

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞAHİNEFENDİ (NEVŞEHİR) VE YAKIN ÇEVRESİNİ
ETKİLEYEN KAYA DÜŞMELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Reşide BUZ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞAHİNEFENDİ (NEVŞEHİR) VE YAKIN ÇEVRESİNİ
ETKİLEYEN KAYA DÜŞMELERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Reşide BUZ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. İsmail DİNÇER danışmanlığında Reşide BUZ tarafından hazırlanan “Şahinefendi (Nevşehir) ve Yakın Çevresini Etkileyen Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

13/06/2019

JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Müge AKIN

Üye : Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Üye : Dr. Öğr. Ü. Ahmet ORHAN

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun..~~26.06.2019~~.....tarih ve..~~39.359~~.... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

20.
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm

Reşide BUZ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Doç. Dr. İsmail DİNÇER'e,

Ayrıca, tez jürimde yer alarak katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Müge AKIN ve Dr. Öğr. Ü. Ahmet ORHAN'a,

Desteklerinden dolayı Jeoloji Mühendisliği bölümü öğretim elemanları Doç. Dr. Mutluhan AKIN'a, Doç. Dr. Feyza DİNÇER'e, Dr. Öğr. Ü. Ayşe ORHAN'a ve Araş. Gör. Mehmet Yasin CANBOLAT'a

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini esirgemeyen değerli AİLEME,

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na, Jeoloji Bölüm Başkanlığı'na ve Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederim.

ŞAHİNEFENDİ (NEVŞEHİR) VE YAKIN ÇEVRESİNİ ETKİLEYEN KAYA DÜŞMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Reşide BUZ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Kapadokya bölgesinde tarihi, kültürel ve doğal miraslar da olduğu gibi birçok yerleşim yeri de kaya düşmelerinden etkilenmektedir. Bu durum sosyal hayatı olumsuz bir şekilde etkileyebilmektedir. Bundan dolayı kaya düşmelerinde süreci etkileyen parametrelerin ve oluş mekanizmalarının belirlenmesi bölgenin en önemli mühendislik jeolojisi sorunlarından biridir. Bu çalışmanın amacı Ürgüp ilçesinin Şahinefendi köyünde meydana gelen kaya düşmelerinin değerlendirilmesidir. Çalışma alanının mühendislik jeolojisi karakteristiklerini belirlemek için bir dizi laboratuvar ve arazi çalışması gerçekleştirilmiş olup, bu kapsamda arazi testleri, süreksizlik tanımlamaları, şev geometrisinin belirlenmesi ve haritalama çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra ilgili yazılımlar kullanılarak kinematik ve 7 farklı kesit üzerinde Rocfall 6.0 yazılımı kullanılarak 2-boyutlu kaya düşme analizleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlardan elde edilen durma mesafelerine göre Kaymaklı yolu ve yola yakın olan altı adet yığma yapı olası kaya düşmelerinin tehdidi altındadır. Çalışma alanında daha önceden açılan iki adet hendek bulunmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda iki hendeğin kendilerinden beklenen performansı yerine getiremediği ortaya koyulmuş olup, hendeklerin olası kaya düşmelerini önleyebilmesi için iyileştirilmesinin gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler : *Kaya düşmesi, ignimbirit, Şahinefendi, Kapadokya, hendek*
Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail DİNÇER
Sayfa Adedi : 97

EVALUATION OF ROCK FALLS AFFECTING THE ŞAHINEFENDİ (NEVSEHIR) AND ITS CLOSE VICINITY

(M. Sc. Thesis)

Reşide BUZ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Many settlements area are threatened by rockfalls in Cappadocia region as well as many historical, cultural and natural heritages. This situation can affect the social life in negative way. Thus, determining occurrence mechanisms and factors affecting the process of the rockfalls is one of the most important engineering geological problems in the region. The purpose of this study is evaluating the rockfalls which are occurred in the Şahinefendi village (Ürgüp) and its vicinity. For this aim, laboratory and field works (i.e. identifying the discontinuity, in-situ tests, identifying the slope geometry and additional mapping etc.) were carried out for determination the engineering geological characteristic in the study area. Furthermore, kinematic and 2D rockfall simulation analyses were carried out using by geotechnical software. 2D rockfall analyses were performed in seven topographic sections using by Rocfall 6.0. Based on the run out distance which is obtained from 2D rock fall analysis, the Kaymaklı road and six masonry structures which are close to road are at risk of rockfall. In the study area, two ditches were built to prevent the rockfall disaster. The results of the rockfall analysis showed that these two ditches did not perform the expected performance. Therefore, the ditches need to be improved to prevent rockfalls disaster.

Key words : *Rocfall, ignimbrite, Şahinefendi, Cappadocia, ditch*
Thesis Supervisor : Assoc. Prof. Dr. İsmail DİNÇER
Page Number : 97

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
RESİMLER LİSTESİ	xiv
HARİTALAR LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
1. BÖLÜM	1
GİRİŞ	1
1.1. Kaya Düşmeleri	2
1.1.1. Kaya düşmelerinde hareket türleri	3
1.1.2. Kaya düşmelerinde kaynak zonu ve yuvarlanma zonu	5
1.1.3. Kaya düşmelerine neden olan faktörler.....	7
2. BÖLÜM	11
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Kaya Düşmesi ile İlgili Önceki Çalışmalar	13
3. BÖLÜM	16
MATERYAL VE METOD	16
3.1. Materyal.....	16
3.2. Metot	16

3.2.1.	Literatür taraması	16
3.2.2.	Arazi çalışmaları	16
3.2.2.1.	Süreksizlik özelliklerinin tanımlanması	17
3.2.2.1.1.	Yönelim	17
3.2.2.1.2.	Aralık	18
3.2.2.1.3.	Devamlılık	18
3.2.2.1.4.	Pürüzlülük	19
3.2.2.1.5.	Açıklık	21
3.2.2.1.6.	Dolgu	21
3.2.2.1.7.	Yüzey mukavemeti	21
3.2.2.1.8.	Su durumu	22
3.2.2.1.9.	Blok boyutu	22
3.2.3.	Laboratuvar çalışmaları	23
3.2.3.1.	Yoğunluk ve birim hacim ağırlığın belirlenmesi	24
3.2.3.2.	Schmidt sertliğinin belirlenmesi	24
3.2.3.3.	Porozite (gözeneklilik) ve boşluk oranının belirlenmesi	25
3.2.3.4.	Ağırlıkça ve hacimce su emme oranının belirlenmesi	25
3.2.3.5.	Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS)	26
3.2.4.	Büro çalışmaları	26
3.2.4.1.	Süreksizlik yüzeyi makaslama dayanımı parametrelerinin görgül yöntem ile belirlenmesi	26
3.2.4.1.1.	Düz yüzeylerin makaslama dayanımı	26
3.2.4.1.2.	Pürüzlü yüzeylerin makaslama dayanımı	27
3.2.4.2.	Kinematik analizler	31
3.2.4.2.1.	Düzlemsel kaymanın analizi	31
3.2.4.2.2.	Kama tipi kaymanın analizi	32

3.2.4.2.3.	Devrilme tipi kaymanın analizi.....	35
3.2.4.3.	2-boyutlu kaya düşme analizleri	36
4.	BÖLÜM	40
	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	40
4.1.	Çalışma Alanının Jeolojisi.....	40
4.1.1.	Melendizdağ andeziti	40
4.1.2.	Tuzköy formasyonu	40
4.1.3.	Ürgüp formasyonu	41
4.1.3.1.	Cemilköy üyesi	42
4.1.3.2.	İncesu üyesi	43
4.1.3.3.	Kışladağ üyesi.....	44
4.1.4.	Eski alüvyon	45
4.2.	Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi	45
4.2.1.	Az kaynaşmış ignimbirit (İgm-1).....	47
4.2.2.	İyi kaynaşmış ignimbirit (İgm-2).....	50
4.2.3.	Kiltaşı, Kumtaşı ve Marn (kkm)	51
4.2.4.	Kumtaşı, Kiltaşı ve Tüfit (kkt).....	52
4.3.	Kinematik Analizler	52
4.3.1.	Süreksizlik düzlemlerinin kayma dayanımı	53
4.4.	Kaya Düşme Analizleri	57
4.4.1.	Kesit 1: Kaya düşmesi simülasyonu	59
4.4.2.	Kesit 2: Kaya düşmesi simülasyonu	62
4.4.3.	Kesit 3: Kaya düşmesi simülasyonu	63
4.4.4.	Kesit 4: Kaya düşmesi simülasyonu	65
4.4.5.	Kesit 5: Kaya düşmesi simülasyonu	67

4.4.6.	Kesit 6: Kaya düşmesi simülasyonu	71
4.4.7.	Kesit 7: Kaya düşmesi simülasyonu	72
4.4.8.	Mevcut hendek performansının değerlendirilmesi	74
4.4.9.	Olası kaya düşmesi olaylarının çevreye etkileri	78
5.	BÖLÜM	80
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		80
6.	KAYNAKLAR.....	82
EKLER.....		87
ÖZGEÇMİŞ.....		97

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri [33]	18
Tablo 3.2.	Süreksizlik devamlılığının sınıflandırılması ve tanımlama ölçütleri [33]	19
Tablo 3.3.	Süreksizlik açıklığının tanımlanması amacıyla önerilen ölçütler [33]....	21
Tablo 3.4.	Hacimsel eklem sayısına (Jv) göre blok boyutunun tanımlanması [33].	23
Tablo 4.1.	Çalışma alanındaki başlıca kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri	48
Tablo 4.2.	Kinematik analizlerde göz önünde bulundurulmuş parametreleri.....	54
Tablo 4.3.	Belirlenen sektörlere göre kinematik açıdan oluşabilecek duraysızlıkların dağılımı.....	56
Tablo 4.4.	İki boyutlu kaya düşme analizlerinde kullanılan parametreler.....	58
Tablo 4.5.	Geri analiz sonuçları R_n ve R_t değerleri	58
Tablo 4.6.	İki boyutlu kaya düşmesi analiz sonuçları.....	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket türleri ve diğer morfolojik parametreler [6, 7]'den değiştirilerek	3
Şekil 1.2.	Kaya düşmelerinde şev açısına bağlı kaya düşme davranışı ve depolanma özellikleri [4].....	6
Şekil 1.3.	Kaya düşmelerine neden olan iç ve dış faktörler [1]'den değiştirilerek ...	8
Şekil 3.1.	Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramları (a), doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiyi gösteren bir örnek (b).....	17
Şekil 3.2.	Farklı süreksizlik takımlarında rölatif devamlılığı gösteren basit çizimler ve blok diyagramlar [33]	19
Şekil 3.3.	ISRM'ye göre pürüzlülük görüntüleri ve kesme dayanımı arasındaki ilişki [34]	20
Şekil 3.4.	Pürüzsüz-düz yüzeylerde tipik makaslama dayanımı ve yenilme zarfları	27
Şekil 3.5.	Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri [36].....	28
Şekil 3.6.	Tilt deneyinin şematik görünümü [46].....	29
Şekil 3.7.	Tilt deneylerinde kullanılan farklı örnek ve dizilim türleri [46].....	30
Şekil 3.8.	Kaya kütlelerinde şev duraysızlık türleri ve bunların stereonet çizimleri [49].	33
Şekil 3.9.	Düzlemsel kayma koşulu ve düzlemsel kaymanın kinematik analizi [49].	34
Şekil 3.10.	Kama tipi yenilme koşulu ve kinematik analizi [49].	35
Şekil 3.11.	Devrilme tipi duraysızlık koşulu ve kinematik analizi [49].	36

Şekil 3.12.	2-boyutlu kaya düşme analizi ile yuvarlanma mesafesinin belirlenmesi	37
Şekil 3.13.	a) Kesit-6 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-6 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-6 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-6 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	39
Şekil 4.1.	Farklı dayanım sınıflarına göre ignimbiritlerin sınıflandırılması	49
Şekil 4.2.	İgnimbirit için görgül yenilme ölçütüne göre hazırlanmış süreksizlik yenilme zarfı	53
Şekil 4.3.	Her bir sektör için yapılan kinematik analiz sonuçları.....	55
Şekil 4.4.	Yapılan geri analiz sonuçları	59
Şekil 4.5.	Kesit-1 simülasyon sonuçları.....	60
Şekil 4.6.	a) Kesit-1 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-1 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-1 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-1 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	61
Şekil 4.7.	Kesit-2 simülasyon sonuçları.....	62
Şekil 4.8.	Kesit-3 simülasyon sonuçları.....	63
Şekil 4.9.	a) Kesit-2 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-2 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-2 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-2 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	64
Şekil 4.10.	a) Kesit-3 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-3 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-3 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-3 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	66
Şekil 4.11.	Kesit-4 simülasyon sonuçları.....	67
Şekil 4.12.	a) Kesit-4 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-4 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-4 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-4 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	68

Şekil 4.13.	Kesit-5 simülasyon sonuçları.....	69
Şekil 4.14.	a) Kesit-5 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-5 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-5 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-5 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	70
Şekil 4.15.	Kesit-6 simülasyon sonuçları.....	71
Şekil 4.16.	Kesit-7 simülasyon sonuçları.....	72
Şekil 4.17.	a) Kesit-6 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-6 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-6 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-6 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	73
Şekil 4.18.	a) Kesit-7 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-7 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-7 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-7 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği.....	75
Şekil 4.19	Kesit 2 için hendek iyileştirme	76
Şekil 4.20.	Kesit 3 için hendek iyileştirme	77
Şekil 4.21.	Olası kaya düşmelerinin ulaşabileceği maksimum zon haritası	79

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1.	Çevresel etkilere karşı farklı direnç gösteren ardalanmalı kaya kütlelerinde oluşan potansiyel duraysız bloklar (Şahinefendi Köyü)	9
Resim 3.1.	Hazırlanan karot örneklerinin görünümü	23
Resim 3.2.	Arazide Schmidt sertlik deneyinin uygulanması	24
Resim 3.3.	Suda bekletilen karot numuneleri	25
Resim 4.1.	Çalışma alanında gözlenen pembemsi gri ignimbirit.....	44
Resim 4.2.	1994 yılında meydana gelen kaya düşmesi kaynak alanı (Fotoğraf yönü doğudan batıya doğrudur).....	46
Resim 4.3.	Çalışma alanındaki İgm-1'e ait görünüm.....	48
Resim 4.4.	Süreksizliklerin görünümü	50
Resim 4.5.	Çalışma alanında gözlenen kıltaşı, kumtaşı, marn ardalanması	51
Resim 4.6.	Geri düşme analizi yapılan kesitlerin görünümü	58
Resim 4.7	Hendek-1 ve Hendek-2'nin genel görünümü.....	74

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1.1.	Çalışma alanı yer bulduru haritası	2
Harita 4.1.	Çalışma alanı ve yakın civarının jeolojik haritası.....	41
Harita 4.2.	Çalışma Alanı Mühendislik jeolojisi haritası	47



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ISRM	Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu (International Society of Rock Mechanics)
GPS	Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
JCS	Süreksizlik yüzey mukavemeti (joint compressive strength)
γ	Birim hacim ağırlık
R	Schmidt sertlik değeri
JRC	Süreksizlik pürüzlülük katsayısı (joint roughness coefficient)
kN	Kilo Newton
I _b	Blok boyutu indeksi
J _v	Hacimsel eklem sayısı
N _n	Ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizlik sayısı
L _n	Ölçüm hattı uzunluğu
γ_{kuru}	Kuru birim hacim ağırlık
$\gamma_{ıslak}$	Islak birim hacim ağırlık
w	Su içeriği
σ_n	Normal gerilim
ϕ_b	Temel sürtünme açısı
ϕ	Artık sürtünme açısı
r	Ayrışmış ya da ıslak yüzey Schmidt değeri
R	Ayrışmamış yüzey Schmidt değeri
TLS	Karasal Lazer Tarama (Terrestrial Laser Scanning)
UCS	Tek eksenli basınç dayanımı (Uniaxial Compressive Strength)
NBG	Norveç Kaya Mekaniği Grubu (Norwegian Rock Mechanics Group)

1. BÖLÜM

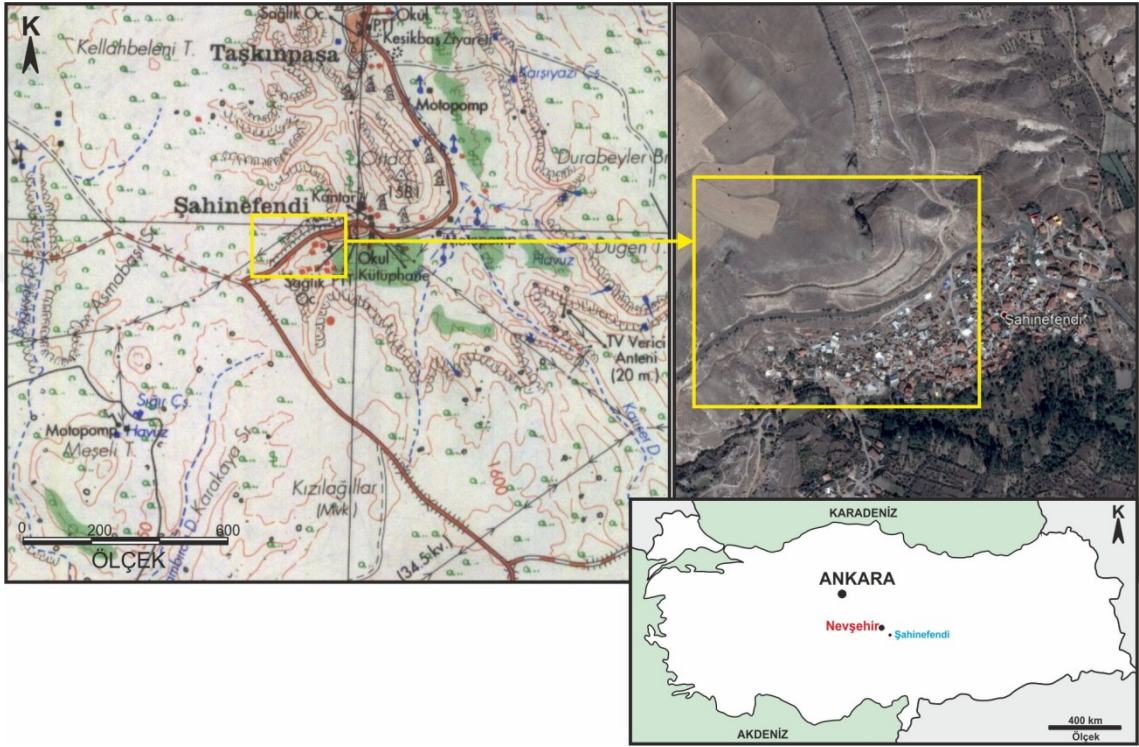
GİRİŞ

Kaya düşmeleri, engebeli ve dağlık arazilerde, şev yarmalarında ve açık maden ocaklarında meydana gelen ve karayolu, demiryolu gibi çizgisel yapıların yanı sıra daha geniş yayılıma sahip yerleşim yerlerine zarar verebilen bir doğal afettir. Kaya düşmeleri sonucunda yapılarda ve araçlarda hasarlar, ulaşımda aksamalar ve buna bağlı ekonomik zararlar meydana gelebileceği gibi, düşen kaya blokları can kayıplarına da neden olabilmektedir. Diğer afetler türleri ile kıyaslandığında her ne kadar daha sınırlı bir alanda etkili olsalar da, kaya düşmelerinin altyapıya veya insanlara verdikleri zarar ciddi sonuçlar doğurabilmektedir [1].

Ülkemizin sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel durumu nedeniyle can ve mal kaybına yol açan birçok doğal afet görülmektedir. Doğal afetlerden dolayı ülkemizin gördüğü ekonomik zarar Gayri Safi Milli Hâsılamızın yaklaşık %3-4 ü oranındadır. Oluşturdukları zarar açısından depremler öne çıkan doğal afet türü olmasına karşın, heyelanlar ve kaya düşmeleri de ülkemizde görülen önemli afet türlerindedir. Bu konuda Afet İşleri Genel Müdürlüğünün 2008 yılında hazırlamış olduğu raporda, kaya düşmesi olayının ülkemizin her yerinde görülmesiyle birlikte en çok kaya düşmesi olayı 279 adetle Kayseri ili olup, daha sonra sırasıyla Erzurum (229) ve Nevşehir (179) gelmektedir [2]. Kapadokya bölgesi doğası, sahip olduğu tarihi ve kültürel değerleri ile 1985 yılında UNESCO tarafından Dünya Kültür Mirası listesine alınmış olup, ülkemizin de önemli turizm bölgelerinden biridir. Kapadokya bölgesinin doğal, tarihi ve kültürel değerleri meydana gelen kaya kütle duraysızlıkları nedeniyle zarar görmektedir.

Bu tez çalışmasında Nevşehir ili, Ürgüp ilçesi, Şahinefendi köyü (Harita 1.1) yerleşim alanının batısında meydana gelen ve yerleşim alanını tehdit eden kaya düşmeleri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında öncelikli olarak kaya düşmesi açısından kaynak alan konumunda olan bölgede detaylı saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kaynak alanda yer alan kaya malzemesi ve kütlelerinin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmanın son bölümünde RocFall 6.0 yazılımı kullanılarak, 7 farklı kesit boyunca kaya düşmesi simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte çalışma alanında 1994 yılında meydana gelen kaya düşmesinden sonra açılan kaya

düşmesi tutma hendeklerinin performansı da ayrıca değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre olası kaya düşmelerinin tehdit edebileceği alanlar belirlenmiş ve olası önlem yöntemleri değerlendirilmiştir.



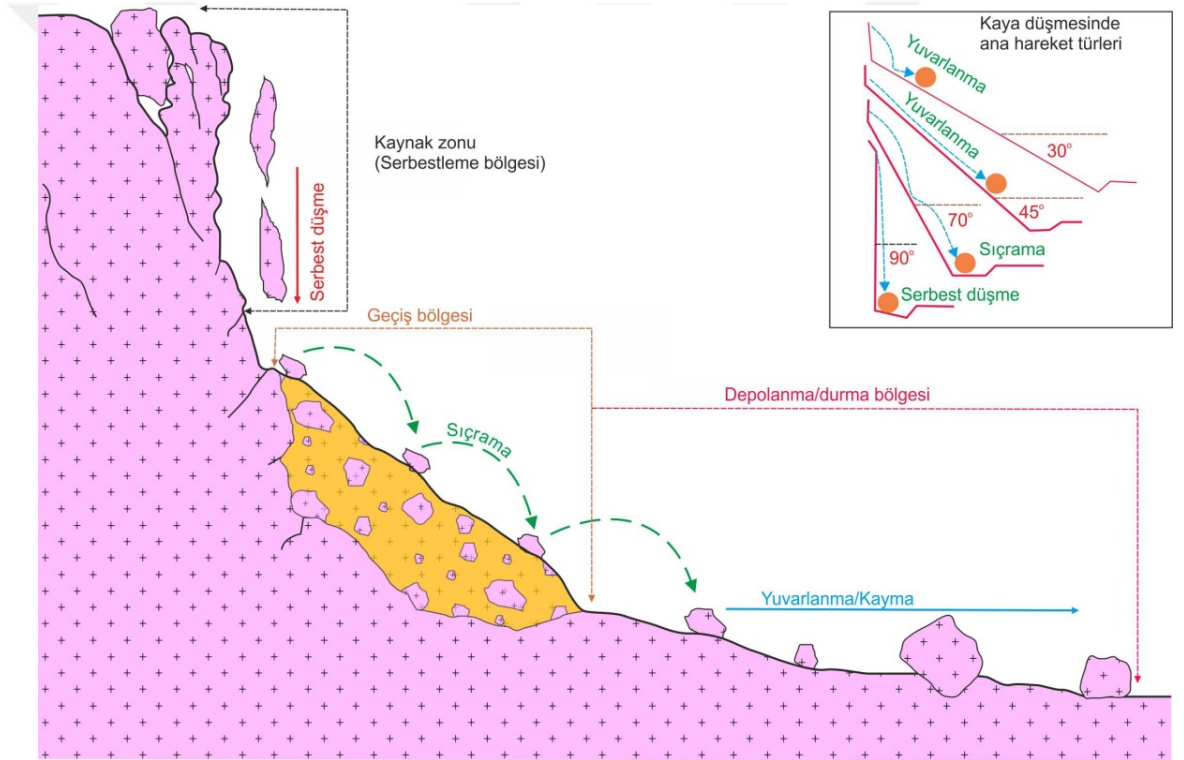
Harita 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

1.1. Kaya Düşmeleri

Kaya düşmesi, yamaç veya şevlerde süreksizlik yüzeyleri boyunca ayrılan kaya bloklarının yerçekiminin etkisiyle yamaç/şev eğimi yönündeki oldukça hızlı ve ani hareketi olarak tanımlanmaktadır [3]. Yoğun yağışların, donma-çözülme çevrimlerinin ve sismik aktivitenin fazla olduğu bölgelerde kaya düşmeleri daha sık gözlenmektedir [4]. Kaya düşmeleri, kaynak alan ve tetikleyici unsurlar açısından ele alındığında kestirilmesi güç bir duraysızlık türüdür. Kaya şevlerinde yıllarca duraylılığını koruyan bloklar, aniden kütlelen ayrılarak düşebilmektedirler. Bunun yanı sıra, dik ve yüksek yamaçlardan düşen kaya blokları topoğrafyadaki düzensizliklerin de etkisiyle kestirilmesi güç bir hat üzerinde oldukça yüksek hızlarla hareket etmektedir.

1.1.1. Kaya düşmelerinde hareket türleri

Kaya düşmesi, herhangi bir boyuttaki kaya bloğunun yeteri kadar dik olan bir yamaç veya şevden düşey yöndeki hareketi olarak tanımlanabilir. Kaya düşmeleri sırasında topoğrafyanın eğimine bağlı olarak serbest düşme, sıçrama (zıplama), yuvarlanma şeklinde hareket türleri gözlenebilmektedir [5] (Şekil 1.1). Düşen kaya bloklarının enerjisini kaybetmesiyle bloğun yuvarlanma hareketi ile beraber blok kaymaları da olabilir.



Şekil 1.1. Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket türleri ve diğer morfolojik parametreler [6, 7]'den değiştirilerek

Kaya düşmelerinde tek bir blok düşebileceği gibi, birden fazla bloğun aynı anda düşmesi ile oluşan çoklu kaya düşme olayları da mevcuttur. Öte yandan, büyük boyutlu tek bir blok kütesinin serbest düşme hareketinden sonra topoğrafyaya çarpması ile birlikte parçalanarak çoklu bloklar halinde hareketine devam etmesi de mümkündür. Çoklu bloklardan oluşan kaya düşmelerinde her blok diğer bloklardan bağımsız olarak davranmaktadır. Bu nedenle kaya düşmelerinde kaya düşmesinin karakterinin önceden

ortaya konması, kaya düşme analizlerinde yuvarlanma hattı ve kinetik enerjinin belirlenmesinde izlenecek yol hakkında karar verilmesine yardımcı olacaktır. Örneğin düşen tek bir bloğun kütlesi az olmasına rağmen hızı yüksektir. [4]

Öte yandan, birçok bloktan oluşan ve daha büyük boyutlu çoklu kaya düşmelerinde kütle büyük, düşme hızı ise göreceli olarak daha düşüktür. [5]

Yamaç veya şevlerin üst kotlarından düşen kaya blokları, serbest düşme sırasında topoğrafya yüzeyi ile temas halinde olmazlar. Topoğrafik eğimdeki azalmaya bağlı olarak yüzeye çarpan bloklar sıçrama hareketi sergilerler. Topoğrafyadaki engebelere bağlı olarak sıçrayarak veya yuvarlanarak hareketlerine devam edebilirler. Özellikle yamaç eğimlerinin yüksek olduğu noktalarda düşen kaya bloklarındaki kinetik enerji değerleri artar. Kinetik enerjinin azalması ile yavaşlayan bloklarda durmaya yakın dönemlerde kayma (sliding) türü bir hareket mekanizması da gözlenebilir. Topoğrafyadaki düzensizlikler, kaya düşmelerinde yuvarlanma mesafesini kontrol etmesinin yanı sıra, bloğun hareket mekanizmasını da yönlendiren en önemli faktörlerdendir. Kaya düşme hareketini ve dolayısıyla yuvarlanma mesafesini etkileyen parametreleri şu şekilde sıralamak mümkündür.

- a) Yamaç/şev yüksekliği
- b) Yamaç/şev açısı
- c) Yamaç/şev pürüzlülüğü
- d) Bitki durumu
- e) Jeolojik yapı
- f) Topoğrafik yapı
- g) Kaya dayanımı (sertliği)
- h) Blok boyutu
- i) Bloğun yuvarlak veya köşeli olma durumu
- j) Kayanın elastik özellikleri

1.1.2. Kaya düşmelerinde kaynak zonu ve yuvarlanma zonu

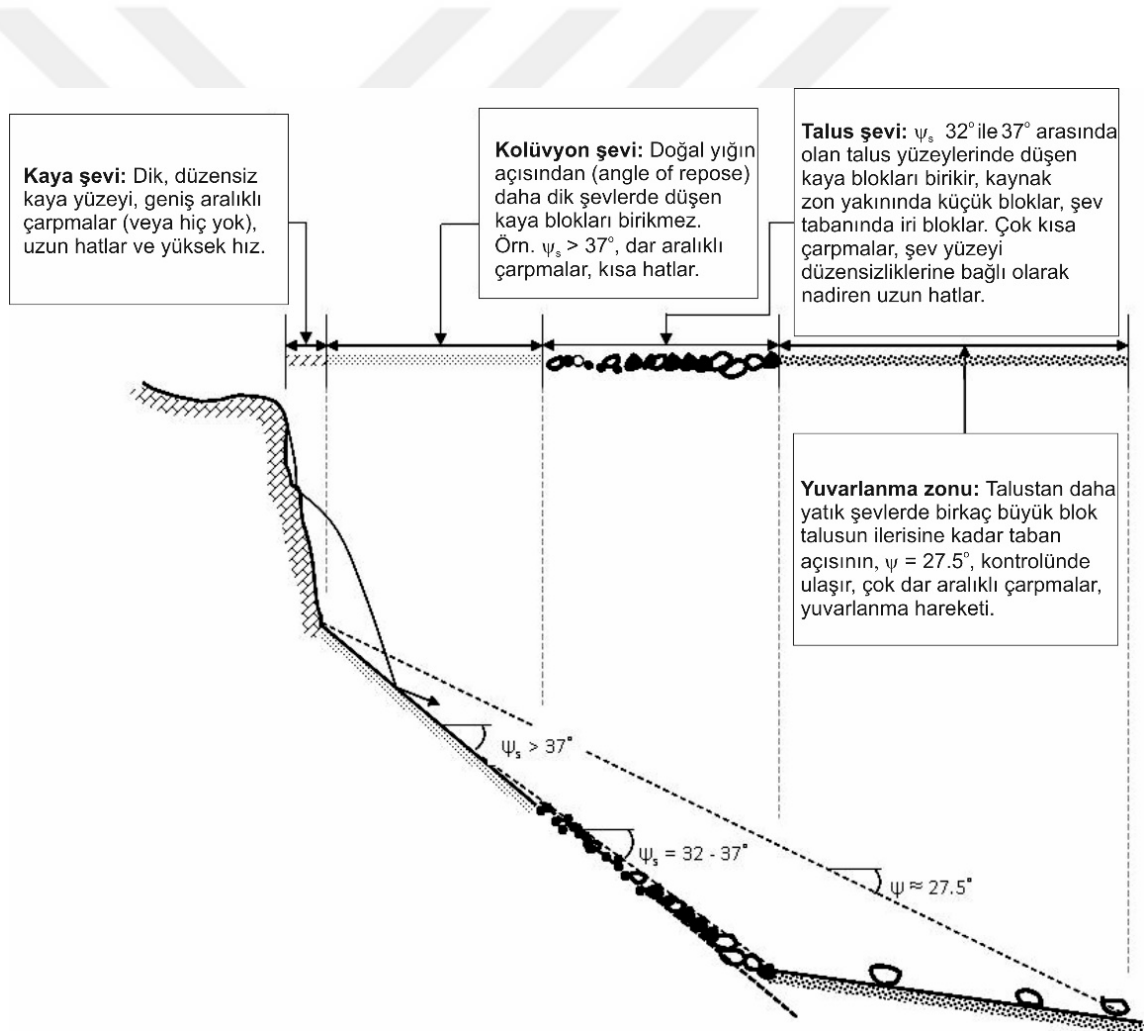
Kaya düşmelerinde düşmenin gerçekleştiği hattı, topoğrafik eğime, yüzey morfolojisine, depolanma durumuna ve jeolojik yapıya bağlı olarak farklı bölümlere ayırmak mümkündür. Kaya bloklarının çeşitli faktörlerin etkisine bağlı olarak kaya kütesinden ayrılarak düşme hareketine başladığı ilk bölüm “kaynak zonu” olarak adlandırılmaktadır. Kaynak zonları genellikle dik bir topoğrafik eğime sahiptir ve kırıklı, çatlaklı bir yapı sunarlar. Kaynak zonundan ayrılan bloklar, düşme hareketinden sonra yamaç üzerinde sıçrayarak veya yuvarlanarak hareketlerine devam ederler ki kaya düşmelerinde bu bölge “yuvarlanma zonu” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.1).

Kaya düşmesinde yuvarlanma zonu olarak tanımlanan ve düşen kaya bloklarının topoğrafya ile daha çok temasta olduğu bölge, topoğrafyanın eğim değerlerine ve depolanma durumuna göre “geçiş bölgesi” ve “depolanma bölgesi (durma bölgesi)” olarak iki ayrı zona ayrılabilir [7]. Geçiş bölgesinde daha küçük boyutlu ve karmaşık yapıdaki kaya malzemeleri ve ayrışma ürünleri birikmekte olup, depolanma bölgesi daha iri boyutlu ve yüksek enerjili blokların ulaşabildiği zon olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1.1). Geçiş bölgesi her arazide gözlenmeyebilir ve yuvarlanan kaya blokları doğrudan depolanma bölgesinde birikebilir.

Kaya düşme problemleri sahalarında kaya düşme kaynak zonlarının belirlenmesi oldukça önemli olup, bunun için detaylı saha çalışmaları ve yerinde incelemeler ile incelenen sahaya ait hava fotoğrafları veya yüksek çözünürlüklü ortofoto görüntülerine ihtiyaç vardır. Kaya düşme davranışını kontrol eden en önemli iki parametre şev açısı ve şevi oluşturan malzemedir. Şekil 1.2’de tipik bir şev kesiti üzerindeki dört farklı zonda kaya düşme davranışı ve depolanma özellikleri sunulmaktadır.

Kaynak zonunu oluşturan dik ve düzensiz kaya şevlerinde düşen kaya bloklarının şev yüzeyine çarpma aralıkları oldukça geniştir. Hatta bazı zamanlarda serbest düşme hareketine bağlı olarak düşen kayanın kaya yüzeyi ile hiçbir teması olmayabilir. Bu bölümde düşen kayanın ilerleme (translational) ve dönme (rotational) hızları oldukça yüksektir. Bu bölümlerde çok yüksek açılı ve dike yakın düşme hatları izlenir [4] (Şekil 1.2).

