



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜNDOĞDU (RİZE) HEYELANI VE ÇEVRESİNDEKİ YAMAÇLARIN
DURAYLILIĞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Samet REİS

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Ali YALÇIN**

AKSARAY, 2014

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

Öğrenci Samet Reis'in GÜNDOĞDU (RİZE) HEYELANI VE ÇEVRESİNDEKİ YAMAÇLARIN DURAYLILIĞI başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Ali YALÇIN (Aksaray Üniversitesi)

Üye : Doç. Dr. Niyazi Uğur TERZİ (Aksaray Üniversitesi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Pelin BİLGEHAN (Aksaray Üniversitesi)



Tezin Savunulduğu Tarih : 20.05.2014

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun..... tarih ve
.....sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selçuk REİS
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı yöneten ve denetleyen, tüm imkan ve destekleriyle yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Ali YALÇIN'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları boyunca yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU ve Arş. Gör. Ahmet Tarık TORUN'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları ve diğer tüm destekleri için Uzman Murat KALKAN, Arş. Gör. Müzeyyen TAŞPINAR'a ve yardımları için Arş. Gör. Hakan ERASLAN ve Uzman İsmail BİLİCAN'a teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca desteklerini esirgemeyen annem Sevgi REİS, babam Nuri REİS ve abilerim Selçuk ve Kudret REİS'e teşekkürü bir borç bilirim.

Samet REİS
TRABZON-2014

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xii
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	6
1.3. Çalışmanın Coğrafi konumu	6
1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu.....	8
1.5. Morfoloji	8
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü.....	9
1.7. Literatür Çalışması	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	14
3. BULGULAR.....	15
3.1. Gündoğdu ve Çevresinin Genel Jeolojisi	15
3.1.1. Bölgesel Jeoloji.....	15
3.1.2. Stratigrafi ve Petrografi	17
3.1.3. Melyat Formasyonu	17
3.1.4. Alüvyonlar	20
3.2. Yapısal Jeoloji	20
3.3. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme	21
3.3.1. Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramı.....	22
3.4. Gündoğdu Beldesinin Heyelan Jeolojisi Açısından İncelenmesi.....	23
3.4.1. Arazi Çalışmaları	25
3.4.1.1. Yamaç Harita Alımı	25
3.4.1.2. Heyelan sahaları	25
3.4.1.3. Laboratuvar deneyleri için örnek alımı	29

3.4.2. Laboratuvar Çalışmaları	30
3.4.2.1. Jeoteknik Özellikler	31
3.4.2.1.1. Dane Dağılımı	31
3.4.2.1.2. Özgül Ağırlık.....	36
3.4.2.1.3. Kıvam Limitleri	37
3.4.2.1.3.1. Likit Limit.....	38
3.4.2.1.3.1. Plastik Limit.....	39
3.4.2.1.4. Kesme Kutusu Deneyi	40
3.5. Gündoğdu Beldesindeki Yamacın Duraylılığı	46
3.5.1. Limit Gerilme Yöntemi	46
3.5.2. Limit Denge Yöntemi	47
3.5.2.1. Fellenius (İsveç Dilim) Yöntemi.....	50
3.5.2.2. Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi	53
3.5.2.3. Sadeleştirilmiş Janbu Yöntemi.....	55
3.5.2.4. Morgenstern-Price Yöntemi.....	57
3.6. Stabilité Analizleri.....	59
3.6.1. 1 Nolu Heyelan Bölgesi.....	60
3.6.2. 2 Nolu Heyelan Bölgesi.....	67
3.6.3. 3 Nolu Heyelan Bölgesi.....	74
3.6.4. 4 Nolu Heyelan Bölgesi.....	81
3.6.5. 5 Nolu Heyelan Bölgesi.....	88
4. SONUÇLAR	96
5. ÖNERİLER.....	98
6. KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ.....	104

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNDOĞDU (RİZE) HEYELANI VE ÇEVRESİNDEKİ YAMAÇLARIN DURAYLILIĞI

Samet REİS

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali YALÇIN

Bu çalışmada, ülkemizde Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Gündoğdu (Rize) yöresi heyelan duyarlılığı açısından incelenmiş ve stabilite analizleri yapılmıştır.

Gündoğdu ve çevresinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası çıkarılmış, yaşlıdan gence doğru Melyat Formasyonu (Orta Eosen) ve Alüvyonlar (Kuvaterner) şeklinde birimler sıralanmıştır.

2010 yılında Gündoğdu'da meydana gelen 5 farklı heyelan için 1/500 ölçekli enine kesitler çıkarılmıştır. Bu verilerle stabilite analizi yapılmıştır. Stabilite hesabı yapılacak olan yerlerdeki zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla alınan zemin örneklerinin laboratuvar deneyleri ile içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyonu (c), doymun birim hacim ağırlık, doğal birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık ve batık birim hacim ağırlıkları (γ_d , γ_n , γ_k , γ'), özgül ağırlığı (G_s), porozitesi (n), doymunluk derecesi (S_r), boşluk oranı (e) ve dane dağılımı belirlenmiştir. Bu deneylerin sonuçlarından sonra heyelanların çıkarılan jeolojik kesitlerinden çizilen muhtemel kayma yüzeylerine göre 4 farklı stabilite analiz metotlarıyla stabilite analizleri yapılmıştır. Bu verilerle birlikte bölge, özellikle yağışlardan sonra ayrışmanın da etkisiyle büyük tehlike taşımaktadır. Bu amaçla heyelanların önlenmesi için yapılması gerekenler ortaya konulmuştur.

2014, 104 Sayfa

Anahtar Kelimeler : Heyelanstabilite analiz, Heyelan, Fellenius, Bishop, Janbu ve Morgenstern-Price yöntemleri

ABSTRACT

Master of Science Thesis

GÜNDOĞDU (RİZE) LANDSLIDE AND ITS SURROUNDING SLOPE SUSCEPTIBILITY

Samet REİS

T.C.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geology

Supervisor : Doç. Dr. Ali YALÇIN

In this study, zone of Gündoğdu (Rize) located in the Eastern Black Sea Region were examined in terms of landslide susceptibility and its stability analyzes were conducted.

1/25.000 scale geological map of Gündoğdu and its surrounding was provided, the unit sarelisted as Melyat Formation (Middle Eocene) and alluvium (Quaternary) from older to younger.

1/500 scale crosssections were generated for five different landslide happened at Gündoğdu in 2010. Stability analyzes were done with this data. Angle of internal friction (ϕ), cohesion (c), saturated unit weight, natural unit weight, dry unit weight and submerged unit weight (γ_d , γ_n , γ_k , γ'), specific gravity (Gs), porosity (n), saturation degree (SR), voidratio (e) and grain size distribution were determined with laboratory tests of soil samples which were taken to determine the engineering properties of soils located in places which stability calculations would be held. Following the results of these experiments, stability analyzes were done with 4 different methods according to the possible sliding surfaces that were plotted from geological section of landslide. As a result of these datas, this region pose a great dangere specially after rainfall with the effect of weathering, For this purpose, needs to be done for the prevention of landslides have been introduced.

2014, 104 Sayfa

Keywords : Landslide stability analyzes, landslide, Fellenius, Bishop, Janbu ve Morgenstern-Price methods

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Rize’de meydana gelen afetlerin türlerine göre dağılımı	2
Şekil 1.2.	Rize’de heyelan nedeniyle meydana gelen ölümlerin yıllara göre dağılımı.....	2
Şekil 1.3.	Heyelan sayısının yerleşim birimi bazında dağılımı	3
Şekil 1.4.	26 ağustos 2010 Rize-Gündoğdu Afetin yoğun olduğu bölgeler	4
Şekil 1.5.	Çay tarlalarına yapılan evler	5
Şekil 1.6.	Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	7
Şekil 1.7.	Rize yıllık yağışları	9
Şekil 3.1.	Rize – Fındıklı – Çamlıhemşin bölgesinin genelleştirilmiş dikme kesiti.....	16
Şekil 3.2.	Gündoğdu ve çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası.....	18
Şekil 3.3.	1 nolu heyelana ait jeoloji enine kesiti	19
Şekil 3.4.	Melyat Formasyonuna ait andezitler	19
Şekil 3.5.	Yol boyunca gözlenen alüvyonlardan bir görünüm	20
Şekil 3.6.	AHP yöntemine göre üretilen Rize ili heyelan duyarlılık haritası	21
Şekil 3.7.	İnceleme alanının halihazır haritası ve heyelan noktaları	24
Şekil 3.8.	1 nolu heyelan ve kopan kısımdan bir görünüm	25
Şekil 3.9.	4 nolu heyelan ve kopan kısımdan bir görünüm	26
Şekil 3.10.	6 nolu heyelandan bir görünüm.....	26
Şekil 3.11.	1 nolu heyelanın etkilediği ev	27
Şekil 3.12.	5 nolu heyelanın ters çevirdiği ev	28
Şekil 3.13.	1, 2, 3, 4 ve 5 nolu heyelanların genel görünümü	28
Şekil 3.14.	Örselenmemiş numune almada kullanılan çelik tüp	29
Şekil 3.15.	Elek analizi için kullanılan elek takımı	31
Şekil 3.16.	Örnek 1’in dane dağılım eğrisi.....	32
Şekil 3.17.	Örnek 2’nin dane dağılım eğrisi.....	32
Şekil 3.18.	Örnek 3’ün dane dağılım eğrisi.....	33
Şekil 3.19.	Örnek 4’ün dane dağılım eğrisi.....	33
Şekil 3.20.	Örnek 5’in dane dağılım eğrisi.....	34
Şekil 3.21.	A: Desikatör, B: Piknometre	36
Şekil 3.22.	Plastik limit deneyi için hazırlanan malzemeler	39
Şekil 3.23.	Arazide çelik tüpler yardımıyla alınan örselenmemiş numune.....	40

Şekil 3.24. Kesme kutusu deney aleti.....	40
Şekil 3.25. A: Numunenin yerleştirildiği kutu, B: Numunenin koyulduğu aletler ve kare prizma, C: Ağırlık kolu, D: Çelik tüpler	41
Şekil 3.26. Deney sonrası kesilen zemin örneklerinin görüntüsü	42
Şekil 3.27. 1 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı	43
Şekil 3.28. 2 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı	43
Şekil 3.29. 3 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı	44
Şekil 3.30. 4 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı	44
Şekil 3.31. 5 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı	45
Şekil 3.32. Dilim yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler	49
Şekil 3.33. Fellenius yönteminde tipik bir dilime etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu.....	50
Şekil 3.34. Bishop yöntemine göre bir dilime etkiyen kuvvetler	53
Şekil 3.35. Sadeleştirilmiş Janbu yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler	55
Şekil 3.36. Sadeleştirilmiş Janbu yönteminde kullanılan düzeltme faktörü.....	56
Şekil 3.37. Morgenstern ve Price yönteminde kullanılan dilimler arası kuvvet eğiminin tipik fonksiyonları	57
Şekil 3.38. İnceleme alanının 3 boyutlu görünümü.....	58
Şekil 3.39. 1 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	61
Şekil 3.40. 1 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	63
Şekil 3.41. 1 nolu heyelan bölgesinde Janbu yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	64
Şekil 3.42. 1 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	65
Şekil 3.43. 2 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	68
Şekil 3.44. 2 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	70
Şekil 3.45. 2 nolu heyelan bölgesinde Janbu yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	71
Şekil 3.46. 2 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	72
Şekil 3.47. 3 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	75
Şekil 3.48. 3 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	77
Şekil 3.49. 3 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	78
Şekil 3.50. 3 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	79
Şekil 3.51. 4 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	82

Şekil 3.52.	4 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	84
Şekil 3.53.	4 nolu heyelan bölgesinde Janbu yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	85
Şekil 3.54.	4 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	86
Şekil 3.55.	Heyelan 5'in zarar verdiği ev	87
Şekil 3.56.	5 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	89
Şekil 3.57.	5 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	91
Şekil 3.58.	5 nolu heyelan bölgesinde Janbu yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	92
Şekil 3.59.	5 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1.	Türkiye’de doğal afetlerden dolayı yıkılmış konut sayısı	1
Çizelge1.2.	Rize ilinin 1970-2010 tarihleri arası ortalama yağış periyodu	10
Çizelge1.3.	Rize ili 1960-2012 tarihleri arası ortalama sıcaklık, yağış istatistikleri ..	11
Çizelge3.1.	Tüm deney sonuçları	30
Çizelge3.2.	Elek analizi deney sonuçları	32
Çizelge3.3.	Özgül ağırlık deney sonuçları.....	37
Çizelge3.4.	Likit limit ve su muhtevası deney sonuçları.....	39
Çizelge3.5.	Plastik limit ve su muhtevası deney sonuçları.....	40
Çizelge3.6.	Yapı özelliğine göre güvenlik sayı değerleri.....	48
Çizelge3.7.	Limit denge analiz metotları.....	49
Çizelge3.8.	İsveç dilim yöntemi stabilite hesap cetveli.....	52
Çizelge3.9.	Bishop yöntemi stabilite hesap tablosu.....	55
Çizelge3.10.	Janbu yöntemi stabilite hesap tablosu	56
Çizelge3.11.	Heyelan 1 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları	67
Çizelge3.12.	Heyelan 2 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları	74
Çizelge3.13.	Heyelan 3 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları	81
Çizelge3.14.	Heyelan 4 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları	88
Çizelge3.15.	Heyelan 5 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları	95

SİMGELER DİZİNİ

c	Kohezyon (kg/cm^2)
e	Boşluk oranı (%)
G_s	Güvenlik sayısı
LL	Likit limit
n	Porozite (%)
PI	Plastisite indisi
PL	Plastik limit
S_r	Doygunluk derecesi (%)
W	Su muhtevası (%)
φ	İçsel sürtünme açısı (derece)
σ	Toplam gerilme (kg/cm^2)
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_d	Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ'	Batık birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

1. GENEL BİLGİLER

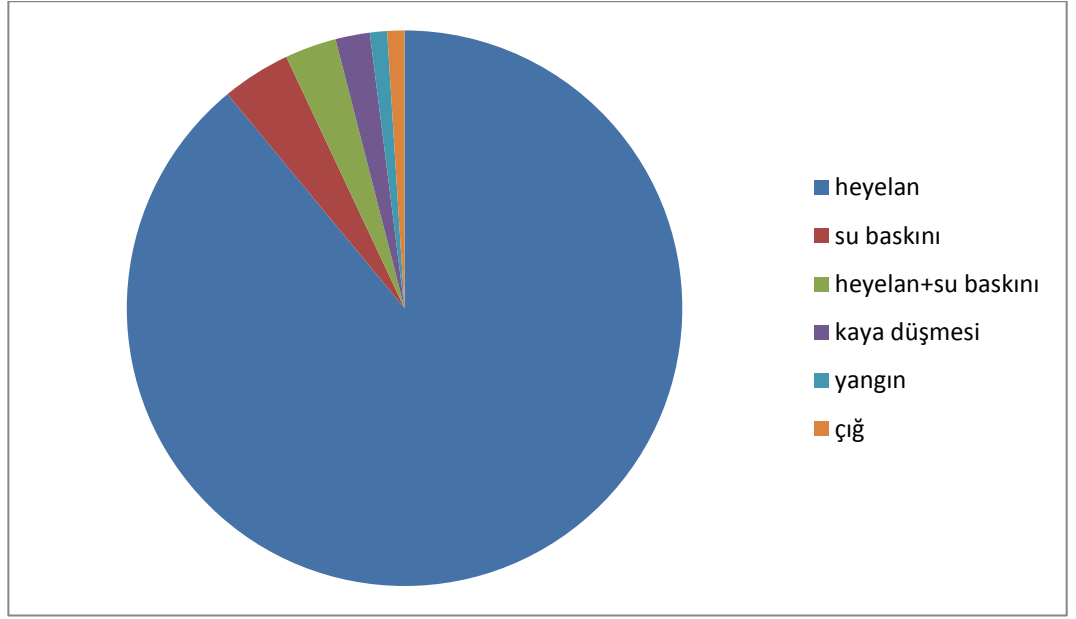
1.1. Giriş

Teknolojik gelişmelerle birlikte insanoğlunun çevresel olayları yorumlama, algılama ve analiz etme yeteneği de buna paralel olarak artmaktadır. Bu yeteneğin gelişmesiyle birlikte, ilk insandan günümüze kadar geçen sürede insanoğlu yaşam yeri elde etme, koruma ve muhafaza etme kaygısı artmakta, nüfusun yükselmesiyle birlikte de daha fazla yaşam yeri bulma ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Geçmişte gerekli teknoloji ve imkanların olmaması sebebiyle insanlar, yaşam yerlerini genellikle doğal etkilerden uzak ve güvenilir yerlerde seçerlerdi. Doğayı yönlendirme güçlerinin olmamasından dolayı da doğal afetlere boyun eğerlerdi. Günümüzde ise insanoğlu bilimin hızla ilerlemesiyle doğaya yön verebilmekte, çevreye daha çok söz geçirebilmektedir. Buna rağmen nüfusun hızla artması daha fazla yaşam alanı ihtiyacını doğurmuş ve bu artış insanların bilinçsizlikleriyle birleşince, doğal afetlerden kaynaklanan can ve mal kayıplarını da artırmıştır.

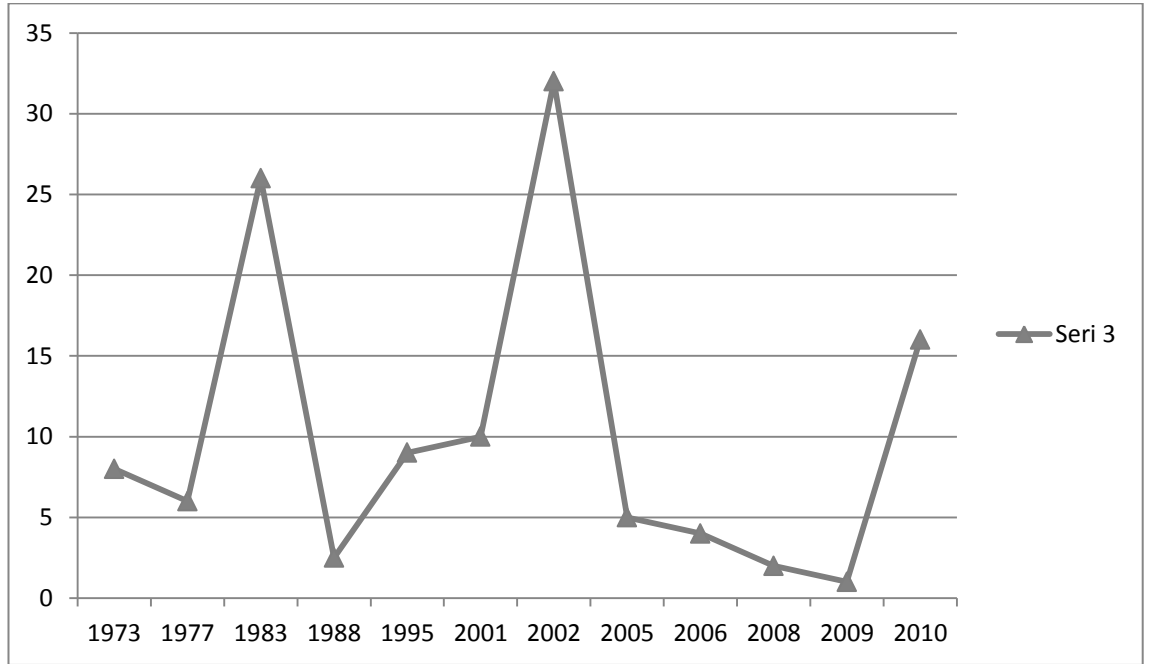
Dünyada, büyük oranda veya tamamen insanların kontrolü dışında meydana gelen, büyük çaplı, tehlikeli olaylar doğal afetler olarak adlandırılmaktadır. Depremler, heyelan, volkanik olaylar, çığ ve sel başlıca doğal afetlerdendir. Ülkemizde de morfolojik yapı, iklim koşulları ve coğrafi konum sebebiyle doğal afetlerle sıkça karşılaşmaktadır. Bu afetler can kayıplarına sebep olmakta ve büyük maddi zararlara sebep olabilmektedir. 20. yüzyılın başından bu yana, Türkiye’de meydana gelen doğal afetler sonucunda 87.000 kişi hayatını kaybetmiş, 210.000 kişi yaralanmış ve 651.000 konut yıkılmış veya ağır hasar görmüştür (Ergünay, 2008).

Çizelge 1.1. Türkiye’de doğal afetlerden dolayı yıkılmış konut sayısı (Afad, 2014)

Doğal Afet Türü	Yıkılmış Ünite Sayısı	Toplamın Yüzdesi
Depremler	495.000	76
Heyelanlar	63.000	10
Su Baskınları	61.000	9
Kaya Düşmeleri	26.500	4
Çığ Düşmeleri	5.154	1
TOPLAM	650.654	100



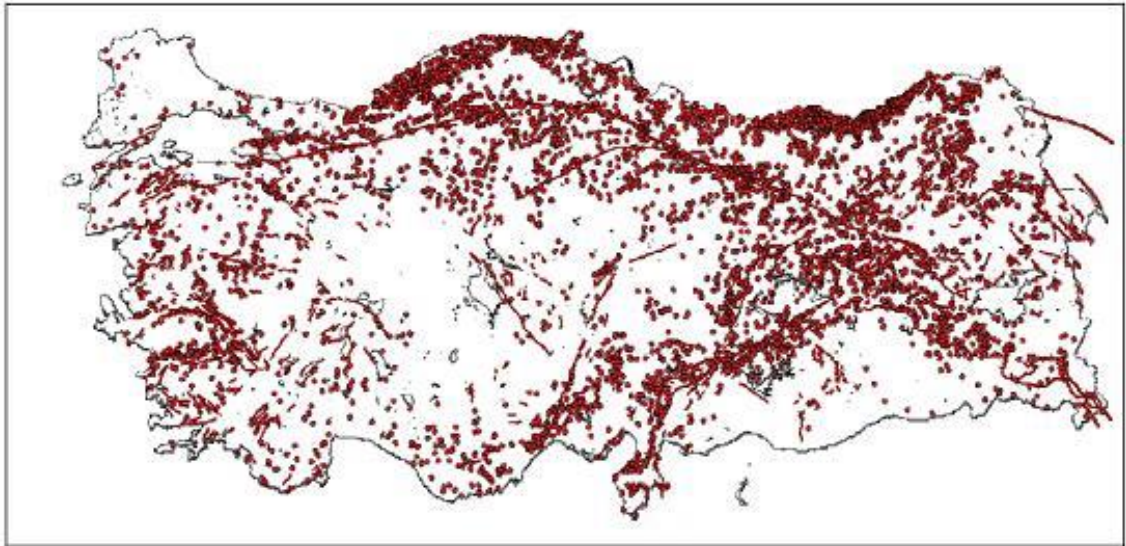
Şekil 1.1. Rize’de meydana gelen afetlerin türlerine göre dağılımı (Yılmaz, 2011)



Şekil 1.2. Rize’de heyelan nedeniyle meydana gelen ölümlerin yıllara göre dağılımı (Yılmaz, 2011)

Doğal felaketlerden öldürücü olanlarının yaklaşık % 95'ini kütle hareketleri, özellikle heyelanlar oluşturmaktadır (Hansen, 1984; Chung ve diğerleri, 1995). Örneğin; Japonya'da doğal afetlerden dolayı meydana gelen can kayıplarının % 45'i heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Aytekin, 2003). İtalya'da doğal afetler sonucunda meydana gelen zararların % 35'si heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Ercanoğlu, 2003). Ayrıca 1971-74 yılları arasında, dünyada her yıl yaklaşık 600 kişinin yaşamını yitirdiği bilinmektedir (Schuster ve Fleming, 1986).

Bunun yanı sıra ABD, Japonya, Avusturya, Fransa, İtalya, İsviçre ve Hindistan'da heyelanlardan kaynaklanan yıllık ekonomik kayıpların 1 ile 5 milyar dolar arasında olduğu tahmin edilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Bu çalışmalardan da görüldüğü gibi heyelanlar insanlara ve ülke ekonomilerine ciddi zararlar vermektedir. Ülkemizde 1950-2005 yılları arasındaki dönem için afet türlerinin etkili nakil sayısına göre dağılımı konusunda yapılan değerlendirmeden (Gökçeoğlu ve diğerleri, 2006), doğal afetler arasında depremlerden sonra heyelanların ikinci sırada yer aldığı anlaşılmaktadır. Türkiye'de heyelanlardan oluşma sıklığı ve verdiği zararlar bakımından en çok etkilenen bölge Karadeniz Bölgesi'dir. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nin dik yamaçları, aşırı yağışlı iklimi ve yerleşim alanı için yapılan kazılar sebebiyle heyelan riski daha fazladır. Doğu Karadeniz Bölgesindeki heyelanlar % 42'si su, % 26'sı ayrışma, % 26'sı kazı, % 4'ü bitki değişikliği ve % 2'si diğer nedenlerden dolayı oluşmaktadır (Tarhan, 1991; Önalp, 1991).



Şekil 1.3. Heyelan sayısının yerleşim birimi bazında dağılımı (Yılmaz, 2011)



Şekil 1.4. 26 ağustos 2010 Rize-Gündoğdu afetin yoğun olduğu bölgeler (Yılmaz, 2011)

Çok çatlaklı kaya kütleleri, yamaç molozu ya da zemin kütlelerinin belirli bir yüzey boyunca yamaç aşağı doğru hareketi olarak tanımlanan heyelanlara yoğun yağış, deprem dalgaları, su seviyesindeki değişiklikler ya da hızlı dere yatağı erozyonları gibi doğal faktörler sebep olmaktadır.

Bunlara ilave olarak, gerekli mühendislik çalışmaları yapılmadan yerleşime açılan yamaç ve engebeli arazilerde yapı inşası, bitki örtüsünün tahrip edilmesi, değişik amaçlı kazılar vb. heyelanların oluşumunu tetikleyen önemli faktörlerdir (Yalçın, 2005).

Bölgede tesis edilen çaylıklarda üreticilerin aynı alanlara evlerini yapmaları, yollar açmaları toprak kaymalarına davetiye çıkarmaktadır. Geniş alanlara yayılan çay bahçelerinde yapılan binalar ve ulaşım yolları toprak yükünün daha da artmasına neden olmaktadır (Turna, 2011).



Şekil 1.5. Çay tarlalarına yapılan evler (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014)

Çayın gübrelenen bir bitki olması nedeni ile çayın gübrelenerek iyi gelişmesi, bulunduğu alanlarda suyun toprak içine girişini kolaylaştırarak daha fazla tutulmasını sağlamakta ve toprak ağırlığının dolaylı olarak artmasına neden olmaktadır. Ancak ağırlık artımı ve toprak kaymalarında kullanılan gübrelerin direkt bir etkisi bulunmamaktadır. Asıl problem bölgenin eğimli arazi yapısı, doğal bitki örtüsünün bozulması ve arazilerin yanlış kullanılmasıdır (Turna, 2011).

26 Ağustos 2010 da Rize’de meydana gelen heyelanda da bölgede ekili olan çay bitkisinin köksüz olması ve çayda kullanılan gübrenin ve ağaçların sökülmesinden, yanlış yol yapımından kaynaklanabileceği belirlenmiştir.

Heyelandan önceki son 10-15 günün çok kurak geçtiği ve ani yağışa bağlı olarak yeraltına süzülme olmadan yüzeysel akışın olması çok fazla sığ heyelan yaşanmasına sebep olmuştur (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2014).

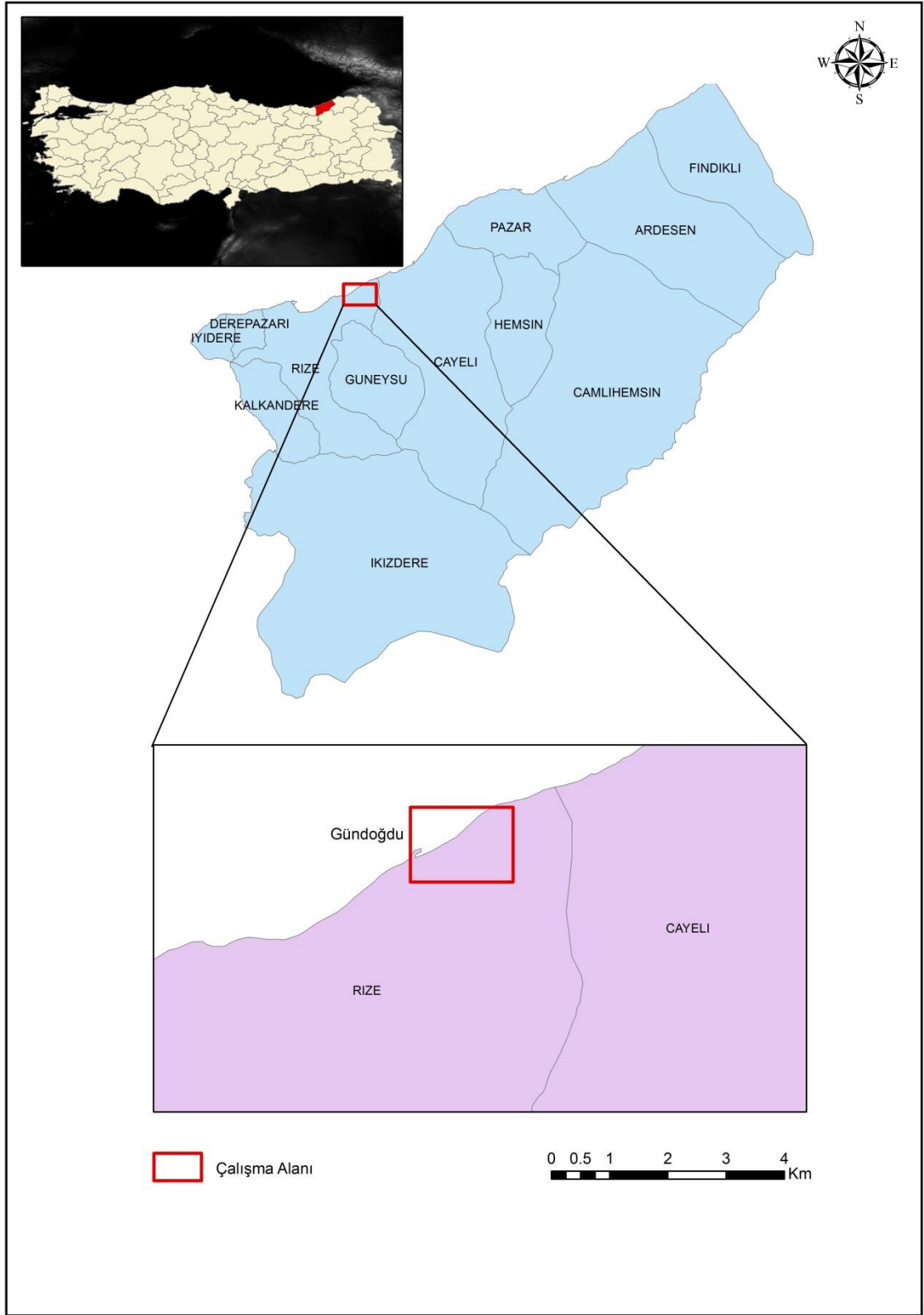
Geçmiş yıllarda, heyelanlar sebebiyle oluşan can ve mal kayıplarını en aza indirmek için toplumlar farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Bu konularda araştırma yapan birimler heyelan risklerini değerlendirmek ve önlemek adına heyelan alansal dağılımlarını haritalamaya başlamışlardır. Üretilen bu heyelan haritaları ile heyelan duraylılık değerleri hesaplanabilmekte, tehlike ve risk durumları değerlendirilebilmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan, Rize ili Gündoğdu beldesinde 2010 yılında meydana gelen heyelanların meydana geldiği alanların incelenerek mevcut şartların belirlenmesi, heyelana sebep olan faktörlerin ortaya konması ve bundan sonra aynı şartlarda meydana gelebilecek heyelan senaryolarının araştırılması amaçlanmıştır.

1.3. Çalışmanın Coğrafi Konumu

Çalışma alanı, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Rize iline bağlı Gündoğdu beldesi ve çevresinde yer alır. 1/25 000 ölçekli F45-d4 ve F45-d3 paftasının sınırları içerisinde yaklaşık 12 km²'lik alanı kapsamaktadır.



Şekil 1.6. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu

Gündoğdu, Rize ili merkez ilçeye bağlı bir belde merkezidir. Rize merkez ilçeye doğudan sınır olan Gündoğdu, dar bir şerit halindeki düzlükte ve dağınık düzendeki tepelerde kurulmuştur. Gündoğdu 4. derece deprem kuşağında yer almaktadır (URL-1.).

Gündoğdu beldesi, Rize merkezin doğusunda yer alır ve Rize merkeze yaklaşık 8 km. uzaklıktadır. Beldenin Trabzon'a uzaklığı 83 km'dir. Rize ilinin en önemli karayolu bağlantısı Karadeniz sahil yoludur. Karadeniz sahil yolu sırasıyla batıdan doğuya doğru Samsun-Trabzon-Rize-Gündoğdu-Çayeli-Pazar-Ardeşen ve Fındıklı yerleşimlerinden geçer.

Dış çevreyle yoğun ilişkilerine karşın, kapalı bir toplumsal yapısı olan Gündoğdu'nun, tarımı ile birlikte yaşantı biçimi de değişmiştir. Kırsal kesim insanı kente akın ederken kendi değerlerini de taşıyarak Gündoğdu'da yaşamı etkilemiştir. Yaşam şartlarının değişmesine, geçim düzeyinin yükselmesine karşın inançlar, töresel değerler, doğum-evlenme ve beslenme biçimlerinde geleneksel uygulamalar korunmaktadır (URL-1.).

