

Kızılınler Mahallesinin (Tepebaşı, Eskişehir) Çevresindeki Kaya Düşmesi
Duraysızlıklarının Araştırılması ve Çözüm Önerileri

Fatih Kırbaş

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2019

Investigation of Rockfall Instabilities in the Vicinity of
Kızılınler District (Tepebaşı, Eskişehir) and Solutions Suggestions

Fatih Kırbaş

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Geological Engineering

April 2019

Kızılınler Mahallesi (Tepebaşı, Eskişehir) Çevresindeki Kaya Düşmesi
Duraysızlıklarının Araştırılması ve Çözüm Önerileri

Fatih Kırbaş

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Ali Kayabaşı

" Bu Tez ESOGÜ-BAP tarafından "2017-1343" no'lu proje çerçevesinde desteklenmiştir. "

Nisan 2019

ONAY

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Fatih Kırbaş'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Kızılınler Mahallesinin (Tepebaşı, Eskişehir) Çevresindeki Kaya Düşmesi Duraysızlıklarının Araştırılması ve Çözüm Önerileri” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ali Kayabaşı

İkinci Danışman : --

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Ali Kayabaşı

Üye : Prof. Dr. Zeynal Abiddin Ergüler

Üye : Prof. Dr. Erhan Altunel

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

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Ali Kayabaşı danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kızılinler Mahallesinin (Tepebaşı, Eskişehir) Çevresindeki Kaya Düşmesi Duraysızlıklarının Araştırılması ve Çözüm Önerileri” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 15/04/2019

Fatih Kırbaş

İmza

ÖZET

Heyelanlar oluşturduğu olumsuz etkilerden dolayı doğal afetler içinde önemli bir yer tutar. Heyelanlar, etkin oldukları bölgede yerleşim yerlerine can ve mal kaybı şeklinde zarar vermekle beraber aynı zamanda karayolları-demiryolları, bahçe veya ekili alanlar gibi ekonomik yapıları da etkiler. Ülkemizde birçok bölgede heyelanlar meydana gelmektedir. Bu heyelanlardan bazıları ciddi sosyal ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Heyelanlar veya kütle hareketleri, kaya, zemin veya her ikisinin karışımından oluşmuş malzeme içerisinde meydana gelmektedir.

Bu tez kapsamında Eskişehir Kızılınler köyü çevresinde bulunan yamaçlardaki bazaltlardan düşen kaya bloklarının incelenmesi yapılmıştır. Bu kayaçların bölgede bulunan tren yolunu tehdit edip etmediği incelenmiş ve herhangi bir can ve mal kaybı yaşanmaması için alınabilecek önlemlerin tespiti yapılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yaşları Triyas ile Holosen arasında değişen birimler yer almaktadır. En altta Triyas'da oluşmuş metamorfik-ofiyolitik-metadetritik tektonik birliği yer almaktadır. Bunların üzerine Jura-Kretase-Eosen-Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik kayaçlar yer almaktadır. Bu volkanik kayaçlardan inceleme alanında bulunan bazaltlar kaya çatlakları içinde suyun bulunması ve sık sık donma çözölmeye uğraması nedeni ile bloklar halinde düşmektedir. Bunlar en fazla ilkbahar ve kış mevsiminde görölmektedir. İnceleme alanında yapılan arazi çalışmalarında düşen kaya bloklarının çapları, jeolojik özellikleri, ana kayaya ve tren yoluna olan mesafesi ölçölmüştür. Ayrıca ana kayanın jeolojik özellikleri, eklem açıklıkları, eklem aralıkları çatlak yüzeyleri gibi özellikleri de incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, kaya düşmesi gibi duraysızlıklarda çözümleme yapan bilgisayar programlarında arazide alınmış bilgilere göre aynı çaplarda tek ve çoklu bloklar düşürölmüş ve bu blokların tren yoluna ulaşöp ulaşmadığı belirlenmiştir. Herhangi bir can ve mal kaybının yaşanmaması için düşen kaya bloklarının tren yoluna gelmesini önlemek amaçlı bariyer, hendek veya zemin değıştirilmesi gibi önlemler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya Düşmesi, Hat Etüdü, Tren Yolu, Kızılınler.

SUMMARY

Landslides take important place in natural disasters due to their negative effects. Landslides cause both the loss of lives and property at their active locations and disturb railroad and highways, gardens, cultivated fields like economic structures. Landslides occur in many regions of our country. Some landslides cause huge social and economical losses. Landslides occur from mass movements of rock, soil or both soil-rock mixture.

In this thesis, the basaltic rock falls at the slopes along the Kızılinler village of Eskişehir city were investigated. The rockfall risk for the railroad at the region was investigated and measures were suggested for any loss of life and property. Triassic aged metamorphic-ophiolitic-metadetrritic tectonic units the basement geologic units at the region. Jurassic to Pliocene aged sedimentologic and volcanic rocks overlie this basement unit. Basalt blocks of this volcanic unit the falling blocks. The freezing and thawing cycle in winter and spring seasons enlarge the discontinuities so basaltic blocks are falls especially in winter and spring seasons. The geologic structure of rockfall region, diameter and shape of falling rock blocks, the distance to the railroad were investigated. With the computer program a series of the investigated rock falls were modelled and falling scenarios were held. A mitigation suggestions such as barriers, trenches, changing basement properties were made also.

Keywords: RocFall, Line Survey, Railway, Kızılinler.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan, mesleki alanda birçok açıdan bana katkıda bulunan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Ali Kayabaşı'na sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamı proje kapsamında destekleyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Emirhan Yılmazbilek, Mehmet Emre Gül, İhsan Ateş, Emre Kaygısız, Caner Deniz'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu süreçte her zaman yanımda olup maddi ve manevi destek olup fedakârlık gösteren başta babam Yusuf Kırbaş olmak üzere canım aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eskişehir, 2019

Fatih KIRBAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Atalan Köyü Kaya Düşmesi	7
2.2. Yörücekaya Köyü Su Baskını ve Kaya Düşmesi	8
2.3. Yörük kırka Köyü Kaya Düşmesi	8
3. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ	12
3.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu	12
3.2. İklim ve Bitki Örtüsü	15
4. BÖLGENİN JEOLojİK VE HİDROJEOLojİK ÖZELLİKLERİ	16
5. MATERYAL VE YÖNTEM	22
5.1. Hat Etüdü Çalışmaları	26
5.1.1. Süreksizliklerin Yönelimi	27
5.1.2. Aralık	27
5.1.3.Devamlılık	28
5.1.4. Süreksizliklerin Pürüzlülüğü	29
5.1.5. Süreksizliklerin Açıklığı	30
5.1.6. Süreksizlerin Dolgu Özellikleri	31
5.1.7. Su Durumu	32
5.1.8. Bozunma Derecesi	32
5.1.9. Blok Boyutu	34
5.1.10. Schmidt Çekici ile Dayanım Belirlenmesi	36
5.2. Petrografik Analizler	38
6. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	40
6.1. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlığının Belirlenmesi	41
6.2. Porozite, Boşluk oranı ve Su Emme Oranının Belirlenmesi	41

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

7. KİNEMATİK ANALİZLER	45
7.1. Düzlemsel Kayma Analizi	47
7.2. Kama Tipi Kayma Analizi	49
7.3. Devrilme Türü Kayma Analizi	50
7.4. Kaya Düşmesine Yönelik Görgül Eşitliklerin Değerlendirilmesi	52
7.5. Kaya Düşmelerinin Bilgisayar Programı ile Değerlendirilmesi	59
7.5.1. Yamaç 1 için kaya düşme simülasyonları	63
7.5.2. Yamaç 2 için kaya düşme simülasyonları	63
7.5.3. Yamaç 3 için kaya düşme simülasyonları	64
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	68
8.1. Elastik ve Elastik Olmayan Bariyer Uygulaması	68
8.2. Hendek Uygulaması	74
8.3. Yamaç Zemini Özelliklerinin Değiştirilmesi	76
8.4. Kaya Bulonu, Püskürtme Beton ve Tel Örgü Kullanımı	76
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR DİZİNİ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Son 50 yılda afet olay sayısı bazında afet türlerinin dağılımı (Gökçe vd., 2008)	4
2.2. Türkiye heyelan sayısı dağılım haritası (Çan vd., 1999)	6
2.3. Yörükçürka köyünde düşme tehlikesi bulunan kaya bloklarından görüntüler (AFAD, 2014) .	10
2.4. İncelemeler sırasında Yörükçürka köyünün kurulduğu yamaç üzerinde görülen ve askıda bulunan serbest kaya blokları	11
3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası	13
3.2. Çalışma alanının uydu görüntüsü	14
3.3. Çalışma alanının üç boyutlu görünümü ve kaya düşmesi izlenen lokasyonlar	14
3.4. Eskişehir ili ve çevresi 1926-2016 yılları arası a) toplam ortalama aylık yağış (mm) b) aylık sıcaklık (c°) ortalaması	15
4.1. Eskişehir ve çevresi jeoloji haritası (Gözler vd., 1985'den değiştirilerek alınmıştır)	17
4.2. Kaya düşmeleri çevresi jeoloji haritası (Gözler vd., 1985'den değiştirilerek alınmıştır)	18
4.3. Kaya düşmelerini oluşturan bazalt lav akıntıları ve tüf biriminden bir görünüm	19
4.4. Çalışma alanındaki bazalt-tüf sınırı	20
4.5. Kaya düşmesi çeşitleri a) Ayrışma ve aşınma, b) Eklemlili kayaçlarda don etkisi, c) Eklemlili kayaçlarda hidrostatik basınç etkisi, d) Patlayıcı kullanımı, e) Dalga aşındırması, f) Akarsu topuk aşındırması (Ulusay., 2001)	21
5.1. Çalışma alanında yapılan hat etütleri	22
5.2. Çalışma alanından bir görünüm	23
5.3. Kaya düşmelerinin olduğu bazalt lav akıntıları ve düşen bloklardan örnekler	24
5.4. Sahada hat etüdü çalışmalarından bir görünüm	24
5.5. Kaya düşmesi gerçekleşen çalışma alanının yükseklik haritası	25
5.6. Kaya düşmesi gerçekleşen çalışma alanının eğim haritası	26
5.7. Sahada hat etüdü çalışmalarından bir görünüm	27
5.8. HT1'de süreksizlik aralıklarının histogram dağılımı	28
5.9. HT1'de süreksizlik aralıklarının histogram dağılımı	29
5.10. (A) Kalitatif pürüzlülük profilleri (B) Kantitatif pürüzlülük profilleri (ISRM,2007)	30
5.11. HT1'de süreksizlik açıklığı histogram dağılımı	31
5.12. HT1'de süreksizlik dolgusu histogram dağılımı	31
5.13. HT1'de süreksizlik bozunma histogram dağılımı	33
5.14. Exfoliasyon türü yamaç ayrışmasından bir görünüm	33
5.15. Çalışma alanında düşen blok hacmi dağılımı	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.16. Kaya düşmesi gerçekleşen yamaçtan demiryolu görünümü	35
5.17. Demiryoluna yakın düşmüş bloklardan bir görünüm	35
5.18. Düşen blok da Schmidt çekici sertlik ölçümünden bir görünüm	36
5.19. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Miller, 1996)	38
6.1. Bazalt lav akıntılarından laboratuvar deneyleri için alınan örnekler	40
6.2. Sahadaki tuf biriminden laboratuvar deneyleri için alınan örnekler	41
7.1. Kaya kütlelerinde gelişen duraysızlık türleri ve bunların stereonet görünümü (Hoek ve Bray, 1977)	45
7.2. Çalışma alanına ait RocLap1 programı değerlendirilmesi	46
7.3. Yamaç 1 de düzlemsel kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi	48
7.4. Yamaç 2 de düzlemsel kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi	48
7.5. Yamaç 3 de düzlemsel kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi	49
7.6. Yamaçlarda kama tipi kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi	50
7.7. Yamaç 1 de devrilme kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi	51
7.8. Yamaç 2 de devrilme kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi	51
7.9. Yamaç 3 de devrilme kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi	52
7.10. Bir kaya yamacından aşağı düşen kaya bloğunun, yamaç eğim açısına bağlı olarak yaptığı davranış türleri (Ritchie, 1963)	53
7.11. Kaya yamacı ve moloz yamacını gösteren bir kesit (A:ulaşım açısı B: gölge açısı) (Evans ve Hungry 1993; Wieczorek et al 2008)	54
7.12. (a)Toplam yuvarlanma(L)-Yamaç yüksekliği grafiği (H), korelasyon katsayısı: 0.995. (Ulaşım Açısı Modeli) b) Moloz yamacında yuvarlanma uzaklığı (Lt)-Moloz yüksekliği grafiği (Ht), korelasyon katsayısı:0.993 (Gölge Açısı Modeli) (c) Düşen kaya hacmi (M) ile Ulaşım açısı tanjant (H/L) grafiği, korelasyon katsayısı 0.5 civarında(d) Düşen kaya hacmi (M) ile Gölge açısı tanjant (Ht/Lt) grafiği, korelasyon katsayısı0.5 civarında (e) Değişik çalışmalardan derlenmiş düşen blok hacmi (M) ile ulaşım açısı (H/L) grafiği (f), Tek düşen blok hacmi (V) ile gölge açısı (Ht/Lt) grafiği. (R.Copon et al, 2009)	55
7.13. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde yamaç yüksekliği (m)-toplam yuvarlanma grafiği (m)	57
7.14. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde yamaç yüksekliği (m)-toplam yuvarlanma grafiği (m)	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

7.15. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen yamaç yüksekliği (Hm)- tahmin edilen yamaç yüksekliği (He) grafiği	58
7.16. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen yamaç yüksekliği Ht(m)- tahmin edilen yamaç yüksekliği He (m) grafiği	58
7.17. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen yamaç yüksekliği (H)/Yuvarlanma mesafesi (L) oranı- Hacim (M) grafiği	59
7.18. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen moloz yüksekliği (Ht)/ molozdan yuvarlanma mesafesi (Lt) oranı- Hacim (M) grafiği	59
7.19. Bilgisayar programında kaya düşmeleri senaryolarının yapıldığı yamaç konumları ve kesitleri	60
7.20. GB'dan KD yönünde Yamaç 1 görünümü	61
7.21. KB'dan GD yönünde Yamaç 2 görünümü	61
7.22. GD'dan KB yönünde Yamaç 3 görünümü	62
7.23. Yamaç 1 için kaya bloğu düşme simülasyonları ve blok dağılım histogram grafikleri a)1 adet 1m ³ b) 10 adet 1 m ³ c) 50 adet 1m ³ d) 1 adet 50 m ³ e) 10 adet 50 m ³ f) 50 adet 50 m ³) 1 adet 250 m ³ h) 10 adet 250 m ³ ı) 50 adet 250 m ³	65
7.24. Yamaç 2 için kaya bloğu düşme simülasyonları ve blok dağılım histogram grafikleri a)1 adet 1m ³ b) 10 adet 1 m ³ c) 50 adet 1m ³ d) 1 adet 50 m ³ e) 10 adet 50 m ³ f) 50 adet 50 m ³ g)1 adet 250 m ³ h) 10 adet 250 m ³ ı) 50 adet 250 m ³	66
7.25. Yamaç 3 için kaya bloğu düşme simülasyonları ve blok dağılım histogram grafikleri a)1 adet 1m ³ b) 10 adet 1 m ³ c) 50 adet 1m ³ d) 1 adet 50 m ³ e) 10 adet 50 m ³ f) 50 adet 50 m ³ g)1 adet 250 m ³ h) 10 adet 250 m ³ ı) 50 adet 250 m ³	67
8.1. Yamaç 1 için a) 250 m ³ hacimli 50 adet kaya bloğu düşme simülasyonu ve histogram dağılımı b) 250 m ³ ve 50 adet blok önünde 2m yüksekliğinde inelastik bariyer (1x10 ⁹ joule dayanımlı) c) 250 m ³ ve 50 adet blok önünde 2 m yüksekliğinde elastik bariyer ve blok dağılım histogram grafikleri (1x10 ⁹ joule dayanımlı)	69
8.2. Yamaç 2 için a) 250 m ³ hacimli 50 adet kaya bloğu düşme simülasyonu ve histogram dağılımı b) 250 m ³ ve 50 adet blok önünde 2m yüksekliğinde inelastik bariyer (1x10 ⁹ joule dayanımlı) c)) 250 m ³ ve 50 adet blok önünde 2 m yüksekliğinde elastik bariyer ve blok dağılım histogram grafikleri (1x10 ⁹ joule dayanımlı)	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil

Sayfa

- 8.3. Yamaç 3 için a) 250 m³ hacimli 50 adet kaya bloğu düşme simülasyonu ve histogram dağılımı b) 250 m³ ve 50 adet blok önünde 2m yüksekliğinde inelastik bariyer (1x10⁸ joule dayanımlı) c) 250 m³ ve 50 adet blok önünde 2 m yüksekliğinde elastik bariyer ve blok dağılım histogram grafikleri (1x10⁸ joule dayanımlı) 73
- 8.4. Yamaçlarda hendek tasarımları a) yamaç 1 b) yamaç 2 c) yamaç 3 75



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Afet türüne göre, afet olay sayısı ve afettede sayılarının genel dağılımı (Gökçe vd.,2008)	1
2.1. Türkiye’de 1958-2008 yılları arasındaki kaya düşme vakaları	5
2.2 AFAD kayıtlarına göre Eskişehir ili kaya düşme vakaları	7
5.1 Süreksizlik aralığı sınıflandırması (ISRM, 2007)	28
5.2 Süreksizlik devamlılığı sınıflandırması (ISRM, 2007)	29
5.3 Süreksizliklerin açıklığı	30
5.4 Sızma durumunun değerlendirilmesi (ISRM, 2007)	32
5.5 Schmidt çekici sertlik ölçümleri ve değerlendirilmesi	37
6.1 Kızılınler kaya düşmesi bölgesi bazalt lavlarından alınan örnekler üzerinde yapılan indeks deneyleri sonuçları	42
6.2 Kızılınler kaya düşmesi bölgesi tuf birimlerinden alınan örnekler üzerinde yapılan indeks deneyleri sonuçları	44
7.1 Eklem setleri ve yamaç eğim/eğim yönü bilgileri	47
7.2 Çalışma alanında düşen blokların değerlendirilmesi	56
7.3 Yamaç 1 özellikleri	63
7.4 Yamaç 2 özellikleri	64
7.5 Yamaç 3 özellikleri	64
8.1 Bariyer uygulaması için yamaç 1 özellikleri	68
8.2 Bariyer uygulaması için yamaç 2 özellikleri	70
8.3 Bariyer uygulaması için yamaç 3 özellikleri	72
8.4 Kaya düşmelerinde tel örgü önerileri (Muhunthan et al., 2005)	76
8.5 Yamaç yüksekliği-kaya blonu önerileri (Muhunthan et al., 2005)	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler****Açıklama**

Φ İçsel Sürtünme Açısı

Kisaltmalar**Açıklama**

Pl β Pliyosen yaşlı bazaltlar

Qal Kuvaterner yaşlı alüvyon

AFAD Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

DSİ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

MTA Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Doğal veya insan kaynaklı nedenlerle oluşarak insanların sosyal fonksiyonlarını kesintiye uğratan ve sosyal, ekonomik ve çevresel kayıplara neden olan doğal veya teknolojik olaylar afet olarak tanımlanmaktadır. Ülkemiz jeolojik, jeomorfolojik yapısı ve sahip olduğu iklimsel özellikleri nedeni ile büyük can ve mal kaybına yol açan doğal afetlerle sık sık karşılaşmaktadır. Çizelge 1.1’de depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına yol açan afetlere ait değerlendirmeler görülmektedir. Heyelan ve kaya düşmesi afet türleri ülkemizde ilk sırada gerçekleşmektedir. 1950-2008 yılları arasında gerçekleşen kaya düşmesi afeti 2956 adettir. Sadece kaya düşmesinden etkilenen toplam afetzede sayısı ise 19422’dir.

Çizelge 1.1. Afet türüne göre, afet olay sayısı ve afetzede sayılarının genel dağılımı (Gökçe vd.,2008)

AFETLER	AFET OLAY SAYISI	AFETZEDE				ETKİLENEN TOPLAM AFETZEDE SAYISI (ETKİLİ+İLAVE+ETKİSİZ-İPTAL)
		ETKİLİ NAKİL	İLAVE NAKİL	ETKİSİZ NAKİL	NAKİL İPTALİ	
HEYELAN	13494	65759	2622	3998	13034	59345
KAYA DÜŞMESİ	2956	19699	935	2442	3654	19422
SU BASKINI	4067	29020	506	1197	8566	22157
DEPREM	5318*	157794	45	637	235	158241
DİĞER AFETLER	1175	11309	8	85	2165	9237
ÇİĞ	731	4409	181	336	542	4384
ÇOKLU AFETLER**	2024	17221	629	838	6478	12210
TASNİF EDİLMEMİŞLER	42	0	0	0	0	0
TOPLAM	29807	305211	4926	9533	34674	284996

*Deprem için olay sayısı, 1950’lerden bu yana meydana gelen deprem sayısı anlamına gelmemektedir. Meydana gelen depremlerde etkilenen ve gerektiğinde birden çok kez etüt edilen ve hasar tespit çalışması yapılan yerleşim birimleri sayısını belirtmektedir.

**Çoklu afetler, bir yerleşim biriminde aynı anda meydana gelen birden fazla afet olayları anlamındadır.

Kaya düşmesi genellikle yataya yakın tabakalı, yumuşak külteler üzerinde asılmış durumda bulunan çatlaklı kayalarda meydana gelir. Altındaki hızlı aşınabilen kaya kütlesi (dip oyulması) zamanla taşınarak üstteki sert kısım askıda kalır ve zamanla kaya düşmesi şeklindeki hareketi oluşturur. Bu durum, heterojen ortamlarda daha sık görülür.

Düşen kaya bloklarının eğimli yamacın eteğindeki meskûn sahaya, kara ve demir yoluna doğru artan bir hızla yuvarlanmaları beklenmedik bir anda büyük zararlara sebep olur. Olayın sık sık tekrarlanması halinde bir afet şekline dönüşebilir.

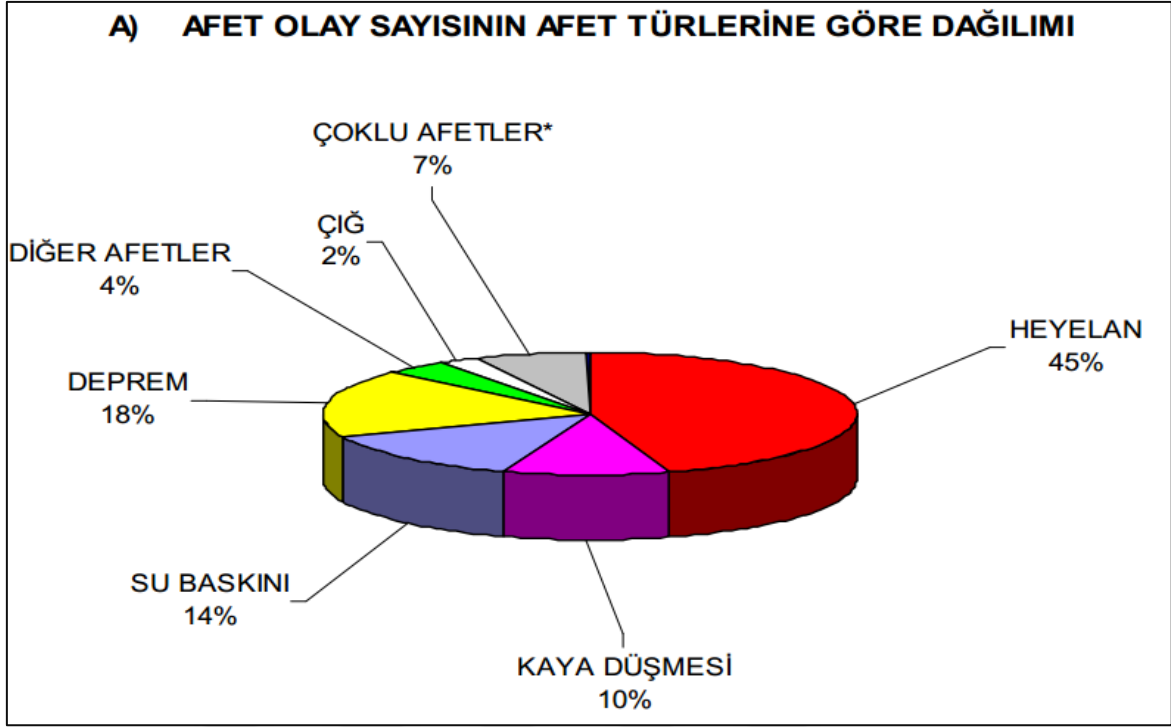
Ülkemizde birçok yerleşim birimi çeşitli doğal afetlerle karşı karşıya olduğu gibi; Eskişehir'in güneybatısında kalan Kızılınler mahallesi civarında bulunan tren yolu da, bölgede bulunan bazaltlar nedeniyle kaya düşmesi tehdidi altındadır. Bu oluşabilecek tehditlere karşı alınabilecek önlemler, çalışmanın amacı olmuştur. Bu amaç doğrultusunda, arazi çalışmaları ve RocFall programı kullanarak çeşitli düşme simülasyonları ile tehdidin boyutları belirlenmeye çalışılmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kaya düşmeleri, dik topoğrafyaya sahip alanların yüksek kotlarında yüzeyleyen eklemlili kaya ortamlarında, süreksizliklerin sınırlandırdığı kaya bloklarının serbest yüzeye doğru küçük hareketlerde duraylılığını yitirerek, kaynak bölgeden eğim aşağı yönde oldukça hızlı hareket ettiği bir tür yamaç duraysızlığıdır (Varnes, 1978; Hutckinson, 1988; Cruden ve Varnes, 1996). Şekil 2.1’de görüldüğü gibi son 50 yılda ülkemizde oluşan afetlerin %55’ini heyelan ve kaya düşmelerinden oluşan afetler oluşturmaktadır. 1950-2005 yılları arasında kaya düşmesine maruz kalan yerleşim birimi sayısı 899’dur (Gökçe vd., 2008). Kaya düşmesi, sert ve yumuşak tabakaların üst üste geldiği eğimli yamaçlarda korniş biçimindeki kütlelerin farklı aşınım ile dengelerini kaybedip eğim boyunca yuvarlanmaları ile ilgili doğal bir olaydır. Düşen kaya bloklarının eğimli yamacın eteğindeki sahaya, yerleşim birimlerine, karayoluna ve demiryoluna doğru artan bir hızla yuvarlanmaları beklenmedik bir anda büyük zararlara sebep olur. Olayın sık tekrarlanması halinde bir afet şekline dönüşebilir.

Gökçe vd.ne (2008) göre; aynı yerleşim biriminde değişik zamanlarda birden fazla gerçekleşen olay sayıları da dikkate alınarak, heyelanların (heyelan ve kaya düşmesi) 16,450 olay sayısı ile tüm afetler içerisinde %55,2’lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. Herhangi bir doğal afete uğramış ve afet bölgesi ilan edilerek etkili nakli gerçekleştirilen konutların dağılımına bakıldığında, heyelan olayları nedeniyle gerçekleştirilen nakiller %28’lik gibi önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ülkemizde heyelanların yol açtığı kayıpları azaltmak, heyelanların mekânsal dağılımı ile bunları kontrol eden çevresel faktörlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve belirli bir standartta ulusal düzeyde sayısal heyelan veri tabanının oluşturulması amacıyla, MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1997 yılında “Türkiye Heyelan Envanter Haritası” projesine başlanmıştır. Söz konusu proje kapsamında orta (1:25.000), bölgesel (1:500.000) ve ulusal (1:1.500.000) ölçekte Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında sayısal heyelan envanter haritaları üretilerek heyelan veri tabanı MTA Genel Müdürlüğü web sayfasında, Yerbilimleri Portalı altında Web sunucusuna yüklenerek yasal uyarılar kapsamında tüm kullanıcıların hizmetine sunulmuştur.



Şekil 2.1. Son 50 yılda afet olay sayısı bazında afet türlerinin dağılımı (Gökçe vd., 2008).

