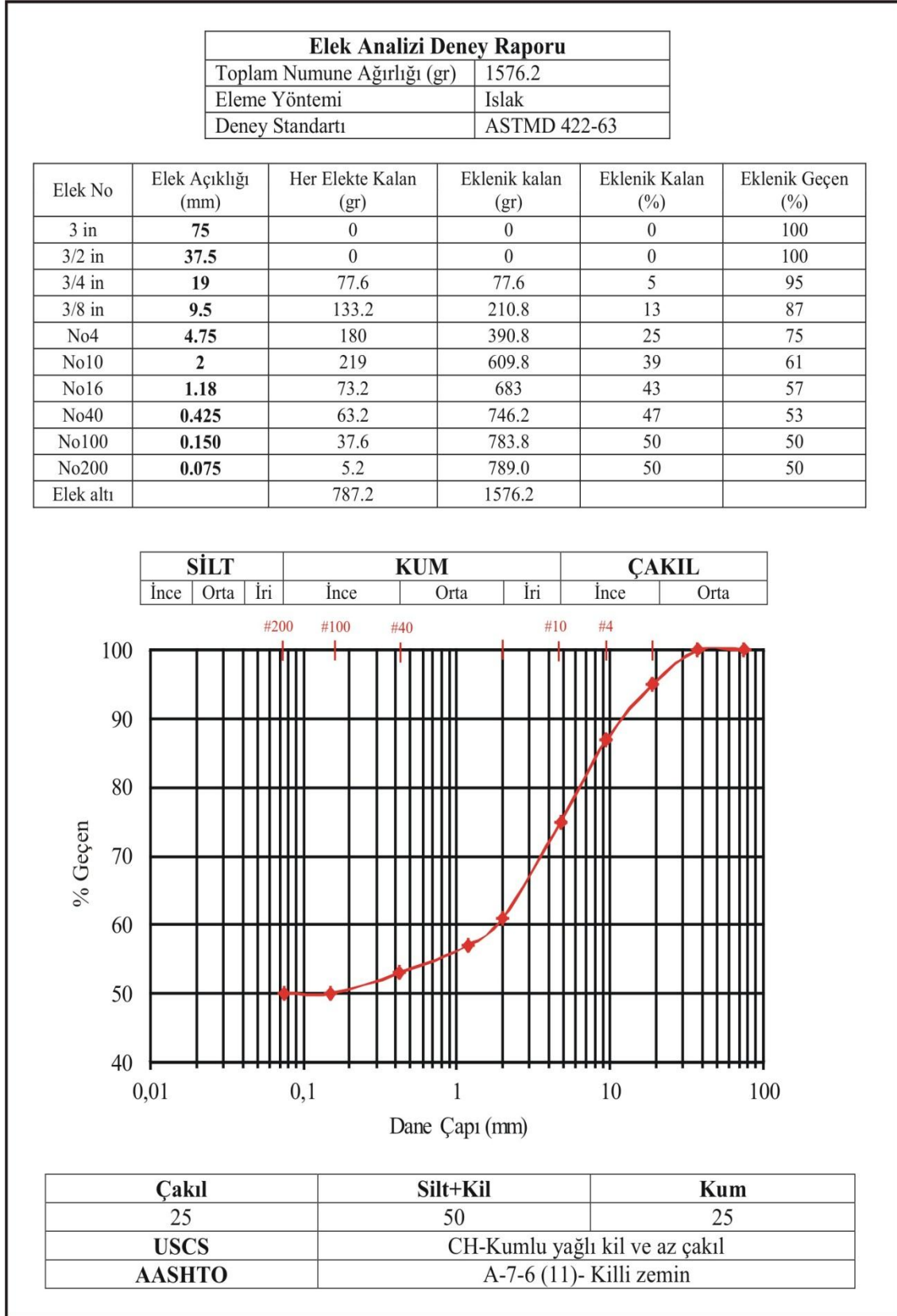
Bu çalışmada, zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla heyelan bölgesinden toplam 3 ayrı noktadan 15 cm çaplı çelik tüp örnek alıcılar kullanılarak numune alınmıştır. Örnek alınmadan önce zemin yüzeyinin 30 cm'lik kısmı kazılmış ve örnek alım tüpü zemine çakılmıştır. Örnek alımı yapıldıktan sonra tüpün alt ve üst kısmı streç filmle iyice sarılarak hava ile teması kesilmiştir. Doğal özelliği muhafaza edilen zemin örnekleri laboratuvara getirilerek zemin sınıflamasına ve indeks parametrelerin tayinine yönelik deneyler yapılmıştır. Örselenmiş numunelerden yapılan deneyler sonucunda, numunelerin özgül ağırlıkları, kıvam limitleri ve buna bağlı olarak aktivasyon katsayıları, yıkamalı elek analizi ve hidrometre analizi sonucunda numunelerin granülometri eğrileri elde edilmiştir. Örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan deneylerde numunelerin kohezyonları, içsel sürtünme açıları, birim hacim ağırlıkları, su içeriği, poroziteleri, boşluk oranları ve doygunluk dereceleri bulunmuştur.

3.5.2.1. Zeminlerin İndeks Özellikleri

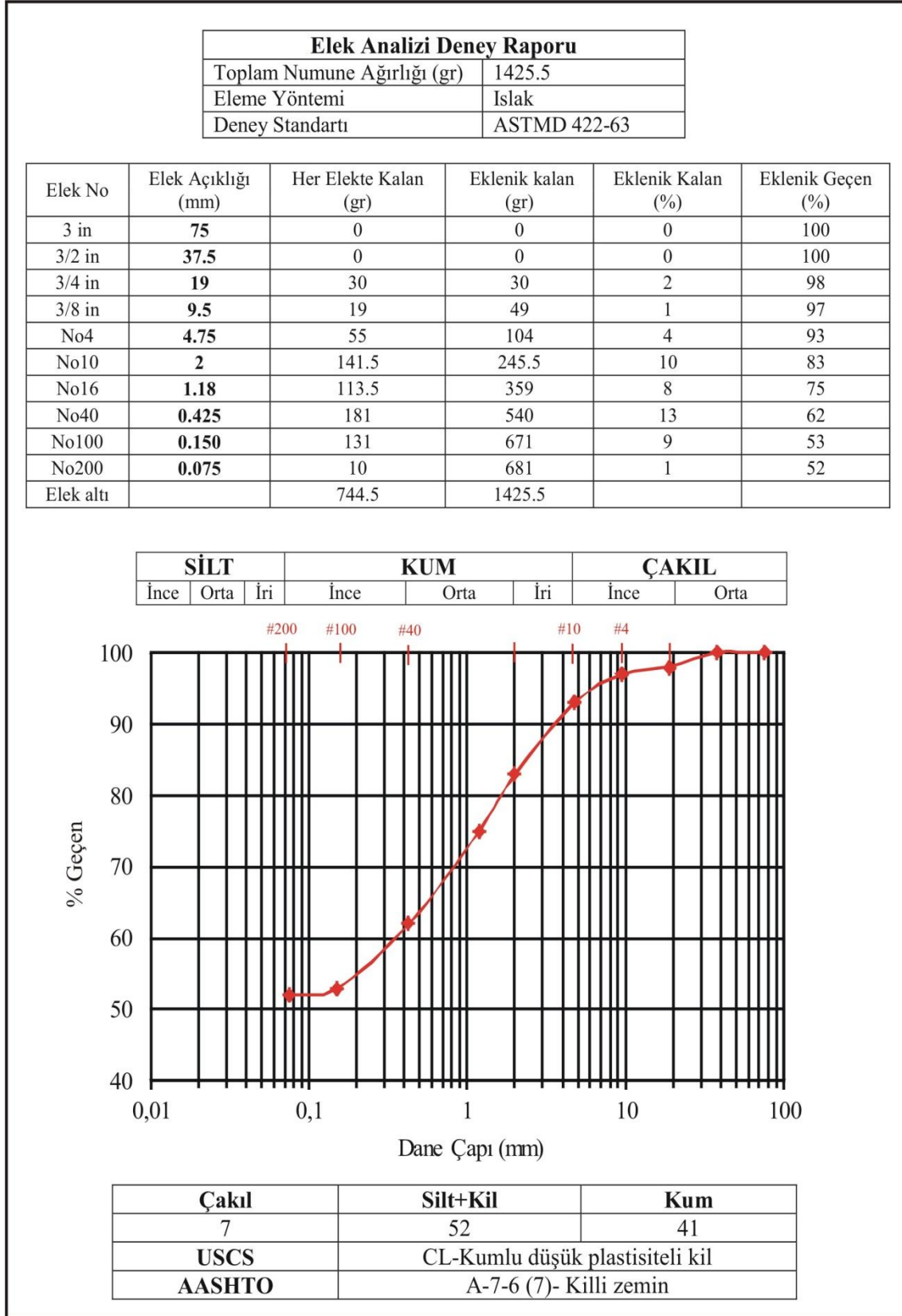
Çalışma konusu zeminlerin indeks özelliklerini belirlemek amacıyla; zemin numunelerinin boşluk oranı, porozite, su muhtevası, doygunluk derecesi, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş, tane dağılımlarının ortaya çıkarılması amacıyla yıkamalı elek ile hidrometre analizi yapılmıştır. Zeminlerin indeks özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de, yıkamalı elek analizi deneyi sonuçları ve granülometri eğrileri Şekil 3.9-3.11'de, hidrometre deney verileri Ek tablo 4.1-4.3'te; hidrometre deney verileri yardımıyla çizilen granülometri eğrileri ise Şekil 3.12'de verilmiştir. Bu sonuçlardan, zeminlerin su muhtevalarının % 16.1 ile % 19.9, özgül ağırlık değerlerinin 2.71 ile 2.77 gr/cm³ doğal birim hacim ağırlıklarının ise 17.2 kN/m³ ile 17.5 kN/m³ arasında değiştiği görülmektedir (bkz. Ek tablo-3).

Tablo 3.1. Zemin örneklerinin indeks özellikleri

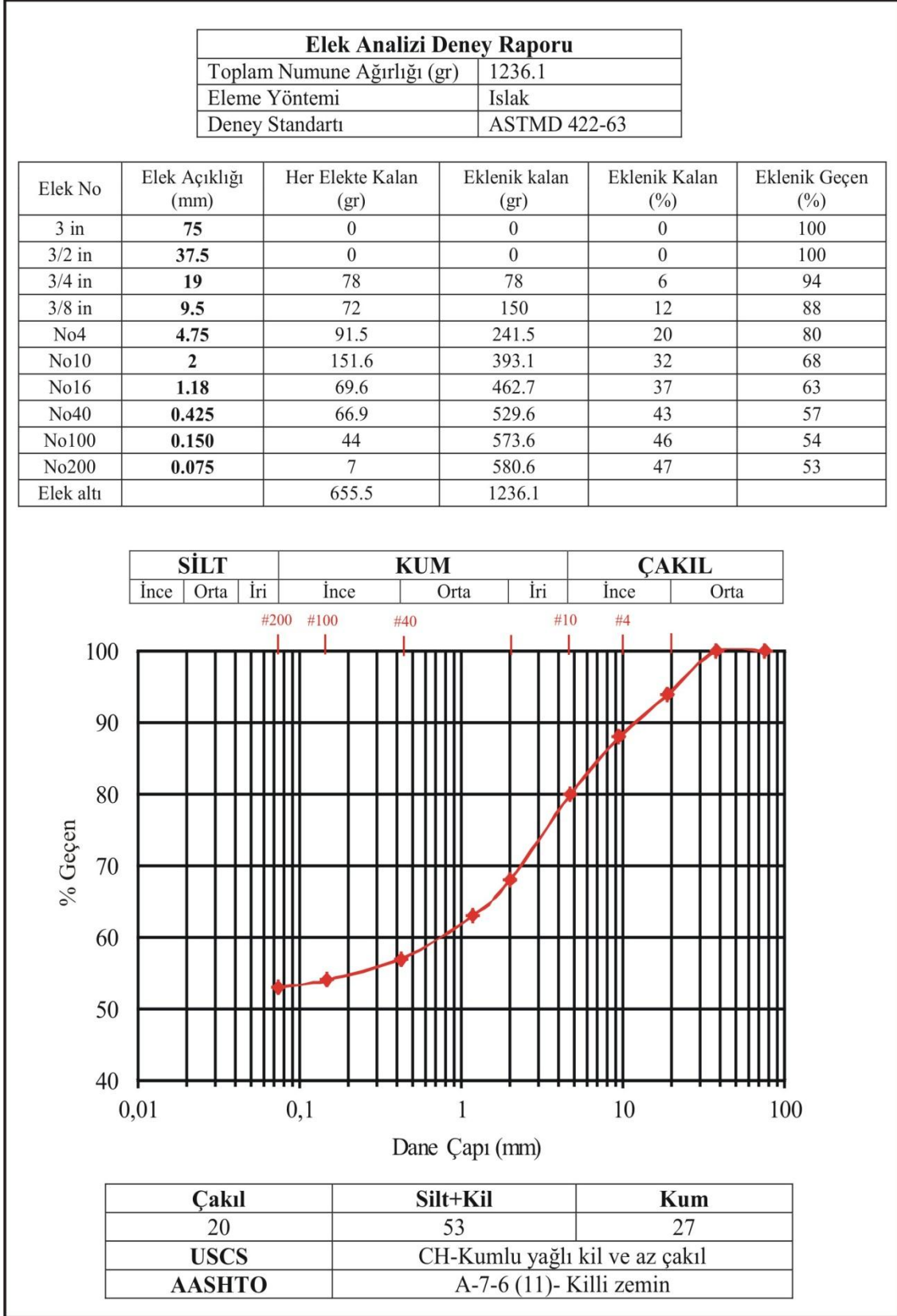
Örnek No	W (%)	γ_n (kN/m ³)	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	n (%)	e	Sr (%)	Gs (kN/m ³)
1	16.2	1.73	1,49	1,74	0,45	0,81	56	2.71
2	16.1	1.72	1,48	1,74	0,46	0,85	56	2.77
3	19.9	1.75	1,46	1,76	0,46	0,85	65	2.71



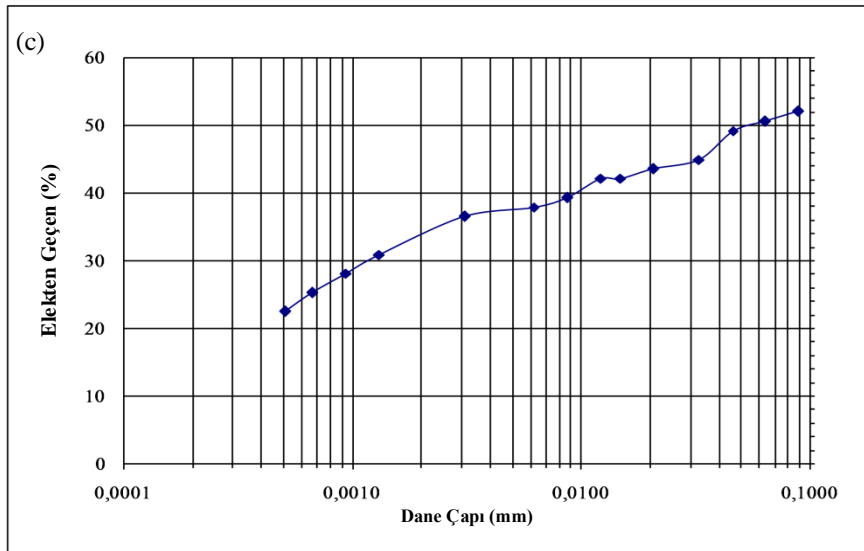
Şekil 3.9. Örnek-1'e ait yıkamalı elek analizi deney sonuçları



Şekil 3.10. Örnek-2'ye ait yıkamalı elek analizi deney sonuçları

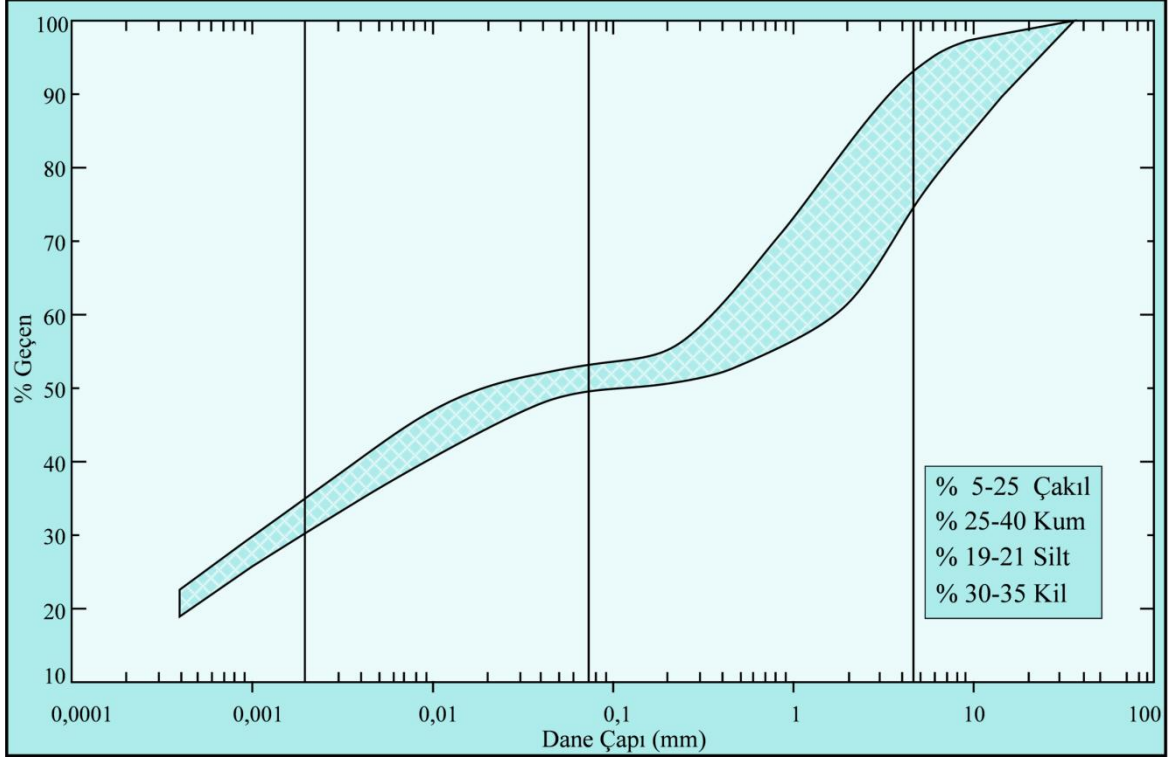


Şekil 3.11. Örnek-3'e ait yıkamalı elek analizi deney sonuçları



Şekil 3.12. Örnek-1 (a), 2 (b) ve 3'e (c) ait hidrometre deneyinden elde edilen veriler yardımıyla çizilen granülometri eğrileri

Yıkamalı elek ve hidrometre analizi sonucunda elde edilen veriler birleştirilmiş ve bunun sonucunda heyelan bölgesindeki zeminlere ait bütünleştirilmiş elek analiz eğrisi çizilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Çalışma konusu zeminlere ait dane dağılım eğrileri

Buna göre zemin içerisindeki çakıl oranının % 25'i geçmediği, kum oranının % 25 ile % 41, silt oranının % 18 ile 22 ve kil oranının % 30 ile 35 arasında olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 3.2)

Tablo 3.2. Farklı örneklere ait dane dağılımları

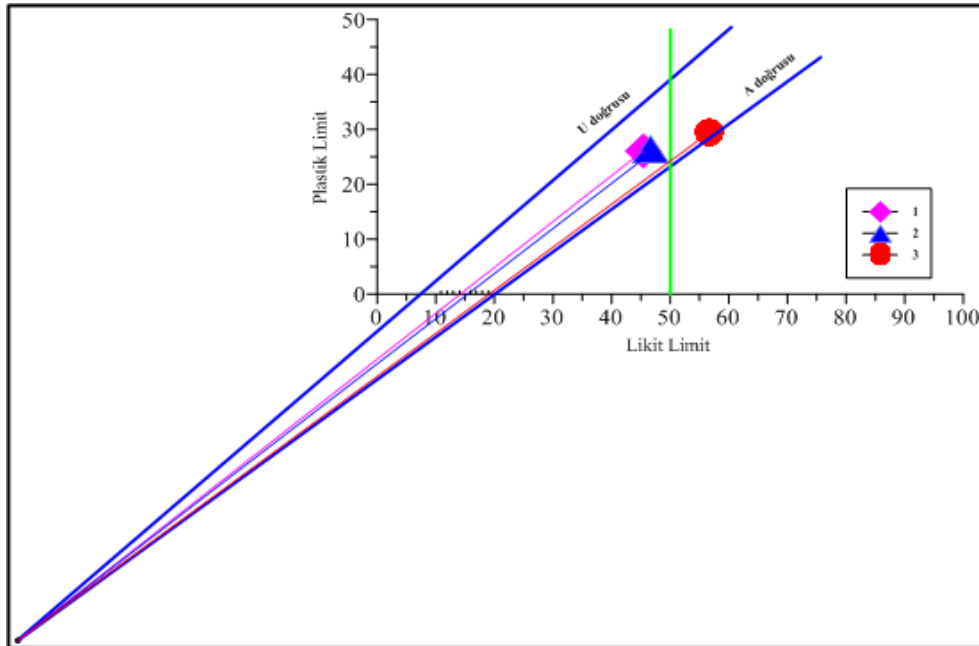
Tane Boyu (mm)	Tane Grubu	1.Örnek (%)	2.Örnek (%)	3.Örnek (%)
>76.2	Blok	-	-	-
4.76-76.2	Çakıl	25	7	20
0.074-4.76	Kum	25	41	27
0.002-0.074	Silt	19	22	18
<0.002	Kil	31	30	35

3.5.2.2. Zeminlerin Plastik Özellikleri

İnce daneli zeminlerin mühendislik davranışının büyük oranda içerdikleri su miktarına (su muhtevasına) bağlı olarak değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Killi bir zeminin kıvamı, yalnızca içindeki su miktarı artırılarak, çok katı bir kıvamdan viskoz bir sıvı kıvamına kadar çok geniş bir aralık içinde değiştirebilmektedir. Buna bağlı olarak da, mukavemet, yük altında şekil değiştirme ve sıkışma gibi mühendislik özelliklerinde büyük farklılıklar meydana gelebilmektedir.

