



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



**TORUL-KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) KARAYOLU KAYA ŞEV
DURAYSIZLIKLARININ CBS TABANLI OLARAK BELİRLENMESİ VE İKİ
BOYUTLU KAYA DÜŞME MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif GACENER

**MAYIS 2019
GÜMÜŞHANE**

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

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TORUL-KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) KARAYOLU KAYA ŞEV
DURAYSIZLIKLARININ CBS TABANLI OLARAK BELİRLENMESİ VE İKİ
BOYUTLU KAYA DÜŞME MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif GACENER

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.05.2019
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 12.06.2019**

MAYIS 2019



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ danışmanlığında **Elif GACENER** tarafından hazırlanan **“TORUL-KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) KARAYOLU KAYA ŞEV DURAYSIZLIKLARININ CBS TABANLI OLARAK BELİRLENMESİ ve İKİ BOYUTLU KAYA DÜŞME MODELLEMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

Üye (Danışman)

: Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

Üye (İkinci Danışman)

: Dr. Öğr. Üyesi Hasan T. BOSTANCI

Üye

: Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Üye

: Doç. Dr. Raif KANDEMİR

ONAY

Bu tez ..26/...06/...19 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum “Torul-Kürtün (Gümüşhane) Karayolu Kaya Şev Duraysızlıklarının CBS Tabanlı Olarak Belirlenmesi ve İki Boyutlu Kaya Düşme Modellemesi” isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/05/2019

Elif GACENER



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TORUL-KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) KARAYOLU KAYA ŞEV DURAYSIZLIKLARININ CBS TABANLI OLARAK BELİRLENMESİ VE İKİ BOYUTLU KAYA DÜŞME MODELLEMESİ

Elif GACENER

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Selçuk ALEMDAĞ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI

2019, 84 sayfa

Torul-Kürtün-Tirebolu yolu Karadeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgesi arasındaki erişim için alternatif bir güzergah niteliğinde olup, bu yönüyle yoğun trafik potansiyeline sahip olan bir karayoludur. Ancak güzergahın özellikle Torul-Kürtün arasındaki kısmında hemen hemen her mevsim sıklıkla gerçekleşen kaya düşme olayları, zaman zaman can ve mal kayıplarına sebep olabilmekte ve çok daha sık karşılaşılan şekliyle ulaşımı aksatmaktadır. Bu nedenlerden ötürü güzergahın, kaya düşme potansiyeli daha yüksek olan ve bu yönüyle kaya düşmeleri açısından tehdit oluşturan kısmı, inceleme alanı olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Torul-Kürtün (Gümüşhane) karayolundaki potansiyel kaya düşme mekanizması, düşen blokların yayılma mesafesi, şev yüzeyi sıçrama yüksekliği, yuvarlanan kaya bloklarının toplam kinetik enerjileri ve bariyer uygulamaları ile düşmesi olası blokları önleme olanakları irdelenmiştir.

İnceleme alanında kaya düşme mekanizmasını belirlemek amacıyla, Sariosman Monzograniti ve Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerden alınan süreksizlik yönelim ölçüleri, kinematik analiz yöntemi ile değerlendirilmiş ve yenilme mekanizmaları belirlenmiştir.

Kaya kütlelerinde belirlenen düzlemsel, kama ve devrilme tipi yenilmeler için üretilen nihai yamaç duraysızlık haritasına göre, çalışma alanında devrilme tipi yenilmenin gerçekleşme olasılığı düzlemsel ve kama tipi yenilmelere göre daha yüksektir. İnceleme alanında 204 farklı lokasyonda ve yaklaşık 97901 m²'lik alanda devrilme tipi yenilme olasılığı bulunurken, kama tipi yenilme 62 lokasyonda 7448 m² ve düzlemsel tip yenilme olasılığı için bu 9 farklı lokasyon ve yaklaşık 2324 m² olarak belirlenmiştir.

Sariosman Monzograniti ve Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerin yayılım gösterdiği Torul-Kürtün yol güzergahının kuzeyindeki yamaçlarda belirlenen kesit hatları RocFall 4.0 bilgisayar programında analiz edilmiş ve kaya bloklarının yayılım mesafeleri, şev yüzeyi sıçrama yükseklikleri ve yuvarlanan blokların kinetik enerjileri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda Sariosman Monzogranitinde belirlenen kesit hatlarından SH1, SH2, SH3, SH4, SH5, SH6 kesitlerinde yuvarlanan kaya blokları yol güzergahına ulaşırken, SH7 nolu kesit analizinde kaya blokları yamaç yüzeyinde kalmıştır. Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerde yapılan kaya düşme analizlerinde ise tüm kesit hatlarından yuvarlanan kaya bloklarının yol güzergahına kadar ulaştıkları belirlenmiştir.

Kesit hatlarında belirlenen alanlarda uygulanan bariyerlerle düşen kaya bloklarının sönümlendiği belirlenmiş olup, Torul-Kürtün yol güzergahında bu çalışmalar ışığında belirlenen potansiyel kaya düşme alanlarının Karayolları Genel Müdürlüğü veya AFAD tarafından en kısa sürede iyileştirme planlamasına alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Duraysızlık haritaları, Kaya düşmesi, Kinematik analiz, Torul-Kürtün Karayolu

ABSTRACT

MY THESIS

GIS-BASED DETERMINATION OF ROCK SLOPE INSTABILITIES ON TORUL-KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) HIGHWAY AND 2-D ROCKFALL MODELLING

Elif GACENER

Gumushane University

The Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hasan Tahsin BOSTANCI

2019, 84 pages

The Torul-Kürtün-Tirebolu road is an alternative route for access between the Black Sea Region and the Eastern Anatolia Region, and has a high traffic potential. However, especially in the part of the route between Torul and Kürtün, rockfall events that occur frequently in almost every season may cause loss of life and property from time to time and interfere with the transportation as it is more frequently encountered. For this reason, the part of the route, which has a higher rockfall potential and poses a threat to rockfalls in this aspect, has been identified as the study area.

In this study the potential rockfall mechanism in Torul-Kürtün (Gümüşhane) highway, the spreading distance of falling blocks, the bounce height of the tumbling rocks along the slope face, the total kinetic energies of the tumbling rock blocks were evaluated and the barrier applications and the possibility of preventing the possible blocks to fall were examined. In order to determine the rockfall mechanism in the study area,

discontinuity orientation measurements taken from the Sariosman Monzogranite and dacites of Kızılkaya Formations were evaluated by kinematic analysis method and the mechanisms of instability were defined.

According to the susceptibility (instability) map produced for the planar, wedge and toppling type failures, the probability of toppling failure in the study area is higher than the planar and wedge type failures. In the study area, the probability of toppling type failure was found in 127 different locations and approximately 81133 m² area, while wedge type failure was determined as 4762 m² in 43 locations and 5 different locations and 2233 m² for the probability of planar type failure. The cross-sectional lines determined on the slopes to the north of the Torul-Kürtün road route, where the dacites of the Sariosman Monzogranite and Kızılkaya Formation are spread, were analyzed in the RocFall 4.0 computer program and the kinetic energies of the rock blocks, bounce heights of the tumbling rocks along the slope surface and the horizontal location of rock and points were determined. As a result of the analyses the rock blocks rolling in the sections SH1, SH2, SH3, SH4, SH5, SH6, which were located in the Sariosman Monzogranite, reached to the road route and the rock blocks in the section analysis SH7 remained on the surface of the slope. In the rockfall analysis of dacites belonging to Kızılkaya Formation, it was determined that rock blocks rolling from all section lines reached to the road route.

It was determined that the rock blocks falling to the applied barriers areas in the section lines have been damped. The potential rockfall areas determined in the light of these studies in the Torul-Kürtün road route should be include in the improvement planning as soon as possible by the General Directorate of Highways or AFAD.

Keywords: Geographic Information System, Instability maps, Rockfall, Kinematic analysis, Torul-Kürtün highway

TEŞEKKÜR

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

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve birikimlerini, desteğini eksik etmeyen, tecrübelerinden faydalanma fırsatı bulduğum Sayın Hocam Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen, emeği çok olan Sayın Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI'ya en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım. Bu süreç boyunca bilgilerinden yararlandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Abdullah KAYGUSUZ'a, Prof. Dr. Abdurrahman DOKUZ'a, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER hocama teşekkür ederim.

Yaşamımın her aşamasında benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli annem Hafize GACENER'e, babam Mustafa GACENER'e ve kardeşlerim Mehmet Akif GACENER, Nazlı GACENER'e şükranlarımı sunarım.

Manevi destekleri ile bu süreçte yanımda olan Gümüştaş Madencilik Tesis İşletme Müdürü Sayın Uğur ÖLGEN'e, Gümüştaş Madencilik Jeoloji Mühendisi Mert KARAASLAN'a ve sevgili arkadaşım Serkan F. GÜLER'e teşekkür ederim.

Elif GACENER
Gümüşhane, 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ	XV
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş ve Amaç	1
1.2. Coğrafi Bilgiler	1
1.2.1. Coğrafi Konum	1
1.2.2. Morfoloji	1
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü	2
1.3. Önceki Çalışmalar	3
1.3.1. Bölgenin Literatür Değerlendirmesi	3
1.3.2. Kaya Düşmeleri ile İlgili Literatür Değerlendirmesi	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	8
2.1. Arazi Çalışmaları	8
2.1.1. Süreksizlik Özelliklerinin Tanımlanması	8
2.1.1.1. Yönelim	9
2.1.1.2. Pürüzlülük	10
2.1.1.3. Açıklık	12
2.1.1.4. Dolgu	12
2.1.1.5. Bozunma Derecesi	12
2.1.1.6. Su Durumu	13
2.1.1.7. Schmidt Sertliği	14

2.2.	Laboratuvar Çalışmaları	14
2.2.1.	İnce Kesit Hazırlanması	15
2.2.2.	Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlığının Belirlenmesi	15
2.2.3.	Schmidt Sertliğinin Belirlenmesi	15
2.2.4.	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (USC)	16
2.2.5.	Süreksizliklerin Makaslama Deneyi	16
2.3.	Büro Çalışmaları	17
2.3.1.	Kinematik Analizler	17
2.3.1.1.	Düzlemsel Kayma Analizi	18
2.3.1.2.	Kama Tipi Kayma Analizi	18
2.3.1.3.	Devrilme Tipi Kayma Analizi	18
2.3.2.	Duraysızlık Haritalarının Üretilmesi	20
2.4.	Kaya Düşme Analizlerine Yönelik Çalışmalar	20
3.	BULGULAR	27
3.1.	İnceleme Alanının Jeolojisi	27
3.1.1.	Çatak Formasyonu	28
3.1.1.1.	Litoloji	29
3.1.1.2.	Alt ve Üst Sınırlar	30
3.1.1.3.	Yaş	30
3.1.2.	Kızılkaya Formasyonu	31
3.1.2.1.	Litoloji	31
3.1.2.2.	Alt ve Üst Sınırlar	32
3.1.2.3.	Yaş	33
3.1.3.	Çağlayan Formasyonu	34
3.1.3.1.	Litoloji	34
3.1.3.2.	Alt ve Üst Sınırlar	35
3.1.3.3.	Yaş	35
3.1.4.	Sariosman Monzograniti.....	35
3.1.4.1.	Litoloji	36

3.1.4.2.	Alt ve Üst Sınırlar	38
3.1.4.3.	Yaş	38
3.2.	Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi	39
3.2.1.	Çalışma Alanındaki Kaya Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri	39
3.2.1.1.	Kaya Kütle ve Süreksizlik Özellikleri	39
3.2.1.2.	Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü	41
3.2.1.3.	Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği	43
3.2.1.4.	Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Su Durumu	44
3.2.1.5.	Süreksizlik Yüzeylerinin Schmidt Sertliği	44
3.2.1.6.	Süreksizliklerin Makaslama Deneyi	45
3.2.1.7.	Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımının Belirlenmesi	52
3.2.1.8.	Kaya Düşme Mekanizması	53
3.3.	Duraysızlık Haritaları	56
3.4.	İki Boyutlu Kaya Düşmesi Analizleri	63
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	74
5.	KAYNAKLAR	76
6.	EKLER	85
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası	2
Şekil 2.1. Çalışma alanı hat etüdü uygulaması	9
Şekil 2.2. Süreksizlik yönelimlerinin pusula ile ölçümü	10
Şekil 2.3. Şev süreksizliklerinden alınan pürüzlülük ölçümü	11
Şekil 2.4. Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC değerleri	11
Şekil 2.5. Arazide süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekici deneyi	14
Şekil 2.6. Araziden alınan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım testi	16
Şekil 2.7. Kaya şevlerinde düzlemsel kayma (A), kama türü kayma (B) ve devrilme türü (C) duraysızlığın gelişebilmesi için gereken kinematik şartlar	19
Şekil 2.8. Bir kaya yamacından aşağı düşen kaya bloğunun, yamaç eğim açısına bağlı olarak yaptığı davranış türleri (Ritchie, 1963)	21
Şekil 2.9. Afet İşleri Genel Müdürlüğü kaya düşmeleri kayıtları (1962-2013)	21
Şekil 2.10. Karayolu güzergahına şevlerden kopup düşen bloklar	24
Şekil 2.11. Şev kenarlarında kopup düşmüş bloklar	24
Şekil 2.12. Karayolu kenarına alınan düşmüş bir blok	25
Şekil 2.13. Karayoluna düşen blokların iş makinası ile yol kenarına taşınması	25
Şekil 2.13. Şevden kopup düşen blok görüntüleri	26
Şekil 3.1. Çalışma alanı jeoloji haritası	27
Şekil 3.2. İnceleme alanına ait kolon kesit	28
Şekil 3.3. Çatak Formastonu'na ait andezitlerin Tek nikol (a, c) ve Çift nikol (b, d) mikroskop görüntüleri	30
Şekil 3.4. Kızılkaya Formastonu'na ait dasitlerin Tek nikol (a, c) ve Çift nikol (b, d) mikroskop görüntüleri	32
Şekil 3.5. Çağlayan Formasyonu'na ait bazaltların Tek nikol (a) ve Çift nikol (b) mikroskop görüntüleri	35
Şekil 3.6. Sariosman Monzograniti'ne ait incekesit görüntüleri Tek nikol (a), Çift nikol (b)	38

Şekil 3.7.	Süreksizlik yönelimlerinin pusula ile ölçümü	40
Şekil 3.8.	Sariosman Monzograniti'ndeki süreksizlik setlerine ait kontur diyagramı	40
Şekil 3.9.	Dasitlerde ki süreksizlik setlerine ait kontur diyagramı	41
Şekil 3.10.	Dasitlere ait JRC değerlerinin dağılım histogramı	42
Şekil 3.11.	Monzogranitlere ait JRC değerlerinin dağılım histogramı	42
Şekil 3.12.	Monzogranit kaya kütleindeki süreksizlik açıklığı dağılım histogramı ..	43
Şekil 3.13.	Dasit kaya kütleindeki süreksizlik açıklığı dağılım histogramı	43
Şekil 3.14.	Monzogranit (A) ve Dasit (B) kaya kütlelerinde gözlenen kil dolgu	44
Şekil 3.15.	Süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekici deneyi	45
Şekil 3.16.	Sariosman Monzogranitine ait makaslama deneyi örnekleri	46
Şekil 3.17.	Dasitlere ait makaslama deneyi örnekleri	46
Şekil 3.18.	Monzogranitlere ait süreksizliklerin temel sürtünme açısı (ϕ) grafikleri ..	47
Şekil 3.19.	Dasitlere ait süreksizliklerin temel sürtünme açısı (ϕ) grafikleri	48
Şekil 3.20.	Monzogranitlerin süreksizliklerine ait kesme gerilmesi-normal gerilme grafiği	51
Şekil 3.21.	Dasitlerin süreksizliklerine ait kesme gerilmesi-normal gerilme grafiği ..	51
Şekil 3.22.	Sariosman Monzograniti'ne ait örnekler ve tek eksenli sıkışma dayanım deneyi	52
Şekil 3.23.	Çalışma bölgesine ait sayısal yükseklik modeli	57
Şekil 3.24.	İnceleme alanın eğim haritası	57
Şekil 3.25.	İnceleme alanın bakı (yamaç yönelimleri) haritası	58
Şekil 3.26.	Düzlemsel yenilme için olası duraysızlık haritası	59
Şekil 3.27.	Kama tipi yenilme için olası duraysızlık haritası	60
Şekil 3.28.	Devrilme tipi yenilme için olası duraysızlık haritası	60
Şekil 3.29.	İnceleme alanı olası duraysızlık haritası	61
Şekil 3.30.	Duraysızlık haritalarının üretim prosedürü örneği	62
Şekil 3.31.	İnceleme alanında monzogranit ve dasitlerde belirlenen kaya düşme kesit hatları.....	64
Şekil 3.32.	Sariosman Monzograniti'ne ait 7 kesit hattı üzerinde ölçülen pürüzlülük	

	açıları	65
Şekil 3.33	Dasitlere ait 6 kesit hattı üzerinde ölçülen pürüzlülük açıları	65



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler	12
Tablo 2.2. Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesinin tanımlanması	13
Tablo 2.3. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri	13
Tablo 3.1. İnceleme alanındaki kaya kütlelerine ait süreksizlik setleri tablosu	41
Tablo 3.2. Schmidt geri sıçrama sertlik değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi ...	45
Tablo 3.3. Monzogranit ve Dasitlere ait süreksizliklerin temel sürtünme açısı (ϕ)..	49
Tablo 3.4. Eklemlerin makaslama dayanımı parametreleri	50
Tablo 3.5. Kaya malzemelerinin jeomekanik özellikleri	52
Tablo 3.6. Kaya kütlelerindeki süreksizliklere ait yönelim ve sürtünme açıları	53
Tablo 3.7. Monzogranitlerde düzlemsel tip yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	54
Tablo 3.8. Dasitlerde düzlemsel tip yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	54
Tablo 3.9. Monzogranitlerde kama tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	54
Tablo 3.10. Dasitlerde kama tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	55
Tablo 3.11. Monzogranitlerde devrilme tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	56
Tablo 3.12. Dasitlerde devrilme tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	56
Tablo 3.13. Düşen monzogranit bloklarının geometrilerine göre belirlenen blok ağırlıkları	63
Tablo 3.14. Düşen dasit bloklarının geometrilerine göre belirlenen blok ağırlıkları...	63
Tablo 3.15. Monzogranitlere ait kaya düşme analizi girdi parametreleri	66
Tablo 3.16. Dasitlere ait kaya düşme analizi girdi parametreleri.....	67

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Amf	: Amfibol
Bi	: Biyotit
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
Ep	: Epidot
Hbl	: Hornblend
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği topluluğu
JCS	: Süreksizlik yüzeyinin dayanımı
JRC	: Süreksizlik pürüzlülük katsayısı
K	: Kuvars
Kl	: Klorit
Op	: Opak mineral
Ort	: Ortoklas
Pir	: Piroksen
Pl	: Plajiyoklas
r	: Bozunmuş yüzeyin Schmidt geri sıçrama sertlik değeri
R	: Taze yüzeyin Schmidt geri sıçrama sertlik değeri
Rn	: Normal geri verme katsayısı
Rt	: Teğetsel geri verme katsayısı
USC	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
α_β	: Düzlemin eğim yönü
α_f	: Şevin eğim yönü
α_i	: Kesişme hattının dalım açısı
α_p	: Süreksizliğin eğim yönü
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ϕ_b	: Süreksizliklerin temel sürtünme açısı
ϕ_p	: Süreksizliğin içsel sürtünme açısı
ϕ_r	: Rezidüel sürtünme açısı
σ	: Normal gerilme
σ_n	: Süreksizlik düzlemine etki eden normal gerilme
τ	: Kesme gerilmesi
ψ_f	: Şevin eğim açısı
ψ_i	: Kesişme doğrusu dalım açısı
ψ_p	: Süreksizliğin eğim açısı
γ	: Birim hacim ağırlık

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Amaç

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Torul-Kürtün ilçeleri arasında kalan Geç Kretase yaşlı formasyonlar içinde bulunan karayolu güzergahındaki dik eğimlere sahip şevlerin kaya düşme potansiyelleri ve düşebilecek olan bu kaya bloklarının bölgede meydana getireceği tehlikeler incelenmiştir. Dolayısıyla önerilen tezin amacı, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesini Karadeniz Bölgesine bağlayan ve oldukça aktif bir araç yoğunluğuna sahip iki önemli karayolundan biri olan Torul-Kürtün yol güzergahında meydana gelebilecek olan kaya düşme tehlikesi içeren alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı kaya düşme duraylılık haritalarının üretilmesi ile kaya düşme duraylılığı yüksek olan alanların belirlenip, RocFall v4.0 bilgisayar programı ile yapılan kaya düşmesi modelleme çalışmalarıyla, blokların izleyeceği yol ve mesafe, hız, sıçrama yüksekliği belirlenerek gerekli mühendislik önlemlerinin önerilmesi olacaktır.

1.2. Coğrafi Bilgiler

1.2.1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı, Gümüşhane İli, Torul-Kürtün kara yolu güzergahında 1/25000 ölçekli G42-d3, G42-c4 pafta sınırları içinde yer almakta olup, 15 km²'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1). Gümüşhane ilinin kuzey kısmında yer alan Kürtün, Harşit çayı kenarında Tirebolu-Torul transit karayolu üzerinde kurulmuş, son derece engebeli araziye sahip bir ilçedir. Çalışma alanı, Torul-Kürtün karayolu üzerinde yer almakta olup, ulaşım asfalt yolla sağlanmaktadır. Araç sirkülasyonunun sık olduğu, aktif olarak kullanılan bir karayoludur. İnceleme alanına her mevsim ulaşım mümkündür.

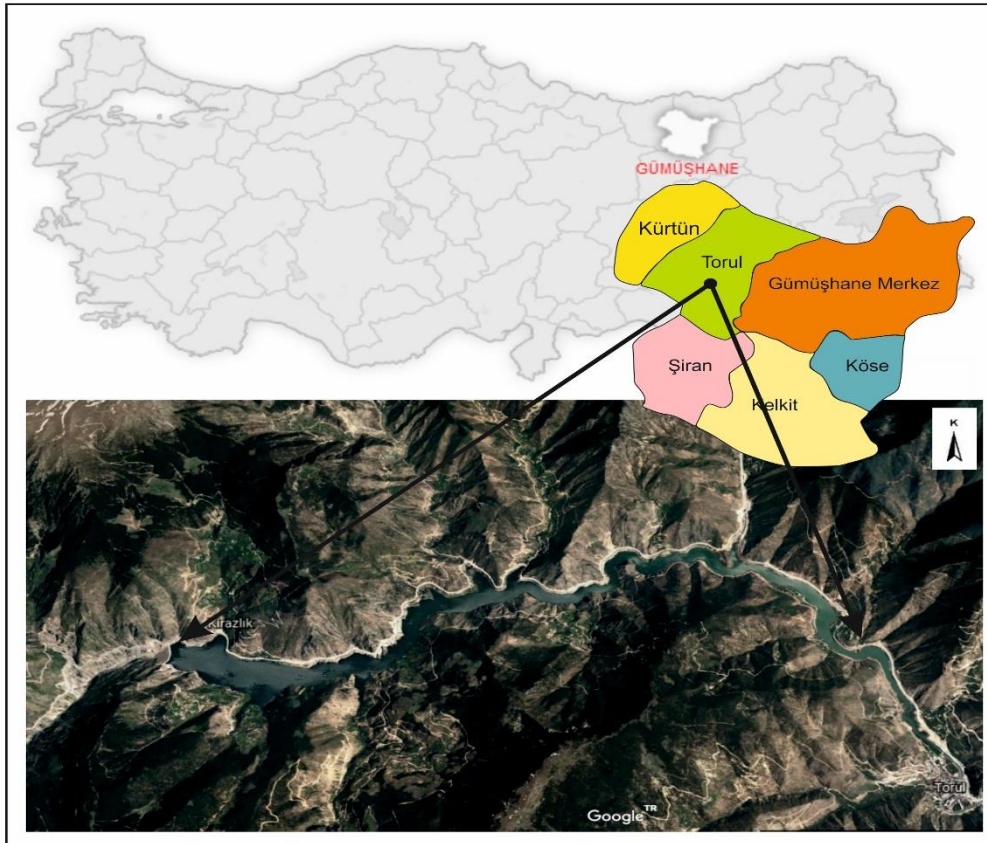
1.2.2. Morfoloji

Kürtün ilçesi Doğu Karadeniz dağları arasında Harşit çayının oluşturduğu derin vadinin kenarında yer alır. Harşit çayı kenarında Tirebolu-Torul transit karayolu üzerinde kurulmuş, son derece engebeli araziye sahip bir ilçedir. Çalışma alanı yol güzergahı boyunca

çok fazla sayıda tehlike oluşturan dış bükey durumda bulunan ve yüksek derecede aşınmaya maruz kalmış, kaya düşmelerine hazır yüksek eğime sahip şevler görülmektedir.

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı iklim özellikleri bakımından Doğu Anadolu ile Karadeniz Bölgesi arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Kürtün geneline bakıldığında, Doğu Karadeniz Bölgesi olmasına rağmen yüksek oranla karasal iklimin etkili olduğu, yaz mevsimlerinin kurak, kış mevsimlerinin soğuk ve kar yağışlı geçtiği görülmektedir. Çalışma alanı içerisinde meteoroloji gözlem istasyonu mevcut değildir. Bölgede rasat yapan tek istasyon, Gümüşhane il merkezinde (1219 m) bulunmakta olup 1932 yılından itibaren ölçümlere devam etmektedir. Kürtün İlçesinin çevresi yeşil ormanlık alanları ile adeta bir orman denizini teşkil etmektedir. Yağış, orman bitkilerinin yetişmesine sebebiyet vermektedir. Rakım olarak 800 metreye kadar yayvan yapraklılar, 800 metreden 2500 metreye kadar iğne yapraklı ağaçlar ve daha yukarılarda ise otlak, çayırılık ve meraların yer aldığı görülür.



Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (Google Earth)

1.3. Önceki Çalışmalar

1.3.1. Bölgenin Literatür Değerlendirmesi

İnceleme alanını da içine alan bölgede birçok çalışma yapılmış olup, yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Şirin (1995), “Kürtün – Torul (Gümüşhane) Arası Karayolu Kaya Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde, Torul-Kürtün (Gümüşhane) karayolu güzergahı boyunca yüzeyleme veren kayaçların genel jeolojisi incelenerek, karayolu boyunca yüzeylenen farklı litolojideki kayaçlarda açılan ve potansiyel kayma tehlikesi gösteren dört adet şev incelemelere model olarak seçilmiştir. Seçilen şevlerde yapılan ayrıntılı incelemelerde, kinematik olarak kaymaya uygun olan kaya blokların kama ve tetrahedral şekilli oldukları belirlenmiştir. İnceleme alanında karayolu kaya şevlerinin stabilite analizleri çeşitli stereografik projeksiyon teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Sonuçta, uygulanan yöntemler dahilinde her bir bloğa ait güvenlik katsayısı değeri hesaplanmıştır.

Develi (1996), yüksek lisans tez çalışmasında “Harşit Vadisi-Kürtün Barajı aks yeri kayaçlarında çatlak yüzeylerindeki pürüzlülüğünün sayısal tanımı” konusunu işlemiştir. Bu çalışmada; çatlak düzlemi yüzey pürüzlülüğünün, stabilite analizlerinde kullanılan mekanik parametrelerden içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) üzerine olan etkisinin ortaya konmasına ve farklı yüzey geometrilerine sahip çatlak düzlemlerinin pürüzlülük derecelerinin birbirleriyle nicel olarak kıyaslanmasına imkan verecek, sayısal değerlerin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, çatlak yüzeyleri üzerinde farklı koordinat noktalarındaki yükselti değerlerinin ölçümü ve haritalanması ve bu ölçümlerden elde edilen veriler yardımıyla pürüzlülüğün sayısal olarak ifadesi hedeflenmiştir. Pürüzlülüğün ölçümü ve haritalanması için özel bir kontrol ünitesi ve yazılım ile bilgisayar tarafından kontrol edilen bir yüzey tarama aleti geliştirilmiştir.

Ergin (1997), “Kürtün Barajı Rezervuarındaki Alüvyonların Stabilizasyon Araştırması” isimli yüksek lisans tezinde, Kürtün Baraj zemininde meydana gelen sızmalara karşı, sızdırmazlık açısından, çimento katkı malzemesi kullanmanın kireç kullanımına oranla daha olumlu sonuçlar verebileceğini gözlemlemiştir.

Ceryan (1998), Harşit Granitoidi’nde kaya malzemesinin mühendislik özellikleri üzerindeki ayrışmanın etkisi araştırmıştır. Bu çalışmada, söz konusu granitik kayaçlardaki ayrışma nedeniyle oluşan mineralojik ve fiziksel değişimler boyuna dalga hızların

kullanılarak tanımlanmıştır. Boyuna dalga hızlarına bağlı olarak tanımlanmış Mineralojik Değişim İndeksi ve Fiziksel Değişim İndeksleri seçilen ayrışma profillerinden alınan örneklerin fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki ayrışmanın etkilerini tahmin etmek için uygulanmıştır.

Peker (1998), “Kürtün Barajı Dolu Savak Güzergâhındaki Granodiyoritin Jeomekanik Özellikleri ve Bu Güzergâhtaki Kazı Şevlerinin Duraylılığı” isimli yüksek lisans tezinde, Kürtün Granodiyoritinde açılmış kaya şevlerinde jeoteknik çalışmalar yapmış ve bu şevleri duraylılık açısından incelemiştir.

Kaygusuz (2000), inceleme alanını kapsayan bölgede yapmış olduğu doktora çalışmasında, granitoidik kayaların detaylı incelenmesi ile birlikte volkanik kayalarında petrolojik incelemesini yapmıştır. Kaçkar II Granitoidini Sariosman Monzograniti adı altında incelemiştir. Bu birimin Çağlayan Formasyonunu kesmiş olduğu ve Eosen yaşlı birimlerle dokanağını ortaya koyarak Sariosman Monzogranitine Üst Kretase yaşını vermiştir.

Kaygusuz vd., (2006), Doğu Pontid’lerin Kuzey-Güney Zon geçişinde yer alan Torul ve çevresinde yüzeylenen Liyas, Üst Kretase ve Eosen yaşlı volkanik kayaları mineralojik, petrografik ve kimyasal olarak incelemiştir.

Pehlivan (2008), “Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi” isimli yüksek lisans tezinde, yamaçların duraylılığını değerlendirmiştir.

Kaygusuz vd., (2009), Sariosman Plütону’nun monzogranit bileşiminde olduğunu, Geç Kretase yaşlı volkanik kayaları kestiğini ve yaşının 82 my (U-Pb zirkon) olduğunu belirtmişlerdir.

Erkan (2010), “Kürtün Barajı (Kürtün-Gümüşhane) göl alanı sol yamacındaki heyelanlı alanın mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi” isimli yüksek lisans tezinde, Kürtün Barajı göl alanının sol sahilinde yer alan Hardsağır Mevkii’nde heyelanlı alan mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Heyelanlı sahada jeodezik çalışmalar yapılarak deformasyonlar belirlenmiştir. Çalışma alanından örnek alım tüpleriyle örselenmemiş örnekler alınarak, zeminin indeks özellikleri, kıvam limitleri, kayma dayanımı ve granülometresi belirlenmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bütün veriler değerlendirilerek heyelanlı sahanın yamaç duraylılığı Basitleştirilmiş Bishop ve Janbu yöntemleri kullanılarak ‘Slide’ limit denge analiz programında araştırılmıştır.

Akgün (2011), yaptığı çalışmada Kürtün barajı göl alanında meydana gelecek olası heyelanların oluşturacağı dalga potansiyelinin baraj gövdesi üzerindeki olumsuz etkilerini incelemiştir.

Karadağ (2013), yüksek lisans tez (Kalebaşı (Süme-Özkürtün-Gümüşhane) Mahallesi yerleşim alanındaki yamaçların duraylılığının mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi) çalışmasında inceleme alanındaki yamaçların heyelan potansiyelini Bishop ve Janbu yöntemleri ile değerlendirmiş ve yerleşim için duraylı alanları belirlemiştir.

1.3.2. Kaya Düşmeleri ile İlgili Literatür Değerlendirmesi

İnceleme alanında yapılması planlanan kaya düşmesi konusunda geçmişten günümüze yapılmış birçok çalışma olup, yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Varnes (1984), yapmış olduğu çalışmada potansiyel zarara neden olabilecek belirli bir heyelanın, belirli bir lokasyonda ve belirli bir zamanda oluşma olasılığını olası tehlike (hazard) terimi olarak kabul etmiştir.

Hovius vd. (1997), heyelan frekans alan dağılımlarını farklı coğrafyalarda ve farklı tetikleyen faktörler etkisi altında haritalamış ve üssel kanun fonksiyonlarına uygun ve anlamlı ilişkiler gözlemlemiştir.

Guzzetti vd. (1999), ortaya koyduğu yöntem ile heyelan arşiv envanteri ve heyelan kütlelerinin alansal dağılımını gösteren haritalar hazırlamıştır.

Evans (2002), çalışmasında Newfoundland karayolunda meydana gelmiş kaya düşmeleri olaylarını incelemiştir. Yol yarmalarındaki bazalt bloklarını yerinde düşürme deneyleri yaparak video ile kaydetmiş ve blokların hız değişimlerini, sıçrama miktarlarını belirlemeye çalışmıştır. Rocfall programının girdi parametrelerini geriye dönük analizlerle belirlemiş ve önleme yapısı olarak kafes sistemleri ile yakalama hendeklerini önermiştir.

Ayala-Carcedo (2003), La Cabrera Sierra (İspanya, Madrid) kaya düşmelerinin sıklıkla meydana geldiği bir bölgedir. Bu çalışmada maksimum menzil mesafesi duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Maksimum menzil mesafesinin belirlenmesi için saha çalışmaları sırasında daha önce düşmüş blokların lokasyonları göz önüne alınarak en kısa mesafede düşen kaya bloğunun mesafesinde dikkate alınmıştır. Düşen kaya bloklarının ilerleme mesafesinin analizlerle yeterli düzeyde çözümlenemediğini, fakat düşen blokların ilerleme mesafesini veya son olarak ulaştıkları noktayı kontrol eden faktörleri bloğun dayanımı,

şekli ve hacmi ile şev yüzeyinin ondülasyonu, eğimi ve bloğun şevden kopup düşme yüksekliği olarak değerlendirilmesi gerektiğinin vurgulamıştır.

Schweigl, vd., (2003), Güney Tyrol (İtalya) sıklıkla meydana gelen kaya düşmeleri olaylarına karşı ulaşım yollarının korunması amacıyla çalışmalarında, jeolojik, jeomorfolojik haritalamaları ve jeomekanik özellikleri kullanarak kaya düşmelerinin meydana geldiği bölgeleri değerlendirmiştir. Çalışmada iki boyutlu Rocfall programı kullanılarak kaya birikim zonlarını, menzil mesafelerini ve blokların sıçrama yükseklikleri belirlenmiştir.

Yeşilnacar ve Çetin (2005), yaptığı çalışmada Türkiye'nin kuzeybatısında, Hendek bölgesinde bulunan doğal gaz boru hattının heyelandan etkilenmesi sonucu doğal gaz boru hattı geçiş güzergahının yeniden belirlenmesi için heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Aksoy ve Ercanoğlu (2006), yaptığı çalışmada Ankarada bulunan andezit süreksizlik ölçüm verilerinin farklı bir yaklaşım getirmek amacıyla Fuzzy Methodu kullanılarak kentsel yerleşim bölgelerinde kaya düşmesine riskli alanların belirlenmesi.

Topal vd. (2007), Afyon Kalesi (Türkiye) 'inde belirlenen 9 farklı profil hattı üzerinde kaya düşmesi riskli alanlar da yuvarlanma mesafesi, sıçrama yüksekliği, kinetik enerjisi ve hızı belirlenerek her bir profil ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yılmaz (2008), yaptığı çalışmada kaya düşmesine duyarlı alanların mekânsal dağılımını haritalamak amacı ile Rockfall bilgisayar programı kullanılarak analiz sonuçlarının ArcGIS veritabanı ile değerlendirilmesi.

Zorlu (2009), yaptığı çalışmada Ermenek ilçesi yerleşim yeri (Karaman) kuzey-kuzeydoğusundaki kaya düşmelerinden etkilenebilecek alanları, ArcGIS 9.3 kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) içerisinde değerlendirmiştir. CBS ile çalışma alanının sayısal arazi modeli, eğim haritası ve bakı haritası oluşturulmuştur. Elde edilen kaya düşme analizi sonuçlarına göre, blokların gidebilecekleri en uzak mesafe dikkate alınarak bir etkileme zon haritası hazırlanmıştır. Bu çalışma ile bölgede gözlenen kaya düşmelerinin mekanizması ortaya ortaya konulmuş, kaya düşme olasılığı olan alanlar, düşme olasılığı olan bloklar ve düşmelere karşı iyileştirme yöntemleri belirlenmiştir.

Binal ve Ercanoğlu (2010), yaptığı çalışmada Kula (Manisa, Türkiye) bölgesinde deneysel ve sayısal veriler kullanılarak kaya düşmesi potansiyel alanlar belirlenmiştir. Kaya düşmelerinin gerçekleşmesinde en önemli etkenin litoloji ile erozyon olduğunu ayrıca yağış ve depremelerin de kaya düşmelerini tetiklediğini belirtmişlerdir. Düşen kaya

bloklarının ilk hızını 0 m/s olarak tanımlamış ve serbest düşme ile şev profillerinde analiz gerçekleştirmişlerdir.

Guzzetti vd. (2012), yaptığı çalışması ile heyelanların mekânsal dağılımı, tekrarlanma aralıkları ve istatistiksel değerlendirmeleri, tipi ve heyelan envanter haritalarının hazırlanmasına açıklık getirmiştir.

Topal ve Akın (2008), yaptığı çalışmada Kastamonu Kalesi (Türkiye) 'inde seçilen 17 profil hattı üzerinde çalışılan kaya düşmesi riskli alanları belirlemek için iki boyutlu RockFall analizi yapılmıştır.

Keskin (2013), Boğaziçi (Erzincan,Türkiye) bölgesinde bulunan sarp kayalıklarda kopmuş ve kopma tehlikesi olabilecek alanlarda RockFall bilgisayar programı kullanılarak kinetik enerjisi, gidebileceği mesafe ve hızı belirlenmiştir.

Artuç (2014), “Susuz Köyü (Çubuk-Ankara) ve yakın çevresinin kaya düşme potansiyelinin araştırılması” isimli yüksek lisans tezinde, kaya düşmesine neden olabilecek kaynak alanlar belirlenmiş, sonrasında CONEFALL programı kullanılarak farklı konik açıları için kaya düşmesinden etkilenebilecek alanlar ayırtlanmıştır. Farklı konik açıları için belirlenen kaya düşmesi yayılma zonları ile saha çalışmaları kapsamında konumları belirlenen kaya düşmeleri de karşılaştırılmıştır.

Brenning (2015), heyelan duyarlılık değerlendirmesinde aynı bölgede farklı yaklaşımlar kullanarak bunların karşılaştırılması ve performans değerlendirmesini yapmıştır. Ayrıca kaya düşmeleri için Flow-r yazılımı kullanılarak kaynak alan ve yayılım mesafesini kapsayan kaya düşmesi duyarlılık haritası hazırlanmıştır.

Youssef (2015), yaptığı çalışmada Suudi Arabistan'ın güneybatısında iki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel modeli kullanarak heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuştur.

Kalender (2017), “Konik yayılım yaklaşımıyla kaya düşme potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik bir yöntem önerisi” isimli doktora tezinde, kaya bloklarının en uzak mesafelere ulaşabilme açısının belirlenebilmesine yönelik bir Maksimum Menzil Puanı (MMP) sınıflaması önermiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın amacını oluşturan Torul-Kürtün (Gümüşhane) karayolundaki potansiyel kaya düşmeleri ve önleme yöntemlerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar, arazi, laboratuvar ve büro çalışması olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1. Arazi Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında Torul-Kürtün (Gümüşhane) karayolu güzergahında yayılım gösteren birimlerin sınırlarını belirlemek için jeoloji haritası hazırlanmıştır. İnceleme alanında belirlenen 6 hat üzerinde ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflamalar dikkate alınarak şevlerin süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi için, süreksizliklere ait yönelim, pürüzlülük, açıklık, dolgu, su durumu, bozunma derecesi, schmidt sertliği ve blok boyutu her bir hat için ayrı ayrı belirlenmiştir.

2.1.1. Süreksizlik Özelliklerinin Tanımlanması

Kaya kütlelerinde süreksizliklerin özellikleriyle ilgili veri elde edilmesinde en doğru sonuçların alındığı yöntem, hat etüdü yöntemidir. Jennings (1970) tarafından önerilen yöntem daha sonra Piteau (1970) tarafından biraz değiştirilmiş, Fookes ve Deenness (1969), Attewell ve Farmer (1976) ve Priest ve Hudson (1981) gibi araştırmacılar ile ISRM (2007) tarafından da detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

Süreksizliklerin aralığına ve devamlılığına bağlı olarak, uygun uzunlukta bir kaya yüzeyinde, şerit metre ölçümün alınacağı yüzeyin üzerine serilmiş, hattın başlangıç-bitiş noktaları işaretlenmiş ve hattın uzunluğu kaydedilmiştir (Şekil 2.1). Yüzeyin kayaç parçalarından arındırılmış olmasına ve süreksizliklerin en az % 50'sinin bir ucu görünecek şekilde seçilmesine dikkat edilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma alanı hat etüdü uygulaması

2.1.1.1. Yönelim

Süreksizliklerin uzaydaki konumları, eğim ve doğrultularıyla tanımlanır. Eğim, bir süreksizlik düzleminin yatay düzlemle yaptığı açıdır. Kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülen ve kuzey yönü ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açı ise, eğim yönü olarak tanımlanır. Yönelimleri hemen hemen birbirleriyle aynı olan süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa “süreksizlik takımı” adı verilir. Kaya kütleleri genellikle birden fazla sayıda süreksizlik takımı içerirler. Bu nedenle, arazide ölçülmüş çok sayıdaki süreksizlik yöneliminin grafiksel yöntemlerle değerlendirilerek, süreksizlik takımı sayısının ve bunların ortalama yönelimlerinin belirlenmesi, mühendislik jeolojisi uygulamalarının ayrılmaz bir parçasıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Süreksizlik yönelimlerinin pusula ile ölçümü

2.1.1.2. Pürüzlülük

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçüsüdür. Dalgallık ise düzlemsellikten büyük ölçekteki (m boyutunda) bir sapmayı karakterize eder (ISRM, 1981).

Bu çalışmada pürüzlülük ölçümünde Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen ve arazide telli profilometre ile ölçülen süreksizlik yüzeyi profillerinin (Şekil 2.3) mevcut standart profillerle karşılaştırılması esasına dayanan bir yöntem kullanılmıştır. Standart profillerde verilen süreksizlik yüzeyi pürüzlülük sayısı (JRC) değerleri 2-20 arasında değişmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Şev süreksizliklerinden alınan pürüzlülük ölçümü

<i>Standart Pürüzlülük Profilleri</i>	<i>JRC değerleri</i>
	0-2
	2-4
	4-6
	6-8
	8-10
	10-12
	12-14
	14-16
	16-18
	18-20

Şekil 2.4. Pürüzlülük profilleri ve bunlara karşılık gelen JRC değerleri
Barton ve Choubey (1977)

2.1.1.3 Açıklık

Açıklık, bir süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık olup, boş olabileceği gibi, su veya herhangi bir dolgu malzemesi tarafından da doldurulmuş olabilir (ISRM, 2007). Bu çalışmada en basit ve pratik ölçüm olan milimetre bölmeli şerit metre kullanılarak, süreksizliklere ait açıklık değerinin ölçülmesiyle açıklık değerleri belirlenmiştir. Süreksizliklerin açıklığı ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Süreksizlik açıklığının tanımlanmasına ilişkin ölçütler (ISRM, 2007)

Açıklık (mm)	Tanımlama	
< 0.1	Çok sıkı	
0.1 - 0.25	Sıkı	Kapalı yapılar
0.25 - 0.5	Kısmen açık	
0.5 - 2.5	Açık	
2.5 - 10	Orta derecede geniş	Boşluklu yapılar
>10	Geniş	
10 - 100	Çok geniş	
100 - 1000	Aşırı geniş	Açık yapılar
>1000	Boşluklu	

2.1.1.4. Dolgu

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kaya malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Silt, kil, kum, breş ve milonitik en çok görülen dolgu malzemeleridir. Dolgulu bir süreksizlikte süreksizliğin iki yüzeyi arasındaki uzaklık dolgunun kalınlığı olarak tanımlanır. Çalışma alanındaki süreksizliklerde dolgu kalınlığı milimetre bölmeli çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Dolgu özelliklerinin belirlenmesinde ISRM (2007) tanımlama ölçütleri esas alınmıştır.

2.1.1.5. Bozunma Derecesi

Kaya kütleleri yüzeye yakın kesimlerde genellikle bozunmuş veya biraz daha derinde hidrotermal süreçlere bağlı olarak alterasyona uğramış olabilirler. Süreksizlik

yüzeylerindeki bozunma derecesi ISRM (2007) tarafından önerilen görsel bir sınıflamadır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesinin tanımlanması (ISRM, 2007)

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma Derecesi
Taze	Kayaçlarda bozunma gözlenmiyor, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi olabilir.	I
Az Bozunmuş	Kaya malzemesi ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeni ile tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	II
Orta Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze ya da renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	III
İleri Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze ya da renk değişimine uğramış olup ya bir süreksiz kütle ya da çekirdek taşı halindedir.	IV
Tamamen Bozunmuş	Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	V
Artık Zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla birlikte zemin taşınmamıştır.	VI

2.1.1.6. Su Durumu

Arazi gözlemleri sırasında her iki kaya kütlelerindeki süreksizlik yüzeylerinde su sızıntılarına rastlanmamıştır. ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok özelliktedir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış (bu durumda sürekli akışın gözlemlendiği süreksizlikle gözlenmelidir)
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

2.1.1.7. Schmidt Sertliği

Süreksizlik yüzeylerinin bulunduğu kaya malzemesinin dayanımı, özellikle süreksizlik yüzeylerinin dolgusuz ve birbiriyle temas halinde olması durumunda makaslama dayanımı açısından oldukça önemlidir. Bu amaç için, Schmidt çekici deneyi, eklem yüzeylerinin sıkışma dayanımının, dolaylıda olsa arazide tahmini açısından pratik bir yöntemdir. Bu çalışmada, Schmidt çekici süreksizlik yüzeylerine dik yönde uygulanmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Arazide süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekici deneyi

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Arazide çalışma alanını içeren birimlerden laboratuvarda uygulanacak deneyler için blok örnekler alınmıştır. Alınan örnekler laboratuvar ortamında ISRM (2007) standartlarında hazırlanarak jeomekanik özellikleri belirlenmiştir. Süreksizliklere ait içsel

sürtünme açısını belirlemek için dasit ve monzogranitlerden blok örnekler alınarak makaslama dayanımı testleri için numuneler hazırlanmış ve deformasyon kontrollü doğrudan makaslama deneyleri yapılmıştır.