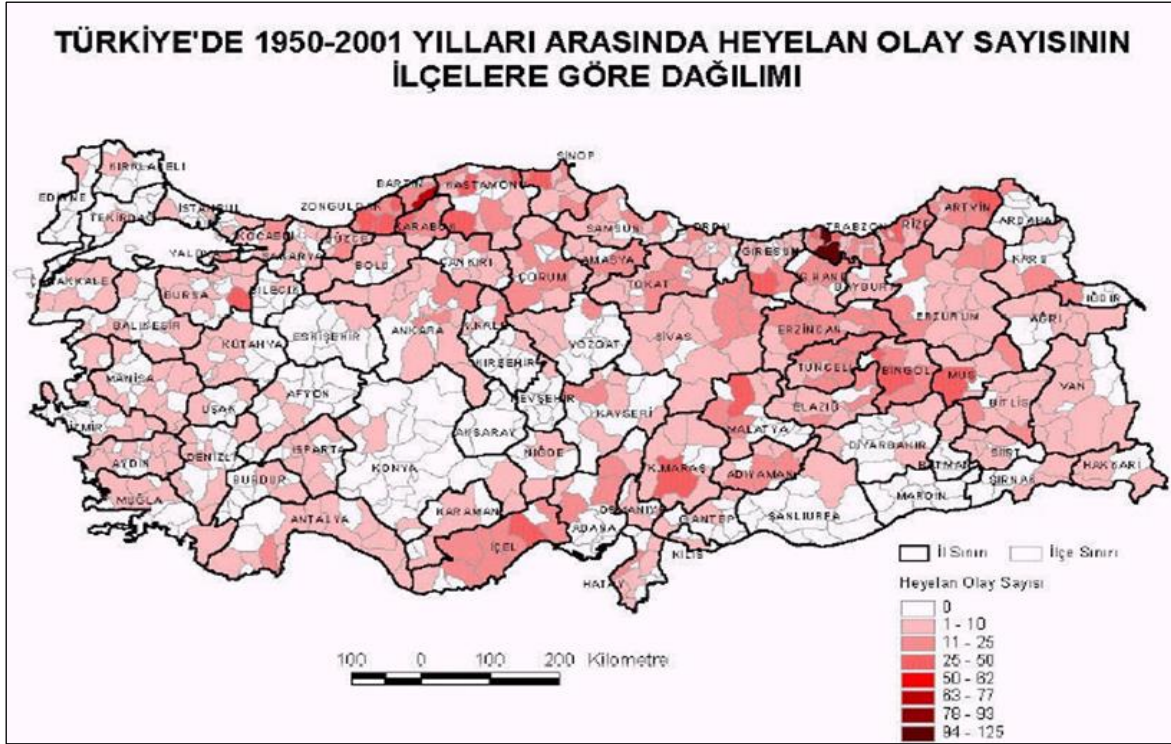
Bu tez çalışmasında, Eskişehir ilinin GB'sında bulunan Kızılınler Mahallesi'nin çevresindeki bazalt bloklarındaki kaya düşmelerinin incelenerek, ana kayadan düşen blokların ortalama 90 m uzaklıktaki demir yoluna olası etkisinin ve zarar verebilme ihtimalinin belirlenmesi ve sonra herhangi bir can ve mal kaybına neden olmaması için alınabilecek önlemlerin bulunması ve incelenmesi amaçlanmıştır.

Kaya düşmeleri, İç Anadolu bölgesinin bazı kısımları ile Doğu Anadolu bölgesinde etkin olan bir diğer doğal afet türüdür. Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün arşiv verilerine göre, Türkiye'de 1958 yılından bu yana 750 kaya düşmesi olayı meydana gelmiş ve bu olaylar sonucunda 34 kişi hayatını kaybetmiş, 26,500 konut etkilenmiş ve yerleri değiştirilmiştir. Türkiye'de kaya düşmesi tehlikesi ve riskinin en yüksek olduğu 15 il aşağıdaki Çizelge 2.1'de verilmektedir (Ergünay, 2007).

Çizelge 2.1. Türkiye’de 1958-2008 yılları arasındaki kaya düşme vakaları.

Derece	İl	Olay Sayısı	Riske Maruz Nüfus
1	Kayseri	34	10,000
2	Niğde	28	8,400
3	Erzincan	20	6,000
4	Aksaray	18	5,400
5	Karaman	17	5,100
6	K. Maraş	16	4,800
7	Adıyaman	16	4,800
8	Sivas	14	4,200
9	Bitlis	13	3,900
10	Diyarbakır	12	3,600
11	Nevşehir	12	3,600
12	Mardin	10	3,000
13	Malatya	9	2,700
14	Hakkari	9	2,700
15	Kars	7	2,100
Toplam			70,300

MTA (2009) tarafından hazırlanan 1950-2001 yılları arasında heyelan olayı sayısının ilçelere göre dağılım haritasına göre inceleme alanında heyelan oluşmamıştır (Şekil 2.2). Buna karşın, Eskişehir İl Afet Acil Durum Müdürlüğü kayıtlarına göre il genelinde meydana gelen afetlerin tür, lokasyon ve yapılan işlemlere ilişkin veriler Çizelge 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye heyelan sayısı dağılım haritası (Çan vd., 1999).

Çizelge 2.2. AFAD kayıtlarına göre Eskişehir ili kaya düşme vakaları.

SIRA NO.	İLÇESİ	BELDESİ	KÖYÜ	AFETİN TÜRÜ	AFETİN TARİHİ RAPORUN TARİHİ	GENEL HAYATA ETKİLİLİĞİ	AÇIKLAMALAR
1	MIHALIÇCIK		GÜRLEYİK	HEYELAN	07.07.1999	ETKİSİZ	AKTİF+POTANSİYEL
2	MIHALIÇCIK		DİNEK	HEYELAN	15.10.1963	?	RAPORDA NAKİL İSTENMİŞ
3	BEYLİKOVA	BEYLİKOVA		SEL	10.08.1997	ETKİSİZ	
4	MIHALGAZI	ALPAGUT		HEYELAN	25.02.1994	ETKİLİ	11.12.1995 TARİH VE 95/7668 SAYILI BAKANLAR KURULU KARARI
5	MERKEZ		KARATEPE	SEL	08.07.1995	ETKİSİZ	
6	MIHALIÇCIK		GÜRLEYİK	YANGIN	26.09.1994	ETKİSİZ	
7	HAN		YAZILIKAYA	KAYA DÜŞMESİ	16.03.1994	ETKİSİZ	YOL ÜZERİ
8	MIHALGAZI	SAKARILICA		KAYA DÜŞMESİ	27.08.1992	ETKİSİZ	
9	HAN		YAZILIKAYA	KAYA DÜŞMESİ	07.10.1989	ETKİSİZ	KÖYÜ
10	SEYİTGAZI	SEYİTGAZI		KAYA DÜŞMESİ	11.01.1990	ETKİSİZ	TÜRBENİN KUZEYDOĞU YAMACI
11	MIHALIÇCIK		NARLI	HEYELAN	16.10.1986	ETKİSİZ	HEYELAN YOK - 2.RAPOR TARİHİ 12.02.1987
12	MIHALIÇCIK		OBURUK	KAYA DÜŞMESİ	30.09.1985	ETKİSİZ	
13	MERKEZ		KARAGÖZLER	SEL	08.08.1991	ETKİSİZ	
14	HAN	HAN		SEL	13.08.1989	ETKİSİZ	
15	MERKEZ		YÖRÜK KARACAÖREN	KAYA DÜŞMESİ	13.11.1984	ETKİSİZ	
16	SEYİTGAZI	KIRKA		SEL	18.12.2001	ETKİSİZ	
17	MAHMUDİYE	MAHMUDİYE		SEL	?	ETKİSİZ	
18	ALPU	BOZAN		SEL	?	ETKİSİZ	
19	ÇİFTELER	ÇİFTELER		SEL	01.08.2001	ETKİSİZ	
20	GÜNYÜZÜ	GÜMÜŞKONAK		SEL	?	ETKİSİZ	
21	MIHALIÇCIK		ÇALKAYA	HEYELAN		ETKİLİ	
22	SARICAKAYA		DAĞKÜPLÜ	HEYELAN	24.01.1965	ETKİSİZ	BİLİNEN DİĞER RAPORLAR 10.07.1970 - 08.11.1990 - 21.05.1999 KONTROL ETÜTLERİ DEVAM
23	MIHALIÇCIK		KAVAK	HEYELAN	24.03.1972	ETKİSİZ	BİLİNEN DİĞER RAPORLAR 25.07.1973 - 30.07.1982 - 21.05.1999 KONTROL ETÜTLERİ DEVAM
24	MERKEZ		YÖRÜK KIRKA	KAYA DÜŞMESİ	04.06.1984	ETKİLİ	İSLAH EDİLDİ
25	MERKEZ		ATALAN	KAYA DÜŞMESİ	17.05.1996	ETKİLİ	İSLAH EDİLDİ
26	MERKEZ	ÇUKURHISAR		SEL	11.04.1982	ETKİSİZ	
27	MERKEZ	ÇUKURHISAR		SEL	04.06.1986	ETKİSİZ	08.06.1986'DA TEKRARLAMIŞ
28	SEYİTGAZI		BARDAKÇI	YANGIN	29.12.1984	ETKİSİZ	
29	MERKEZ		MAMUCA	KAYA DÜŞMESİ	30.10.1984	ETKİSİZ	HAVA İKMAL DEPOSUNUN BULUNDUĞU YERDE - KAYA DÜŞMESİ RİSKİ YOK
30	SİVRİHISAR		MÜLK	KAYA DÜŞMESİ	08.10.1968	ETKİLİ	İSLAH EDİLDİ
31	MIHALIÇCIK		SAZAK	KAYA DÜŞMESİ	17.03.1992	ETKİLİ	İSLAH EDİLDİ
32	MIHALIÇCIK		DİKÖZÜ	HEYELAN		ETKİSİZ	SU DEPOSU MEVKİİ
33	MIHALIÇCIK		GÜRLEYİK	KAYA DÜŞMESİ		ETKİSİZ	ÖTEYAKA MAHALLESİ

AFAD kayıtlarına göre plan sahası içerisinde yer alan Yörükkaraca (1984), Yörükkaracaören (1984), Atalan (1996) ve Namlica (1984) köylerinde kaya düşmesi türünden kütle hareketleri meydana gelmiştir. EBB Nazım İmar Planı alanı içerisinde kayıtlara geçen kütle hareketleridir. Çevre ilçe köylerinde meydana gelen kaya düşmeleri, literatürde şu şekilde yer almaktadır:

2.1. Atalan Köyü Kaya Düşmesi

Eskişehir il merkezinin 23 km kuzeyinde yer alan Atalan köyünde 1996 yılında AFAD teknik elemanları tarafından kaya düşme tehlikesine yönelik Jeolojik Etüd Raporu hazırlanmıştır. Hazırlanan raporda Atalan Köyü ve yakın dolayında klorit şistler ve peridotitlerin yüzeylendiği, şistler ileri derecede bozuşmuş olup, süreksizlik yüzeylerinde killeşmeler gözlemlendiği belirtilmiştir. Ayrıca, köy merkezinde yüksek eğimli yamaçların üst

kotlarında bulunan 40-50 m³ büyüklüğünde kaya bloklarının düşme riski bulunduğu ve 6 hanenin de etkileneceği belirtilmiştir. Bölgede kayaların yerinde kırılarak ıslahının mümkün olduğuna da değinilerek “Genel Hayata Etkililik” oluru ile sınırları verilen alanın “Afete Maruz Bölge” (yapı için yasaklanmış bölge) kararının alınması talep edilmiştir.

2.2. Yörücekaya Köyü Su Baskını ve Kaya Düşmesi

Eskişehir Merkez-Yörücekaya Köyü’nde 1984 yılında su baskını ve kaya düşmesi türünde kütle hareketi meydana gelmiştir. AFAD teknik elemanları tarafından doğal afetler hakkında jeolojik etüt raporu hazırlanmıştır. Hazırlanan raporda; incelenen köy ve yakın dolayında temel zeminin tüfler ve üzerinde kalınlığı yer yer 2 m’ye ulaşan killi toprak örtü tabakası bulunduğu belirtilmiştir. İnceleme alanı içerisinden doğudan batıya akan Köy Deresinde aşırı yağışlardan sonra yatağı dışına taşarak bazı evlere suların dolduğu ve tarım alanlarına yayıldığı belirtilmiştir. Aynı raporda taşkın önleme çalışmalarının DSİ tarafından Dere Islah Programına alındığına da değinilmiştir.

Yörücekaya Köyünde meskûn bölgenin kuzeyinde yer alan Sarıkaya tepesinde kopan kaya bloklarının zaman zaman düştüğü ve konutları tehdit ettiği vurgulanmıştır. Söz konusu raporda, kaya düşmesinde henüz herhangi konutun etkilenmediği belirtilmiştir. Ancak 3 konutun risk altında olduğuna değiniler, düşme riski olan kaya bloklarının köylüler tarafından yerinde parçalanması önerilmiştir.

2.3. Yörük kırka Köyü Kaya Düşmesi

Yörük kırka Köyünde kaya düşmesi olayı ilk olarak Afet İşleri Genel Müdürlüğü teknik elemanlarınca 30.05.1984 tarihinde etüt edilmiş ve 04.06.1984 tarihli jeolojik etüt raporu düzenlenmiştir. Raporda, kaya düşmesi olayından 16 konutun etkilendiği belirtilerek, olayın genel hayata etkili olduğu ve ıslah çalışmalarının nakile göre daha ekonomik olacağı ifade edilmiştir. Söz konusu 16 konut ile ilgili olarak 05.11.1984 tarih ve 12320 sayılı ıslah açısından genel hayata etkililik oluru alınmıştır.

Köyde meydana gelen kaya düşmesi olayı ile ilgili olarak düzenlenen 27.01.1986 tarihli kaya ıslah raporunda da çalışmaların Köy Hizmetleri 14. Bölge Müdürlüğü

tarafından yapıldığı belirtilerek, Köyüstü tepesi mevkiindeki kalker serinin büyük ölçüde temizlendiği, sadece 2m³ lük bir kısmın gözden kaçmış olduğu bu kesimde köy halkınca temizlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bunun dışında yapılan kayaların yerinde kırılarak temizlenmesi ve sıçrama hendeğinden oluşan ıslah çalışmaları sonucu köydeki muhtemel kaya düşmesi olayının tamamen ortadan kalktığı belirtilmiştir.

Yörük kırka köyü ve dolayında temel kayalar aglomera ve tüf-tüfitten oluşmaktadır. Bu volkanitler üzerine yatay tabakalı kireçtaşları yer almaktadır. Yörük kırka köyünde özellikle yüksek eğimli yamaçlarda göreceli olarak daha gevşek ve düşük dirençli olan volkanik birimlerin aşınmaları sonucu üstünde kireçtaşı blokları askıda kalmıştır. Nitekim bu jeolojik ortam koşulundan dolayı olası kütle hareketleri öngörülerek yukarıda değinilen ıslah çalışmaları 1986 yılında tamamlanmıştır.

Aynı bölgede 2007 yılında bir kaya düşmesi olayı sonrasında hazırlanan jeolojik etüt raporunda, aradan geçen zamanda volkanitlerde gelişen ayrışma ve taşınma sonucunda bölgede yeniden düşme potansiyeli bulunan kaya blokları görüntülenmiştir (Şekil 2.3).

Raporda konutlar için tehlike arz eden kaya bloklarının yerinde kompresör vb. yardımı ile patlayıcı kullanmadan kırılarak ıslah edilebileceği ve 1986 yılından yapılan ve zaman için dolan sıçrama hendeklerinin yeniden açılması gerektiği belirtilmiştir.

Ana kayadan koparak yamaç üzerinde asılı halde bulunan kireçtaşı bloklarının boyutlarının 3 ile 40 m³ arasında olduğu belirtilmektedir. Söz konusu kaya düşme olayından 5 konutun etkilenebileceği ve ıslah çalışmaları tamamlanıncaya kadar “afete maruz bölge” kararının alınmasının uygun olacağı, ayrıca ilerleyen zamanda yamaçlarda ağaçlandırma ve hendeklerin temiz tutulması önerilmiştir.



Şekil 2.3. Yörükkırka köyünde düşme tehlikesi bulunan kaya bloklarından görüntüler (AFAD, 2014).

Bu çalışma kapsamında Yörükkırka köyünde kaya düşmesi potansiyeli bulunan yamaçta incelemelerde bulunulmuştur (Şekil 2.4). Bu incelemeler sırasında köye ait bazı konutların farklı boyuttaki kaya düşmesi potansiyeli taşıyan yamacın eteğine yerleştiği görülmüştür. Yamacın üst kotlarında serbest halde bulunan ve hacim 10 m^3 ü aşmayan kireçtaşı bloklarının temizlenerek, kontrollü uzaklaştırılmasında yarar vardır.



Şekil 2.4. İncelemeler sırasında Yörük kırka köyünün kurulduğu yamaç üzerinde görülen ve askıda bulunan serbest kaya blokları.

3. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu

Çalışma alanı Eskişehir'in Odunpazarı ilçesi olup, İç Anadolu bölgesinin batısında 36 UTM zonunun N4399500-4395000 ve E277000-280500 koordinatları arasında, 1/25000 ölçekli Eskişehir İ-24 c2 topoğrafik paftasında yer alır. Kaya düşmelerinin gerçekleştiği bölge Eskişehir-Kütahya demiryolu 14.000 km ile 18.750 km arasında yer almaktadır.

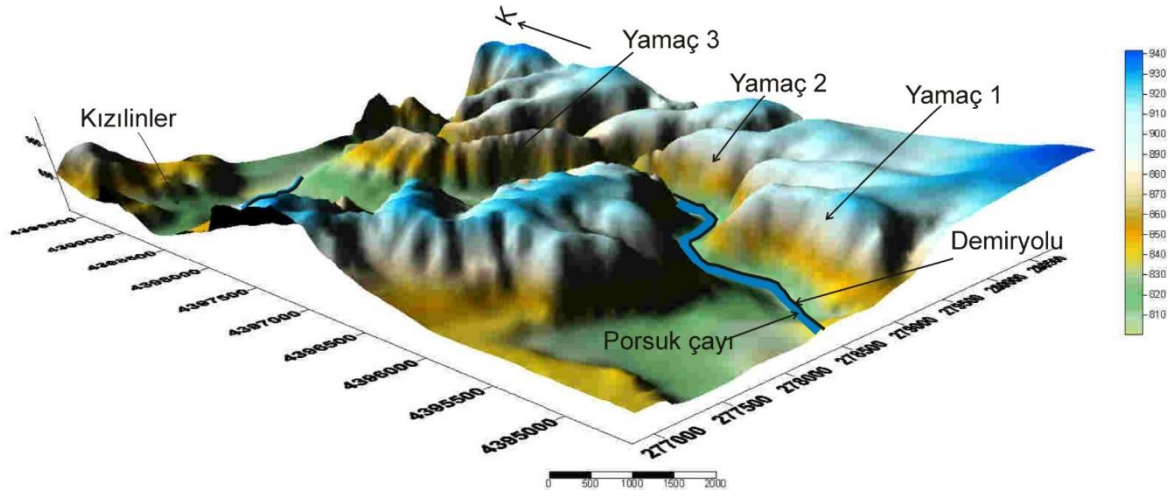
Eskişehir iline ulaşım sorunu yoktur. Kara ve demiryolu ulaşimleri mevcuttur. Ankara-Bursa devlet karayolu, Ankara-Kütahya devlet karayolu şehir merkezinden geçer. Ankara-İstanbul ve İstanbul-Konya Hızlı tren yolları da şehir merkezinden geçer. İl merkezinden tüm köylere asfalt ve stabilize yollar mevcuttur. Çalışma alanına yakın olan Kızılinler mahallesine ise; merkez Odunpazarı ilçesinden 64, 72, 73 ve 86 no.lu belediye otobüsleri ile ulaşılabilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.



Şekil 3.2. Çalışma alanının uydu görüntüsü.



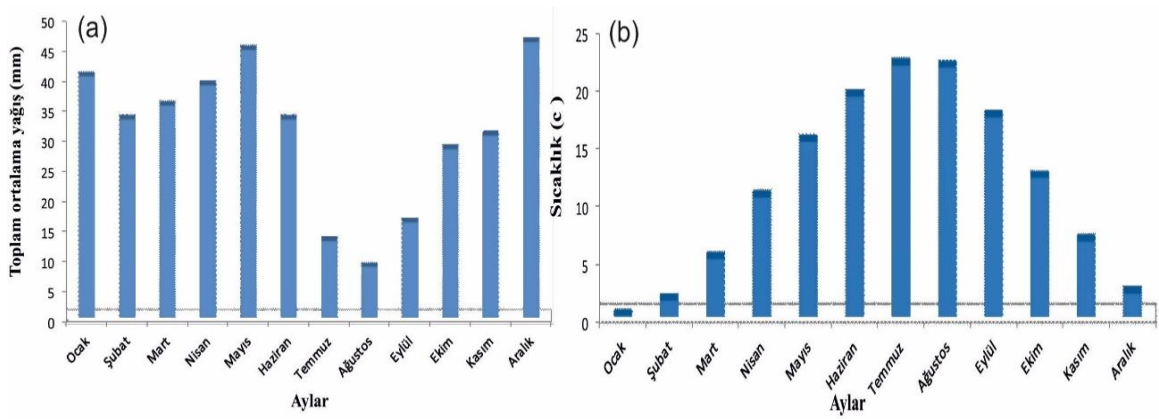
Şekil 3.3. Çalışma alanının üç boyutlu görünümü ve kaya düşmesi izlenen lokasyonlar.

Eskişehir yerleşim alanının kuzeyinde engebesiz ve yüksek olmayan topoğrafya gözlenirken, güney kesimlerinde yüksek ve dik topoğrafya izlenir. Güneyde Yıldız Tepe (941 m), Taşlı Tepe (944 m) ve Deve Tepe (857 m) en yüksek noktalardan sayılabilir. Sakarya ırmağının bir kolu olan Porsuk Çayı inceleme alanına paralel geçmektedir.

3.2. Çalışma Alanı İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı yoğun yapılaşma halindedir. Doğal bitki örtüsünden söz edilemez. Bununla birlikte Eskişehir ve çevresinde düşük kotlarda fundalık, yüksek kotlarda çam ağacı yaygındır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre 90 yıllık kayıt (1926-2016) aylık ortalama toplam yağış ve aylık ortalama toplam sıcaklık değerleri histogram grafik şeklinde verilmiştir (Şekil 3.2). Bu verilere göre Eskişehir ilinde yıllık ortalama toplam yağış 367.1 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 11°'dir. Histogram grafiklerden görüleceği üzere bölgedeki en fazla yağış Aralık (46,0 mm), Ocak (40,3 mm) ve Mayıs (44,7 mm) aylarında oluşmaktadır. En düşük yağış ise Temmuz (12,8 mm), Ağustos (8,5 mm) aylarında gerçekleşmektedir. En düşük sıcaklıklar ise Aralık (2,0 c°), Ocak (0,1 c°), Şubat (1,4 c°) aylarında gerçekleşmektedir. En yüksek sıcaklıklar Haziran (19 c°), Temmuz (21,7 c°), Ağustos (21,5 c°) aylarında olmaktadır.



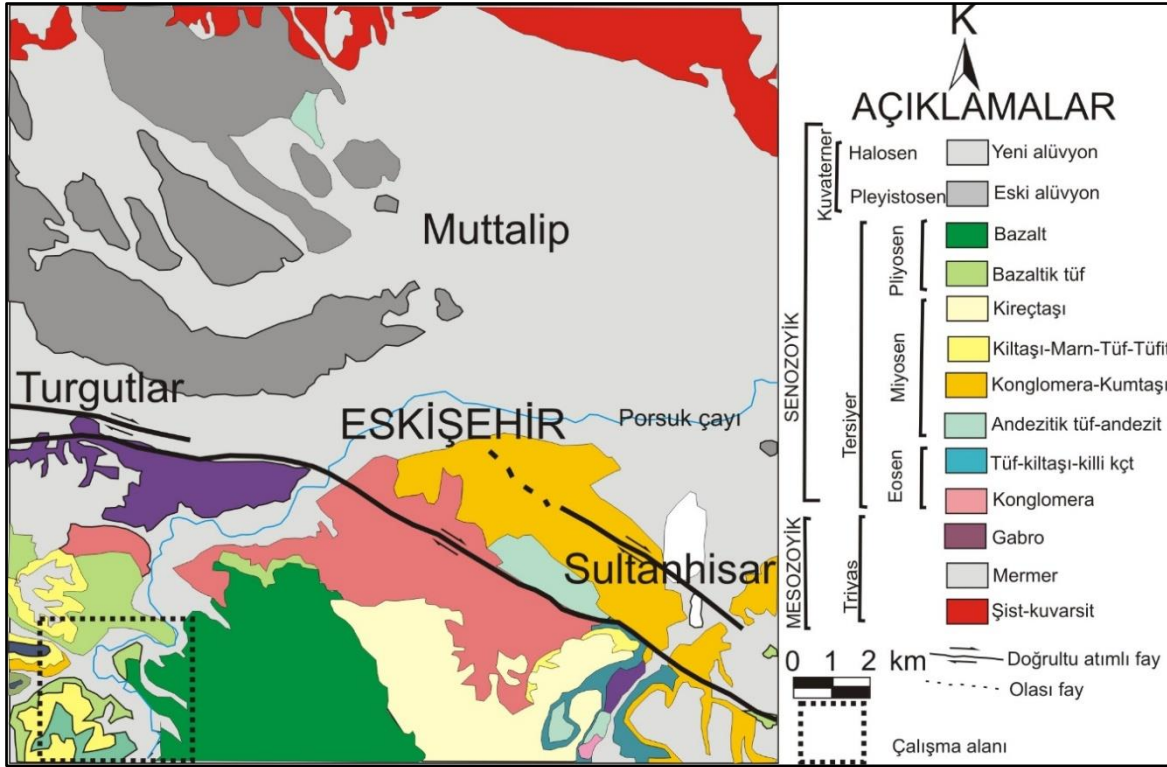
Şekil 3.4. Eskişehir ili ve çevresi 1926-2016 yılları arası a) toplam ortalama aylık yağış (mm) b) aylık sıcaklık (c°) ortalaması.

4. BÖLGENİN JEOLojİK VE HİDROJEOLojİK ÖZELLİKLERİ

Türkiye'nin önemli akarsularından Sakarya'nın bir kolu olan Porsuk çayı inceleme alanına güneyden girerek boydan boya kat ederek kuzeyden çıkmaktadır. Porsuk çayı güneybatıda Sarısu deresi ile birleşerek yaklaşık olarak doğu-batı yönünde Eskişehir ili merkezinden geçmektedir.

Bölgede daha önce yapılan tüm çalışmaların tamamına yakını Gözler vd., (1996) tarafından yapılan gerçekleştirilen jeoloji haritaları tez sonuçlarını temel almaktadır. Bu çalışmada da Gözler vd., (1996) tarafından verilen jeolojik harita esas alınmış ve yaşlıdan gence doğru bölgenin jeolojisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

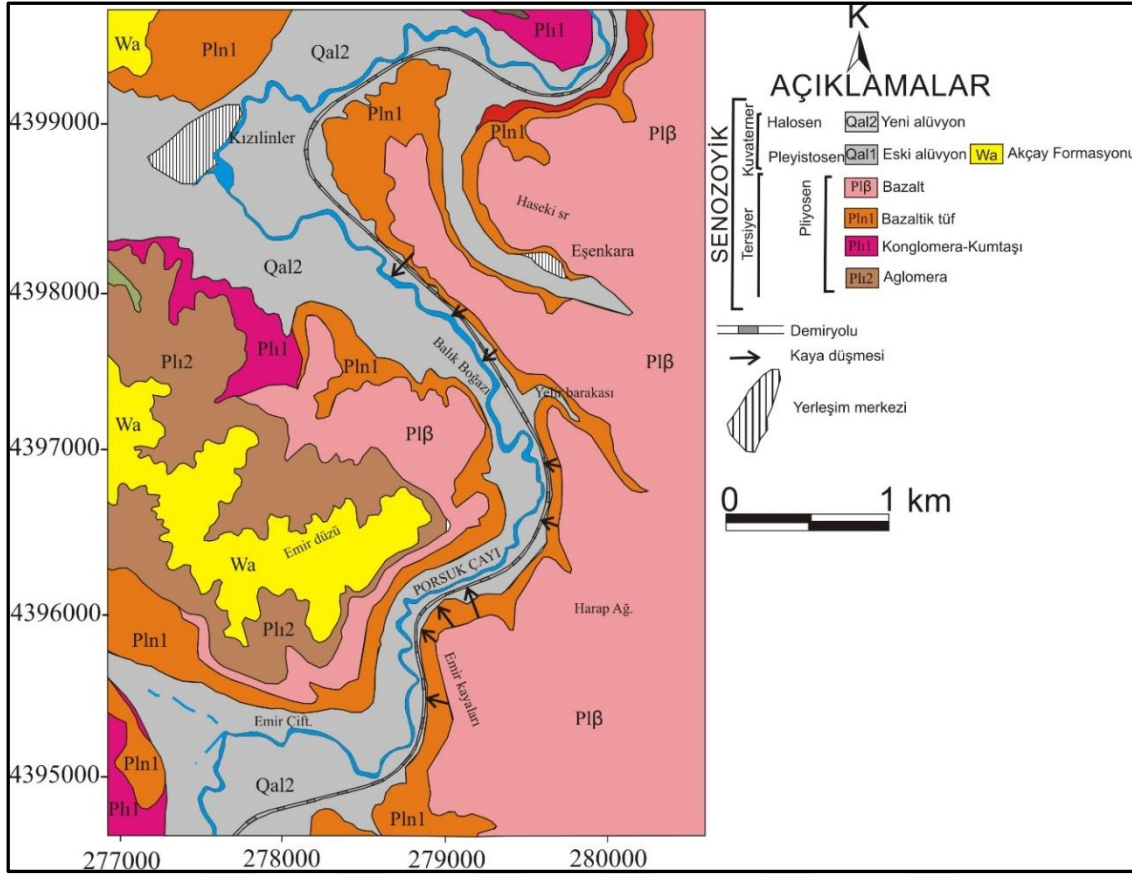
Eskişehir bölgesinde Triyas-Tersiyer yaş aralığını temsil eden metamorfik, volkanik ve sedimanter kayaçlar ile kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Bölgenin kuzeyindeki yükseltileri oluşturanen yaşlı birimler, Jura öncesi (Triyas) yaşlı şist ve mermer, ofiyolitik melanj ve metadetritik kayaçların oluşturduğu tektonik birliktir. Aralarında tektonik bir ilişki olan bu birimlerden, Eskişehir metamorfikleri olarak adlandırılan metamorfik seri, granatlı amfibolit, piyemontitli kuvarsit, glokofan-lavsonit yeşilsist, epidot-albit yeşilşist ve mermerle temsil edilir. Aynı yaşlı ofiyolitik kayaçlar, düzenli bir istif göstermemekle birlikte, radyolarit, radyolarlı kireçtaşı, çamurtaşı, diyabaz, serpantinit, kireçtaşı, şist blokları, peridotit ve gabroları içerir. Jura detritik ve kireç taşlarından ibarettir. Bu birimler üzerinde, Paleosen, Eosen, Miyosen ve Pliyosen yaşlı çökel ve volkanik kayaçlar yer almaktadır, En genç birim Pleyistosen yaşlı gevsek tutturulmuş kum, çakıl ve kil taşlarından oluşan eski alüvyon ve halosen yaşlı kil, silt ve kumdan oluşan yeni alüvyon birimidir. Bölgede derinlik kayacı olarak porfirik dokulu granitler, volkanik kayaç olarak da andezitler, tüfler ve bazaltlar bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Eskişehir ve çevresi jeoloji haritası (Gözler vd., 1985'den değiştirilerek alınmıştır).