İnce daneli zeminlerin mühendislik özelliklerinde su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen değişiklikler, esas olarak daneleri oluşturan minerallerin kristal yapısına, zeminin arazideki çökme koşullarına ve boşluklardaki zemin suyunun kimyasal özelliklerine bağlı olmaktadır. Bu açıdan, tabii zeminlerin kıvamında ve mühendislik özelliklerinde su muhtevasına bağlı olarak gözlenen değişimler büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle zeminlerin farklı su içeriklerindeki davranışları da farklılık arz eder ve bu özelliklerin tümü zeminlerin plastik özellikleri olarak bilinir.

Çalışmada zeminlerin plastik özellikleri belirlenmiş, Şekil 3.14’de rötre limitinin belirlenme aşamaları, Şekil 3.15-3.17’de ise likit limit ve plastik limit deneyine ait veriler görülmektedir. Tablo 3.3-3.6 ’da zeminler kıvamlılık indisine göre, likitlik indisine göre ve aktivite değerine göre sınıflandırılmıştır.

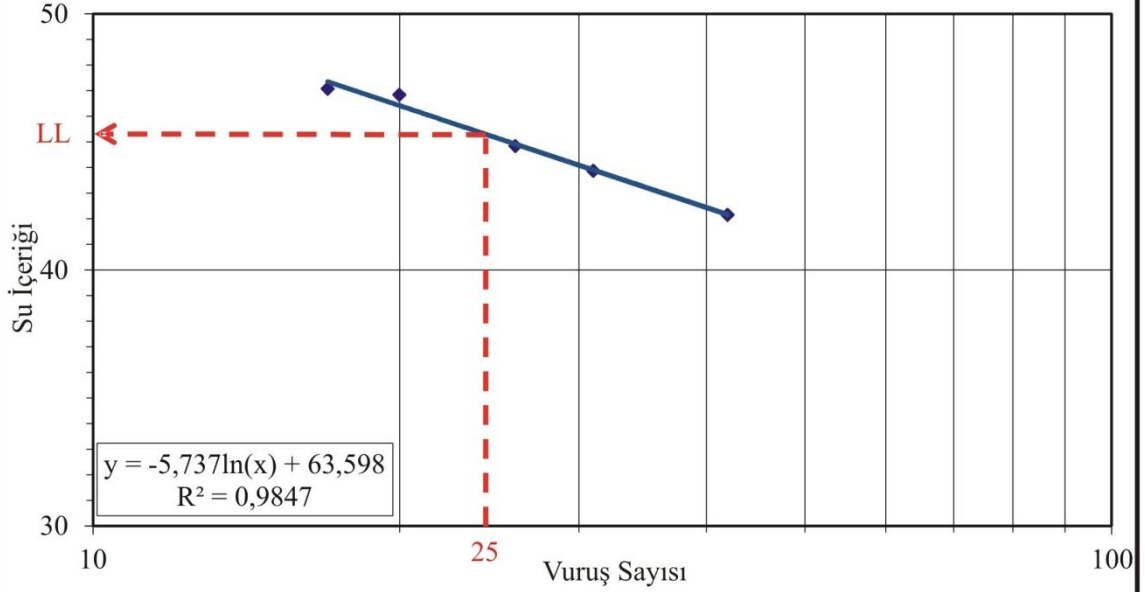


Şekil 3.14. Zeminlerin rötre limitlerinin belirlenmesi

LİKİT VE PLASTİK LİMİT DENEY RAPORU

LİKİT LİMİT TAYİNİ					
Kap No	1	2	3	4	5
Kap+Yaş Numune	51.30	48.00	53.30	50.90	48.20
Kap+Kuru Numune	45.40	43.00	46.80	45.00	43.40
Su Ağırlığı	5.90	5.00	6.50	5.90	4.80
Kap Ağırlığı	31.40	31.60	32.30	32.40	33.20
Kuru Ağırlığı	14.00	11.40	14.50	12.60	10.20
Su Muhtevası %	42.143	43.860	44.828	46.825	47.059
Vuruş Sayısı	42	31	26	20	17

PLASTİK LİMİT		
Kap No	1	2
Kap+Yaş Numune	46.80	49.00
Kap+Kuru Numune	43.70	45.50
Su Ağırlığı	3.10	3.50
Kap Ağırlığı	32.10	31.60
Kuru Ağırlığı	11.60	13.90
Su Muhtevası %	26.724	25.180



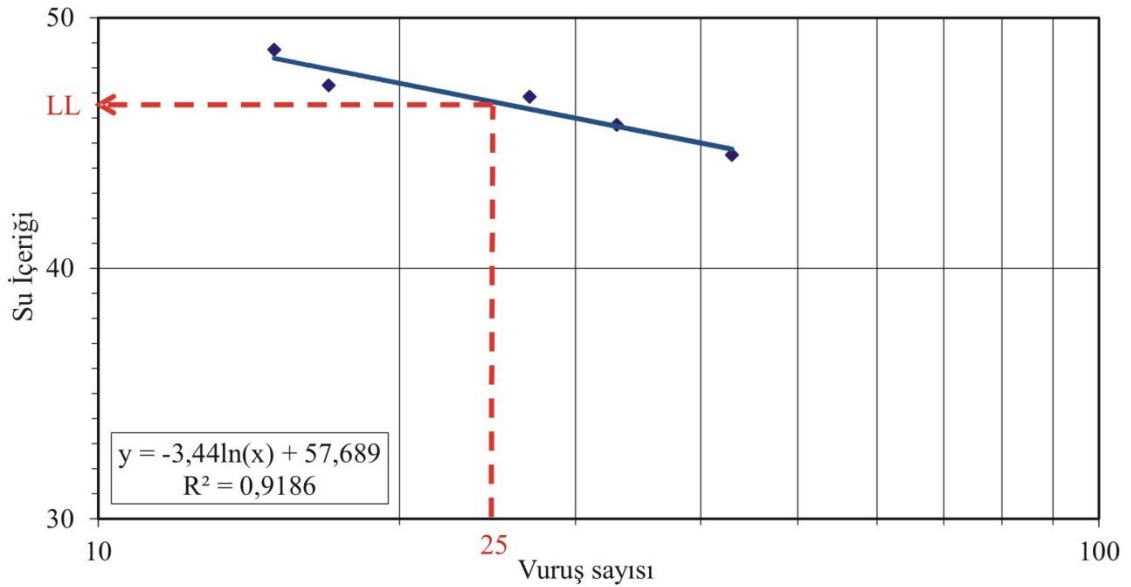
LİKİT LİMİT	45.3
PLASTİK LİMİT	26.0
PLASTİSİTE İNDEKSİ	19.3

Şekil 3.15. Örnek 1'e ait likit limit ve plastik limit deney sonuçları

LİKİT VE PLASTİK LİMİT DENEY RAPORU

LİKİT LİMİT TAYİNİ					
Kap No	1	2	3	4	5
Kap+Yaş Numune	53.60	48.10	55.0.	54.20	50.30
Kap+Kuru Numune	47.10	43.30	47.60	47.20	44.60
Su Ağırlığı	6.50	4.80	7.40	7.00	5.70
Kap Ağırlığı	32.50	32.80	31.80	32.40	32.90
Kuru Ağırlığı	14.60	10.50	15.80	14.80	11.70
Su Muhtevası %	44.521	45.714	46.835	47.297	48.718
Vuruş Sayısı	43	33	27	17	15

PLASTİK LİMİT		
Kap No	1	2
Kap+Yaş Numune	47.50	48.20
Kap+Kuru Numune	44.30	44.80
Su Ağırlığı	3.20	3.40
Kap Ağırlığı	32.30	31.80
Kuru Ağırlığı	12.00	13.00
Su Muhtevası %	26.677	26.154



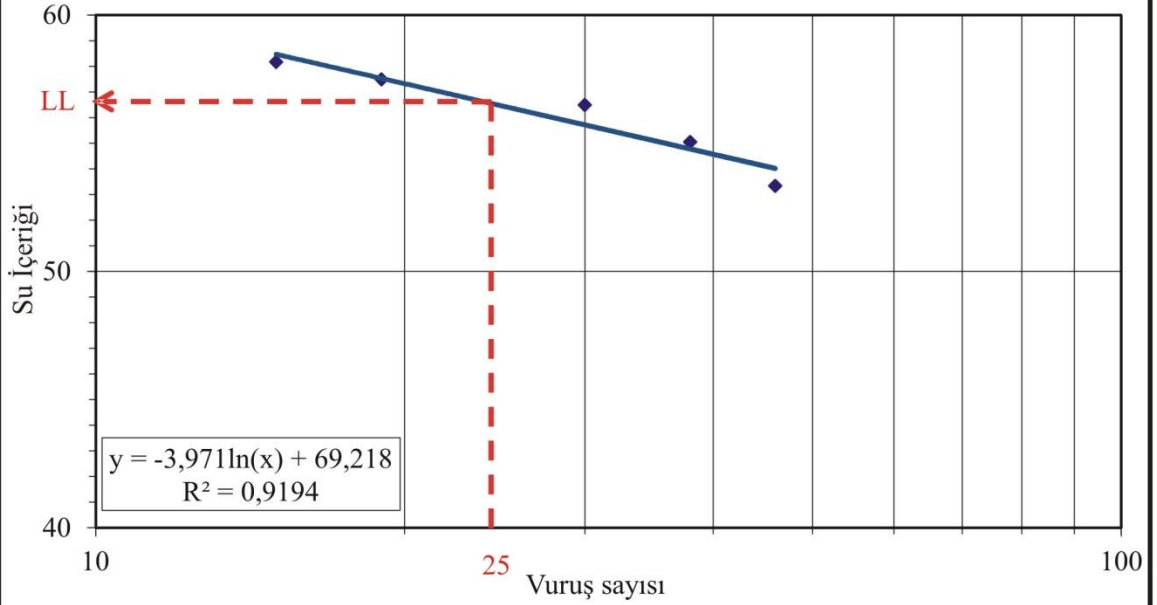
LİKİT LİMİT	46.5
PLASTİK LİMİT	26.4
PLASTİSİTE İNDEKSİ	20.1

Şekil 3.16. Örnek 2'ye ait likit limit ve plastik limit deney sonuçları

LİKİT VE PLASTİK LİMİT DENEY RAPORU

LİKİT LİMİT TAYİNİ					
Kap No	1	2	3	4	5
Kap+Yaş Numune	53.60	54.20	49.00	51.60	47.30
Kap+Kuru Numune	46.40	46.00	42.90	44.30	41.60
Su Ağırlığı	7.20	8.20	6.10	7.30	5.70
Kap Ağırlığı	32.90	31.10	32.10	31.60	31.80
Kuru Ağırlığı	13.50	14.90	10.80	12.70	9.80
Su Muhtevası %	53.333	55.034	56.481	57.480	58.163
Vuruş Sayısı	46	38	30	19	15

PLASTİK LİMİT		
Kap No	1	2
Kap+Yaş Numune	47.20	48.50
Kap+Kuru Numune	43.80	44.70
Su Ağırlığı	3.40	3.80
Kap Ağırlığı	32.30	31.80
Kuru Ağırlığı	11.50	12.90
Su Muhtevası %	29.565	29.457



LİKİT LİMİT	56.6
PLASTİK LİMİT	29.5
PLASTİSİTE İNDEKSİ	27.1

Şekil 3.17. Örnek 3'ye ait likit limit ve plastik limit deney sonuçları

Deneyler sonucunda numunelerin likit limit değerlerinin % 45 ile 57, plastik limit değerlerinin % 26 ile 30, plastisite indeksi değerlerinin % 19 ile 27 ve rötre limit değerlerinin ise % 14 ile 19 arasında değiştiği görülmüştür.

Tablo 3.3. Çalışma konusu zeminlerin plastik özellikleri

	1.Örnek	2. Örnek	3. Örnek
Likit Limit (%)	45.3	46.5	56.6
Plastik Limit (%)	25.9	26.4	29.5
Plastisite İndeksi (%)	19.4	20.1	27.1
Likitlik İndisi	0,5	0,51	0,35
Kıvam İndisi	1,5	1,51	1,35
Aktivite	0,63	0,67	0,78
Rötre Limiti (%)	14	15,5	19

Tablo 3.4. İnce taneli zeminlerin kıvamlılık indisine göre sınıflandırılması (Ulusay, 2001).

Kıvamlılık İndisi (I_c)	Sınıflama	Örnekler
<0	Akışkan (Çamur)	
0-0.25	Çok yumuşak	
0.25-0.50	Yumuşak	
0.50-0.75	Yarı Sert (Sıkı)	
0.75-1.00	Sert	
>1.00	Yarı Sert (Çok Sert)	1-2 ve 3

Tablo 3.5. İnce taneli zeminlerin likitlik indisine göre sınıflandırılması (Ulusay, 2001).

Likitlik İndisi (I_L)	Sınıflama	Örnekler
<0	Yarı Katı veya Katı	
0-1.00	Plastik	1-2 ve 3
>1.00	Likit	

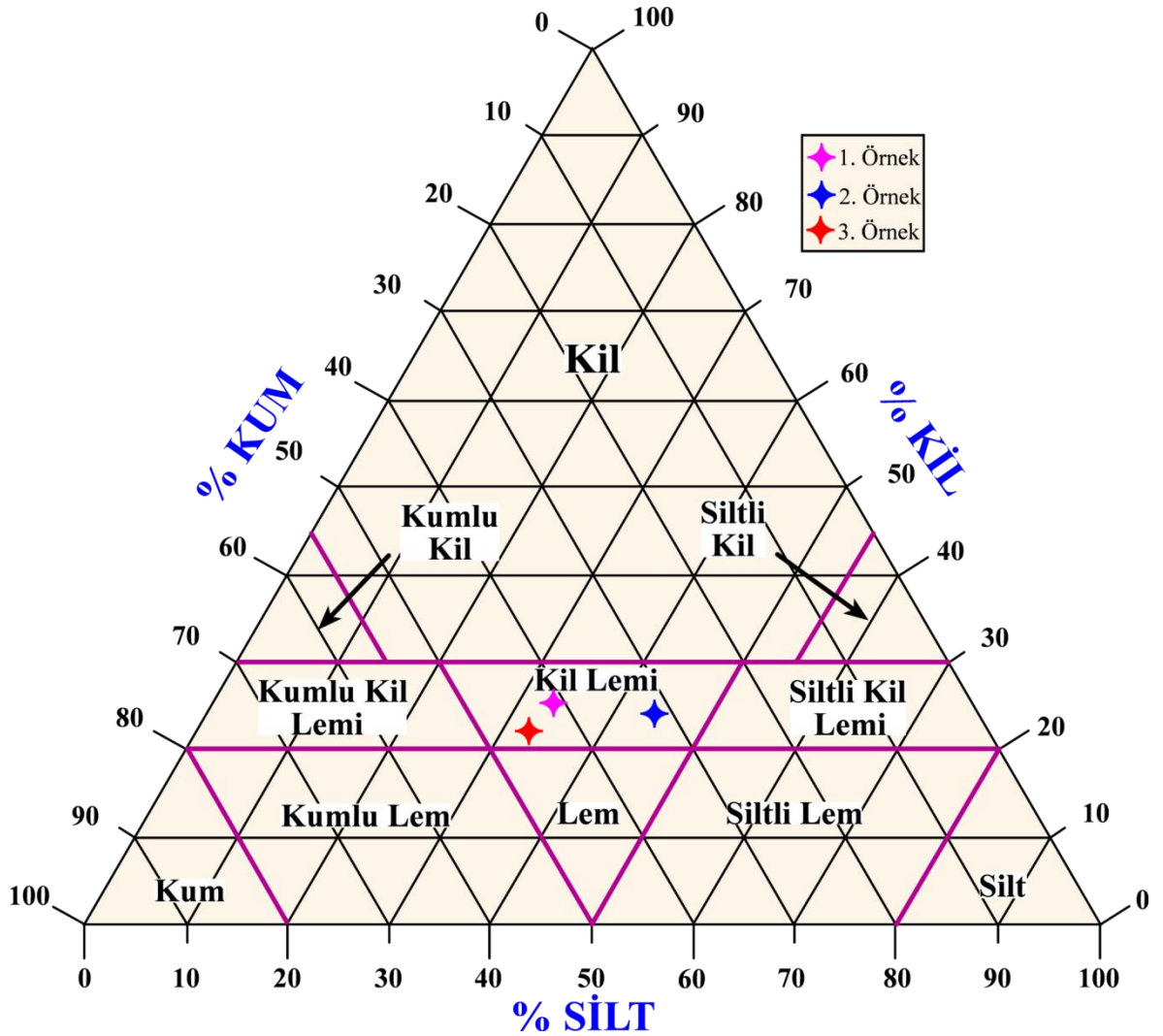
Tablo 3.6. Killerin aktivite değerlerine göre sınıflandırılması (Ulusay, 2001).

Aktivite (A_c)	Sınıflama	Örnekler
<0.75	Aktif olmayan killer	1 ve 2
0.75-1.25	Normal killer	3
>1.25	Aktif killer	

Alınan örnekler ince taneli zeminlerin kıvamlılık indisine göre (Ulusay, 2001) yarı sert-çok sert, likitlik indisine göre plastik ve aktivite değerlerine göre 1. ve 2. örnek aktif olmayan kil, 3. örnek aktif kil olarak sınıflandırılmıştır.

3.5.2.3. Zeminlerin Sınıflandırılması

Zeminler dane çapına ve fiziksel özelliklerine göre değişik sistemlerde sınıflandırılabilir. Birlikte en önemlileri Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS-Unified Soil Classification System), Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi (AASHTO), Üçgen Sınıflandırma ve MIT Yöntemi (Massachusetts Institute of Technology) olarak bilinir (Şekil 3.18).