Doğal yığın açısından (angle of repose) daha dik olan (örn. gevşek kaya parçaları için 37° 'den büyük) kolüvyon şevinde kaya blokları şev yüzeyine daha dar aralıklarla çarpar ve bu nedenle düşme hatları daha kesikli ve kısadır. Düşen kaya blokları bu yüzey üzerinde birikmez (Şekil 1.2). Kolüvyon şevinin tersine, talus şevinde kaya birikmeleri gözlenmektedir. Şev tabanına yakın bölümlerde depolanma açısı 32° iken, talus şevinin üst kesimlerinde bu açı 37° civarındadır. Bu bölüme ulaşan kaya düşmelerinde doğal bir tane boylanması gelişir. İri bloklar şev tabanına doğru depolanırken, daha küçük boyutlu bloklar talusun üst kesimlerinde birikir. Bu şekilde talus şevi koni şeklinde bir yapı kazanarak genişler. [4]



Şekil 1.2. Kaya düşmelerinde şev açısına bağlı kaya düşme davranışı ve depolanma özellikleri [4]

Daha az sayıda büyük boyutlu ve yüksek kinetik enerjili bloklar talus bölgesini

geçerek talustan daha yatık bir eğime sahip olan yuvarlanma zonu (run-out zone) üzerinde hareketlerine devam ederler (Şekil 1.2). Bu bloklar için maksimum yuvarlanma mesafesinin kaynak zonunun tabanından itibaren yatayla 27.5° açığa (gölge açısı) sahip bir çizginin topoğrafyayı kestiği nokta olduğu ifade edilmektedir ki bu eğim açısı aynı zamanda düşen blokların dönme sürtünme katsayısına (rolling friction coefficient) karşılık gelmektedir [8]. Yuvarlanma zonunda düşen kaya blokları daha dar aralıklı çarpmalar ile dönerek hareketlerine devam ederler. Kaya düşmelerinde yuvarlanma zonu, şev tabanındaki tehlike zonu ile önlem yapılarının türünün ve yerinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Önlem yapıları açısından düşünüldüğünde, düşen kayalar bu zon içerisinde kaya tutma hendekleri veya belirli yükseklikteki kaya bariyerleri ile durdurulabilir [4].

1.1.3. Kaya düşmelerine neden olan faktörler

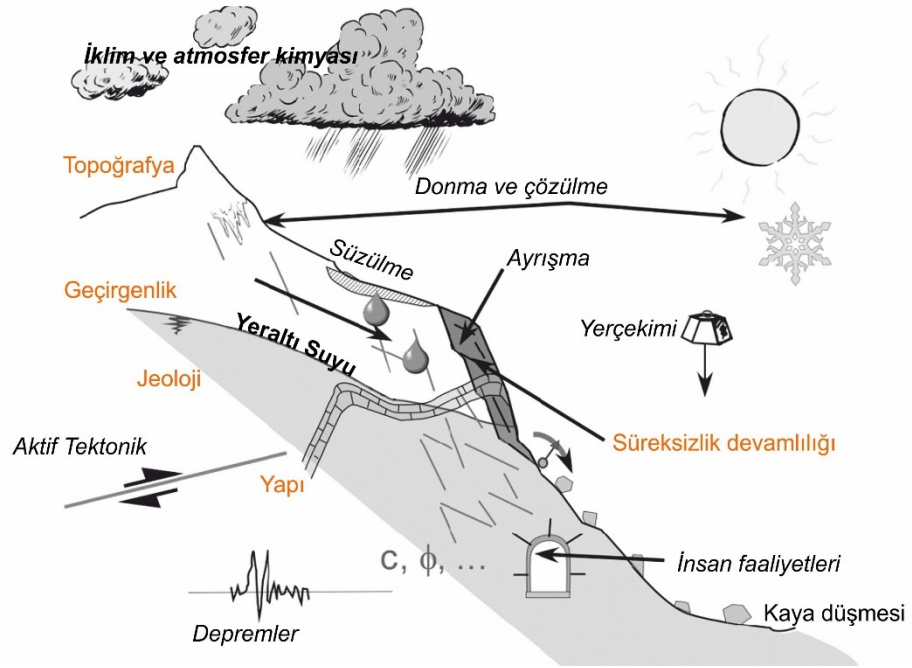
Kaya düşmeleri, farklı iç ve dış kuvvetlerin etkili olduğu sahalarda meydana gelmektedir (Şekil 1.3). Çoğu zaman kaya düşmelerini tetikleyen birden fazla etken vardır. Bu faktörleri yapısal, çevresel ve antropojenik (insan kaynaklı) olmak üzere başlıca üç ana gruba ayırmak mümkündür. Bu sınıflara ait alt faktörler ise aşağıda listelenmiştir.

1. Yapısal faktörler (iç faktörler)
 - a. Yamacın/şevin jeolojik yapısı
 - b. Kinematik olarak duraysızlık potansiyeli olan süreksizlik yüzeyleri
 - c. Kırıklı-çatlaklı kaya kütlesi
2. Çevresel faktörler (dış faktörler)
 - a. Yağmur
 - b. Donma-çözülme
 - c. Rüzgâr
 - d. Kar erimesi
 - e. Ani yüzeysel akışlar
 - f. Su kaynakları veya sızıntılar

- g. Kazıcı hayvanlar
- h. Farklı ayrışma
- i. Ağaç kökleri
- j. Depremler

3. Antropojenik faktörler (dış faktörler)

- a. Kontrolsüz patlatma uygulamaları
- b. Trenlerin ve büyük inşaat araçlarının yarattığı sarsıntılar
- c. Uygun olmayan şev tasarımı



Şekil 1.3. Kaya düşmelerine neden olan iç ve dış faktörler [1]'den değiştirilerek

Kaya düşme potansiyeli olan sahalarda kaya düşmeleri ile yamaç veya şevi oluşturan malzemenin jeolojik özellikleri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. İlk olarak, düşen kayaların can ve mal güvenliği açısından tehlike oluşturması için kaya kütlelerinin çarpma etkisi altında zararsız boyuta parçalanmayacak dayanımda sağlam kaya bloğu oluşturabilmesi gereklidir. Örneğin, granit, kireçtaşı ve bazalt gibi yüksek dayanıma sahip kayalar, oldukça tehlikeli boyutta kaya düşmeleri oluşturabilirken, şeyl ve fillit

gibi zayıf kayalar ayrışarak kaya düşme tehlikesi oluşturmayacak çok daha küçük boyutta parçalara ayrılmaktadır [4].

Özellikle yatay tabakalı ve ardalı sedimanter kayalarda, alt seviyede bulunan zayıf kaya kütesinin (örn. kıltaşı, şeyl vb.) dayanımı daha yüksek olan kaya kütesine (örn. kumtaşı, kireçtaşı vb.) oranla daha hızlı ayrışması sonucunda, zayıf kaya kütesinde oyulmalar ve dolayısıyla üstteki sağlam tabakada ise çıkıntılar oluşur. Söz konusu çıkıntılar gerisinde yerçekiminin de etkisiyle öncelikle düşey gerilme çatlakları meydana gelmekte ve kaya bloğu zaman içerisinde bu çatlak boyunca ayrılarak kaya düşmesine neden olmaktadır (Resim 1.1).



Resim 1.1. Çevresel etkilere karşı farklı direnç gösteren ardalı kaya kütlelerinde oluşan potansiyel duraysız bloklar (Şahinefendi Köyü)

Çevrimsel olarak gelişen atmosferik etkenler ve aşırı yağışlar, kaya düşmelerini tetikleyen en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Süreksizliklerdeki su ve buz,

süreksizlik duvarlarına basınç uygulayarak, şev yüzeyindeki blokların yerinden oynamasına ve şev eğimi boyunca hareket etmesine neden olur. Nemli iklimlerde bitki örtüsü ve ağaçlar yaygın ve hızlı şekilde büyüyebildiğinden, ağaç kökleri kaya kütleindeki süreksizlikler içinde oldukça derinlere kadar ilerleyebilir. Ağacın gelişimiyle birlikte kök boyutları da büyümekte ve süreksizliklerin önemli oranda genişlemesine neden olmaktadır [4].

Kaya düşmelerini tetikleyen bir diğer dış faktör ise depremlerdir. Özellikle dağlık arazilerde depremler sonrasında çok yoğun olarak kaya düşme olaylarına rastlanmaktadır. Bunun yanı sıra, büyük depremler sonrası yerleşim yerlerine zarar veren çok sayıda kaya düşme olayı rapor edilmiştir [9]. Kaya düşmeleri doğal iç ve dış etkenlerin yanı sıra, yamaçlar ve şevler üzerindeki insan ve hayvan faaliyetleri sonucunda da meydana gelebilmektedir [4].

2. BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kapadokya bölgesi (Nevşehir) sahip olduğu jeolojik, tarihi ve kültürel özellikleri bakımından pek çok bilimsel araştırmaya konu olmuştur. Tez konusuyla ilgili mühendislik jeolojisi çalışmaları ilk kez 1970'li yıllarda yapılmış olup şimdiye kadar pek çok araştırmacı tarafından bölgenin tarihi ve kültürel yapıları ile jeolojik ve morfolojik oluşumlarını içeren bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar peri bacaları, yapı malzemesi, yeraltı yapıları, bozunma-duraylılık ve kaya kütle duraysızlıkları olmak üzere beş farklı şekilde ele alınabilir.

Bölgedeki doğal ve tarihi yapıların korunması kapsamında tüflerde oluşan yüzey bozunmaları ilk kez Caner ve çalışma arkadaşları tarafından araştırılmıştır [10]. Erdoğan'ın yaptığı çalışma ise bu bölgedeki tüflerin özellikleriyle ilgili yapılan ilk çalışmalardan biridir [11]. Yılmaz ise Göreme vadisindeki oyulmuş kaya kiliselerinde zamanla çoğalan bozunmaları araştırmıştır [12]. Topal ve Doyuran, peri bacalarının gelişimindeki süreksizliklerin etkisini incelediklerinde, peri bacalarının arazi yöneliminde, şeklinde ve büyüklüğünde süreksizliklerin eğim, doğrultu, süreklilik, açıklık ve aralığının önemli etkisi olduğunu açıklamışlardır [13]. Topal ve Doyuran da yapmış oldukları çalışmada, Kapadokya bölgesindeki eskiden konut olarak kullanılan ve geçmişe ait değerli duvar resimleri içeren kaya oyma yapılar atmosferik etkilerden kaynaklanan fiziksel ve kimyasal bir bozunmanın etkisinde olduğunu belirtmişlerdir. Bu yapıların korunabilmesi için tüflerin mühendislik jeolojisi özelliklerinin bilinmesi gerektiğini vurgulamışlar ve bu kapsamda yapmış oldukları çalışmada tüflerin kütle ve malzeme özelliklerini değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri verilere göre tüflerin kötü-çok kötü duraylılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, tüfler içindeki eklem sistemlerinin sadece peri bacalarının oluşumunu değil, aynı zamanda, doğal ve tarihi yapıların yapısal stabilitesini de etkilediğini ortaya koymuşlardır. Yine aynı çalışmalarında, Kapadokya tüflerinde etkili olan kimyasal ayrışmayı değerlendirmek için farklı bir yaklaşım olarak tuz kristalizasyon testi yapmış; kimyasal ayrışmanın likenlerle kaplı olan yüzeyin altında 2 cm kadar ilerlediğini gözlemlemişlerdir [14].

Tolğay ve çalışma arkadaşlarının yaptığı incelemelerde ise Nevşehir pomzasının jeolojik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri belirlenerek yapı malzemesi olarak

hafif betonda kullanılabilirliği araştırılmış ve beton örneklerinin test sonuçlarından pomzanın yapılar için uygun malzeme olduğu sonucuna varmışlardır [15].

Baba ve çalışma arkadaşları fiziko-kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelen peri bacalarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiş olup peri bacalarını meydana getiren tüflerin kimyasal özelliklerinin peri bacalarının boyutuna, gelişimine ve duraylılığına tesir eden birincil faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir [16].

Korkanç, ignimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı kullanımındaki etkisini bölgedeki ignimbiritler üzerinde incelemiştir. Yapılan incelemeler sonucunda incelenen piroklastiklerin iyi kaynaşmamış ignimbirit özelliğinde olduğunu bunların jeolojik, kimyasal ve petrografik özellikleriyle jeomekanik özellikleri arasında önemli ilişkilerin olduğu ortaya koyulmuştur. Özellikle opak mineral, ince taneli kayaç parçası içeriği ile matriks oranı-tane oranından yüksek olan örneklerin porozitesinin daha düşük, yoğunluklarının ve basınç dayanımlarının da nispeten daha yüksek değerler gösterdikleri belirlenmiştir [17].

Kaşmer ve çalışma arkadaşları ise Zelve açık hava müzesinde erozyona eğilimli doğal yamaçların stabilitesini ve yumuşak tflere oyulmuş tarihi yeraltı açıklıklarının değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla bazı gözlemsel, deneysel ve sayısal modelleme çalışmaları yapmışlardır. Zelve tf orta-iyi kaya kütle kalitesine olmakla birlikte malzeme ölçeğinde zayıf bir kayadır. Erozyon ilkbahar ve yaz mevsimleri arasında artmaktadır. Çalışma sonucunda Zelve tfnn belirlenen mühendislik jeolojisi özellikleri, gelecekte müzede yapılabilecek koruma ve restorasyon çalışmaları için temel bilgiler sağlayabilecek nitelikte olduğunu belirtmişlerdir [18]. Tüflerin bozunmasına yönelik çalışmalardan biri de Ergüler tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, erozyon sonucu oluşan peri bacalarının, yine erozyon tarafından ortadan kaldırıldığını belirtmiştir. Bundan başka bölgede bulunan tüflerin mekanik, fiziksel ve mineralojik özelliklerinin pek çok çalışmada ele alındığını, fakat ayrışma hızının değerlendirilmediğini belirtmiştir. Bölgenin korunması açısından ayrışma derecesinin bilinmesinin zorunlu olduğunu ve bunun acilen tespit edilmesi gerektiğini savunmuştur. Ergüler, bu çalışmasında Kapadokya tüfleri için ayrışma hızının 0.03 – 2.5 mm/yıl arasında değiştiğini hesaplamıştır [19].

Dinçer ve Bostancı, Kapadokya ignimbiritlerinin kapiler su emme özelliklerinin

bozunma üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, Kapadokya’da birçok doğal ve tarihi yapının ana kayasını oluşturan ignimbiritlerin kapiler su emme özelliklerini araştırmak için esas olarak laboratuvar çalışmalarından oluşan bir araştırma programı gerçekleştirilmiştir [20].

2.1. Kaya Düşmesi ile İlgili Önceki Çalışmalar

Çalışmanın ana konusu olan kaya düşmeleri açısından bölgede yapılan çalışmalar incelendiğinde, ilk çalışmalardan biri Doyuran tarafından Ortahisar Kalesi’ndeki kaya düşmeleri ve konut amacı ile açılmış olan bazı mağaralardaki göçme olasılıkları değerlendirildiği çalışmadır [21].

Ulusay ve çalışma arkadaşları, Ürgüp Kayakapı Mahallesi’ndeki terk edilmiş kaya oyma yapılarını tekrar kullanıma kazandırılması için çalışmalar yapmışlardır. Yaklaşık 1200 adet kaya oyma yapının kaya kütle duraysızlıklarını mühendislik jeolojisi açısından değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak duraysızlıkların bölge için önemli doğal tehditlerden biri olduğu belirlenmiş ve bu duraysızlıkların süreksizlikler ve ayrışma tarafından kontrol edildiği ifade edilmiştir [22].

Topal ve çalışma arkadaşları, Afyon kalesi ve çevresindeki kaya düşmesi olaylarını değerlendirdikleri çalışmada 9 profil hattı için durma mesafesi, sıçrama yüksekliği, ötelenme hızı ve toplam kinetik enerji sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak çalışma alanının kaya cıvatalanması ve koruyucu çitlerle iyileştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. [23]

Topal ve çalışma arkadaşları, Kastamonu kalesi ve çevresinde meydana gelen kaya düşmesi olaylarını 17 profil hattı boyunca iki boyutlu kaya düşmesi analizleriyle değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak bölgedeki düşme riski olan blokların alandan çıkartılarak alanın koruyucu çitlerle desteklenmesi ve kaya cıvatalanması gerektiğini belirtmişlerdir. [24]

Tunusluoğlu ve Zorlu, Ortahisar kalesindeki kaya düşme potansiyeli olan yerleri bir dizi kaya düşme analizi yaparak alınacak önlemleri değerlendirmişlerdir [25].

Zorlu ve çalışma arkadaşları, Avanos, Zelve ve Çavuşin’de bulunan Neojen yaşlı birimlerin turizm faaliyet alanlarının da kaya düşmesi tehlikesi olan alanların haritasını

hazırlamak için iki boyutlu kaya düşmesi analizleri yaparak sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak kaya kütle duraysızlıklarının bölge için önemli doğal tehditlerden biri olduğu belirlenmiş ve bu duraysızlıkların süreksizlikler ve ayrışma tarafından kontrol edildiği ifade edilmiştir [26].

Bölgede yapılan bir diğer çalışma kaya düşmesi çalışması da Acıgöl ilçesinde bulunan Tatların Yeraltı şehri ve civarındadır. Bu çalışmada kinematik analizler ve 2 boyutlu kaya düşmesi simülasyon analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kaya kütle duraysızlıklarının süreksizlik ve ayrışma tarafından kontrol edildiği ortaya konulmuştur. 2 boyutlu kaya düşmesi analizlerinden elde edilen en uzak mesafelere göre Yeraltı şehri civarında bulunan bütün yollar ve bazı yığılma yapılar kaya düşmesinden kaynaklanacak afet riski altında olduğu ifade edilmiştir [27].

Dinçer ve çalışma arkadaşları, Tatların yeraltı şehri yakınındaki kaya düşmesi potansiyelini araştırmışlardır. Bu amaçla kapsamlı bir mühendislik jeolojisi çalışması yapılmış, 3D sayısal model HY-STONE ile gerçekleştirilen bir dizi kaya düşmesi simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında gözlenen duraysızlıkların, kaya kütlesi mekanik özellikleri ve farklı mekanik davranışlara sahip iki litolojinin etkileşimi tarafından kontrol edildiğini belirtmişlerdir. Kaya kütle özellikleri ve mekanik davranışları düşen blokların boyutunu kontrol ettiğini belirtmişlerdir. Bazaltlardaki kırıkların varlığı alttaki tuf katmanlarına su sızmasını kolaylaştırdığını ve bu bazalt bloklarının kademeli zayıflamasına ve devrilmesine neden olduğu savunmuşlardır [28].

Özata ve Arun, Ortahisar kalesindeki kaya şevlerinde yapmış oldukları çalışmada, kalenin stabilite sorunlarını analiz edilmesini ve elde edilen verilerle göre çözüm yöntemleri önermeyi amaçlamışlardır. Kaya örneklerinin mekanik, fiziksel, kimyasal, petrografik ve mineralojik özellikleri değerlendirilmiş ve kaya malzemesinin bozunmasını araştırılmıştır. Kaya şevlerindeki süreksizlikler kaya düşmeleri açısından çok önemli olup, süreksizlikler etrafındaki her türlü hasar veya bozunma sürecini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Bu tür çatlak hasarlarını azaltmak için çatlak etrafındaki başka hasarlı bozulan lokasyonlara dikkat edilmesini gerektiğini ve bu yerler için geçici ek destek sistemlerinin kullanılabilirliğini vurgulamışlardır. Bunun yanında destek sistemlerinin doğal yapıyla uyumlu olması gerektiğini vurgulamışlardır. Çelik gibi nem nedeniyle paslanabilecek malzemelerin kullanılmaması gerektiği çünkü çeliğin

ıslıl genleşme katsayısının kaya ile aynı olmadığını belirtmişlerdir. Bu tür yapıların, Anadolu'da ve tüm dünyada faaliyet göstermeye devam eden bir yapı türü olduğunu vurgulandığı çalışmada tarihsel değeri gelecek nesillere aktarmak, kültürel sürekliliği sağlamak ve sürdürülebilir mekanlar yaratmak için bu tür yapılarda hasarlar tespit edilip en uygun şekilde düzeltilmesi gerektiği belirtilmiştir [29].

Ulusay ve Aydan, Kapadokya bölgesinde yumuşak kaya karakterindeki tüflerinin kısa ve uzun vadeli jeo-mühendislik özelliklerini içeren bazı konuları ortaya koymaya çalışmışlardır [30].



3. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Şahinefendi, Nevşehir ilinin, Ürgüp ilçesine bağlı bir köydür. Şahinefendi Köyü bağlı olduğu Ürgüp ilçe merkezine 18 kilometre mesafe uzaklıktadır. Şahinefendi Köyü Nevşehir şehir merkezine mesafesi ise yaklaşık 27 kilometredir. Bu çalışmada Şahinefendi (Nevşehir) ve yakın çevresini etkileyen kaya düşmelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan arazi çalışmalarında bölgenin 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları ve 1/1000 ölçekli hali hazır haritalar kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarında, Schmidt çekici, şerit metre, GPS, jeolog pusulası, dijital fotoğraf makinası ve numune torbaları kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, jeoloji mühendisliği bölümü Kaya-Zemin Mekaniği laboratuvarında bulunan cihazlar ve büro çalışmalarında bilgisayar ve ilgili paket bilgisayar programları kullanılmıştır.

3.2. Metot

Bu çalışma, literatür taraması, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Literatür taraması

Bu aşamada inceleme alanı ve çevresi ile ilgili bütün jeolojik verilerin sağlanmasına ilişkin literatür derlemesi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanında ve bölgede yapılmış olan makaleler, raporlar ve tezler incelenmiştir. Bu çalışmalarla ilgili detaylı açıklama Önceki Çalışmalar bölümünde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.2.2. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmalarının en önemli kısmı litolojik birimlerin haritalanması, blok örnek alımı ve süreksizliklerin tanımlanmasıdır. İlk olarak farklı mühendislik özellikleri gösteren kaya birimlerinin sınırları haritalanıp olası düşme potansiyeline sahip blokların lokasyonları GPS ile belirlenmiştir. Bilindiği üzere kaya kütleleri, sürekli, homojen ve

izotop malzemelerden olmayıp, türlü süreksizlikler tarafından kesilirler [31].

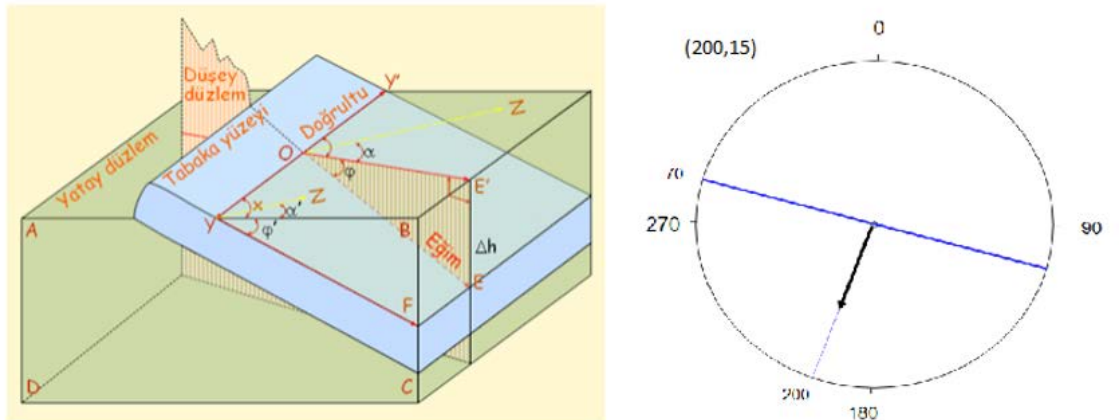
Çalışmanın konusunu oluşturan kaya kütle duraysızlıkları, ignimbiritler üzerinde gözlenmektedir. Bundan dolayı söz konusu kaya litolojilerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, ignimbiritlere ait farklı lokasyonlardan (25x25x30cm) boyutlarında blok numune alımları gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.1. Süreksizlik özelliklerinin tanımlanması

Kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin ortaya tam olarak konulabilmesi için süreksizliklere ait yönelim, aralık, devamlılık, pürüzlülük, yüzey mukavemeti, açıklık, dolgu, sızıntı, takım sayısı ve blok boyutu gibi fiziksel parametrelerin tanımlanması gerekir.

3.2.2.1.1. Yönelim

Süreksizliklerin uzaydaki konumu, eğim ve doğrultuyla ifade edilir. Genel jeoloji çalışmalarında ifade edilen bu iki parametre jeolog pusulası yardımıyla belirlenir. Buna karşın hızlı ölçüm almak ve veri değerlendirmeyi kolaylaştırmak için süreksizlik çalışmalarında eğim yönü/eğim olarak ifade edilir [32] (şekil 3.1).



Şekil 3.1. Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramları (a), doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiyi gösteren bir örnek (b)

Uzaydaki konumları hemen hemen aynı olan, yani mostrada birbirine paralellik sunan süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa “süreksizlik takımı” denir. Baskın süreksizlik takımının yönelimi ile şevin konumu arasındaki ilişki duraysızlık modelinin ortaya konulmasında oldukça önemlidir.

Bundan dolayı, çok sayıdaki süreksizlik yönelimini istatistiksel yöntemlerle değerlendirmek ve süreksizlik sayısını ortaya koymak kaya duraysızlık çalışmalarının en önemli işlemlerinden birisidir. Bu çalışmada, arazide ölçülen süreksizlik eğim yönü/eğim değerleri stereografik izdüşüm teknikleriyle değerlendirilmiştir. Bu amaçla Dips 7.0 bilgisayar programı kullanılmıştır.

3.2.2.1.2. Aralık

Bir süreksizlik setindeki komşu iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir. Bu çalışmada süreksizlik aralığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM tarafından önerilen ve Tablo 3.1’de verilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır [33].

Tablo 3.1. Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri [33]

Tanımlama	Aralık
Çok fazla yakın aralıklı	<2 cm
Çok yakın aralıklı	2-6 cm
Yakın aralıklı	6-20 cm
Orta aralıklı	20-60 cm
Geniş aralıklı	60-200 cm
Çok geniş aralıklı	200-600 cm

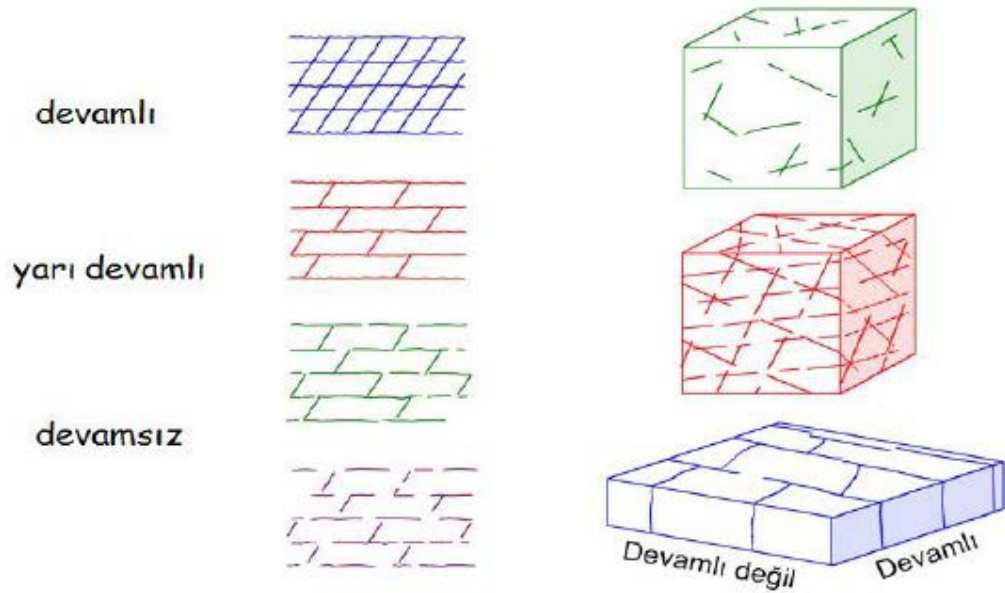
3.2.2.1.3. Devamlılık

Süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi olan devamlılık yönlere göre farklılık göstereceğinden birbirine dik yönlerde ölçüm alınması gerekir. Devamlılık arttıkça şev duraysızlığı artar. Devamlılık kaya mostrasında doğrudan şerit metre ile ölçülür ve üç boyutlu bir kavram olduğu için yönü kaydedilir. Devamlılığın ölçülmesi için en az 10 m uzunluğunda mm bölmeli şerit metre kullanılmalıdır ve bir veya iki

ucunun mostrada gözlenip gözlenmediği belirtilmelidir. Bu çalışmada devamlılığın tanımlanması amacıyla ISRM tarafından önerilen ve Tablo 3.2’de verilen ölçütler kullanılmıştır [33]. Devamlılık en önemli süreksizlik parametrelerinden biri olmasına rağmen kantitatif olarak değerlendirilmesi oldukça zordur. Bundan dolayı, Şekil 3.2’ de verilen basit çizim ve blok diyagramlar kullanılabilir [33].

Tablo 3.2. Süreksizlik devamlılığının sınıflandırılması ve tanımlama ölçütleri [33]

Tanımlama	Süreksizlik izinin ölçülen uzunluğu
Çok düşük devamlılık	<1 m
Düşük devamlılık	1-3 m
Orta devamlılık	3-10 m
Yüksek devamlılık	10-20 m
Çok yüksek devamlılık	>20 m

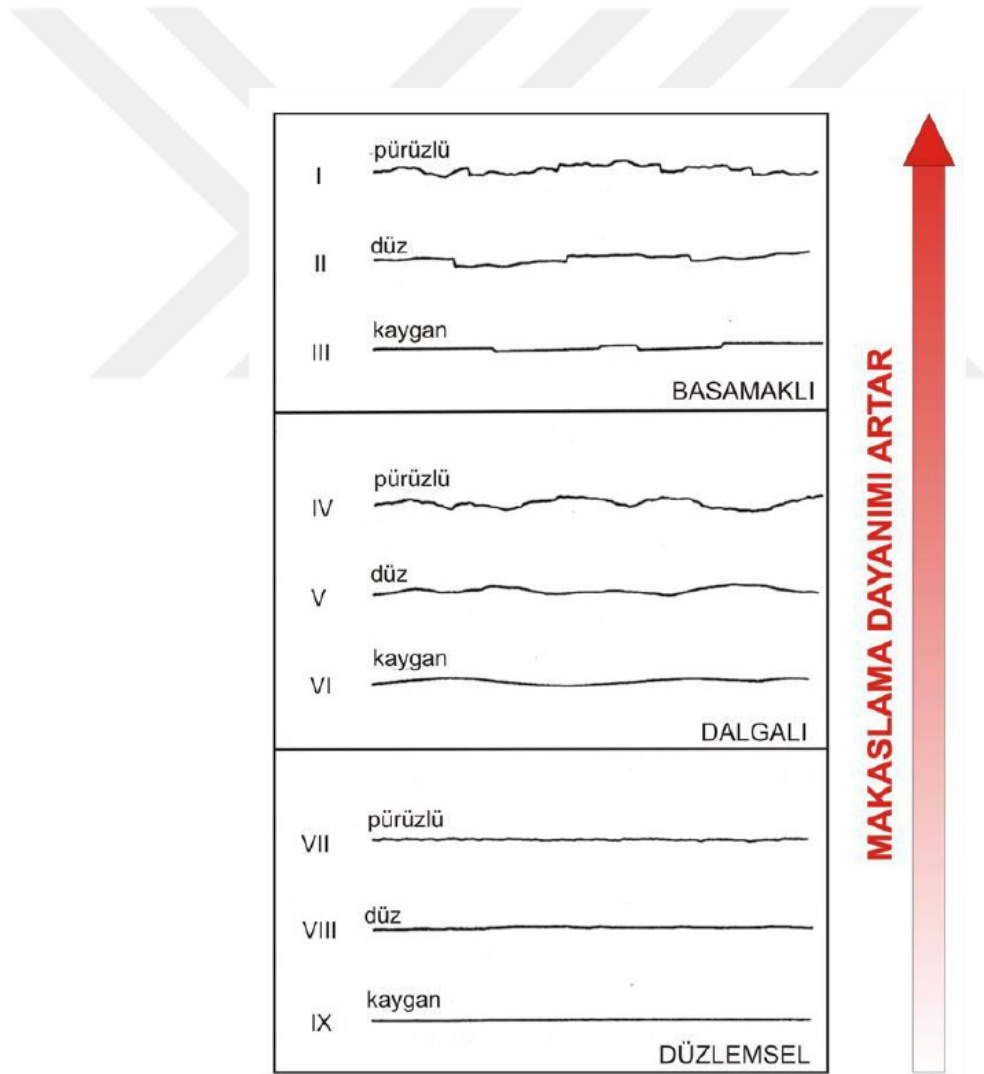


Şekil 3.2. Farklı süreksizlik takımlarında rölatif devamlılığı gösteren basit çizimler ve blok diyagramlar [33]

3.2.2.1.4. Pürüzlülük

Bir süreksizliğin makaslama mukavemetinin bir bileşeni olarak önem taşır ve dalgalılık ile birlikte değerlendirilmelidir. Pürüzlülük ve dalgalılık sırasıyla, süreksizlik yüzeyinin

küçük ve büyük ölçekte düzlemsellikten sapmanın bir ölçüsüdür. Pürüzlülüğün belirlenmesindeki başlıca amaç; kaya kütlesi sınıflaması için bir girdi parametresi elde etmek, süreksizlik yüzeyinin makaslama dayanımının belirlenmesi ve potansiyel kayma yönünü belirlemektir [32]. Bu amaç için hem kantitatif hem de kalitatif bazı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada kalitatif pürüzlük tanımlamaları kullanılmıştır. Bunun için ISRM tarafından önerilen ve Şekil 3.3’de verilen tipik pürüzlülük profillerine göre pürüzlülük tanımlanır ve sınıflandırılır [33]. Bu sınıflandırmaya göre profiller; basamaklı, dalgalı ve düzlemsel şeklinde üçe ayrılmakta ve ayrıca her grup kendi içinde küçük ölçek bazında pürüzlü, düz ve kaygan olarak sınıflama yapılmaktadır.



Şekil 3.3. ISRM’ye göre pürüzlülük görüntüleri ve kesme dayanımı arasındaki ilişki [34]

3.2.2.1.5. Açıklık

Bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi, su veya herhangi bir malzeme ile doldurulmuş olabilir. En basit ve pratik bir şekilde ölçüm milimetre bölmeli mikrometre ile yapılabilir. Açıklık belirlenirken her süreksizlik seti için ortalama açıklık değeri belirlenir ve ortalama değerden daha büyük açıklıklara sahip süreksizliklerin konumları ve yönelimleri tanımlanır. Süreksizliklerin açıklıklarının tanımlanması amacıyla ISRM tarafından önerilmiş ölçütler Tablo 3.3’de verilmiştir [33].

Tablo 3.3. Süreksizlik açıklığının tanımlanması amacıyla önerilen ölçütler [33]

Açıklık	Tanımlama	
<0.1 mm	Çok Sıkı	
0.1-0.25 mm	Sıkı	“Kapalı” yapılar
0.25-0.5 mm	Kısmen Açık	
0.5-2.5 mm	Açık	
2.5-10 mm	Orta Derecede Geniş	“Boşluklu” yapılar
>10mm	Geniş	
1-10 cm	Çok Geniş	
10-100 cm	Aşırı Geniş	“Açık” yapılar
>100 cm	Boşluklu	

3.2.2.1.6. Dolgu

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kaya malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Dolgu malzemesi pürüzlülük etkisini azaltacağından süreksizliklerin makaslama dayanımını azaltırlar.

3.2.2.1.7. Yüzey mukavemeti

Süreksizlik yüzeylerinin bulunduğu kaya malzemesinin dayanımı, özellikle süreksizlik yüzeylerinin dolgusuz ve birbiriyle temas halinde olması durumunda makaslama dayanımı açısından oldukça önemlidir. Bu amaç için, Schmidt çekici deneyi, eklem

yüzeylerinin sıkışma dayanımının, dolaylı da olsa arazide tahmini açısından pratik bir yöntemdir. Bu çalışmada, Schmidt çekici süreksizlik yüzeylerine dik yönde uygulanmıştır. Belirlenen ortalama Schmidt değerinden süreksizlik yüzeyinin tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenmiştir. Bu amaç için, Miller ile Barton ve Choubey aşağıdaki ilişkiyi önermiştir [35,36].

$$\log JCS = 0.00088\gamma.R + 1.01 \quad (3.1)$$

Burada, JCS süreksizlik yüzeyinin dayanımı (MPa), γ birim hacim ağırlık (kN/m³), R Schmidt sertlik değeridir.