Kaya düşmelerinin olduğu alanda en genç birim porsuk çayı alüvyonları önceki araştırmacılar tarafından ikiye ayrılmıştır. Eski alüvyon (Qal₁) ve genç alüvyon (Qal₂) çökelimleridir. Diğer bir genç litolojik birim ise Akçay Formasyonudur. Akçay formasyonu çok fazla siltli, hafif killi, kumlu ve ince çakıllı, tabakalı kum, çakıllı ve kalkerli, kahverengi tonlarına sahiptir. Fluvial kum ve ince çakıl, kalker, gruplaşmış veya gruplanmamış kısmen çapraz tabakalanma, yer yer imbrikanyona sahip yapı, yer yer limnik ve karasal mollusklar ve dağınık omurgalı kalıntıları bulunmaktadır. Pleyistosen teras çökelleri ve omurgalı fosil veriler, kumların ve ince çakılların içinde dağınık olarak bulunmaktadır ve taşınma sonucu hasara uğramış olarak bulunmaktadır. Ancak kısmen de olsa iyi korunmuş parçalara rastlanmaktadır (Gözler vd., 1997).

Çalışma alanımızda kaya düşmelerinin olduğu bazalt lav akıntıları (Pl_β) tüflerle birlikte en yaygın izlenen volkanizmadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Gözler vd., 1985'ten değiştirilerek alınmıştır).

Arazide yer yer tüfler arasında koyu siyah, kahverengi renklerde bantlar halinde, yer yer tüflerin üzerinde büyük koyu renkli kalıntılar şeklinde, yer yer de büyük alanları kapsayan lav akıntıları olarak izlenmektedirler. Bazaltlar, arazide yer yer izlenen soğuma eklem yapıları ve boşluklu yapıları ile tipiktirler (Şekil 4.3).



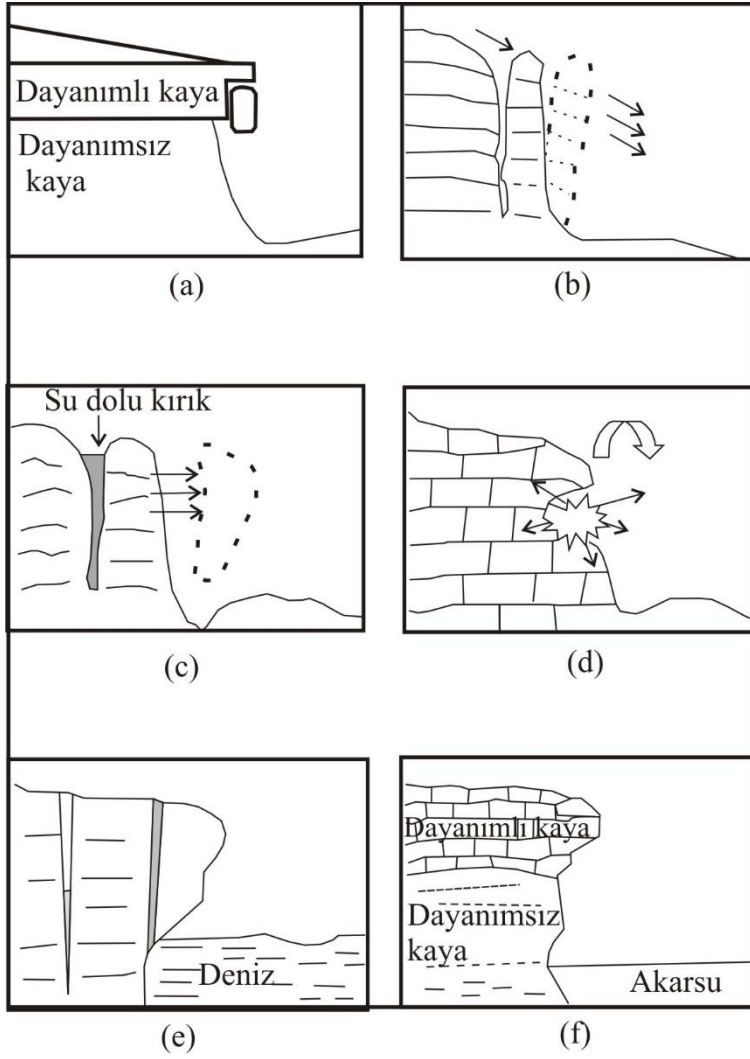
Şekil 4.3. Kaya düşmelerini oluşturan bazalt lav akıntıları ve tüf biriminden bir görünüm.

Çalışma alanındaki bazalt ve tüf birimleri yatay konumlu olup arazi incelemelerinde bazaltta çok sayıda süreksizliklerin olduğu, topuk kısmının aşınmış olduğu ve tren yoluna yakın mesafede bulunan bazalt blokları olması sebebiyle kaya düşmesi olarak adlandırılmıştır. Alttaki hızlı aşınabilen kaya kütlesi (dip oyulması) zamanla taşınarak üstteki sert kısım askıda kalır ve zamanla kaya düşmesi şeklindeki hareketi oluşturur. Bu durum, heterojen ortamlarda daha sık görülür (Şekil 4.4).

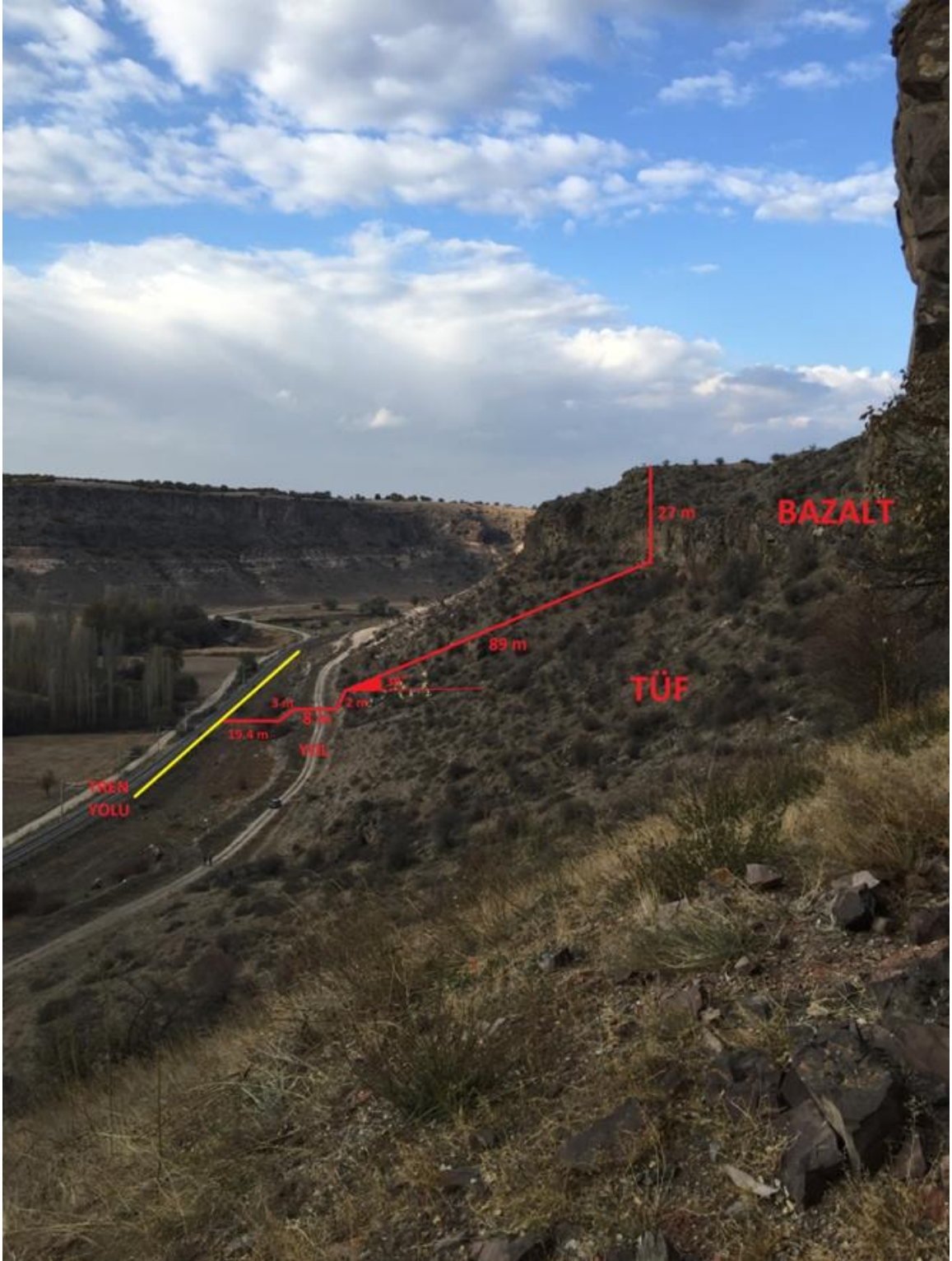


Şekil 4.4. Çalışma alanındaki bazalt-tüf sınırı.

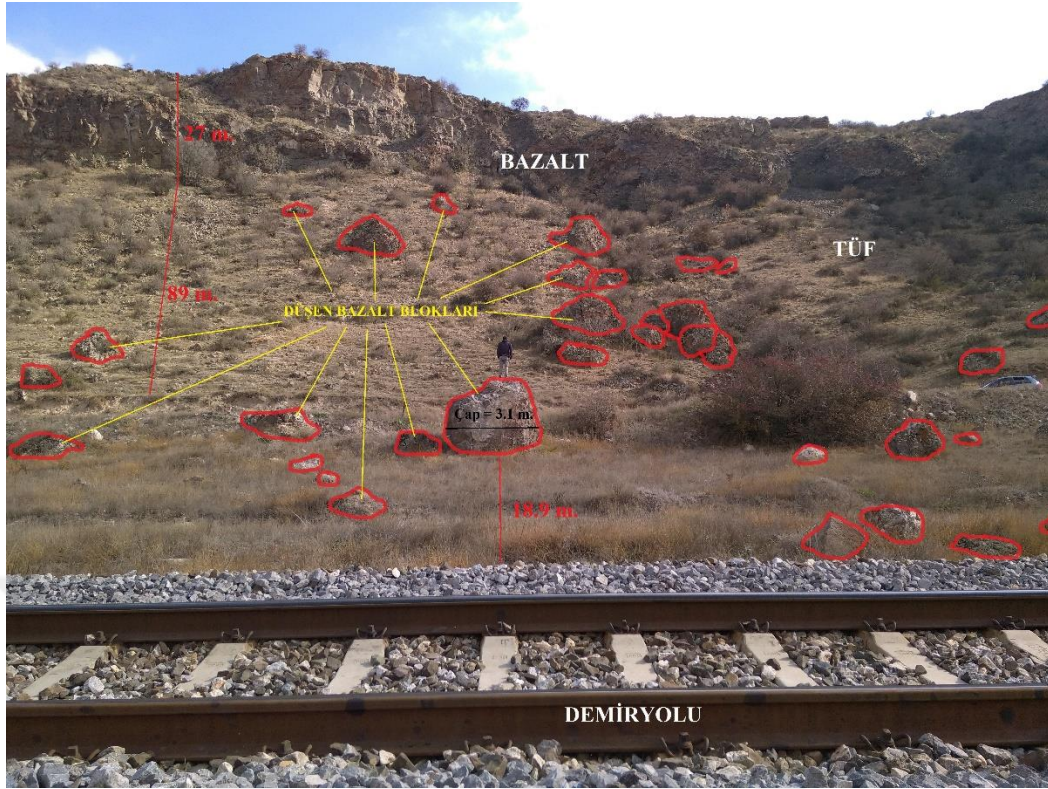
Bu tür duraysızlıklar, kaya kütlelerinde süreksizlikler, toprak zeminlerde ise fisürlerin ayırdığı münferit blokların dik eğimli yamaçlardan, herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın, yer çekimi etkisi altında düşmesiyle gerçekleşir. Özellikle kaya düşmeleri, bu grupta değerlendirilen ve zarara yol açan en tipik düşme türüdür. Bunlar topuk aşınması, eklemlerde oluşan erime donma olayları, hidrostatik basınç sonucu genişleme ve yerçekimi kuvvetinin etkisi ile oluşur (Ulusay, 2010) (Şekil 4.5).



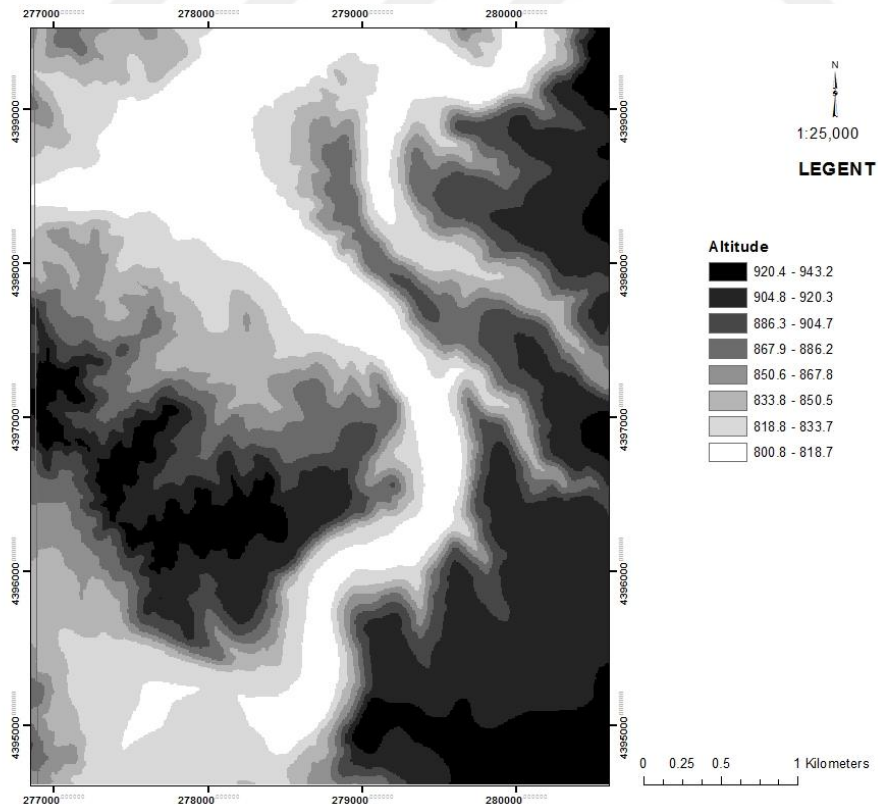
Şekil 4.5. Kaya düşmesi çeşitleri a) Ayrışma ve aşınma, b) Eklemli kayalarda don etkisi, c) Eklemli kayalarda hidrostatik basınç etkisi, d) Patlayıcı kullanımı, e) Dalga aşındırması, f) Akarsu topuk aşındırması (Ulusay, 2001).



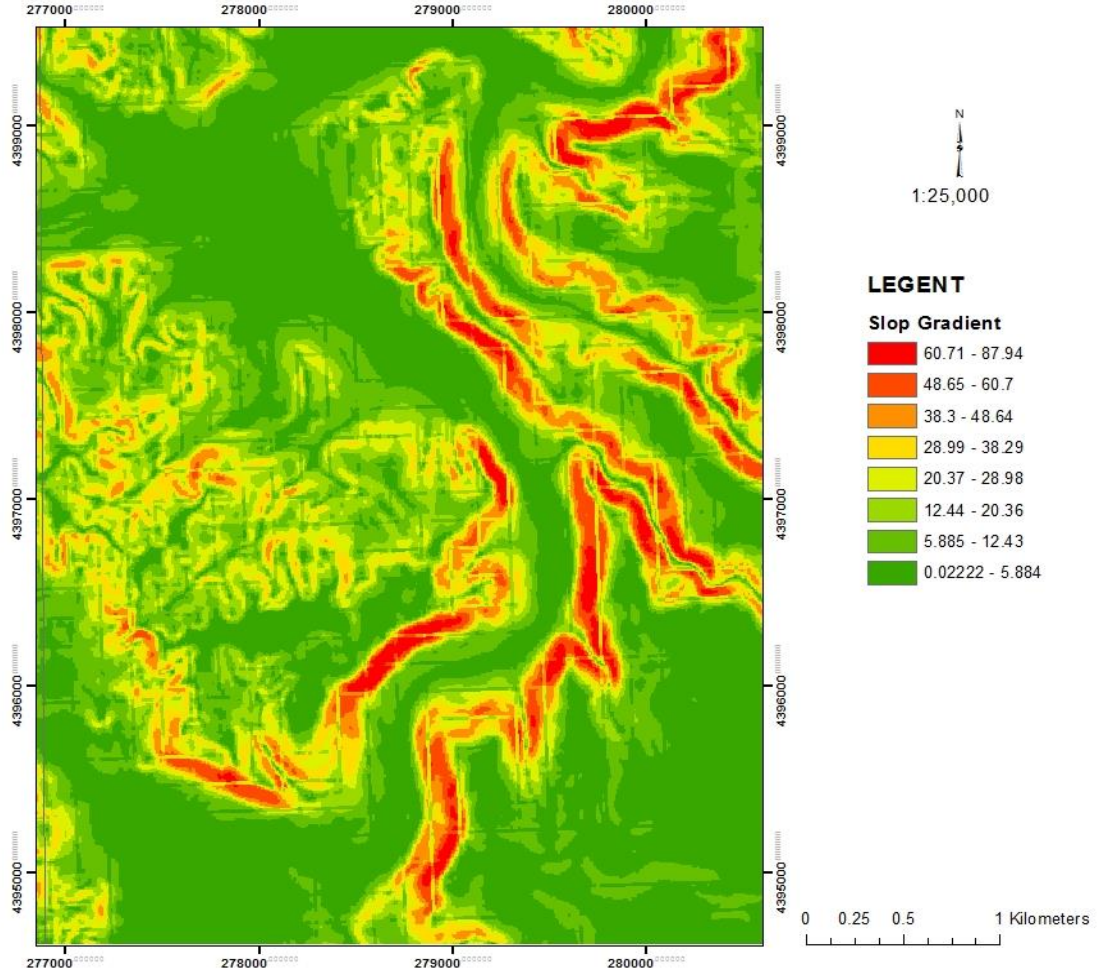
Şekil 5.2. Çalışma alanından bir görünüm.



Şekil 5.3. Kaya düşmelerinin oluştuğu bazalt lav akıntıları ve düşen bloklardan örnekler.

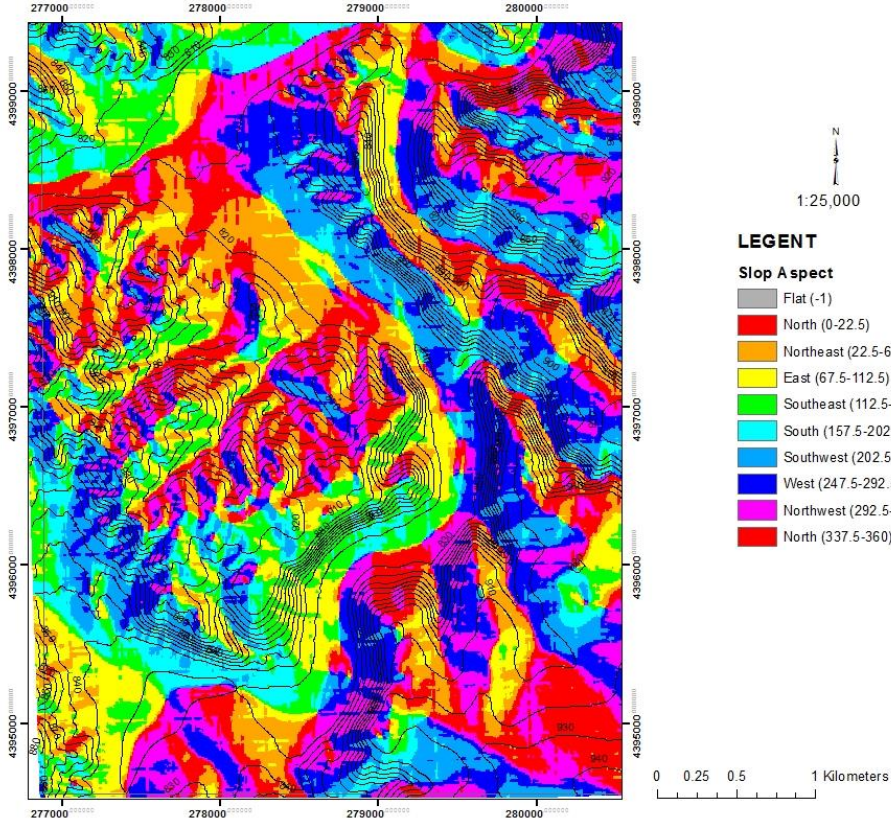


Şekil 5.4. Kaya düşmesi gerçekleşen çalışma alanının yükseklik haritası.



Şekil 5.5. Kaya düşmesi gerçekleşen çalışma alanının eğim haritası.

Yamaçların kuzeyle yaptığı açı değerleri değerlendirilerek oluşturulan bakı haritası (Slope Aspect Map) ise Şekil 5.6'da verilmiştir. Kaya düşmelerinin olduğu yamaçların çoğunluğu GB yönlüdür. Haritada Ayrıca kaya düşmesine neden olan kaynak alan haritalanmış, kaya kütle ve düşen bloklarda süreksizliklerin özelliklerini belirlemek için hat etütleri yapılarak, hâkim süreksizlik setleri belirlenmiş, schmidt çekici ile kaya malzemesi ve düşen bloklarda darbe ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.6. Kaya düşmesi gerçekleşen çalışma alanının bakı haritası.

5.1. Hat Etüdü Çalışmaları

Saha çalışmaları sırasında kaya düşmelerini oluşturan litolojik birimler belirlenmiştir. Düşen blokların büyük çoğunluğu tuf birimler üzerinde yer alan bazaltik lav akıntıları oluşturmaktadır. Hat etüdü çalışmalarının amacı kaya kütleinin mühendislik özelliklerini belirlemektir. Bu anlamda kaya kütleinin davranışını büyük ölçüde belirleyen süreksizliklerin yönelimi, süreksizlik aralığı, süreksizlik devamlılığı, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü, süreksizlik açıklığı, süreksizlik dolgu malzemesi ve özellikler, süreksizlikler arasında su durumu ve blok boyutu gibi kaya kütle özellikleri hat etüdü belirlenmiştir. Çalışma alanında hat etüdü yapılmıştır (Şekil 5.7). Hat etüdü sırasıyla 213 m ve K29°D/28°KB şev eğimlidir. Hat etüdünde 176 adet süreksizlik özelliği belirlenmiştir. HT1'e dik yönde yapılan hat etüdünde ise 74 adet eklem belirlenmiştir.



Şekil 5.7. Sahada hat etüdü çalışmalarından bir görünüm.

5.1.1. Süreksizliklerin yönelimi

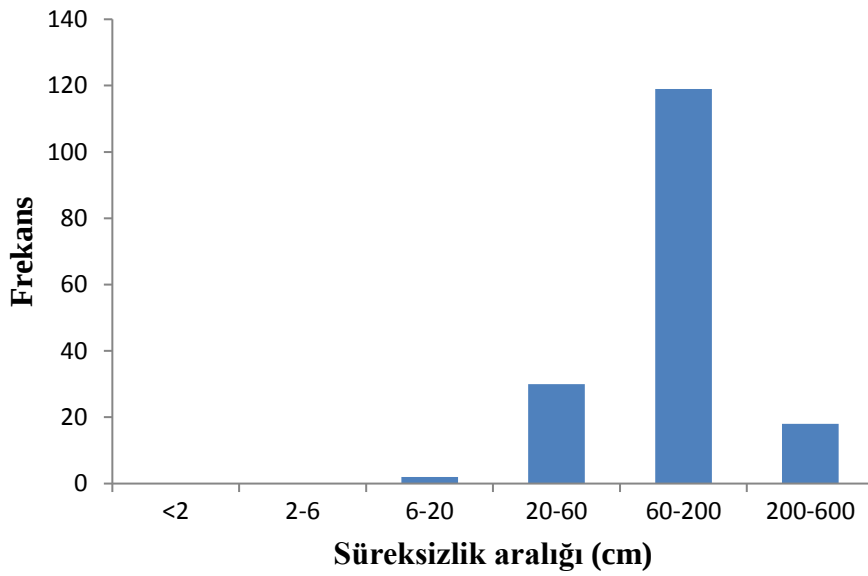
Hat etüdü boyunca karşılaşılan süreksizliklerin doğrultu ve eğim yönleri ölçülmüştür. Bu değerler stereonet projeksiyonları kullanılarak hâkim süreksizlik setleri belirlenmiştir. HT1 etüdünde 17/105 ve 75/99 eğim/eğim yönlü süreksizlik setleri belirlenmiştir. Bu hâkim süreksizlik setlerinin konumuna göre duraysızlık sahasında kinematik yönden düzlemsel, devrilme veya kama türü duraysızlıkların olup olmayacağı araştırılmıştır.

5.1.2. Aralık

İki süreksizlik arasındaki dik doğrunun uzunluğudur. Bu çalışmada bazalt lavlarında gelişmiş olan süreksizlik arasındaki uzunluklar hat etütler sırasında ölçülmüştür. Süreksizlik aralığı değerleri ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri ile sınıflandırılmıştır (Çizelge 5.1). HT1’de ölçülen süreksizlik aralıklarının %70,41’i geniş aralıklı tanımlama grubuna girmektedir (Şekil 5.8).

Çizelge 5.1. Süreksizlik aralığı sınıflandırması (ISRM 2007).

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



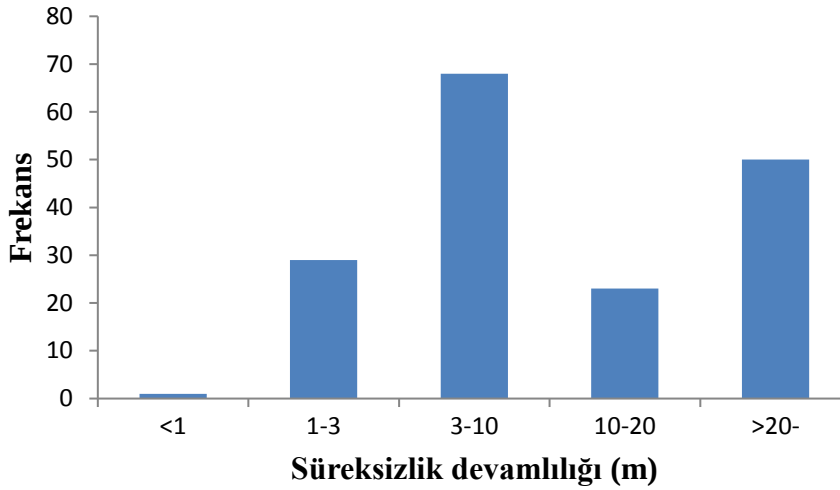
Şekil 5.8. HT1’de süreksizlik aralıklarının histogram dağılımı.

5.1.3. Devamlılık

Hat etütleri ile belirlenen bir süreksizlik özelliği ise süreksizliklerin devamlılığıdır. Süreksizliklerin devamlılığı kaya kütlenin davranışlarını etkilemektedir. Bu çalışmada ISRM (2007) tarafından (Çizelge 5.2)’de önerilen süreksizliklerin devamlılığı tablosu değerlendirme amaçlı kullanılarak, süreksizlik devamlılıklarının histogram grafiği Şekil 5.9’ da verilmiştir. HT1’de yapılan süreksizliklerin devamlılığı değerlendirmesinde süreksizliklerin %39,76’sı orta derecede devamlılık gösterirken, %29,23’ü çok yüksek devamlılık göstermektedir.

Çizelge 5.2. Süreksizlik devamlılığı sınıflandırması (ISRM 2007).

