

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

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

**Tezi Hazırlayan
Tufan KOÇYİĞİT**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

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

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

**Tezi Hazırlayan
Tufan KOÇYİĞİT**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2019
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. İsmail DİNÇER danışmanlığında **Tufan KOÇYİĞİT** tarafından hazırlanan “**Göre (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. Mutluhan AKIN



Üye : Doç. Dr. İsmail DİNÇER



Üye : Doç. Dr. İsmail AKKAYA



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun...**3/07/2019** tarih ve...**40-399**... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım 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.

Tufan KOÇYİĞİT



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi 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,

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli AİLEME,

Desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi. Ahmet ORHAN'a, Doç. Dr. Mutluhan AKIN, Doç. Dr. Feyza DİNÇER'e ve Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ORHAN'a ve Arş. Gör. M. Yasin Canbolat'a

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

GÖRE (NEVŞEHİR) CİVARINI ETKİLEYEN KAYA DÜŞMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Tufan KOÇYİĞİT

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2019

ÖZET

Dünya Miras Listesinde bulunan Kapadokya Bölgesi doğal, tarihsel ve kültürel değerleri bakımından Türkiye'deki en önemli turistik yerlerden birisidir. Ancak bölgenin bu değerleri kaya kütle duraysızlıkları tarafından ciddi şekilde tehdit edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Kapadokya'daki doğal mirası ve çevreyi tehdit eden kaya kütle duraysızlıklarının oluş mekanizmalarını ve süreci etkileyen faktörleri tipik bir model üzerinden belirlemektir. Bu amaç için bölgesel problemi yansıtan lokasyonlardan biri olan Göre çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma boyunca, mevcut jeolojik birimlerin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak yoğun arazi ve laboratuvar çalışmalarının (süreksizlik tanımlamaları, arazi deneyleri, şev geometrisinin belirlenmesi ve diğer haritalama çalışmaları) yanı sıra, kinematik analizler ve 2 boyutlu kaya düşmesi simülasyonları yapılmıştır. 2 boyutlu kaya düşmesi analiz sonuçlarına göre, çalışma alanının güney ve orta bölümünde daha büyük tehlike oluşturduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı olası kaya düşmelerinin yerleşim alanına olumsuz etkilerini önlenmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: *Kaya düşmesi, bazalt, Göre, Kapadokya*

Danışman: Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Sayfa Adedi: 76

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

(M. Sc. Thesis)

Tufan KOÇYİĞİT

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

June 2019

ABSTRACT

Cappadocia which has been included to the Word Heritage List is one of the most important touristic sites in Turkey due to its natural, historical and cultural values. However, the region is seriously threatened by rock falls. The purpose of this study is to determine occurrence mechanisms and factors affecting the process of the rockfall events which threat natural heritage and the environment in the Cappadocia by using a typical model. For his aim, Göre, which reflects the regional engineering geological problem, was selected as the study area. Laboratory and field works (i.e. identifying the discontinuity, in-situ tests, identifying the slope geometry and additional mapping etc.) were were conducted within the scope of the study. Furthermore, kinematic and 2D rockfall simulation analyses were carried out using by geotechnical softwares. Based on results of 2D rock fall analysis, south and middle part of the study area are at risk of rockfall. Therefore, it is necessary to prevent the possible rock falls events in the settlement area.

Key words: *Rocfall, basalt, Göre, Cappadocia*

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail DİNÇER

Page Number: 76

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLOLAR DİZİNİ	x
1. BÖLÜM	1
GİRİŞ	1
1.1 Kaya Düşmeleri	4
1.2 Kaya Düşmelerinde Hareket Türleri	4
1.3 Kaya Düşmelerinde Kaynak Zonu ve Yuvarlanma Zonu	6
1.4 Kaya Düşmelerine Neden Olan Faktörler	9
2. BÖLÜM	12
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
3. BÖLÜM	16
MATERYAL VE METOD	16
3.2.1 Literatür Taraması.....	16
3.2.2 Arazi Çalışmaları	17
3.2.3 Süreksizlik Özelliklerinin Tanımlanması	17
3.2.4 Laboratuvar Çalışmaları	25
3.2.5 Büro Çalışmaları	28
4. BÖLÜM	41
BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.5.1 Kesit 1: Kaya Düşmesi Simülasyonu	60
4.5.2 Kesit 2: Kaya Düşmesi Simülasyonu	60
4.5.3 Kesit 3:Kaya Düşmesi Simülasyonu.....	61
4.5.4 Kesit 4:Kaya Düşmesi Simülasyonu.....	61
4.5.5 Kesit 5:Kaya Düşmesi Simülasyonu.....	63
4.5.6 Kesit 6:Kaya Düşmesi Simülasyonu.....	63

4.5.7	Kesit 7:Kaya Düşmesi Simülasyonu.....	64
4.5.8	Kesit 8:Kaya Düşmesi Simülasyonu.....	64
4.5.9	Kesit 9:Kaya Düşmesi Simülasyonu.....	66
4.5.10	Olası Kaya Düşmesi Olaylarının Çevreye Etkileri	67
5.	BÖLÜM	69
	SONUÇLAR	69
	KAYNAKLAR	71
	EKLER.....	77



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Ülkemizde ve Kapadokya bölgesinde meydana gelen kaya düşmelerinin mekânsal dağılımı [2]	2
Şekil 1.2	Yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.3	Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket türleri [8]	5
Şekil 1.4	Kaya düşmelerinde kaynak ve yuvarlanma zonları [9].....	6
Şekil 1.5	Kaya düşmelerinde farklı depolanma bölgeleri [9].....	8
Şekil 1.6	Kaya düşmelerinde şev açısına bağlı kaya düşme davranışı ve depolanma özellikleri [11].....	9
Şekil 1.7	Çevresel etkilere karşı farklı direnç gösteren ardalımalı kaya kütlelerinde oluşan potansiyel duraysız bloklar (Göre).....	11
Şekil 3.1	Arazide hat etüdü çalışmalarından bir görünüm	17
Şekil 3.2	(a) Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramları, (b) doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiyi gösteren bir örnek	18
Şekil 3.3	Üç egemen süreksizlik takımının gözlemlendiği bir kaya kütlelerine ait kontur diyagramı örneği	19
Şekil 3.4	Farklı süreksizlik takımlarında rölatif devamlılığı gösteren basit çizimler ve blok diyagramlar [61]	21
Şekil 3.5	Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri [61].....	22
Şekil 3.6	Schmidt Sertliği ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı arasındaki ilişki [55] ...	27
Şekil 3.7	Pürüzsüz.düz yüzeylerde tipik makaslama dayanımı ve yenilme zarfları	29
Şekil 3.8	Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri [43].....	30
Şekil 3.9	Tilt deneyinin şematik görünümü [48]	32
Şekil 3.10	Tilt deneylerinde kullanılan farklı örnek ve dizilim türleri [48]	32
Şekil 3.11	Çalışma alanında kaynak alanı oluşturan bazaltların genel görünümü	34

Şekil 3.12	Başlıca şev duraysızlık türleri ve bunların stereonet çizimleri	35
Şekil 3.13	Düzlemsel kayma koşulu ve düzlemsel kaymanın kinematik analizi.	37
Şekil 3.14	Kama tipi yenilme koşulu ve kinematik analizi.....	38
Şekil 3.15	Devrilme tipi duraysızlık koşulu ve kinematik analizi.	39
Şekil 4.1	Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası.....	41
Şekil 4.2	Çalışma alanının kaynak alandan genel görünümü (bakış yönü kuzeydoğu)	44
Şekil 4.3	Çalışma alanında kaya birimleri ve kaynak zonun genel görünümü	44
Şekil 4.4	Dayanım sınıflarında bazaltların konumu	46
Şekil 4.5	Bazaltların arazideki görünümü.....	47
Şekil 4.6	Çalışma alanında alınan süreksizlik ölçümlerine göre elde edilen kontur diyagramları.....	47
Şekil 4.7	Süreksizliklerin makaslama dayanımı	52
Şekil 4.8	Altı Farklı Tasarım Sektörü	54
Şekil 4.9	Çalışma alanı ve kesitlerin görüntüsü	58
Şekil 4.10	Kesit 1 Kaya Düşmesi Simülasyonu	60
Şekil 4.11	Kesit 2 Kaya Düşmesi Simülasyonu	61
Şekil 4.12	Kesit 3 Kaya Düşmesi Simülasyonu	62
Şekil 4.13	Kesit 4 Kaya Düşmesi Simülasyonu	62
Şekil 4.14	Kesit 5 Kaya Düşmesi Simülasyonu	63
Şekil 4.15	Kesit 6 Kaya Düşmesi Simülasyonu	64
Şekil 4.16	Kesit 7 Kaya Düşmesi Simülasyonu	65
Şekil 4.17	Kesit 8 Kaya Düşmesi Simülasyonu	65
Şekil 4.18	Kesit 9 Kaya Düşmesi Simülasyonu	66
Şekil 4.19	Çalışma alanının tehlike zon haritası	68

TABLolar DİZİNİ

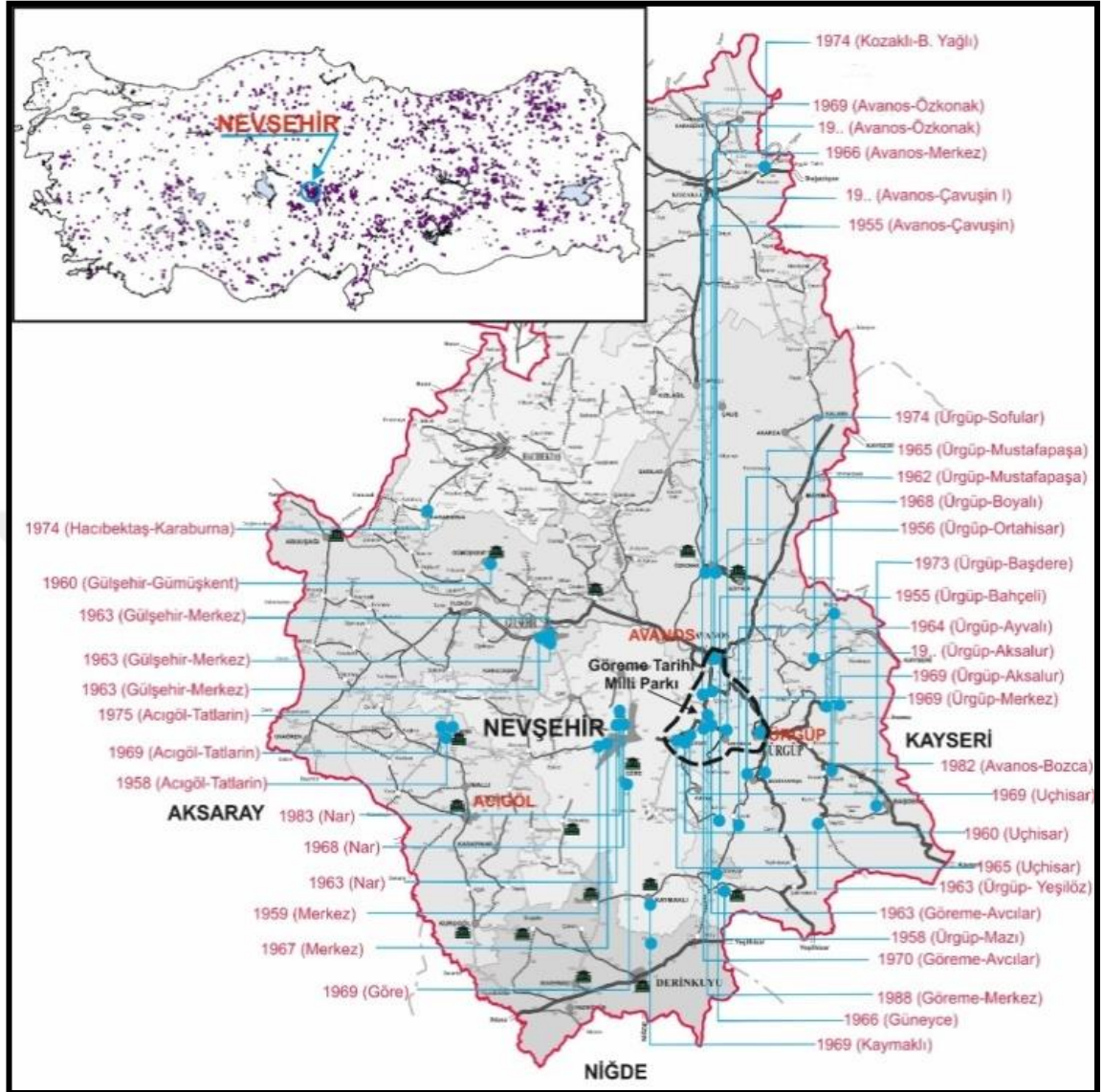
Tablo 3.1	Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri (ISRM, 1981).....	20
Tablo 3.2	Süreksizliklerin devamlılığının sınıflandırılması ve tanımlanma ölçütleri [61]	20
Tablo 3.3	Süreksizlik açıklığının tanımlanması amacıyla önerilen ölçütler [61].....	23
Tablo 3.4	Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanması [61]	25
Tablo 4.1	Kaya a birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [62]	45
Tablo 4.2	Lokasyon 1 için süreksizlik özellikleri.....	49
Tablo 4.3	Lokasyon.2 için süreksizlik özellikleri.....	49
Tablo 4.4	Duraysız bloklar ve boyutları.....	50
Tablo 4.5	Her bir sektörde etkili olan süreksizlik yönelimleri	55
Tablo 4.6	Belirlenen sektörlere göre kinematik açıdan oluşabilecek duraysızlıkların dağılımı.....	55
Tablo 4.7	İki boyutlu kaya düşme analizlerinde kullanılan parametreler	57
Tablo 4.8	Literatürde farklı şev yüzeyi özellikleri için önerilen geri verme katsayıları	59

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Türkiye, jeolojik, jeomorfolojik, hidrografik ve klimatolojik özellikleri gereğince, başta depremler olmak üzere sel-taşkın, kaya düşmesi gibi büyük oranda can ve mal kaybına yol açan, birçok doğal afet olayı ile karşı karşıyadır. Bu doğal afetler, sosyal-ekonomik yönden önemli kayıplara yol açmaktadır. Kaya düşmesi, sert ve yumuşak tabakaların üst üste geldiği eğimli yamaçlarda korniş biçimindeki kütlelerin farklı aşınım ile dengelerini kaybedip eğim boyunca yuvarlanmaları, yamaç rölyefinin gelişimi ile ilgili doğal bir olaydır. Düşen kaya bloklarının eğimli yamacın eteğindeki meskûn sahaya, kara ve demir yolu gibi ulaşım yollarına doğru artan bir hızla yuvarlanmaları beklenmedik bir anda büyük zararlara sebep olur. Olayın sık sık tekrarlanması halinde bir afet şekline dönüşebilir [1].

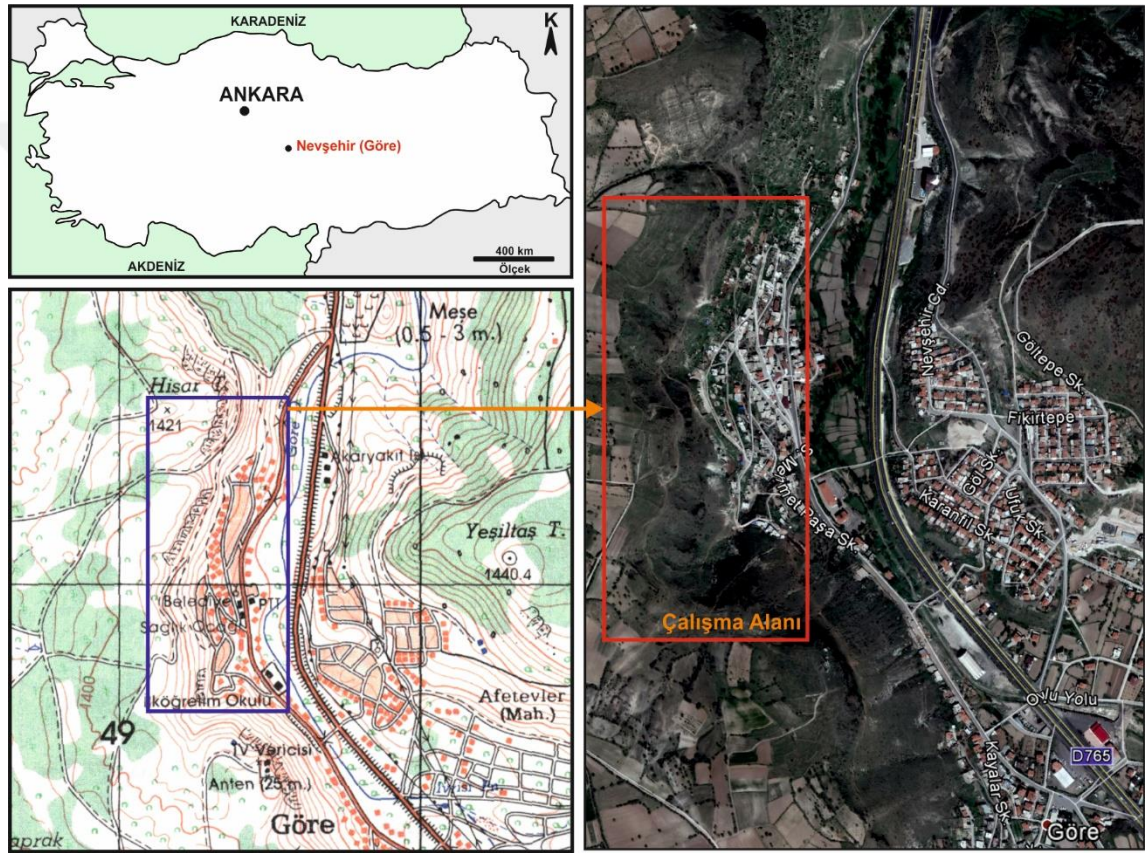
Meydana gelen kaya düşmelerinin kültürel ve doğal miras üzerinde önemli etkilerinin olması kaya düşmelerini daha da önemli hale getirmektedir. Nevşehir Valiliği, İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü verileri göz önüne alınarak hazırlanan kaya duraysızlıkları dağılım haritası incelendiğinde kaya düşmeleri yer altı şehirleri ve Göreme Tarihi Milli Park'ın bulunduğu bölgelerde yoğunlaşmaktadır (Şekil 1.1). Neojen yaşlı volkanik birimler içerisinde meydana gelen kaya düşmelerinin yoğunlaştığı alanlar jeolojik birimler açısından değerlendirildiğinde ise, farklı litolojiler üzerindeki farklı erozyon etkilerinin kaya düşmelerini tetikleyen en önemli faktör olduğu belirtilmiştir. Bölgede yapılan ön incelemelerde, düşük yamaç eğimine sahip alt seviyelerde marn, kilaş ve tuf gibi erozyona karşı düşük duraylılığa sahip birimler yer alırken, dik morfoloji sunan üst seviyelerde ise kireçtaşı, bazalt ve ignimbirit gibi daha duraylı litolojiler gözlenmektedir. Bu jeolojik ve morfolojik yapının gözlemlendiği alanlarda önemli ölçüde kaya düşmesi tehlikesi yaşanmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Ülkemizde ve Kapadokya bölgesinde meydana gelen kaya düşmelerinin mekânsal dağılımı [2]

Ülkemizin jeolojik, yapısal ve iklimsel özellikleri nedeniyle meydana gelen kaya kütle duraysızlıkları, genelde kaya düşmesi ve kaya kayması olarak kendini göstermektedir. Bunlardan, kaya düşmeleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, 1950-2008 yılları arasında meydana gelen 2956 olayla heyelanlardan sonra en fazla görülen afet türü olarak karşımıza çıkmaktadır. İller arasında kıyaslanma yapıldığında, Nevşehir, 1950-2008 yılları arasında meydana gelen 179 kaya düşmesi olayı ile üçüncü sıradadır. Etkilen kişi sayısı açısından ise Nevşehir, 2607 kişi ile Kayseri'den sonra ikinci sırada yer almaktadır [2]. Bu anlamda bölgede yapılan ilk mühendislik jeolojisi çalışması bölgenin simgesi olan kaleden kaya düşmeleri ve konut amacı ile açılmış bazı

mağaralardaki göçme olasılıkları bağlamında yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan diğer çalışmalarda kaya kütle duraysızlıklarının bölge için önemli doğal tehditlerden biri olduğu vurgulanmış ve bu duraysızlıkların süreksizlikler ve ayrışma tarafından kontrol edildiği belirtilmiştir[3] Bununla birlikte meydana gelen kaya kütle duraysızlıklarının, Kapadokya'nın (Nevşehir) sahip olduğu doğal ve kültürel miras üzerinde olumsuz ciddi etkileri olduğu birçok çalışmada vurgulanmıştır[4-7].



Şekil 1.2 Yer bulduru haritası

Göre ve yakın çevresinde doğal yamaçlarda meydana gelen kaya düşmelerinin incelenmesi ve kaya şevi oluşturan kayaların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Bu kapsamda ilgili süreksizlik özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi için; yüzlek taraması ve hat etütleri yapılarak süreksizliklerin türü, durumu, aralığı, açıklığı, yönelimi, devamlılığı, eklem sıklığı, takım sayısı, dolgu malzemesi, pürüzlülük ve dalgalılığı, su sızıntıları ve blok boyutlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek üzere ilgili laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu tezin en önemli amaçlarından biri Kapadokya (Nevşehir) bölgesinde doğal miras ve çevreyi

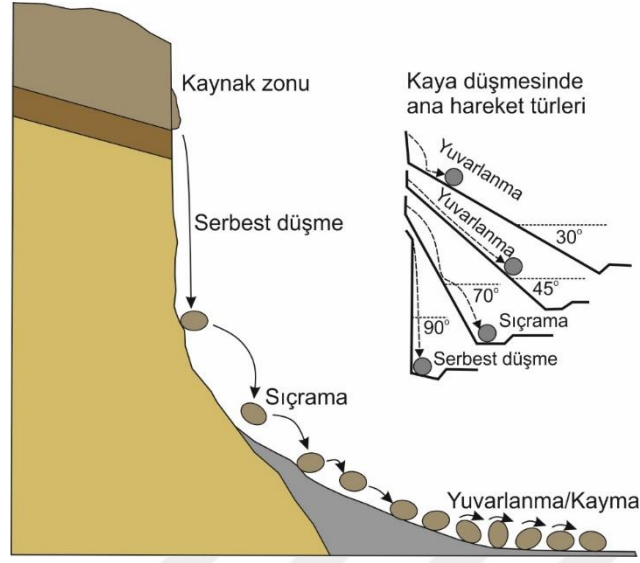
tehdit eden kaya kütle duraysızlıklarının oluş mekanizmalarını ve süreci etkileyen faktörleri tipik bir lokasyon niteliğinde olan Göre kasabası için jeoteknik bir yaklaşımla belirlemektir. Bu amaçla bölgede kaya düşürme senaryoları oluşturularak blokların gidebilecekleri en uzak mesafeler, ötelenme hızı ve toplam kinetik enerji miktarı hesaplanarak. oluşabilecek potansiyel riskler önceden belirlenerek olası tehlikelere karşı önerilerde bulunulacaktır.

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 Yoğun yağışların, donma-çözülme çevrimlerinin ve sismik aktivitenin fazla olduğu bölgelerde kaya düşmeleri daha sık gözlenmektedir. Kaya düşmeleri, kaynak alan ve tetikleyici unsurlar açısından ele alındığında kestirilmesi güç bir duraysızlık türüdür. Kaya şevlerinde yıllarca duraylılığını koruyan bloklar, aniden kütlede 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.

1.2 Kaya Düşmelerinde Hareket Türleri

Kaya düşmeleri sırasında topoğrafyanın eğimine de bağlı olarak serbest düşme, sıçrama (zıplama) ve yuvarlanma şeklinde hareket türleri gözlenebilmektedir (Şekil 1.3). Düşen kaya bloklarının enerjisini kaybetmesiyle bloğun yuvarlanma hareketi ile beraber blok kaymaları da olabilir. 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 kütlelerinin 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 olsada hızı yüksektir. Öte yandan, birçok bloktan oluşan ve daha büyük boyutlu çoklu kaya düşmelerinde kütle büyük, düşme hızı ise göreceli olarak daha düşüktür.



Şekil 1.3 Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket türleri [8]

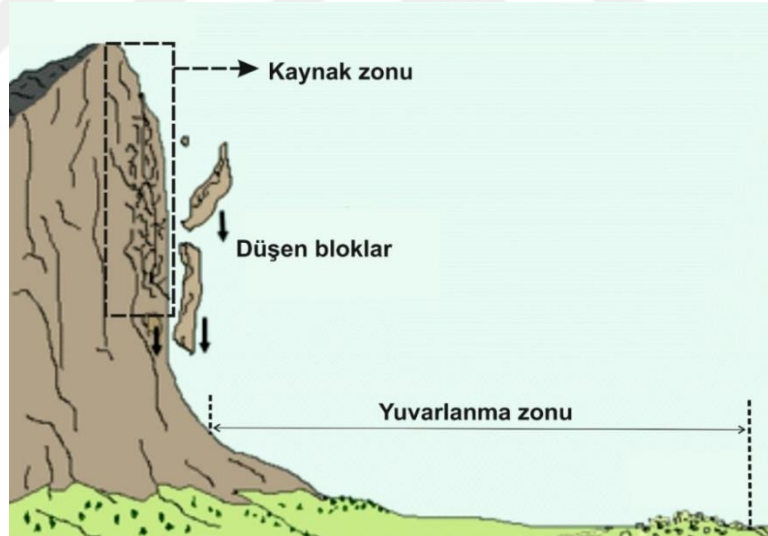
Yamaç veya şevlerin üst kotlarından düşen kaya blokları, serbest düşme sırasında yüzey ile temas halinde olmazlar. Topoğrafik eğimdeki azalmaya bağlı olarak yüzeye çarpan bloklar sıçrama hareketi sergilerler. Topoğrafyadaki engebelere bağlı olarak sıçrayarak veya yuvarlanarak hareketlerine devam edebilirler. 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

1.3 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 1.4).



Şekil 1.4 Kaya düşmelerinde kaynak ve yuvarlanma zonları [9]

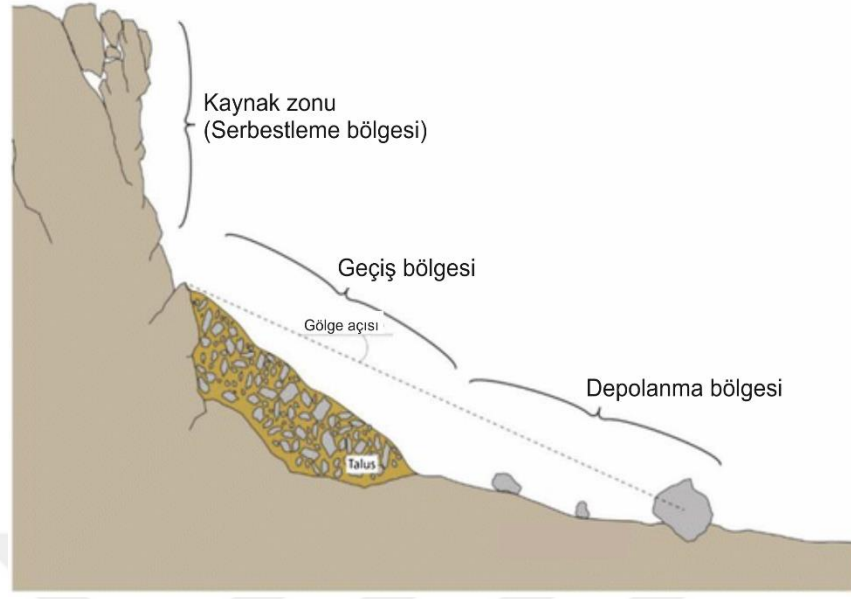
Kaya düşmesinde yuvarlanma zonu olarak tanımlanan ve düşen kaya bloklarının topoğrafya ile daha çok temasta olduğu bölge, topoğrafyanın eğim değerlerine ve depolanma durumuna göre “geçiş bölgesi” ve “depolanma bölgesi (durma bölgesi)” olarak iki ayrı zona ayrılabilir [9]. Geçiş bölgesinde daha küçük 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 1.5). 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 1.5'te tipik bir şev kesiti üzerindeki dört farklı zonda kaya düşme davranışı ve depolanma özellikleri sunulmaktadır.