2.2.1. İnce Kesit Hazırlanması

İnceleme alanından alınan kayaç numunelerinin mineralojik ve petrografik özelliklerinin tespit edilmesi için, Çatak Formasyonu, Çağlayan Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu ve Sarıosman Monzograniti' ne ait araziden alınan blok örneklerinin incelenmesi için ince kesitleri hazırlanmıştır. İnceleme için kayaçlardan alınan 0.5x2x4 cm boyutunda plakacıklar, bir yüzeylerinin pürüzlülüğü giderildikten sonra 1mm kalınlığındaki 2.5x5 cm boyundaki cam üzerine kanada balzamu kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan kayaç, aşındırıcılar yardımıyla 0,025 mm kalınlığına kadar inceltilerek petrografik incelemek için hazır hale getirilmiştir. İnce kesit örnekleri Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında yapılmıştır.

2.2.2. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlığının Belirlenmesi

Düzgün şekilli olarak blok örneklerinden hazırlanan karot numunelerinin öncelikle ayrı ayrı ISRM tarafından önerildiği şekli ile (kompas yöntemi) yoğunluk ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

2.2.3. Schmidt Sertliğinin Belirlenmesi

Schmidt çekici deneyi N tipi çekiç kullanılarak arazide bloklar üzerinde ISRM tarafından önerilen şekilde yapılmıştır. Deneyler blok üzerinde süreksizlik ve çatlağın olmadığı alanlarda düşey olarak yapılmış olup, her deneyde alınan 20 okumanın en yüksek 10'unun ortalaması tek blok numune için Schmidt sertliği olarak belirlenmiştir.

2.2.4. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (USC)

Kapasitesi 2000 kN olan ekipmanın kullanıldığı deneylerde uzunluk/çap oranı 2.0-2.5 olan karot numunelerinin tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenmiştir. Yükleme hızı olarak 0.1 kN/s seçilmiş olup, numuneler 5-10 dk arasında yenilmiştir. Her bir blok numune için en az 5 örnek üzerinde deney tekrar edilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Araziden alınan örneklerin tek eksenli sıkışma dayanım testi

2.2.5. Süreksizliklerin Makaslama Deneyi

Kaya düşmelerinin yenilme mekanizmasını kinematik analiz yöntemi ile belirleyebilmek için, kaya kütesini oluşturan süreksizliklerin içsel sürtünme açısının (ϕ) belirlenmesi gerekmektedir. CANMET (1977) tarafından önerilen yöntemle göre süreksizliklerde deformasyon kontrollü doğrudan makaslama deneyleri yapılarak ve Barton ve Choubey (1977) görgül yenilme ölçütü kullanılarak süreksizliklerin sürtünme açısı belirlenmektedir. Deformasyon kontrollü doğrudan makaslama deneyinde, örnekler 6x6x1cm ebatlarında kesilerek yüzeyleri pürüzsüz hale getirilerek deneye uygun hale getirilmiş ve farklı normal gerilmeler altında makaslama deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait normal gerilme (σ)-kesme gerilmesi (τ) grafikleri çizilerek temel sürtünme açıları (ϕ_b) belirlenmiştir. Belirlenen temel sürtünme açısı (ϕ_b) Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen eşitlikte girdi parametresi olarak kullanılıp, kaya kütesindeki süreksizliklerin içsel sürtünme açısı belirlenmiştir.

2.3. Büro Çalışmaları

2.3.1. Kinematik Analizler

Kinematik analizler kaya şevlerindeki yenilmelerin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda, ayrıntılı analizlere başlamadan önce şevlerin duraylı veya duraysız olarak tanımlanması amacıyla uygulanan pratik bir yöntemdir. Jeoteknik çalışmalarda, genel tasarım prosedürü potansiyel olarak duraysız blokların teşhisi için kinematik analizin kullanılmasının ardından ayrıntılı sayısal analizlere geçilmesi esasına dayandırılmalıdır.

Düzlemsel kayma, kama tipi kayma ve devrilme türü yenilmelerin analiz edildiği bu yöntemde veri olarak süreksizliklerin yönelimi, şev yönelimi ve süreksizliklerin içsel sürtünme açısı parametreleri kullanılmaktadır.

Kaya şevlerinde meydana gelen duraysızlıklar, kaya kütesinin içerdiği süreksizliklere bağlı olarak gelişebilmekte ve bu duraysızlıklar, bir veya kesişen iki süreksizlik düzlemi boyunca oluşmaktadır. Ancak, kaya kütesinin süreksizlik içermesi her zaman süreksizlik düzlemlerine bağlı olarak herhangi bir duraysızlığın oluşabileceğini ifade etmez. Kaya şevlerinde meydana gelen duraysızlıklar, ancak kaya kütesinde duraysızlığa neden olabilecek yönelime sahip süreksizlik veya süreksizliklerin varlığı ile mümkün olabilmektedir. Kaya kütlelerinde oluşabilecek duraysızlıkların değerlendirilmesinde, prensipleri Hoek ve Bray (1981) tarafından ortaya konulan Kinematik Analiz Tekniği kullanılmaktadır. Kinematik Analizler, stereografik izdüşüm yöntemi kullanılarak, şev yönelimi, süreksizlik yönelimi, kesişen süreksizliklere ait kesişme noktasının dalım açısı ile süreksizlik düzleminin içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkilerin incelenmesi esasına dayanmaktadır. Ancak hiçbir zaman unutulmaması gereken nokta, Kinematik Analiz Tekniği'nin bir olasılık analizi olduğudur. Kinematik analiz sonucunda, oluşabileceği ortaya konulan duraysızlıklar bir olasılıktan ibarettir ve duraysızlık olasılığı varsa, bu duraysızlığın gerçekleşip gerçekleşmeyeceği ancak yapılacak olan limit denge veya sayısal analizler ile kesin olarak ortaya konulabilmektedir.

Kaya kütlelerinde süreksizliklere bağlı olarak düzlemsel kayma, kama türü duraysızlık ve devrilme türü duraysızlık olmak üzere üç tür duraysızlık modeli mevcuttur (Hoek ve Bray, 1981).

2.3.1.1. Düzlemsel Kayma Analizi

Kaya şevlerinde bir süreksizlik düzlemine bağlı olarak gelişen bir yenilme türüdür (Şekil 2.7A). Çünkü, kaymanın oluşabilmesi için birçok geometrik koşulun bir araya gelmesi gerekmektedir. Bu koşulları;

a) Şevin eğim açısının (ψ_f) süreksizliğin eğim açısından büyük, süreksizliğin eğim açısının (ψ_p) ise süreksizliğin içsel sürtünme açısından (ϕ_p) büyük olması,

$$(\psi_f) > (\psi_p) > (\phi_p)$$

b) Şevin eğim yönü açısı ile süreksizliğin eğim yönü açısı arasındaki farkın $\pm 20^\circ$ den büyük olmaması,

c) Kayan kütlenin iki tarafında yenilmeye karşı çok az direnç gösteren yan yüzeylerin bulunması şeklinde sıralamak mümkündür.

2.3.1.2. Kama Tipi Kayma Analizi

Kesişen iki süreksizlik düzleminin oluşturduğu kamanın, bu kesişme doğrusu boyunca kayması şeklinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.7B). Ancak, kaya kütlelerinde kesişen süreksizliklerin varlığı her zaman kama türü duraysızlığa neden olmaz. Duraysızlığın oluşabilmesi için süreksizliklerin kesişme doğrusunun (I_{A-B}), steografik iz düşümünde içsel sürtünme açısı dairesi ile şev düzlemine ait büyük daire arasında kalan kritik bölgeye (Şekil 2.7B) düşmesi gerekmektedir. Kesişme doğrusunun kritik bölgeye düşmesi, kama türü duraysızlık için gerekli olan kesişme doğrusu dalım açısının (ψ_f) şevin eğim açısından (ψ_f) küçük, süreksizliğin eğim açısından (ψ_p) büyük olması şartını da sağlamış olacaktır.

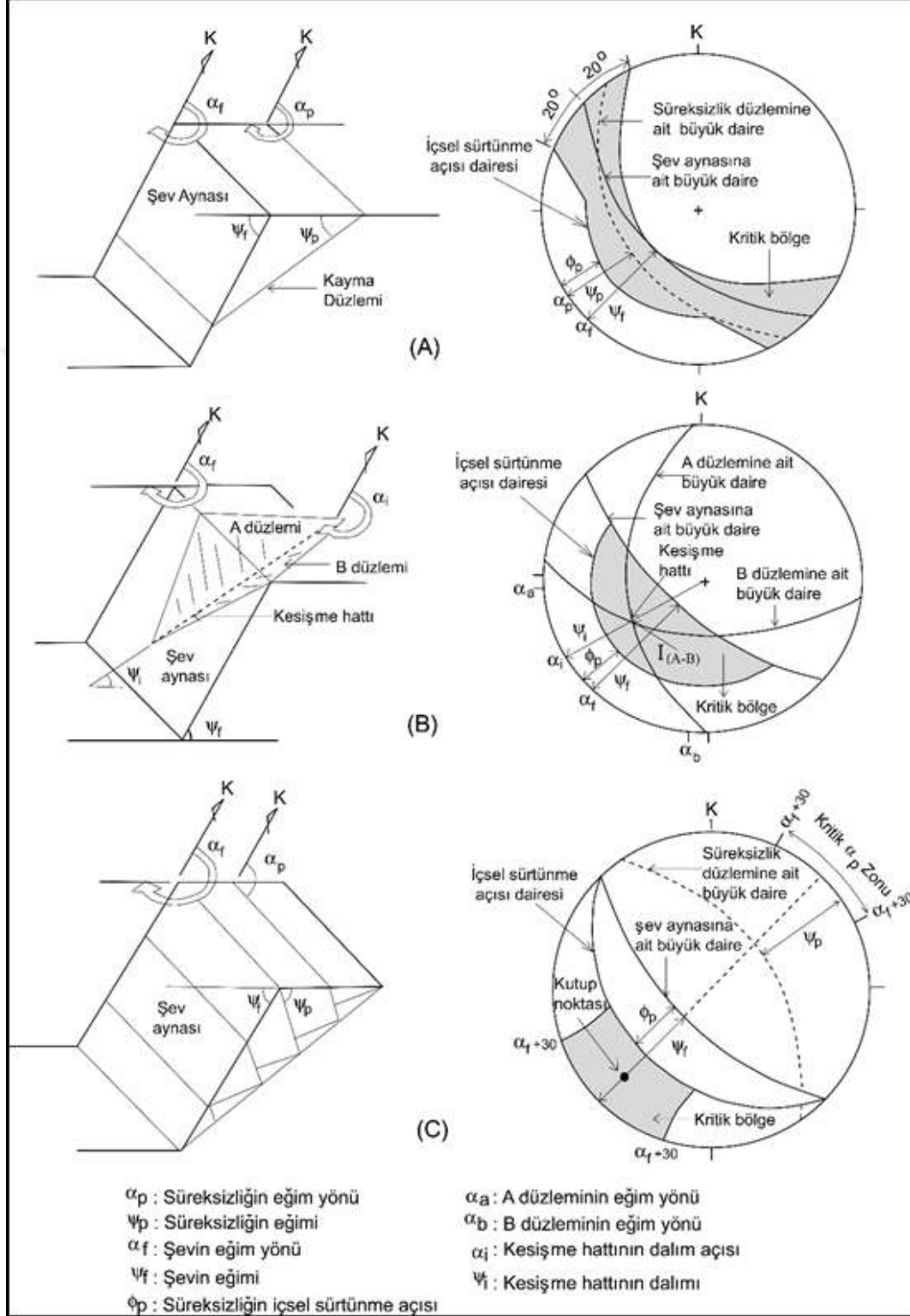
2.3.1.3. Devrilme Tipi Kayma Analizi

Şev eğim yönünün tersi yönde eğimli ve yüksek devamlılığa sahip süreksizlikler boyunca oluşabilmektedir (Şekil 2.7C). Devrilme türü duraysızlığın oluşabilmesi için;

a) $(90 - \psi_f) + \phi_p < \psi_p$

b) $\alpha_\beta = (\alpha_f + 180) \pm 30^\circ$

şartlarının sağlanması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli durum, süreksizliğin eğim yönünün (α_p) şevin eğim yönüne (α_f) zıt yönde olması gerektiğidir.



Şekil 2.7. Kaya şevlerinde düzlemsel kayma (A), kama türü kayma (B) ve devrilme türü (C) duraysızlığın gelişebilmesi için gereken kinematik şartlar

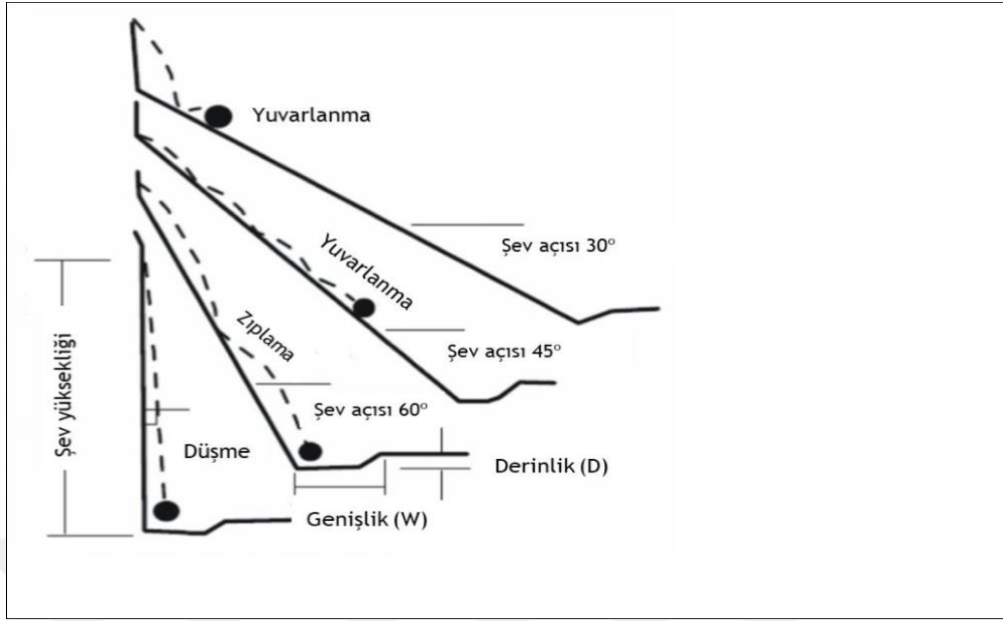
2.3.2. Duraysızlık Haritalarının Üretilmesi

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), doğa olaylarının modellenerek olası tehlike ve risklerin belirlenmesinde etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Jeoteknik çalışmalarda ise genellikle heyelan ve kaya düşme duyarlılık haritalarının üretilmesinde (Carrara, vd., 1991, 1995; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Gökçeoğlu vd., 2000; Irigaray vd., 2003; Guzzetti vd., 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2004; Yılmaz, 2007; Akgun ve Bulut, 2007; Akgun vd., 2008; Pradhan, 2010; Gao vd., 2011; Akıncı vd., 2011; Ercanoğlu ve Temiz, 2011; Akgün vd., 2012; Yılmaz vd., 2012; Bednarik vd., 2012; Pourghasemi vd., 2012; Kayastha vd., 2013; Guettouche, 2013; Bortolotti vd., 2015; Akıncı vd., 2015; Meten vd., 2015; Youssef vd., 2015; Kumar vd., 2015; Youssef vd., 2016; Bourenane vd., 2016; Gurocak vd., 2017 Bostancı vd., 2018) yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada ise, CBS olanakları kullanılarak, Torul-Kürtün karayoluna etki edecek potansiyel kaya düşme alanlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yol sevi üzerinde bulunan kaya düşme potansiyelli alanlar zaten doğrudan gözlemlenebilir niteliktedir. Bu nedenle, yol boyunca yamaçların daha üst kotlarındaki, kaya düşme potansiyelli olası kaynak kaya alanlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Torul-Kürtün karayolunun çalışmaya konu kısmında, Kızılkaya Formasyonu ve Sariosman Monzograniti olmak üzere iki farklı birim yüzeyleme sunmaktadır. Potansiyel kaya düşme alanlarının belirlenebilmesi için öncelikle bu birimler ait olası kaya şev duraysızlık haritalarının üretilmesi gerekmektedir. Kinematik analiz sonuçları, bu birimler üzerindeki olası duraysızlıkların devrilme, düzlemsel ve kama türü yenilmeler şeklinde olacağını göstermektedir. Bu yenilme türlerine bağlı olası duraysızlıklar, belirli bir yönelimde ve eğim sınır değeri üzerindeki alanlarda söz konusu olacaktır ki olası yenilmelerin gerçekleşebileceği eğim ve yönelim sınır değerleri kinematik analiz yöntemleriyle belirlenmiştir. Daha sonra 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalardan oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelinden elde edilen eğim ve bakı haritaları parametre altlıkları olarak kullanılarak duraysızlık haritalarının üretilmiştir.

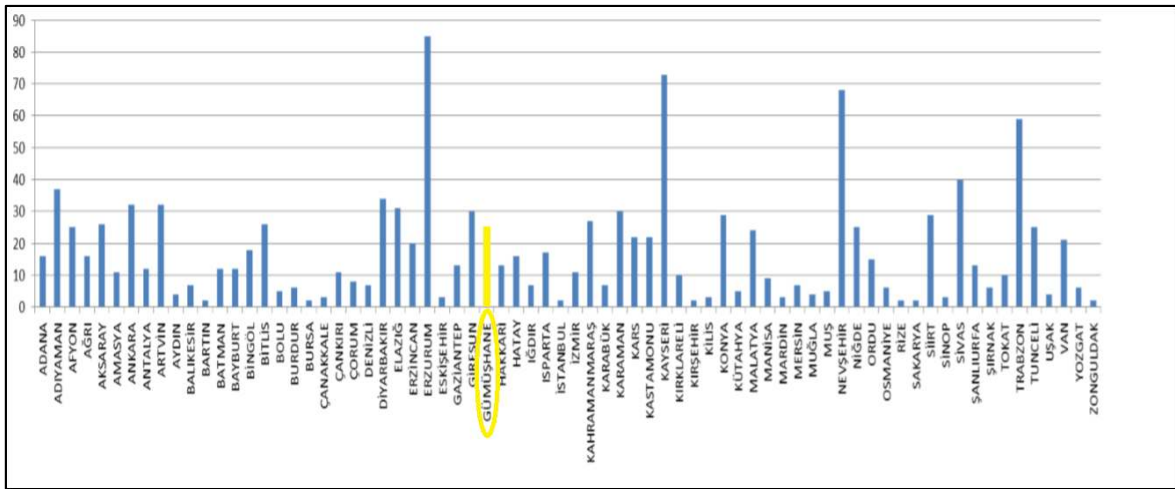
2.4. Kaya Düşme Analizlerine Yönelik Çalışmalar

Kaya düşmeleri; eklemlerde donma-çözülme, ağaç köklerinin büyümesi, bozunma, su gibi faktörlerin etkisi altında serbest hale geçen kaya bloklarının dik yamaçlarda yerçekiminin etkisiyle yamaç aşağı doğru serbest düşerek, eğimin azalmasına bağlı yuvarlanarak veya sıçrayarak hareket etmesidir (Ritchie, 1963) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Bir kaya yamacından aşağı düşen kaya bloğunun, yamaç eğim açısına bağlı olarak yaptığı davranış türleri (Ritchie, 1963)

Jeolojik ve jeomorfolojik özellikler ele alındığında, ülkemizde başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere çok sayıda kaya düşmesi olayı yaşanmaktadır (Şekil 2.9). Çalışma alanı Torul-Kürtün (Gümüşhane), için kaya düşmesi değerlendirmesinde etkili olan parametreler irdelendiğinde, ilk sırayı oldukça dik yamaç eğimleri almaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü 1962-2013 kayıtlarına göre kaya yuvarlanmaları/düşmelerinin illere göre dağılımı Şekil 2.9’ da verilmiştir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016).



Şekil 2.9. Afet İşleri Genel Müdürlüğü kaya düşmeleri kayıtları (1962-2013)

Düşme potansiyeline sahip kaya bloğunun izleyeceği yol, kazanacağı hız, sıçrama yüksekliği ve kinetik enerjileri bilgisayar destekli kaya düşme analizleriyle belirlenebilir (Schweigl et al., 2003). Çalışma sahasında gözlenen kaya düşmelerinin modelleme çalışmalarında RocFall V.4.0 (Rocscience, 2003) bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda, 2 boyutta alınan bir şev kesiti üzerinde şevi oluşturan yüzey materyalinin tanımlanması, bu materyale ait bazı fiziksel parametrelerin tanıtılması, kaya düşmesine kaynak oluşturacak kaya blok alanlarının girilmesi yardımıyla olası düşme olayı meydana geldiğinde kaya bloklarının en fazla ne kadar yol alacakları, ne kadar bir kinetik enerjiye sahip olacakları ve nasıl bir hareket gösterecekleri (yuvarlanma, sıçrama, serbest düşme) belirlenebilmektedir. 2 boyutlu kaya düşme analizlerinde kullanılan parametreler;

- Normal geri verme katsayısı (R_n)
- Teğetsel geri verme katsayısı (R_t)
- Sürtünme açısı ($^\circ$)
- Şev pürüzlülüğü ($^\circ$)
- İlk hız (m/s)
- Blok düşürme sayısı
- Blok boyutu ve ağırlığı

Bu özellikler arasında geri verme katsayıları (R_n , R_t), şev pürüzlülüğü ve sürtünme açısı tayini oldukça önemlidir.

Düşen bloğun topoğrafyaya temas ettiği noktalarındaki enerji sönümlenmelerini kontrol eden yatay ve düşey geri verme katsayıları (Coefficient of normal and tangential restitution) R_n ve R_t değerleri analiz programında girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır. Bu katsayılar, düşen bloğun ve yüzeyin özelliklerine göre değişim göstermektedir. Kaya düşmesi analizlerini yapan RocFall v.4.0 programında (Rocscience, 2003) bu katsayıları kontrol eden farklı yüzey tanımları önerilmektedir. Bu tanımlar; asfalt, ana kaya mostrası, sert kaya, moloz birikimi, bitki örtüsüyle kaplı toprak ve bitki örtüsüyle kaplı molozdur. Bu katsayılar direkt arazide blok düşürme testlerinden, düşen blokların geri analizinden veya literatürde kabul edilen iyileştirme katsayı tablosu (Rocscience Coefficient of Restitution Table) ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada R_n ve R_t geri verme katsayıları, saha çalışmaları sırasında belirlenen daha önce düşmüş olan blokların konumlarının tespiti ile geriye dönük analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Şev pürüzlülüğü, şev geometrisindeki lokal geometri değişimlerinin dikkate alınmasını sağlayan bir parametredir. Gerçek şev geometrisini yansıtan dalgalı çizginin herhangi bir noktada yatayla yaptığı açının normal dağılımı ile belirlenir. Arazi çalışmaları sırasında süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün tespitinde dasit ve monzogranit kütlelerinde alınan her bir kesit hattı için dalgalanma olan segmentlerin yatayla yaptığı açılar belirlenerek bu açı değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve elde edilen standard sapma değerleri her bir kesit hattı için ayrı ayrı belirlenmiş olup, şev pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir.

Sürtünme açısının belirlenmesinde; her bir kaya külesine ve yamaç molozuna ait teğetsel geri verme katsayısı (Rt) değerleri dikkate alınarak aşağıda verilen eşitlikten faydalanılmıştır.

$$\text{Sürtünme Açısı} = (1 - Rt) / Rt \quad (1)$$

Yukarıda verilen eşitlikten elde edilen sonuç radyan cinsinden sürtünme açısını vermekte olup, bu değer (1 radyan= 57.2958°) dereceye çevrilmelidir. Derece cinsinden elde edilen değer bize sürtünme açısını vermektedir.

Sürtünme açısı, kaya bloğunun hareket edebilmesi için şev yüzeyi üzerinde ki şev segmentlerinin kritik açısını ifade etmektedir. Şev segmentinin eğimi bu açının üstünde bir değerde ise üzerindeki blok şev aşağı hareketine devam etmektedir. Bu kritik açı değerinin altındaki şev segmenti eğimlerinde blok sabit kalacaktır.

Torul-Kürtün karayolu güzergahını tehdit eden kaya kütle duraysızlıklarının değerlendirilmesi için detaylı mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında kaya şevlerinde farklı boyutlarda duraysız bloklar ve şevlerin kenarlarında ve yamaçlarda kopup düşmüş olan bloklar tespit edilmiştir (Şekil 2.10-2.11-2.12-2.13-2.14).



Şekil 2.10. Karayolu güzergahına şevlerden kopup düşen bloklar



Şekil 2.11. Şev kenarlarında kopup düşmüş bloklar



Şekil 2.12. Karayolu kenarına alınan düşmüş bir blok



Şekil 2.13. Karayoluna düşen blokların iş makinası ile yol kenarına taşınması



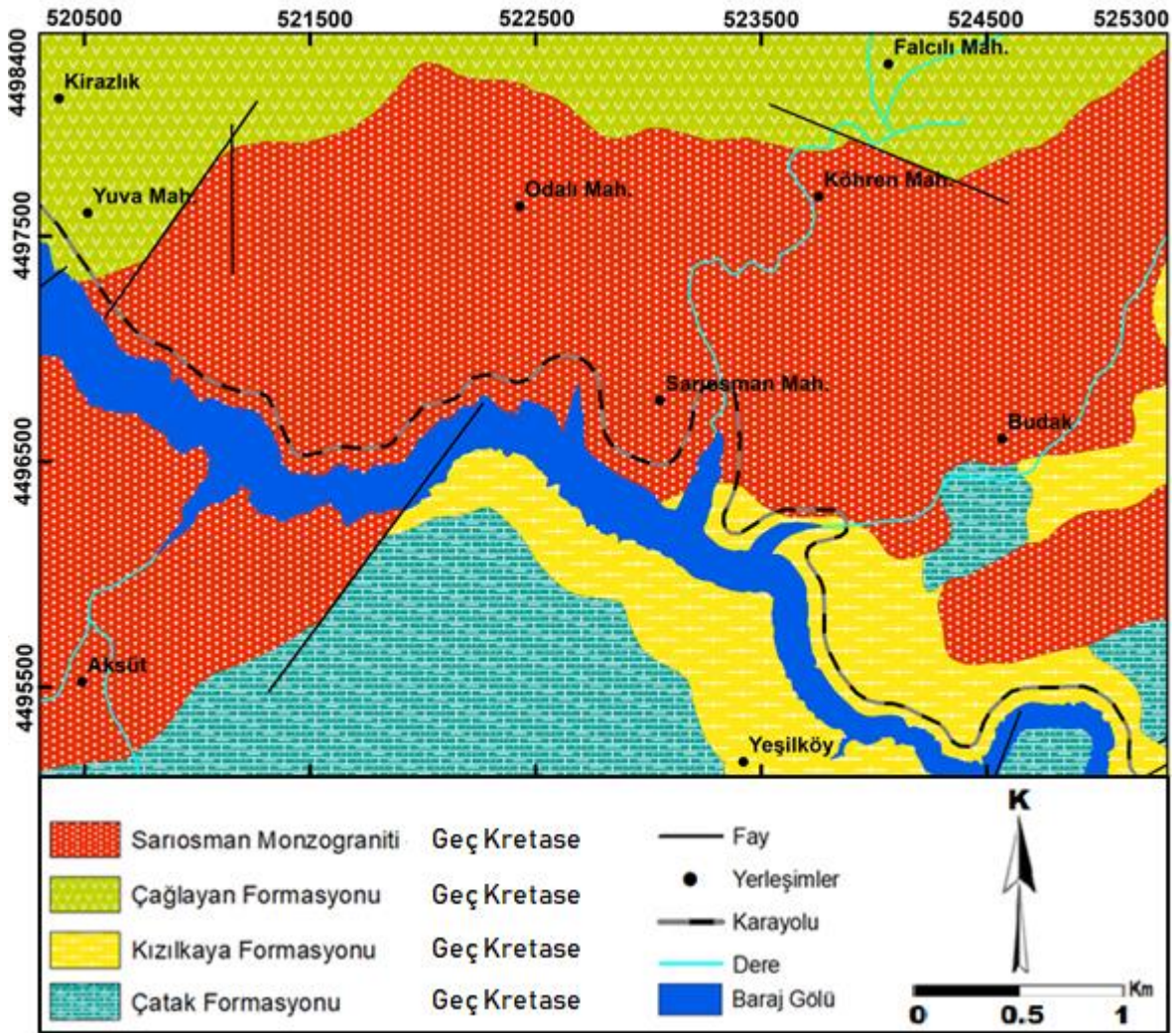
Şekil 2.14. Şevden kopup düşen blok görüntüleri

Dasit ve monzogranit kütlelerinde düşmüş ve yuvarlanmış blok boyutları ve kaynak kaya mesafeleri arazide belirlenerek her bir blok geometrisi belirlenmiş ve bloklardan alınan kaya örneklerinin laboratuvarında birim hacim ağırlıkları belirlenerek, dasit ve monzogranitlere ait ortalama birim hacim ağırlık belirlenmiştir. Daha sonra bu verilerden yararlanarak yuvarlanan blokların ağırlıkları belirlenmiştir.

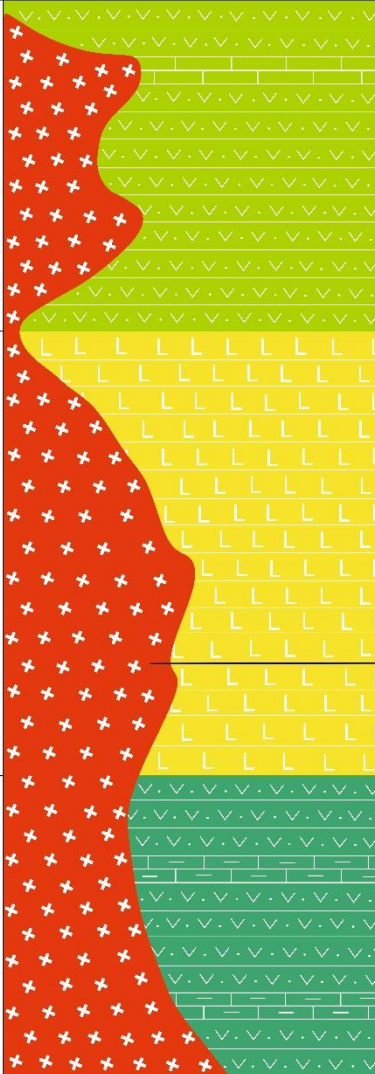
3. BULGULAR

3.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanı, Pontid Tektonik Birliği' nin (Ketin, 1966) Kuzey Zonu' nda (Gedikoğlu vd., 1979), Kirazlık Mahallesi (Torul) ve yakın civarında, volkanik ve plütonik kayaların egemen olduğu birimlerden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bu birimler yaşlıdan gence doğru Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu, Çağlayan Formasyonu ve bu formasyonları kesen Sariosman Monzogranitinden oluşmakta olup (Şekil 3.2), bu çalışmada Sariosman Monzograniti ve Kızılkaya Formasyonunun Gümüşhane-Tirebolu karayolunun kuzeyinde kalan kısımları incelenmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı jeoloji haritası (Kaygusuz, 2000'den değiştirilerek)

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	ÇAĞLAYAN		Bazalt - Andezit lav ve piroklastları (çamurtaşı, marn, kumtaşı)
			KIZILKAYA		Riyodasit - Dasit ve piroklastları → Sarıoşman Monzograniti
			ÇATAK		Bazalt - Andezit ve piroklastları (ara seviyeli kumtaşı, killi kireçtaşı)
Ölçeksizdir					

Şekil 3.2. İnceleme alanına ait kolon kesit

3.1.1. Çatak Formasyonu

İlk defa Güven (1993) tarafından Çatak Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Gri-siyah-kahverengi ve koyu yeşil renkli olan bu birim tabanda bazaltik, üste doğru andezitik özelliktedir. Bu birim, kumtaşı-silttaşı-marn-killi kireçtaşı ara katkılı bazalt-andezit lav ve piroklastlardan oluşmaktadır. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 1750 m'dir.

3.1.1.1. Litoloji

Çatak Formasyonu, koyu gri-yeşil renkli andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşur. Ara katkılı olarak kıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, tüfit seviyelerine rastlanır. Bazaltlarda iyi gelişmiş yastık lav yapıları görülür. İstif içinde genellikle gri-yeşil renk egemendir. Breş ve aglomeralar içinde kısmen tortul kaya çakıl ve blokları gözlenir. Grimsi renkli kumtaşı, marn ve şeyller düzenli ince tabakalanmalıdır. Ara seviyeler halinde kırmızı-bordo renkli mikritler ve rekristalize kireçtaşları yaygındır.

Doku: Çatak Formasyonu içerisindeki volkanik kayaların, genellikle porfirik, mikrolitik, mikrolitik porfirik dokuda olduğu görülmektedir.

Mineraller: Plajiyoklas, hornblend, epidot ve klorit mineralleri bulunmaktadır.

Plajiyoklas: Plajiyoklas mineralleri genel olarak iri kristalli ve yarı özşekilli fenokristaller, hamurda ise mikrolitler halinde gözlenir. Kristaller büyük oranda albit ikizlenmesi gösterir. Bazı örneklerde farklı büyüklüklerde ve dağınık halde seri dokuyu oluştururlar. Albit ikizlenmesi belirgin olan plajiyoklas kristallerinde sönme açılar genellikle 25° ile 35° arasında değişmektedir.

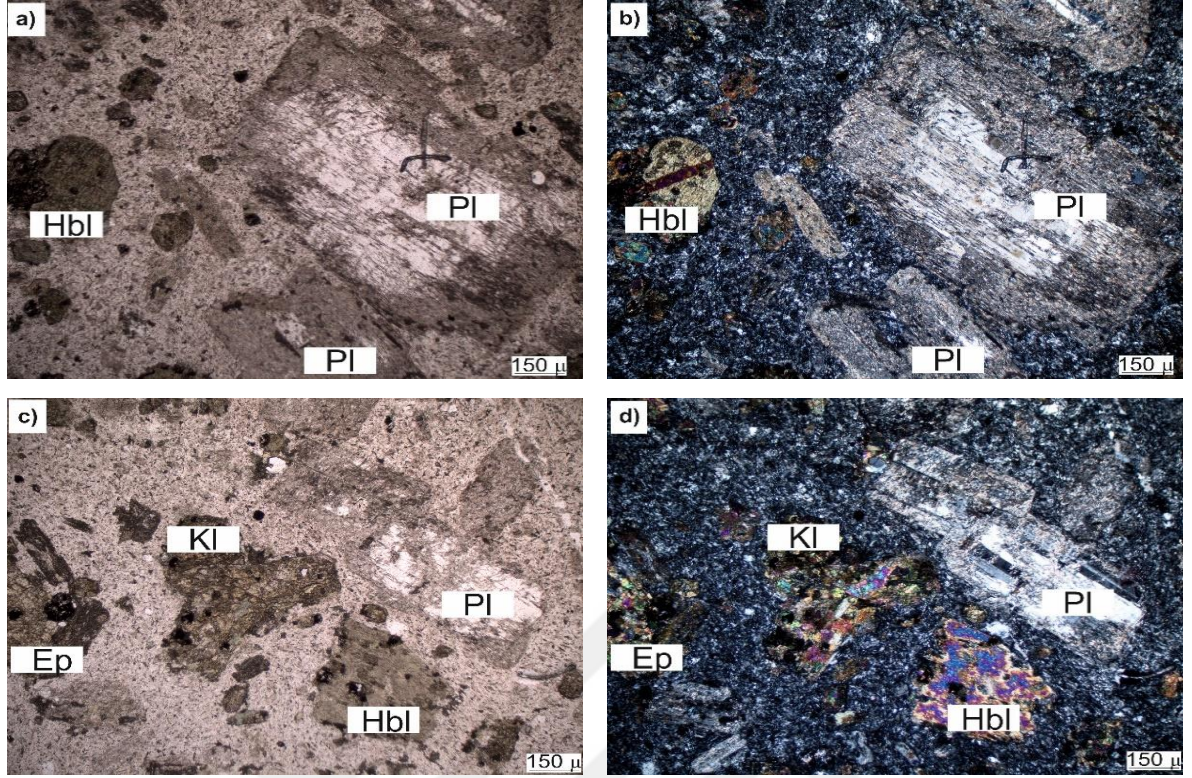
Hornblend: Hornblend fenokristalleri genellikle orta-iri kristalli, yarı özşekilli ve özşekilli gelişmiş, yer yer kırıklı ve kırıklar/dilinimler boyunca altere olmuşlardır. Uzun eksenli boyunca uzanan kristallerde genellikle hamur tarafından kemirilme dokuları izlenmektedir.

Klorit: Bazı örneklerde ayrışma sonucu klorit mineralleri hornblend kristallerinin kısmen yerini almıştır.

Epidot: İkincil olarak gelişmiş epidot mineralleri de yaygın olarak gözlenmektedir, bazı kristallerde de plajiyoklasların kısmen yerini almıştır.

Hamur: Başlıca plajiyoklas, hornblend ve opak mineralleri ile bu minerallerin mikro ve kriptokristalen tanelerinden meydana gelen hamur malzemesi içermektedir.

Kayaç Adı: Andezit (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Çatak Formasyonu'na ait andezitlerin Tek nikol (a, c) ve Çift nikol (b, d) mikroskop görüntüleri (Pl: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend, Ep: Epidot, Kl: Klorit)

3.1.1.2. Alt ve Üst Sınırlar

Çatak Formasyonu, inceleme alanındaki en yaşlı birimdir (Güven, 1993). Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen bazik karakterli volkano-tortul istif üzerine uyumlu olarak asidik karakterli lav ve piroklastik kayalardan oluşan aynı yaşlı Kızılkaya Formasyonu gelmektedir.

3.1.1.3. Yaş

Güven (1993) Çatak Formasyonu'nun yaşını Geç Kretase (Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen) olarak belirlemiştir.

3.1.2. Kızılkaya Formasyonu

Espiye (Giresun) güneyinde riyodasit-dasit ve piroklastlarından oluşan birim ilk olarak Güven (1993) tarafından Kızılkaya Formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanındaki birimler aynı litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olduklarından Kızılkaya Formasyonu adı altında incelenmişlerdir. Çalışma alanının kuzeybatı bölümünde Kanlıtarla Tepe, Kastel Tepe, Tufaniye Yaylası, Kale Tepe ve Aydınlar Mahallesinde yüzeylenmekte olup, yaklaşık 1 km²'lik bir alanda yayılım gösterir.

3.1.2.1. Litoloji

Kızılkaya Formasyonu'nun alt bölümü çoğunlukla dasit ve az oranda da dasitik piroklastiklerden oluşur. Sarp alanlar oluşturan bu kayalar sarı, hematit kırmızimsı ve kavuniçi ayrışma renkleriyle tipiktir. Genelde dasitik kayalarda kaolenleşme, kloritleşme ve limonitleşme görülmektedir. Dasitler genelde açık gri, sarımsı gri, killeşmiş kısımlarda beyaz renktedir. Makroskobik olarak plajiyoklas, kuvars, amfibol ve biyotit mineralleri tanınabilmektedir.

Kızılkaya Formasyonu'nun Sariosman Monzograniti ile olan dokanaklarında yoğun ayrışma görülmektedir. Özellikle Torul-Kürtün yolu boyunca, Sariosman Mahallesi civarında, dasitik kayalarda kaolenleşme, kloritleşme ve limonitleşme görülmektedir. Bu birimden alınan örneklerin mikroskobik incelemesi sonucunda aşağıdaki özellikler tespit edilmiştir:

Doku: Mikrogrönü porfirik doku.

Mineraller: Plajiyoklas, kuvars, amfibol ve opak mineraller bulunur.

Plajiyoklas: Genelde iri kristaller, hamurda ise küçük kristaller halindedir. İri kristaller öz ve yarı öz şekilli olup, bazılarında zonlu yapı görülür. Bazı kristallerde albit, bazılarında da polisentetik ikizlenme belirgindir. Plajiyoklaslar andezin (An₃₅) bileşimindedir (010'a dik kesitler yöntemi). En yaygın bozuşma ürünlerini kalsit ve serizit oluşturur. Kayaçta yaklaşık % 50-70 oranında bulunur.

Kuvars: Öz ve yarı öz şekilli iri kristaller, hamurda da küçük kristaller şeklinde bulunur. İri kristallerin kenarları hamur tarafından kısmen yenmiş olarak bulunur (Şekil

3.4.). Bazı kristallerde dalgalı sönme belirgindir ve genellikle çatlaklı yapıdadır. Kayaçta yaklaşık % 20-30 oranında bulunur.

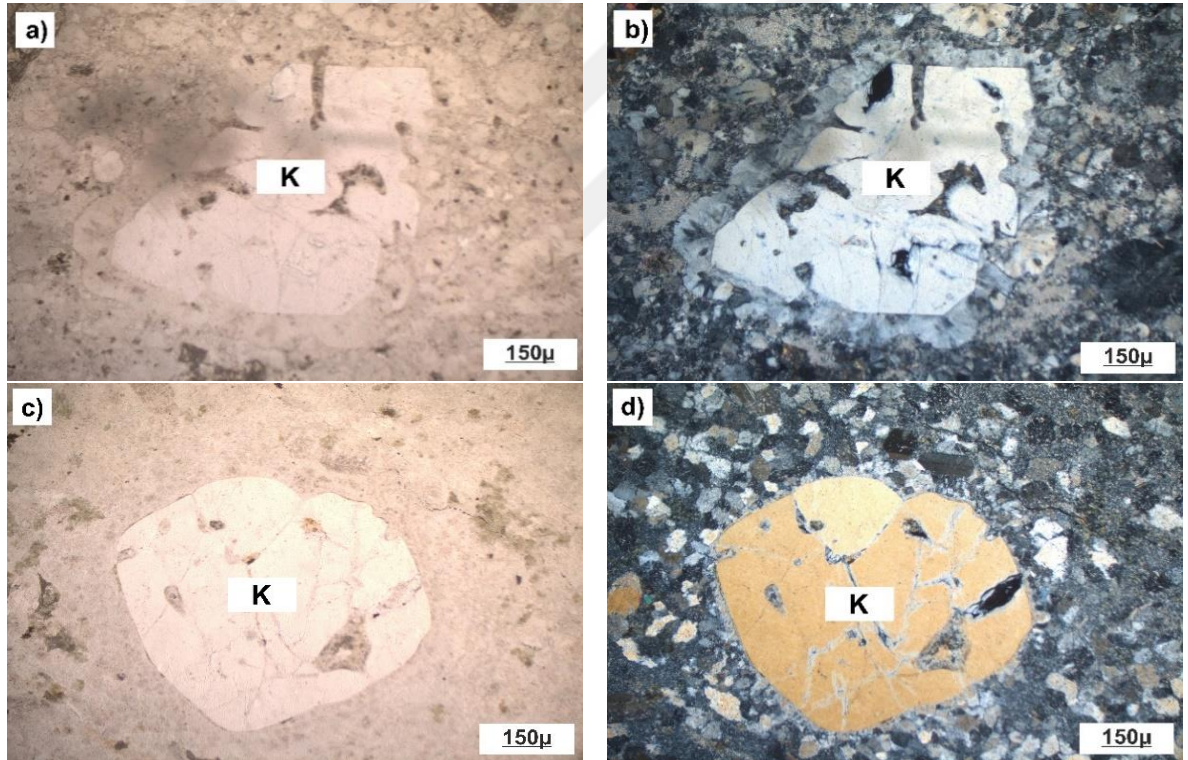
Amfibol: Öz ve yarı öz şekilli kristaller halindedir. Pleokroizma renkleri açık sarı-yeşildir. Genellikle uzanım istikametine paralel tek yönde dilinimler belirgindir. Seyrek olarak birbirleriyle yaklaşık 56 derecelik açılar yapan dilinimler görülür. (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları 15-16 derecedir. Kayaçta yaklaşık % 5-10 oranında bulunur.

Opak mineraller: Küçük ve iri taneler halinde dağınık olarak bulunurlar.

İkincil mineraller: Kalsit, klorit, serizit ve kil minerallerinden oluşurlar.

Hamur: Plajiyoklas, kuvars, amfibol ve opak minerallerin çok küçük tanelerinden oluşur.

Kayaç adı: Dasit (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kızılkaya Formasyonu'na ait dasitlerin Tek nikol (a, c) ve Çift nikol (b, d) mikroskop görüntüleri (K: Kuvars)

3.1.2.2. Alt ve Üst Sınırlar

Kızılkaya Formasyonu Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenmektedir.

3.1.2.3. Yaş

Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda Gedikoğlu (1978), Gülibrahimoğlu vd. (1985), Türk-Japon Ekibi (1985), Korkmaz ve Gedik (1988), Bulut (1989), Boynukalm (1990), Yalçınalp (1992), Köprübaşı (1992), Korkmaz (1995) tarafından yapılan çalışmada bu formasyonun yaşı Geç Kretase olarak belirlenmiştir.

Güven (1993), bu formasyon içinde yaş verebilecek fosil içeren tortul kayaçların bulunmadığını belirterek, formasyonun Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu gelmesi ve Kampaniyen-Mestrişiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ile de uyumlu olarak örtülmesi nedeniyle, formasyona Santoniyen yaşını vermiştir.