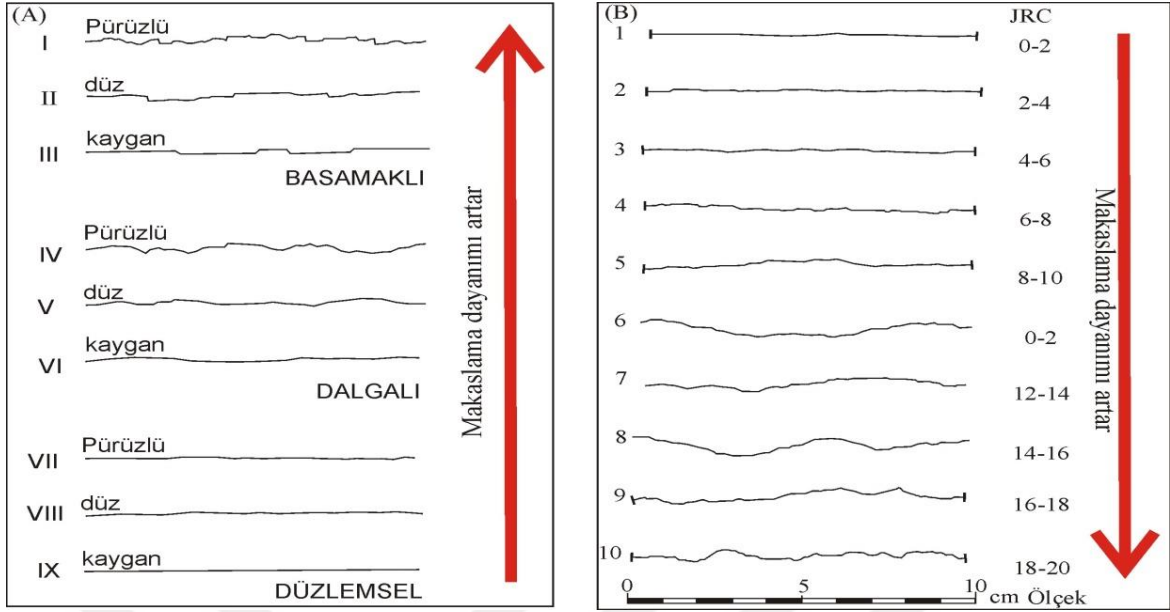
Tanımlama	Süreksizlik izinin uzunluğu (m)
Çok düşük devamlılık	<1
Düşük derecede devamlılık	1-3
Orta derecede devamlılık	3-10
Yüksek devamlılık	10-20
Çok yüksek devamlılık	>20



Şekil 5.9. HT1’de süreksizlik aralıklarının histogram dağılımı.

5.1.4. Süreksizliklerin pürüzlülüğü

Kaya kütlenin makaslama dayanımında belirgin rol oynayan süreksizliklerin pürüzlülük ve dalgalılık olarak tanımlanır. Pürüzlülük, düzlemsellikten sapmanın küçük ölçüsü iken; dalgalılık ise büyük ölçüsüdür. Çalışma sahasında ISRM (2007) tarafından önerilen pürüzlülük değerlendirmesi kullanılmıştır (Şekil 5.10). Bunun yanı sıra Barton yenilme ölçütü için girdi parametresi olan süreksizlik pürüzlülük katsayısı (JRC) tablosu da değerlendirmede rakamsal verileri oluşturmak için kullanılmıştır (Barton ve Choubey, 1977). Çalışma alanında duraysızlıkları oluşturan bazalt lavlarında gelişmiş süreksizlik yüzeylerinde büyük ölçekte dalgalı yüzeyler küçük ölçekte ise pürüzlü yüzeyler hâkimdir. Kantitatif değerlendirmede ise JRC değerinin 12-14 arasında olacağı gözlemsel olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.10. (A) Kalitatif pürüzlülük profilleri (B) Kantitatif pürüzlülük profilleri (ISRM,2007).

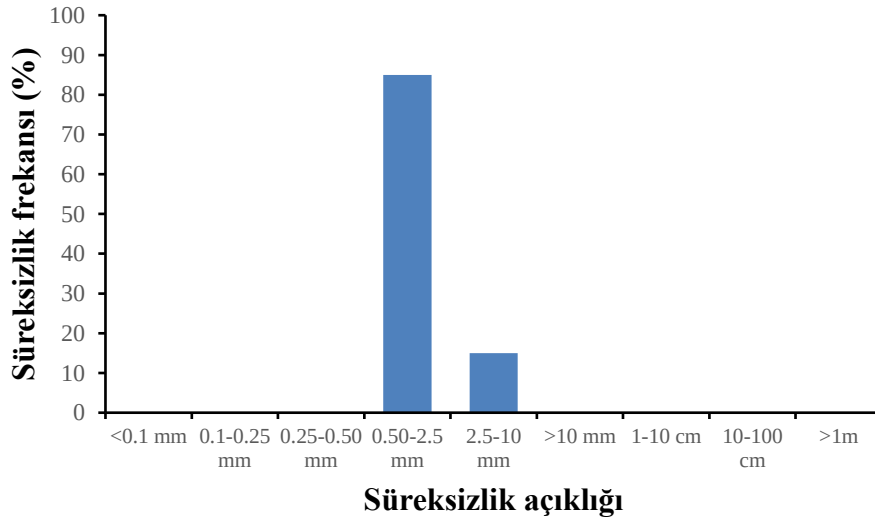
5.1.5. Süreksizliklerin açıklığı

Bir süreksizliğin birbirine komşu iki yüzeyi arasındaki dik mesafe süreksizlik açıklığı olarak tanımlanır. Süreksizlikler açık, kapalı veya dolgu ile doldurulmuş olabilir. Süreksizlik açıklığı sınıflandırması ISRM 2007'ye göre yapılmıştır (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Süreksizliklerin açıklığı.

Açıklık tanımı	Açıklık değeri (mm)
Çok kapalı	<0.1
Kapalı	0.1-0.25
Kısmen açık	0.25-0.50
Açık	0.50-2.50
Orta genişlikte açıklık	2.5-10
Geniş	>10
Çok geniş	1-10 cm
Aşırı geniş	10-100 cm
Boşluklu	>100 cm

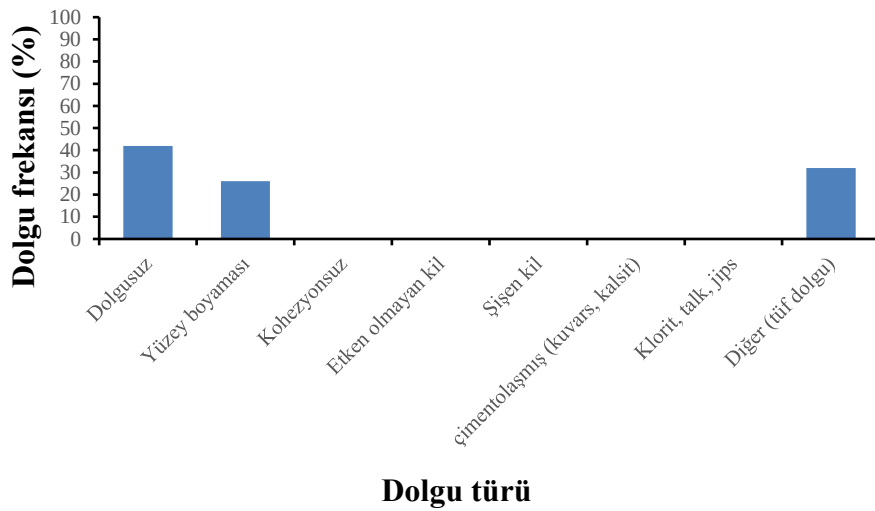
Süreksizlik açıklıklarının büyük çoğunluğu 0.50-2.50 mm aralığında yoğunlaşmaktadır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. HT1’de süreksizlik açıklığı histogram dağılımı.

5.1.6. Süreksizliklerin dolgu özellikleri

Süreksizlik açıklıklarında bulunabilecek malzemenin özellikleri ve kalınlığı kaya kütleinin kesme dayanımının oluşumunda etkin olabilmektedir. Bu nedenle süreksizlik dolgu malzemesini türü ISRM (2007)’ye göre belirlenmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. HT1’de süreksizlik dolgusu histogram dağılımı.

5.1.7. Su durumu

Süreksizliklerde su bulunmasının özellikleri ISRM (2007)'ye göre değerlendirilmiştir (Çizelge 5.4).

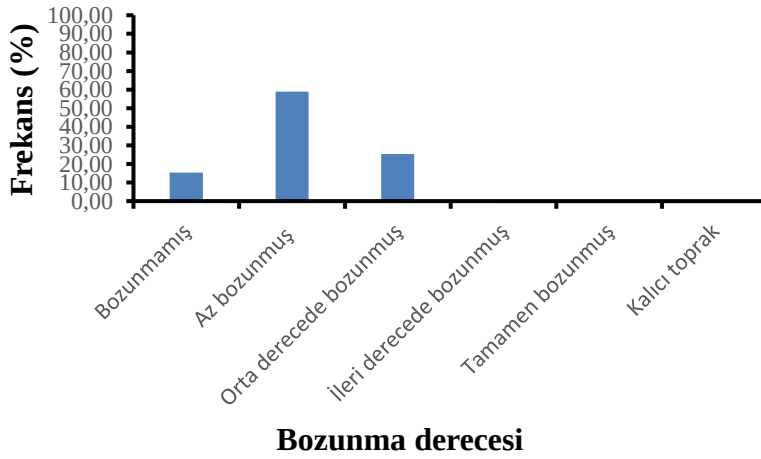
Çizelge 5.4. Sızma durumunun değerlendirilmesi (ISRM, 2007).

Sızmanın derecesi	Tanımlama
I	Süreksizlik yüzeyi kapalı ve kuru, suyun yüzey boyunca akması olanaksız.
II	Su akışını gösteren belirti yok ve süreksizlik yüzeyi kuru
III	Süreksizlik yüzeyi kuru, ancak suyun aktığını gösteren bazı belirtiler var
IV	Süreksizlik yüzeyleri nemli fakat serbest su akışı yok
V	Süreksizlik yüzeyinde sürekli su akışı gözlenmemekle birlikte yer yer su
VI	Süreksizlik yüzeylerinde su akışı var (akış lt/dk olarak ölçülebilir veya basınç düşük, orta, yüksek şeklinde tanımlanabilir).

Hat etütleri sırasında süreksizliklerin arasının kuru olduğu görülmüştür. Hat etütleri yağışın olmadığı aylarda (Ağustos-Ekim) yapılmıştır. Bununla birlikte kış ve ilkbahar mevsimlerinde nemli olacaktır. Analizlerde süreksizlik yüzeylerinin su durumu kuru olarak değerlendirilmiştir.

5.1.8. Bozunma derecesi

Kaya kütleinin fiziksel ve kimyasal etkilerle ayrışmasına bozunma adı verilir. Bozunma sürecinde kaya kütleinin makaslama dayanımı düşer. Makaslama dayanımının düşmesi duraysızlık sorunlarına yol açar. Çalışma sahasında süreksizlik yüzeyleri ISRM (2007)'ye göre sınıflandırılmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Süreksizliklerin bozunma histogram dağılımı.

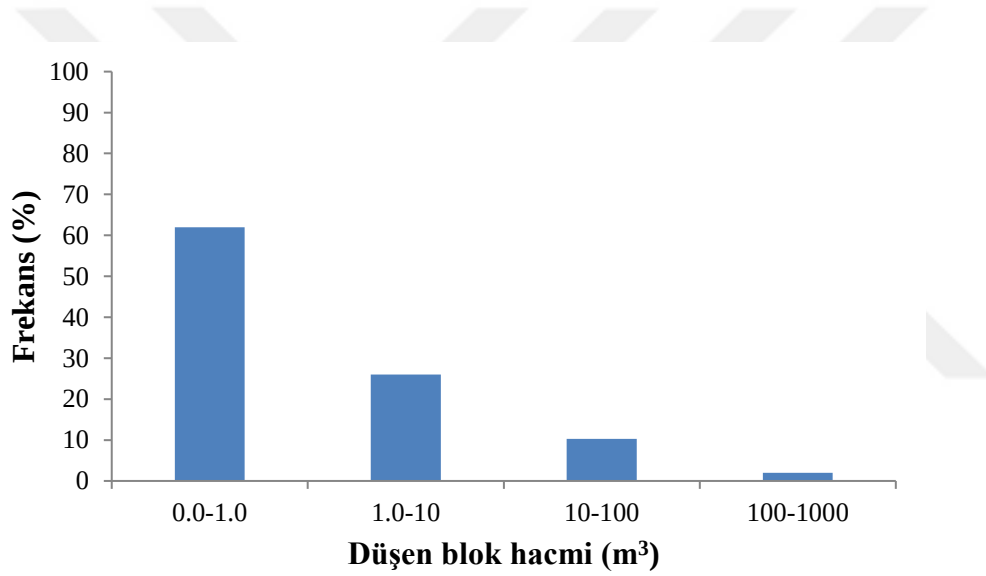
Şekil 5.13’de görüldüğü gibi eklem yüzeylerinin %60’a yaklaşan kısmı “az bozunmuş” olarak tanımlanmıştır. Eklem yüzeylerinin yanı sıra kaya düşmelerini sağlayan exfoliasyon türü ayrışma yüzeyleri sahada yaygındır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Exfoliasyon türü yamaç ayrışmasından bir görünüm.

5.1.9. Blok boyutu

Kızılınler kaya düşmesi bölgesinde sahada düşmüş halde bulunan kaya blokları boyutları tek tek ölçülerek sayılmıştır. Sahada toplam 601 adet düşmüş blok değerlendirmeye alınmıştır. Şekil 5.15’de görüleceği gibi düşen blokların %60’ı 1m^3 ’den küçüktür. 1m^3 - 10m^3 hacimde olan düşen blokları ise %26’dır. 10m^3 - 100m^3 arası düşen blok sayısı %10.31’dir. $>100\text{m}^3$ ’den büyük blok sayısı ise %2’dir. Maksimum düşen blok hacmi 250m^3 civarındadır. Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de sahada düşen blokları ve demiryolunun görünümünü göstermektedir.



Şekil 5.15. Çalışma alanında düşen blok hacmi dağılımı.



Şekil 5.16. Kaya düşmesi gerçekleşen yamaçtan demiryolu görünümü.



Şekil 5.17. Demiryoluna yakın düşmüş bloklardan bir görünüm.

5.1.10. Schmidt çekici ile dayanım belirlenmesi

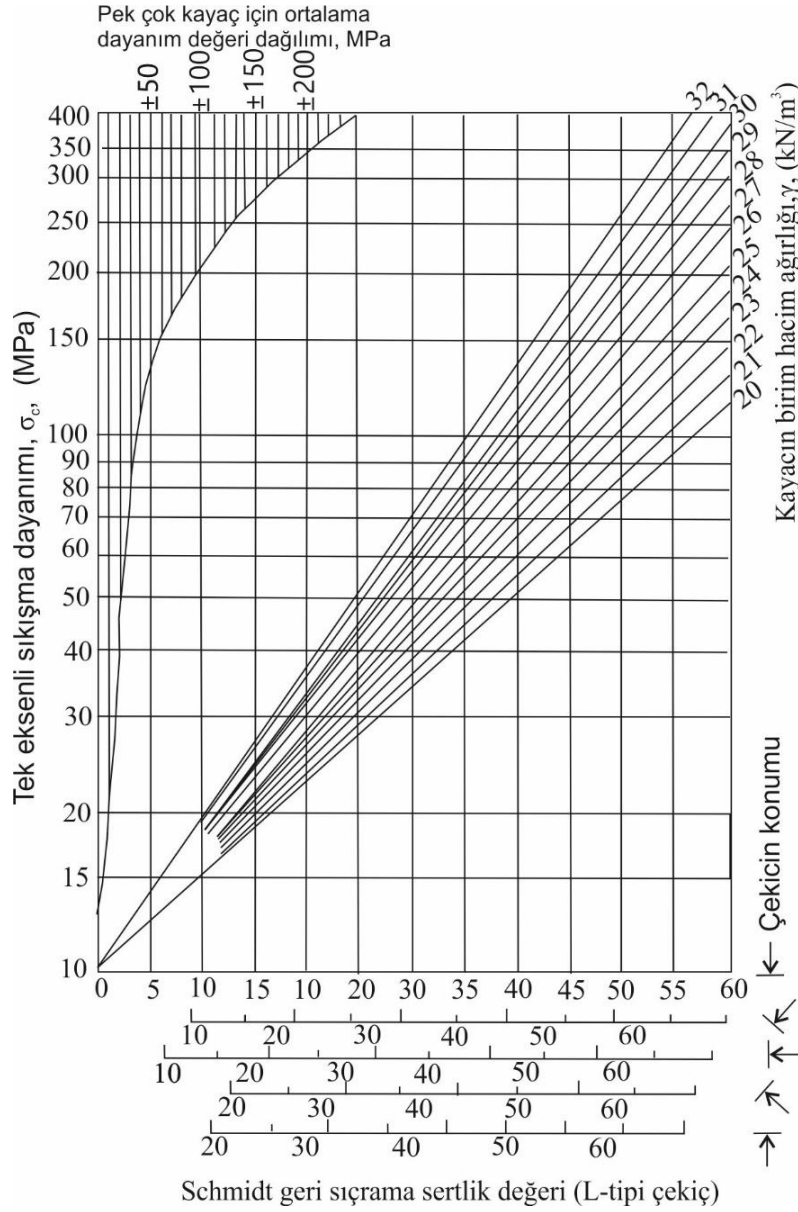
Schmidt çekici ile kaya kütleleri içerisindeki eklem yüzeylerinde Schmidt sertliği ölçümleri yapılmıştır. Schmidt sertliği değerleri ile kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı dolaylı olarak belirlenmiştir. Schmidt çekici sertlik ölçümleri kaya yüzeyine dik yönlü alınmıştır (Şekil 5.18). Her yüzeyden on adet ölçüm yapılmıştır. On adet ölçümden değeri en küçük olan beş adedi hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Bu ölçümlerin Şekil 5.19’da arazide ölçülmüş Schmidt sertliği değeri ile kayacın birim hacim ağırlığı çakıştırılarak, düşey eksenden kaya kütlenin veya süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımı belirlenmiştir (Çizelge 5.5). Çizelge 5.5’ den görüleceği gibi bazalt lavlarının ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı 149 MPa, tüf birimlerinin ortalama sıkışma dayanımı 16 MPa olarak belirlenmiştir. Bazalt birimleri ve tüf birimlerinin ortalama doğal birim hacim ağırlığı ise, sırasıyla 25,2 kN/m³ ve 15,1 kN/m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.18. Düşen blokta Schmidt çekici sertlik ölçümünden bir görünüm.

Çizelge 5.5. Schmidt çekici sertlik ölçümleri ve değerlendirilmesi.

Kayıt no	Litoloji	Schmidt çekici ölçümleri	Schmidt ölçüm ortalaması	Doğal birim hacim ağırlığı	Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) (MPa)
1	Bazalt	42-54-56-39-58-60-52-30-60-64	60	23,25	150
2	Bazalt	35-41-56-61-58-38-43-62-34-43	56	23,65	130
3	Bazalt	42-40-46-39-47-58-53-41-53-58	54	24,43	120
4	Bazalt	41-30-38-44-26-55-50-36-59-62	54	24,13	125
5	Bazalt	20-36-42-48-37-54-52-56-60-42	54	24,92	127
6	Bazalt	62-42-47-35-56-50-51-42-58-42	55	23,54	120
7	Bazalt	44-51-67-58-55-45-48-47-42-46	56	24,23	145
8	Bazalt	59-58-45-46-50-40-55-49-54-46	55	24,33	140
9	Bazalt	57-68-39-42-52-38-51-46-58-41	57	23,94	150
10	Bazalt	60-59-60-50-48-61-35-34-58-62	60	25,41	155
11	Bazalt	40-49-61-66-34-36-21-35-55-53	57	25,21	152
12	Bazalt	50-56-34-60-59-51-33-50-49-60	57	23,64	138
13	Bazalt	20-32-36-55-64-50-36-51-61-60	58	23,05	140
14	Bazalt	52-40-42-56-55-60-59-61-40-51	58	24,33	138
15	Bazalt	40-58-54-54-46-62-46-60-43-55	58	24,33	110
16	Bazalt	44-37-40-45-38-33-52-37-51-56	48	23,64	150
17	Bazalt	61-60-45-46-45-59-59-54-63-57	60	24,53	157
18	Bazalt	58-36-50-61-59-43-46-34-60-57	59	24,62	155
19	Bazalt	45-34-32-57-63-55-55-40-56-58	58	24,53	145
20	Bazalt	57-35-34-46-56-49-49-45-43-41	51	27,86	200
21	Bazalt	67-60-43-61-57-50-40-49-41-32	59	27,17	230
22	Bazalt	61-39-58-50-67-35-58-41-60-45	61	26,98	215
23	Bazalt	61-39-58-50-67-35-58-41-60-45	61	23,15	150
24	Bazalt	31-32-26-29-27-29-30-28-30-50	35	24,53	165
25	Bazalt	54-42-43-44-54-52-41-38-51-29	51	25,41	140
26	Bazalt	56-55-68-61-59-65-58-60-50-52	62	24,22	120
27	Bazalt	25-29-32-31-42-38-45-38-42-22	41	27,30	62
28	Bazalt	26-28-31-35-29-25-35-28-39-31	33	26,59	38
29	Bazalt	56-48-55-56-51-52-49-53-51-50	43	28,26	75
30	Bazalt	34-36-48-50-39-45-44-42-38-37	45	25,38	67
31	Tüf	21-22-23-21-21-22-24-26-21-24	24	16,35	26
32	Tüf	18-16-19-22-35-22-23-26-21-22	26	15,66	19
33	Tüf	22-24-26-27-21-25-27-26-23-22	26	15,42	18
34	Tüf	23-28-29-30-28-27-26-28-22-23	29	15,44	27
35	Tüf	26-21-24-26-27-23-28-26-27-21	27	15,00	32
36	Tüf	22-21-23-25-27-26-27-28-21-17	27	23,58	34
37	Tüf	19-20-20-21-18-18-21-23-24-21	22	24,36	24



Şekil 5.19. Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Miller, 1996).

5.2. Petrografik Analizler

Makroskobik olarak el örneklerine bakıldığında yer yer zeolitle dolu boşluklu yapıları hemen göze çarpar. Bunun dışında koyu siyah renkli ve afantik görünümlüdürler. Kırık yüzeylerinde genellikle 1-2 cm'lik bir bozunma zonu ve yanı sıra 1-2 mm'lik klino-piroksen (ojit) fenokristalleri gözlenir. Mikroskobik olarak kayaç içinde yer yer %20-%30 civarında kalsik plajioklaslar, %40-%60 civarında piroksen, %10-%30 civarında olivin içeren örnekler incelenmiştir. Kayaçlarda nadir olarak amfibol, sfen, apatit ve opak gibi mineraller izlenmektedir (Gözler vd., 1997). Bazaltlarla birlikte çalışma alanımızda en

geniş yer alan kayaçlar tüflerdir (Pln1). Genellikle ince taneli, grimsi-beyaz-bej renklerde, yer yer tabakalı yapılı, yer yer de lav ara katkılı olarak izlenmektedirler. İnce kesitlerde başlıca cam, bir hamur içinde plajioklaslar, bazen sanidin, yer yer piroksen ve daha çok olarak ta volkanik kayaç parçaları izlenmektedir.



6. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Laboratuvar deneyleri için arazide mostra ve kaya düşmelerini oluşturan bazalt lavlarından 40 adet, bazalt lavlarının altında yer alan tuf biriminden ise 20 adet örnek alınarak bölümümüz laboratuvarında yoğunluk ve birim hacim ağırlığı, porozite, boşluk oranı ve su emme oranı gibi kaya indeks deneyleri ISRM standartlarına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2).



Şekil 6.1. Bazalt lav akıntılarından laboratuvar deneyleri için alınan örnekler.



Şekil 6.2. Sahadaki tuf biriminden laboratuvar deneyleri için alınan örnekler.

6.1. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlığının Belirlenmesi

Duraysızlık alanından alınan örneklerin öncelikli olarak ağırlıkları ölçülmüş ve hacim ölçerli tüpler içine konarak, numunelerin hacmi belirlenmiştir. Buradan doğal yoğunluk ve doğal birim hacim ağırlıkları ISRM (2007) yöntemine göre belirlenmiştir. Tüm örneklerden belirlenen doğal yoğunluk ve doğal birim hacim ağırlığı değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak, ortalama yoğunluk ve ortalama doğal birim hacim ağırlığı değerleri bazalt lavları ve tuf birimi için belirlenmiştir.

6.2. Porozite, Boşluk Oranı ve Su Emme Oranının Belirlenmesi

Duraysızlık alanındaki bazaltik lav ve tuf kaya kütesinden alınan örnekler 105° sıcaklıktaki etüvde 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra örnekler tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Buradan örneklerin doğal su içerikleri (w) belirlenmiştir. Örneklerin suya doymun birim hacim ağırlıkları ise Denklem (6.1)'den belirlenmiştir. Daha sonra örnekler 48 saat suda bekletilerek, tekrar ağırlıkları belirlenerek suya doymun birim hacim ağırlıkları porozite, boşluk oranı değerleri belirlenmiştir.

$$\gamma_{kuru} = \frac{\gamma_{doymun}}{1+w} \dots \dots 1 \quad (6.1)$$

Çizelge 6.1. Kızılınler kaya düşmesi bölgesi bazalt lavlarından alınan örnekler üzerinde yapılan indeks deneyleri sonuçları.

A	V	M	D	γ_n	Ms	W	Msat	Aw	Pdm	γ_{dm}	γ_{sat}	Vy	n	e
1	30	68,50	2,28	22,40	67,5	1,48	71	5,19	2,25	22,07	23,22	3,50	11,67	0,13
2	35	84,50	2,41	23,68	82,5	2,42	85	3,03	2,36	23,12	23,82	2,50	7,14	0,08
3	58	144,50	2,49	24,44	142,5	1,40	144,5	1,40	2,46	24,10	24,44	2,00	3,45	0,04
4	49	121,00	2,47	24,22	119	1,68	120	0,84	2,43	23,82	24,02	1,00	2,04	0,02
5	53	135,00	2,55	24,99	133,5	1,12	136	1,87	2,52	24,71	25,17	2,50	4,72	0,05
6	26	62,50	2,40	23,58	61	2,46	63	3,28	2,35	23,02	23,77	2,00	7,69	0,08
7	61	151,50	2,48	24,36	149,5	1,34	152	1,67	2,45	24,04	24,44	2,50	4,10	0,04
8	50	124,00	2,48	24,33	122	1,64	124	1,64	2,44	23,94	24,33	2,00	4,00	0,04
9	39	95,50	2,45	24,02	93,5	2,14	95,5	2,14	2,40	23,52	24,02	2,00	5,13	0,05
10	21	54,50	2,60	25,46	54	0,93	55	1,85	2,57	25,23	25,69	1,00	4,76	0,05
11	26	67,00	2,58	25,28	66	1,52	67	1,52	2,54	24,90	25,28	1,00	3,85	0,04
12	52	126,50	2,43	23,86	124	2,02	126,5	2,02	2,38	23,39	23,86	2,50	4,81	0,05
13	49	115,50	2,36	23,12	113,5	1,76	115	1,32	2,32	22,72	23,02	1,50	3,06	0,03
14	40	99,00	2,48	24,28	97,5	1,54	99,5	2,05	2,44	23,91	24,40	2,00	5,00	0,05
15	54	134,00	2,48	24,34	132	1,52	134,5	1,89	2,44	23,98	24,43	2,50	4,63	0,05
16	88	212,50	2,41	23,69	208,5	1,92	214	2,64	2,37	23,24	23,86	5,50	6,25	0,07
17	24	60,00	2,50	24,53	59	1,69	60,5	2,54	2,46	24,12	24,73	1,50	6,25	0,07
18	56	141,00	2,52	24,70	139	1,44	141	1,44	2,48	24,35	24,70	2,00	3,57	0,04
19	69	173,00	2,51	24,60	171	1,17	173	1,17	2,48	24,31	24,60	2,00	2,90	0,03
20	73	207,50	2,84	27,88	204,5	1,47	207,5	1,47	2,80	27,48	27,88	3,00	4,11	0,04
21	72	199,50	2,77	27,18	196,5	1,53	200	1,78	2,73	26,77	27,25	3,50	4,86	0,05
22	52	143,50	2,76	27,07	142	1,06	143,5	1,06	2,73	26,79	27,07	1,50	2,88	0,03
23	36	85,00	2,36	23,16	83	2,41	85,5	3,01	2,31	22,62	23,30	2,50	6,94	0,07
24	43	107,50	2,50	24,53	106	1,42	108	1,89	2,47	24,18	24,64	2,00	4,65	0,05
25	38	98,50	2,59	25,43	97,5	1,03	99	1,54	2,57	25,17	25,56	1,50	3,95	0,04
26	49	121,00	2,47	24,22	119,5	1,26	121,5	1,67	2,44	23,92	24,32	2,00	4,08	0,04

Çizelge 6.1. Kızılinler kaya düşmesi bölgesi bazalt lavlarından alınan örnekler üzerinde yapılan indeks deneyleri sonuçları (devam).