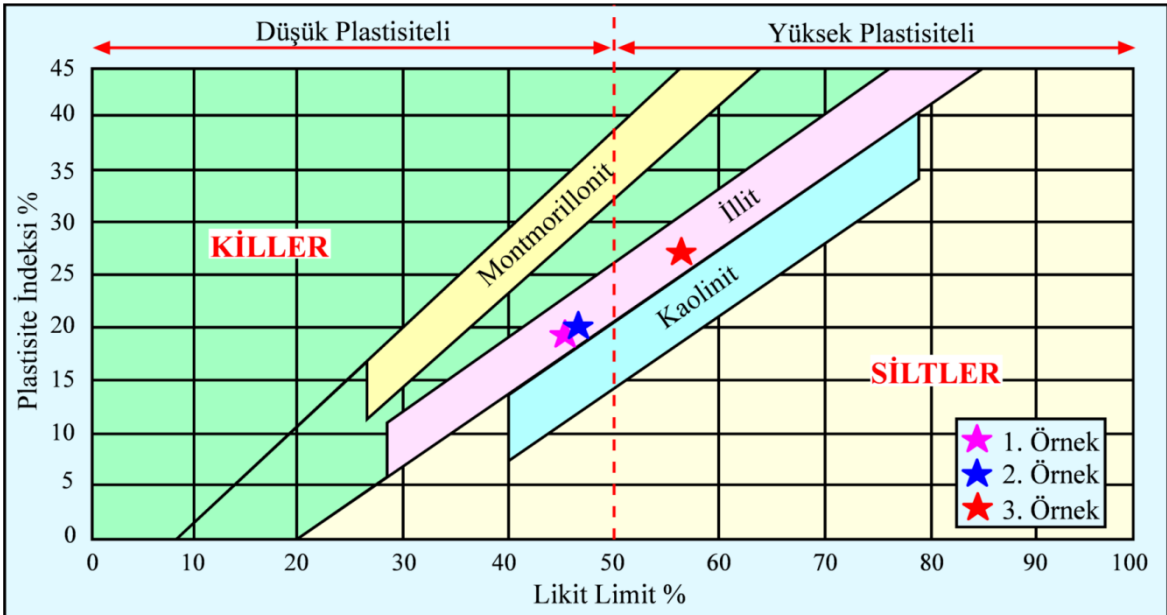


Şekil 3.18. Üçgen sınıflandırma sistemine göre zemin cinslerinin belirlenmesi

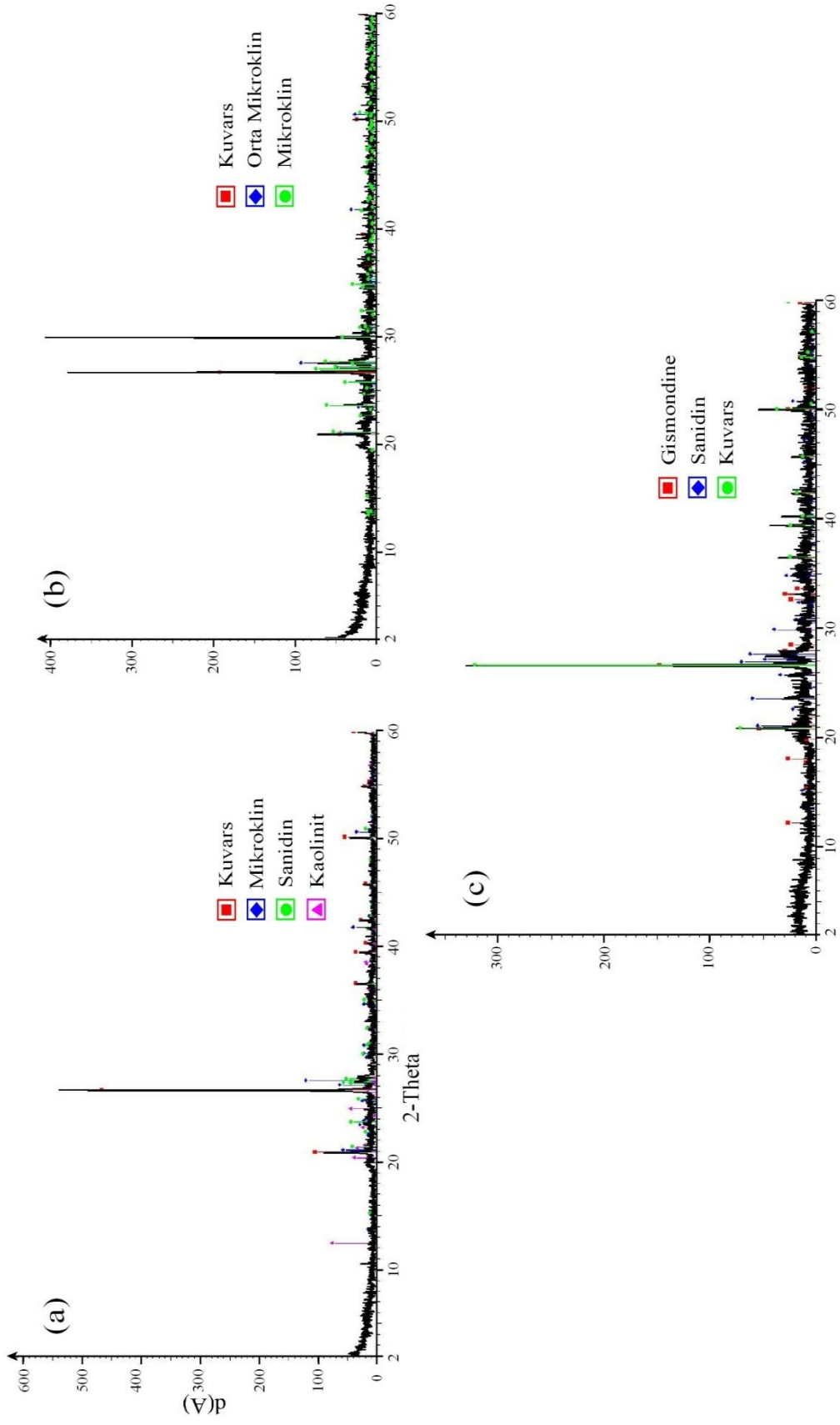
Örneklerin üçgen sınıflandırma kartında kil lemi grubuna düşmüş olduğu görülmektedir.

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi ilk kez Casagrande tarafından 1942 yılında havaalanı inşaatları için geliştirilmiştir. Bu sistemde zeminlerin sınıflandırılması için dane büyüklüğüne ve kıvam limitlerine ihtiyaç vardır. Zeminlerin çoğu iki harf kullanılarak adlandırılmaktadır. Bu sistemde 1952’de havaalanı inşaatlarının yanında baraj ve diğer inşaatlarda da kullanılabilmesi için küçük değişiklikler yapılmış olup, son olarak 1984 de ASTM tarafından yeniden düzenlenmiş ve ‘Grup Sembolü’ ne ilave olarak ‘Grup Adı’ da ilave edilmiştir. İnce daneli zeminlerin sınıflandırılması için kıvam limitleri ve plastisite grafiği kullanılmaktadır.

Çalışmada zeminler Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne göre sınıflandırılmış ve bunun sonucunda heyelanlı alandan alınan 1. ve 2. zemin örneklerinin düşük plastisiteli kil, 3. örneğinin ise yüksek plastisiteli kil olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.19). Zeminlerde bulunan killerin türü XRD (Şekil 3.20) çözümlenmeleriyle bulunabileceği gibi, plastisite özelliklerinden yararlanılarak da belirlenebilir. Bu amaçla plastisite kartından yararlanılmış ve genel olarak zeminlerde bulunan killerin illit grubunda olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Casagrande kartında çalışma konusu zeminlerin gösterimi



Şekil 3.20. XRD'ye göre kil cins tayini a:1. örnek, b:2. örnek, c: 3 örnek.

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Komisyonunun (IAEG, 1976) likit limit değerleri kullanılarak yaptığı sınıflama, ince taneli zeminlerde plastisite indisine göre Burmister (1951), Leonards (1962) ve Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Komisyonu (IAEG, 1976) tarafından önerilen sınıflamalar en çok kullanılan sınıflamalardır.

Bu çalışmada ise, zeminlerin IAEG (1976) ve Leonards (1962) sınıflamalardaki yeri Tablo 3.7 ve 3.8’de görülmektedir.

Tablo 3.7. IAEG (1976)'nin likit limit değerlerine göre yaptığı zemin sınıflaması

Plastisite Özelliği	Likit Limit (%)	Çalışma Konusu Zeminler
Düşük plastisiteli	<35	
Orta plastisiteli	35-50	1 ve 2
Yüksek plastisiteli	50-70	3
Çok yüksek plastisiteli	70-90	
Çok daha yüksek plastisiteli	>90	

Tablo 3.8. Burmister (1951) plastisite sınıflaması

Plastisite İndisi (%)	Plastisite Derecesi	Tanım	Çalışma Konusu Zeminler
0	Plastik değil	SİLT	
0-5	Önemsiz	KİLLİ SİLT	
5-10	Düşük	SİLT VE KİL	
10-20	Orta	KİL VE SİLT	1 ve 2
20-40	Yüksek	SİTLİ KİL	3
>40	Çok yüksek	KİL	

Tablo 3.7 ve 3.8’de görüldüğü gibi heyelanlı sahadan alınan zeminlerin orta plastisiteli kil-silt ile yüksek plastisiteli siltli kil olduğu anlaşılmaktadır. Bu değerler Şekil 3.19’de görülen Casagrande kartı ile uyumluluk sunmaktadır.

3.5.2.4. Zeminlerin Şişme Özellikleri

Zeminlerdeki killerin şişme özelliklerine bağlı olarak, mühendislik yapılarında deformasyon sorunlarıyla karşılaşılması muhtemeldir. Şişme potansiyeli yüksek zeminler üzerinde inşa edilen mühendislik yapıları üzerinde, zemin kabarmaları sonucunda deformasyonlar meydana gelebilmektedirler.

Bu nedenle, zeminlerin şişme özelliklerinin ve mekanizmalarının çok iyi belirlenmesi, zemin davranışlarının açıklanabilmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

Kil içeriği yüksek olan kayaların bünyelerine su almaları durumunda şişme davranışlarını önceden tahmin edebilmek için şişme potansiyeli açısından değerlendirilmesinde büyük yarar vardır.

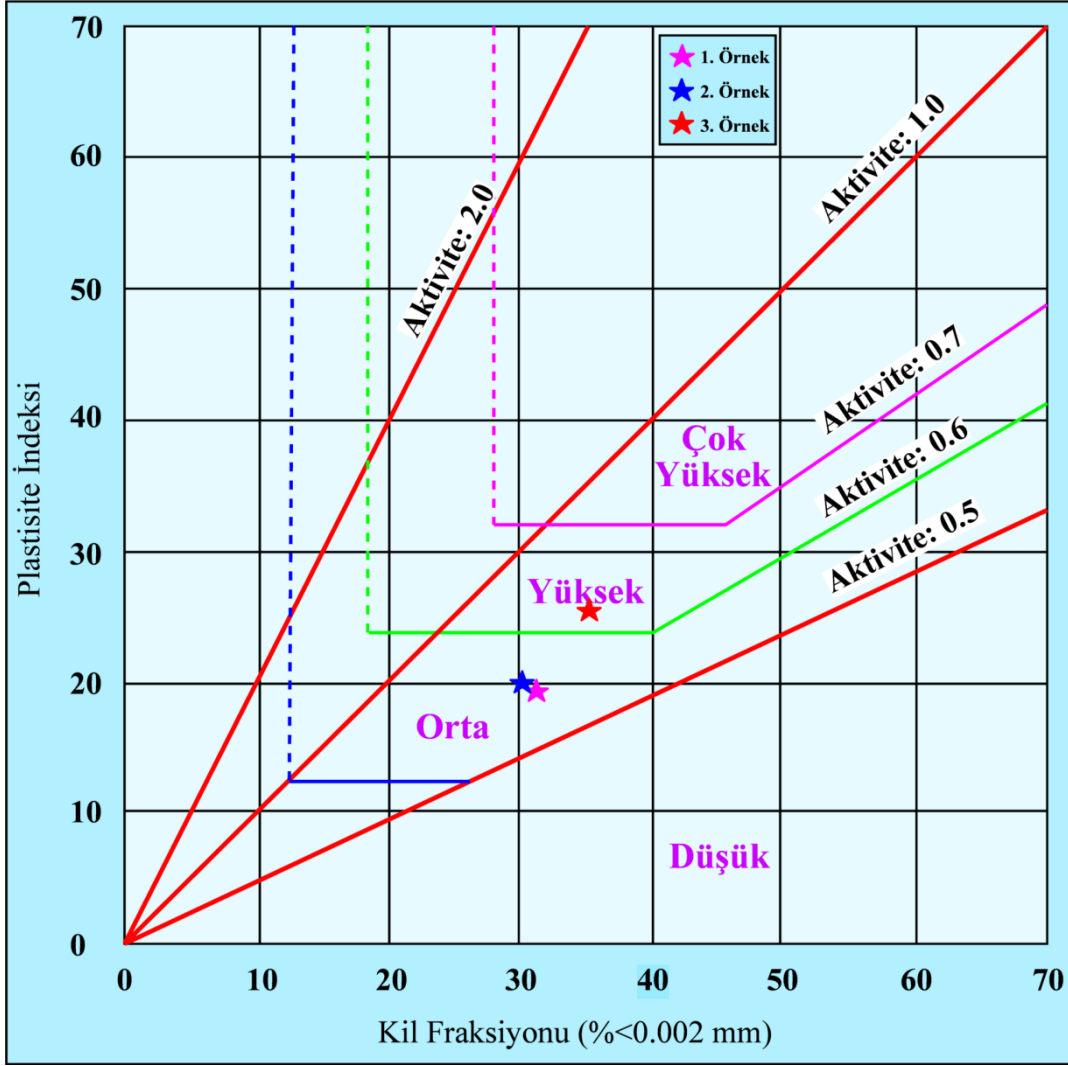
Kıvam limitleri ve killerin aktivitesi, şişme potansiyelinin, aktiflik-pasiflik özelliklerinin belirlenmesinde ve mineral türü tayininde sıkça kullanılan mühendislik parametreleridir (Skempton, 1953). Bununla birlikte ince daneli zeminlerin plastisite indisinin kil yüzdesine (0.002 mm.den küçük daneler miktarı) oranı ise zeminin aktivite katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Aktivite katsayısı zemin içindeki kil minerallerinin cinsi hakkında fikir vermekte ve zeminin şişme potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada zeminlerin şişme potansiyellerini plastisite özellikleri ve aktivite değerlerinden yararlanarak belirlenmiştir. Kıvam limitleri kullanılarak şişme potansiyelinin belirlenmesinde O'Neill ve Poormoayed (1980) tarafından önerilen sınıflama (Tablo 3.9), plastisite indeksi-kil fraksiyonu ve aktivite-kil fraksiyonu değerleri kullanılarak şişme potansiyelinin belirlenmesinde Van Der Merwe (1964) tarafından önerilen şişme potansiyeli sınıflama abakları kullanılmıştır (Şekil 3.21).

Tablo 3.9. Zeminlerin şişme potansiyeline bağlı olarak sınıflandırılması

Şişme Potansiyeli Tanımlama Ölçütleri O'Neill Ve Poormoayed, 1980)				Çalışma Konusu Zeminler
Likit Limit (%)	Plastisite İndeksi (%)	Şişme Potansiyeli	Sınıflama	Şişme Potansiyeli Frekans Değerleri (%)
< 50	< 25	< 0.5	Düşük	1 ve 2
50-60	25-35	0.5-1.5	Orta	3
> 60	> 35	> 1.5	Yüksek	-

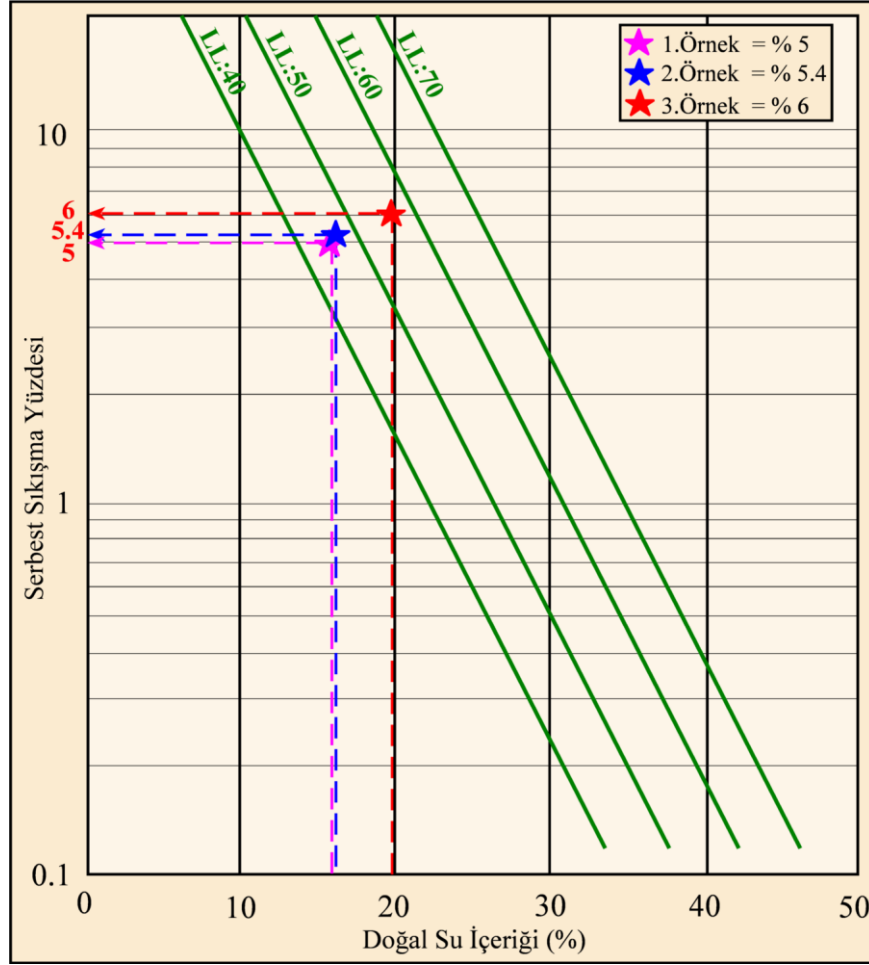
Tablo 3.9 ve Şekil 3.19'de görüldüğü gibi heyelanlı saha içerisinden alınan 1. ve 2. örneklerin orta şişme potansiyeline, 3. örneğin ise yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma konusu zeminlerin şişme yüzdeleri ise Şekil 3.22'de likit limit ve doğal su içeriğine bağlı olarak geliştirilmiş grafikten belirlenmiş ve genel olarak zeminlerin serbest şişme yüzdelerinin % 6'yı geçmediği belirlenmiştir.



Şekil 3.21. Şişme potansiyeli için sınıflama grafiği (Van Der Merwe, 1964).

3.5.2.5. Zeminlerin Dayanım Özellikleri

Kayma mukavemeti, zeminin kırılmadan karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesidir. Zeminlerin kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemleri doğrudan ve dolaylı kesme deneyleri iki grupta toplanabilir. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesinde, deney koşullarının arazi koşullarına mümkün olduğunca uydurulması gerekir. Bir dolaylı kesme deneyi olan üç eksenli basınç deneyinde numuneye yanal ve aksenal gerilmeler uygulanarak, zeminin arazi koşullarına yakın yüklemeler altında deneye tabii tutulması sağlanabildiğinden bu deney, kayma mukavemetinin saptanmasında kullanılan en gelişmiş deney yöntemlerinden biridir.