3.2.2.1.8. Su durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbirleriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca oluşan akışla meydana gelir. Özellikle süreksizlikler boyunca devamlı bir su akışının olması halinde kaya kütlelerinin mekanik özellikleri değişir. Çalışma alanındaki süreksizliklerde suya rastlanmadığı için bu parametreye detaylı olarak çalışmada değinilmemiştir.

3.2.2.1.9. Blok boyutu

Kaya kütlelerinin davranışının önemli bir göstergesi olup, süreksizlik aralığı, set sayısı ve yönelimi gibi faktörler blokların şeklini belirler. Blok boyutu, tipik blokların ortalama boyutuyla (blok boyutu indeksi, I_b) veya birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplam sayısı ile (hacimsel eklem sayısı, J_v) tanımlanır [32]. Bu çalışmada hacimsel eklem sayısı yaklaşımı blok boyutunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Palmström tarafından tanımlanan hacimsel eklem sayısı (J_v), birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır [37].

$$J_v = \frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} + \dots + \frac{N_n}{L_n} \quad (3.2)$$

Burada, N_n gözlenen her bir eklem seti için ölçüm hattı boyunca sayılan süreksizlik sayısı ve L_n ölçüm hattının uzunluğudur. J_v değerine göre Tablo 3.4'de verilen değerler göz önünde bulundurularak blok tanımı yapılır [33].

Tablo 3.4. Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanması [33]

Tanım	J_v , eklem/m ³
Çok geniş bloklar	<1.0
Geniş bloklar	1-3
Orta boyutlu bloklar	3-10
Küçük bloklar	10-30
Çok küçük bloklar	>30

3.2.3. Laboratuvar çalışmaları

İlk olarak araziden alınan ve çalışmanın konusunu oluşturan farklı ignimbirit seviyelerine ait bloklardan karot alınmasıyla başlanmıştır. Bu kapsamda bloklar üç farklı grup olarak değerlendirilmiş ve blok örneklerden 23 adet, NX boyutlu karot numuneleri (Resim 3.1) standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde indeks, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır.



Resim 3.1. Hazırlanan karot örneklerinin görünümü

3.2.3.1. Yoğunluk ve birim hacim ağırlığın belirlenmesi

Düzgün şekilli olarak blok örneklerinden hazırlanan karot numunelerinin öncelikle ayrı ayrı ISRM tarafından önerildiği şekliyle (kumpas yöntemi ile) yoğunluk ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir [33]. Bu deneylerde kayaçların doğal yoğunlukları ve birim hacim ağırlıkları aritmetik ortalama ile tanımlanmıştır.

3.2.3.2. Schmidt sertliğinin belirlenmesi

Schmidt çekici deneyi N tipi çekiç kullanılarak arazide bloklar üzerinde ISRM tarafından önerilen şekilde yapılmıştır [33]. Deneyler bloklar üzerinde çatlak ve süreksizliğin olmadığı alanlarda düşey olarak yapılmış olup, her deneyde alınan 20 okumanın en yüksek 10'unun ortalaması tek blok numune için Schmidt sertliği olarak belirlenmiştir. Çalışmada arazide mostra üzerinde Schmidt sertlik deneyleri yapılmıştır (Resim 3.2)



Resim 3.2. Arazide Schmidt sertlik deneyinin uygulanması

3.2.3.3. Porozite (gözeneklilik) ve boşluk oranının belirlenmesi

Karot olarak hazırlanan numuneler 105°C'ye ayarlanmış fırında 18 saat bekletildikten sonra desikatör içine alınmıştır. Kuru ağırlıkları belirlenen numuneler daha sonra 48 saat suda bekletilmiştir. Suyu doymuş numunelerin ağırlıkları belirlenerek, porozite ve boşluk oranları değerleri elde edilmiştir. Ayrıca suda doyurulduktan sonra her bir numunenin ıslak birim hacim ağırlığı kuru yoğunluk ile aşağıdaki şekilde ilişkilendirilmiştir. Bu bağıntı kullanılarak ıslak birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır:

$$\gamma_{kuru} = \frac{\gamma_{ıslak}}{1+w} \quad (3.3)$$

3.2.3.4. Ağırlıkça ve hacimce su emme oranının belirlenmesi

Yaklaşık aynı boyutlarda önceden hazırlanan karot numuneleri saf su içinde 18 saat bekletildikten sonra ıslak ağırlıkları belirlenmiştir (Resim 3.3). Daha sonra numuneler 105°C'ye ayarlanmış fırında 18 saat kurutulmuştur. Fırından çıkarılan numunelerin kuru ağırlıkları belirlendikten sonra ağırlıkça ve hacimce su emme oranları tanımlanmıştır.



Resim 3.3. Suda bekletilen karot numuneleri

3.2.3.5. Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS)

Kapasitesi 1250 kN olan ekipmanın kullanıldığı deneylerde uzunluk/çap oranı (2.0-2.5) olan karot numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenmiştir. Yükleme hızı 0.3 kN/s seçilmiş olup, numuneler 3-4 dakika arasında yenilmiştir. İyi kaynaşmış ignimbirit için 9 örnek, az kaynaşmış ignimbirit için ise 10 örnekte deney gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. Büro çalışmaları

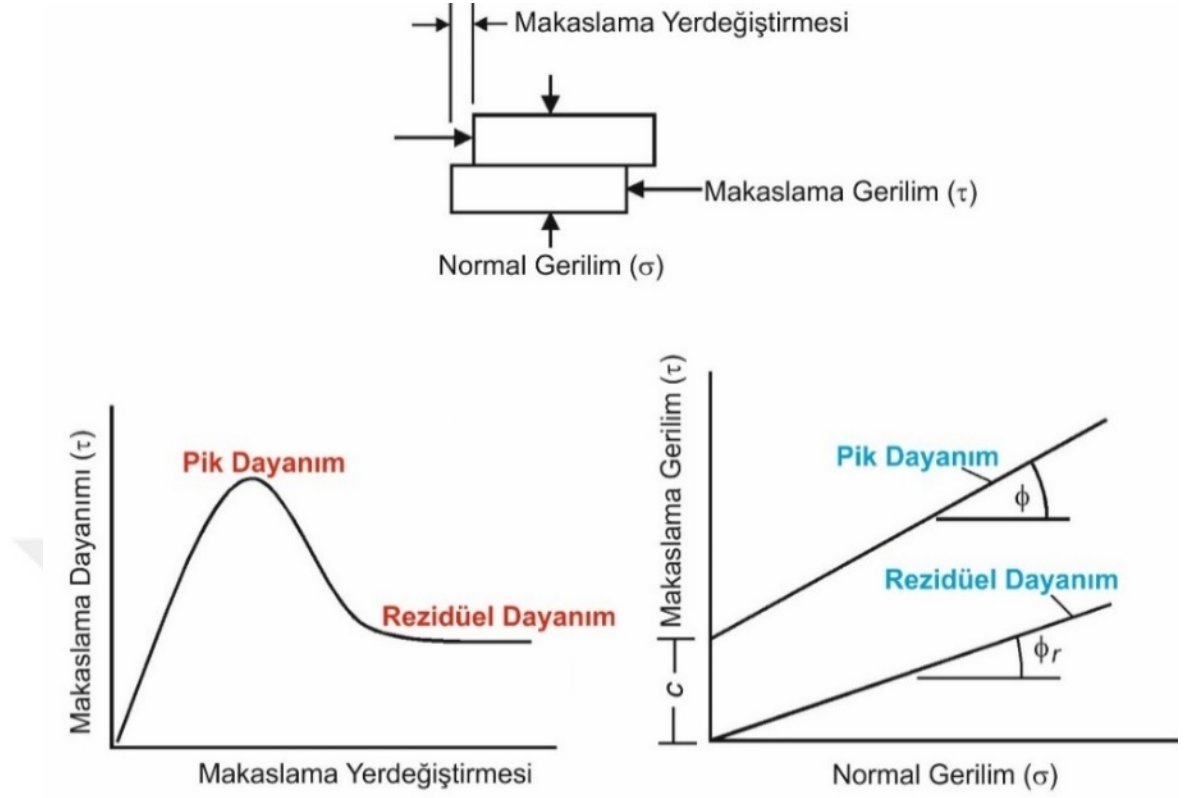
Büro çalışmaları ağırlıklı olarak arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi, kinematik analizler, 2 boyutlu kaya düşme analizleri ve tez yazım çalışmalarından oluşmaktadır.

3.2.4.1. Süreksizlik yüzeyi makaslama dayanımı parametrelerinin görgül yöntem ile belirlenmesi

Kaya düşmelerinde düşen bloğun hareketine başlamadan önceki yenilme mekanizmasının ortaya konması önemlidir. Bu amaç doğrultusunda kinematik analizlerle kaynak zonundaki duraysızlık modeli belirlenebilmektedir. Kinematik analizlerde süreksizlik ve şev/yamaç yönelimlerinin yanı sıra, süreksizlik yüzeylerinin içsel sürtünme açısı değerleri dikkate alınmaktadır. Süreksizlik makaslama dayanımı laboratuvarında süreksizlik yüzeyleri üzerinde gerçekleştirilen süreksizlik makaslama deneyi ile belirlenebilmektedir. Ancak, süreksizlik makaslama deneyi için süreksizlik yüzeyi içeren karot örnekleri bulunması ve bu örneklerin deney için hazırlanması oldukça zahmetlidir. Öte yandan, sondaj yapılma imkânı bulunmayan sahalarda örnek temini mümkün olamamaktadır. Bu durumda, süreksizlik yüzeyi makaslama dayanımını belirlemenin en uygun yolu görgül yenilme yöntemlerinden faydalanmaktır.

3.2.4.1.1. Düz yüzeylerin makaslama dayanımı

Bu tür yüzeylerde makaslama deformasyonuna direnç gösterecek yapılar (pürüzlülük) olmadığı için az bir deformasyonun sonucunda pik dayanıma ulaşılır [38]. Bağlayıcı malzeme yenilir ve makaslama dayanımı artık (rezidüel) değere düşer (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Pürüzsüz-düz yüzeylerde tipik makaslama dayanımı ve yenilme zarfları

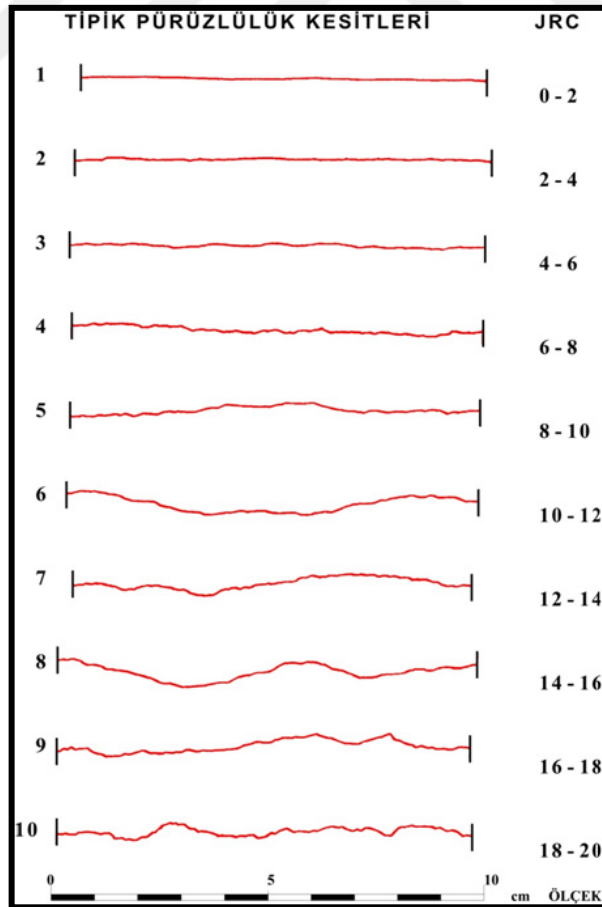
3.2.4.1.2. Pürüzlü yüzeylerin makaslama dayanımı

Doğal eklem yüzeylerindeki dalgalılık ve pürüzlülük süreksizliklerin makaslama davranışı üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Genellikle yüzey pürüzlülüğü makaslama dayanımını artırır ve bu dayanım kayadaki duraylılık açısından oldukça önemlidir doğal kaya eklemlerin davranışı üzerine çalışmış ve aşağıdaki yenilme ölçütünü önermiştir [39-41].

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (3.4)$$

Burada, JRC eklem pürüzlülük katsayısı ve JCS ise eklem yüzey dayanımıdır. JRC değerinin bulunabilmesi için ölçülen pürüzlülük kesitleri, Şekil 3.5’de verilen ve Barton ve Choubey tarafından tanımlanan pürüzlülük kesitleri ile karşılaştırılır [36]. Kayanın eklem yüzeylerine komşu konumdaki kısımları, kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerini denetler. Süreksizlik yüzeylerinde gözlenen ayrışma kayacın içine doğru ilerledikçe kayacın tek eksenli basınç dayanımını azaltacaktır. Süreksizlik

yüzeylerinde gözlenen ayrışma derinliği bir milimetreden az olabileceği gibi, bazen birkaç milimetreyi bulabilir. Ayrışmamış kayalar için JCS tek eksenli basınç dayanımına eşit olarak alınabilir, ancak ayrılmış kayalar için tek eksenli basınç dayanımını %75 oranında azaltmak gerekebilir [42]. Benzer bir şekilde Barton süreksizlik yüzey dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki (JCS/UCS) oranın $\frac{1}{4}$ şeklinde kullanılabilceğini belirtmiştir [40]. Bundan dolayı, JCS'nin belirlenmesi için en pratik yöntem Schmidt sertlik çekici deneyidir. JCS'nin tahmini için kullanılan Schmidt sertlik çekici deneyi ile ilgili yöntem ISRM tarafından yayımlanmış olup, Schmidt geri tepme sayısı ile yüzey dayanımı arasındaki ilişkiye ait abak ise Deere ve Miller tarafından oluşturulmuştur [43,44]. Bu yöntemin bir avantajı da herhangi bir işlem yapılmadan doğrudan süreksizlik yüzeylerine uygulanabilir olmasıdır. Schmidt sertlik çekici deneyi, JCS değeri 20-300 MPa arasında değişen süreksizlik yüzeyleri için uygundur [38].



Şekil 3.5. Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri [36]

Barton ve Choubey, ayrıışmış kayaçlardaki eklem yüzeylerine ait 130 adet doğrudan makaslama kutusu deney sonuçlarını kullanarak ayrıışmış süreksizlikler için makaslama dayanım formülünü aşağıdaki şekilde değiştirmişlerdir [36].

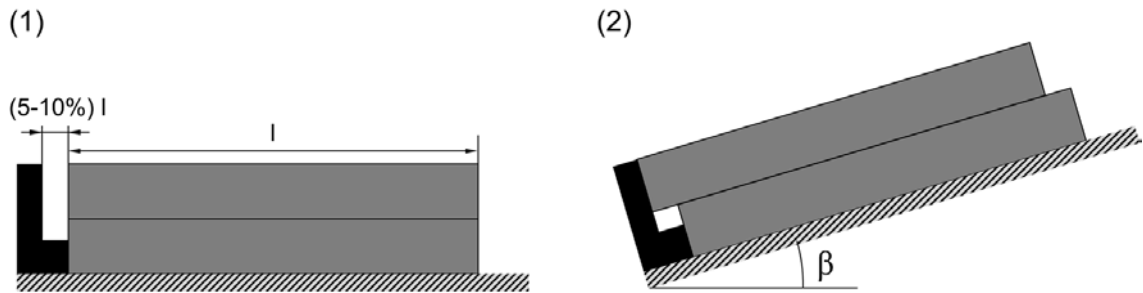
$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (3.5)$$

Burada ϕ_r artık sürtünme açısı olup, Barton ve Choubey, artık sürtünme açısının şu şekilde tahmin edilebileceğini belirtmiştir [36].

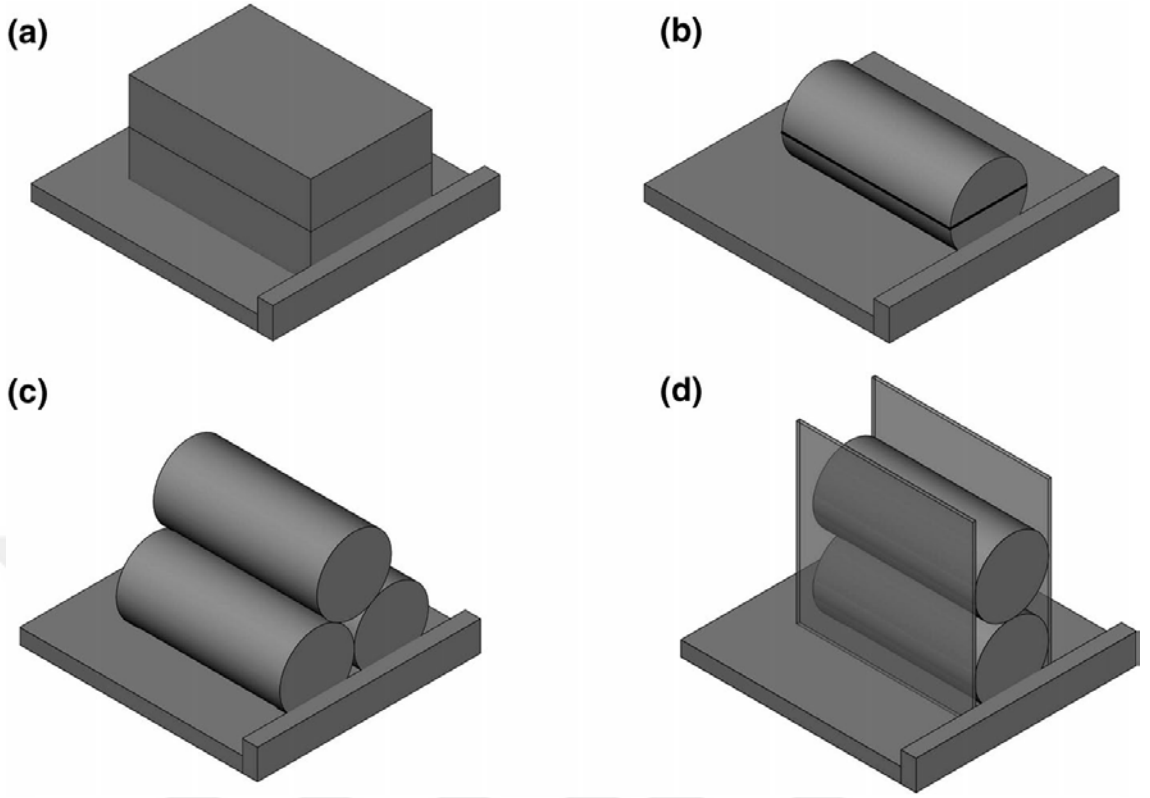
$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \left(\frac{r}{R} \right) \quad (3.6)$$

Burada, r ayrıışma yüzeyinin veya ıslak yüzeyin Schmidt geri sıçrama değeri, R is ayrıışmamış yüzeyin Schmidt geri sıçrama değeridir.

Temel sürtünme açısı (ϕ_b) süreksizliklerin kayma dayanımının tahmininde anahtar rol oynamaktadır. Temel sürtünme açısı taze yüzeyleri karakterize eder. Literatürde temel sürtünme açısı farklı kaya tipleri için incelenmiş olup, sedimanter kayaçlar için 25° - 30° arasında değerler alırken, magmatik ve metamorfik kayaçlar için bu değer 30° - 35° aralığında bulunmuştur. Temel sürtünme açısı laboratuvarında tilt (eğimlendirme) deneyi (şekil 3.6) ve doğrudan makaslama kutusu deneyi kullanılarak taze düz yüzeyler için hesaplanabilir [45]. Tilt deneyi yapım kolaylığı açısından daha çok tercih edilen bir yöntemdir. Tilt deneyleri farklı şekillerdeki örnekler üzerinde ve farklı örnek dizilimlerinde yapılabilmektedir (şekil 3.7). Tilt deneylerinde eğimlendirilen yüzey üzerinde örneğin kaydığı andaki yüzey eğim açısı (β) belirlenmekte ve bu açı yardımıyla temel sürtünme açısı eşitlikler yardımıyla saptanmaktadır.



şekil 3.6. Tilt deneyinin şematik görünümü [46]



Şekil 3.7. Tilt deneylerinde kullanılan farklı örnek ve dizilim türleri [46]

Afete maruz alanlarda yapılacak olan çalışmalarda temel sürtünme açısı basit bir düzenerik olan tilt deneyi yapılarak hesaplanabilir. Bu yöntemle ilgili en güncel yöntem Alejano ve çalışma arkadaşları, tarafından önerilmiştir [46]. Şekil 3.7-a ve b'de gösterildiği gibi, farklı şekillerde (küp veya silindir) iki tane disk örnek kullanıldığı durumda temel sürtünme açısı (ϕ_b) aynı örnek üzerinde yapılan beş farklı tilt deneyinden elde edilen eğim açılarının ortalaması alınarak belirlenmektedir.

$$\phi_b = \text{ortalama} (\beta_{i=1\dots5}) \quad (3.7)$$

İlk defa Stimpson, tarafından önerilen yöntemde 54 mm çap ve 108 mm boya sahip silindirik üç karot örneği kullanılmaktadır [47]. Silindirik örneklerin bir tanesi diğer ikisinin üzerine Şekil 3.7-c'de gösterildiği gibi yerleştirilerek eğimlendirme açısı (β) belirlenmekte ve beş eğimlendirme tekrarı sonucunda temel sürtünme açısı (ϕ_b) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\phi_b = \text{ortalama} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \tan \beta_{i\dots5} \right) \right] \quad (3.8)$$

3.2.4.2. Kinematik analizler

Kaya düşmeleri farklı faktörlerin kontrolünde yamaç veya şevlerde meydana gelen kaya kütle yenilmelerinin devamında hızlı gerçekleşen bir duraysızlık türüdür. Kaya kütlelerinde duraysızlıkları kontrol eden faktörlerin en önemlisi süreksizliklerdir. Kinematik analizler, duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından kontrol edildiği kaya kütlelerinde stabilite problemleri yaşanabilecek olası şevlerin ayırt edilmesi amacıyla ayrıntılı analizlere başlamadan önce kullanılan bir yöntemdir [46]. Bu yöntemde süreksizliklerin doğrultu ve eğimi, şevin doğrultu ve eğimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı girdi parametresi olarak kullanılır. Buna göre, kaya şevlerinde düzlemsel, kama ve devrilme türü süreksizlik kontrollü duraysızlıklar incelenebilir. Kaya düşmesini tetikleyen önemli unsurlardan birini de, süreksizliklere bağlı gelişen kaya kütle duraysızlıkları (Şekil 3.8) oluşturduğu için analiz çalışmalarının ilk aşamasında çalışma alanı farklı sektörler (bölüm) ayrılarak düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıklar kinematik açıdan değerlendirilmelidir. Bu değerlendirmelerde egemen süreksizlik takımları göz önünde bulundurulmalıdır. Ekvatoryal eş alan stereoneti kullanılarak şevin ve süreksizliklerin yöneliminden ortaya çıkan durum Şekil 3.8’de verilen koşullara göre değerlendirilerek, düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıklar incelenebilir.

Kinematik değerlendirmelerde amaç, kaya düşmesi öncesi olayı tetikleyebilecek bir kaya kütle duraysızlığının varlığının ortaya konulmasıdır. Bundan dolayı kinematik analizler doğrudan kaya düşmesinin değerlendirildiği bir analiz olmayıp, yardımcı bir değerlendirme süreci olarak düşünülmelidir. Kaya düşme analizleri ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

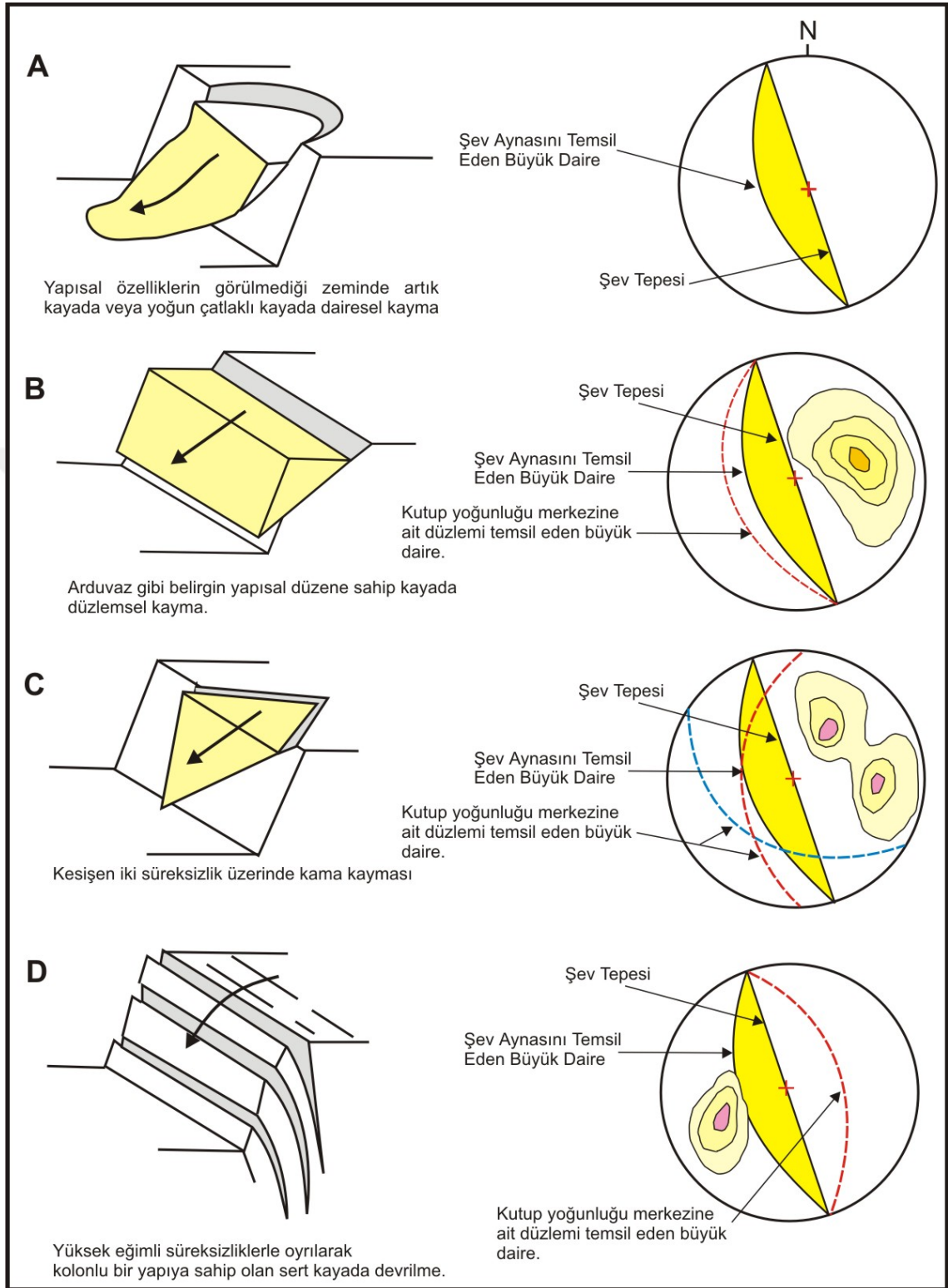
3.2.4.2.1. Düzlemsel kaymanın analizi

Düzlemsel kaymanın gerçekleşebilmesi için Şekil 3.9’deki koşulların sağlanması gerekir. Buna göre, kayma düzleminin eğiminin şev aynasının eğiminden küçük olması ve sürtünme açısı değerinden büyük olması gerekir. Diğer bir şart olarak ise kayma düzleminin eğim yönü ile şev aynasının eğim yönünün birbirlerine yaklaşık olarak paralellik sunmaları gerekir. Kayma düzleminin eğim yönü ile şev aynasının eğim yönü arasındaki farkın en fazla 20 derece olması gerekir. Şekil 3.9’da söz konusu durumların net üzerindeki konumları gösterilmektedir. Stereonet üzerinde kayma için uygun koşul

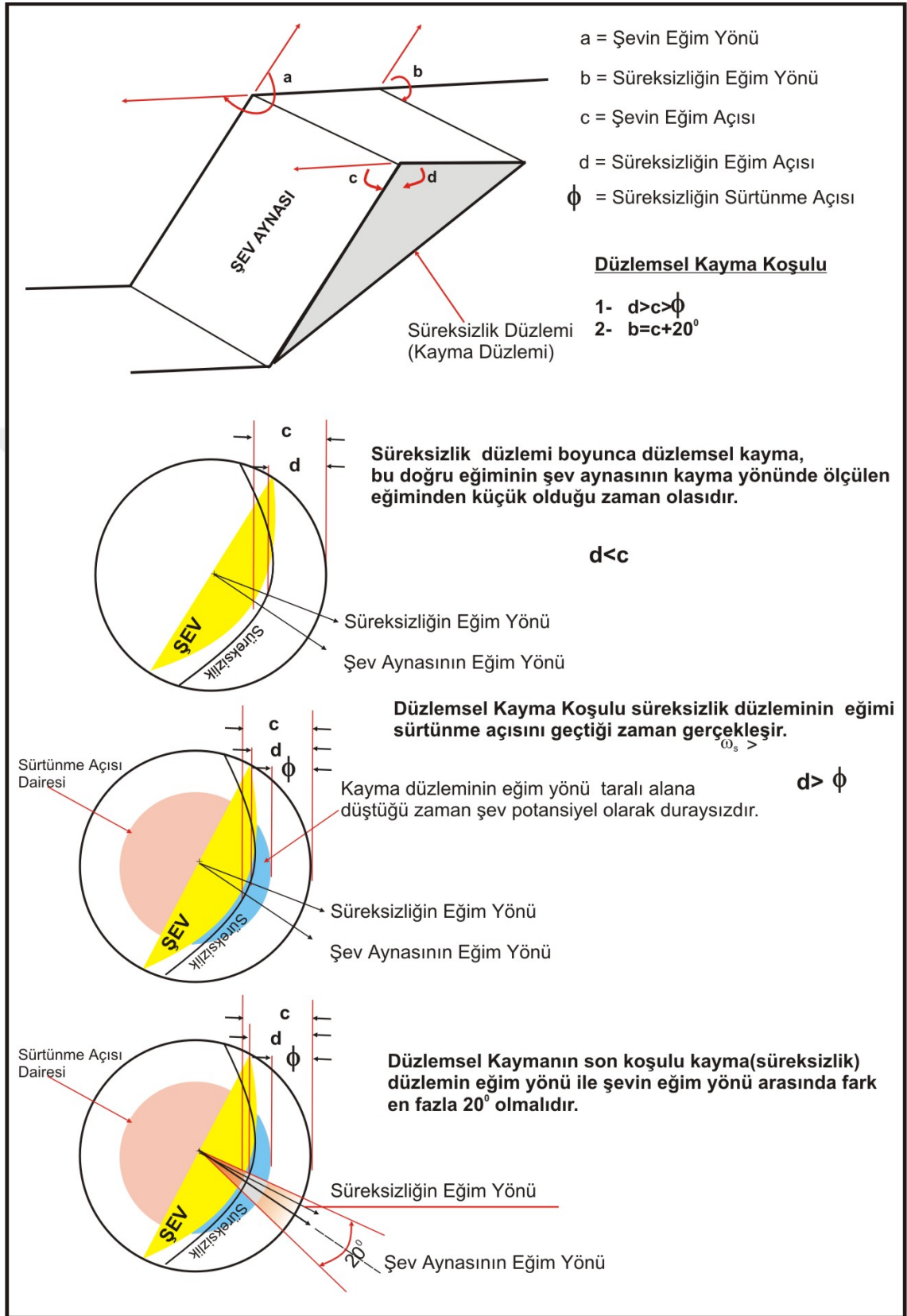
göz önünde bulundurulmuştur.

3.2.4.2.2. Kama tipi kaymanın analizi

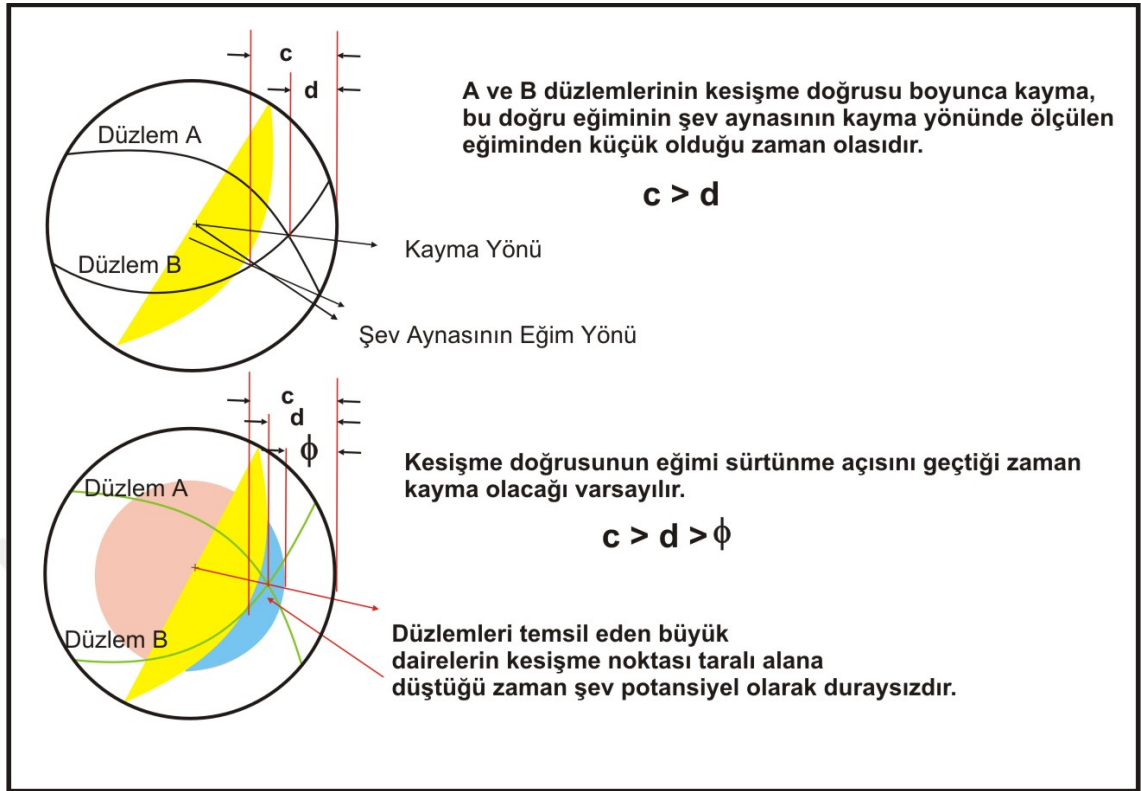
Kama tipi kaymanın oluşabilmesi için öncelikle iki farklı süreksizliğin sebep olduğu bir kesişme düzlemin oluşması gerekmektedir. Şekil 3.10 incelendiğinde kama tipi yenilmenin oluşabilmesi için birinci koşul, verilen A ve B düzlemlerinin kesişme doğrusunun eğiminin şev aynasının kayma yönünde ölçülen eğiminden küçük olmasıdır. İkinci koşul olarak da kesişme doğrusunun eğimi, sürtünme açısı eğimden daha fazla olmalıdır. Şekil 3.10'da mavi ile gösterilen taralı bölge kritik alan olarak nitelendirilir. Bu bölgeye düşen kesişme noktaları kama tipi yenilme potansiyeli taşımaktadır.