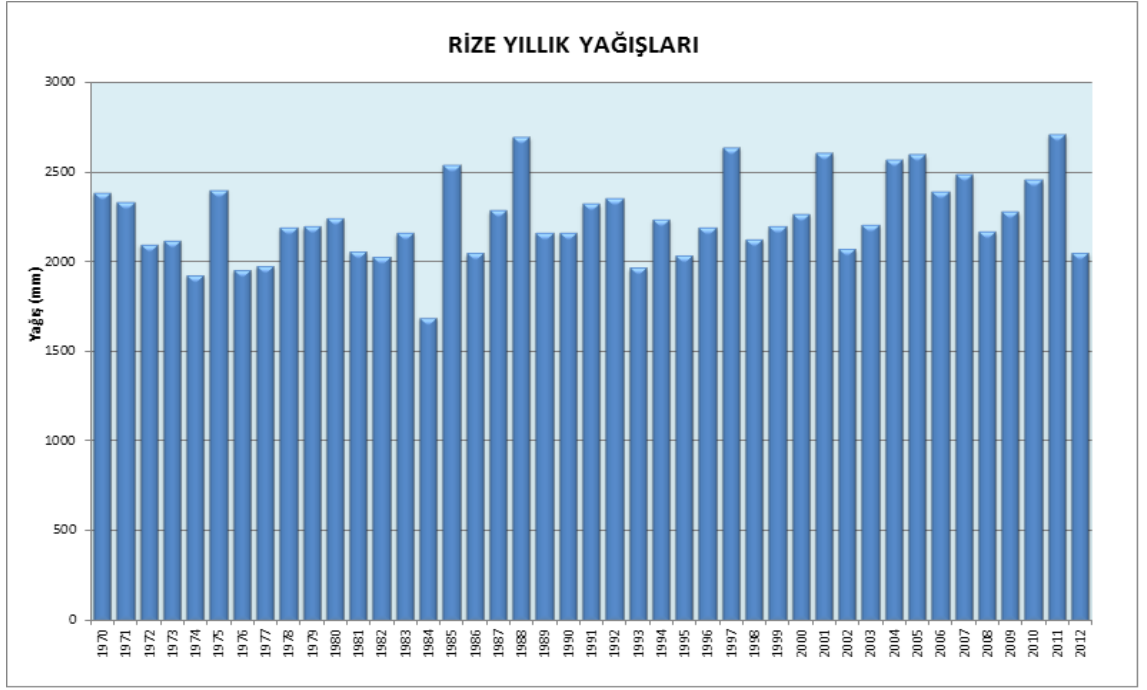
1.5. Morfoloji

7 km²'lik bir alana sahip Gündoğdu beldesi, sahilden itibaren iç kesimlere doğru ani yükselen yamaçlara sahiptir. Gündoğdu'nun topoğrafyası, dar bir kıyı şeridiyle bunun hemen ardından denize paralel bir şekilde yükselen dağlardan oluşur. Kaçkar Dağları güneydoğuda 3900 metre üzerine çıkarken, güneydeki Dilek Dağının yüksekliği 3711 metre, Kırklar dağının yüksekliği ise 3352 metredir. Bunlar bölgenin en yüksek dağlarıdır. Topraklar sık sık bir akarsu ağıyla parçalanmıştır. Meyilin fazla oluşu nedeniyle hızla akan dereler ekonomik değer ifade etmemektedir. Vadi yamaçlarını kaplayan ormanlar denize paralel bir kuşak oluşturmaktadır.

1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı ve çevresinde Karadeniz iklimi ve bitki örtüsü hakimdir. Bol yağış alan ve dengeli bir sıcaklık rejimine sahip olan Rize sık ve gür bir tabii bitki örtüsüne sahiptir. Kıyıda yaklaşık 750 m yüksekliğe kadar olan saha geniş yapraklı kıyı ormanları ile kaplıdır. Yaklaşık olarak 800-1400 m yükseklikler arasındaki kuşak karışık orman kuşağıdır. Bu katın yaygın türlerinin geniş yapraklılarından sakallı kızılgaç, kayın, kestane, gürgen ile iğne yapraklılarından ladin ve çam türleri teşkil eder. Orman altı bitki örtüsünü gene orman gülü ile diğer otsu ve odunsu bitkiler oluşturur. Yüksekliğin daha da artmasıyla yavaş yavaş iğne yapraklı türler hakim duruma geçer. 1600 m'den sonra iğne yapraklılarının hakimiyeti kesindir. Rize'de ormanlar yaklaşık olarak 2000-2200 m yüksekliklerde sona erer ve yerini alp çayırlarına bırakır (URL-2.).

Karadeniz Bölgesi sıcaklık değerleri genel olarak birbirine benzerdir. Rize'de hakim rüzgar yönü güneybatıdır. Ancak kuzeybatı yönlü (karayel) rüzgarlarla yükselerek yoğunlaşan bulutlar, bölgenin doğusunda havzaya daha fazla miktarda yağışın düşmesine neden olmaktadır. Sahil kesiminde yağışlar yağmur şeklinde, daha yüksek olan iç kesimlerde yazın yağmur, kışın kar şeklindedir. Doğu Karadeniz Bölgesine bol yağışlı, ılıman bir iklim hakimdir. Rize ve çevresinde yazları sıcak, kışları ılık ve yağışlıdır. En fazla yağış alan ilimizdir. Son 40 yıllık veriler incelendiğinde toplam yağış miktarı 2244,9 mm. olarak bulunmuştur (Şekil 1.7.). En çok yağış alan miktarı alan aylar Eylül, Ekim ve Kasım aylarıdır (Çizelge 1.2.).



Şekil 1.2. Rize yıllık yağışları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2014)

Mevsimlere göre değişmekle birlikte Rize'de nem oranı her zaman % 75'in üzerindedir. Yılın 150 günü kapalı, 163 günü bulutlu geçmektedir. Açık gün sayısının az olması Rize'de güneş enerjisinden yararlanma imkanını en aza indirmiştir. Son 52 yıllık meteoroloji verilerine göre en yüksek ortalama sıcaklık 26.5 °C ile Ağustos ayıdır (Çizelge 1.3.). Ortalama sıcaklık 6.4 ile 23.0 °C arasında değişmektedir. Ortalama en düşük sıcaklık 3.4 ile 19.6 °C arasında değişmektedir.

Çizelge 1.2. Rize ilinin 1970-2010 tarihleri arası ortalama yağış periyodu (Meteoroloji Genel Müd., 2014)

Ortalama Yağış Periyodu	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
1970-2010 Normali	210.4	179.2	144.4	92.2	99.7	135.8	148.4	182.6	249.6	300.4	256.2	246	2244.9

Çizelge 1.3. Rize ili 1960-2012 tarihleri arası ortalama sıcaklık, yağış istatistikleri
(Meteoroloji Genel Müd., 2014)

RIZE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.5	6.4	7.9	11.6	16.0	20.3	22.8	23.0	19.9	16.0	11.7	8.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.6	10.6	11.9	15.4	19.3	23.7	26.1	26.5	24.0	20.4	16.3	12.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.5	3.4	4.8	8.4	12.5	16.5	19.6	19.9	16.8	12.9	8.6	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.2	3.1	3.4	4.3	5.4	6.4	5.2	5.1	5.0	4.1	3.1	2.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15.2	14.1	15.9	15.6	14.7	14.5	14.4	14.9	15.2	15.6	14.1	15.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m ²)	218.8	178.5	150.9	97.4	97.4	137.6	146.7	186.9	240.8	288.7	248.5	244.0
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24.0	28.1	32.6	35.8	38.2	35.2	35.4	34.0	33.4	33.4	29.2	26.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-5.4	-6.4	-7.0	-2.8	4.2	7.8	12.0	13.6	9.2	2.5	0.4	-4.0

Rize'de kar yağışları olağandır. Toplam yağışın bir kısmı kar şeklinde düşmektedir. İlkbahar Rize'de en az yağış alan mevsimdir. Kışın düşen yağışların kar şeklinde olduğu ve ilkbaharla birlikte bu kar örtüsünün erimesiyle akarsuların kabardığı anlaşılmaktadır. Karın ortalama 14 gün yerde kaldığı Rize'de görünen ortalama gün sayısı 10'dur.

Görünen gün sayısının az olması ve minimum sıcaklık ortalamasının -7 °C'den daha az olmaması Rize'de narenciye üretimine imkan vermiştir (URL-2.).

1.7. Literatür Çalışması

Önalp, (1980), “Doğu Karadeniz Heyelanları Tanımlanması-Analizi Araştırma Raporu” başlıklı çalışmalarında heyelanların anlaşılması için öncelikle ayrışma/yıpranma mekanizmalarının anlaşılması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca çeşitli yamaçlarda yeraltı suyunun durumunun incelenerek basınç ve gerilmelerin ölçülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bölgede heyelan envanter haritalarının oluşturulması gerektiğini ve daha sonra ayrışma haritasının oluşturulmasını önermişlerdir.

Korkmaz ve Gedik (1988), “Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Petrol Oluşumları” isimli çalışmalarında; Rize-Çayeli-Pazar-Ardeşen-Fındıklı ve Çamlıhemşin arasında kalan yaklaşık 850 km²’lik bir alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve 1/100000 ölçekli komplikasyonu gerçekleştirilmiştir. Yine bu çalışma ile bölgede ilk defa birimler litostratigrafi esasına göre formasyon ölçeğinde ayırtlanmış ve 7 formasyon adlandırılmıştır.

Tarhan (1991), “Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış” isimli çalışmasında; değişik orijinli kayalarda meydana gelen farklı türdeki 100’e yakın kütle hareketini jeolojik ve jeoteknik 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.

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, kayaların 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 yeraltı suyu drenajı olduğunu açıklamış ve gerekli olan diğer önlemleri sıralamıştır.

Zezere vd. (1999), Lizbon’un kuzey bölümünde, seçilen 5 örnek alanda 1/2000 ölçeğinde detaylı arazi çalışmaları ile envanter haritası hazırlamışlardır. Araştırmacılar 61.6 km²’lik bir alanda toplam 574 heyelan tanımlamış ve bu heyelanların hazırlayıcı ve tetikleyici faktörlerle olan ilişkilerini incelemişlerdir.

Yalçın (2000), “Kanlıca (Giresun-Yağlıdere) Heyelanı ve Çevresindeki Yamaçların Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi” isimli çalışmasında; Giresun ili Yağlıdere ilçesi Kanlıca köyünde meydana gelen ve çevredeki yamaçlarda saptanan potansiyel heyelan alanlarının stabilitesini incelemiştir. Bu amaçla, aktif ve potansiyel heyelan alanlarının stabilite hesaplarını yapmak için jeodezik ölçümlerle 1/1000 ve 1/2000 ölçekli yamaç haritaları çıkarılmıştır.

Yalçın (2005), “Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi” isimli çalışmasında; litoloji-ayırışma, eğim, bakı, arazi örtüsü, makaslama dayanımı, akarsuya yakınlık, drenaj yoğunluğu ve yola yakınlık parametrelerinin heyelan duraylılık haritasının üretiminde etkili olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, katman haritalarının, meydana gelmiş heyelanlarla ilişkilerinin belirlenmesi için gerekli olan heyelan envanter haritasını, Dijital Fotogrametri teknikleriyle üretmiştir.

Akgün (2007), “Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi” isimli çalışmasında; arazi ve laboratuvar destekli veriler kullanarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama yöntemleri yardımıyla Ayvalık ve yakın çevresine ait 424 km²’lik bir bölgenin erozyon ve heyelan açısından duyarlılık değerlendirmesi yapmıştır. Araziden toplanan kaya örneklerinin laboratuvarda birim hacim ağırlıkları, porozite, boşluk oranı, su muhtevası, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi, çabuk su emme ve donma-çözünme sonrası ağırlık kaybı değerlerini hesaplamış, bu değerleri CBS ortamında noktasal interpolasyon yöntemiyle harita formatına dönüştürmüştür.

Dağ (2007), “Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi” isimli çalışmasında; Çayeli ve çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlamış ve litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru ayırtlanmıştır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile farklı kaynaklardan toplanan verilere değerlendirilmiş. İki değişkenli istatistiksel analiz ve Mantıksal regresyon analizi kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretmiştir.

26 Ağustos 2010 tarihinde meydana gelen Gündoğdu heyelanıyla ilgili TMMOB, 2 Eylül 2010 tarihinde gerekli incelemeleri yaparak bir rapor hazırlamışlardır. Raporda, 14 vatandaşımızın hayatını kaybettiği heyelanla ilgili olarak arazi çalışmaları ve gerekli tespitler yapılmıştır. 1/100.000’lik jeoloji haritası çıkarılmış, sonuç kısmında alınması gereken tespitlere yer verilmiştir.

Aksoy (2011), “Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi” isimli çalışmasında; heyelan duyarlılık haritaları üretmiştir. Üretilen duyarlılık haritalarında, çok az duyarlı, duyarlı, yüksek duyarlı, çok yüksek duyarlı olmak üzere farklı duyarlılık alanları ayırtlamıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gündoğdu beldesinde meydana gelen heyelanları incelemek ve mevcut durumu ortaya koymak için arazi çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmalarının ilk aşamasında genel jeolojik özellikleri belirlemek için yörenin 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası hazırlanmış ve bölgede yüzeyleyen kayaçların stratigrafik dizilimleri ortaya konmuştur (Şekil 3.1.-3.2.).

2010 yılı Ağustos ayında beldede meydana gelen heyelanlara yönelik bir dizi arazi çalışması yapılmıştır. İnceleme alanında 5 adet ayrı heyelan bölgesi tespit edilmiştir. Bu heyelanların karakteristik özellikleri ortaya konulmuştur. Heyelanın meydana geldiği malzeme türü, heyelanın kayma yüzeyi, derinliği ve uzunluğuna ait veriler tespit edilmiştir. Ayrıca heyelanın meydana geldiği yamaçlara ait topografik kesit çalışmaları için veriler elde edilmiştir. Bu amaca yönelik olarak, Gündoğdu Beldesine ait 1/500 ölçekli haritalardan yararlanılmıştır. Eksik olan veriler arazide yapılan değerlendirmelerle desteklenmiştir. Tüm bu çalışmalar sonucunda, stabilite çalışmaları için yamaç kesitleri hazırlanmıştır.

Heyelan olan yamaçlarda bundan sonra meydana gelebilecek heyelanların değerlendirilmesine yönelik olarak stabilite analizlerinin yapılması gerekmektedir. Değişen jeolojik-jeoteknik özelliklere bağlı olarak yeni stabilite problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu problemlerin çözümüne yönelik olarak, yamaçlarda yüzeyleme veren malzemenin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, stabilite analizlerinde kullanılacak verilerin üretilmesi adına bir takım laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Malzemenin kayma dayanımı parametrelerinin belirlenmesi stabilite analizleri için en önemli verilerdir. Bu verilerin elde edilmesi için örselenmemiş örnekler üzerinde kesme kutusu deneyi yapılarak malzemenin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açıları (ϕ) bulunmuştur. Yine malzemenin özgül ağırlığı, su içerikleri, kıvam değerleri, tane boyu dağılımları, boşluk oranı ve porozite gibi özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler ışığında çalışma alanında yüzeyleme veren malzemenin jeolojik-jeoteknik özellikleri ortaya konulmuş ve yapılan stabilite analizleri sonuçlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmalarla elde edilen bilgiler ve varılan sonuçlar belirtilmiştir. Yörede meydana gelen ve bundan sonrada oluşması muhtemel heyelanlar için analizler yapılarak alınması gereken önlemler belirtilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Gündoğdu ve Çevresinin Genel Jeolojisi

3.1.1. Bölgesel jeoloji

Çalışma alanını da içine alan bölgede (Korkmaz ve Gedik, 1988) ve (Gedik ve diğerleri, 1992) tarafından ayrıntılı jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Rize- Fındıklı- Çamlıhemşin arasında kalan bölgenin jeolojisi incelenmiştir. Bu çalışmada, altı formasyona ayrıtılan bölgedeki formasyonlar yaşlıdan gence doğru;

Hemşindere Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988), Santoniyen-Alt Mestrihtiyen yaşlı kumtaşı, marn kırmızı kireçtaşı ara katmanları içermektedir. Esas olarak ise bazalt, dasit, riolit yer yer de andezit türünde piroklastiklerden oluşur. Hemşindere Formasyonunun genel özelliklerinden dolayı, yoğun volkanizmanın egemen olduğu denizel bir ortamda çökeldiği belirlenmektedir. Bölgesel olarak geniş yayılım gösteren bu formasyon yer yer bazik ve asidik intrüzifler tarafından (Granit, granodiyorit, kuvarşlı diyorit, gabro) kesilmiştir (Şekil 3.1.). Kalınlığı 3500-5000 m arasında değişen Hemşindere Formasyonu'nun yaşının içindeki kırmızı kireçtaşlarından elde edilen fosillerle Santoniyen-Alt Mestrihtiyen olduğu belirlenmiştir (Gedik vd., 1992).

Hemşindere Formasyonu üzerine uyumlu olarak Rize Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) gelmektedir. Bu formasyon kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve kumtaşı ara katmanlı, kırmızımsı-bordo ve beyaz renkli marn ve şeyl aralanmasından oluşmuştur. Formasyonun yaşı Üst Kretase-Paleosen olup kalınlığı 325 m'dir (Gedik vd., 1992).

Kalın katmanlı iri taneli kumtaşı, marn ve kilaşı aralanmasından oluşan Kaplıca Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) Rize Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Yaklaşık 575 m kalınlık sunan formasyonun yaşı Alt-Orta Eosen'dir (Gedik vd., 1992).

Kaplıca Formasyonu üzerine uyumlu olarak, masif ve kötü katmanlanma gösteren ve çoğunlukla bazaltik, yer yer andezitik tüf ve aglomeralardan oluşan Melyat Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) gelmektedir (Şekil 3.1.).

Alt-Orta Eosen yaşlı Kaplıca Formasyonu ile geçişli ve uyumlu olan Melyat Formasyonunun yaşı Orta Eosen'dir. İçinde, boyutları bir kaç cm'den 1m'ye kadar değişen volkanik blokların da bulunduğu formasyonunun yaklaşık 500-750 m kalınlıkta olduğu tespit edilmiştir (Gedik vd., 1992).

SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	KALINLIK(m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
KRETAŞE	Ü. KRETAŞE PALEOJEN	Ü. MAASTRIHTİYEN PALEOSEN	RİZE	325		
	ÜST KRETAŞE	SANTONİYEN-ALT MAASTRIHTİYEN	HEMŞİNDERE	3500 - 5000		
	EOSEN	İPRESİYEN - LÜTESİYEN	KAPLICA	575		
	MIYOSEN	SARMAŞİYEN	PAZAR	30 - 100		
TERSİYER	PLİYO-KUVA.		HAMİDİYE	50		
	KUVA.					
						Alüvyon
						Kötü katmanlı ve kötü boyulanmalı, kum, çakıl
						Kırmızımsı renkli, çakıllı kil, fosilli kumtaşı, gri renkli marn ardalanması
						Masif ve kalın katmanlanma gösteren andezitik ve bazaltik lav, tuf, aglomera
						Kalın katmanlı, iri taneli kumtaşı, marn, kıltaşı ardalanması
						Beyaz, bordo renkli, kıltaşı, marn ve kireçtaşı ardalanması
						Andezit, bazalt ve piroklastları
						Dasit
						Kumtaşı, marn
						Kırmızı kireçtaşı
						Andezit, bazalt ve piroklastları
						Yastık lavlar
						Kırmızı kireçtaşı
						(+) Granit, granodiyorit, kuvarşlı diyorit, diyorit, gabro
						Andezit ve andezitik tuf
						Dasit ve dasitik tuf

Şekil 3.1. Rize – Fındıklı – Çamlıhemşin bölgesinin genelleştirilmiş dikme kesiti (Korkmaz ve Gedik, 1988)

Melyat Formasyonu üzerine uyumsuz olarak, tabanda çakıltası ile başlayıp üste doğru kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı ara katmanları içeren gri renkli marn ardalanması gösteren Pazar Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) gelmektedir (Şekil 3.1.). Bu birimin üst kısımlarında kum, çakıl ve kayaç parçaları içeren kırmızımsı kil ve çamurtaşı yer alır. Bol mikro ve makro fosil içeren Pazar Formasyonunun, Sarmasiyen (Orta-Üst Miyosen) yaşlı ve 30-100 m kalınlıkta olduğu tespit edilmiştir (Gedik vd., 1992).

Kötü katmanlı ve kötü boylanmalı, kum ve kil mercekleri içeren gevşek çimentolu çakıltıtaşlarının oluşturduğu Hamidiye Formasyonu (Korkmaz ve Gedik, 1988) uyumsuz olarak Pazar Formasyonunun üzerine gelmektedir (Şekil 3.1.). Formasyonun yaklaşık 50 m kalınlıkta ve Pliyo-Kuvarterner yaşlı olduğu belirlenmiştir (Gedik vd., 1992). Hamidiye Formasyonunun üzerinde alüvyonlar bulunmaktadır.

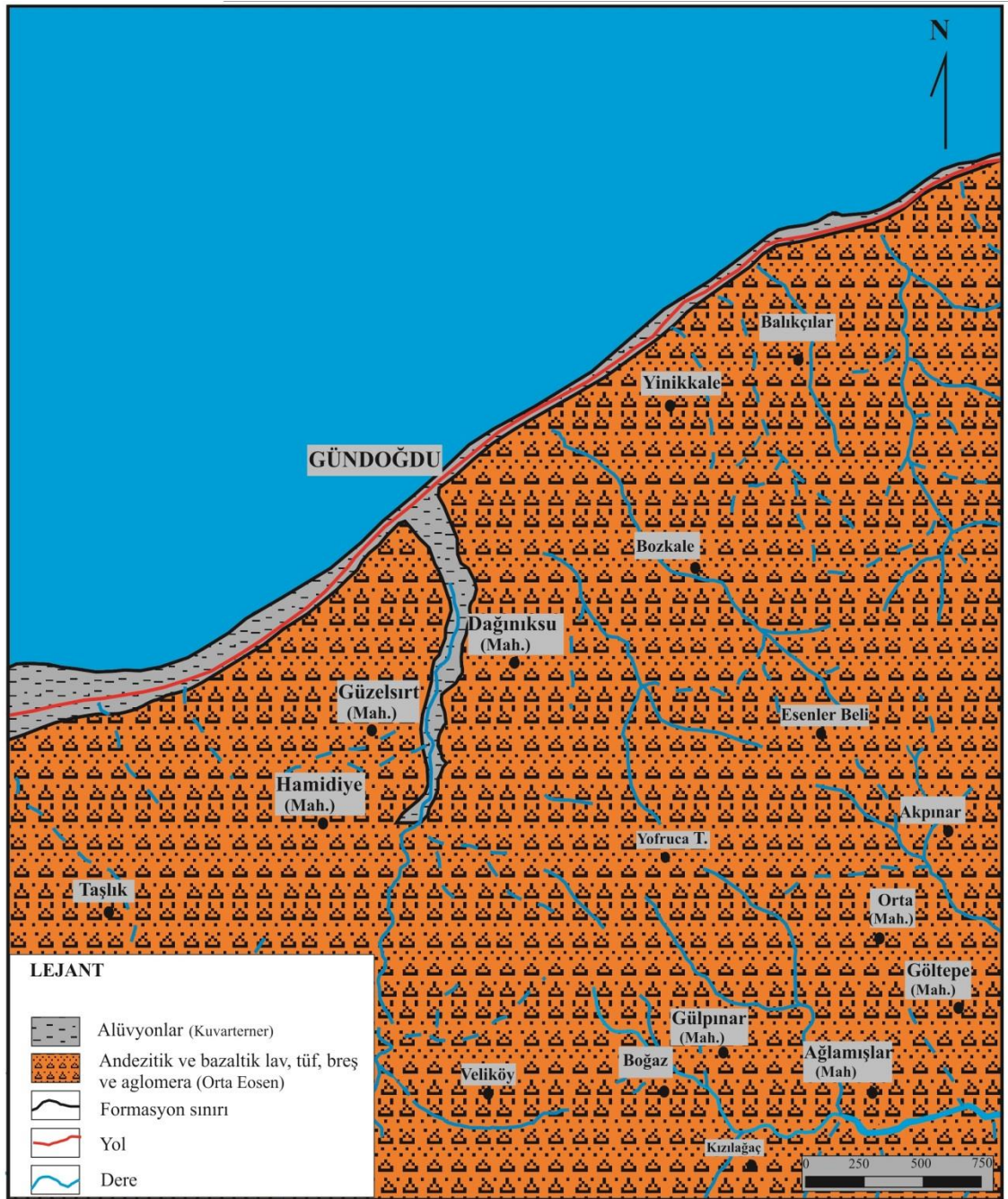
3.1.2. Stratigrafi ve petrografi

Gündoğdu ve çevresini kapsayan çalışma alanı, Türkiye Stratigrafi Komitesi tarafından hazırlanan ‘‘Stratigrafi Sınıflama ve Adlama Kuralları’’ esaslarına göre yaşlıdan gence doğru; Melyat Formasyonu ve alüvyonlara ayrılmıştır.

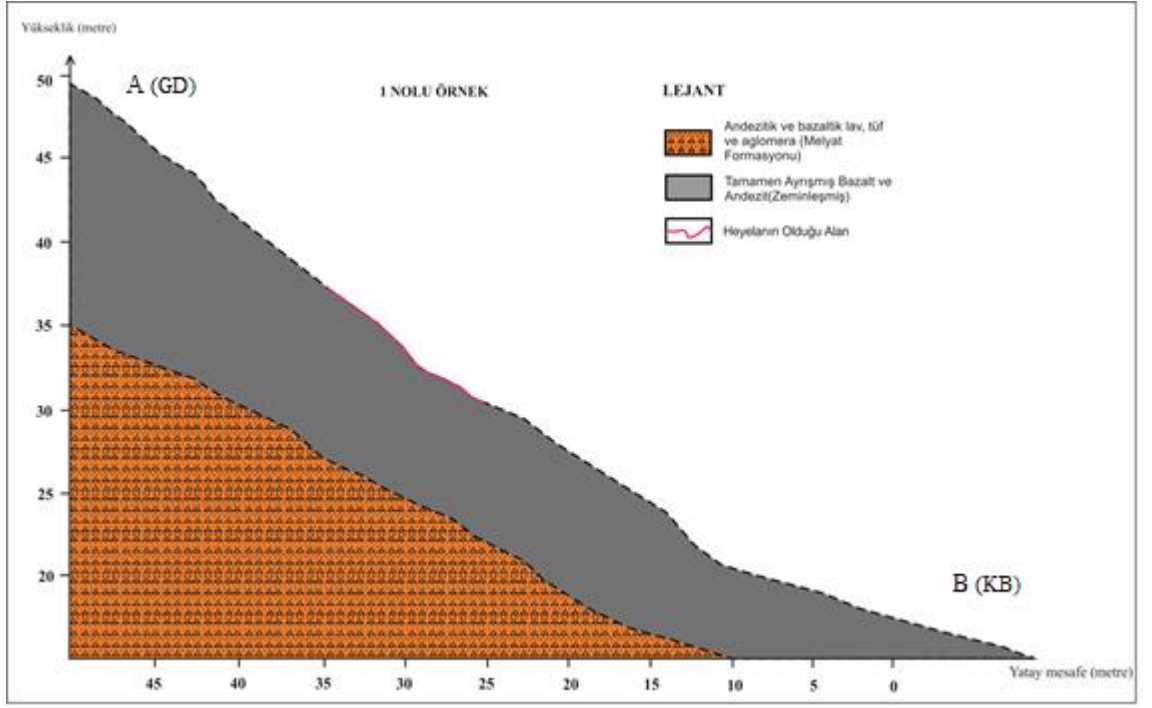
3.1.3. Melyat formasyonu

İnceleme alanındaki en geniş yayılım Melyat Formasyonuna aittir. Birim çok tipik ve yaygın olarak Melyat vadisi boyunca yüzeylendiği için Melyat Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Korkmaz ve Gedik, 1988). Formasyon inceleme alanında Dağınıksu, Güzelyurt, Hamidiye mahallesinde yüzeilenmektedir.

Formasyon, masif ve kötü katmanlı gösteren andezitik ve yer yer de bazaltik lav, tüf, breş ve aglomeralardan oluşmuştur. Birimin içinde boyutları bir kaç santimetreden 1 metreye kadar değişen volkanik kökenli bloklar yer almaktadır. Melyat Formasyonu içerisinde herhangi bir mineralizasyon ve alterasyon gözlenmemiştir. Melyat Formasyonu tamamen volkanik kökenli piroklastiklerden oluşmuştur. Faylı bölgelerde Melyat Formasyonu ile Hemşindere Formasyonu tektonik ilişkilidir. Orta Eosen yaşlı kabul edilir. Birimin yaklaşık kalınlığı 500-750 metre arasında değişmektedir (Korkmaz ve Gedik, 1988).



Şekil 3.2. Gündoğdu ve çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası



Şekil 3.3. 1 nolu heyelana ait jeoloji enine kesiti



Şekil 3.4. Melyat Formasyonuna ait andezitler

3.1.4. Alüvyonlar

Kuvarterner yaşlı alüvyonlar Gündoğdu deresi boyunca gözlemlenmiştir. Alüvyon malzemesi boyutları bir kaç santimetreden yarım metreye kadar değişen bazalt ve aglomera çakıllarından oluşmuştur.



Şekil 3.5. Yol boyunca gözlenen alüvyonlardan bir görünüm (Afad Genel Müd., 2014)

İnceleme alanında Melyat Formasyonu ve alüvyonlar görülmüştür. Şekil 3.1.'deki dikme kesitte bu birimler çizilmiştir.

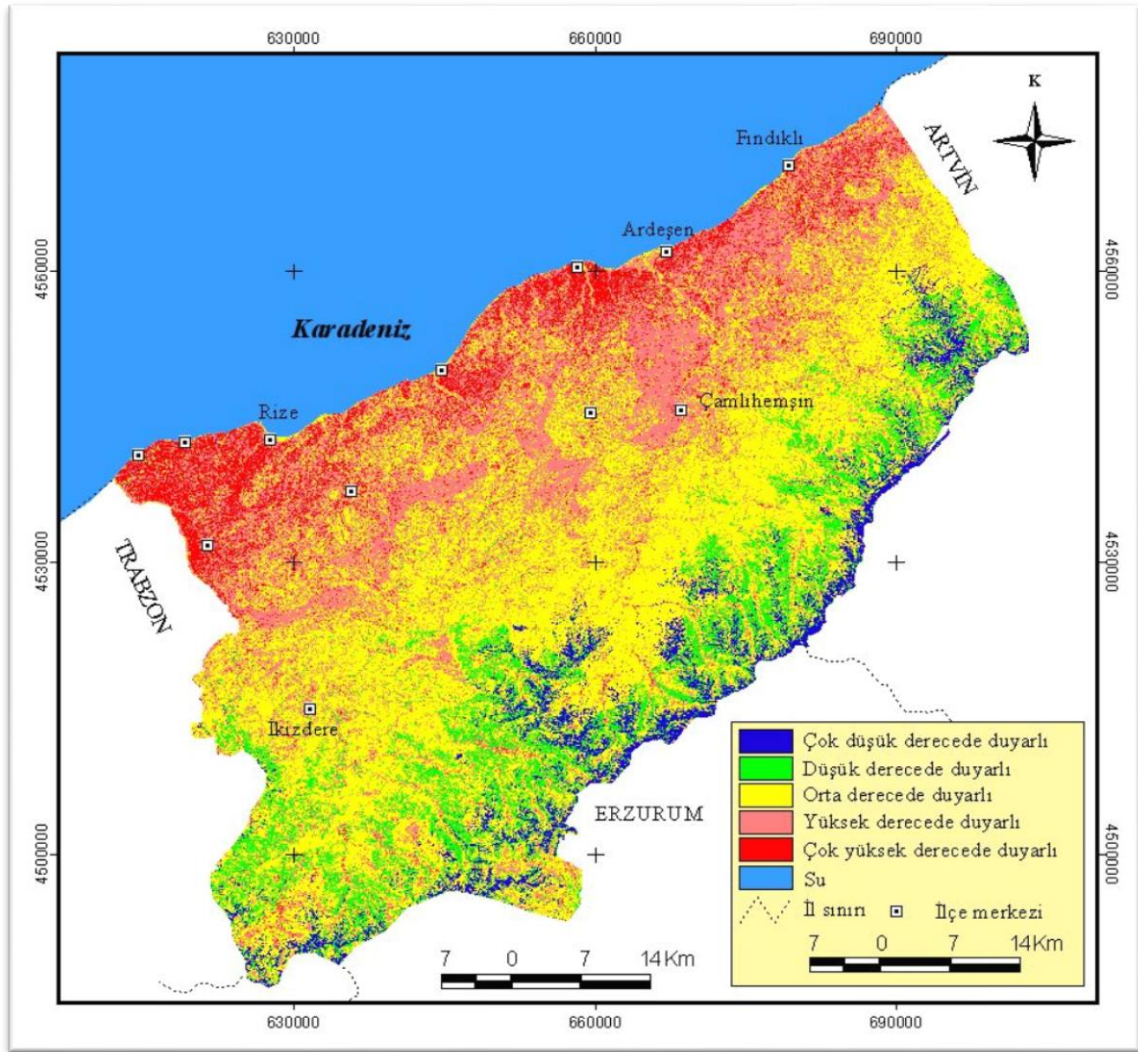
3.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, Pontid Tektonik Birliği'nin kuzey zonunda yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde tamamen magmatik kökenli kayalar yer almaktadır. Büyük ölçekli kıvrımlı yapılar gelişmemiştir. Melyat Formasyonu farklı alanlarda çok az yüzeylenme vermektedir.

3.3. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme

Heyelanlarla ilgili değerlendirme çalışmaları yaklaşık yarım yüzyıldır sürmektedir. Bu konudaki çalışmalar geçmiş zamanda yerel duraysızlık problemlerinin araştırılması ve bu problemlerin çözümüne ilişkin yapılan çalışmalarla sınırlandırılmıştır.

Daha sonraları bölgesel planlamaların öneminin artması dolayısıyla, heyelan değerlendirme çalışmaları da bölgesel düzeyde yapılmaya başlamıştır. Günümüzde ise CBS teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sayısal tabanlı değişik amaçlı haritalar üretilerek heyelan değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Bu konuda özellikle duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar çoğunluktadır (Akgün ve Bulut, 2007; Dağ, 2007).



Şekil 3.6. AHP yöntemine göre üretilen Rize ili heyelan duyarlılık haritası (Reis vd., 2009)

3.3.1. Duyarlılık, tehlike ve risk kavramı

Heyelan değerlendirmelerine yönelik yapılan çalışmalarda çoğunlukla, duyarlılık, tehlike ve risk kavramları ile ilgili tanımlamalarda ve bu kavramların kullanımında bir karışıklık söz konusudur. Kimi çalışmalarda aynı anlamda kullanılan bu kavramlar bazen de birbirlerinin yerlerine kullanılmaktadır. Birbiri ile bağlantılı olan duyarlılık, tehlike ve risk kavramları aslında farklı tanımlamalara ve kullanımlara sahiptir.

Heyelan duyarlılığı ile ilgili çalışmalar, bir bölge içerisindeki alanların, göreceli olarak (ok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlı vb.) heyelana karşı hassasiyetinin sınıflandırılması şeklinde tanımlanabilir. Dai vd. 2002 ise, heyelan duyarlılığını, yağış, deprem ve insan faktörü gibi tetikleyici faktörlerin değerlendirilmediği koşullar altında belirlenen heyelan olasılığı olarak tanımlamaktadır. Bu tür çalışmalarda, incelenen alanda heyelanların meydana gelmesine neden olabilecek faktörler değerlendirilerek, daha sonraki doğal süreçte heyelan oluşumundan etkilenebilecek olası duraysız alanlar belirlenmektedir. Bu alışmalar için, bölgedeki heyelanlara ilişkin bir envanter ve heyelan oluşumuna neden olan faktörlere ait genel bir veri tabanının oluşturulması gereklidir.

Duyarlılık çalışmalarında heyelanlarla yakın ilişkisi olan, kolaylıkla belirlenebilen ve haritalanabilir özellikteki parametrelerin seçilmesi önemlidir (Carrara vd. 1991).

Heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde, farklı tehlike kategorilerini belirtmek için Hartlen ve Viberg (1988), bazı tanımlamalar yapmışlardır. Bunlar;

- ✓ Göreceli tehlike: Kesin ve sayısal bir değer ifade etmeksizin farklı yamaçlar karşılaştırılarak belirlenen tehlike.
- ✓ Mutlak tehlike: Ya deterministik olarak (güvenlik sayısına bağlı) ya da istatistiksel analizlere dayanarak hesaplanan tehlike.
- ✓ Amprik tehlike: Yamaç yüksekliği ve açısı gibi birkaç parametre ile ilgili grafiklerden elde edilen eğrilerin değerlendirilmesi ile hesaplanan tehlike.
- ✓ Gözlemlenen tehlike: Deformasyon ve/veya yağış verilerinin, önceden belirlenmiş olan kritik değerler ile karşılaştırılması sonucunda belirlenen tehlikedir.

Heyelan risk çalışmaları, heyelan sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra, oluşacak hasarın tahmini, ekonomik ve çevresel zararları da beraber değerlendiren çalışmalardır. Duyarlılık ve tehlike çalışmalarına ilave olarak heyelanı oluşturan veya tetikleyen parametreler dışında, çalışılan bölgedeki nüfus, ekonomik aktivite gibi konularda da ayrıntılı bilgiye gereksinim duyulmaktadır.

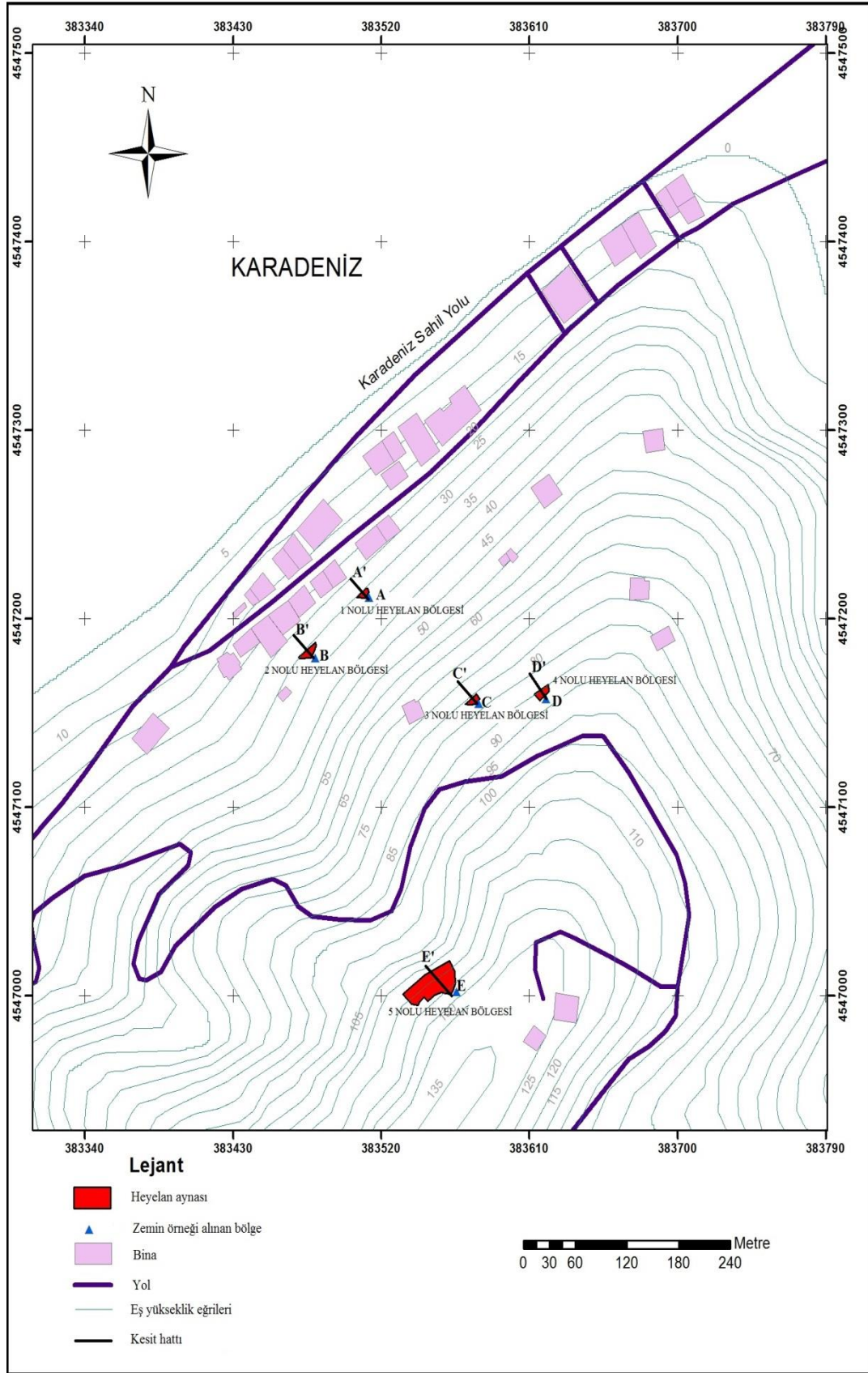
Dolayısıyla bu tür haritaların oluşturulmasında, duyarlılık ve tehlike haritalarına göre daha fazla disiplinler arası çalışmalar gerekmektedir. Çünkü heyelan risk haritaların hazırlanmasında, sadece yerbilimciler değil, sosyal bilimciler, şehir planlamacıları gibi meslek gruplarının ortaklaşa çalışması gerekmektedir. Heyelan risk haritalarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar, duyarlılık ve tehlike haritalarının üretilmesine yönelik çalışmalara oranla çok daha az sayıdadır. Bu durumun temel nedeni, parametrelere ilişkin sağlıklı verilere ulaşmanın oldukça güç bir işlem olmasıdır (Dağ, 2007).

3.4. Gündoğdu Beldesinin Heyelan Jeolojisi Açısından İncelenmesi

Bu kapsamda yapılan çalışmalar arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki kısımdır. Arazi çalışmasında yamacın haritalanması, yamaçtaki aktif ve potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesi, laboratuvar çalışmaları için ise örselenmiş ve örselenmemiş zemin örneklerinden yapılan deneyler yer alır.

Laboratuvar çalışmalarında heyelan malzemesinin jeoteknik özellikleri saptanmıştır. Deneyler yapılırken fiziksel özelliklerin belirlenmesinde TS 1900 (1987) esas alınmıştır, kesme kutusu deneyinde ise ASTM D3080-90 (1990) standardı kullanılmıştır. 5 noktada meydana gelen heyelanlardan zemin numuneleri alınarak inceleme yapılmıştır.

Örneklerin numaralandırılmasında, Gündoğdu beldesinde meydana gelen heyelanlar için 1, 2, 3, 4 ve 5 numaraları verilmiştir.



Şekil 3.7. İnceleme alanının halihazır haritası ve heyelan noktaları

3.4.1. Arazi çalışmaları

3.4.1.1. Yamaç harita alımı

Heyelanlı alanda daha iyi çalışma yapabilmek için 1/500 ölçekli topoğrafik harita hazırlanmış ve arazide gözlenen jeolojik unsurlar, yerleşim yerleri ve yolların konumları bu harita üzerinde gösterilmiştir.

3.4.1.2. Heyelan sahaları

Arazide yapılan incelemeler sonucunda heyelanlı alanlar tespit edilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları ve değerlendirmelerine göre 5 farklı heyelan bölgesi bulunmuştur. Heyelanların meydana geldiği bölgelerde tarım alanları ve yerleşim yerleri iç içe geçmiş bir vaziyettedir.



Şekil 3.8. 1 nolu heyelan ve kopan kısımdan bir görünüm

Durum böyle olunca gerek tarımsal faaliyetlere bağlı olarak gerekse yamaçta binaların inşası stabiliteyi olumsuz etkilemiştir. Sonuç olarak iklim özellikleri itibariyle zaten heyelanların oluşumuna meyilli bölgede bu ilave olumsuz faaliyetlerle daha da çok duraysızlıklar meydana gelmektedir.



Şekil 3.9. 4 nolu heyelan ve kopan kısımdan bir görünüm



Şekil 3.10. 5 nolu heyelandan bir görünüm

26-27 Ağustos 2010 tarihlerinde Rize ve çevresinde meydana gelen heyelan ve sel baskınları sonucunda 14 kişi hayatını kaybetmiştir. Gündoğdu Beldesi, can ve mal kaybının yaşandığı en yoğun bölgelerdendir.

Yapılan incelemede can ve mal kayıplarına neden olan afetin; iki şekilde geliştiği görülmektedir. Topografik olarak eğimin yüksek olduğu yamaçlar ile vadi kenarlarında yer alan yerleşmelerin heyelan olayından etkilendikleri, vadi ve dere ağzlarında yapılan konutlar ile denize paralel olan sahil bölgesinde ise; denizin doldurularak Karadeniz Otoyolunun yapılması sonucunda, doğal drenaj ağlarının kapatılması veya doğal drenajın yetersiz hale getirilmesi nedeniyle de belde ortasından geçen caddenin altında kalan bölümlerde ise sel baskınının olduğu görülmüştür (URL-3.).

Bölgeyi oluşturan kaya toplulukları, atmosferik koşullar altında ayrışarak toprak zeminlere dönüşmüş, aşırı yağışların etkisiyle suya doymun hale gelmiş, üst kısımdaki ayrışmış birim ile alt kısımdaki ayrışmamış birim arasında geçirimsizlik farklılığı oluşmuş ve topografik eğimin dik veya fazla olduğu bölgelerde ayrışmış zemin kendi ağırlığı altında akarak heyelanlara neden olmuştur.



Şekil 3.11. 1 nolu heyelanın etkilediği ev (Afad Genel Müdürlüğü)



Şekil 3.12. 5 nolu heyelanın ters çevirdiği ev (Afad Genel Müdürlüğü)



Şekil 3.13. 1, 2, 3, 4 ve 5 nolu heyelanların genel görünümü

3.4.1.3. Laboratuvar deneyleri için örnek alımı

Heyelan sahasındaki malzemenin dane dağılımlarını, kıvam limitlerini, özgül ağırlığını, efektif kohezyon ve içsel sürtünme açısını, birim hacim ağırlıklarını, porozitesini, doygunluk derecesini, su muhtevasını, boşluk oranını belirlemek için araziden örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Örnek alım yerleri Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Örselenmemiş numuneler, heyelanın olduğu bölgenin tepe noktasından bozulmamış kesimden alınmıştır.

Örnek alımında 11,5 cm. çaplı ve yüksekliği 20 cm. olan çelik tüpler kullanılmıştır. Alınan tüplerin arazideki özelliğini yitirmemesi için alt ve üst kısımları parafinlenmiş, bu şekilde laboratuvar ortamına taşınmış ve muhafaza edilmiştir. Örselenmiş numuneler, örselenmemiş numunelerin alındığı yerden alınmış ve torbalara koyularak muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.14. Örselenmemiş numune almada kullanılan çelik tüp

3.4.2. Laboratuvar çalışmaları

Heyelan sahalarından alınan örselenmiş numunelerle yapılan deneylerde örneklerin kıvam limitleri, özgül ağırlıklar ve dane dağılım eğrileri elde edilmiştir. Örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan deneylerde ise efektif kohezyonları, efektif içsel sürtünme açıları, poroziteleri, birim hacim ağırlıkları, su muhtevası, boşluk oranları ve doygunluk dereceleri bulunmuştur.

Çizelge 3.1. Tüm deney sonuçları

Örnek No	1	2	3	4	5
w (%)	38.85	38.57	65.53	40.12	59.02
γ_k (gr/cm ³)	1.16	1.12	0.77	1.21	0.97
γ_n (gr/cm ³)	1.58	1.62	1.36	1.57	1.53
n (%)	49.43	57.72	67.60	50.31	54.47
e (%)	97.74	136.53	208.61	101.28	119.64
γ' (gr/cm ³)	0.65	0.69	0.44	0.71	0.51
γ_d (gr/cm ³)	1.65	1.69	1.44	1.71	1.51
Sr (%)	91.43	74.87	74.46	96.66	105.55
c (kg/cm ³)	0.09	0.11	0.12	0.39	0.14
ϕ (°)	17.91	24.91	29.36	16.16	24.49
L.L. (%)	53	51	60	48	60
P.L. (%)	41.98	39.64	47.96	38.11	47.05

3.4.2.1. Jeoteknik özellikler

3.4.2.1.1. Dane dağılımı

Örnekler içerisindeki dane boyutlarının dağılımını belirlemek için ıslak elek analizi deneyi yapılmıştır. Bu deney, dane büyüklüğü dağılımının ve çakıl, kum, silt, kil yüzdelerinin belirlenmesi amacıyla yapılır.

Öncelikle 200-250 gr. civarı yaş zemin örneği alınmış, etüve konulmuş ve 105°'de 1 gün boyunca kuruması beklenmiştir. Daha sonra tanelerin yapışmaması için içerisine hidrojen peroksit (H_2O_2) – su karışımı ilave edilmiş ve 1 gün beklenmiştir. Malzeme 200 no'lu elek içerisine koyulmuş, suyun altında yabancı malzemeler ve çamuru temizleninceye kadar yıkanmıştır. Tekrar etüve koyulmuş, 1 gün boyunca kuruması beklenmiştir. Malzeme bir tepsi içerisine alınarak bir tokmak yardımıyla ufalanmıştır. Daha sonra eleme kısmına geçilmiştir. Bunun için elek takımı kullanılmıştır (Şekil 3.15.). Malzeme, göz açıklığı büyükten küçüğe doğru dizilmiş olan elek serisinin en üstüne boşaltılmış ve eleklerin altına zemin tanesi geçmeyinceye kadar sarsılmıştır. Daha sonra hassas terazide her bir elek için malzemeler tartılmış ve deney formuna yazılmıştır.



Şekil 3.15. Elek analizi için kullanılan elek takımı

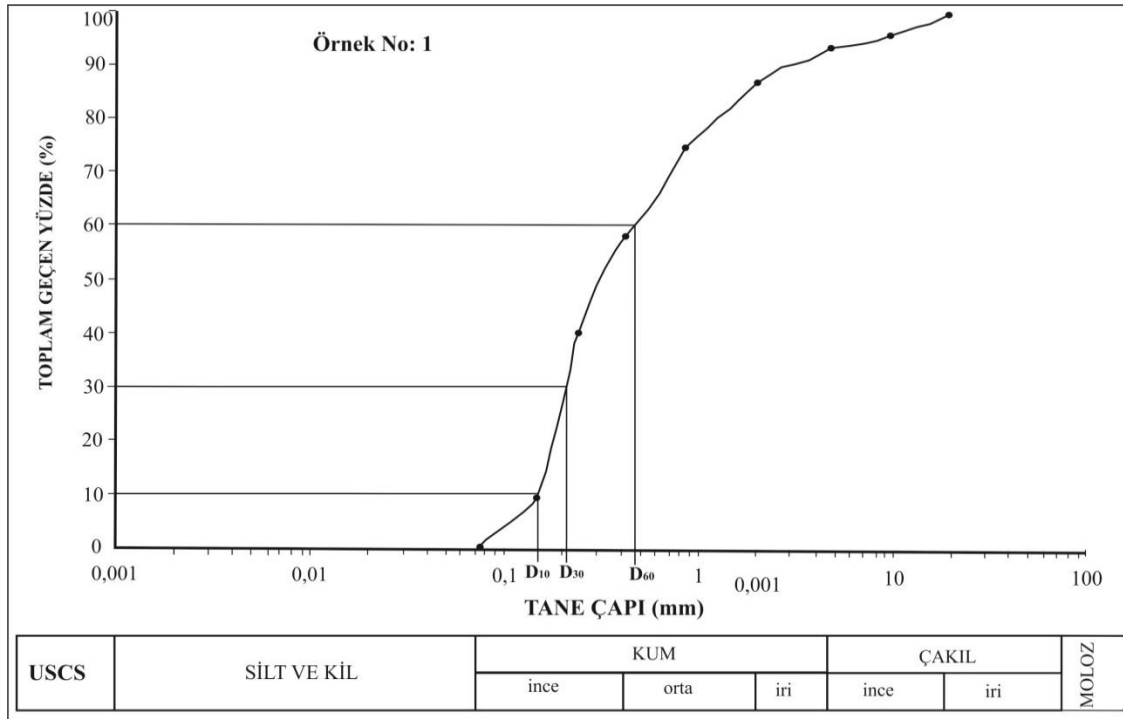
Her bir elek için geçen yüzdesi (% P), aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\%P = \frac{\text{Elekten geçen zemin miktarı}}{\text{Elemeye tabi tutulan tüm zemin}} \times 100 \quad (3.1)$$

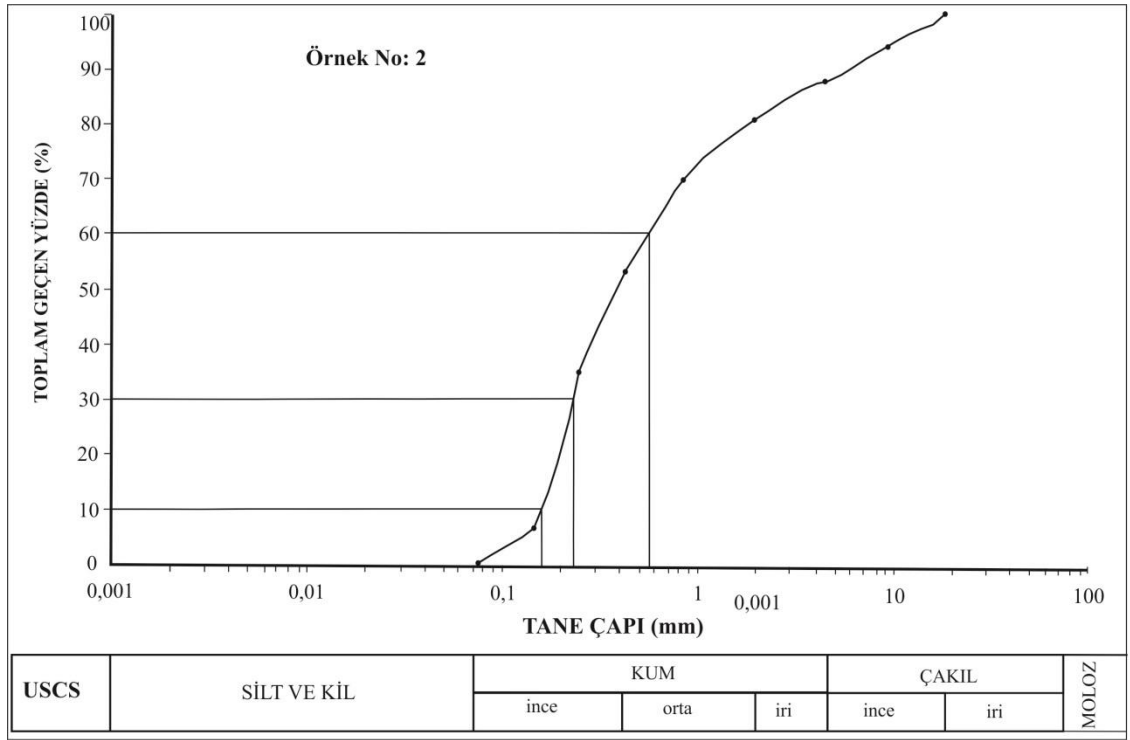
Çizelge 3.2. Elek analizi deney sonuçları

Elek No	Elek Açıklığı (mm)	TOPLAM GEÇEN MALZEME YÜZDESİ (%P)				
		1	2	3	4	5
4	4.76	94.17	87.62	88.24	77.76	84.73
10	2	87.76	81.07	76.71	63.24	82.02
20	0.84	74.85	69.85	59.81	47.83	74.98
40	0.42	58.02	53.85	39.87	31.52	61.69
60	0.25	40.22	35.90	20.13	13.80	42.15
100	0.15	9.38	6.19	4.08	1.50	8.88
200	0.074	0.13	0.08	0.07	0.02	0.16

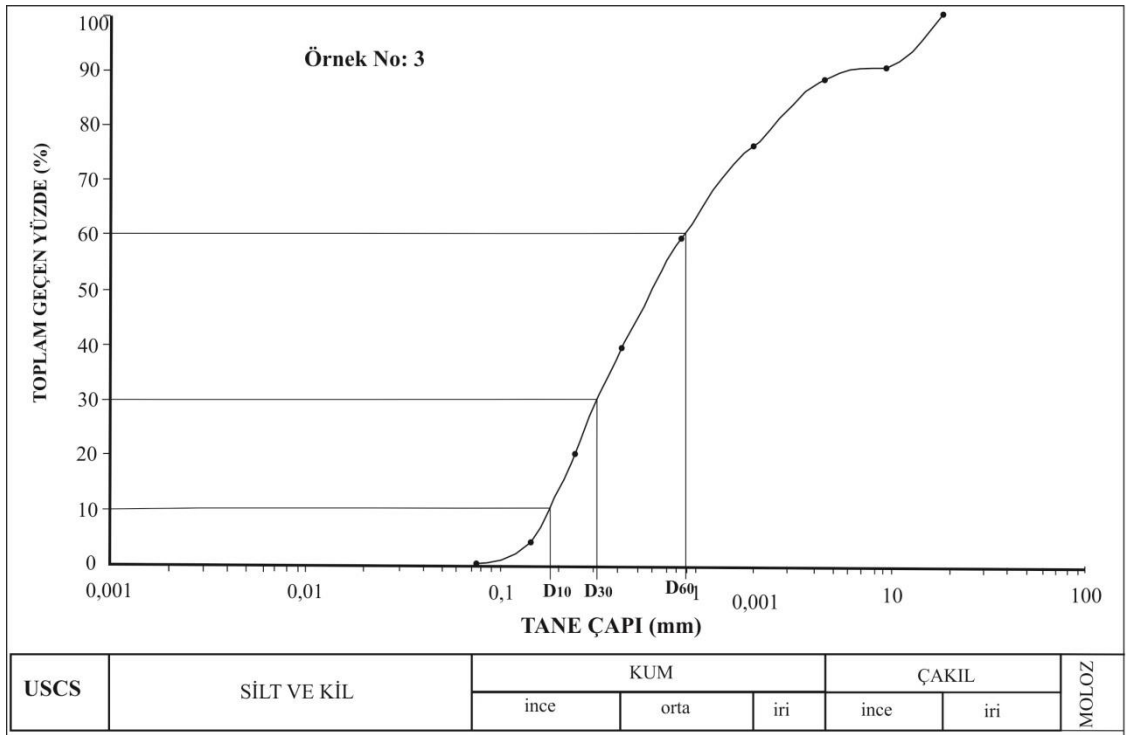
Elekten geçen malzeme yüzdesi düşey ekseninde, dane çapı yatay ekseninde gösterilmek üzere işaretlenmiştir. Granülometre eğrisi çizilmiş ve dane dağılımı belirlenmiştir. Zemin genelde iri malzemeli olduğu için ıslak analize gerek duyulmamıştır.



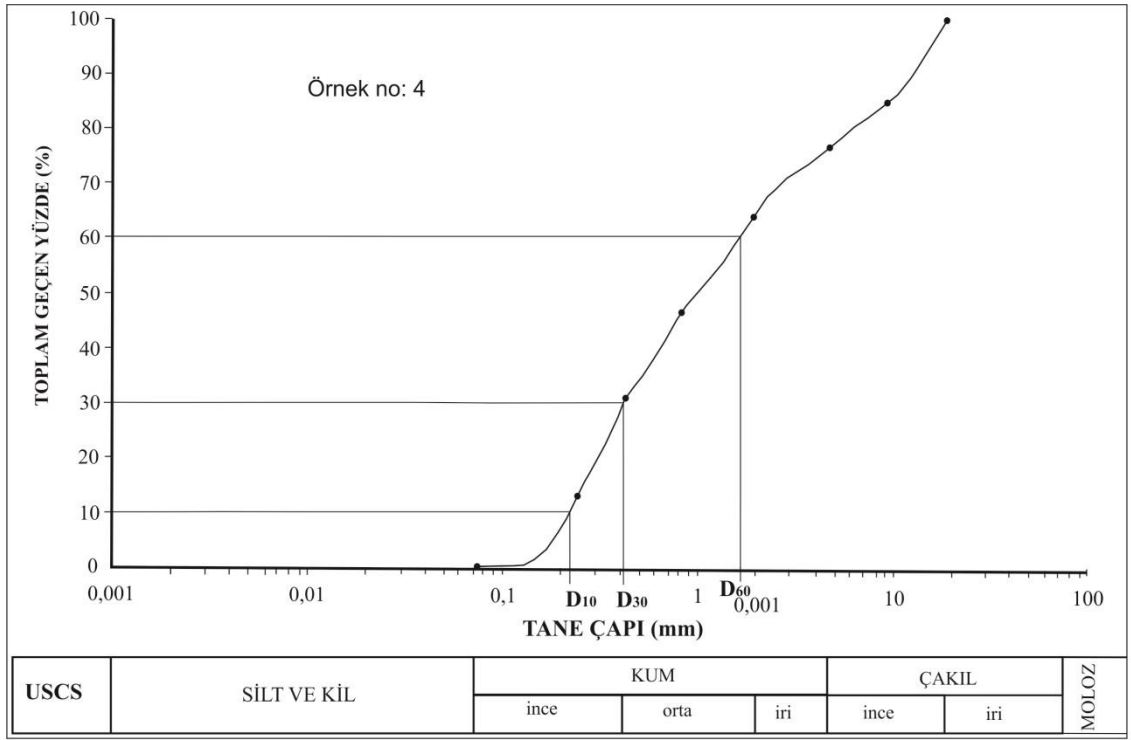
Şekil 3.16. Örnek 1'in dane dağılım eğrisi



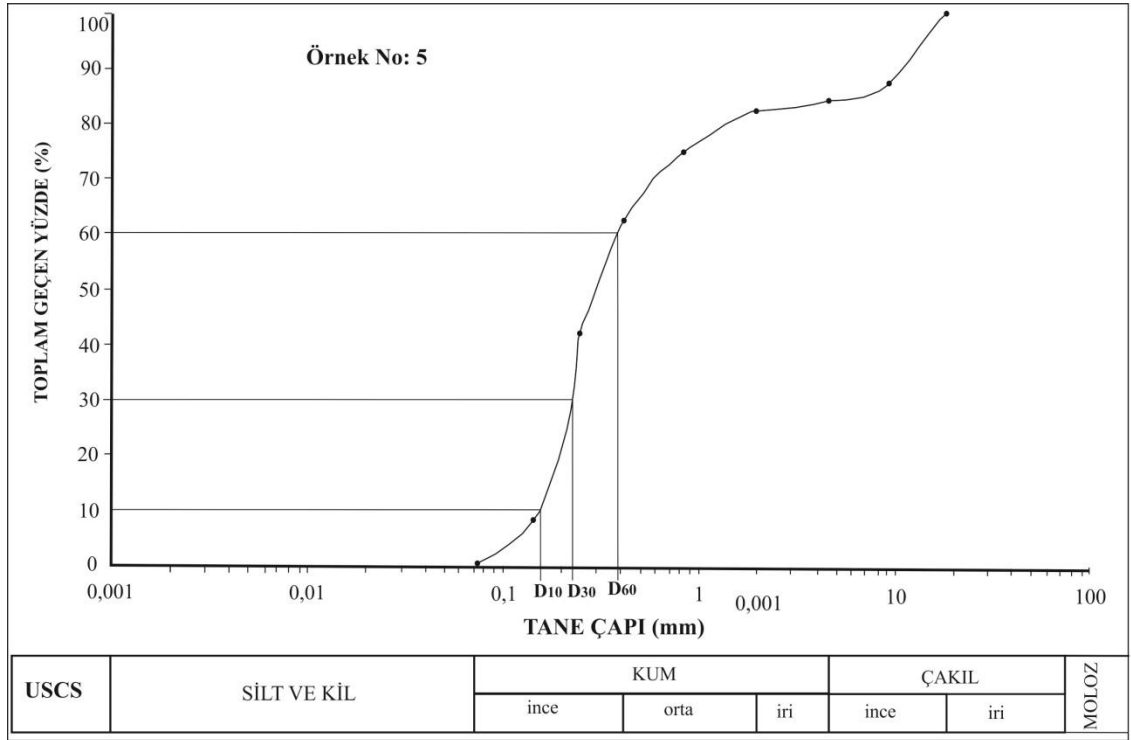
Şekil 3.17. Örnek 2'nin dane dağılım eğrisi



Şekil 3.18. Örnek 3'ün dane dağılım eğrisi



Şekil 3.19. Örnek 4'ün dane dağılım eğrisi



Şekil 3.20. Örnek 5'in dane dağılım eğrisi

Zeminin granülometre eğrisinden zemine ait bazı terimler tanımlanır. Cu, Cr, Pl, LL terimler zeminin sınıflandırılmasında kullanılır. Tane büyüklüğü dağılım eğrisinde , %10 geçen yüzdesine karşılık gelen değere, efektif çap denilir ve D_{10} ile gösterilir. % 30 geçen yüzdeye karşılık gelen çap (mm), D_{30} değeri ile gösterilir. %60 geçen yüzdeye karşılık gelen çap (mm), D_{60} ile gösterilir.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 \quad (3.2)$$

C_u = Üniformluluk sayısı

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}-D_{10}} \quad (3.3)$$

C_c = Derecelenme sayısı

$C_u > 4$] iyi

$C_c = 1-3$] derecelenmiş

Zeminlerin tanımlanmasında TS 1500 standartı kullanılmıştır. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre (USCS) sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflama yapılırken ilk olarak malzemenin %50'den fazlasının 200 nolu eleğin üstünde kalıp kalmadığına bakılarak, malzemenin iri veya ince olup olmadığı tespit edilir.

Daha sonra malzeme iri tarafta kalıyorsa, yani malzemenin %50'den azı 200 nolu elekten geçiyorsa, bu kez de %50'den azının 4 nolu elekten geçip geçmediğine bakılır. Eğer %50'den azı 4 nolu elekten geçiyorsa çakıl grubu üzerinden hesaplama yapılır. 200 nolu elekten gecen malzeme % 5-12 arasında ise C_u ve C_c değerleri üzerinden hesaplama yapılır. $C_u > 4$ ve $C_c = 1-3$ şartlarını sağlıyorsa GW (iyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımları) olur ve daha sonra da Plastik Limit verilerine göre tekrar tabloda yerine koyulur ve daha spesifik bir sonuç bulunur. % 12'den fazlası 200 nolu elekten geçiyorsa Plastik Limit değerlerine göre tabloda yerine koyulur. % 5'den azı 200 nolu elekten geçiyorsa C_u ve C_c değerlerinin şartları sağlayıp sağlamadığına bakılır.

% 50'sinden fazlası 200 nolu elekten geçiyorsa ince taneli zeminler sınıfına bakılır. Siltler ve killer grubu olarak tanımlanır. Burada da hesaplama yapılırken Likit Limit ve Plastik Limit değerleri kullanılarak malzemenin cinsi belirlenir.

Yapılan bu deneyde, 5 adet örneğin hesaplamaları yapılmış ve tüm örneklerin sınıflaması kötü derecelenmiş kum şeklinde çıkmıştır.

3.4.2.1.2. Özgöl ağırlık

Zemin mühendisliğinde özgöl ağırlık, tane birim hacim ağırlığının (γ_s), 20° sıcaklığındaki suyun birim hacim ağırlığına (γ_w) oranı olarak ifade edilmiştir. Özgöl ağırlık değeri, boşluk oranının hesaplanması için kullanılmıştır.

Bu deney yapılırken suyun birim hacim ağırlığı 1 olarak alınmıştır. Deney için piknometre denilen 100 ml hacmindeki yoğunluk şişeleri kullanılmıştır. Piknometrenin boyun kısmında numaralar bulunmaktadır. Öncelikle piknometrelerin ağırlıkları hassas terazide tartılmış ve deney formuna kaydedilmiştir. Özgöl ağırlık deneyi en az 3 kere tekrarlanmalıdır. Deney yapılacak örnekler 106°'de etüvde 1 gün boyunca kurutulmuştur. Gerekli görülürse kurutulan örnek, balyoz yardımıyla topaklanmış taneleri ayırmak için kullanılabilir.

Örnekten 20 gram alınarak piknometre içerisine cam huni yardımıyla konulmuştur. Piknometre üzerinde 20 ml, 40 ml, 60ml, 80 ml ve 100 ml'lik çizgiler bulunmaktadır. Öncelikle 20 ml çizgisine kadar saf su doldurulmuştur. Saf su kullanılmasındaki amaç, saf suyun içinde normal suya göre hava yoktur ya da çok azdır. Bu şekilde su ve malzeme hassas terazide tartılmış ve deney formuna kaydedilmiştir. Boşluk oranını azaltmak için piknometre hafifçe çalkalanmıştır. Bu aşama 40 ml, 60 ml, 80 ml ve 100 ml için aynı şekilde tekrarlanmış, tartılmış ve deney formuna kaydedilmiştir.

En sonunda, malzemenin içerisindeki boşluğu oranını en aza indirmek için desikatöre koyulmuştur. Yaklaşık yarım saat bekledikten sonra desikatörden çıkarılmış ve tekrar ağırlığı tartılmıştır. Bu deney aynı örnek için 3 kere tekrar edilmiştir.

Aynı zemin örneğine en az 3 kere tekrar edilerek yapılan özgöl ağırlık değerlerinin arasındaki fark % 2 veya % 3'ten fazla olmamalıdır. Özgöl ağırlık G_s ile gösterilir.

Özgöl ağırlık,

$$G_s = (B-A) / [(B-A) + (D-C)] \text{ bağıntısı ile bulunur.} \quad (3.4)$$

A: Piknometre kütlesi (gr)

B: Piknometre + Örnek (gr)

C: Piknometre + Su + Örnek (gr)

D: Piknometre + Su (gr)

Çizelge 3.3. Özgöl ağırlık deney sonuçları

Örnek No	Özgöl Ağırlık Değerleri
1	2.30
2	2.65
3	2.37
4	2.44
5	2.14



Şekil 3.21. A: Desikatör, B: Piknometre

3.4.2.1.3. Kıvam limitleri

Kıvam ile kohezyonlu zeminlerde, zeminin sertlik-yumuşaklık durumu belirtilir. Bu durumlar, böyle zeminlerin taşıma gücü vb. özelliklerini etkiler. Plastiklik veya plastisite, ince taneli zeminlerin bir özelliği olup, kırılmadan şekil verilebilmeyi ifade eder. Bu özellik iri taneli ve taneleri arasında yapışma- çekme kuvvetleri olmayan zeminlerde görülmez (Uzuner, 2005)

İsveçli Atterberg (1911), tarafından tanımlanmıştır. Kıvam limitlerine Atterberg limitleri de denilebilir. Kıvam limitleri şunlardır: Likit limit, Plastik limit, Rötire limiti. Bu çalışmada Likit ve Plastik limit deneyleri yapılmıştır.