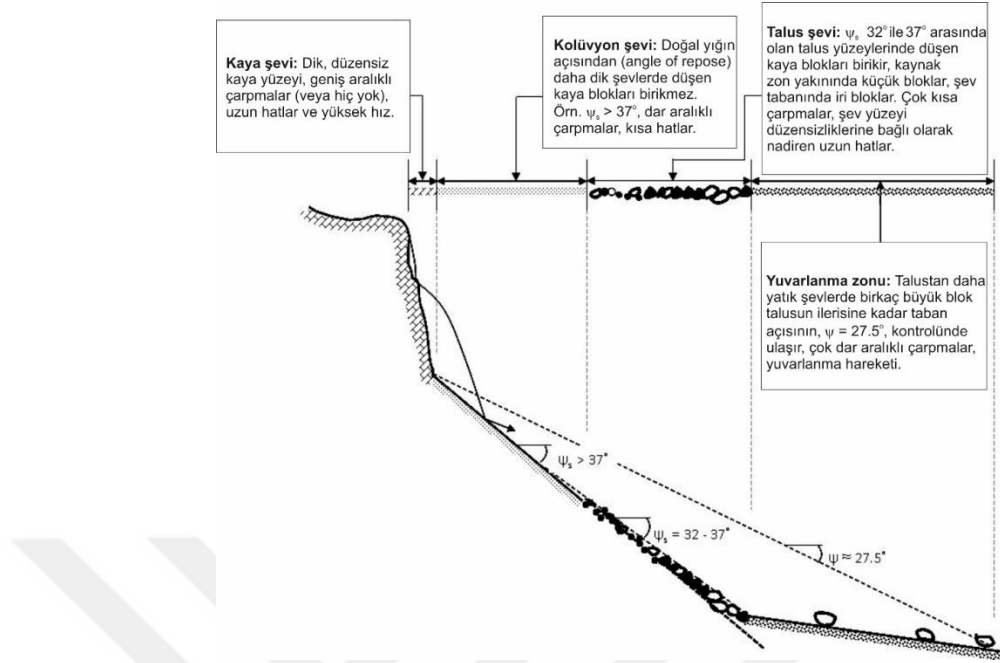
Kaynak zonunu oluşturan dik ve düzensiz kaya şevlerinde düşen kaya bloklarının şev yüzeyine çarpma aralıkları oldukça geniştir. Hatta bazı zamanlarda serbest düşme hareketine bağlı olarak düşen kayanın kaya yüzeyi ile hiçbir teması olmayabilir. Bu bölümde düşen kayanın ilerleme (translational) ve dönme (rotational) hızları oldukça yüksektir. Bu bölümlerde çok yüksek açılı ve dike yakın düşme hatları izlenir [9](Şekil 1.5).

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 1.6). 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 kazanak genişler.



Şekil 1.5 Kaya düşmelerinde farklı depolanma bölgeleri [9]

Daha az sayıdaki 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 1.6). 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 [9]. 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 [10].



Şekil 1.6 Kaya düşmelerinde şev açısına bağlı kaya düşme davranışı ve depolanma özellikleri [11]

1.4 Kaya Düşmelerine Neden Olan Faktörler

Kaya düşmeleri, farklı iç ve dış kuvvetlerin etkili olduğu sahalarda meydana gelmektedir. 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. Rüzgar
 - 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

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 boyutta 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 ayrılarak kaya düşme tehlikesi oluşturmayacak çok daha küçük boyutta parçalara ayrılmaktadır [10]. Özellikle yatay tabakalı ve ardalanmalı sedimanter kayaçlarda, alt seviyede bulunan zayıf kaya kütlelerinin (örn. kiltası, şeyl vb.) dayanımı daha yüksek olan kaya kütlelerine (örn. kumtaşı, kireçtaşı vb.) oranla daha hızlı ayrışması sonucunda, zayıf kaya kütlelerinde oyulmalar ve dolayısıyla üstteki sağlam tabakada ise çıkıntılar oluşur. Söz konusu çıkıntılarının gerisinde yerçekiminin de etkisiyle öncelikle düşey gerilme çatlakları meydana gelmekte ve kaya bloğu zaman içerisinde bu çatlak boyunca ayrılarak kaya düşmesine neden olmaktadır (Şekil 1.7)

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

kütlesindeki süreksizlikler içinde oldukça derinlere kadar ilerleyebilir. Ağacın gelişimiyle birlikte kök boyutları da büyümekte ve süreksizliklerin önemli oranda genişlemesine neden olmaktadır [10] Kaya düşmelerini tetikleyen bir diğer dış faktör ise depremlerdir. Özellikle dağlık arazilerde depremler sonrasında çok yoğun olarak kaya düşme olaylarına rastlanmaktadır. Kaya düşmeleri doğal iç ve dış etkenlerin yanı sıra, yamaçlar ve şevler üzerindeki insan ve hayvan faaliyetleri sonucunda da meydana gelebilmektedir [10].



Şekil 1.7 Çevresel etkilere karşı farklı direnç gösteren ardalanmalı kaya kütlelerinde oluşan potansiyel duraysız bloklar (Göre)

2. BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kapadokya (Nevşehir) sahip olduğu jeolojik, kültürel ve tarihsel özelliklerinden dolayı birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur (volkanoloji, jeokimya, mineraloji, palinoloji, medikal jeoloji, tektonik vb) [12-21].

Tez konusuyla doğrudan ve dolaylı olarak ilgili olan mühendislik jeolojisi çalışmaları ise ilk kez 1970’li yıllarda yapılmış olup, günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından bölgedeki jeolojik, morfolojik, tarihsel ve kültürel yapılar üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar beş farklı grupta değerlendirilebilir.

- 1) Yapı malzemesi
- 2) Bozunma-duraylılık
- 3) Peri Bacaları
- 4) Yeraltı yapıları (açıklıkları)
- 5) Kaya kütle duraysızlıkları

Yukarıda bahsedilen birçok çalışmada kaya düşmelerinin bölge için önemli sorun olduğu ve irdelenmesi gereken bir bölgesel sorun olduğu vurgulanmıştır. Bu anlamda bölgede yapılan ilk çalışma “Ortahisar’ın çevresel ve jeolojik sorunları” başlıklı çalışmadır. Bu çalışmada, Ortahisar kasabasındaki başlıca jeolojik sorunları bölgenin simgesi olan kaleden kaya düşmeleri ve konut amacı ile açılmış bazı mağaralardaki göçme riski olarak tanımlamıştır[2]. Bu tezin konusunu oluşturan kaya düşmelerinin ilk kez değinildiği bu çalışmada ıslah yöntemi olarak kaya düşmelerinin ıslahının mümkün olmadığı bundan dolayı bölgenin afet bölgesi olarak değerlendirilip boşaltılması gerektiği savunulmuştur. Aynı çalışmada kopma olan mağaralar için yağmur sularının drene edilmesi, mevcut çatlaklardaki sızıntının önlenmesi ve desteklerin konulması ıslah yöntemleri olarak önerilmiştir. Bu yapıların tarihsel ve güncel kullanımı üzerine ilk çalışmayı yapmışlardır[22]. Bölgede doğal ve tarihi yapıların korunması kapsamında, tüflerde meydana gelen yüzey bozunmaları ele alınmıştır[23]. Göreme vadisinde bulunan oyulmuş kaya kiliselerindeki zamanla artan bozunmayı değerlendirmiştir [24].

Peri bacalarının gelişiminde süreksizliklerin etkisini inceledikleri çalışmada, peri bacalarının arazi yöneliminde, şeklinde ve büyüklüğünde süreksizliklerin eğimi, doğrultusu, sürekliliği, açıklığı ve aralığının önemli etkisi olduğunu belirtmişlerdir [25]. Kapadokya bölgesindeki tüfler içinde şekillendirilmiş, geçmişte konut olarak kullanılan ve geçmişe ait değerli duvar resimleri içeren yapıların atmosferik etkilerden kaynaklanan fiziksel ve kimyasal bir bozunmanın etkisinde olduğunu belirtmişlerdir [26]. Söz konusu bu yapıların korunabilmesi için tüflerin mühendislik jeolojisi özelliklerinin bilinmesi gerektiğini vurgulamış, bundan dolayı 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 etkilemediği, aynı zamanda, doğal ve tarihi yapıların yapısal stabilitesini de etkilediği ifade edilmektedir. 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 izlemişlerdir [27]. Yapılan bu çalışma Nevşehir yöresinde gözlenen tüflerin malzeme özellikleri üzerine yapılmış ilk çalışmalardan biri niteliğindedir [28-30].

Nevşehir pomzasının yapı malzemesi olarak hafif betonda kullanılabilen uygun bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir[30]. Buna ek olarak, fiziko-kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan peri bacalarının kimyasal ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Buna göre peri bacalarını oluşturan tüflerin kimyasal özelliklerinin peri bacalarının boyutunu, gelişimini ve duraylılığını etkileyen birincil faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir [31]. Bu yapıların inşa edildiği tüflerin yatay ve düşey yönde herhangi bir değişim göstermediğini belirtmiştir [32-34]. Çalışma alanında yer alan kaya oyma yapılarında stabilite sorunlarını kontrol eden temel parametreler ayrışma ve süreksizliklerdir. Yer altı açıklıklarında blok duraysızlıkları, aşırı sökülme, erozyon, sütun kesmeleri ve kaya düşmeleri en önemli stabilite sorunları olarak tanımlanmıştır [34].

İgnimbiritlerin jeomekanik özelliklerinin yapı taşı kullanımına etkisini bölgede bulunan ignimbiritler üzerinden değerlendirmiştir [29]. Yapılan değerlendirmeler sonunda incelenen piroklastiklerin iyi kaynaşmamış ignimbirit özelliğinde olduğu, bunların jeolojik, kimyasal ve petrografik özellikleri ile jeomekanik özellikleri arasında önemli ilişkilerin olduğu ortaya konulmuştur. Özellikle opak mineral, ince taneli kayaç parçası

içeriği ile matris oranı tane oranından yüksek olan örneklerin porozitesinin daha düşük, yoğunluklarının ve basınç dayanımlarının da nispeten daha yüksek değerler gösterdikleri belirlenmiştir. Afyon kalesi ve çevresindeki kaya düşmesi yönünden değerlendirmiş olup, Kale etrafındaki dokuz bölgede yapılan araştırmalar ve iki boyutlu kaya düşmesi analizleri temelinde, Kale'nin güney ve doğu kısımlarının kaya düşmesi tehlikesi altında olduğu tespit edilmiştir. Gevşek blokların temizlenmesi, gerektiğinde cıvatalama ve Afyon Kalesi'nin farklı bölümleri için koruyucu çitler önerilmektedir [35].

Ayrıca bölgede ciddi bir pomza endüstrisi vardır. Bu anlamda yapılan çalışmalardan biri olan daha sonra çalışma alanında yer alan tüflerin bozunmasına yönelik olarak en güncel çalışmalardan biri yapılmıştır. Çalışmada erozyon sonucu ortaya çıkan peribacalarının, yine erozyon tarafından yok edildiğini belirtmiştir. Ayrıca bölgede bulunan tüflerin mekanik, fiziksel ve mineralojik özelliklerinin birçok çalışmada ele alındığını, ancak ayrışma hızının değerlendirilmediğini belirtmiştir. Bölgenin korunması açısından ayrışma derecesinin bilinmesinin zorunluluğu ve bunun acilen saptanması gerektiği savunulmuştur. Yapılan çalışmada Kapadokya tüfleri için ayrışma hızının 0.03 – 2,5 mm/yıl arasında değiştiğini hesaplamıştır [36].

Buna göre, kalın ve masif tabakalı istifler içerisinde açılan yer altı açıklıkları herhangi bir sorun ile karşılaşmazken, ince ve orta tabakalı istifler içerisindeki yer altı açıklıkları duraysızlık problemleri ile karşılaşmıştır. Ortahisar Kalesi tekrar değerlendirilmiştir [6]. Yapılan çalışmada bölgede zaman zaman kaya düşmelerinin meydana geldiği ve bu doğal tehlikenin süreksizlikler, dik topoğrafya ve insan aktiviteleri tarafından tetiklendiğini savunmuşlardır. Ortahisar kalesi eklemli ignimbiritlerin bulunduğu dik bir tepede yapılmış olup, 50 metre yüksekliğinde 500 metrekare bir yayılımı bulunmaktadır. Burada potansiyel düşebilecek bloklar için iki boyutlu kaya düşme analizleri yapılmış, buna göre belirlenen en uzak mesafe, sıçrama yüksekliği, kinetik enerji ve hızları belirlenmiştir. Bu verilerle kaya düşmesi tehditi altında bulunan alan haritalanmıştır. Yapılan haritaya göre maksimum uzaklık belirlenen afet bölgesinden çok daha geniş bir alanı kapsamaktadır [3] Bunun muhtemel nedeni iki çalışma arasında geçen 33 yıl gibi bir sürede kaya düşme riskinin erozyon ve diğer faktörlerin etkisiyle ciddi boyutlara ulaşması olabilir. Tüflerdeki yapılar için uzun süreli stabilite analizlerinde maksimum mukavemetin %15.30 kritik seviye olarak kabul edilmesi

gerektiğini savunmuştur [5]. Kula'da (Manisa, Türkiye) Jeopark Bölgesi'ndeki kaya düşmesi potansiyelini değerlendirilmiştir [37]. Kastamonu'nun tarihi kalesi için kaya düşmesi tehlikesi analizi ve atak düzlemi formundaki süreksizlik ve kumtaşı içindeki iki bağlantı seti blokların düşmesine neden olur. Alan araştırması ve Kale çevresinde 17 kesit boyunca yapılan iki boyutlu analiz, kuzeybatıdaki küçük bir bölüm hariç kalenin etrafındaki her yöne kaya düşmesi tehlikesi bulunduğunu gözlemlemiştir [38].

Kaya düşmelerin yüzey süreçlerinin etkisi ele alınmış olup, erozyona karşı farklı duraylılığa sahip ignimbirit ve tüflerden oluşan jeolojik yapının kaya düşmelerine neden olduğunu belirtmişlerdir [7]. Ayrıca bu çalışmada yapılan risk haritasının benzeri 4 farklı lokasyon (Çavuşini, Killiktepe, Ayvazkaya ve Aktepe) için yapılmıştır[6]. Yaprakhisar bölgesinde iki boyutlu kaya düşme analizi ve kaya düşmesi riski açısından değerlendirmiş olup kaya düşmelerinin Yaprakhisar köyü için oldukça yüksek bir maddi kayıpla sonuçlanması, daha da önemlisi düen blokların can kayıplarına da yol açma olasılığı, oldukça yüksek bir ihtimal olduğuna kanaat getirmişlerdir [6].

Güney Türkiye, dağlık yerleşimi kısmında iyileştirici tasarım ve ölçülerle kaya düşmesi modellemesi üzerine çalışmış ve kaya düşmesi önlemleri hakkında önerilerde bulunmuştur [39].

Tatların bölgesinde yer alan turistik yeraltı şehirlerini tehlikeye sokabilecek kaya düşmesi olaylarını incelemiş, Tatların'deki kaya düşmesi tehlikesi, arkeolojik alanın turistik gelişimi için önemli bir sınırlama olabilir ve özellikle siteye ana erişimi korumak için yerel yetkililer tarafından uygulanacak bir azaltma stratejisine ihtiyaç duyulduğunu dile getirmişlerdir [40].

3. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

Çalışma alanı, ülkemizin en önemli turizm bölgelerinden biri olduğu gibi aynı zamanda 1985 yılında UNESCO tarafından dünyada korunması gerekli Kültür Mirası listesine Türkiye’den kabul edilen 3 önemli merkezden biri olan Kapadokya bölgesinde Nevşehir’in 4,5 km güneyinde, yer alan Göre Kasabası’dır. Kapadokya’nın birçok noktasında olduğu gibi, bölgenin önemli doğal ve kültürel miraslarından biri olan Göre ve Nevşehir civarında etkili olan kaya kütle duraysızlıkları çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Arazi çalışmalarında bölgenin 1/1000 ölçekli topoğrafik haritaları ve 1/1000 ölçekli hali hazır haritaları kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarında, jeolog pusulası, şeritmetre, GPS, Schmidt Çekici, dijital fotoğraf makinası ve numune torbaları kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, jeoloji mühendisliği bölümü zemin ve kaya mekaniği laboratuvarında bulunan cihazlar ve büro çalışmalarında bilgisayar ve ilgili paket bilgisayar programları kullanılmıştır.

3.2 Metod

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

3.2.1 Literatür Taraması

Bu aşamada inceleme alanı ve çevresi ile ilgili bütün jeoloji verilerinin sağlanmasına ilişkin literatür derlemesi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanında ve bölgede yapılmış olan tezler, makaleler ve raporlar incelenmiştir. Bu çalışmalarla ilgili detay önceki çalışmalar bölümünde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.2.2 Arazi Çalışmaları

Litolojik birimlerin haritalanması, blok örnek alımı ve süreksizliklerin tanımlanması arazi çalışmalarının en önemli iş kalemlerini oluşturmaktadır. Öncelikle, farklı mühendislik özellikleri sunan kaya birimleri sınırları haritalanmış ve olası düşme potansiyeli taşıyan blokların lokasyonları GPS yardımıyla belirlenmiştir. Bilindiği üzere kaya kütleleri, sürekli, homojen ve izotrop malzemelerden olmayıp, çeşitli süreksizlikler tarafından kesilirler [41]. Bundan dolayı süreksizlikler kaya kütlelerinin duraylılığını etkileyen en önemli parametredir. Bundan dolayı, haritalama çalışmaları tamamlandıktan sonra süreksizliklere ve kaya kütlelerine ait özellikleri belirlemek için “hat etüdü” yöntemi kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Arazide hat etüdü çalışmalarından bir görünüm

Çalışmanın konusunu oluşturan kaya kütle duraysızlıkları, tüfler ve bazaltlar üzerinde gözlenmektedir. Bundan dolayı söz konusu kaya litolojilerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek üzere blok numune alımları gerçekleştirilmiştir. Bazalt ve tüflerden farklı lokasyonlarda yaklaşık (25x25x30cm) boyutlarında numune alımları gerçekleştirilmiştir.

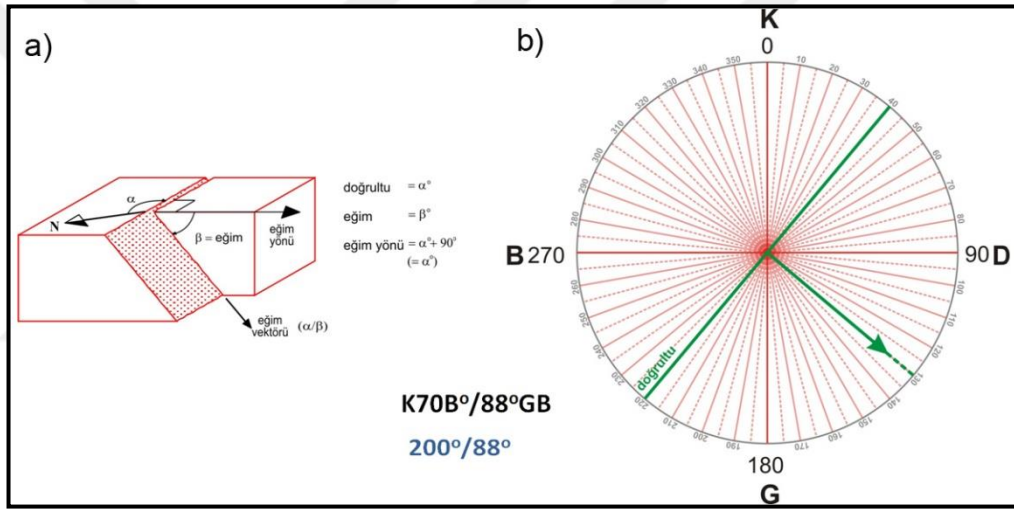
3.2.3 Süreksizlik Özelliklerinin Tanımlanması

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.

3.2.3.1. Yönelim

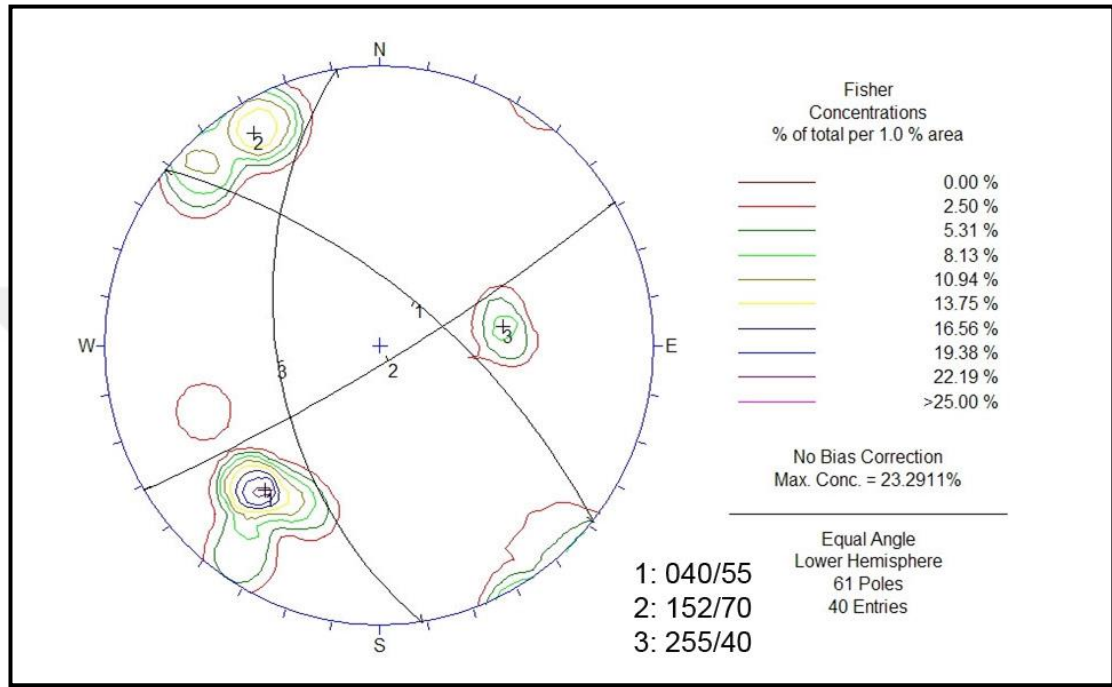
Süreksizliklerin uzaydaki konumu, eğim ve doğrultuyla ifade edilir. Genel jeoloji çalışmalarında ifade edilen bu iki parametre jeolog pusulası yardımıyla belirlenir. Buna karşın hızlı ölçüm alınması ve veri değerlendirmeyi kolaylaştırmak için süreksizlik çalışmalarında eğim yönü/eğim olarak ifade edilir (Şekil 3.2) [58].



Şekil 3.2 (a) Doğrultu, eğim ve eğim yönü kavramları, (b) doğrultu ve eğim yönü arasındaki ilişkiyi gösteren bir örnek

Uzaydaki konumları hemen hemen aynı olan yani mostrada birbirine paralellik sunan süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa “süreksizlik takımı” denir. Baskın süreksizlik takımının yöneliminin şevkin konumu ile olan ilişkisi duraysızlık modelinin ortaya konulmasında oldukça önemlidir. Bundan dolayı, çok sayıdaki süresksizlik yönelimin istatistiksel yöntemlerle değerlendirmek ve süreksizlik sayısını ortaya koymak kaya duraysızlık çalışmalarının en önemli işlemlerinden biridir. Bu çalışmada, araziden ölçülen süreksizlik eğim yönü/eğim değerleri stereografik izdüşüm teknikleriyle değerlendirilmiştir. Bu amaç için Dips 7.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Buna ait bir örnek Şekil 3.3’de verilmiştir. Şekilde süreksizliklerin üç alanda kümelendiği görülmektedir. Kutup noktalarının bu yoğunlaşmasına göre kaya kütlesi üç süreksizlik

takımı içermektedir. Kontur diyagramlarında, kutup noktalarının en fazla yoğunlaştığı konturların merkezi göz önünde bulundurularak süreksizlik takımlarına ait egemen yönelimler belirlenir. Ancak tali bir takım yönelimler de mutlaka çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır[58].



Şekil 3.3 Üç egemen süreksizlik takımının gözlendiği bir kaya kütesine ait kontur diyagramı örneği

3.2.3.2. Aralık

Bir süreksizlik setindeki komşu iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir. Bu çalışmada süreksizlik aralığı bazalt ve ignimbirit mostra yüzeylerinde bir doğrultuda serilen şerit metre boyunca kesilen süreksizlerin aralıklarının ölçülmesiyle elde edilmiştir. Bu çalışmada süreksizlik aralığı parametresinin tanımlaması amacıyla ISRM (1981) tarafından önerilen ve Tablo 3.1’de verilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır.

Tablo 3.1 Süreksizlik aralığını tanımlama ölçütleri [61]

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
Çok fazla geniş aralıklı	>600 cm

3.2.3.3. Devamlılık

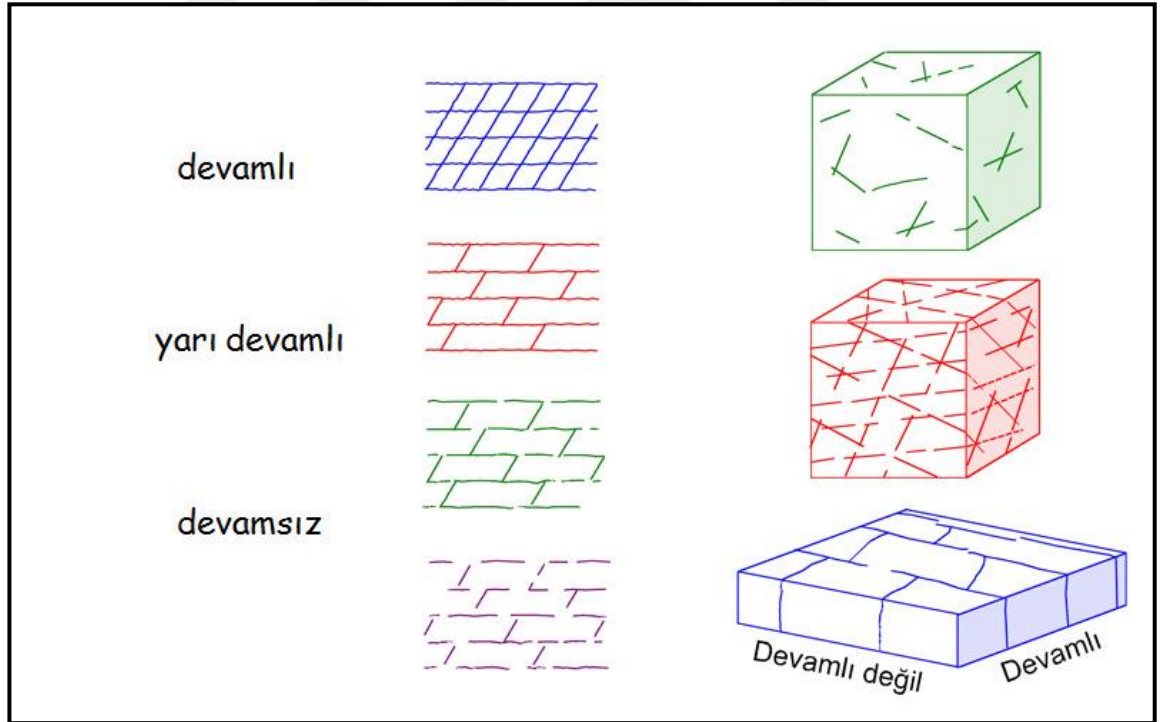
Süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi olan devamlılık yönlerine göre farklılık gösterceğinden birbirine dik yönlerde ölçüm alınması gerekir. Bu çalışmada devamlılığın tanımlanması amacıyla önerilen ve Tablo 3.2’de verilen ölçütler kullanılmıştır [61]. Devamlılık en önemli süreksizlik parametrelerinden biri olmasına rağmen kantitatif olarak değerlendirilmesi oldukça zordur. Bundan dolayı, Şekil 3.4’ de verilen basit çizim ve blok diyagramlar kullanılabilir.