Şekil 3.8. Kaya kütlelerinde şev duraysızlık türleri ve bunların stereonet çizimleri [49].



Şekil 3.9. Düzlemsel kayma koşulu ve düzlemsel kaymanın kinematik analizi [49].

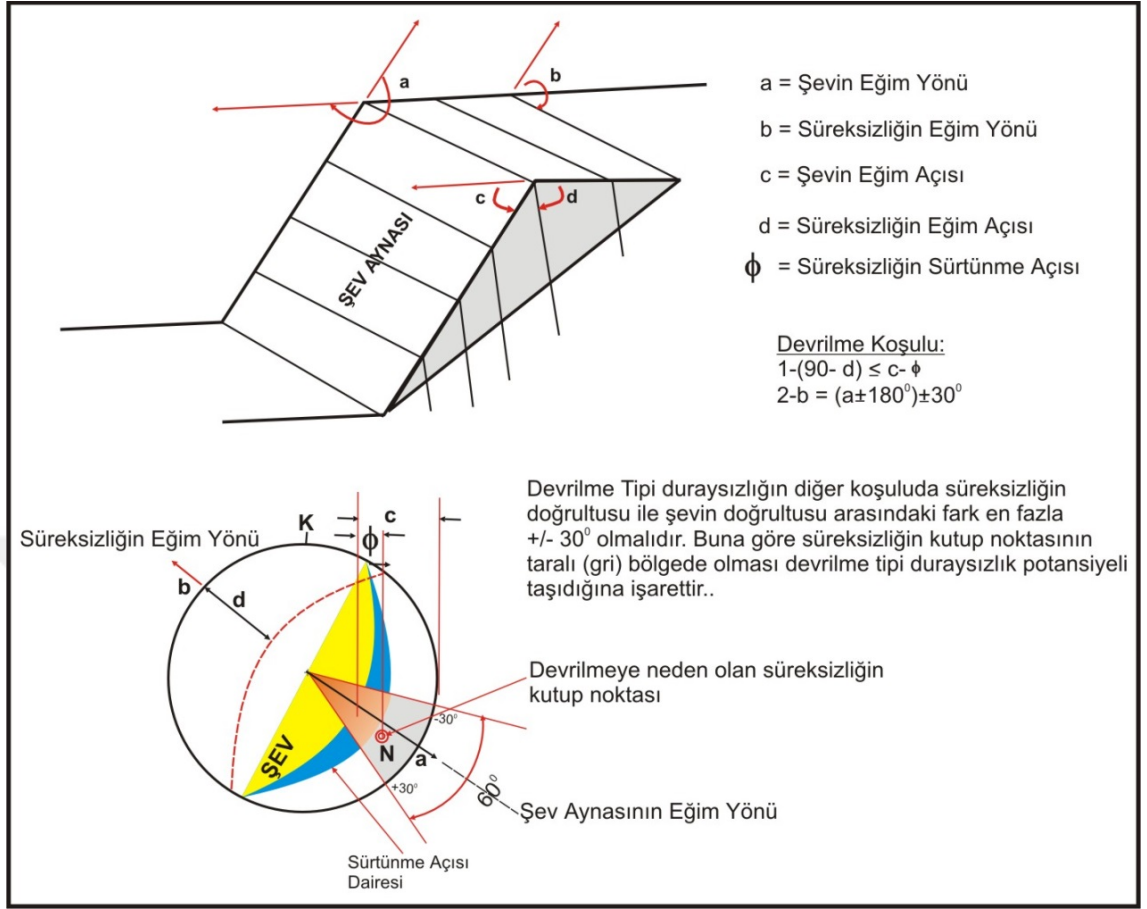


Şekil 3.10. Kama tipi yenilme koşulu ve kinematik analizi [49].

3.2.4.2.3. Devrilme tipi kaymanın analizi

Devrilme tipi duraysızlık Şekil 3.11’de gösterildiği gibi şev aynasının tersi yönde eğimli ve devamlılığı yüksek süreksizlikler boyunca meydana gelir [48]. Devrilme tipi yenilmenin gerçekleşebilmesi için Şekil 3.11’de verilen koşulların sağlanması gerekir.

Sonuç olarak aynı jeolojik özelliklere sahip bir bölgede şev aynasının geometrik özelliklerine (yönelim, eğim) bağlı olarak farklı yenilme tipleri oluşabilmektedir. Bu çalışma yapıldıktan sonra potansiyel duraysızlıklar için kaya düşme analizlerinin yapılması gerekmektedir. Kinematik analizler stereonetlerin üzerine takılan şeffaf kâğıt üzerine elle yapılacak çizimler ile yapılabildiği gibi, son yıllarda bazı yazılımlar (Dips vb.) kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Analizlerde öncelikle egemen süreksizliklerin ve şevlerin yönelimlerine ait büyük dairelerin çizilmesi işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra yönelimler ve sürtünme açısı dikkate alınarak, yukarıda değinilen duraysızlıklar kinematik olarak değerlendirilir.

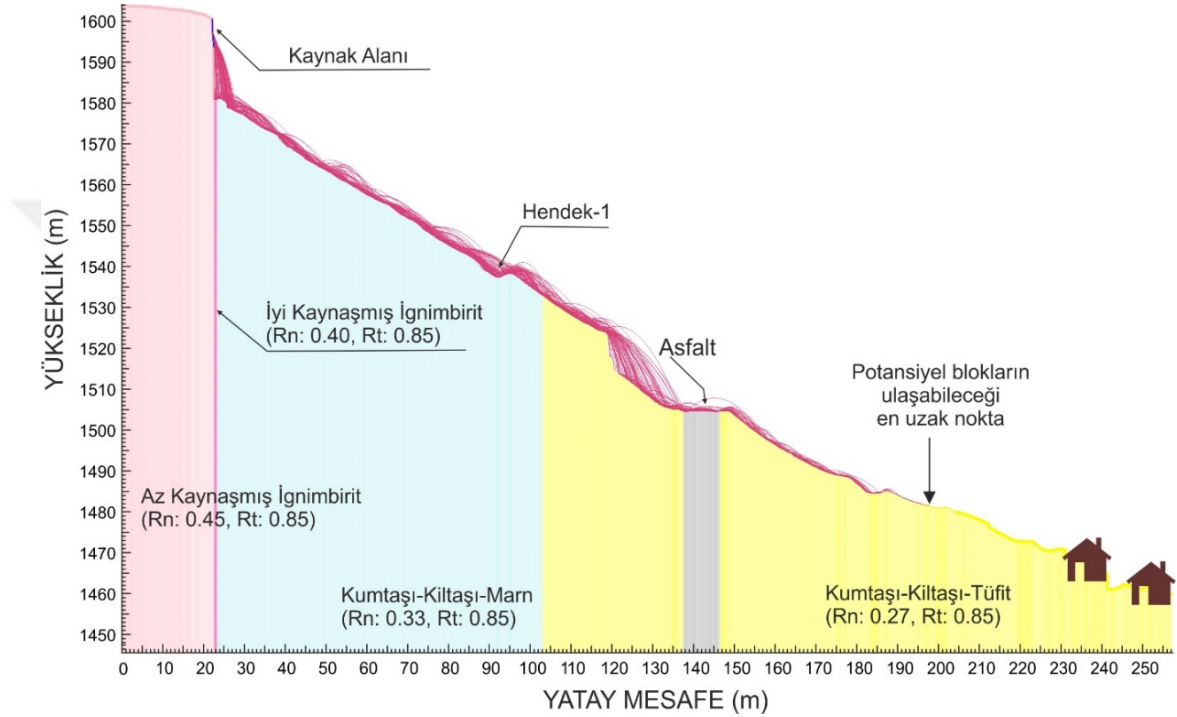


Şekil 3.11. Devrilme tipi duraysızlık koşulu ve kinematik analizi [49].

3.2.4.3. 2-boyutlu kaya düşme analizleri

2-boyutlu kaya düşme modellerinde kaya düşme hatları, uzaysal alandaki iki eksen üzerinde değerlendirilmektedir. 2-boyutlu modellerin çoğunda, kullanıcı tanımlı bir şev kesitinde yatay eksen (x veya y) mesafeyi ve düşey eksen (z) ise yüksekliği tanımlamaktadır. Öte yandan, bazı 2-boyutlu kaya düşme hattı modellemelerinde uzaysal alandaki iki eksen de x ve y olmak üzere mesafe eksenleri olarak dikkate alınmakta (örneğin eş yükselti eğrilerini içeren bir harita veya yükseklik değerlerini gösteren raster harita) ve kaya düşme hatları topoğrafik-hidrolojik esaslar dikkate alınarak belirlenmektedir. İkinci tür modellerde kaya düşme hızı ve yuvarlanma mesafesi kayan blok yaklaşımı ile hesaplanmakta, sıçrama yükseklikleri ile ilgili bir veri sunmamaktadır [50]. Bu nedenle uygulamalarda x ekseninin mesafe, y ekseninin de yükseklik olarak ifade edildiği 2-boyutlu modeller daha çok tercih edilmektedir. Uygulamada 2-boyutlu kaya düşme modellemelerinde Rocfall 6.0 yazılımı en yaygın

şekilde kullanılan programlardan bir tanesidir [51]. Rocfall programıyla yapılan 2-boyutlu kaya düşme analizi sonucunda kaynak zonundan kopan blokların ulaşabildiği maksimum yuvarlanma mesafesinin belirlendiği bir örnek çalışma Şekil 3.12’de sunulmuştur.

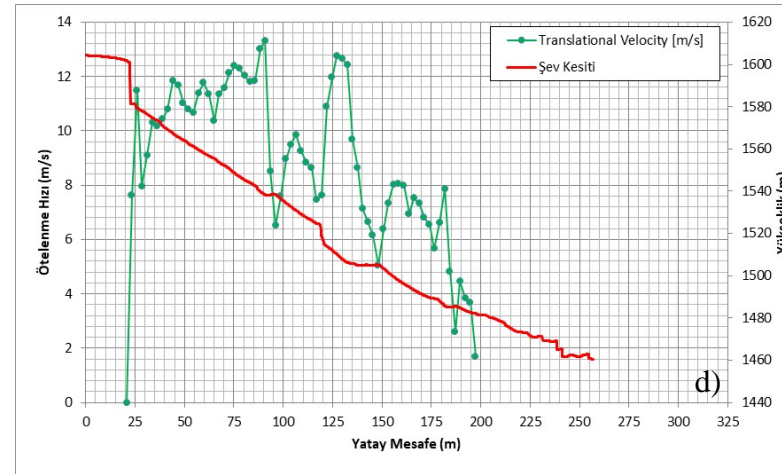
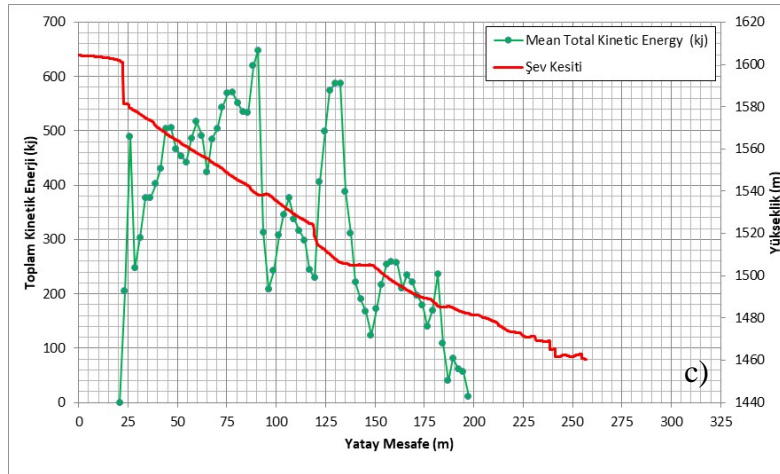
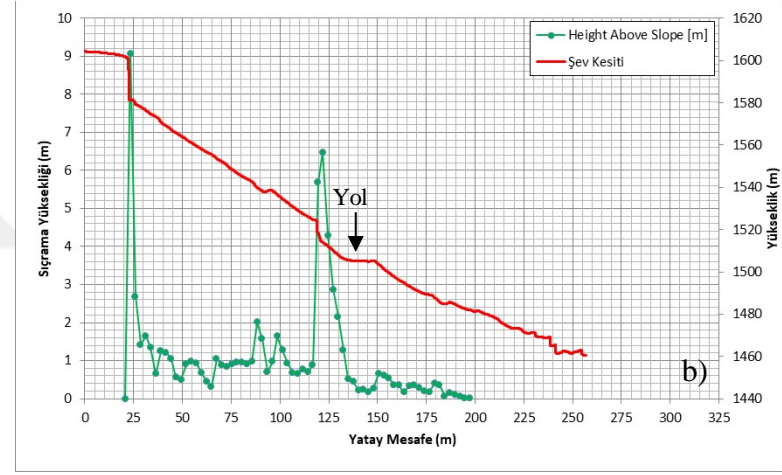
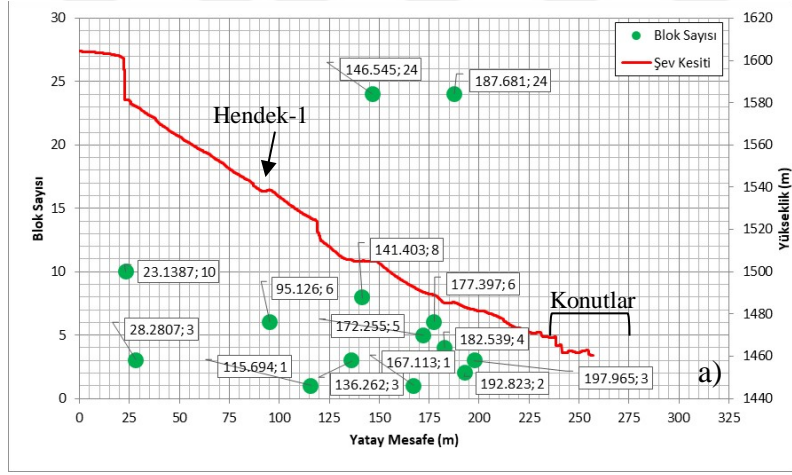


Şekil 3.12. 2-boyutlu kaya düşme analizi ile yuvarlanma mesafesinin belirlenmesi

2-boyutlu kaya düşme analizlerinde yuvarlanma mesafesi ile birlikte, düşen kaya bloğunun topoğrafya üzerinde yaptığı sıçrama (zıplama) hareketinin boyutu da ortaya konabilmektedir. Kaya düşme analizlerinde sıçrama yüksekliklerinin belirlenmesi, kaya düşmesinin önlenmesi için kaya tutma bariyerleri gibi pasif koruma yapılarının yerlerinin ve yüksekliklerinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Buna göre, kaya düşmesi sıçrama yüksekliklerinin fazla olduğu alanlarda koruma yapılarının yerleştirilmesi uygun değildir. Bunun yerine, sıçramanın daha düşük seviyelerde olduğu alanlar koruma yapıları açısından daha uygun alanlar olarak kabul edilmektedir. Şekil 3.13’de aynı örnek çalışmaya ait maksimum blok sıçrama yüksekliklerinin yuvarlanma hattı boyunca değişimi gösterilmektedir. Şekil 3.13’de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme hareketi sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi

ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar küçük ölçekli sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dahil edilen 100 bloğun 24 adeti kaynak alandan 187 metre uzağa ulaşırken, 3 tanesi de maksimum durma mesafesi 197 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 3.13a). Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 9,077 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 3.13b).

2-boyutlu kaya düşme analizleri sonucunda belirlenmesi gereken diğer bir önemli parametre de düşen blokların hareketleri esnasında sahip oldukları kinetik enerjidir. Kaynak zonundan kopan kaya bloklarında serbest düşme hareketi ile birlikte kinetik enerji değerleri artmaktadır. Yuvarlanma hattı boyunca yüzeye çarpan ve yuvarlanma ile hareketine devam eden bloklarda kinetik enerji sönmülmekte ve bloğun durması ile birlikte sıfırlanmaktadır. Şekil 3.13’de aynı örnek çalışmaya ait toplam kinetik enerji değerlerinin yuvarlanma hattı boyunca değişimi verilmiştir. Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 647 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 3.13c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 13.0 m/s (90 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 3.13d).



Şekil 3.13. a) Kesit-6 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-6 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-6 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-6 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Senozoyik birimlerden oluşan çalışma alanının jeolojisini Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Melendizdağı andeziti, Tuzköy formasyonu, Ürgüp formasyonun Cemilköy, İncesu ve Kışladağ üyeleri ve Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar oluşturmaktadır (Harita 4.1).

4.1.1. Melendizdağ andeziti

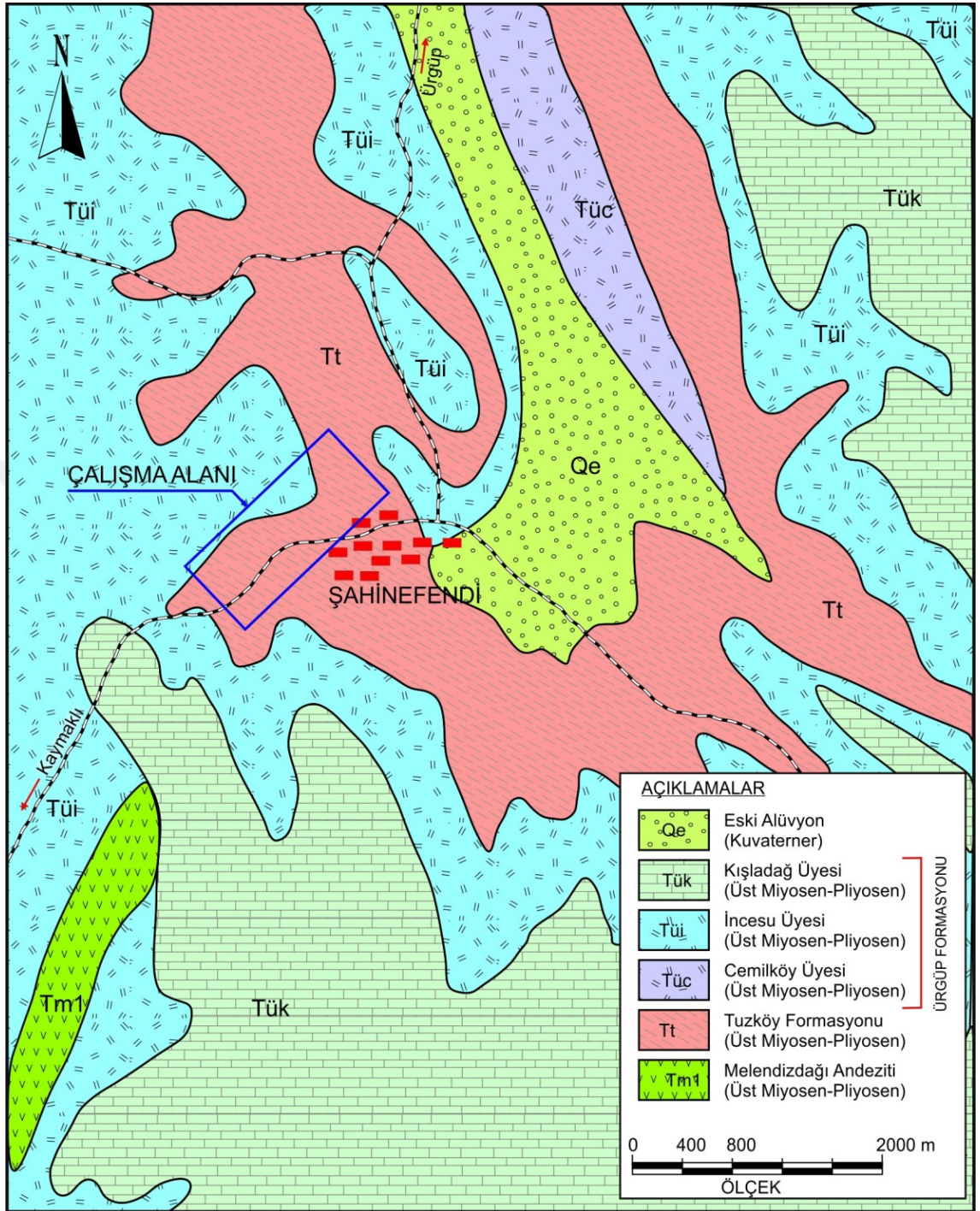
Çalışma alanının güneyinde dar bir alanda gözlenen birim Beekman, tarafından adlandırılmıştır [52]. Birim gri, açık gri, koyu gri, kahverengi, yer yer camsı ve sık dokulu andezittir.

Hyalopilitik, vitrofirik, pilotaksitik dokuda ve fenokristalleri plajiyoklas, amfibol, biyotit, piroksendir. Plajiyoklaslarda killeşme, amfibolitlerde opazitleşme görülür. Melendizdağ tufunun üzerinde yüzeylenmektedir. Batum, Andezitlerde K/Ar yöntemi ile yapılan yaş tayinlerinde 13.7 ± 0.3 ile 6.5 ± 0.2 my vermiştir [53]. Bölgede Üst Miyosen, Alt Miyosen zaman aralığında andezitik karakterde volkanizma etkili olmuştur [53,54].

4.1.2. Tuzköy formasyonu

Çalışma alanında geniş bir alanda izlenen Tuzköy Formasyonu Şahinefendi ve yakın çevresinde gözlenmektedir.

Atabey ve çalışma arkadaşları, tarafından adlandırılan birim çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı ve tüfit aralanmasından oluşmuştur [55]. Çakıltaşı gevşek çimentoludur ve 10-20 santimetre çapında çakıllar (diyabaz, split, granit, andezit, granodiyorit, metamorfik kayaç) içermektedir. Kumtaşı ve kıltaşları, sarımsı kahve renkli; tuf ara düzeyleri ve pomza parçaları içermektedir. Orta düzeylerde 5-6 metre kalınlığında sarımsı renkli, çapraz tabakalı tüfit, üst düzeylerde ise kahve-gri renkli, kalın tabakalı tüfit ve gri renkli ince tabakalı-laminalı kumtaşları yer alır. Birim toplam kalınlığı 100 metre dolayındadır. Birimin yaşı Atabey tarafından Üst Miyosen-Pliyosen olarak belirlenmiştir [56].



Harita 4.1. Çalışma alanı ve yakın civarının jeolojik haritası

4.1.3. Ürgüp formasyonu

Çalışma alanında Cemilköy, İncesu ve Kışladağ üyesiyle temsil edilen birim özellikle İncesu ve Kışladağ üyeleriyle oldukça geniş bir alanda izlenmektedir. Kapadokya yöresinde ignimbiritler geniş alanlara sahiptirler. Volkanik ürünler karasal ve gösel

çökellerle ardalanmalı olarak depolanmışlardır. Kalınlıkları yüzlerce metreye erişen bu volkano-sedimanter oluşuklar, Pasquare, tarafından Ürgüp Formasyonu olarak adlandırılmıştır [57]. Sahanın büyük bir kısmını kaplayan bu formasyon renk, kalınlık, sıkışma derecesi farklı ignimbiritlerden oluşmaktadır. İgnimbiritlerin yaşının Üst Miyosen ile Kuvaterner aralığında değiştiği, farklı zamanlarda oluştuğu ve genellikle riyolitik bileşimde oldukları araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir. Ürgüp formasyonu, Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından üzerlenir. Kapadokya bölgesi içerisindeki ignimbirit serisinin yaşı $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ plajiyoklaz ve U-Pb zirkon yaşlandırmasına göre 9-1 my olarak belirlenmiştir [58].

4.1.3.1. Cemilköy üyesi

Çalışma alanının kuzey doğusunda izlenmektedir.

Damsa ve Karlık vadilerinde, Cemilköy, Karain, Karacaören, Basansarnıç köyleri civarında, Ayvalı ve Bağcalı köyleri güneyinde, Tatların köyü civarında, yüzeyleyen, pomzalı, inci grisi renginde pümsü ve litik karakterli volkano-sedimanter bir birimdir, Pasquare, tarafından Cemilköy üyesi olarak adlandırılmıştır [57]. Atabey, tarafından haritada Tüc simgesi ile Dönmez ve çalışma arkadaşları, tarafından ise haritada Tmüc simgesi ile gösterilmiştir [59,60]. Yer yer ofiyolitik kayaç ve bazaltik lav çakılları içerir. En iyi gözlemlendiği Cemilköy civarında kalınlığı 110 m'dir [60] Gri-beyaz renkli, pomza, volkanik ve ofiyolitik kayaç parçaları içeren Cemilköy ignimbiritinin alt kesimleri önemli miktarda matriks içermekte ve bu matriks içerisinde küçük taneli pomzalar dağılmış durumdadır [61]. Birimin üst kesimlerine doğru içerdiği pomza parçalarının boyutu artmakta ve 40-50 cm'yi bulduğu belirtilmiştir.

Birimin içerdiği pomza parçaları lifsi yapıda olup, sedefsi parlaklık göstermekte ve pomzalarının tipik olan bu özelliği yardımıyla diğer ignimbirit seviyelerinden ayrılabilir [60]. Cemilköy İgnimbiriti içerisinde yoğun oranda gaz kaçış bacaları gözlemlendiği savunulmuştur.

Temel, tarafından pomzalar üzerine gerçekleştirilen optik mikroskop incelemeleri bunların genelde lifsi dokuda olduğunu ve plajiyoklas, kuvars, amfibol, biyotit ve opak mineral içerdiğini ortaya koymaktadır [61]. İçindeki kayaç parçacıkları ise volkanik ve ofiyolitik kayaç kökenli olup heterojen bir dağılım göstermektedir. İgnimbirit kütleleri

içinde iri gövdeli çok sayıda peribacaları gelişmiştir. Cemilköy İgnimbiriti'nin çıkış kaynağı olarak Temel'e göre Kaymaklı civarı, Le Penec ve çalışma arkadaşlarına göre Derinkuyu civarındır [61,62,57]. Schumacher ve çalışma arkadaşları, tarafından K/Ar yöntemi ile yapılan yaş tayinlerinde $6,78 \pm 0,2$ milyon yıl ve $6,51 \pm 0,2$ milyon yıl yaşında olduğu belirtilmiştir [63].

4.1.3.2. İncesu üyesi

Çalışma alanında geniş bir alanda izlenen İncesu Üyesi, Şahinefendi ve yakın çevresinde gözlenmektedir.

İncesu İgnimbiritinin alt seviyesini, gri ve beyaz, pomzalı, üst kesimlere göre daha az kaynaklanmış bir düzey oluşturur [60]. Bunun üzerine ise çoğu zaman siyah renkli, iyi kaynaklaşmış, fiyammeli yağlımsı görünümlü bir ignimbirit düzeyi gelir. En üst kesimde ise yaygın olarak gözlenen, kahve-gri-kırmızı renkli, yer yer boşluklu ve yer yer sütunsal ayrışmalı bir düzey görülür. Bunlar geniş düzlükleri ve platoları oluşturur. Kalınlığı 60 m'dir.

Pasquare ve Atabey tarafından İncesu üyesi Üst Miyosen-Pliyosen yaşta Ürgüp formasyonunun bir üyesi olarak tanımlanmış ve haritada Tüi simgesi ile gösterilmiştir [57,59]. Dönmez ve çalışma arkadaşları, tarafından ise İncesu İgnimbiriti olarak adlandırılmış ve haritada Tpkoi simgesi ile gösterilmiştir [60]. İncesu Tilköy ve Mazı köy arasında yüzeyler. Tekkedağ-Topuz Dağı kütesini aşamayan ignimbiritler, Tekgözköprü civarında Kızılırmak Volkanitlerini aşamamış, buradan Süksün köyü-Himmetdede Beldesi istikametine yönelmiştir. İncesu İgnimbiritinin yaşını; Innocenti ve çalışma arkadaşları, İncesu'da $3,0 \pm 0,1$ milyon yıl, ignimbiritlerdeki biyotitlerden ise K/Ar yöntemi ile Batum $4,9-5-50,2$ milyon yıl olarak saptamışlardır [64,53].



Resim 4.1. çalışma alanında gözlenen pembemsi gri ignimbirit

4.1.3.3. Kışladağ üyesi

Çalışma alanının kuzeydoğusunda ve güneyinde geniş bir alanda izlenen Kışladağ Üyesi Şahinefendi ve yakın çevresinde gözlenmektedir.

Kaya birimi, ince tabakalı, gri-boz renkte, sert kireçtaşıdır. Kalınlığı 1-3 m'dir. Dönmez ve çalışma arkadaşları, tarafından haritada Tpk1 simgesi ile gösterilmiş ve Kışladağ Kireçtaşı denmiştir [60]. Gösel kireçtaşından oluşur. Taban kısımlarında kıltaşı, killi kireçtaşı düzeyleri vardır. Kireçtaşları çoğu yerde gözeneklidir. Hacıbektaş ilçesi Karakuyu ve Küçükkavak köyleri doğusunda, Zelve Vadisi tepelerde, Karain köyü batısındaki tepelerde, Şahinefendi ile Güzelöz köyü arasında yüzeylere. Yörede özellikle Ürgüp doğusu ve güney doğusunda alttaki ignimbirit kayası üstünde masa gibi düzlük ve platoları oluşturur. Atabey, tarafından haritada Tük2 simgesi ile gösterilmiştir. İsmi Kışladağ'dan verilmiştir [59]. Pasquare, tarafından Kışladağ üyesi olarak adlandırılmıştır [57].

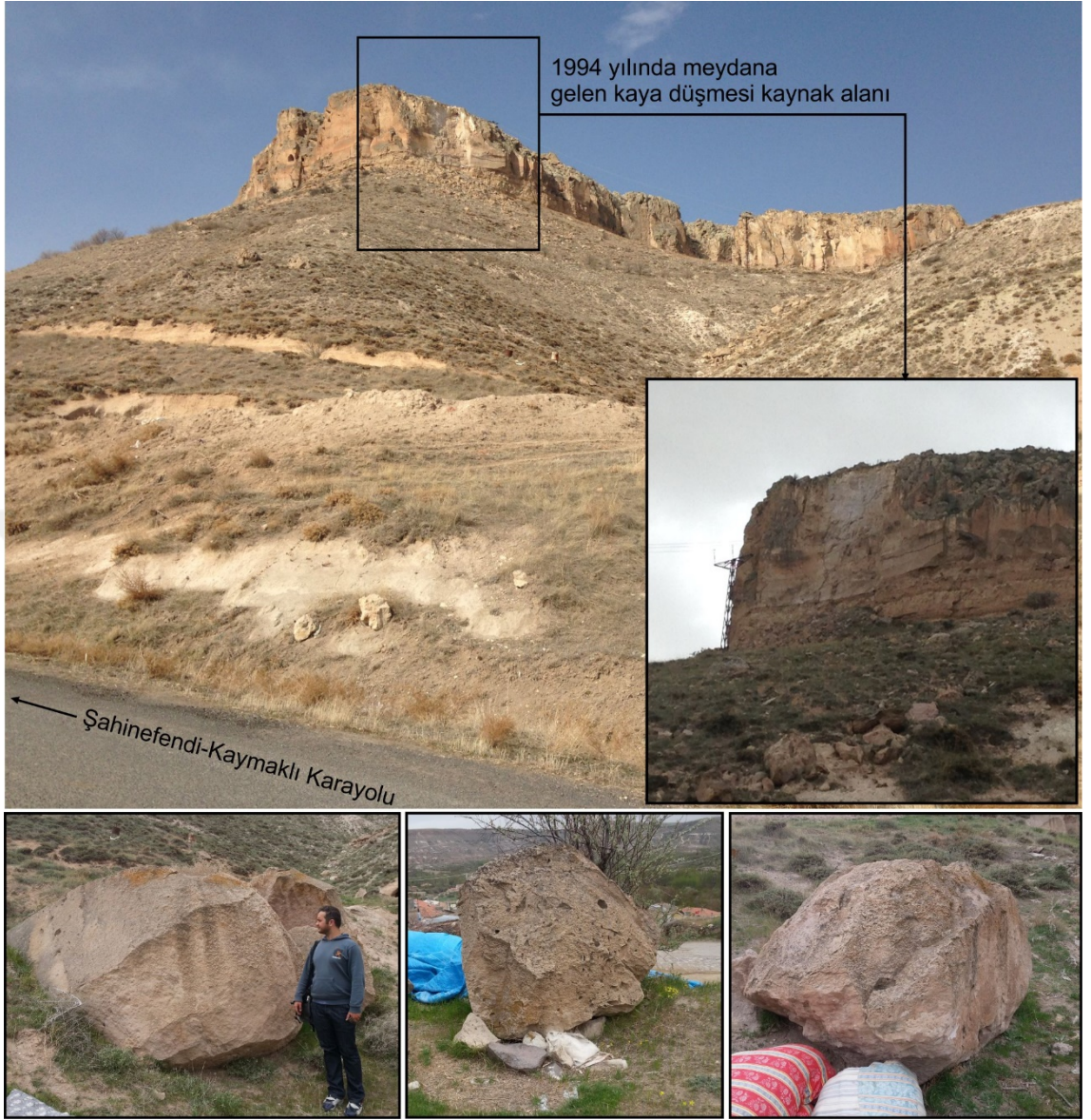
4.1.4. Eski alüvyon

Kızılırmak Nehri kıyısı boyunca Kızılırmak Nehrinin bıraktığı çakıltası, kumtaşı ve silttaşıdır. Karacaören ovasında ve Domsa Deresi boyunca, Derinkuyu ovasının tamamı eski alüvyon örtüsüdür. Bu alanlardaki kaya tipi köşeli çakıltası, genellikle andezit, tüf çakılı, kalış karbonat parçaları, kum ve silt karışımı malzemedir. Yaklaşık kalınlığı 10 m'dir. Harita simgesi Qe'dir (Harita 4.1).

4.2. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi

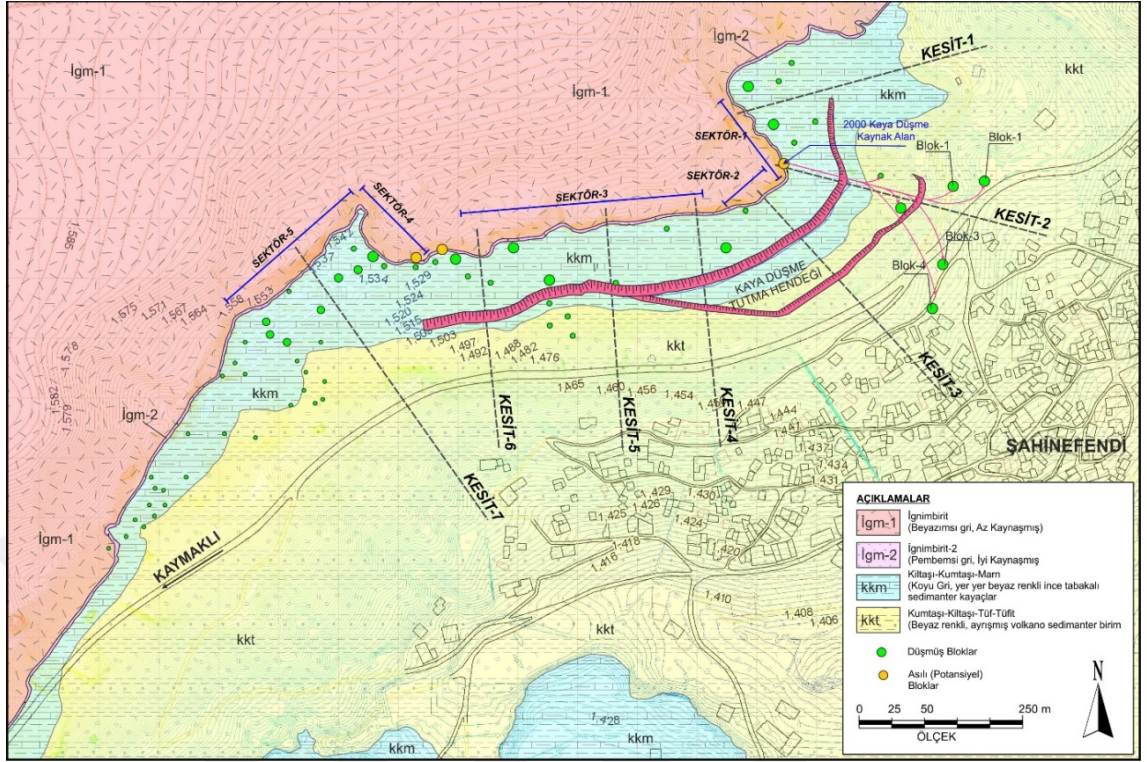
Kapadokya bölgesinde meydana gelen bazı kaya kütle duraysızlıkları bölgede birçok tarihi ve kültürel mirası ciddi olarak tehdit etmektedir. Kaya kütle duraysızlıkları başında kaya düşmeleri en yaygın olan tipidir. Kaya düşmesi afetinin olumsuz etkilerinin bölgede gözlemlendiği yerlerden biride Ürgüp ilçesinin Şahinefendi köyüdür. Çalışma alanında birçok kaya düşmesi olayı meydana gelmiş olup, en önemli kaya düşmesi 1994 yılında meydana gelmiştir. Yerel halk ile yapılan sözlü görüşmelerde bloğun yaklaşık 80-90 metreküp olduğu belirtilmiştir. Buna göre bloğun ağırlığının 100 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Resim 4.2'de söz konusu bloğun kaynak alanı görülmektedir. Blok kaynak alandan ayrıldıktan sonra çok sayıda daha küçük bloklara ayrılmıştır (Resim 4.2).