27	23	64,00	2,78	27,30	62,5	2,40	64,5	3,20	2,72	26,66	27,51	2,00	8,70	0,10
28	38	103,00	2,71	26,59	101	1,98	104	2,97	2,66	26,07	26,85	3,00	7,89	0,09
29	21	60,50	2,88	28,26	60	0,83	61	1,67	2,86	28,03	28,50	1,00	4,76	0,05
30	40	103,50	2,59	25,38	101,5	1,97	104	2,46	2,54	24,89	25,51	2,50	6,25	0,07
31	33	91,50	2,77	27,20	89,5	2,23	92	2,79	2,71	26,61	27,35	2,50	7,58	0,08
32	21	55,50	2,64	25,93	54,5	1,83	55,5	1,83	2,60	25,46	25,93	1,00	4,76	0,05
33	24	69,00	2,88	28,20	68,5	0,73	69,5	1,46	2,85	28,00	28,41	1,00	4,17	0,04
34	40	98,00	2,45	24,03	97	1,03	99,5	2,58	2,43	23,79	24,40	2,50	6,25	0,07
35	32	86,00	2,69	26,36	84	2,38	86	2,38	2,63	25,75	26,36	2,00	6,25	0,07
36	21	58,50	2,79	27,33	57,5	1,74	58,5	1,74	2,74	26,86	27,33	1,00	4,76	0,05
37	28	73,00	2,61	25,58	71,5	2,10	73	2,10	2,55	25,05	25,58	1,50	5,36	0,06
38	46	124,00	2,70	26,44	122,5	1,22	124,5	1,63	2,66	26,12	26,55	2,00	4,35	0,05
39	29	72,00	2,48	24,36	71	1,41	72,5	2,11	2,45	24,02	24,53	1,50	5,17	0,05
40	46	109,00	2,37	23,25	107,5	1,40	109,5	1,86	2,34	22,93	23,35	2,00	4,35	0,05

A=Örnek no; V=Hacim (cm^3); M=Ağırlık (gr); D=Yoğunluk (gr/cm^3); γ_n =Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m^3); M_s =Kuru ağırlık(gr); W=Nem içeriği (%); M_{sat} =Suya doymuş ağırlık(gr); A_w =Ağırlıkça su emme oranı (%); P_{dm} =Kuru yoğunluk (kN/m^3); γ_{dm} =Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m^3); γ_{sat} =Doymuş birim hacim ağırlığı (kN/m^3); V_y =Boşluk hacmi (cm^3); n =Gözeneklilik (%); e =Boşluk oranı (%).

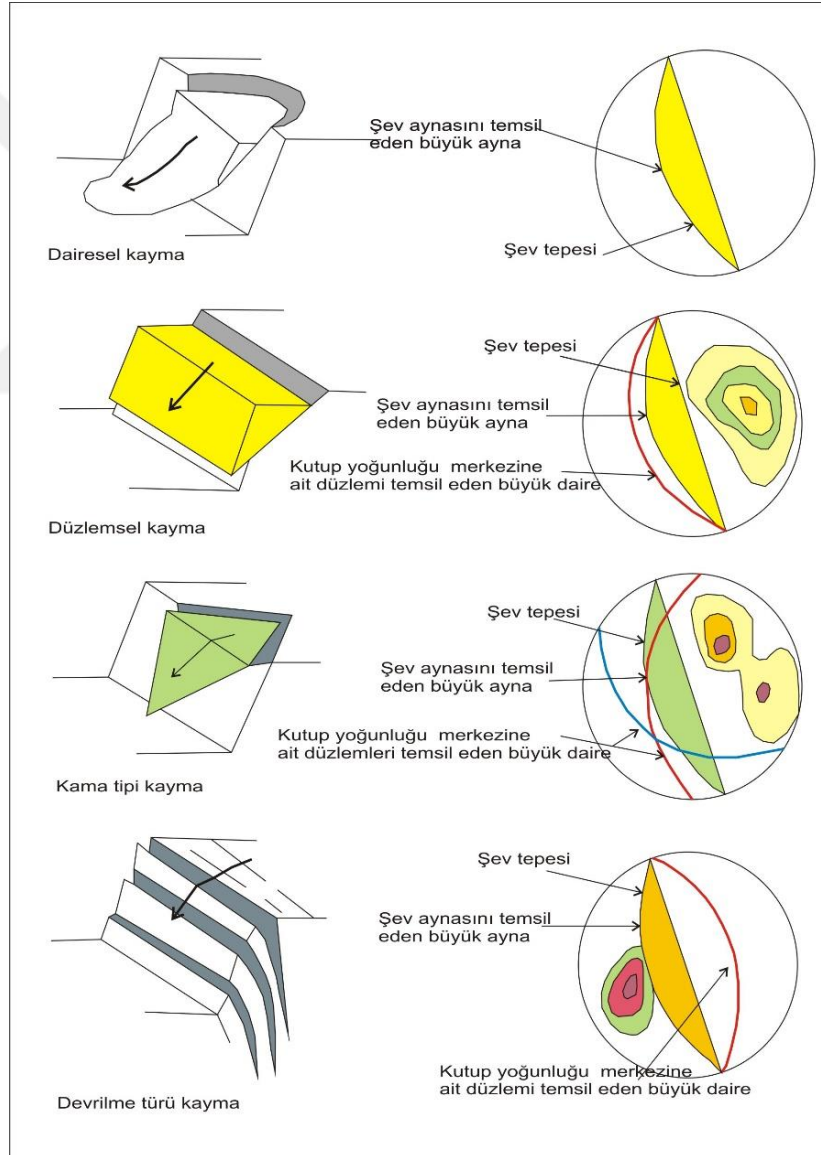
Çizelge 6.2. Kızılınler kaya düşmesi bölgesi tuf birimlerinden alınan örnekler üzerinde yapılan indeks deneyleri sonuçları.

A	V	M	D	γ_n	Ms	W	Msat	Aw	Pdm	γ_{dm}	γ_{sat}	Vy	n	e
1	24	40	1,67	16,35	30	33,33	42	40,00	1,25	12,26	17,17	12,00	50,00	1,00
2	26	41,5	1,60	15,66	34	22,06	44	29,41	1,31	12,83	16,60	10,00	38,46	0,63
3	28	44	1,57	15,42	34,5	27,54	45,5	31,88	1,23	12,09	15,94	11,00	39,29	0,65
4	27	42,5	1,57	15,44	33,5	26,87	46	37,31	1,24	12,17	16,71	12,50	46,30	0,86
5	34	52	1,53	15,00	44	18,18	58	31,82	1,29	12,70	16,73	14,00	41,18	0,70
6	28	44	1,57	15,42	37,5	17,33	46,5	24,00	1,34	13,14	16,29	9,00	32,14	0,47
7	30	47,5	1,58	15,53	39	21,79	51,5	32,05	1,30	12,75	16,84	12,50	41,67	0,71
8	37	60,5	1,64	16,04	52,5	15,24	66	25,71	1,42	13,92	17,50	13,50	36,49	0,57
9	33	54	1,64	16,05	40	35,00	56	40,00	1,21	11,89	16,65	16,00	48,48	0,94
10	12	18,5	1,54	15,12	13,5	37,04	18	33,33	1,13	11,04	14,72	4,50	37,50	0,60
11	24	40,5	1,69	16,55	31,5	28,57	43	36,51	1,31	12,88	17,58	11,50	47,92	0,92
12	33	54,5	1,65	16,20	44	23,86	60,5	37,50	1,33	13,08	17,99	16,50	50,00	1,00
13	31	48,5	1,56	15,35	38,5	25,97	53	37,66	1,24	12,18	16,77	14,50	46,77	0,88
14	30	40	1,33	13,08	36,5	9,59	46	26,03	1,22	11,94	15,04	9,50	31,67	0,46
15	33	46,5	1,41	13,82	42,5	9,41	57	34,12	1,29	12,63	16,94	14,50	43,94	0,78
16	32	43,5	1,36	13,34	39	11,54	49	25,64	1,22	11,96	15,02	10,00	31,25	0,45
17	31	43,5	1,40	13,77	37,5	16,00	45	20,00	1,21	11,87	14,24	7,50	24,19	0,32
18	22	39,5	1,80	17,61	39	1,28	43	10,26	1,77	17,39	19,17	4,00	18,18	0,22
19	33	45,5	1,38	13,53	42	8,33	55,5	32,14	1,27	12,49	16,50	13,50	40,91	0,69
20	28	36	1,29	12,61	33	9,09	Numune eridi							

A=Örnek no; V=Hacim (cm^3); M=Ağırlık (gr); D=Yoğunluk (gr/cm^3); γ_n =Doğal birim hacim ağırlığı (kN/m^3); Ms=Kuru ağırlık(gr); W=Nem içeriği (%); Msat=Suya doymuş ağırlık(gr); Aw=Ağırlıkça su emme oranı (%); Pdm=Kuru yoğunluk (kN/m^3); γ_{dm} =Kuru birim hacim ağırlığı (kN/m^3); γ_{sat} =Doymuş birim hacim ağırlığı (kN/m^3); Vy=Boşluk hacmi (cm^3); n=Gözeneklilik (%); e=Boşluk oranı (%).

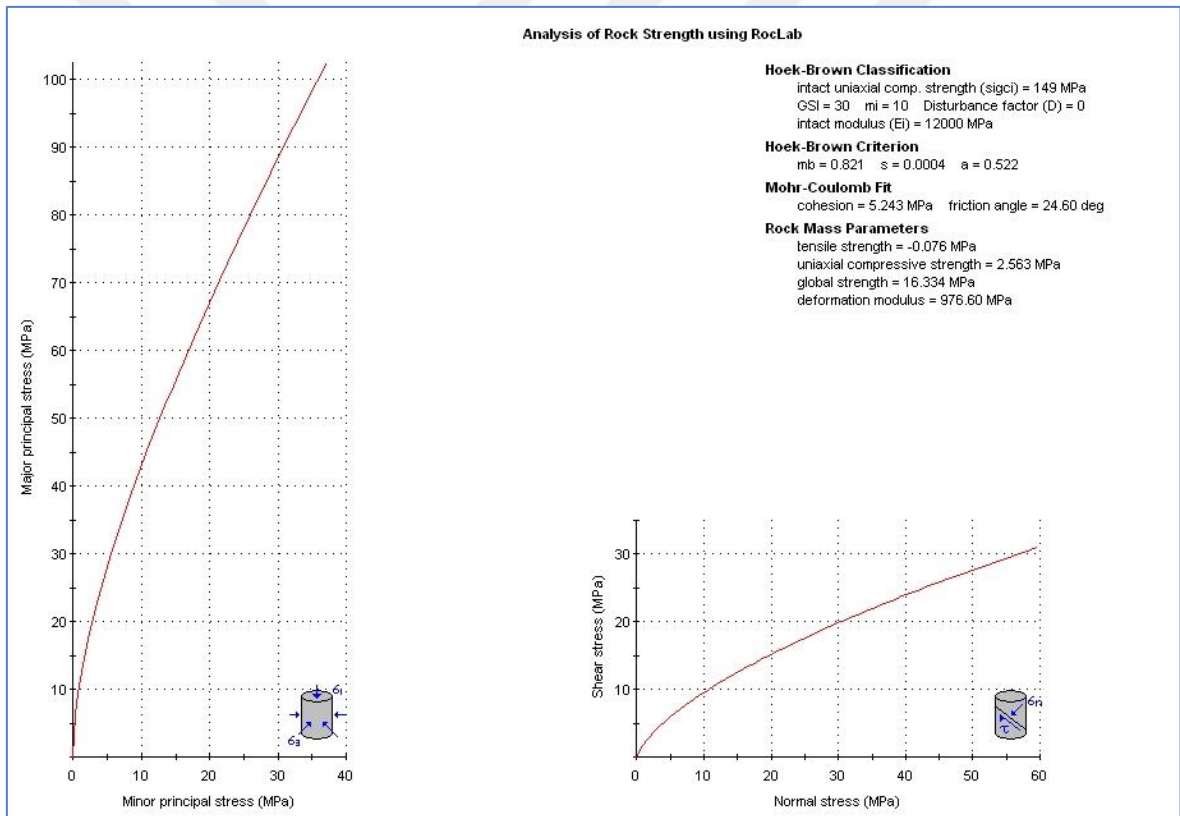
7. KİNEMATİK ANALİZLER

Kaya kütlelerinin duraylılığına etkiyen en büyük önemli parametre kaya kütle içerisinde gelişmiş olan süreksizlik sistemidir. Kinematik analizlerde kaya kütleinin duraylı ya da duraysız olup olmadığını belirlemekte faydalı bir yöntemdir. Bu analizde stereonet üzerinde yapılan pratik bir yöntemdir. Bu yöntemde gerekli olan hâkim süreksizlik setlerinin doğrultu ve eğimleri, şevin doğrultusu ve eğimi ile süreksizlik yüzeylerinin sürtünme açısı değerlendirilmeye alınır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Kaya kütlelerinde gelişen duraysızlık türleri ve bunların stereonet görünümü (Hoek ve Bray, 1977).

Kinematik analizlerde bir diğer girdi parametresi süreksizlik yüzeyleri içsel sürtünme açısı (Φ). Hoek-Brown yenilme kriterini temel alarak hazırlanmış RocLap bilgisayar programı ile bazalt lav birimleri süreksizlikler arasındaki içsel sürtünme açısı (Φ) değeri belirlenmiştir (Rockscience 2002). RocLap 1.0 programında girdi parametresi olarak kaya kütleinin jeolojik dayanım indeksi (GSI), kayaç tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_{ci}), kayaç parametresi (m_i) ve örselenme faktörü (D) kullanılır. Program değerlendirmesi sonucunda kaya kütleinin yenilme zarfı m_b , s ve a parametrelerinin yanı sıra kaya kütleine ait içsel sürtünme açısı (Φ), kohezyon (c) değerleri belirlenir. GSI değeri 30, $m_i=10$ ve örselenme faktörü=0 olarak alınmış, içsel sürtünme açısı (Φ)=25° olarak belirlenmiştir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Çalışma alanına ait RocLap1 programı değerlendirilmesi (Rockscience, 2002).

Kinematik analizler için, kaya bloklarının düştüğü kaya kütleinin eğim yönü ve eğim açısı değeri kullanılırken, kaya düşmesi analizleri için kaya bloklarının düştüğü tüm yamacın eğim açısı kullanılmıştır. Kaya düşmelerinin yoğun olduğu üç yamaç, hâkim süreksizlik setleri ve kinematik analizlerde değerlendirmeye alınan içsel sürtünme açısı Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Eklem setleri ve yamaç eğim/eğim yönü bilgileri.

Tanım	Kinematik Analizlerde Eğim/eğim yönü	RockFall Kaya Düşmelerinde Eğim/eğim yönü	İçsel Sürtünme Açısı (Φ)
SET1	17/105	17/105	25
SET2	75/199	75/199	25
YAMAÇ1	85/259	28/299	
YAMAÇ2	85/68	26/68	
YAMAÇ3	85/45	22/45	

7.1. Düzlemsel Kayma Analizi

Düzlemsel bir kaymanın oluşabilmesi için en genel kurallar aşağıdaki gibi açıklanabilir.

a) Kaya düşmelerinin olduğu şev eğim açısı>kaya düşmesi yapan bazalt lavlarında gelişmiş süreksizlik hâkim setleri eğim açısı>Süreksizlik yüzeyleri içsel sürtünme açısı

b) Şev eğim yönü açısı-Süreksizlik eğim yönü açısı $\pm 20^\circ$ olmalıdır.

Hat etüt 1'in yapıldığı yön şev K29D/85KB (85/259)'dur. Bu şev eğim/eğim yönü değeri ve bölgedeki hâkim setlerin yönün ise SET1 19/107 ile SET2 77/199 olarak belirlenmiştir. Dips 5 programında düzlemsel kayma analizi yapılmıştır. Düzlemsel kayma koşulları için yukarıda yazılan kurallar hâkim süreksizlik testleri için test edilirse;

YAMAÇ 1 için düzlemsel kinematik analiz

SET 1 için

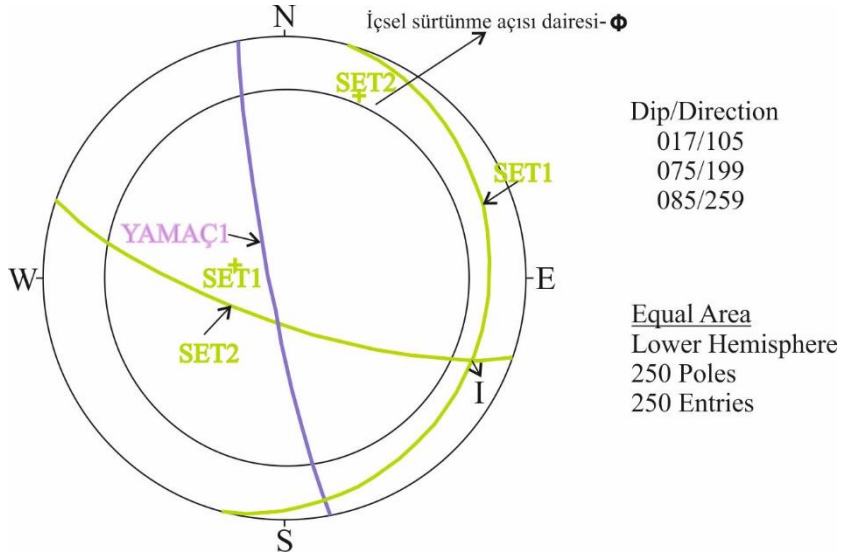
a) $85 > 19 > 25$ görüldüğü gibi düzlemsel kayma kuralı sağlanamamaktadır.

b) $259 - 107 = 152$ görüldüğü gibi düzlemsel kayma kuralı sağlanamamaktadır.

SET 2 için

a) $85 > 75 > 25$ görüldüğü gibi düzlemsel kaymanın bu kuralı sağlanmaktadır.

b) $259 - 199 = 60$ görüldüğü gibi düzlemsel kaymanın bu kuralı sağlanamamaktadır.



Şekil 7.3. Yamaç 1 de düzlemsel kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi.

YAMAÇ 2 için düzlemsel kinematik analiz

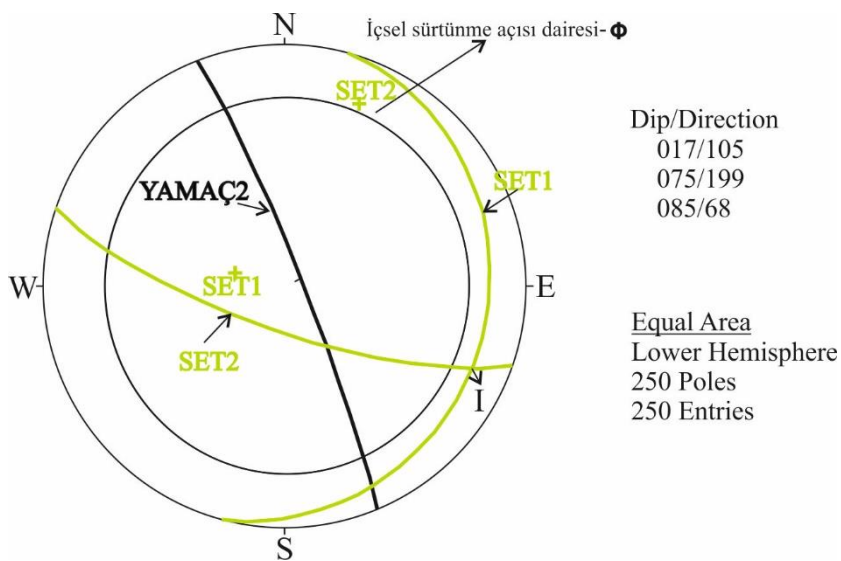
SET 1 için

Yamaç 2 eğim/eğim yönü değeri 85/68 dir.

- a) $85 > 19 > 25$ görüldüğü gibi düzlemsel kayma kuralı sağlanamamaktadır.
- b) $68 - 107 = 39$ görüldüğü gibi düzlemsel kayma kuralı sağlanamamaktadır.

SET 2 için

- a) $85 > 75 > 25$ görüldüğü gibi düzlemsel kaymanın bu kuralı sağlanmaktadır.
- b) $68 - 199 = 131$ görüldüğü gibi düzlemsel kaymanın bu kuralı sağlanamamaktadır.



Şekil 7.4. Yamaç 2 de düzlemsel kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi.

YAMAÇ 3 için düzlemsel kinematik analiz

SET 1 için

Yamaç 3 eğim/eğim yönü değeri 85/45 tir.

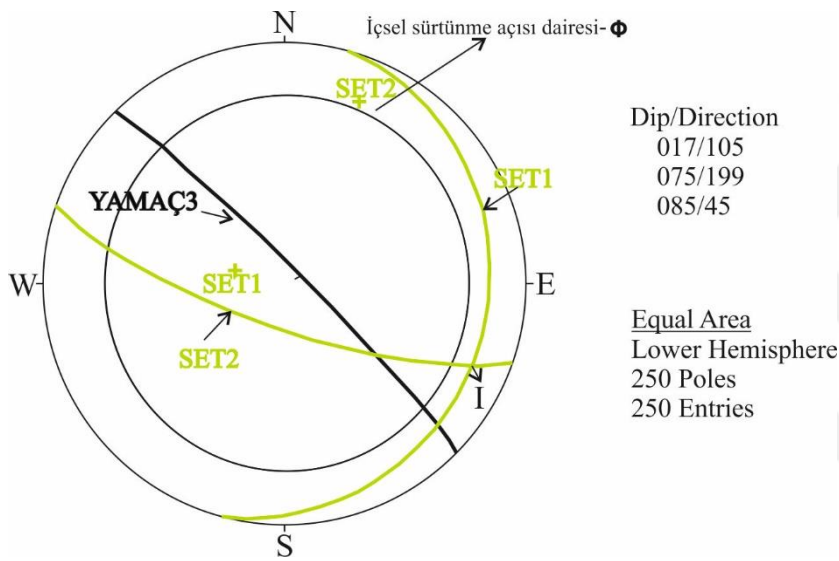
a) $85 > 19 > 25$ görüldüğü gibi düzlemsel kayma kuralı sağlanamamaktadır.

b) $45 - 107 = 62$ görüldüğü gibi düzlemsel kayma kuralı sağlanamamaktadır.

SET 2 için

a) $85 > 75 > 25$ görüldüğü gibi düzlemsel kaymanın bu kuralı sağlanmaktadır.

b) $45 - 199 = 154$ görüldüğü gibi düzlemsel kaymanın bu kuralı sağlanamamaktadır.



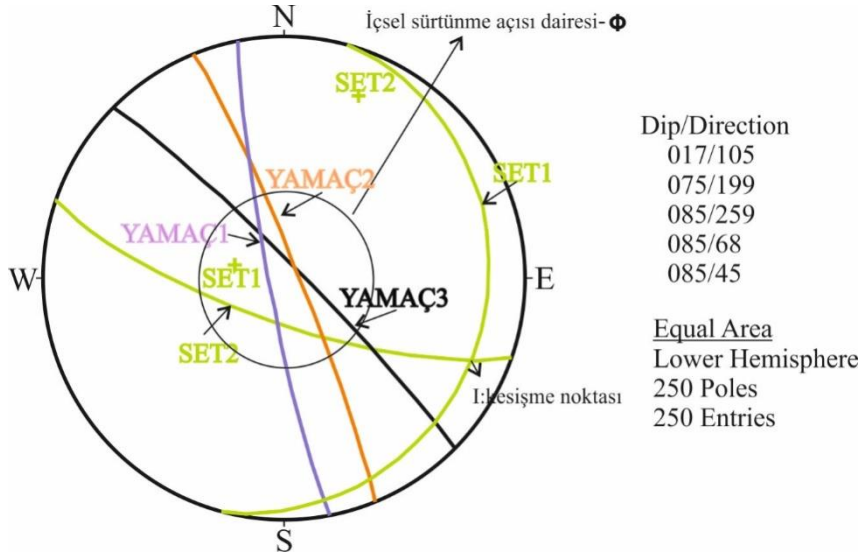
Şekil 7.5. Yamaç 3 de düzlemsel kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi.

7.2. Kama Tipi Kayma Analizi

Kama tipi bir kaymanın oluşabilmesi için en genel kurallar aşağıdaki gibi açıklanabilir.

a) Kaya düşmelerinin olduğu şev eğim açısı > kaya düşmesi yapan bazalt lavlarında gelişmiş süreksizlik hâkim setlerinin kesişme hattı eğim açısı > Süreksizlik yüzeyleri içsel sürtünme açısı (Haliyle kesişme noktası içsel sürtünme açısı daresi içinde kalacaktır).

Şekilden de görüleceği gibi süreksizlik setlerinin kesişme noktası, süreksizlik yüzeyleri içsel sürtünme açısından düşüktür. Sonuç olarak, her üç yamaçta da kama türü duraysızlık beklenmemelidir.



Şekil 7.6. Yamaçlarda kama tipi kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi.

7.3. Devrilme Türü Kayma Analizi

Devrilme tipi bir kaymanın oluşabilmesi için en genel kurallar aşağıdaki gibi açıklanabilir

a) Devrilme yapma ihtimali olan bazalt lavlarında gelişmiş süreksizlik hâkim seti eğim açısının 90 dereceden farkı ile süreksizlik yüzeyleri içsel sürtünme açısı toplamı kaya düşmelerinin olduğu şev eğim açısından düşük olması beklenir

b) Şev doğrultu açısı ile devrilme yapan süreksizlik doğrultusu arasındaki açı $\pm 30^\circ$ olması, diğer bir anlatımla şev eğim yönü açısı ile süreksizlik eğim yönü açısı farkı 150° ile 220° arasında olmalıdır.

YAMAÇ 1 için devrilme duraysızlığı kinematik analiz

SET 1 için

a) $(90-17) + 25 < 85$, $98 < 85$ görüldüğü gibi devrilme kayma kuralı sağlanamamaktadır.

b) $259-105=154$ görüldüğü gibi devrilme kayma kuralı sağlanmaktadır.

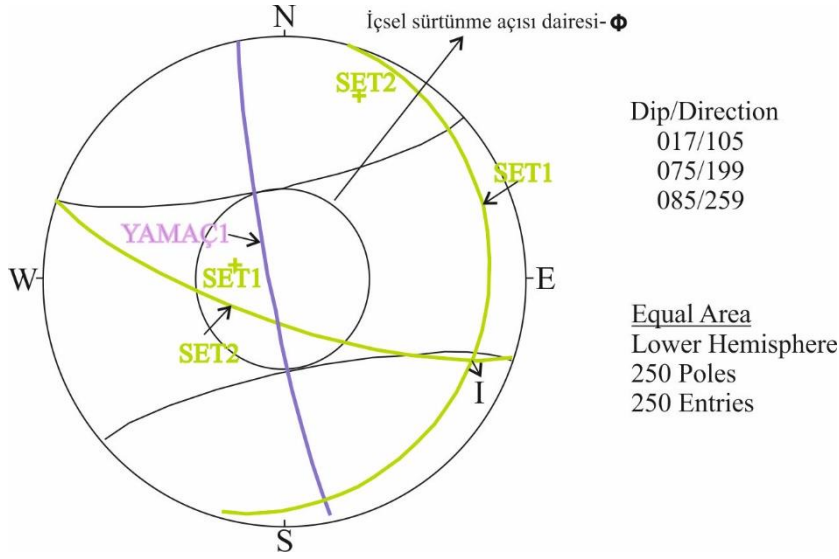
$85 > 25 > 72$

SET 2 için

a) $(90-75) + 25 < 85$ görüldüğü gibi devrilme kaymanın bu kuralı sağlanmaktadır.

b) $259-199=60$ görüldüğü gibi devrilme kaymanın bu kuralı sağlanamamaktadır.

$85 > 25 > 15$



Şekil 7.7. Yamaç 1 de devrilme kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi.

YAMAÇ 2 için devrilme duraysızlığı kinematik analiz

SET 1 için

a) $(90-17) + 25 < 85$, $98 < 85$ görüldüğü gibi devrilme kayma kuralı sağlanamamaktadır.

b) $68-105=47$ görüldüğü gibi devrilme kayma kuralı sağlanmamaktadır.

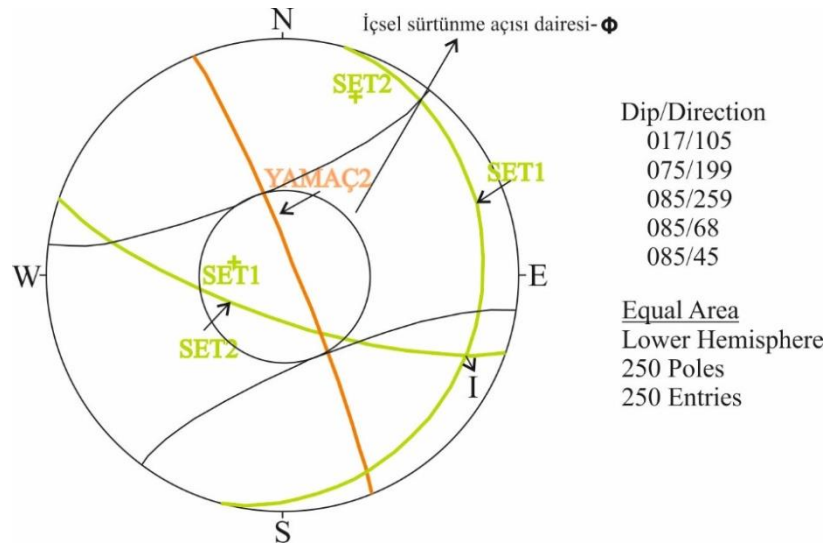
$85 > 25 > 75$ bu kuralda sağlanmamaktadır.