Tablo 3.2 Süreksizliklerin devamlılığının sınıflandırılması ve tanımlanma ölçütleri [61]

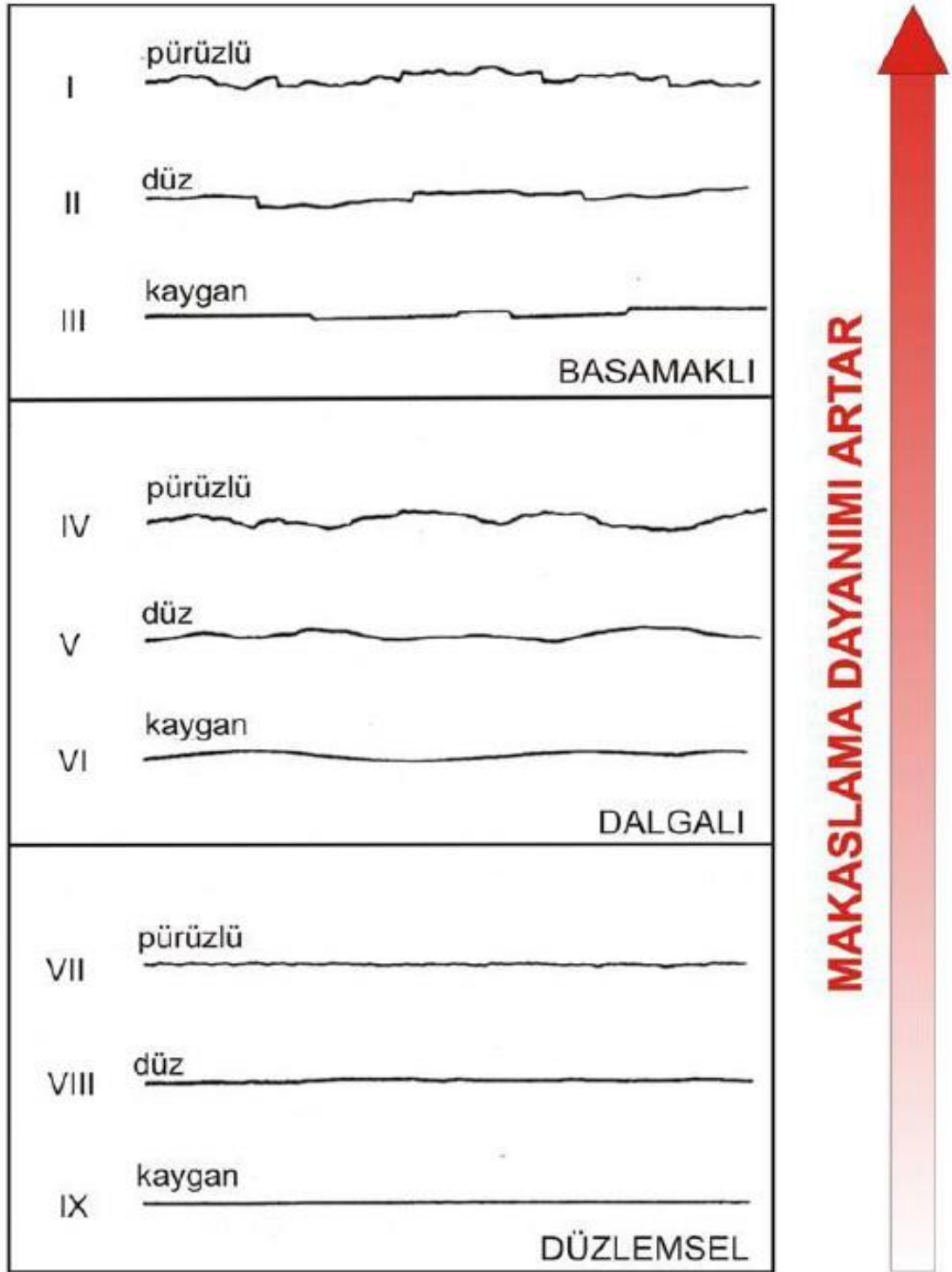
Tanımlama	Süreksizlik izinin ölçülen uzunluğu
Çok düşük devamlılık	< 1m
Düşük devamlılık	1.3 m
Orta devamlılık	3.10 m
Yüksek devamlılık	10.20 m
Çok yüksek devamlılık	>20 m

3.2.3.4. 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 [56]. Bu amaç için hem kantitatif hemde kalitatif bazı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada kalitatif pürüzlük tanımlamaları kullanılmıştır. Bunun için önerilen ve Şekil 3.5’de verilen tipik pürüzlülük profillerine göre pürüzlülük tanımlanır ve sınıflandırılır [61]. 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 3.5’de görüldüğü üzere pürüzlülük ile makaslama dayanımı ters orantı içerir.



Şekil 3.4 Farklı süreksizlik takımlarında rölatif devamlılığı gösteren basit çizimler ve blok diyagramlar [61]



Şekil 3.5 Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri

3.2.3.5. Açıklık

Bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi, su veya herhangi bir malzeme ile doldurulmuş da olabilir. En basit ve pratik bir şekilde ölçüm milimetre bölmeli mikrometre ile yapılabilir. Süreksizliklerin açıklıklarının tanımlanması amacıyla önerilmiş ölçütler Tablo 3.3’de verilmiştir [61].

Tablo 3.3 Süreksizlik açıklığının tanımlanması amacıyla önerilen ölçütler [61]

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	

3.2.3.6. Dolgu

Süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kayaç malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Dolgunun varlığı makaslama dayanımını etkileyeceğinden varlığının tespit edilmesi duraylılık çalışmalarında oldukça önemlidir. Eğer varsa dolgu malzemesinin mühendislik özelliklerinde ayrıca belirlenmesi gerekir.

3.2.3.7. 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 uygulanır. Belirlenen ortalama schmidt değerinden süreksizlik yüzeyinin tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenir. Bu amaç için, aşağıdaki ilişki önerilmiştir. [42,43].

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

Burada, JCS süreksizlik yüzeyinin dayanımı (MPa), γ birim hacim ağırlık (kN/m^3) ve R ise schmidt sertlik değeridir.

3.2.3.8. Su Durumu

Suyun varlığı durumunda kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin önemli oranda değişeceği düşünülürse, mutlaka süreksizliklerde su durumunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma alanında süreksizliklerde suyun varlığına rastlanmadığı için bu parametre detaylı olarak bu çalışmada irdelenmemiştir.

3.2.3.9. Blok Boyutu

Kaya kütlelerinin davranışının önemli bir göstergesi olup, süreksizlik aralığı, set sayısı ve yönelimi gibi faktörler oluşan blokların şeklini tayin eder. Blok boyutu, tipik blokların ortalama boyutuyla (blok boyutu indeksi, Ib) veya birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplam sayısı (hacimsel eklem sayısı, Jv) tanımlanır[41]. Bu çalışmada hacimsel eklem sayısı yaklaşımı blok boyutunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Tanımlanan hacimsel eklem sayısı (Jv) birim hacimdeki bir kaya kütlelerinde gözlenen süreksizliklerin toplamıdır. [44]

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

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

Tablo 3.4 Hacimsel eklem sayısına (J_v) göre blok boyutunun tanımlanması [61]

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

3.2.4 Laboratuvar Çalışmaları

Özellikle, araziden alınan ve çalışmanın konusunu oluşturan bazalt ve ignimbirit

seviyelerine ait bloklardan karotların alınmasıyla başlanmıştır. Bu kapsamda bloklar, bazalt ve ignimbirit olmak üzere iki farklı grup olarak değerlendirilmiş ve blok örneklerden yaklaşık NX boyutlu karot numuneleri standartlara uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde indeks, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemeye yönelik kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır.

3.2.4.1 Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlığın Belirlenmesi

Düzgün şekilli olarak blok örneklerinden hazırlanan karot numunelerinin öncelikle ayrı ayrı belirtildiği şekilde (kumpas yöntemi) yoğunluk ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Bu deneylerde kayaçların doğal yoğunlukları ve birim hacim ağırlıkları aritmetik ortalama ile tanımlanmıştır.

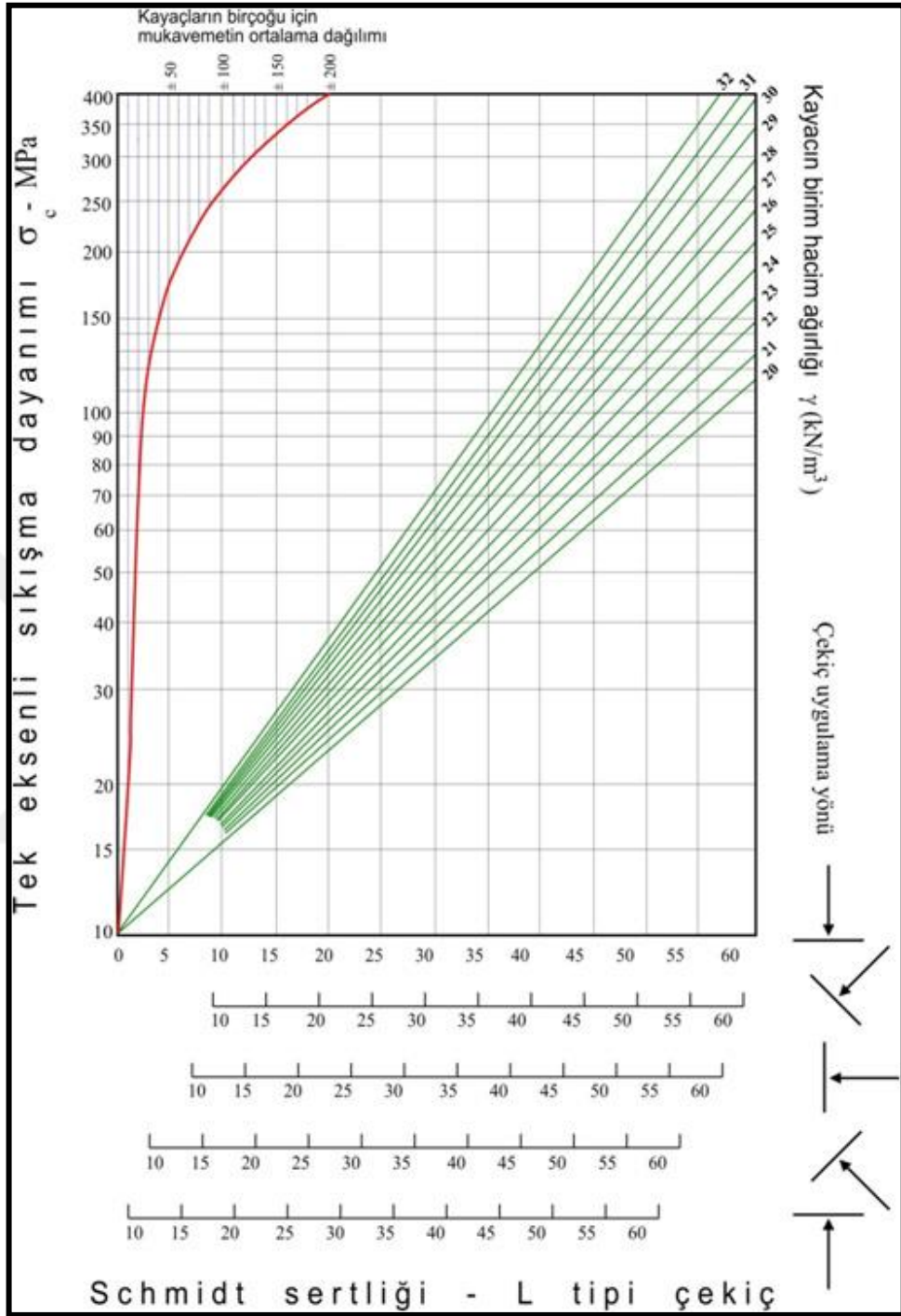
3.2.4.2 Schmidt Sertliğinin Belirlenmesi

Schmidt Çekici deneyi N tipi çekiç kullanılarak arazide bloklar uygun bir şekilde yapılmıştır. 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. Şekil 3.6'da verilen abak kullanılarak kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenebilir.

3.2.4.3 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:

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



Şekil 3.6 Schmidt Sertliği ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı arasındaki ilişki [55]

3.2.4.4 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Oranının Belirlenmesi

Yaklaşık aynı boyutlarda önceden hazırlanan karot numuneleri saf su içinde 18 saat bekletildikten sonra ıslak ağırlıkları belirlenmiştir. 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.

3.2.4.5 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (UCS)

Kapasitesi 2000 kN olan ekipmanın kullanıldığı deneylerde uzunluk/çap oranı 2.0–2.5 olan karot numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenmiştir. Yükleme hızı olarak 0.1 kN/sn seçilmiş olup, numuneler 5–10 dakika arasında yenilmiştir. Her bir blok numune için en az 5 örnek üzerinde deney tekrar edilmiştir.

3.2.5 Büro Çalışmaları

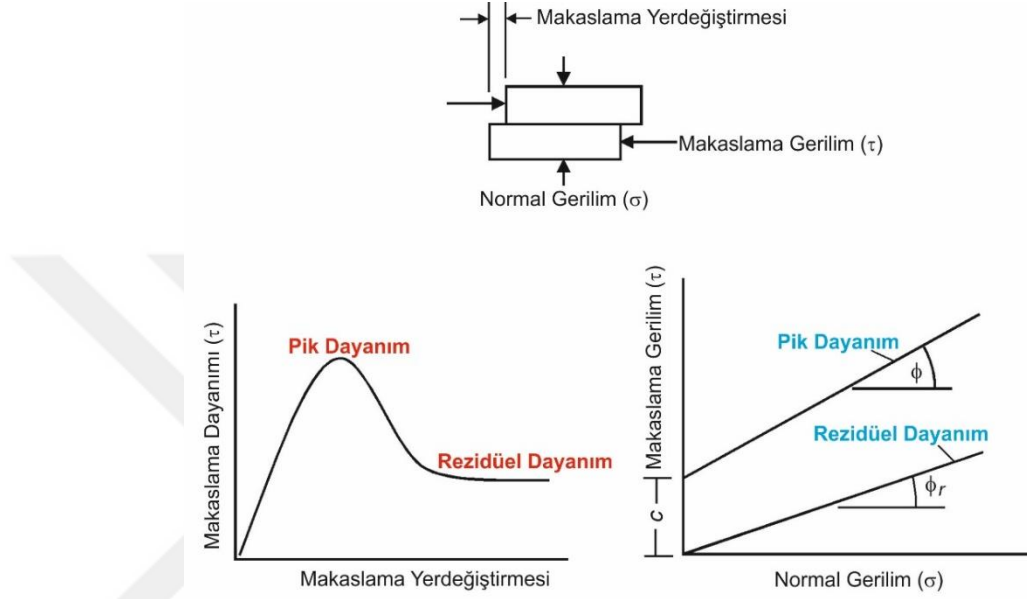
Büro çalışmaları ağırlıklı olarak arazi ve laboratuvar çalışmalarında elde edilen verilerin değerlendirilmesi, kinematik analizler, 2 boyutlu kaya düşme analizleri ve tez yazım çalışmalarından oluşmaktadır.

3.2.5.1 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.

A) Düz Yüzeylerin Makaslama Dayanımı

Düz yüzeylerde makaslama deformasyonuna direnç gösterecek yapılar (pürüzlülük) olmadığı için az bir deformasyonun sonucunda pik dayanıma ulaşılır[57]. Bağlayıcı malzeme yenilir ve makaslama dayanımı artık (rezidüel) değere düşer(Şekil 2.7).



Şekil 3.7 Pürüzsüz.düz yüzeylerde tipik makaslama dayanımı ve yenilme zarfları

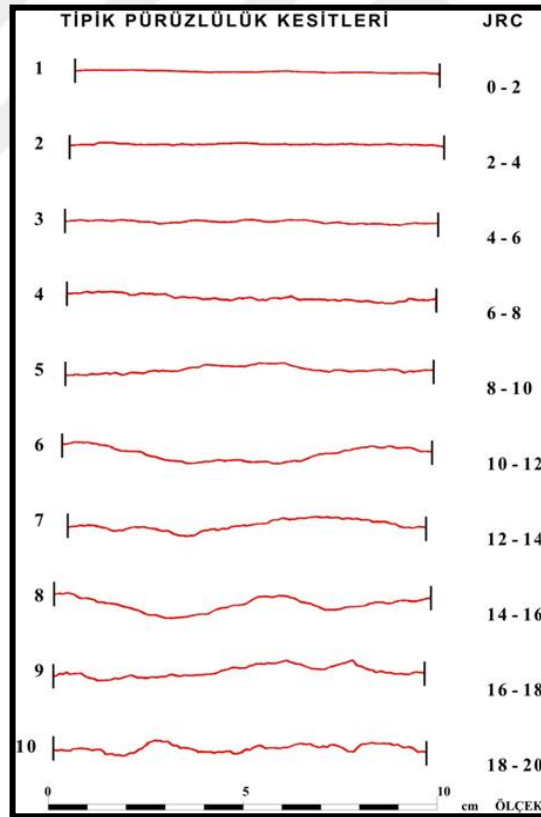
B) Pürüzlü Yüzeylerin Makaslama Dayanımı

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.[42,43]

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

Burada, JRC eklem pürüzlülük katsayısı ve JCS ise eklem yüzey dayanımıdır. JRC değerinin bulunabilmesi için ölçülen pürüzlülük kesitleri, Şekil 3.8'de verilen pürüzlülük kesitleri ile karşılaştırılır. Kayanın eklem yüzeylerine komşu konumdaki kısımları, kaya kütesinin 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[47]. Süreksizlik yüzey dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki (JCS/UCS) oranın $\frac{1}{4}$ şeklinde kullanılabileceğini belirtmiştir[45]. 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 yayınlanmış olup, Schmidt geri tepme sayısı ile yüzey dayanımı arasındaki ilişkiye ait abak ise oluşturulmuştur[62]. 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[55].



Şekil 3.8 Süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısının (JRC) belirlenmesinde kullanılan tipik pürüzlülük profilleri [43].

Ayrışmış kayaçlardaki eklem yüzeylerine ait 130 adet doğrudan makaslama kutusu deney sonuçlarını kullanarak ayrışmış süreksizlikler için makaslama dayanım formülünü aşağıdaki şekilde değiştirmişlerdir[42].

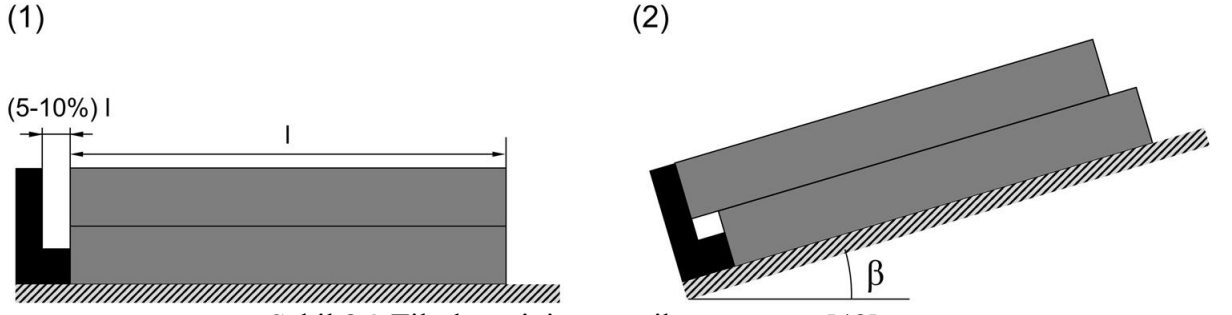
$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (3.4)$$

Burada ϕ_r artık sürtünme açısı olup, artık sürtünme açısının şu şekilde tahmin edilebileceğini belirtmiştir[42].

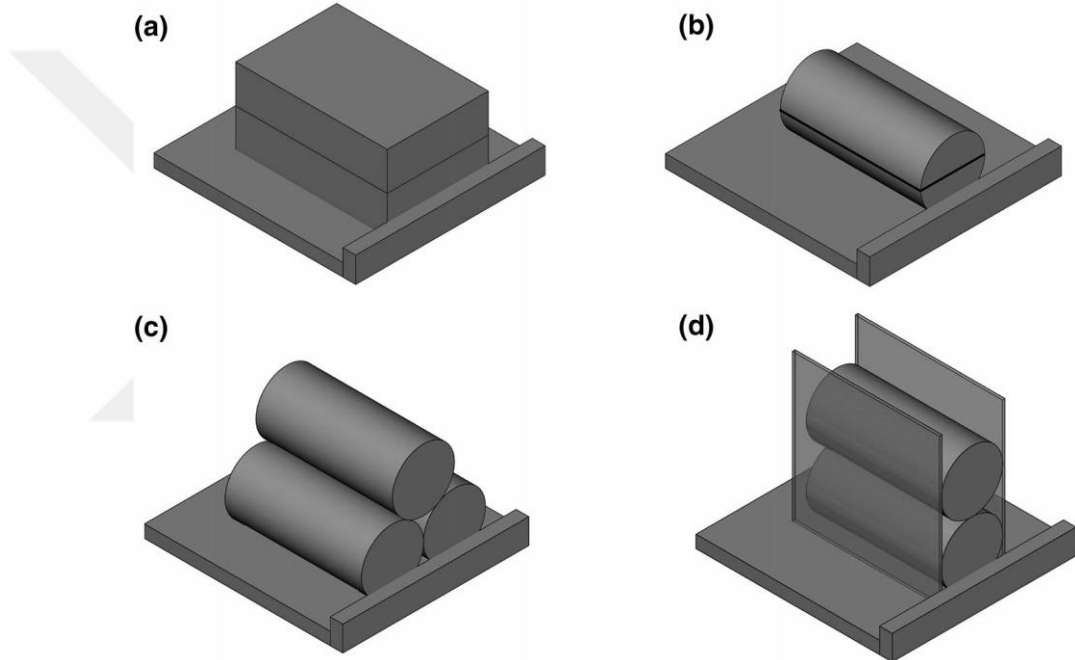
$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \left(\frac{r}{R} \right) \quad (3.5)$$

Burada, r ayrışma yüzeyinin veya ıslak yüzeyin Schmidt geri sıçrama değeri, R is ayrışmamış 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 $25^0.30^0$ arasında değerler alırken, magmatik ve metamorfik kayaçlar için bu değer $30^0.35^0$ aralığında bulunmuştur. Temel sürtünme açısı laboratuvarında tilt (eğimlendirme) deneyi (Şekil 3.9) ve doğrudan makaslama kutusu deneyi kullanılarak taze düz yüzeyler için hesaplanabilir [48]. Tilt deneyi yapım kolaylığı açısından daha çok tercih edilen bir yöntemdir. Tilt deneyleri farklı şekillerdeki örnekler üzerinde ve farklı örnek dizilimlerinde yapılabilmektedir(Şekil 3.9). Tilt deneylerinde eğimlendirilen yüzey üzerinde örneğin kaydığı andaki yüzey eğim açısı belirlenmekte ve bu açı yardımıyla temel sürtünme açısı eşitlikler yardımıyla saptanmaktadır.



Şekil 3.9 Tilt deneyinin şematik görünümü [48]



Şekil 3.10 Tilt deneylerinde kullanılan farklı örnek ve dizilim türleri [48]

Afete maruz alanlarda yapılacak olan çalışmalarda temel sürtünme açısı basit bir düzenek olan tilt deneyi yapılarak hesaplanabilir. Bu yöntemle ilgili en güncel yöntem önerilmiştir[48]. Şekil 3.10.a ve b'de gösterildiği gibi, farklı şekillerde (küp veya silindir) iki tane disk örnek kullanıldığı durumda temel sürtünme açısı aynı örnek üzerinde yapılan beş farklı tilt deneyinden elde edilen eğim açılarının ortalaması alınarak belirlenmektedir.

$$\phi_b = \text{ortalama} (\beta_{i=1\dots 5}) \quad (3.6)$$

Önerilen yöntemde 54 mm çap ve 108 mm boya sahip silindirik üç karot örneği

kullanılmaktadır.[49] Silindirik örneklerin bir tanesi diğer ikisinin üzerine Şekil 3.10.c’de gösterildiği gibi yerleştirilerek eğimlendirme açısı belirlenmekte ve beş eğimlendirme tekrarı sonucunda temel sürtünme açısı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\phi_b = \text{ortalama} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \tan \beta_{i \dots 5} \right) \right] \quad (3.7)$$



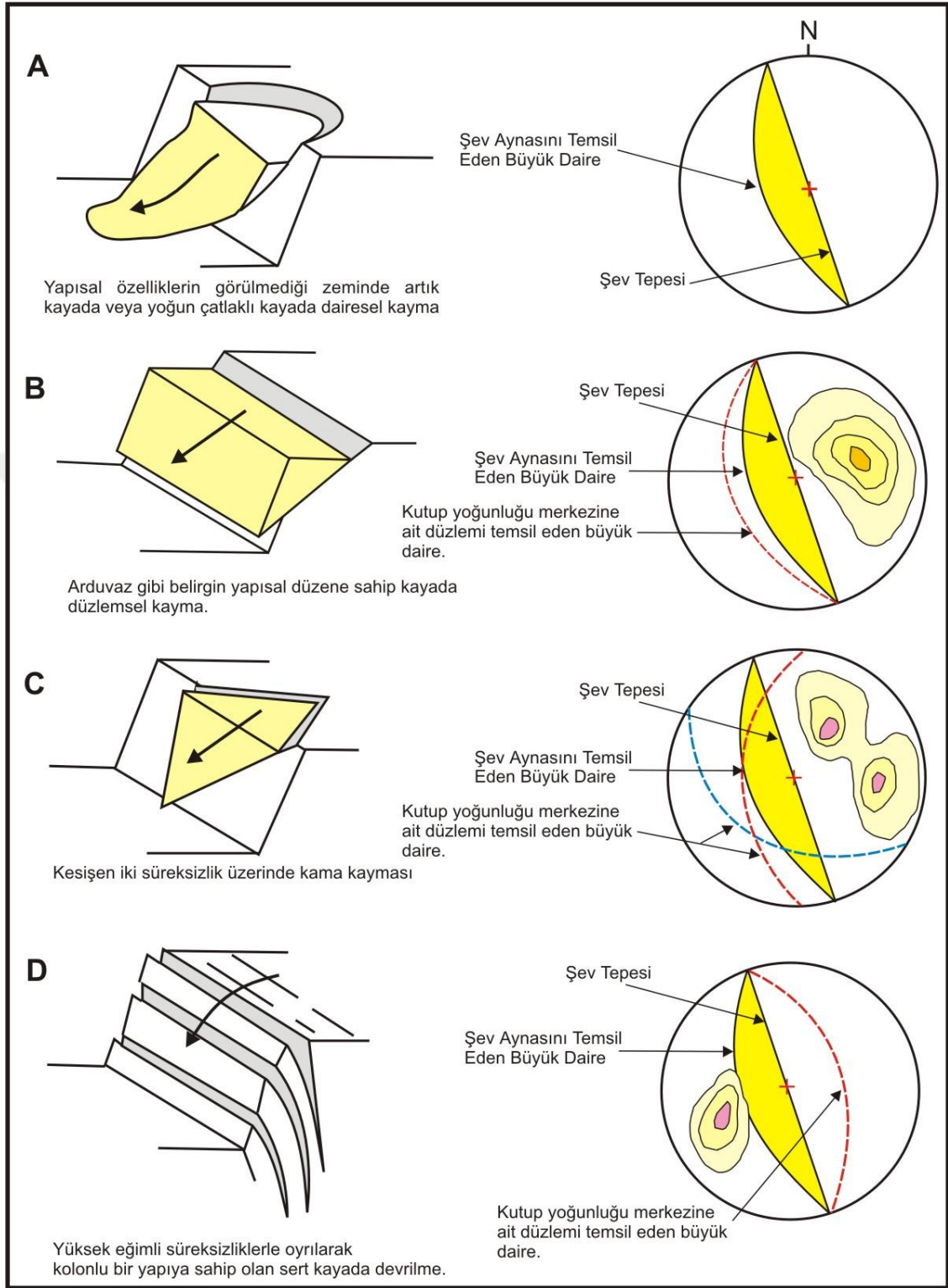
3.3 Kinematik Analizler

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 [56]. Bu yöntemde süreksizliklerin doğrultu ve eğimi, şevin doğrultu ve eğimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı girdi parametresi olarak kullanılır. Buna göre, kaya şevlerde sadece düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar incelenebilir. Çalışmanın konusunu süreksizliklere bağlı kaya kütle duraysızlıkları (Şekil 3.11) oluşturduğu için analiz çalışmalarının ilk aşamasında çalışma alanı farklı sektörlerle (kısmı) ayrılarak düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıklar açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 3.11 Çalışma alanında kaynak alanı oluşturan bazaltların genel görünümü

Ekvatoryal eş alan stereoneti kullanılarak şevin ve süreksizliklerin yöneliminden ortaya çıkan durum Şekil 3.12’de verilen koşullara göre değerlendirilerek, düzlemsel, kama ve devrilme tipi duraysızlıklar incelenmiştir.