Herhangi bir can ve mal kaybı olmamıştır ancak halk tedirgin olmuştur. Bu olaydan sonra bölgede 2 adet hendek açılmıştır. Çalışma sahasında 2019 yılı içerisinde yerleşim alanında vatandaş beyanına göre güney batısında 15-20 metreküplük bir blok düşmüş ve karayolu üzerinde parçalanmıştır.



Resim 4.2. 1994 yılında meydana gelen kaya düşmesi kaynak alanı (Fotoğraf yönü doğudan batıya doğrudur)

Çalışma alanı olarak seçilen bölgede meydana gelen kaya düşmeleri mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Çalışma alanında mühendislik jeolojisi açısından, az kaynaşmış ignimbirit, iyi kaynaşmış ignimbirit, kıltaşı- kumtaşı-marn ve kumtaşı-kıltaşı-tüf-tüfit olmak üzere dört farklı birim ayırt edilmiştir (Harita 4.2).



Harita 4.2. Çalışma Alanı Mühendislik jeolojisi haritası

4.2.1. Az kaynaşmış ignimbirit (İgm-1)

Çalışma alanının kuzey batısında geniş bir alanda gözlenen ve Harita 4.2’de verilen mühendislik jeolojisi haritasında İgm-1 olarak ifade edilen birim, kaya düşmesi olayları için kaynak bölge konumundadır. Çalışma alanında 1550 metre kodunda yer alan birim sahip olduğu dik şevler ile karakteristiktir (Resim 4.3). Şevin yüksekliği 30 metredir. İgm-1, beyazımsı gri renkli az kaynaşmış ignimbirittir.

İgm-1’e ait indeks, fiziksel ve bazı mekanik özellikler şu şekildedir (Tablo 4.1). Doğal birim hacim ağırlığı az kaynaşmış ignimbirit için ortalama 13.98 kN/m^3 (EK.1) olup ortalama ıslak birim hacim ağırlığı ise 16.40 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. Az kaynaşmış ignimbiritin ortalama boşluk oranı değeri 0.63 ve görünür porozitesi ise % 38.69 olarak belirlenmiştir. Elde edilen porozite değerlerine ve NBG’ye göre İgm-1 çok yüksek poroziteli kayaç olarak tanımlanmıştır [65]. Az kaynaşmış ignimbirit için ortalama ağırlıkça su emme değeri %30.46 iken hacimce su emme değeri ise %38.13 olarak belirlenmiştir. Kayaçların mukavemet özelliklerini açıklamak üzere tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri ISRM’ye göre yapılmıştır [34]. Az kaynaşmış ignimbiritin tek

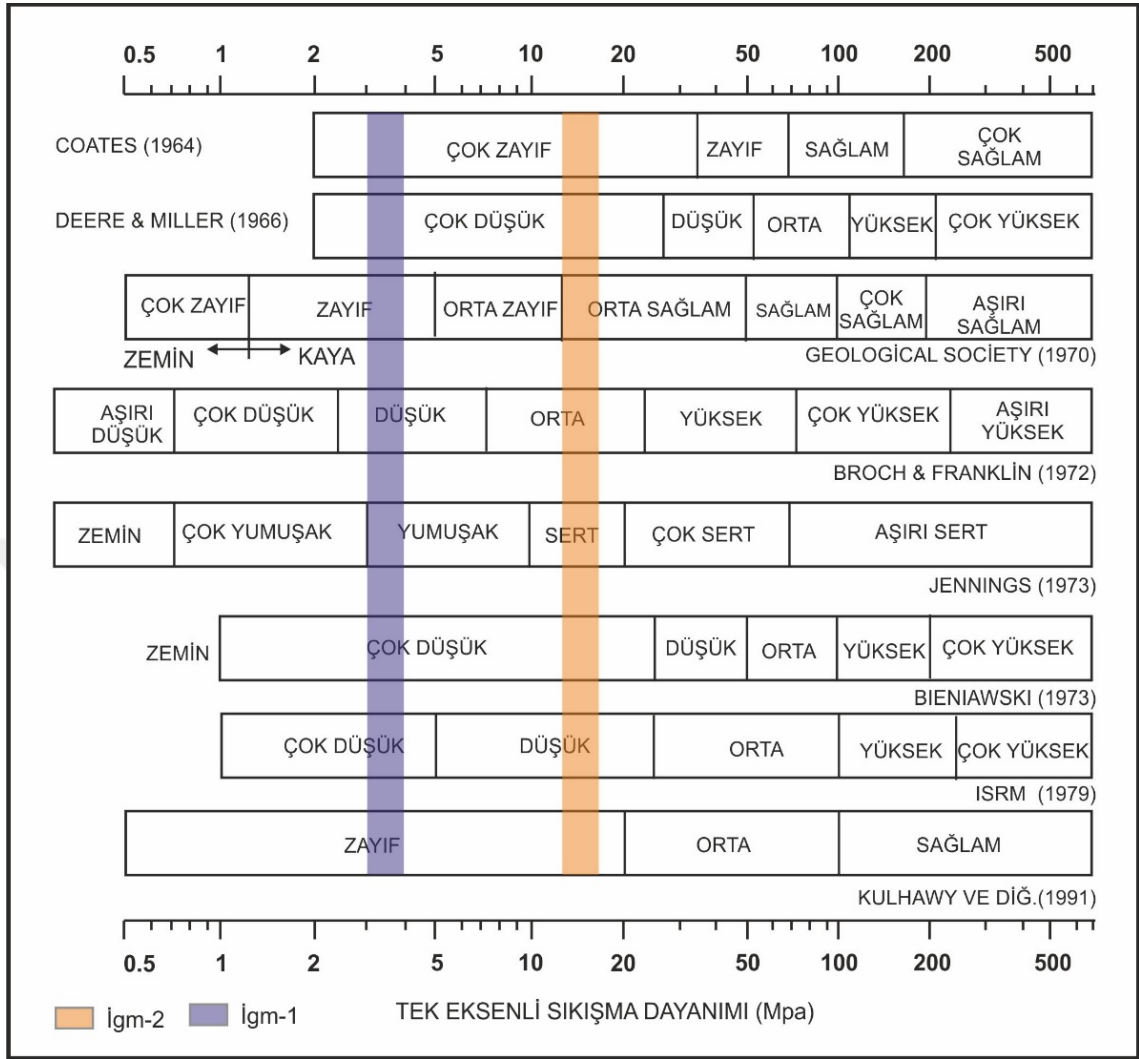
eksenli sıkışma dayanımı 3.26 MPadır (EK.1), Deere ve Miller'e göre çok düşük dayanımlı zayıf kaya olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.1) [44].



Resim 4.3. Çalışma alanındaki İgm-1'e ait görünüm

Tablo 4.1. Çalışma alanındaki başlıca kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri

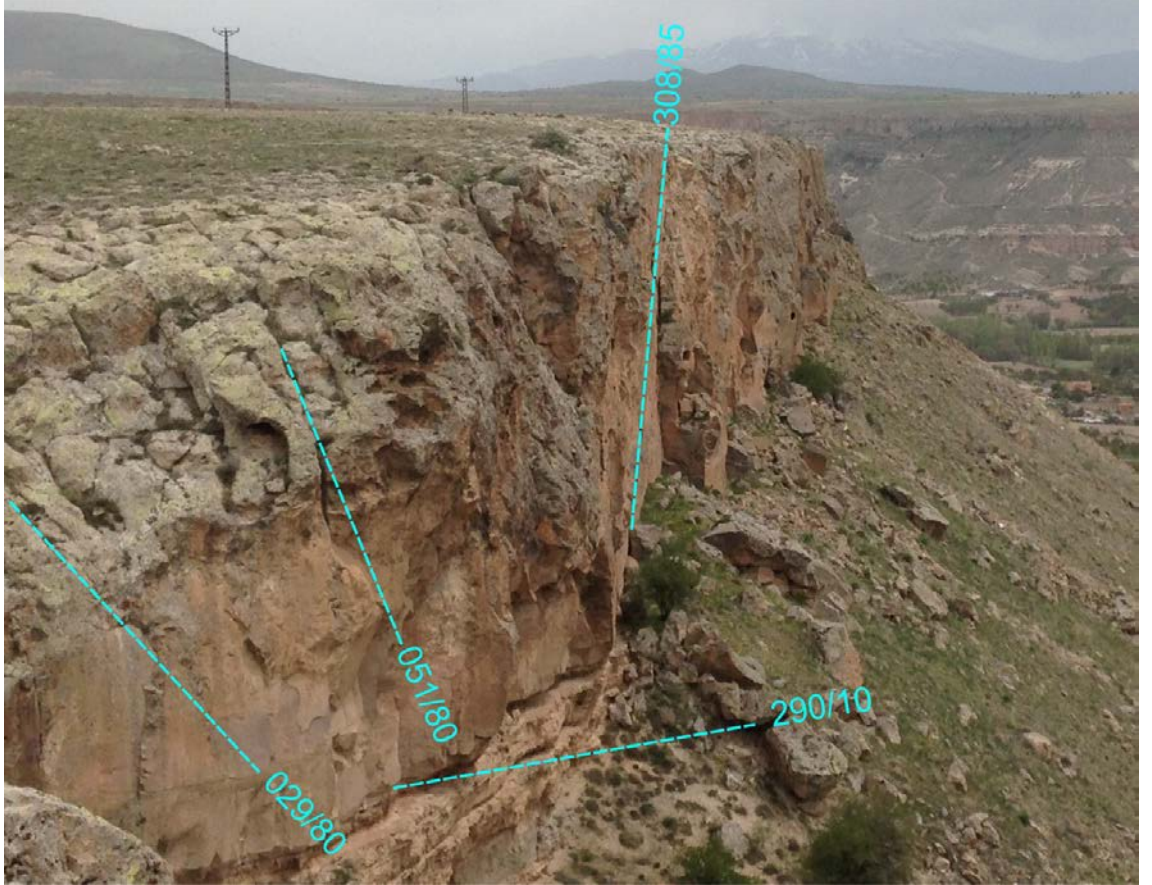
Özellik	Az kaynaşmış ignimbirit (İgm-1)	İyi Kaynaşmış ignimbirit (İgm-2)
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	13.98	18.44
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	16.40	19.37
Boşluk Oranı	0.63	0.35
Görünür Porozite (%)	38.69	26.00
Hacimce Su Emme (%)	38.13	25.54
Ağırlıkça Su Emme (%)	30.46	15.23
Schmidt Sertliği	20	20
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	3.26	15.87



Şekil 4.1. Farklı dayanım sınıflarına göre ignimbiritlerin sınıflandırılması

Kaya kütlelerinin duraylılıklarını kontrol eden en önemli yapısal unsurların başında süreksizlikler gelmektedir. Çalışma alanında genelde soğuma çatlaklarına bağlı gelişen süreksizlik tipleri görülmektedir. Çalışma alanındaki İgm-1 biriminde dik süreksizlikler ve yataya yakın tabaka düzlemleri şeklinde gözlenmektedir. Süreksizliklerin eğim yönü/eğimi ise 301/85, 10/80, 29/80, 51/80 ve 290/10'dur (Resim 4.4). Süreksizlik kuzeybatı ve kuzey doğuya doğru eğimlidir. İgm-1 için aralık değeri geniş aralıklı-çok geniş aralıklı olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında gözlenen süreksizlikler devamlılık açısından orta devamlılığa sahiptir. İgm-1 için eklem yüzey pürüzlülük katsayısı (JRC) 8 olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında gözlenen süreksizlik açıklıkları açık yapılar olarak belirlenmiştir. Süreksizliklerin makaslama dayanımı üzerinde oldukça etkili olan süreksizlik yüzey dayanımı arazide Schmidt çekici

kullanılarak belirlenmiştir. Arazide süreksizlik yüzeylerinden elde edilen ölçümlere göre, İgm-1 için ortalama Schmidt sertlik değeri 20'dir. Çalışma alanında gözlenen süreksizlerde herhangi bir dolgu malzemesi ve su varlığı tespit edilmemiştir.



Resim 4.4. Süreksizliklerin görünümü

4.2.2. İyi kaynaşmış ignimbirit (İgm-2)

Çalışma alanının kuzey batısında gözlenen ve Harita 4.2'de verilen mühendislik jeolojisi haritasında İgm-2 olarak ifade edilen birim, kaya düşmesi olayları için kaynak bölge konumundadır. Çalışma alanında 1544 metre kodunda yer alan birim sahip olduğu şevler ile karakteristiktir. Birimin kalınlığı 3 metredir. İgm-2, pembemsi gri renkli iyi kaynaşmış ignimbirittir.

İgm-2'ye ait indeks, fiziksel ve bazı mekanik özellikler şu şekildedir (Tablo 4.1). İyi

kaynaşmış ignimbiritin ortalama doğal birim hacim ağırlığı 18.44 kN/m^3 olarak belirlenirken, ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 19.37 kN/m^3 olarak belirlenmiştir. İyi kaynaşmış ignimbiritin ortalama boşluk oranı 0.35 ve ortalama görünür porozite değeri %26.00 olarak belirlenmiştir. Elde edilen porozite değerlerine ve NBG'ye göre İgm-2 çok yüksek poroziteli kayaç olarak tanımlanmıştır [65]. İyi kaynaşmış ignimbirit için ortalama ağırlıkça su emme değeri %15.23 iken hacimce su emme değeri ise %25.54 olarak belirlemiştir. İyi kaynaşmış ignimbirit için yapılan tek eksenli deney sonuçlarına göre ise elde edilen değer 15.87 MPa olup (EK.1), Deere ve Miller 'e göre çok düşük orta dayanımlı kaya olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.1) [44].

Kaya kütlelerinin duraylılıklarını kontrol eden en önemli yapısal unsurların başında süreksizlikler gelmektedir. Çalışma alanında İgm-2 kaya kütlesi açısından İgm-1'e benzer özellikler sunmaktadır.

4.2.3. Kıltaşı, Kumtaşı ve Marn (kkm)

Çalışma alanında kıltaşı, kumtaşı, marn yüzeyde ardalanmalı olarak gözlenmektedir (Resim 4.5).



Resim 4.5. Çalışma alanında gözlenen kıltaşı, kumtaşı, marn ardalanması

Bu birim koyu gri yer yer beyaz renkli ince tabakalı sedimanter kayalardır. Kaya düşme olaylarının yuvarlanma bölgesini oluşturmaktadır. Blok düştükten sonra bu birim ile birlikte diğer birim olan kumtaşı, kıltaşı, tüfit birimi yuvarlanma zonunu oluşturmaktadır. Bu birimin laboratuvar deneyleri tabaka kalınlıklarının ince olması ve örnek alma imkanının olmamasından dolayı yapılamamıştır.

4.2.4. Kumtaşı, Kıltaşı ve Tüfit (kkt)

Çalışma alanında kumtaşı, kıltaşı, tüfit olarak gözlenmektedir. Bu birim beyaz renkli ayrılmış volkano-sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Kaya düşme olaylarının yuvarlanma bölgesini oluşturmaktadır. Blok düştükten sonra bu birim ile birlikte diğer birim olan kıltaşı, kumtaşı, marn birimi yuvarlanma zonunu oluşturmaktadır. Bu birimin laboratuvar deneyleri tabaka kalınlıklarının ince olması ve örnek alma imkanının olmamasından dolayı yapılamamıştır.

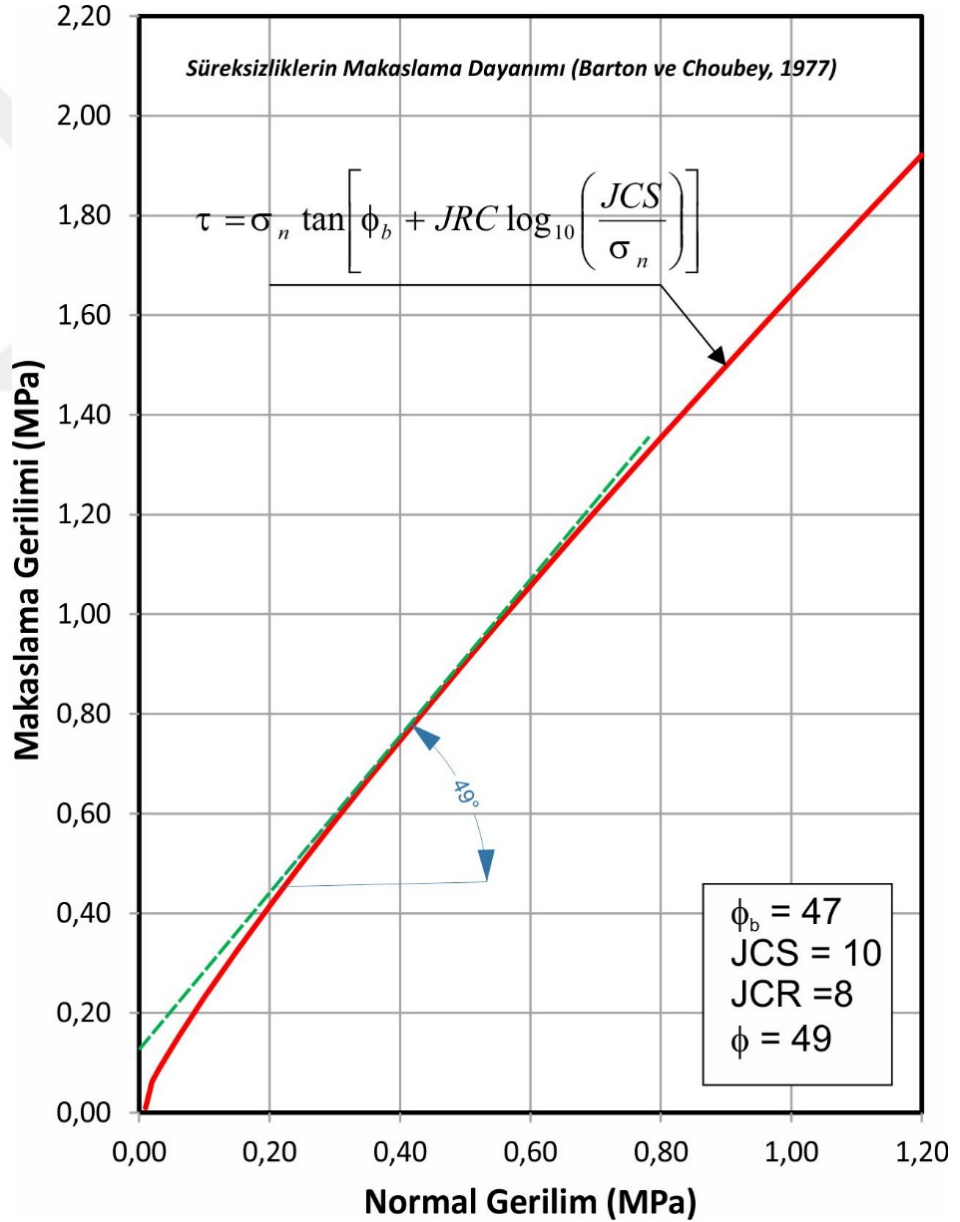
Saha çalışmalarında yapılan gözlemlerde daha önce meydana gelen kaya düşmelerinin büyük bir bölümü ignimbirit bloklarından oluşmuş olup, bunlardan en güncel olanı 1994 yılında meydana gelmiştir. Herhangi bir can ve mal kaybının yaşanmadığı belirtilmiştir.

4.3. Kinematik Analizler

Kinematik analiz yöntemleri duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından denetlendiği kaya kütlelerinde duraylı ve duraysız olabilecek şevlerin ayırt edilmesi amacıyla, ayrıntılı analizlere başlanmadan önce kullanılan pratik bir yöntemdir [38]. Süreksizliklerin kontrol ettiği düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların değerlendirildiği bu yöntemde, süreksizliklerin yönelimi, şevin yönelimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı dikkate alınır.

4.3.1. Süreksizlik düzlemlerinin kayma dayanımı

Şekil 4.2’de ignimbiritin süreksizlik yüzeyi için Barton ve Choubey, görgül yenilme ölçütüne göre çizilmiş yenilme zarfı verilmiştir [36]. Buna göre, JRC değeri ignimbiritler için 8 kabul edilmiştir. JCS ise ignimbiritler için 10 MPa bulunmuştur. Rezidüel sürtünme açısı ignimbiritler için 49° alınmıştır. Çizilen yenilme zarflarından normal gerilme seviyesine bağlı olarak süreksizlik yüzeyinin sürtünme açısı belirlenebilmektedir.

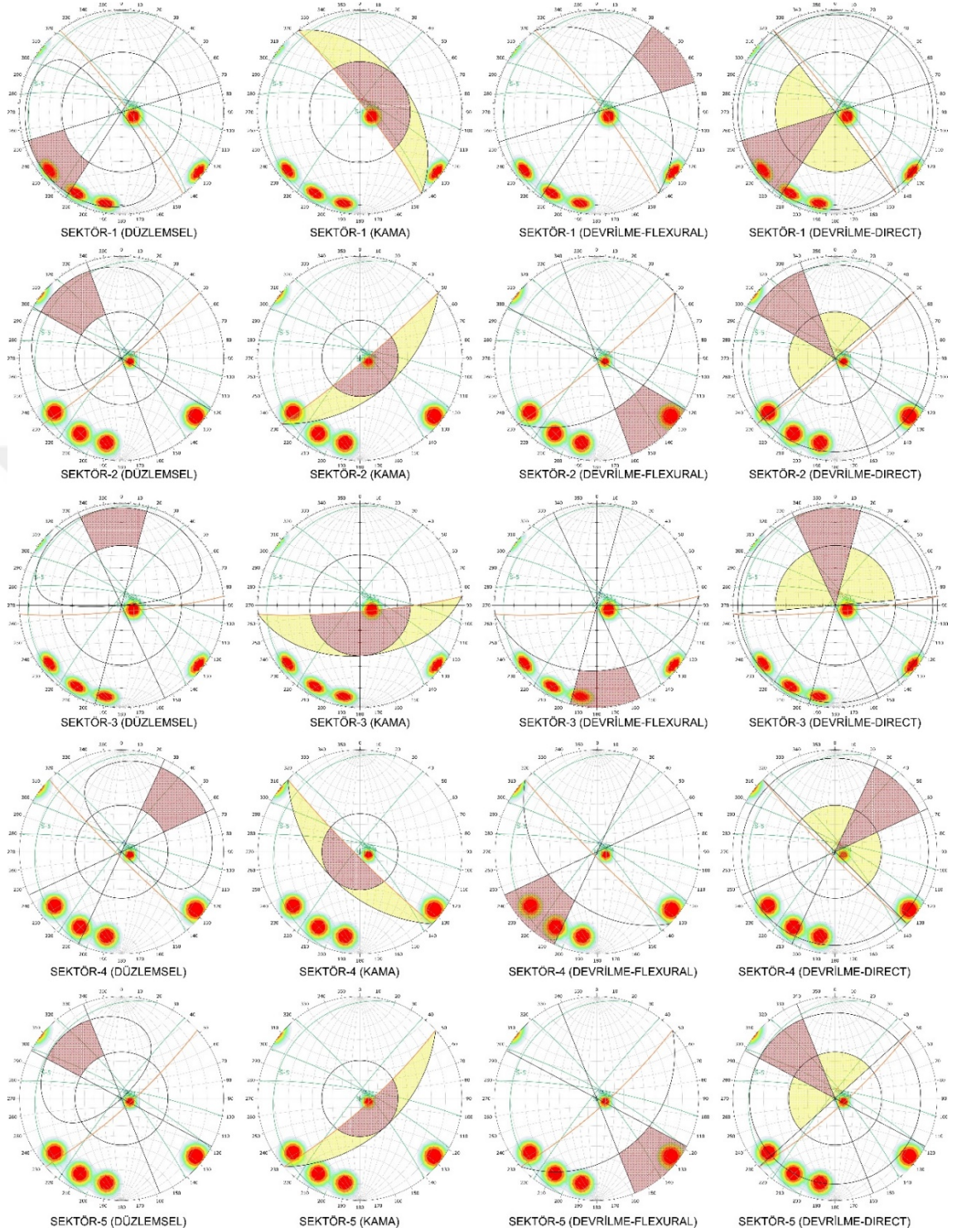


Şekil 4.2. İgnimbirit için görgül yenilme ölçütüne göre hazırlanmış süreksizlik yenilme zarfı

Materyal ve metod bölümünde detayları verilen analizleri yapmak için çalışma alanında duraysızlık problemi yaşanan şevler 5 farklı tasarım sektörüne ayrılmıştır (Harita 4.2). Bu ayırım yapılırken şevlerin yönelimi gibi benzerlik gösteren yapısal unsurlar göz önünde bulundurulmuş ve kinematik analizlerde Dips 7.0 programı kullanılmıştır. Tablo 4.2’de her bir sektörde etkili olan süreksizlik yönelimleri ve göz önünde bulundurulan diğer parametreler verilmiştir. Yapılan kinematik analiz sonuçları Şekil 4.3’de her bir sektör için ayrı ayrı verilmiştir. Belirlenen sektörlere göre kinematik açıdan oluşabilecek duraysızlıkların dağılımı Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kinematik analizlerde göz önünde bulundurulan şev parametreleri

Sektör No	Şev yönelimi	Hâkim Süreksizlik Yönelimleri	Süreksizlik Yöneliminin içsel Sürtünme açısı (ϕ_r)	Litoloji
01	053/85	308/85 (S1), 10/80 (S2) 29/80 (S3), 51/80 (S4) 290/10 (S5)	49°	ignimbirit
02	140/85	308/85 (S1), 10/80 (S2) 29/80 (S3), 51/80 (S4) 290/10 (S5)	49°	ignimbirit
03	175/85	308/85 (S1), 10/80 (S2) 29/80 (S3), 51/80 (S4) 290/10 (S5)	49°	ignimbirit
04	225/85	308/85 (S1), 10/80 (S2) 29/80 (S3), 51/80 (S4) 290/10 (S5)	49°	ignimbirit
05	138/10	308/85 (S1), 10/80 (S2) 29/80 (S3), 51/80 (S4) 290/10 (S5)	49°	ignimbirit



Şekil 4.3. Her bir sektör için yapılan kinematik analiz sonuçları

Sektör 01 olarak adlandırılan, çalışma alanının kuzeybatısında ignimbritler içerisinde yer alan sektörde beş farklı hâkim süreksizlik sistemi bulunmaktadır. Şev yönelimi $053/85^{\circ}$ 'dir. Süreksizlik yöneliminin içsel sürtünme açısı 49° 'dir. Yapılan kinematik

analiz sonucunda mevcut süreksizlikler düzlemsel kayma, kama ve devrilme tipi duraysızlık gösterir.

Sektör 02 olarak adlandırılan, çalışma alanının kuzeybatısında ignimbiritler içerisinde yer alan sektörde beş farklı hâkim süreksizlik sistemi bulunmaktadır. Şev yönelimi 140/85'dir. Süreksizlik yöneliminin içsel sürtünme açısı 49°dir. Yapılan kinematik analiz sonucunda düzlemsel ve kama tipi süreksizlik gözlenmezken, mevcut süreksizlikler devrilme tipi duraysızlık gösterir.

Sektör 03 olarak adlandırılan, çalışma alanının kuzeybatısında ignimbiritler içerisinde yer alan sektörde beş farklı hâkim süreksizlik sistemi bulunmaktadır. Şev yönelimi 175/85'dir. Süreksizlik yöneliminin içsel sürtünme açısı 49°dir. Yapılan kinematik analiz sonucunda düzlemsel ve kama tipi süreksizlik gözlenmezken, mevcut süreksizlikler devrilme tipi duraysızlık gösterir.

Sektör 04 olarak adlandırılan, çalışma alanının kuzeybatısında ignimbiritler içerisinde yer alan sektörde beş farklı hâkim süreksizlik sistemi bulunmaktadır. Şev yönelimi 225/85'dir. Süreksizlik yöneliminin içsel sürtünme açısı 49°dir. Yapılan kinematik analiz sonucunda düzlemsel ve kama tipi süreksizlik gözlenmezken, mevcut süreksizlikler devrilme tipi duraysızlık gösterir.

Sektör 05 olarak adlandırılan, çalışma alanının kuzeybatısında ignimbiritler içerisinde yer alan sektörde beş farklı hâkim süreksizlik sistemi bulunmaktadır. Şev yönelimi 138/10'dur. Süreksizlik yöneliminin içsel sürtünme açısı 49°dir. Yapılan kinematik analiz sonucunda düzlemsel ve kama tipi süreksizlik gözlenmezken, mevcut süreksizlikler devrilme tipi duraysızlık gösterir.

Tablo 4.3. Belirlenen sektörlere göre kinematik açıdan oluşabilecek duraysızlıkların dağılımı

Sektör No	Düzlemsel kayma	Kama tipi duraysızlık	Devrilme tipi duraysızlık	
			Direct	Flexural
01	√	√	√	
02			√	√
03			√	√
04			√	√
05				√

Kinematik analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, devrilme türü duraysızlığın çalışma alanında hâkim süreksizlik tipi olduğu görülmüştür. Dik süreksizlikler yataya yakın tabaka düzlemleri boyunca kesilerek veya şevin alt kotunda yer alan sedimanter birimler aşınarak kaya kütle duraysızlıkları meydana gelmektedir. Bu şekilde meydana gelen kütle duraysızlıkları şev boyunca yuvarlanma ve zıplama şeklinde kaya düşmesine dönüşmektedir.

4.4. Kaya Düşme Analizleri

Çalışma alanında meydana gelen kaya düşmeleri 2-boyutlu olarak modellenmiştir. 2-boyutlu kaya düşme analizlerinin yapılması için ilk olarak saha çalışmaları sırasında duraysız blokların lokasyonları ve bunlara ait geometrik özellikler verilmiştir. Yapılan saha çalışmalarında Şahinefendi köyünde gözlenen doğal yamaçların hemen hemen tamamında farklı boyutlarda düşme potansiyeline sahip bloklar tespit edilmiştir. Bu nedenle mevcut ulaşım yolunu ve yerleşim alanını etkileyecek tüm lokasyonlar için kaya düşme analizleri yapılmıştır. Bu analizler için Rockfall 6.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Çalışma alanında İki boyutlu kaya düşme analizleri toplam 7 kesitle incelenmiştir. Geri analizlerden elde edilen R_n ve R_t değerleri tüm analizlerde kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan diğer parametreler Tablo 4.4'de verilmiştir.

Kaya düşme analizlerinde bloğun şev yüzeyine çarpmasının ardından geri sıçraması sırasındaki hız değişimleri geri verme katsayıları ile kontrol edilmektedir. Geri verme katsayıları, kaya bloğunun çarpmadan önceki ve sonraki hızları arasındaki oran ile tanımlanmakta olup, normal ve teğetsel (tanjant) olmak üzere iki bileşene ayrılmaktadır. Normal (R_n) ve teğetsel (R_t) geri verme katsayıları, kaya bloğunun düşmesi sırasında çarpma etkilerine bağlı olarak hız değişimlerini ve dolayısıyla kaya düşme davranışını belirler. Normal geri verme katsayısı (R_n), düşen bloğun çarpma etkisi altında normal eksen yönündeki hızını tanımlar ve etki açısı ile ilişkilidir. Teğetsel geri verme katsayısı (R_t) ise, düşen bloğun çarpma etkisi altında teğetsel hızının azalmasını kontrol eder ve şev/yamaç ile düşen kütle arasındaki sürtünme kuvvetleri tarafından kontrol edilir.

Tablo 4.4. İki boyutlu kaya düşme analizlerinde kullanılan parametreler

Girdi Parametreleri	Değer
Toplam Düşen Blok Sayısı	100
Sürtünme Açısı	Rt'den belirleniyor
Şev Pürüzlülüğü	0
Blok Ağırlığı (kg)	5700
Başlangıç Hızı (m/s)	0
Örnekleme Aralığı	100



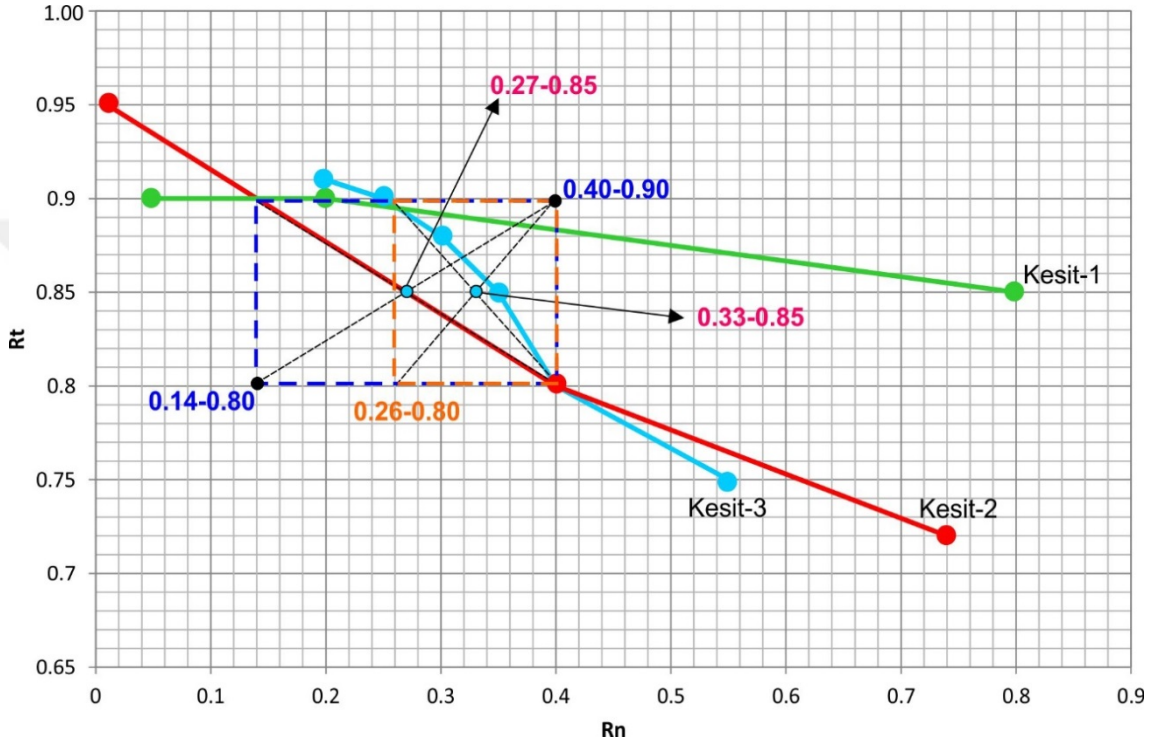
Resim 4.6. Geri düşme analizi yapılan kesitlerin görünümü

Kesit-1, Kesit-2 ve Kesit-3 boyunca geri düşme analizleri yapılmıştır (Resim 4.6). Yapılan geri analiz sonuçlarına göre (Tablo 4.5);

Tablo 4.5. Geri analiz sonuçları Rn ve Rt değerleri

	Rn	Rt
Az kaynaşmış ignimbirit	0,45	0,85
İyi kaynaşmış ignimbirit	0,40	0,85
Kiltaşı, Kumtaşı ve Marn	0,40	0,90
Kumtaşı, Kiltaşı ve Tüfit	0,35	0,90
Asfalt	0,40	0,90

3 kesit için yapılan geri analiz sonuçları şekil 4.4’de verilmiş olup, söz konusu blokların ulaştığı noktalar göz önünde bulundurularak yapılan geri analiz sonuçlarına göre, $R_n=0.14-0.40$ ve $R_t=0.80-0.90$ aralıklarında değişmektedir. R_n ve R_t değerleri geri analizler ve literatürden elde edilmiştir.