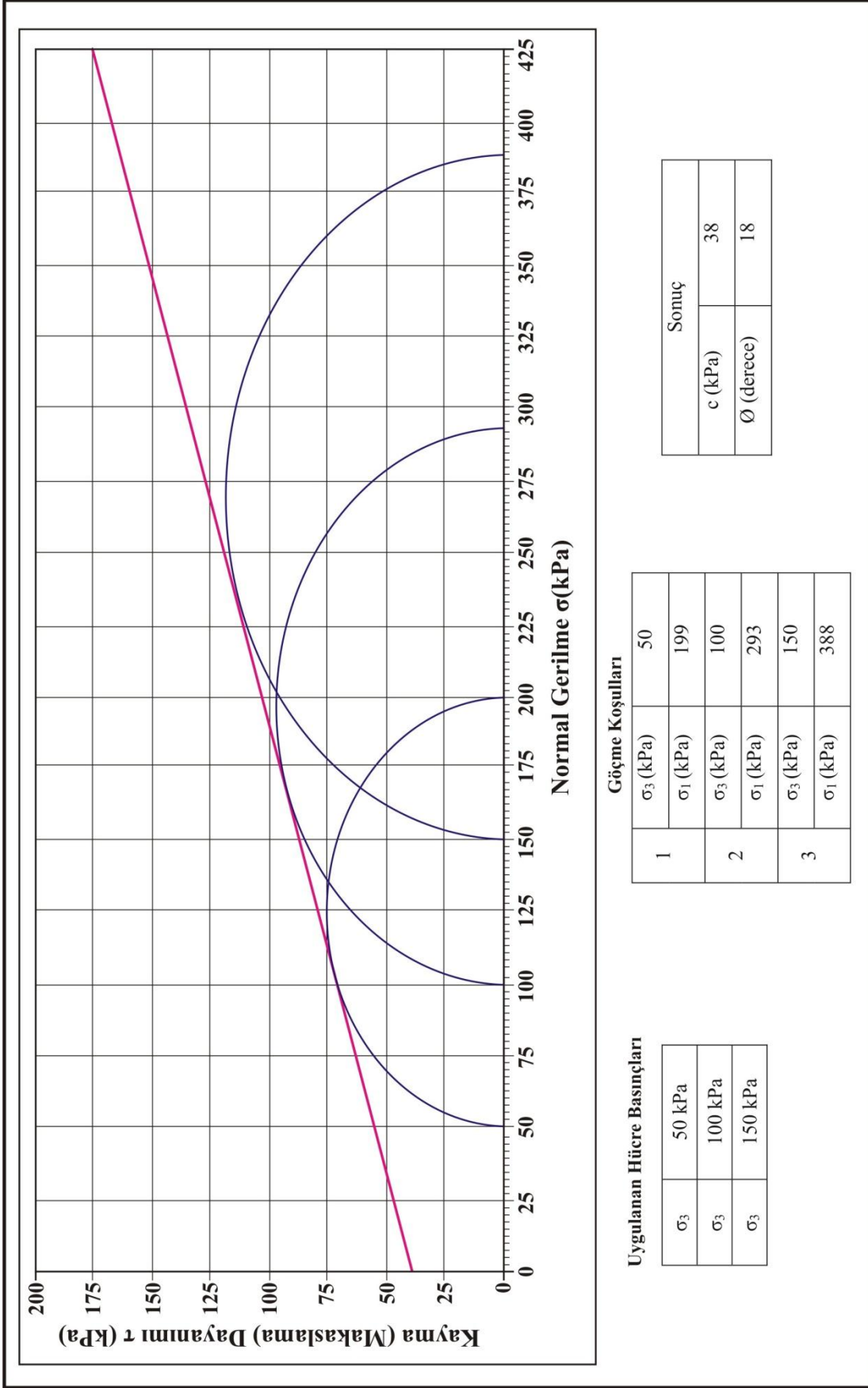


Şekil 3.22. Doğal su içeriği, LL ve serbest şişme yüzdesi ilişkisi (Das, 1999)

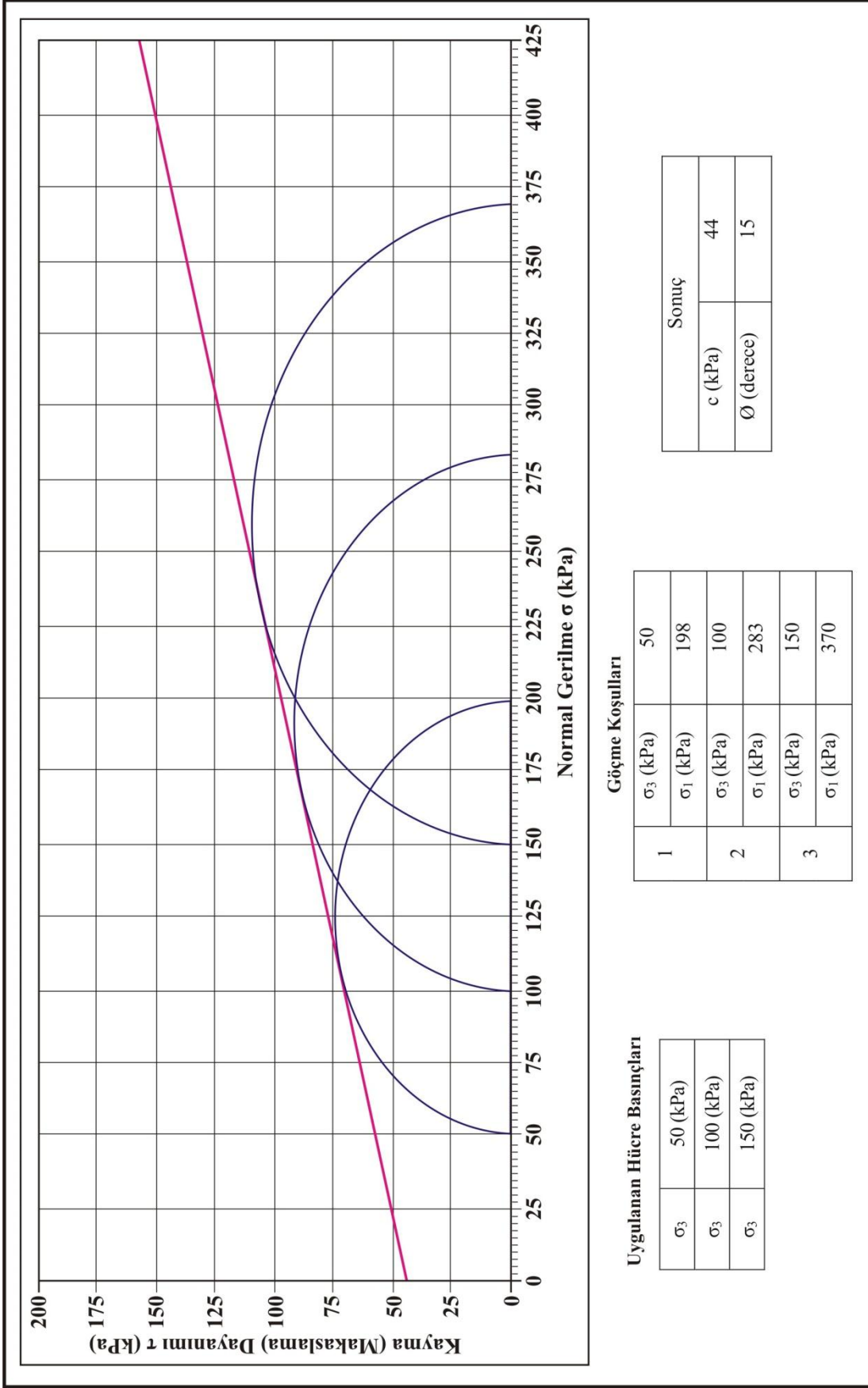
Bu nedenle çalışmada, zeminin kayma dayanımı parametreleri olan içsel sürtünme açısı ve kohezyonu belirlemek amacıyla konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda hazırlanan grafikler Şekil 3.23-25'te, grafiklerden elde edilen sonuçlar ise Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Çalışma konusu zeminlerin kayma dayanımı parametreleri

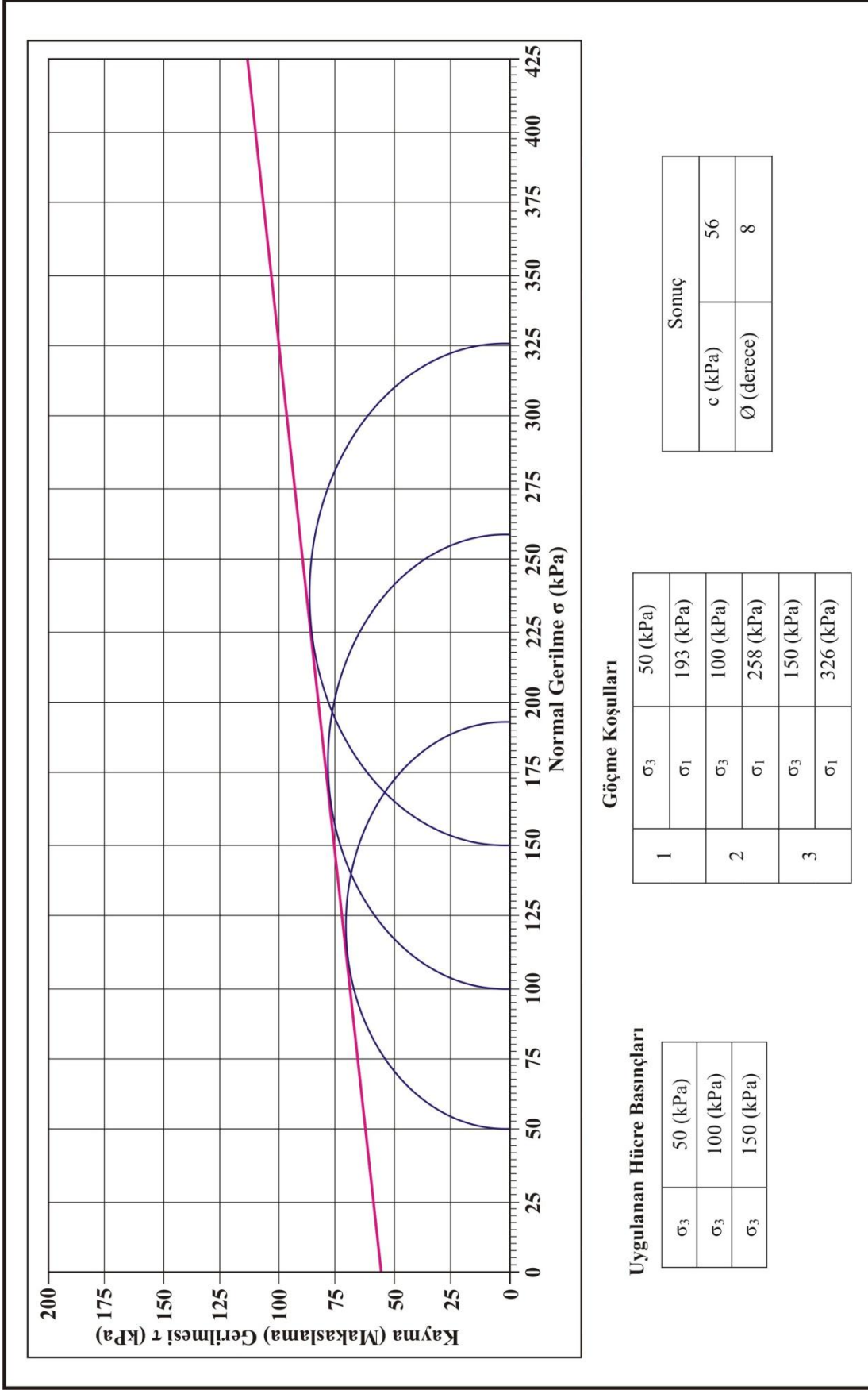
	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı
Örnek 1	38	18
Örnek 2	44	15
Örnek 3	56	8



Şekil 3.23. Örnek 1'e ait üç eksenli basınç deneyi sonuçları



Şekil 3.24. Örnek 2'ye ait üç eksenli basınç deneyi sonuçları



Şekil 3.25. Örnek 3'e ait üç eksenli basınç deneyi sonuçları

3.5.3. Düşey Zemin Profilinin ve Kayma Yüzeyinin Tanımlanması

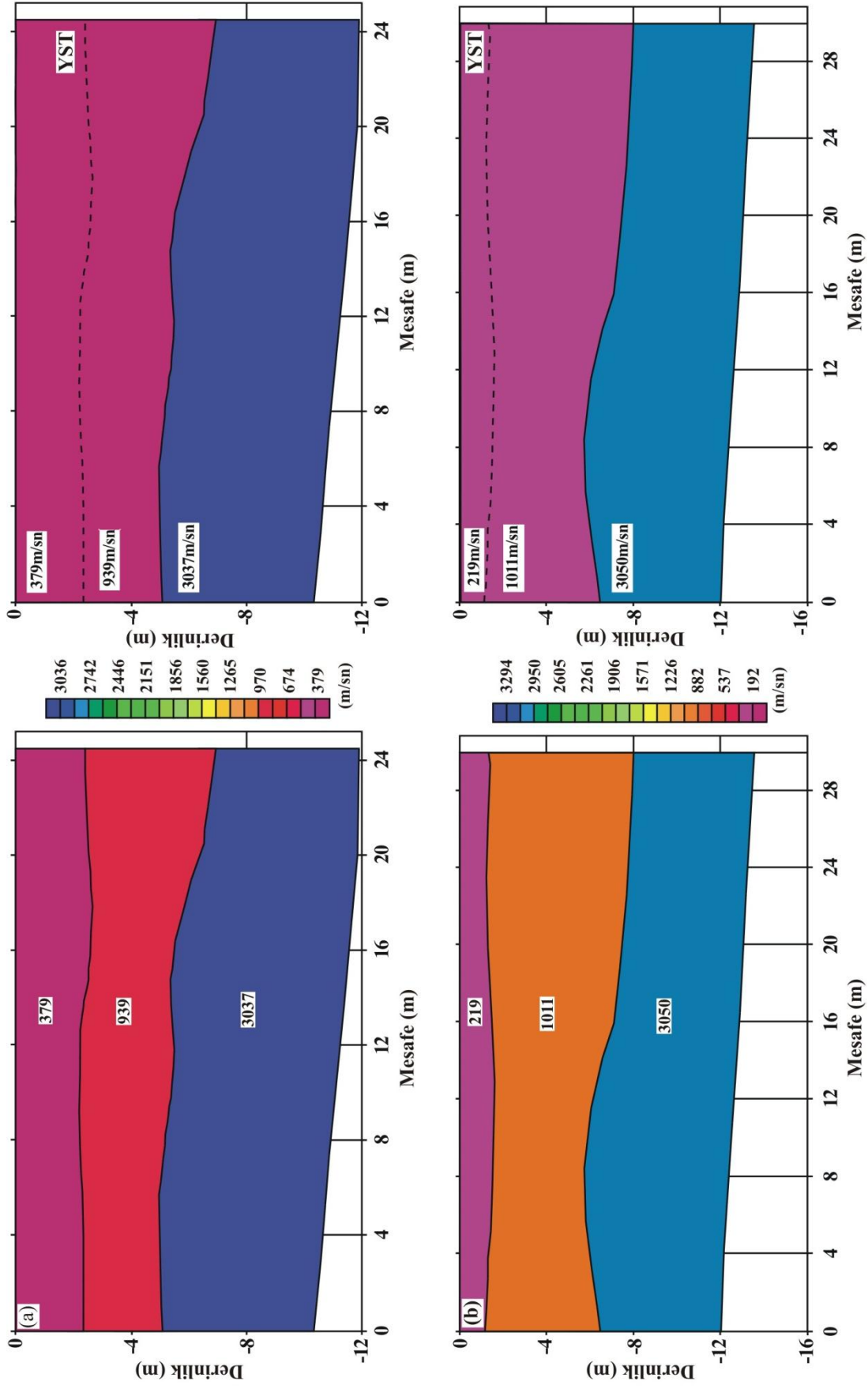
Çalışmada kayma yüzeyinin belirlenmesi ve ortamın düşey ve yanal olarak tanımlanması amacıyla toplam 4 farklı profilde sismik ve elektrik-özdirenç yöntemi ile ölçümler yapılmıştır.

Yapılan sismik ölçümler sonucunda düşeyde 3 farklı tabakanın varlığı tespit edilmiştir. Üst, orta ve alt tabakalardan geçen sismik dalgaların boyuna hızları sırasıyla 219-379, 939-1011 ve 3037-3050 m/sn olarak hesaplanmıştır. Hızları 1000 m/sn'ye yakın ölçülen tabakaların zemin, hızı 3000 m/sn ölçülen alt tabakanın ise andezit ve bazaltlardan oluşan ana kaya olduğu arazi gözlemleriyle desteklenerek belirlenmiştir. Arazi gözlemleri sonucunda heyelan alanının yaklaşık 50 m güneyinde bu volkanik kayaların yüzeylenme verdiği görülmüştür. Sismik ölçümlerden elde edilen düşey zemin profilleri Şekil 3.26'da, bu profilden elde edilen veriler ise Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Sismik kırılma yöntemi ile elde edilen veriler

1 No'lu Jeofizik Ölçüm Noktası			2 No'lu Jeofizik Ölçüm Noktası		
Derinlik(m)	Formasyon	Sismik hız (m/sn)	Derinlik (m)	Formasyon	Sismik hız (m/sn)
0-2.5	Gevşek Zemin	379	0-1.5	Gevşek Zemin	219
2.5-6	Sıkı Zemin	939	1.5-7	Sıkı Zemin	1011
6-	Ana kaya	3037	7-	Ana kaya	3050

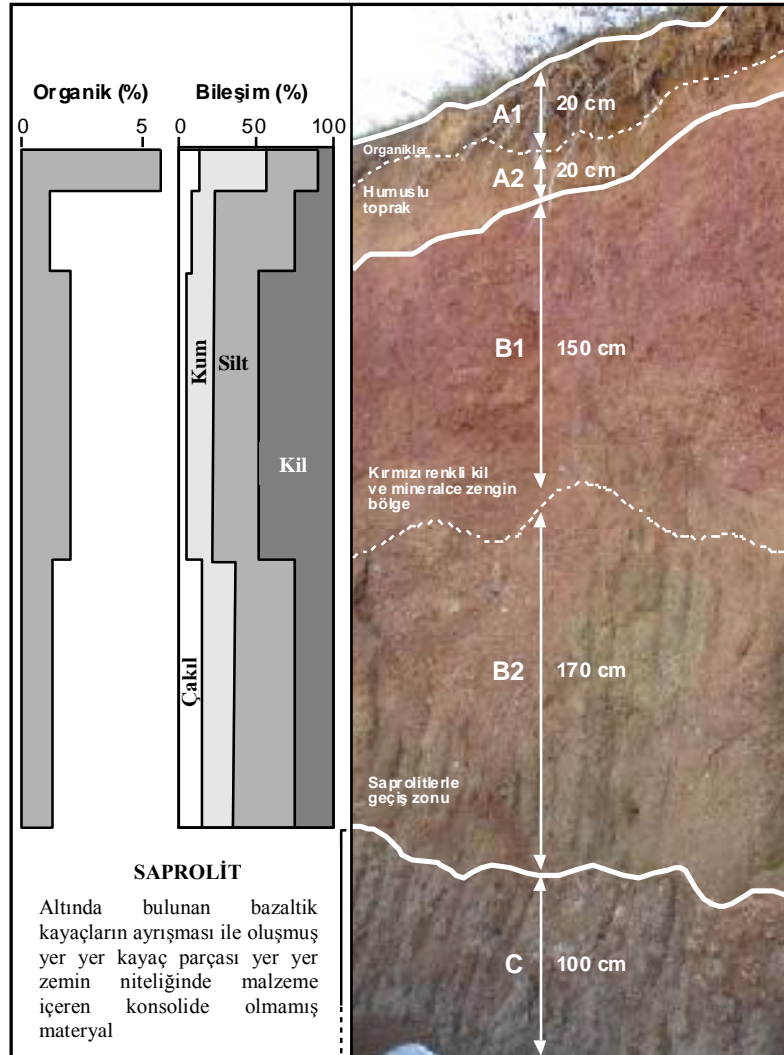
Trabzon ilinde özellikle Kalkınma, Yalıncağ, Boztepe ve Pelitli mahalleri çevresinde yüzeylenen regolitik zeminler, Eosen-Neojen (?) yaşlı Kabaköy Formasyonu'nun en üst seviyelerinde gözükmektedir. Özellikle temeldeki volkanik kayaların ayrışması sonucu oluşan bu zeminler, derine doğru ayrışmamış volkanik kayalara geçiş gösterir. Regolitler, ana kayanın parçalanması ve içindeki minerallerin bozunması neticesinde oluşmuştur. Bölgenin yağışlı olmasına bağlı olarak bu zonlar arasında renk, kimyevi bileşim, tane boyutu gibi karakteristikleri bakımından farklar gözlenebilir. Bir toprak profili incelendiğinde yüzeyden alta doğru fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişiklik gösterdiği görülür ve bu zonlar yüzeyden itibaren zonlar A, B, C olarak isimlendirilir. Şekil 3.27'de Trabzon ili Kalkınma mahallesinde yüzeylenen bir toprak profili verilmiştir (Baykan, 2011). A horizonu, organik maddelerin karışması nedeniyle renginin genellikle koyu olduğu ve yıkanmanın gerçekleştiği horizondur. Yıkanmaya bağlı olarak bu katmandaki humus ve kil gibi maddelerin bir kısmı taşınmıştır.



Şekil 3.26. Sismik kırılma ölçümleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak çizilen düşey zemin profili (a: Sp1-Sp1' ve b: Sp2-Sp2' profilleri)

Buradaki çözülme ve ayrışma olayları sonucunda toprak oluşum sürecini tamamlamıştır. B horizonunda toprak oluşumu devam etmektedir. A katından sızan suların taşıdığı kil, demir, tuz gibi maddeler bu katta birikir. C horizonu, ana kayayı oluşturan taşların küçük bloklar halinde bulunduğu kattır.