3.4.2.1.3.1. Likit limit

Bu deney, Casagrande cihazı kullanılarak zeminlerin likit limitinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Yaklaşık 150-200 gr yaş örnek alınarak 106°'de etüvde 1 gün boyunca kurutulmuştur. Kurutulan örnekten iri parçalar tokmak yardımıyla ayrılmıştır. 40 nolu elekten elenerek, eleğin altında kalan malzemeden 100 gr civarı bir kaba koyulmuştur. Malzemenin içerisine bir miktar su ilave edilerek karıştırılmıştır. Burada önemli olan suyu fazla yada az katmamaktır. Su tam kıvamında katıldığı sürece deney daha rahat yapılacaktır.

Hazırlanan malzeme bir miktar alınarak Casagrande kabına, kenarlardan ortaya doğru gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Zemin örneği Casagrande kabına yerleştirilirken homojen bir şekilde içerisinde hava boşluğu kalmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra oluk açma bıçağı ile malzemenin ortasından oluk açılmış ve iki parçaya bölünmüştür. Casagrande kolu 2 saniyelik periyotlarla çevrilmiş, 1 cm'lik kapanma olunca, kapanan yerden 10 gr'lık malzeme numaralı kaba konulmuştur. Her zemin örneği için 4 farklı vuruş sayısı bulunmuştur. Vuruş sayıları 10 ile 30 vuruş arasında bulunmalıdır. 10 gr'lık örnekler daha sonra etüve alınarak kurutulmuş ve hassas terazide tartılarak deney formuna not edilmiştir. Bu kurutulan numunelerden su muhtevaları w (%) hesaplanmıştır. Likit limit çizelgesinden yataya vuruş sayısı, düşey bölgeye su muhtevası değerleri yazılarak 25. vuruş sayısı karşılaştırılarak, likit limit değeri bulunmuştur.

$$w (\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \times 100 \quad (3.5)$$

m_1 : Kap ağırlığı (gr)

m_2 : Kap + yaş örnek ağırlığı (gr)

m_3 : Kap + kuru örnek ağırlığı (gr)

Çizelge 3.4. Likit limit ve su muhtevası deney sonuçları

Örnek No	Su Muhtevası (%)	Likit Limit (%)
1	38.85	53
2	38.57	51
3	65.53	60
4	40.12	48
5	59.02	60

3.4.2.1.3.2. Plastik limit

Deneyin amacı, zeminin plastik kıvamda olduğu durumdaki en düşük su içeriğini belirlemektir. Likit limit için yapılan zemin örneğinden 20 - 30 gr kadar alınmıştır. Malzeme azar azar su verilerek kıvama getirilmiştir. Düz bir cam üzerinde yaklaşık 3 mm inceliğe ulaşıncaya kadar silindir şeklinde yuvarlanmıştır. Üzerinde çatlaklar oluşmaya başladığındaki su içeriği, zeminin plastik limiti olarak değerlendirilmiştir. Çatlamalar olduğu anda numaralı kaplara alınarak hassas terazide tartılmıştır ve deney formuna kaydedilmiştir. Bu 3 mm'lik silindirlerden yaklaşık 10'ar gram yapılmıştır. Her bir örnek için 3 kere tekrar edilmiştir.

Daha sonra kaplar kurutulmak üzere 1 gün boyunca etüve konulmuştur. Örneğin kuru ve yaş ağırlıkları tartılarak deney formuna yazılmış ve su muhtevaları bulunmuştur.



Şekil 3.22. Plastik limit deneyi için hazırlanan malzemeler

$$w (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100 \quad (3.6)$$

m_1 : Kap ağırlığı (gr)

m_2 : Kap + yaş zemin ağırlığı (gr)

m_3 : Kap + kuru zemin ağırlığı (gr)

$m_2 - m_3$: Su ağırlığı

$m_3 - m_1$: Kuru zemin ağırlığı (gr)

Çizelge 3.5. Plastik limit ve su muhtevası deney sonuçları

Örnek No	Su Muhtevası (%)	Likit Limit (%)
1	41.98	42
2	39.64	40
3	47.96	48
4	38.11	38
5	47.05	47

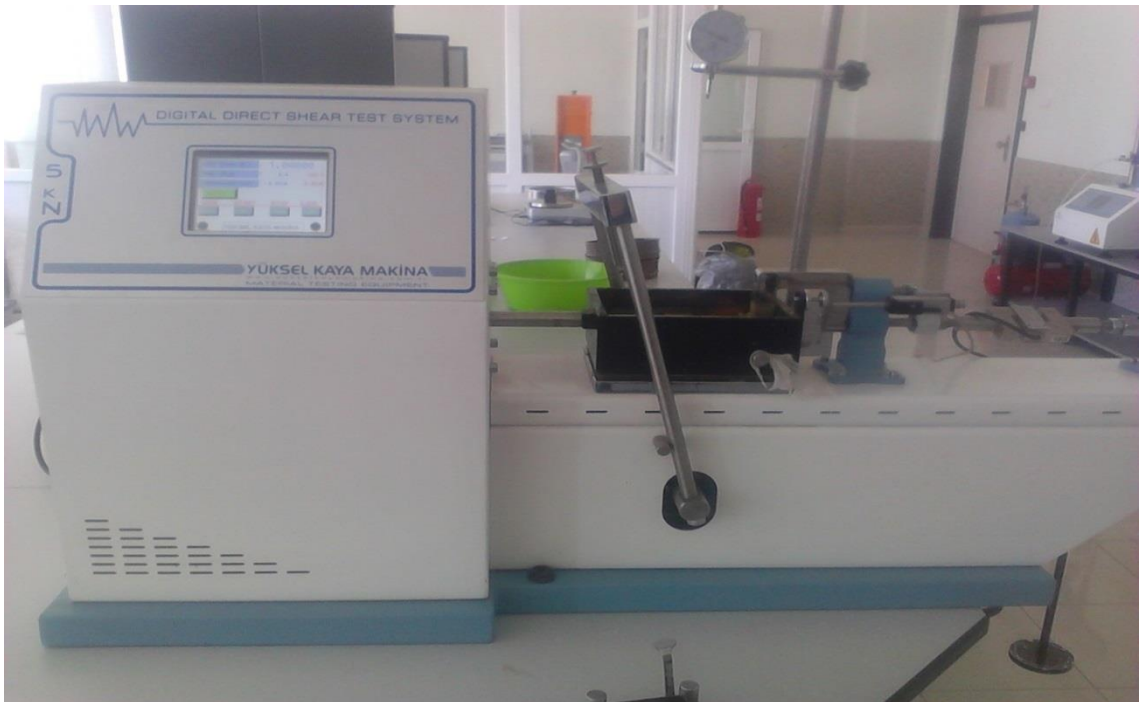
3.4.2.1.4. Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyi için heyelan noktalarından alınan örselenmemiş numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler arazide çelik tüpler yardımıyla alınmıştır. Çelik tüplerin yüksekliği 20 cm, çapı 11,5 cm'dir (Şekil 3.14.). Çelik tüplerin altı ve üstü parafinle kaplanmıştır. Daha sonra laboratuvar ortamında bu numuneler kullanılmak üzere hazırlanmıştır.



Şekil 3.23. Arazide çelik tüpler yardımıyla alınan örselenmemiş numune

6x6 cm'lik kare prizma ile tüplerin içerisinden örselenmemiş örnek alınmıştır. Daha sonra kare prizma ve örnek tartılmıştır. Bu zemin örneği, deney aletindeki dikdörtgen kutunun içerisine yerleştirilir.



Şekil 3.24. Kesme kutusu deney aleti

Bu deneyde her bir numune için 3 tekrar yapılmıştır. Bu 3 tekrar için 2, 4, 6 kg'lık yükler kullanılmıştır. Kesme hızı 0,05 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Daha sonra başlaya basılarak deney başlatılmıştır. Deney formunda düşey harekete saat okuması, yük okumasına da deney ekranındaki yük miktarı her artış için not edilmiştir. Deney aletindeki ekranda yük okuması düşmeye başladığında zemin örneği kesilmiş demektir. Tüm değerler deney formuna not edildikten sonra, zemin numunesi kutudan çıkarılmıştır. Kare prizmadan örnek dikkatlice çıkarılmış ve tekrar tartılıp etüve konulmuştur.

Bu düzenekte, uygulanan kesme kuvveti altında, kutunun bir parçası sabit tutulurken diğer parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket etmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmıştır. Zemin, önceden belirlenmiş yatay bir düzlem boyunca kırılmaya zorlanmaktadır.



Şekil 3.25. A: Numunenin yerleştirildiği kutu, B: Numunenin koyulduğu aletler ve kare prizma, C: Ağırlık kolu, D: Çelik tüpler



Şekil 3.26. Deney sonrası kesilen zemin örneklerinin görüntüsü

Belirli bir normal gerilme altında, uygulanan kesme kuvveti ile yatay yer değiştirmeler ölçülmekte ve deneysel eğriler elde edilmektedir. Bu deney sonucunda τ ve σ değerleri hesaplanıp, düşey harekete τ ve yatay harekete σ gelecek şekilde grafiğe işlenmiştir.

$$\tau = \frac{T_{max}}{A} \quad (3.7)$$

τ : Kayma mukavemeti

T_{max} : Maksimum yük değeri

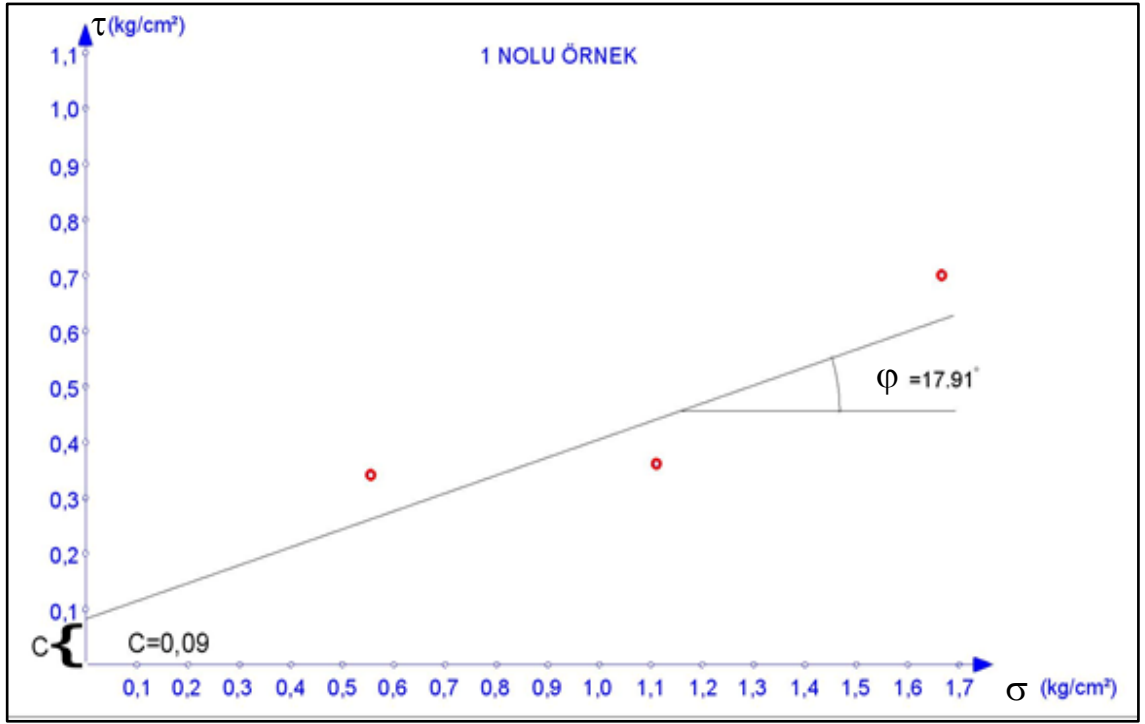
A : Kare prizmanın alanı

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.8)$$

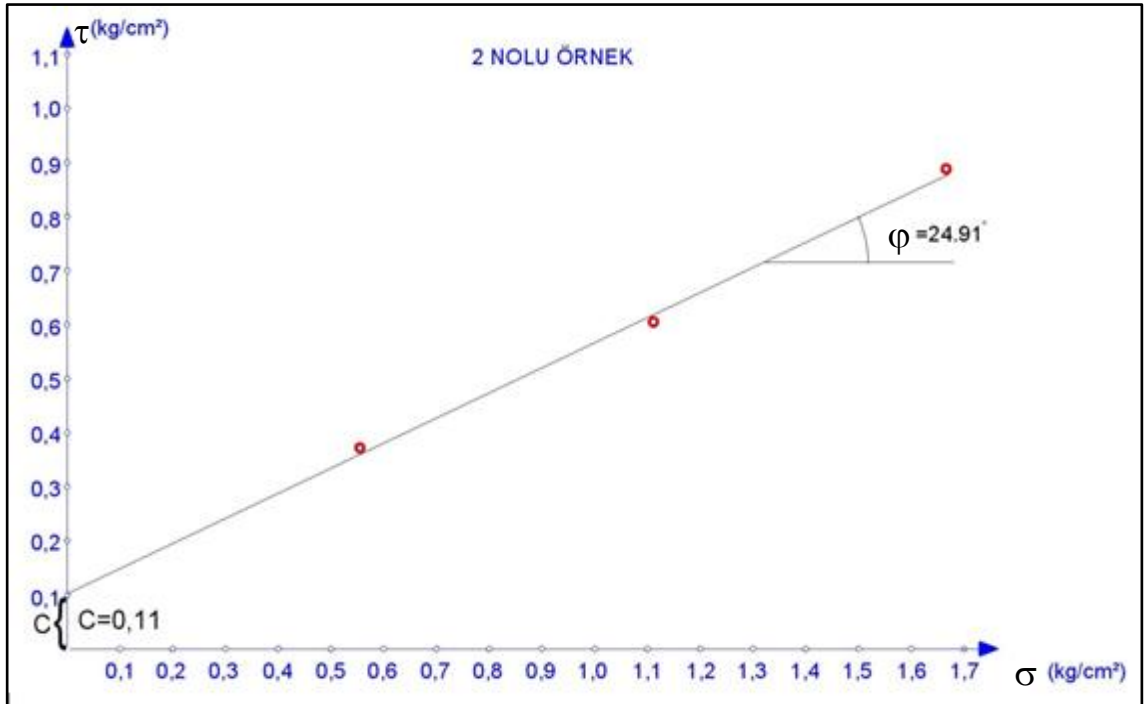
σ : Normal gerilme

P : Deneyde kullanılan yük miktarı

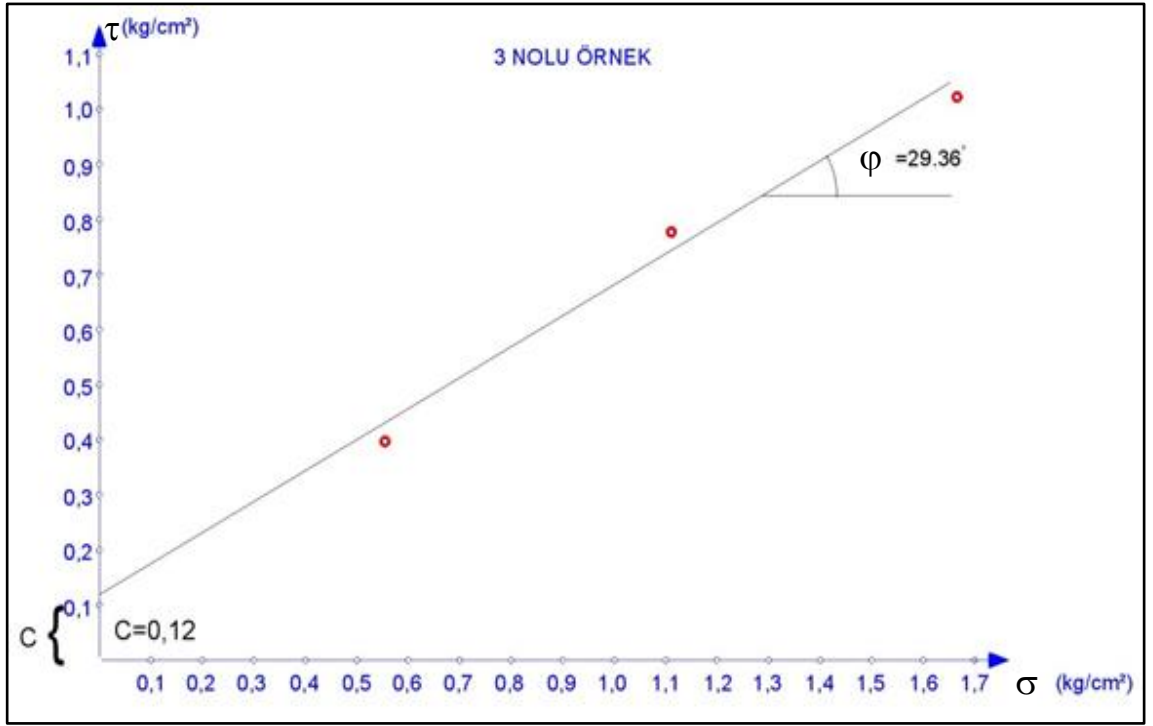
A : Kare prizmanın alanı



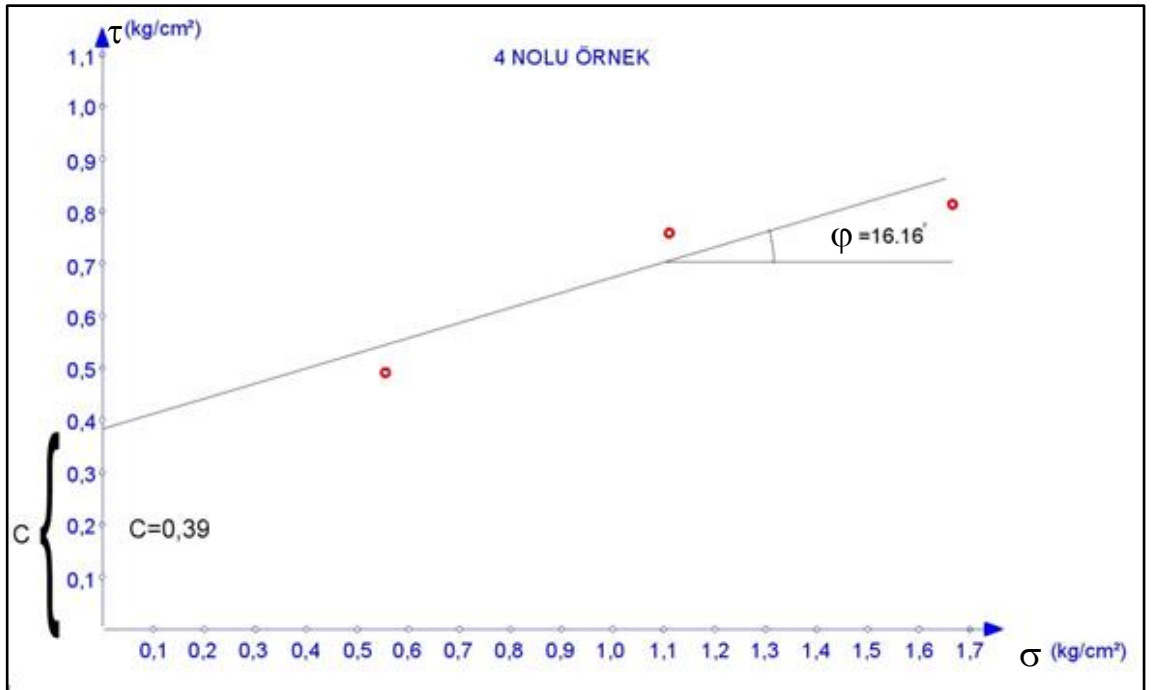
Şekil 3.27. 1 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı



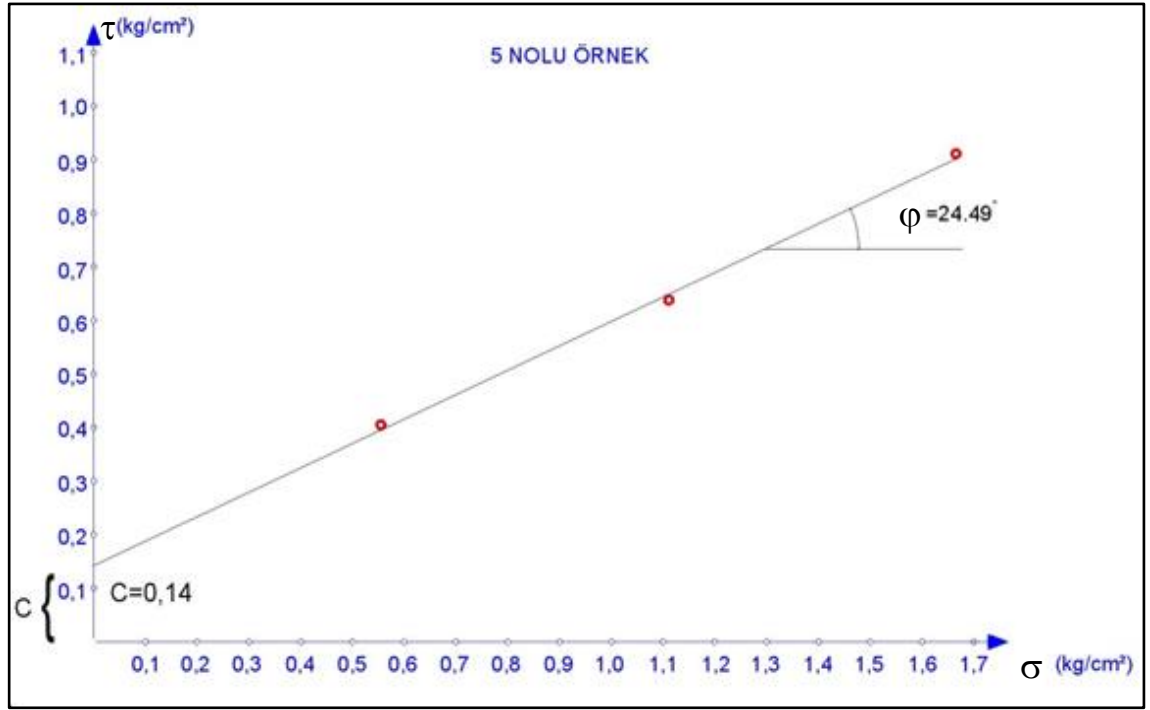
Şekil 3.28. 2 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı



Şekil 3.29. 3 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı



Şekil 3.30. 4 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı



Şekil 3.31. 5 nolu örneğin kohezyon ve içsel sürtünme açısı hesabı

3.5. Gündoğdu Beldesindeki Yamacın Duraylılığı

Gündoğdu beldesinde, yamaçtaki 5 heyelanı oluşturan malzemenin jeoteknik özellikleri laboratuvar çalışmaları ile belirlenmiş, elde edilen sonuçlar önceki bölümde verilmiştir. Bu bölümde, yamacın çeşitli yöntemlerle stabilite analizi yapılacaktır.

Duraylılık analizleri genelde iki yöntemle yapılmaktadır:

- 1) Limit gerilme yöntemi
- 2) Limit denge yöntemi

3.5.1. Limit gerilme yöntemi

Deformasyon analizi diye bilinen bu yöntemde, öncelikle sistemin belirlenmesi, uygulanan gerilmelerin saptanması ve malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Bu özellikler belirlendikten sonra gerilmelerin nerelerde yoğunlaştığı ve bunun sonucunda kayma direncinin aşıldığı noktalar belirlenerek stabilite durumları incelenir. Bu yöntemin uygulanması ortam özelliklerinin her noktada ve doğru olarak belirlenememesi gibi nedenlerden ötürü sınırlıdır. Son yıllarda geliştirilen sonlu elemanlar yöntemi ile şevdeki gerilme-deformasyon özelliklerini bulmak kolaylaşmıştır. Ancak, bu işlemler esnasında yapılan gözlemler çok büyük önem arz etmektedir. Çünkü elde edilen verilerdeki hata direkt sonuca etki etmektedir.

Eğer laboratuvarda yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarda tereddüde düşülüyorsa bu yöntemin kullanılması doğru olmayacaktır (Yalçın, 2000).

Ortam özelliklerini tanımlamada karşılaşılan güçlükler şunlardır;

- Temel malzemesinde, gerilme-deformasyon modelinin saptanamaması, başka bir deyimle rijitliğin verilememesi
- Malzeme özelliklerinde yersel, yönsel değişimin olasılığının varlığı
- Üniorm olmayan boşluk ve çatlak suyu basınçlarının varlığı
- Özellikle kayaçta yönü ve şiddeti belli olmayan doğal gerilmelerin varlığıdır.

Bu güçlüklerden dolayı limit gerilme analizinin şev stabilitesi incelemesindeki kullanımı kısıtlıdır (Yalçın, 2000).

3.5.2. Limit denge yöntemi

Limit denge metotlarının esası, kayma olasılığı olan bir yüzey varsaymak ve bu yüzey boyunca kaymaya yol açacak gerilmeleri bulmaktır. Bunun için bu yöntemlerle kayma yüzeyinin yeri ve şekli önceden kabul edilir ve sonra kayma bölgesindeki kütlelerin dengesi elde edilen verilerle hesaplanır. Denge halinde bulunan veya belirlenen bir yamacın stabilitesi hesaplanmak isteniyorsa, belirlenen birçok deneme kayma yüzeyi için güvenlik sayıları hesaplanır ve elde edilen güvenlik sayıları içerisinde en düşük olanı kritik değer kabul edilir (Yalçın, 2000).

Zeminlerin kesme direnci, normal olarak Mohr-Coulomb kırılma kriterine göre verilmektedir.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.9)$$

$$\tau = c_u \quad (\text{toplam gerilme analizi için}) \quad (3.10)$$

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (\text{efektif gerilme analizi için}) \quad (3.11)$$

Duraylı bir kütlelerin analizinde, malzemenin harekete geçmesinden sonra sahip olacağı uyanmış (mobilized) kesme direnci kaymadan önceki kesme direncinden daha küçüktür. Bunu ifade için G_s diye tanımlanan güvenlik sayısı,

$$G_s = \frac{\text{Harekete karşı koyan mevcut kayma direnci}}{\text{Stabilite için gerekli kesme direnci}} \text{ 'dir. En genel hali ile bir}$$

yamacın duraylılığı için yamaçta;

$G_s < 1$ duraysız

$G_s = 1$ limit denge

$G_s > 1$ duraylı olduğu söylenebilir.

Verilen bu sınır değerler en genel hal olup yapılan hesaplamalarda TS 8853'de önerilen güvenlik sayıları (Çizelge 3.6.) sınır değer olarak alınmıştır (Yalçın, 2000).

Çizelge 3.6. Yapı özelliğine göre güvenlik sayı değerleri (TS 8853)

Yapı Özelliği	Güvenlik Sayısı Değerleri	
	Toplam Gerilmelere Göre	Efektif Gerilmelere Göre
Dolgu yapımından sonra oluşan yapıda	1.50	---
Yarmalarda	1.50	1.25
Barajda sızıntı	1.50	1.25
Barajda ani su düşmesi	1.50	1.10
En fazla direnç (peak) değerlerine göre	1.50	1.35
Kalıcı (rezidüel) direnç değerine göre	---	1.20
Uzun vadede duraylılık	---	1.20
Yamaçta yapı olması hali	1.80	1.50
Fissürlü killler	---	1.50

Limit denge yönteminde hesaplamalar toplam ya da efektif gerilmelere göre hesaplanır. Bu duraylılığın kısa yada uzun süreç için belirlenmesinde gereklidir. Doğal yamaçlarda hareketler, genelde yamacın etkisi altında bulundukları gerilmelerin yer ve şiddetindeki değişimler sonucu oluşmaktadır (Yalçın, 2000).

Yamaç ve şevlerin duraylılık analizlerinde dışarıdan yapılan müdahaleler sonucunda (ek yüklemeler, kazılar) boşluk suyu basınçlarında değişimler olacaktır. Kısa süre içerisindeki duraylılık analizlerinde boşluk suyu basınçları hesaba katıldığından analizlerde toplam gerilmelere göre bulunan ϕ ve c parametrelerinin kullanılması uygundur. Oysa uzun süreli duraylılık analizlerinde, boşluk suyu basıncı etkili olmayacağından efektif gerilmelere göre belirlenecek ϕ' ve c' parametreleri ile yapılması gerekir (Yalçın, 2000).

Doğal yamaçlarda kaymalar genellikle kütle üzerine gelen yüklerdeki küçük değişiklikler sonucunda gerçekleşmektedir. Bu tip problemlerde duraylılığın uzun vadede incelenmesi gerekir. Örneğin yoğun yağışların izlendiği bir mevsim sonunda yeraltı suyu seviyesindeki yükselme kütle içindeki efektif gerilmelerin, buna bağlı olarak da potansiyel kayma yüzeyindeki kayma direncinin düşmesine sebep olmaktadır. Bunun yanında yamaç topuğundaki aşınmalar kütle içindeki kayma gerilmesinin artmasına, direncin azalmasına yol açar. Bu tür problemlerde efektif gerilme analizi en uygun sonucu vermektedir.

Ancak gevşek kumlar veya çabuk kil olarak nitelenen zeminler çok küçük deformasyonlar boşluk suyu basınçlarında önemli artışlara sebep olacağından bu malzemedeki kayma parametreleri ve boşluk suyu basınçlarının belirlenmesinde büyük itina gösterilmelidir. Bu tür yamaçlarda gerilme analizlerinin dikkate alınması gerekir (Ataoğlu, 1993).

Bu çalışmada yapılan stabilite hesaplarında efektif gerilmelere göre bulunan ϕ' ve c' parametreleri kullanılmıştır.

Bir şev parçası için analiz metodu seçileceği zaman muhtemel kayma yüzeyi şeklinin belirlenmesi çok önemlidir. Böylece dairesel yada dairesel olmayan analiz metodunun hangisinin daha uygun olacağı belirlenir (Yalçın, 2000).

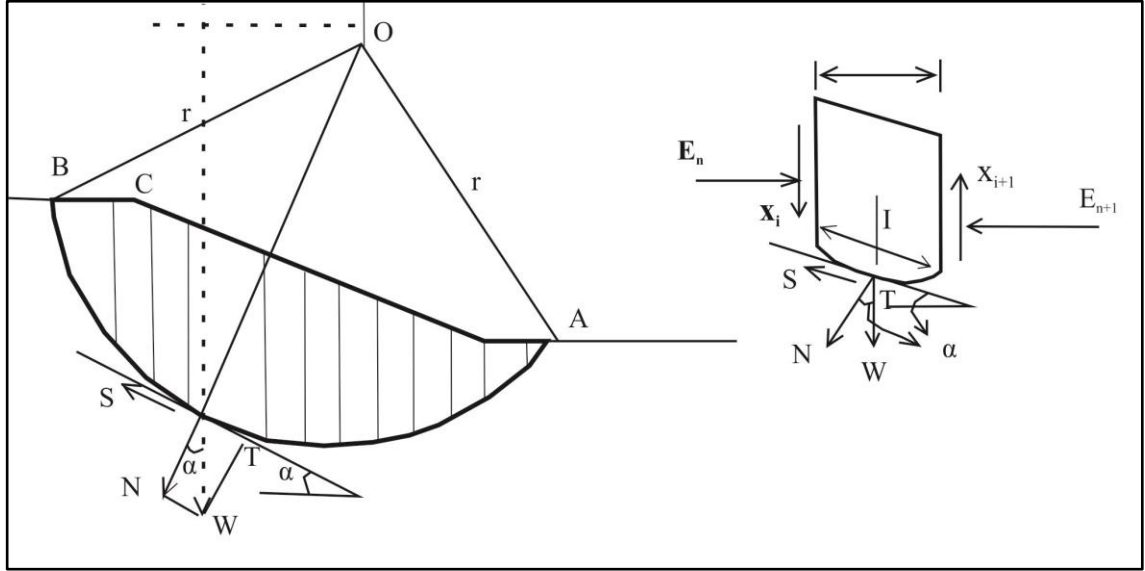
Çizelge 3.7'da limit denge analiz metotları kayma yüzeyi şekline göre sınıflandırılmıştır. Bunların tamamı iki boyutlu ve sonsuz genişlikte bir yüzey olarak kabul edilir. Tablodaki E ve X dilimler arası kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenleridir.

Çizelge 3.7. Limit denge analiz metotları (Nash, 1987)

Metot	Dairesel	Dairesel olmayan	Toplam moment denge	Toplam kuvvet denge	Dilimler arası kuvvetler için yapılan varsayım
Sonsuz şev		*		*	Şeve paralel
Karma analizi		*		*	Eğimler tanımlanır
$\Phi = 0$	*		*		
Fellenius	*		*		Bileşkesi dilim tabanına paralel
Bishop	*	(*)	*		Yatay
Janbu (basit.)	(*)	*		*	Yatay
Lowe ve Karafiath	*	(*)		*	Eğimler tanımlanır
Spencer	*	(*)			Eğimler sabit alınır
Morgenstern ve Price	*	*	*	*	$X/E = \lambda \cdot f(x)$
Janbu (karmaşık)	*	*	*	*	İtki çizgisi tanımlanır
Frelund ve Krahn GLE	*	*	*	*	$X/E = \lambda \cdot f(x)$

Çizelge 3.7’da da görüldüğü gibi Nash (1987) limit denge analiz yöntemlerini dairesel ve dairesel olmayan şeklinde ikiye ayırmıştır (Anderson and Richards, 1987).

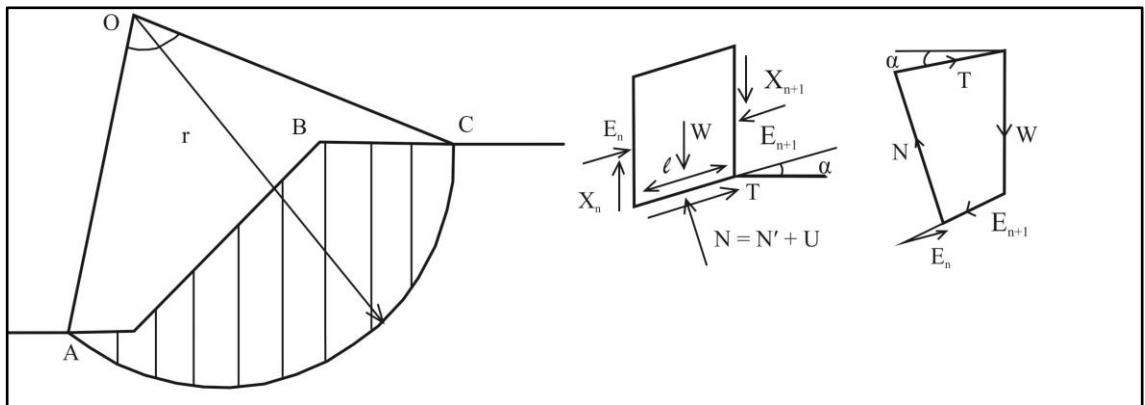
Dilim yöntemi, kütleyi daha ince dilimlere ayırarak kütle özelliklerini daha belirginleştirir ve gerçeğe daha yakın sonuçlar verir dolayısıyla bu yöntem günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.32. Dilim yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler (Yalçın, 2000)

3.5.2.1. Fellenius (İsveç Dilim) yöntemi

Fellenius yöntemi 1927 yılında W. Fellenius adındaki bilim adamı tarafından ileri sürülmüştür. Zemin kütlelerinden kayma yüzeyleri geçirilir ve kütleler eşit aralıklı düşey dilimlere ayrılır. Her dilim kendi ağırlığı (W) altında, dilimler arası sınırdaki ve sınır kenarındaki X ve E kuvvetlerinin etkisi altında hareket eder.