Şekil 3.12 Başlıca şev duraysızlık türleri ve bunların stereonet çizimleri

A)Düzlemsel Kaymanın Analizi

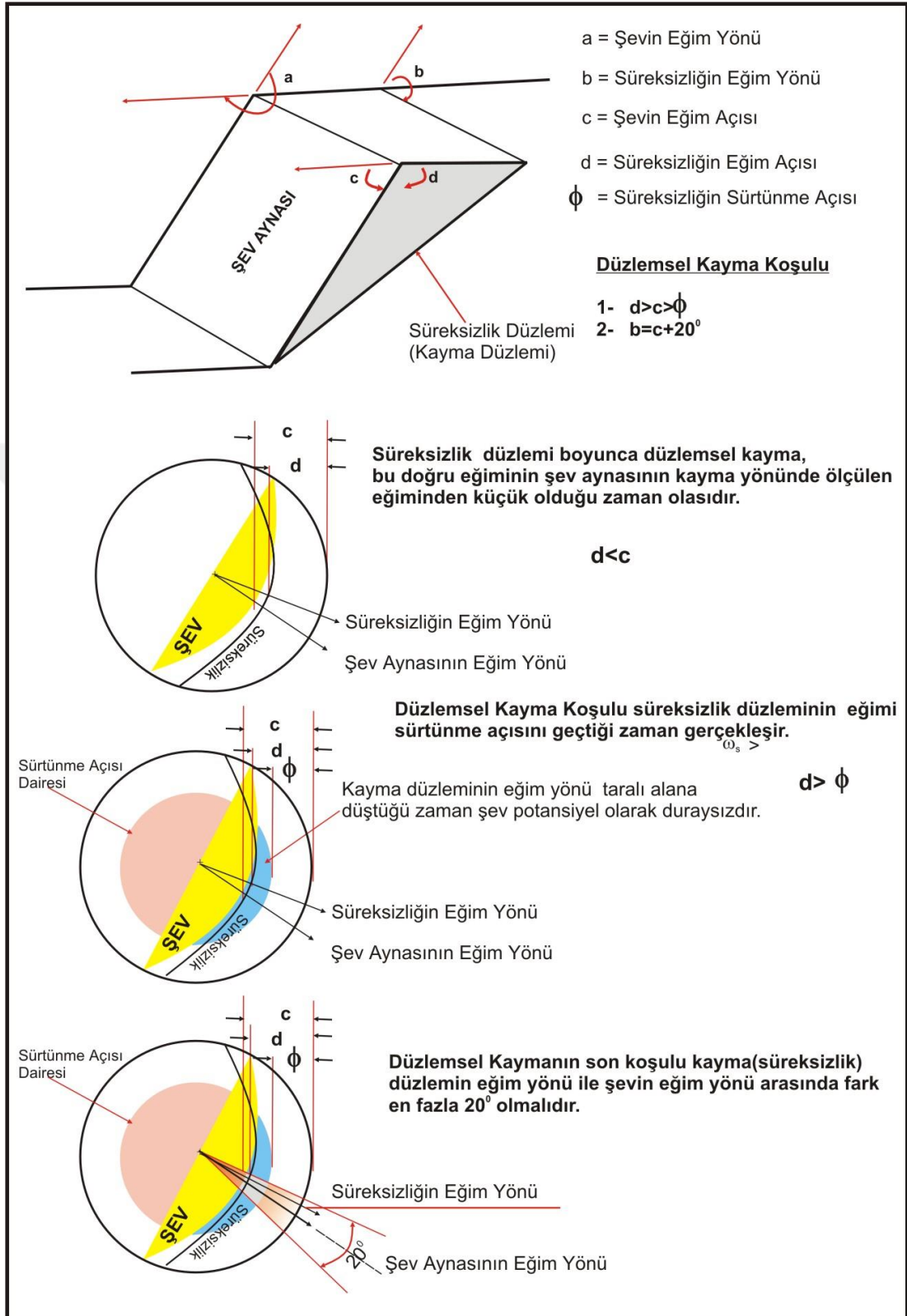
Düzlemsel tip duraysızlığın gerçekleşebilmesi için Şekil 3.12'deki koşulların sağlanması gerekir. Buna göre düzlemsel kaymanın gerçekleşebilmesi için kayma düzleminin eğiminin şev aynasının eğiminden küçük olması ve sürtünme açısı değerinden büyük olması gerekir. Diğer bir durum ise kayma düzlemin eğim yönü ile şev aynasının eğim yönünün birbirlerine yaklaşık olarak paralellik sunmaları gerekir. Yani kayma düzlemin eğim yönü ile şev aynasının eğim yönü arasındaki fark en fazla 20^0 olması gerekir. Şekil 3.13'da söz konusu durumların stereonet üzerindeki konumları gösterilmektedir. Stereonet üzerinde kayma için uygun koşul göz önünde bulundurulmuştur. Eğim yönü gri olarak taranmış bölgeye düşen her süreksizlik düzlemsel kayma potansiyeli taşımaktadır.

B)Kama Tipi Kaymanın Analizi

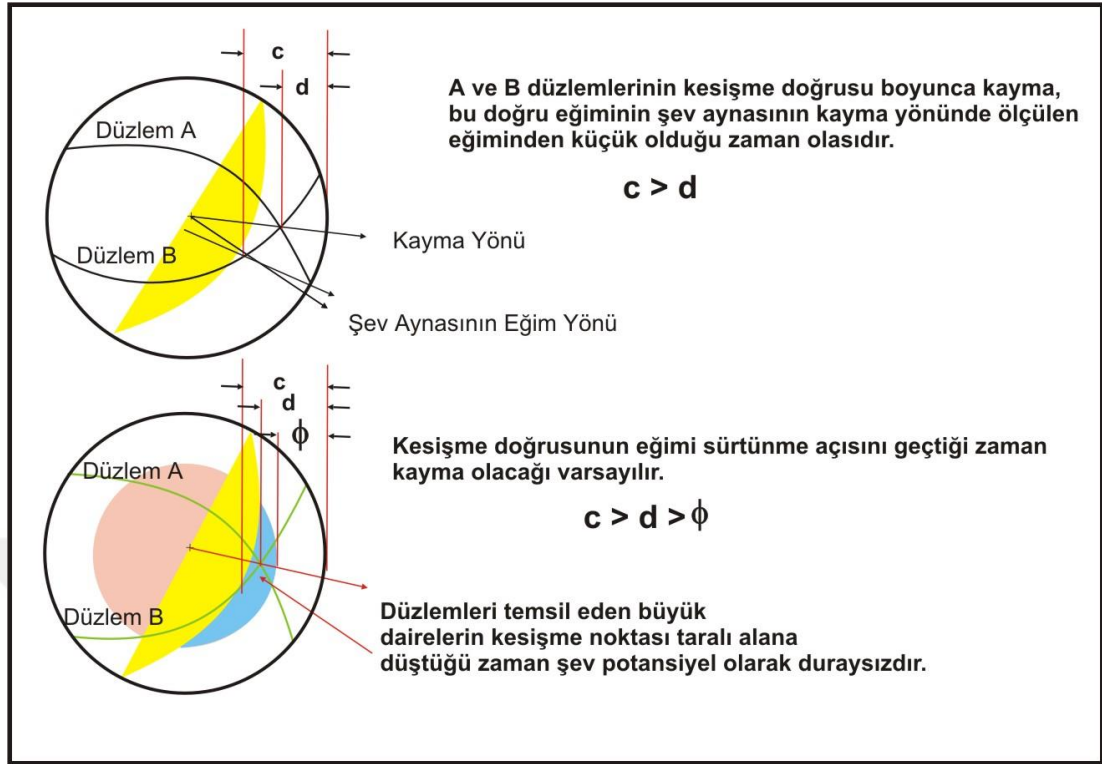
Kama tipi kaymanın oluşabilmesi için öncelikle iki farklı süreksizliğin sebep olduğu bir kesişme düzlemin olması gerekmektedir. Dolayısıyla net üzerinde en az iki farklı kutup yoğunlaşmasının gözlenmesi gerekir. Şekil 3.14 incelendiğinde kama tipi yenilmenin oluşabilmesi için birinci koşul verilen A ve B düzlemlerinin kesişme doğrusunun eğiminin şev aynasının kayma yönünde ölçülen eğiminden küçük olması gerekmektedir. İkinci koşul olarak kesişme doğrusunun eğimi sürtünme açısı eğimden daha fazla olduğu zaman kayma olacağı varsayılır. Şekilde verilen taralı bölge kritik alan olarak nitelendirilir. Bu bölgeye düşen kesişme noktaları kama tipi yenilme potansiyeli taşımaktadır.

C)Devrilme Tipi Kaymanın Analizi

Devrilme tipi yenilmenin gerçekleşebilmesi için Şekil 3.15'de verilen koşulların sağlanması gerekir. Buna göre şevin büyük dairesi çizildikten sonra, şevin büyük dairesinden itibaren netin kenarına doğru sürtünme açısı kadar sayılarak sürtünme açısını tanımlayan büyük daire çizilir.



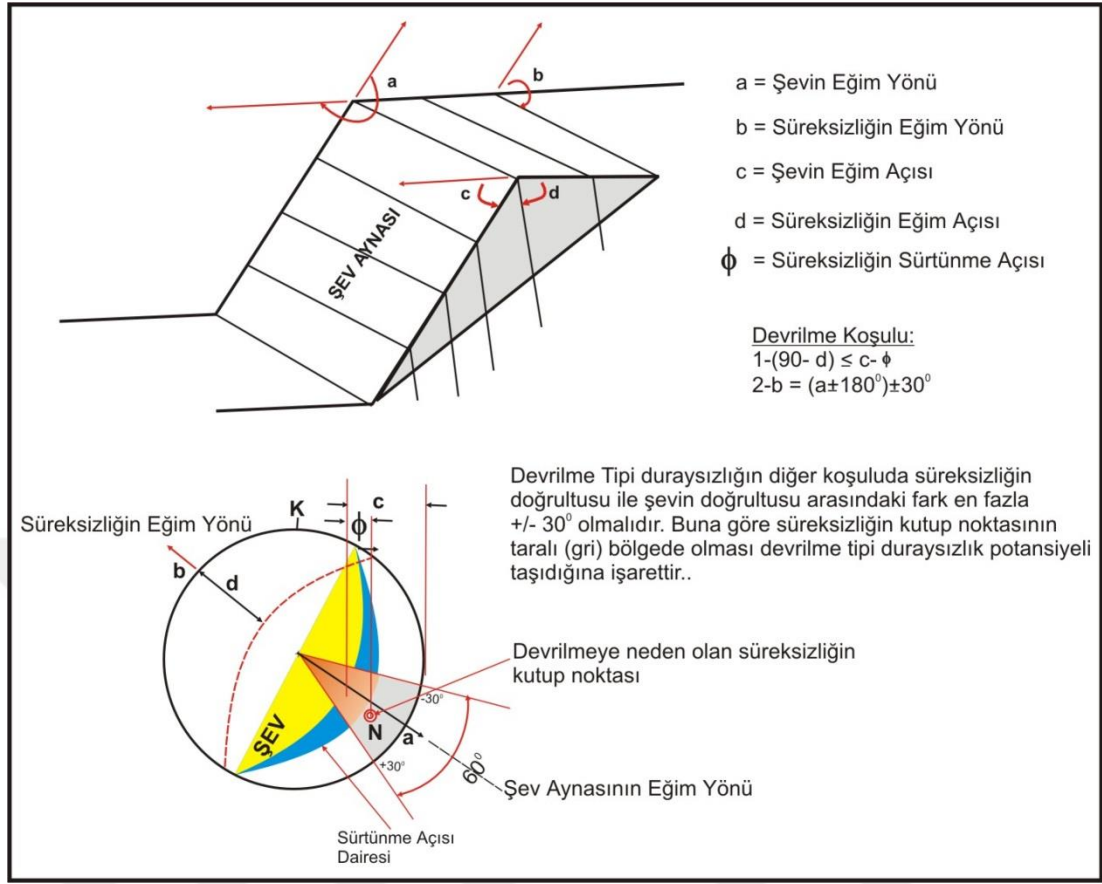
Şekil 3.13 Düzlemsel kayma koşulu ve düzlemsel kaymanın kinematik analizi.



Şekil 3.14 Kama tipi yenilme koşulu ve kinematik analizi.

Ayrıca incelenen süreksizliğin büyük dairesi ile kutup noktası (N) gösterilir. Devrilmenin diğer koşulu, süreksizliğin ve şevin doğrultuları arasındaki farkın 30^0 sınırları içerisinde olmasıdır. Bu sınır koşulu da, şev aynasının D-B doğrultusu ile çakıştırılmış olan eğim yönü çizgisinin üzerinde ve altında kalan bölgelerde 30^0 sayılarak, şekilde gösterildiği gibi işaretlenir. Sürtünme açısının büyük dairesi ile 30^0 sınırları arasında kalan gri taralı bölge devrilme tipi yenilme için kritik alan olup, kutup noktası bu alana düşen süreksizlikler devrilme potansiyeli taşımaktadır. Benzer şekilde düzlemsel ve kama tipi kaymada olduğu gibi şevin eğim yönü veya eğimi değiştirilerek kutup noktaları kritik bölge dışına taşınarak duraylı koşullar için önceden bir fikir sahibi olunabilir.

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 şev stabilitesi çalışmaları yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.15 Devrilme tipi duraysızlık koşulu ve kinematik analizi.

3.3.1 İki Boyutlu Kaya Düşmesi Analizleri

Çalışma sahasında gözlenen kaya düşmelerinin risk analizlerinde Rocscience Inc. Kanada firması tarafından hazırlanan RocFall V 7.0 bilgisayar yazılım programı kullanılmıştır. RocFall, istatistiksel bir analiz programı olup, simülasyon tekniği ile kaya düşmeleri riski olan yamaçların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Sıçrama yüksekliği, hız ve enerji dağılımlarının, yamaç kesiti boyunca istatistiksel kapsamda hesaplanması mümkün olmaktadır. Koruma bariyeri gibi kaya düşmelerine karşı alınacak önlemlerin tasarımı için, düşme yapacak kaya bloklarının maksimum kinetik enerjileri (koruma bariyerinin kaya bloğunu tutma kapasitesi için) ve maksimum ilk sıçrama yüksekliklerinin (bariyer yüksekliği için) belirlenmesi gerekir. Ayrıca kaya düşmesi tehlikesinin tahmin edilmesi için durma mesafesinin değerlendirilmesi de diğer bir zorunluluktur. Kaya bloklarının koparak düşme yapması veya koparak önce düşmesi daha sonra yuvarlanması ve çarptığı yüzeyde sıçraması, hareket esnasında kazanılan kinetik enerji, enerjinin sönmülmesi ve sonuçta düşen blokların durması, yamaç geometrisi ve yamaçta yer alan yüzeylerin temel fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu

fiziksel özellikler arasında şev geometrisi, geri sıçrama katsayıları (coefficient of restitution) ve sürtünme oldukça önemlidir. Geri sıçrama katsayısı, bitki örtüsü, düşen blok çapı ve şevin fiziksel özellikleri tarafından kontrol edilir [50]. Bu katsayılar direk arazi testlerinden , düşen blokların geri analizinden veya teorik tahmin yöntemlerinden saptanabilirler [51-54].

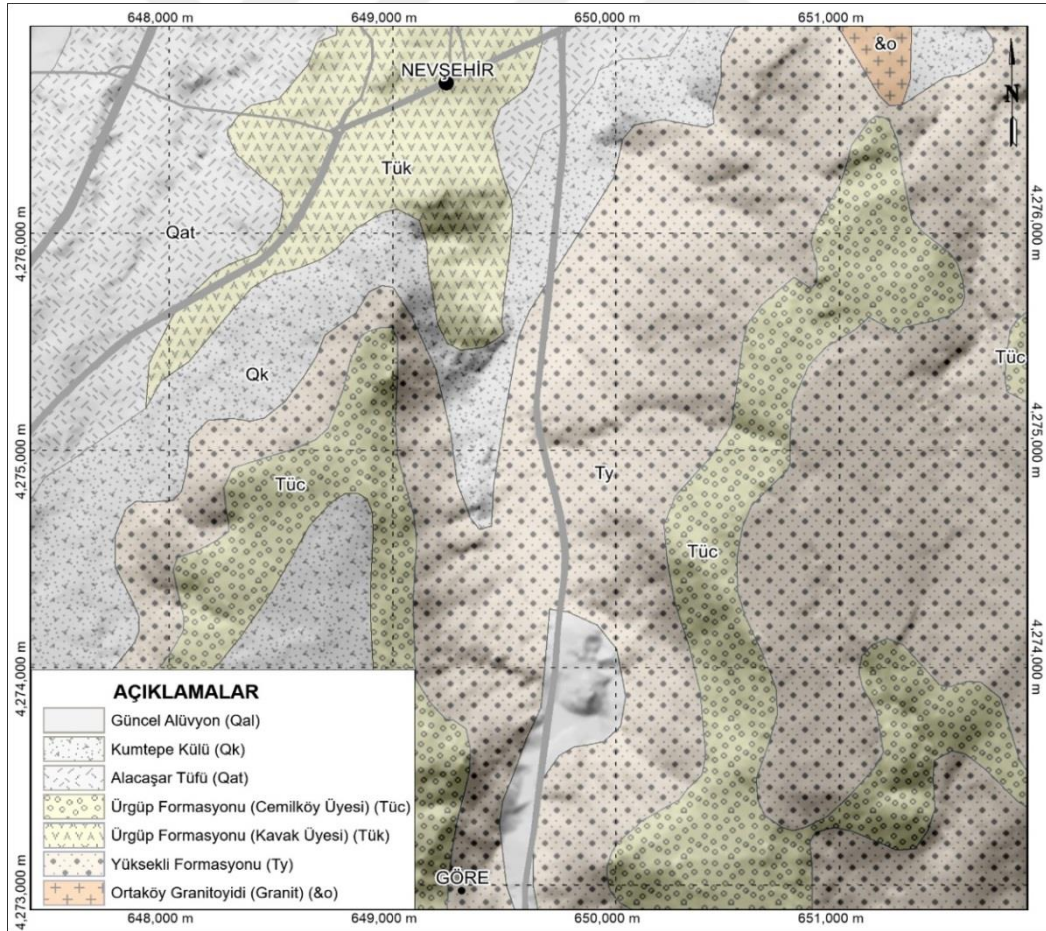


4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Çalışma Alanın Jeolojisi

Çalışma alanının jeolojisi incelendiğinde üst kısımlarda kuzeyden güneye doğru uzanan orta dayanımlı boşluklu dik şevler halinde uzanan kaynak zonunu oluşturan bazaltlar yer almaktadır. Bu bazaltlar, geniş bir mostra oluşturmaktadır. Bu birimlerin hemen altında yer alan ve Kapadokya bölgesinin genelinde gözlenen ignimbiritler yer almaktadır. Çalışma alanında dik kaya şevlerini oluşturan bazaltlar aynı zamanda kaya düşmelerinde kaynak alan konumundadır. Bundan dolayı çalışmada ağırlıklı olarak bazaltlar mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmiştir. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojisi genel olarak Neojen öncesi, Neojen ve Kuvaterner birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası.

4.1.1 Ortaköy Granitoyidi (&o)

Genel olarak; granit, granit porfir, kuvarslı porfir, granodiyorit, diyoniyorit porfir, kuvarslı diyorit, kuvarslı diyorit – porfir, gabro, monzonit – porfir, mikogranodiyorit – porfir, lökogradit, siyenit – porfir, riyodasit ve silisli kayalardan oluşmuştur. Porfiri kayalar kenar zonlarda yaygındır. Granit ve granodiyoritler yer yer ayrışmış ve milonitleşmiş olup metamorfik birimleri kesmektedir. Bu birim, proje sahası içerisinde dar bir alanda Gabro olarak gözlenmektedir (Şekil 4.1) [59].

4.1.2 Yüksekli Formasyonu (Ty)

Proje sahasının orta kesimlerinde dar bir alanda gözlenen birim, beyazımsı – gri renkli, orta – ince taneli, teknesel çapraz tabakalı kumtaşı, çakıllı kumlu, tüfit, miltaşı, kilitaşı ile kaba kumtaşı ve çakıl taşından oluşmaktadır. akıllarda dizilim ve yönlendirme izlenir. akıl ve kum taneleri, kuvarsit, çört, amfibolit, diyabaz, bazalt, gabro, granit ve kireçtaşı türündendir. Birim, akarsu, göl ortamı ürünüdür. Tabanda Tuzköy Formasyonu ile uyumludur. Ortalama kalınlığı 200 metredir [59].

4.1.3 Ürgüp Formasyonu Kavak Üyesi (Tük)

İgnimbirit karakterli olup, açık kahve, beyazımsı renkli homojen ignimbirit ve pomza içermektedir. Kavak üyesinde beyaz – kirli beyaz renkli, andezitik bileşenli, camsı tüfitli, köşeli parçacıklı pomza külü düzeyleri de izlenmiştir. Kavak Üyesi Ürgüp yöresinde ilk ignimbirit oluşumlarını temsil etmektedir. Kalınlığı 100 metredir [59].

4.1.4 Ürgüp Formasyonu Cemilköy Üyesi (Tüc)

Cemilköy üyesi; pomzalı, inci grisi renkte pumisli ve litik karakterli volkano – sedimanter bir aralanmadan oluşmaktadır. Yer yer ofiyolitik kayal ve bazaltik lav çakılları içerir. Kalınlığı 80 m kadardır. Tabanda Kavak ve Sarımadentepe Üyesi ile uyumludur [59].

4.1.5 Alacaşar Tüfü (Qat)

Lav parçaları ve obsidiyence zengin, pembe renkli külle karışmış, camsı ve pomzalı tüflerden oluşmaktadır. Bazen breşli tüfle alterasyonlu, beyazımsı ince kum ara düzeyleri görölür. Tabanda Kavak tüfü ile İncesu ignimbiritleri üstünde uyumsuz olarak yer alır [59].

4.1.6 Kumtepe Külü (Qk)

Pumisce zengin camısı küllerdir. Camısı hamur içinde parçalı pumis, obsidiyen, vitrofir, plajiyoklas kristalleri (oligoklas.andezin) ve hornblend görülür. Kumtepe Küllerinin yaşı Holosen – Güncel kabul edilmiştir[59].

4.1.7 Güncel Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında vadi ve dere yataklarında gözlenen birim, volkanik kayaç kırıntıları ile çakıl, kum, mil ve topraktan oluşmaktadır. Bu birim açık kahve renkli, organik madde içermeyen, volkanosedimanter kökenli, nem içeriği nispeten yüksek, geçirimli, orta – ince kum, iyi tutturulmamış kum, kum – çakıl – blok ve bitkisel topraktan oluşmaktadır.

4.2 Mühendislik Jeolojisi

Kapadokya'nın birçok bölgesinde olduğu gibi çalışma alanı olarak seçilen Göre'de de olası kaya düşmeleri yerleşim alanine tehdit edecek niteliktedir (Şekil 3.2). Çalışma alanı olarak seçilen bölge mühendislik jeoloji açısından incelendiğinde bazalt ve ignimbiritlerden oluşan volkanik birimler gözlenmektedir. Bazaltlar kaynak kaya bloklarını oluşturmakta olup, genelde koyu gri ve siyah renkli olarak gözlenmektedir. Soğuma kökenli yoğun düşey eklemlili ve yer yer kalınlığı 10 metreyi aşan bir yapı sunmaktadır. Bazaltlar içerisinde üç farklı seviyenin varlığı dikkati çekmekte olup, boşluklu, orta boşluklu ve masif olarak tanımlanmıştır. Boşluk miktarının yüzeye doğru arttığı bazaltlarda masif yapı tabanda yer almakta ve oldukça kalın bir yapı sunmaktadır. İgnimbiritler hemen bazaltların altında yer alıp, yeterince kaynaşmamış yer yer tuf karakterindedir. Yerleşim alanının üzerinde yer aldığı ignimbirit ve tüfler kaynak zon oluşturacak nitelikte değildir. Çalışma alanında kaya düşmelerine neden olan bloklar bazalt olup, tuf ve ignimbiritler kaya düşmelerinin geçiş ve durma zonunu oluşturmaktadır (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Çalışma alanının kaynak alandan genel görünümü (bakış yönü kuzeydoğu)

Bazaltların hemen altında yer alan tüf ve ignimbritler çevresel etkilere karşı daha düşük bir dirence sahip oldukları için üst seviyelere göre daha hızlı ayrışmaktadır. Bunun sonucu olarak üst bölümde yer alan bazaltların zamanla altının oyulması blokların ağırlık merkezinin boşa çıkmasına ve kaya düşmelerine neden olmaktadır.



Şekil 4.3 Çalışma alanında kaya birimleri ve kaynak zonun genel görünümü

4.3 Kaya Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri

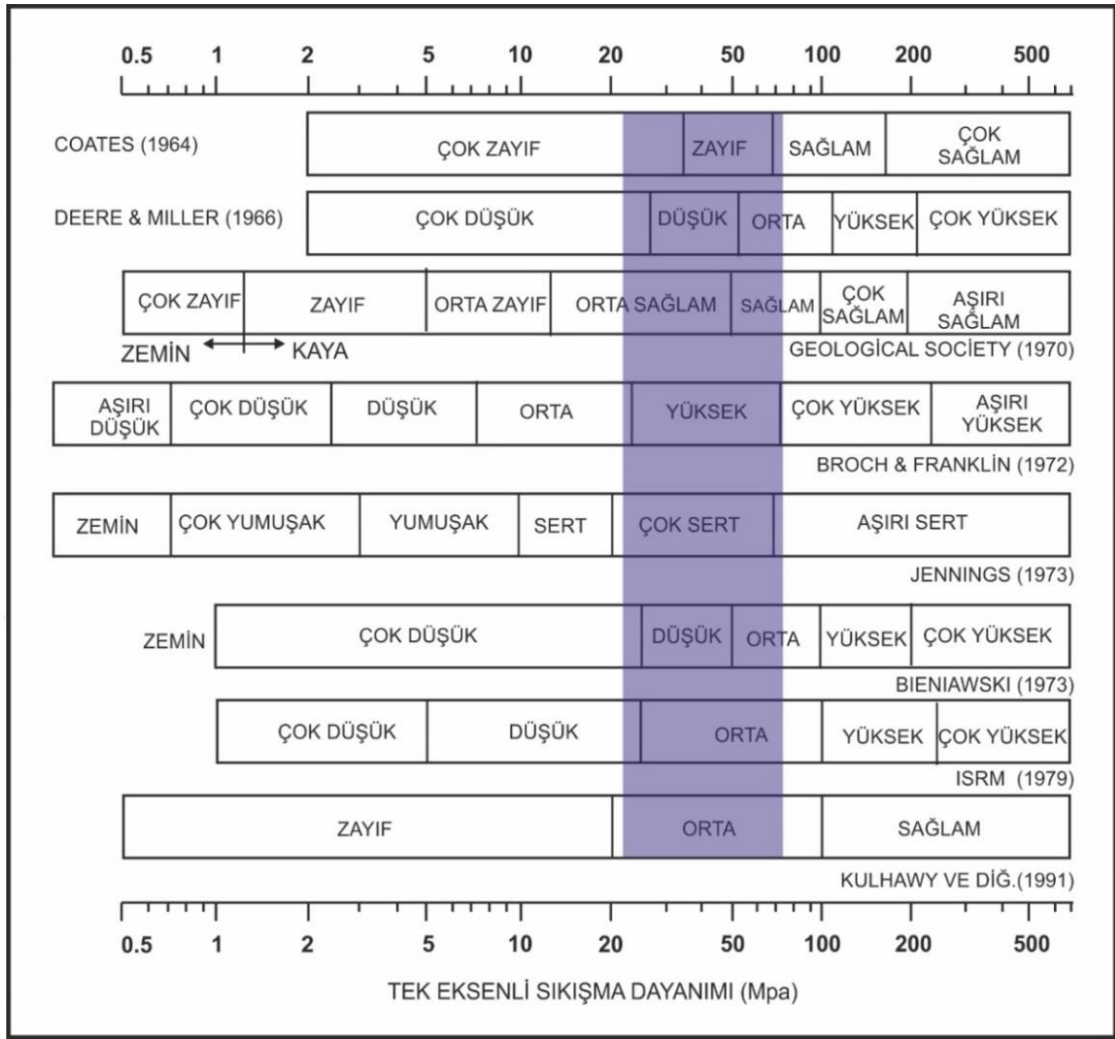
Göre ve yakın civarında meydana gelen kaya kütle duraysızlıklarının tamamı ağırlıklı olarak bazaltlar içerisinde meydana gelmektedir. Bundan dolayı bu bölümde bazaltlara dayalı indeks, fiziksel ve bazı mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Temel olarak, çok boşluklu, az boşluklu ve masif bazaltlardan bahsedilebilir. Kaya birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri göre belirlenmiştir [62] (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Kaya birimlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [62]

Özellik	Çok	Az	Masif Bazalt
	Boşluklu Bazalt	Boşluklu Bazalt	
Doğal Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	18.28	23.42	22.46
Schmidt Sertliği	53
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	39.34	61.88	74.45

Buna göre doğal birim hacim ağırlıkları bazaltlar için 18,28-23,42 aralığında değişmektedir. Doğal olarak, bazaltlarda boşluk yapısı birim hacim ağırlık değerlerini etkilemektedir. Bazaltlar, arazide yer yer kalınlığı 10 metreyi geçmekte olup, üst seviyelere doğru boşluk miktarı fazla ve alt seviyelerde tamamen masif yapıdadır.

Arazide ve laboratuarda pratik şekilde uygulama imkânı veren ve yüzey sertliğine dayanarak kayaçların dayanımı hakkında fikir sahibi olmamızı sağlayan Schmidt çekici deneyleri ISRM (1981)'e göre yapılmıştır. Buna göre masif bazaltların ortalama Schmidt sertliği değeri 53 olarak belirlenmiştir. Kayaçların mukavemet özelliklerini açıklamak üzere tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri ISRM (1981)'e göre yapılmıştır. Bazaltların tek eksenli sıkışma dayanımları ise 39,34-74,45 MPa arasında değişmekte olup, düşük.orta dayanımlı kaya olarak tanımlanmışlardır [55] (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Dayanım sınıflarında bazaltların konumu

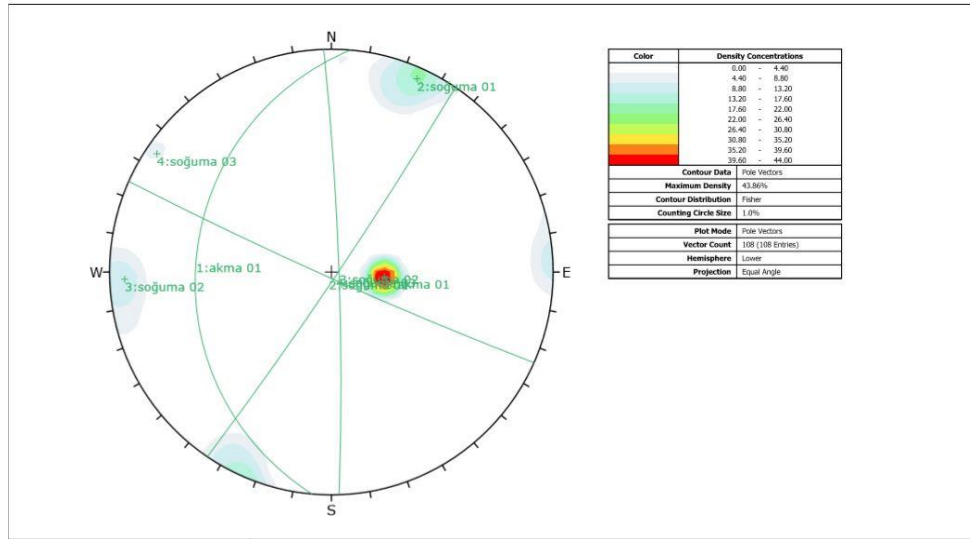
4.3.1 Kaya Kütle ve Süreksizlik Özellikleri

Çalışma alanında yapılan mühendislik jeolojisi çalışmalarına göre başlıca iki farklı kaya kütleleri varlığı açık bir şekilde görülmektedir. Bunlardan birincisini yüksek kotlarda ve geniş yayılım gösteren bloklular bazaltlar oluştururken, ikincisini ise bazaltların altında yer alan ve farklı kaynaşma derecelerine sahip tüflerden oluşan kaya kütleleridir (Şekil 4.5). Kaya kütlelerinin duraylılıklarını kontrol eden en önemli yapısal unsurların başında süreksizlikler gelmektedir. Çalışma alanında genelde eklem olarak tanımlanan süreksizlik tipleri görülmektedir. Çalışmanın bu aşamasında arazide gözlenen süreksizliklerin detaylı bir araştırması yapılmış olup, ISRM (2007)'de tanımlanan fiziksel parametreler belirlenmiştir.