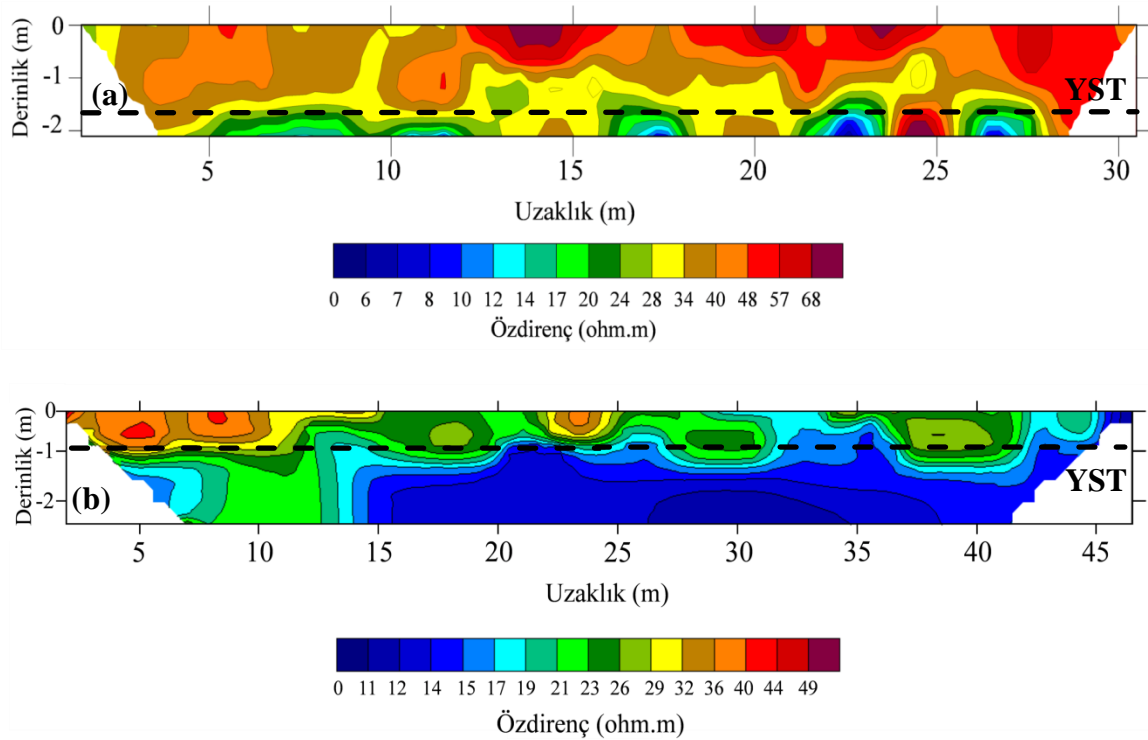
Çalışma alanı ve çevresinde bu zonları gözleyebilmek amacıyla araştırma çukurları açılmamıştır. Ancak Şekil 3.27 incelendiğinde, bu profilin çalışma alanındaki heyelanlı bölgede yapılan sismik ölçümler sonucunda elde edilen zemin profili ile benzer özellikler gösterdiği görülmüştür. Özellikle B horizonu içerisindeki iki farklı katman çalışma alanında da tespit edilmiştir.



Şekil 3.27. Altta bazı volkaniklerin ayrışması sonucu oluşmuş yaklaşık 4 metre kalınlığındaki regolitik toprak profili (Kalkınma Mahallesi) (Baykan, 2011)

Bununla birlikte çalışma alanındaki zemin profili incelendiğinde özellikle üst ve alt tabakalara ait boyuna dalga hızı değerleri arasında 3 kattan fazla fark olması ortamda farklı toprak horizonundan ziyade yer altı suyunun varlığına yönelik bir işaret olarak düşünülmüştür. Bu nedenle aynı profillerde elektrik-özdirenç yöntemiyle ölçümler gerçekleştirilmiştir.

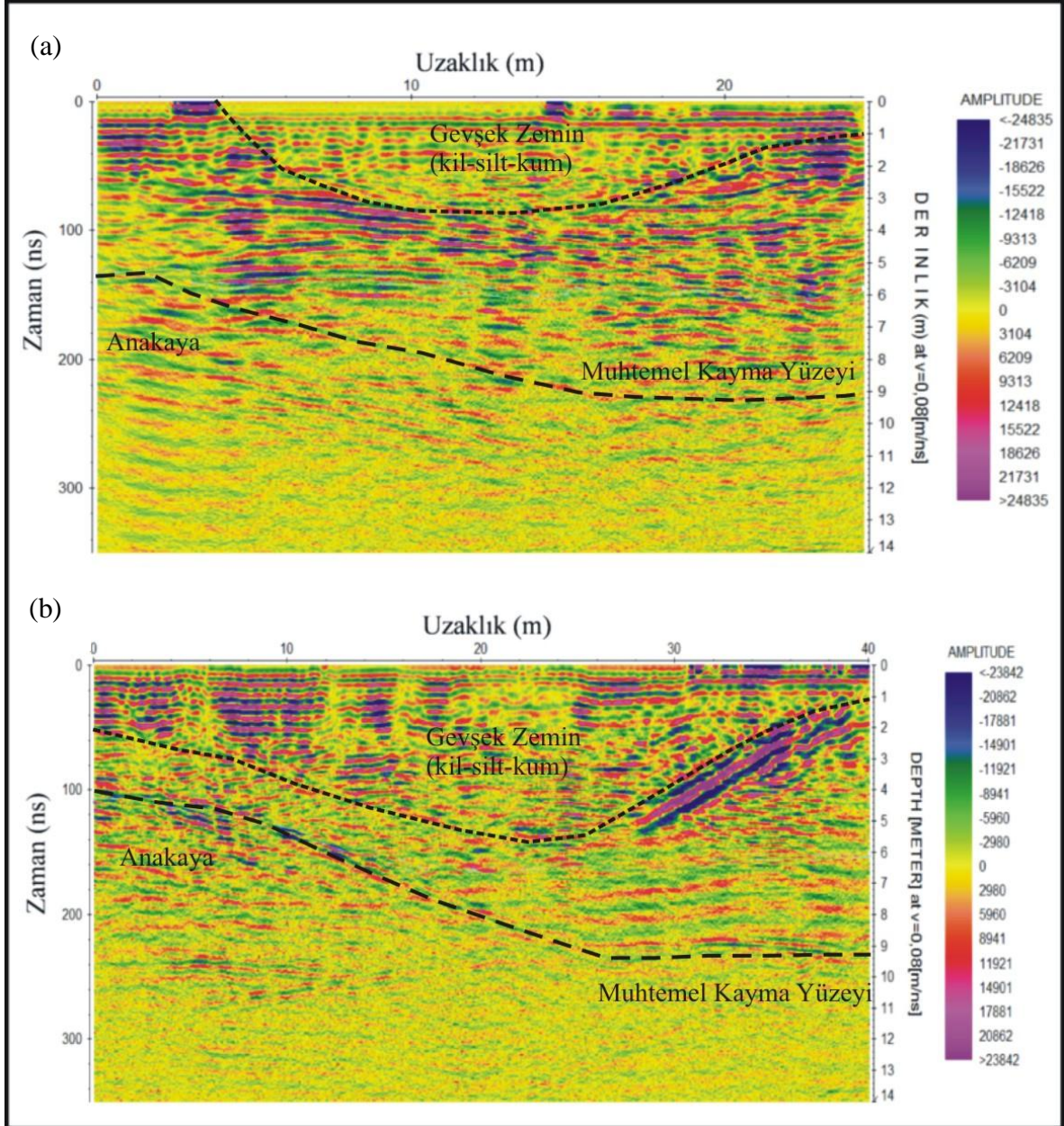
Yapılan ölçümler sonucunda yüzeyden itibaren yaklaşık 2 metre derinlikten sonra çok küçük özdirenç değerleri ölçülmüştür (15 ohm). Bu değerler ortamda yer altı suyunun varlığına işaret etmektedir (Şekil 3.28). Yağışla yüzeye ulaşan sular bu toprak profilinde yeraltına doğru sızarak yaklaşık 5-6 metre derindeki ana kaya üzerinde birikmiş ve yükselerek yer altı suyunun birikmesine neden olmuştur. Ancak bu yer altı suyunun sadece yağışlı dönemlerde biriktiği düşünülmektedir. Ölçümlerin yağışlı mevsimlerde yapılması bu görüşü doğrulamaktadır.



Şekil 3.28. Elektrik-özdirenç ölçümleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak çizilen elektrik profili (a: Ep1-Ep1' ve b: Ep2-Ep2' profilleri)

Şekil 3.29'da çalışma alanında yapılan yer radarı sonuçları verilmiştir. Elde edilen bulgular özdirenç ve sismik ölçümler sonucunda elde edilen verilerle paralellik

göstermektedir. Şekil 3.29'dan da görüldüğü gibi yaklaşık 6 metre derinlikte izlenen farklı yansımalar bu derinlikte ana kaya varlığını işaret etmektedir.



Şekil 3.29. Çalışma alanı üst bölge (a) ve alt bölge (b) için yer radarı sonuçları

3.5.4. Şev Stabilite Analizi

Şevlerle şekillendirilmiş zemin/kaya kütlelerinin verilen proje süresi ve yükleme koşulları altında denge konumlarını araştıran “stabilite analizi” zemin ve kaya mekaniğinin temel konularından biridir. Stabilite analizinde temel amaç tasarlanan şev kütlelerinin

verilen işletme ve yükleme koşullarında güvenlik katsayısının belirlenmesidir. Şev stabilite analizlerinde kritik kayma yüzeyleri aranmaktadır. Bu şekilde en küçük güvenlik sayısı belirlenmeye çalışılmaktadır.

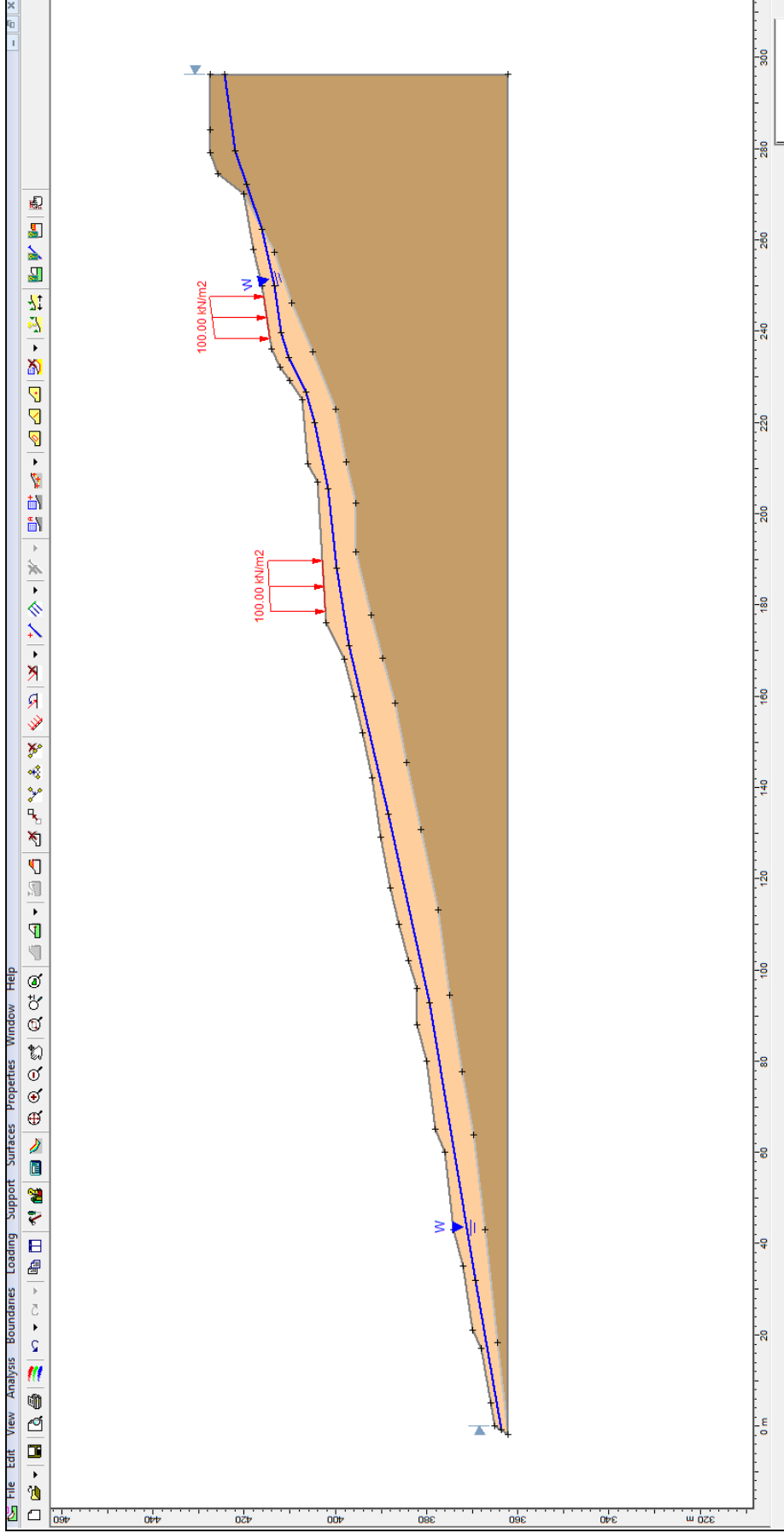
Bu araştırmalar yapılırken, şevleri oluşturan malzemenin cinsine göre, harekete neden olan ve direnen parametreler belirlenmelidir. Herhangi bir şevi oluşturan zeminin, çok zayıf kaya, atık veya posa malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri şev boyunca çok değişiklik gösteriyorsa ve düşük kayma dayanımlı düzlemsel yüzeylerin olduğu durumlarda dairesel yenilme esasına dayanan stabilite yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Janbu yöntemi (1956) ise, temelde Bishop yöntemine benzer olup en belirgin farklılığı her biçimdeki yenilme yüzeyine uygulanabilmesidir.

Zemin şevleri için güvenlik sayılarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bir bilgisayar yazılımı olan Slide 5.0 programı ile değişken özellikler gösteren, farklı geometrilerdeki yüzeyler gibi basit ve karmaşık problemler modellenebilmekte, boşluk suyu basıncının etkisi, zemin özellikleri ve çeşitli analiz yöntemleri ile yükleme koşulları belirlenebilmektedir. Ayrıca, programda analiz yaparken heterojen zemin tipleri ve karmaşık stratigrafik durumlarda değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada ise Janbu yöntemi kullanılarak Slide 5.0 programı yardımıyla düzlemsel-dairesel kayma analizleri yapılarak güvenlik sayısı değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.30).

Şekil 3.30'da Yeşilyurt Köyü ve çevresinde yapılan arazi çalışmaları neticesinde yaklaşık 200 metre uzunluğunda, 50 metre genişliğinde bir alanın olası bir kütle hareketinden etkilendiği görülmektedir.

Alt noktası ile üst noktası arasında yaklaşık 40 metre kot farkı olan heyelan bölgesinin ortalama eğimi ise yaklaşık 10 derecedir. Yapılan stabilite analizleri, arazi deneyleri ve gözlemleri ile deneştirilmiş, bölgede 2 farklı kayma yüzeyinde yenilmenin meydana geldiği belirlenmiştir. Bu kayma yüzeyleri için güvenlik sayısı değerleri ise 0.97 ve 0.90 olarak hesaplanmıştır. 0.97 güvenlik sayısı değerine sahip kayma dairesinin yatayda uzunluğu 97 m, 0.90 güvenlik sayısı değerine sahip kayma dairesinin yatayda uzunluğu 127 m olarak ölçülmüştür.

Heyelandan etkilenen arazinin görünümü, arazide yapılan sismik ve elektrik ölçülere ait fotoğraflar Şekil Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.30. Çalışma konusu şevin Slide 5.0 programındaki görünümü



Şekil 3.31. Heyelan sonucu yığma binada gözlenen çatlaklar (a) ve ağaç gövdesinin yataydan sapması (b). Heyelanlı sahada yapılan sismik (c), elektrik-özdirenç (d) ve yer radarı çalışmaları (e). Heyelan bölgesinde hasar gören bir yapı (f).

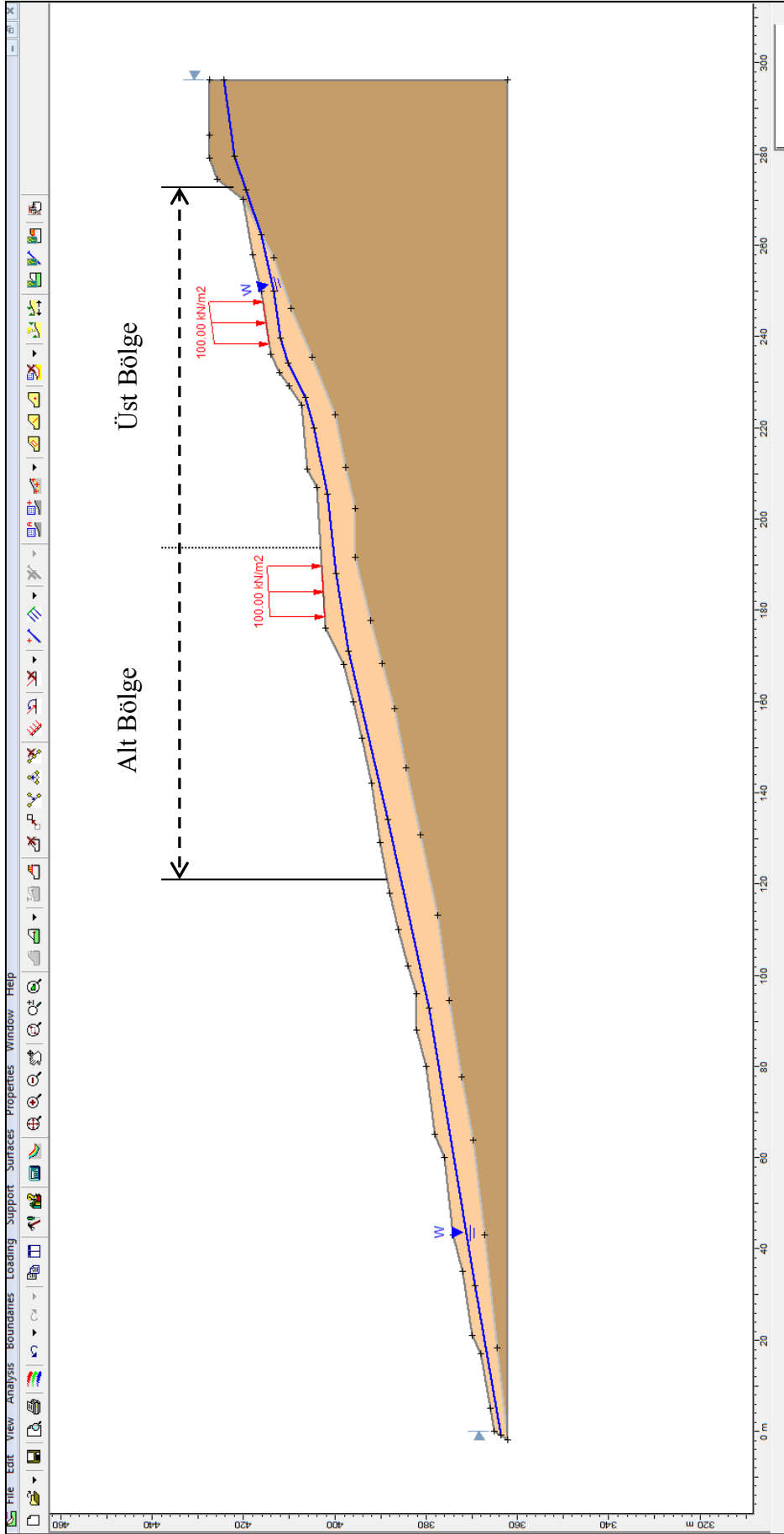
3.5.5. Geri Analizler Yardımıyla Destek Basıncının Belirlenmesi

Doğada uzun süre dengede kalan doğal yamaçlar, insanların kazı, drenaj koşullarını değiştirme, bitki örtüsünü kaldırma gibi müdahaleleriyle dengesini yitirebilmektedirler. Bununla birlikte yamaçların aşırı yağışlar gibi doğal etkilerle de stabilitesi bozulabilmektedir. Karşılaşılan bu problem sonucunda çalışmalar, şevlerin stabilitesinin incelenmesiyle birlikte stabiliteyi arttırıcı önlemlerin alınması konusunda da yoğunlaşmıştır.