SET 2 için

a) $(90-75) + 25 < 85$ görüldüğü gibi devrilme kaymanın bu kuralı sağlanmaktadır.

b) $68-199=131$ görüldüğü gibi devrilme kaymanın bu kuralı sağlanamamaktadır.

$85 > 25 > 15$



Şekil 7.8. Yamaç 2 de devrilme kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi.

YAMAÇ 3 için devrilme kinematik analiz

SET 1 için

a) $(90-17) + 25 < 85$, $98 < 85$ görüldüğü gibi devrilme kayma kuralı sağlanmamaktadır.

b) $45-105=60$ görüldüğü gibi devrilme kayma kuralı sağlanmamaktadır.

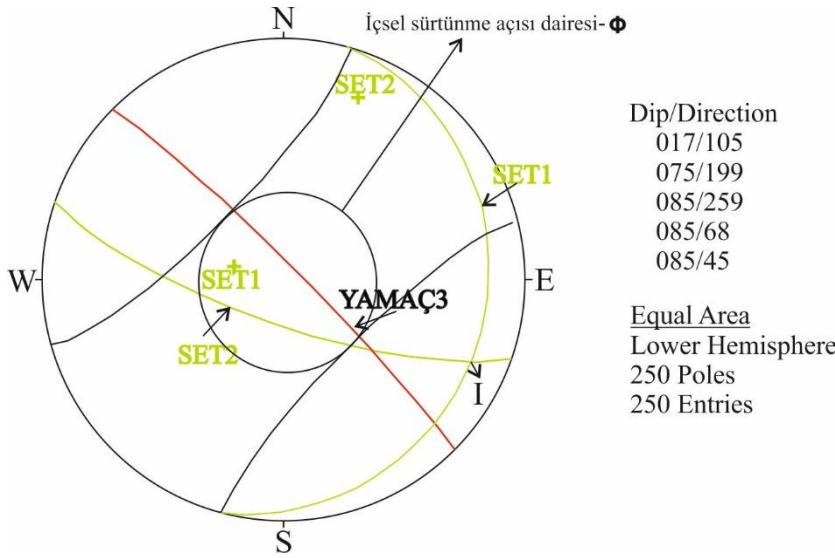
$85 > 25 > 73$ bu kuralda sağlanmamaktadır.

SET 2 için

a) $(90-75) + 25 < 85$ görüldüğü gibi devrilme kaymanın bu kuralı sağlanmaktadır.

b) $45-199=154$ görüldüğü gibi devrilme kaymanın bu kuralı sağlanmaktadır.

$85 > 25 > 25$ bu kuralda sağlanmamaktadır.

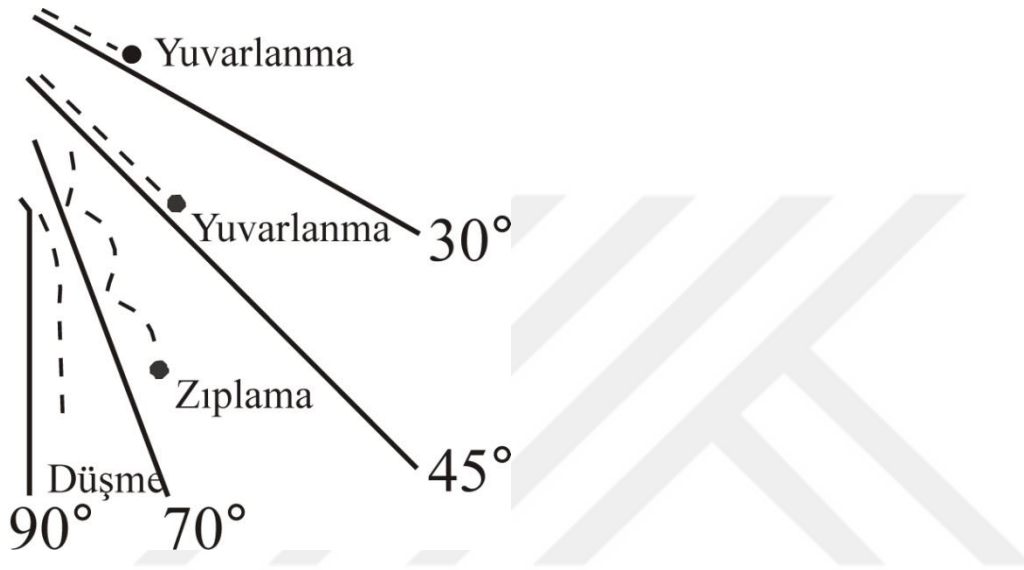


Şekil 7.9. Yamaç 3 de devrilme kayma riskinin Dips 5 programında değerlendirilmesi.

7.4. Kaya Düşmesine Yönelik Görgül Eşitliklerin Değerlendirilmesi

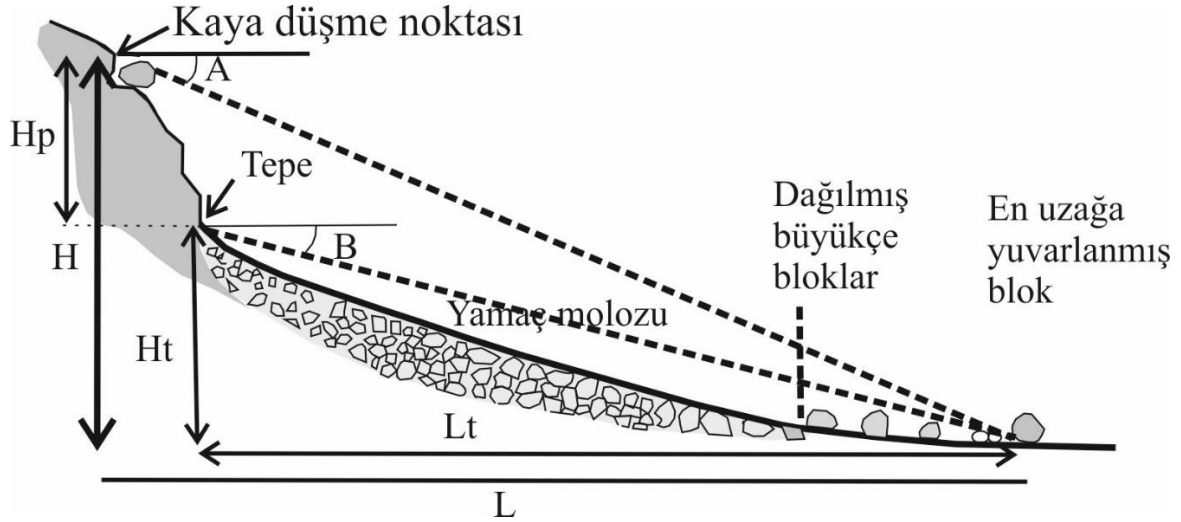
Kaya düşmeleri, dik topoğrafyaya sahip alanların yüksek kotlarında yüzeylenen eklemlili kaya ortamlarında, süreksizliklerin sınırlandırdığı kaya bloklarının serbest yüzeye doğru küçük hareketlerde duraylılığını yitirerek, kaynak bölgeden eğim aşağı oldukça hızlı olarak hareket ettiği bir tür yamaç duraysızlığıdır (Varnes, 1978; Hutchinson, 1988; Cruden ve Varnes, 1996). Kaya düşmesi; toprak ya da kaya bloklarının, dik bir yamaç boyunca herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın ana kütleden ayrılmasıdır (WP/WPLI 1993). Bu duraysızlık sırasında, bloklar serbest düşme, sıçrama ve yuvarlanma şeklinde hareket ederler (Şekil 7.10).

Kaya bloklarının düştüğü topoğrafik yüzey değişime uğramaması koşulu ile düşen blokların hacminin de bilinmesiyle, düşen bloğun gidebileceği uzaklığın tespiti literatürde yer alan görgül eşitlikler ile tahmin edilebilmektedir. Literatürde bu konuya ilişkin iki görgül eşitlik vardır. Bunlar ulaşım açısı (Heim,1932; Shreve, 1968; Scheidegger, 1973; Hsü, 1975; Corominas,1996) ve gölge açısı (Lied, 1977; Evans ve Hungr, 1993) görgül eşitlikleridir.



Şekil 7.10. Bir kaya yamacından aşağı düşen kaya bloğunun, yamaç eğim açısına bağlı olarak yaptığı davranış türleri (Ritchie, 1963).

Ulaşım açısı yaklaşımı kaya bloğun koptuğu nokta yüksekliğinin oluşturacağı kinetik enerji ile bu kopan bloğun yuvarlandığı son noktaya kadar uzanan enerji hattının yatayla açısının tanımlanmasını temel alır. Şekil 7.11’de görülen A açısı ulaşım açısı olarak tanımlanmıştır. Ulaşım açısının tanjant değeri düşen bloğun yol aldığı yüzeyin sürtünme katsayısını verir (Shreve 1968 ve Scheidegger 1973). Bu ilişkide yatay uzunluğun büyük olması ulaşım açısının küçülmesine neden olur ($\arctan H/L$). Gölge açısı ise moloz yamacının apeksi ile en uzağa giden bloğun arasındaki enerji hattıdır. Gölge açısı geometrik olarak olarak ise $\arctan (H_t/L_t)$ değerine eşittir. H_t değeri yamaç molozu apeksi yüksekliği ile en uzağa giden blok yüksekliği farkıdır. L_t ise yamaç molozu ile en uzağa giden blok arasındaki yatay mesafedir. Tanımlardan da anlaşılacağı gibi en düşük gölge açısı, en uzağa giden bloğa aittir.

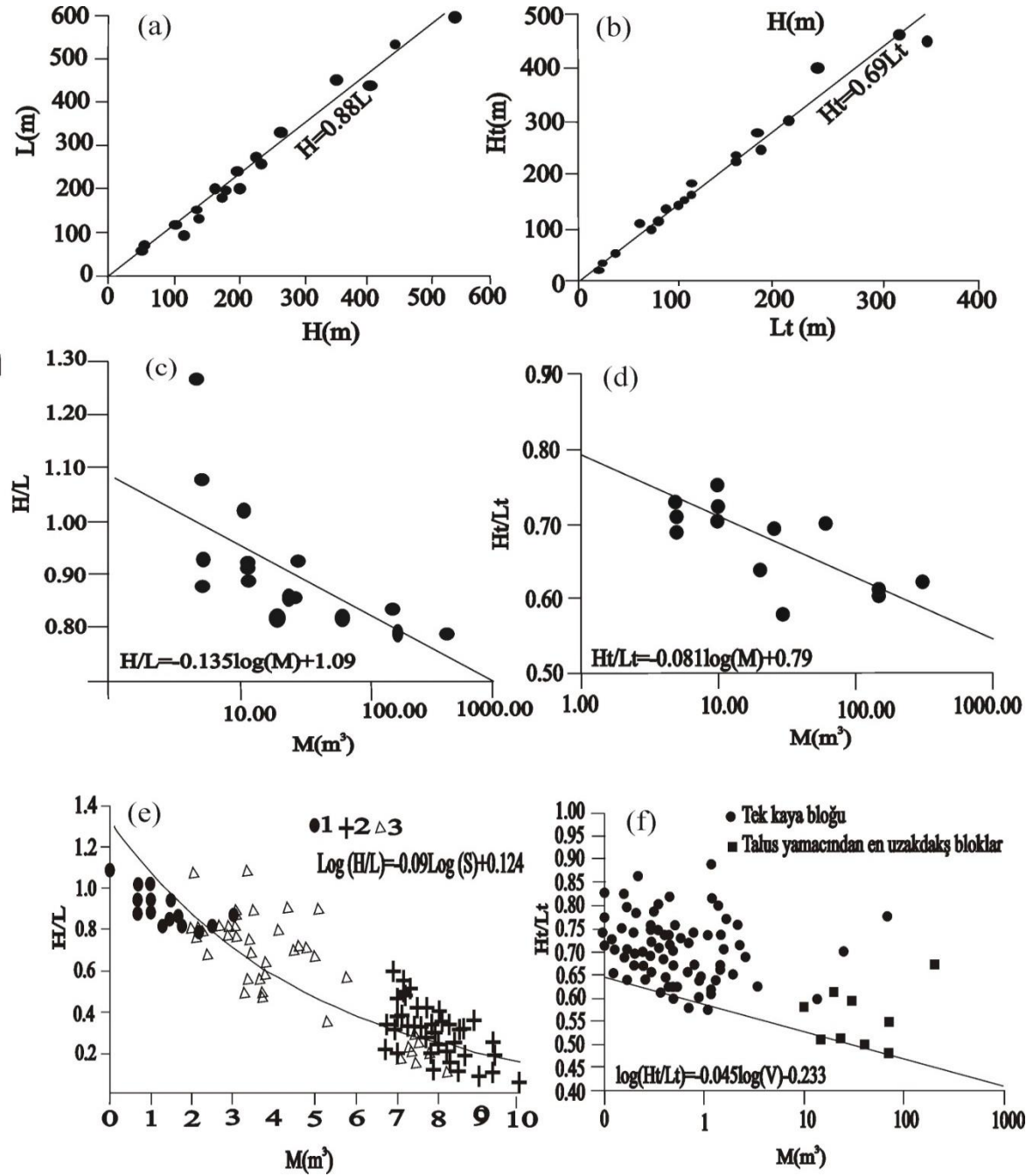


Şekil 7.11. Kaya yamacı ve moloz yamacını gösteren bir kesit (A: ulaşım açısı, B: gölge açısı) (Evans ve Hungry 1993; Wiczorek et al 2008).

Şu özelliklerin düşen kaya bloğu üzerinde etkisi vardır. Düşen bloğun koptuğu kaya kütleinin boyutları, yamaç özellikleri, düşen blokların tek başına hacimleri (en yoğun bloklar yamaç molozunun tabanında birikir), düşen blokların yol aldığı hattın morfolojik özellikleri (Corominas, 1996; Okura et al., 2000; Erismann ve Abele, 2001); Corominas et al., 1990; Krummenacher ve Keusen, 1997; Dorren, 2003; Nicoletti ve Sorriso-Valvo, 1991).

Gölge açısı ve ulaşım açısı modelleri pratikliği için topoğrafik değişkenler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Toplam yükseklik (H)- toplam yuvarlanma mesafesi (L) grafiği doğrusal bir ilişkiyi 0.95 korelasyon katsayısıyla vermiştir (Şekil 7.12a). Gölge açısı için kullanılan H_t - L_t parametreleri grafiği ise 0.993 regresyon katsayısı ile doğrusal ilişki göstermiştir (Şekil 7.12b).

Büyük blokların ulaşım açısı değeri, bu bloğun kaya kütleinden ayrılma anındaki hacmine (M) bağlıdır (Scheidegger, 1973; Corominas, 1996; Erismann ve Abele, 2001). Blok büyüdükçe ulaşım açısı küçülür. Corominas (1996) 10^2 - 10^8 m³ aralığındaki düşen bloklar için H/L oranı ile düşen blok boyutu (M) arasında ve H_t/L_t oranı ile düşen blok boyutu arasında logaritmik bir ilişki belirlemiştir (Şekil 7.12c ve Şekil 7.12d).



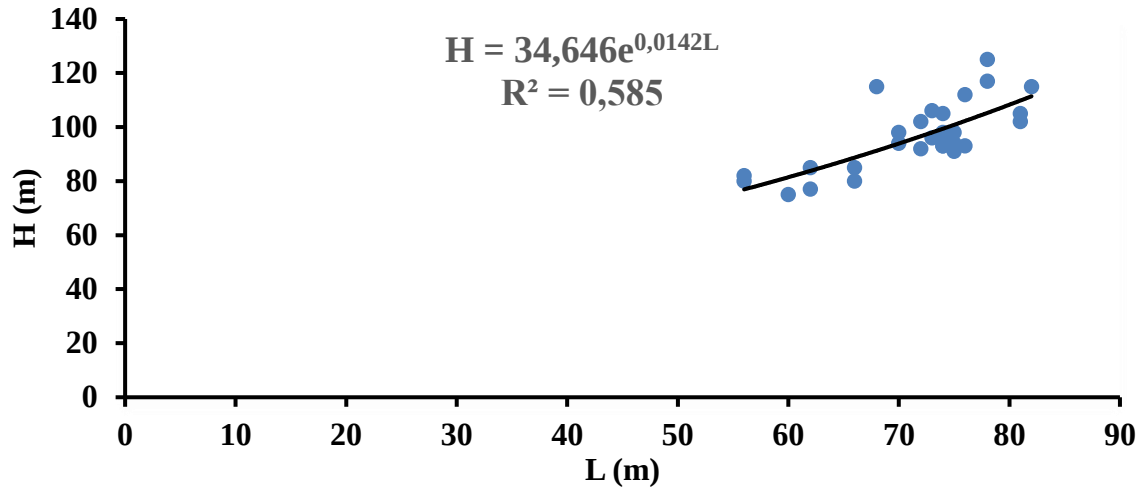
Şekil 7.12. (a) Toplam yuvarlanma (L)-Yamaç yüksekliği grafiği (H), korelasyon katsayısı: 0.995. (Ulaşım Açısı Modeli) b) Moloz yamacında yuvarlanma uzaklığı (Lt)-Moloz yüksekliği grafiği(Ht), korelasyon katsayısı:0.993 (Gölge Açısı Modeli) (c) Düşen kaya hacmi (M) ile Ulaşım açısı tanjant (H/L) grafiği, korelasyon katsayısı 0.5 civarında (d)Düşen kaya hacmi (M) ile Gölge açısı tanjant (Ht/Lt) grafiği, korelasyon katsayısı 0.5 civarında (e) Değişik çalışmalardan derlenmiş düşen blok hacmi (M) ile ulaşım açısı (H/L) grafiği (f) Tek düşen blok hacmi (V) ile gölge açısı (Ht/Lt) grafiği(Copon et al, 2009).

Kızılınler kaya düşmesi sahasında 29 adet düşen blok konumları çalışılarak, H, L, Ht ve Lt değerleri ile blok hacimleri belirlenmiştir (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2. Çalışma alanında düşen blokların değerlendirilmesi.

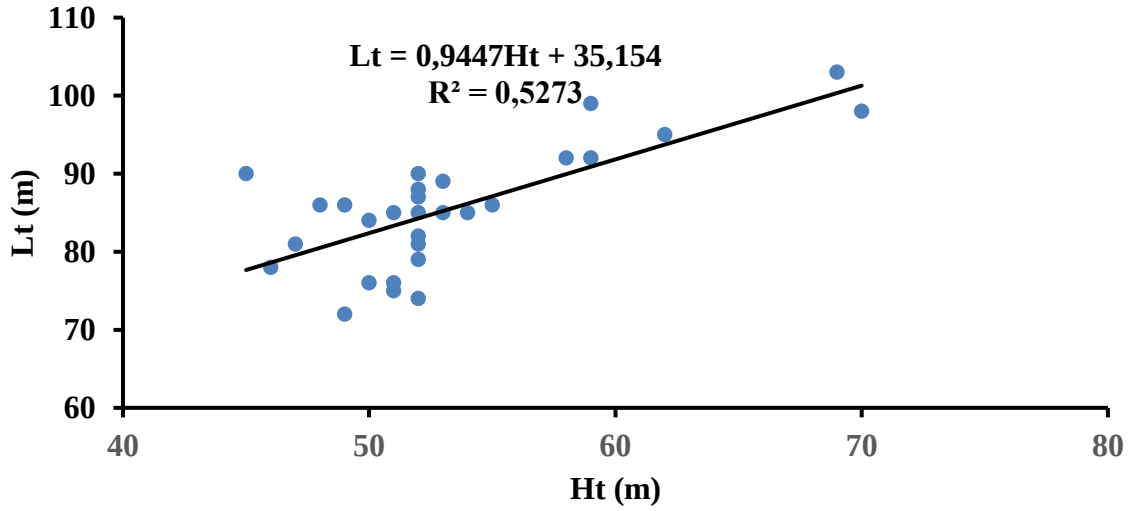
Düşen blok no	Konumu		H (m)	Ht (m)	L (m)	Lt (m)	M (m ³)
	X	Y					
1	0279683	4396343	74	52	98	95	35.100
2	0279683	4396343	70	48	82	79	70.176
3	0279710	4396475	62	46	93	78	228.438
4	0279581	4396018	76	52	90	85	2.560
5	0279581	4396318	78	50	82	76	6.175
6	0279589	4396317	77	52	85	79	1.112
7	0279591	4396291	76	51	80	76	0.576
8	0279576	4396278	73	51	80	77	0.488
9	0279560	4396261	73	51	106	103	3.290
10	0278774	4395777	73	49	96	92	47.714
11	0278783	4395462	70	47	85	81	51.905
12	0278799	4395442	68	45	83	80	212.174
13	0278794	4395437	75	52	77	74	4.188
14	0278820	4395423	71	49	75	72	8.179
15	0278798	4395417	72	70	79	76	1.176
16	0278795	4395077	74	52	101	98	0.162
17	0278802	4395389	81	59	102	99	2.062
18	0278870	4395439	75	53	94	91	1.144
19	0278811	4395392	74	52	93	90	0.990
20	0288806	4395388	76	54	93	90	0.120
21	0288806	4395332	75	53	91	85	0.312
22	0278805	4395380	74	52	96	93	5.570
23	0278805	4395332	72	50	92	89	3.260
24	0278805	4395380	74	52	93	90	0.468
25	0278805	4395375	75	58	98	95	0.210
26	0278814	4395374	82	55	103	97	53.592
27	0278815	4395375	78	69	97	94	11.875
28	0278802	4395389	78	59	97	94	27.216
29	0278832	4395098	81	62	105	101	0.526

Yamaç yüksekliği (H) ile toplam yuvarlanma mesafesi arasında yapılan regresyon analizine göre iki parametre arasında üstel bir ilişki ile determinasyon katsayısı (R^2)=0.589 belirlenmiştir (Şekil 7.13).



Şekil 7.13. Kızılinler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde yamaç yüksekliği (m)-toplam yuvarlanma grafiği (m).

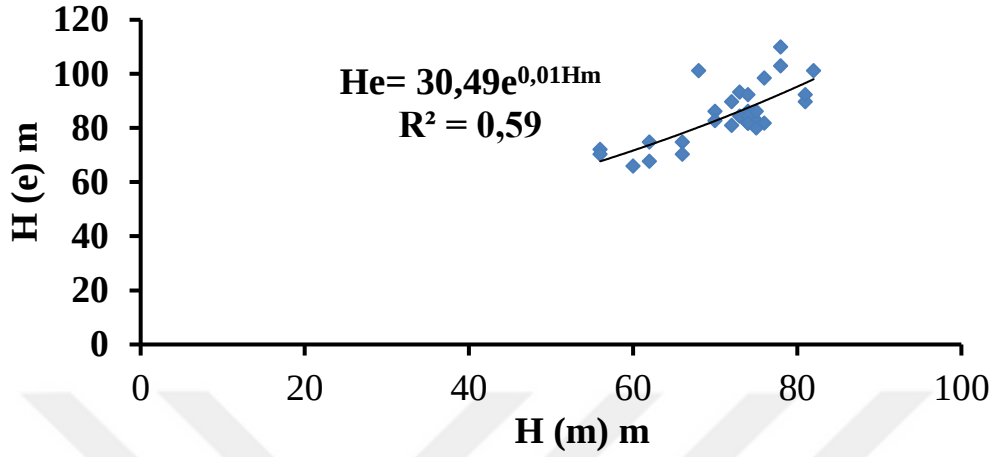
Kaya düşmelerinin olduğu yamaçlarda yapılan moloz yüksekliği ile moloz yamacından yuvarlanma mesafesi arasında yapılan regresyon analizinde ise doğrusal ilişki ile Determinasyon katsayısı (R^2) =0.53 belirlenmiştir (Şekil 7.14).



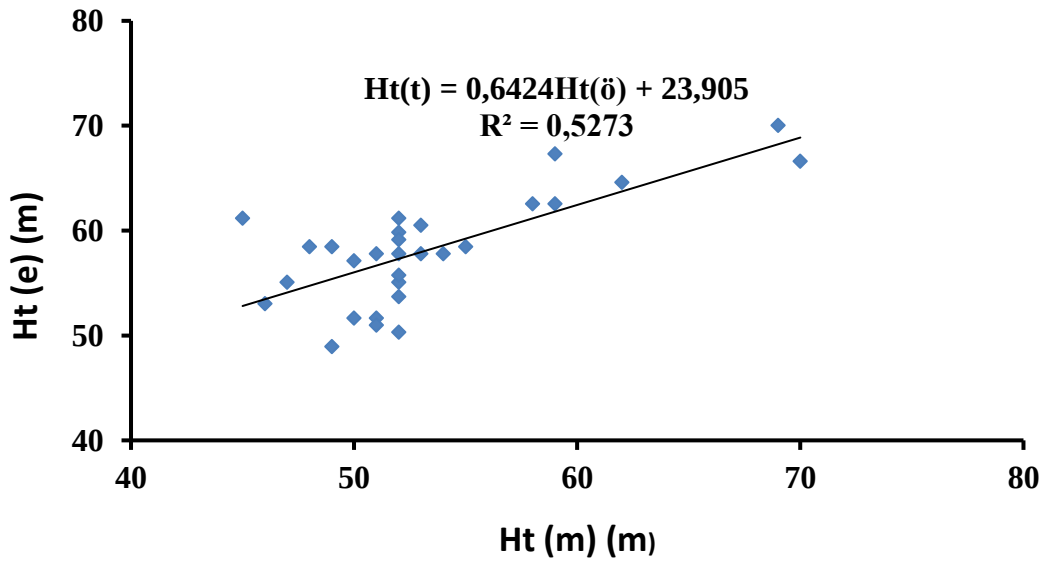
Şekil 7.14. Kızılinler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde yamaç yüksekliği (m)-toplam yuvarlanma grafiği(m).

Literatürde karşılaştığımız $H=0.88L$ ve $Ht=0.69lt$ (Copon et al, 2009) eşitlikleri ile duraysızlık alanında yapılan ölçümler arasında yapılan regresyon analizlerinde ölçülen yamaç yüksekliği Hm ile görgül eşitlikle tahmin edilen yamaç yüksekliği He arasında üstel fonksiyon determinasyon katsayısı (R^2) =0.59 belirlenmiştir (Şekil 7.15). Aynı şekilde

ölçülen moloz yüksekliği H_t (ö) ile görgül eşitlikte tahmin edilen moloz yüksekliği $H_t(e)$ arasında doğrusal ilişki ile determinasyon katsayısı (R^2)=0.53 belirlenmiştir (Şekil 7.16).



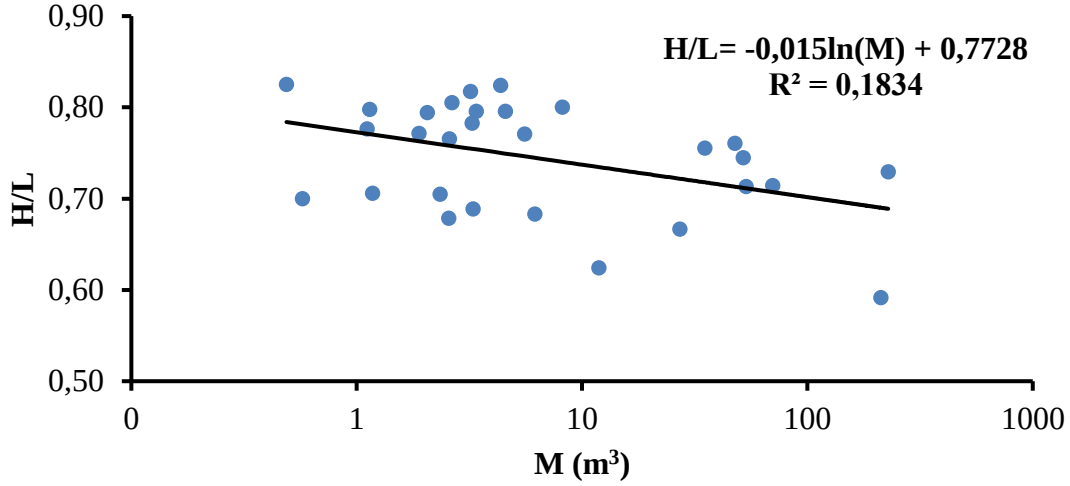
Şekil 7.15. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen yamaç yüksekliği (H_m)-tahmin edilen yamaç yüksekliği (H_e) grafiği.