Şekil 4.5 Bazaltların arazideki görünümü

Arazide 108 adet süreksizlik ölçümü yapılmış olup, bunlara ait kontur diyagramı Şekil 4.6'de verilmiştir. Buna göre dört adet hakim süreksizlik takımı belirlenmiştir. Bunlar, eğim/eğim yönü olarak 87/087, 88/204, 27/277 ve 88/124 olarak tespit edilmiştir(Şekil 3.6).



Şekil 4.6 Çalışma alanında alınan süreksizlik ölçümlerine göre elde edilen kontur diyagramları

Hat etüdüleri yapılırken, süreksizliklerin aralık değerleri ölçülmüş ve buna göre elde edilen veriler Tablo 4.2 ve 4.3 de verilmiştir. Buna göre, 1. lokasyon akma yapıları için 0,5-1 cm arasında, soğuma yapılarında ise 1.3 metre arasındadır. 2.lokasyon için akma yapılarının süreksizlik değerleri lokasyon 1 ile aynı olup, soğuma yapılarının süreksizlik aralık değerleri 0,75-1,2 m gibi daha geniş bir aralıkta değişmektedir. Lokasyon 3 de ise akma ve soğuma yapılarının süreksizlik aralıklarının değerleri lokasyon 2 ile aynı olduğu tespit edilmiştir. Ortalama değerler göz önünde bulundurulduğunda her iki hat kütlelerinde “geniş aralıklı”, olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında gözlenen süreksizlikler devamlılık açısından oldukça büyük değişkenlik göstermektedirler.



Tablo 4.2 Lokasyon 1 için süreksizlik özellikleri

Akma yapıları için

Parametre	Değer	Açıklama
Süreksizlik aralığı (cm)	0.5.1	Aşırı dar aralıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	1	Açık
Süreksizlik devamlılığı (m)	>20	Çok yüksek devamlılık
Dolgu türü	Kil	
Pürüzlülük	Düz	
Dalgallık	Düzlemsel	
Bozunma	Az bozunmuş	
Su durumu	Kuru	

Soğuma yapıları için

Parametre	Değer	Açıklama
Süreksizlik aralığı (m)	1.3	Çok geniş aralıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	1.5	Açık.orta genişlikte
Süreksizlik devamlılığı (m)	1.4	Düşük.orta devamlılık
Dolgu türü	Yok	
Pürüzlülük	Düz	
Dalgallık	Dalgalı	
Bozunma	Az bozunmuş	
Su durumu	Kuru	

Tablo 4.3 Lokasyon.2 için süreksizlik özellikleri

Soğuma yapıları için

Parametre	Değer	Açıklama
Süreksizlik aralığı (m)	0.75.1.2	Geniş aralıklı
Süreksizlik açıklığı (mm)	10.20	Çok geniş
Süreksizlik devamlılığı (m)	2.10	Düşük.orta devamlılık
Dolgu türü	Yok	
Pürüzlülük	Düz	
Dalgallık	Az dalgalı	
Bozunma	Az bozunmuş	
Su durumu	Kuru	

Bazalt kütlesinde gözlenen süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülük tanımlanmasında mekanik profilmetreler kullanılmıştır. Farklı yüzeylerden alınan pürüzlülük profilleri önerilen tipik pürüzlülük profilleri ile karşılaştırılarak süreksizlik yüzeyi pürüzlülük katsayısı (JRC) belirlenmiştir [42]. Araziden alınan pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC değerleri Şekil 4.10 verilmiştir. Gözlenen süreksizlik açıklıkları oldukça değişken karakterde olup, özellikle yamaç kenarlarında bu açıklıklar 10.20 milimetreye kadar ulaşmaktadır. Şevden uzaklaştıkça açıklıklar azalmakta ve kapalı şekilde gözlenmektedir. Çalışmanın konusu şevlerde kaya duraysızlıkları oluşturduğu için bu çalışma kapsamında süreksizlikler açık yapılar şeklinde değerlendirilmiştir. [62]. Tipik pürüzlülük kesitleri incelendiği zaman da JRC değeri 12 olarak bulunmuştur. Süresizliklerin makaslama dayanımı üzerinde oldukça etkili olan süreksizlik yüzey dayanımı arazide schmidt çekici kullanılarak belirlenmiştir. Arazide süreksizlik yüzeylerinden elde edilen ölçümlere göre, bazalt kaya kütleleri için 3 lokasyon için ayrı ayrı yapılmış olup her lokasyon için toplam da 10 vuruş yapılmıştır. Lokasyon 1 için schmidt sertlik değeri ortalama 51, Lokasyon 2 için 55, Lokasyon 3 için 54 olarak saptanmıştır.

Göre ve yakın civarını tehdit eden kaya kütle duraysızlıklarının değerlendirilmesi için detaylı mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında kaya şevlerinde farklı boyutlarda toplam 7 adet duraysız blok tespit edilmiştir. Duraysız bloklar ağırlıklı olarak bazaltlardan oluşmaktadır. Ağırlıklı ortalama değeri $2,33 \text{ m}^3$ olup, ileriki bölümlerde yapılacak analizlerde bu değer göz önünde bulundurulacaktır. Ayrıca çalışma alanında bazı lokasyonlarda birkaç bloktan oluşan potansiyel duraysız kütleler gözlenmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Duraysız bloklar ve boyutları

	B1 (cm)	B2 (cm)	B3 (cm)	V (cm³)	V (m³)	Max B (cm)	Max B (m)
Blok 1	60	40	20	48000	0,05	60	0,6
Blok 2	60	40	30	72000	0,07	60	0,6
Blok 3	80	50	50	200000	0,20	80	0,8
Blok 4	60	40	30	72000	0,07	60	0,6
Blok 5	50	110	90	495000	0,50	110	1,1
Blok 6	160	90	60	864000	0,86	160	1,6
Blok 7	260	200	280	14560000	14,56	280	2,8
ORT					2,33	115,71	1,16

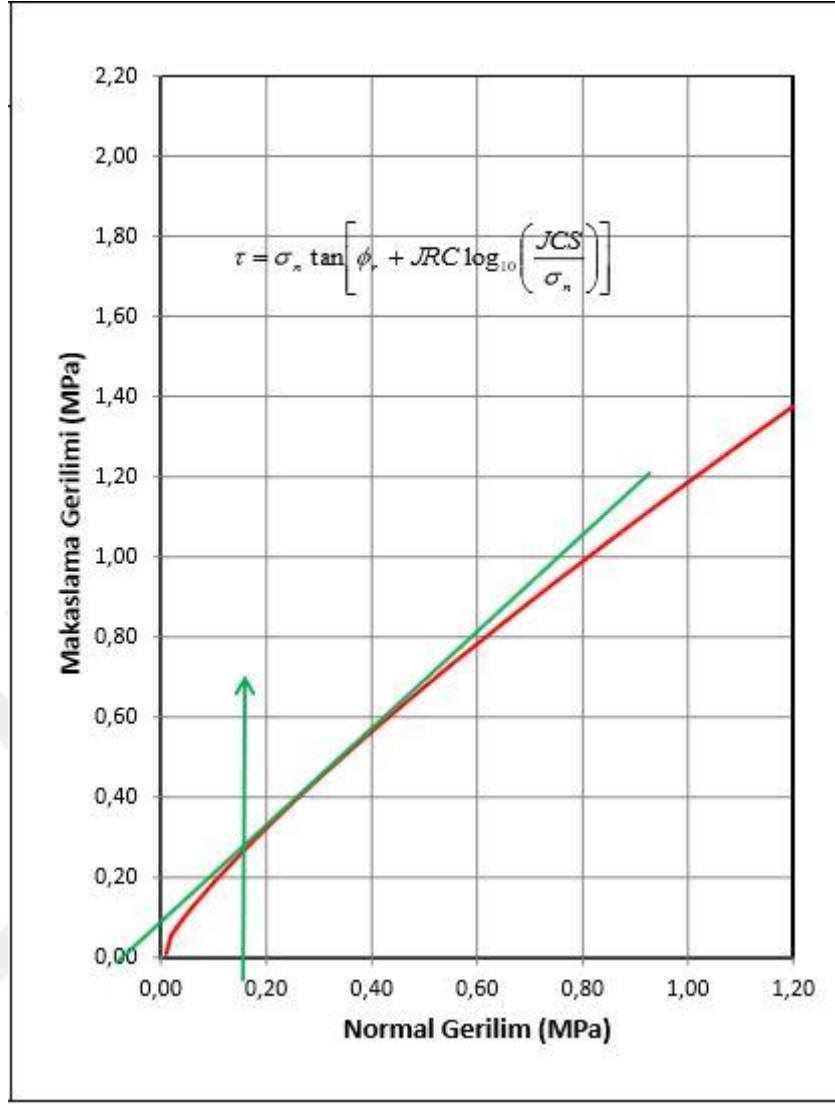
4.3.2 Süreksizlik yüzeylerinin kayma dayanımı

Saha çalışmaları şevlerde ve yeraltı şehrinde meydana gelen kaya kütle duraysızlıklarının büyük bir bölümü süreksizlikler tarafından kontrol edilmektedir. Bundan dolayı, süreksizliklerin kayma dayanım parametreleri stabilite analizleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, duraysızlıklar üzerinde dik ve dike yakın süreksizlikler önemli bir rol oynamaktadır. Bunun için materyal ve metod bölümünde detaylı bir şekilde verilen Barton ampirik yenilme kriteri süreksizlik yüzeylerin kayma dayanım parametrelerinin belirlenmesi için kullanılmıştır.

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right] \quad (4.1)$$

Burada τ pürüzlü süreksizlik yüzeyinin kayma dayanımı (MPa), JRC süreksizlik yüzeyinin pürüzlülük katsayısı, JCS süreksizlik yüzey mukavemeti, σ_n normal gerilme ve ϕ_r ise residuel sürtünme açısıdır.

JRC arazide mekanik telli profilmetre ile alınan pürüzlülük profilleri ile ISRM (1981) tarafından önerilen profiller karşılaştırılarak tahmin edilmiştir. Buna göre JRC, 10-12 arasında değişmektedir. JCS ise Schmidt çekici deneyinden elde edilmiştir. Buna göre her üç lokasyon için değerlerin ortalaması alınarak bulunan JCS değeri sırasıyla 60 MPa. Rezidüel sürtünme açısı tilt deneyinden elde edilen temel sürtünme açısı kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre süreksizlik düzlemlerinin anlık sürtünme açısı n45 derece olarak belirlenmiştir. Bu parametrelere göre elde edilen yenilme zarfı Şekil 4.7'da verilmiştir.



Şekil 4.7 Süreksizliklerin makaslama dayanımı

4.4 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[56] Süreksizliklerin kontrol ettiği düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların değerlendirildiği bu yöntemde, süreksizliklerin yönelimi, şevin yönelimi ve süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı dikkate alınır. Materyal ve metod bölümünde detayları verilen analizleri yapmak için çalışma alanında duraysızlık problemi yaşanan şevler 6 farklı tasarım sektörüne ayrılmıştır (Şekil 4.8). Bu ayırım yapılırken şevlerin yönelimi gibi benzerlik gösteren yapısal unsurlar göz önünde bulundurulmuş ve kinematik analizler için Dips 7.0 programı kullanılmıştır. Çalışma alanında genelde 70 dereceden yüksek olan baskın süreksizlik yönelimleri belirlenmiştir Her 6 sektör için şev yönelimleri ve hakim süreksizlik yönelimleri belirlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda her sektör için Dips programı ve ‘3.3. Kinematik Analizler’ adlı başlıkta anlatılan yöntemlerin yardımı ile kinematik analizler yapılmış düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilmeler olup olmadığı incelenmiştir. Tablo 4.6’de her bir sektörde etkili olan süreksizlik yönelimleri ve göz önünde bulundurulan diğer parametreler verilmiştir. Kinematik analiz sonuçları EK-1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 . Altı Farklı Tasarım Sektörü

Tablo 4.5 Her bir sektörde etkili olan süreksizlik yönelimleri

Sektör No	Şev Yönelimi	Hakim Süreksizlik Yönelimi	Düzlemlerin İçsel Sürtünme Açısı
1	314/85	Kinematik analizlerde Şekil 4.5'de gösterilen 108 adet süreksizlik ölçümü kullanılmıştır	45
2	037/85		
3	114/85		
4	090/85		
5	056/85		
6	112/85		

Tablo 4.6 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		√	√	√
06		√	√	

4.5 Kaya Düşmesi Analizleri

Çalışma alanında meydana gelen kaya düşmeleri 2.boyutlu olarak modellenmiştir. 2 boyutlu kaya düşme analizlerinin yapılması için öncelikle saha çalışmaları sırasında duraysız blokların lokasyonları ve bunlara ait geomterik özellikler verilmiştir. Yapılan saha çalışmalarında Göre ve yakın civarında gözlenen doğal yamaçların hemen hemen tamamında farklı boyutlarda düşme potansiyeline sahip bloklar tespit edilmiştir. Bundan dolayı mevcut ulaşım yollarını ve yerleşim alanına etkileyecek tüm lokasyonlarda kaya düşme analizleri yapılmıştır. Bu analizler için Rockfall 6.0 bilgisayar programı kullanılmıştır.

İki boyutlu kaya düşme analizleri Göre’de bulundan toplam 9 ayrı şev profili boyunca gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.9). Geri analizlerden elde edilen R_n ve R_t değerleri tüm analizlerde kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan diğer parametreler Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7 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)	1000
Başlangıç Hızı (m/s)	0
Örnekleme Aralığı	100

Kesitlerde Rockfall 6.0 da bazalt, asfalt yol, ignimbiritvetüf tanımlanan zemin yüzey parametreleri birlikte kullanılmıştır. Bu parametrelerde Tablo 4.8'den verilen litartüdeki veriler kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan analizlerde, ortalama blok boyundan yola çıkarak 1000 kg'lık bir kaya bloğunun maksimum hızda hareket edeceği düşünülerek, düşme yapacak bir bloğun hareket yörüngesi ve sıçrama yükseklikleri bu tip bloğa göre belirlenmiştir. Buna göre kaya blokları koparak sırasıyla düşme, yuvarlanma ve sıçrama hareketlerini yapacaklardır. Bu hareket mekanizması içinde yatay ve düşey hızlar artarken açısal (dönme) hızı da sahip olacaklardır. Hızın artması kinetik enerjide de yükselmeye neden olacaktır. 1 tonluk kaya bloğu göz önüne alınmış ve maksimum kinetik enerji oluşumu için de 1 ton'luk bir kaya bloğunun sıçrama yapacağı varsayımı yapılarak sırasıyla ötelenme, dönme ve toplam kinetik enerjileri hesaplanmıştır.



Şekil 4.9 Çalışma alanı ve kesitlerin görüntüsü

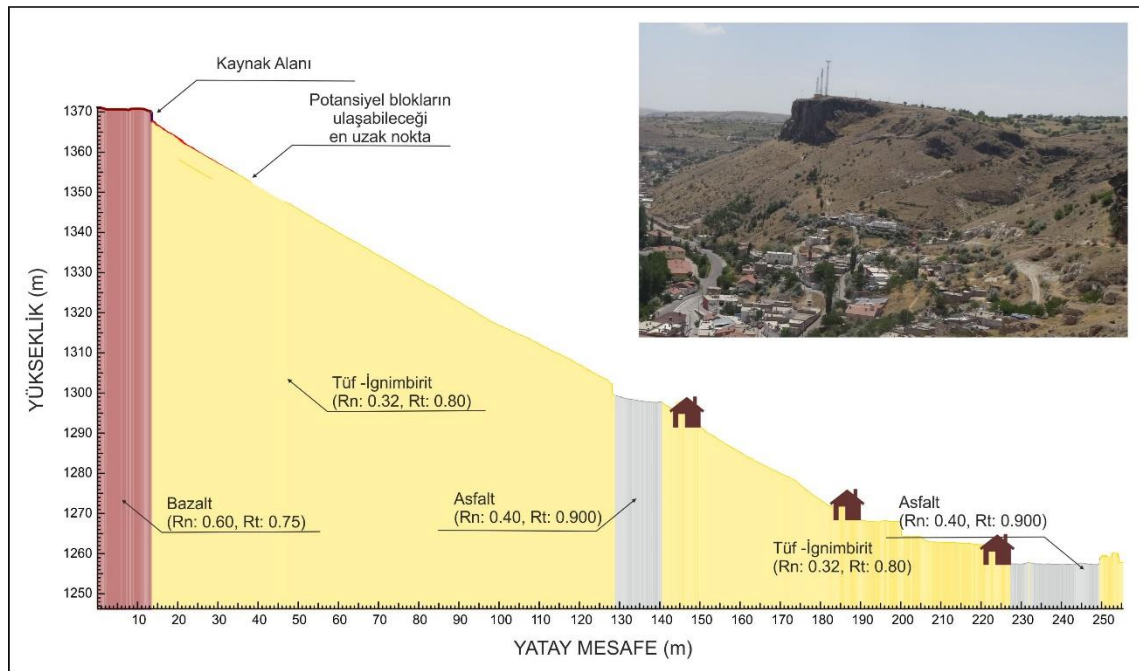
Farklı kütleye sahip blokların düşme esnasında oluşturdukları simülasyon hemen hemen aynı olduğundan bu çalışmada sadece 1 ton'luk bloğun hareketi esnasında oluşacak simülasyonlara yer verilmiştir. Kaya düşmesi simülasyonları her kesit için, sıçrama yükseklikleri, kinetik enerji ve hız dağılımları da eklerde verilmiştir.

Tablo 4.8 Literatürde farklı şev yüzeyi özellikleri için önerilen geri verme katsayıları

Normal geri verme katsayısı (R_n)			Teğetsel geri verme katsayısı (R_t)			Şev yüzeyi özellikleri
En düşük	En yüksek	Ort.	En düşük	En yüksek	Ort.	
0.37	0.42		0.87	0.92		Sert yüzey kaplaması
0.33	0.37		0.83	0.87		Anakaya veya çok az toprak ve bitki örtüsü içeren bloklar
0.30	0.33		0.83	0.87		Yamaç molozu (çok az bitki örtüsü)
0.30	0.33		0.80	0.83		Yamaç molozu (orta seviyede bitki örtüsü)
0.28	0.32		0.80	0.83		Yumuşak zemin sevi (az bitki örtüsü)
0.28	0.32		0.78	0.82		Zemin sevi (bitki örtülü)
		0.315			0.712	Kireçtaşı
		0.303			0.615	Kısmi bitki örtülü kireçtaşı molozları
		0.315			0.712	Yüzeyi kaplanmamış kireçtaşı vıǵını
		0.251			0.489	Yüzeyi bitki örtüsü kaplı kireçtaşı vıǵını
		0.276			0.835	Tebeşir
		0.271			0.596	Bitki örtüsü ile kaplı tebeşir molozları
		0.20			0.53	Kayalık yüzeyler ve yamaç molozları üzerindeki dolomitik kireçtaşı
		0.10			0.20	Yamaç eteklerinde birikmiş teraslardan taşınan piroklastik malzemeler
		0.00			0.24	Kaya kütleleri eteğindeki velpaze kırıntılıları
		0.393			0.567	Zemin
		0.453			0.737	Püskürtme beton
		0.487			0.91	Kaya sevi
		0.50			0.95	Anakaya
		0.35			0.85	İri bloklarla kaplanmış anakaya
		0.30			0.70	Eşit tane boyuna sahip döküntü malzeme
		0.25			0.55	Bitki örtüsü ile kaplı zemin
		0.53			0.99	Sert ve temiz kaya yüzeyi
		0.40			0.90	Asfalt yol
		0.35			0.85	Sert yüzeyli anakaya yüzlekleri, iri bloklar
		0.32			0.82	Yamaç molozu
		0.32			0.80	Bitki örtüsü kaplı yamaç molozu
		0.30			0.80	Yumuşak zemin, seyrek bitki örtüsü
0.37	0.42					Düz sert yüzeyler ve kaplama
0.33	0.37					Anakaya ve iri bloklar
0.30	0.33					Yamaç molozu ve sıkı zemin şevleri
0.28	0.30					Yumuşak zemin şevleri
			0.87	0.92		Sert anakaya yüzeyi veya kaldırım yüzeyleri gibi düz sert yüzeyler
			0.83	0.87		Anakaya yüzeyleri ve bitki örtüsü olmayan yamaç molozu
			0.82	0.85		Sevrek ve bodur bitki örtüsü kaplı yamaç molozu şevleri
			0.80	0.83		Bitki örtüsü kaplı yamaç molozu şevleri ve sevrek bitki örtülü zemin
			0.78	0.82		Çalılık kaplı zemin sevi
		0.53			0.99	Sert ve temiz anakaya
		0.35			0.85	Anakaya yüzleği
		0.32			0.82	Yamaç molozu örtüsü
		0.32			0.80	Bitki örtüsü kaplı yamaç molozu
		0.40			0.90	Asfalt kaplama
		0.53			0.99	Sert ve temiz anakaya
		0.35			0.85	Anakaya yüzleği
		0.48			0.53	Beton
		0.47			0.55	Ayrılmış kaya
		0.48			0.53	Beton
		0.47			0.55	Ayrılmış kaya
		0.85			0.53	Beton
		1.00			0.55	Ayrılmış kaya
		0.53			0.99	Anakaya
		0.50			0.70	Bloklarla kaplı yüzeyler
		0.50			0.65	Bloklarla kaplı yüzeyler (çalılık ve küçük ağaçlarla kaplı)
		0.50			0.50	Bloklarla kaplı yüzeyler (ormanlık)
		0.30			0.80	Bitki örtüsü kaplı toprak yüzey
		0.40			0.90	Asfalt kaplama
		0.35			0.85	Çakıl yol
		0.50			0.80	Kireçtaşı üzerine yerleştirilen ince taneli yamaç molozu seyrek ormanlık şev
		0.50			0.80	Kireçtaşı ve bazalt malzemesinden oluşan yamaç molozu
		0.70			0.90	Kaya yüzeyi üzerinde metamorfik tüf kökenli dörtgen bloklar

4.5.1 Kesit 1: Kaya Düşmesi Simülasyonu

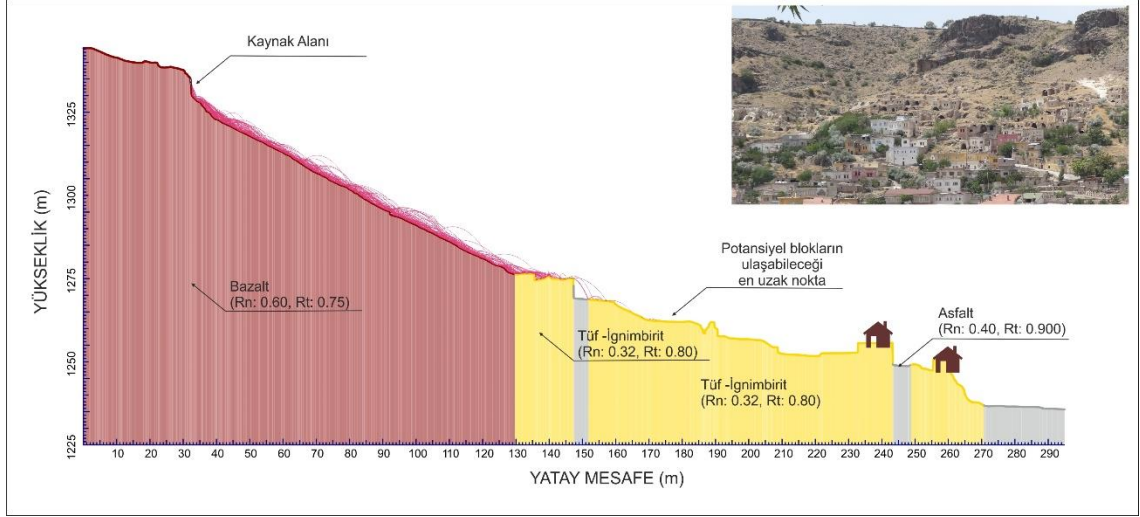
İstatiksel olarak, 1000 kg'lık blokların hareketinin tam olarak anlaşılması için aynı anda 100 adet kaya bloğunun düşme yaptığı kabul edilmiştir. Yapılan sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama haraeketi yapmamakta ve tamamen yuvarlanma hareketi yapmaktadır. Maksimum sıçrama yüksekliği üst palye kenarı km 16.00 cm gibi bir sıçrama olacaktır. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (12,05 kJ) km sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergâhına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (4.03 m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 38,31 metredir (Şekil 4.10) (EK-2)



Şekil 4.10 Kesit 1 Kaya Düşmesi Simülasyonu

4.5.2 Kesit 2: Kaya Düşmesi Simülasyonu

Yapılan kaya düşme simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmamakta ve tamamen yuvarlanma hareketi yapmaktadır. Maksimum sıçrama yüksekliği 5.44 m gibi önemli sayılabilecek bir sıçrama olacaktır. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (81,00 kJ) km sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (10.86 m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 173,98 metredir (Şekil 4.11) (EK-2)



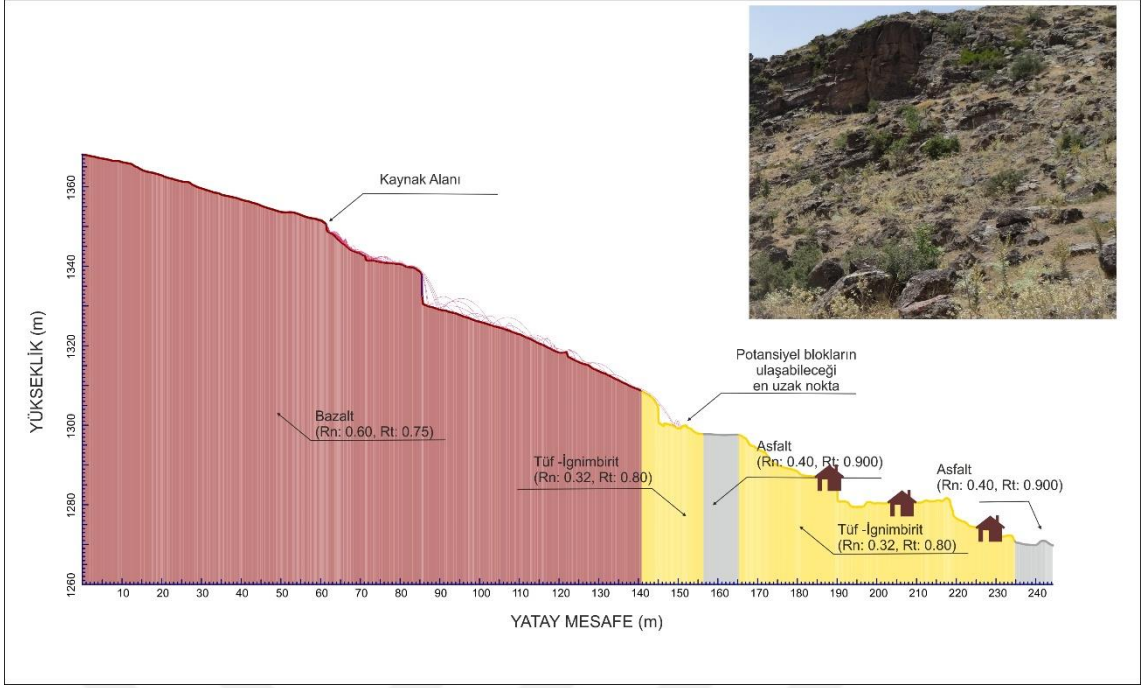
Şekil 4.11 Kesit 2 Kaya Düşmesi Simülasyonu