İnceleme alanında bu Formasyonun tabanı görülmemektedir. Üzerine Çağlayan Formasyonu uyumlu olarak gelmektedir. Bu Formasyonun yaşı önceki çalışmalar da dikkate alınarak Geç Kretase olarak belirlenmiştir.

3.1.3. Çağlayan Formasyonu

Maçka (Trabzon) kuzeyinde, bazik volkano-tortul kayaçlardan oluşan birim ilk olarak Güven (1993) tarafından Çağlayan Formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanındaki birimler aynı litoloji ve stratigrafik özellikler taşıdığından burada da aynı isim kullanılmıştır. Çalışma alanının kuzeybatı bölümünde, Sarıosman Monzograniti'nin kuzeybatısında Kirazlık Mahallesi, Cami Mahallesi, Armutlu Mahallesi, Falcılı Mahallesi ve Çadırdağı Tepe civarında yaklaşık 5 km²'lik bir alanda yüzeylenmektedir.

3.1.3.1. Litoloji

Çağlayan Formasyonunun alt seviyelerinde tortul kayaçlar egemen olup, volkanitler ara katkı olarak bulunmaktadır. Üst seviyelerde ise volkanitler egemen olup, tortullar ara katkı olarak bulunur.

Çağlayan Formasyonu inceleme alanında andezitlerden ve bazaltlardan oluşmaktadır. Andezitler gri, yeşil renkte olup, makroskobik olarak plajiyoklas ve amfibol mineralleri tanınabilmektedir. Bazaltlar koyu renkte olup, plajiyoklas ve piroksen mineralleri tanınabilmektedir. Bu birimden alınan örneklerin mikroskobik incelemesinde aşağıdaki özellikler bulunmuştur:

Doku: Mikrolitik, mikrolitik porfirik

Mineraller: Plajiyoklas, piroksen, amfibol, ve opak mineraller bulunmaktadır.

Plajiyoklas: İri prizmatik kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde bulunur. İri kristaller, öz ve yarı öz şekilli olup albit ve polisentetik ikizlenmesi, küçük kristaller ise albit ikizlenmesi gösterir. Bazı plajiyoklaslarda zonlu yapı görülür. Plajiyoklaslar labrador (An_{56}) bileşimindedir. En yaygın bozuşma türleri kalsitleşme ve serisitleşmedir. Kayaçta yaklaşık % 50-70 oranında bulunur.

Piroksen: Genellikle öz ve yarı öz şekilli hem iri, hem de küçük kristaller halinde bulunurlar. Diğer ferromagnezyen minerallere oranla daha fazla bulunur. Kloritleşme ve kalsitleşme yaygın olarak izlenmiştir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları 43-45 derece arasında olup, ojit bileşimindedir. Dış şekli 8 gen olan minerallerde, birbirine dik iki dilinim belirgindir. Kayaçta yaklaşık olarak % 15-20 oranında bulunur.

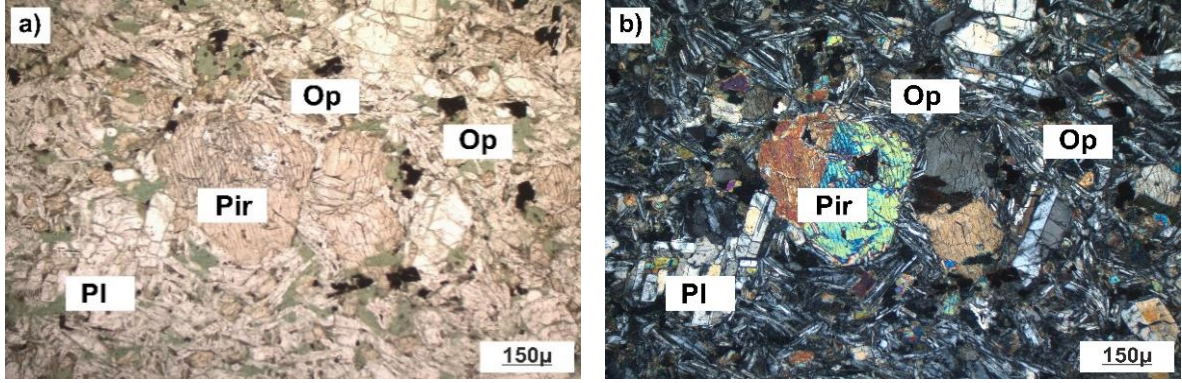
Amfibol: Öz ve yarı öz şekilli olup, genelde küçük kristaller halindedir. Tek nikolde yeşil-açık sarı yeşil pleokroizma belirgindir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde yaklaşık 17-21 derece arasında sönme açıları göstermektedir. Genelde kalsite ve klorite ayrılmış ve kenar kısımlarda opak mineraller gelişmiştir. Kayaçta yaklaşık % 5-10 oranında bulunur.

Opak mineral: Opak mineraller genellikle kesit içinde dağınık halde bulunmakta olup, daha çok amfibollerin etrafında yoğunlaşmış halde bulunmaktadırlar.

İkincil mineraller: Kalsit, serisit ve klorit mineralleri ayrışma ürünü ve çatlaklarda ikincil olarak bulunurlar.

Hamur: Plajiyoklas, piroksen, amfibol ve opak minerallerin mikro ve kriptokristallerinden oluşmaktadır.

Kayaç adı: Bazalt (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Çağlayan Formasyonu'na ait bazaltların Tek nikol (a) ve Çift nikol (b) mikroskop görüntüleri (Pl: Plajiyoklas, Pir: Piroksen, Op: Opak mineral)

3.1.3.2. Alt ve Üst Sınırlar

Çağlayan Formasyonu, Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonunu uyumlu olarak üstlemekte, Geç Kretase yaşlı Çayırbağ Formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenmektedir.

3.1.3.3. Yaş

İnceleme alanında Çağlayan Formasyonu içindeki kayalarda fosile rastlanılmamıştır.

Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda Gedikoğlu (1978), Tash (1984), Türk-Japon Ekibi (1985), Gülibrahimoğlu (1985), Yalçınalp (1992), Köprübaşı (1992), Boynukalın (1990) yapmış oldukları çalışmalarda formasyonun yaşını Geç Kretase olarak belirlemişlerdir.

Güven (1993), bu birim içindeki tortul kayalardan aldığı örneklerde *Globotruncana arca* CUSHMAN, *Globotruncana* Lapparenti Tricarinata (QUERREAU), *Globotruncana* cf. *Bulloides* VOGLER, *Globotruncana* Coronate Bolli, *Globigerina* sp., *Gümbelina* sp. fosil türlerine göre Kampaniyen-Mestriştiyen yaşını vermiştir. Bu çalışmada da Kampaniyen-Mestriştiyen yaşı benimsenmiştir.

3.1.4. Sarosman Monzograniti

Sarosman Monzograniti, değişik araştırmacılar tarafından farklı adlarla anılmıştır. Türk-Japon Ekibi (1985) "Sarosman Granodiyorit", Güven (1993) "Kaçkar II

Granitoyidi”, Kaygusuz (2000) tarafından da “Sariosman Monzograniti” olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada Sariosman Monzograniti terimi kullanılmıştır.

Sariosman Monzograniti, Falcılı Mahallesi ve Çadırdığı Tepe civarında yaklaşık 5 km²’lik bir alanda yüzeylenmektedir.

3.1.4.1. Litoloji

Sariosman Monzograniti inceleme alanında monzogranitten oluşur. Açık pembe, gri renkli, ince-orta taneli olup, makroskobik olarak ortoklas, plajiyoklas, kuvars, biyotit ve amfibol mineralleri tanınabilmektedir.

Sariosman Monzograniti genelde sağlam bir görünüme sahiptir ve üç yönde gelişen soğuma çatlakları mevcuttur. Birinci (ortalama 250/85) ve ikinci (ortalama 170/75) çatlak sistemleri çok iyi gelişmiş, üçüncü (ortalama 210/27) çatlak sistemi daha az oranda gelişmiştir. Bazı kısımlarda çatlak sistemleri seyrek olarak gelişmiş ve iyi derecede bloklar vermişlerdir. Özellikle Budak, Sariosman Mahallesi ve Aksüt civarında, çatlak sistemlerine bağlı olarak 1*2*1 m³ boyutunda bloklar gelişmiştir. Bu birimden alınan örneklerin mikroskobik incelenmesinde aşağıdaki özellikler bulunmuştur:

Doku: İnce-orta taneli, yer yer mirmekitik ve yazı dokusu.

Mineraller: Kayaçta ana bileşenler olarak ortoklas, plajiyoklas, kuvars, biyotit ve amfibol mineralleri bulunur.

Plajiyoklas: Öz ve yarı özşekilli levhamsı prizmatik kristaller halindedir. Boyutları 0.5-2 mm arasında değişmektedir. Plajiyoklaslar önem sırasına göre albit ve albit-karlsbad ikizleri gösterirler. Plajiyoklaslarda genellikle zonlanma görülür (Şekil 1.13). Bazı minerallerde halkalı zonlanma, bazılarında da elek dokusu görülür. Plajiyoklaslarla kuvarslar arasında reaksiyon sonucu oluşmuş mirmekitik doku gözlenir. En yaygın ayrışma türü serizitleşme, kalsitleşme ve killeşme şeklindedir. Sönme açıları tayininde (010’a dik kesit) cinsinin andezin (An₃₅₋₃₈) olduğu belirlenmiştir. Kayaçta yaklaşık % 30-35 oranında bulunur.

Ortoklas: Özşekilsiz kristaller halinde, kuvarsla birlikte diğer minerallerin arasını doldurmaktadır. Genellikle pertitik dokudadır ve bazı kesitlerde karlsbad ikizi belirgindir. İnküzyonlar ve yamalar halinde albit damarcıkları içerirler. İri kristaller poikilitik dokulu plajiyoklas, biyotit ve opak mineral inküzyonları içerirler. Kayaç içerisinde yer yer

ortoklas ve kuvars arasında yazı dokusu / grafik doku görülmektedir. En yaygın ayrışma türü killeşme ve serizitleşmedir. Kayaçta yaklaşık % 30-35 oranında bulunur.

Kuvars: Özşekilsiz olarak, ortoklasla birlikte diğer minerallerin arasını doldururlar. Bazı kesitlerde mikrografik, bazılarında da yazı strüktürü gözlenir. Kayaçta yaklaşık % 30-35 oranında bulunur.

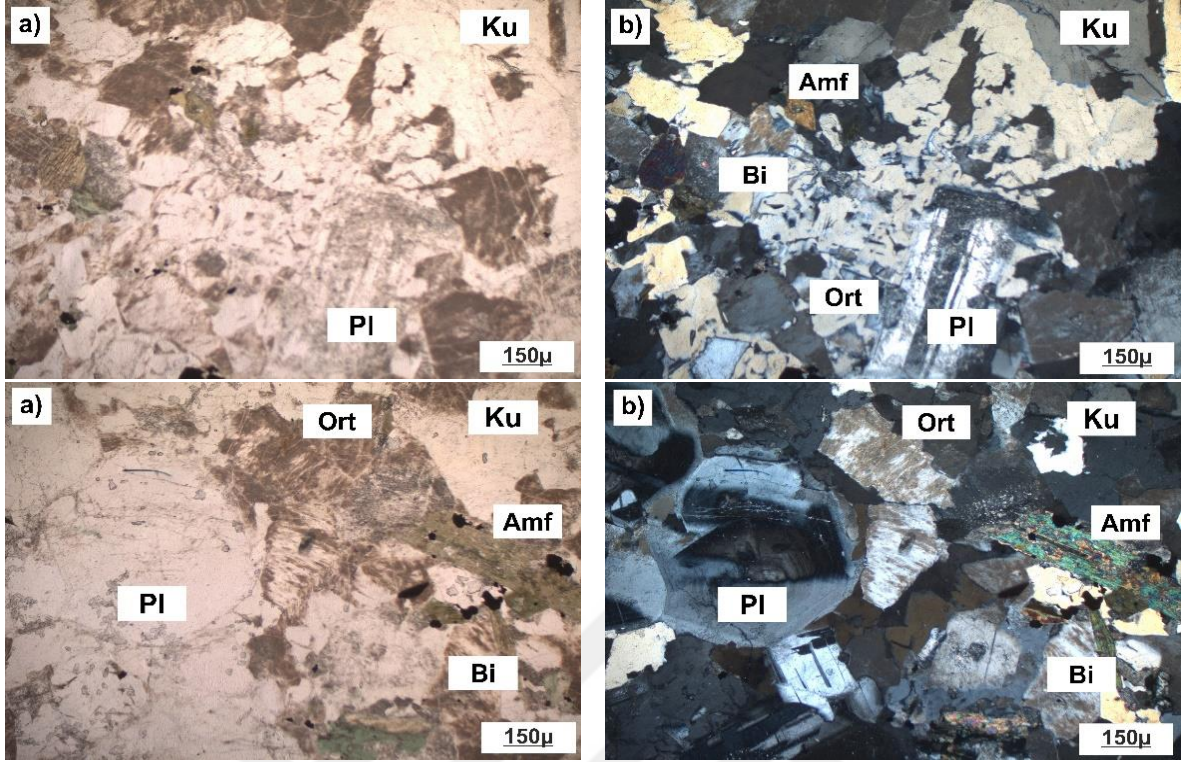
Biyotit: Öz ve yarıözşekilli çubuğumsu prizmatik kristaller halindedir. İncelenen kayaçlarda en bol bulunan ferromağnezyen mineraldir. Kahve renkli, açık sarıdan koyu kahveye kadar değişen pleokroizma gösterirler. Tek yönlü dilinimleri tipiktir. Bazı kesitlerde tamamen veya kısmen ayrışarak klorite dönüşmüş olarak gözlenmektedir. Genellikle opak mineraller bir arada bulunur. Kayaçta yaklaşık % 5-15 oranında bulunur.

Amfibol: Öz ve yarıözşekilli levhamsı prizmatik kristaller halindedir. Kahverengimsi yeşil-açık yeşil pleokroizma belirgindir. Bazı örneklerde çok iyi gelişmiş, birbirleriyle yaklaşık 56 derecelik açılar yapan dilinimler, bazı örneklerde de tek yönde dilinimler belirgindir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları 14-15 derecedir. (100) ikizi belirgindir. Genellikle amfiboller üzerinde opak mineral kapanımları gözlenir. Kayaçta yaklaşık % 5-10 oranında bulunur.

Opak mineraller: Öz ve yarı özşekilli hem iri hem küçük kristaller halinde bulunurlar.

İkincil mineraller: En yaygın ayrışma ürünleri serizitleşme, kalsitleşme, kloritleşme ve killeşmedir. Epidot, ikincil olarak çatlaklarda bulunur.

Kayaç adı: Monzogranit (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Sarıosman Monzograniti'ne ait incekesit görüntüleri Tek nikol (a), Çift nikol (b) (Pl: Plajiyoklas, Ort: Ortoklas, K: Kuvars, Bi: Biyotit, Amf: Amfibol)

3.1.4.2. Alt ve Üst Sınırlar

Sarıosman Monzograniti Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu ve Çağlayan Formasyonu'nu keserek yerleşmiştir.

3.1.4.3. Yaş

Çalışma alanında Sarıosman Monzograniti Geç Kretase yaşlı Çağlayan Formasyonu'nu kesmiştir.

Kaygusuz vd. (2009), Sarıosman Monzograniti'nde yapmış oldukları yaş tayininde (U-Pb zirkon), Plüton yaşı 82 my olarak belirlemişlerdir.

Önceki çalışmalarda elde edilen bilgilere dayanılarak inceleme alanındaki Sarıosman Monzograniti Geç Kretase yaşlı olduğu benimsenmiştir.

3.2. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi

Torul-Kürtün karayolu güzergahında meydana gelen kaya düşme olayları bölgede bulunan yerleşim yerlerini ve karayolu kullanımını ciddi olarak tehdit etmektedir. Çalışma alanı olarak seçilen bölgede meydana gelen kaya düşmeleri mühendislik jeolojisi açısından incelenmiştir. Çalışma alanında mühendislik jeolojisi açısından, dasit, andezit ve monzogranit olmak üzere üç farklı birim ayırt edilmiştir. Saha çalışmalarında yapılan gözlemlerde daha önceden meydana gelen kaya düşmelerinin büyük bir bölümü bu birimlerin hemen hemen hepsinde oluşmuş olup, her mevsim bölgede kaya düşme olayları yaşanmaktadır.

3.2.1. Çalışma Alanındaki Kaya Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri

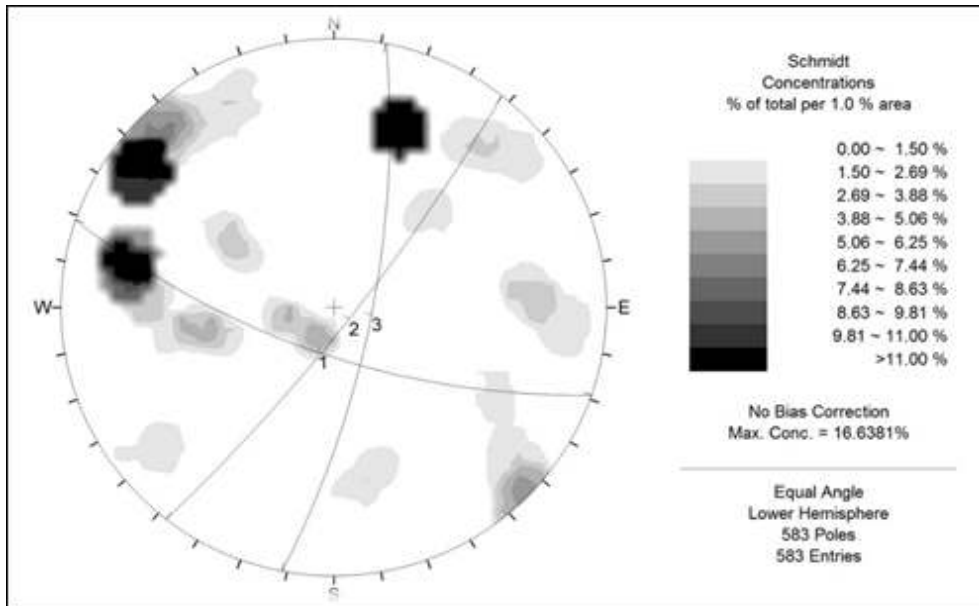
Bu çalışmada, Kürtün (Gümüşhane) karayolu güzergahında Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerde 3 lokasyon, Sariosman Monzograniti'nde ise 5 farklı lokasyonda kaya kütlelerinde ölçümler yapılmıştır. İnceleme alanında kaya kütle süreksizlik özelliklerinin belirlenmesinde hat etüdları yöntemi kullanılarak, süreksizlik özellikleri, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü, açıklılık ve dolgu malzemesi, bozunma derecesi ve su durumu, süreksizlik yüzeylerinin Schmidt geri sıçrama sertlik değerleri, tek eksenli sıkışma dayanımı, ve makaslama deneyi sonuçları belirlenmiştir.

3.2.1.1. Kaya Kütle ve Süreksizlik Özellikleri

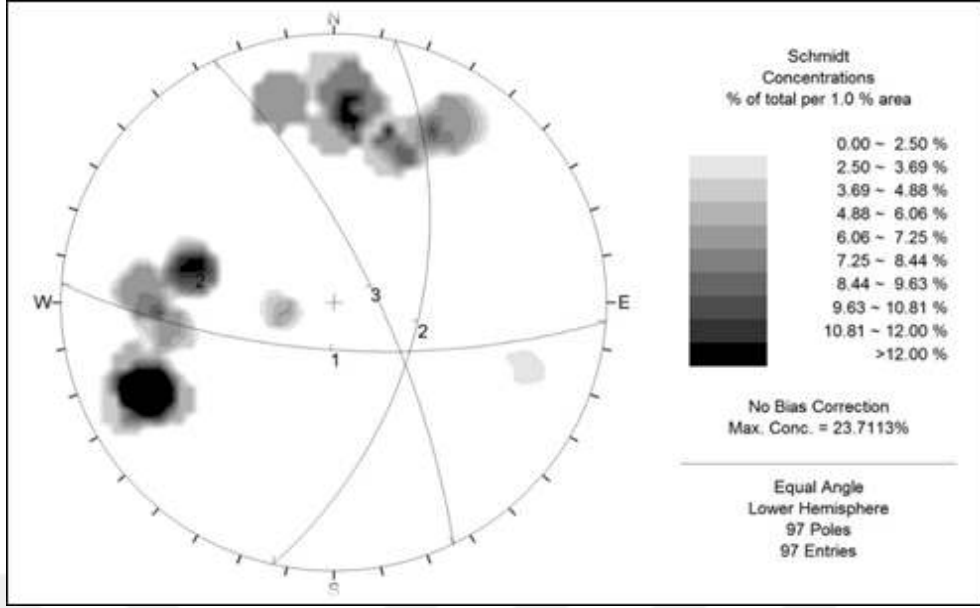
Bu çalışmada Sariosman Plütunu ve Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerden alınan süreksizlik yönelim ölçüleri (Şekil 3.7) DIPS 5.01 (Rocscience, 2003) bilgisayar programında değerlendirilerek yoğunlaşan kutup noktalarına ait düzlemler belirlenmiş (Şekil 3.8.) ve (Şekil 3.9) inceleme alanında yayılım gösteren kaya kütleleri için (Monzogranit ve Dasit) süreksizlik setleri saptanmıştır (Tablo 3.1).



Şekil 3.7. Süreksizlik yönelimlerinin pusula ile ölçümü



Şekil 3.8. Sarıoşman Monzograniti'ndeki süreksizlik setlerine ait kontur diyagramı



Şekil 3.9. Dasitlerde ki süreksizlik setlerine ait kontur diyagramı

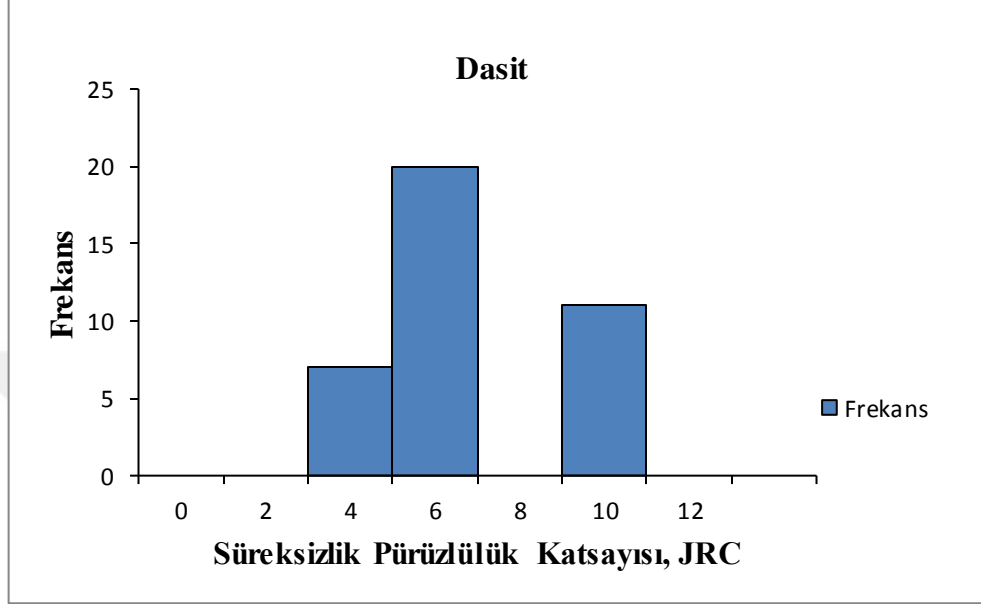
Tablo 3.1. İnceleme alanındaki kaya kütlelerine ait süreksizlik setleri tablosu

Kaya Kütleşi	Süreksizlik Seti Numarası	Eklem Yönelimi (Eğim / Eğim Yönü)
Monzogranit	1	70/199
	2	82/128
	3	74/101
Dasit	1	70/184
	2	55/103
	3	73/64

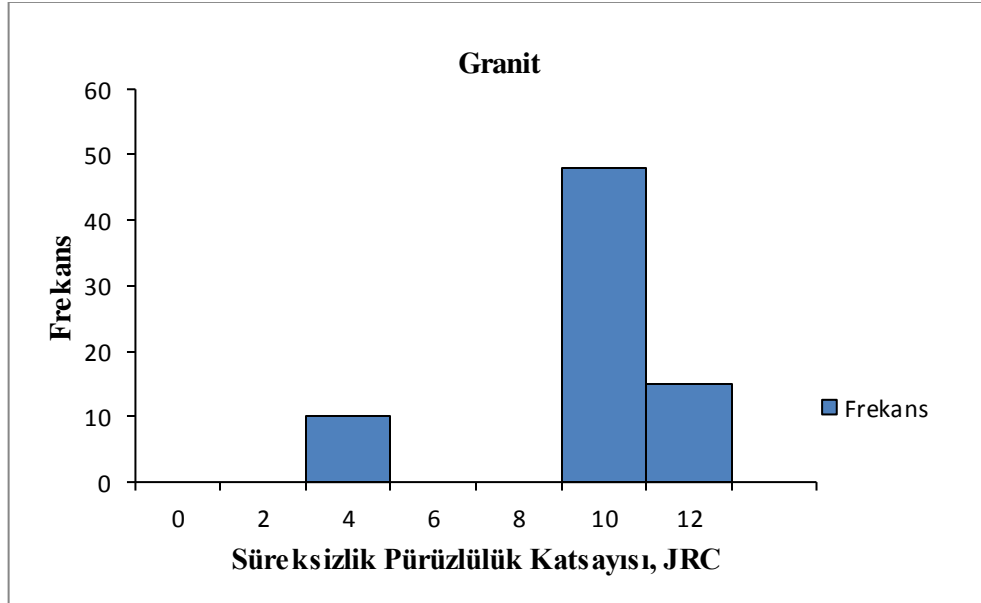
3.2.1.2. Süreksizlik Yüzeylerinin Pürüzlülüğü

Standart profillerde verilen süreksizlik yüzeyi pürüzlülük sayısı (JRC) değerleri 2-20 arasında değişmekte olup (Şekil 2.4) inceleme alanında yayılım gösteren Kızılkaya Formasyonuna ait dasitler ve Sarıosman Monzograniti'nden (Şekil 2.3) alınan pürüzlülük profilleri EK-1'de verilmiştir. Alınan pürüzlülük profilleri Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen pürüzlülük profilleri ile karşılaştırılarak dasit ve monzogranitlere ait süreksizlik yüzeylerinin JRC değerlerini gösteren histogramlar çizilmiştir (Şekil 3.10-

3.11). Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’ deki histogramlar değerlendirildiğinde, dasitlerin JRC değeri 4-6, monzogranitlerin ise 8-10 aralığında değiştiği belirlenmiştir.



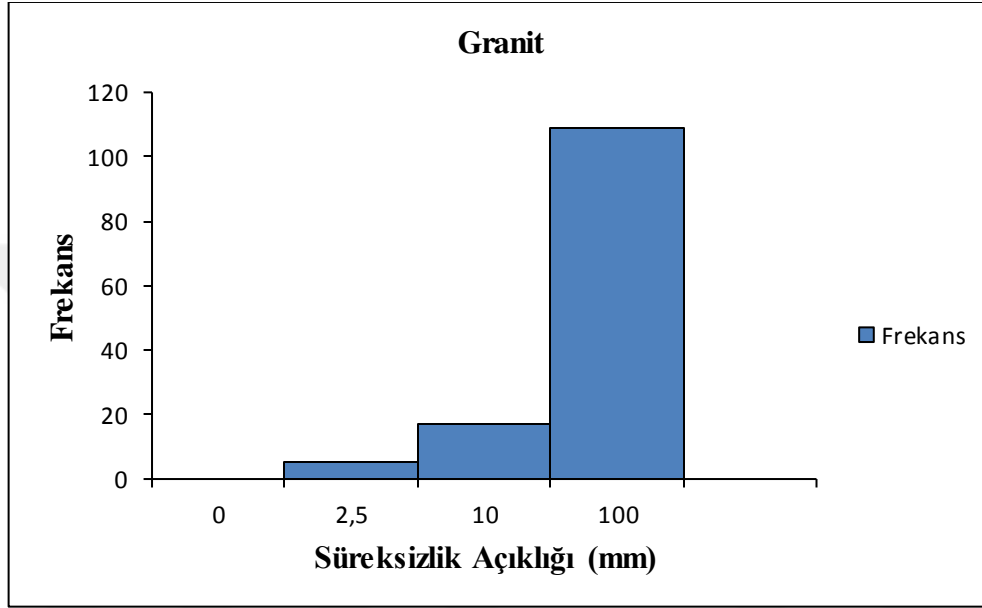
Şekil 3.10. Dasitlere ait JRC değerlerinin dağılım histogramı



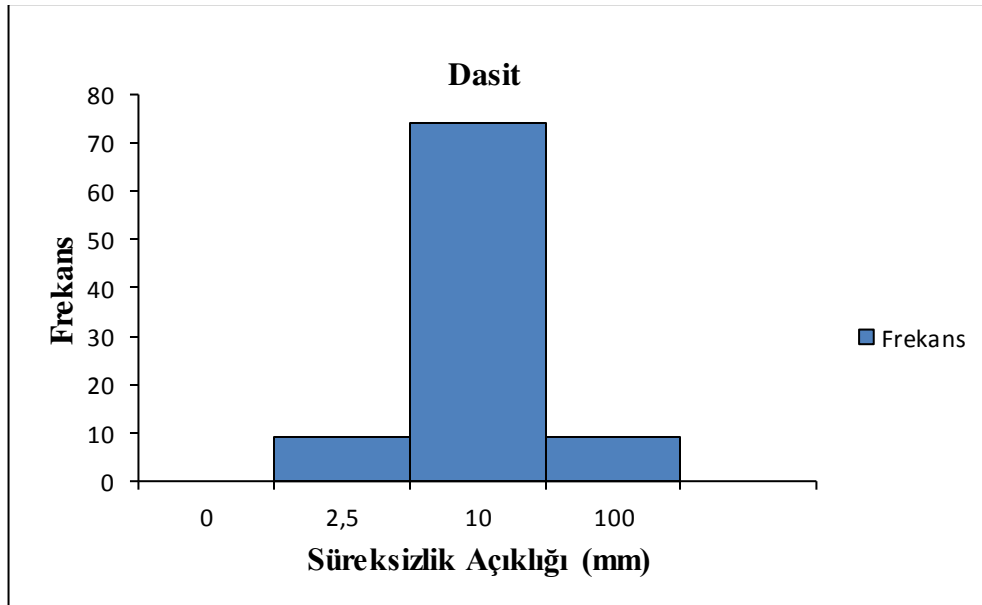
Şekil 3.11. Monzogranitlere ait JRC değerlerinin dağılım histogramı

3.2.1.3. Süreksizlik Yüzeylerinin Açıklığı ve Dolgu Malzemesinin Özelliği

Çalışma alanında Sarıosman Monzogranitinden ve Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerden alınan süreksizlik açıklığı değerleri ISRM (2007) sınıflama aralıkları dikkate alınarak histogramları çizilmiştir (Şekil 3.12-3.13).



Şekil 3.12. Monzogranit kaya kütesindeki süreksizlik açıklığı dağılım histogramı



Şekil 3.13. Dasit kaya kütesindeki süreksizlik açıklığı dağılım histogramı

Çalışma alanındaki süreksizliklerde dolgu kalınlığı milimetre bölmeli çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Dolgu özelliklerinin belirlenmesinde ISRM (2007) tanımlama ölçütleri esas alınmıştır. Çalışma alanındaki monzogranitler incelendiğinde; 3-4 mm kil dolgulu yer yer 5-10cm dolgulara da rastlanmıştır. Dasitlerde ise genellikle 5-10 mm lik dolgulara rastlanıp, yer yer 1-2 m ye varan bozunma zonlarına rastlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Monzogranit (A) ve Dasit (B) kaya kütlelerinde gözlenen kil dolgu

3.2.1.4. Süreksizlik Yüzeylerinin Bozunma Derecesi ve Su Durumu

Arazi gözlemleri sırasında her iki kaya kütleindeki süreksizlik yüzeylerinde su sızıntılarına rastlanmamıştır. ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok özelliktedir.

3.2.1.5. Süreksizlik Yüzeylerinin Schmidt Sertliği

İnceleme alanında Sarıosman Monzograniti ve Kızılkaya Formasyonu'na ait dasitlerin bozunmuş (r) ve taze süreksizlik yüzeylerine ait Schmidt geri sıçrama sertlik değerleri (R) belirlenmiş (Şekil 3.15), ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.2'de istatistiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3.15. Süreksizlik yüzeylerinde Schmidt çekici deneyi

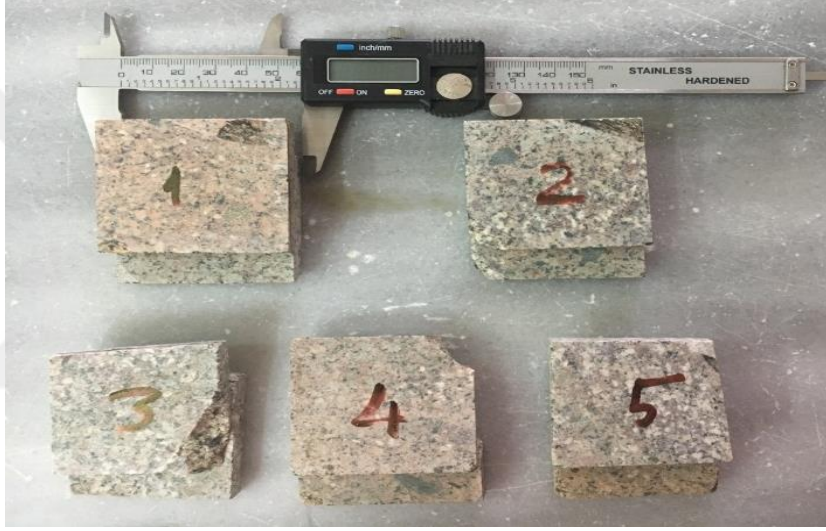
Tablo 3.2. Schmidt geri sıçrama sertlik değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi

Kaya Kütlesi	Schmidt Geri Sıçrama Sertliği	Deney Sayısı	En Az	En Çok	Ortalama	Standard Sapma
Monzogranit	r (Bozunmuş yüzey)	254	32	50	42	5.06
	R (Taze yüzey)	76	36	60	50	5.79
Dasit	r (Bozunmuş yüzey)	120	34	50	45	3.76
	R (Taze yüzey)	40	44	64	56	4.50
R: Taze yüzeyin Schmidt geri sıçrama sertlik değeri r: Bozunmuş yüzeyin Schmidt geri sıçrama sertlik değeri						

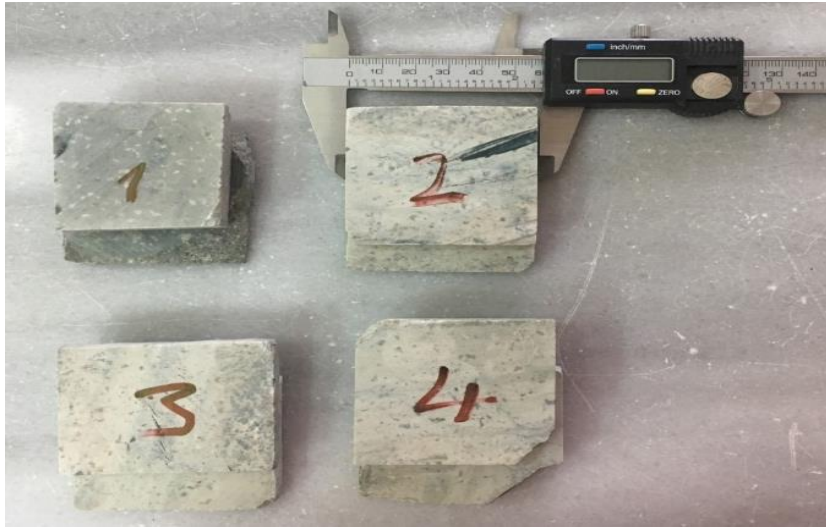
3.2.1.6. Süreksizliklerin Makaslama Deneyi

İnceleme alanında Sarıosman Monzograniti ve Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerden oluşan Torul-Kürtün yol güzergahında meydana gelebilecek şev ve yamaçlardaki duraysızlıkları kinematik analiz yöntemi ile belirleyebilmek için, kaya kütlelerini oluşturan süreksizliklerin içsel sürtünme açısının (ϕ) belirlenmesi gerekmektedir. Deformasyon kontrollü doğrudan makaslama deneyinde, arazi çalışmaları sırasında

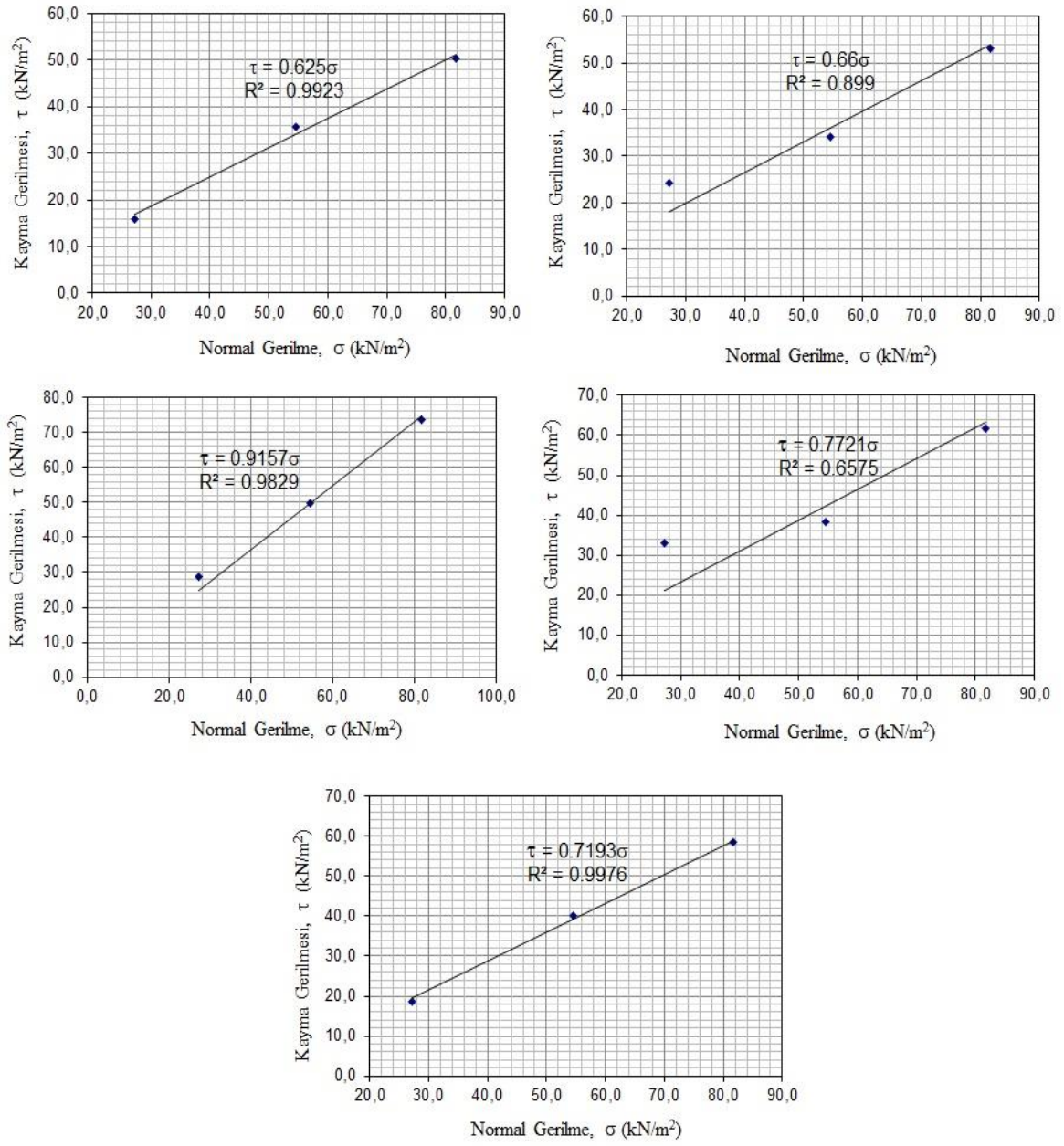
inceleme alanının farklı lokasyonlarından derlenen blok monzogranit ve dasit örnekleri kullanılmıştır. Örnekler 6x6x1cm ebatlarında kesilerek yüzeyleri pürüzsüz hale getirilerek deneye uygun hale getirilmiş ve farklı normal gerilmeler altında 5 set monzogranitlerde, 4 set dasitlerde olmak üzere 9 set makaslama deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16-3.17). Bu deneylere ait normal gerilme (σ)-kesme gerilmesi (τ) grafikleri monzogranitler ve dasitler için ayrı ayrı çizilerek (Şekil 3.18-3.19) temel sürtünme açıları (ϕ_b) belirlenmiştir (Tablo 3.3). Belirlenen temel sürtünme açısı (ϕ_b) Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen eşitlikte girdi parametresi olarak kullanılıp, kaya kütleindeki süreksizliklerin içsel sürtünme açısı elde edilmiştir.



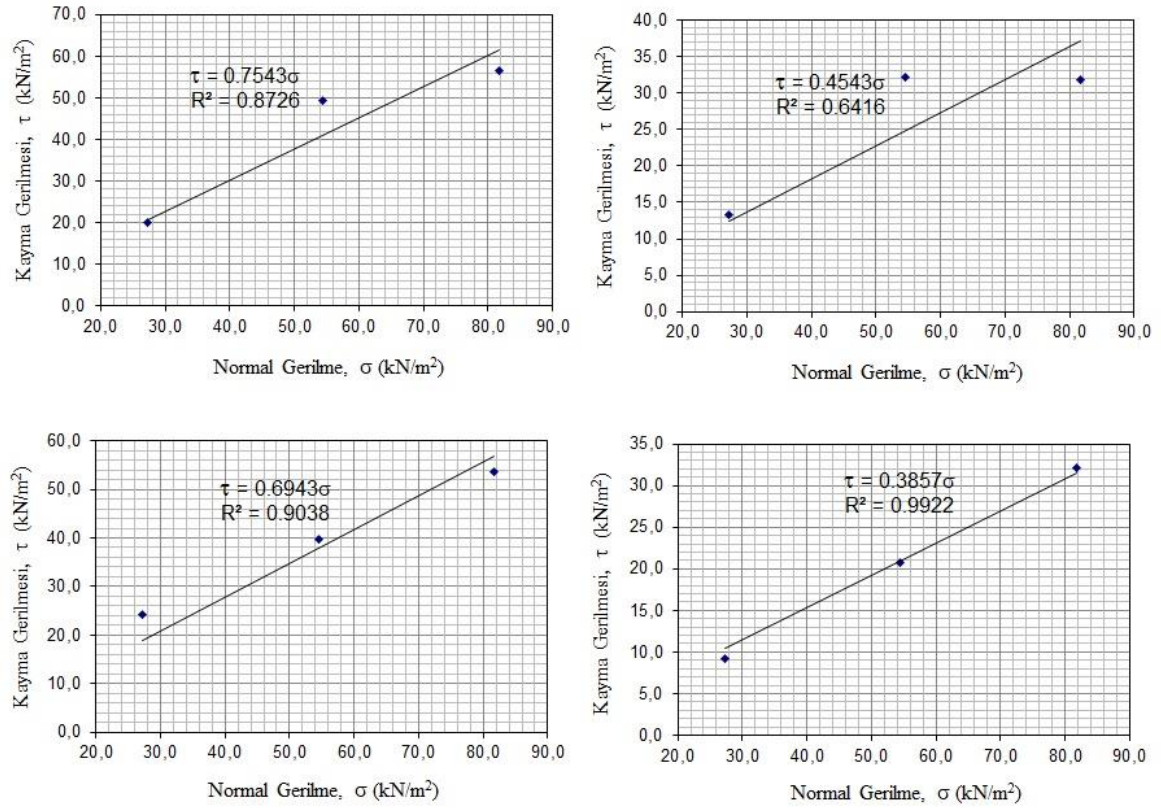
Şekil 3.16. Monzogranitlere ait makaslama deneyi örnekleri



Şekil 3.17. Dasitlere ait makaslama deneyi örnekleri



Şekil 3.18. Monzogranitlere ait süreksizliklerin temel sürtünme açısı (ϕ_b) grafikleri



Şekil 3.19. Dasitlere ait süreksizliklerin temel sürtünme açısı (ϕ_b) grafikleri

Monzogranit ve dasitlerde yapılan makaslama deneyi sonucunda her bir set için çizilen kayma gerilmesi-normal gerilme grafiklerinden elde edilen temel sürtünme açısı değerleri Tablo 3.3'te verilmiş olup, bu değerler monzogranit ve dasitlere ait süreksizliklerin içsel sürtünme açısını belirlemede kullanılacaktır.