Şekil 3.33. Fellenius yönteminde tipik bir dilime etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu

Dilim tabanının eğimi α ve boyu ℓ 'ye göre hareket eden kuvvetler kesme direnci T ve normal kuvvet N 'dir. Daha kesin bir çözüm içeren zemin kütleleri için şu koşullar sağlanmalıdır;

- Her dilimdeki kuvvetler denge durumunda olmalıdır.
- Kayan kütlenin tamamı denge durumunda olmalıdır.

Şev malzemesinin basınç-gerilme ve deformasyon özelliklerine bağlı olan X ve E kuvvetlerini belirlemek zordur. Dilimler arası X ve E kuvvetlerinin aynı doğrultuda fakat zıt yönde ve birbirine eşit oldukları kabul edilir dolayısıyla bu kuvvetler hesaba katılmaz. Basit bir yaklaşımla her dilimin tabanındaki toplam normal gerilme bir dilimin tabanındaki düşey ve teğetsel bütün kuvvetlerin çözümü ile elde edilir (Yalçın, 2000).

Bu yöntemle, güvenlik sayısı en düşük değerde çıkmaktadır, buna bağlı olarak bulunan bu değer güvenilirlik açısından en çok tercih edilen yöntemdir. Herhangi bir i dilimi ele alındığında bunun ağırlığı W_i , dilim tabanında normal ve teğetsel doğrultuda olmak üzere iki bileşene ayrılır. α_i dilim yay ortasının yatayla yapmış olduğu açıyı göstermek üzere ağırlığın normal ve teğetsel bileşenleri;

$$N_i = W_i \cos \alpha_i \quad (3.12)$$

$$T_i = W_i \sin \alpha_i \quad (3.13)$$

olarak her dilim için ayrı ayrı hesaplanır. ABCA zemin kütlesi, W ağırlığı ile kaymaya neden olduğundan, kaydırıcı moment;

$$M_o = \sum_1^i r. W \sin \alpha_i \quad (3.14)$$

dir. Dilimin kaymasına karşı koyan kuvvet, zeminin kayma direncinden meydana gelip;

$$T_f = \Delta L \tau_f = \Delta L (c + \sigma \tan \phi) \quad (3.15)$$

$$T_f = \Delta L \left(c + \frac{N}{\Delta L} \tan \phi \right) \quad (3.16)$$

$$T_f = \Delta L c + N \tan \phi \quad (3.17)$$

dir.

Böylece kaymayı önleyici moment ise;

$$M_o = \sum_1^i (rc\Delta L) + \sum_1^i (rW \cos(\alpha_i) \tan \phi) \quad (3.18)$$

olarak bulunur.

Buradan kaymayı önleyici momentin kaydırıcı momente oranı olan güvenlik sayısı ise;

$$G_s = \frac{c.L + \tan \phi \sum (W \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha} \quad (3.19)$$

şeklinde bulunur.

Bu yöntem uygulanırken ortamda yeraltı suyu var ise bu durumda efektif gerilmeler ve boşluk suyu basınçları hesaba katılır ve aşağıdaki güvenlik sayısı formülü yazılabilir.

$$G_s = \frac{c'.L + \tan \phi' \sum (W \cos \alpha - ul)}{\sum W \sin \alpha} \quad (3.20)$$

İsveç dilim yöntemi genel bir yöntem olduğu için birçok şev stabilite analizinde kullanılmaktadır. Bu metotla bulunan güvenlik sayısı diğer metotlara nazaran daha küçük çıkmaktadır. α açısının büyük değişiklik gösterdiği derin kritik dairesel kayma yüzeylerinde ve boşluk suyu basıncının arttığı yerlerde bulunan güvenlik sayısındaki hata miktarı artmaktadır. Bu nedenle bu yöntem ϕ açısının değişiklik gösterdiği şevlerde ve kuru şevlerde diğer metotların kontrolünde kullanılmaktadır (Chowdhury, 1978).

İsveç dilim yönteminde stabilite hesabı için kullanılan cetvel aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. İsveç dilim yöntemi stabilite hesap cetveli

Dili m	b (m)	$h_1(m)$	$h_2(m)$	α	W	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	$W \cos \alpha$	$W \sin \alpha$	$\ell = b / \cos \alpha$	$c' \cdot \ell$	u	$u' \cdot \ell$
1													
2													

3.5.2.2. Basitleştirilmiş bishop yöntemi

Dairesel kayma yüzeyinin dengesini inceleyen Bishop yöntemi ilk kez genel şekilli yüzey için geliştirilmiştir. Sonradan dairesele yüzeyler için de uygulanmış ve önemli bir hata doğurmamış ayrıca hesaplamalarda da kolaylık sağladığı için dairesele yüzeyler için de kullanıla gelmiştir (Yalçın, 2000).

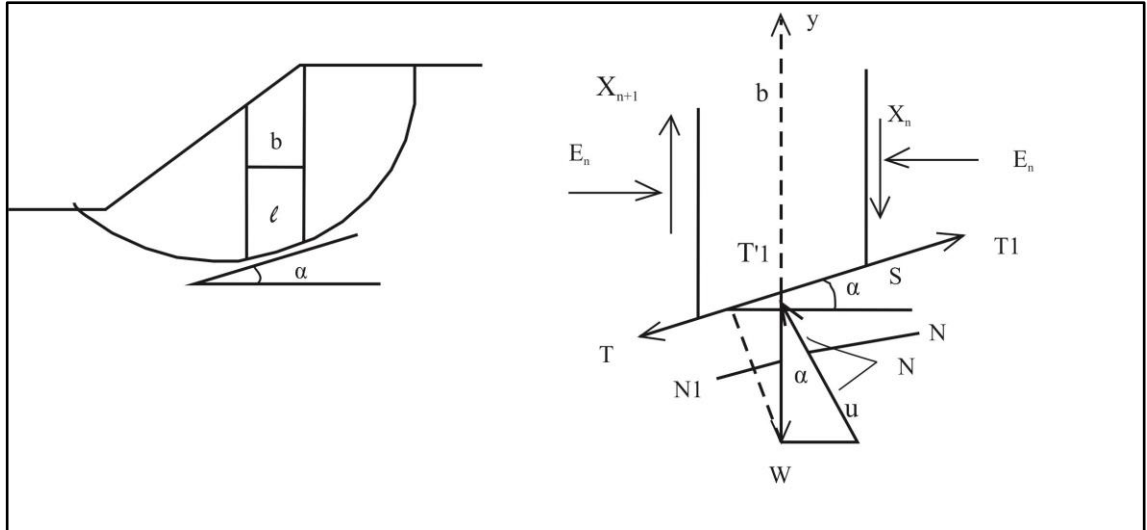
Bishop (1995) tarafından geliştirilen yöntem, dairesele bir kaymada;

- Dilimler arası normal kuvveti (E) hesaba dahil eder.
- Dilimler arası kayma kuvveti (X) ihmal eder. Bishop, X dilim kesme kuvvetlerinin dikkate alınması durumunda hesabın daha karmaşık olacağını savunmuştur.
- Moment dengesini gözetenek hesap yapar.

X dilim kesme kuvvetlerinin ihmal edilmesi halinde hata oranı %1 gibi bir değere karşılık gelir. Bundan dolayı dilimler arası kuvvetlerin bileşkesinin yatay olduğu kabul edilerek bu yöntem geliştirilmiştir.

Bu yöntemde kayma yüzeyi bir daire yayı varsayılmış ve güvenlik sayısı; zeminin gerçek kayma mukavemetinin uyanmış (mobilized) kayma mukavemetine oranı olarak ifade edilir (Yalçın, 2000).

$$G_s = \frac{T_1}{T} \quad (3.21)$$



Şekil 3.34. Bishop yöntemine göre bir dilime etkiyen kuvvetler

Şekil 3.34'ten

$$S = \frac{T_1}{1} \Rightarrow T_1 = S \cdot \ell = \ell (c' + \sigma' \tan \phi') = \ell \left(c' + \frac{N}{l} \tan \phi' \right) = c' \cdot \ell + N \cdot \tan \phi' \quad (3.22)$$

$$G_s = \frac{T_1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{G_s} c' \cdot \ell + N' \tan \phi' \quad (3.23)$$

$$N_1 = N \cdot \cos \alpha \quad (3.24)$$

$$T_1' = T_1 \cdot \sin \alpha \quad (3.25)$$

$$N = N' + \ell \cdot u \quad (3.26)$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow W + x_n - N_1 - T_1' - x_{n+1} \quad (3.27)$$

$$W = N_1 + T_1' \quad (3.28)$$

$$W = N \cdot \cos \alpha + T_1 \sin \alpha \quad (3.29)$$

$$W = \cos \alpha (N' + \ell \cdot u) + \frac{1}{G_s} (c' \ell + N' \tan \phi') \sin \alpha \quad (3.30)$$

$$N' = \frac{W - u \cdot \ell \cdot \cos \alpha - \frac{c' \cdot \ell}{G_s} \sin \alpha}{\cos \alpha + \frac{1}{G_s} \tan \phi' \cdot \sin \alpha} \quad (3.31)$$

$$G_s = \frac{c' \cdot \ell + N' \tan \phi'}{W \cdot \sin \alpha} \quad (3.32)$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{l} \Rightarrow l = \frac{b}{\cos \alpha} \Rightarrow l = b \cdot \sec \alpha \quad (3.33)$$

$$G_s = \frac{\frac{\sec \alpha \{c' b + W \cdot \tan \phi' (W - u \cdot b)\}}{1 + \frac{1}{G_s} \tan \phi' \cdot \tan \alpha}}{W \cdot \sin \alpha} \quad (3.34)$$

Bir dilime ait Bishop güvenlik sayısı bu şekilde bulunur.

Tüm dilimlerin toplamına göre ise güvenlik sayısı ise;

$$G_s = \frac{\sum \left(\frac{\sec \alpha (c' \cdot b + \tan \phi' (W - u \cdot b))}{1 + \frac{1}{G_s} \tan \phi' \cdot \tan \alpha} \right)}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.35)$$

r_u boşluk suyu basıncını $r_u = \frac{u \cdot b}{W}$ şeklinde yazarsak,

$$G_s = \frac{\sum \left(\sec \alpha (c' \cdot b + \tan \phi' (1 - r_u) \cdot W) \right)}{\sum W \cdot \sin \alpha} \text{ olur.} \quad (3.36)$$

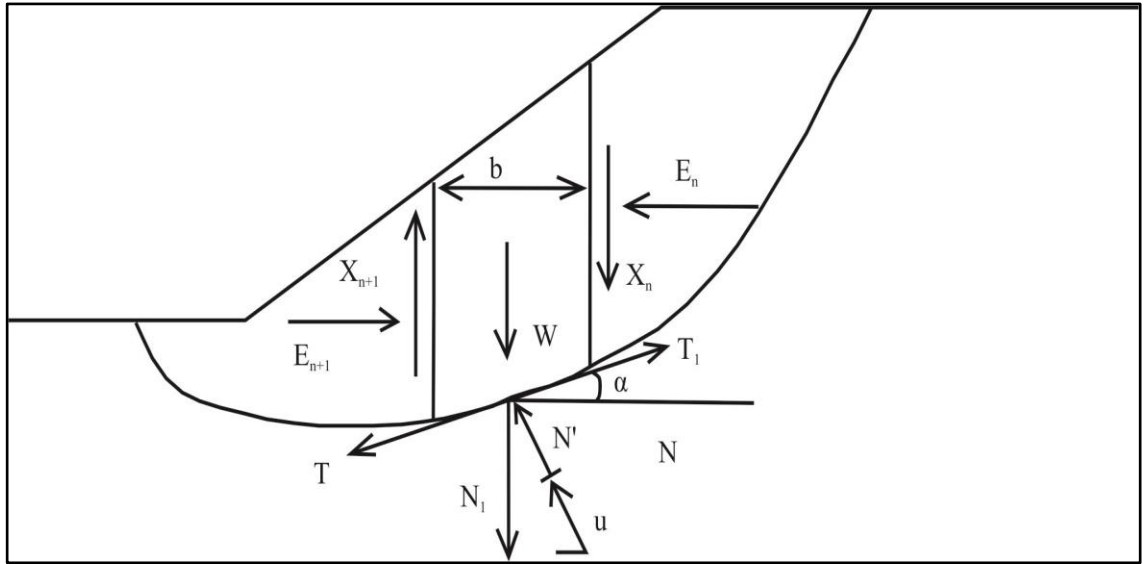
Çizelge 3.9. Bishop yöntemi stabilite hesap tablosu

Dilim No	h(m)	b(m)	W	α	$\sin\alpha$	$W\sin\alpha$	$c'.b$	$\sec\alpha$	$\tan\alpha$	$W.(1-r_u) \tan\phi'$	$c'.b'+W.(1-r_u)\tan\phi'$	$\frac{\sec\alpha}{1+\frac{\tan\phi'}{Gs}}$	
												Gs=1.5 için	Bulunacak Gs
1													
2													

3.5.2.3. Sadeleştirilmiş janbu yöntemi

Janbu, 1956'da her biçimde kayma yüzeyine uygulanabilen ve kuvvet dengesi koşullarını sağlayan yöntem geliştirmiştir (Janbu, 1956). Bu yöntemde 3 bilinmeyen ve 3 denklemlerle hesap yapılmaktadır. Çözümde ayrıntıları azaltarak 1973'te Janbu Basit Yöntemi geliştirmiştir. Günümüzde hala bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntem temelde Bishop yöntemiyle benzerdir. En belirgin farklılığı herhangi bir yenilme yüzeyine uygulanabilmesidir. Kayma yüzeyi bir seri kritik daire kabulü yerine bir kayma yüzeyi kabulüne dayandırılır. Güvenlik sayısı düzeltme sayısı (f_0) ile belirlenir. Yatay kuvvetleri dengede kabul eder. Dairesel olmayan kayma yüzeylerinde iyi sonuç vermektedir (URL-4.).



Şekil 3.35. Sadeleştirilmiş Janbu yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler

Şekil 3.35'ten denge değerleri yazılacak olursa,

$$T_1 + E_{n+1} \cdot \cos \alpha + X_{n+1} \cdot \sin \alpha - T - E_n \cdot \cos \alpha - X_n \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow T_1 - T = 0 \quad (3.37)$$

$$T = W \cdot \sin \alpha \quad (3.38)$$

$$T_1 = [c' \cdot l + (N - u \cdot l) \tan \phi'] \cdot \frac{1}{G_s} \quad (3.39)$$

$$N' = \frac{W - u \cdot l \cdot \cos \alpha - \frac{c' \cdot l}{G_s} \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha + \frac{1}{G_s} \cdot \tan \phi' \cdot \sin \alpha} \quad (3.40)$$

bu denklemlerden yararlanılarak aşağıdaki Janbu yöntemindeki güvenlik sayısı elde edilir.

$$G_s = \frac{\frac{\sec 2\alpha [c' \cdot b + \tan \phi' \cdot (W - u \cdot b)]}{1 + \frac{1}{G_s} \cdot \tan \phi' \cdot \tan \alpha}}{W \cdot \tan \alpha} \quad (3.41)$$

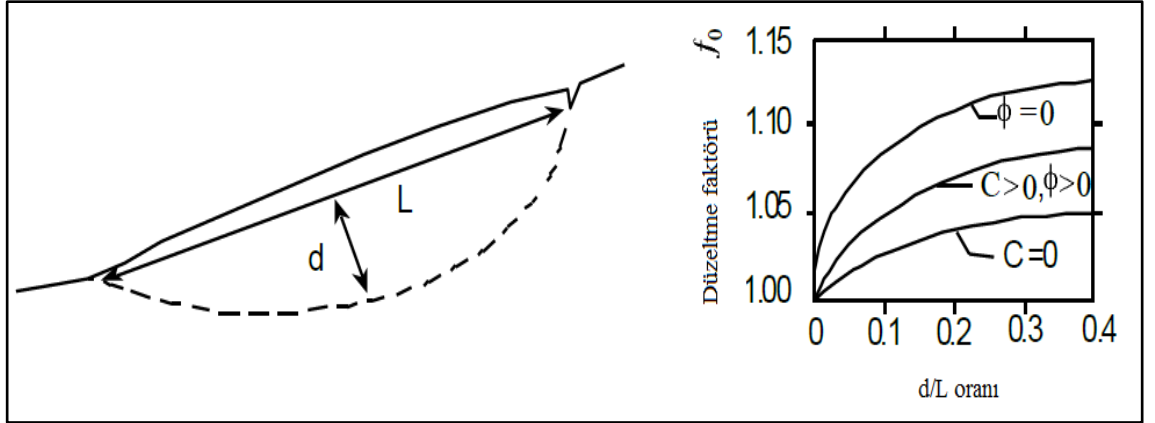
Çizelge 3.10. Janbu yöntemi stabilite hesap tablosu

Di li m	α	b	u	h	W	$\tan \alpha$	$W \cdot \tan \alpha$	$\sec^2 \alpha$	$c' \cdot b$	$W - u \cdot b$	$\tan \phi' \cdot (W - u \cdot b)$	$1 + \frac{1}{G_s} \cdot \tan \phi' \cdot \tan \alpha$	A/B	u.b	$c' \cdot b + \tan \phi' \cdot (W - u \cdot b) \cdot \sec^2 \alpha$
1															
2															

Janbu, hesaplamalarda bazı hataları ortadan kaldırmak ve dilimler arası kayma kuvvetlerinin etkisini hesaba katmak için, bulunan güvenlik sayısını amprik bir düzeltme faktörü ile çarpmaktadır (Yalçın, 2000).

Bu düzeltme faktörü aşağıdaki diyagramdan bulunup aşağıdaki bağıntıda yerine koyulursa düzeltilmiş güvenlik sayısı elde edilir.

$$G_{\text{Düzeltilmiş}} = \int_0 G_s \quad (3.42)$$



Şekil 3.36. Sadeleştirilmiş Janbu yönteminde kullanılan düzeltme faktörü

3.5.2.4. Morgenstern-Price Yöntemi

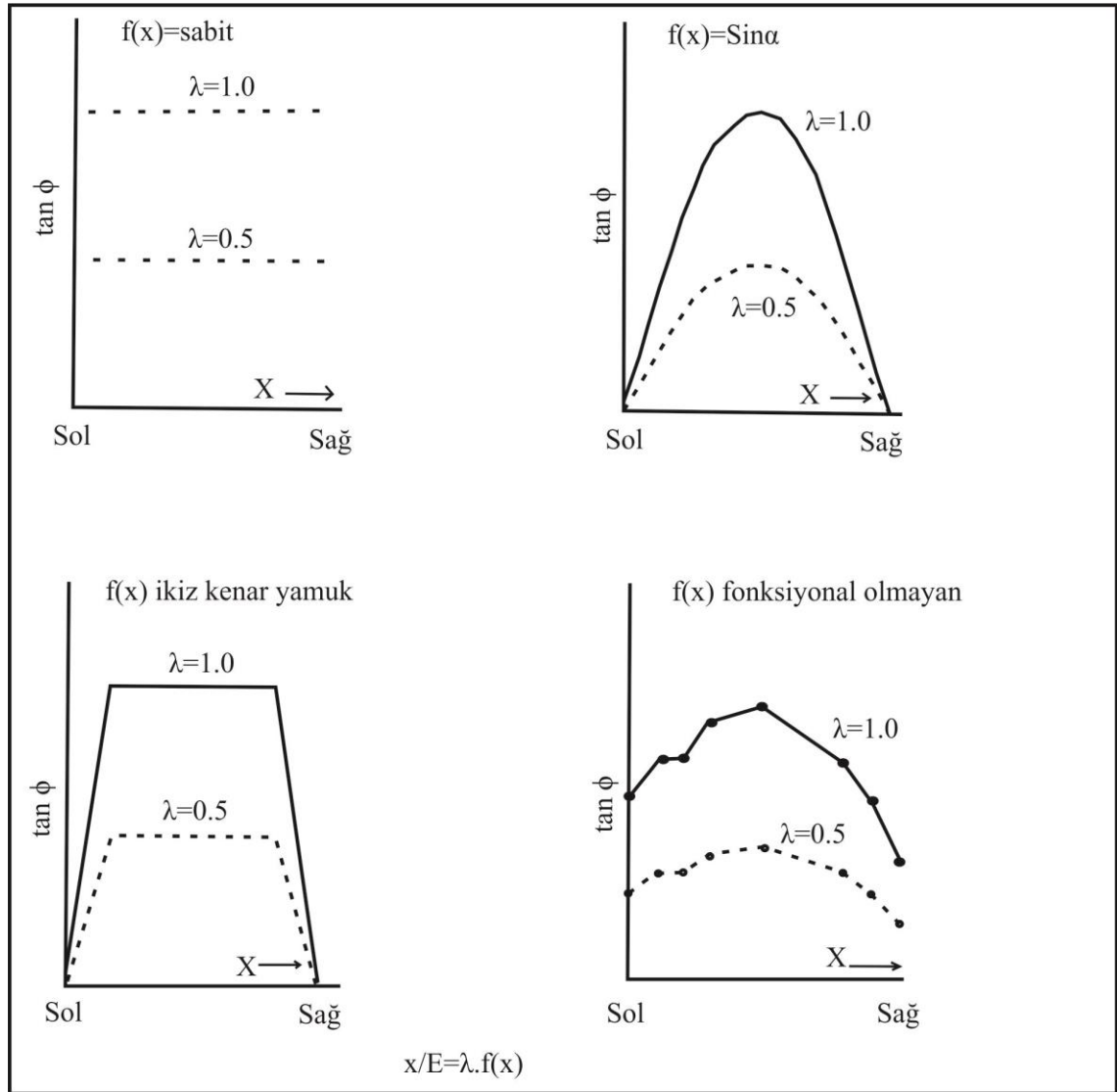
Morgenstern ve Price (1965) dairesel ve dairesel olmayan kayma yüzeyleri için geliştirilmiş analiz yöntemini tanımlamaktadır. Burada kayma yüzeyi boyunca gerilme ve kuvvetler değişmektedir. Her dilimin tabanı için limit denge denklemleri paralel ve normal olarak çözümlenmektedir. Burada yapılan kabule göre dilimler arası makaslama kuvvetleri X , dilimler arası normal kuvvetlerle E ile ilişkilidir.

$$\frac{X}{E} = \lambda f(x) \quad \phi \quad (3.43)$$

Burada $f(x)$ bir fonksiyon olup kayma yüzeyi boyunca devamlı değişir. λ ise bir ölçek faktörüdür. Burada verilen $f(x)$ fonksiyonu için λ ve F değerleri bulunur ve tüm şev için kuvvet ve moment denge eşitlikleri çözümlenir. Böylece;

$$F = F_m = F_f \quad (3.44)$$

Morgenstern ve Price'a göre $f(x)$ seçilmesi güvenlik katsayısını göreceli olarak çok etkilemez. Bu Fredlund ve Krahn (1977) tarafından yapılan çalışma ile desteklenmiştir.



Şekil 3.37. Morgenstern ve Price yönteminde kullanılan dilimler arası kuvvet eğiminin tipik fonksiyonları (Fredlund ve Krahn, 1977; Anderson ve Richards, 1987)

$$X = E \cdot \lambda \cdot f(x) \quad (3.45)$$

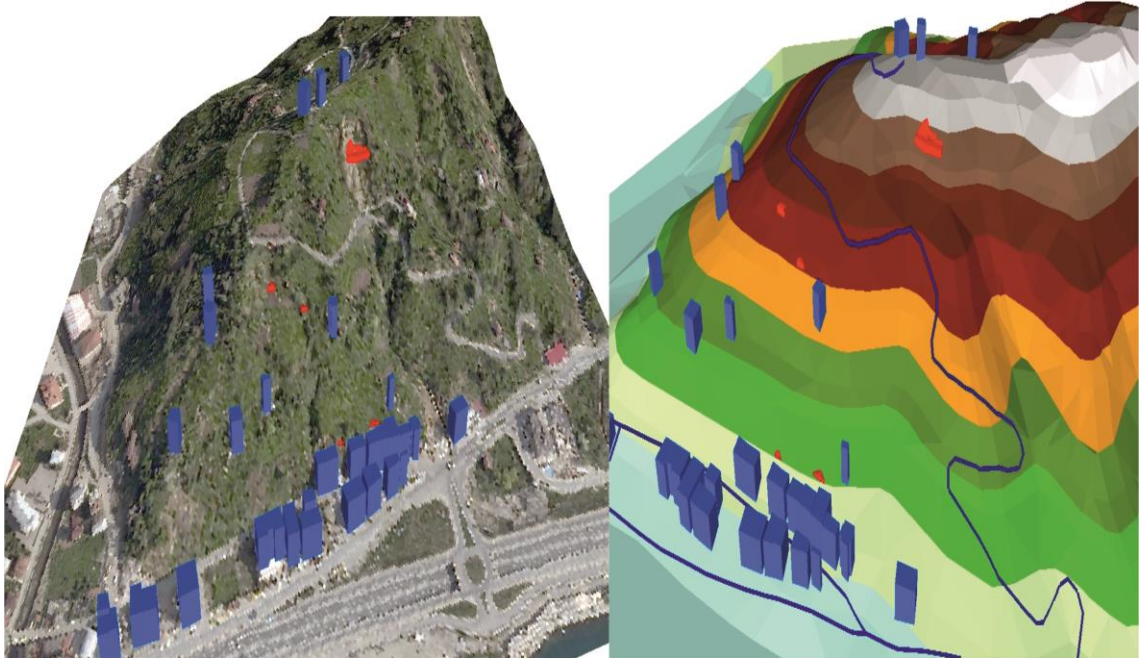
3.6. Stabilité Analizleri

Stabilité analizleri için, Gündoğdu beldesinde meydana gelen 5 heyelan alanı için topoğrafik kesitler çıkarılmıştır. Bu 5 heyelan bölgesi Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Yamaçta heyelan olmasından dolayı can ve mal kayıpları yaşanmıştır.

Heyelanın meydana geldiği yamaçlarda yoğun çay türü bitki örtüsü bulunmaktadır. Ayrıca, eğimin yüksek olması ve yamaç boyunca yapılan bilinçsiz kazılar heyelanı tetikleyen etkiler olarak görölmektedir. Heyelanlar ve sel baskınları sonucunda 14 kişi hayatını kaybetmiş ve 100'ün üzerinde yapının ağır hasara görerek kullanılamaz hale gelmesine neden olmuştur (URL-3).

Güvenlik katsayılarının hesaplanmasında farklı stabilité analiz yöntemleri kullanılmıştır. İsveç dilim yöntemi, basitleştirilmiş Bishop yöntemi, sadeleştirilmiş Janbu ve Morgenstern-Price yöntemlerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar, yamaç kesiti boyunca kayma dairesinin başlangıç ve bitiş bölgeleri belirlenerek üretilen 125 kayma dairesinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, her bir yöntemle göre hesaplanan en büyük ve en küçük güvenlik katsayısının elde edildiği yamaç kesitleri ve kayma daireleri verilmiştir.



Şekil 3.38. İnceleme alanının 3 boyutlu görünümü

3.6.1. 1 Nolu Heyelan Bölgesi

Dağınksu Mahallesi'ne yakın yamaçtaki bu bölge, çevredeki yapılara önemli maddi hasar vermiştir (Şekil 3.11.). Şekil 3.13'te 1 nolu yer ile gösterilmiştir.

Hareketin olduğu alanda iri taneli kum ve çakıllardan oluşan jeolojik birimler bulunmaktadır. Heyelanın olduğu alandan akan dere ve tam yamaç bitimine yapılan evlerden dolayı topukta meydana gelen kazılar yamacın stabilitesini bozmuş ve heyelan meydana gelmiştir.

1 nolu heyelan bölgesinden A noktasından A' noktasına doğru kesit alınmış, bu kesitlere jeolojik birimler işlenmiş ve stabilite hesabı yapılacak 1/500 ölçekli yamaç kesitleri hazırlanmıştır. Bu kesitlerden muhtemel kayma yüzeylerinin başlangıç ve bitiş alanları belirlenmiş ve her biri için 4 farklı limit denge yöntemiyle stabilite hesabı yapılmıştır. Ayrıca yörenin aşırı yağışlı bir bölge olması heyelanların oluşumunu kolaylaştırıcı rol oynamıştır. Yamaç eteklerinde yoğun yerleşimin olması ortaya çıkan kayıpları daha da artırmıştır.

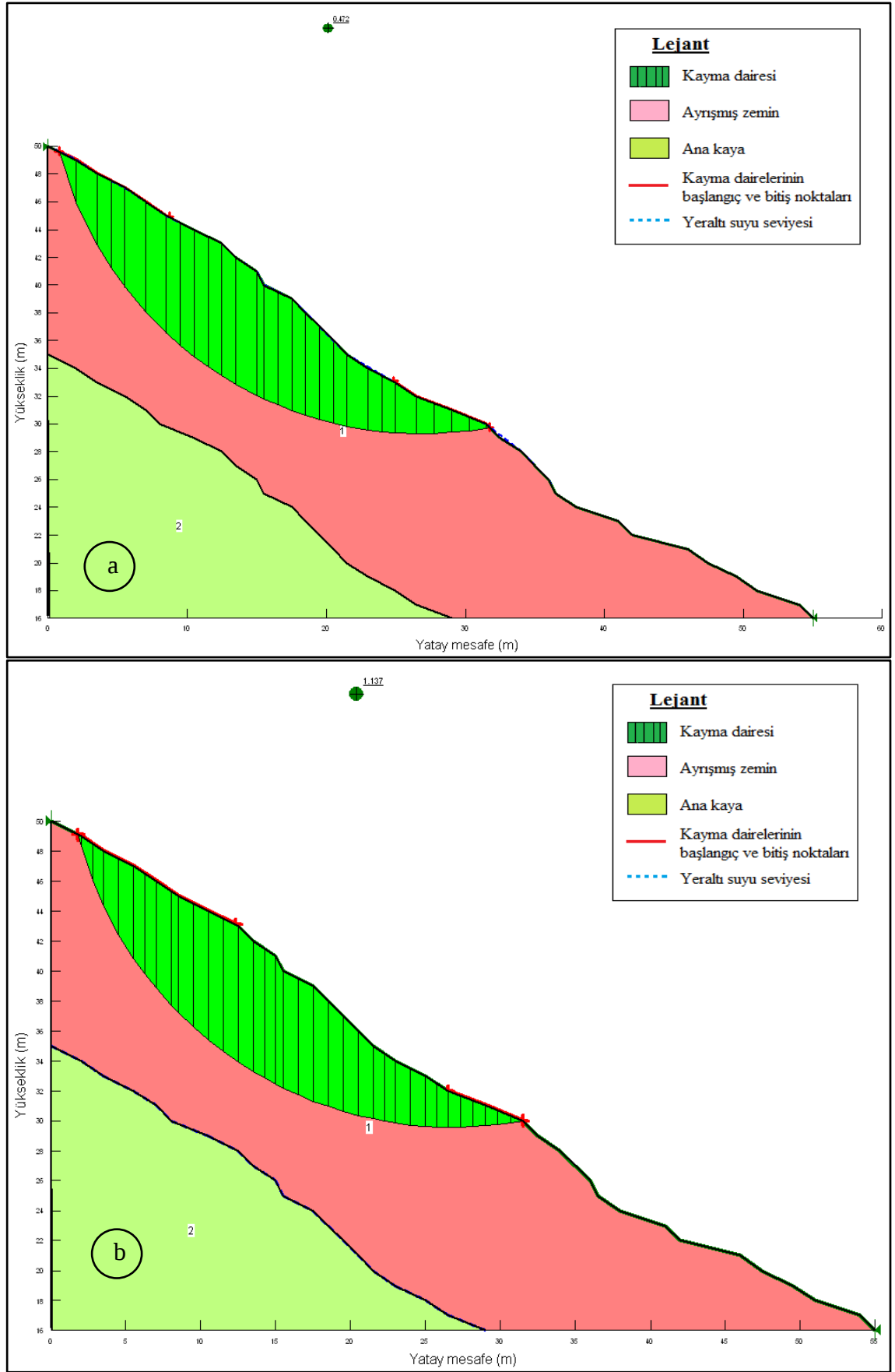
Heyelan bölgelerinde 4 farklı yöntemle hesaplama yapılmıştır. Her bir hesaplama yönteminin doygun birim hacim ağırlık ve kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre güvenlik katsayıları bulunmuştur. Bu şekilde en zayıf yüzeyleri belirlemiş oluruz. Kayma dairelerinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenip GEO-SLOPE stabilite programı yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Doymuş ve kuru birim hacim ağırlığı güvenlik katsayıları haricinde 123 tane daha kayma dairesi oluşturulmuştur.

1 nolu heyelan bölgesi için, Bishop yöntemiyle üretilen kayma dairelerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda doygun birim hacim ağırlığına göre yapılan hesaplamalarda elde edilen güvenlik katsayısı değeri 0,435 olarak bulunmuştur (Şekil 3.39.). Bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Ancak şuan yamacın yerinde durması, hesaplamanın yapıldığı koşulların sağlanmadığını gösterir. Yani yağışlarla malzemenin doygunluğunun sağlanması ve kohezyon ve içsel sürtünme değerlerinin düşmesi, yamacın kaymasına sebep olacaktır. Dolayısıyla bu yamaç için öncelikle drenaj koşullarının sağlanması çok çok önemli bir konudur. Çünkü zeminin doygunluğunun artması yamaçta hareketi kaçınılmaz kılacaktır.

Çalışma alanında meydana gelen heyelanlara bakıldığında heyelanların sığ heyelanlar olduğu tespit edilmiştir. 1 nolu heyelan bölgesinde oluşan heyelanın kayma dairesi derinliğinin 2 m civarında olduğu arazi çalışmaları esnasında ölçülmüştür. Bu yamaç içinde yapılan stabilite hesaplarında doygun birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma dairesinin derinliği 2,5 m olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla bu yamaçta gelişebilecek heyelanlar 2-3 m derinliğe sahip heyelanlar olacaktır. Bu durum da yüzey drenajının ve yoğun bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisinin çok fazla olduğunu göstermektedir.

Kayma yüzeyi derinliği 13 metreye kadar inmekte, yatay mesafesi de 47 m civarındadır. Böyle bir kayma dairesinin kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri de 1.137 olarak bulunmuştur (Şekil 3.39.).

1 nolu heyelan bölgesine ait yapılan stabilite hesaplarına göre kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısını veren kayma dairesi de tespit edilmiştir. Dolayısıyla doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı arasında olabilecek durumların çıkarımı buradan yapılabilir. Genel itibariyle bakıldığında incelenen bu yamaçta heyelan olasılığının fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.39. 1 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Aynı şekilde Fellenius yöntemine göre de aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.40.).