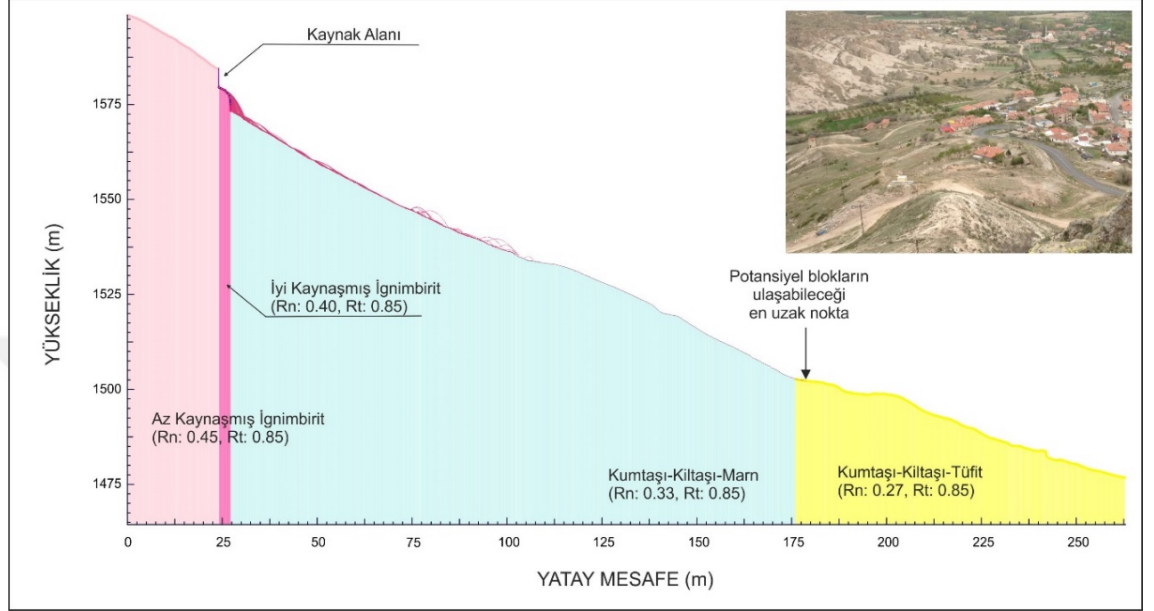


Şekil 4.4. Yapılan geri analiz sonuçları

4.4.1. Kesit 1: Kaya düşmesi simülasyonu

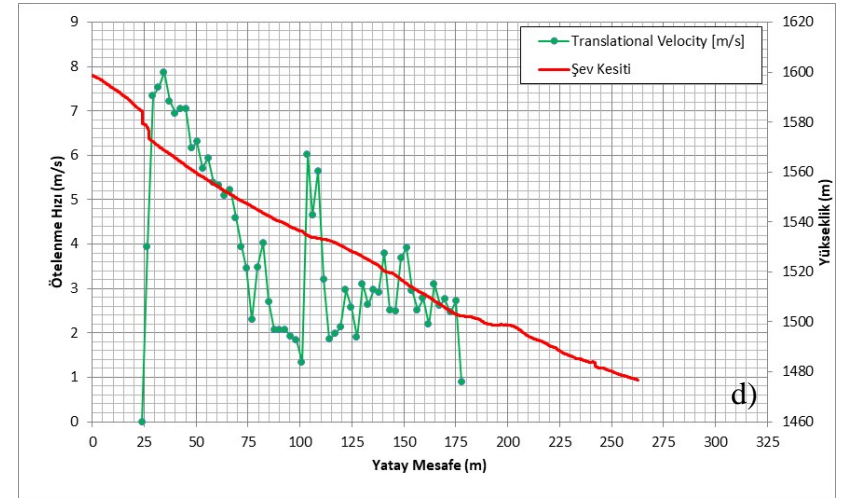
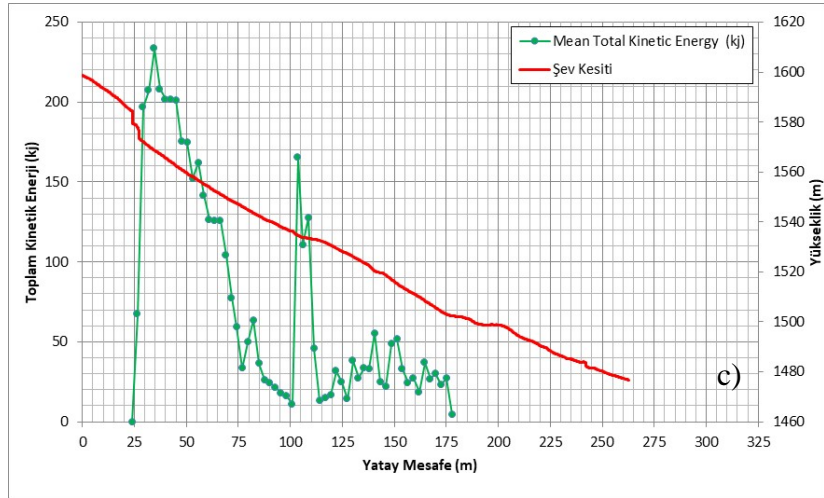
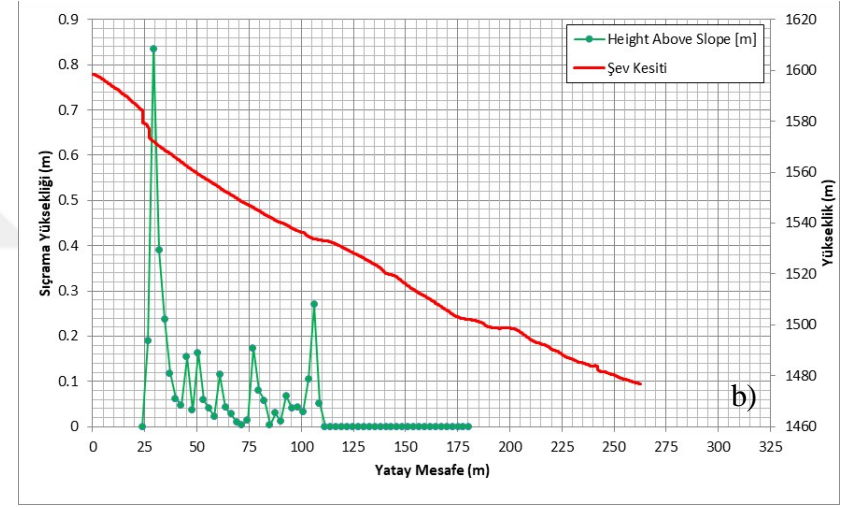
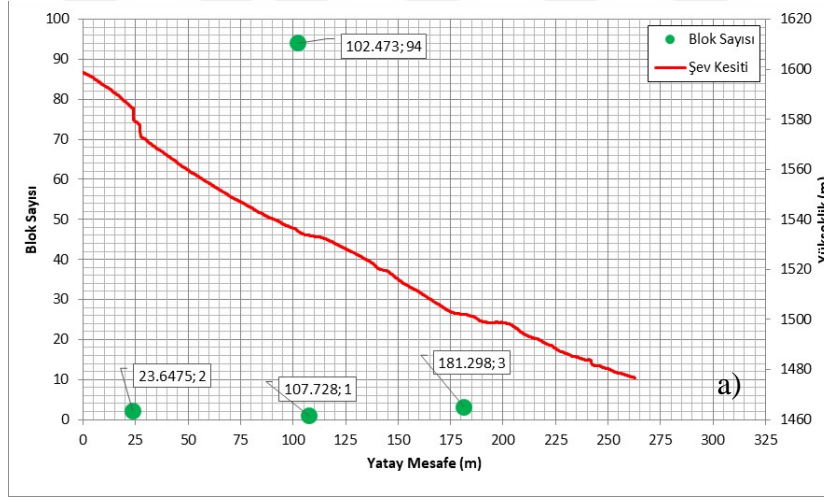
Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere, kaya düşmesi için kaynak bölgesi çalışma alanının batısında yer almaktadır (Harita 4.2). Kesit-1 çalışma alanının batısında yer alan ignimbiritlerin kuzey ucunda yer almakta olup, en yüksek kot 1598 metredir. Kesit uzunluğu toplam 262 metre olup, 1477 metre kotunda sona ermektedir. Buna göre kesitin başlangıcı ve bitişi arasındaki kot farklı 121 metredir. Kesit güzergahı boyunca olası kaya düşmelerinin tehdit edebileceği bir konut bulunmazken, küçük bir stabilize ulaşım yolu bulunmaktadır. Kesit boyunca yaşamı direk olarak etkileyecek bir yapı olmamasına rağmen, kaya düşmesi simülasyonlarında girdi parametrelerinin tahmin edilmesi amacıyla söz konusu kesit oluşturulmuştur. Bunun nedeni hat boyunca daha önceden düşmüş blokları sahada gözlenmesidir. İstatiksel olarak, 5700 kg’lık (arazide

daha önceden düşen bloklardan en büyüğü seçilmiştir) blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Kesit-1 simülasyon sonuçları

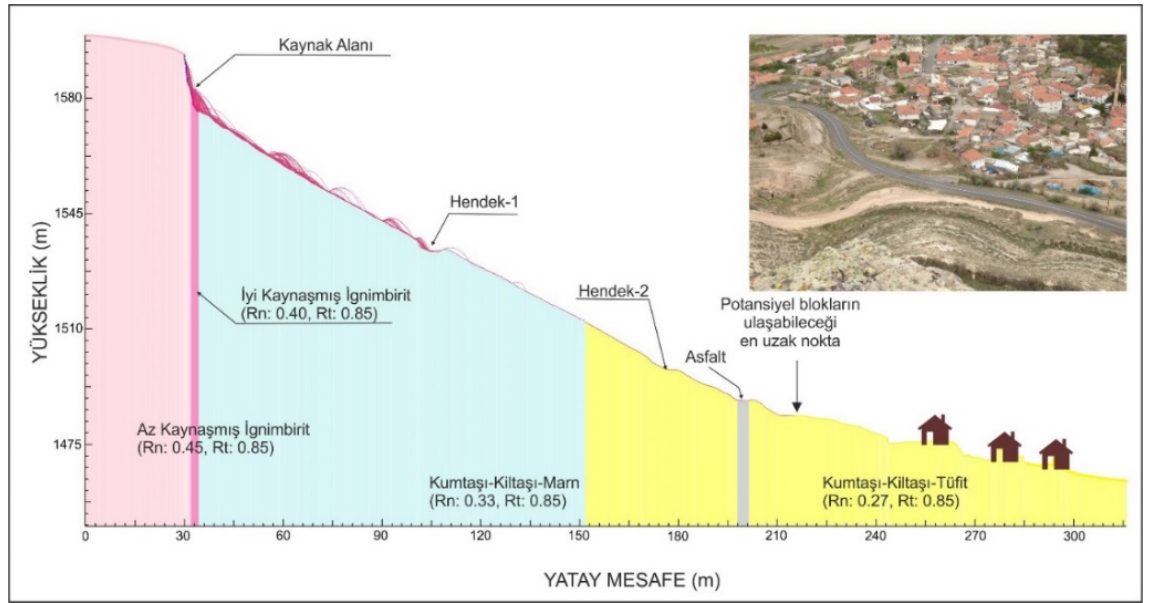
Şekil 4.5’de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme harekete sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar küçük ölçekli sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dahil edilen 100 bloğun 94 adeti kaynak alandan 102 metre uzağa ulaşırken, 3 tanesi de maksimum durma mesafesi 181 metre (3 blok) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6a) Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 0,834 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6b). Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 233 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 8.0 m/s (34.50 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.6d).



Şekil 4.6. a) Kesit-1 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-1 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-1 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-1 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği

4.4.2. Kesit 2: Kaya düşmesi simülasyonu

Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere, kaya düşmesi için kaynak bölgesi çalışma alanının batısında yer almaktadır (Harita 4.2). Kesit-2 çalışma alanının batısında yer alan ignimbiritlerin kuzey ucunda yer almakta olup, en yüksek kot 1599 metredir. Kesit uzunluğu toplam 316 metre olup, 1463 metre kotunda sona ermektedir. Buna göre kesitin başlangıcı ve bitişi arasındaki kot farkı 136 metredir. Kesit güzergâhı boyunca olası kaya düşmelerinin tehdit edebileceği asfalt ulaşım yolu ve konutlar yer almaktadır. Kesit hattı boyunca kaya düşmelerinin zararını azaltmak için 2 adet hendek bulunmaktadır. Hendek-1, 1534 kotundan başlayıp 1536 kotunda son bulmaktadır. Hendek-2 1497 kotundan başlayıp 1498 kotunda son bulmaktadır. Ulaşımı sağlayan asfalt yol ise 1488 kotunda yer almaktadır. İstatiksel olarak, 5700 kg'lık (arazide daha önceden düşen bloklardan en büyüğü seçilmiştir) blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (Şekil 4.7).



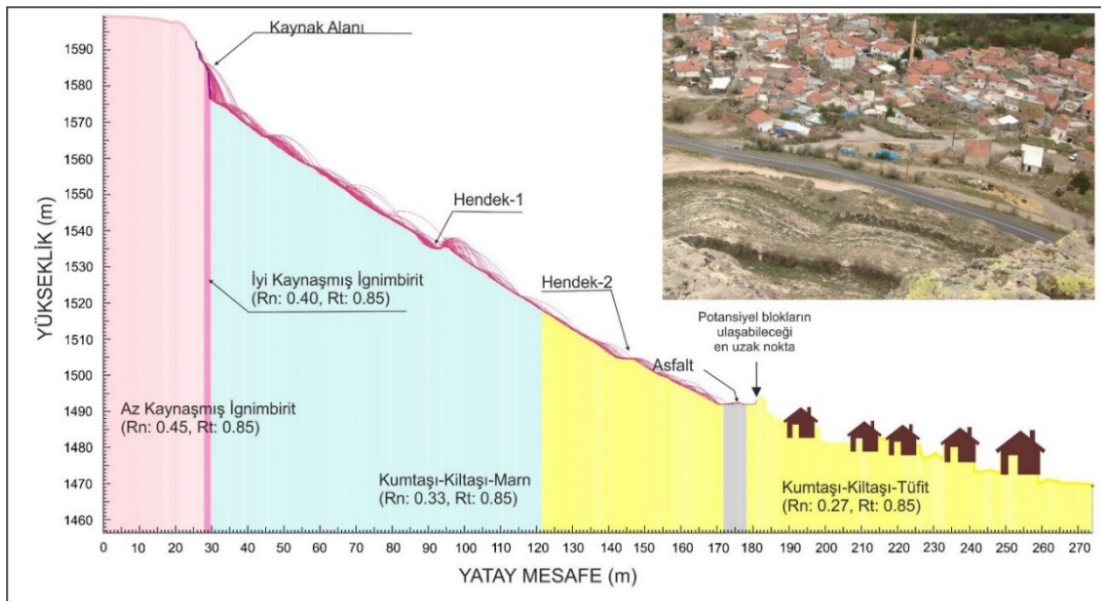
Şekil 4.7. Kesit-2 simülasyon sonuçları

Şekil 4.7’de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme hareketine sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar

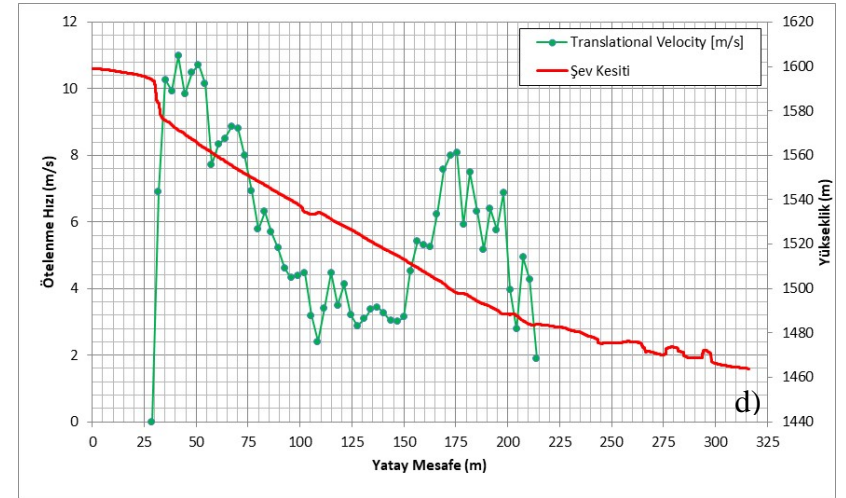
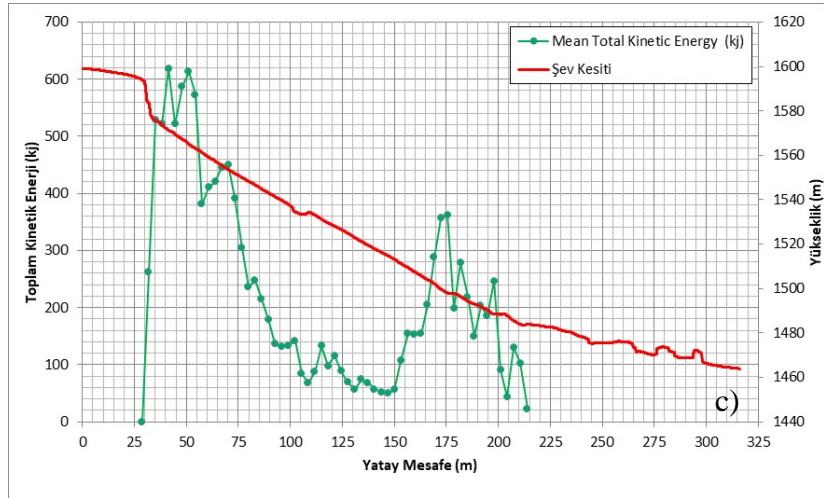
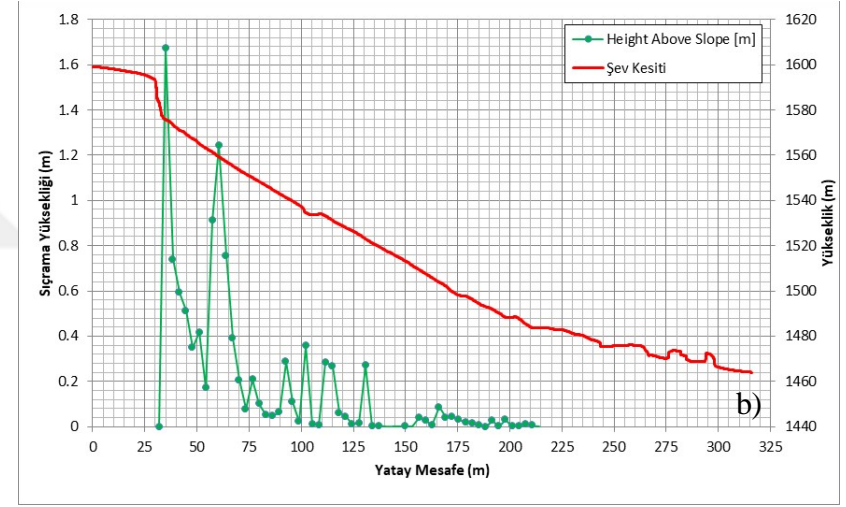
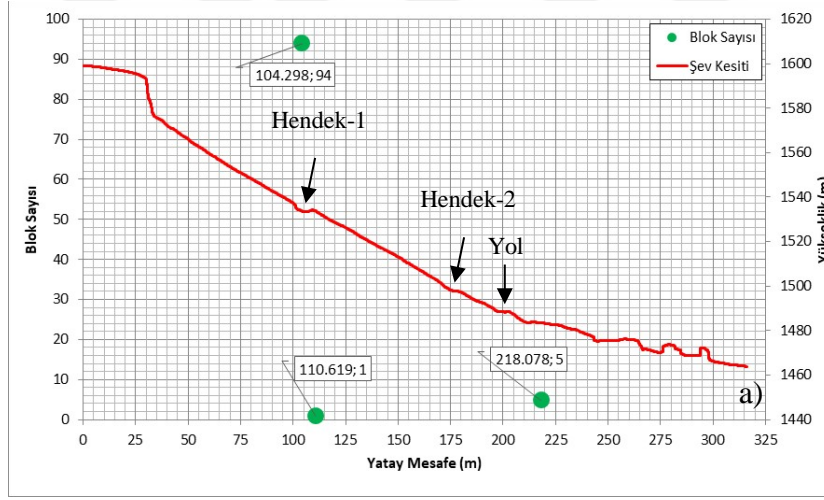
sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dahil edilen 100 bloğun 94 adeti kaynak alandan 104 metre uzağa ulaşırken, 5 tanesi de maksimum durma mesafesi 218 metre (5 blok) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9a) Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 1,674 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9b). Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 618 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 11 m/s (41 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9d).

4.4.3. Kesit 3: Kaya düşmesi simülasyonu

Kaya düşmesi kaynak alanı çalışma alanının batısında yer almaktadır (Harita 4.2). Kesit-3 çalışma alanının batısında yer alan ignimbiritlerin kuzey ucunda yer almakta olup, en yüksek kot 1599 metredir. Kesit uzunluğu toplam 274 metre olup, 1469 metre kotunda sona ermektedir. Buna göre kesitin başlangıcı ve bitişi arasındaki kot farkı 130 metredir. Kesit güzergâhı boyunca olası kaya düşmelerinin tehdit edebileceği asfalt ulaşım yolu ve konutlar yer almaktadır. Kesit hattı boyunca kaya düşmelerinin zararını azaltmak için 2 adet hendek bulunmaktadır. Hendek-1, 1535 kotundan başlayıp 1536 kotunda son bulmaktadır. Hendek-2 1504 kotundan başlayıp 1505 kotunda son bulmaktadır. Ulaşımı sağlayan asfalt yol ise 1491 kotunda yer almaktadır. İstatiksel olarak, 5700 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Kesit-3 simülasyon sonuçları

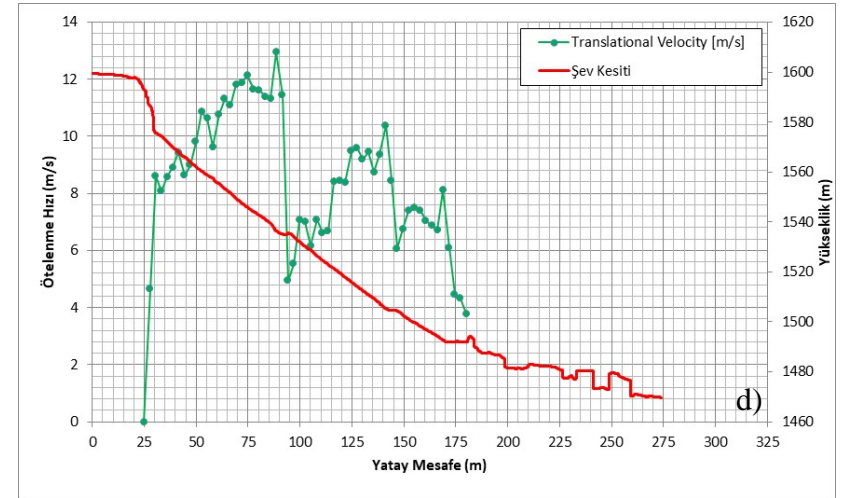
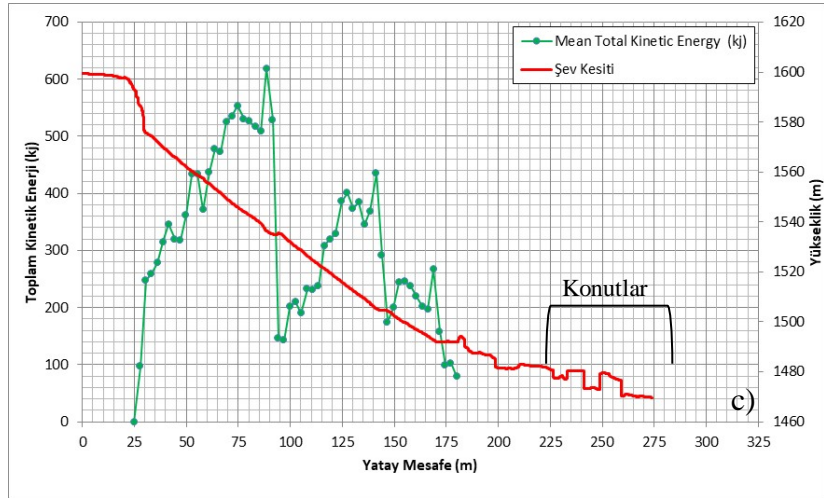
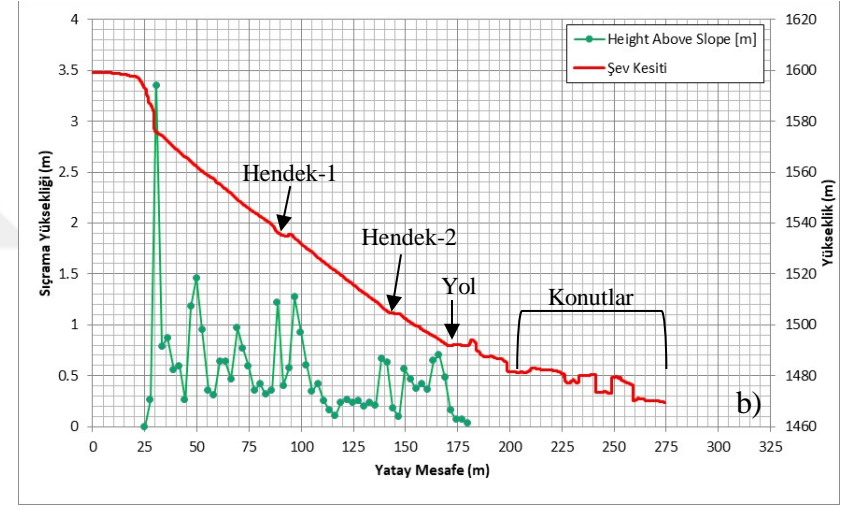
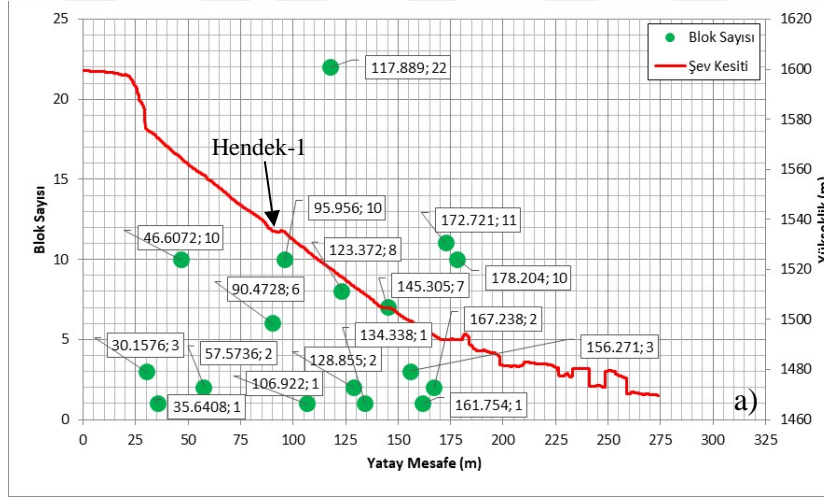


Şekil 4.9. a) Kesit-2 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-2 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-2 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-2 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği

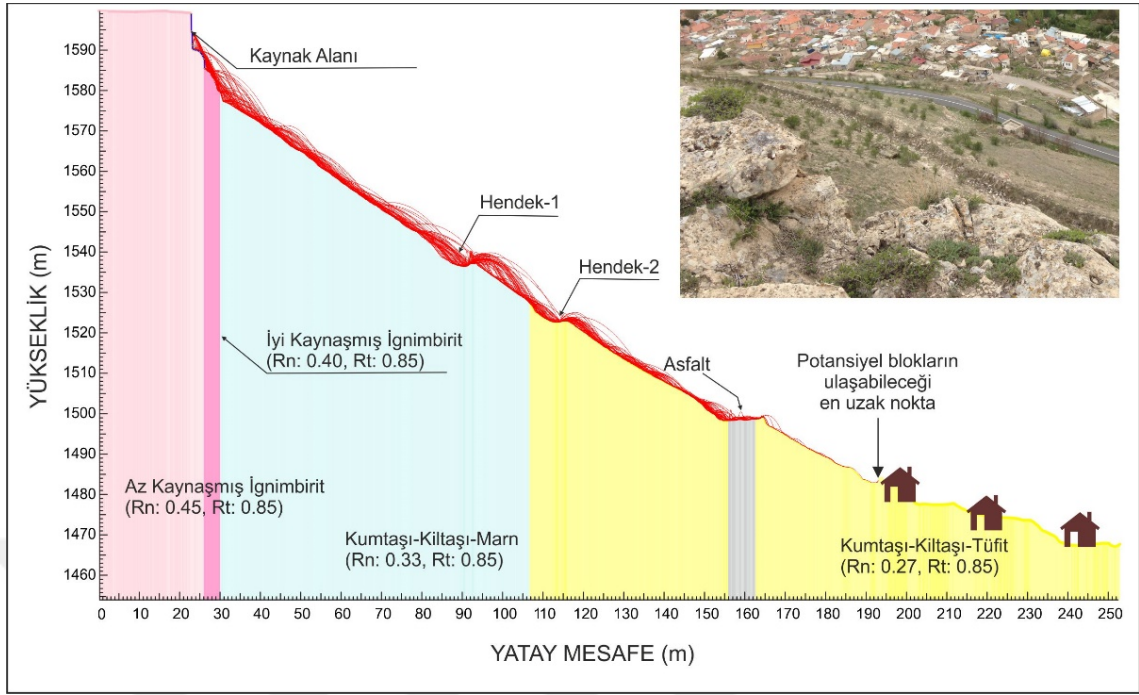
Şekil 4.8’de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme hareketine sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dâhil edilen 100 bloğun 22 adeti kaynak alandan 117 metre uzağa ulaşırken, 10 tanesi de maksimum durma mesafesi 178 metre (10 blok) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10a) Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 3,347 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10b). Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 618 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 13 m/s (88 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10d).