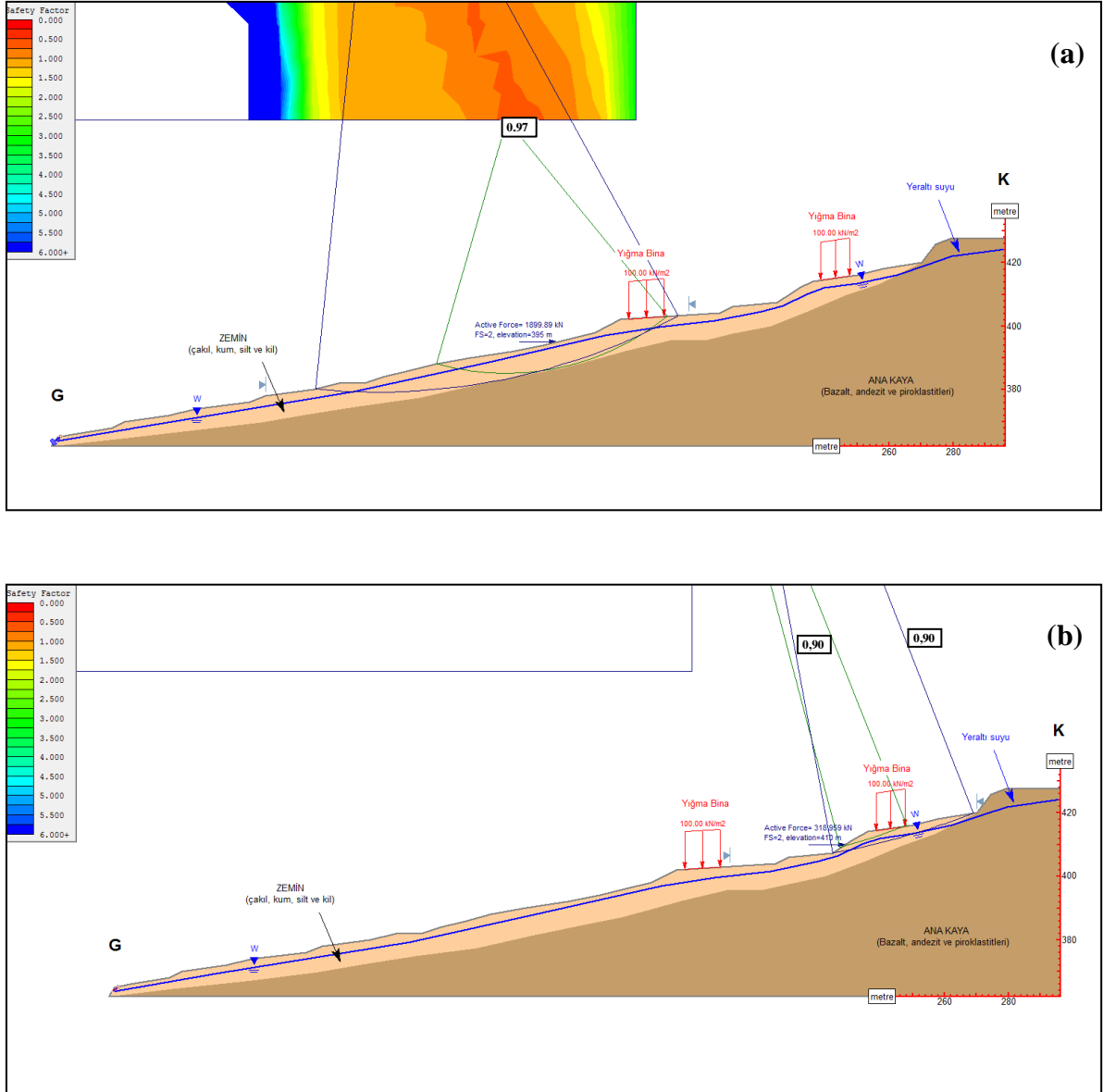
Stabilite analizlerinde destek tipi, uzunluğu ve miktarı, desteğin zemine uygulayacağı gerilme miktarı geri analizler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Geri analizlerde, seçilen güvenlik sayısına göre zeminin yenilmeden duraylı kalması için gerekli destek analizi de yapılmaktadır.

Bu çalışmada, geri analizler yardımıyla Trabzon Yeşilyurt heyelanının stabilitesi için destek tasarımına yönelik önerilerde bulunulmuş, mevcut yamaç üzerinde yapı olması nedeniyle yamaca ait güvenlik katsayısı değeri 2 olarak alınarak, analizler bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Analizler yapılırken, iki farklı heyelan bağımsız olarak düşünülmüş, bununla birlikte, heyelan alanı iki farklı bölgeye ayrılarak, her iki bölge için ayrı ayrı stabilite analizleri yapılmıştır (Şekil 3.32).

Çalışmada her iki bölge için stabilite analizleri ayrı ayrı yapılmış, alt bölge için güvenlik sayısı 0.97, üst bölge için ise 0.90 olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda güvenlik sayısı değerinin 1'den az olduğu görülmektedir. Bu nedenle, mevcut yamaç üzerinde yapı olması nedeniyle yamaca ait güvenlik katsayısı değeri 2 olarak alınmış ve şevin duraylı hale getirilmesi amacıyla geri analizler yapılarak yamacın bu güvenlik sayısında dengede durabilmesi için gerekli olan yatay gerilmeler hesaplanmıştır. Bu değer alt bölge için 395 kot değerinde 1900 kN, üst bölge için 410 kot değerinde 319 kN olarak belirlenmiştir (Şekil 3.33).

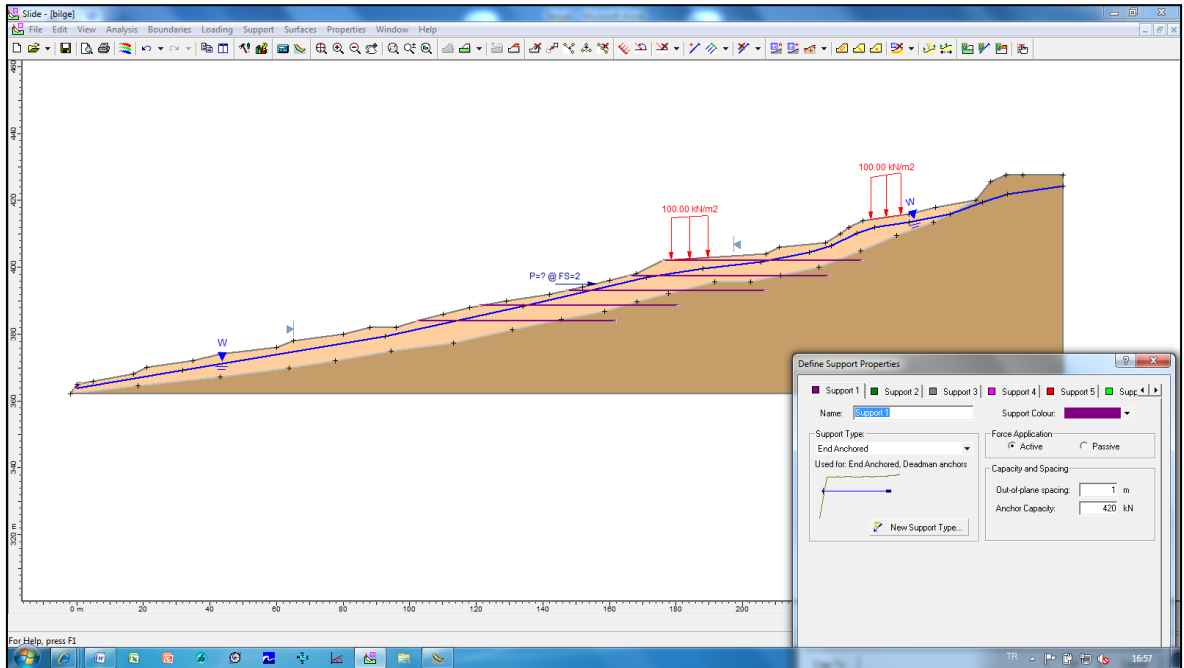
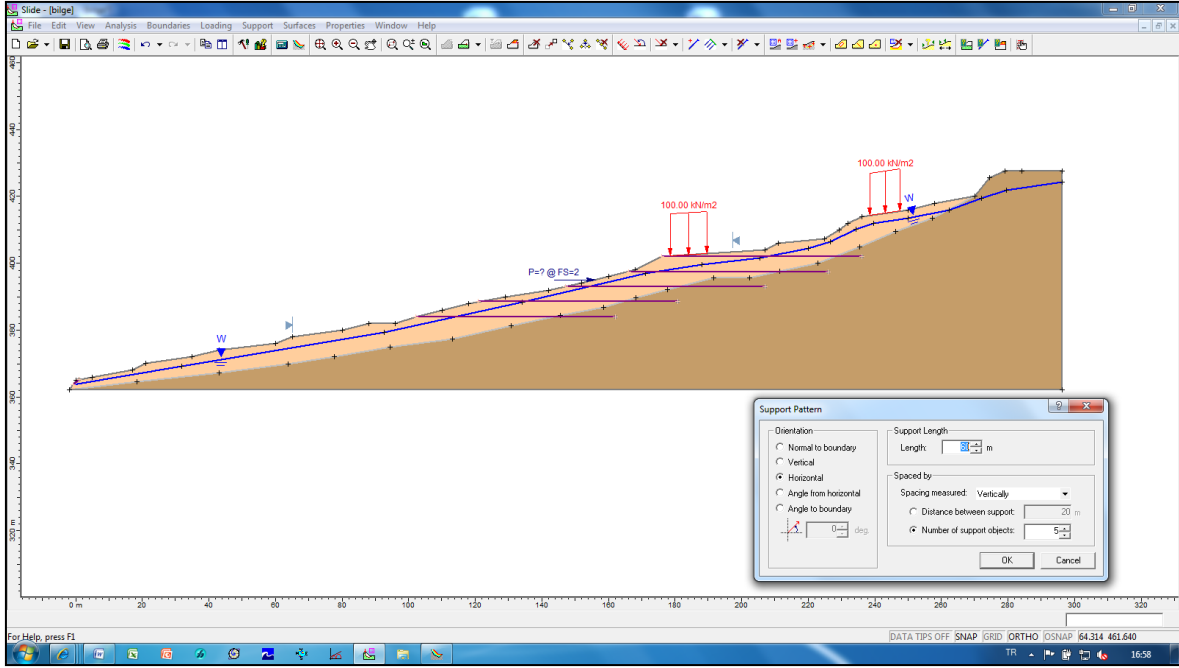


Şekil 3.32. Heyelanlı bölgede stabilite analizleri uygulanan iki farklı bölge



Şekil 3.33. Heyelan alanında Janbu yöntemi kullanılarak alt bölge (a) ve üst bölge (b) için yapılan şev stabilite analizleri şevlerin stabilitesi için gerekli yatay kuvvet hesabı

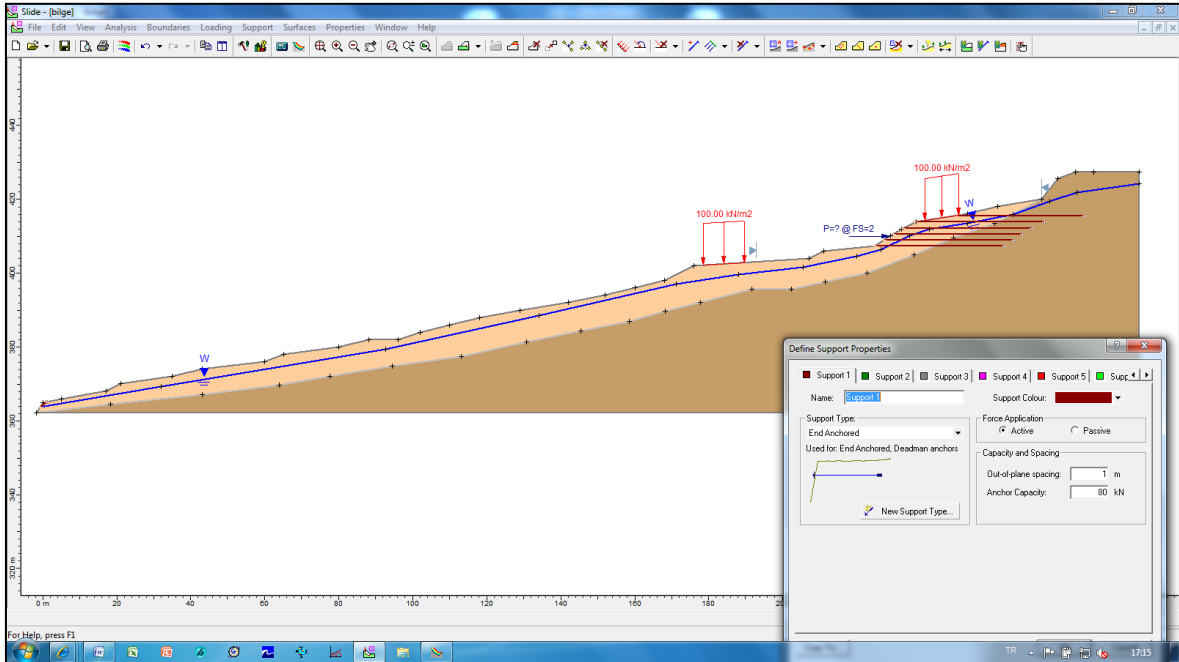
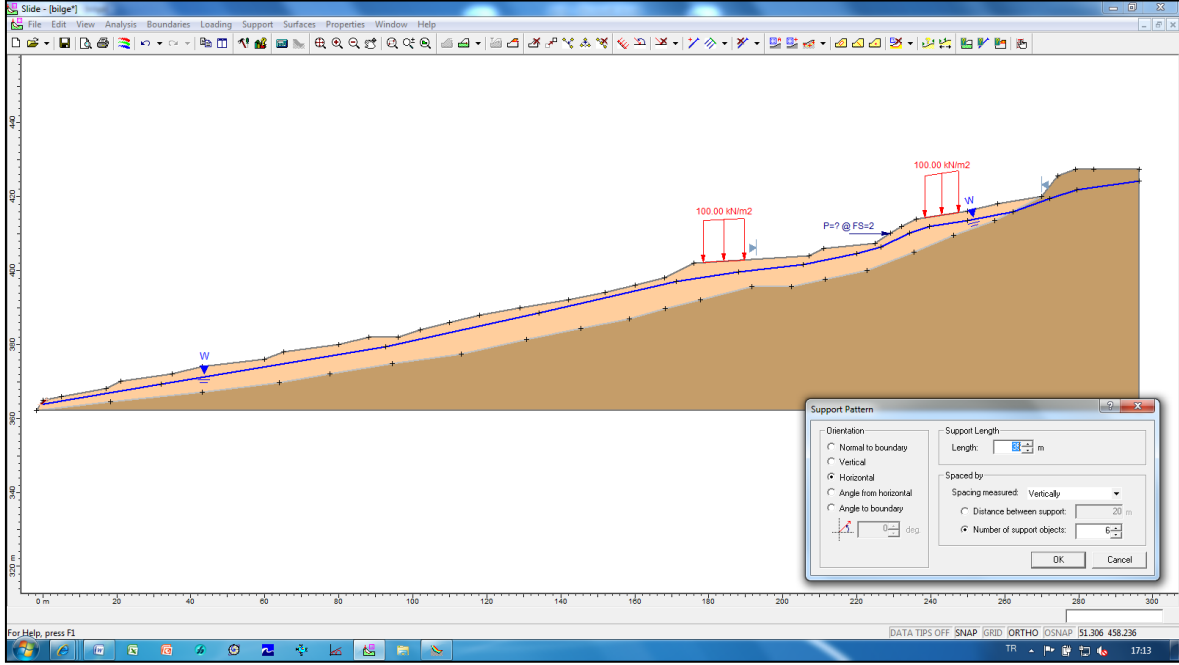
Alt kotta bulunan şevin duraylı hale gelmesi için gerekli olan yatay yükün 1900 kN'dan büyük olması için destek analizi yapılmış, geri analizler yardımıyla 60 metrelik (ana kaya içerisine kadar) ve her biri 420 kN kapasiteli 5 adet ankraj dizayn edilmiştir (Şekil 3.34). Bu durumda şeve uygulanan yatay yük 2100 kN olarak hesaplanmıştır. Bu değer şevin duraylı olması için gerekli olan yatay yükten daha fazladır.



Şekil 3.34. Geri analizler yardımıyla alt şevin duraylı olması için gerekli olan ankraj kapasiteleri ve miktarlarının hesaplanması

Üst kotta bulunan şevin duraylı hale gelmesi için ise gerekli olan yatay yükün 319 kN'dan büyük olması için destek analizi yapılmış, geri analizler yardımıyla 35 metrelik (ana kaya içerisine kadar) ve her biri 80 kN kapasiteli 6 adet ankraj dizayn edilmiştir (Şekil

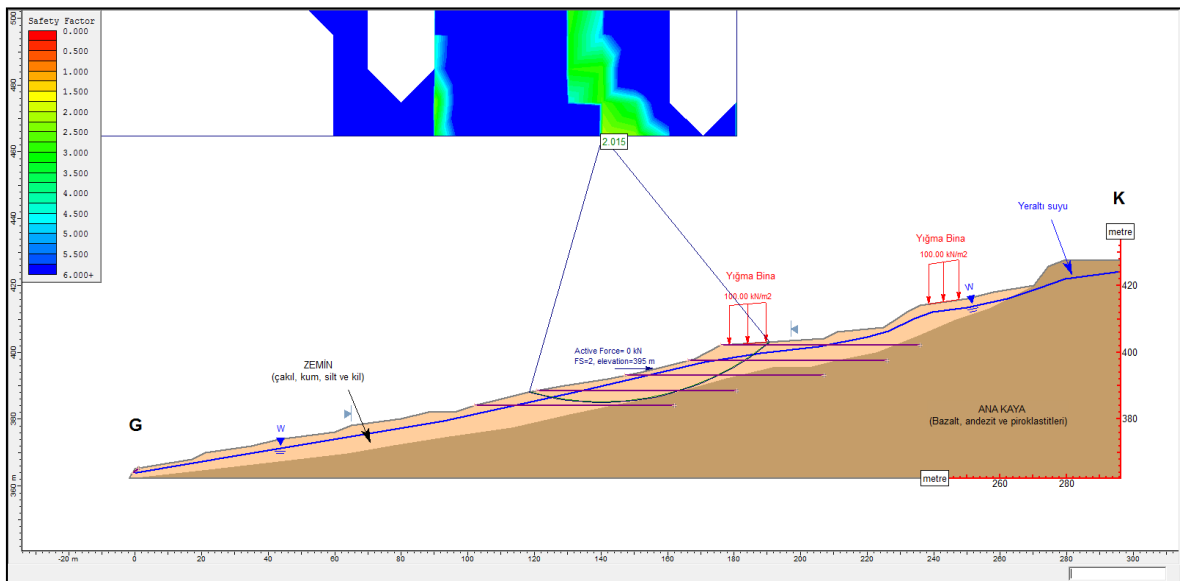
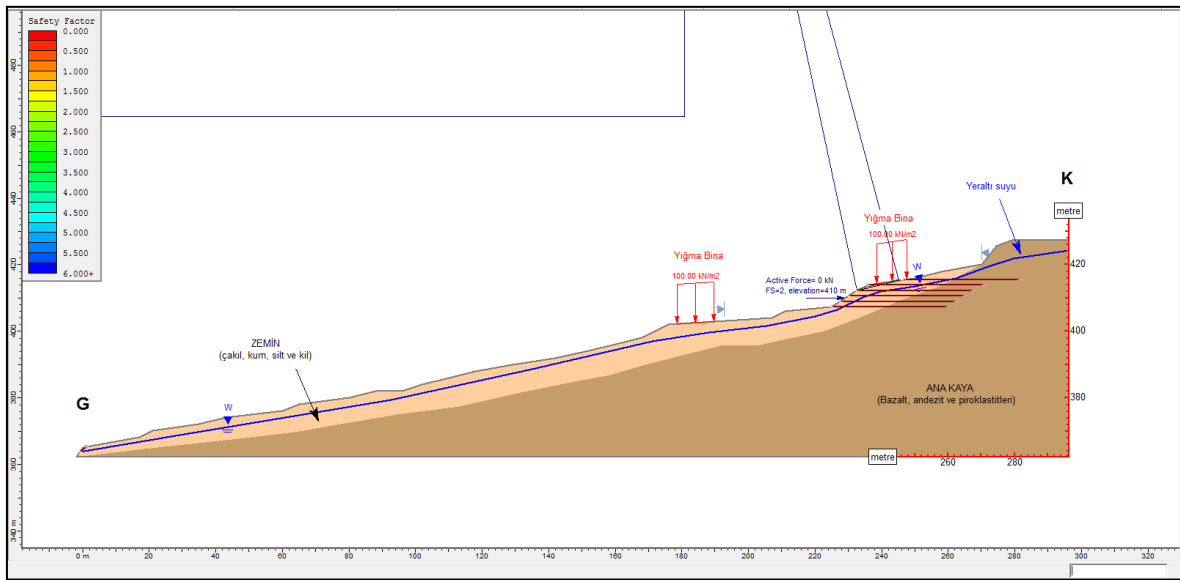
3.35). Bu durumda şeve uygulanan yatay yük 480 kN olarak hesaplanmıştır. Bu değer şevin duraylı olması için gerekli olan yatay yükten daha fazladır.