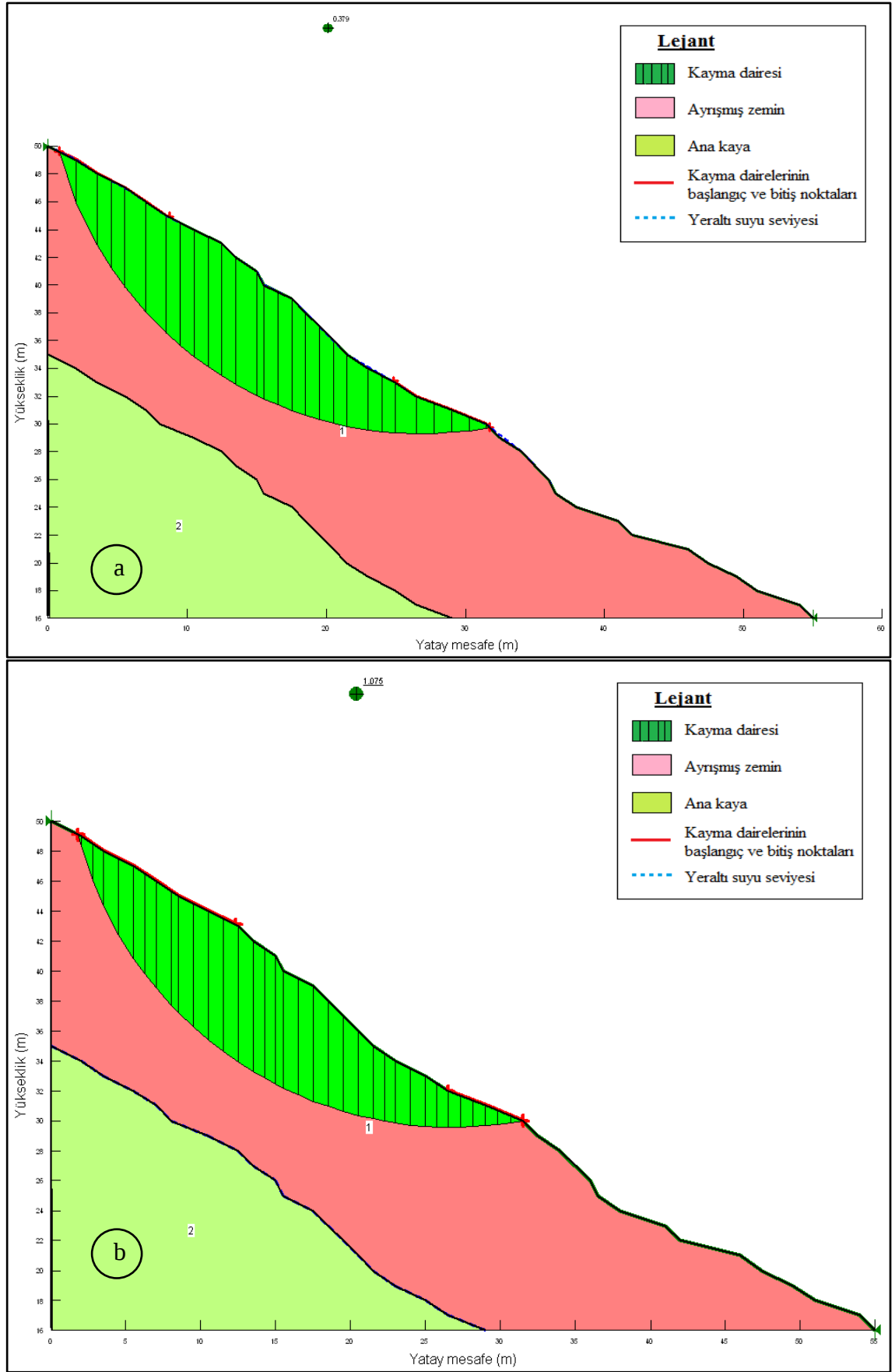
Doygun birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri 0,379 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2 m, yatay mesafesi ise 32 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri de 1,075 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 13,5 m derinlik ve 46,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

Janbu yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.41.).

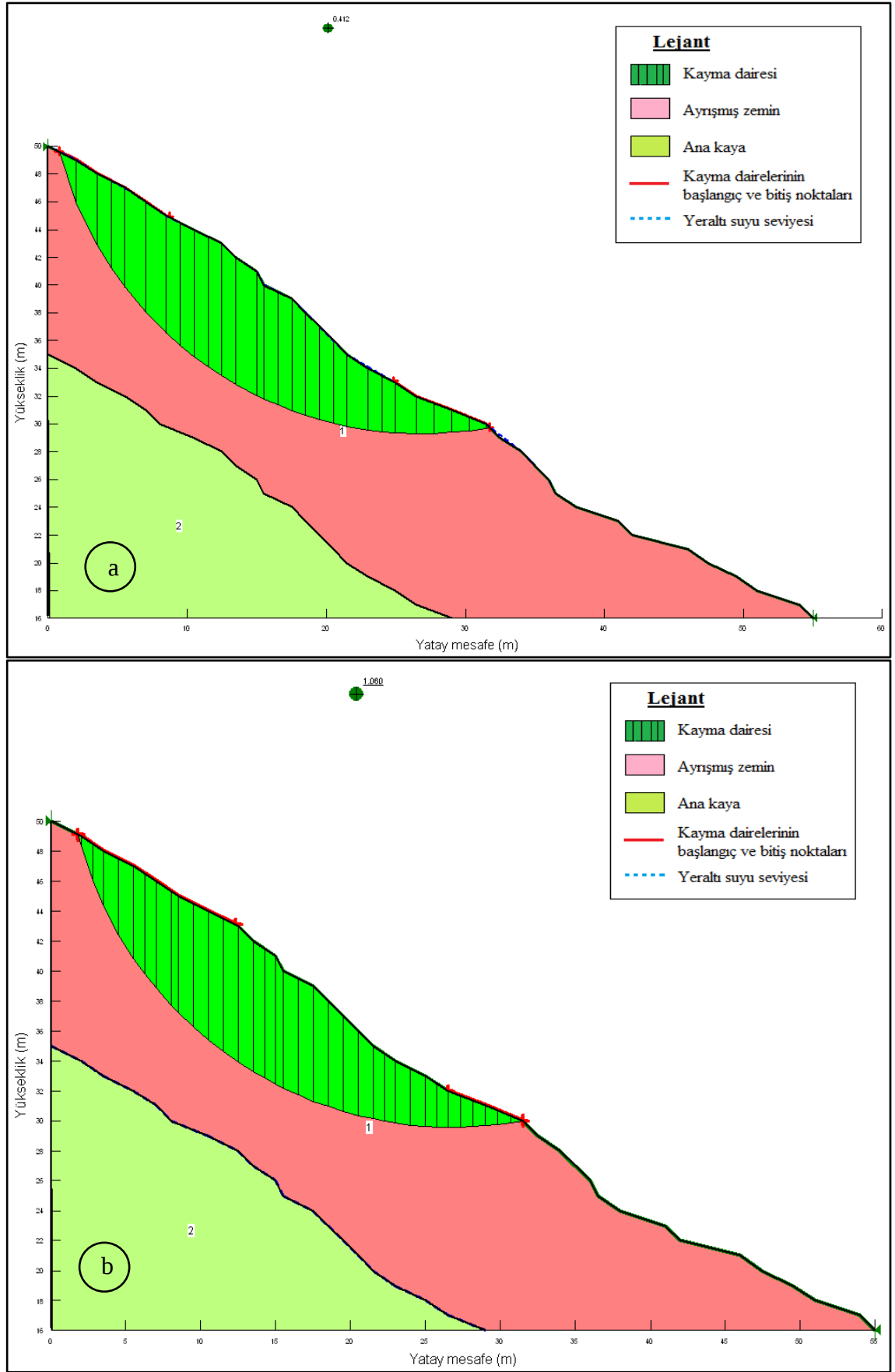
Doygun birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri 0,412 olarak bulunmuştur. Bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2 m, yatay mesafesi ise 32 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri de 1,060 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 13 m derinlik ve 46,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

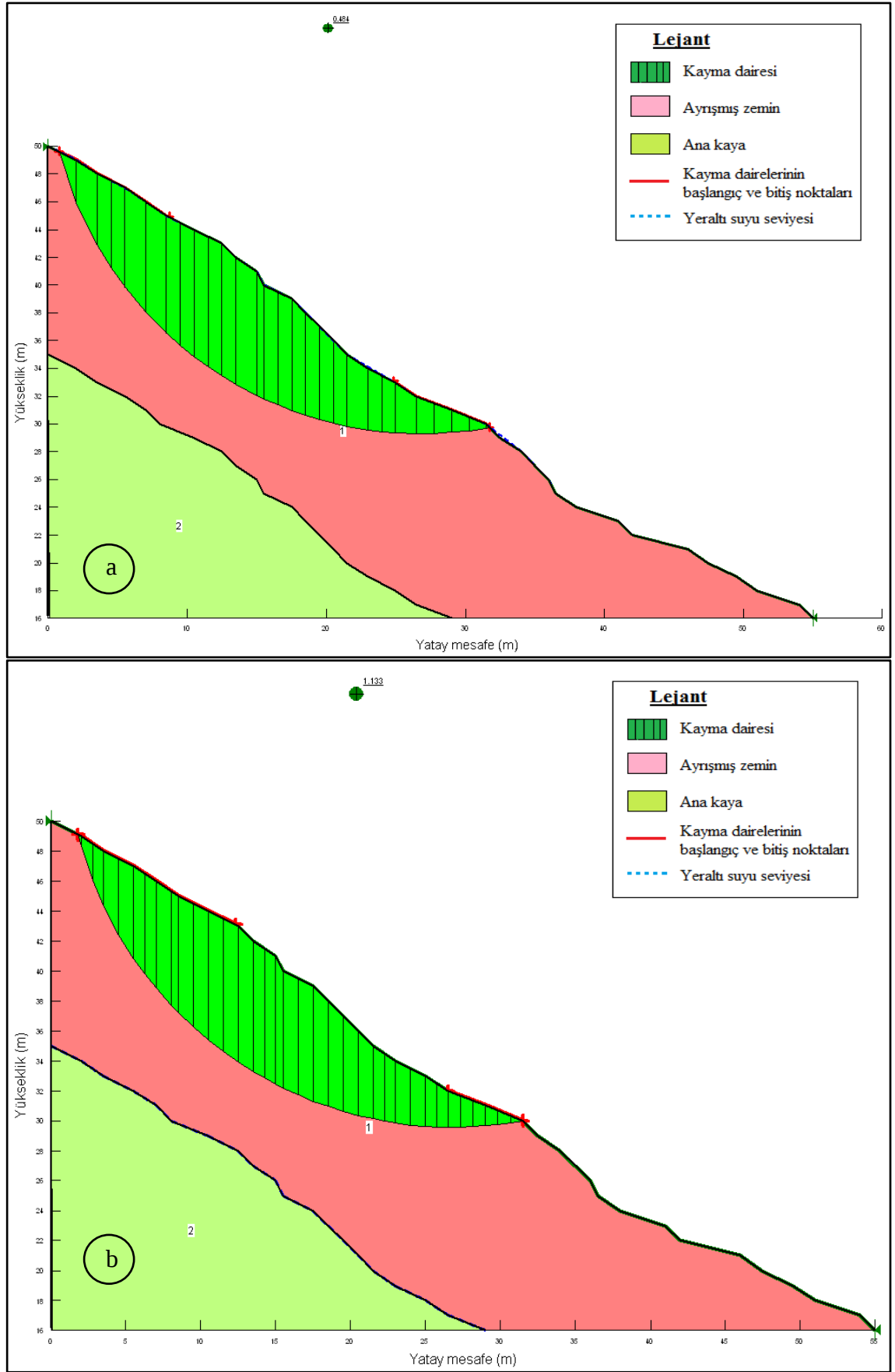
Morgenstern-Price yöntemine göre de aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.42.).

Doygun birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri 0,484 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 1,5 m, yatay mesafesi ise 32 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri de 1,133 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 13 m derinlik ve 46,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.



Şekil 3.40. 1 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre





Hesaplamalarda Heyelan 1 noktası için malzemenin doğal birim hacim ağırlığı $15,49 \text{ kn/m}^3$, efektif kohezyon (c') $0,09 \text{ kg/m}^3$, efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') $17,91^\circ$ 'dir. bu veriler kullanılarak Fellenius, İsveç, Janbu ve Morgenstern-Price analiz yöntemleriyle heyelan 1'in güvenlik sayıları hesaplanmıştır (Çizelge 3.11.). Dilim aralığı 0,75 m alınmıştır.

Çizelge 3.11. Heyelan 1 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları

Yöntem	Kuru birim hacim ağırlığına göre	Doygun birim hacim ağırlığına göre
Fellenius	1.075	0.379
Bishop	1.137	0.435
Janbu	1.060	0.412
Morgenster-Price	1.133	0.484

Yukarıdaki şekilde tüm metotlar için güvenlik sayıları 1'in üstünde çıkmasından dolayı güvenlidir diyebiliriz. Fakat çatlakların oluşmasıyla, aşırı yağışların etkili olmasıyla tehlike yaratabilir.

3.6.2. 2 Nolu Heyelan Bölgesi

Dağınksu Mahallesi'ne yakın, belediye binasının arka tarafındaki kalan yamaçtaki bu nokta, Şekil 3.13'te 2 nolu yer ile gösterilmiştir.

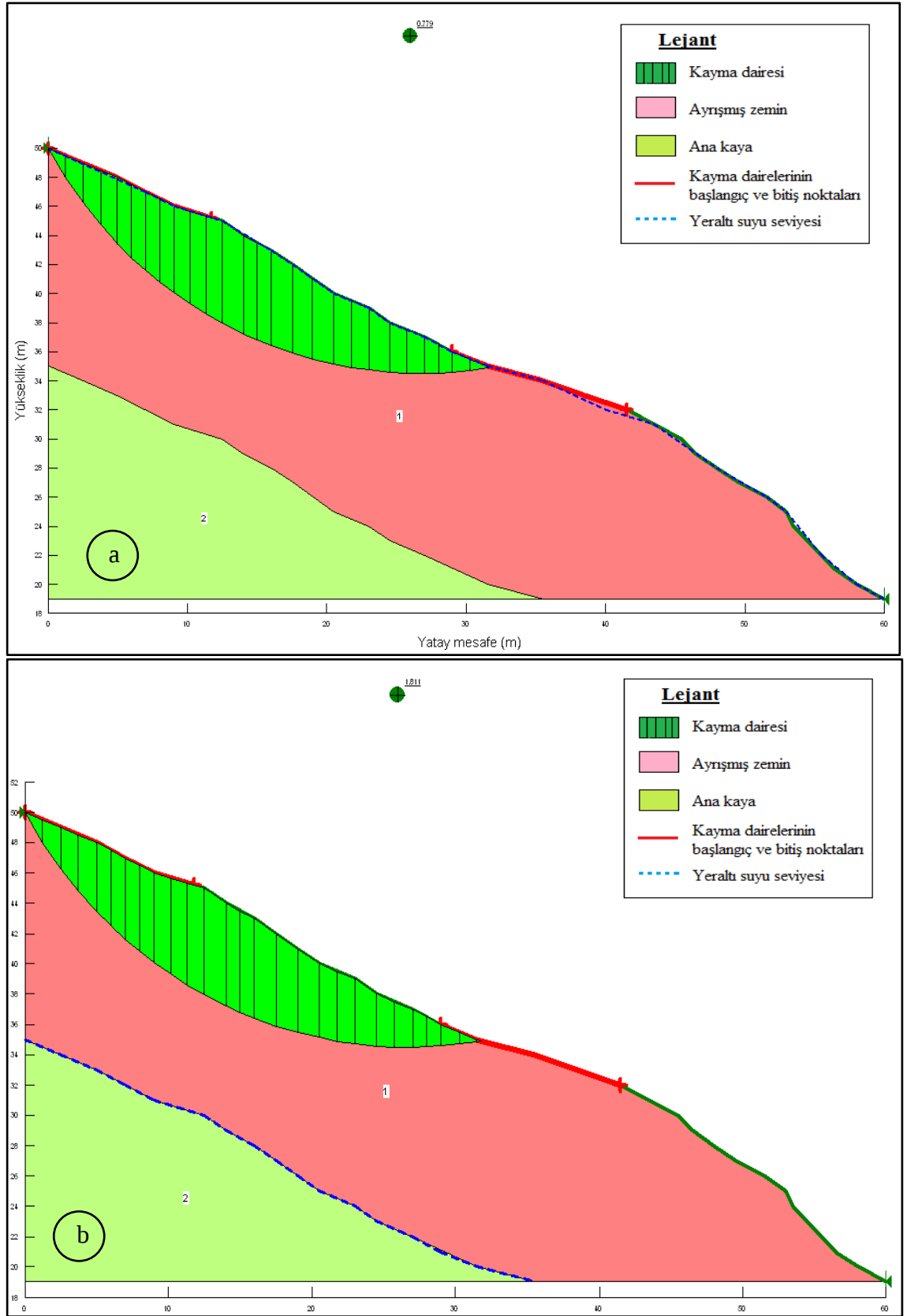
Aşırı yağışlar sonucunda eğimli olan bölgede kumlu ve çakıllı ayrılmış malzeme kopmuş ve heyelan meydana gelmiştir. Hemen altındaki binaya maddi zarar vermiştir.

2 nolu heyelan bölgesinden B noktasından B' noktasına doğru kesit alınmış, bu kesitlere jeolojik birimler işlenmiş ve stabilite hesabı yapılacak 1/500 ölçekli yamaç kesitleri hazırlanmıştır. Bu kesitlerden muhtemel kayma yüzeylerinin başlangıç ve bitiş alanları belirlenmiş ve her biri için 4 farklı limit denge yöntemiyle stabilite hesabı yapılmıştır. Ayrıca yörenin aşırı yağışlı bir bölge olması heyelanların oluşumunu kolaylaştırıcı rol oynamıştır. Ormanlık alanların tahrip edilip yerine çay bitkisinin ekilmesi ve çay bahçelerinin yanına yapılan evler, can ve mal kaybının artmasında etkili olmuştur.

Heyelan bölgelerinde 4 farklı yöntemle hesaplama yapılmıştır. Her bir hesaplama yönteminin doymuş ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayıları bulunmuştur. Bu şekilde en zayıf yüzeyleri belirlemiş oluruz. Kayma dairelerinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenip GEO-SLOPE stabilite programı yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Doymuş ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayıları haricinde 123 tane daha kayma dairesi oluşturulmuştur.

2 nolu heyelan bölgesi için, Bishop yöntemiyle üretilen doymuş birim hacim ağırlığı değeri kullanılarak elde edilen güvenlik katsayısı değeri 0,779 olarak bulunmuştur (Şekil 3.43.). Bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Yine aşırı yağışların etkisiyle zeminin doymuşluğunun artması yamaçta hareketi kaçınılmaz kılacaktır.

2 nolu heyelan bölgesi için Bishop yöntemiyle yapılan hesaplamalarda minimum kayma dairesi derinliği 3,5 metre olarak bulunmuştur. Dolayısıyla bu yamaçta gelişebilecek heyelanlar 3-4 m derinliğe sahip heyelanlar olacaktır. Yatay mesafesi ise 55,5 metre olarak bulunmuştur. Bishop yöntemiyle kuru birim hacim ağırlığına göre yapılan hesaplamalarda güvenlik katsayısı 1,811, kayma dairesi derinliği 9 m ve yatay mesafe 42,5 m olarak bulunmuştur.



Şekil 3.43. 2 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Fellenius yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.44.).

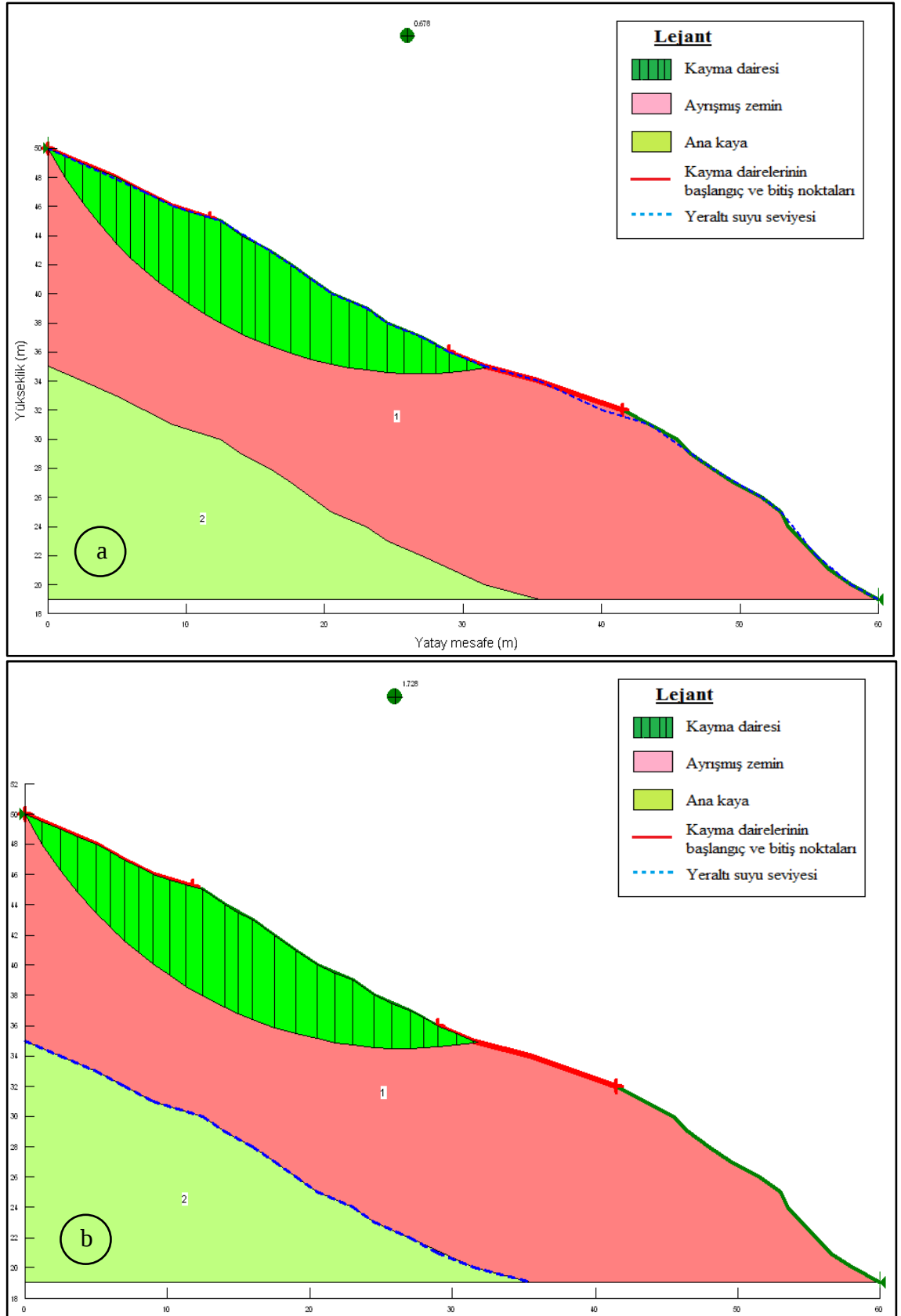
Doygun birim hacim ağırlığı değerine göre güvenlik katsayısı 0,678 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 3 m, yatay mesafesi ise 55 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri de 1,728 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 9 m derinlik ve 42,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

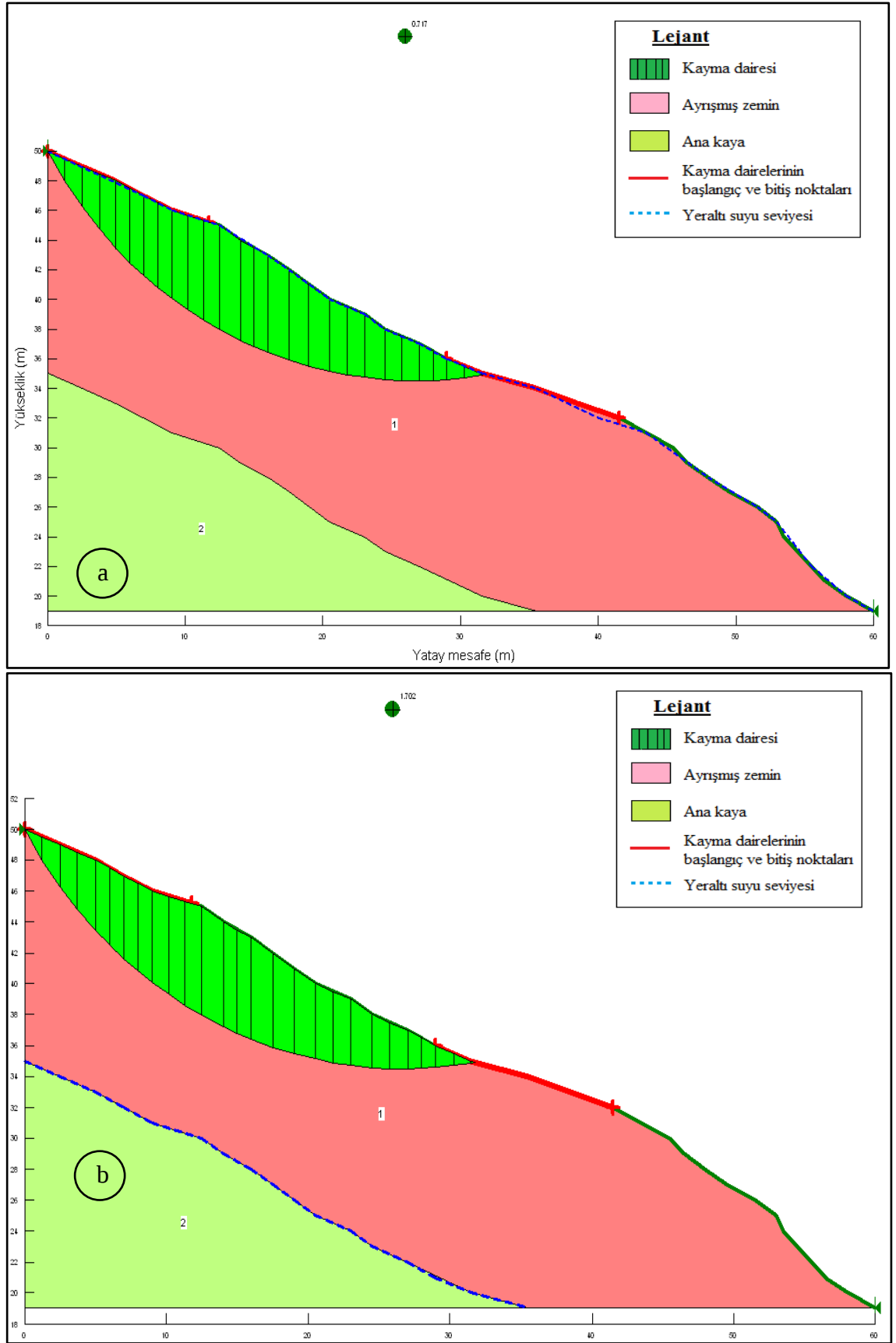
Janbu yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.45.).

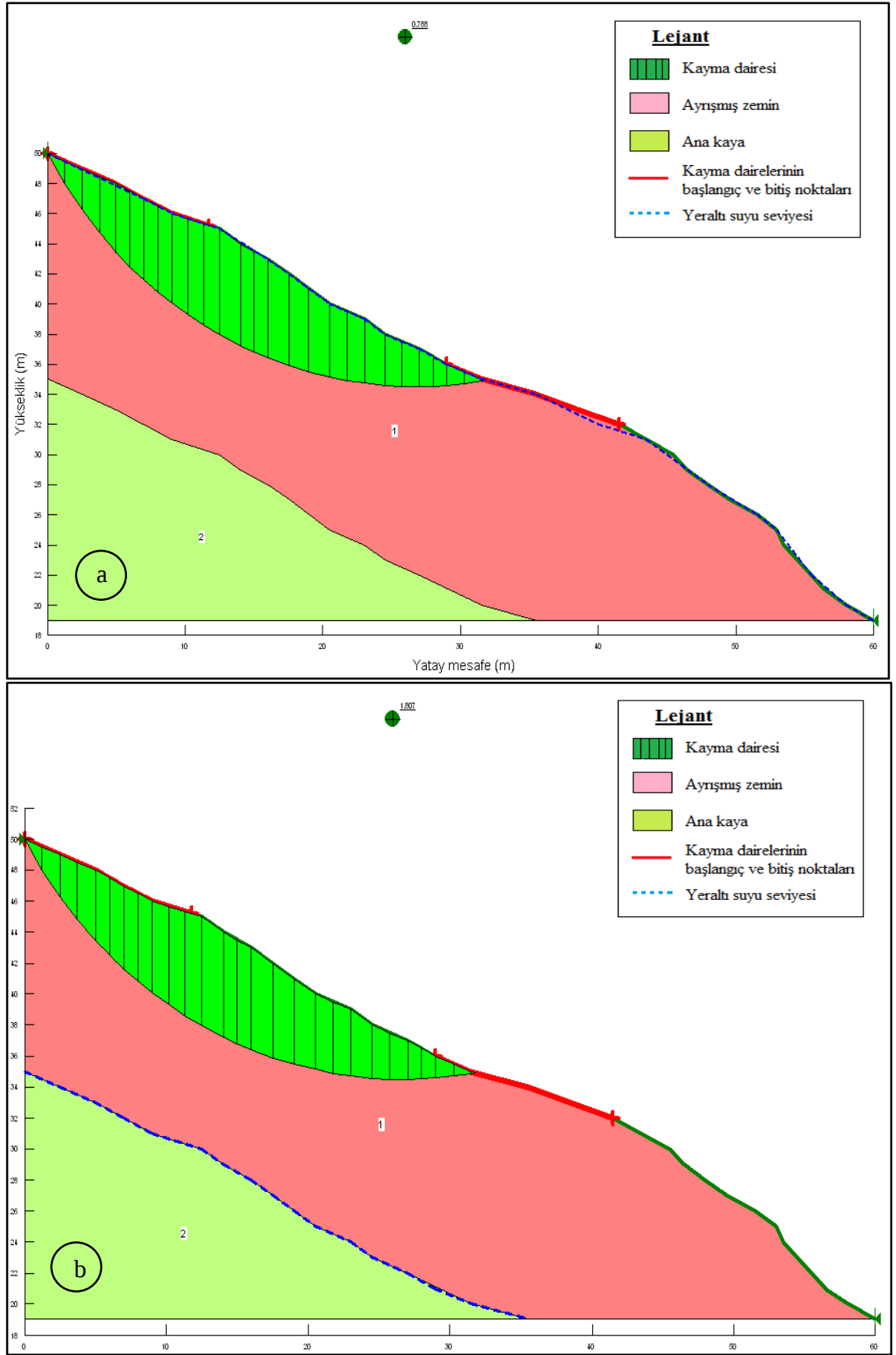
Doygun birim hacim ağırlığına göre bulunan güvenlik katsayısı değeri 0.717 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 3 m, yatay mesafesi ise 54 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre bulunan güvenlik katsayısı değeri de 1.702 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 9 m derinlik ve 42,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

Morgenstern-Price yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.46.).

Doygun birim hacim ağırlığına göre bulunan güvenlik katsayısı değeri 0.788 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Kayma dairesinin derinliği 3 m, yatay mesafesi ise 55 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre bulunan güvenlik katsayısı değeri de 1.807 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 10 m derinlik ve 45 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.







Şekil 3.46. 2 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Heyelan malzemesi sınırından itibaren kayma yüzeyleri belirlenmiştir. Dilim aralığı 0,75 m alınmıştır. 4 farklı yöntem için güvenlik sayıları bulunmuştur (Çizelge 3.12.).

Çizelge 3.12. Heyelan 2 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları

Yöntem	Kuru birim hacim ağırlığına göre	Doygun birim hacim ağırlığına göre
Fellenius	1.728	0.678
Bishop	1.811	0.779
Janbu	1.702	0.717
Morgenster-Price	1.807	0.788

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi değerler 1'in üzerinde çıktığı için 2 nolu heyelan noktası güvenli denilebilir. Ancak küçük çatlakların büyümesi, çatlakların içine su dolması ve topuktaki yük azalımına bağlı olarak bu nokta tehlikeli bir hal alabilir.

3.6.3. 3 Nolu Heyelan Bölgesi

Bu heyelan bölgesi 2 nolu heyelanın yanında yer alır. 3 nolu heyelan bölgesi olarak gösterilmiştir (Şekil 3.13.).

Aşırı yağışlar sonucunda eğimli olan bölgede kumlu ve çakıllı ayrılmış malzeme kopmuş ve heyelan meydana gelmiştir. Hemen altındaki binalara maddi zarar vermiştir.

3 nolu heyelan bölgesinden C noktasından C' noktasına doğru kesit alınmış, bu kesitlere jeolojik birimler işlenmiş ve stabilite hesabı yapılacak 1/500 ölçekli yamaç kesitleri hazırlanmıştır. Bu kesitlerden muhtemel kayma yüzeylerinin başlangıç ve bitiş alanları belirlenmiş ve her biri için 4 farklı limit denge yöntemiyle stabilite hesabı yapılmıştır. Ayrıca heyelan bölgesinin eğiminin fazla olması ve aşırı yağış alması heyelanların oluşumunu kolaylaştırıcı rol oynamıştır.

Heyelan bölgelerinde 4 farklı yöntemle hesaplama yapılmıştır. Her bir hesaplama yönteminin doymuş ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayıları bulunmuştur. Bu şekilde en zayıf yüzeyi belirlemiş oluruz. Kayma dairelerinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenip GEO-SLOPE stabilite programı yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Doymuş ve kuru birim hacim ağırlığına göre hesaplanan güvenlik katsayıları haricinde 123 tane daha kayma dairesi oluşturulmuştur.

3 nolu heyelan bölgesi için, Bishop yöntemiyle üretilen kayma dairelerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda doymuş birim hacim ağırlığına göre elde edilen güvenlik katsayısı değeri 0.665 olarak bulunmuştur (Şekil 3.47.). Bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Yine de aşırı yağışların etkisiyle zeminin doymuşluğunun artması yamaçta hareketi kaçınılmaz kılacaktır.

3 nolu heyelan bölgesi için Bishop yöntemiyle yapılan hesaplamalarda minimum kayma dairesi derinliği 3 metre olarak bulunmuştur. Dolayısıyla bu yamaçta gelişebilecek heyelanlar 2,5-3,5 m derinliğe sahip heyelanlar olacaktır. Yatay mesafesi ise 39 metre olarak bulunmuştur. Bishop yöntemiyle yapılan hesaplamalarda kuru birim hacim ağırlığına göre bulunan güvenlik katsayısı 2,001, kayma dairesi derinliği 10 m ve yatay mesafe 52,5 m olarak bulunmuştur.

Fellenius yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.48.).