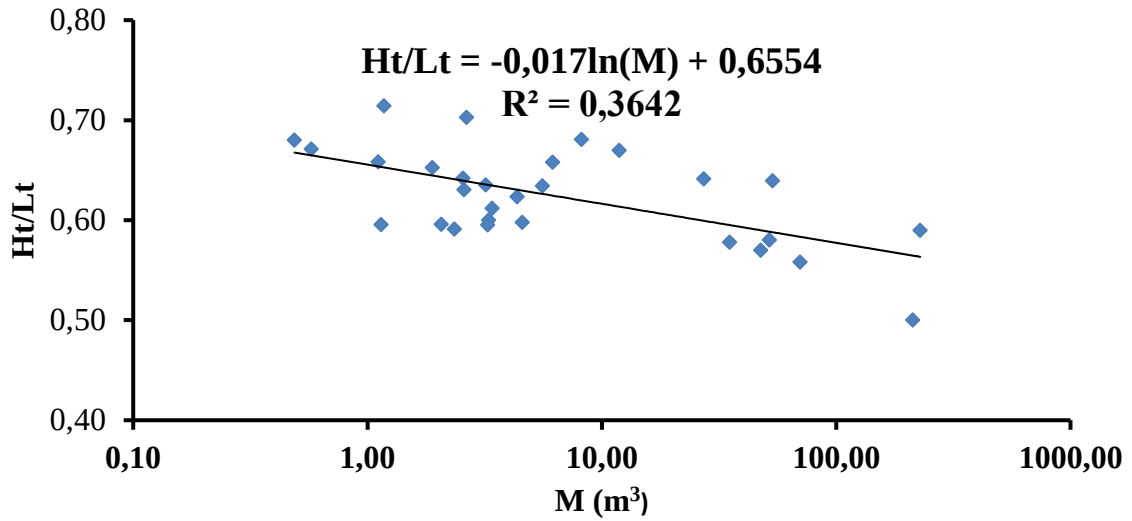
Şekil 7.16. Kızılınler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen yamaç yüksekliği $H_t(m)$ -tahmin edilen yamaç yüksekliği $H_e(m)$ grafiği.

H/L oranı ile M arasındaki regresyon analizleri ile H_t/L_t oranı -M arasındaki regresyon analizleri için literatürde determinasyon katsayısı 0,5 civarında bulunurken çalışma alanında yapılan ölçümlerde H/L oranı-M arasında determinasyon katsayısı $R^2=0,2$

civarında, H_t/L_t oranı – M arasındaki regresyon analizinde $R^2=0.36$ bulunmuştur (Şekil 7.17 ve Şekil 7.18).



Şekil 7.17. Kızılinler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen yamaç yüksekliği (H)/Yuvarlanma mesafesi (L) oranı- Hacim (M) grafiği.

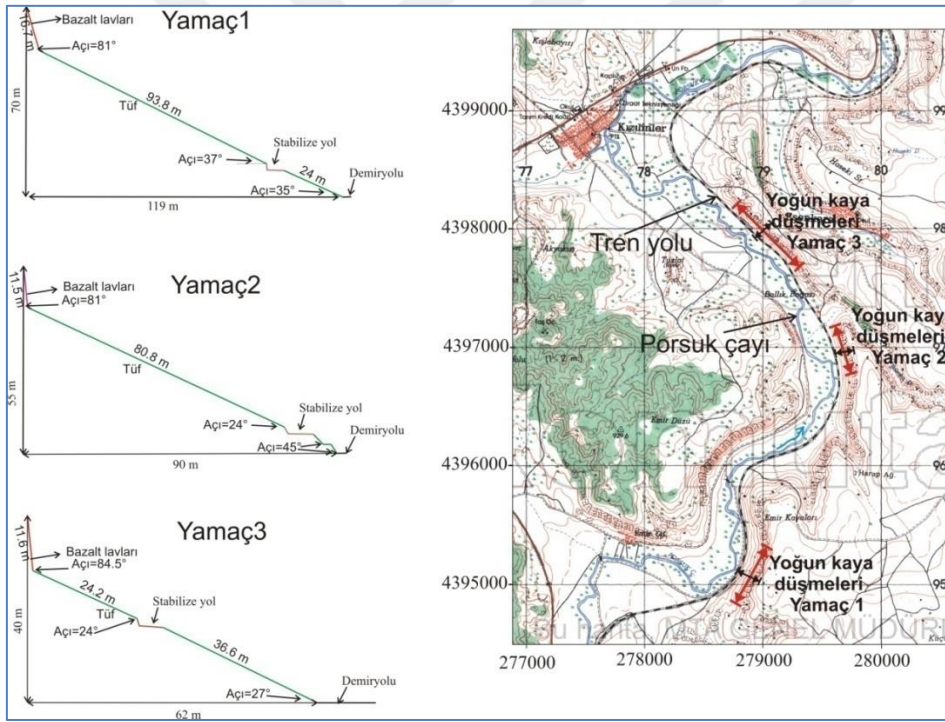


Şekil 7.18. Kızılinler (Eskişehir) yöresi kaya düşmelerinde ölçülen moloz yüksekliği (H_t)/molozdan yuvarlanma mesafesi (L_t) oranı- Hacim (M) grafiği.

7.5. Kaya Düşmelerinin Bilgisayar Programı ile Değerlendirilmesi

Bir yamaçtan düşen kaya bloğunun düşme uzaklığını şu faktörler belirler: Kopan kaya kütlelerinin hacmi, yamaç özellikleri, yol alınan yamacın morfolojik özellikleri (Corominas, 1996). Kaya düşmesi analizlerinde karşılaşılan zorlukların ilkinde yamaç

geometrisinin gerçeğe yakın bir şekilde bilgisayar programına (RocFall 4 – Rockscience 2002) yansıtılabilmesidir. Çalışma alanında kaya düşmelerinin yoğun olduğu üç ayrı kesit (yamaç 1, yamaç 2 ve yamaç 3) belirlenmiştir (Şekil 7.19). Belirlenen kesitlerin sahada ölçülerinin alınmasının yanı sıra yamacı oluşturan malzeme özellikleri belirlenmiştir. Sahayı oluşturan malzeme özellikleri kayanın yamaçtan koptuğu andan sonraki davranışını belirler. Yamaç geometrisini oluşturan her bir arakesit (vertex) sonrası yüzeyin geri sıçrama katsayısı (R_N -coefficient of restitution) belirlenmiştir. Geri sıçrama katsayısı (R_N) değeri en gevşek zeminler için 0,3 ve en sıkı zeminler için 0,5 arasında değişir. Bir diğer parametre ise tanjant geri sıçrama katsayısıdır (R_T -Coefficient of tangential restitution). Tanjant geri sıçrama katsayısı ise bitki örtüsü olan yamaçlarda 0,8 iken asfalt veya anakaya olan yamaçlarda 0,95 alınır. Kaya düşmesi analizlerine yönelik kesitleri oluşturulduğu yamaçların görünüşleri Şekil 7.20, Şekil 7.21 ve Şekil 7.22 de verilmiştir.



Şekil 7.19. Bilgisayar programında kaya düşmeleri senaryolarının yapıldığı yamaç konumları ve kesitleri.



Şekil 7.20. GB'den KD yönünde Yamaç 1 görünümü.



Şekil 7.21. KB'den GD yönünde Yamaç 2 görünümü.



Şekil 7.22. GD'den KB yönünde Yamaç 3 görünümü.

Kaya düşmesi analizlerinde bir diğer faktör ise yamaç yüzeyi pürüzlülüğüdür. Yamaç yüzeyi pürüzlülüğü değerinin sıfır değeri girilmesi pürüz etkisinin hiç olmadığını ifade eder. Programda yamaç pürüzlülüğü için verilen standart sapma değerleri 0, 2, 3 ve 5 derece gibi değerler pürüzlülük durumuna göre artırılır.

Kaya düşmesi analizlerinde bir diğer önemli faktör ise yüzey ve düşen blok arasındaki sürtünme açısıdır. Sürtünme açısının düşük olduğu değerlerde, blok daha uzak mesafelere yuvarlanır. Sürtünme açısı, yamaç açısından büyükse kaya aşağı yönde hareket eder. Ters durumda kayanın hareketi beklenmez. Kaya bloğu yuvarlağa yaklaştıkça, sürtünme açısı sıfıra yaklaştırılır. Eğer yuvarlaklık azalırsa, yani düşen kayada açısallık artarsa sürtünme açısı da yükselir. Eğer düşen kaya bloğu yassı ise kayma (sliding) yapacaktır. Bu durumda sürtünme açısı fazla alınır.

Düşen blokların yol aldığı yamaçlarda doğal bitki örtüsü ve maki türü seyrek ağaçlar vardır. Sürtünme ve pürüzlülüğü artırıcı olması açısından yamaçlardaki bitki örtüsü düşen blokların hızını yavaşlatacaktır. Yapılan kaya düşme senaryolarında yamaçlar bitki örtülü olarak kabullenilmiştir. RocFall 4 programında; kaya düşmeleri senaryoları için saha gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucu 1 m^3 (2.7 ton), 50 m^3 (135 ton) ve 250 m^3 (675 ton)

boyuttaki blokların düşmeleri simülasyonu yapılmıştır. Her kaya düşmesi senaryosunda 1 adet, 10 adet ve 50 adet kaya bloğu düşürülmüştür.

7.5.1. Yamaç 1 için kaya düşme simülasyonları

Yamaç 1 in morfolojik özelliklerinin çizilebilmesi için 7 adet arakesit ve 6 adet segment oluşturulmuştur. Segment özellikleri Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Yamaç 1 özellikleri.

Segment No	R _N	R _T	Phi	Pürüzlülük	Tanımlama
Segment 1	0,53	0,99	20	0,00	Temiz sert anakaya
Segment 2	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 3	0.32	0.82	30	3.00	Moloz örtüsü
Segment 4	0.32	0.82	30	3.00	Moloz örtüsü
Segment 5	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 6	0.4	0.90	30	0,00	Asfalt

Yamaç 1 için yapılan simulasyon değerlendirmeleri sonucunda açılmış olan stabilize yolun her koşulda risk altında olduğu belirlenmiştir. Demiryolunun ise 50 m³ ve 250 m³ hacimli blokların düşmesi durumunda risk altında olduğu, bu blokların demiryolunuda geçebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 7.23).

7.5.2. Yamaç 2 için kaya düşme simülasyonları

Yamaç 2’ nin morfolojik özelliklerinin çizilebilmesi için 9 adet arakesit ve 8 adet segment oluşturulmuştur. Segment özellikleri Çizelge 7.4’de verilmiştir.

Çizelge 7.4. Yamaç 2 özellikleri.

Segment No	R _N	R _T	Phi	Pürüzlülük	Tanımlama
Segment 1	0,53	0,99	20	0,00	Temiz sert anakaya
Segment 2	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 3	0.32	0.82	30	3.00	Moloz örtüsü
Segment 4	0.32	0.82	30	3.00	Moloz örtüsü
Segment 5	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 6	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 7	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 8	0.4	0.90	30	0,00	Asfalt

Yamaç 2 Stabilize yol ve demiryolunun ise 50 m³ ve 250 m³ hacimli blokların düşmesi durumunda risk altında olduğu, bu blokların demiryoluna ulaşabileceği sonucuna belirlenmiştir (Şekil 7.24).

7.5.3. Yamaç 3 için kaya düşme simülasyonları

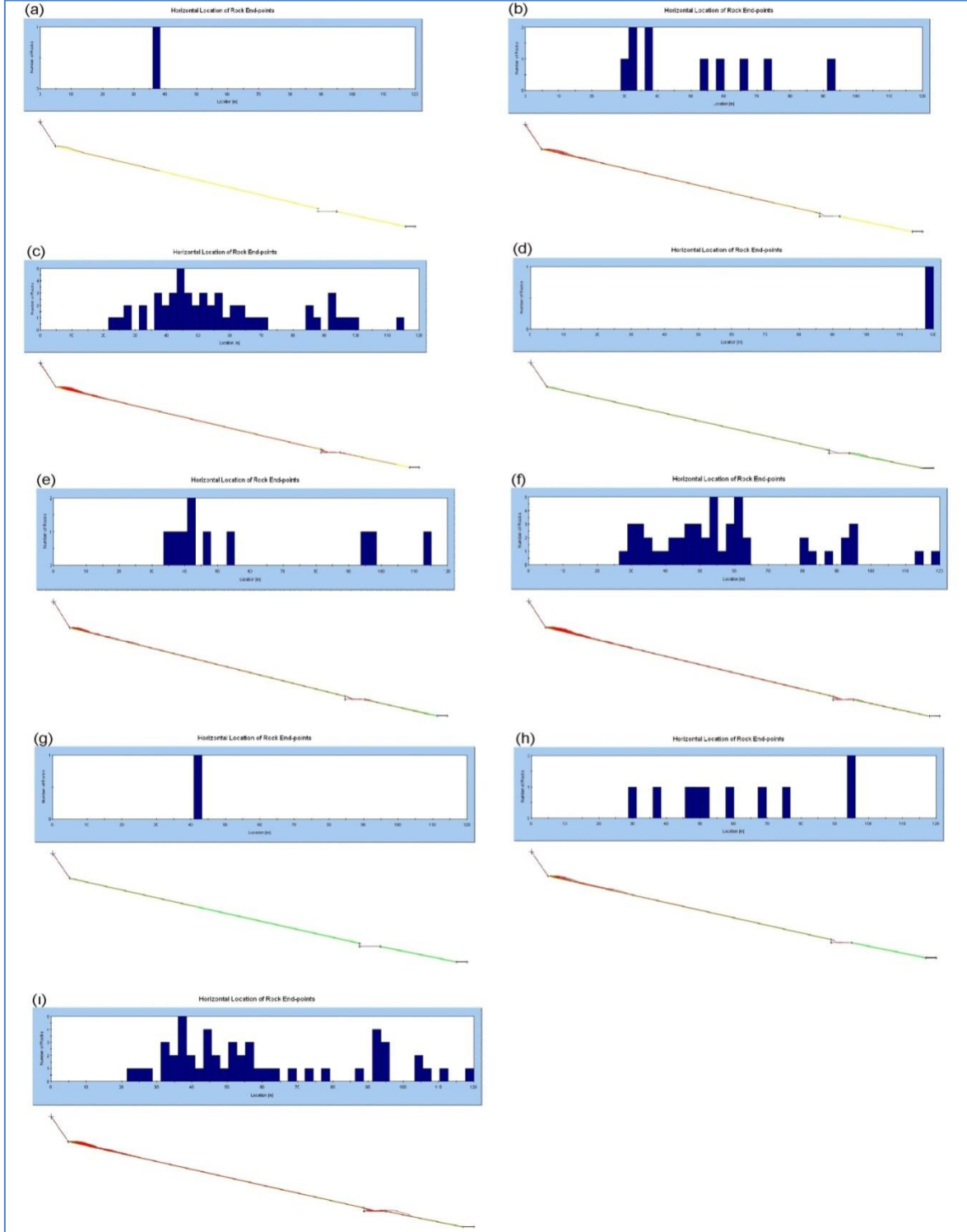
Yamaç 3' ün morfolojik özelliklerinin çizilebilmesi için 8 adet arakesit ve 7 adet segment oluşturulmuştur. Segment özellikleri Çizelge 7.5'da verilmiştir.

Çizelge 7.5. Yamaç 3 özellikleri.

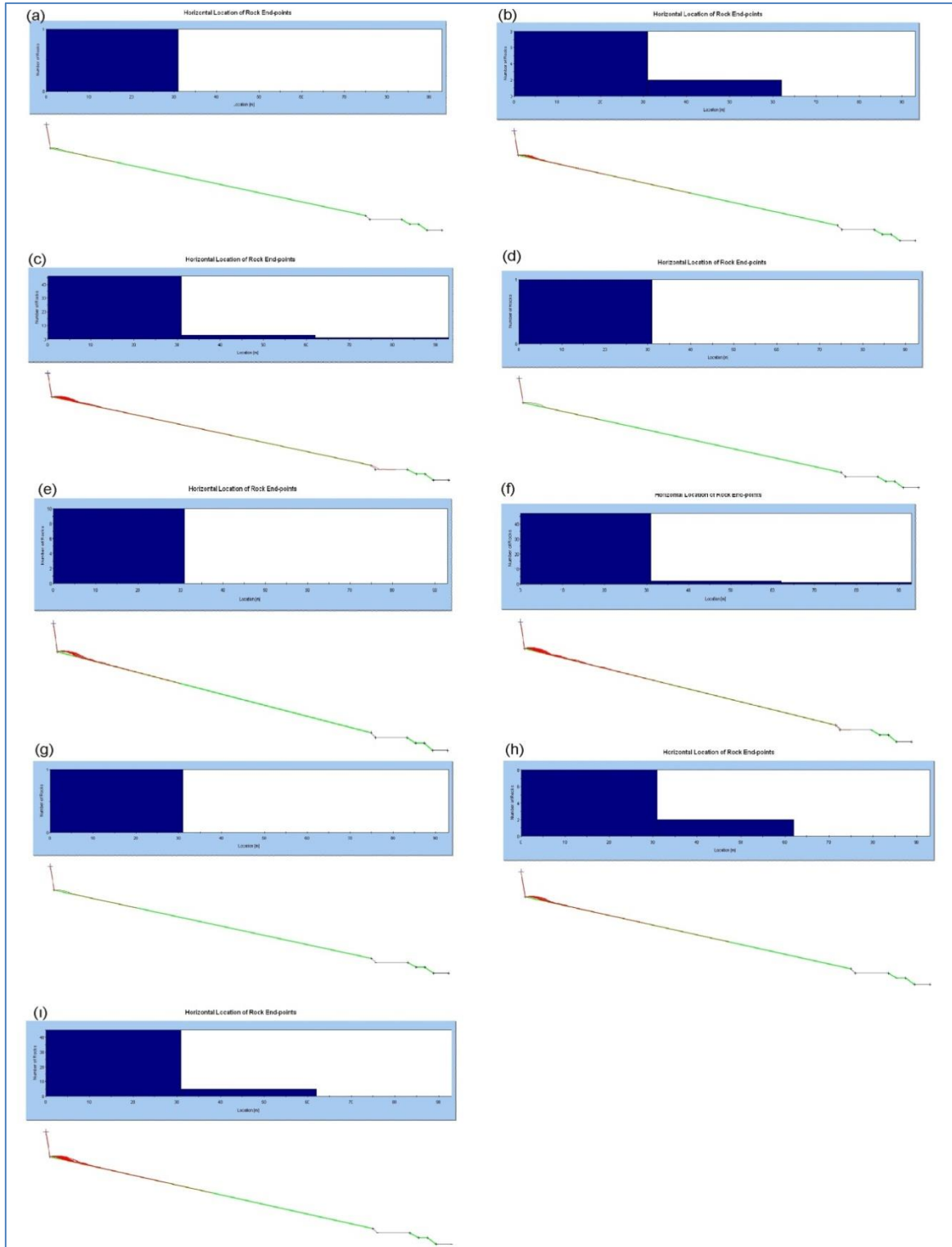
Segment No	R _N	R _T	Phi	Pürüzlülük	Tanımlama
Segment 1	0,53	0,99	20	0,00	Temiz sert anakaya
Segment 2	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 3	0.32	0.82	30	3.00	Moloz örtüsü
Segment 4	0.32	0.82	30	3.00	Moloz örtüsü
Segment 5	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 6	0.3	0.80	30	5.00	Bitki örtülü zemin
Segment 7	0.4	0.90	30	0,00	Asfalt

Yamaç 3 için yapılan simülasyon değerlendirmeleri sonucunda açılmış olan stabilize yolun her koşulda risk altında olduğu belirlenmiştir. Demiryolunun ise 50 m³ ve

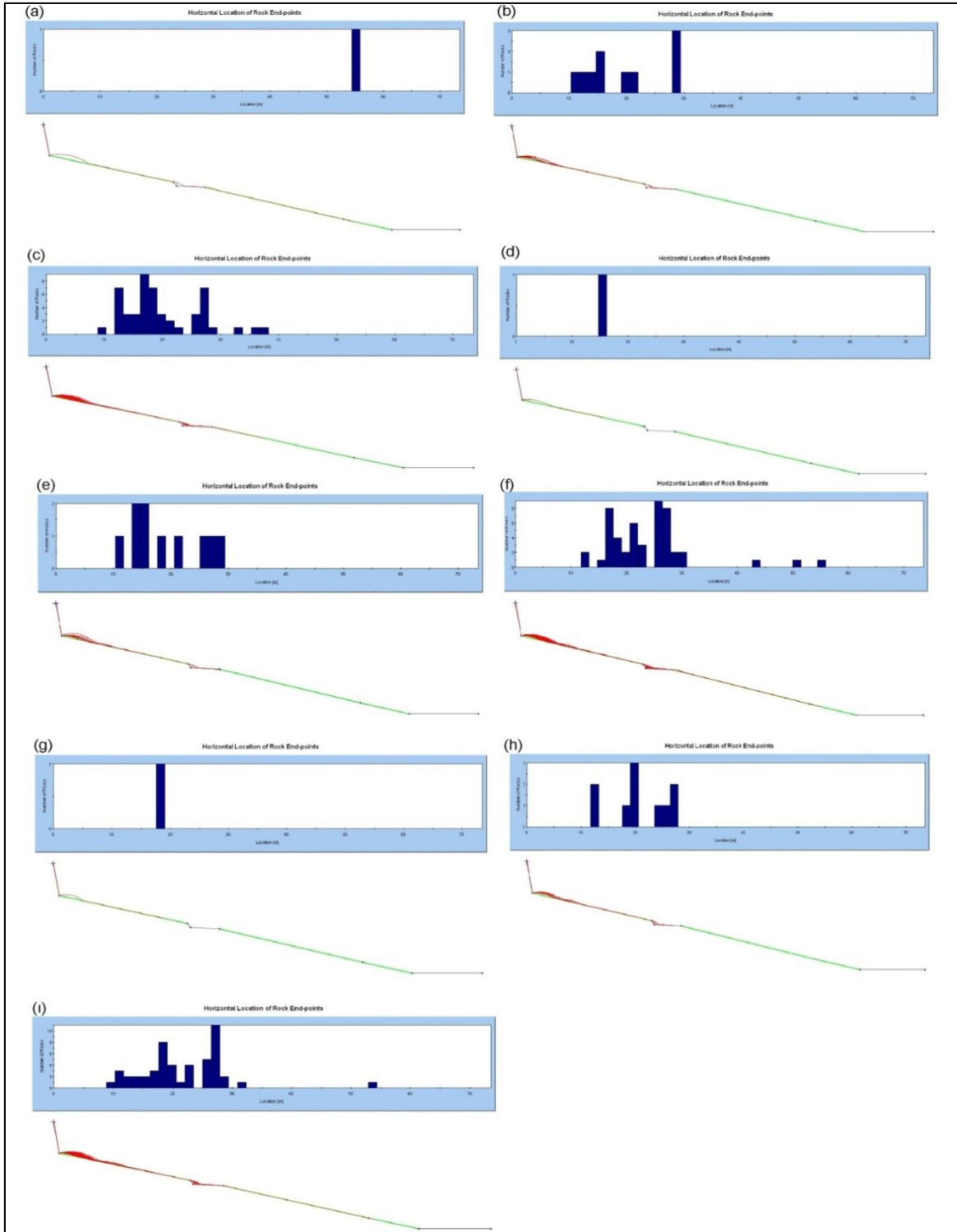
250 m³ hacimli blokların düşmesi durumunda risk altında olduğu, bu blokların demiryolunuda geçebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 7.25).



Şekil 7.23. Yamaç 1 için kaya bloğu düşme simülasyonları ve blok dağılım histogram grafikleri a) 1 adet 1m³ b) 10 adet 1 m³ c) 50 adet 1m³ d) 1 adet 50 m³ e) 10 adet 50 m³ f) 50 adet 50 m³ g) 1 adet 250 m³ h) 10 adet 250 m³ i) 50 adet 250 m³.



Şekil 7.24. Yamaç 2 için kaya bloğu düşme simülasyonları ve blok dağılım histogram grafikleri a) 1 adet 1 m^3 b) 10 adet 1 m^3 c) 50 adet 1 m^3 d) 1 adet 50 m^3 e) 10 adet 50 m^3 f) 50 adet 50 m^3 g) 1 adet 250 m^3 h) 10 adet 250 m^3 ı) 50 adet 250 m^3 .



Şekil 7.25. Yamaç 3 için kaya bloğu düşme simülasyonları ve blok dağılım histogram grafikleri a)1 adet 1m³ b) 10 adet 1 m³ c) 50 adet 1m³ d) 1 adet 50 m³ e) 10 adet 50 m³ f) 50 adet 50 m³ g)1 adet 250 m³ h) 10 adet 250 m³ ı) 50 adet 250 m³.

8. BULGULAR ve TARTIŞMA

RocFall v4.0 yazılımını kullanarak stabilize yol ve demir yolun gelebilecek kayaları önlemek için bariyer simülasyonları yapılabilmektedir. Bariyerlerin elastik ya da elastik olmayan şeklinde sınıflandırılabilmesi ve yamaç üzerinde konum belirlenebilmesi programın avantajlarından birisidir. Bir diğer yöntem ise düşen kaya bloklarının toplanabileceği hendeklerin oluşturulabilmesi düşen blokların zararının önlenmesi açısından bir yöntemdir.

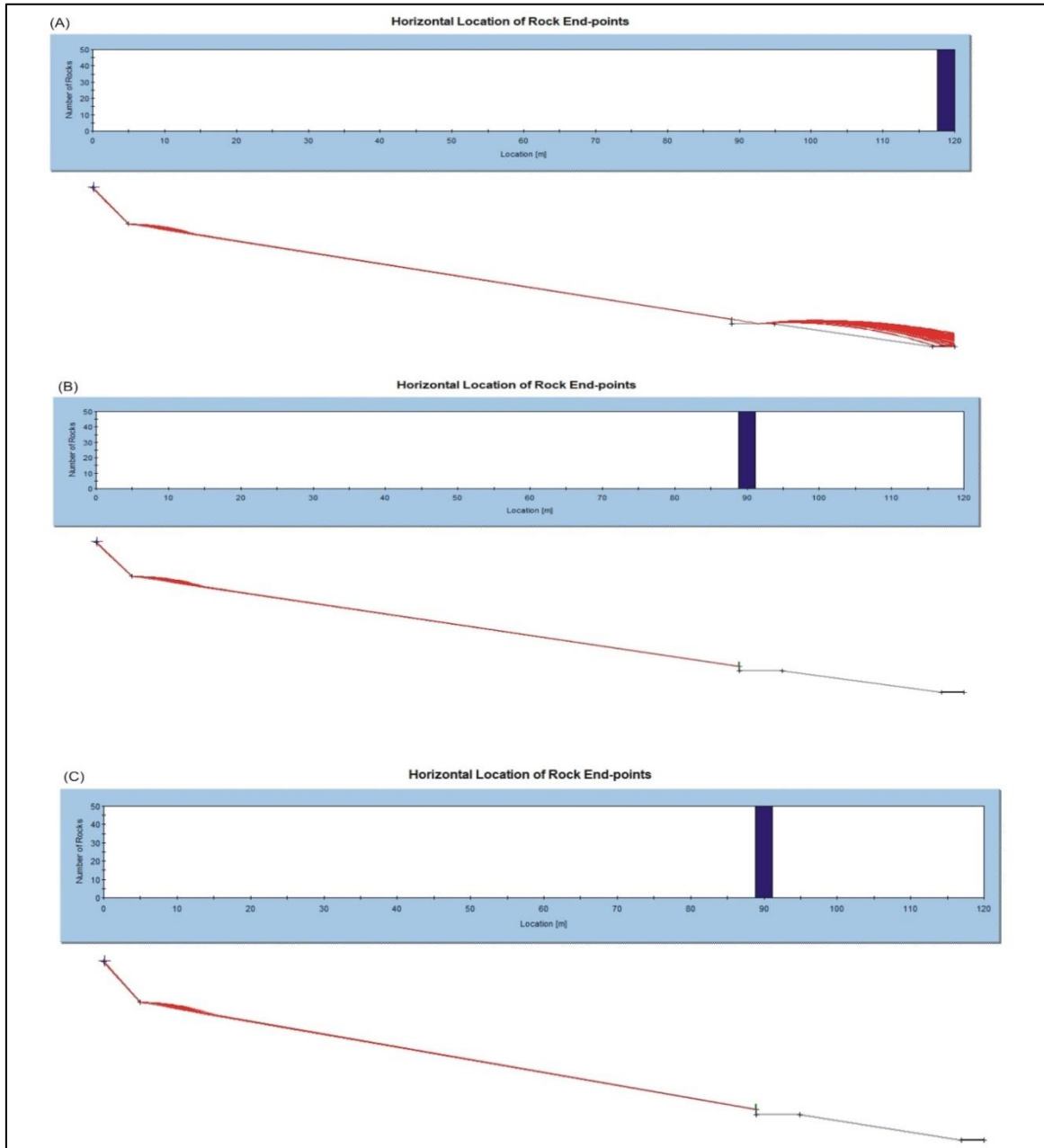
8.1. Elastik ve Elastik Olmayan Bariyer Uygulaması

Bariyerin elastik olmaması durumunda $R_n=R_t=0$ olarak alınmalı, bariyerin elastik olması durumunda ise $R_n=R_t=1$ şeklinde tanımlanması önerilmektedir (Rockscience 2002). Sonsuz sayıda bariyer yapılabilir. Yamaç özellikleri kaya yuvarlanma mesafesini çok etkilemektedir. Bir önceki başlıkta yamaç özellikleri bitki örtülü zemin olarak alınmıştır. Gerçekte ise, bitki örtüsü zayıftır ve doğal ortamda yetişen bitkiler vardır. Yamaç bariyer değerlendirmelerinde yamaç özelliği için moloz örtüsü alınmıştır. Bariyer projelendirmesi için en büyük boyutu tutabilecek kapasitede olması için yamaçlar 50 adet 250 m^3 ve boyutundaki boyutları tutabilecek elastik ve elastik olmayan özelliklere göre projelendirilmiştir. Yamaç 1 için bariyer uygulaması Çizelge 8.1'deki yamaç özelliklerine göre yapılmıştır.