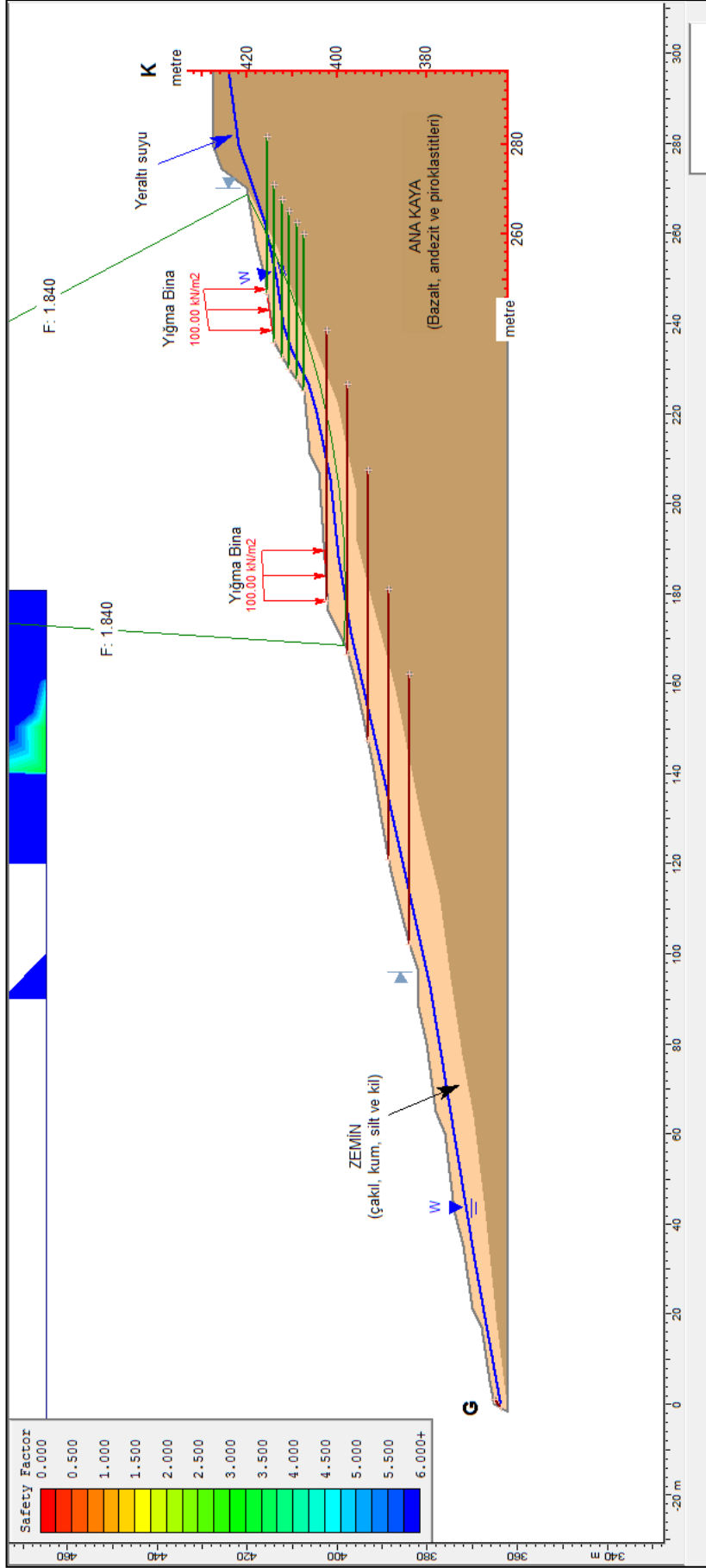
Şekil 3.35. Geri analizler yardımıyla üst şevin duraylı olması için gerekli olan ankraj kapasiteleri ve miktarlarının hesaplanması

Bu şekilde yapılan hesaplamalarda her iki şev içinde belirtilen ankraj sistemlerinde güvenlik sayılarının 2 değerinden yüksek olduğu, şevler üzerinde ankraj sistemleri varken yapılan stabilite analizleri sonucunda görülmüştür (Şekil 3.36).

Bununla birlikte belirlenen destek sistemleri sabit kalmak koşuluyla her iki şev bir bütün olarak düşünülmüş, farklı ankraj sistemleri beraber çalıştırılarak tek bir kütle boyunca Janbu yöntemi kullanılarak stabilite analizleri yapılmış ve sonuç olarak güvenlik sayısı değeri 1.84 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.37). Şekillerde aktif güç (aktive force) değerlerinin “0” (sıfır) olması analizin doğru çalıştığının bir göstergesidir.



Şekil 3.36. Farklı iki şevde ankrajların olması durumunda yapılan stabilite analizleri ve elde edilen güvenlik sayısı değerleri



Şekil 3.37. Şevin duraylı hale gelebilmesi için geri analizler ile belirlenen ankraj sistemleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Trabzon ili merkez ilçesi sınırları içerisinde yer alan Yeşilyurt köyünde bulunan yaklaşık 10000 m²'lik alanın heyelan potansiyeli araştırılmış, bu kapsamda jeolojik, jeoteknik ve jeofizik çalışmaları yapılarak elde edilen veriler yardımıyla önerilerde bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Çalışma alanı ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Kuvaterner yaşlı taraçalar ve alüvyonların yüzeylenme verdiği belirlenmiştir.

- İnceleme alanındaki volkanik kayaçların ayrışması sonucunda regolitik zeminler oluşmuşlardır. Çalışma alanında yüzeylenen regolit, Eosen-Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu gözükmektedir. Özellikle temeldeki volkanik kayaçların ayrışması sonucu oluşan regolitik zeminlerde, üst kısımlarda görülen kırmızı killer, derine doğru ayrışmamış volkanik kayaçlara geçiş gösterir.

- Arazi çalışmaları sırasında inceleme alanını temsil eden 3 ayrı noktadan zemin örneği alınmıştır. Alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde deneyler yapılarak zeminin jeoteknik özellikleri tespit edilmiştir. Bunlardan örselenmiş örnekler ile yapılan deneyler sonucunda, örneklerin kıvam limitleri ve buna bağlı olarak aktivasyon katsayıları, özgül ağırlıkları, ıslak elek analizi ve hidrometre deneylerinden dane dağılım eğrileri elde edilmiştir. Örselenmemiş örneklere üzerinde yapılan deneylerde ise örneklerin kohezyonları, içsel sürtünme açıları, su muhtevaları ve birim hacim ağırlıkları bulunmuştur.

- Zeminlerin su muhtevalarının % 16.1 ile % 19.9, özgül ağırlık değerlerinin 2.71 ile 2.77, doğal birim hacim ağırlıklarının ise 17.2 kN/m³ ile 17.5 kN/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte zemin içerisindeki çakıl oranının % 20'yi geçmediği, kum oranının % 25 ile % 41, silt oranının % 18 ile 22 ve kil oranının % 30 ile 35 arasında olduğu belirlenmiştir. Deneyler sonucunda numunelerin, likit limitlerinin % 45.3 ile % 56.6, plastik limitlerinin % 25.9 ile % 29.5 ve plastisite indisinin ise % 19.4 ile % 27.1 arasında olduğu görülmüştür.

- Çalışmada zeminler Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre sınıflandırılmış ve bunun sonucunda zeminlerin CH, CH ve CL sınıflarında olduğu görülmüştür (kumlu yağlı kil ve az çakıl, kumlu düşük plastisiteli kil, kumlu yağlı kil ve az çakıl).
- Zeminlerde bulunan killerin türü XRF çözümlenmeleriyle bulunabileceği gibi, plastisite özelliklerinden yararlanılarak ta belirlenebilir. Bu amaçla plastisite kartından yararlanılmış genel olarak zeminlerde bulunan killerin illit olduğu belirlenmiştir.
- Uluslar Arası Mühendislik Jeolojisi Komisyonu (IAEG, 1976) likit limit değerleri kullanılarak yaptığı sınıflama, ince taneli zeminlerde, plastisite indisine göre Burmister (1951), Leonards (1962) ve Uluslar Arası Mühendislik Jeolojisi Komisyonu (IAEG, 1976) tarafından önerilen sınıflamalar sonucu, çalışma konusu zeminlerden alınan örneklerin sırasıyla 1. Örnek orta plastisiteli, 2. Örnek orta plastisiteli ve 3. Örnek yüksek plastisiteli zeminler sınıfına girdiği anlaşılmıştır.
- Çalışmada volkanik kayaçların ayrışma ürünü olan regolitik zeminlerin şişme potansiyellerini plastisite özellikleri ve aktivite değerlerinden yararlanarak belirlenmiş ve zeminlerin içerisindeki kil örneklerinin yüksek şişme potansiyelinden düşük şişme potansiyeline kadar değişen tanımlamalar aldığı saptanmıştır.
- Yapılan değerlendirmeler sonucunda çalışma konusu zeminlerin aktivite katsayısı değerlerinin sırasıyla 0.63, 0.67 ve 0.78 olduğu görülmüştür. Aktivite katsayısı 0.75'den küçük olan killeri aktif olmayan killeri, 0.75-1.25 arasında olanlar normal killeri, 1.25'den büyük olan ise aktif killeri olarak kabul edilmektedir. Buradan yola çıkarak zemin örneklerinin orta-düşük şişme özelliği gösterdiği belirlenmiştir.
- Zeminin kayma dayanımı parametreleri olan içsel sürtünme açısı ve kohezyonu belirlemek amacıyla üç eksenli basınç deneyi yapılmış ve çalışma konusu zeminlerin kohezyonlarının 44 kPa ile 56 kPa, içsel sürtünme açılarının ise 8 ile 15 derece arasında değiştiği belirlenmiştir.
- Yapılan sismik ölçümler sonucunda düşeyde 3 farklı tabakanın varlığı tespit edilmiştir. Üst, orta ve alt tabakalardan geçen sismik dalgaların boyuna hızları sırasıyla 219-379, 939-1011 ve 3037-3050 m/sn olarak hesaplanmıştır. Hızları 1000 m/sn'ye yakın ölçülen tabakaların zemin, hızı 3000 m/sn ölçülen alt tabakanın ise andezit ve bazaltlardan oluşan ana kaya olduğu arazi gözlemleriyle desteklenerek belirlenmiştir. Arazi gözlemleri sonucunda heyelan alanının yaklaşık 50 m güneyinde bu volkanik kayaçların yüzeylenme verdiği görülmüştür.

- Yapılan ölçümler sonucunda yüzeyden itibaren yaklaşık 2 metre derinlikten sonra çok küçük özdirenç değerleri ölçülmüştür (15 ohm). Bu değerler ortamda yer altı suyunun varlığına işaret etmektedir. Yağışla yüzeye ulaşan sular bu toprak profilinde yeraltına doğru sızarak yaklaşık 5-6 metre derindeki ana kaya üzerinde birikmiş ve yükselerek yer altı suyunun birikmesine neden olmuştur. Ancak bu yer altı suyunun sadece yağışlı dönemlerde biriktiği düşünülmektedir. Ölçümlerin yağışlı periyotlarda yapılması bu görüşü doğrulamaktadır.

- Elde edilen bulgular özdirenç ve sismik ölçümler sonucunda elde edilen verilerle paralellik göstermektedir. Yaklaşık 6 metre derinlikte izlenen farklı yansımalar bu derinlikte ana kaya varlığını işaret etmektedir.

- Bu çalışmada, geri analizler yardımıyla Trabzon Yeşilyurt heyelanının stabilitesi için destek tasarımına yönelik önerilerde bulunulmuş, analizler mevcut yamaç üzerinde yapı olması nedeniyle güvenlik sayısı değeri 2 olarak alınarak yapılmıştır. Analizler yapılırken, şevin üst kısmı (şev orta noktası kotu: 410) ile alt kısmı (şev orta noktası kotu: 395) ayrı ayrı düşünülmüş her iki bölge için ayrı ayrı stabilite analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda güvenlik sayısı değerinin her iki bölge içinde 1'den az olduğu görülmüştür.

- Şevin duraylı hale getirilmesi için geri analizler yapılarak yamacın 2 güvenlik sayısında dengede durabilmesi için gerekli olan yatay gerilmeler hesaplanmıştır, bu değerler alt bölge için 1900 kN, üst bölge için 319 kN olarak belirlenmiştir.

- Alt kotta bulunan şevin duraylı hale gelmesi için 60 metrelik (ana kaya içerisine kadar) ve her biri 420 kN kapasiteli 5 adet ankraj, üst kotun duraylı hale gelebilmesi için ise 35 metrelik (ana kaya içerisine kadar) ve her biri 80 kN kapasiteli 6 adet ankraj dizayn edilmiştir. Bu şekilde yapılan hesaplamalarda her iki şev içinde belirtilen ankraj sistemlerinde güvenlik sayılarının 2 değerinden yüksek olduğu, şevler üzerinde ankraj sistemleri varken yapılan stabilite analizleri sonucunda görülmüştür.

- Bununla birlikte belirlenen destek sistemleri sabit kalmak koşuluyla her iki şev bir bütün olarak düşünülmüş, farklı ankraj sistemleri beraber çalıştırılarak tek bir kütle boyunca Janbu yöntemi kullanılarak stabilite analizleri yapılmış ve sonuç olarak güvenlik sayısı değeri 1.84 olarak hesaplanmıştır. Bu durum şevin duraylı hale gelebilmesi için yeterlidir.

- Her ne kadar ankraj uygulamaları şev stabilite analizlerinde güvenlik sayısını yükseltici özellik taşısa da, buna benzer birçok yöntem bulunmaktadır (kazı, istinat duvarı,

palye vb.). Bu nedenle şevlerin stabilite analizleri yapılırken bütün yöntemler bir bütün olarak düşünölmeli en ekonomik, güvenli ve hızlı yöntem pratik uygulamalar için seçilmelidir.

- Ayrıca özellikle çalışma alanında gelişen heyelan gibi büyük kütleler düşünöldüğünde, o bölgede yapılacak iyileştirilmelerden ziyade, o bölgenin imara uygun olmadığı ilgili kamu kuruluşları tarafından belirlenmeli ve bölge imara kapatılmalıdır.

- Elde edilen bulgular sonucu inceleme alanında yapılacak iyileştirme çalışmalarının 1000 m² için ekonomik olamayacağı belirlenmiştir. Bu nedenle inceleme alanında yapılaşma ve ikametın yasaklanması gerekmektedir. Yeşilyurt köyü için düzenlenecek olan imar planına esas jeolojik - jeoteknik etüt raporunda inceleme alanı yerleşime uygun olmayan alan olarak gösterilmelidir. Fakat köyler için imar planları hazırlanmadığı için bu durum söz konusu olamamaktadır. Bu yüzden tüm yerleşim alanları için imar planları yapılmalı ve altlık teşkil eden imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporları 1/1000'lik ölçekte düzenlenmelidir.

5. KAYNAKLAR

- AASHTO, 1995. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 17th Edition, Part I Specifications, USA.
- AASHTO, 1995. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 17th Edition, Part II Tests, USA.
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akgün, A. and Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region, Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S. and Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Fındıklı, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, Environmental Geology, 254-882.
- Arslan, M., Kadir S., Abdioğlu, E. and Kolaylı, H., 2006. Origin and Formation Of Kaolin Minerals In Saprolite Of Tertiary Alkaline Volcanic Rocks Eastern Pontides (NE Turkey), Clay Minerals, 41, 597-617.
- Arslan, M., and Aslan, Z., 2006. Zircon U-Pb age and whole-rock geochemistry of the post-collisional extensional Eocene granitoids in the Eastern Pontides, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 27, 177-193
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1981. Standard test method for capillary-moisture relationships for coarse and medium textured soils by porous plate apparatus, ASTM Standards, 4,8.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1985. Soil and Rock, Building Stones, Section 4, V. 4,8, 409-423.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1991. Annual Book of ASTM Standarts, D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 18 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1991, Annual Book of ASTM Standarts, D4718-87 (Reapproved 2001) Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soilsc Containing Oversize Particles, 3 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1991. Annual Book of ASTM Standarts,D 3080-03 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under.

- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992a. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting and Drying Conditions (ASTM D5313-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 189-190.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992b. Standard Test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions (ASTM D5312-92), Annual Book of ASTM Standards, Construction: Soil and Rock, ASTM Publication, 1344-1346.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 1994. Annual Book of ASTM Standards-Construction, Soil and Rock, ASTM Publication, Vol. 04.08, 978 pp.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2005. D6780-05: D6780-05 Standard Test Method for Water Content and Density of Soil in Place by Time Domain Reflectometry (TDR).
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2006. D4318 - 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- Atterberg, A., 1905. Die Rationelle Klassifikation der Sande und Kiese, Chemiker Zeitung, 29, 195-198.
- Aydın, F., 2003. Değirmendere Vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD Türkiye) Volkanitlerinin Mineral Kimyası, Petrolojisi ve Petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, Ankara.
- Baykal, E., 1952. Kelkit-Şiran bölgesinde jeolojik araştırmalar, .M.T.A. Rapor No. 2205 Ankara.
- Baykan, İ., 2011. Trabzon İli Kırmızı Killerinin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Tash, K., Akdağ, K. ve Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): The formation of carbonate breccias and turbidites as evidence of a drowned platform, Giornale di Geologia, 57,1-2, 233-244.
- Bishop, A. W., 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes, Geotechnique, 5.
- Bishop, A. W., Alan, I., Blight, G. and Donald, I.B. (eds.), 1960. Factors Controlling the Strength of Partially Saturated Cohesive Soils, Proceedings of the Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE.
- Bishop, A. W. and Morgenstern, N.R., 1960. Stability Coefficients for Earth Slopes, Geotechnique, 10.

- Budhu, M., 2000. Soil Mechanichs & Foundations, John Wiley & Sons, USA.
- Bulut, F. ve Tarhan, F., 1992. Baraj Yeri Temel Kayasının Jeomekanik Özellikleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 138-145.
- Bulut, F., Boynukalın, S. ve Tarhan, F., 1993. Isopleth Haritaları Yardımıyla Heyelan açısından Tehlikeli Alanların Belirlenmesi-Fındıklı (Rize) Yöresi Örneği, I.İzmir ve Çevresinin Jeoteknik Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 41-44.
- Bulut, F., Boynukalın, S., Tarhan, F. ve Ataoğlu, E., 1995. Fındıklı İlçesi (Rize) Doğu Yöresindeki Heyelanların Nedenleri, II. Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 143-152.
- Carcione, J. M., 1996. Ground Penetrating Radar: Wave Theory and Numerical Simulation In Lossy Anisotrophy Media, Geophysics, 61, 6, 1664-1667.
- Casagrande, A. 1936. "Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and EarthFills," Originally published in Journal of the Boston Society of Civil Engineers, reprinted in Contributions to Soil Mechanics, 257-276.
- Casagrande, A. and Fadum, R. E., 1940. Notes on Soil Testing for Engineering Purposes, Soil Mechanics Series, Graduate School of Engineering, Harvard University, Publication No. 8, Cambridge.
- Cernica, J.N., 1995. Geotechnical Engineering: Soil Mechanics, John Wiley and Sons Inc., Kanada.
- Das, B., 2007. Principles of Foundation Engineering (6th ed.), Cengage Publisher, New York.
- Davis, J.C., 1986. Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley Press, USA.
- Dearman W.R., 1981. Engineering Geology of Carbonate Rocks, Symposium on Engineering Geological Problems of Construction on Soluble Rocks, Genel Report, Session 1, United Kingdom, No 24, 3-17.
- Deere, D.U. and Patton, F.D., 1971. Slope Stability Analysis In Residual Soils, Proceedings of the 4th Panamerican Conference on Soil Mechanics, San Juan, PR, 1, 144-45.
- De, P.K. and Furdas, B., 1973. Discussion of Correlation Between Atterberg Plasticity Limits and Residual Shear Strength of Soils, Geotechnique, 23, 600-601.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM), 2011. Ortalama Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri, Trabzon.
- Dokuz, A., 1990. Maçka (Trabzon) Yöresinin Jeolojisi ve Piroklastik Kayaçların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Erdeve, E., 2006. 100. Yıl Heyelanı (Adana) Jeolojik–Jeoteknik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erguvanlı, K., 1995. Mühendislik Jeolojisi, Dördüncü Baskı, Seç Yayın, İstanbul.
- Escario, V. and Juca, N., 1989. Shear Strength and Deformation of Partly Saturated Soils, Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, 2, 243-246.
- Fener, M., Kahraman, S., Bay, Y. and Gunaydin, O., 2005. Correlations Between P-wave Velocity and Atterberg Limits of Cohesive Soils, Canadian Geotechnical Journal, 42, 2, 673-677.
- Freedman, D.A., 2005. Statistical Models: Theory and Practice, Cambridge University Press; New York.
- Gan, J.K.M. and Fredlund, D.G., 1988. Multistage Direct Shear Testing of Unsaturated Soils, American Society for Testing Materials, Geotechnical Testing Journal, 11, 2, 132-138.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları (Giresun-Doğankent), K.T.Ü. Doçentlik Tezi, Trabzon.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1979. The main lines of the geotectonic evolution of the Pontids in Mesozoic era, Geocoome, 68-69, Ankara.
- Gibson, R. E., 1953. Experimental Determination of True Cohesion and True Angle Of Internal Friction in Clays: Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Zurich), 1-126.
- Goodman, R. E. and Bray, J., 1976. Toppling of Rock Slopes, Rock Engineering for Founda-38 tions and Slopes, Proc. Spec. Conf. Univ. of Colorado, 201-235.
- Gülibrahimoğlu, L, Nalbantoğlu, A.K., Saraloğlu, A., Doksanbir, T., Yağcı, A. ve Kırıcı, M.,1984. Trabzon-Maçka güneyi yöresinin jeolojik raporu. MTA, JD-383, Ankara (yayınlanmamış).
- Gülibrahimoğlu, İ., Yazıcı, E.H., Akıncı, S., Türkmen, İ., Saraloğlu, A., Topçu, T., Yağcı, A.ve Yıldırım, K., 1986. Arsin-Araklı-Sürmene-Çaykara (Trabzon) güneyi ile Bayburt-Gümüşhane kuzeyi yörelerinin jeolojiraporu. MTA Raporu, Ankara, (yayınlanmamış).
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Güven, İ., H., 1998. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 57,58,59,60,MTA Yayını, Ankara.