Tablo 3.3. Monzogranit ve Dasitlere ait süreksizliklerin temel sürtünme açısı (ϕ_b)

Kaya Kütlesi	Makaslama Deneyi	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
Monzogranit	Temel sürtünme açısı (ϕ_b°)	32	33	42	38	36
Dasit	Temel sürtünme açısı (ϕ_b°)	37	24	35	21	-

Süreksizliklere ait içsel sürtünme açısı Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen görgül yenilme ölçütü kullanılarak süreksizliklerin sürtünme açısı

belirlenmektedir. Barton ve Choubey (1977) makaslama gerilmesi ile normal gerilme arasındaki ilişkiyi;

$$\tau = \sigma_n \tan \left[JRC \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right] \quad (2)$$

eşitliği ile ifade etmektedir. Bu eşitlikte;

τ : Makaslama gerilmesi

σ_n : Süreksizlik düzlemine etki eden normal gerilme

JRC : Süreksizlik pürüzlülük katsayısı

JCS : Süreksizlik yüzeyinin dayanımı

ϕ_r : Rezidüel sürtünme açısı

ϕ_b : Süreksizliklerin temel sürtünme açısı

γ : Birim hacim ağırlığı

ϕ : İçsel sürtünme açısı

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20(r/R) \quad (3)$$

R: Taze yüzeyin Schmidt geri sıçrama sertlik değeri

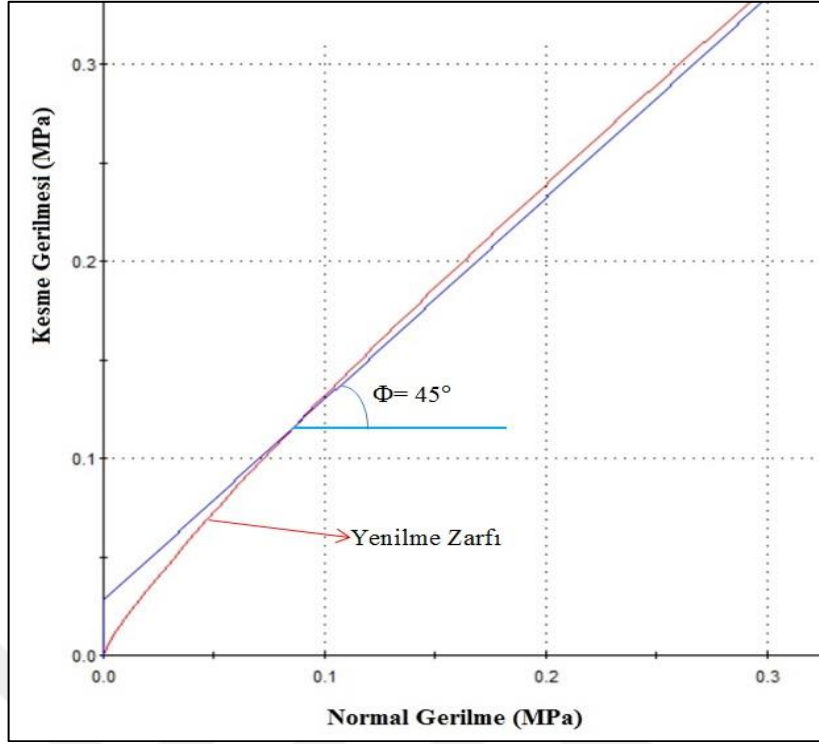
r: Bozunmuş yüzeyin Schmidt geri sıçrama sertlik değeri

Barton (1973) Görgül Yenilme Ölçütünde kullanılan parametrelerden süreksizlik pürüzlülük katsayısı (JRC), arazi çalışmaları sırasında eklem yüzeylerinden alınan pürüzlülük profillerinin Barton ve Choubey (1977) tarafından önerilen standard pürüzlülük profilleri ile denestirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Buna göre monzogranitler için JRC değeri 8-10, dasitler için ise 4-6 değer aralığındadır (Şekil 3.10-3.11). Monzogranitler için JCS' nin belirlenmesinde Hoek ve Bray (1977) tarafından önerilen abak yardımı ile en düşük Schmidt geri sıçrama sertlik değeri 32 ve kayanın en düşük birim hacim ağırlığı 19.30 kN/m³ kullanılarak JCS= 36 MPa olarak belirlenmiştir. Dasitlerin JCS değerinin

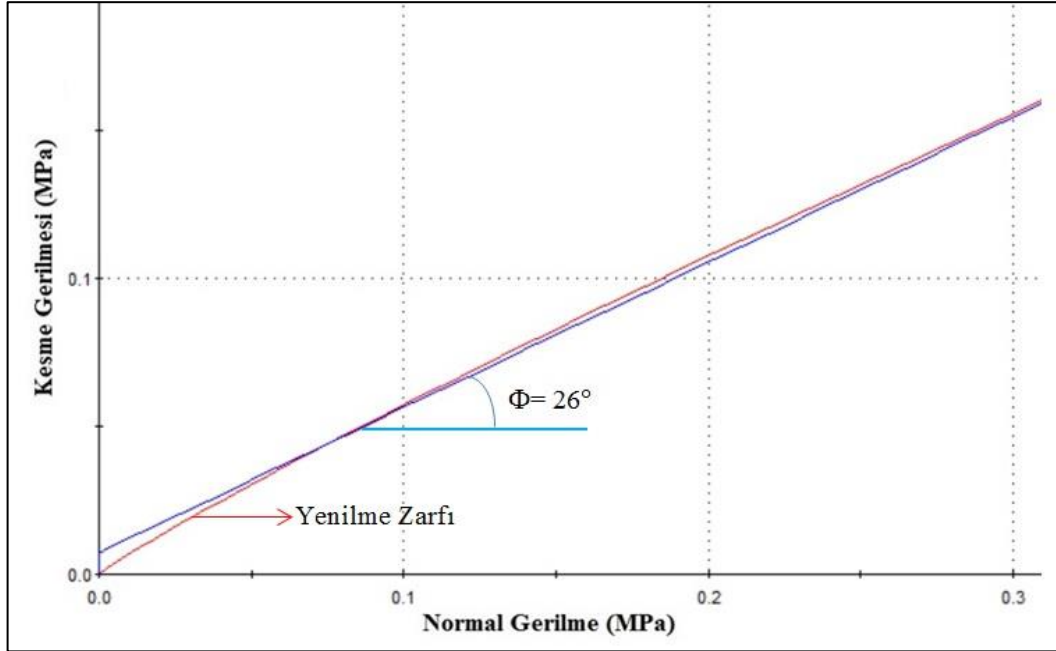
belirlenmesinde ise aynı abak kullanılarak, en düşük Schmidt geri sıçrama sertlik değeri 34 ve kayanın en düşük birim hacim ağırlığı 21.95 kN/m³ kullanılarak JCS= 46 MPa olarak belirlenmiştir. Monzogranit ve dasitlerin temel sürtünme açılarının belirlenmesinde farklı lokasyonlardan alınan blok örneklerde yapılan makaslama deney sonuçlarına göre çizilen grafikler yardımıyla en düşük sürtünme açıları belirlenmiş olup, monzogranitler için $\phi_b=32^\circ$, dasitler için ise $\phi_b=21^\circ$ olarak bulunmuştur. Rezidüel sürtünme açısının belirlenmesi için kaya kütlelerinin süreksizlik yüzeylerinden alınan Schmidt sertliği değerleri monzogranitler için R= 36, r = 32, dasitler için R= 44, r = 34 olarak belirlenmiştir. Kaya kütlelerine ait süreksizliklerin içsel sürtünme açısının belirlenmesinde kullanılan parameter Tablo 3.4'te verilmiş olup, Rocdata (Rocscience, 2003) bilgisayar programı yardımı ile monzogranit ve dasitlere ait Normal gerilme-Makaslama gerilmesi grafikleri çizilerek herbir birim için süreksizliklerin içsel sürtünme açısı belirlenmiştir (Şekil 3.20-3.21). Buna göre Sarıoğlu Monzogranitine ait süreksizliklerin içsel sürtünme açısı = 45°, Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerin ise = 26° olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4. Eklemlerin makaslama dayanımı parametreleri

Kaya Kütleleri	ϕ_b (°)	ϕ_r (°)	JCS (MPa)	JRC	r (Bozunmuş)	R (Taze)	γ (kN/m ³)
Monzogranit	32	29.78	36	9	32	36	19.30
Dasit	21	16.45	46	5	34	44	21.95



Şekil 3.20. Monzogranitlerin süreksizliklerine ait kesme gerilmesi- normal gerilme grafiği



Şekil 3.21. Dasitlerin süreksizliklerine ait kesme gerilmesi- normal gerilme grafiği

3.2.1.7. Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımının Belirlenmesi

İnceleme alanında Sarıosman Monzograniti ve Kızılkaya Formasyonu'na ait dasitlerden alınan blok örnekler laboratuvarında standartlara uygun hale getirilerek ($5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$) (Şekil 3.22) tek eksenli sıkışma dayanımları ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiş olup, istatistiksel dağılımı Tablo 3.5' te verilmiştir.



Şekil 3.22. Sarıosman Monzograniti'ne ait örnekler ve tek eksenli sıkışma dayanım deneyi

Tablo 3.5. Kaya malzemelerinin jeomekanik özellikleri

Kaya Malzemesi	Deney	Deney Sayısı	En Az	En Çok	Ortalama	Standard Hata
Monzogranit	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, σ_c (MPa)	15	68.48	288.76	142.11	15.46
	Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	15	19.30	23.93	22.68	0.29
Dasit	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, σ_c (MPa)	12	32.31	204.68	104.14	3.76
	Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	12	21.95	23.16	22.63	0.22

3.2.1.8. Kaya Düşme Mekanizması

Yamaçların veya şevlerin duraylılığı konusunda günümüze kadar pekçok araştırmacı tarafından (McMahon, 1971, 1975; Markland, 1972; Goodman, 1976; Hocking, 1976; Piteau ve Martin, 1977; Cruden, 1978; Baecher ve Einstein, 1978; Marek ve Savely, 1978; Lucas, 1980; Hoek ve Bray, 1981; Priest ve Brown, 1983; Matherson, 1988; Young, 1993; Jade ve Sarkar, 1993; Öcal ve Özgenoğlu, 1997; Kliche, 1999; Mote vd., 2004; Eberhardt vd., 2004; Stead vd., 2006; Gurocak vd., 2008; Ceryan ve Ceryan, 2008; Liu vd. 2009; Fu ve Liao, 2010; Umrao vd., 2011; Shen vd., 2012; Alemdag vd., 2014) çalışmalar yapılmış olup, özellikle olası kaya düşme alanlarının belirlenmesinde basit ve kolay uygulanabilen süreksizlik kontrollü duraysızlık mekanizmaları için kinematik analiz yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada kaya kütle yenilme alanları kinematik analiz yöntemi ile belirlenmiş olup, her bir yenilme mekanizmasına ait duraysızlık koşulları değerlendirilmiştir.

İnceleme alanındaki Kızılkaya Formasyonu'na ait dasitler ve Sariosman Monzograniti'ne ait kütlelerde kinematik analiz yöntemi ile duraylılığın değerlendirilmesi için her bir kaya kütesine ait gerekli parametreler Tablo 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3.6. Kaya kütlelerindeki süreksizliklere ait yönelim ve sürtünme açıları

Kaya Kütle	Süreksizlik Seti Numarası	Eklem Yönelimi (Eğim / Eğim Yönü)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ°)
Sariosman Monzograniti (Granit)	1	70/199	45
	2	82/128	
	3	74/101	
Kızılkaya Formasyonu (Dasit)	1	70/184	26
	2	55/103	
	3	73/64	

Tablo 3.6'da belirlenen parametreler dikkate alınarak kinematik analiz yöntemine göre düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlık koşullarında her bir kaya kütle için olası duraysızlık oluşturabilecek şev yönelimleri belirlenmiştir. Buna göre Sariosman Monzograniti'nde ve Kızılkaya Formasyonu'na ait dasitlerde düzlemsel kayma oluşturacak şev yönelimleri sırasıyla Tablo 3.7-3.8'de, kama türü duraysızlık oluşturacak şev

yönelimleri Tablo 3.9-3.10’da ve devrilme türü duraysızlık oluşturacak şev yönelimleri ise Tablo 3.11-3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Monzogranitlerde düzlemsel tip yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri

Eklem Seti No	Eklem Yönelimi	Düzlemsel tipi duraysızlığın gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	
		Eğim	Eğim yönü
1	70/199	> 70	179-219
2	82/128	> 82	108-148
3	74/101	> 74	81-121

Tablo 3.8. Dasitlerde düzlemsel tip yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri

Eklem Seti No	Eklem Yönelimi	Düzlemsel tipi duraysızlığın gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	
		Eğim	Eğim yönü
1	70/184	> 70	164-204
2	55/103	> 55	83-123
3	73/64	> 73	44-84

Tablo 3.9. Monzogranitlerde kama tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri

Kesişme hattı	Kesişme hattının dalım açısı	Kesişme hattının dalım yönü	Kama tipi duraysızlığın gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	
			Eğim	Eğim yönü
I ₍₁₋₂₎	70	195	(72.5) 70-75	165-226
			(77.5) 75-80	143-248
			(82.5) 80-85	126-264
			(87.5) 85-90	112-278
I ₍₁₋₃₎	64	156	(67) 64-70	124-188
			(72.5) 70-75	105-207
			(77.5) 75-80	92-219
			(82.5) 80-85	81-230
			(87.5) 85-90	71-241
I ₍₂₋₃₎	69	60	(72) 69-75	28-91
			(77.5) 75-80	5-114
			(82.5) 80-85	349-129
			(87.5) 85-90	336-143

Tablo 3.10. Dasitlerde kama tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri

Kesişme hattı	Kesişme hattının dalım açısı	Kesişme hattının dalım yönü	Kama tipi duraysızlığın gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	
			Eğim	Eğim yönü
I ₍₁₋₂₎	54	123	(54.5) 54-55	106-140
			(57.5) 55-60	92-155
			(62.5) 60-65	77-169
			(67.5) 65-70	67-179
			(72.5) 70-75	58-188
			(77.5) 75-80	50-196
			(82.5) 80-85	43-203
			(87.5) 85-90	37-210
I ₍₁₋₃₎	56	127	(57.5) 55-60	109-145
			(62.5) 60-65	88-166
			(67.5) 65-70	75-179
			(72.5) 70-75	65-189
			(77.5) 75-80	56-198
			(82.5) 80-85	48-206
			(87.5) 85-90	41-213
I ₍₂₋₃₎	51	131	(52.5) 50-55	116-147
			(57.5) 55-60	95-168
			(62.5) 60-65	82-181
			(67.5) 65-70	73-190
			(72.5) 70-75	65-198
			(77.5) 75-80	58-205
			(82.5) 80-85	51-212
			(87.5) 85-90	45-218

Tablo 3.11. Monzogranitlerde devrilme tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri

Eklem Seti No	Eklem Yönelimi	Devrilme tipi duraysızlığın gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	
		Eğim	Eğim yönü
1	70/199	> 65	349-49
2	82/128	> 53	278-338
3	74/101	> 61	251-311

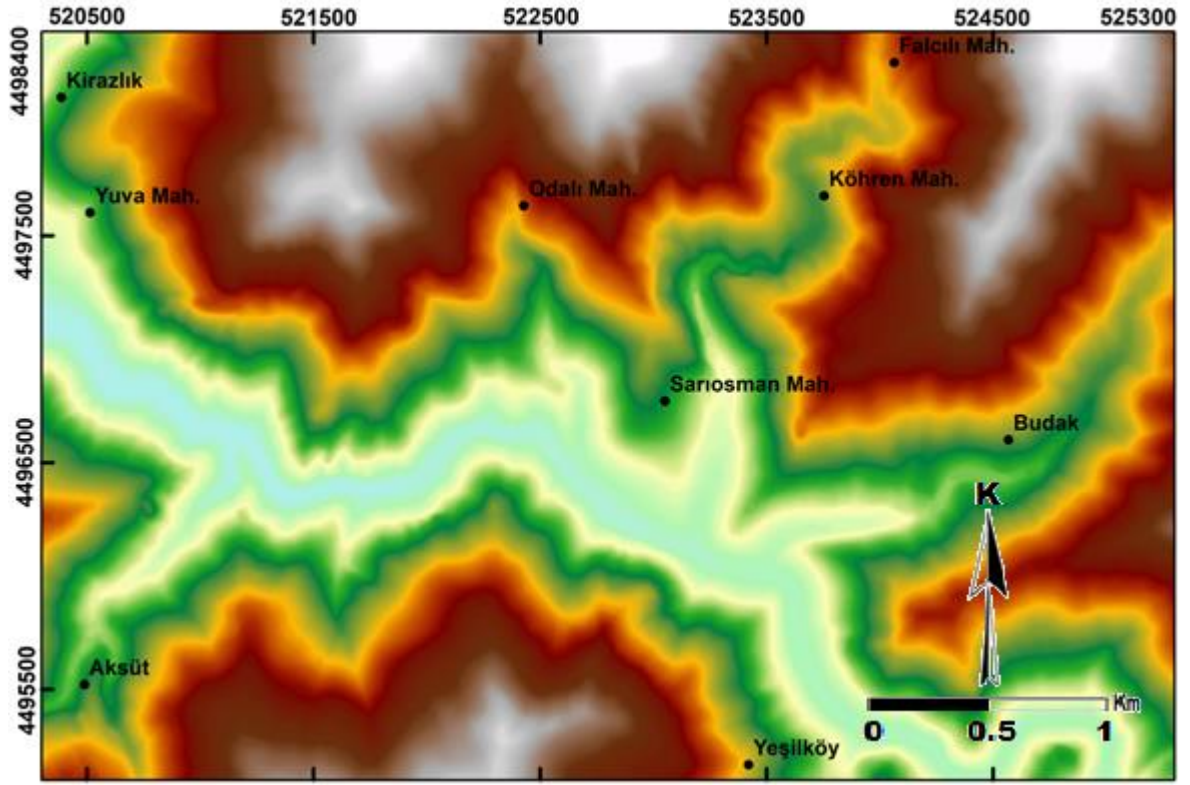
Tablo 3.12. Dasitlerde devrilme tipi yenilmenin gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri

Eklem Seti No	Eklem Yönelimi	Devrilme tipi duraysızlığın gelişebileceği şev ve yamaç yönelimleri	
		Eğim	Eğim yönü
1	70/184	> 46	334-34
2	55/103	> 61	253-313
3	73/64	> 43	214-274

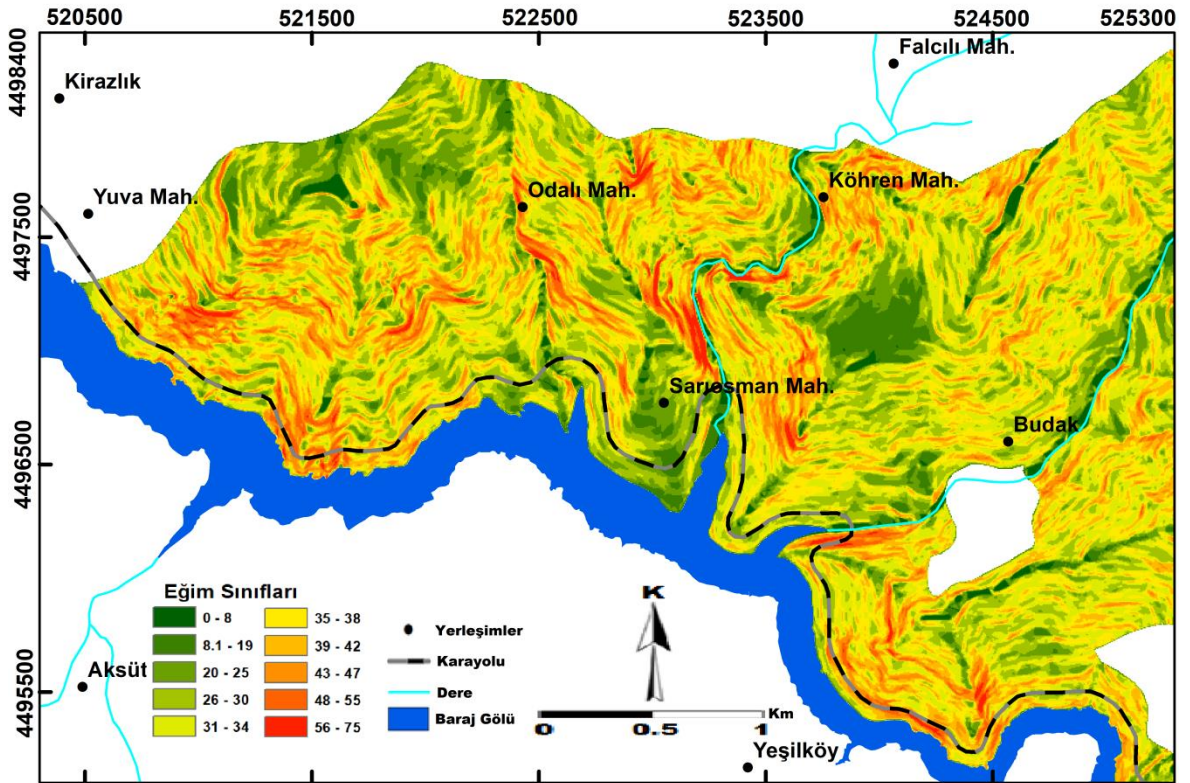
İnceleme alanında yayılım gösteren kaya kütlelerindeki her bir eklem seti dikkate alınarak, duraysızlığın meydana gelebileceği şev ve yamaç yönelimleri Tablo 3.7-3.12’de verilmiştir. Bu değerler ışığında monzogranitlerde 53°, dasitlerde ise 43° kritik şev açısı olup, bu açılardan daha yüksek değerlerde ve farklı eğim yönlerinde olası kaya düşmeleri meydana gelecektir.

3.3. Duraysızlık Haritaları

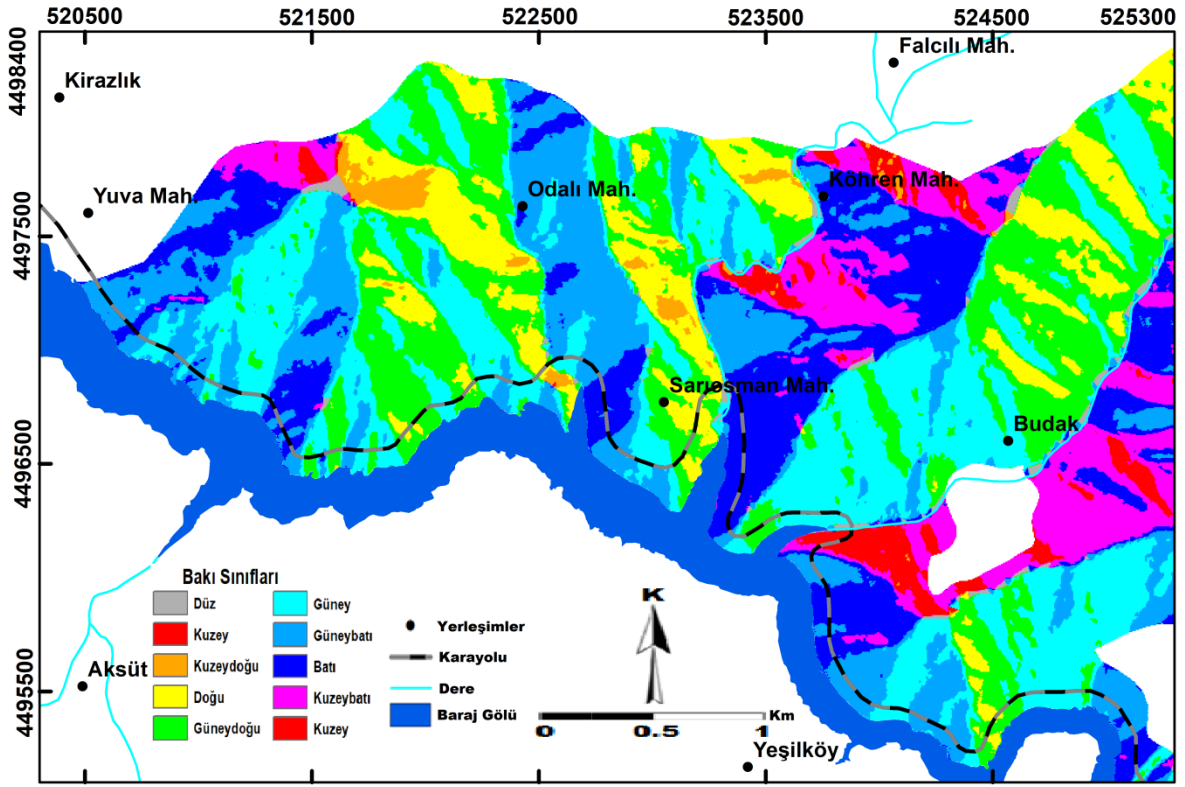
Duraysızlık haritaları için parametre altlıkları olarak eğim ve bakı haritaları kullanılacağından öncelikle çalışma bölgesinin sayısal yükseklik modeli (Şekil 3.23) oluşturulmuş daha sonra, inceleme alanının eğim (Şekil 3.24) ve bakı (Şekil 3.25) haritaları üretilmiştir.



Şekil 3.23. Çalışma bölgesine ait sayısal yükseklik modeli



Şekil 3.24. İnceleme alanının eğim haritası

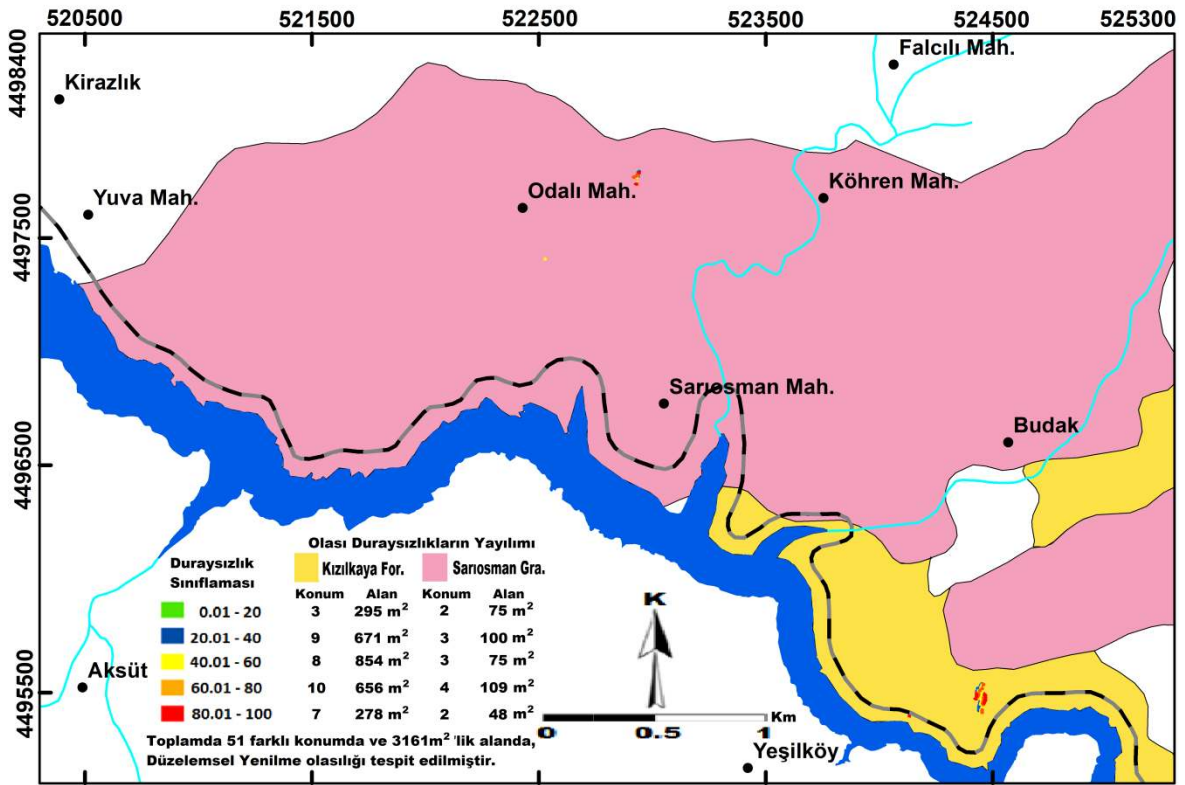


Şekil 3.25. İnceleme alanının bakı (yamaç yönelimleri) haritası

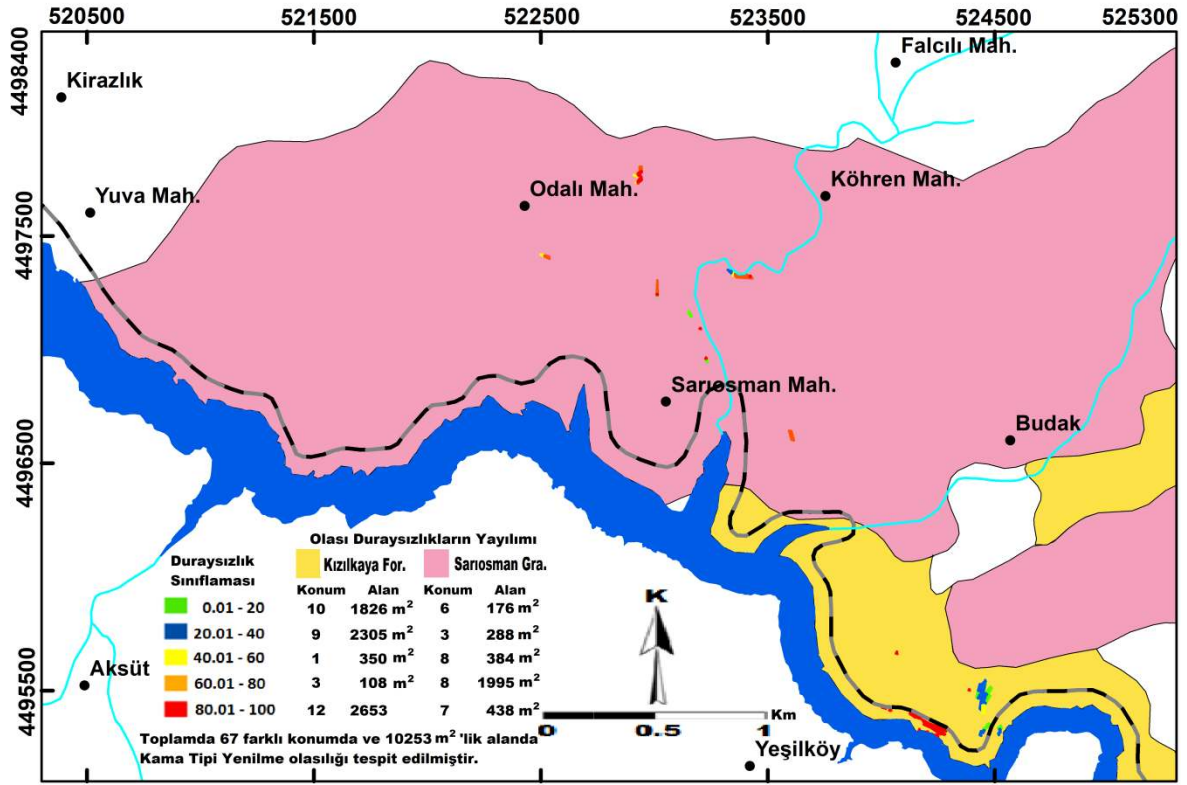
Farklı yenilme türleri için farklı sınır değerleri söz konusu olduğundan, duraysızlık haritaları üretilirken, eğim ve bakı haritalarının ilgili yenilme türü sınır değerlerine göre yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Üç yenilme türü için de olası bir duraysızlık, eğim sınır değeri aşıldığında ve belirli bir eğim yönü aralığında söz konusu olacağından eğim parametresi için bir ağırlıklandırma yapılmamıştır. Dolayısıyla eğim haritası yeniden sınıflandırılırken, ilgili duraysızlık türündeki sınır değerden daha küçük değere sahip piksellere (duraylı) “0” değerlerine (duraysız) “1” değeri atanmıştır.

Olası duraysızlıklar eklem setleri ya da eklem kesişimleri temelinde belirli bir yönelim aralığında gerçekleşeceğinden her bir yenilme türü için birden çok bakı haritasının üretilmesi ve bu haritaların ana doğrultudan yönelim sınırlarına doğru azalan değerler alacak şekilde ağırlıklandırılarak yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Bu nedenle bakı haritaları; simetrik lineer fonksiyon kullanılarak, her bir duraysızlık türü için duraylı alanlar “0” duraysız alanlar ise “100 ile 1” arasında değişen değerler alacak şekilde yeniden sınıflandırılmıştır. Daha sonra her bir duraysızlık türüne ait ağırlıklandırılmış bakı haritaları fuzzy overlay analizi ve “or-max” yöntemi ile karşılaştırılarak her bir duraysızlık türü için ağırlıklandırılmış nihai bakı haritaları üretilmiştir.

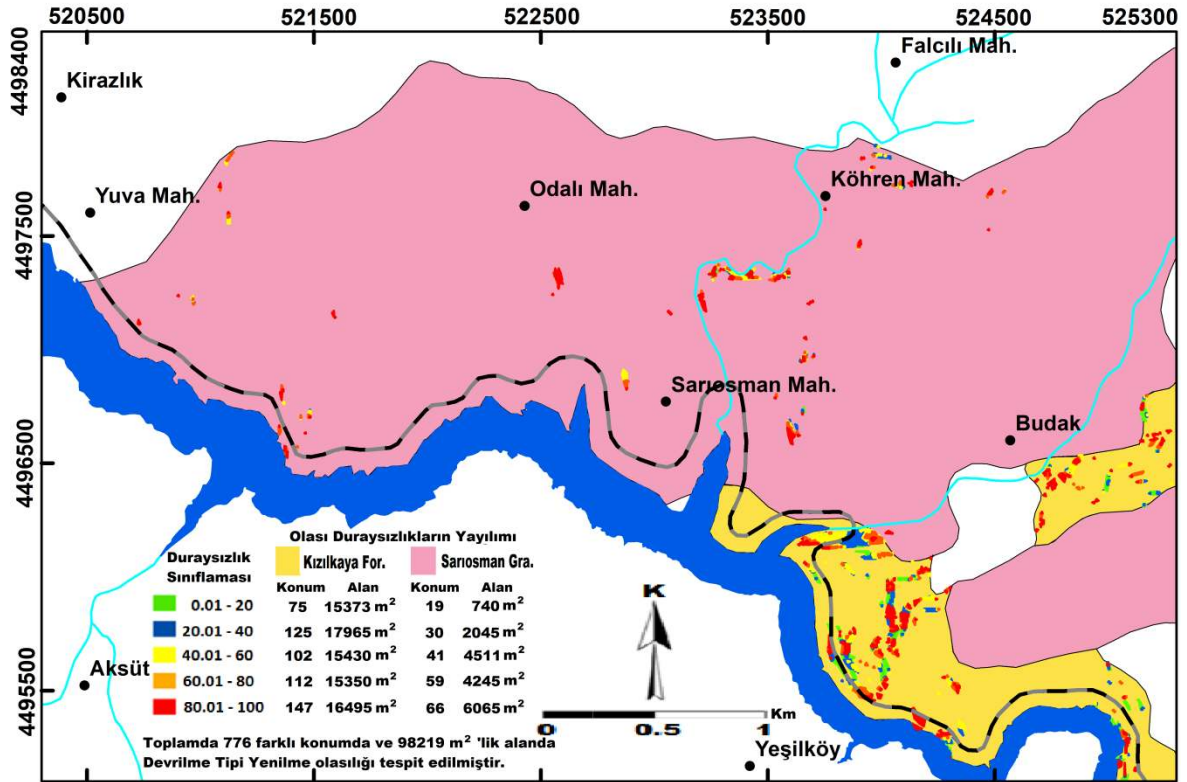
Olası bir duraysızlık durumu, ilgili yenilme türü için belirlenen yönelimde ve sınır değerden daha fazla eğime sahip alanlarda söz konusu olacaktır. Ayrıca bakı parametresine göre yapılan ağırlıklandırmanın da korunması gerektiğinden, sınır değerler esas alınarak üretilen eğim ve bakı parametre altlıklarının kesişimi alınırken “map algebra çarpım” fonksiyonu kullanılmıştır. Uygulanan işlemler sonucunda; bakı parametresine göre ağırlıklandırılmış olası yamaç duraysızlık haritaları elde edilmiştir (Şekil 3.26-3.27-3.28).



Şekil 3.26. Düzlemsel yenilme için olası duraysızlık haritası

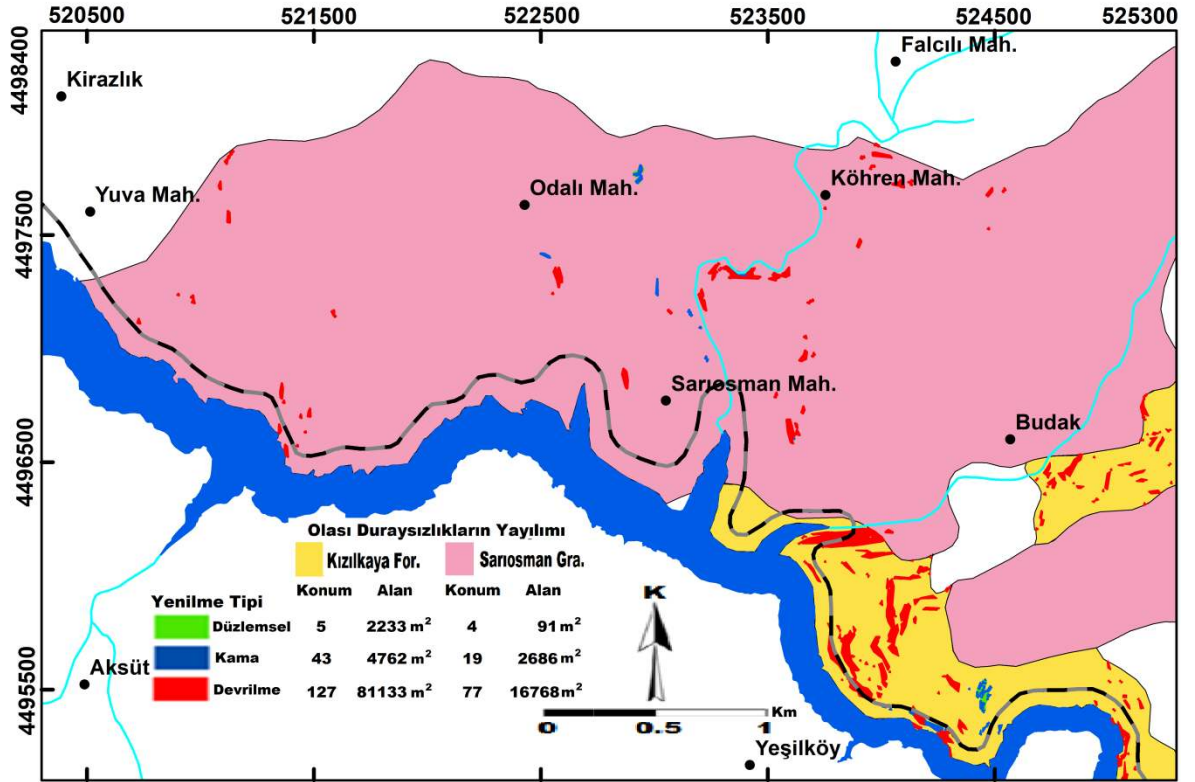


Şekil 3.27. Kama tipi yenilme için olası duraysızlık haritası

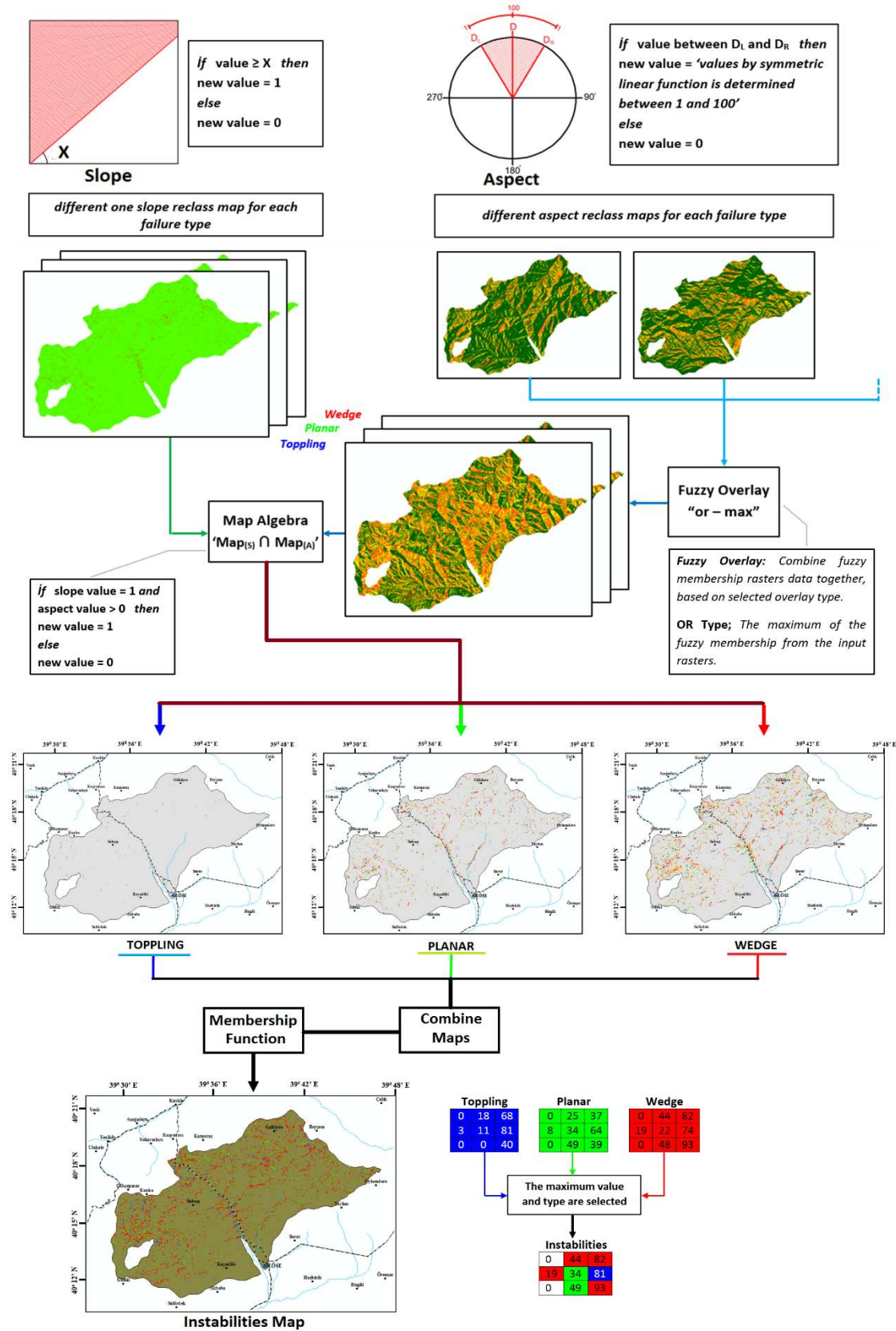


Şekil 3.28. Devrilme tipi yenilme için olası duraysızlık haritası

Farklı yenilme türleri için üretilen duraysızlık haritaları combine analizi ile karşılaştırılarak her bir piksel için 3 farklı duraysızlık türünden gelen değerler elde edilmiştir. Birden çok yenilmenin söz konusu olduğu alanlar için hangi yenilme türünün daha olası olduğu (her bir pikseldeki maksimum değer ve bu değere sahip duraysızlık tipi) fuzzy üyelik fonksiyonu ile belirlenerek nihai yamaç duraysızlık haritası (Şekil 3.29) elde edilmiştir. Uygulamalar ArcGIS (Esri, 2010) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup duraysızlık haritasının üretilmesinde izlenen yol Şekil 3.30’da verilmiştir.



Şekil 3.29. İnceleme alanı olası duraysızlık haritası



Şekil 3.30. Duraysızlık haritalarının üretim prosedürü örneği (Bostancı vd., 2018)

3.4. İki Boyutlu Kaya Düşmesi Analizleri

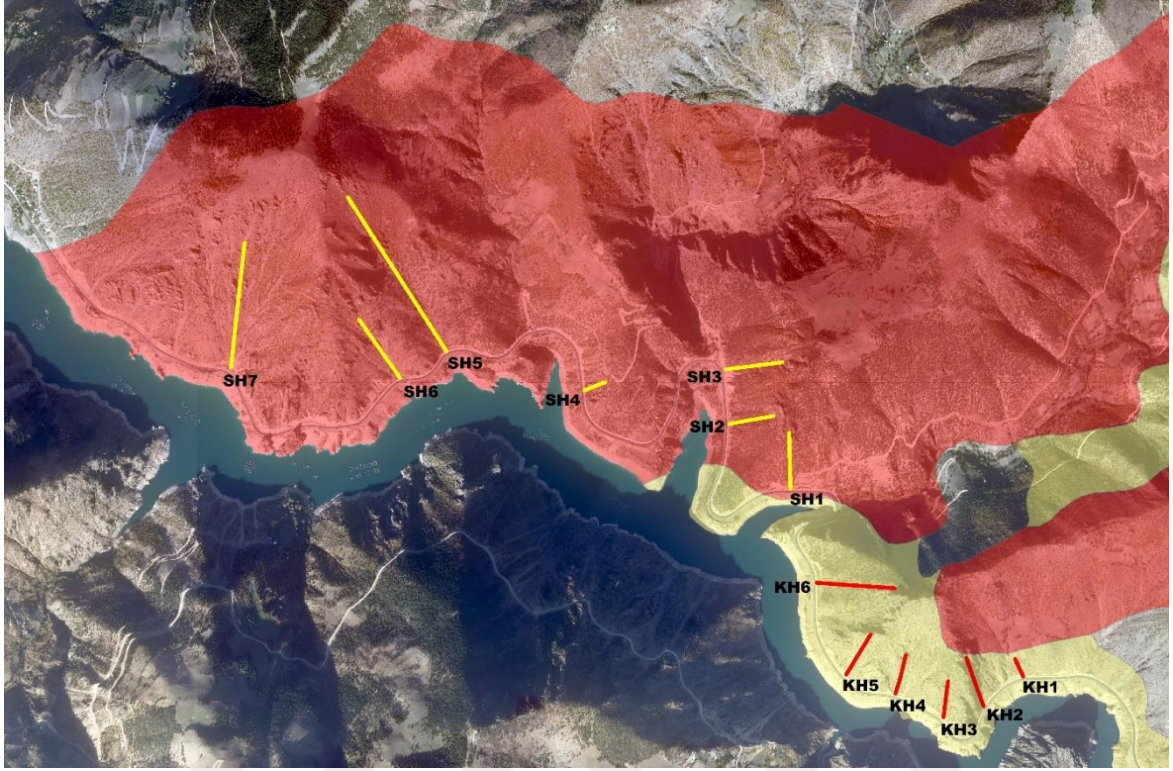
Çalışma alanında olası kaya düşmelerinin 2 boyutlu modellenebilmesi için duraysızlık haritasındaki olası yenilme alanları ve sahada yapılan gözlemlerle tespit edilen kaynak kaya alanları dikkate alınarak kesit hatları belirlenmiştir (Şekil 3.31). Kaya düşme analizinin yapılabilmesi için arazi çalışmaları sırasında düşmüş blokların konumları ve bu blokların boyutları monzogranitler ve dasitler için ayrı ayrı belirlenmiştir (Tablo 3.13-3.14).