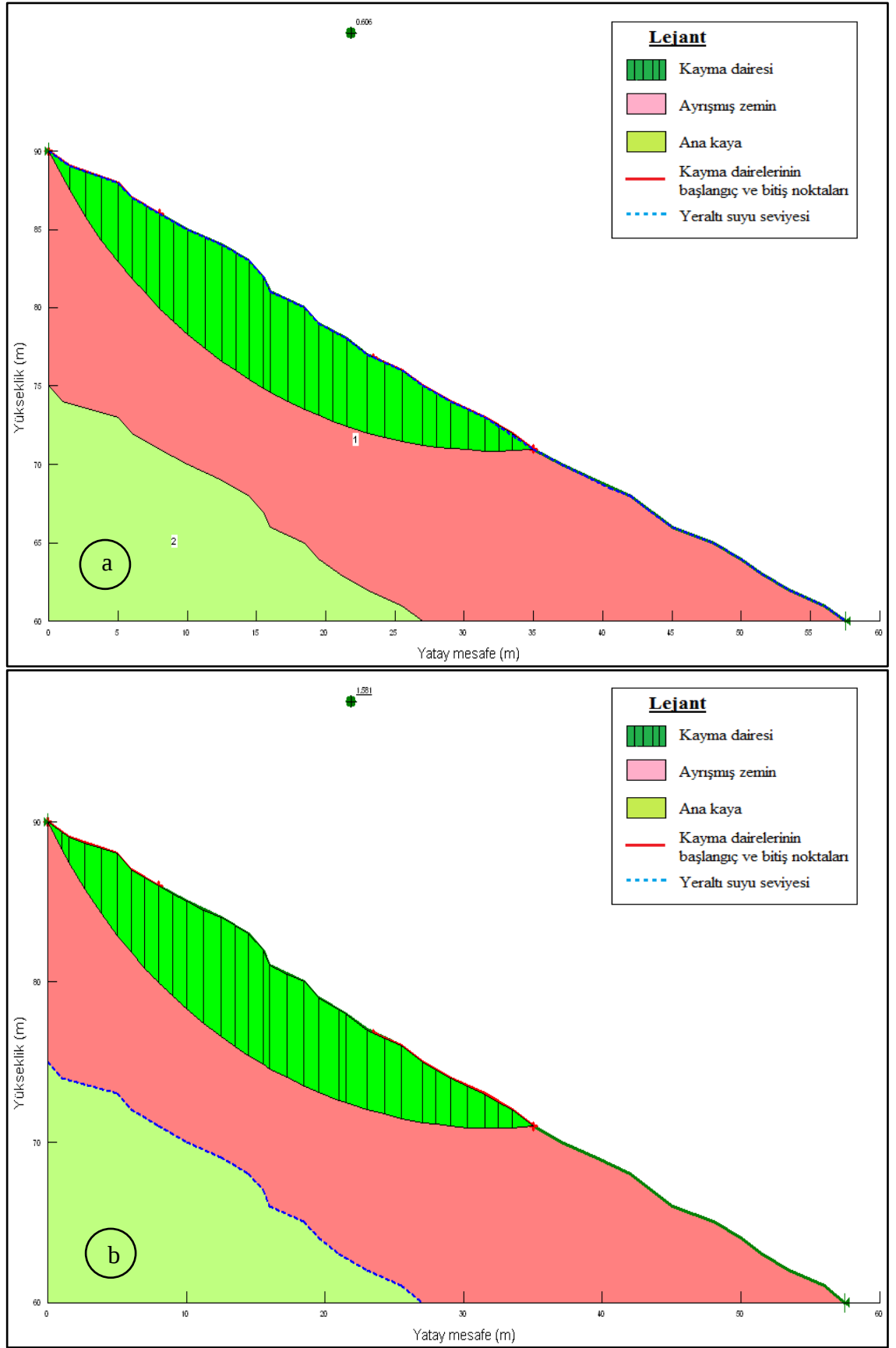
Doygun birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri 0.551 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2,5 m, yatay mesafesi ise 39 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değeri de 1,600 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 10 m derinlik ve 45 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

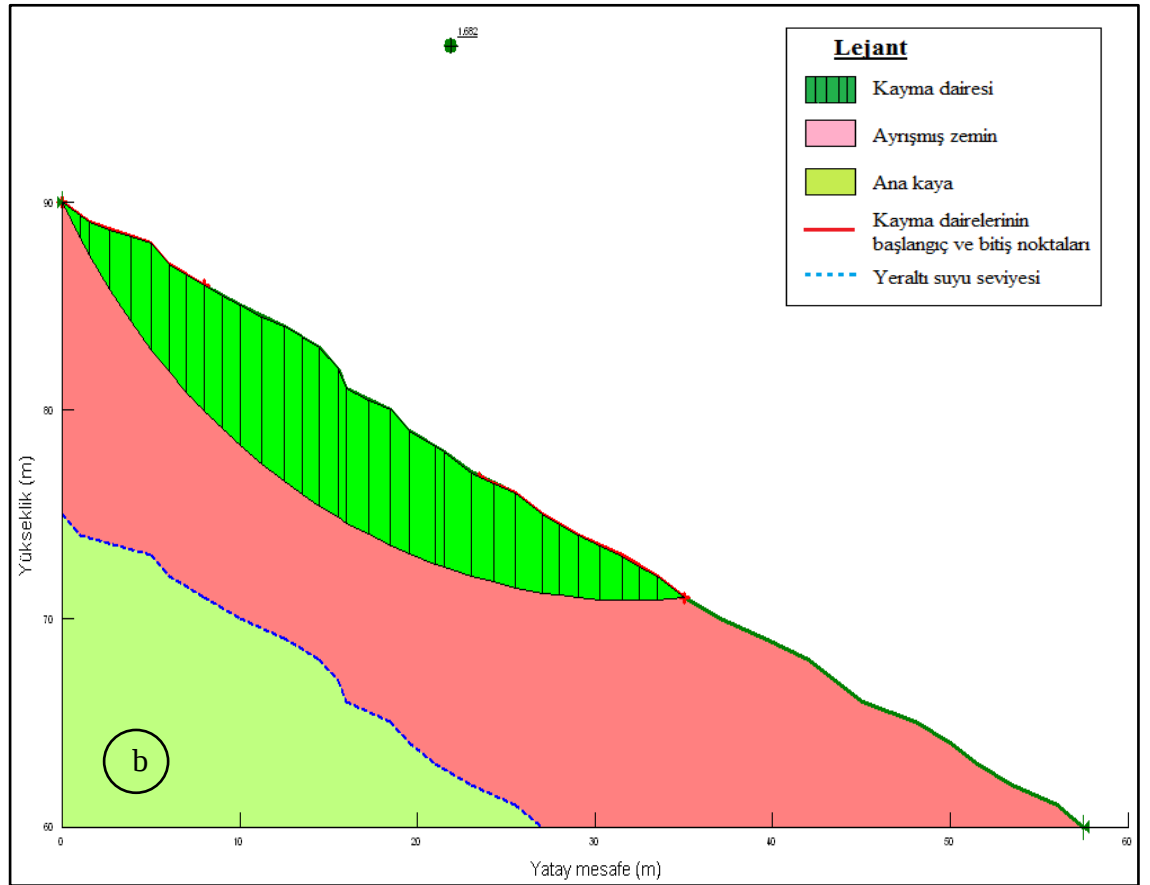
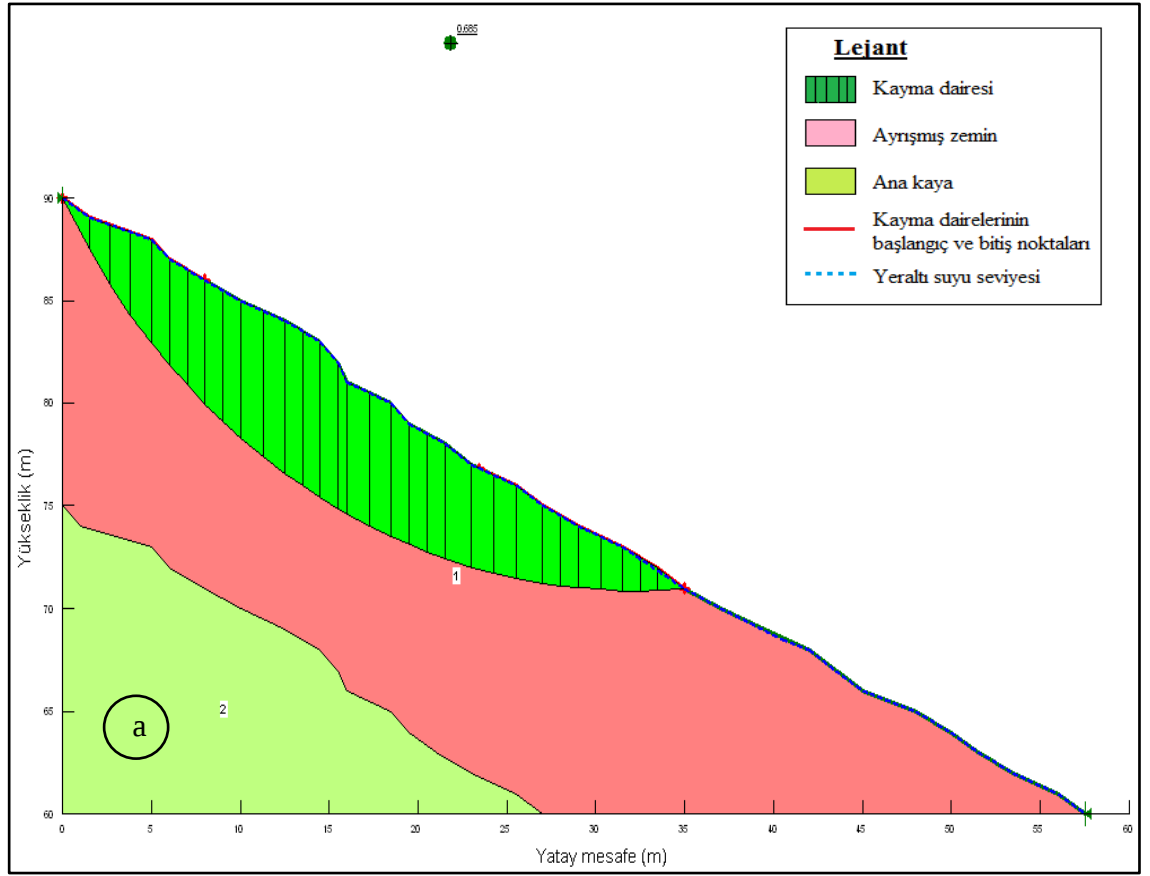
Janbu yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.49.).

Doygun birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değeri 0.606 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2,5 m, yatay mesafesi ise 39,5 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değeri de 1.581 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 9,5 m derinlik ve 45 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

Morgenstern-Price yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.50.).

Doygun birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değeri 0.685 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olmadığını gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2,5 m, yatay mesafesi ise 40 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değeri de 1.682 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 10 m derinlik ve 45,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.





Şekil 3.50. 3 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Aşağıdaki tabloda güvenlik sayıları 4 farklı metot ile belirlenmiştir (Çizelge 3.13.).

Çizelge 3.13. Heyelan 3 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları

Yöntem	Kuru birim hacim ağırlığına göre	Doygun birim hacim ağırlığına göre
Fellenius	1.600	0.551
Bishop	2.001	0.665
Janbu	1.581	0.606
Morgenstern-Price	1.682	0.685

Çizelge 3.13’de de görüldüğü üzere güvenlik sayıları 1’in üzerinde çıktığı için bu yamaç için güvenlidir diyebiliriz.

3.6.4. 4 Nolu Heyelan Bölgesi

Heyelanın olduğu bölge Şekil 3.13’te, 4 numarayla gösterilmiştir. Heyelan sonucunda akan malzeme binalara maddi zarar vermiştir.

Hareketin olduğu alanda ayrıışmış iri taneli kum ve çakıllardan oluşan jeolojik birimler bulunmaktadır. Heyelanın olduğu alandan akan dere ve tam yamaç bitimine yapılan evlerden dolayı topukta meydana gelen kazılar yamacın stabilitesini bozmuş ve aşırı yağışlar sonucunda heyelan meydana gelmiştir.

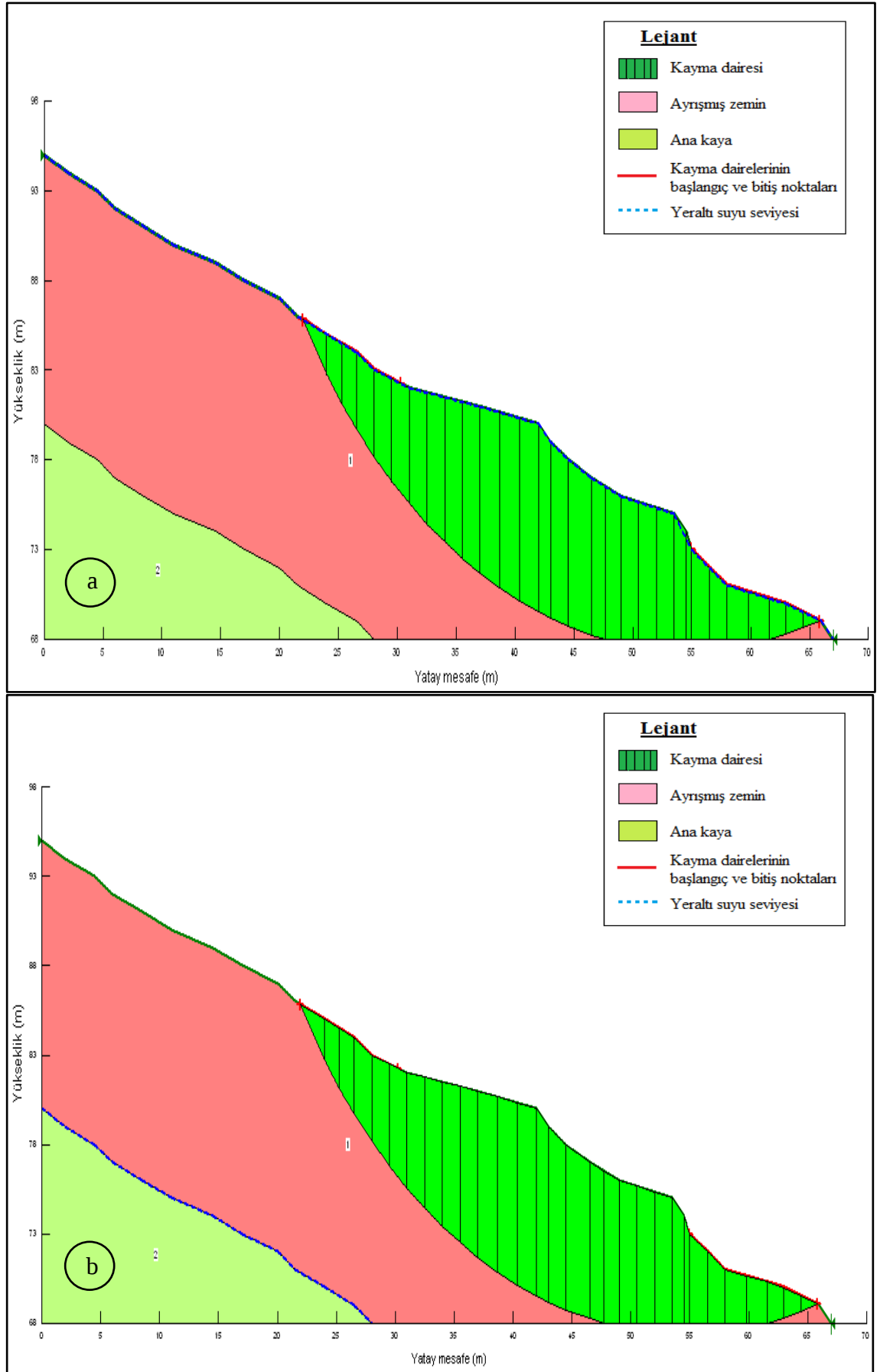
4 nolu heyelan bölgesinden D noktasından D’ noktasına doğru kesit alınmış, bu kesitlere jeolojik birimler işlenmiş ve stabilite hesabı yapılacak 1/500 ölçekli yamaç kesitleri hazırlanmıştır. Bu kesitlerden muhtemel kayma yüzeylerinin başlangıç ve bitiş alanları belirlenmiş ve her biri için 4 farklı limit denge yöntemiyle stabilite hesabı yapılmıştır. Ayrıca yörenin aşırı yağışlı bir bölge olması heyelanların oluşumunu kolaylaştırıcı rol oynamıştır. Yamaç eteklerinde yoğun yerleşimin olması ortaya çıkan kayıpları daha da artırmıştır.

Heyelan bölgelerinde 4 farklı yöntemle hesaplama yapılmıştır. Her bir hesaplama yöntemin için doymuş ve kuru birim hacim ağırlığına göre minimum güvenlik katsayıları bulunmuştur. Bu şekilde en zayıf yüzey belirlemiş oluruz. Kayma dairelerinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenip GEO-SLOPE stabilite programı yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Doymuş ve kuru birim hacim ağırlığı minimum güvenlik katsayıları haricinde 123 tane daha kayma dairesi oluşturulmuştur.

4 nolu heyelan bölgesi için, Bishop yöntemiyle üretilen kayma dairelerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen doymuş birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değeri 2.307 olarak bulunmuştur (Şekil 3.51.). Bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Fakat yağışlarla malzemenin doymuşluğunun sağlanması ve kohezyon ve içsel sürtünme değerlerinin düşmesi, yamacın kaymasına sebep olacaktır. Dolayısıyla bu yamaç için öncelikle drenaj koşullarının sağlanması çok çok önemli bir konudur. Çünkü zeminin doymuşluğunun artması yamaçta hareketi kaçınılmaz kılacaktır.

4 nolu heyelan bölgesinde oluşan heyelanın kayma dairesi derinliğinin 2 m civarında olduğu arazi çalışmaları esnasında ölçülmüştür. Dolayısıyla bu yamaçta gelişebilecek heyelanlar 2,5-3,5 m derinliğe sahip heyelanlar olacaktır. Bu durum da yüzey drenajının ve yoğun bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisinin çok fazla olduğunu göstermektedir. 4 nolu heyelanın yatay mesafesi 24 m olarak ölçülmüştür.

Maksimum kayma yüzeyi derinliği 11 metreye kadar inmekte, yatay mesafesi de 31 m civarındadır. Böyle bir kayma dairesinin kuru birim hacim ağırlığına göre minimum güvenlik katsayısı değeri de 2.880 olarak bulunmuştur (Şekil 3.51.).



Şekil 3.51. 4 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Fellenius yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doymuş ve kuru birim hacim ağırlıklarına göre minimum güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.52.).

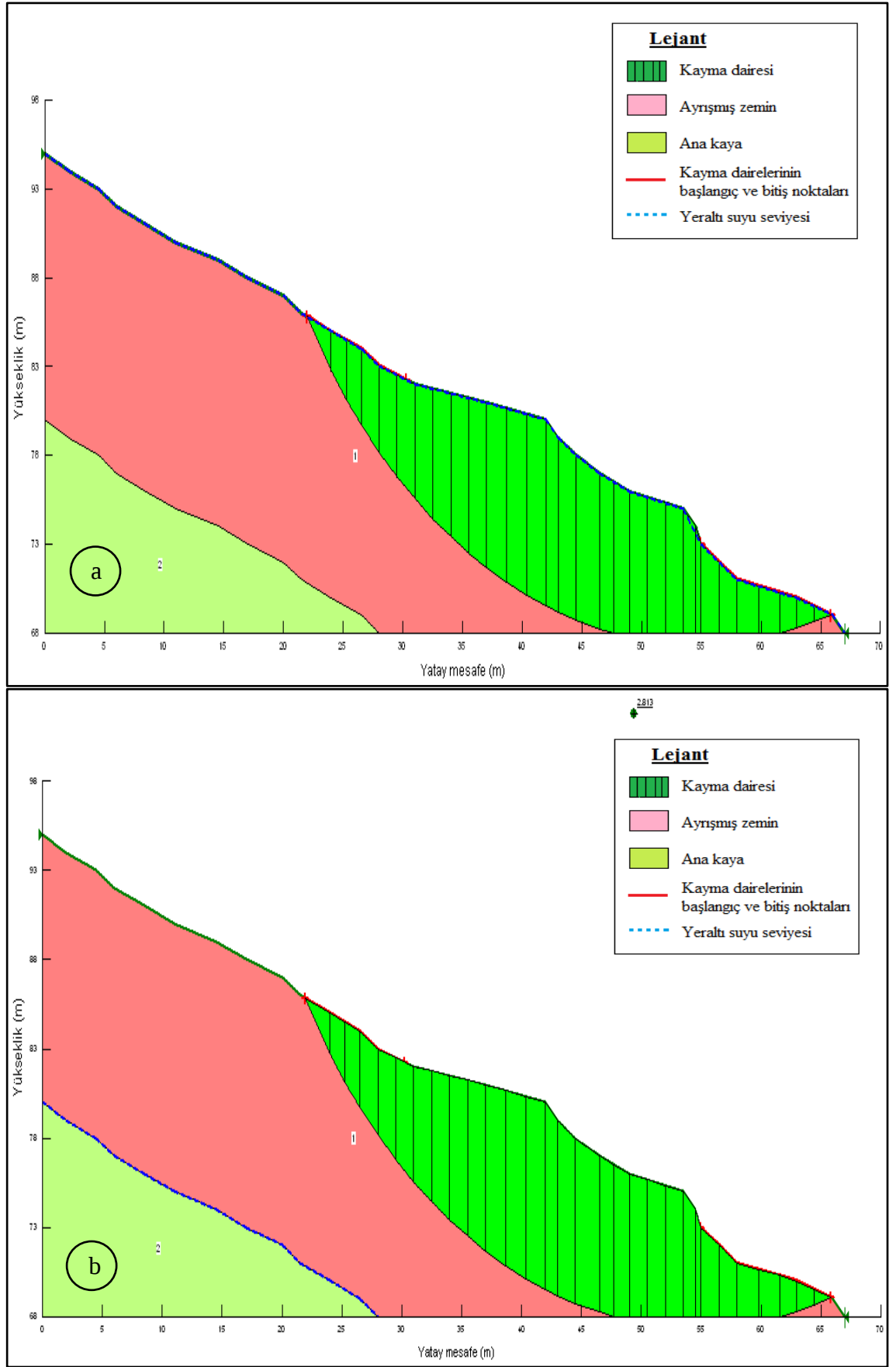
Doygun birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değeri 2.238 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2 m, yatay mesafesi ise 25 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre minimum güvenlik katsayısı değeri de 2.813 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 7,5 m derinlik ve 23,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

Janbu yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve minimum güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.53.).

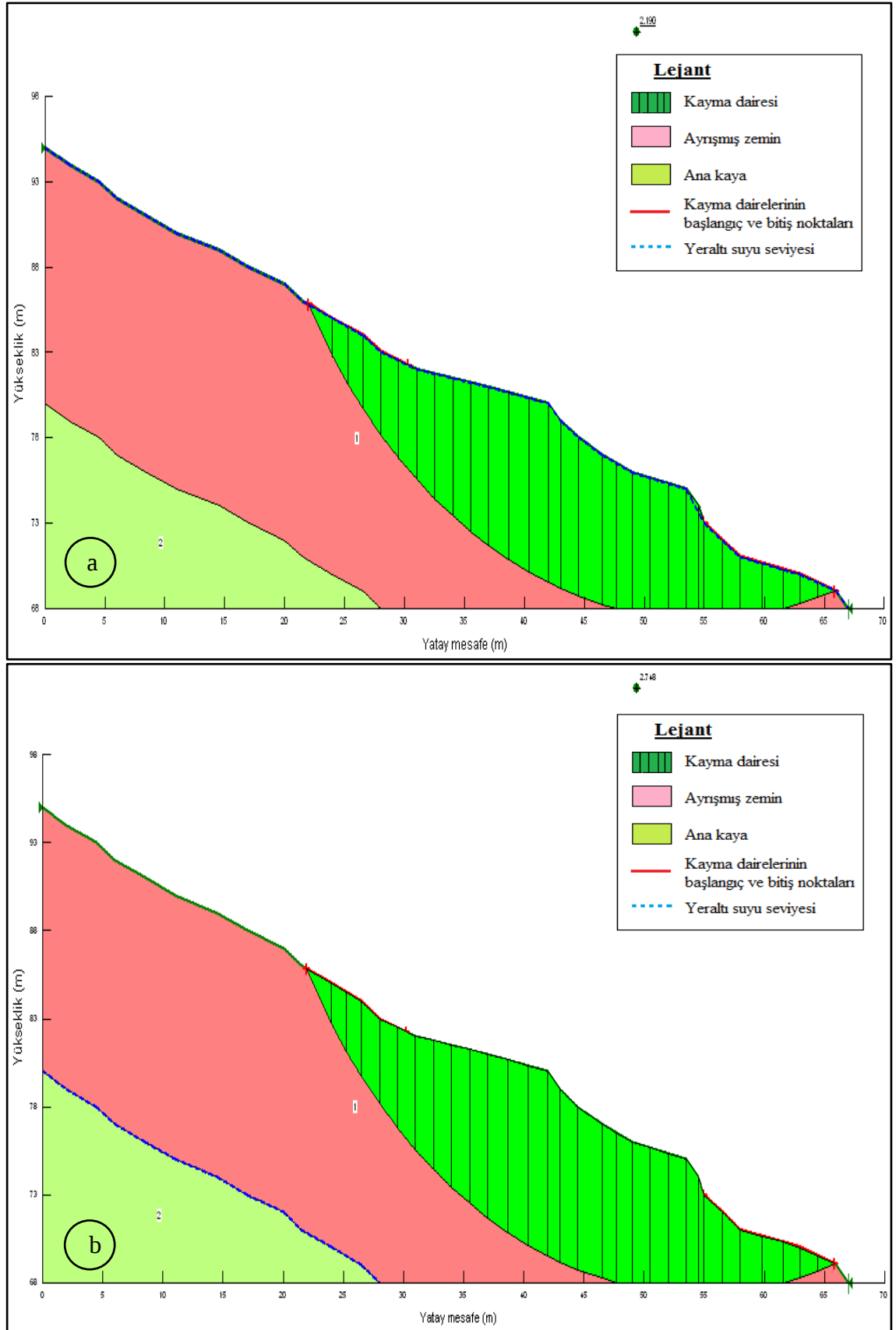
Doygun birim hacim ağırlığına göre hesaplanan en küçük güvenlik katsayısı değeri 2.190 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2 m, yatay mesafesi ise 25 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre hesaplanan güvenlik katsayısı değeri de 2.748 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 7,5 m derinlik ve 23 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

Morgenstern-Price yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve en küçük güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.54.).

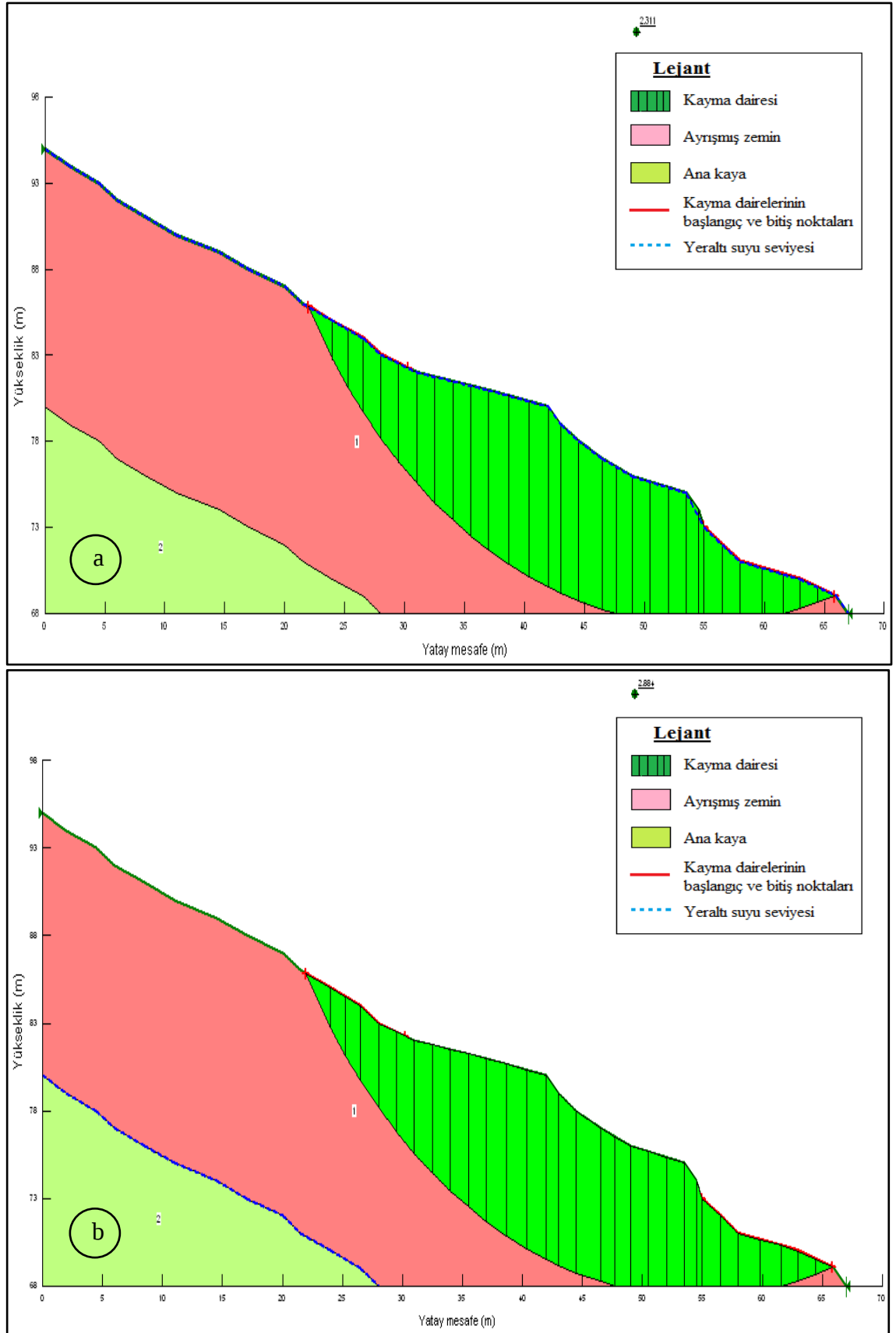
Doygun birim hacim ağırlığına göre hesaplanan en küçük güvenlik katsayısı değeri 2.311 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Kayma dairesinin derinliği 2,5 m, yatay mesafesi ise 25 m olduğu tespit edilmiştir. En büyük güvenlik katsayısı değeri de 1,384 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 12 m derinlik ve 31,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.



Şekil 3.52. 4 nolu heyelan bölgesinde Fellenius yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre



Şekil 3.53. 4 nolu heyelan bölgesinde Janbu yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre



Şekil 3.54. 4 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Bu alanın 1/500 ölçekli boy kesiti çıkarılmış ve 0,75 m dilimlere ayrılarak kayma yüzeyleri çizilmiştir. Aşağıdaki tabloda güvenlik sayıları 4 farklı metot ile belirlenmiştir (Çizelge 3.14.).

Çizelge 3.14. Heyelan 4 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları

Yöntem	Kuru birim hacim ağırlığına göre	Doygun birim hacim ağırlığına göre
Fellenius	2.813	2.238
Bishop	2.880	2.307
Janbu	2.748	2.190
Morgenstern-Price	2.884	2.311

Çizelge 3.14'te görüldüğü gibi güvenlik sayısı 1'in üstünde çıktığından bu yamaç güvenlidir. Fakat tekrar aşırı yağışların etkili olmasıyla tehlikeli olacaktır.

3.6.5. 5 Nolu Heyelan Bölgesi

Yamaçta en etkili olan heyelandır. Şekil 3.13'te 5 numarayla gösterilmiştir. Yamacın hemen altındaki binalarda maddi hasar meydana gelmiştir. Heyelan, hemen altındaki binayı ters çevirmiştir (Şekil 3.55.).



Şekil 3.55. Heyelan 5'in zarar verdiği ev

Hareketin oluştuğu alanda iri taneli kum ve çakıllardan oluşan jeolojik birimler bulunmaktadır. Heyelanın oluştuğu alandan akan dere ve tam yamaç bitimine yapılan evlerden dolayı topukta meydana gelen kazılar yamacın stabilitesini bozmuş ve heyelan meydana gelmiştir.