4.4.4. Kesit 4: Kaya düşmesi simülasyonu

Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere, kaya düşmesi için kaynak bölgesi çalışma alanının batısında yer almaktadır (Harita 4.2). Kesit-4 çalışma alanının batısında yer alan ignimbiritlerin kuzey ucunda yer almakta olup, en yüksek kot 1599 metredir. Kesit uzunluğu toplam 252 metre olup, 1467 metre kotunda sona ermektedir. Buna göre kesitin başlangıcı ve bitişi arasındaki kot farkı 132 metredir. Kesit güzergâhı boyunca olası kaya düşmelerinin tehdit edebileceği asfalt ulaşım yolu ve konutlar yer almaktadır. Kesit hattı boyunca kaya düşmelerinin zararını azaltmak için 2 adet hendek bulunmaktadır. Hendek-1, 1537 kotundan başlayıp 1538 kotunda son bulmaktadır. Hendek-2 1522 kotundan başlayıp 1523 kotunda son bulmaktadır. Ulaşımı sağlayan asfalt yol ise 1498 kotunda yer almaktadır. İstatiksel olarak, 5700 kg’lık (arazide daha önceden düşen bloklardan en büyüğü seçilmiştir) blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.10. a) Kesit-3 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-3 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-3 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-3 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği

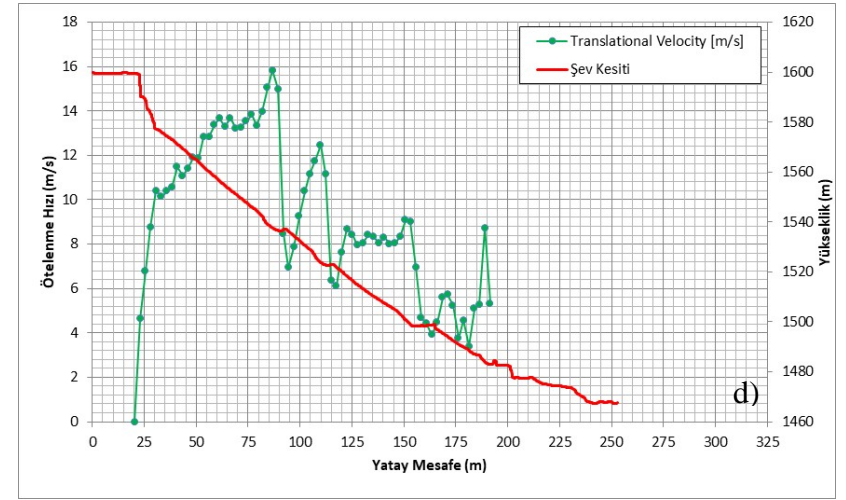
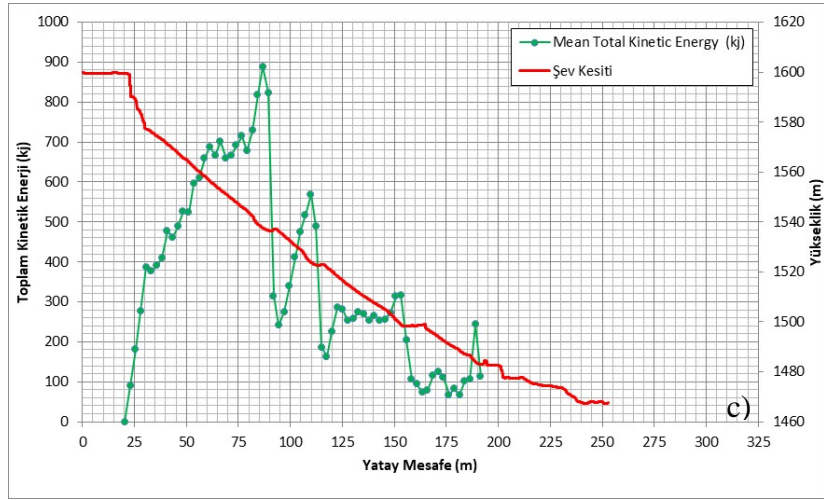
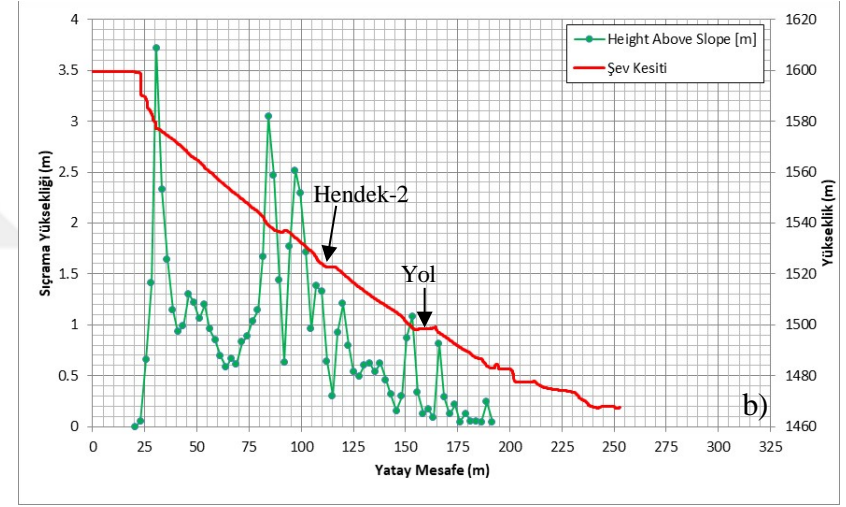
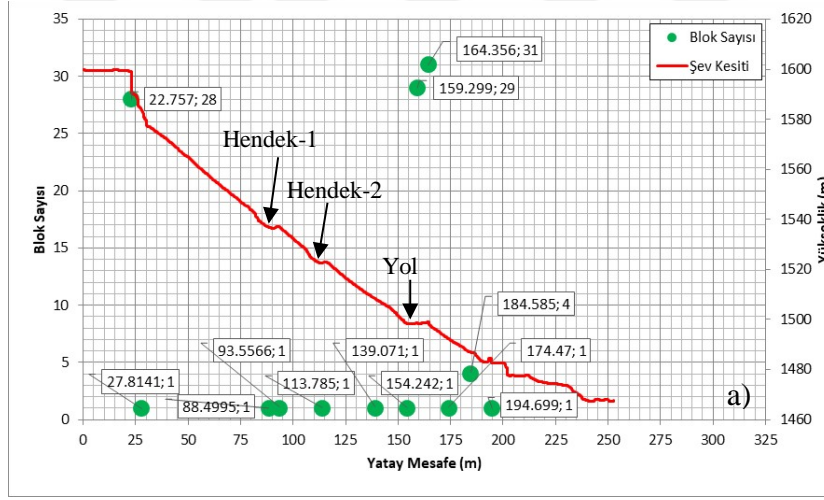


Şekil 4.11. Kesit-4 simülasyon sonuçları

Şekil 4.11’de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme harekete sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar küçük ölçekli sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dâhil edilen 100 bloğun 31 adeti kaynak alandan 164 metre uzağa ulaşırken, 1 tanesi de maksimum durma mesafesi 194 metre (1 blok) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12a). Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 3,720 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12b). Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 888 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 16.0 m/s (86 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12d)

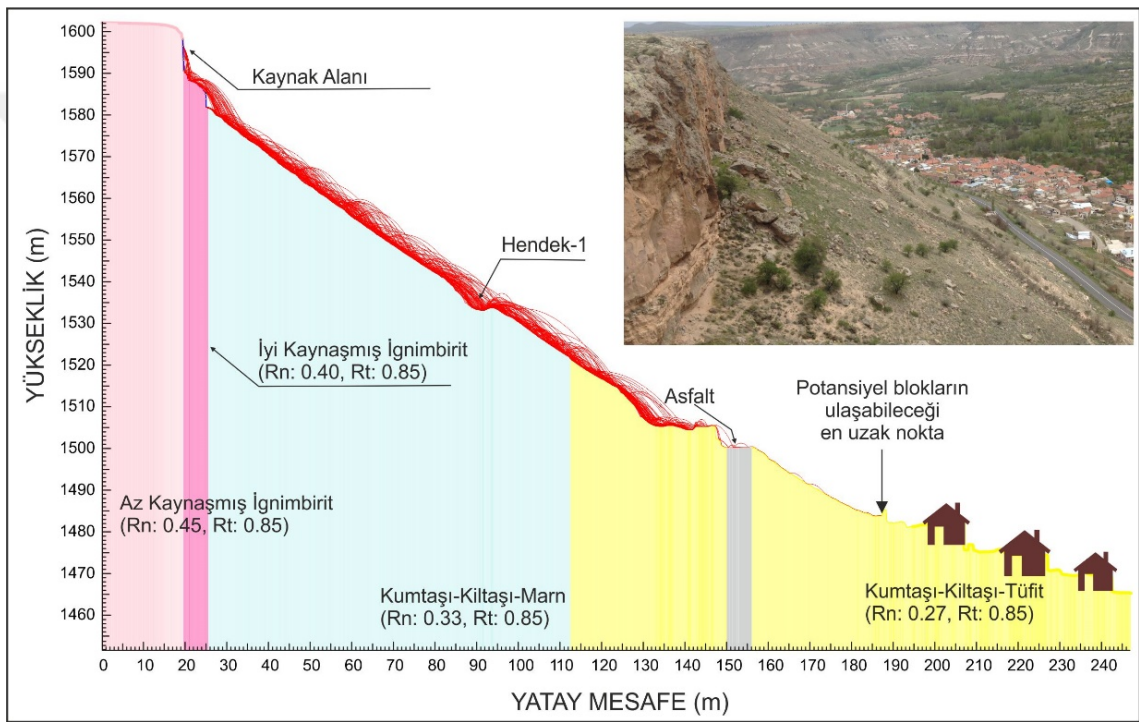
4.4.5. Kesit 5: Kaya düşmesi simülasyonu

Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere, kaya düşmesi için kaynak bölgesi çalışma alanının batısında yer almaktadır (Harita 4.2). Kesit-5 çalışma alanının batısında yer alan ignimbiritlerin kuzey ucunda yer almakta olup, en yüksek kot 1602 metredir. Kesit uzunluğu toplam 247 metre olup, 1465 metre kotunda sona ermektedir. Buna göre kesitin başlangıcı ve bitişi arasındaki kot farkı 247 metredir.



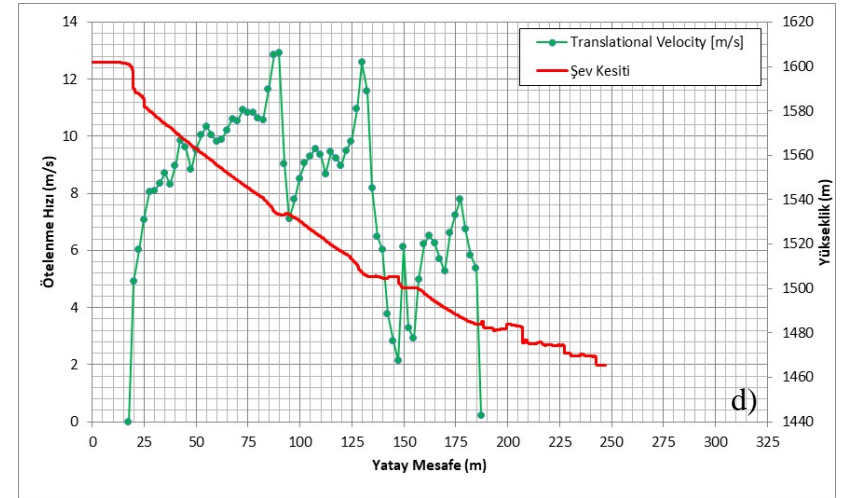
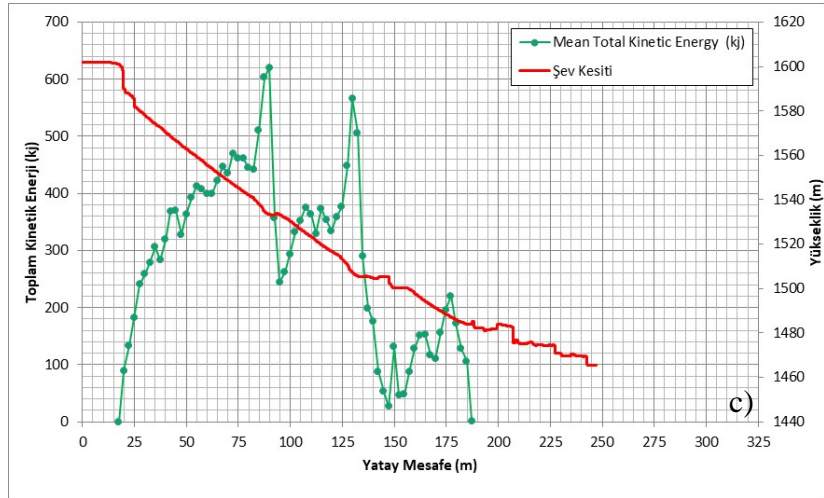
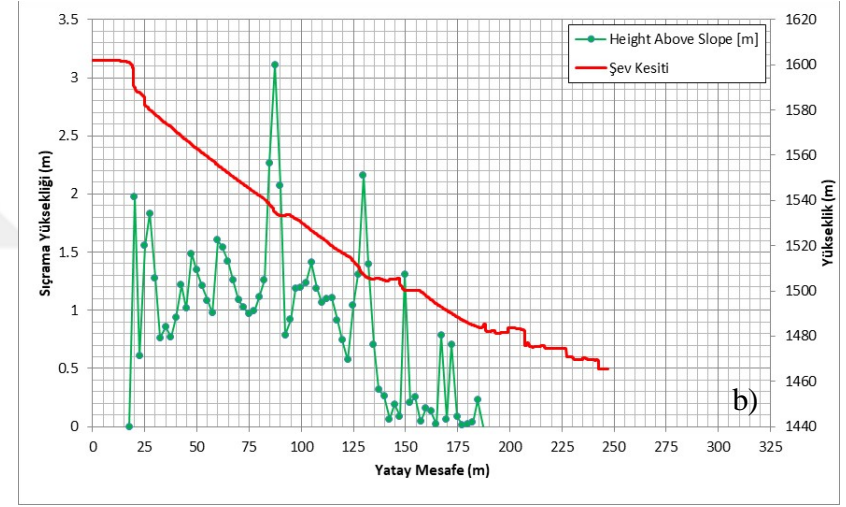
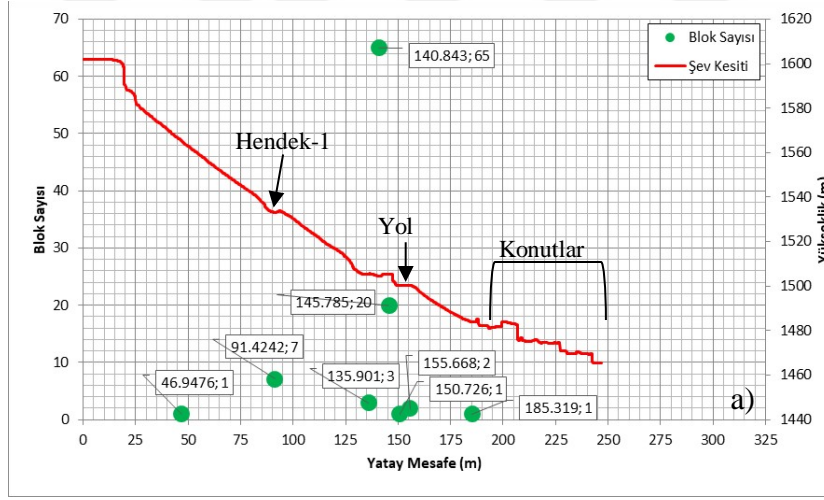
Şekil 4.12. a) Kesit-4 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-4 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-4 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-4 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği

Kesit güzergâhı boyunca olası kaya düşmelerinin tehdit edebileceği asfalt ulaşım yolu ve konutlar yer almaktadır. Kesit hattı boyunca kaya düşmelerinin zararını azaltmak için 1 adet hendek bulunmaktadır. Hendek-1, 1533 kotundan başlayıp 1535 kotunda son bulmaktadır. Ulaşımı sağlayan asfalt yol ise 1500 kotunda yer almaktadır. İstatiksel olarak, 5700 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Kesit-5 simülasyon sonuçları

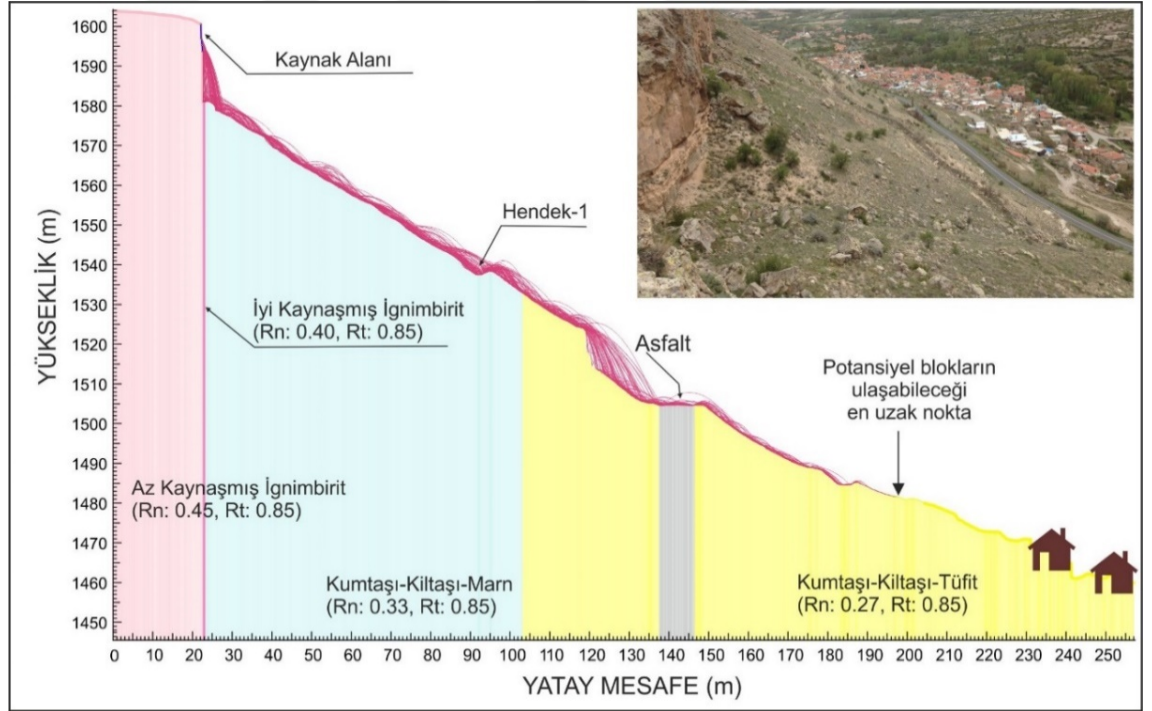
Şekil 4.13'de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme hareketine sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar küçük ölçekli sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dahil edilen 100 bloğun 65 adeti kaynak alandan 140 metre uzağa ulaşırken, 1 tanesi de maksimum durma mesafesi 185 metre (1 blok) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14a). Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 3,112 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14b). Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 620 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 13.0 m/s (89 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14d).



Şekil 4.14. a) Kesit-5 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-5 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-5 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-5 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği

4.4.6. Kesit 6: Kaya düşmesi simülasyonu

Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere, kaya düşmesi için kaynak bölgesi çalışma alanının batısında yer almaktadır (Harita 4.2). Kesit-6 çalışma alanının batısında yer alan ignimbiritlerin kuzey ucunda yer almakta olup, en yüksek kot 1604 metredir. Kesit uzunluğu toplam 257 metre olup, 1460 metre kotunda sona ermektedir. Buna göre kesitin başlangıcı ve bitişi arasındaki kot farkı 144 metredir. Hendek-1, 1538 kotundan başlayıp 1540 kotunda son bulmaktadır. Ulaşımı sağlayan asfalt yol ise 1505 kotunda yer almaktadır. İstatiksel olarak, 5700 kg'lık (arazide daha önceden düşen bloklardan en büyüğü seçilmiştir) blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (Şekil 4.15).



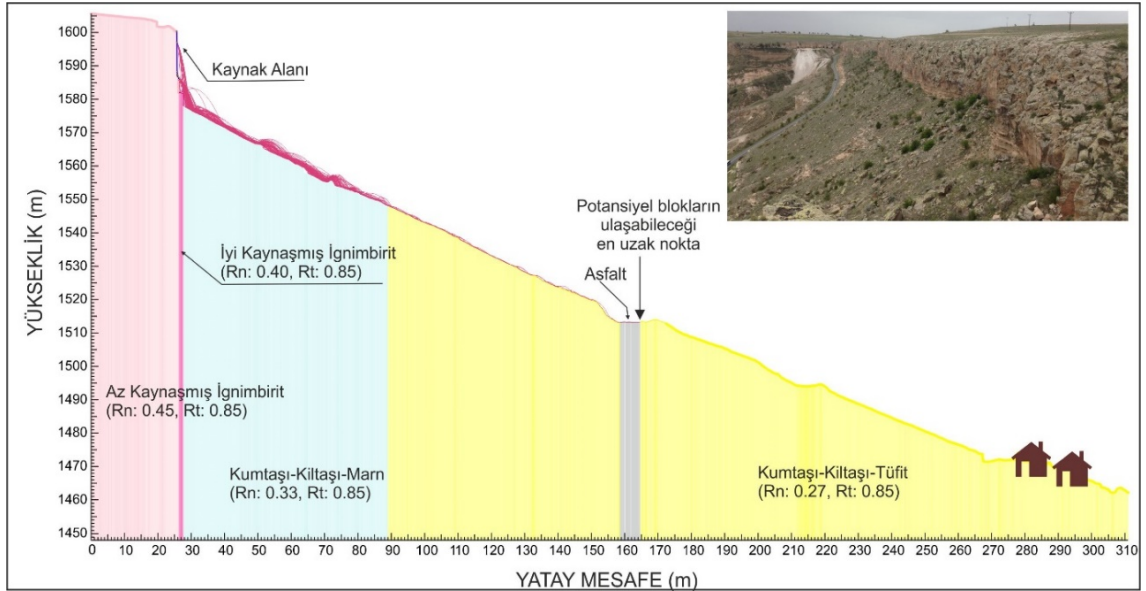
Şekil 4.15. Kesit-6 simülasyon sonuçları

Şekil 4.15'de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme harekete sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar küçük ölçekli sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dahil edilen 100 bloğun 24 adeti kaynak alandan 187 metre uzağa ulaşırken, 3 tanesi de maksimum durma mesafesi

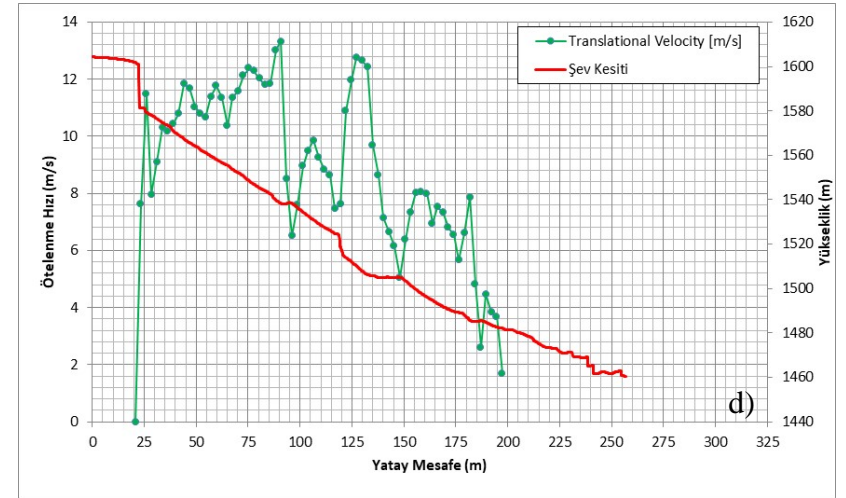
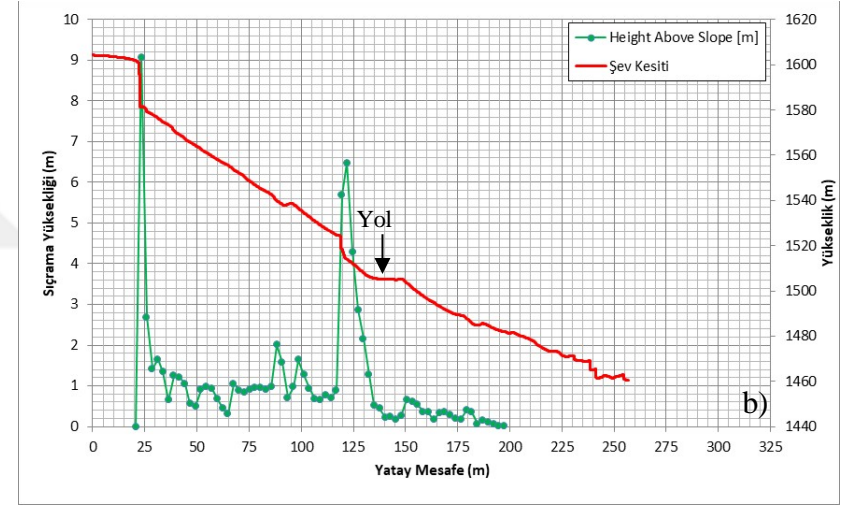
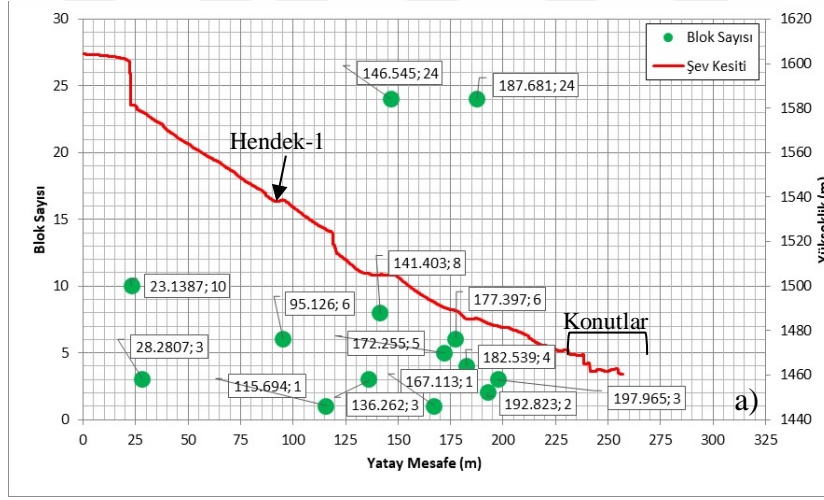
197 metre (3 blok) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.17a). Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 9,077 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 4.17b). Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 647 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.17c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 13.0 m/s (90 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.17d).

4.4.7. Kesit 7: Kaya düşmesi simülasyonu

Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere, kaya düşmesi için kaynak bölgesi çalışma alanının batısında yer almaktadır (Harita 4.2). Kesit-7 çalışma alanının batısında yer alan ignimbiritlerin kuzey ucunda yer almakta olup, en yüksek kot 1605 metredir. Kesit uzunluğu toplam 311 metre olup, 1462 metre kotunda sona ermektedir. Buna göre kesitin başlangıcı ve bitişi arasındaki kot farkı 143 metredir. Ulaşımı sağlayan asfalt yol ise 1513 kotunda yer almaktadır. İstatiksel olarak, 5700 kg'lık (arazide daha önceden düşen bloklardan en büyüğü seçilmiştir) blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kesit-7 simülasyon sonuçları



Şekil 4.17. a) Kesit-6 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-6 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-6 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-6 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği

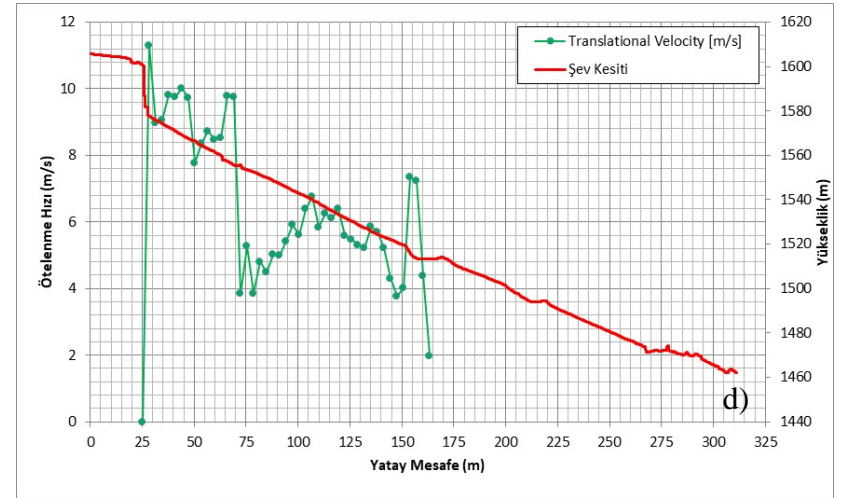
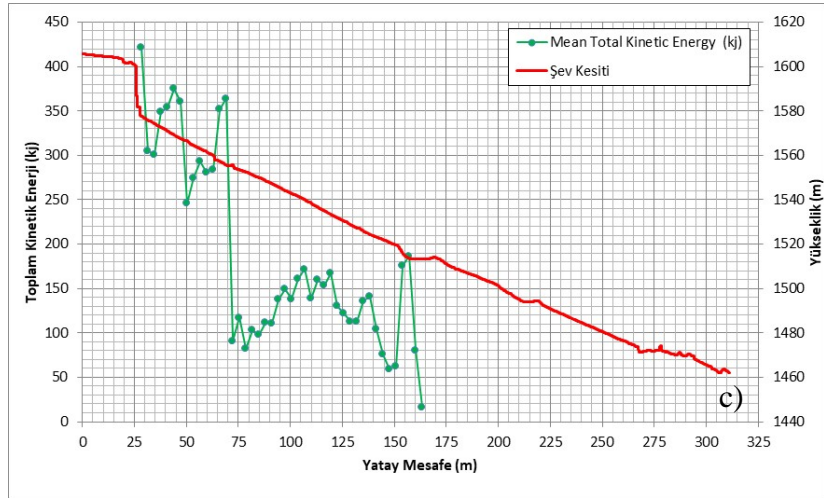
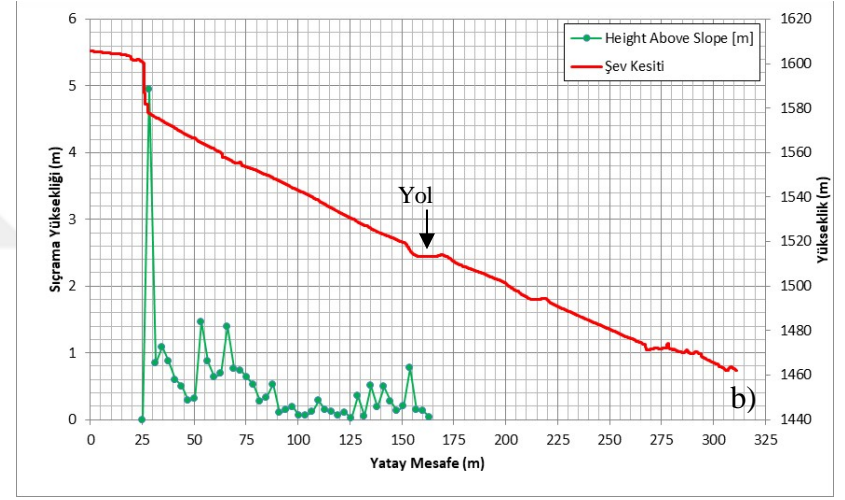
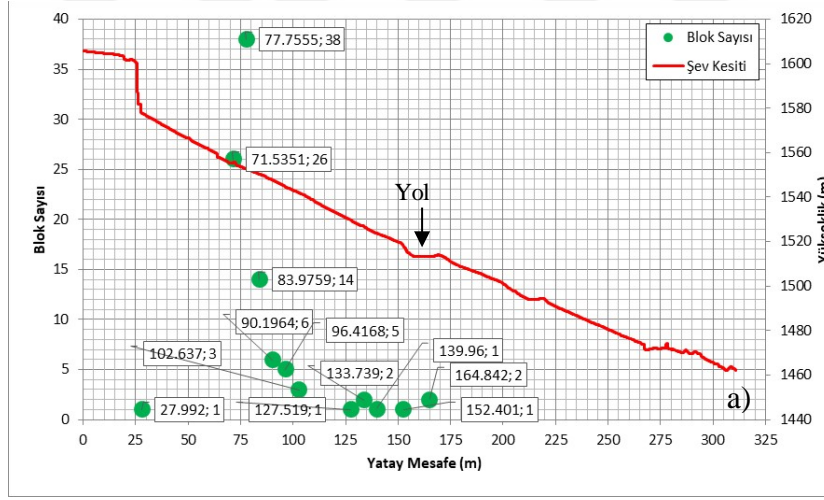
Şekil 4.16’de verilen kaya düşme simülasyonuna göre, bloklar düşme harekete sıçrama ile başlayıp yuvarlanma hareketi ile devam etmektedir. Daha sonra alt kotlarda tekrar küçük ölçekli sıçrama hareketleri yapmaktadır. Simülasyona dahil edilen 100 bloğun 38 adeti kaynak alandan 77 metre uzağa ulaşırken, 2 tanesi de maksimum durma mesafesi 164 metre (2 blok) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18a). Kesit boyunca maksimum sıçrama yüksekliği 4,949 metre olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18b). Kesit boyunca blokların ulaştığı maksimum toplam kinetik enerji 421 kJ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18c). Yine kesit boyunca maksimum ötelenme hızı yaklaşık 11.0 m/s (28 m) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18d).

4.4.8. Mevcut hendek performansının değerlendirilmesi

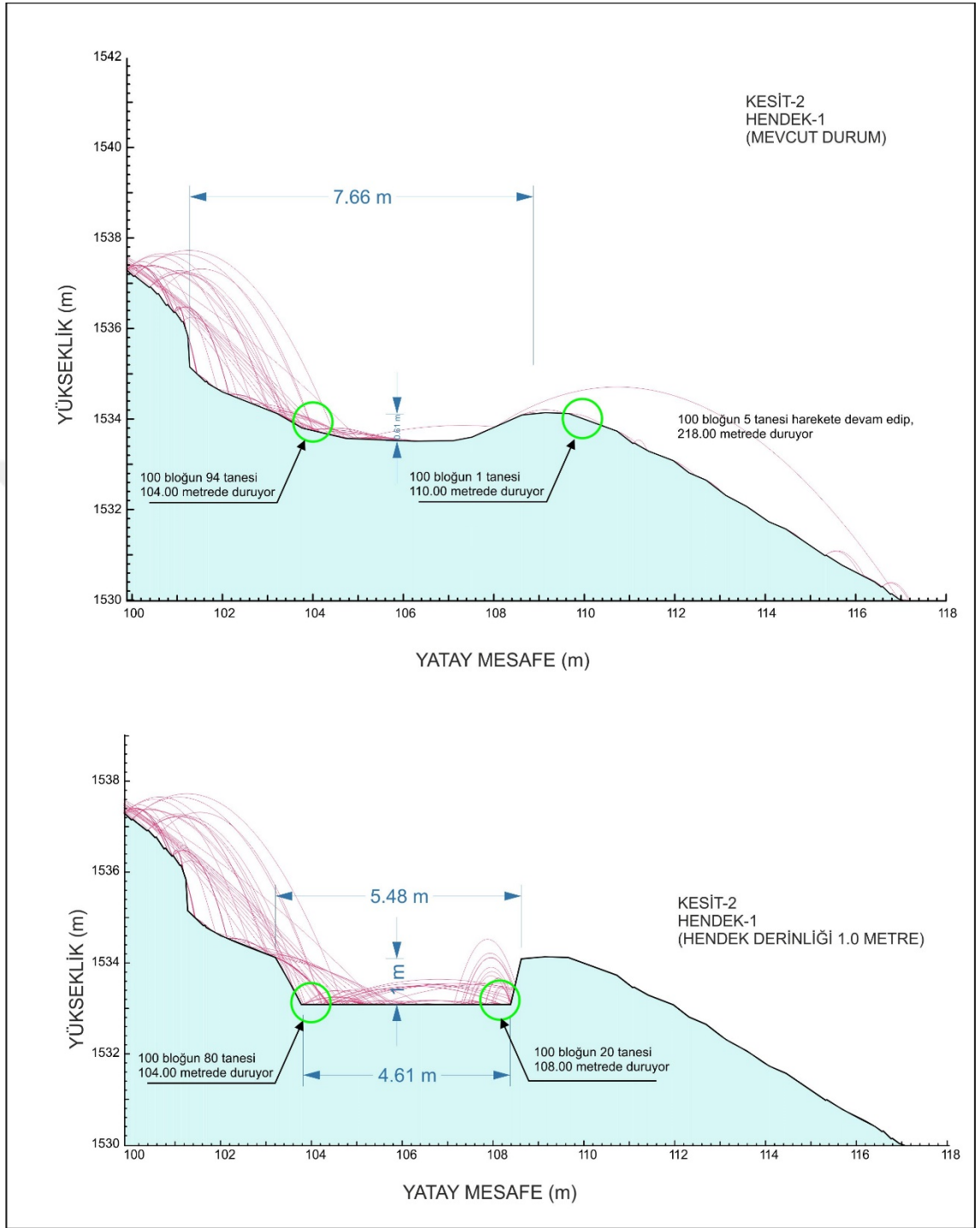
Çalışma alanında 1994 yılında meydana gelen kaya düşmesinden sonra bölgede kaya düşmelerini engellemek için 2 adet hendek açılmıştır (Resim 4.7). Bu hendeklerin olası kaya düşmelerindeki davranışlarını değerlendirmek için 1 numaralı hendek üzerinde alınan 2 kesit boyunca hendeğin performansı incelenmiştir. 1 numaralı hendeğin Kesit 2’deki yüksekliği 0.61 metre, genişliği ise 7.66 metredir (Şekil 4.19). 1 numaralı hendeğin Kesit 3’deki yüksekliği ise 0.55 metre, genişliği ise 6.99 metredir (Şekil 4.20).