Tablo 3.13. Düşen monzogranit bloklarının geometrilerine göre belirlenen blok ağırlıkları

Blok No	Düşen Blok Geometrisi			Blok Hacmi (m ³)	Birim hacim ağırlık γ (t/m ³)	Blok Ağırlığı (kg)
	x (m)	y (m)	z (m)			
1	2.2	3	1.85	12.21	2.31	28210 (Hat1)
2	3	1.1	2.2	7.26	2.31	16770 (Hat2)
3	2	1.1	2.5	5.50	2.31	12710 (Hat3)
4	1.8	3.2	1.2	6.91	2.31	15970 (Hat4)
5	2	2.8	1.1	6.16	2.31	14230 (Hat5)
6	1.4	1.6	2	4.48	2.31	10350 (Hat6)
7	1.3	2.3	2.1	6.28	2.31	14500 (Hat7)

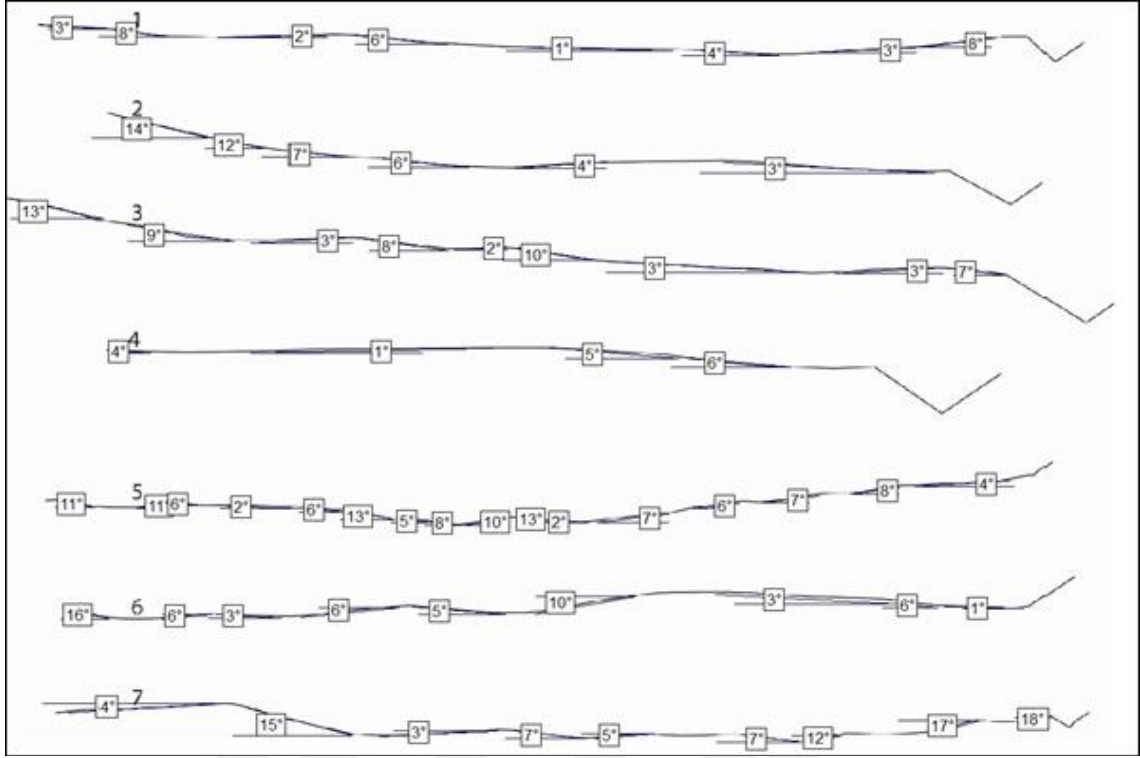
Tablo 3.14. Düşen dasit bloklarının geometrilerine göre belirlenen blok ağırlıkları

Blok No	Düşen Blok Geometrisi			Blok Hacmi (m ³)	Birim hacim ağırlık γ (t/m ³)	Blok Ağırlığı (kg)
	x (m)	y (m)	z (m)			
1	4.1	2.08	2.2	18.76	2.30	43150 (Hat1)
2	2	3.2	2.1	13.44	2.30	30910 (Hat2)
3	2.16	3.3	2.4	17.11	2.30	39350 (Hat3)
4	3.2	2.08	2.1	13.98	2.30	32150 (Hat4)
5	3.05	2.1	1.6	10.25	2.30	23570 (Hat5)
6	2.2	3.05	2.1	14.09	2.30	32410 (Hat6)

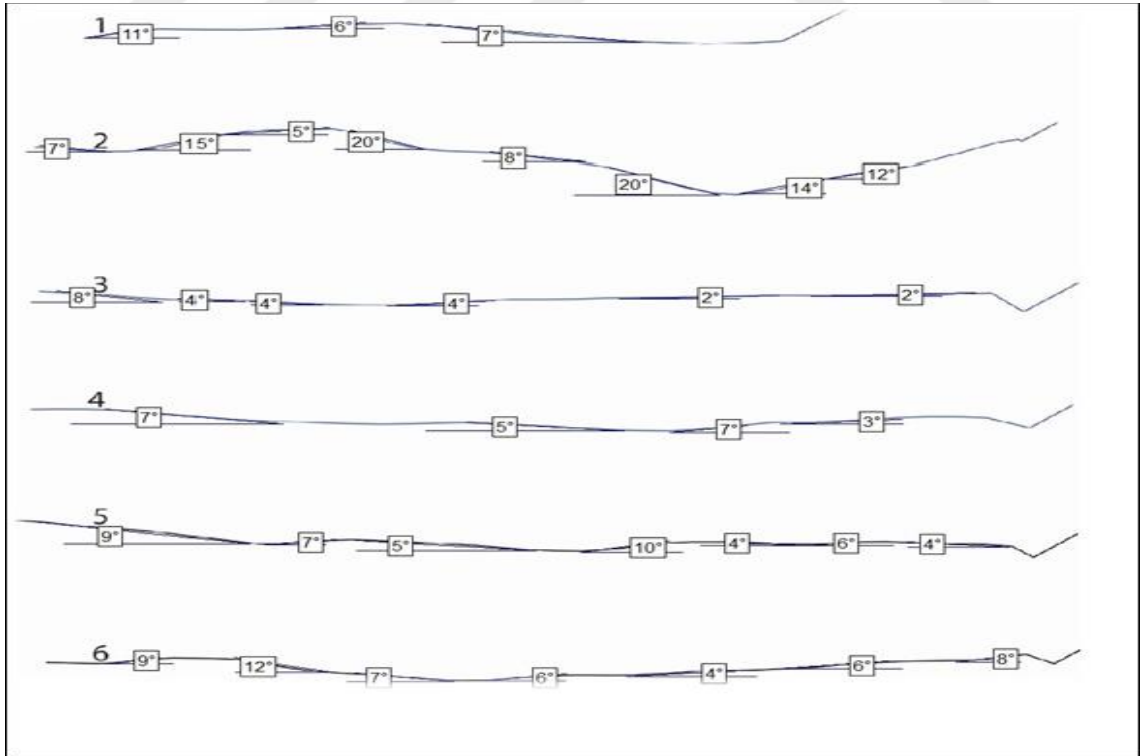


Şekil 3.31. İnceleme alanında monzogranit ve dasitlerde belirlenen kaya düşme kesit hatları

Arazide düşen monzogranit ve dasit bloklarının tam konumları GPS ile belirlenmiş ve RocFall v4.0 bilgisayar programında CBS ortamında hazırlanan her bir kesit hattı üzerinde GPS ile belirlenen noktalara en yakın olacak şekilde bloklar yuvarlanarak geriye dönük kaya düşme analizleri yapılmıştır. Bu geriye dönük analiz çalışmaları sırasında inceleme alanındaki monzogranit, dasit ve yamaç molozu birimlerine ait R_n ve R_t katsayıları, R_t katsayısına bağlı sürtünme açısı ve şev pürüzlülük profillerine (Şekil 3.32-3.33) bağlı dalgalanma değerlerinin istatistiksel değerlendirilmesi sonucu elde edilen standart sapma değerleri belirlenmiştir (Tablo 3.15-3.16).



Şekil 3.32. Sarıosman Monzograniti'ne ait 7 kesit hattı üzerinde ölçülen pürüzlülük açıları



Şekil 3.33. Dasitlere ait 6 kesit hattı üzerinde ölçülen pürüzlülük açıları

Tablo 3.15. Monzogranitlere ait kaya düşme analizi girdi parametreleri

Sariosman Monzograniti Hat Numarası	Litoloji Tanımı	Normal Geri Verme Katsayısı (Rn)	Tanjant Geri Verme Katsayısı (Rt)	Sürtünme Açısı (°)	Şev Pürüzlülüğü (Standard Sp)
1	Yamaç Molozu (Orta sıklıkta bitki örtüsü)	0.30	0.80	14	3
	Kaya Şevi	0.48	0.91	6	1
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
2	Granit	0.38	0.81	13	4
	Yamaç Molozu (Orta sıklıkta bitki örtüsü)	0.32	0.85	10	5
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
3	Yamaç Molozu (Az sıklıkta bitki örtüsü)	0.28	0.76	18	4
	Kaya Şevi	0.48	0.91	6	1
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
4	Yamaç Molozu (Orta sıklıkta bitki örtüsü)	0.30	0.80	14	2
	Kaya Şevi	0.48	0.91	6	1
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
5	Yamaç Molozu (Orta sıklıkta bitki örtüsü)	0.26	0.75	19	3
	Kaya Şevi	0.48	0.91	6	1
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
6	Yamaç Molozu	0.26	0.75	19	3
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
7	Yamaç Molozu (Az sıklıkta bitki örtüsü)	0.30	0.70	25	6
	Kaya Şevi	0.48	0.91	6	1
	Beton Kanalet	0.85	0.53	51	2
	Asfalt	0.40	0.90	6	0

Tablo 3.16. Dasitlere ait kaya düşme analizi girdi parametreleri

Kızılkaya Formasyonu Dasit Hat Numarası	Litoloji Tanımı	Normal Geri Verme Katsayısı (Rn)	Tanjant Geri Verme Katsayısı (Rt)	Sürtünme Açısı (°)	Şev Pürüzlülüğü (Standard Sp)
1	Yamaç Molozu	0.32	0.77	17	3
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
2	Dasit	0.40	0.83	12	6
	Yamaç Molozu	0.28	0.78	16	4
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
3	Yamaç Molozu	0.28	0.80	14	4
	Dasit	0.40	0.85	10	2
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
4	Yamaç Molozu	0.28	0.76	18	3
	Dasit	0.36	0.80	14	2
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
5	Yamaç Molozu (Seyrek bitki örtüsü)	0.28	0.72	22	3
	Kaya Şevi	0.46	0.88	8	1
	Asfalt	0.40	0.90	6	0
6	Yamaç Molozu (Orta sıklıkta bitki örtüsü)	0.32	0.70	25	3
	Kaya Şevi	0.46	0.88	8	1
	Asfalt	0.40	0.90	6	0

Arazide Sarıosman Monzograniti (SH1-2-3-4-5-6-7) ve Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerde (KH1-2-3-4-5-6) belirlenen kesit hatları RocFall v4.0 (Rocscience, 2003) bilgisayar programına girilerek Tablo 3.15-3.16’de verilen materyal özellikleri dikkate alınarak iki boyutlu kaya düşme analizi gerçekleştirilmiştir. Monzogranit ve dasitlerde belirlenen kesit hatlarında yapılan analiz sonuçları aşağıda detaylı olarak açıklanmış olup, kesit hatları ve her bir kesit hattına ait analiz grafikleri Ek-2, Ek-3 ve Ek-4’de verilmiştir.

SH1 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

Arazi gözlemleri sırasında kesit hattı ve civarında belirlenen en büyük blok boyutu dikkate alınarak (28210 kg) kaya düşme analizinde kullanılmış ve 500 adet kaya bloğu düşürülmüştür (Ek Şekil 2.1). Ek Şekil 2.1 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte, tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 8.5 metre (Ek Şekil 3.1.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 4500000 J (Ek Şekil 3.1.3) ve kaya bloklarının şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 250 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 3.1.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.1.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 232 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.1.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

SH2 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

SH2 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (16770 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.2). Ek Şekil 2.2 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 6 metre (Ek Şekil 3.2.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 3500000 J (Ek Şekil 3.2.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 210 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 3.2.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.2.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 185,5 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.2.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

SH3 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

SH3 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (12710 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.3). Ek Şekil 2.3 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 8 metre (Ek Şekil 3.3.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 4500000 J (Ek şekil 3.3.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 260 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 3.3.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.3.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 224 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.3.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

SH4 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

SH4 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (15970 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.4). Ek Şekil 2.4 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 10 metre (Ek Şekil 3.4.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 3000000 J (Ek şekil 3.4.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 110 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 3.4.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.4.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 89,1 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.4.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

SH5 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

SH5 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (14230 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.5). Ek Şekil 2.5 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca

sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 0,08 metre (Ek Şekil 3.5.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 1500000 J (Ek şekil 3.5.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 770 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.5.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.5.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 766 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.5.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

SH6 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

SH6 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (10350 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.6). Ek Şekil 2.6 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 0,07 metre (Ek Şekil 3.6.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 1000000 J (Ek şekil 3.6.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 308 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.6.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.6.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 276 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.6.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

SH7 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

SH7 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (14500 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.7). Ek Şekil 2.7 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermekte ve asfalt yola ulaşmamaktadır. Maksimum sıçrama yüksekliği 0,16 metre (Ek Şekil 3.7.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 1000000 J (Ek şekil 3.7.3) ve

şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 467 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 3.7.1).

KH1 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

KH1 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (43150 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.8). Ek Şekil 2.8 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 0,23 metre (Ek Şekil 3.8.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 3100000 J (Ek şekil 3.8.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 150 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.8.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.7.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 77 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.7.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

KH2 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

KH2 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (30910 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.9). Ek Şekil 2.9 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 2,8 metre (Ek Şekil 3.9.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 1500000 J (Ek şekil 3.9.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 226 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.9.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.8.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 206 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.8.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

KH3 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

KH3 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (39350 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.10). Ek Şekil 2.10 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 6 metre (Ek Şekil 3.10.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 5500000 J (Ek şekil 3.10.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 170 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.10.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.9.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 147 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.9.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

KH4 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

KH4 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (32150 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.11). Ek Şekil 2.11 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 2,7 metre (Ek Şekil 3.11.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 5500000 J (Ek şekil 3.11.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 200 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.11.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.10.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 158 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.10.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

KH5 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

KH5 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (23570 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.12). Ek Şekil 2.12 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 2,7 metre (Ek Şekil 3.12.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 2500000 J (Ek şekil 3.12.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 210 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.12.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.11.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 195 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.11.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

KH6 Nolu Kesit Hattının Kaya Düşme Değerlendirmesi

KH6 nolu kesit hattı güzergahında düşmüş olan kaya bloklarının içerisinde en büyük blok boyutu seçilmiş (32410 kg) olup, kaya düşme analizi için kullanılmıştır (Ek Şekil 2.13). Ek Şekil 2.13 kesit hattı analiz sonucuna göre kaya blokları tüm şev yüzeyi boyunca sıçrama hareketi göstermemekte tamamen yuvarlanma hareketi göstermektedir. Maksimum sıçrama yüksekliği 0,5 metre (Ek Şekil 3.13.2), kaya bloklarının sahip olduğu maksimum toplam kinetik enerji 3000000 J (Ek şekil 3.13.3) ve şev kesit güzergahında yatay yönde ulaşacakları son durma mesafeleri 345 metre olarak belirlenmiş ve asfalt yola ulaşmıştır (Ek Şekil 3.13.1). Maksimum kinetik enerji değerine göre şev hattı üzerinde belirlenen noktaya bariyer tasarlanarak, yeniden analiz edilmiş (Ek Şekil 4.12.1) ve kaya bloklarının ulaştıkları en son yatay mesafe 320 metre olarak belirlenmiştir (Ek Şekil 4.12.2). Bu durum bize önlem yapısı olarak tasarladığımız bariyerin uygun olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Torul-Kürtün (Gümüşhane) karayolundaki potansiyel kaya düşme mekanizması, düşen blokların yayılma mesafesi, şev yüzeyi sıçrama yüksekliği, yuvarlanan kaya bloklarının toplam kinetik enerjileri ve bariyer uygulamaları ile düşmesi olası blokları önleme yöntemleri belirlenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Çalışma alanı Geç Kretase yaşlı; Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu, Çağlayan Formasyonu ve bu formasyonları kesen Sariosman Monzogranitinden oluşmaktadır.
- 2) Çalışma alanında yayılım gösteren Kızılkaya Formasyonuna ait dasitler ve Sariosman Monzogranitinde süreksizliklerin kontrol ettiği yenilme tipleri için nihai duraysızlık haritası üretilmiştir.
- 3) Kaya kütlelerinde belirlenen düzlemsel, kama ve devrilme tipi yenilmeler için üretilen nihai yamaç duraysızlık haritasına göre, çalışma alanında devrilme tipi yenilmenin gerçekleşme olasılığı düzlemsel ve kama tipi yenilmelere göre daha yüksektir. İnceleme alanında 204 farklı lokasyonda ve yaklaşık 97901 m²'lik alanda devrilme tipi yenilme olasılığı bunulurken, kama tipi yenilme 62 lokasyonda 7448 m² ve düzlemsel tip yenilme olasılığı için bu 9 farklı lokasyon ve yaklaşık 2324 m² olarak belirlenmiştir.
- 4) Sariosman Monzograniti ve Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerin yayılım gösterdiği Torul-Tirebolu yol güzergahının kuzey yamaçları için bu çalışmada üretilen olası kaya düşme duraysızlık haritasının kontrolü amacıyla, yol güzergahında belirlenen kesit hatları Rocfall 4.0 bilgisayar programında analiz edilmiş ve kaya bloklarının yayılım mesafeleri, şev yüzeyi sıçrama yükseklikleri ve yuvarlanan blokların kinetik enerjileri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda Sariosman Monzogranitinde belirlenen kesit hatlarından SH1, SH2, SH3, SH4, SH5, SH6 kesitlerinde yuvarlanan kaya blokları yol güzergahına ulaşırken, SH7 nolu kesit analizinde kaya blokları yamaç yüzeyinde kalmıştır. Kızılkaya Formasyonuna ait dasitlerde yapılan kaya düşme analizlerinde ise tüm kesit hatlarından yuvarlanan kaya bloklarının yol güzergahına kadar ulaştıkları görülmüştür. Kesit hatlarında belirlenen alanlarda uygulanan bariyerlerle düşen kaya bloklarının sönümlendiği belirlenmiş olup, Torul-Tirebolu yol

güzergahında bu çalışmalar ışığında iyileştirme yöntemleri ile yolun kaya düşmeleri açısından güvenliği sağlanmalıdır.

- 5) Kaynak kayadan kopma sonucunda yuvarlanacak kaya kütlelerinin durdurulması amacıyla yol güzergahında yapılacak bariyer çalışmalarının haricinde, kaya düşme duraysızlık haritalarında da gözlemlenen yüksek açılı şev ve yamaçlarda meydana gelecek duraysızlıkların herhangi bir önlem yapısı ile önlenemeyeceği, ayrıca morfolojik açıdan şevlerin veya yamaçların palyelendirilemeyeceği alanların tünellerle geçilmesi önerilmektedir.
- 6) Torul-Tirebolu karayolu güzergahının kaya düşme potansiyelinin yüksek olması ve hemen hemen her yıl kaya düşmelerinin gözlemlendiği, can ve mal kayıplarına sebep olması gerekçesiyle çalışma alanında belirlenen potansiyel kaya düşme alanlarının Karayolları Genel Müdürlüğü veya AFAD tarafından en kısa sürede iyileştirme planlamasına alınması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Aksoy, H. ve Ercanoğlu, M., 2006. Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using a rule-based fuzzy evaluation, Natural Hazards and Earth System Science, 6, 941-954.
- Akgün, A. ve Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region, Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S. ve Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models, Environmental Geology, 54, 1127-1143.
- Akgün, A., 2011. Assessment of possible damaged areas due to landslide-induced waves at a constructed reservoir using empirical approaches: Kurtun (North Turkey) Dam reservoir area, Kradeniz Technical University, Geological Engineering Department, Trabzon, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1341-1350.
- Akgün, A., Sezer, E.A., Nefeslioğlu, H.A. ve Pradhan, B., 2012. An easy to use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using Mamdani fuzzy algorithm, Computer and Geosciences., 38(1): 23-34, doi:10.1016/j.cageo.2011.04.012.
- Akıncı H., Doğan S., Kılıçoğlu C. ve Temiz M.S., 2011. Production of landslide susceptibility map of Samsun (Turkey) City Center by using frequency ratio method, International Journal of the Physical Sciences, 6(5): 1015-1025.
- Akıncı, H., Yavuz Özalp, A., Özalp, M., Kılıçer Temuçin, S., Kılıçoğlu, C. ve Everan, E., 2015. Production of Landslide Susceptibility Map using Bayesian Probability Model, International Journal of 3-D Information Modeling, 4(2): 16-33.
- Alemdag, S., Akgun, A., Kaya, A. ve Gokceoglu, C., 2014. A large and rapid planar failure: causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey), Arab. J. Geosci., 7 (3), 1205-1221.
- Artuç, E.F., 2014. Susuz Köyü (Çubuk-Ankara) Ve Yakın Çevresinin Kaya Düşme Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 108s.
- Attewell, P.B. ve Farmer, I.W., 1976. Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall, London, 1045.
- Ayala-Carcedo, F., Cubillo-Nielsen, S., Alvarez, A., Dominguez, M.J, Lain, L., Lain, R. ve Ortiz, G., 2003. Large Scale RockFall Reach Susceptibility Maps in La Cabrera Sierra (Madrid) performed with GIS and Dynamic Analysis at 1:5000, Natural Hazards, 30, 325-340.

- Ayalew, L. ve Yamagishi, H., 2004. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan, Geomorphology, 65, 15-31.
- Barton, M.R., 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints. Engineering Geology, 7, 287-332.
- Barton, M.R. ve Choubey, V., 1977. The shear strenght of rock and rock joints. International Journal of Rock Mechanicsand Minning Sciences and Geomechanics Abstracts, 13, 255-279.
- Baecher, G.B. ve Einstein H.H., 1978. Slope Stability models in pit optimisation, Proc. 16 Apcom Symp., Tucson, AZ, USA, Golden Press, 16: 501-512.
- Bednarik M., Yilmaz I. ve Marschalko M., 2012. Landslide hazard and risk assessment: a case study from the Hlohovec-Sered landslide area in South-west Slovakia, Natural Hazards, 64: 547-575, doi:10.1007/s11069-012-0257-7.
- Binal, A. ve Ercanoğlu, M., 2010. Assessment of rockfall potential in the Kula (Manisa, Turkey) Geopark Region, ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES, vol.61, pp.1361-1373.
- Bortoloti, F. D., Castro Junior, R. M., Araújo, L. C. ve de Moraes, M. G. B., 2015. Preliminary landslide susceptibility zonation using GIS-based fuzzy logic in Vitória, Brazil, Environmental Earth Sciences 74: 2125-2141, doi:10.1007/s12665-015-4200-6.
- Bostancı H.T., Alemdağ S., Gürocak Z. ve Gökçeoğlu C., 2018. Combination of discontinuity Characteristics and GIS for regional assessment of natural rock slopes in a mountainous area (NE Turkey), CATENA 165:487-502.
- Bourenane, H., Guettouche, M.S., Bouhadad, Y. ve Braham, M., 2016. Landslide hazard mapping in the Constantine city, Northeast Algeria using frequency ratio, weighting factor, logistic regression, weights of evidence, and analytical hierarchy process methods, Arabian Journal of Geosciences, 9: 154, doi:10.1007/s12517-015-2222-8.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) Baraj Yeri ve Göl Alanının Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Kayaçlarının Jeomekanik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstittüsü, Trabzon, 255s.
- Bulut, F., 1989. (Çaykara-Trabzon) Barajı ve Uzungöl Hidroelektrik Santral Yerlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 183s.
- Brenning, A., 2015. Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling, Computers-Geosciences, Volume 81, 1-11 p.

- CANMET, 1977. Laboratory tests for design parametres, In Pit Slope Manual of CANMET, Supplement 3-2, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report 77-26, 74pp.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. ve Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard, *Earth Surface Process Landforms*, 16 (5), 427-445.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. ve Reichenbach, P., 1995. GIS-based techniques for mapping landslide hazard. In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Publications, Dordrecht, The Netherlands. pp. 135-176.
- Ceryan, Ş., 1998. Harşit Granitoyidi'nin Ayrışması Sınıflandırılması Ayrışmanın Mühendislik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 300s.
- Ceryan, N. ve Ceryan, S., 2008. An application of the interaction matrices method for slope failure susceptibility zoning: Dogankent settlement area (Giresun, NE Turkey), Bull Eng Geol Environ., 67(3):375–385.
- Cruden, D.M., 1978. Discussion of G. Hocking's paper "A method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 15, 217.
- Develi, K., 1996. Harşit Vadisi-Kürtün Barajı Aks Yeri Kayaçlarında Çatlak Yüzeylerindeki Pürüzlülüğünün Sayısal Tanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 136s.
- Eberhardt, E., Stead, D. ve Coggan, J.S., 2004. Numerical analysis of initiation and progressive failure in natural rock slopes—the 1991 Randa rockslide, Int J Rock Mech Min Sci. 41(1):69–87.
- Ercanoglu, M. ve Temiz, F. A., 2011. Application of logistic regression and fuzzy operators to landslide susceptibility assessment in Azdavay (Kastamonu, Turkey), Environmental Earth Science 64: 949-964, doi: 10.1007/s12665-011-0912-4.
- Ergin, E., 1997. Kürtün Barajı Rezervuarındaki Alüvyonların Stabilizasyon Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 71s.
- Erkan, O., 2010. Kürtün Barajı (Kürtün-Gümüşhane) göl alanı sol yamacındaki heyelanlı alanın mühendislik jeolojisi açısından incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 45s.
- Evans, S., 2002. Catastrophic landslides: effects, occurrence, and mechanism, Boulder, CO, Geological Society of America, 412-422.

- Fookes, P.G. ve Denness, B., 1969. Observational studies on fissure patterns in Cretaceous sediments of southeast England, Geotechnique, 19 (4), 453-77.
- Fu, W. ve Liao, Y., 2010. Non-linear shear strength reduction technique in slope stability calculation. Computers and Geotechnics, 37:288-98.
- Gao, H. X. ve Yin, K. L., 2011. GIS-based spatial prediction of landslide hazard risk, Journal of Natural Disasters, 20 (1), 31-36.
- Gediköğlu, A., 1978. Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları, Doçentlik Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (Yayınlanmamış).
- Gediköğlu, A., Özsayar, T. ve Pelin, S., 1979. The Main Lines of the Geotectonic Evolution of the Eastern Pontids in Mesozoic, Era: Geocomp-I, 555-850.
- Goodman, R.E., 1976. Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks, West Publishing, San Francisco, 472p.
- Goodman, R.E., 1980. Introduction to Rock Mechanics. John Wiley&Sons, 362p.
- Goodman R.E., 1989. Introduction to Rock Mechanics. (2nd ed.), Wiley, New York, 562p.
- Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara, 113s.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen Region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques, Engineering Geology, 44, 147-161.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H. ve Ercanoglu, M., 2000. Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altındağ (settlement) region in Turkey, Engineering Geology, 55, 277-296.
- Gurocak, Z., Alemdag S. ve Zaman M., 2008. Rock Slope Stability and Excavatability Assessment of Rocks at the Kapıkaya Dam Site, Eastern Turkey, Eng. Geol., 96(1-2), 17-27.
- Gurocak Z., Alemdag S., Bostanci HT. ve Gokceoglu C., 2017. Discontinuity controlled slope failure zoning for a granitoid complex: A fuzzy approach. In: Xia, T. F. (Ed). Rock Mechanics and Engineering, London, UK, 1-25p.
- Gülibrahimoğlu, İ., Nalbantoğlu, A. K., Saraloğlu, A., Doksanbir, T., Yağcı, A. ve Kırıcı, M., 1985. Trabzon-Maçka Güneyi Yöresinin Jeoloji Raporu, MTA, Proje no: jd 383.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontitler’in 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, M.T.A. Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Guettouche, M.S., 2013. Modeling and risk assessment of landslides using fuzzy logic. Application on the slopes of the Algerian Tell (Algeria), Arabian Journal of Geosciences, 6(9): 3163–3173, doi:10.1007/s12517-012-0607-5.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. ve Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: an aid to a sustainable development, Geomorphology, 31, 181–216.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P. ve Ghigi, S., 2004. Rockfall hazard and risk assessment along a transportation corridor in the Nera Valley, Central Italy, Environ. Manage., 34, 191-208.
- Guzzetti F., Mondini A.C., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M. ve Chang K.T., 2012. Landslide inventory maps: new tools for and old problem, Earth-Science Reviews 112, 42-66.
- Hocking, G., 1976. A method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 13, 225–226.
- Hoek, E. ve Bray, J. 1977. Rock slope engineering. Revised 2nd ed. The Institution of Mining and Metallurgy, London, United Kingdom.
- Hoek, E. ve Bray, J.W., 1981. Rock slope engineering. The Inst. Of Mining and Metallurgy. Stenhen Austin and Sons, London, 527p.
- Hovius, N., Stark, C.P., Tutton, M.A. ve Allen, P.A., 1997. Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping, Geology 25, 231-234 p.
- Irigaray, C., Fernández, T. ve Chacón, J., 2003. Preliminary rock-slope-susceptibility assessment using GIS and the SMR classification, Nat. Hazards, 30, 309-324.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring ISRM suggested methods, Oxford:Pergamon, 211p.
- 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.), Kozan Ofset, Ankara, 628s.
- Jade, S. ve Sarkar, S., 1993. Statistical models for slope instability classification. Eng Geol, 36:91–98.
- Jenning, J.E., 1970. A Mathematical Theory for the Calculation of the Stability of Slopes in Open Cast Mines, Proc. Symp. On Planning Open Pit Mines, Cape Town, Balkema, 87-112p.
- Kalender, A., 2017. Konik Yayılım Yaklaşımıyla Kaya Düşmesi Potansiyelinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yöntem Önerisi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 172s.

- Karadağ, M., 2013. Kalebaşı (Süme-Özkürtün) Mahallesi Yerleşim Alanındaki Yamaçların Duraylılığının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 61s.
- Kayastha, P., Bijukchhen, S.M., Dhital, M.R. ve De Smedt, F., 2013. GIS based landslide susceptibility mapping using a fuzzy logic approach: A case study from Ghurmi-Dhad Khola area, Eastern Nepal, Journal of the Geological Society of India 82(3): 249–261, doi:10.1007/s12594-013-0147-y.
- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen. Bil. Enst., Trabzon, 235s.
- Kaygusuz, A., Şen, C. ve Aslan Z., 2006. “Torul Gümüşhane Volkanitlerin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri KD Türkiye Fraksiyonel Kristallenme ve Magma Karışımına İlişkin Bulgular” Türkiye Jeoloji Bülteni, sayı 49, cilt 1,49-8s.
- Kaygusuz, A., Chen, B., Aslan, Z., Wolfgang. ve Şen, C., 2009. U-Pb SHRIMP Zircon Ages, Geochemical and Sr-Nd Isotopic Compositions of the Late Cretaceous I-type Sariosman Pluton, Eastern Pontides, NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, Vol18,49–581p.
- Keskin, İ., 2013. Evaluation of Rock Falls in an Urban Area: The Case of Boğaziçi (Erzincan/Turkey), Environmental Earth Sciences, Volume 70,1619-1628p.
- Ketin, İ., 1966. Türkiye'nin Tektonik Birlikleri, M.T.A. Yayını, Ankara, 66s.
- Kliche, C.A., 1999. Rock slope stability, Society for Mining, Metal-lurgy, and Exploration, Inc. (SME), Littleton.
- Korkmaz, S. ve Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi Ve Petrol Oluşumları, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, cilt.32-33, 5-15s.
- Korkmaz, S. ve Van, A., 1995. Trabzon Kıyı Bölgesinin Stratigrafisi, 30. Yıl Sempozyumu, 107-107s.
- Köprübaşı, N., 1992. Aşağı Harşit Bölgesinin Mağmatik Petrojenezi ve Masif Sülfitlerde Jeokimyasal Hedef Saptama Uygulamaları, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 129s.
- Kumar, R. ve Anbalagan, R., 2015. Landslide susceptibility zonation in part of Tehri reservoir region using frequency ratio, fuzzy logic and GIS, Journal of Earth System Science, 124(2): 431–448, doi:10.1007/s12040-015-0536-2.
- Liu, C.H., Jaksa, M.B. ve Meyers, A.G., 2009. Atransfercoefficient methodforrockslope toppling. Can. Geotech. J. ,46(1), 1–9.
- Lucas, JM., 1980. A general stereographic method for determining possible mode of failure of any tetrahedral rock wedge, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 17, 57–61p.

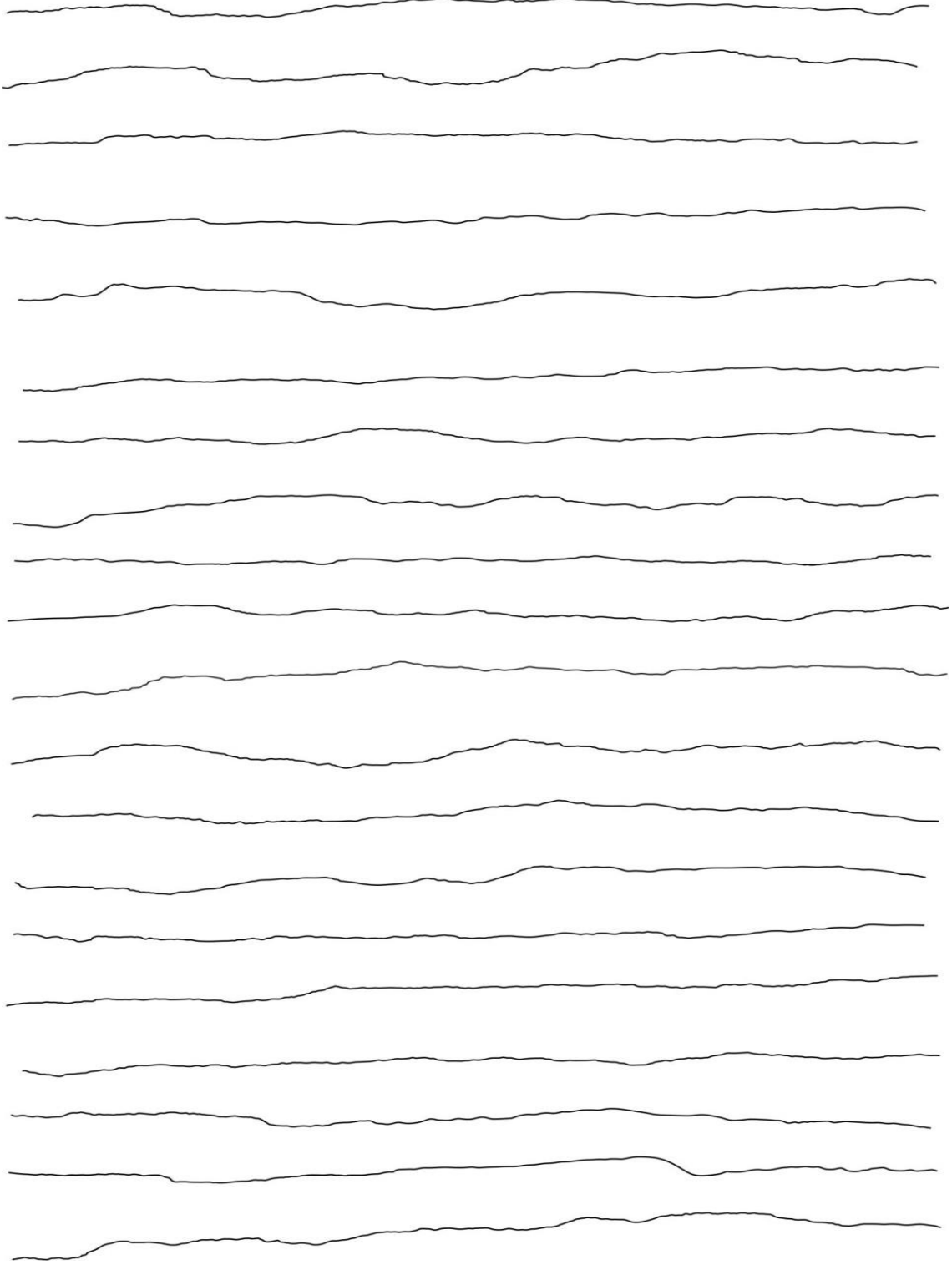
- Marek, J. ve Savely J.P., 1978. Probabilistic analysis of plane shear failure mode in: Proc. 19th US Symp. On Rock Mech., Nevada, USA. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 40-44.
- Markland, J.T., 1972. A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. Imp. Coll. Rock Mech. Res. Rep. 19, 10.
- Matherson, G.D., 1988. The collection and use of field discontinuity data in rock slope design. Q. J. Eng. Geol. 22, 19–30p.
- McMahon, B.K., 1971. A statistical method for the design of rock slopes, Proceedings of 1st Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Melbourne, 314–321p.
- McMahon, B.K., 1975. Probability of Failure and expect volume of failure in high rock slopes, Proc. 2nd Australia – New Zealand Conf. on Geomech., Brisbane, Australia, 308 – 314p.
- Meten, M., Bhandary, N.P. ve Yatabe, R., 2015. Application of GIS-based fuzzy logic and rock engineering system (RES) approaches for landslide susceptibility mapping in Selekula area of the Lower Jema River Gorge, Central Ethiopia, Environmental Earth Science, 74(4): 3395–3416, doi:10.1007/s12665-015-4377-8.
- Mote, T., Morley, D., Keuscher, T. ve Crampton T., 2004. GIS-based kinematic slope stability analysis, The ESRI user conference In: Proceedings 24th annual ESRI international user conference, San Diego, August 9–13.
- Norrish, N.I. ve Wyllie, D.C., 1996. Investigation and Mitigation: Transportation Research Board Special Report, Landslides, Volume 247, 391-425p.
- Orman İşleri Genel Müdürlüğü, 2016. Kaya Düşmesi/Taş ve Kaya Yuvarlanmaları Türkiye Durumu, Nedenleri, Önlemleri Orman ile İlişkisi, 45s.
- Öcal, A. ve Özgenoğlu, A., 1997. Determination of sliding mode of tetrahedral wedges in jointed rock slopes, Rock Mech. Rock Eng. 30, 161 – 165.
- Pehlivan, M., 2008. Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 111s.
- Peker, S., 1998. Kürtün Barajı Dolusavak Güzergahındaki Granodiyorit Jeomekanik Özellikleri ve Bu Güzergahtaki Kazı Şevlerinin Duraylılığı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 153s.
- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B. ve Gokceoglu, C., (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran, Natural Hazards 63(2): 965–996, doi:10.1007/s11069-012-0217-2.

- Pradhan, B., 2010. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. Adv Space Res, 45, 1244-1256.
- Piteau, D.R., 1970. Geological Factors Significant to The Stability of Slopes Cut in Rock, Proc. of The Symp. on Planning Open Pit Mines, S.A. Inst. Min. and Metall., Johannesburg, 33-53.
- Piteau, D.R. ve Martin D.C., 1977. Slope stability analysis and design based on probability techniques at Cassiar Mine., Can. Min. Metall. J. (March), 1 – 12.
- Priest, S.D. ve Hudson, J.A., 1981. Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 18, 183-97.
- Priest, S.D. ve Brown, ET., 1983. Probabilistic stability analysis of variable rock slopes, Trans Inst Min Metall 92:1–12.
- Ritchie, A. M., 1963. Evaluation of Rockfall and Its Control. Highway Research Record, No.17, 3-28p.
- Rocscience Inc. (2003). RocFall Version 4.0 – Statistical Analysis of Rockfalls, www.rocscience.com.tr.
- Schweigl, J., Ferretti, C. ve Nössing, L., 2003. Geotechnical characterization and rockfall simulation of a slope: a pratical case study from South Tyrol, Italy, Engineering Geology, 67, 281-296.
- Shen, J., Priest, S.D. ve Karakus, M., 2012. Determination of Mohr–Coulomb shear strength parameters from Generalized Hoek–Brown criterion for slope stability analysis, Rock Mechanics and Rock Engineering, 45:123-9.
- Stead, D., Eberhardt, E. ve Coggan J.S., 2006. Developments in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical modeling techniques, Eng. Geol. 83(3):217–235.
- Şirin, A., 1995. Kürtün-Torul (Gümüşhane) Arası Karayolu Kaya Şevlerinin Duraylılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 217s.
- Taşlı, K., 1984. Hamsiköy (Trabzon) Yöresinin Jeolojisi, K.T.Ü. Dergisi, 3, 69-76 s.
- Topal, T., Akin, M. ve Ozden, U.A., 2007. Assesment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey. Environ Geol, 52, 191-200.
- Topal, T. ve Akın, M. 2008. Investigation of rockfall hazard around Kastamonu Castle, BAP - 2008-03-09-05, 29 p.

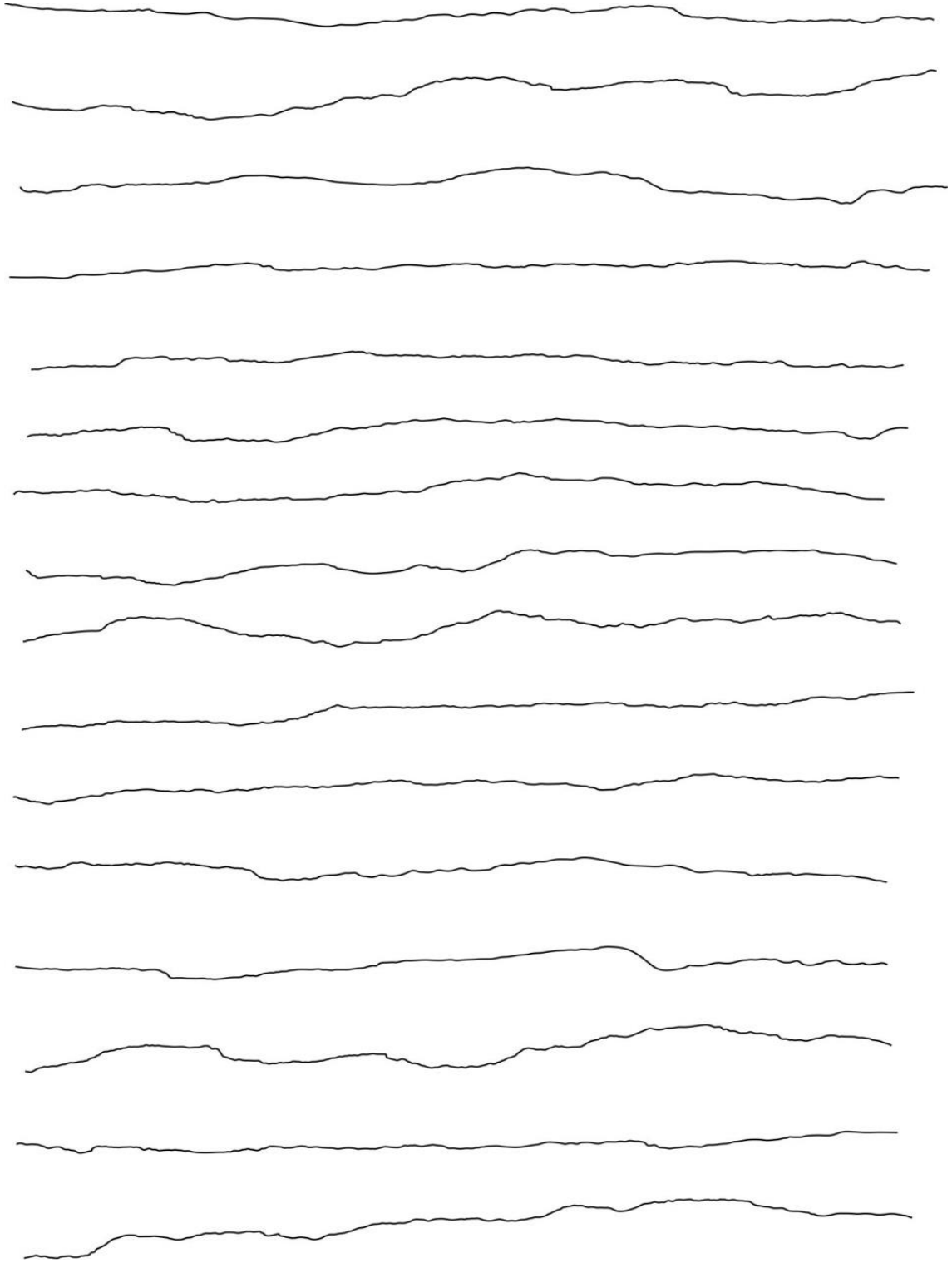
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1 Metal Mining Agency of Japan.
- Umrao, R.K., Singh, R., Ahmad, M. ve Singh, TN., 2011. Stability analysis of cut slopes using continuous slope mass rating and kinematic analysis in Rudraprayag district, Uttarakhand. *Geomaterials* 1:79-87. doi:10.4236/gm.2011.13012.
- Varnes, D. J., 1984. IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements, 1984 Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, UNESCO Press, Paris, 63 p.
- Wyllie, DC. ve Mah, CW., 2004. Rock Slope Engineering. London, CRC Press. 456 p.
- Yalçınalp, B., 1992. Güzelyayla (Maçka-TRABZON) Porfiri Cu-Mo Cevherleşmesinin Jeolojik Yerleşimi ve Jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 175 s.
- Yeşilnacar, M.İ. ve Çetin, H., 2005. Site selection for hazardous wastes: A case study from the GAP area, Turkey, *Engineering Geology*, 81/4, 371-388. (ISSN: 0013-7952).
- Yılmaz, I., 2007. GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study from Sivas basin (Turkey), *Eng. Geol.*, 90, 89-103.
- Yılmaz, I., Yildirim, M. ve Keskin, İ., 2008. A method for mapping the spatial distribution of RockFall computer program analyses results using ArcGIS software, *Bull Eng Environ*, 67, 547-554.
- Yılmaz, I., Marschalko, M., Yildirim, M., Dereli, E. ve Bednarik, M. 2012. GIS-based kinematic slope instability and slope mass rating (SMR) maps: application to a railway route in Sivas (Turkey). *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 71, 351-357.
- Young, D.S., 1993. Probabilistic slope analysis for structural failure. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech.* Abstr. 30 (7), 1623-1629.
- Youssef, AM., 2015. Landslide susceptibility delineation in the Ar-Rayth area, Jizan, Kingdom of Saudi Arabia, using analytical hierarchy process, frequency ratio, and logistic regression models, *Environmental Earth Sciences*, 73 (12), 8499-8518.
- Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., El-Haddad, B.A. ve Dhahry, B.K. (2016). Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75: 63-87, doi:10.1007/s10064-015-0734-9.
- Zorlu, K., 2009. Ermenek İlçesi Yerleşim Yeri (KARAMAN) Kuzey-Kuzey Doğusundaki Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi, TÜBİTAK, Proje No: 107Y071.