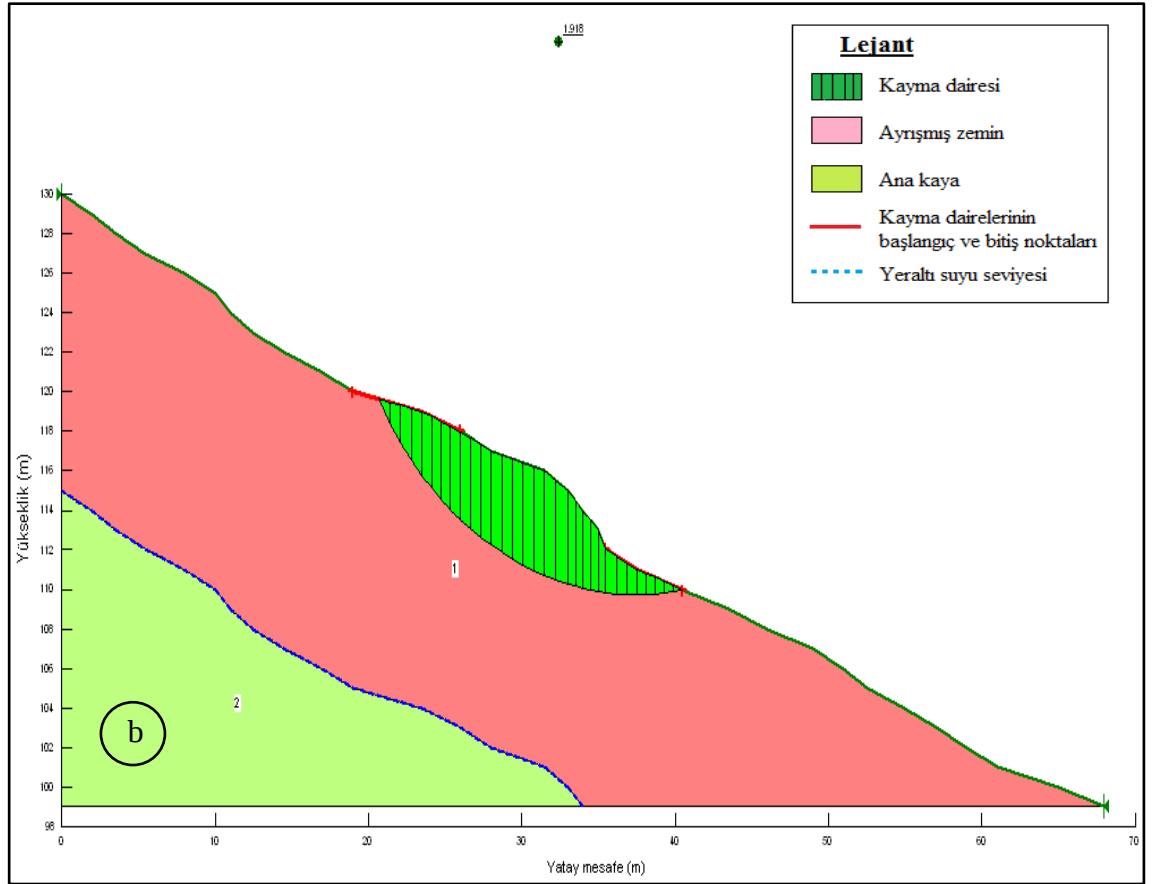
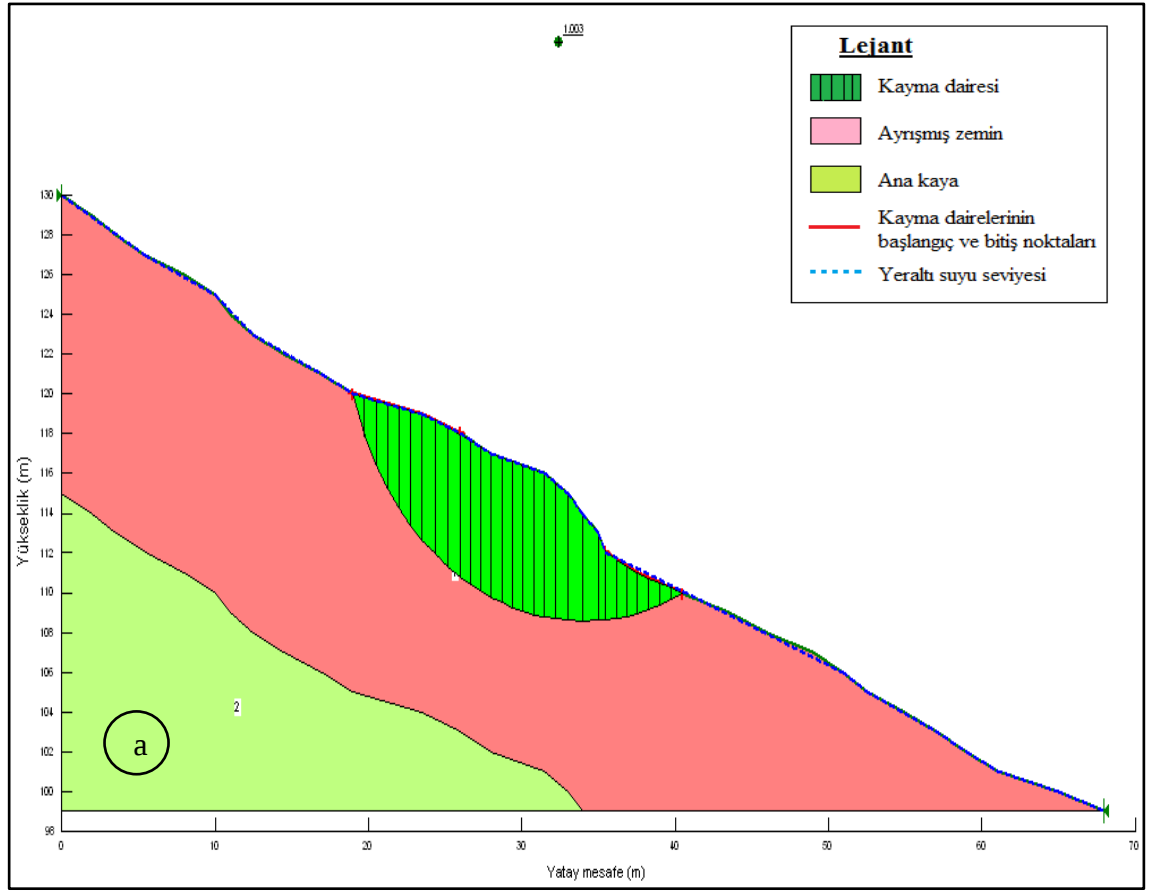
5 nolu heyelan bölgesinden E noktasından E' noktasına doğru kesit alınmış, bu kesitlere jeolojik birimler işlenmiş ve stabilite hesabı yapılacak 1/500 ölçekli yamaç kesitleri hazırlanmıştır. Bu kesitlerden muhtemel kayma yüzeylerinin başlangıç ve bitiş alanları belirlenmiş ve her biri için 4 farklı limit denge yöntemiyle stabilite hesabı yapılmıştır. Ayrıca yörenin aşırı yağışlı bir bölge olması heyelanların oluşumunu kolaylaştırıcı rol oynamıştır. Yamaç eteklerinde yoğun yerleşimin olması ortaya çıkan kayıpları daha da artırmıştır.

Heyelan bölgelerinde 4 farklı yöntemle hesaplama yapılmıştır. Her bir hesaplama yönteminin doğgun ve kuru birim hacim ağırlıklarına göre minimum güvenlik katsayıları bulunmuştur. Bu şekilde en zayıf yüzeyleri belirlemiş oluruz. Kayma dairelerinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenip GEO-SLOPE stabilite programı yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Minimum güvenlik katsayıları haricinde 123 tane daha kayma dairesi oluşturulmuştur.

5 nolu heyelan bölgesi için, Bishop yöntemiyle üretilen kayma dairelerine göre yapılan hesaplamalar sonucunda doğgun birim hacim ağırlığına göre elde edilen en küçük güvenlik katsayısı değeri 1.003 olarak bulunmuştur (şekil 3.56.). Bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Yine de yağışlarla malzemenin doğgunluğunun sağlanması ve kohezyon ve içsel sürtünme değerlerinin düşmesi, yamacın kaymasına sebep olacaktır.

Çalışma alanında meydana gelen heyelanlara bakıldığında heyelanların sığ heyelanlar olduğu tespit edilmiştir. Bu yamaç içinde yapılan stabilite hesaplarında en küçük güvenlik katsayısı değerini veren kayma dairesinin derinliği 2,5 m, yatay mesafe 25 m olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla bu yamaçta gelişebilecek heyelanlar 2-3 m derinliğe sahip heyelanlar olacaktır. Bu durum da yüzey drenajının ve yoğun bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisinin çok fazla olduğunu göstermektedir.

Maksimum kayma yüzeyi derinliği 12,5 metreye kadar inmekte, yatay mesafesi de 39,5 m civarındadır. Böyle bir kayma dairesinin kuru birim hacim ağırlığına göre minimum güvenlik katsayısı değer de 1.918 olarak bulunmuştur (şekil 3.56.).



Şekil 3.56. 5 nolu heyelan bölgesinde Bishop yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Fellenius yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre en küçük güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.57.).

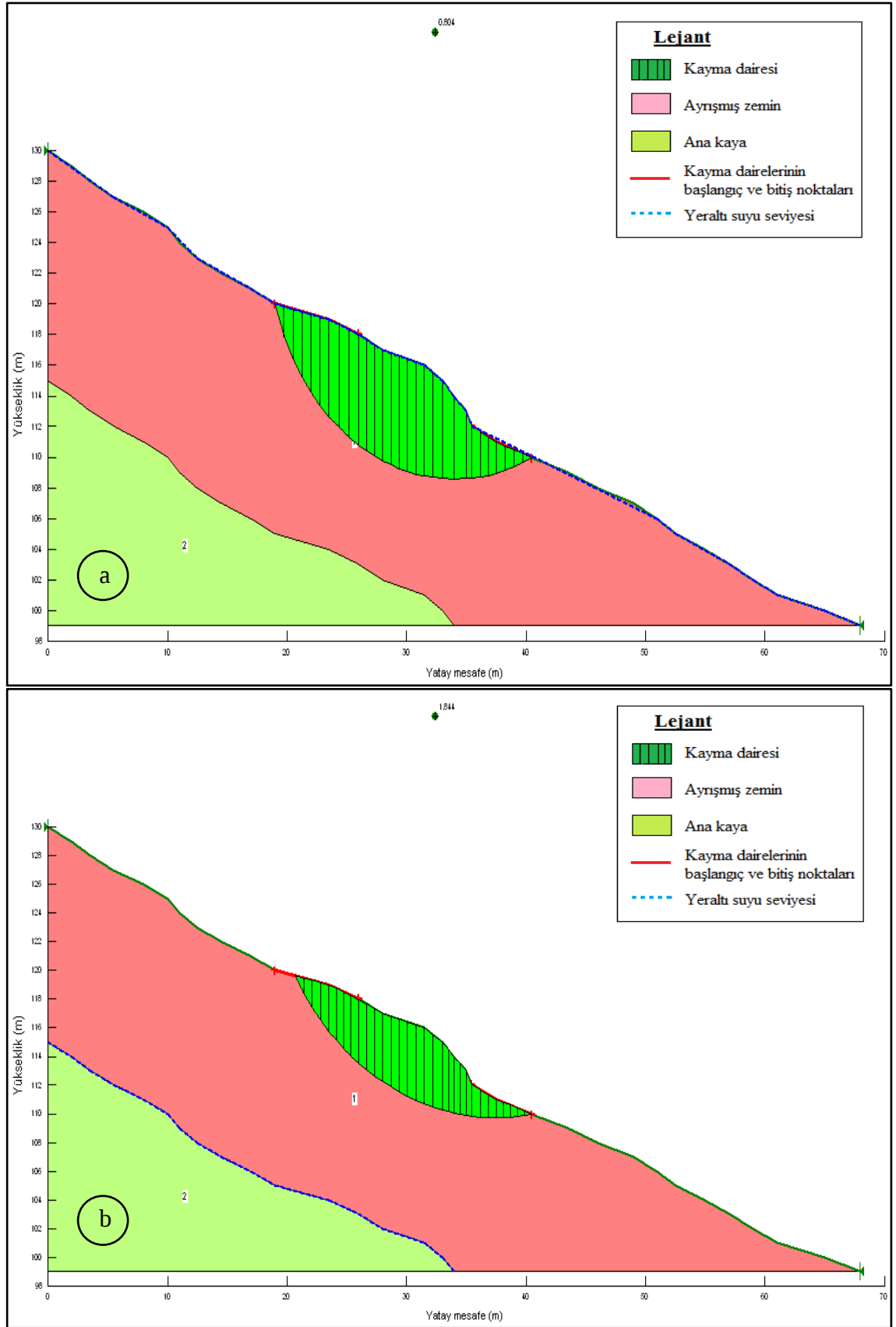
Doygun birim hacim ağırlığına göre en küçük güvenlik katsayısı değeri 0.804 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Kayma dairesinin derinliği 4,5 m, yatay mesafesi ise 37 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre minimum güvenlik katsayısı değeri de 1.844 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 12,5 m derinlik ve 40 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

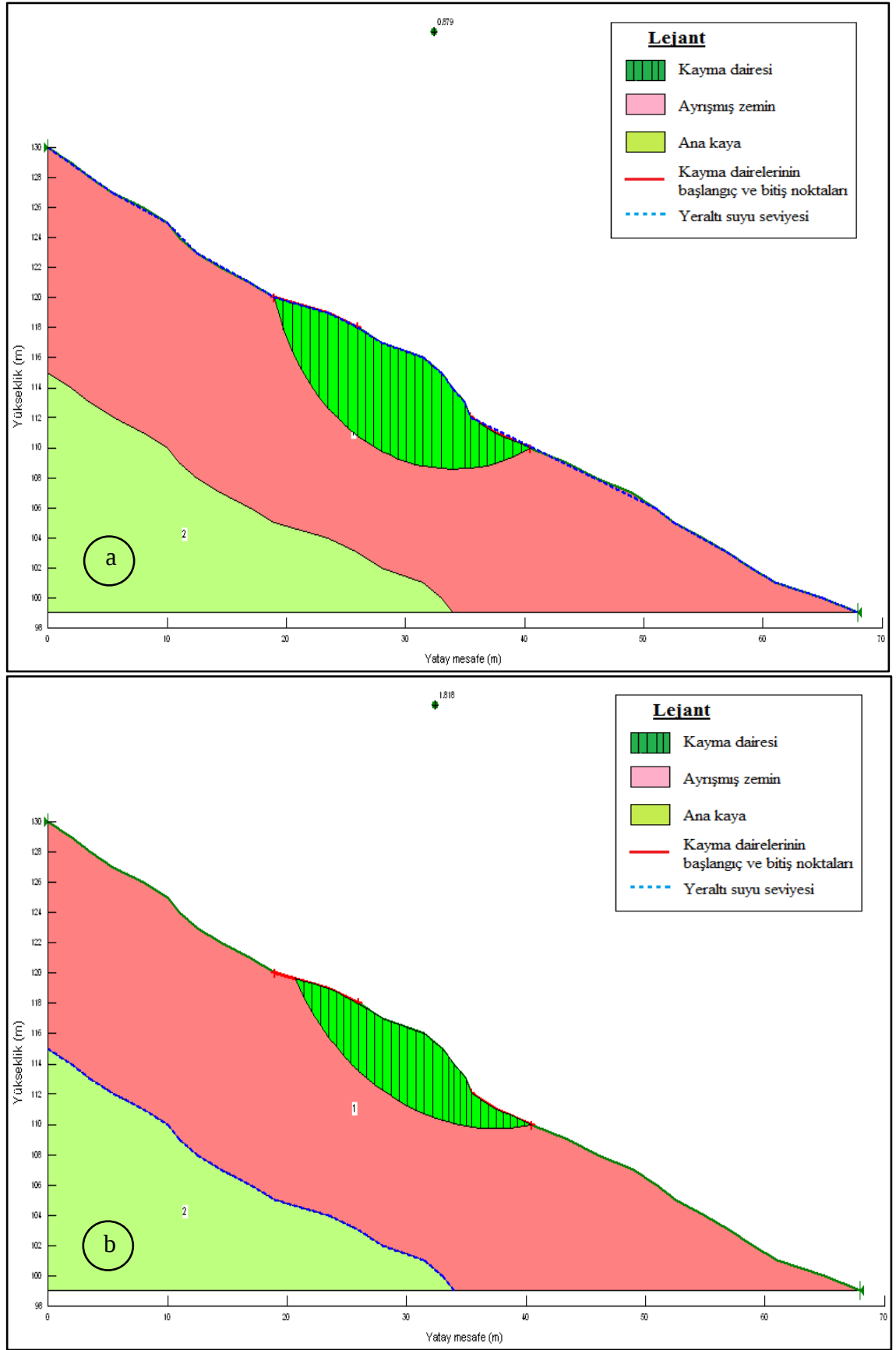
Janbu yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre en küçük güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.58.).

Doygun birim hacim ağırlığına göre en küçük güvenlik katsayısı değeri 0.879 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Kayma dairesinin derinliği 4,5 m, yatay mesafesi ise 36,5 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre minimum güvenlik katsayısı değeri de 1.818 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 40 m derinlik ve 36,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.

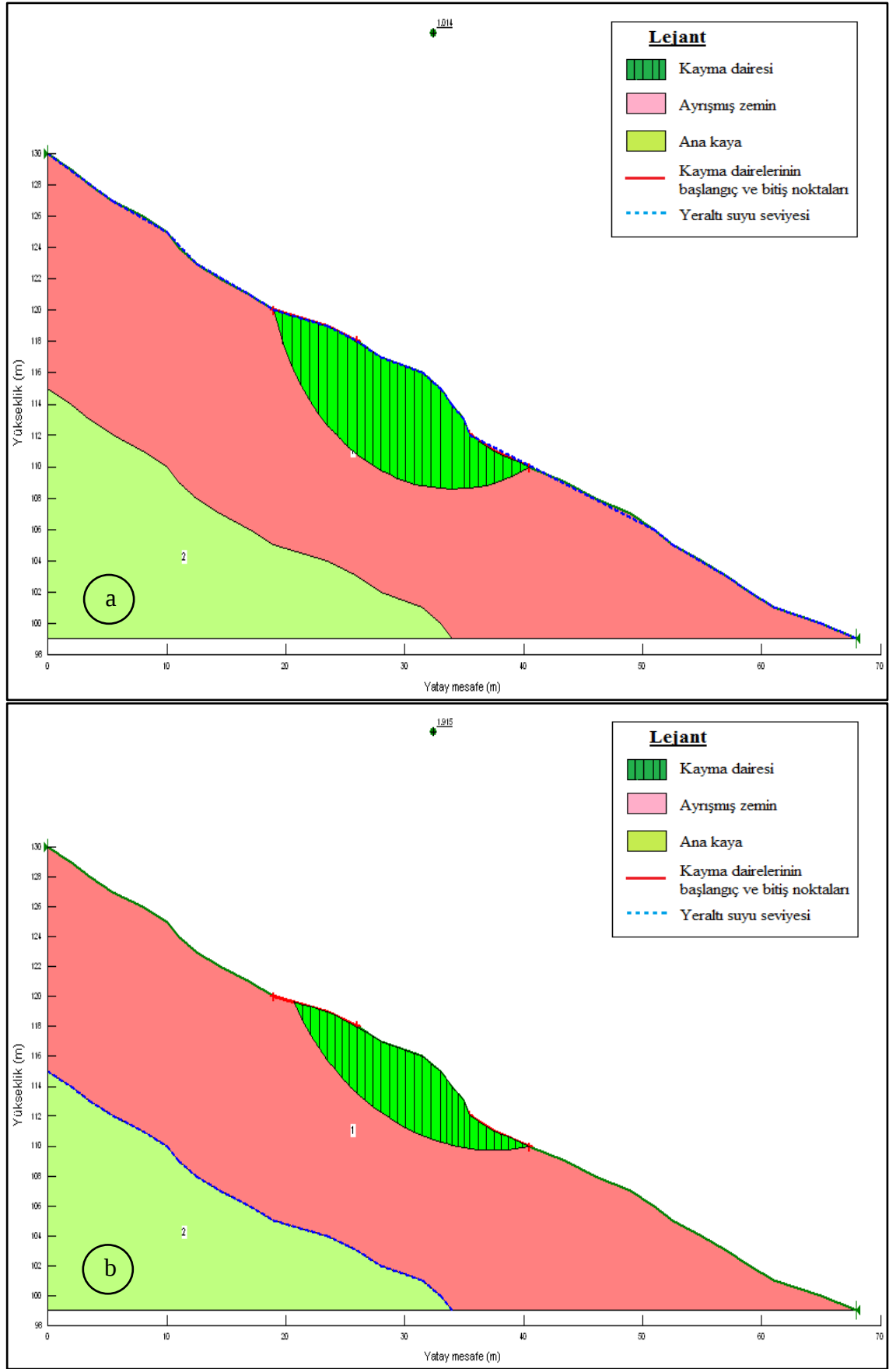
Morgenstern-Price yöntemine göre aynı şeve ait hesaplamalar yapılmış ve doygun ve kuru birim hacim ağırlığına göre en küçük güvenlik katsayısı değerini veren kayma daireleri belirlenmiştir (Şekil 3.59.).

Doygun birim hacim ağırlığına göre hesaplanan minimum güvenlik katsayısı değeri 1.014 olarak bulunmuş ve bu değer bize yamacın stabilite de olduğunu gösterir. Kayma dairesinin derinliği 4,5 m, yatay mesafesi ise 37 m olduğu tespit edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlığına göre minimum güvenlik katsayısı değeri de 1.915 olarak bulunmuş ve kayma dairesinin 12 m derinlik ve 39,5 m yatay uzunluğunun olabileceği ortaya konulmuştur.





Şekil 3.58. 5 nolu heyelan bölgesinde Janbu yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doymun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre



Şekil 3.59. 5 nolu heyelan bölgesinde Morgenstern-Price yöntemine göre stabilite hesapları yapılan kesitler a: doygun ağırlığa göre, b: kuru ağırlığa göre

Bu alanın 1/500 ölçekli boy kesiti çıkarılmış ve 0, 75 m dilimlere ayrılarak kayma yüzeyleri çizilmiştir. Aşağıdaki tabloda güvenlik sayıları 4 farklı metot ile belirlenmiştir (Çizelge 3.15.).

Çizelge 3.15. Heyelan 5 için kayma yüzeylerine göre hesaplanan minimum güvenlik sayıları

Yöntem	Kuru birim hacim ağırlığına göre	Doygun birim hacim ağırlığına göre
Fellenius	1.844	0.804
Bishop	1.918	1.003
Janbu	1.818	0.879
Morgenstern-Price	1.915	1.014

Tüm yöntemler için güvenlik sayısı yaklaşık olarak 1'in üstünde çıkmasından dolayı yamaç güvenlidir. Fakat aşırı yağışlar küçük çatlakların arasını dolduracak ve eğimin etkisiyle tekrar faaliyete geçecektir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Rize ili Gündoğdu Beldesinde 2010 yılında meydana gelen ve 14 kişinin ölümüne, 3 bina çökmesine, 50 evin boşaltılmasına, 400' e yakın aracın sel suları altında kalmasına yol açan heyelanlarla ilgili detaylı bir jeolojik – jeoteknik araştırma yapılmıştır. Çalışmada arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan inceleme, araştırma ve değerlendirmeler sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Gündoğdu (Rize) yöresinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve inceleme alanı içerisinde litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru; Melyat Formasyonu (Orta Eosen) ve Alüvyonlar (Kuvaterner) olarak ayırtlanmıştır. Yörede meydana gelen heyelanların Melyat Formasyonu içinde yer alan andezitik ve bazaltik lav, tuf, breş ve aglomeralı birimlerde meydana geldiği tespit edilmiştir.

2. Çalışma alanında, 26.08.2010 yılında aşırı yağışlar sonucunda gerçekleşen heyelan ve sel baskınları sonucunda 14 kişi yaşamını yitirmiştir. Rize'ye, 24-25 Ağustos günleri m^2 ye 24 saatte 218 kg yağış düşmüştür. Felaketin meydana geldiği gün suya doymuş olan zemin, 26 Ağustos Perşembe günü kısa bir süredeki aşırı yağışlarla birlikte doygunluğu daha da artmış, zemin mukavemetini kaybetmiş ve bunun sonucunda da heyelanlar meydana gelmiştir.

3. Hava fotoğrafları, digital fotogrametri teknikleriyle değerlendirilerek, heyelanın meydana geldiği bölgeler tespit edilmiştir.

4. İnceleme alanında 5 farklı heyelan bölgesi tespit edilmiş ve bu bölgeleri kapsayan heyelan analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu amaca yönelik her bir heyelan bölgesinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmış ve elde edilen verilere göre stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir.

5. Stabilite analiz hesapları yapılmıştır. Referans olarak güvenlik katsayısı 1 alınmış ve değerlendirmeler buna göre yapılmıştır. Bunun sonucunda 5 heyelan için de güvenlidir denilebilir. Fakat heyelan noktaları hala risk oluşturmaktadır.

Yapılan stabilite analizlerine göre 1 nolu heyelan bölgesinde güvenlik katsayısı değerinin 4 farklı yöntemde de 0,62 civarında olduğu bulunmuştur. Bu değer de yamaçların duraylı olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla bu yamaçta ilerleyen zaman dilimlerinde yine böyle bir yağış şartlarında heyelanların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu durumda yamaç için ivedi olarak önlemlerin alınması oluşacak heyelanları engelleyecektir.

2 nolu heyelan bölgesi için güvenlik katsayısı değerlerinin 1,18 civarında olduğu yapılan hesaplamalarla tespit edilmiştir. Bu yamacın duraylı olduğunu göstermektedir. Fakat değer 1'e yakın olduğu için yamacın stabilitesini bozacak faaliyetlerden kaçınılması gerekmektedir. Özellikle drenaj kanallarının açılması ve gelişi güzel kazılardan kaçınmak çok önemlidir.

3 nolu heyelan bölgesi için hesaplanan minimum güvenlik sayısı 1,17 olarak bulunmuştur. Bu değerde her an 1'in altına inebilir ve yamaç dengesini kaybedebilir. Dolayısıyla bu yamaçta da yüzey drenajı, gelişi güzel kazı ve bilinçsiz yapılaşmadan kaçınılması son derece önemlidir.

4 nolu heyelan bölgesi de yine güvenlik katsayısı 1'in altında çıkan bir yamaçtır. Güvenlik katsayısı değeri 0,77 civarında bulunmuştur. Yamaç dengede değildir, ancak şuan itibariyle gerek yağış gerekse zemin doygunluğu sağlanmadığı için herhangi bir hareket gözlenmemektedir. Ancak daha önce de ifade edildiği gibi yağış koşullarının tekrarlanması durumunda heyelan kaçınılmaz olacaktır.

5 nolu heyelan bölgesinde ise güvenlik katsayısı değeri farklı yöntemlere göre 1,12-1,15 arasında bulunmuştur. Bu değer şu an için güvenli olsa da, heyelanı tetikleyecek unsurların oluşmaması için önlemlerin alınması büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak bakıldığında stabilitesi hesaplanan yamaçlar ya güvenli değil ya da sınır değere yakın katsayı değerleri vermiştir. Dolayısıyla bu yamaçlarda her an heyelanların oluşması muhtemeldir. Heyelanların meydana gelmemesi ve can-mal kayıplarına sebep olmaması için başta drenaj koşullarının çok iyi sağlanması, bilinçsiz kazılar ve yapı faaliyetlerinden kaçınılması çok önemlidir.

5. ÖNERİLER

1. Heyelan kaynaklı can ve mal kayıplarını en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için heyelan duyarlılık haritaları üretilmeli, heyelan stabilite analizleri yapılmalıdır. Bu hesaplamaları yapmak için jeolojik, jeomorfolojik, jeoteknik, topoğrafik ve meteorolojik veriler gereklidir. Bu verilerin, bir veri tabanıyla bir yerde toplanması hem maliyeti azaltır hem de bize zaman kazandırır.

2. Günümüzde nüfustaki hızla artışa bağlı olarak, mevcut yerleşim yerlerindeki hızlı büyüme, yeni yerleşim alanları ihtiyacını artırmıştır. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi'nde dağlık alanların fazlalığı, yeni yerleşim alanları bulma gibi sıkıntılara yol açmaktadır. Rize ilinde yağışın yanı sıra, yeterli inceleme yapılmadan ve tedbir alınmadan heyelanlı ve heyelana duyarlı alanların yerleşime açılması, bitki örtüsünün yok edilmesi gibi insan kaynaklı sebeplerden dolayı heyelan riski her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla Rize ilinde özellikle kırsal alanlarda yapılaşma yapılırken çok iyi mühendislik çalışmasının yapılması gerekmektedir. Bilinçsiz bir şekilde yapılan yerleşim yerleri yamaç stabilitesini olumsuz etkilemekte, yamaç yükünün artması da heyelanlara davetiye çıkarmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesi için plansız programsız yapılaşmadan kaçınılmalıdır.

3. Bölgenin en önemli geçim kaynağı çay üretimidir. Bölgede üreticilerin çaylık alanların yanlarına evlerini yapmaları, yollar açmaları heyelana davetiye çıkarmaktadır. Bu yapılaşma toprak yükünün daha da artmasına yol açmaktadır. Çaylık alanların gelişigüzel yapılması, doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi, arazinin eğimli olması can ve mal kaybını arttırmaktadır. Çay bahçeleri yapılırken çok sık ekilmemeli ve gerekli drenaj kanalları açılmalıdır.

4. Rize ili Türkiye'nin en fazla yağış alan ilidir. Dolayısıyla zemin özelliklerine bağlı olarak malzemenin su içeriği çok fazladır. Aşırı yağış dönemlerinde zemindeki su içeriği limit dengenin çok fazla üzerine çıktığından dolayı heyelanlar kaçınılmaz olmaktadır. Rize yöresinde bu kadar fazla heyelan olmasının ana unsurlarından birisi bu olaydır. Dolayısıyla bu yörede özellikle yerleşim alanlarını tehdit edebilecek çevrede çok iyi drenaj çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Drenajın yapılması, hem yüzeysel akışı sağlayacak hem de yeraltına süzülmeyi azaltarak zeminin su içeriğini makul seviyelere indirecektir.

5. Jeolojik malzemenin ayrışma durumu yöredeki heyelan oluşumunda bir diğer faktördür. Ayrışmış malzeme mukavemet açısından zayıflamıştır. Bu alanlarda yapılacak kazılar ve yapılar stabiliteyi olumsuz etkileyecektir. Bu nedenle yapılacak kazılar stabilite analiz sonuçlarına göre, şevlerin eğim açıları ve yükseklikleri belirlenerek yapılmalıdır.

6. Atık sularının gelişigüzel araziye bırakılmaması gerekir. Bunun sonucunda, malzemenin aşırı doygunluğa ulaşması ile akışa geçmesi kolaylaşmaktadır. Yerleşim alanlarında atık sular kanalizasyon sistemine bağlanmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Aksoy, G., 2011. Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akgün, A., 2007. Ayvalık ve Yakın Çevresinin Erozyon ve Heyelan Duyarlılığının Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Akgün, A., ve Bulut, F., 2007. GIS-Based Landslide Susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) Region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S. ve Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R., 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives, *Bulletin Eng. Geology and Env.*, 58, 21-44.
- Anderson, M.G ve Richards, K.S. (eds), 1987. *Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology*, Wiley&Sons, New York, 648 p.
- ASTM D3080-90, 1990. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Condition, ASTM, Philadelphia.
- Ataoglu, E., 1993. Bağışlı Köyü (Maçka) ve Çevresindeki Yamaçların Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Atterberg, A., 1911. Über die Physikalische Bodenuntersuchung, and über die Plastizität der Tone, *Internationale Mitteilungen für Bodenkunde*, Vol. 1, pp. 10-43, Berlin.
- Aytekin, M., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi ve Heyelanlar. *Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Potansiyeli Sempozyumu Özler Kitabı*, Trabzon, 70-72.
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2014.
- Bishop, A.W., 1955, The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of the Slopes, *Geotechnique*, Vol 5, 7-17.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. ve Reichenbach, P., 1991. GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surf. Proc. & Landf.*, 16, 427-445.
- Chowdhury, R.N., 1978 *Slope Analysis*, Elsevier, 22.
- Chung C.F., A.G. Fabbri ve C.J. van Westen, 1995. Multivariate Regression Analysis for Landslide Hazard Zonation, *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* (A. Carrara and F. Guzzetti, Editors), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 107-133.

- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 31s.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Ngai, Y.Y., 2002. Landslide Risk Assessment and Management: An Overview. Engineering Geology, 64, 65-87.
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi – Yenice Kuzeyi) Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 203 s. (yayınlanmamış).
- Ergünay, O., 2008. Jeofizik Mühendisi, Afet İşleri Eski Genel Müdürü Gazi Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi.
- Fredlund, D. G., ve Krahn, J., 1977. “Comparison of slope stability methods of analysis.” Can. Geotech. J. , Ottawa, 14(3), 429–439.
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S., 1992. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında (Doğu Karadeniz) Yer Alan Mağmatik Kayaçların Petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki Bölgesel Dağılımları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 15-38. MTA, 1986.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., 1996. Landslide Susceptibility Mapping of the Slopes in the Residual Soils of the Mengen Region (Turkey) by Deterministic Stability Analyses and Image Processing Techniques, Engineering Geology, 44, 147-161.
- Hansen, A., 1984. Landslide Hazard Analysis, In: Slope Instability, Brunsden, D., ve Prior, D. B., (Editors), Wiley & Sons, New York, 523-602.
- Hartlen, J. ve Viberg, L.G., 1988. General Report: Evaluation of Landslide Hazard, Proceeding 5th International Symposium on Landslides, lausanne, Switzerland, 2, 1037-1057, 720-730.
- Korkmaz, S., Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Petrol Oluşumları, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 32-33, s.5-15, Ankara.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2010, 1970-2010 yağış verileri, Ankara.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2010, 1960-2012 sıcaklık ve yağış verileri, Ankara
- Morgenstern, N. R. ve Price, V. E. (1965), “The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces”, Geotechnique, 15 pp, 70-93.
- MTA, 1986, Türkiye Stratigrafi Komitesi, Stratigrafi Sınıflama ve Adlama Kuralları, Ankara.
- Nash, D., Slope Stability, Anderson, M.G., Richards, K.S., 1987, First Edition, John Wiley & Sons Ltd., Great Britain.
- Önalp, A., 1980, Doğu Karadeniz Heyelanları: Tanımlanması-Analizi, Araştırma Raporu, TUBİTAK, M-441.

- Önalp, A., 1991, Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanları – Nedenleri, Analizi ve Kontrolü, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 85-95.
- Reis, S., Bayrak, T., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Ekercin, S., Sancar, C. ve Erduran, M., 2009, Rize İline (TR904) Ait Heyelan Risk Bölgeleri ve Uygun Yerleşim Alanlarının Coğrafi Bilgi Teknolojileri İle Belirlenmesi, Proje, TUBİTAK, 106Y018.
- Shusters, R.L., ve Fleming, R.W., 1986. Economic Losses and Fatalities Due to Landslides, Buletin of Association of Engineering Geologists, 23,1,11-28.
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Jeolojik Etüt Raporu, 2010, Rize Gündoğdu’da 26 Ağustos 2010 tarihinde meydana gelen heyelan raporu, Ankara.
- Tarhan, F., 1991, Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarına Genel Bir Bakış, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 38-63.
- TS 1500, İnşaat Mühendisliği Zemin Laboratuar Deneyleri, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Aralık 2000.
- TS 1900, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Nisan 1987.
- Turna, T., 2011. Doğu Karadeniz Bölgesinde Heyelan Nedenleri. Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelan ve Taşkınları Sempozyumu. Trabzon.
- URL 1, <http://www.gundogdu.bel.tr/Default.aspx?sayfa=sayfadetay&id=32>, Gündoğdu Belediyesi resmi internet sitesi, Gündoğdu hakkında coğrafi bilgiler, 15.03.2014.
- URL 2, http://www.rize.gov.tr/default_b0.aspx?content=122, Rize Valiliği resmi internet sitesi, Rize’nin coğrafi yapısı, 15.03.2014.
- URL 3, http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/799793ede7aab11_ek.pdf, Jeoloji Mühendisleri Odası resmi internet sitesi, Rize ili Gündoğdu beldesinde meydana gelen afet olayıyla ilgili TMMBO raporu, 15.03.2014.
- URL 4, www.mavijeoteknik.com/files/janbu.ppt, Dünder, E., mavijeoteknik, 15.03.2014.
- Uzuner, B., 2005. Temel Zemin Mekaniği, 8. Basım, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Varnes, D. J., 1978. Slope Movement Types And Processes. In Landslides: Analysis And Control. Edited by R. L. Schuster And R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy Of Science, Washington. Special Report 176, Chapter 2, 11-33.
- Yalçın, A., 2000. Kanlıca (Giresun-Yağlıdere) heyelanı ve çevresindeki yamaçların mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Yılmaz, B.S., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları, MTA. Raporu, Ankara.
- Yılmaz, S., 2011. Rize İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. Doğu Karadeniz Bölgesi Taşkınları ve Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Sözlü Sunum.
- Zezere, J.L., Ferreira, A.B. ve Rodrigues, M.L., 1999. Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering Factors. Physical and Chemical Earth /A), 24,10 925-934.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Samet REİS

Doğum Yılı : 08.01.1988

Eğitim Bilgileri

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik
Fakültesi Jeoloji Mühendisliği, 2011

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, 2014

İletişim Bilgileri

Adres : Ereğlikapı Mahallesi 1422. Sok. Aslan Apartmanı B blok daire 6
AKSARAY

Telefon : 5077844079

E-posta : smtreis61@gmail.com