- Hoek, E. and Bray, J., 1976. Rock Slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy, London, 402.
- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., 1985. An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, 545.
- Hunt, R.E., 1986. Geotechnical Engineering Techniques and Practices, McGraw-Hill, USA.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1976. Engineering Geological Maps. A Guide to Their Preparation, The Unesco Press, Paris, 79.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1976. Engineering Geological Maps, The UNESCO Press, No. 15, 78.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests: Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319-68.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1979. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake Durability Index Properties. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 16, 2, 141-156.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics), 1981a. Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses (ed. E. T. Brown), Pergamon Pres, Oxford, UK, 211.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 22, 53-60.
- Janbu, N., 1954. Stability Analysis of Slopes with Dimensional Parameters, Harvard Soil Mech. Series, No. 46, Harvard University, Cambridge.
- Janbu, N., 1973. Slope Stability Computations, Embankment Dam Engineering, Casagrande Memorial Volume, John Wiley & Sons, New York.
- Janbu, N., 1976. Static Bearing Capacity of Fiction Piles, Proceedings, 6th European Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Vol. 1.2.
- Janbu, N., Bjerrum. L. and Kjaernsli, B., 1956. Veileding ved losning av fundamentering-soppgaver, Publication No. 16, Norwegian Geotechnical Institute.
- Kenney, T. C., 1959. Discussion of Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, 85-SM3, 67-79.

- Kenney, T.C., 1967. The Influence of Mineral Composition On The Residual Strength of Natural Soils: Proceedings of Oslo Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, 1, 123-129.
- Ketin, İ., 1951. Bayburt Bölgesi Jeolojisi: İÜ Fen Fak.Mecm.,seri B, 16, 2, 113 – 127.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, 66, 20-44.
- Khallili, N. and Khabbaz, M.H., 1998. A Unique Relationship For The Determination of The Shear Strength of Unsaturated Soils, Geotechnique, 48, 5, 681-687.
- Kırmacı, M.Z. ve Akdağ, K., 2005. Origin of dolomite in the Late Cretaceous-Paleocene limestone turbidites, Eastern Pontides, Turkey, Sedimentary Geology, 181, 39-57.
- Kul, B. ve Ersoy, H., 2011. Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Mühendislik Jeolojisi Özelliklerinin İncelenmesi, 64. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 83-84, Ankara.
- Kul, B., ve Ersoy, H., 2012. Trabzon Çevresindeki Heyelanlar, 65. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 242-243, Ankara.
- Kurtuluş, C., Sertçelik, F.; Canbay, M. and Sertçelik, I., 2009. Estimation of Atterberg Limits and Bulk Mass Density Of Derince Expansive Soil From P-Wave Velocity Measurements, 5th Congress of Balkan Geophysical Society, Belgrade, Serbia.
- Lambe, T.W., and Whitman, R.V., 1979. Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Singapore.
- Lee, J., Salgado, R. and Paik, K., 2003. Estimation of Load Capacity of Pipe Piles In Sand Based On Cpt Results, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 129, 5, 391-403.
- Leonards, G.A., 1962. Foundation Engineering. Mc Graw Hill Book Comp., 1136.
- Lorenzo, H., Hernandez, M. C. and Cuellar, V., 2002. Selected Radar Images of Man-Made Underground Galleries, Archeological Prospection, 9, 1-7.
- Luna, R. and Jadi, H., 2000. Determination of Dynamic Soil Properties Using Geophysical Methods, the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure, St. Louis.
- Miao, L., Liu, S. and Lai, Y., 2002. Research of soil-water characteristics and shear strength feature of Nanyang expansive soil, Engineering Geology, 65, 261-267.
- Mitchell, J.K., 1976. Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley, New York, 422.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 5, 841-875.

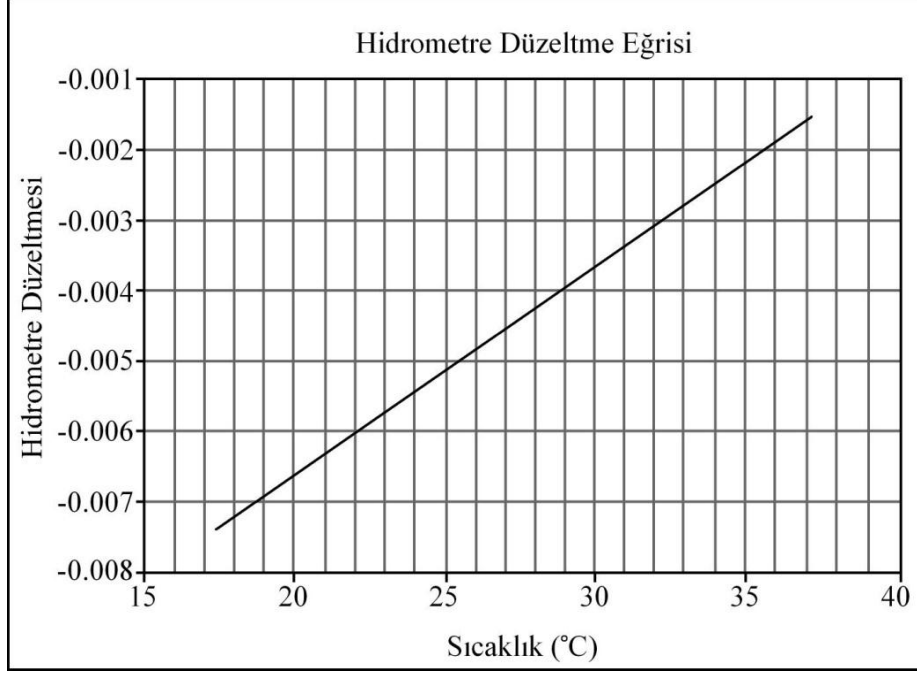
- Oberg, A. and Salfors, G., 1997. Determination of Shear Strength Parameters of Unsaturated Silts And Sands Based On The Water Retention Curve, Geotechnical Testing Journal, 20, 1, 40-48.
- O'Neil, M.V. ve Poormoayed, N., 1980. Methodology for Foundations on Expansive Clays, Journal of Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, 106, 12, 251-261
- Özsayar, T., 1971. Geologie und Palaeotologie des Gebites Östlich Trabzon (Anatolian), Giess. Geol. schr. n. 1, Doktora Tezi, Giesen.
- Poulos, S.J., 1989. Liquefaction Related Phenomena, Jansen, R. B., ed., Advanced Dam Engineering For Design Construction And Rehabilitation, Van Nostrand Reinhold, 292-320.
- Sawangsurriya, A. and Fratta, D., 2006. Discussion of Correlations Between P-Wave Velocity And Atterberg Limits of Cohesive Soils, Canadian Geotechnical Journal, 43, 653-655.
- Skempton A.W., 1953. The Colloidal Activity of Clays, Proceedings, 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 1, 47-61.
- Skempton, A.W., 1985. Residual Strength of Clays In Landslides Folded Strata And The Laboratory, Geotechnique, 35, 1, 3-18.
- Smemoe, C. M., 2000. Processing And Visualization of Ground Penetrating Radar for Assessing Natural Hydrogeological Conditions, Department of Civil Engineering, Brigham Young University, New York.
- Soeters R. and Van Westen C.J., 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation, In: Turner, A. K. and Schuster, R. L. (eds), Landslides, investigation and mitigation, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington DC, USA, 129-177.
- Tarhan, F., 1991. Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış.
- Taşlı, K., 1984. İkisu (Gümüşhane) ile Hamsiköy yörelerinin jeolojisi ve Berdiga Formasyonunun biyostratigrafik denestirmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A., 1976. Applied Geophysics, Cambridge University Press, Cambridge, 860.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York.
- Terzaghi, K. and Peck, R. P., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition, John Wiley & Sons, USA.

- Tillard, S., 1994. Radar Experiments in İsotropic ve Anisotropic Geological Formations (Granite And Schist), Geophysical Prospection, 42, 615-636.
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, JMO Yayın No.38, Ankara
- URL-1, appliedgeophysics.berkeley.edu:7075/intro/intro1.html.15.12.2002.
- URL-2, <http://www.geomodel.com/gprtext.htm>. 14.12.2001.
- URL-3, <http://pic.civilea.com/images/86022989110878766242.jpg>. 13.04.2009.
- URL-4, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/shared/DepremHaritalari.aspx>. 18.04.2011.
- Uzuner, B.A., 2001. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Van Der Merwe D.H., 1964. The Prediction Of Heave From The Plasticity Index and The Percentage Clay Fraction, South African Institue Civil Engineering, 6, 103–107.
- Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes. In: Special Report 176:Landslides: Analysis *and* Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.). Transportation and Road Research Board, National Academy of Science, Washington D. C., 11-33.
- Voight, B., 1973. Correlation Between Atterberg Plasticity Limits And Residual Strength of Natural Soils, Geotechnique, 23, 265-267.
- Wesley, L.D., 2003. Residual Strength of Clays and Correlation Using Atterberg Limits, Geotechnique, 53-7, 669-672.
- Whitman, R. V. and Bailey, W. A., 1967. “Use of Computers for Slope Stability Analysis, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 475-498.
- Whitman, R. V. and Bailey, W. A., 1967. Use of Computers for Slope Stability Analysis, Journal of Geotechnical Engineering Division, 93.
- Wilbourn, K., Vembu, K. and Vipulanandan, C., 2007. Index Properties and Strength of Artificial Soil Using the Harvard Miniature Method, Final Report Department of Environmental and Civil Engineering University of Houston, USA.
- Wright, S. G. and Duncan, J. M., 1987. “An Examination of Slope Stability Computation Procedures for Sudden Drawdown,” Miscellaneous Paper GL-87-25, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Yalçın, A., 2005. The relation between weathering and landslide susceptibility, a case study from Ardesen (NE, TURKEY), International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Regions (IESCA 2005), October, Izmir, 216-217.

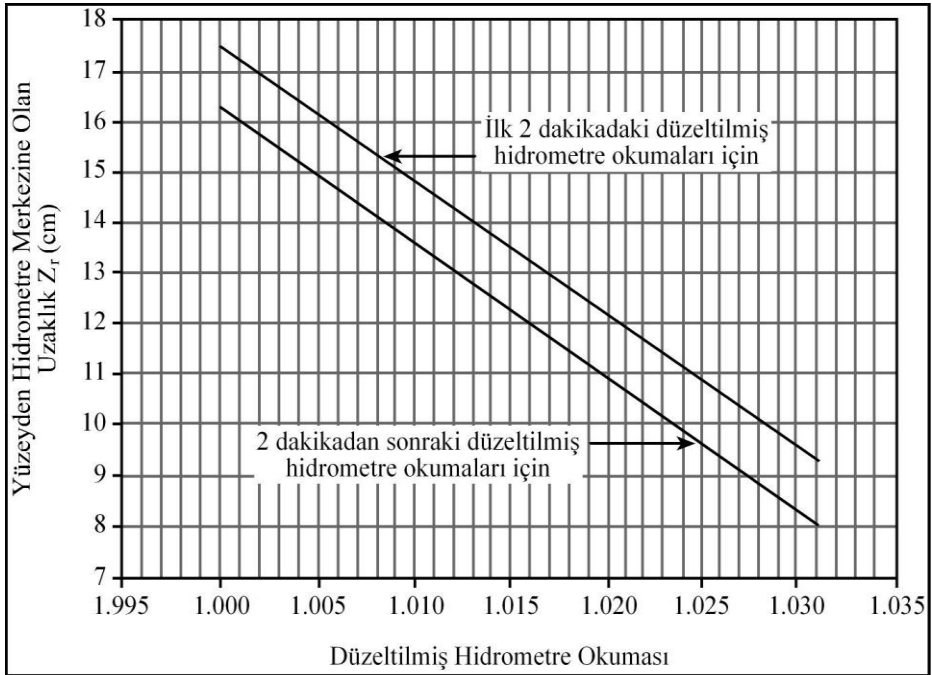
- Yalçın, A. ve Bulut, F., 2001. Kanlıca (Giresun) heyelanı Esas Aynasının Duraylılığı, III. İzmir ve Çevresinin Deprem- Jeoteknik Sempozyumu.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka - Trabzon) porfiri Cu-Mo cevherleşmesinin jeolojik yerleşimi ve jeokimyası. Doktora Tezi KTÜ Fen Bil. Ens., 170, Trabzon.
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, NE Anatolia. Ph D Thesis, Univ. of London.

6. EKLER

Ek Şekil 1. Hidrometre Düzeltme Eğrisi (Çetin,1998)



Ek Şekil 2. Hidrometre Deneyinde Efektif Derinlik Eğrisi



Ek Tablo 1. Suyun vizkozitesi (μ , milipuz) (Can ve diğeri, 1992)

C°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17.94	17.32	16.74	16.19	15.68	15.19	14.73	14.29	13.87	13.48
10	13.10	12.74	12.39	12.06	11.75	11.45	11.16	10.88	10.60	10.34
20	10.09	9.84	9.61	9.38	9.16	8.95	8.75	8.55	8.36	8.18
30	8.00	7.83	7.67	7.51	7.36	7.31	7.06	6.92	6.79	6.66
40	6.54	6.42	6.30	6.18	6.08	5.97	5.87	5.77	5.68	5.58
50	5.29	5.40	5.32	5.24	5.15	5.07	4.99	4.92	4.84	4.77
60	4.70	4.63	4.56	4.50	4.43	4.37	4.31	4.24	4.19	4.13
70	4.07	4.02	3.96	3.91	3.86	3.81	3.76	3.71	3.66	3.62
80	3.57	3.53	3.48	3.44	3.40	3.36	3.32	3.28	3.24	3.20
90	3.17	3.13	3.10	3.06	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.87
100	2.84	2.82	2.79	2.76	2.73	2.70	2.67	2.64	2.62	2.59

Ek Tablo 2. Sıcaklığa göre suyun birim hacim ağırlığı ve özgül ağırlığı (γ_w , r_s , G_w) (Can ve diğeri, 1992)

C°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999
10	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998
20	0.998	0.998	0.997	0.997	0.997	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996
30	0.995	0.995	0.995	0.994	0.994	0.994	0.993	0.993	0.993	0.992
40	0.992	0.991	0.991	0.991	0.990	0.990	0.989	0.989	0.989	0.988
50	0.988	0.987	0.987	0.986	0.986	0.985	0.985	0.984	0.984	0.983
60	0.983	0.982	0.982	0.981	0.981	0.980	0.970	0.979	0.978	0.978
70	0.977	0.977	0.976	0.976	0.975	0.974	0.974	0.973	0.973	0.972
80	0.971	0.971	0.970	0.969	0.969	0.968	0.968	0.967	0.966	0.966
90	0.965	0.964	0.964	0.963	0.962	0.961	0.961	0.960	0.959	0.959

Ek Tablo 3. Özgül ağırlık deney sonuçları

1.Örnek	no:1	no:2	no:3
Piknometre Ağırlığı	48.48	48.59	48.38
Piknometre+Zemin	58.48	58.59	58.38
Piknometre+Zemin+Su	154.31	152.21	155.07
Piknometre+Su	148.02	145.89	148.74
Özgül Ağırlık	2.70	2.72	2.72
Ortalama Özgül Ağırlık	2.71		

2. Örnek	no:1	no:2	no:3
Piknometre Ağırlığı	48.61	48.89	49.36
Piknometre+Zemin	58.61	58.89	59.36
Piknometre+Zemin+Su	155.33	155.66	155.89
Piknometre+Su	148.94	149.28	149.49
Özgül Ağırlık	2.77	2.76	2.78
Ortalama Özgül Ağırlık	2.77		

3. Örnek	no:1	no:2	no:3
Piknometre Ağırlığı	48.48	49.36	48.89
Piknometre+Zemin	58.48	59.36	58.89
Piknometre+Zemin+Su	154.29	155.75	156.56
Piknometre+Su	148.00	149.43	150.25
Özgül Ağırlık	2.70	2.72	2.71
Ortalama Özgül Ağırlık	2.71		

Ek Tablo 4. Örnek 1'e ait hidrometre deney sonucu

Geçen Süre (Dak)	Hidrometre Okuması	Hidrometre Okuma Düzeltmesi	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Su Sıcaklığı	Efektif Derinlik (Cm)	Sıcaklığa Göre Suyun Viskozitesi (M)	Suyun Özgül Yoğunluğu (G _w)	Zeminin Özgül Yoğunluğu (G _s)	A	Tane Çapı (D)	Geçen Yüzde (%P)	%P
0.25	35	0	35	17	10.6	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0908	71.585	49.152
0.5	35	0	35	17	10.6	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0642	71.585	49.152
1	34	0	34	17	10.7	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0456	69.540	47.747
2	34	0	34	17	10.7	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0323	69.540	47.747
5	33	0	33	17	10.9	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0206	67.494	46.343
10	33	0	33	17	10.9	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0146	67.494	46.343
15	32	0	32	17	11.1	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0120	65.449	44.939
30	31	0	31	17	11.2	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0085	63.404	43.534
60	30	0	30	17	11.4	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0061	61.358	42.130
240	24	0	24	17	12.4	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0032	49.087	33.704
1440	19	0	19	17	13.2	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0013	38.860	26.682
2880	17	0	17	17	13.5	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0010	34.770	24
5760	17	0	17	17	13.5	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0007	34.770	24
10080	16	0	16	17	13.7	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0005	32.725	22

Ek Tablo 5. Örnek 2'ye aithidrometre deney sonucu

Geçen Süre (Dak)	Hidrometre Okuması	Hidrometre Okuma Düzeltmesi	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Su Sıcaklığı	Efektif Derinlik (Cm)	Sıcaklığa Göre Suyun Viskozitesi (M)	Suyun Özgül Yoğunluğu (G _w)	Zeminin Özgül Yoğunluğu (G _s)	A	Tane Çapı (D)	Geçen Yüzde (%P)	%P
0.25	37	0	36	17	10.4	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0884	75.260	51.675
0.5	37	0	36	17	10.4	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0625	75.260	51.675
1	36	0	35	17	10.6	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0446	73.170	50.240
2	35	0	35	17	10.6	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0316	73.170	50.240
5	34	0	34	17	10.7	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0201	71.079	48.804
10	34	0	34	17	10.7	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0142	71.079	48.804
15	33	0	33	17	10.9	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0117	68.989	47.369
30	31	0	31	17	11.2	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0084	64.808	44.498
60	27	0	27	17	11.9	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0061	56.445	38.756
210	22	0	22	17	12.7	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0032	45.992	31.579
1440	20	0	20	17	13	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0013	41.811	28.708
2880	19	0	19	17	13.2	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0009	39.721	27.273
5760	18	0	16	17	13.3	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0007	33.449	22.967
10080	16	0	13	17	13.7	0.01088	0.998774	2.770	1.045283	0.0005	27.177	18.661

Ek Tablo 5. Örnek 3'e ait hidrometre deney sonucu

Geçen Süre (Dak)	Hidrometre Okuması	Hidrometre Okuma Düzeltmesi	Düzeltilmiş Hidrometre Okuması	Su Sıcaklığı	Efektif Derinlik (Cm)	Sıcaklığa Göre Suyun Viskozitesi (M)	Suyun Özgül Yoğunluğu (G _w)	Zeminin Özgül Yoğunluğu (G _s)	A	Tane Çapı (D)	Geçen Yüzde (%P)	%P
0.25	37	0	37	17	10.2	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0891	75.675	51.960
0.5	36	0	36	17	10.4	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0636	73.630	50.556
1	35	0	35	17	10.9	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0461	71.585	49.152
2	32	0	32	17	11.1	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0329	65.449	44.939
5	31	0	31	17	11.2	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0209	63.404	43.534
10	30	0	30	17	11.4	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0149	61.358	42.130
15	30	0	30	17	11.4	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0122	61.358	42.130
30	28	0	28	17	11.7	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0087	57.268	39.321
60	27	0	27	17	11.9	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0062	55.223	37.917
240	26	0	26	17	12	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0031	53.177	36.513
1440	22	0	22	17	12.7	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0013	44.996	30.895
2880	20	0	20	17	13	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0009	40.906	28.087
5760	18	0	18	17	13.3	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0007	36.815	25.278
10080	16	0	16	17	13.7	0.01088	0.998774	2.710	1.022642	0.0005	32.725	22.469

ÖZGEÇMİŞ

Bilgehan KUL, 05.04.1986 yılında Trabzon'da doğdu. İlkokulu Çarşıbaşı Gazi İlkokulunda, Ortaokulu Trabzon Cudibey İlköğretim Okulunda ve Liseyi Trabzon Lisesinde tamamladı. 2003–2004 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2008-2009 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. Yazar Trabzon da yaşamakta olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.