6. EKLER

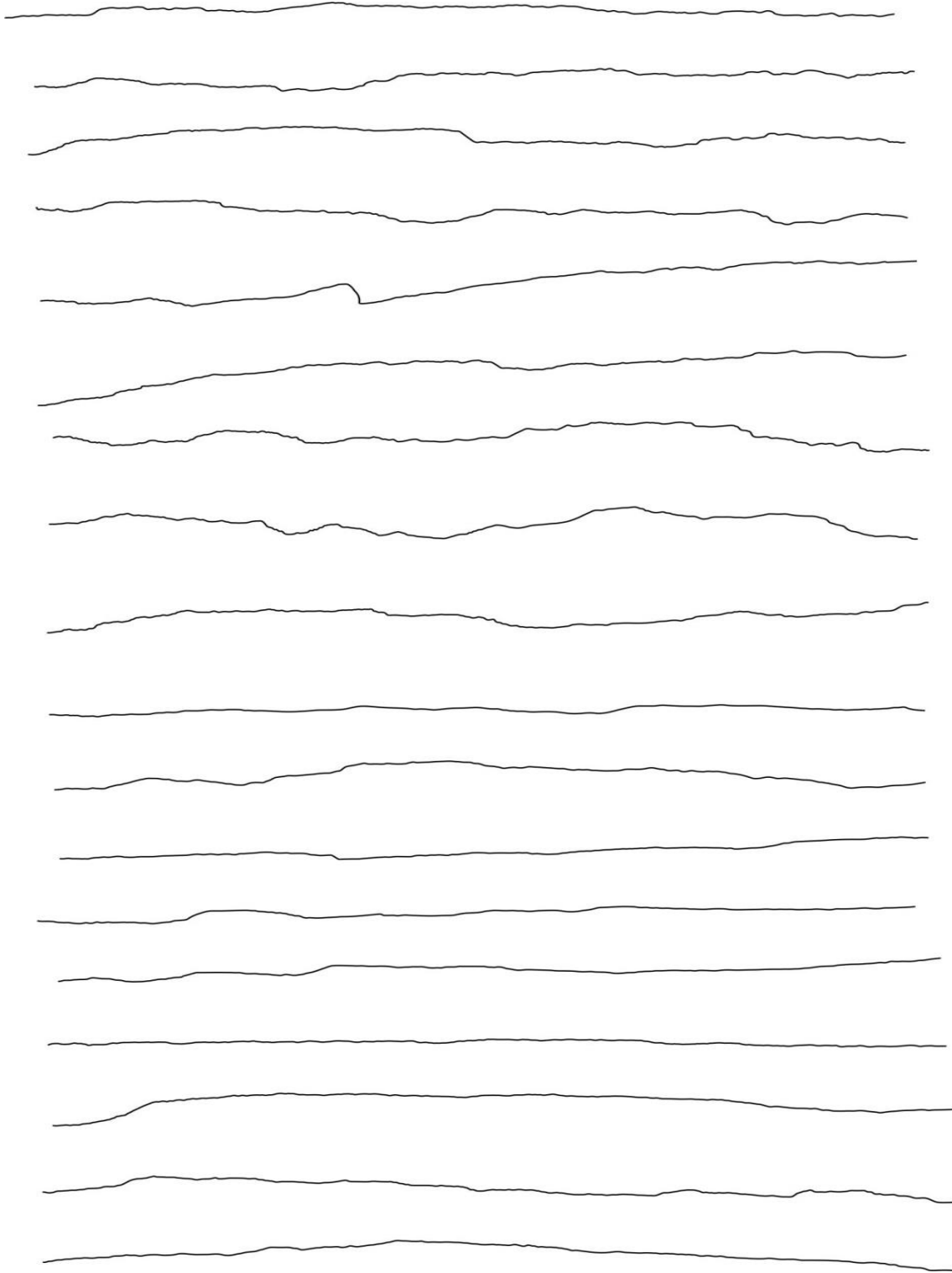
EK-1: Pürüzlülük Profilleri



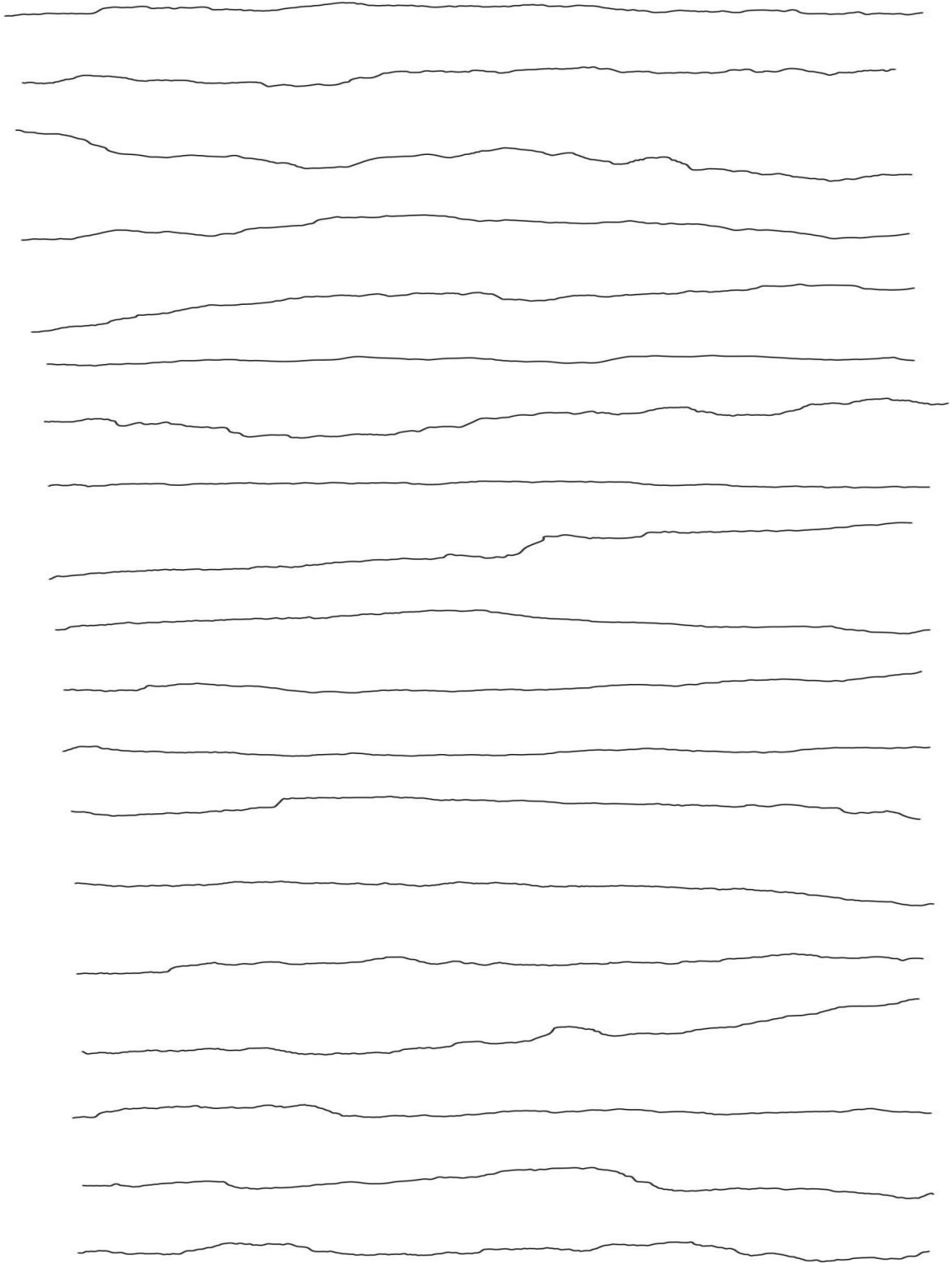
Ek Şekil 1.1. Sarıosman Monzograniti şev pürüzlülük ölçümleri



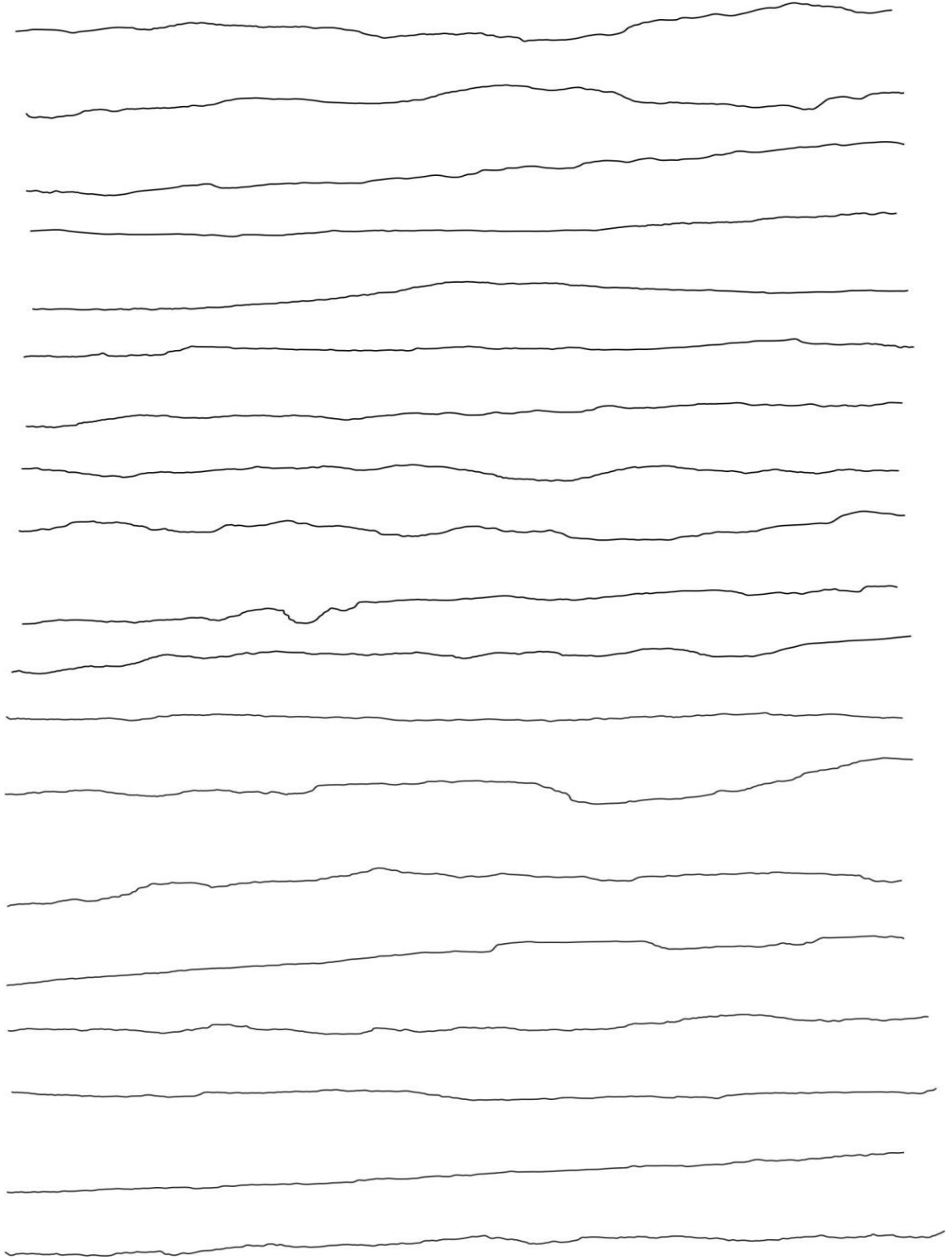
Ek Şekil 1.1. (devamı)



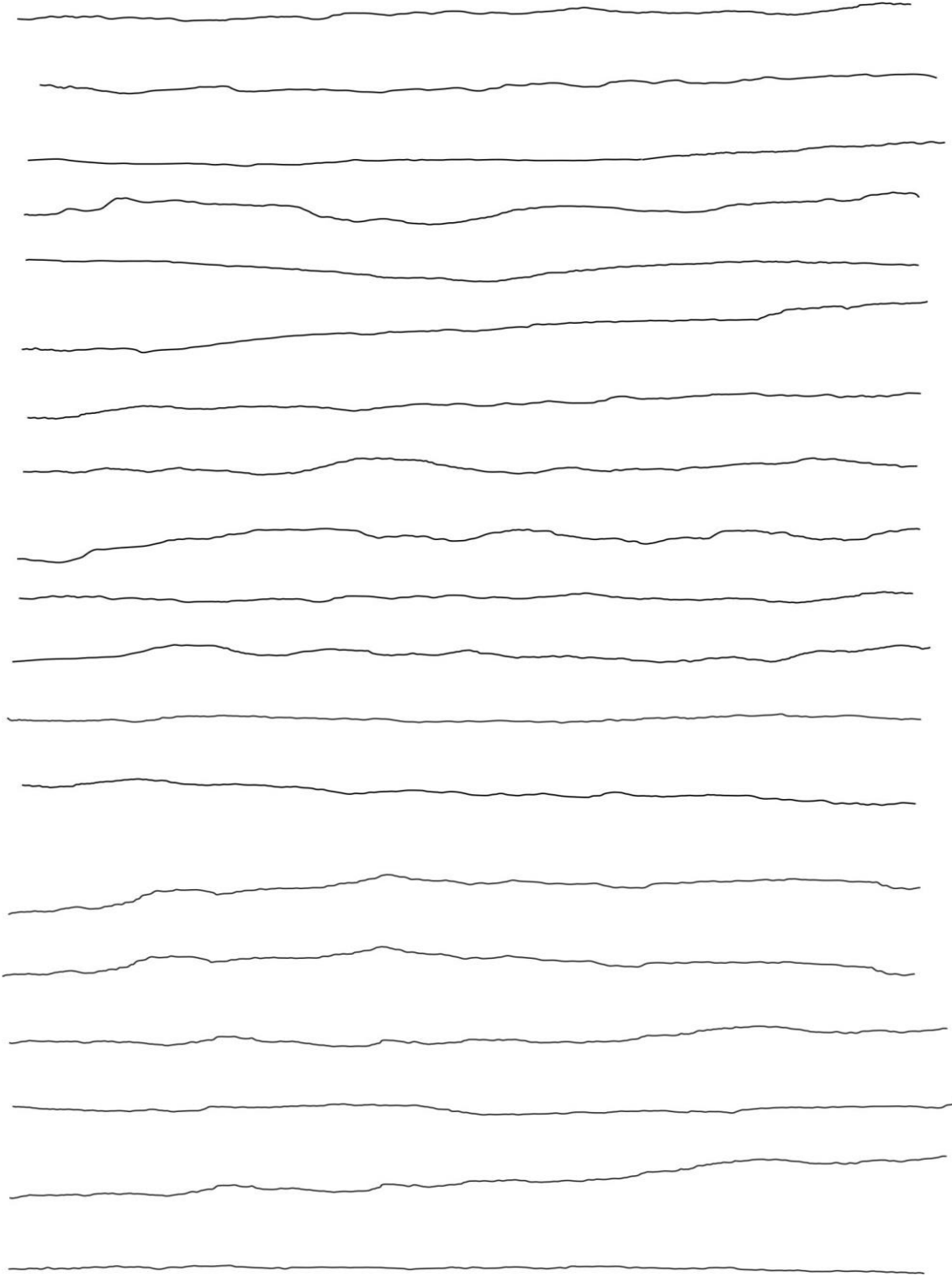
Ek Şekil 1.1. (devamı)



Ek Şekil 1.1. (devamı)

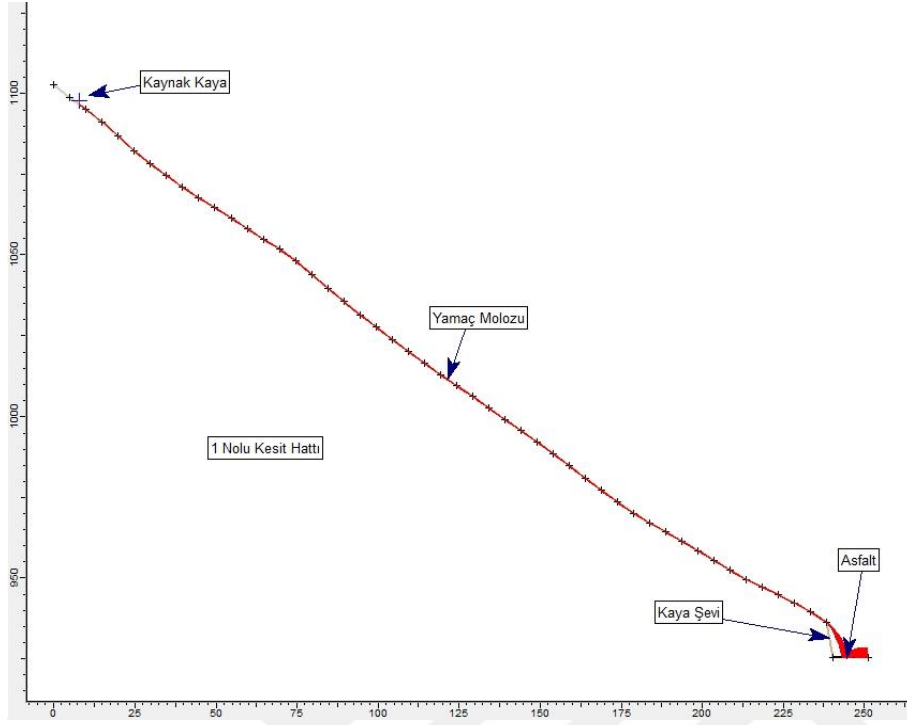


Ek Şekil 1.2. Kızılkaya Formasyonuna ait Dasitlerde şev pürüzlülük ölçümleri

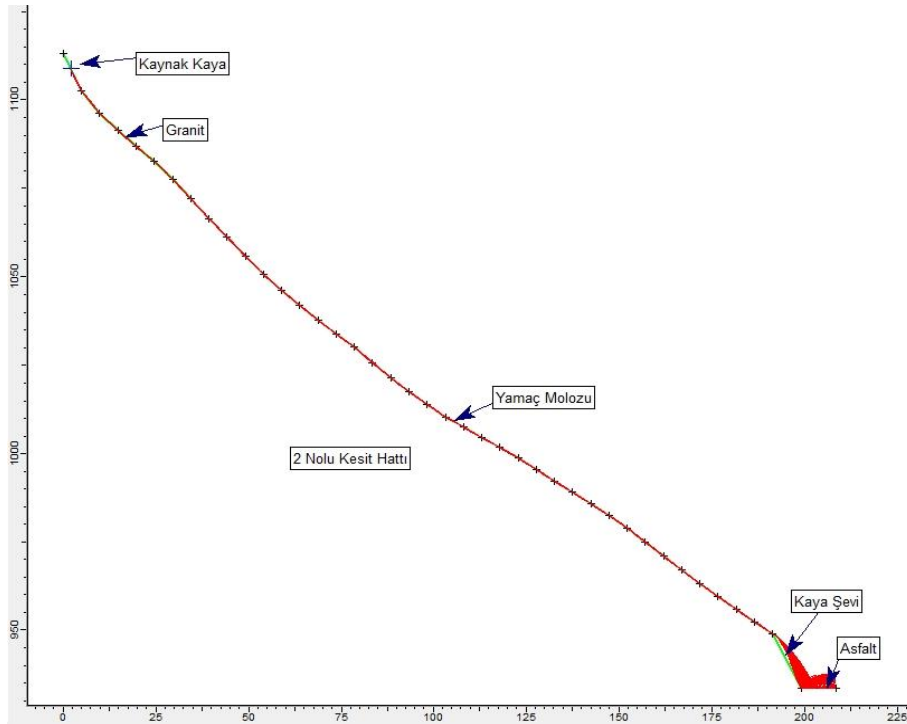


Ek Şekil 1.2. (devamı)

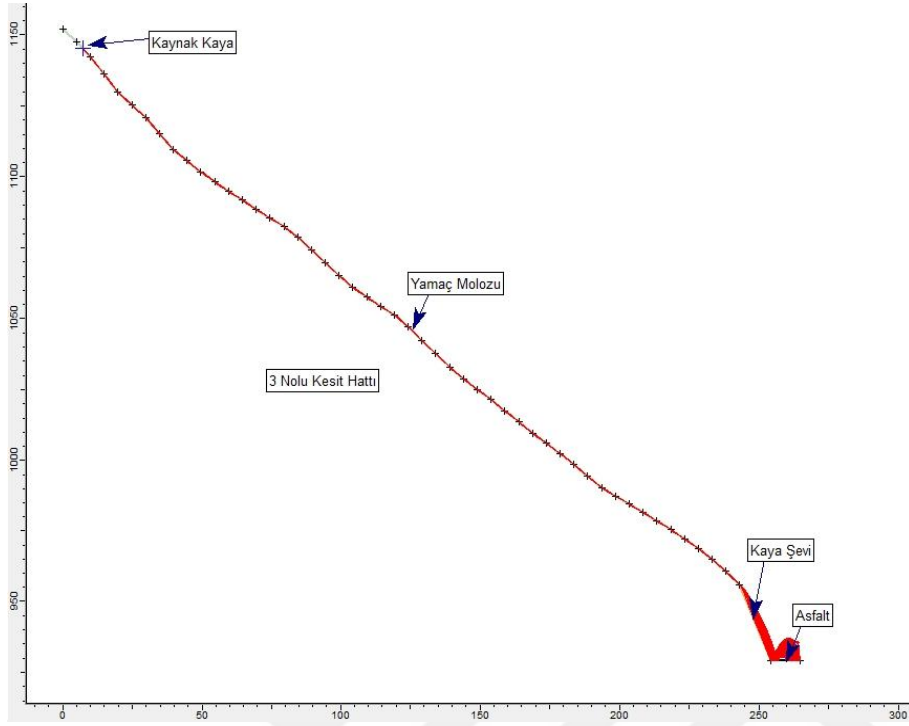
EK-2: Kaya Düşmesi Kesit Analizleri



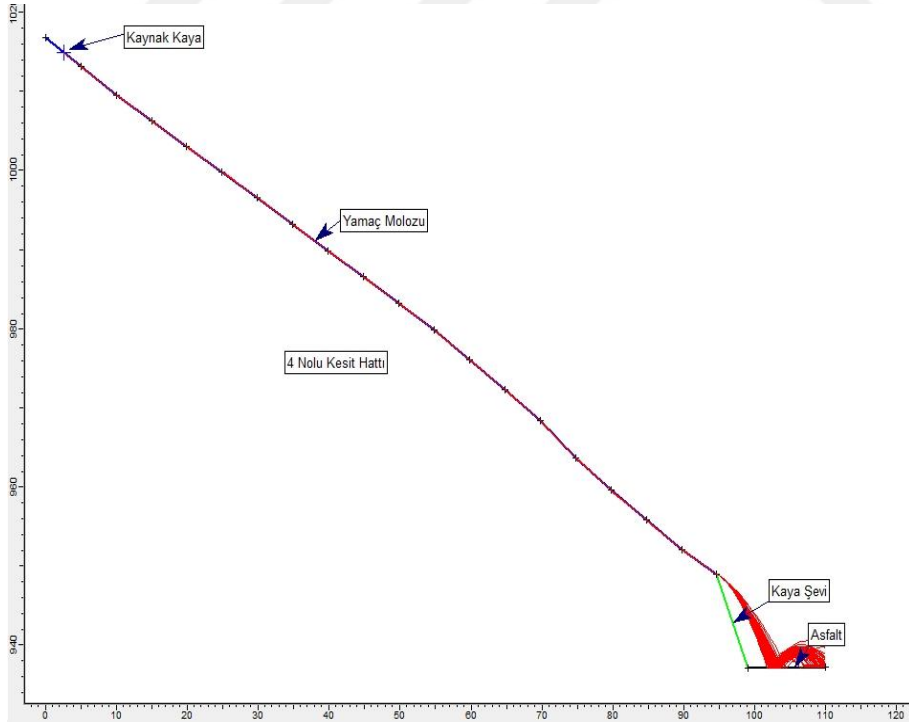
Ek Şekil 2.1. Sariosman Monzograniti SH-1 nolu hat için kaya düşme analizi



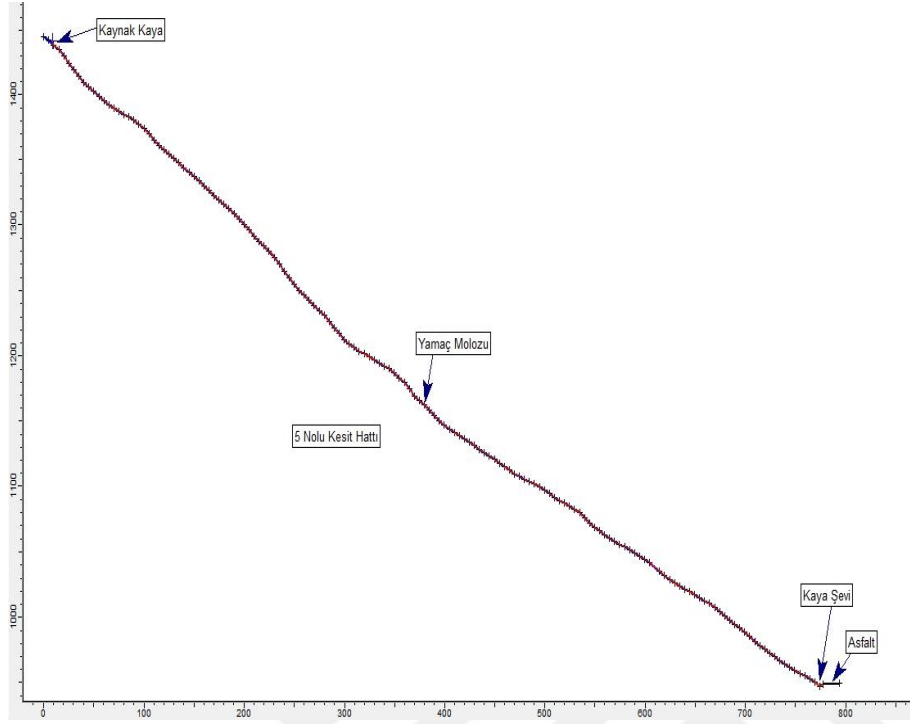
Ek Şekil 2.2. Sariosman Monzograniti SH-2 nolu hat için kaya düşme analizi



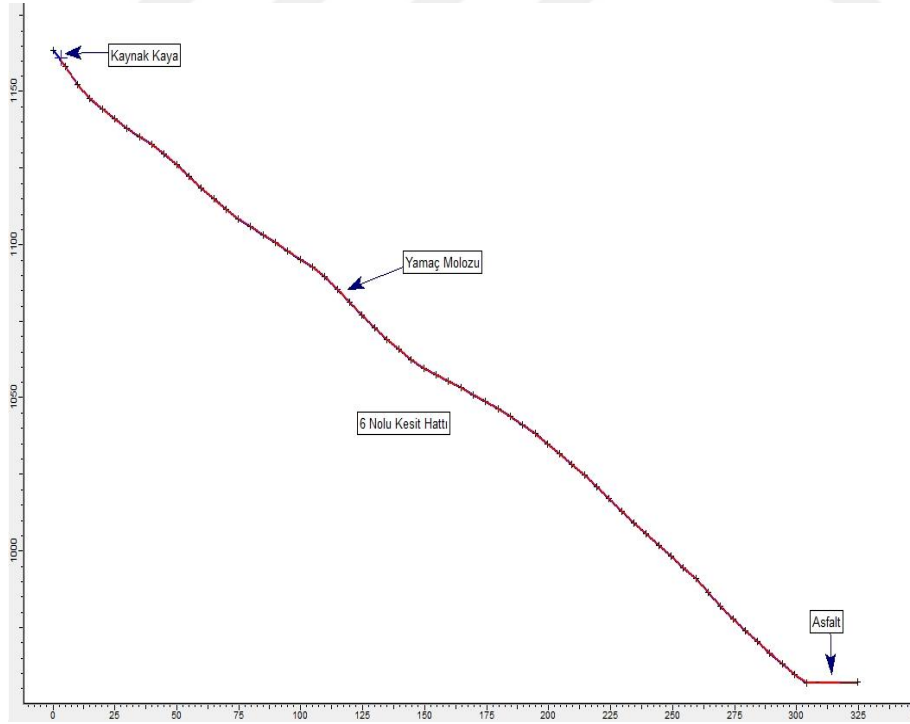
Ek Şekil 2.3. Sariosman Monzograniti SH-3 nolu hat için kaya düşme analizi



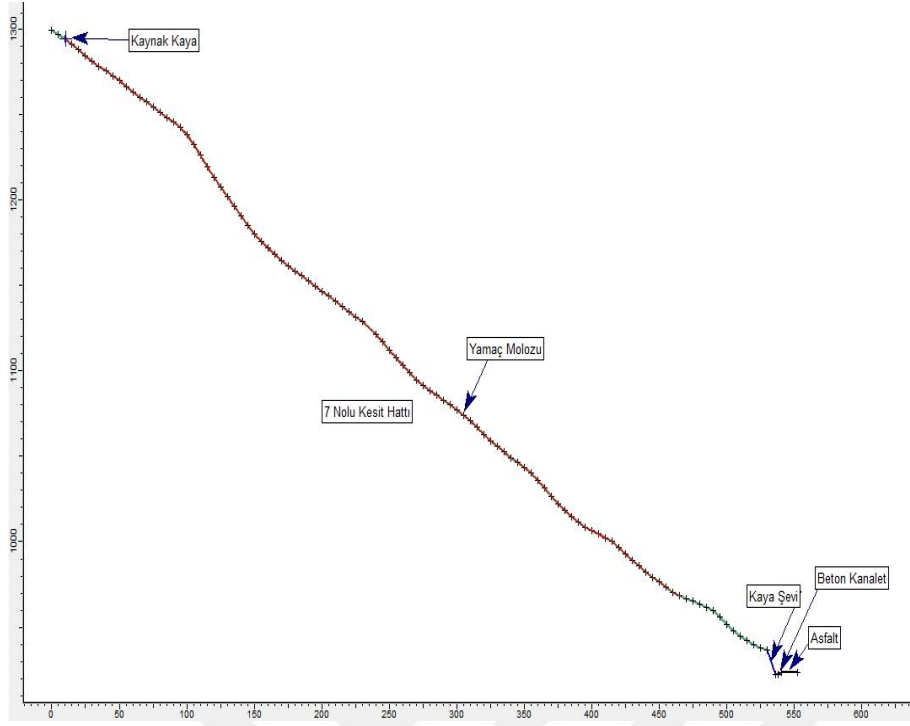
Ek Şekil 2.4. Sariosman Monzograniti SH-4 nolu hat için kaya düşme analizi



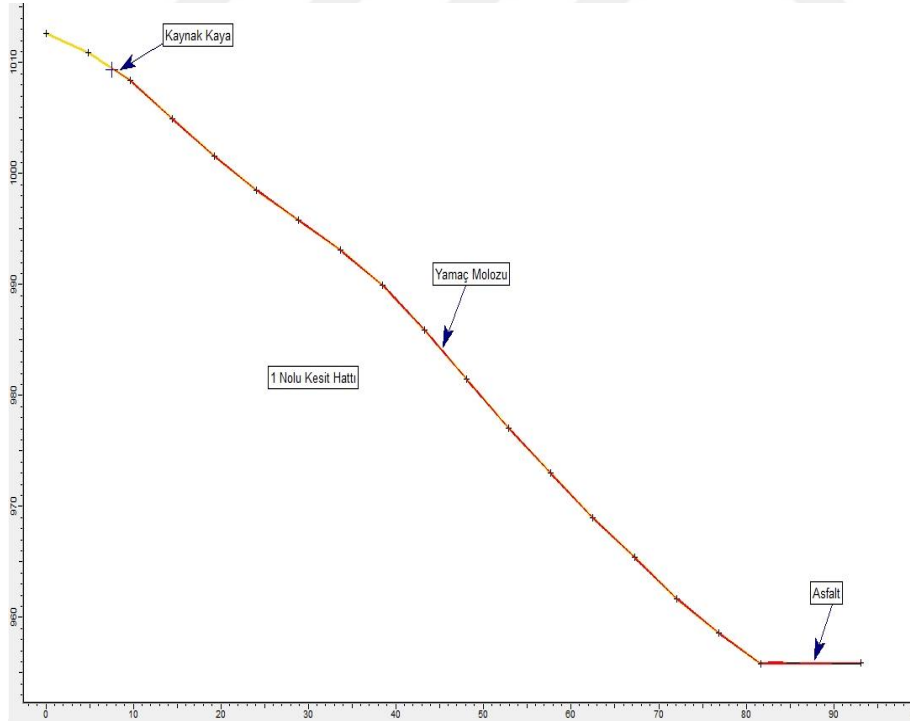
Ek Şekil 2.5. Sarıosman Monzograniti SH-5 nolu hat için kaya düşme analizi



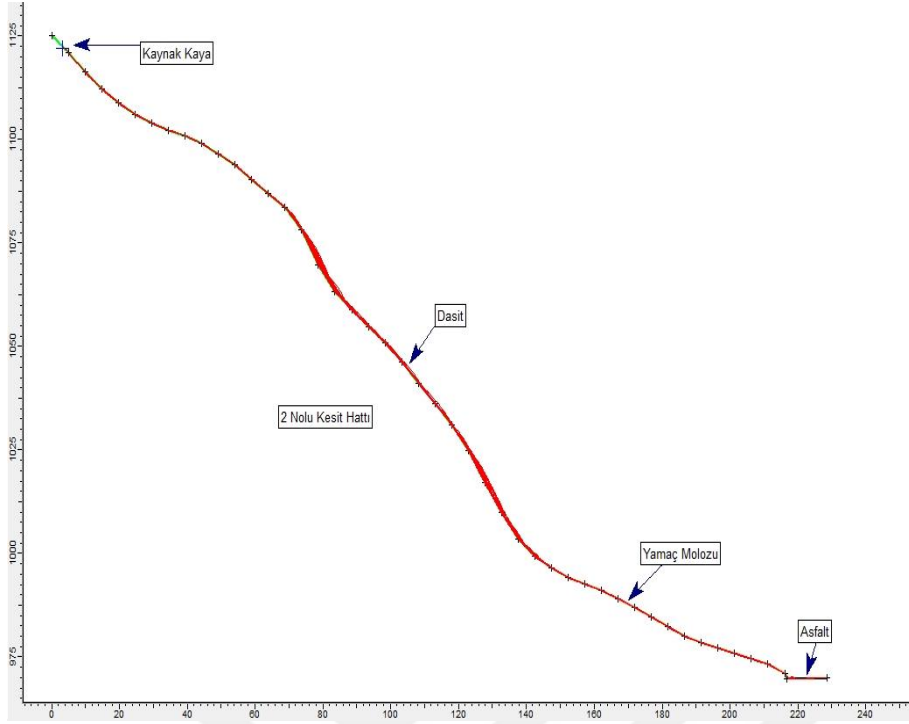
Ek Şekil 2.6. Sarıosman Monzograniti SH-6 nolu hat için kaya düşme analizi



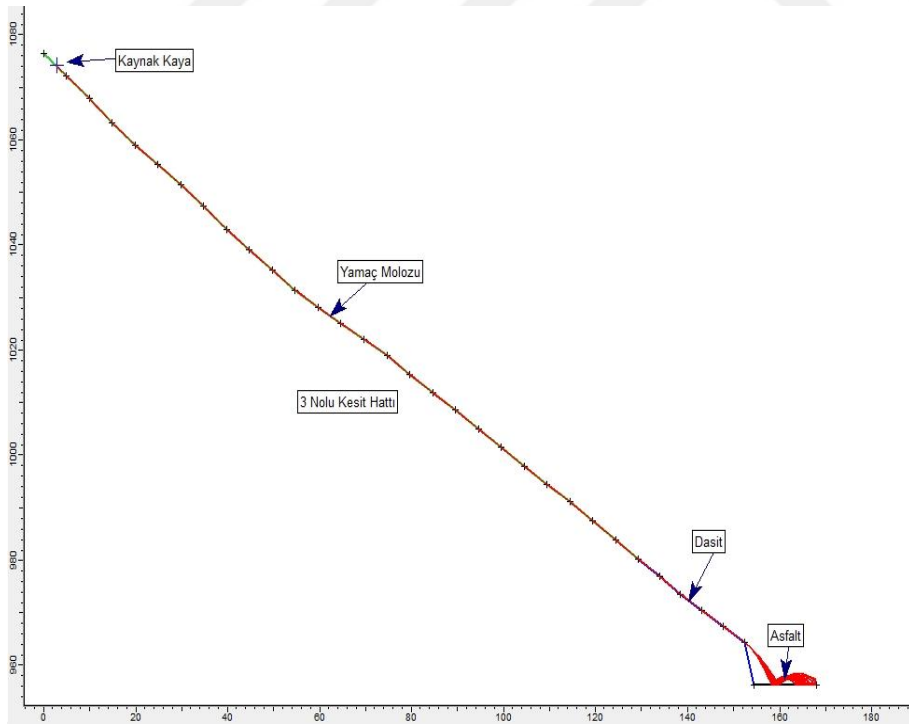
Ek Şekil 2.7. Sarıosman Monzograniti SH-7 nolu hat için kaya düşme analizi



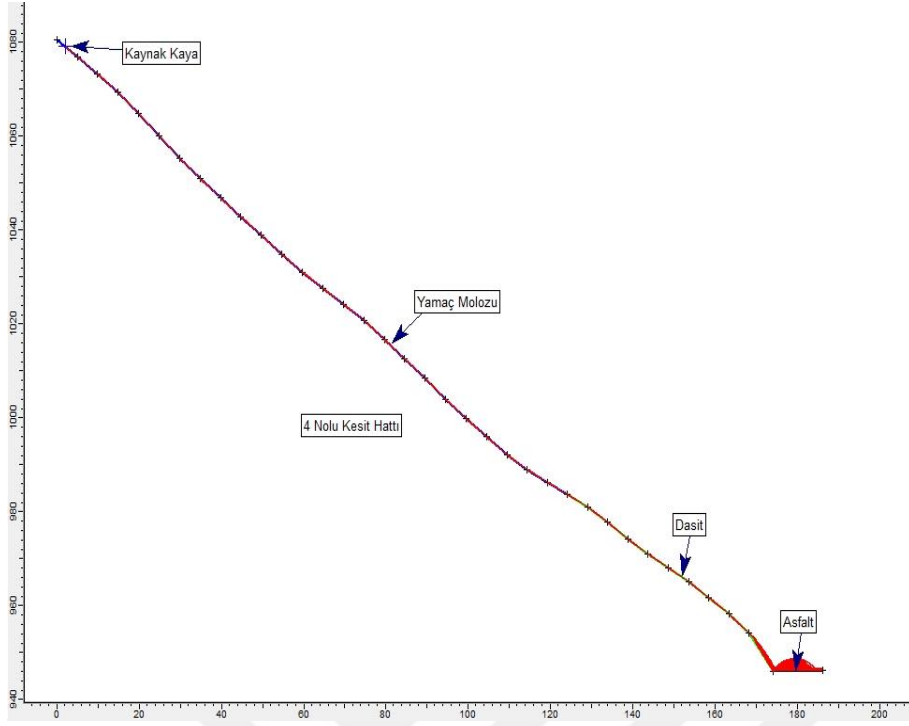
Ek Şekil 2.8. Kızılkaya Dasiti KH-1 nolu hat için kaya düşme analizi



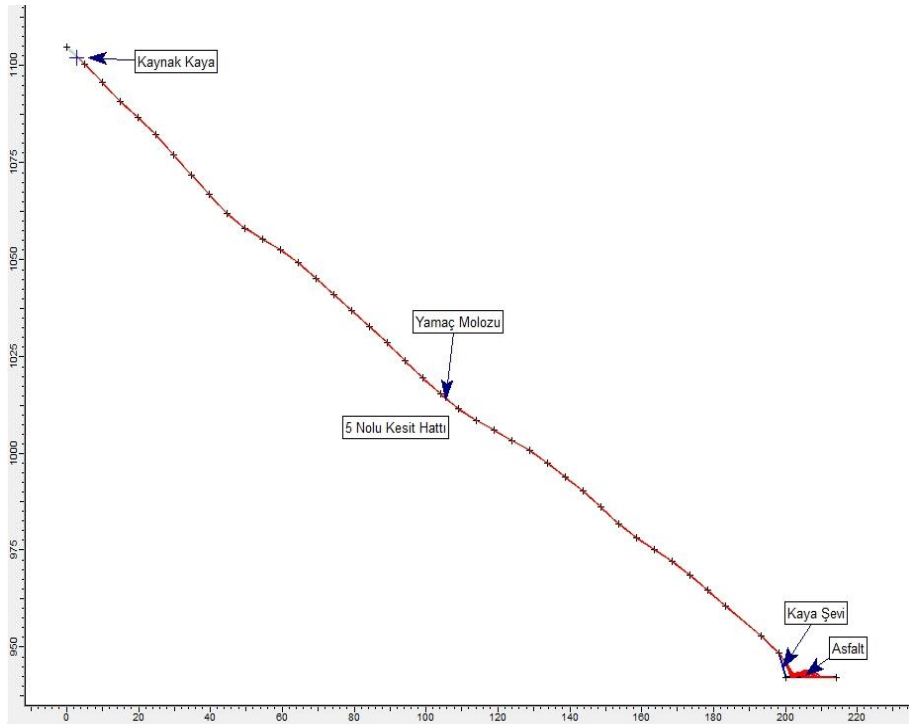
Ek Şekil 2.9. Kızılkaya Dasiti KH-2 nolu hat için kaya düşme analizi



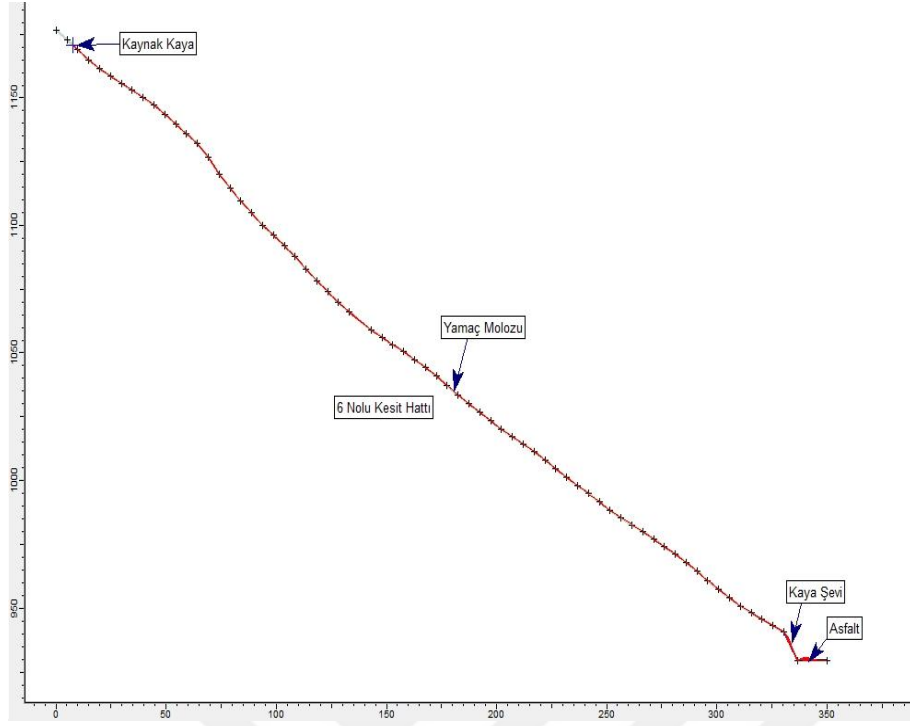
Ek Şekil 2.10. Kızılkaya Dasiti KH-3 nolu hat için kaya düşme analizi