Resim 4.7 Hendek-1 ve Hendek-2’nin genel görünümü



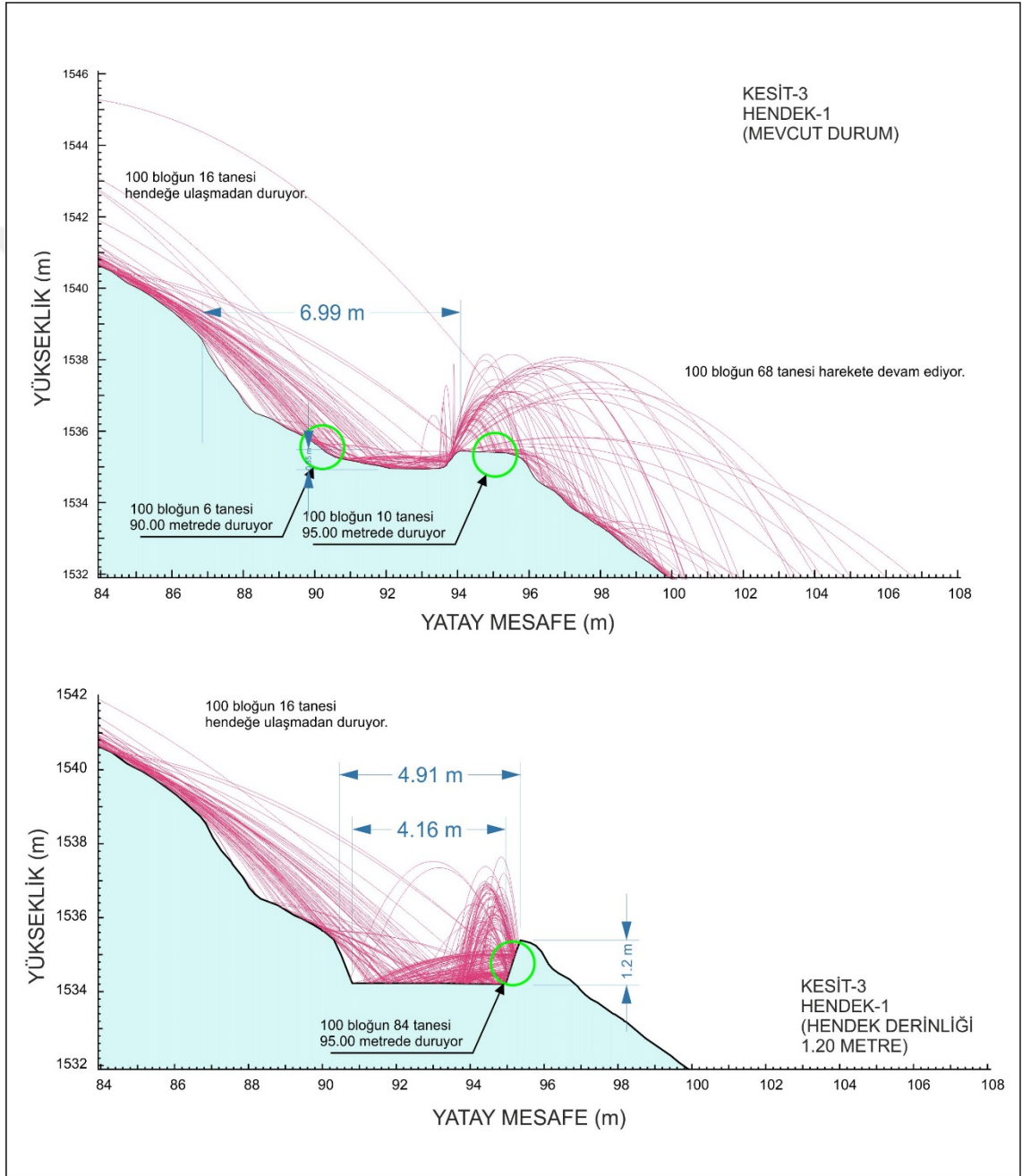
Şekil 4.18. a) Kesit-7 sıçrama yüksekliği dağılım grafiği b) Kesit-7 için şev yüzeyi sıçrama yüksekliği grafiği c) Kesit-7 şev yüzeyi toplam kinetik enerji grafiği d) Kesit-7 şev yüzeyi ötelenme hızı grafiği



Şekil 4.19 Kesit 2 için hendek iyileştirme

Yapılan kaya düşmesi simülasyonlarında Kesit 1'deki 1 numaralı hendek blokların %94'ünü tutarken %6'sını tutamamaktadır. Şev aşağısına doğru yol ve yerleşim yerlerini etmek üzere hareket etmektedir. Kesit 3'de ise 1 numaralı hendek blokların sadece %6'sını tutabilmekte blokların %78'i ise şev aşağı doğru hareketine devam

etmektedir. Buradan anlaşılıyor ki bu hendekler açılırken mühendislik açısından bir değerlendirme yapılmadan rastgele açılmış olup kendisinden beklenen görevi yerine getirmemektedir.



Şekil 4.20. Kesit 3 için hendek iyileştirme

Çalışmanın bu aşamasında hendek-1'in bulunduğu mevcut konumları değiştirmeden sadece geometrisi ve derinliğini değiştirerek tekrar kaya düşmesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Kesit 2'deki 1 numaralı hendeğin derinliğini 1 metre, genişliği ise 4.61 metre olduğunda hemen hemen blokların tamamını tutabildiği görülmektedir (Şekil 4.20). Kesit 3'deki 1 numaralı hendeğin derinliğini 1.2 metre, genişliği 4.16 metre olduğunda blokların tamamını tutabildiği görülmektedir (Şekil 4.20).

Sonuç olarak, herhangi bir mühendislik öngörüsüyle hazırlanmamış olan kaya tutma hendekleri kendilerinden beklenen performansı tam olarak yerine getirememektedirler. Çalışma alanında halihazırda açılmış olan hendeklerde yapılacak olan küçük iyileştirmeler, olası kaya düşmelerinde tehdit altında olan karayolu ve yerleşim yerini koruyabilecektir.

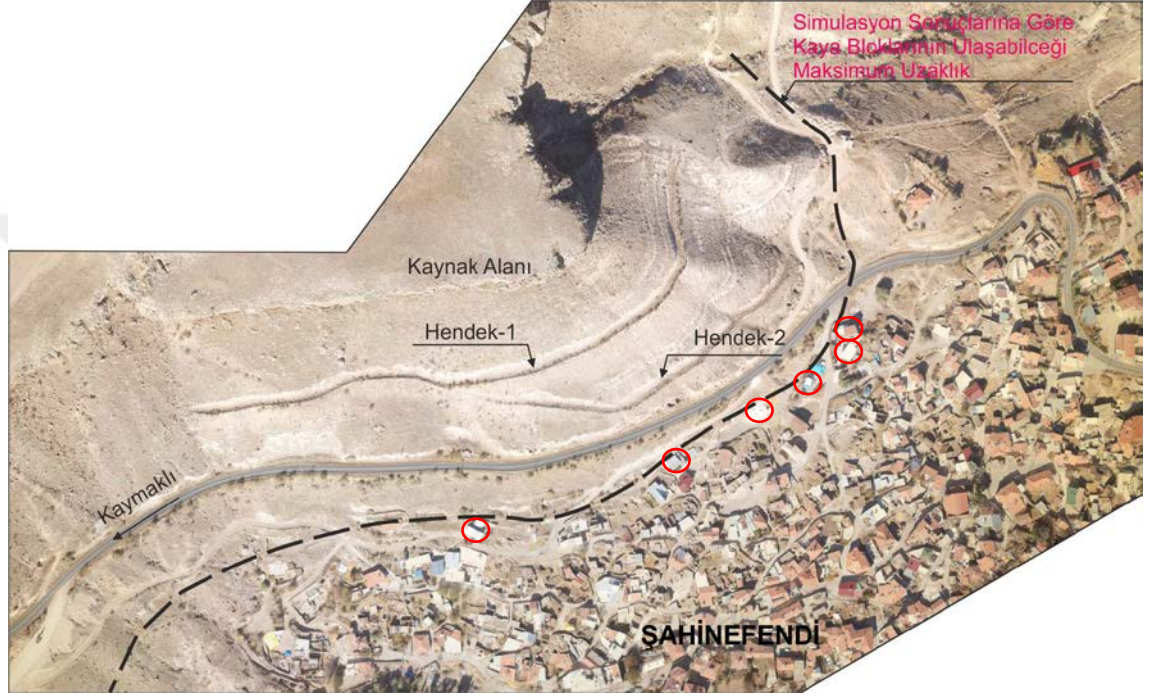
4.4.9. Olası kaya düşmesi olaylarının çevreye etkileri

Yapılan kaya düşmesi analiz sonuçlarına göre 7 kesit için maksimum ve minimum toplam kinetik enerji, ötelenme hızı, sıçrama yüksekliği ve durma mesafesi değerleri Tablo 4.6 'da verilmiştir.

Tablo 4.6. İki boyutlu kaya düşmesi analiz sonuçları

Kesitler	Toplam kinetik enerji (kj)		Ötelenme hızı(m/s)		Sıçrama yüksekliği(m)		Durma mesafesi(m)	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
Kesit-1	233	4	8	0.883	0.834	0.003	181	23
Kesit-2	618	22	11	1.887	1.674	0.001	218	104
Kesit-3	618	78	13	3.788	3.347	0.031	178	30
Kesit-4	888	67	16	3	3.720	0.042	194	22
Kesit-5	620	0.880	13	0.213	3.112	0.012	185	46
Kesit-6	647	10	13	1.68	9.077	0.002	197	23
Kesit-7	421	16	11	1.97	4.949	0.019	164	27

Yapılan bu çalışmada Nevşehir ili, Ürgüp ilçesi, Şahinefendi köyünün civarında bulunan olası şevleri karakterize edecek toplam 7 kesit için iki boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, blokların ulaşabileceği en uzak noktalara göre tehlike zonu haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Olası kaya düşmelerinin ulaşabileceği maksimum zon haritası

Kaya düşmesi tehlike zonu içerisinde kalan ve Şahinefendi-Kaymaklı arası ulaşımı sağlayan karayolu kaya düşmesi tehdidi altındadır. Şahinefendi-Kaymaklı karayolunun yaklaşık 1.0 km'si olası kaya düşmelerinden etkilenecek durumdadır. Bunun yanında Şahinefendi köyünün batı bölümünde karayoluna yakın olan konutlarda kısmen tehdit altındadır. Doğrudan kaya düşmelerinin tehdidi altında olan konut sayısı 6 civarında olup, karayolu ve açılmış olan hendekler olası blokların daha uzağa gitmelerini engellemektedir.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şahinefendi (Nevşehir) ve çevresini etkileyen kaya düşmelerinin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışma alanının jeolojisi Üst Miyosen-Pliyosen volkano-sedimanter ve Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte mühendislik jeolojisi açısından incelendiğinde az kaynaşmış ignimbirit (İgm-1), iyi kaynaşmış ignimbirit (İgm-2), kıltaşı, kumtaşı, marn (kkm) ve kumtaşı kıltaşı tüfit (kkt) olmak üzere dört farklı birim ayırt edilmiştir.

Az kaynaşmış ignimbiritlerin doğal birim hacim ağırlığı 13.98 kN/m^3 , iyi kaynaşmış ignimbiritlerin ise 18.44 kN/m^3 olarak bulunmuştur. Az kaynaşmış ignimbiritlerin ıslak birim hacim ağırlığı 16.40 kN/m^3 , boşluk oranı 0.63, görünür porozitesi %38.69, hacimce su emme %38.13, ağırlıkça su emme %30.46, Schmidt değeri 20'dir. İyi kaynaşmış ignimbiritlerin ıslak birim hacim ağırlığı ise 19.37 kN/m^3 , boşluk oranı 0.35, görünür porozitesi %26.00, hacimce su emme %25.54, ağırlıkça su emme %15.23, Schmidt değeri 20'dir.

Az kaynaşmış ignimbiritlerin ve iyi kaynaşmış ignimbiritlerin ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı sırasıyla 3.26 MPa ve 15.87 MPa olarak belirlenmiş olup, Deere ve Miller'e göre çok düşük dayanımlı zayıf kaya olarak tanımlanmıştır [44].

Çalışma alanında genelde soğuma çatlaklarına bağlı gelişen süreksizlik tipleri görülmekte olup, kaynak alan konumundaki ignimbiritlerde süreksizlikler dik soğuma çatlakları ve yataya yakın tabaka düzlemleri şeklinde gözlenmektedir. Hâkim süreksizlik yönelimleri (eğim yönü/eğim) ise 301/85, 10/80, 29/80, 51/80 ve 290/10 olarak belirlenmiş olup, genelde geniş -çok geniş aralıklı olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında gözlenen süreksizlikler devamlılık açısından orta devamlılığa sahip olup, süreksizlik açıklıkları açık yapılar olarak belirlenmiştir. İgm-1 ve İgm-2 için eklem yüzey pürüzlülük katsayısı (JRC) 8 olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik yüzeylerinin içsel sürtünme açısı (ϕ) Barton ve Choubey, görgül yenilme ölçütüne göre 49° olarak belirlenmiştir [36].

Kinematik şev stabilitesi analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, devrilme türü duraysızlığın çalışma alanında hâkim yenilme tipi olduğu görülmüştür. Bu şekilde başlayan kütle duraysızlıkları şev boyunca yuvarlanma ve zıplama şeklinde kaya düşmesine dönüşmektedir.

Çalışma alanında olası kaya düşmeleri toplam 7 kesitle iki boyutlu olarak simule edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, blokların kaynak alandan maksimum 218 metre uzağa ulaşabildikleri belirlenmiştir. Bu mesafelere göre tehlike zonu haritası oluşturulmuş ve Şahinefendi-Kaymaklı arası ulaşımı sağlayan karayolunun yaklaşık 1.0 km'si olası kaya düşmelerinden etkilenecek durumda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yerleşim alanında yer alan yaklaşık 6 konut kaya düşmesi tehdidi altındadır.

Olası kaya düşmelerini engellemek için şev yüzeyinde iki kademe şeklinde açılan tutma hendekleri, simülasyon sonuçlarına göre blokların bir bölümünün aşağı kotlara ulaşmasını engellememektedir. Yani mühendislik açısından değerlendirilmeden açılan hendekler kendilerinden beklenen performansı yerine getirememektedir. Bunun sonucu olarak olası kaya düşmelerinin karayolunu ve yerleşim yeri için risk oluşturmaya devam etmektedir.

Çalışma alanında hâlihazırda açılmış olan hendeklerde yapılacak olan küçük iyileştirmeler, olası kaya düşmelerinde tehdit altında olan karayolu ve konutları koruyabilecektir. Bundan dolayı hendek derinliklerinin artırılması, geometrilerinin düzeltilmesi ve periyodik bakımlarının yapılması önerilir.

6. KAYNAKLAR

1. Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., Dorren, L.K:A., Gerber, W., Jaboyedoff, M., “Rockfall characterization and structural protection-a review”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2617-2651, 2011
2. Gökçe, O., Özden, S., Demir, A., “Türkiye’de afetlerin mekânsal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri”, *Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Etüt ve Hasar Tespit Dairesi Başkanlığı, Ankara*, 112, 2008
3. Varnes, D.J. Slope movement types and processes, In:R.L. Schuster and R.J. Krizek, Eds., *Landslides, Analysis and Control*, National Academy of Sciences, pp. 11-13, 1978
4. Wyllie, D.C., “Rock Fall Engineering”, CRC Press, *Taylor & Francis Group*. 270 pp. 2015
5. Ritchie, A.M., “Evaluation of rockfall and its control”, *Highw Res Board Rec* 17,13-27. 1963
6. Fanos, A.M., Pradhan, B., “Laser scanning systems and techniques in rockfall source identification and risk assesment: a critical review”, *Earth Systems and Environment*, <https://doi.org/10.1007/s41748-018-0046-x>, 2018
7. Evans, S., Hungr, O., “The assesment of rockfall hazard at the base of talus slopes”, *Can Geotech J* 30:620-636. <https://doi.org/10.1139/t93-054>, 1993
8. Hungr, O., Evans, S.G., “Engineering evaluation of fragmental rock fall hazards”, *Proc. 5th Inter. Symp. On Landslides, Lausanne, Switzerland, July*, 685-90, 1988
9. Grant, A., Wartman, J., Massey, C., Olsen, M. J., O’Banion, M., Motley, M., “The impact of rockfalls on dwellings during the 2011 Christchurch”, *New Zealand, earthquakes. Landslides*, 15:31-42, DOI 10.1007/s10346-017-0855-2, 2018
10. Caner, E. N., Türkmenoğlu, A. G., Göktürk, H., Demirci, Ş., and Böke, H., “Examination of surface deteriorotation of Göreme tuffs fort he purpose of conservation”, *6th. Int. Cong. On Deterioration and Conservation of Stone*, s. 287-302, Torun, Polonya, 1988
11. Erdoğan, M., “Nevşehir tüflerinin hafif yapı gereci olarak değerlendirilebilme olanaklarının araştırılması”, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 11, 75-82, 1989
12. Yılmaz, İ., “Time factor accelerating deterioration at the Göreme Historical Site”,

- Int. Seminar on the safeguard of the rock-hewn churches of the Göreme Valley, (abstract), Roma, İtalya, 1993
13. Topal, T., Doyuran, V., “Effects of discontinuities on the development of fairy chimneys in the Cappadocia Region Central Anatolia-Turkey”, TÜBİTAK Turkish Journal of Earth Sciences, 4, 49-54, 1995
 14. Topal, T., Doyuran, V., “Analysis of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey”, Intern. Jour. Of Geosc., Environ. Geol., 34, 5-20, 1997
 15. Tolğay, A., Yaşar, E., Erdoğan, Y., “Nevşehir pomzasının agrega olarak betonda kullanılabilirliğinin araştırılması”, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s. 345-354, İzmir, 2004
 16. Baba, A., Kaya, A. ve Türk, N., “Fairy chimneys of Cappadocia and their engineering properties”, Journal of Applied Sciences, 5, 800-805, 2005
 17. Korkanç, M., “İgnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı olarak kullanımına etkisi: Nevşehir taşı”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 31(1), 40-49, 2007
 18. Kaşmer, Ö., Ulusay, R., Geniş, M., “Assessments on the stability of natural slopes prone to toe erosion, and man-made historical semi-underground openings carved in soft tuffs at Zelve Open-Air Museum (Cappadocia,Turkey)”, Engineering Geology, 135-158 2013
 19. Ergüler, Z. A., “Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs”, Engineering Geology, 105, 186-199, 2009
 20. Dinçer, İ., Bostancı, M., “Capillary water absorption characteristics of some Cappadocian ignimbrites and the role of capillarity on their deterioration”, Environmental Earth Sciences, 78:7, 2019
 21. Doyuran, V., “Ortahisar’ın çevresel jeolojik sorunları”, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 83-88, 1976
 22. Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Topal, T., Sönmez, H., Tuncay, E., Ergüler, Z. A., ve Kasmer, Ö., “Assessment of environmental and engineering geological problems fort he possible re-use of an abondened rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia), Turkey”, Environmental Geology, 50 (4), 473-494, 2006
 23. Topal T., M. K. Akin., U. A. Ozden., “Assesment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey”, *Environmental Geology* 53(1), 191-200, 2007
 24. Topal, T., M. K. Akin., M. Akin., “Rockfall hazard analysis for an historical Castle in Kastamonu (Turkey) ”, *Natural Hazards* 62 (2), 255-274, 2012

25. Tunusluoglu, M. C., Zorlu, K., “Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia Turkey)”, *Environ Geol*, 56, 963-972, 2009
26. Zorlu, K., Tunusluoglu, M. C., Gorum, T., Nefeslioglu, H. A., Yalcin, A., Turer, D., Gokceoglu, C., “Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia (Turkey)”, *Environmental Earth Sciences*, 62 (8), 1685-1693, 2011
27. Şaraldı, M. H., “Tatların (Nevşehir) yeraltı şehrini ve çevresini etkileyen kaya düşmelerinin değerlendirilmesi”, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir, 2015
28. Dinçer, İ., Orhan A., Frattini, P., Crosta, G. B., “Rockfall at the heritage site of the Tatların Undergrand City (Cappadocia, Turkey)”, *Nat Hazards*, 1075-1098, 2016
29. Özata, Ş., Arun, E. G., “Damage assessment of rock-cut Ortahisar Castle in Cappadocia region”, *Journal of science, G U J Sci* 31(1): 1-11, 2018
30. Ulusay, R., Aydan, Ö., “Geo-engineering aspects on the structural stability and protection of historical man-made rock structures: An overview of Cappadocia Region (Turkey) in the UNESCO’s World Heritage List”, *Bull Eng Geol Environ*, 77:457-488 2018
31. Ulusay, R., ve Sönmez, H., “Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri”, Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası yayını, 60, s.243, Ankara, 2002
32. Sönmez, H., Ulusay, R., “A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies”, *Yerbilimleri (Earth sciences)*, 26, 77-99, 2002
33. ISRM 1978, “Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses”, *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts*, 15, 319-368, 1978
34. ISRM 1981, “Rock Characterisation, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods”, E. T. Brown, s.200, Pergamon, Oxford, 1981
35. Miller, R. P., “Engineering classification and index properties for intact rock”, University of Illinois, PhD Thesis, Urbana, Illinois, 1965, (yayımlanmamış)
36. Barton, N. R., and Chobey, V., “The shear strength of rock joints in theory and practice”, *Rock Mech.* 10(1-2), 1-54, 1977
37. Palmström, A., “A new method to characterize rock masses for masses for applications in rock engineering”, National annual tunnelling conference, 1-28, Bergmekanikkdagen, Oslo, 1996

38. Ulusay, R., “Şevlerin duraylılığı ve tasarımı”, *Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Vakfı Kurs Notu*, s.179, Ankara, 2002
39. Barton, N., Lien, R., Lunde, J. “Engineering classification of rock masses for the design of rock support”, *Rock Mechanics* 6, 1974, pp. 189-236, 1974
40. Barton, N., “Review of a new shear strength criterion for rock joints”, *Engineering Geology*, 7, 287-332, 1973
41. Barton, N. “The shear strength of rock and rock joints”, *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics*. 13(9): 255-279, 1976
42. Bell, F.G., *Engineering Geology*, Butterworth-Heinemann, 2nd Edition, 581 p., 2007
43. ISRM (International Society for Rock Mechanics) The complete ISRM suggested methods for rock characterization. In: Ulusay, R., Hudson, J.A. (Eds.), *Testing and Monitoring: 1974-2006*. p. 628, 2007
44. Deere D.V., Miller R.L. *Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock*, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana. pp. 90-101, 1966
45. Alejano, L.R., González, J., Muralha, J. Comparison of Different Techniques of Tilt Testing and Basic Friction Angle Variability Assessment, *Rock Mech Rock Eng*, 45: 1023–1035, 2012
46. Alejano, L.R., Muralha, J., Ulusay, R., Li, C.C., Pérez, Rey, I., Karakul, H., Chryssanthakis, P., Aydan, Ö. ISRM suggested method for determining the basic friction angle of planar rock surfaces by means of tilt tests. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51:3853–3859, 2018
47. Stimpson B.A. Suggested technique for determining the basic friction angle of rock surfaces using core. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 18:63–65, 1981
48. Ulusay, R., *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını: 38, 458 sy. Ankara, 2010
49. Hoek, E., Bray, J.W., *Rock Slope Engineering*. The Institute of Mining and Metallurgy, London, 1977
50. Van Dijke, J., van Westen, C., *Rockfall hazard: a geomorphological application of neighbourhood analysis with ILWIS*, *ITC Journal*, 1, 40–44, 1990
51. Rocscience Inc. <https://www.rocscience.com/help/rockfall/> Erişim tarihi: 14.12.2018.
52. Beekman, P.H., “Hasandağ-Melendizdağ Bölgesinde Pliyosen ve Kuvaterner

- volkanizma faaliyetleri”, MTA dergisi, no:66, s. 90-105, 1966
53. Batum, İ., “Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl volkanitlerinin jeokimyası ve petrolojisi”, Yerbilimleri Dergisi, c.4, s.1-2, 1978
54. Jung, D., Keller, J., Eckhardt, J., “Orta Anadolu Senozoyik volkanizması”, MTA raporu derleme, no: 4731/1 Ankara (yayımlanmamış), 1972
55. Atabey, E., Tarhan, N., Papak, İ., Akarsu, B. ve Taşkıran, A., “Ortaköy, Tuzköy (Nevşehir)-Kesikköprü (Kırşehir) yöresinin jeolojisi”, MTA Rapor No 8156, Ankara (yayımlanmamış), 1987
56. Atabey, E., “MTA 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Aksaray H19 (K33) Paftası”, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 1989
57. Pasquare, G., “Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia”, Atti Della Accademia Nazionale Des Liceri Memorie, serie , volume , Roma, 1968
58. Aydar, E., Çubukçu, H. E., Şen, E., Akın, L., “Central Anatolia’n Plateau, Turkey: incisin and paleoaltimetry recorded from volcanic rocks”, Turkish Journal of Earth Sciences, 22, 739-746, 2012
59. Atabey, E., “1/100000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi”, Kayseri-H19 paftası, MTA yayını, 1989b
60. Dönmez, M., Türkecan, A. ve Akçay, A. E., “Kayseri, Niğde Tersiyer volkanizması”, MTA Rapor, No:10575, 2003
61. Temel, A., “Kapadokya eksplozif volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özellikleri”, Hacettepe Üniversitesi Doktora Tezi, 1992
62. Le Pennec, J.-L., Bourdier, J.-L., Temel, A., Camus, G., Gourgaud, A., “Neogene ignimbrites of the Nevşehir Plateau (Central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints”, J. Volcanol. Geotherm. Res. 63, 59-87, 1994
63. Schumacher, R., Mues, U. Ve Koberski, U., “Petrographical and geochemical aspect and K/Ar dating of ignimbrites in Cappadocia, Turkey”, Abstracts of the 6th Congress of the geol. Soc. Athens, 1992
64. Innocenti, F., Mazzuoli, G., Pasquare, F., Radicati Di Brozolo, F. and Villari, L., 1975. The Neogene calcalkaline volcanism of Central Anatolia: geochronological data on Kayseri-Niğde area, Geol. Mag., 112 (4), 349-360.
65. NBG, 1985. Norwegian Rock Mechanics Group: Handbook in engineering geology-rock. Tapir, Trondheim, Norway.



EKLER

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları

Tablo 1.1 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi (İgm-1)

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA		
Ağırlıkça su emme oranı	A_w (%)	30,46
Hacimce su emme oranı	V_w (%)	38,13

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT					Ağırlıkça Su Emme Oranı A_w (%)	Hacimce Su Emme Oranı V_w (%)
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Kuru Ağırlık M_d (gr)	Suya Batırılmış Numune Ağırlığı M_s (gr)		
B-1	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	94,00	215,28	255,38	336,55	31,78	37,70
B-2	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	308,15	402,04	30,47	38,31
B-3	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	112,00	256,50	325,11	423,21	30,17	38,24
B-4	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	319,30	413,45	29,49	38,42
B-5	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	235,89	294,81	384,36	30,38	37,96
B-6	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	110,00	251,92	308,36			
B-7	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	276,99			
B-8	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	305,28			
B-9	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	294,66			
B-10	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	312,99			

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları (devam)**Tablo 1.2 Ağırlıkça hacimce su emme deneyi (İgm-2)**

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA		
Ağırlıkça su emme oranı	A_w (%)	15,23
Hacimce su emme oranı	V_w (%)	25,54

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT					Ağırlıkça Su Emme Oranı A_w (%)	Hacimce Su Emme Oranı V_w (%)
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Kuru Ağırlık M_d (gr)	Suya Batırılmış Numune Ağırlığı M_s (gr)		
K-1	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	242,76	396,37			
K-2	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	102,00	233,60	397,92			
K-3	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	92,00	210,70	373,35			
K-4	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	88,00	201,54	343,95			
K-5	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	395,53	455,21	15,09	25,80
K-6	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	242,76	391,82	451,58	15,25	24,62
K-7	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	235,89	416,56	478,25	14,81	26,15
K-8	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	396,13	457,37	15,46	24,99
K-9	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	388,23	448,65	15,56	26,12

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları (devam)

Tablo 1.3 Porozite ve boşluk oranı deneyi (İgm-1)

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA			
Boşluk Hacmi	Vv	cm ³	92,70
Görünür Porozite	n	%	38,69
Boşluk Oranı	e	(-)	0,63
Islak Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_{\text{ıslak}}$)		(kN/m ³)	16,40

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT					Boşlukların Hacmi Vv (cm ³)	Porozite (Gözeneklilik) n (%)	Boşluk Oranı e (-)	Islak Birim Hacim Ağırlık ($\gamma_{\text{yaş}}$) (kN/m ³)
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Kuru Kütle Md (gr)	Suya Doymun Kütle Ms (gr)				
B-1	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	94,00	215,26	255,38	337,35	81,97	38,08	0,615	15,67
B-2	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,03	308,15	403,34	95,19	38,85	0,635	16,46
B-3	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	112,00	256,48	325,11	424,51	99,40	38,76	0,633	16,55
B-4	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,03	319,30	414,88	95,58	39,01	0,640	16,93
B-5	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	235,87	294,81	386,18	91,37	38,74	0,632	16,37
B-6	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	110,00	251,90	308,36					
B-7	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,29	276,99					
B-8	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,03	305,28					
B-9	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,29	294,66					
B-10	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,03	312,99					

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları (devam)**Tablo 1.4 Porozite ve boşluk oranı deneyi (İgm-2)**

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA			
Boşluk Hacmi	Vv	cm ³	61,66
Görünür Porozite	n	%	26,00
Boşluk Oranı	e	(-)	0,35
Islak Birim Hacim Ağırlık (γ_{Islak})		(kN/m ³)	19,37

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT					Boşlukların Hacmi Vv (cm ³)	Porozite (Gözeneklilik) n (%)	Boşluk Oranı e (-)	Islak Birim Hacim Ağırlık (γ_{yas}) (kN/m ³)
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Kuru Kütle Md (gr)	Suya Doygun Kütle Ms (gr)				
K-1	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	242,76	396,37					
K-2	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	102,00	233,60	397,92					
K-3	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	92,00	210,70	373,35					
K-4	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	88,00	201,54	343,95					
K-5	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	395,53	456,39	60,86	26,31	0,357	19,73
K-6	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	242,76	391,82	452,61	60,79	25,04	0,334	18,64
K-7	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	235,89	416,56	479,18	62,62	26,55	0,361	20,31
K-8	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	396,13	458,47	62,34	25,44	0,341	18,71
K-9	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	388,23	449,93	61,70	26,67	0,364	19,45

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları (devam)

Tablo 1.5 Tek eksenli sıkışma dayanımı (İgm-1)

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA			
Tek eksenli sıkışma dayanımı	UCS	3544,61	kPa
Tek eksenli sıkışma dayanımı	UCS	3,26	MPa
Tek eksenli sıkışma dayanımı	UCS	36,15	kg/ cm ²

Not: Deneyler, doğal su içeriklerinde yapılmıştır.

No	Numune derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT									Düzeltilmiş UCS		
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	L/D	D/L	Yenilme Yüğü kN	Alan mm ²	UCS kPa	UCS MPa	UCS kg/cm ²	kPa	MPa	kg/cm ²
B-1	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	94,00	1,74	0,57	4,2	2290,22	1833,88	1,83	18,71	1793,29	1,79	18,29
B-2	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	1,98	0,50	9,3	2290,22	4060,74	4,06	41,42	4054,98	4,05	41,36
B-3	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	112,00	2,07	0,48	11,1	2290,22	4846,69	4,85	49,44	4873,15	4,87	49,71
B-4	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	1,98	0,50	9,0	2290,22	3929,75	3,93	40,08	3924,18	3,92	40,03
B-5	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	1,91	0,52	7,1	2290,22	3100,14	3,10	31,62	3077,43	3,08	31,39
B-6	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	110,00	2,04	0,49	2,1	2290,22	916,94	0,92	9,35	919,48	0,92	9,38
B-7	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	1,87	0,53	9,2	2290,22	4017,08	4,02	40,97	3975,20	3,98	40,55
B-8	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	1,98	0,50	10,5	2290,22	4584,71	4,58	46,76	4578,21	4,58	46,70
B-9	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	1,87	0,53	8,2	2290,22	3580,44	3,58	36,52	3543,11	3,54	36,14
B-10	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	1,98	0,50	4,2	2290,22	1833,88	1,83	18,71	1831,28	1,83	18,68

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları (devam)**Tablo 1.6 Tek eksenli sıkışma dayanımı (İgm-2)**

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA			
Tek eksenli sıkışma dayanımı	UCS	17747,52	kPa
Tek eksenli sıkışma dayanımı	UCS	15,87	MPa
Tek eksenli sıkışma dayanımı	UCS	181,02	kg/ cm ²
Not: Deneyler, doğal su içeriklerinde yapılmıştır.			

No	Numune derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT									Düzeltilmiş UCS		
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	L/D	D/L	Yenilme Yüğü kN	Alan mm ²	UCS kPa	UCS MPa	UCS kg/cm ²	kPa	MPa	kg/cm ²
K-1	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	1,96	0,51	23,2	2290,22	10130,03	10,13	103,33	10101,06	10,10	103,03
K-2	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	102,00	1,89	0,53	41,5	2290,22	18120,52	18,12	184,83	17959,94	17,96	183,19
K-3	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	92,00	1,70	0,59	66,4	2290,22	28992,83	28,99	295,73	28246,15	28,25	288,11
K-4	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	88,00	1,63	0,61	40,7	2290,22	17771,21	17,77	181,27	17177,80	17,18	175,21
K-5	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	1,87	0,53	35,3	2290,22	15413,36	15,41	157,22	15252,68	15,25	155,58
K-6	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	1,96	0,51	33,4	2290,22	14583,75	14,58	148,75	14542,04	14,54	148,33
K-7	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	1,91	0,52	38,1	2290,22	16635,95	16,64	169,69	16514,10	16,51	168,44
K-8	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	1,98	0,50	20,6	2290,22	8994,76	8,99	91,75	8982,01	8,98	91,62
K-9	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	1,87	0,53	32,6	2290,22	14234,43	14,23	145,19	14086,04	14,09	143,68

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları (devam)

Tablo 1.7 Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneyi (İgm-1)

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA			
Yoğunluk	ρ	1,43	gr/cm ³
Yoğunluk	ρ	1425,67	kg/m ³
Yoğunluk	ρ	1,43	ton/m ³
Birim Hacim Ağırlık	γ	13,98	kN/m ³

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT				Yoğunluk		Birim Hacim Ağırlık γ kN/m ³
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Ağırlık W (gr)	ρ gr/cm ³	ρ kg/m ³	
B-1	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	94,00	215,26	296,31	1,38	1376,52	13,50
B-2	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	359,96	1,47	1468,90	14,40
B-3	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	112,00	256,50	374,73	1,46	1460,91	14,32
B-4	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,03	370,83	1,51	1513,41	14,84
B-5	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	235,89	348,07	1,48	1475,54	14,47
B-6	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	110,00	251,90	363,24	1,44	1442,00	14,14
B-7	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	318,29	1,38	1376,02	13,49
B-8	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	326,05	1,33	1330,52	13,04
B-9	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	338,41	1,46	1463,00	14,34
B-10	Kaya yüzeyi	Az kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	330,80	1,35	1349,91	13,23

EK-1: Laboratuvar deney sonuçları (devam)**Tablo 1.8 Yoğunluk ve birim hacim ağırlık deneyi (İgm-2)**

Proje	Yüksek lisans tezi
Lokasyon	Şahinefendi (Nevşehir)
Yöntem	
Tarih	21.06.2017
Deneyi Yapan	Reşide BUZ

ORTALAMA			
Yoğunluk	ρ	1,88	gr/cm ³
Yoğunluk	ρ	1880,62	kg/m ³
Yoğunluk	ρ	1,88	ton/m ³
Birim Hacim Ağırlık	γ	18,44	kN/m ³

No	Numune Derinliği (m)	Numunenin Tanımlaması	KAROT				Yoğunluk		Birim Hacim Ağırlık γ kN/m ³
			Çap D (mm)	Uzunluk L (mm)	Hacim V (cm ³)	Ağırlık W (gr)	ρ gr/cm ³	ρ kg/m ³	
K-1	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	242,74	439,29	1,81	1809,71	17,74
K-2	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	102,00	233,60	443,20	1,90	1897,24	18,60
K-3	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	92,00	210,70	416,18	1,98	1975,22	19,36
K-4	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	88,00	201,52	381,50	1,89	1893,11	18,56
K-5	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	439,47	1,90	1899,90	18,63
K-6	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	106,00	242,76	437,40	1,80	1801,75	17,66
K-7	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	103,00	235,89	467,11	1,98	1980,18	19,41
K-8	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	107,00	245,05	433,38	1,77	1768,51	17,34
K-9	Kaya yüzeyi	İyi kaynaşmış ignimbirit	54,00	101,00	231,31	439,47	1,90	1899,92	18,63

ÖZGEÇMİŞ

Reşide BUZ 1992 yılında Nevşehir’de doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Nevşehir’de tamamladı. 2010 yılında kazandığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. Aynı yıl Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi’ndeki eğitimine hâlen devam etmektedir.

Adres: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Telefon: 05424426264

e-posta: residebuz50@hotmail.com