4.5.3 Kesit 3:Kaya Düşmesi Simülasyonu

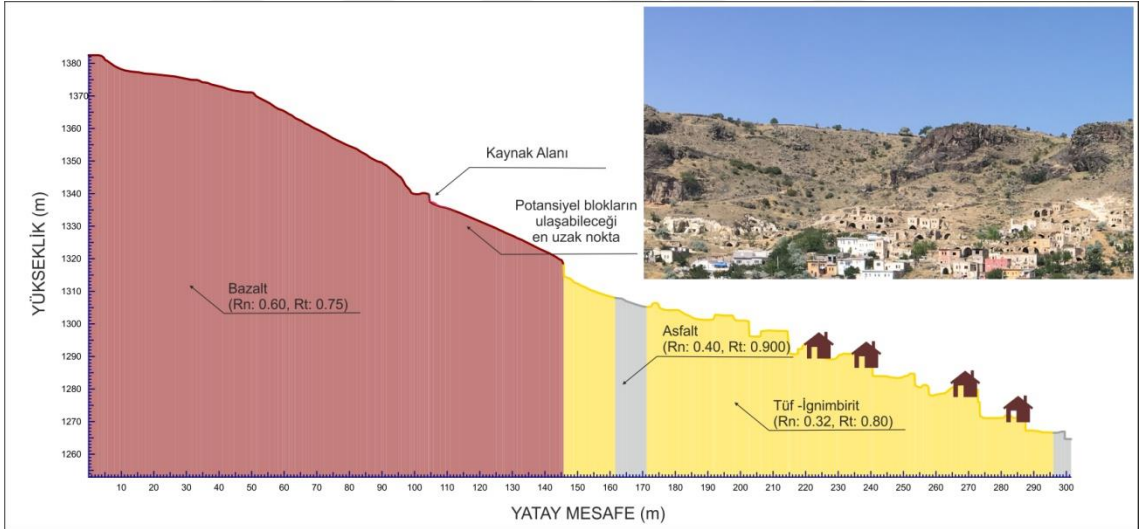
Yapılan sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmaktadır. İlk sıçrama hareketini 6 m olarak hemen hemen maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (119,214 kJ) km sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (14,716 m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 149 metredir (Şekil 4.12) (EK-2)

4.5.4 Kesit 4:Kaya Düşmesi Simülasyonu

Yapılan sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmamaktadır. İlk sıçrama hareketi 15,3 cm gibi önemsiz düzeyde gerçekleşecektir.. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (11,89 kJ) sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (4,40 m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 117,57 metredir(Şekil 4.13) (EK-2)



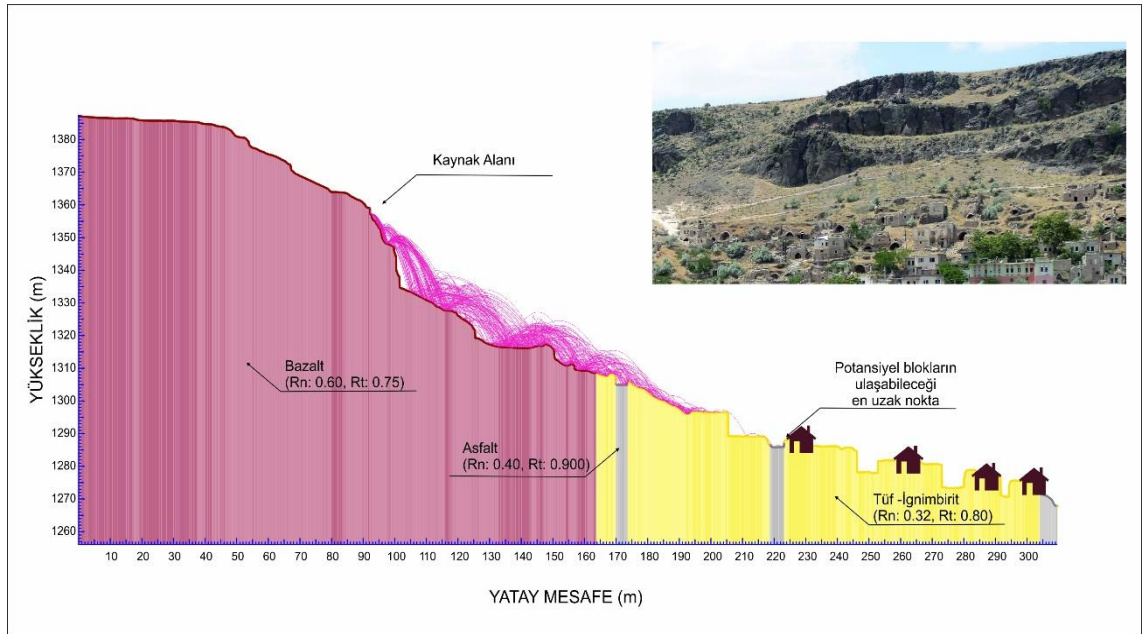
Şekil 4.12 Kesit 3 Kaya Düşmesi Simülasyonu



Şekil 4.13 Kesit 4 Kaya Düşmesi Simülasyonu

4.5.5 Kesit 5:Kaya Düşmesi Simülasyonu

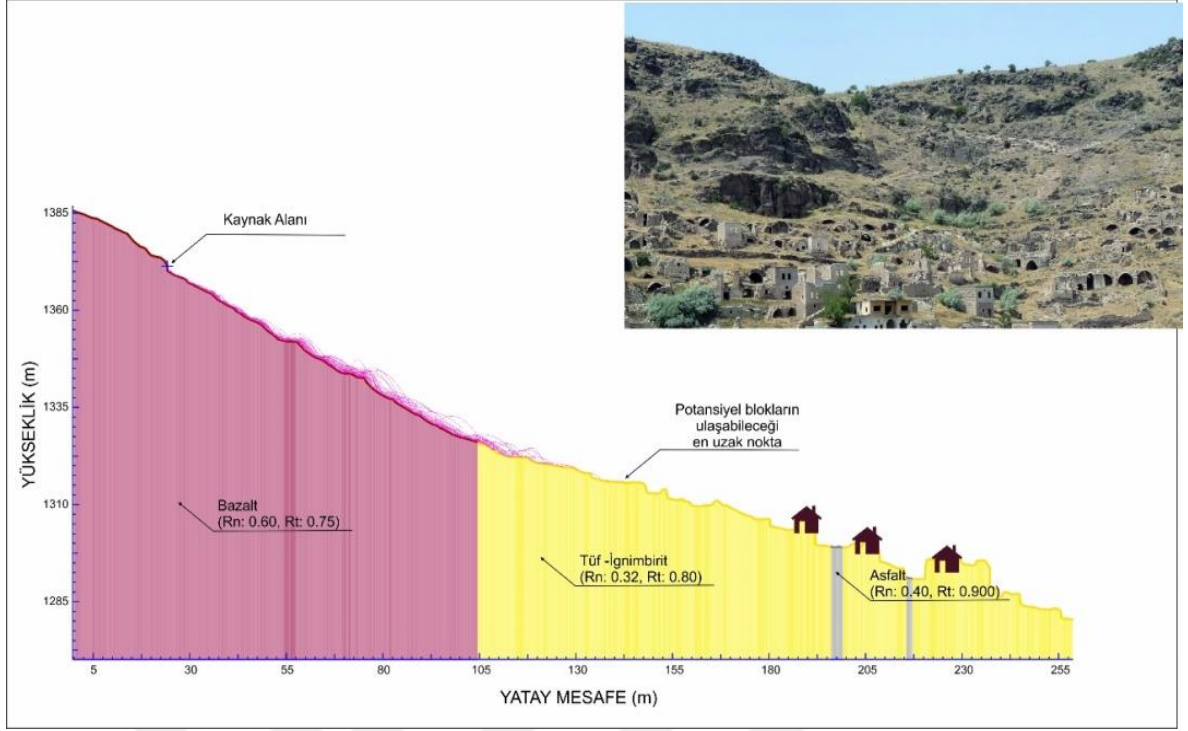
Yapılan sığrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca kayda değer sığrama hareketleri yapmaktadır. En büyük sığrama hareketini 8,8 metre olarak saptanmıştır Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (139,97 kJ) sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (15,31 m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 219,87 metredir(Şekil 4.14) (EK-2).



Şekil 4.14 Kesit 5 Kaya Düşmesi Simülasyonu

4.5.6 Kesit 6:Kaya Düşmesi Simülasyonu

Yapılan sığrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sığrama hareketi yapmamaktadır. En büyük sığrama hareketi de 1,8 m gibi düzeyde gerçekleşecektir. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (11.26 kJ) km sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (9,72 m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 142,24 metredir (Şekil 4.15) (EK-2).



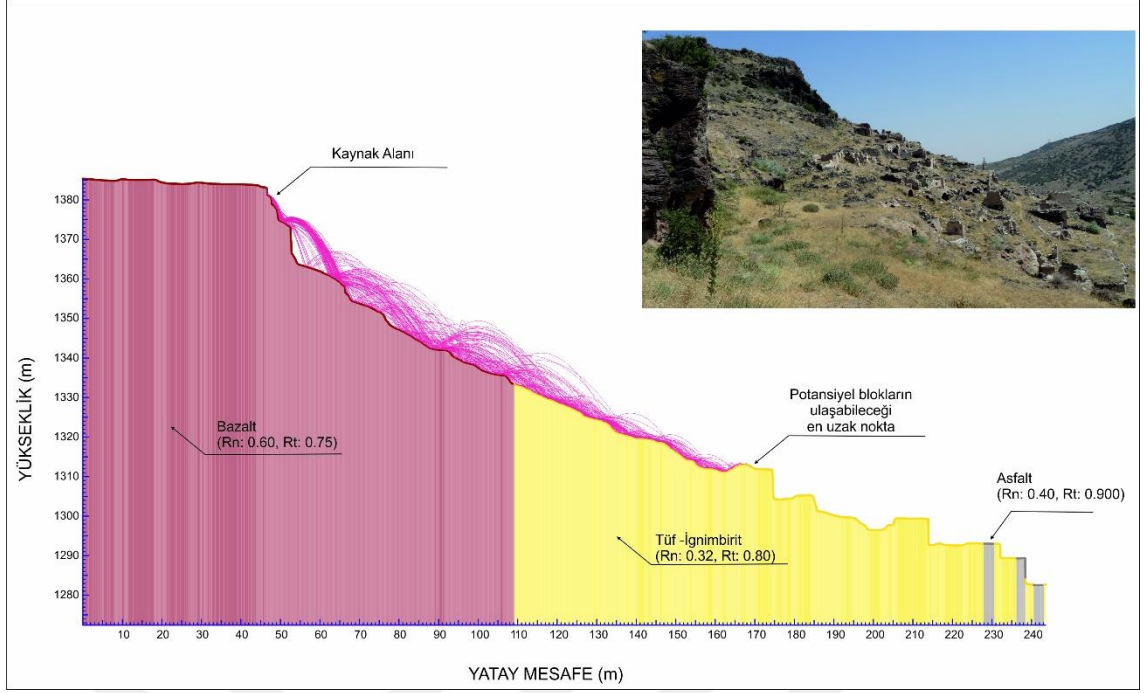
Şekil 4.15 Kesit 6 Kaya Düşmesi Simülasyonu

4.5.7 Kesit 7:Kaya Düşmesi Simülasyonu

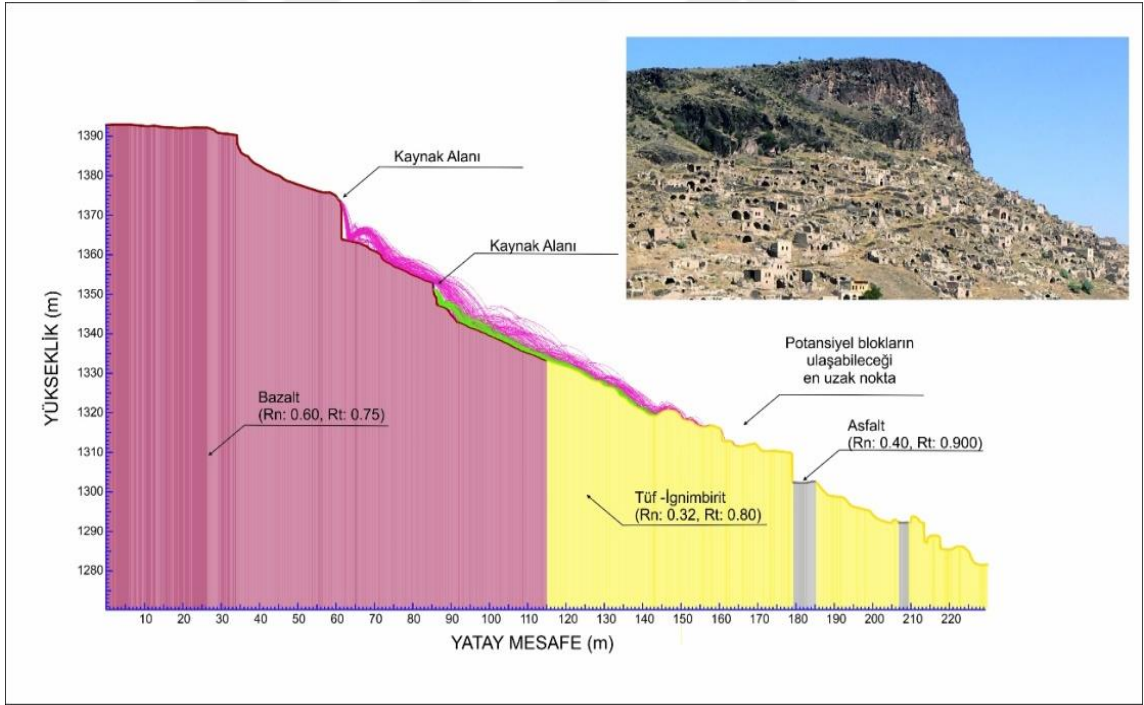
Yapılan sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmaktadır. En yüksek sıçrama hareketini 9,97 m olduğu saptanmıştır. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (158,64 kJ) sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (16,21 m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 172,96 metredir (Şekil 4.16) (EK-2).

4.5.8 Kesit 8:Kaya Düşmesi Simülasyonu

Yapılan sıçrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi yapmamaktadır. En yüksek sıçrama hareketini 4.88 m olarak maksimum sıçrama yüksekliğine ulaşmıştır. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (76.74 kJ) sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (11,20m/sn) sahip olacaklardır. Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 163,312 metredir (Şekil 4.17) (EK-2).



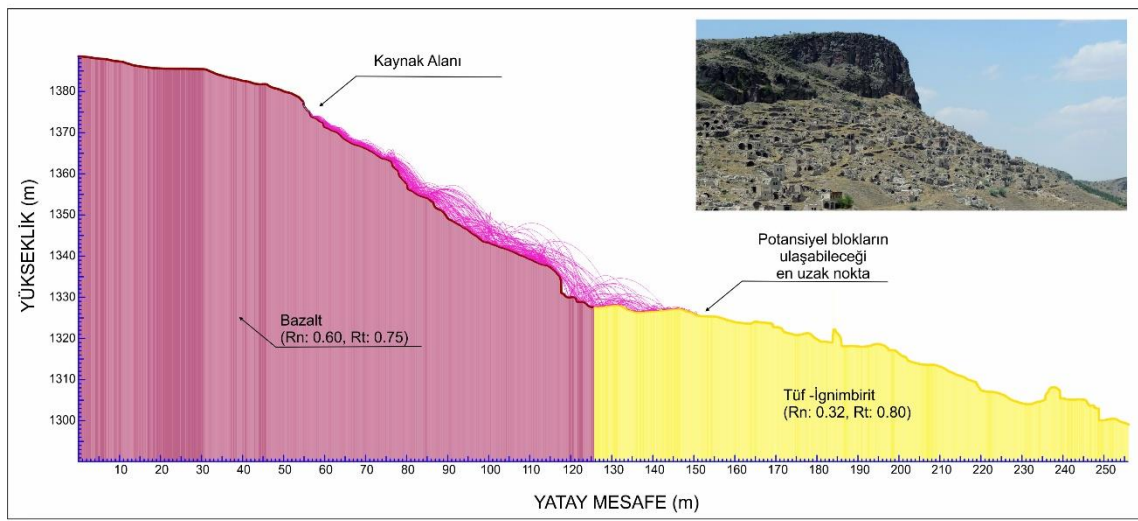
Şekil 4.16 Kesit 7 Kaya Düşmesi Simülasyonu



Şekil 4.17 Kesit 8 Kaya Düşmesi Simülasyonu

4.5.9 Kesit 9:Kaya Düşmesi Simülasyonu

Yapılan sığrama simülasyonuna göre, kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sığrama hareketi yapmamaktadır. En yüksek sığrama hareketini 6 m olarak maksimum sığrama yüksekliğine ulaşmıştır. Kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjiye (89,90 kJ) sahip olacaklardır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızına (13,11 m/sn). Düşen kayaların ulaşacağı en uzun mesafe ise 151,06 metredir (Şekil 4.18) (EK-2).



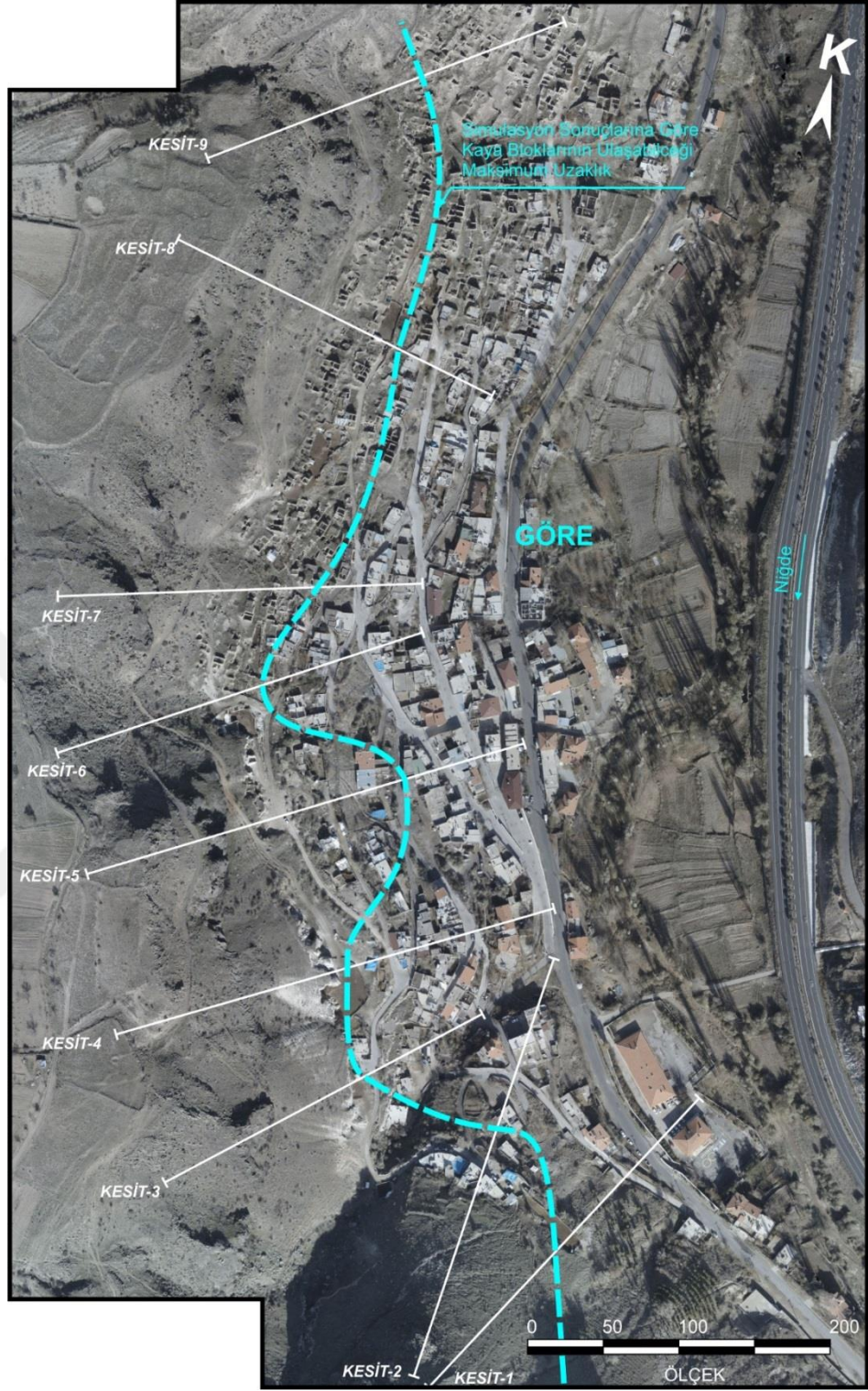
Şekil 4.18 Kesit 9 Kaya Düşmesi Simülasyonu

4.5.10 Olası Kaya Düşmesi Olaylarının Çevreye Etkileri

Göre ve yakın civarında bulunan olası şevleri karakterize edecek toplam 9 adet profil için iki boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, blokların ulaşacağı en uzak noktalara göre bir tehlikeli zon haritası oluşturulmuştur(Şekil 4.19).

Bu tehlike zonunun içerisinde. Göre içerisinde ulaşımı sağlayan yolların tehlike altında olduğu görülmektedir. Ayrıca, kaynak zonlara yakın olan yapıların tehlike altında olduğu gözlemlenmiştir Özellikle çalışma alanının güney ve güney batısındaki yapılar bu tehdit altındadır. Orto foto üzerinde yapılan değerlendirmelere göre yaklaşık 10-15 civarında konut kaya düşmelerinin tehditi altındadır.

Çalışma alanının kuzeyine doğru daha önce düşen bazalt blokları sebebi ile boşaltılmış harabeler olduğundan dolayı o bölgede bir risk söz konusu oluşturmamaktadır. Bu yüzden bu bölgede güney kısımda meydana gelecek kaya düşmesi çevreyi daha çok etkileyecektir.



Şekil 4.19 Çalışma alanının tehlike zon haritası

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Göre (Nevşehir) ve yakın civarında gözlenen dik şevlerde olası kaya düşmeleri incelenmiştir. Söz konusu kaya şevlerinde belirlenen toplam 6 sektör ve 9 kesit boyunca yapılan değerlendirmeler sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kaynak alanı oluşturan bazaltların birim/hacim ağırlık değerlerinin ortalaması 22,46 kN/m³ olarak hesaplanmış olup, tek eksenli sıkışma dayanımı yapılan örneklerden alınan ortalama değer 58,56 Mpa olarak bulunmuştur. Buna göre bu bazaltlar“Düşük.Orta Dayanımlı Kaya” olarak tanımlanmıştır. Ortalama Schmidt değerleri ise 51 ile 54 arasında değişmektedir.

Kaynak alanı oluşturan bazaltlar genel olarak soğuma çatlaklarının hakim olduğu süreksizliklere sahip olup, akma yapılarında ise dar aralıklı, açık ve yüksek devamlılık gösterirken, soğuma yapılarında geniş aralık, orta açıklık ve orta devamlılık göstermişlerdir. Süreksizlik düzlemlerin içsel sürtünme açısı 45 derece olarak bulunmuştur.

Kinematik analiz sonuçları toplam altı farklı sektörde gerçekleştirilmiş olup, sadece 4 nolu sektörde tüm yenilme türleri gözlenirken diğer sektörlerde ise kama ve devrilme türü yenilmeler gözlemlenmiştir.

Kaya düşmesi simülasyon sonuçlarına göre, en büyük sıçrama değeri 12.41 metre değerinde iken en düşük sıçrama değeri ise 15 cm elde edilmiştir. Aynı şekilde kaya blokları maksimum toplam kinetik enerjisi 158,64 kj, en düşük ise 11,26 kj enerjiye ulaşmıştır. Kaya blokları kesit güzergahına paralel olarak ulaşacakları maksimum ötelenme hızı 16,21 m/sn iken en düşük ötelenme hızı da 4,03 m/sn olarak tespit edilmiştir. Düşen kaya bloklarının ulaşabileceği en uzun mesafe ise 173,98 metre, ulaşabileceği en kısa mesafe de 38,31 metre olarak elde edilmiştir.

Kaya düşme analiz sonuçlarına göre çalışma alanının güneyinde bloklar kaynak alandan daha kısa mesafelere ulaşırken, kuzeye doğru bu mesafe artmaktadır. Fakat çalışma alanının kuzeyi 1969 yılında meydana gelen kaya düşmesi sebebi ile ‘afet evleri’ olarak adlandırılan yapılara taşındığından çok tehlike arz etmemektedir. Yine de bu alanlar için

önlemler alınmalıdır. Buna bağlı olarak oluşturulan tehlike zonu haritasında çalışma alanının güney ve orta bölümünde daha büyük tehlike oluşacağı söylenebilir.

Kaya düşmesi alanında olası kaya düşmelerinin yerleşim alanına olumsuz etkilerini önlemek için, potansiyel blokların periyodik olarak temizlenmesi ve elik ağdan imal edilmiş esnek bariyerler kullanılarak önlemlerin alınması olası can ve mal kayıplarının önlenmesi açısından son derece önemlidir.



KAYNAKLAR

1. Selçuk Biricik, A. “Yeryuvarı'nda Doğal Olaylar ve Âfetler (The Natural Events and Catastrophies on the Geoid)”, *Marmara Coğrafya Dergisi*, S.3, C.1, İstanbul, 2001.
2. Gökçe O, Ozden, S, Demir, A, “Türkiye’de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri”, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Mudurluğu Afet Etut ve Hasar Tespit Dairesi Başkanlığı, Ankara*,p 112, 2008.
3. Doyuran, V., “Environmental geology problems of Ortahisar (in Turkish)”, *TJK Bulteni*, Vol. 19, 83-88,1976
4. Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Topal, T., Sönmez, H., Tuncay, E., Ergüler, Z. A., ve Kasmer, Ö., “Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia), Turkey”, *Environmental Geology*, 50 (4), 473-494, 2006
5. Tuncay, E., “Rock rupture phenomenon and pillar failure in tuffs in the Cappadocia region, Turkey”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, (8), 1253-1266, 2009
6. Tunusluoğlu M.C, Zorlu, K., “Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia Turkey)”, *Environ Geol*, 56, 963–972, 2009
7. 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
8. Evans, S. G, Hungr, O. “The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes”, *Canadian Geotechnical Journal* 30, pp. 620-636, Canada, 1993.
9. Fanos, A.M., Pradhan, B., “Laser scanning systems and techniques in rockfall source identification and risk assessment: a critical review”, *Earth Systems and Environment*, <https://doi.org/10.1007/s41748-018-0046-x>, 2018
10. Wyllie, D.C., “Calibration of rock fall modeling parameters”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 67, 170– 180. doi:10.1016/j.ijrmms.2013.10.002, 2014
11. 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
12. Ataman, G, Mise en evidence du role d'erionite (zeolite) darts le Mesothelioma pulmonaire, C.R. Acad. Sci. Paris, 291, serge D, 167-169, 1980.
 13. Göncüoğlu, M C, ve Toprak, V, “Neogene and Quaternary volcanism of central Anatolia: A volcano-structural evaluation”, *Bulletin de la Section de Volcanologie*, 26, 1-6, 1992.
 14. Temel, A., “Kapadokya eksplosif volkanizmasının: petrolojik ve jeokimyasal özellikleri”, *PhD thesis, HÜ, Ankara*, 209, 1992.
 15. Aydar, E., Gourgaud, A., Deniel, C., Lyberis, N. and Gündoğdu, “N, Le volcanisme quaternaire d'Anatolie centrale (Turquie): association de magmatismes calco-alcalin et alcalin en domanie de convergence”, *Can. J. Earth Sci.*, 32, 1058-1069, 1995.
 16. Akgün, F, Olgun, E, Kuşçu, İ, Toprak, V. and Göncüoğlu, MC, “Orta Anadolu Kristalen Kompleksi'nin Oligo-Miyosen örtüsünün stratigrafisi, çökeltme ortamı ve gerçek yaşına ilişkin yeni bulgular”, *TPJD Bülteni*, C.6/1, 51-68, 1995.
 17. Toprak, V, “Kapadokya volkanik çöküntüsünde gelişmiş kuvaterner yaşlı havzaların kökeni, Orta Anadolu”, *Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Sempozyumu 124 Bildirileri*, 327-339, 1996.
 18. Temel, A, Gündoğdu, M. N, Gourgaud, A, and Le Pennec, JL, “Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 88, 447-471, 1998.
 19. Doğan, Ü., “Zeolite mineralogy and Cappadocian Erionite, Built Environment”, vol. 12, no. 5, 337-342, 2003.
 20. Ocakoğlu, F, “Mio-Pliocene basin development in the eastern part of the Cappadocian Volcanic Province (Central Anatolia, Turkey and its implications for regional tectonics”, *Int. Journal of Earth Sciences*, V.93, No.2, 314-328, 2004.
 21. Gürel, A, ve Kadir, S, “Geology, mineralogy and origin of clay minerals of the Pliocene fluvial- lacustrine deposits in the Cappadocian Volcanic Province”, *Central Anatolia, Turkey, Clays and Clay Minerals*; 54, 5, 555-570, 2006.