Ek Şekil 2.11. Kızılkaya Dasiti KH-4 nolu hat için kaya düşme analizi

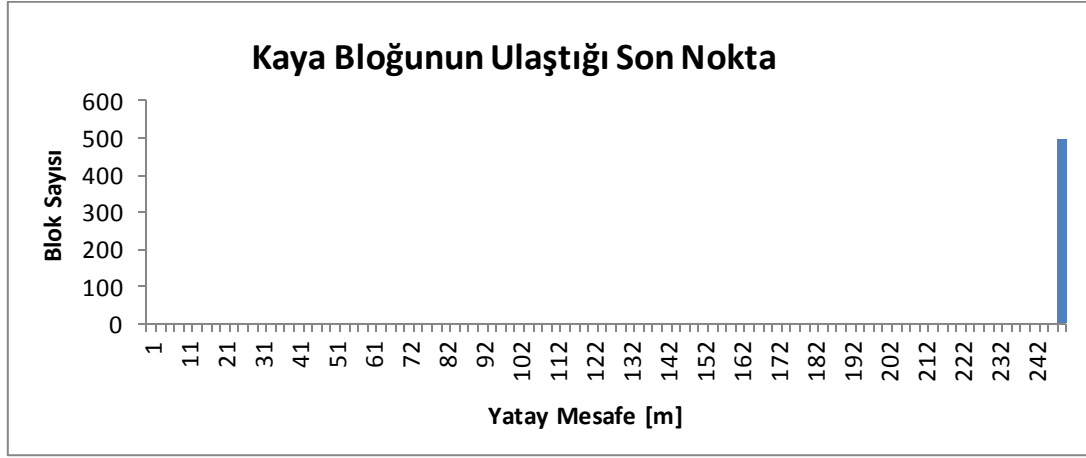


Ek Şekil 2.12. Kızılkaya Dasiti KH-5 nolu hat için kaya düşme analizi

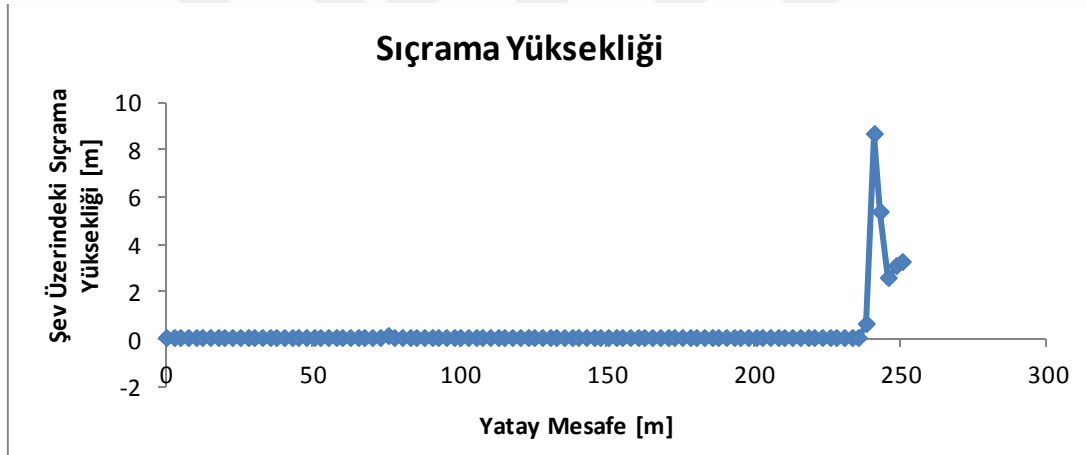


Ek Şekil 2.13. Kızılkaya Dasiti KH-6 nolu hat için kaya düşme analizi

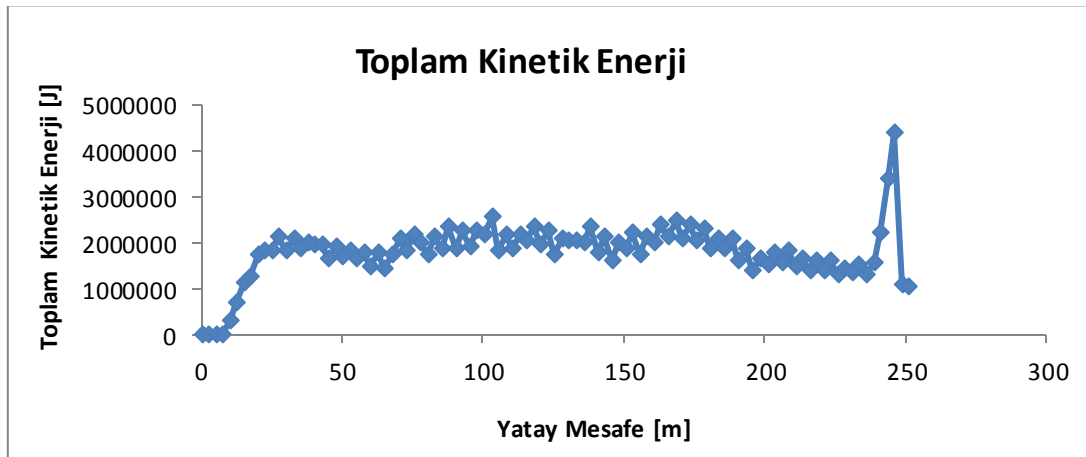
EK-3: Kaya Düşmesi Analiz Sonuçlarının Grafik İle Gösterimi



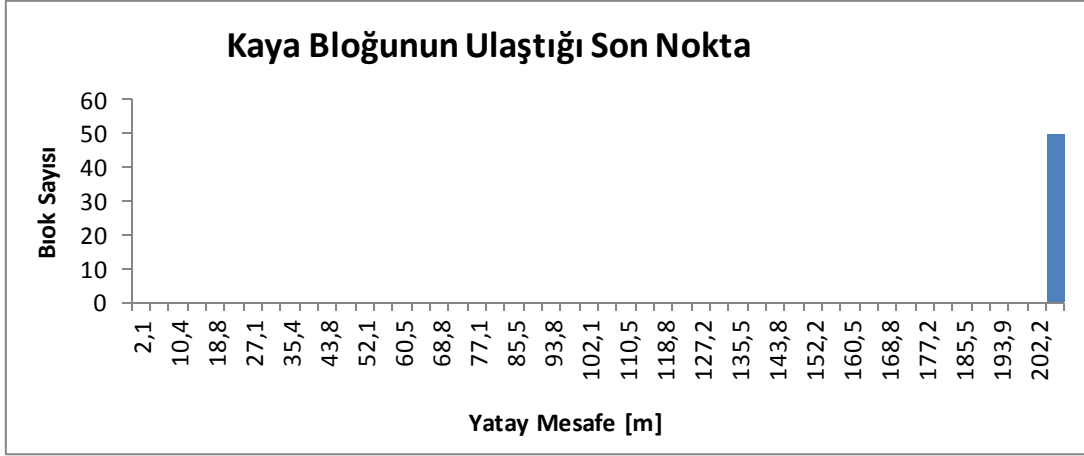
Ek Şekil 3.1.1. Sariosman Monzograniti SH-1 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



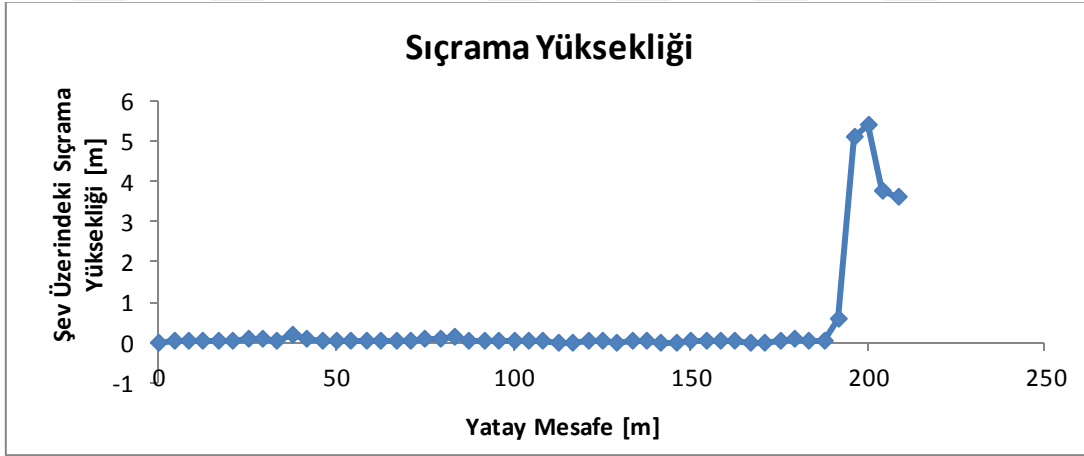
Ek Şekil 3.1.2. Sariosman Monzograniti SH-1 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



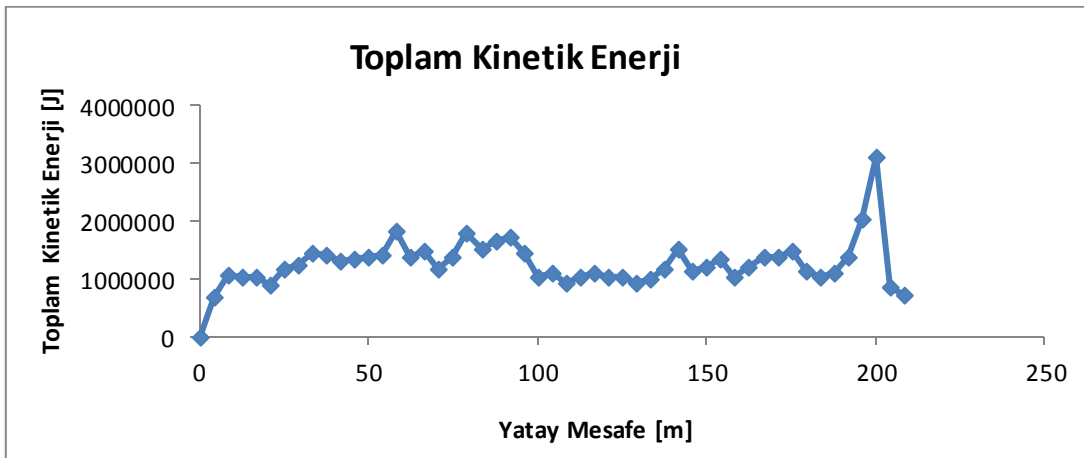
Ek Şekil 3.1.3. Sariosman Monzograniti SH-1 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



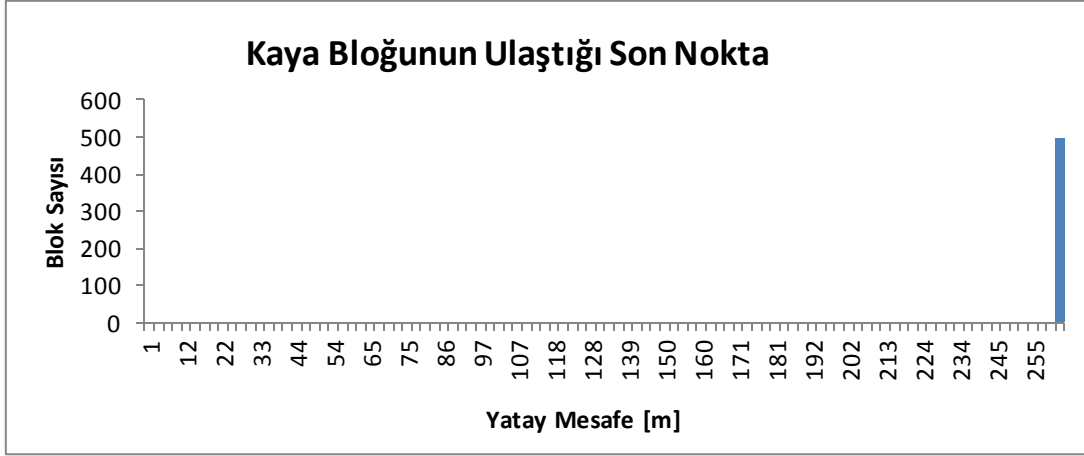
Ek Şekil 3.2.1. Sarıosman Monzograniti SH-2 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



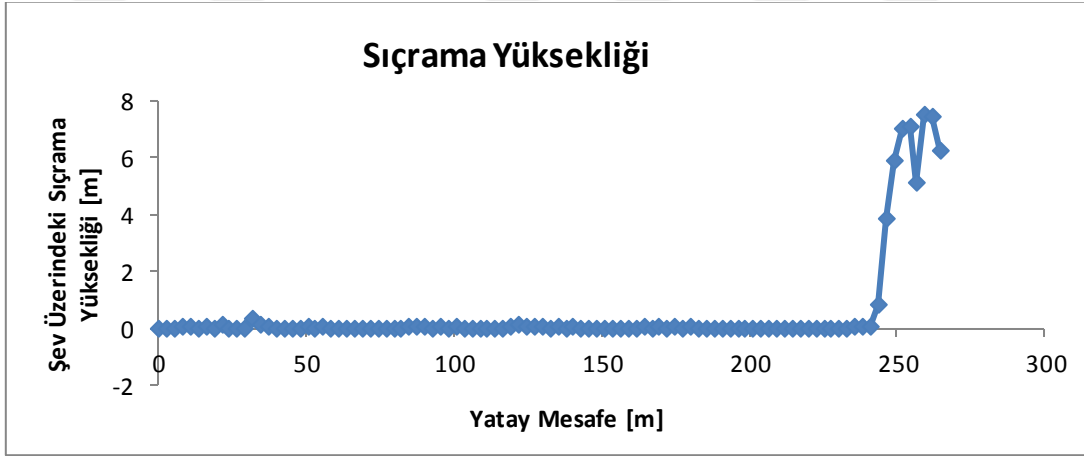
Ek Şekil 3.2.2. Sarıosman Monzograniti SH-2 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



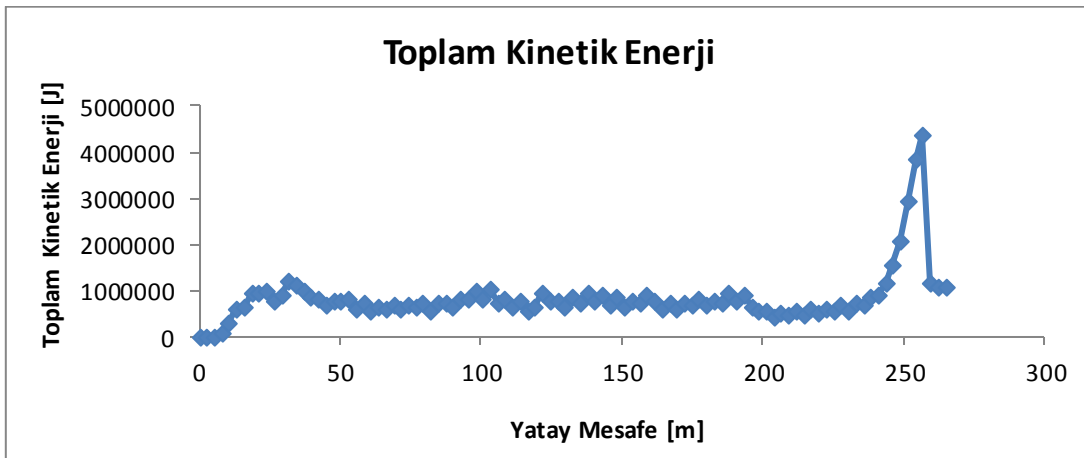
Ek Şekil 3.2.3. Sarıosman Monzograniti SH-2 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



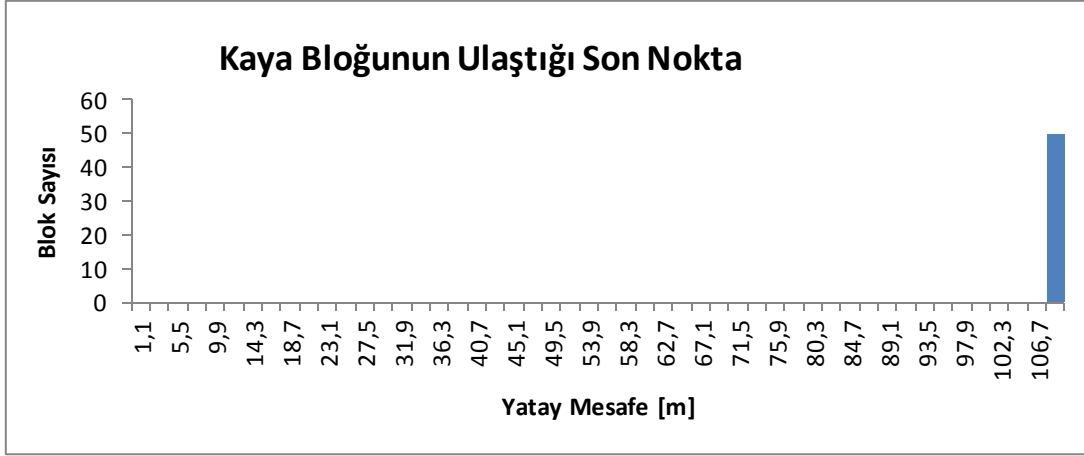
Ek Şekil 3.3.1. Sarıosman Monzograniti SH-3 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



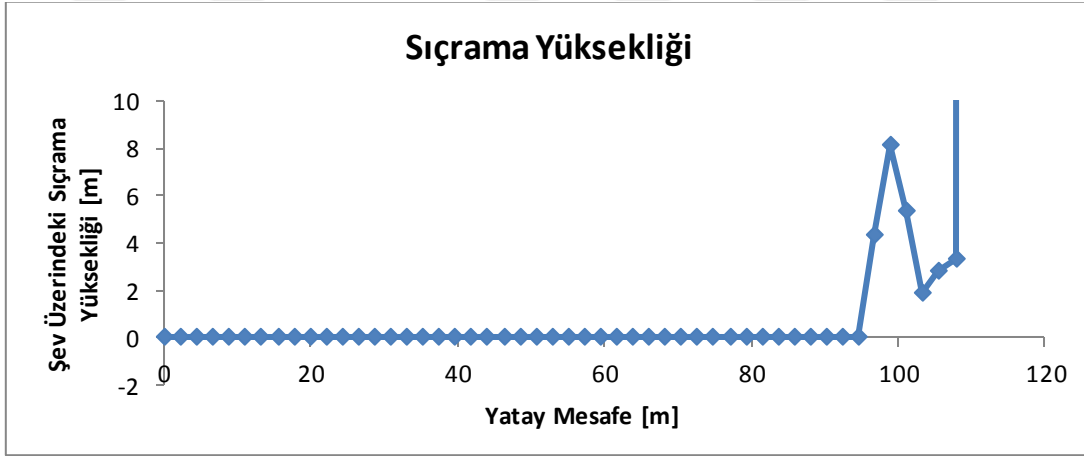
Ek Şekil 3.3.2 Sarıosman Monzograniti SH-3 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



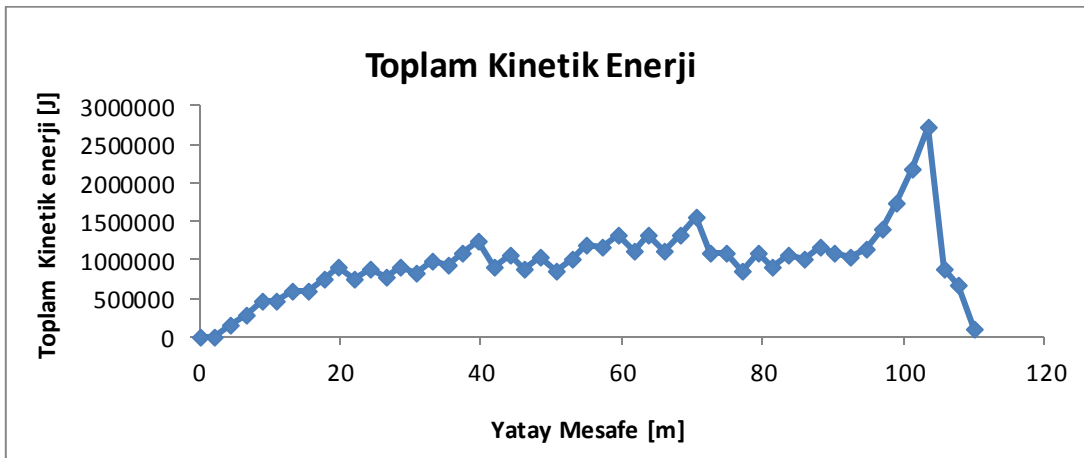
Ek Şekil 3.3.3. Sarıosman Monzograniti SH-3 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



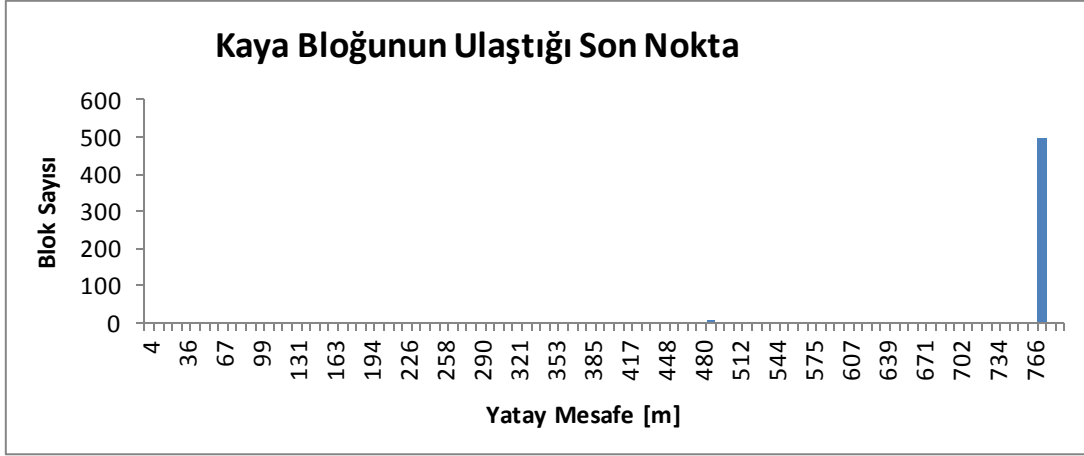
Ek Şekil 3.4.1. Sarıosman Monzograniti SH-4 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



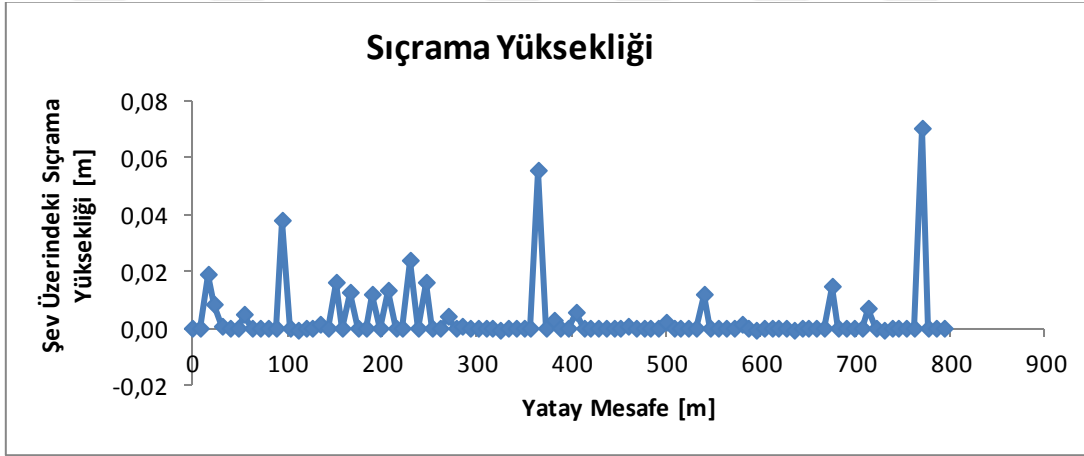
Ek Şekil 3.4.2. Sarıosman Monzograniti SH-4 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



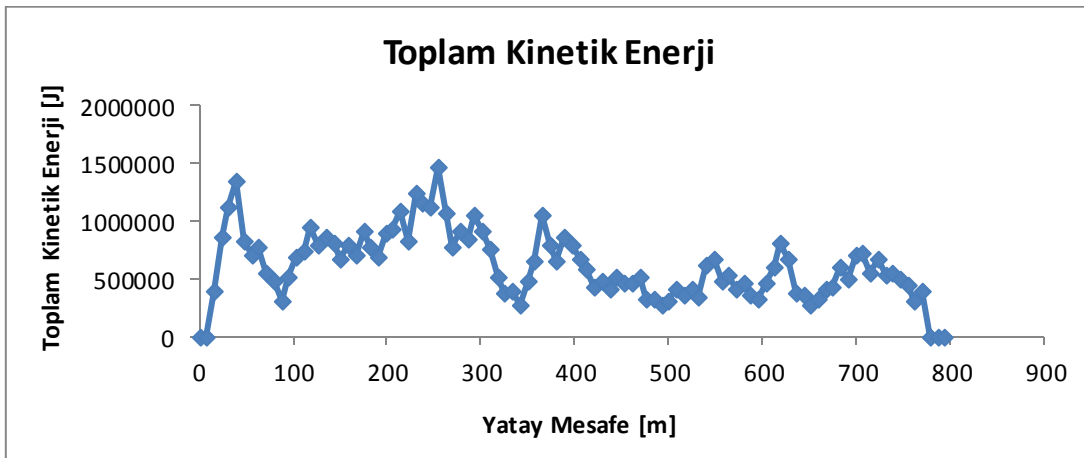
Ek Şekil 3.4.3. Sarıosman Monzograniti SH-4 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



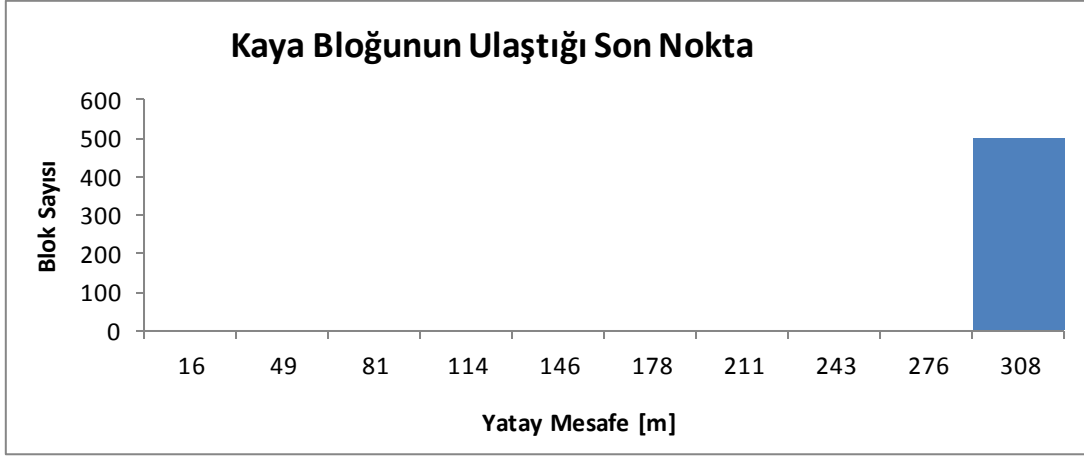
Ek Şekil 3.5.1. Sarıosman Monzograniti SH-5 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



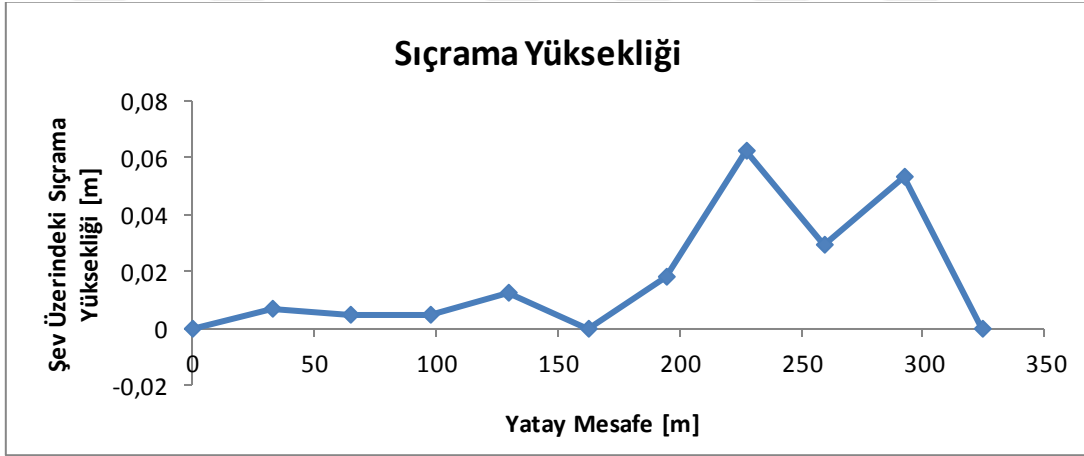
Ek Şekil 3.5.2. Sarıosman Monzograniti SH-5 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



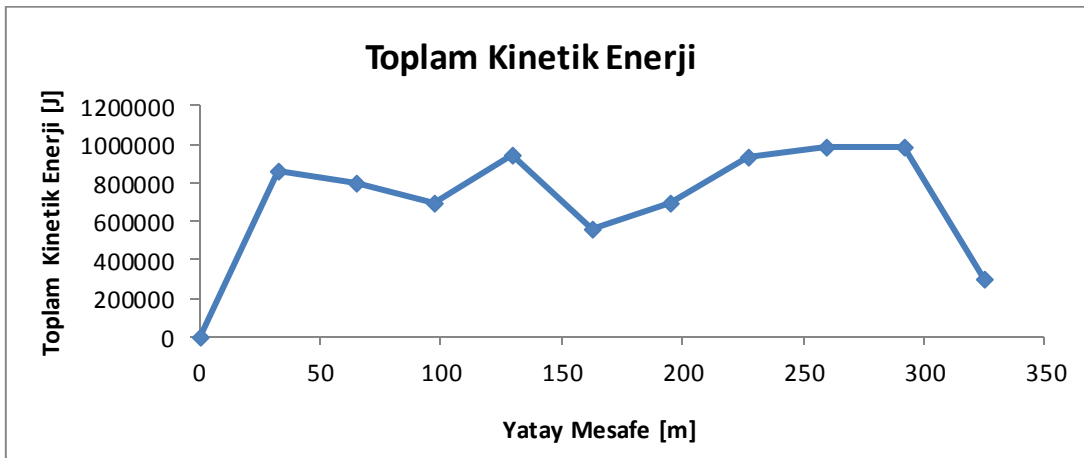
Ek Şekil 3.5.3. Sarıosman Monzograniti SH-5 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



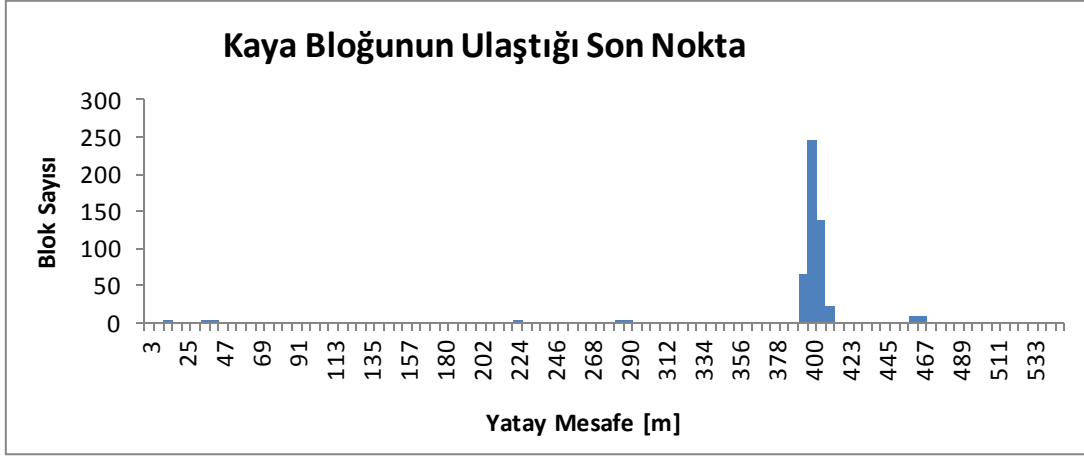
Ek Şekil 3.6.1. Sarıosman Monzograniti SH-6 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



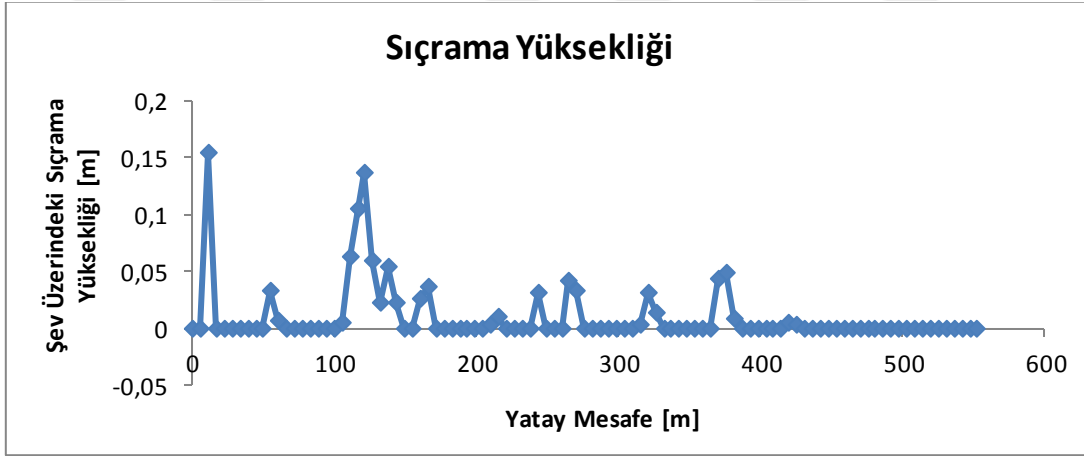
Ek Şekil 3.6.2. Sarıosman Monzograniti SH-6 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



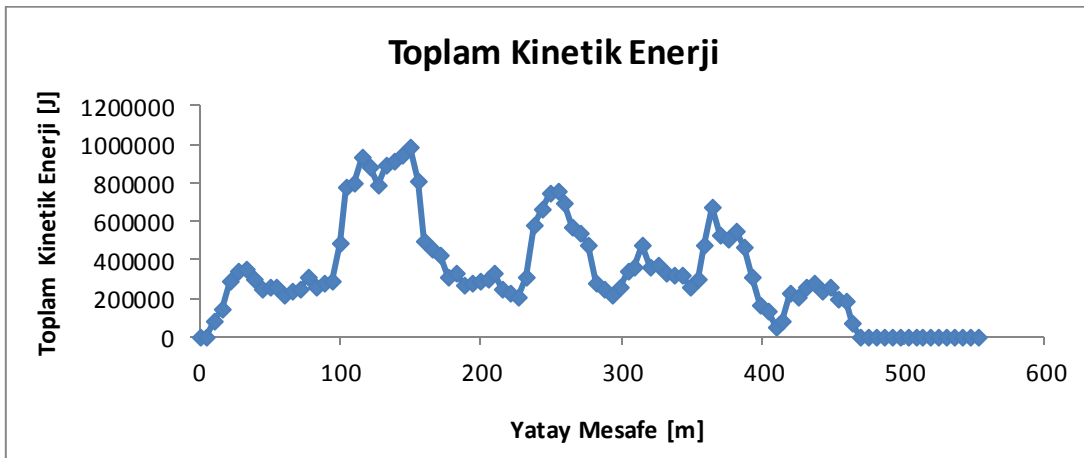
Ek Şekil 3.6.3. Sarıosman Monzograniti SH-6 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



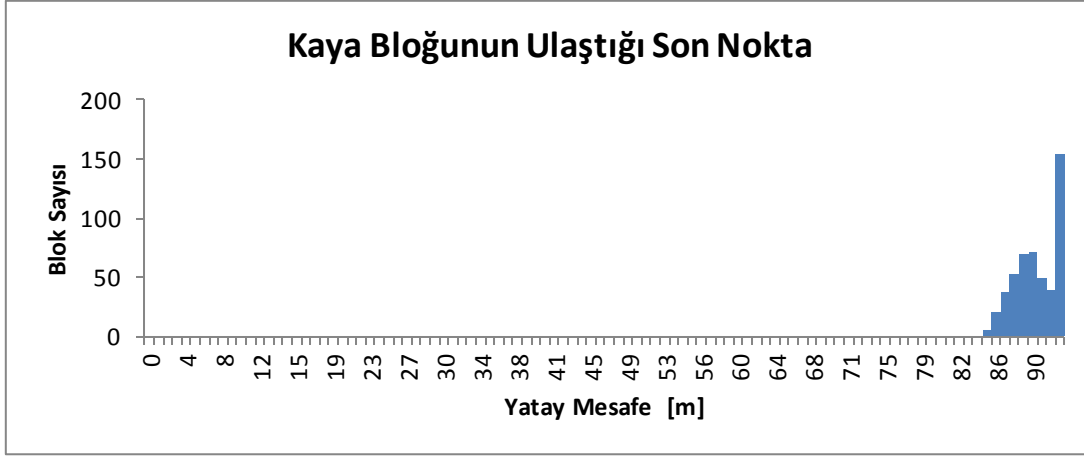
Ek Şekil 3.7.1. Sariosman Monzograniti SH-7 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



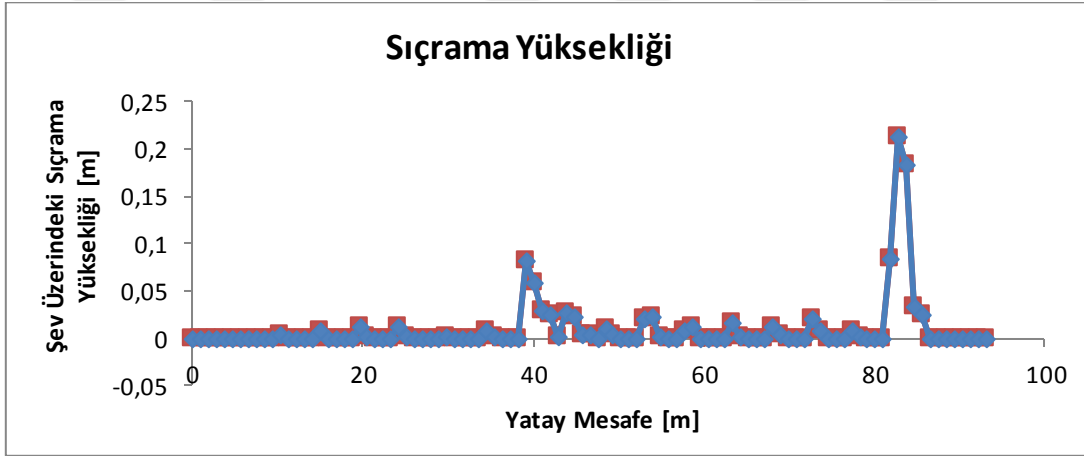
Ek Şekil 3.7.2. Sariosman Monzograniti SH-7 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



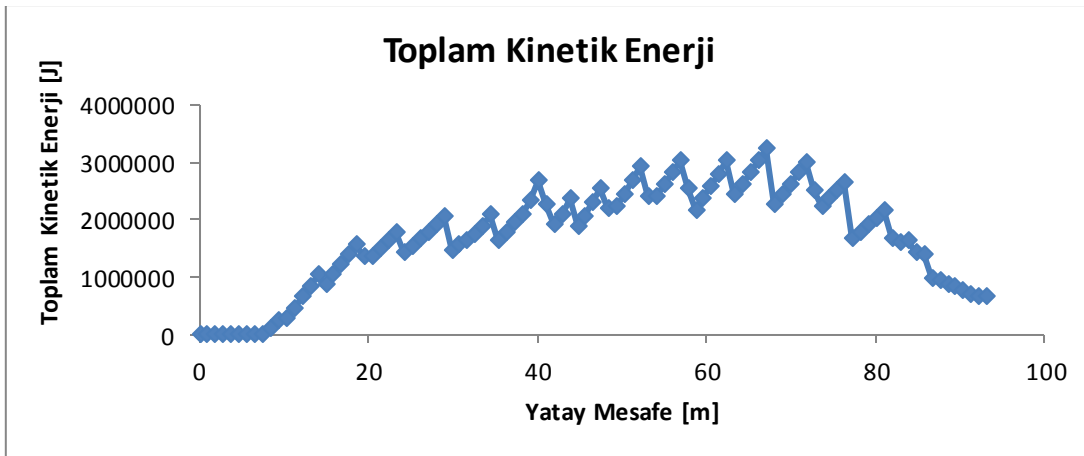
Ek Şekil 3.7.3 Sariosman Monzograniti SH-7 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



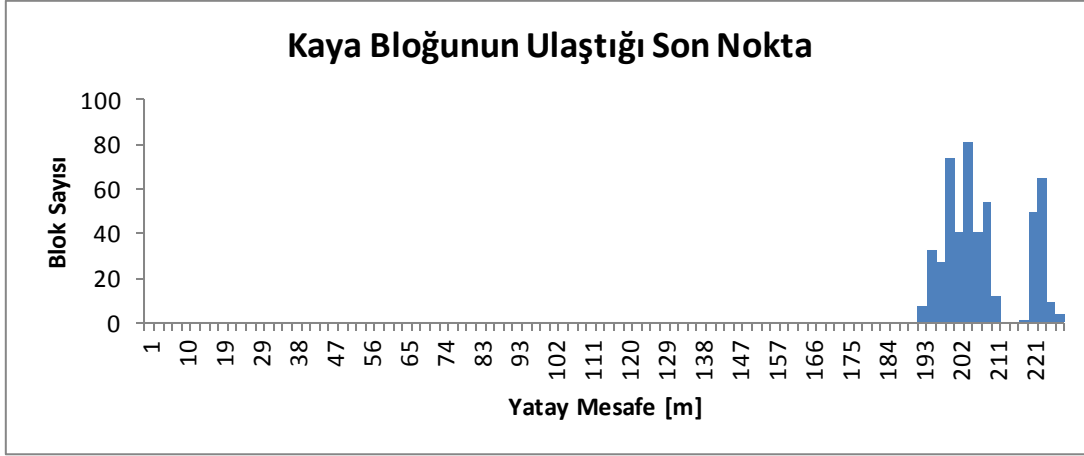
Ek Şekil 3.8.1. Kızılkaya Dasiti KH-1 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



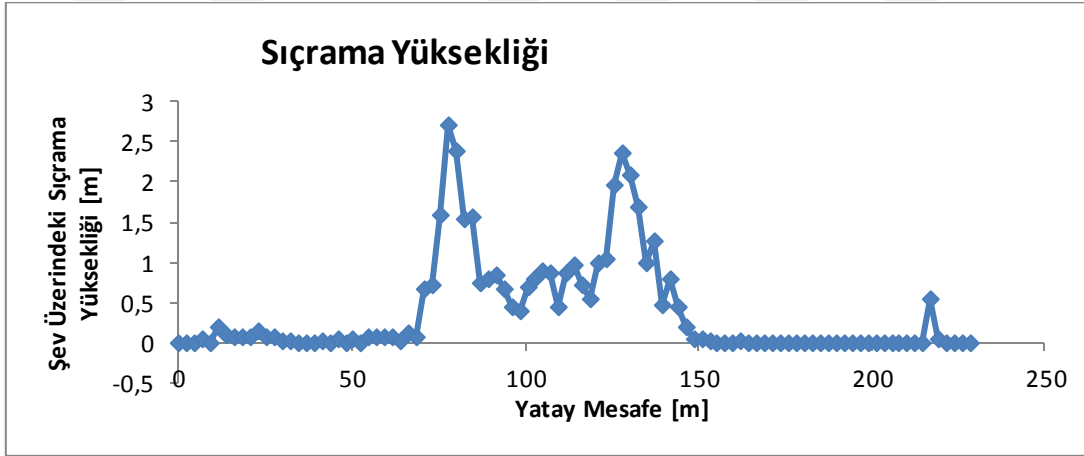
Ek Şekil 3.8.2. Kızılkaya Dasiti KH-1 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



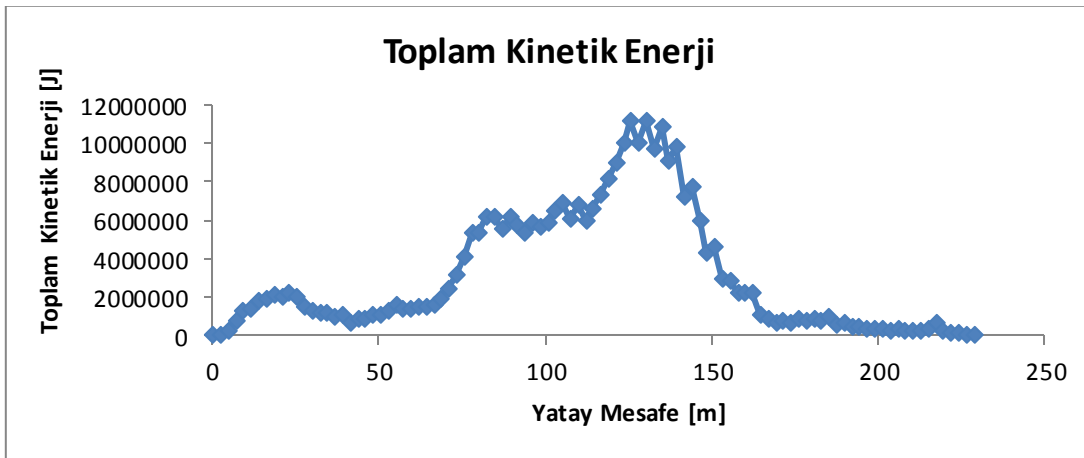
Ek Şekil 3.8.3. Kızılkaya Dasiti KH-1 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



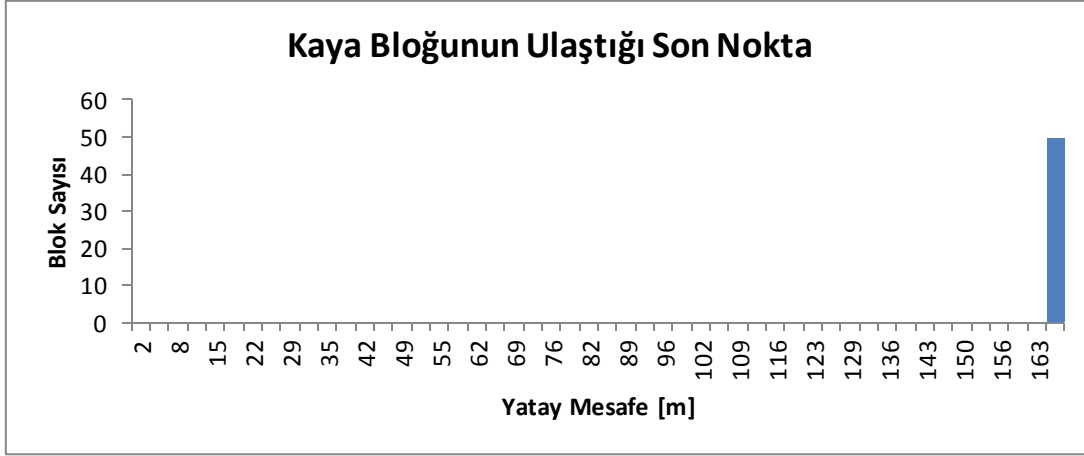
Ek Şekil 3.9.1. Kızılkaya Dasiti KH-2 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