Çizelge 8.1. Bariyer uygulaması için yamaç 1 özellikleri.

Segment No	R_N	R_T	Φ	Pürüzlülük	Tanımlama
Segment 1	0,53	0,99	0.1	0,00	Temiz sert anakaya
Segment 2	0.32	0.82	0.1	0.00	Moloz örtüsü
Segment 3	0.32	0.82	0.1	0.00	Moloz örtüsü
Segment 4	0.32	0.82	0.1	0.00	Moloz örtüsü
Segment 5	0.32	0.82	0.1	0.00	Moloz örtüsü
Segment 6	0.4	0.90	0.1	0,00	Asfalt

Şekil 8.1’de yamaç 1 için stabilize yol başlangıcından 1 m yükseklikte projelendirilecek elastik ve elastik olmayan bariyer uygulaması verilmiştir. Her iki bariyer uygulamasında bariyerlerin sonsuz dayanımlı olduğu kabullenilmiştir.

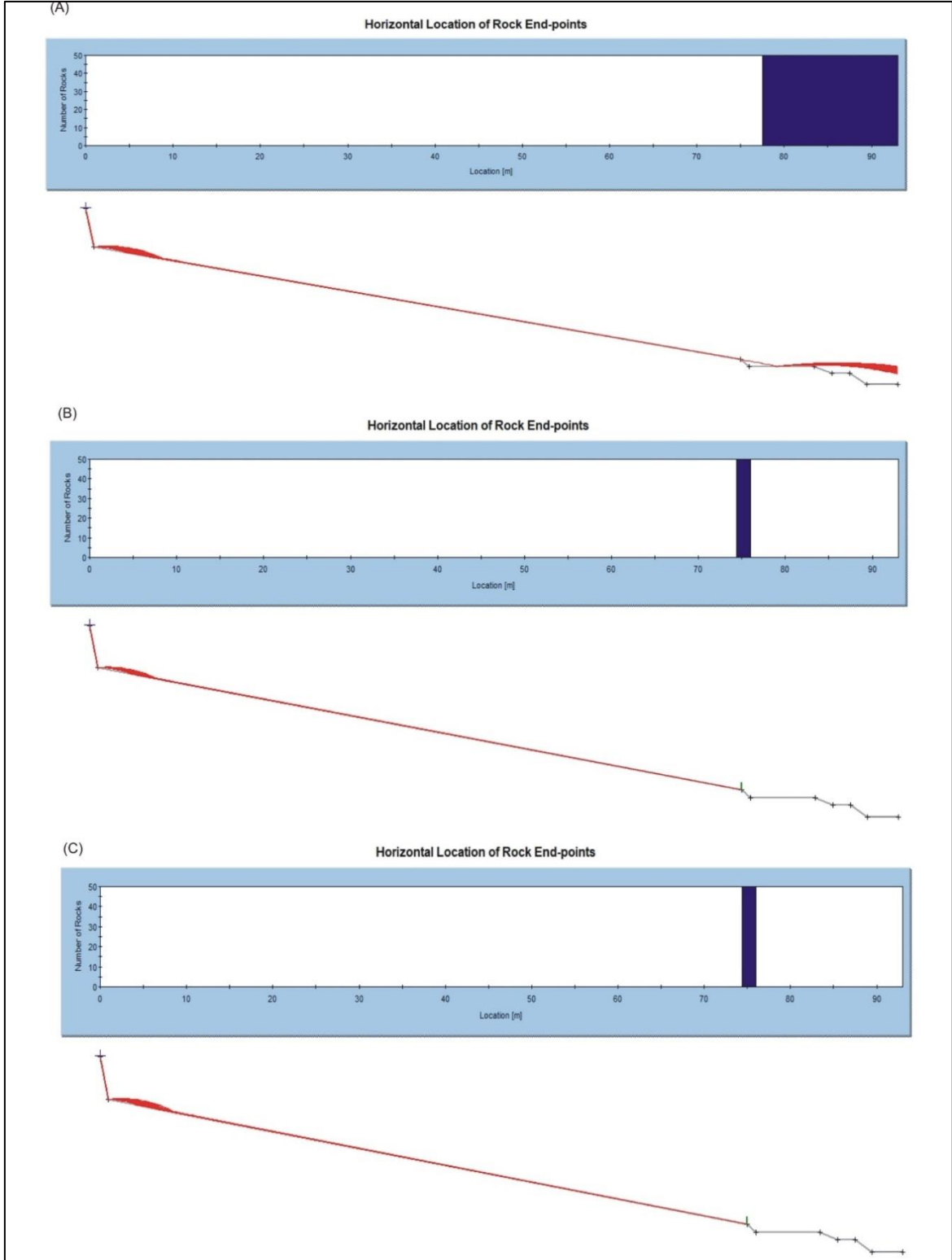


Şekil 8.1. Yamaç 1 için a) 250 m^3 hacimli 50 adet kaya bloğu düşme simülasyonu ve histogram dağılımı b) 250 m^3 ve 50 adet blok önünde 2m yüksekliğinde inelastik bariyer (1×10^9 joule dayanımlı) c) 250 m^3 ve 50 adet blok önünde 2 m yüksekliğinde elastik bariyer ve blok dağılım histogram grafikleri (1×10^9 joule dayanımlı).

Çizelge 8.2. Bariyer uygulaması için yamaç 2 özellikleri.

Segment No	R _N	R _T	Phi	Pürüzlülük	Tanımlama
Segment 1	0,53	0,99	0.1	0,00	Temiz sert anakaya
Segment 2	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 3	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 4	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 5	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 6	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 7	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 8	0.4	0.90	0.1	0,00	Asfalt

Yamaç 2 için 2m yüksekliğinde elastik olmayan ve elastik olan bariyer için 250 m³ boyutunda 50 adet blok yuvarlanması durumunda yapılan simülasyonlar Şekil 8.2’de verilmiştir.

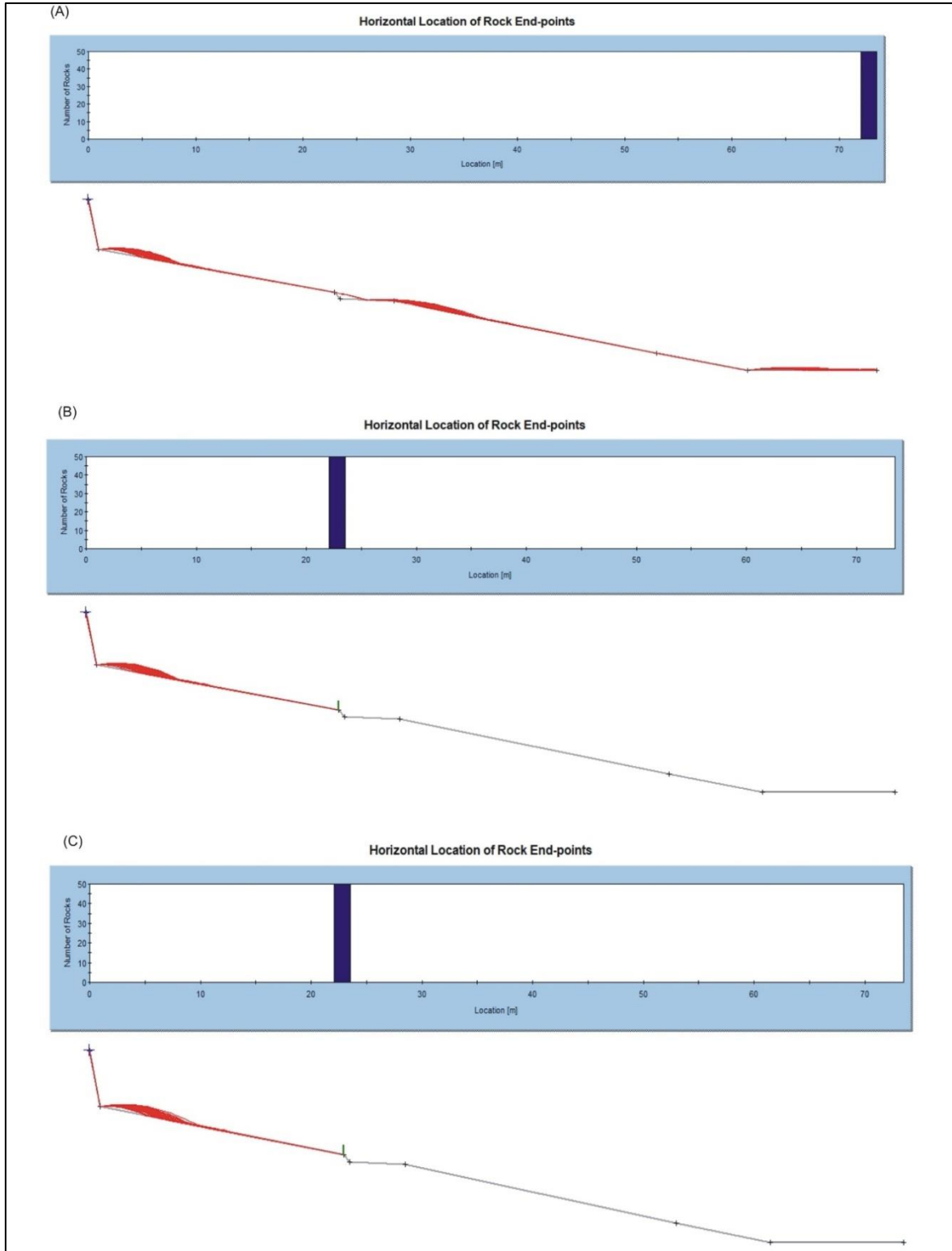


Şekil 8.2. Yamaç 2 için a) 250 m^3 hacimli 50 adet kaya bloğu düşme simülasyonu ve histogram dağılımı b) 250 m^3 ve 50 adet blok önünde 2m yüksekliğinde inelastik bariyer (1×10^9 joule dayanımlı) c) 250 m^3 ve 50 adet blok önünde 2 m yüksekliğinde elastik bariyer ve blok dağılım histogram grafikleri (1×10^9 joule dayanımlı).

Yamaç 3 için 2m. yüksekliğinde elastik olmayan ve elastik olan bariyer için 250 m3 boyutunda 50 adet blok yuvarlanması durumunda yapılan simülasyonlar Şekil 8.3'te verilmiştir.

Çizelge 8.3. Bariyer uygulaması için yamaç 3 özellikleri.

Segment No	R _N	R _T	Phi	Pürüzlülük	Tanımlama
Segment 1	0,53	0,99	0.1	0,00	Temiz sert anakaya
Segment 2	0.3	0.80	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 3	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 4	0.32	0.82	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 5	0.3	0.80	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 6	0.3	0.80	0.1	0,00	Moloz örtüsü
Segment 7	0.4	0.90	0.1	0,00	Asfalt

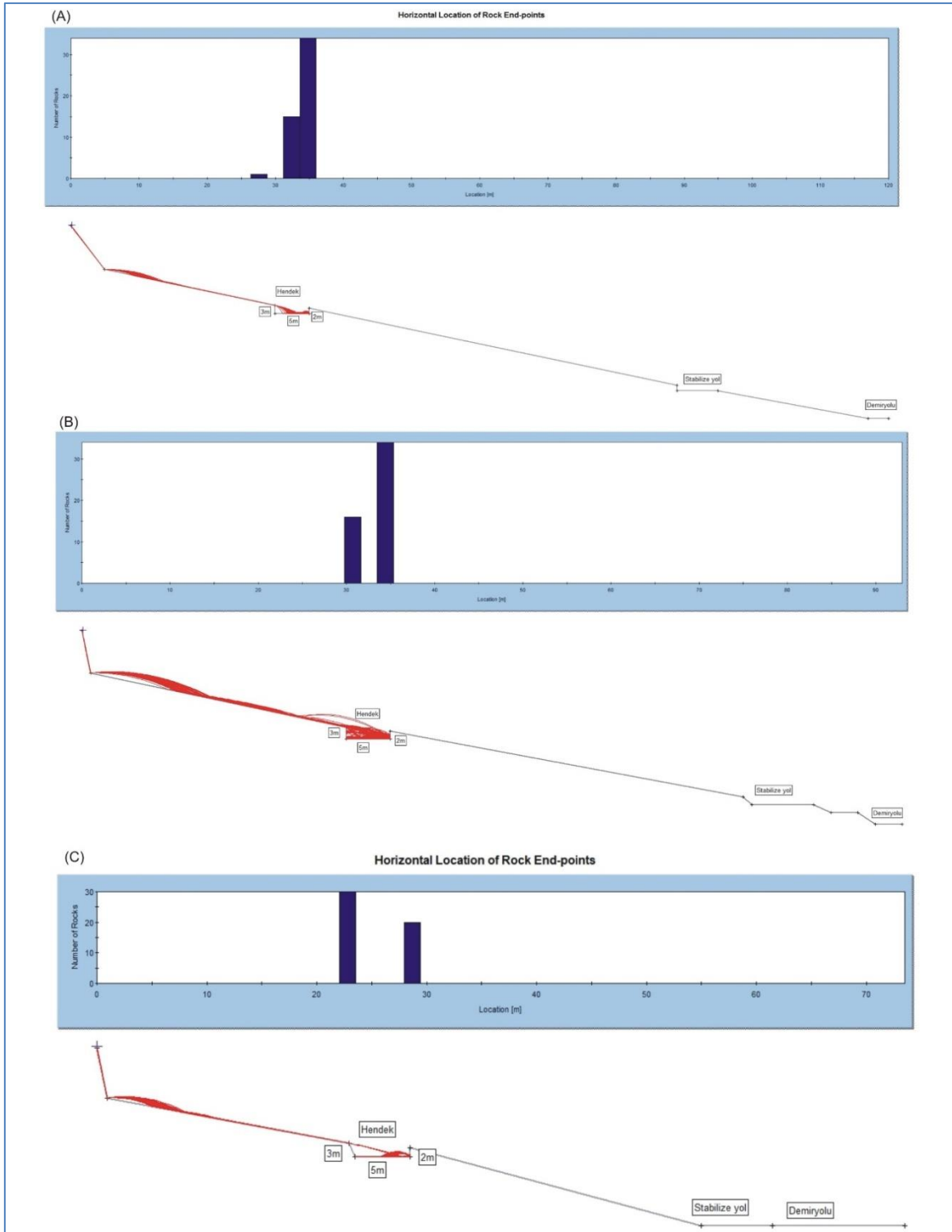


Şekil 8.3. Yamaç3 için a) 250 m^3 hacimli 50 adet kaya bloğu düşme simülasyonu ve histogram dağılımı b) 250 m^3 ve 50 adet blok önünde 2m yüksekliğinde inelastik bariyer (1×10^8 joule dayanımlı) c) 250 m^3 ve 50 adet blok önünde 2 m yüksekliğinde elastik bariyer ve blok dağılım histogram grafikleri (1×10^8 joule dayanımlı).

8.2. Hendek Açılması

Kaya düşmelerinin yoğun izlendiği 3 yamaç üzerinde Çizelge 3 de verilen en olumsuz yamaç koşullarında değişik boyutlarda hendekler projelendirilerek düşen kaya bloklarının bu hendekler vasıtasıyla stabilize yol ve demiryoluna ulaşması önleme simülasyonları yapılmıştır. 3mx5mx2m boyutlarında hendekler ile en büyük boyuttaki (250 m³) blokların düşmesi durumunda blokların hendek aracılığıyla tutulabileceği belirlenmiştir (Şekil 8.4).





Şekil 8.4. Yamaçlarda hendek tasarımları a) yamaç 1 b) yamaç 2 c) yamaç 3

8.3. Yamaç Zemin Özelliklerinin Değiştirilmesi

Düşen blokların yol aldığı yamaçlarda doğal bitki örtüsü ve maki türü seyrek ağaçlar vardır. Sürtünme ve pürüzlülüğü artırıcı olması açısından yamaçlardaki bitki örtüsünün güçlendirilmesi özellikle ağaçlandırma yapılması düşen blokların hızını önemli oranda yavaşlatacaktır.

8.4. Kaya Bulonu, Püskürtme Beton ve Tel Örgü Kullanımı

Kaya düşmelerinde tel örgü kullanımı düşen blokların sıçramasını engellediği gibi sürtünmeyi de artırması nedeniyle faydalı olmaktadır. (Muhunthan et al., 2005) perde tel örgüleri için 1.5m boyutundaki blokları sınır olarak ifade etmiştir (Çizelge 8.4).

Çizelge 8.4. Kaya düşmelerinde tel örgü önerileri (Muhunthan et al., 2005).

Tel örgü özelliği	Düşen blok boyutu
Çift bükümlü hekzagonal tel örgü	$\leq 0,6$ m (2ft)
Tel örgü kabloları	$\leq 1.2-1,5$ m (4-5ft)

Kızılinler yöresinde saha çalışmalarında 5m den büyük blokların olabileceği kaya düşmeleri bölgeleri için düşebilecek kaya bloklarının sökülmesi, kaya bulonları ve püskürtme beton önermiştir. Çizelge 8.5’de görüldüğü gibi şev en yüksek değerinin 30 m’den az olması nedeniyle olması nedeniyle kaya bulonlarının 10 m aralıklarla yapılması önerilmiştir.

Çizelge 8.5. Yamaç yüksekliği-kaya blonu önerileri (Muhunthan et al., 2005).

Yamaç yüksekliği (m)	Kaya blonu aralıkları ^{1,2}
≤ 30 m	15 m
30-60 m	10 m
60-90 m	5 m
¹ En yüksek kaya blonu aralıkları TECCO G65 hekzagonal ağ ve 300 mm kare kablo ağları	
² Kaya blonu aralıkları en düşük kapasiteli (90 kN) blonlara göre yapılmıştır.	

Kaya bulonları gerilimli ve gerilimsiz olarak iki gruba ayrılmaktadır. Yüksek dayanımlı kayalar için gerilimli kaya bulonları önerilmektedir. Yamaç stabilitesi için 6 m uzunluğunda ve 2 cm'den 5 cm'ye kadar çapı olan yüksek dayanımlı çelikten yapılmaktadır. Kaya bulonları 30 m'ye kadar da uzatılabilmekte, genelde 12 m uzunlukta olanlar kullanılmaktadır. Kaya bulonları ve kablolu ağlar üzerine püskürtme beton uygulanması (en az 50 mm kalınlıkta) kaya yüzeylerde ve bulon bağlantılarında erozyonun önlenmesi ve dayanımın artırılması ve estetiksel görünüm açısından faydalı olacaktır. Püskürtme beton uygulaması yapılması durumunda yamaç drenajının da sağlanması gerekecektir.



9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma ile Eskişehir'in Odunpazarı ilçesine bağlı Kızılinler köyü civarından geçen Eskişehir-Kütahya demiryolu 14.000 km ile 18.750 km arasındaki kaya düşmeleri çalışılmıştır.

Bölgede yapılan arazi çalışmalarında kaya düşmelerinin yaygın olarak bazalt lav akıntıları içerisinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bazalt lav akıntılarının altında zayıf ve hızlı ayrışan tüfler yaygın izlenmektedir. Çalışma alanındaki bazalt ve tüf birimleri yatay konumlu olup arazi incelemelerinde bazaltta çok sayıda süreksizliklerin olduğu, topuk kısmının aşınmış olduğu ve tren yoluna yakın mesafede bulunan bazalt blokları olması sebebiyle kaya düşmesi olarak adlandırılmıştır.

Çalışma alanında en düşük yükseklik 800 m iken, en yüksek seviyeler 943 m seviyeleridir. Kaya düşmelerinin olduğu bazaltik lavların bulunduğu yapı 45° - 80° arasında eğimlidir. Kaya düşmelerinin olduğu yamaçların çoğunluğu GB yönlüdür.

Çalışma alanında kaya düşmelerinin yoğun olarak izlendiği üç ayrı yamaç belirlenmiştir. Bu yamaçlar sırasıyla $85/259^{\circ}$, $85/68^{\circ}$ ve $85/45^{\circ}$ eğim/eğim yönlüdür.

Kritik üç yamaç için yapılan kinematik analizlerde, yamaç 3 için devrilme türü duraysızlığın olabileceği görülmüştür. Saha incelemelerinde ise yamaç 3 yüzeyinde ayrışmaya yönelik dökülmelerin daha hızlı geliştiği görülmüştür. Düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlık yamaç 1 ve yamaç 2 de görülmemiştir. Yamaç 3 de düzlemsel ve kama türü duraysızlık görülmemiştir.

Sahada toplam 601 adet kaya düşmesi duraysızlıkları değerlendirmeye alınmıştır. Düşen blokların %60'ı 1m^3 'den küçüktür. 1m^3 - 10m^3 hacimde olan düşen blokları ise %26'dır. 10m^3 - 100m^3 arası düşen blok sayısı %10.31'dir. $>100\text{m}^3$ 'den büyük blok sayısı ise %2'dir. Maksimum düşen blok hacmi 250m^3 civarındadır.

Kaya düşmelerine yönelik literatürde görülen görgül eşitlikler, Kızılınler yöresinde ölçülen yamaç yüksekliği, moloz yüksekliği, ulaşım açısı ve gölge açısı gibi girdi parametreleri karşılaştırılarak istatistiksel olarak anlamlı bağıntılar belirlenmiştir.

Arazide yapılan Schmidt çekici ölçümlerinden bazalt lavlarının ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı 149 MPa, tuf birimlerinin ortalama sıkışma dayanımı 16 MPa olarak belirlenmiştir. Laboratuvar numunelerinde ise bazalt birimleri ve tuf birimlerinin ortalama doğal birim hacim ağırlığı ise sırasıyla 25,2 kN/m³ ve 15,1 kN/m³ olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı ise bazalt ve tuf birimleri için %2 ve %30,8 olarak belirlenmiştir. Bölgedeki tüflü seviyelerin oldukça yüksek su emme oranına sahip olduğu saptanmıştır.

RocFall 4 programı ile yapılan kaya düşmeleri simülasyonlarında stabilize yol ve demiryolunun risk altında olduğu belirlenmiştir. Sahadaki doğal bitki örtüsünün pürüzlülüğü artırdığı, bitki örtüsünün yoğunlaştırılmasının düşebilecek kaya bloklarını yavaşlatacağı sonucuna ulaşılmıştır.

En büyük düşen kaya bloğunu 250 m³ olabileceği ve yamaç koşullarının en olumsuz pürüzlülük ve sürtünme açısı olması durumunda elastik ve plastik bariyerlerle durdurulabilme koşulları belirlenmiştir. Her iki bariyer koşulu için en büyük kinetik enerjinin 1x 10⁹ ile 1x10⁸ arasında olabileceği programa hesaplattırılmıştır. Elastik bariyerlerin standartlara göre en güçlüsünün 5000 kJ tutabilmesi nedeniyle elastik bariyerlerin bu boyutta düşebilecek blokları tutamayacağı ve bu boyuttaki düşebilecek blokların düşürülmesi ya da kaya bulonları ile ana kayaya bağlanması önerilmiştir.

Kaya bulonları ve kablolu ağlar üzerine püskürtme beton uygulanması (en az 50 mm kalınlıkta) kaya yüzeylerde ve bulon bağlantılarında erozyonun önlenmesi ve dayanımın artırılması ve estetiksel görünüm açısından faydalı olacaktır. Püskürtme beton uygulaması yapılması durumunda yamaç drenajının da sağlanması önerilmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- AFAD., 2014. Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması, Heyelan–Kaya düşmesi Temel Kılavuzu. T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara.
- Ambraseys, N. N., 1988, Engineering seismology, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 17, 1-105.
- Barton, N.R. and Choubey, V., 1977, “The shear strength of rock joints in theory and practice”, Rock Mech. 10 (1-2), 1-54.
- Copons, R., Wilaplana, J.M., Linares, R., 2009. Rockfall travel distance analysis by using empirical analysis (Sol` a d’Andorra la Vella, Central Pyrenees).Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 2107–2118, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/2107/2009
- Corominas, J., 1996. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides, Can. Geotech. J., 33, 260–271, 1996.
- Corominas, J., Esgleas, J., and Baeza, C., 1990. Risk mapping in the Pyrenees area: a case Study, in: Hidrology in mountains regions, II IAHS, 194, 425–428.
- Cruden, D. M. and Varnes, D. J., 1996. Landslide types and processes, in: Landslides. Investigation and Mitigation, edited by: Tuner, A. K. and Schuster, R. L., Special report of the Transportation Research Board. National Research Council, National Academy Press, Washington DC, 36–75.
- Çan, T., Duman, T. Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Gülmez, F. K., Elmacı, H., Hamzaçebi, S., Emre, Ö., 2013. Türkiye heyelan veri tabanı. TMMOB CBS Kongresi, Ankara.
- Dips 5 Plotting, Analysis and Presentation of Structural Data Using Spherical Projection Techniques User’s Guide, 1989-2002 Rocscience Inc.).
- Dorren, L., 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches, Prog. Phys. Geog., 27(1), 69–87.
- Duffy, 2005. Analysis and Design of Wire Mesh/Cable Net Slope Protection, Washington State Department of Transportation, Olympia, Washington, WA-RD 612.1.38
- Ergünay., O. 2007. Türkiye’nin Afet Profili. TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 5-7 Aralık 2007, İMO Kongre ve Kültür Merkezi, 1-14, Ankara.
- Erismann, T. and Abele, G., 2001. Dynamics of Rockslides and Rockfalls, Springer, Berlin, 316 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Evans, S. G. and Hungr, O., 1993. The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes, *Can. Geotech. J.*, 30, 620–636.
- Gökce, O., Özden, Ş., Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatiksel Dağılım Afet Bilgileri Envanteri. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı. Ankara.
- Gözler, M.Z., Cevher, F. ve Küçükayman, A., 1984, " Eskişehir Civarının Jeolojisi ve Su Kaynakları", *MTA Dergisi*, 103/104, s. 40-54, Ankara.
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H.J., 1996, Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi, *MTA Rapor No: 9973*, 87 s., Ankara.
- Heim, A., 1932. *Bergsturtz und Menschenleben: Fretz und Wasmuth*, Zurich, 218 p.
- Hoek E., 1987. Rockfall—a program in BASIC for the analysis of rockfall from slopes. Unpublished note, Golder Associates/ University of Toronto, Canada.
- Hoek, E., Bray, J.W., 1977. *Rock Slope Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy, London, 402 p.
- Hutchinson, J. N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and hydrogeology, in: 5th international symposium on landslides, Lausanne, edited by: Bonnard, C., A.A. Balkema, 1, 3–35.
- IAEG, 1981, Report of the International Association of Engineering Geology commission on site investigations. No 24, 185-226. Delft university of Technology, Departments of Mining Engineering. Mijnbouwstraat 120, 268 RX Delft, The Netherlands.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM, R.Ulusay and J.A.Hudson (Eds.), Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628 p.
- Krummenacher, B. and Keusen, H. R., 1997. Steinschlag-Sturzbahnen – Modell und Realität. Stienschlagmodellierung mit Hilfe der Computersimulationen, in: *Instabilités de falaises rocheuses, chutes de blocs et ouvrages de protection*, Publications de la Société et de Suisse de Mécanique des sols et des roches, 135, 17–23, (in German).
- Lied, K., 1977. Rockfall problems in Norway, in: *Rockfall dynamics and protective work effectiveness*, Instituto Sperimentale Modelli e Structure (ISMES), Bergamo, Italy, 90, 51–53.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Miller, R.P., 1965. Engineering classification and index properties for intact rock. Ph.D. Thesis. Univ. Illinois.
- Muhunthan, B., S. Shu, N. Sasiharan, O.A. Hattamleh, T.C. Badger, S. M. Lowell, and J.D.
- Nicoletti, P. G. and Sorriso-Valvo, M. 1991. Geomorphic controls of the shape and mobility of rock avalanches, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 103, 1365–1373.
- Okura, Y., Kitahara, H., Sammori, T., and Kawanami, A. 2000. The effects of rockfall volume on runout distance, *Eng. Geol.*, 58, 109– 124.
- Ritchie, A. M. 1963. Evaluation of Rockfall and Its Control. *Highway Research Record* (17), 13-28.
- Rocscience 2002. RocFall software for risk analysis of falling rocks on steep slopes. Rocscience user's guide, p. 59.
- Scheidegger, A. E., 1973. On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides, *Rock Mech.*, 5, 231–236.
- Shreve, R. L., 1968. The Blackhawk landslide, *Geol. Soc. Am. S.*
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:38
- Varnes, D.J., 1978. Slope movements: types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J.(Eds.), *Landslide Analysis and Control*. Transportation Research Board, Special Report No. 176, Washington, DC, p. 11–33.
- Varnes, D.J., 1984, *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 p.
- Wieczorek, G. F., Stock, G. M., Reichenbach, P., Snyder, J. B., Borchers, J.W., and Godt, J.W., 2008. Investigation and hazard assessment of the 2003 and 2007 Staircase Falls rock falls, Yosemite National Park, California, USA, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8,421–432, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/421/2008/>
- WP/WLI (Working Party on World Landslide Inventory), 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide, *IAEG Bull.* 47, 53-57.