22. Ergüvanlı, A. K., and Yüzer, A. E., ““Past and present use of underground openings excavated in volcanic tuffs at Cappadocia area”, *Rock Storage, Oslo*, 15-17, (1977).
23. Caner, E.N., Türkmenoğlu, A.G., Göktürk, H., Demirci, Ş. and Böke, H., “Examination of surface deterioration of Göreme tuffs for the purpose of conservation”, *6th. Int. Cong. On Deterioration and Conservation of Stone, Torun*, 287-302, 1988.
24. 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*, 1993.
25. Topal, T. and 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.
26. Topal, T, ve Doyuran, V, “Analysis of deterioration of the Cappadocian tuff”, *Turkey, Intern. Jour. of Geosc., Environ. Geol.*, 34, 5-20, 1997a.
27. Topal, T. and Doyuran, V, “Analysis of deterioration of the Cappadocian tuff”, *Environmental Geology*, 34/1, 5-20. 1997b
28. Erdoğan, M, “Nevşehir tüflerinin hafif yapı gereci olarak değerlendirilebilme olanaklarının araştırılması”, *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*, 11, 75-82., (1989).
29. Korkanç, M, “İgnimbiritlerin Jeomekanik Özelliklerinin Yapı Taşı Olarak Kullanımına Etkisi: Nevşehir Taşı”, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 66, 31(1), 40-49, 2007
30. Tolgay A, Yaşar E, Erdoğan Y, “Nevşehir Pomzasının Agregata olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu”, *TMMOB Maden Müh. Odası İzmir Şubesi ve DEÜ Müh. Fak. Maden Müh. Böl.*, 345-354, 2004.
31. Baba, A, Kaya, A. ve Türk, N, “Fairy chimneys of Cappadocia and Their Engineering Properties”, *Journal of Applied Sciences* 5, 800-805. 2005.
32. Yılmaz İ, “Engineering geologic factors in the design of a large underground structure in a tuff sequence in Cappadocia”, *Engineering Geology*, 40, 3-4, 235-241, 1995.

33. Aydan, Ö. and Ulusay, R, “Geotechnical and geo-environmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey”, *Engineering Geology*, 6, 245-272, 2003.
34. Ulusay, R, Gökçeoğlu, C, Topal, T, Sönmez, H, Tuncay, E, Ergüler, Z A, ve Kasmer, Ö, “Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia)”, *Turkey, Environmental Geology*, vol. 50, 4, 473-494, 2006.
35. Topal T., Akın M., Özden U.A., “Assessment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey, 2007.
36. Ergüler Z. A, “Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs”, *Engineering Geology*, 105, 3-4, 186-199, 2009.
37. Binal A., Ercanoğlu M., “Assessment of rockfall potential in the Kula (Manisa, Turkey)” *Geopark Region*, 2010.
38. Topal T., Akın M.K., • “Akın M., Rockfall hazard analysis for an historical Castle in Kastamonu (Turkey)”, 2010.
39. Güntel B.,Acar A.,” Rockfall Modelling with Remedial Design and Measures along Part of a Mountainous Settlement Area”, *Southern Turkey*, 2016.
40. Dinçer İ., Orhan A., Frattini P., Crosta, G, “Rockfall at the heritage site of the Tatlarin Underground City (Cappadocia, Turkey)”, 2016.
41. Ulusay, R ve Sönmez H, “Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri”, *Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*: 60, 243 sy. Ankara, 2002.
42. Miller, RP., “Engineering classification and index properties for intact rock. PhD thesis”, University of Illinois, 1965.
43. Barton NR, Choubey V, “The shear strength of rock joints in theory and practice”, *Rock Mechanics*, 10,1-54.Carr, 1977.
44. Palmström A, “A new method to characterize rock masses for applications in rock engineering”, *National annual tunnelling conference Bergmekanikkdagen*, Oslo, pp. 38.1 – 38.27, 1996.
45. Barton N., Rewiev of a new shear strength criterion for rock joint”, *Engineering Geology*, 7, 287-332, 1973.

46. Barton NR, “The shear strength of rock and rock joints”, *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 13:255–279. doi:10.1016/0148-9062(76)90003-6, 1976.
47. Bell, FG., “Engineering Geology”, *Butterworth-Heinemann, 2nd Edition*, 2007.
48. Alejano, L, R, Gonza´lez, J and Muralha, J., “Comparison of Different Techniques of Tilt Testing and Basic Friction Angle Variability Assessment”, *Rock Mech Rock Eng* 45:1023–1035 2012.
49. 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.
50. Dorren LKA., Berger F, PuttersUS., “Real-size experiment sand 3-Dsimulation of rock fall on forested and non-forested slopes”, *Nat. Hazards. Earth Syst. Sci* 6:145–53, 2006
51. Robotham, M. E., Wang, H., and Walton, G.: “Assessment of risk from rockfall from active and abandoned quarry slopes”, *I.M.M., Section A.*, 104, 25–33, 1995.
52. Bozzolo, D.; Pamini, R. S”imulation of Rock Falls down a Valley Side”, *Acta Mechanica* 63, pp. 113-130, Wien, A., 1986.
53. Kobayashi, Y.; Harp, E. L.; Kagawa, T. “Simulation of Rockfalls triggered by earthquakes”, *Rock Mechanics and Rock Engineering* 23, pp. 1-20, Wien, A
54. Chau KT, Wong R H C,Wu J J. “Coefficient of restitution and rotational motions of rock fall impacts”, *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci*; 39:69–77, 2002.
55. Deere, DU. and Miller, RP. “Engineering classification and index properties for intact rocks”, *Tech Rep Air Force Weapons Lab, New Mexico, no AFNL-TR*, 65–116, 1966.
56. Ulusay, R, “Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler”, *Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*: 38, 458 sy. Ankara, 2010.
57. Ulusay, R, “Şevlerin Duraylılığı ve Tasarımı”, *Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Vakfı Kurs Notu*, Ankara, 179 sy, 2002.
58. 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

59. Atabey, E., “MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli aç›nsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritalar Serisi, Kayseri-H 19 paftası”, 1989.
60. Rocscience INC., “ROCFALL-computer program for risk analysis of falling rocks on steep slopes”, *Version 7.0*, Toronto, 2002.
61. Isrm, “Rock Characterisation”, *Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods Pergamon*, Oxford, 1981.
62. Isrm (International Society For Rock Mechanics), “The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring”, *Suggested Methods R. Ulusay and J.A. Hudson (editors), Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 1974-2007*



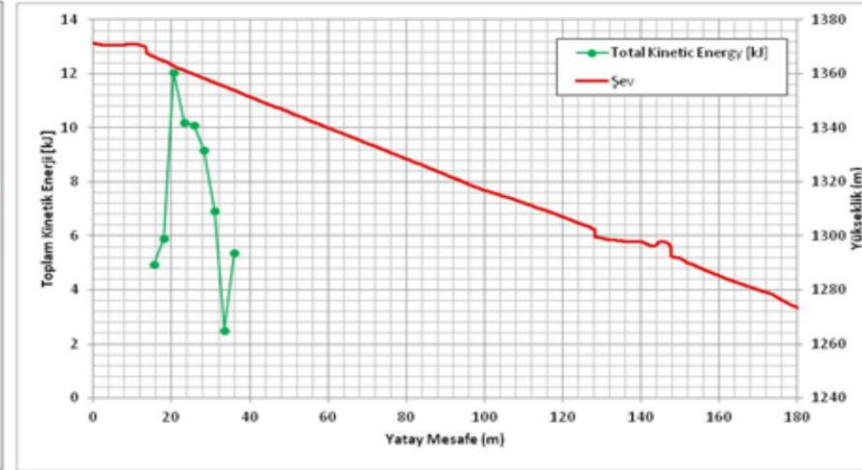
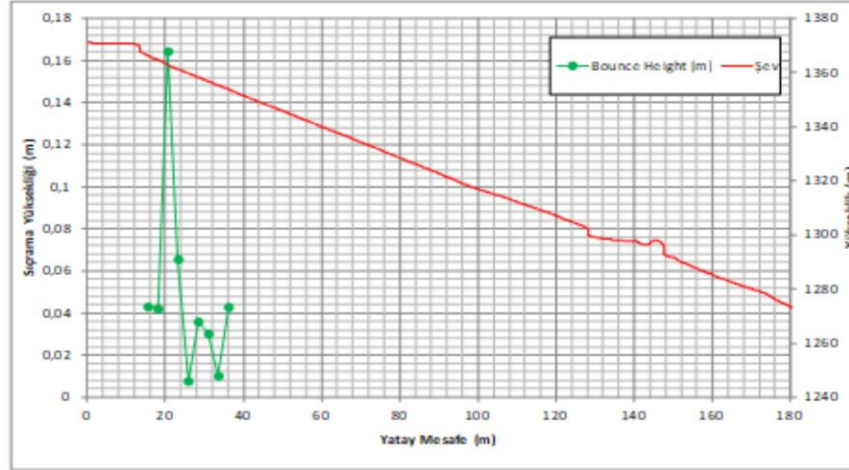
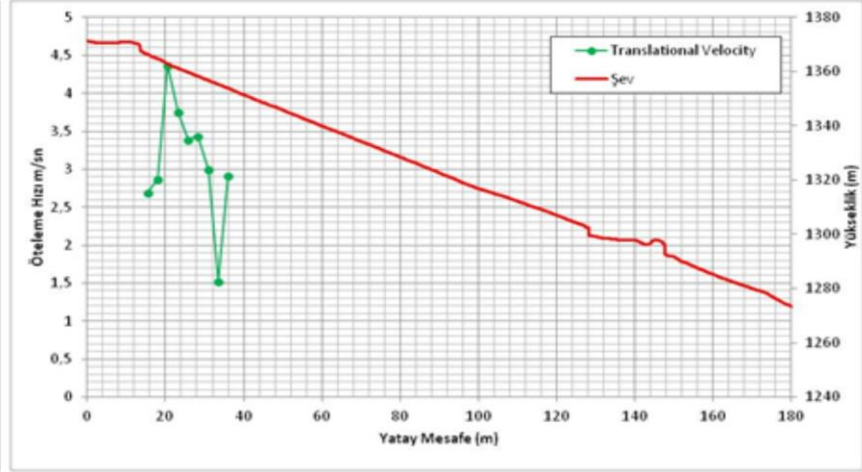
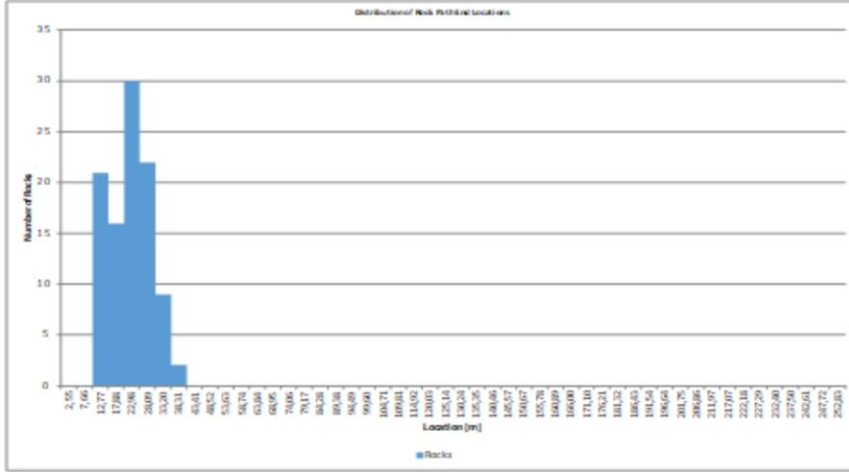
EKLER

EK-1 Kinematik analiz sonuçları

EK-2: Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri

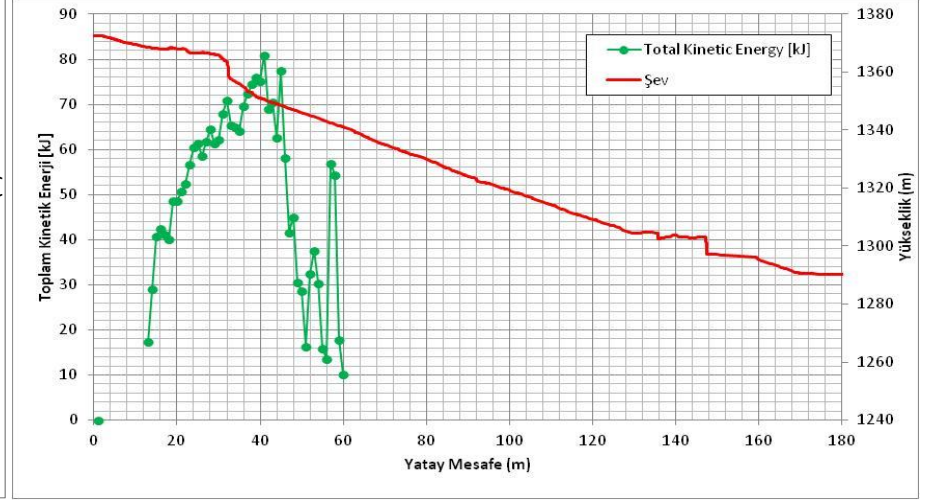
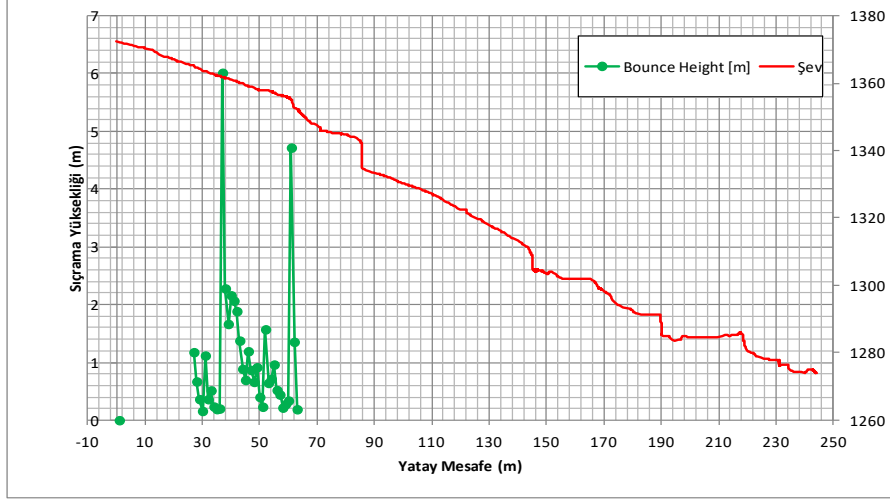
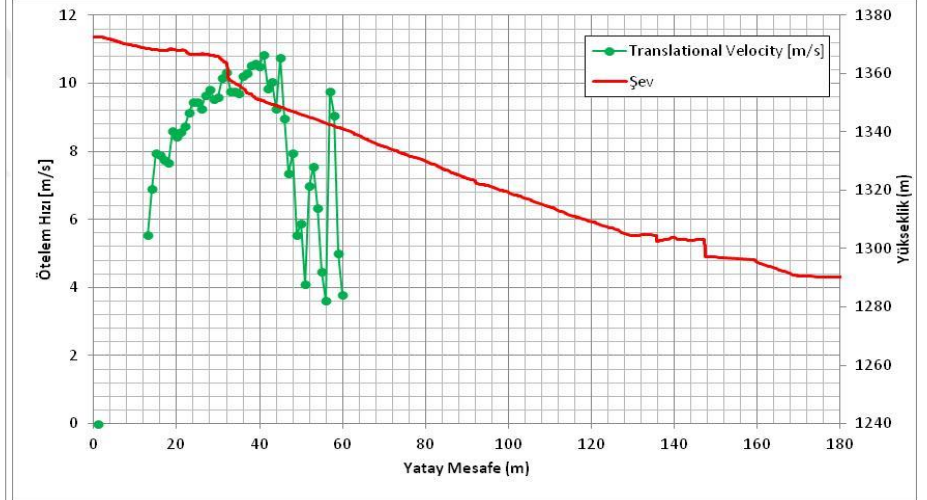
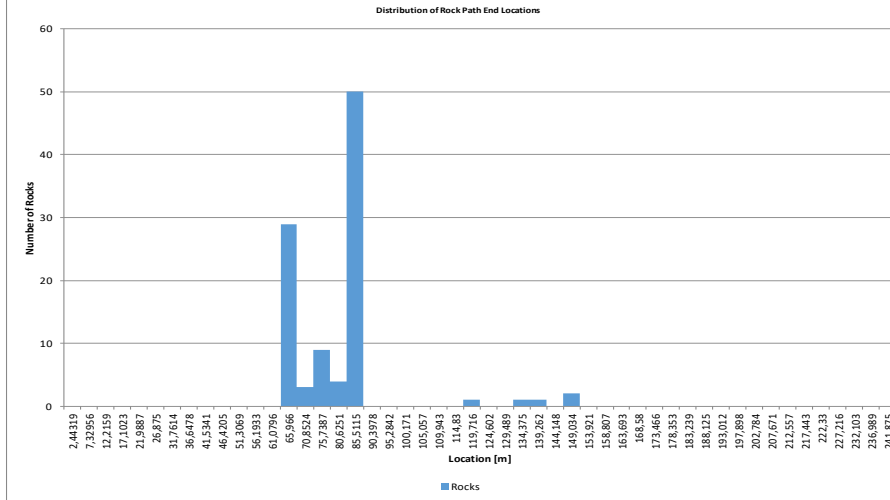


Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri

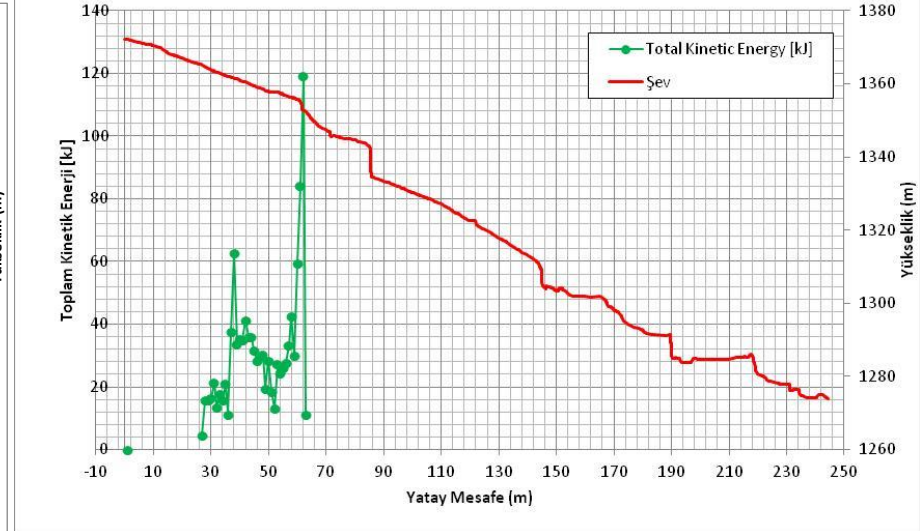
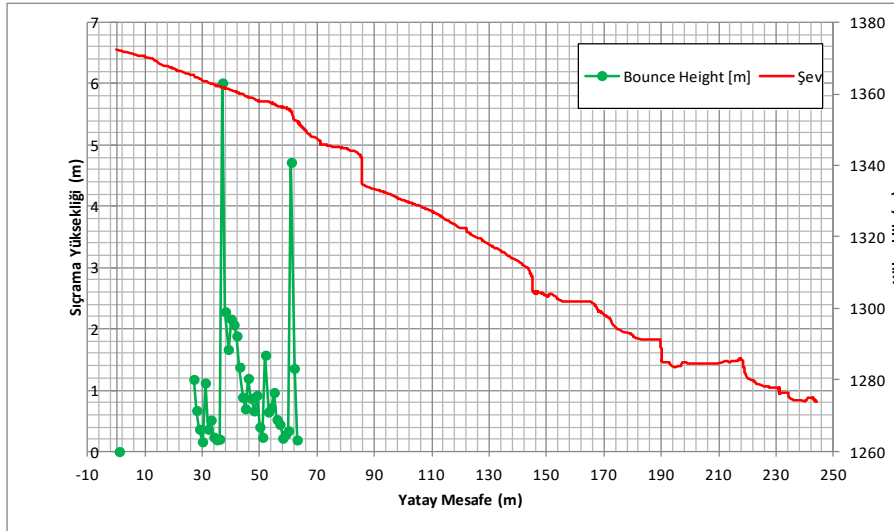
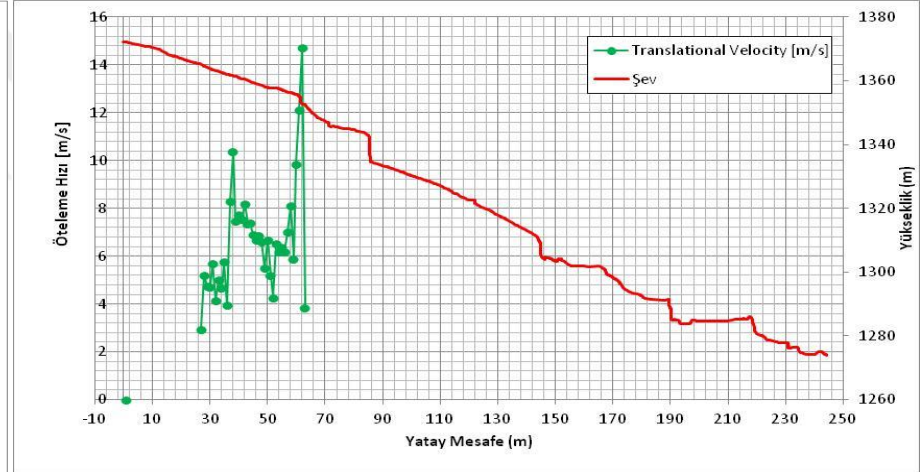
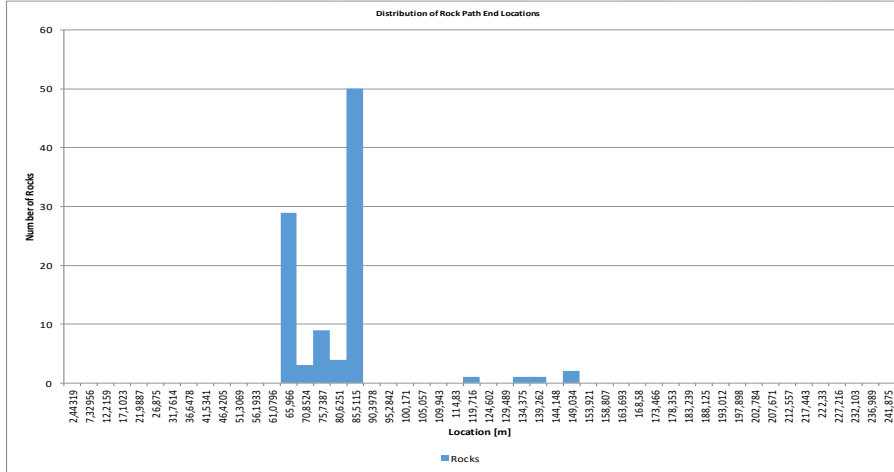


KESİT-1

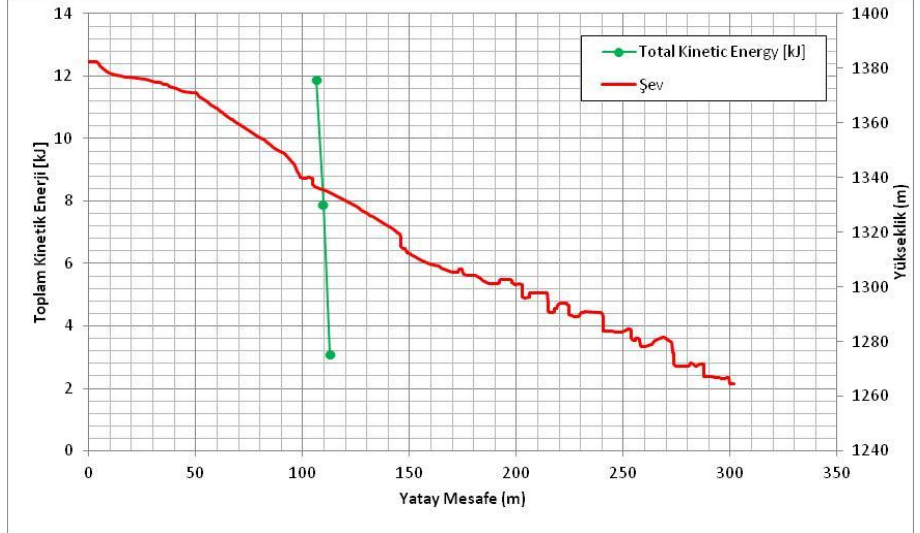
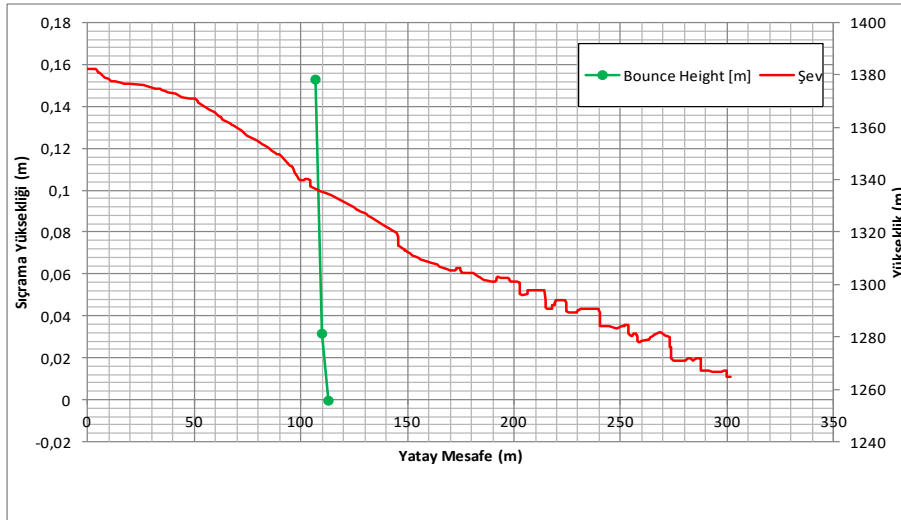
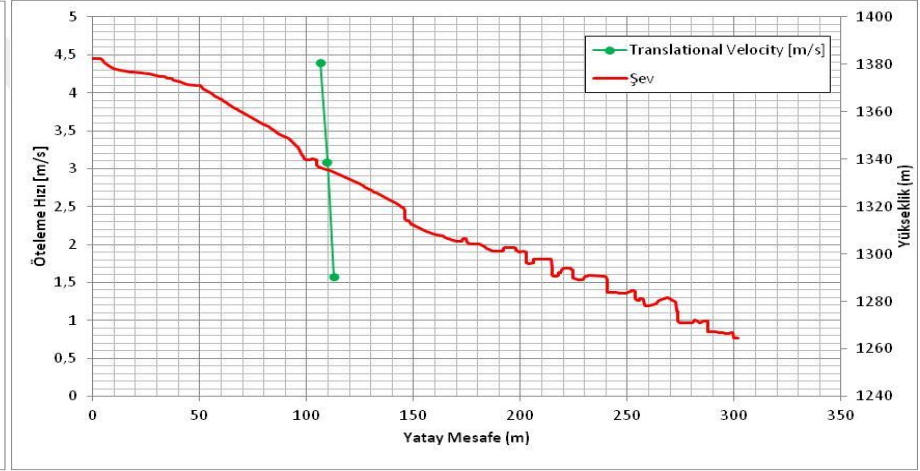
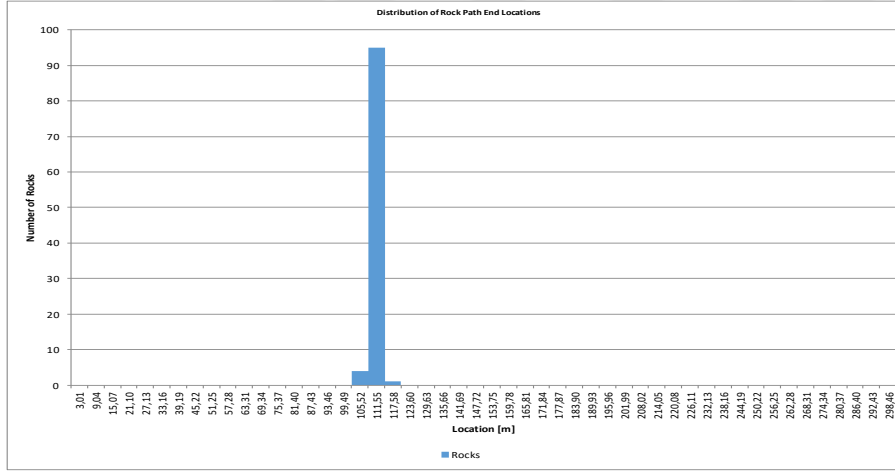
Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)



Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)

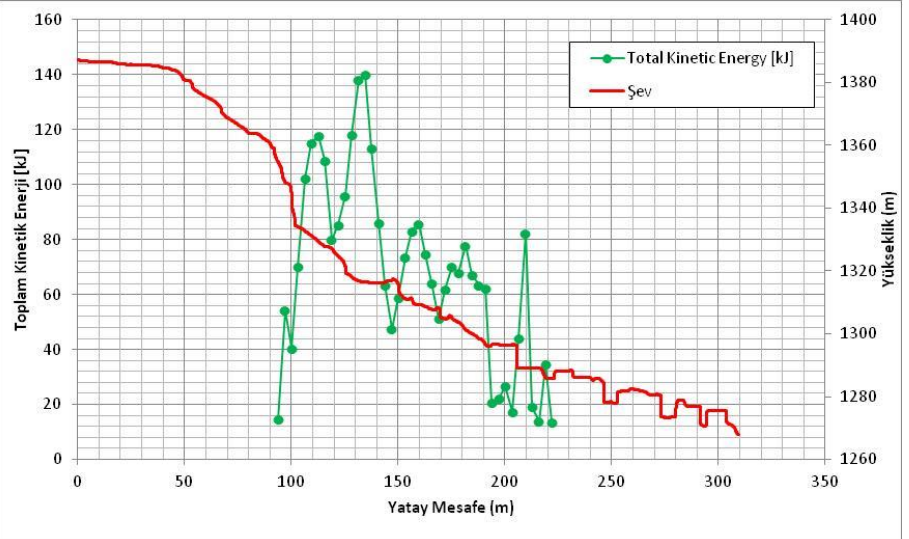
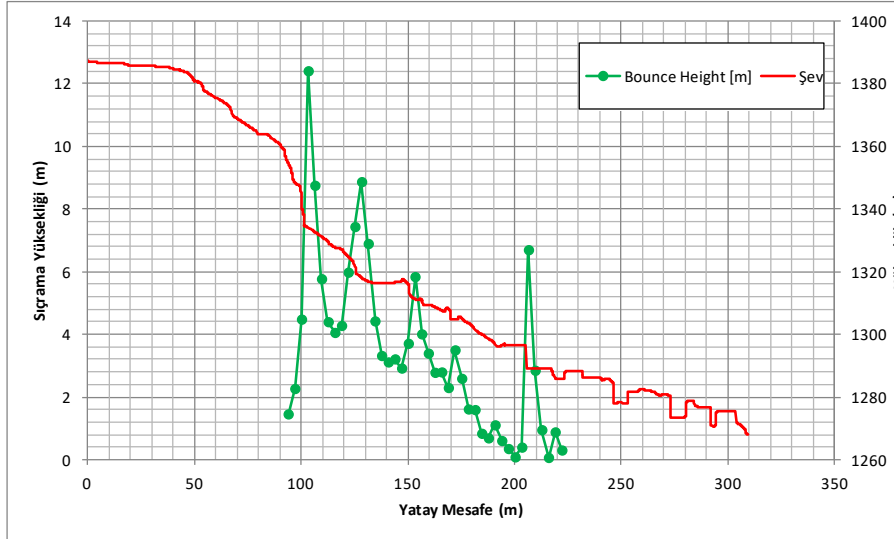
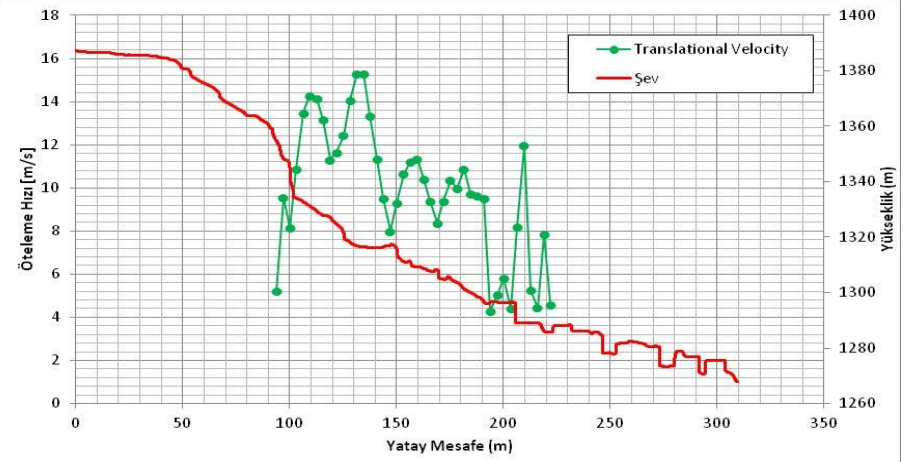
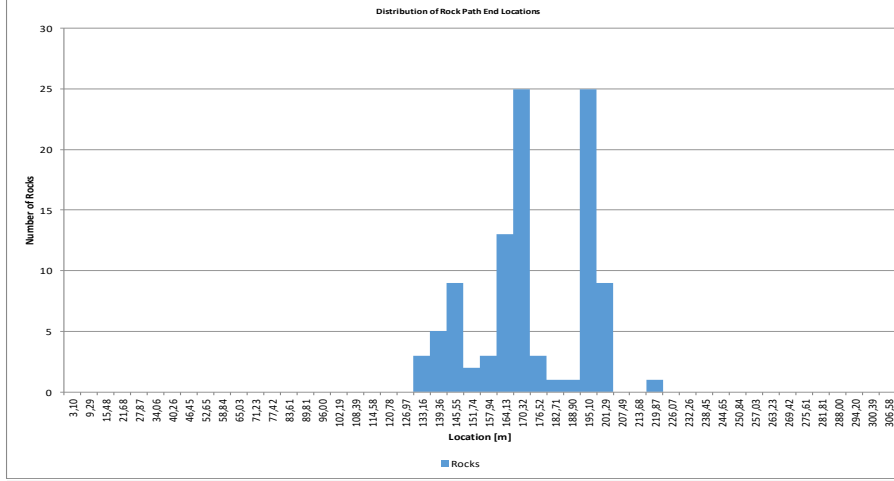


Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)

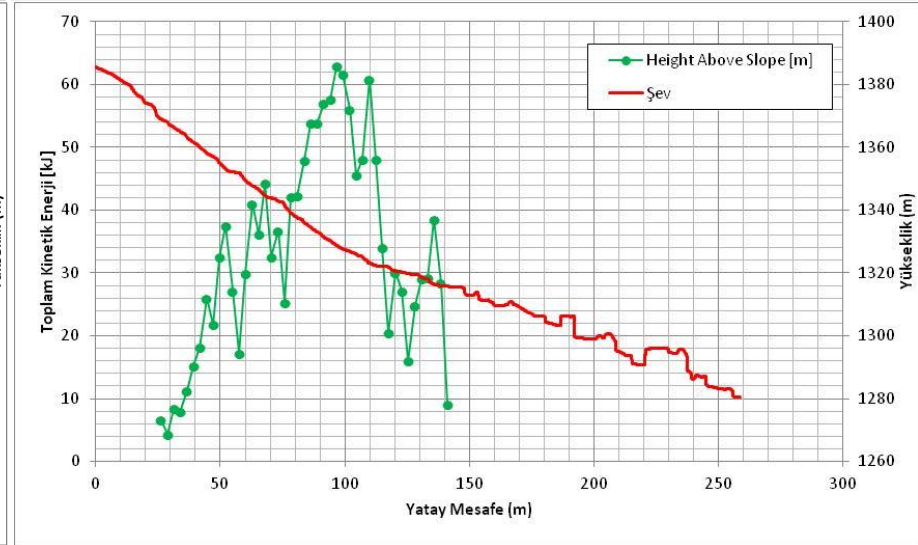
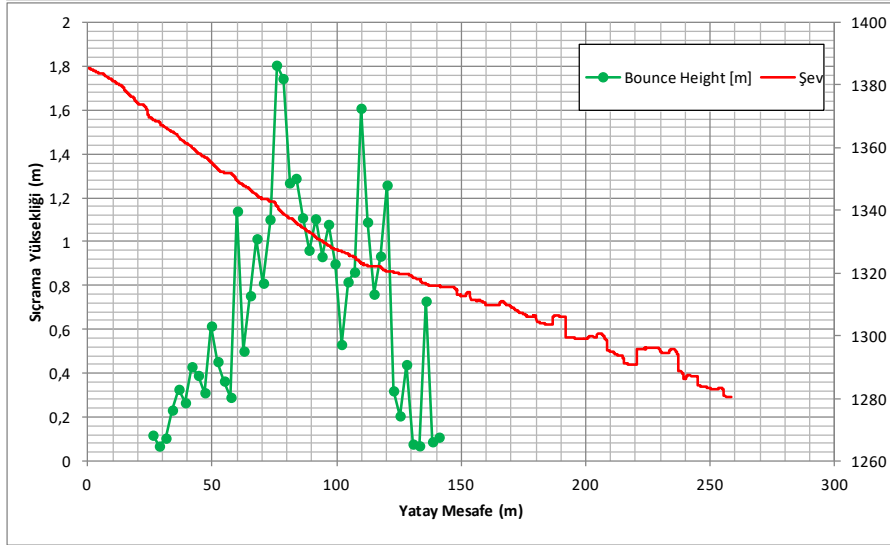
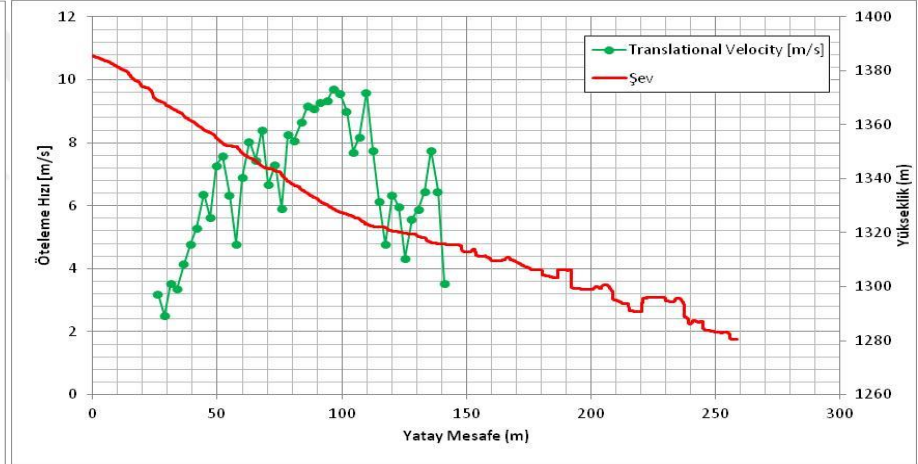
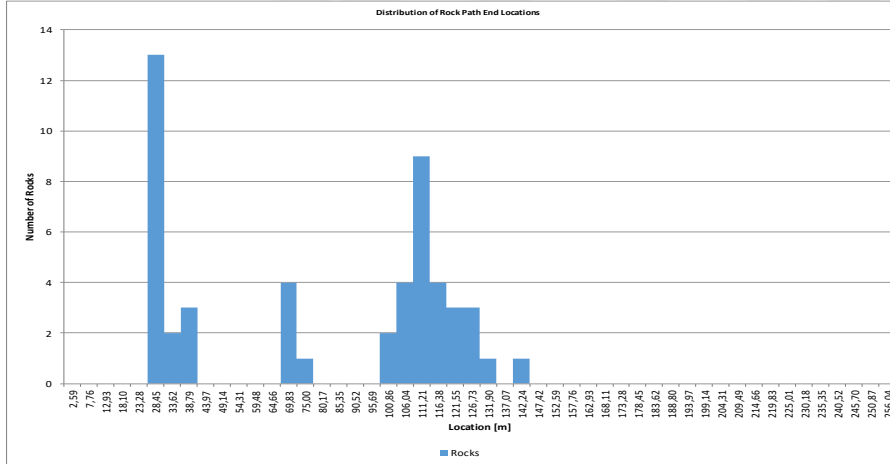


KESİT-4

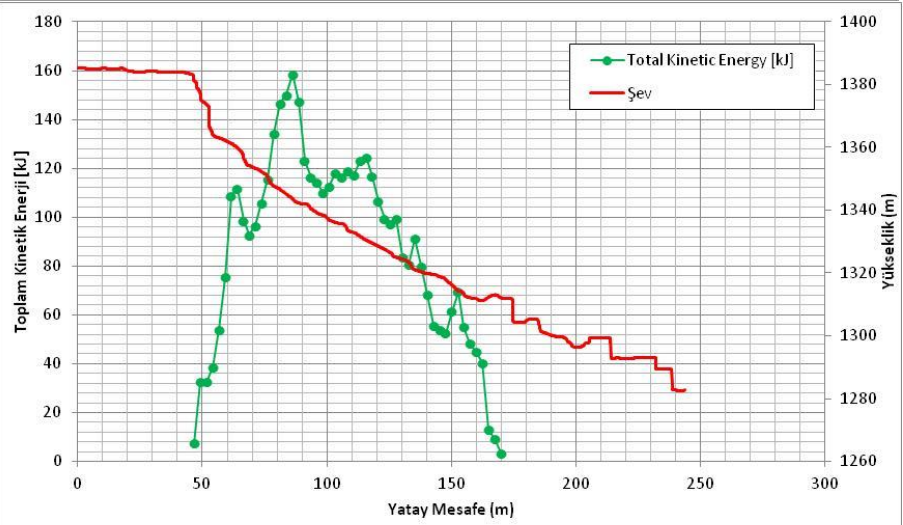
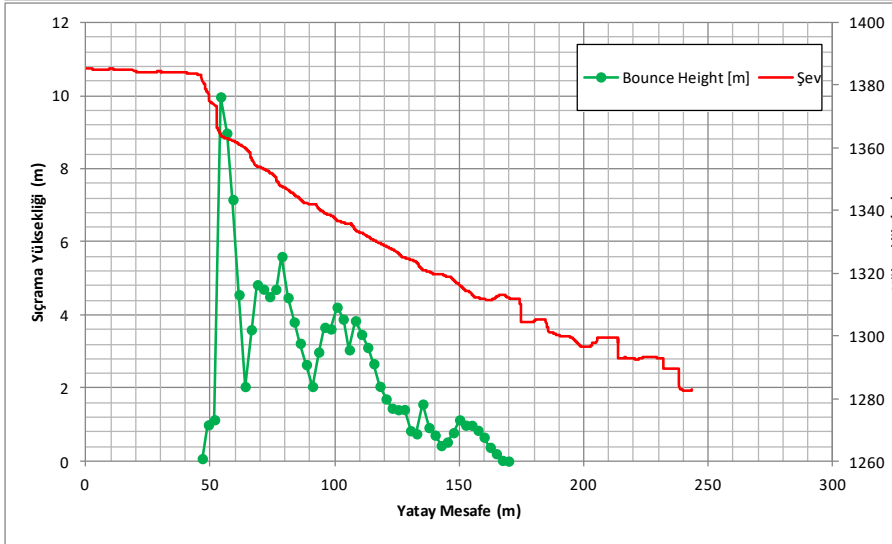
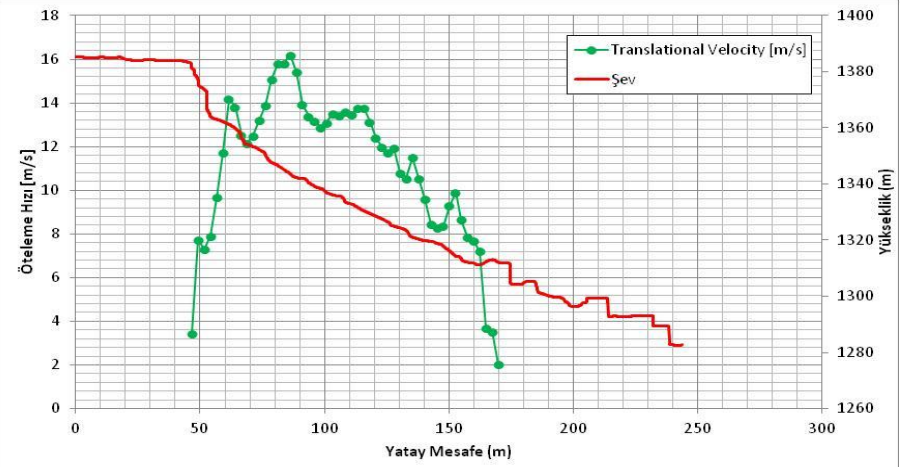
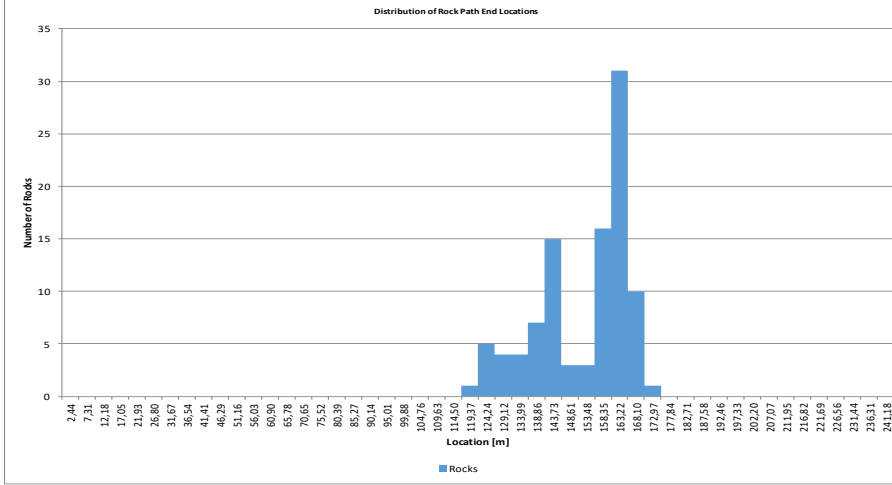
Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)



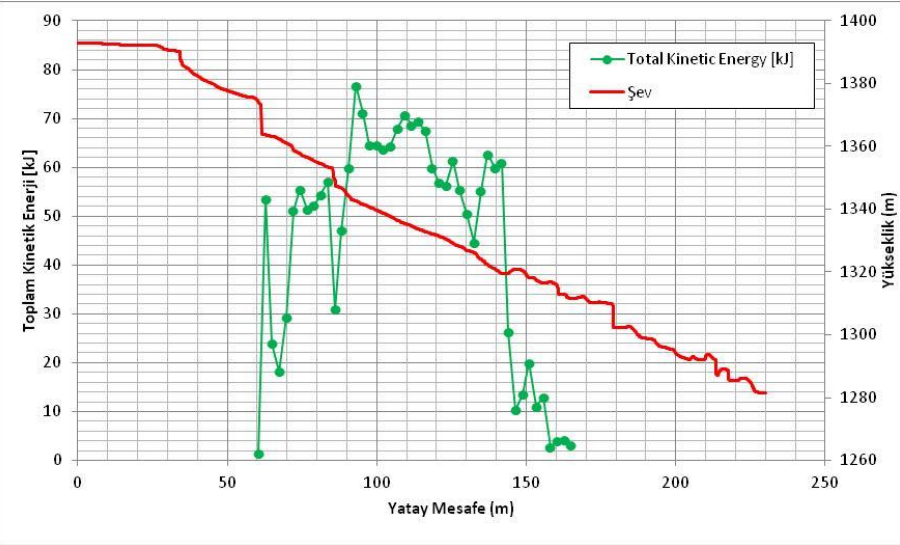
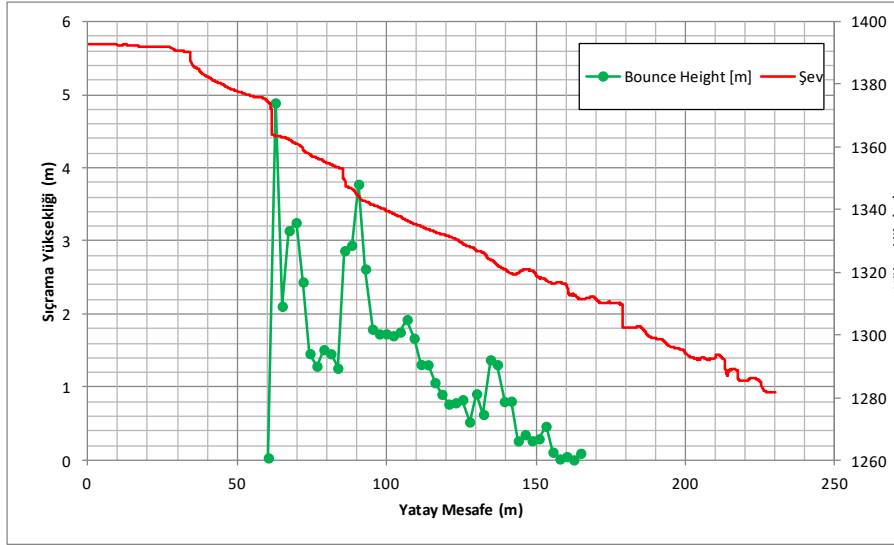
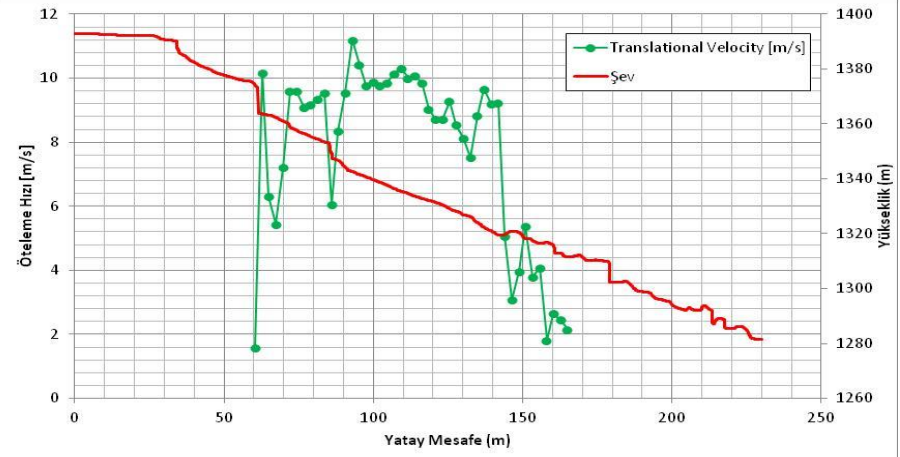
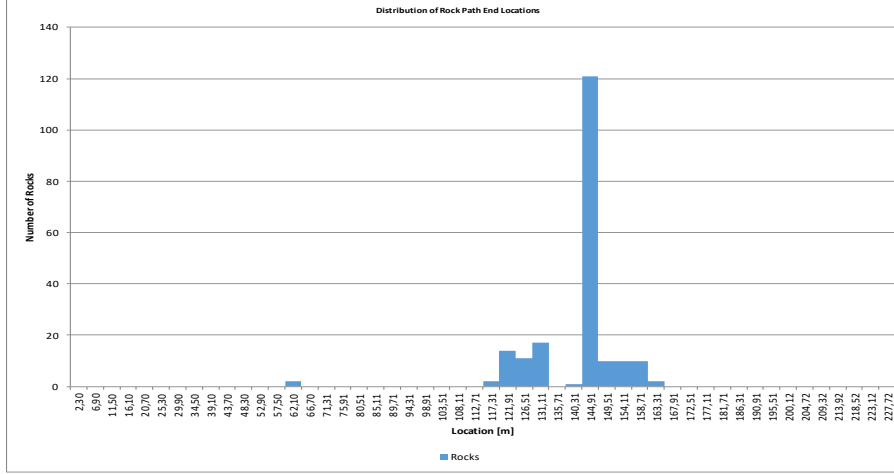
Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)



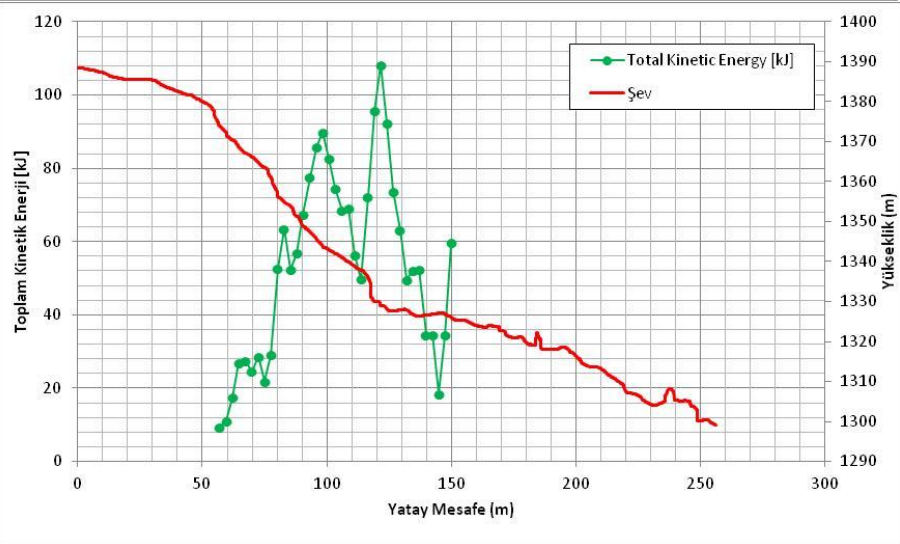
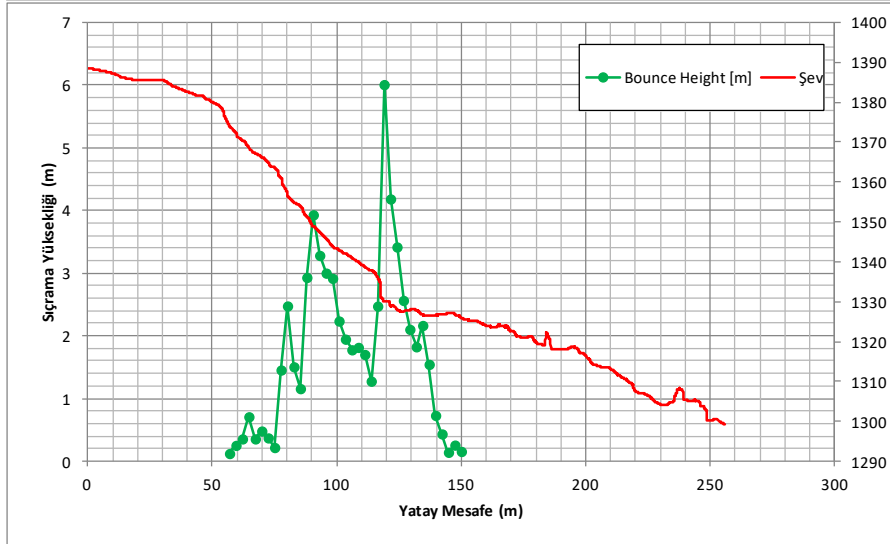
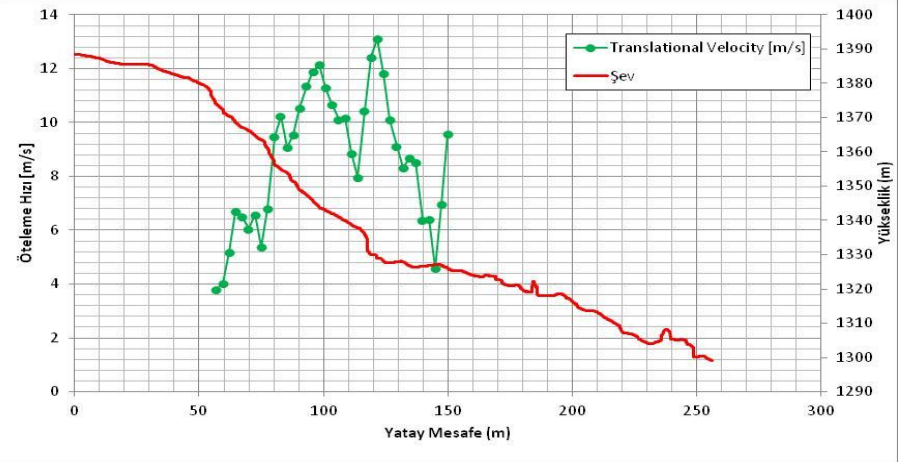
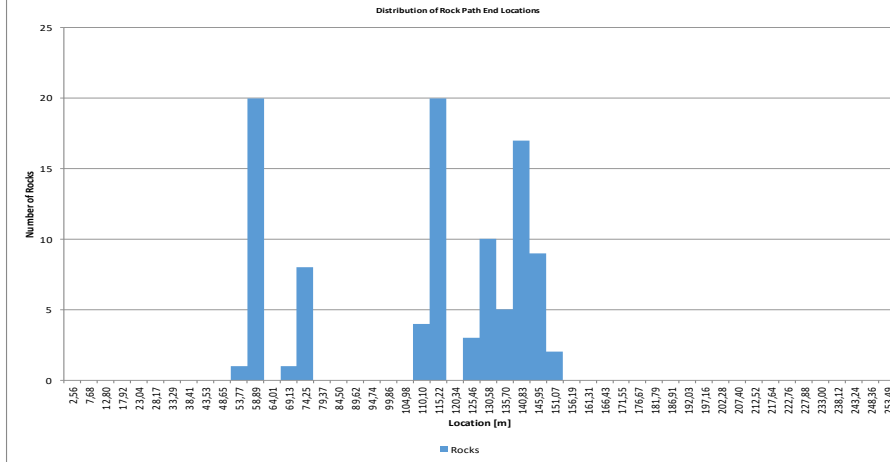
Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)



Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)



Kaya düşmesi simülasyon sonuç grafikleri (Devam ediyor)



ÖZGEÇMİŞ

Tufan KOÇYİĞİT 1993 yılında Ankara'da doğdu. İlkokul ortaokul ve lise öğrenimlerini Ankara'da tamamladı. Lisans öğrenimini 2012 yılında başladığı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde 2012 yılında mezun olarak tamamladı. 2016 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında başladığı yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

Adres: Atakent Mahallesi Ahi Mesud Bulvarı Cumhuriyet Sitesi 126/A Nu:18
Etimesgut /ANKARA

e-posta: kocyigitufan@gmail.com