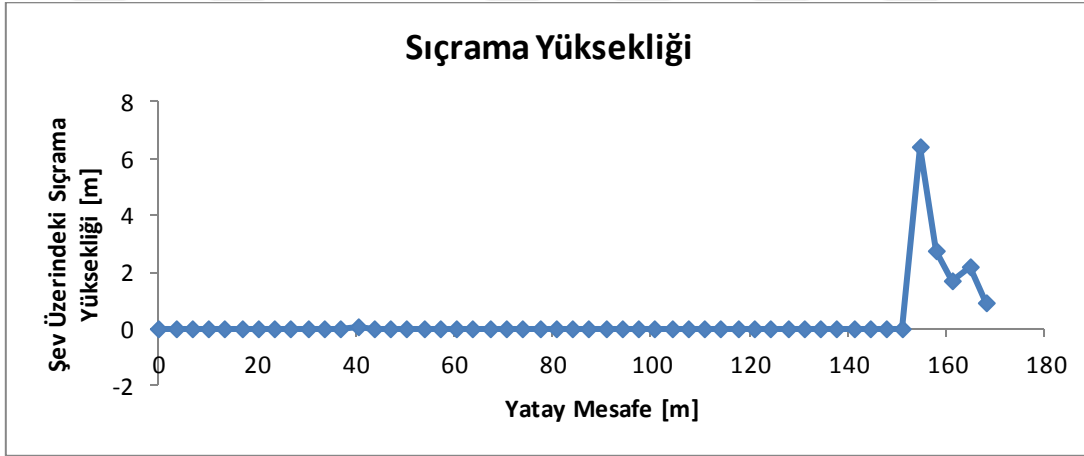
Ek Şekil 3.9.2. Kızılkaya Dasiti KH-2 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



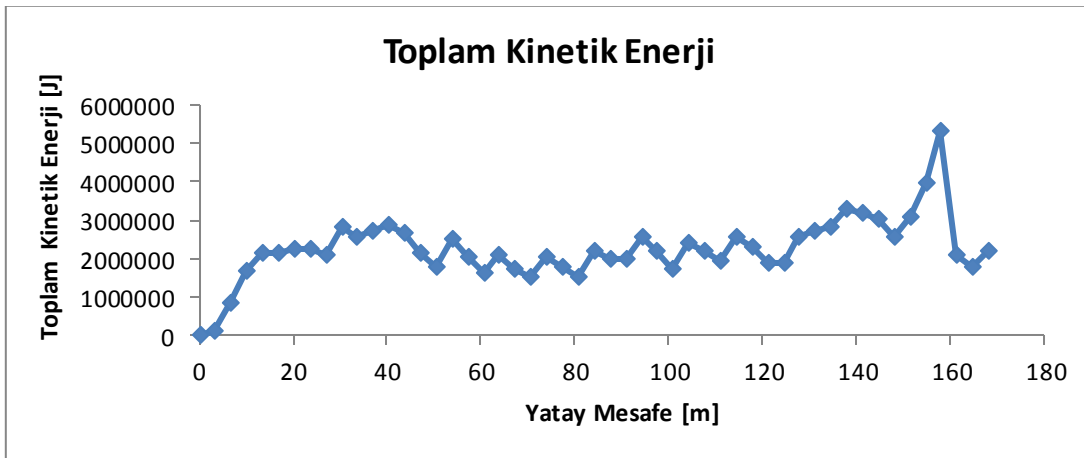
Ek Şekil 3.9.3. Kızılkaya Dasiti KH-2 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



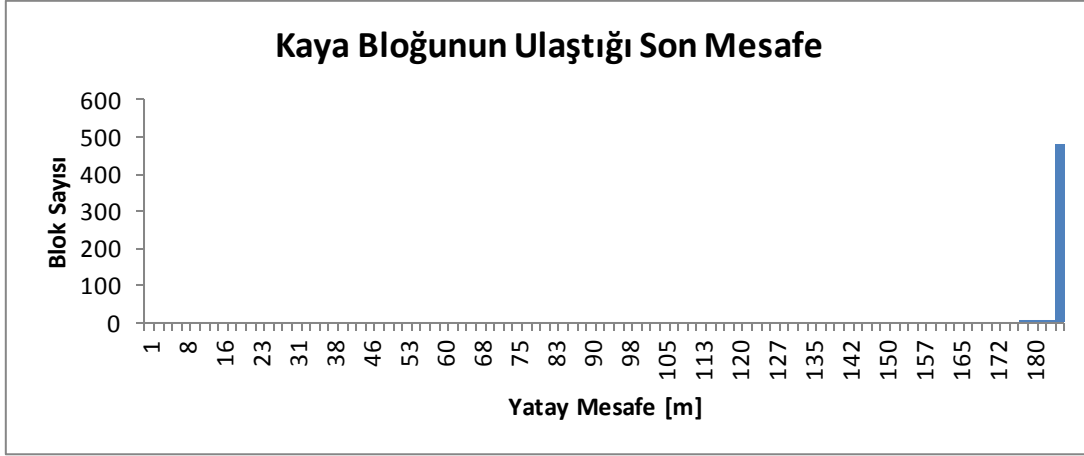
Ek Şekil 3.10.1. Kızılkaya Dasiti KH-3 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



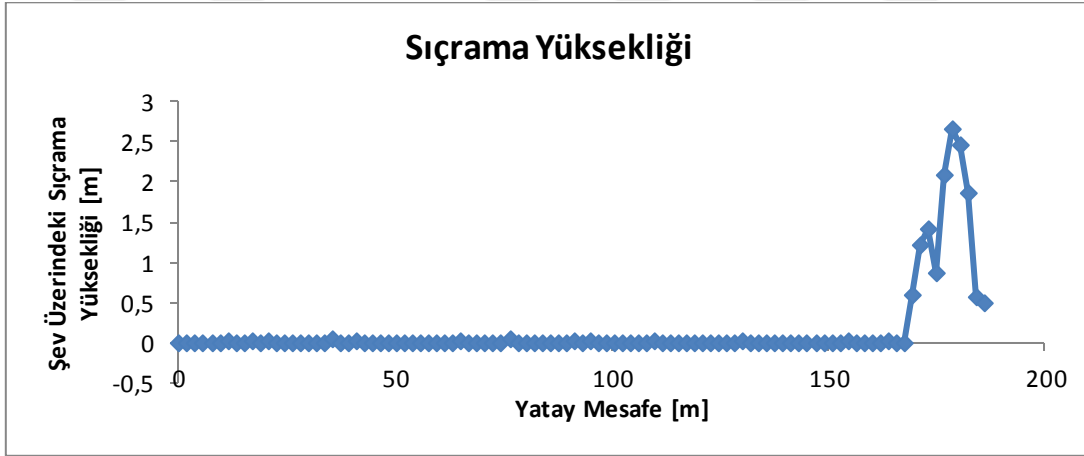
Ek Şekil 3.10.2. Kızılkaya Dasiti KH-3 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



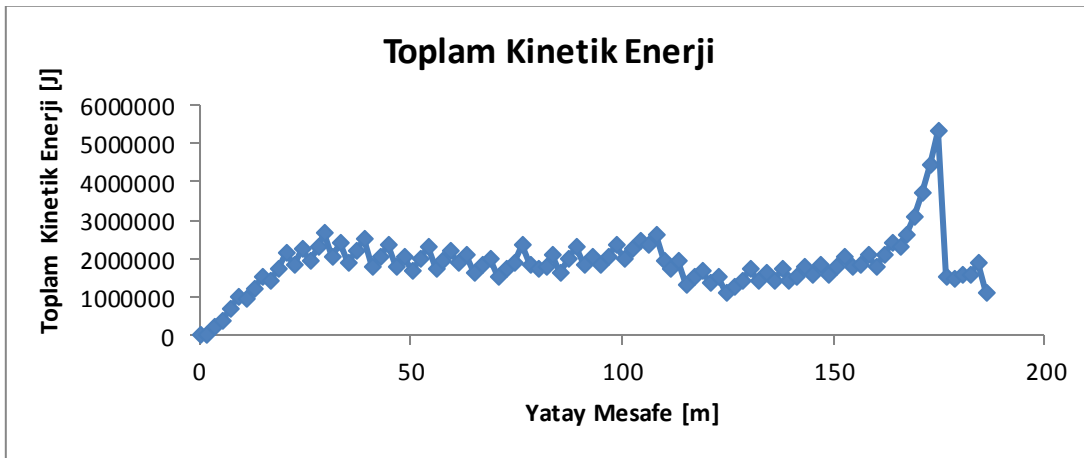
Ek Şekil 3.10.3. Kızılkaya Dasiti KH-3 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



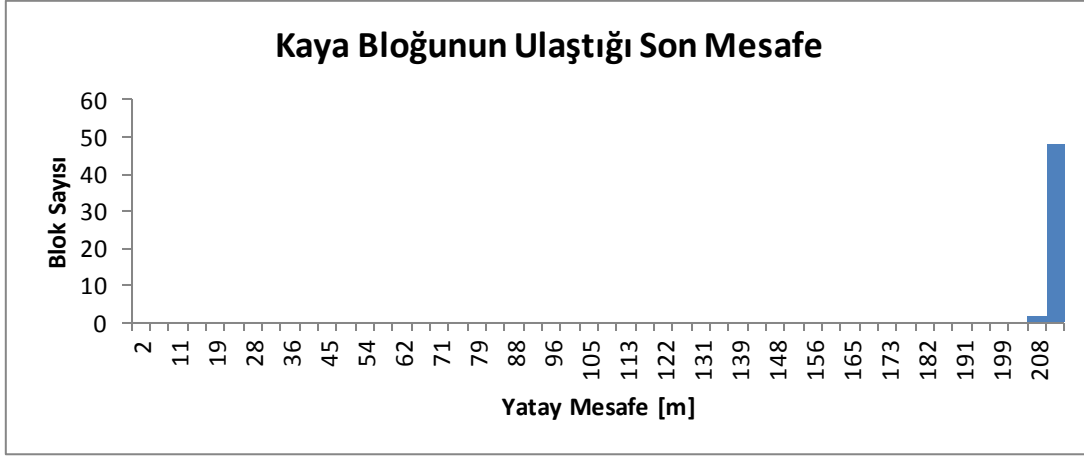
Ek Şekil 3.11.1. Kızılkaya Dasiti KH-4 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



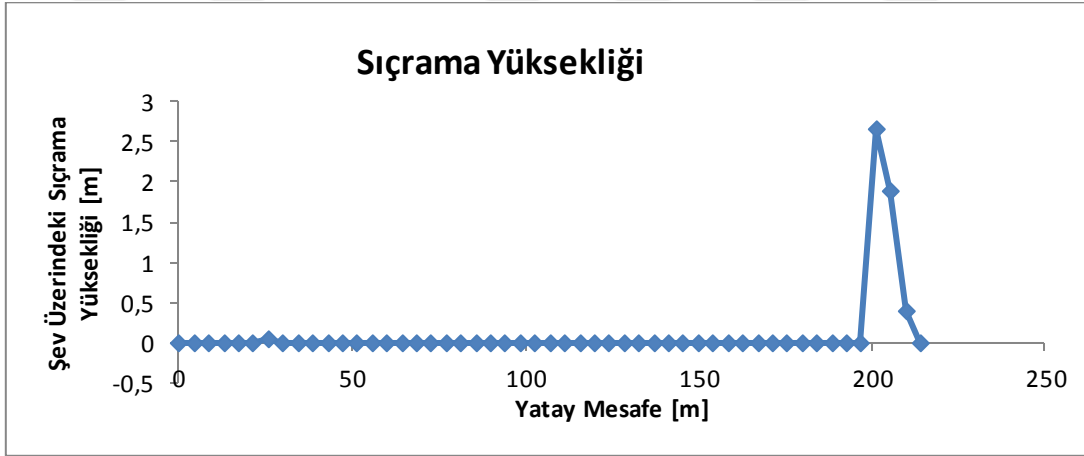
Ek Şekil 3.11.2. Kızılkaya Dasiti KH-4 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



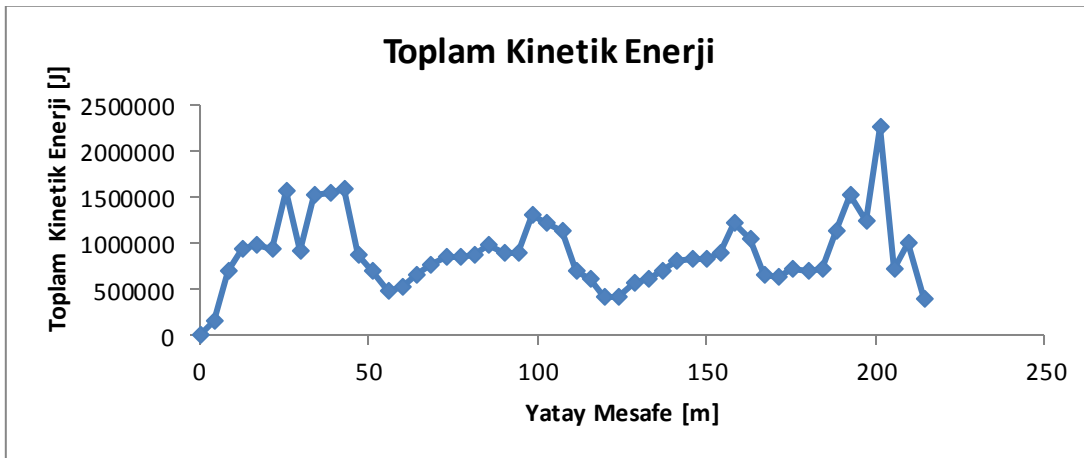
Ek Şekil 3.11.3. Kızılkaya Dasiti KH-4 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



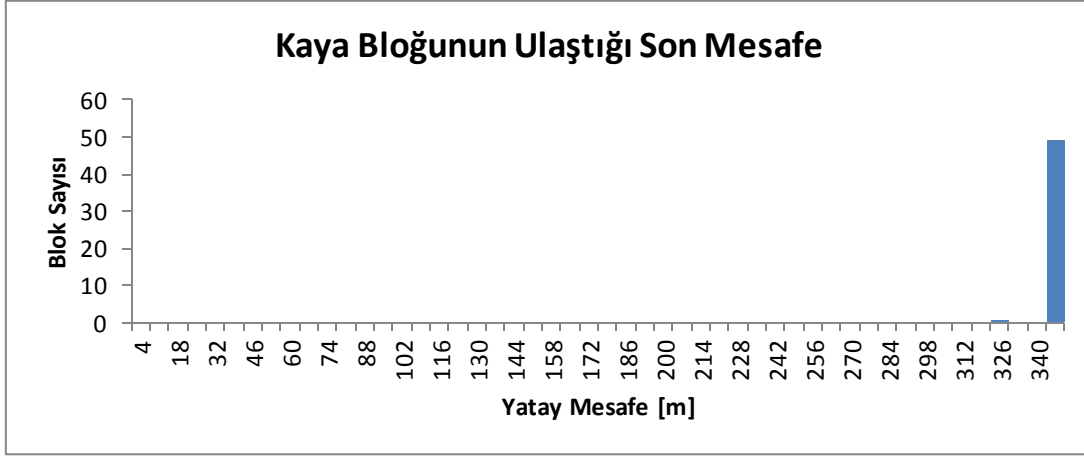
Ek Şekil 3.12.1. Kızılkaya Dasiti KH-5 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe



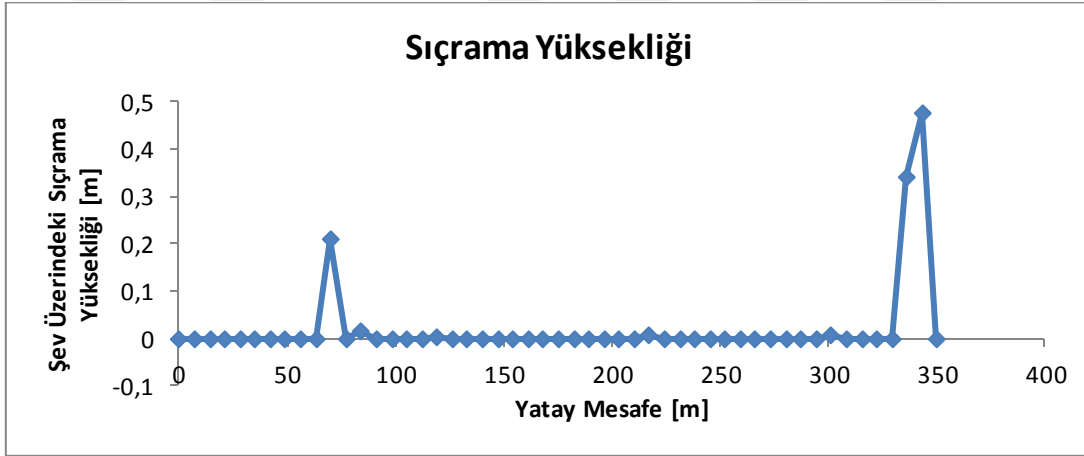
Ek Şekil 3.12.2. Kızılkaya Dasiti KH-5 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği



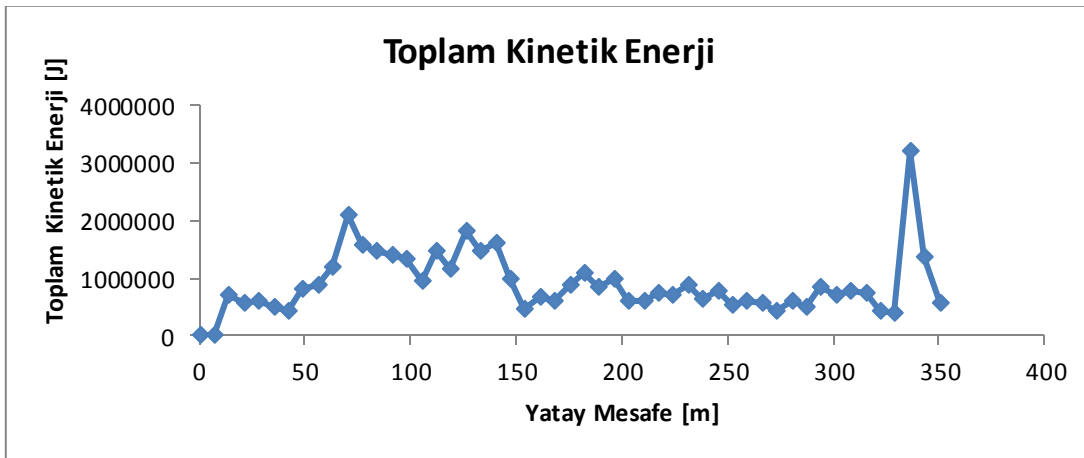
Ek Şekil 3.12.3. Kızılkaya Dasiti KH-5 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi



Ek Şekil 3.13.1. Kızılkaya Dasiti KH-6 hattındaki blokların ulaşacağı son mesafe

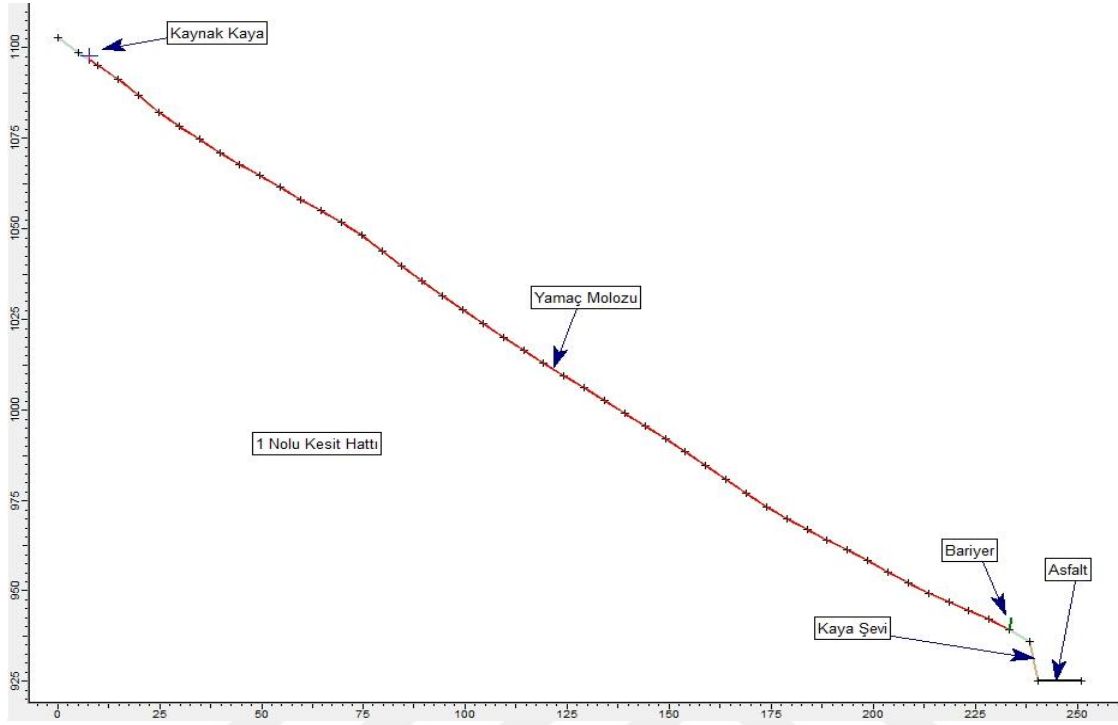


Ek Şekil 3.13.2. Kızılkaya Dasiti KH-6 hattındaki blokların sıçrama yüksekliği

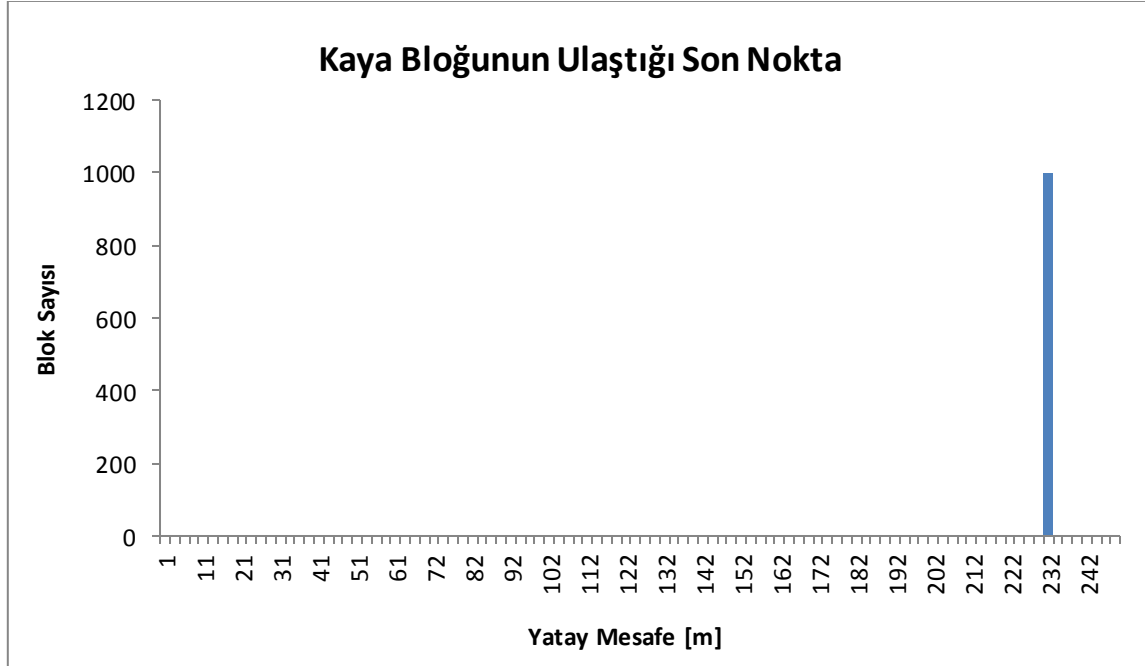


Ek Şekil 3.13.3. Kızılkaya Dasiti KH-6 hattında yuvarlanan blokların toplam kinetik enerjisi

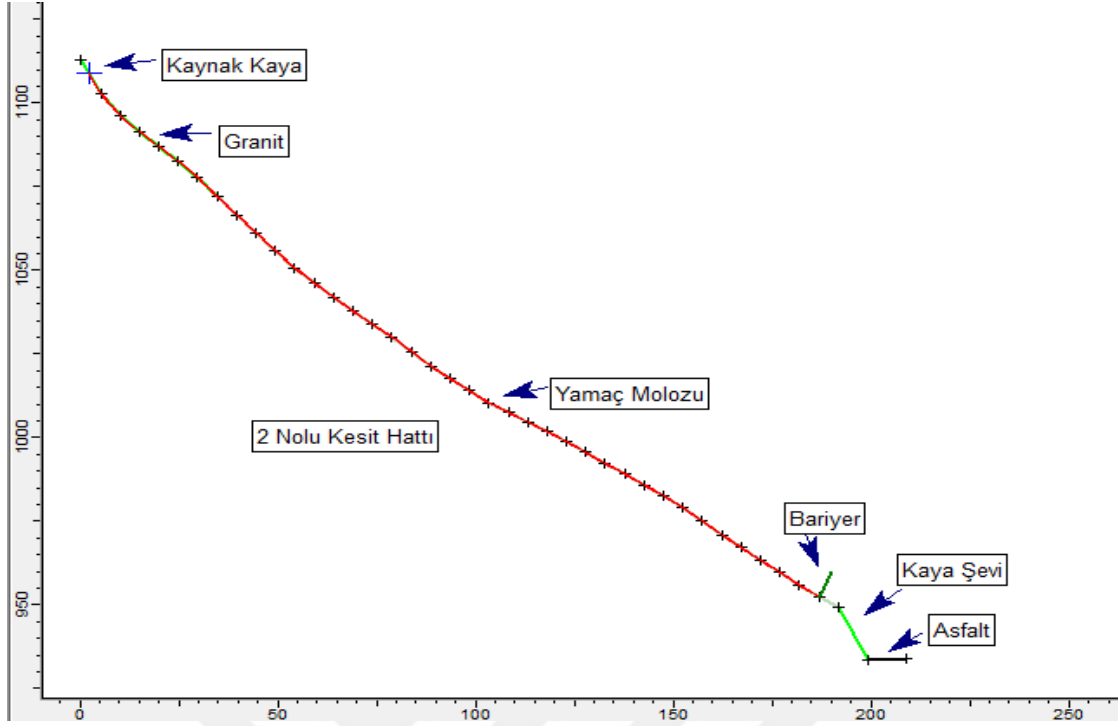
EK-4: Düşen Kaya Bloklarına Bariyer Uygulaması



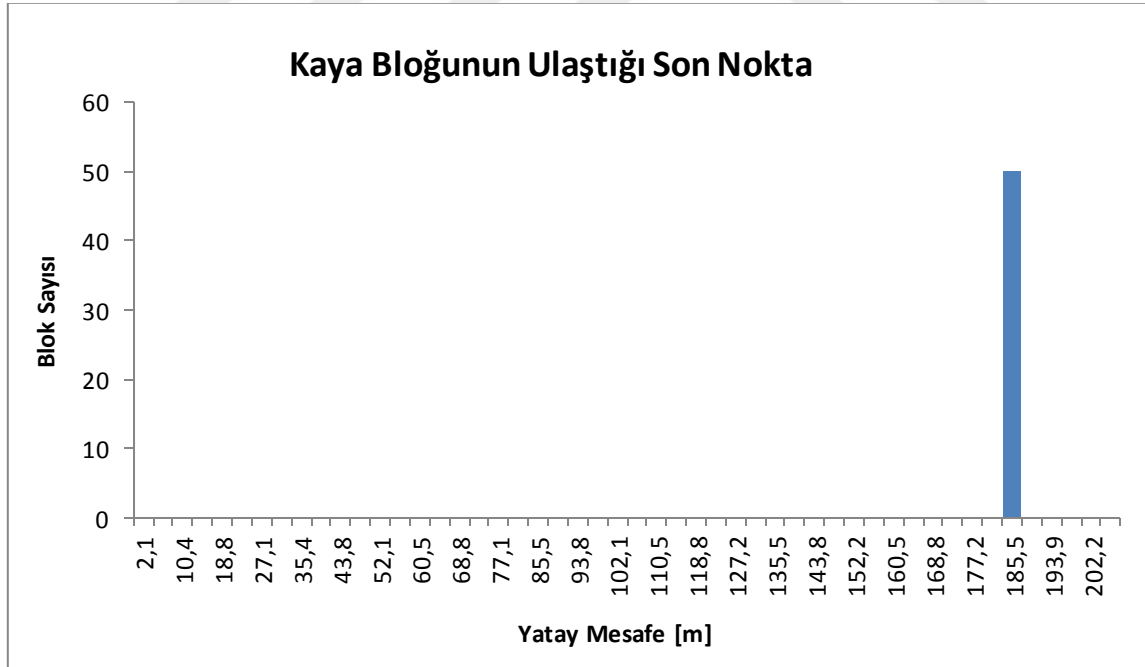
Ek Şekil 4.1.1. Sarıoşman Monzograniti SH-1 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



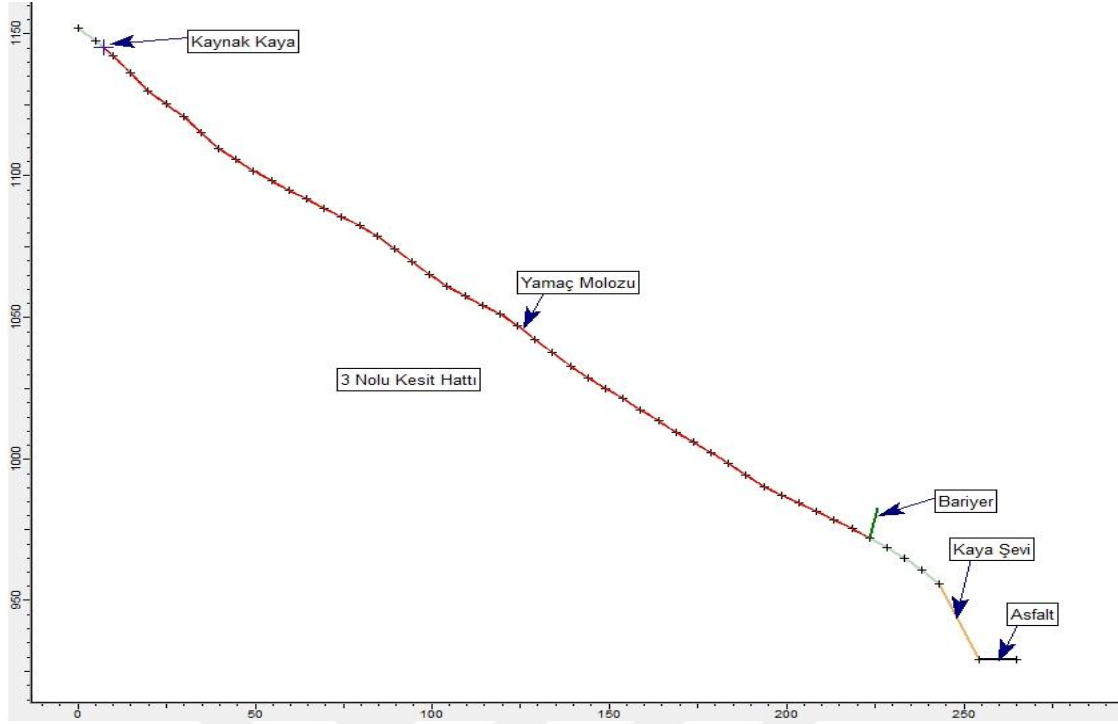
Ek Şekil 4.1.2. Sarıoşman Monzograniti SH-1 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



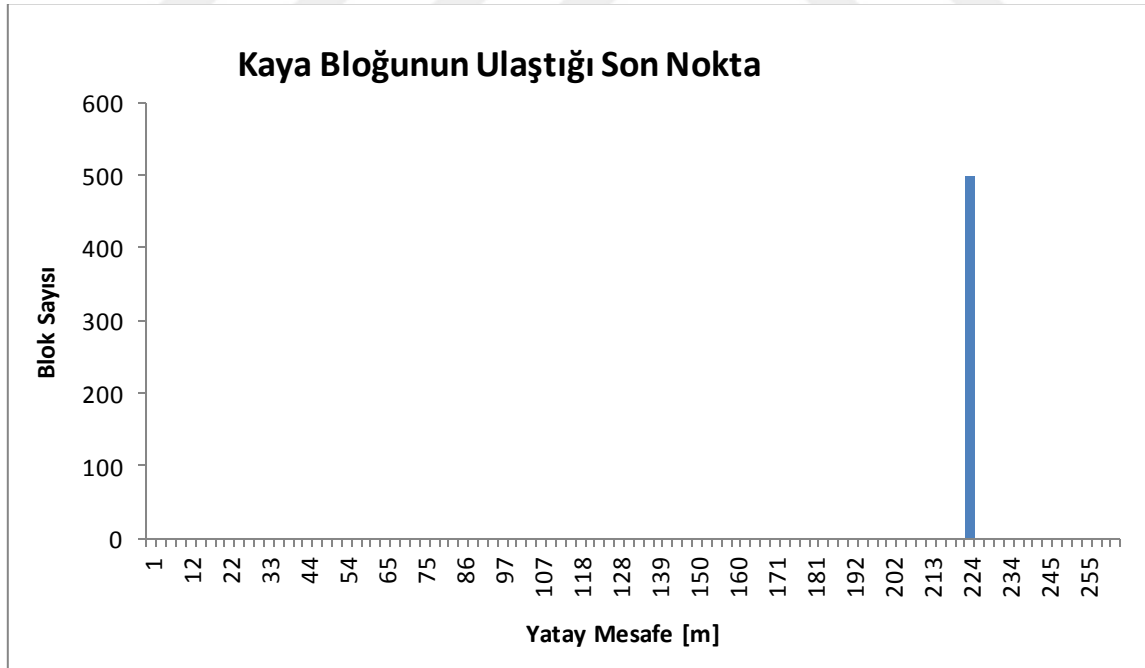
Ek Şekil 4.2.1. Sarıosman Monzograniti SH-2 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



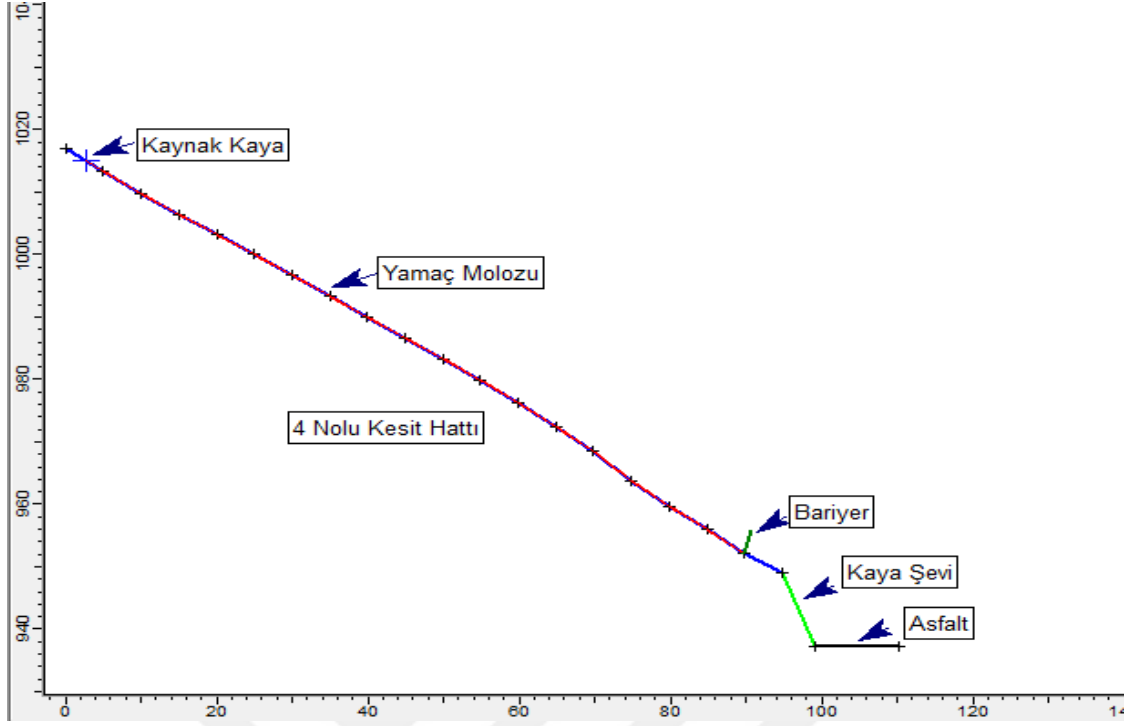
Ek Şekil 4.2.2. Sarıosman Monzograniti SH-2 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



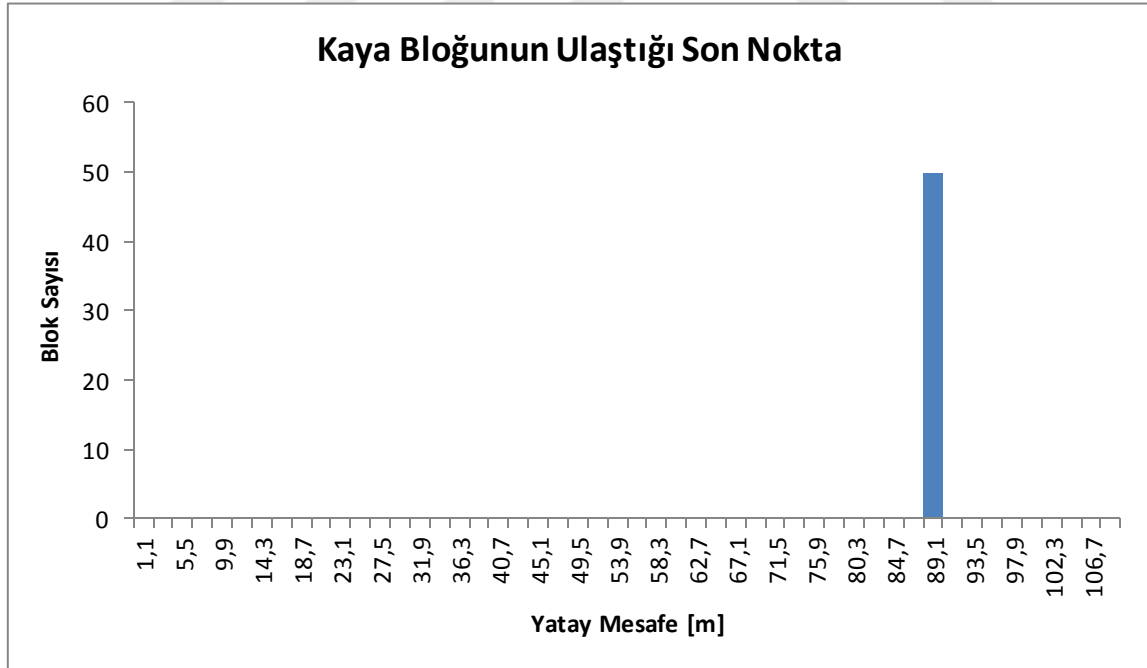
Ek Şekil 4.3.1. Sarıosman Monzograniti SH-3 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



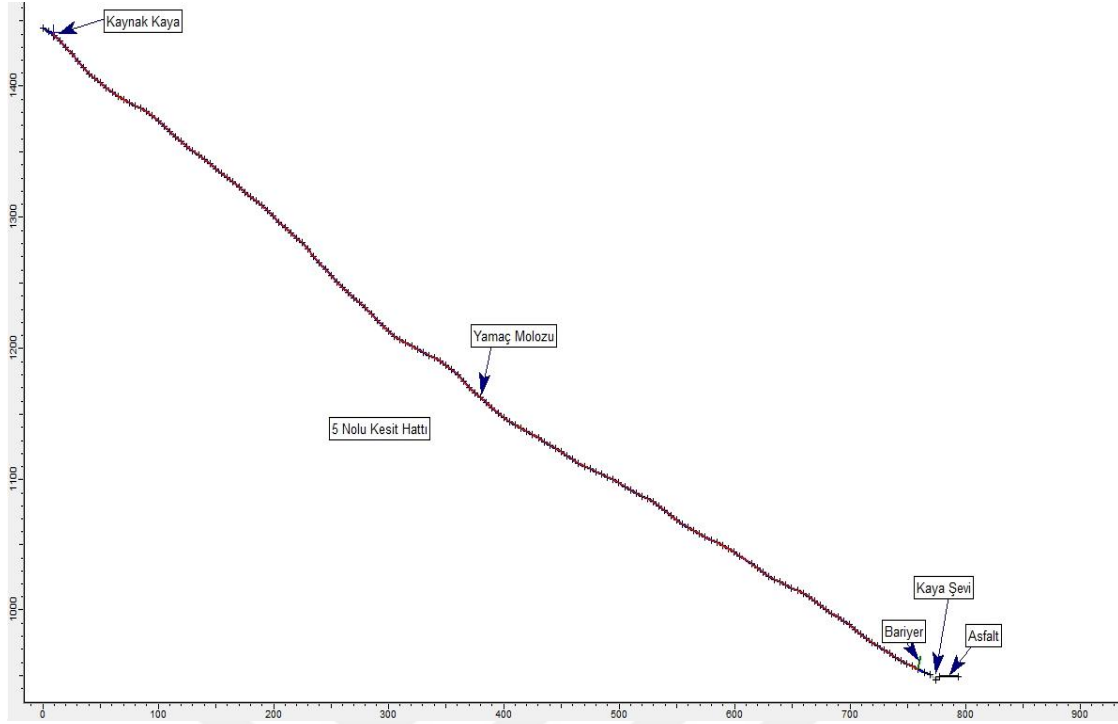
Ek Şekil 4.3.2. Sarıosman Monzograniti SH-3 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



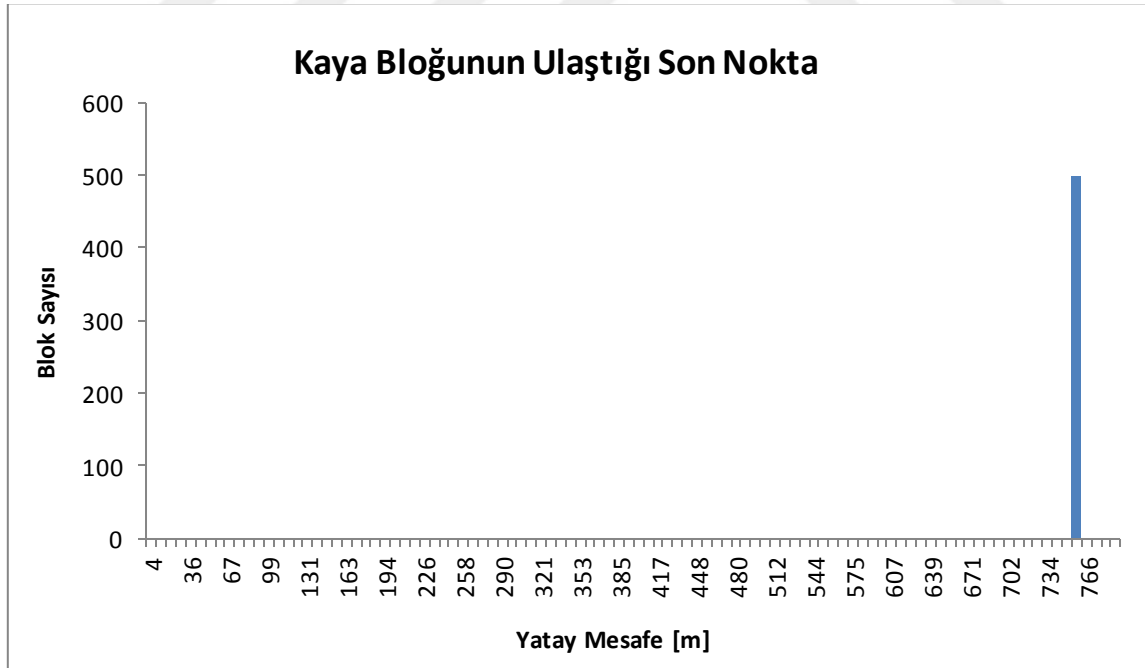
Ek Şekil 4.4.1. Sarıosman Monzograniti SH-4 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



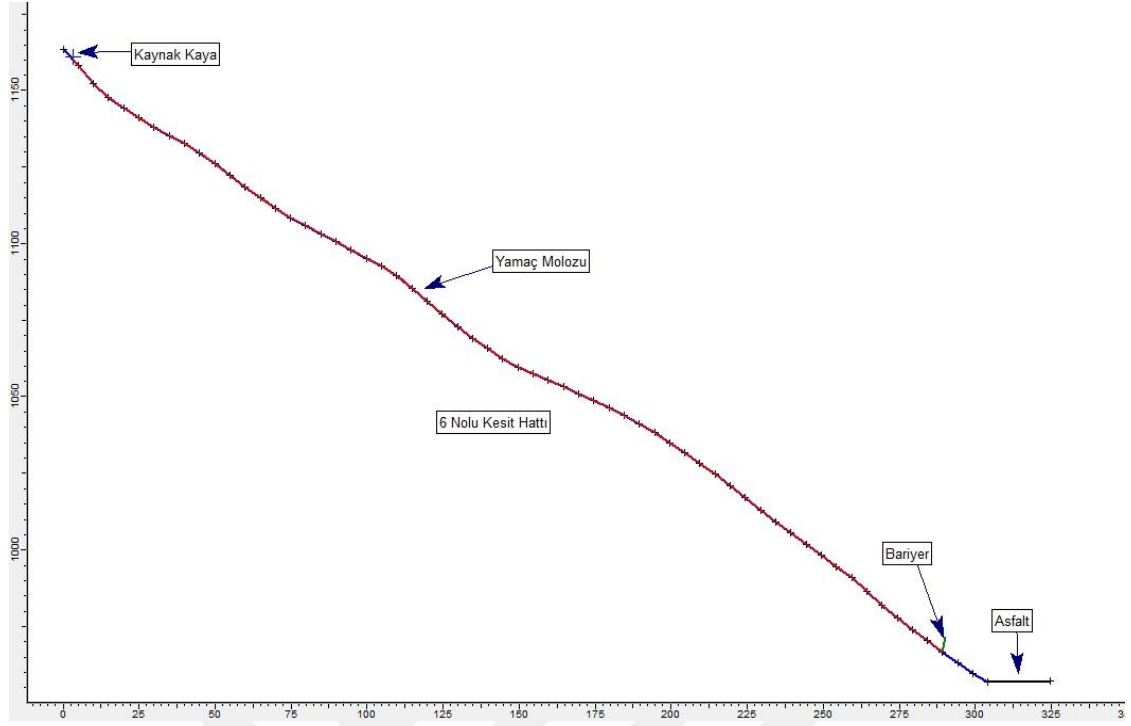
Ek Şekil 4.4.2. Sarıosman Monzograniti SH-4 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



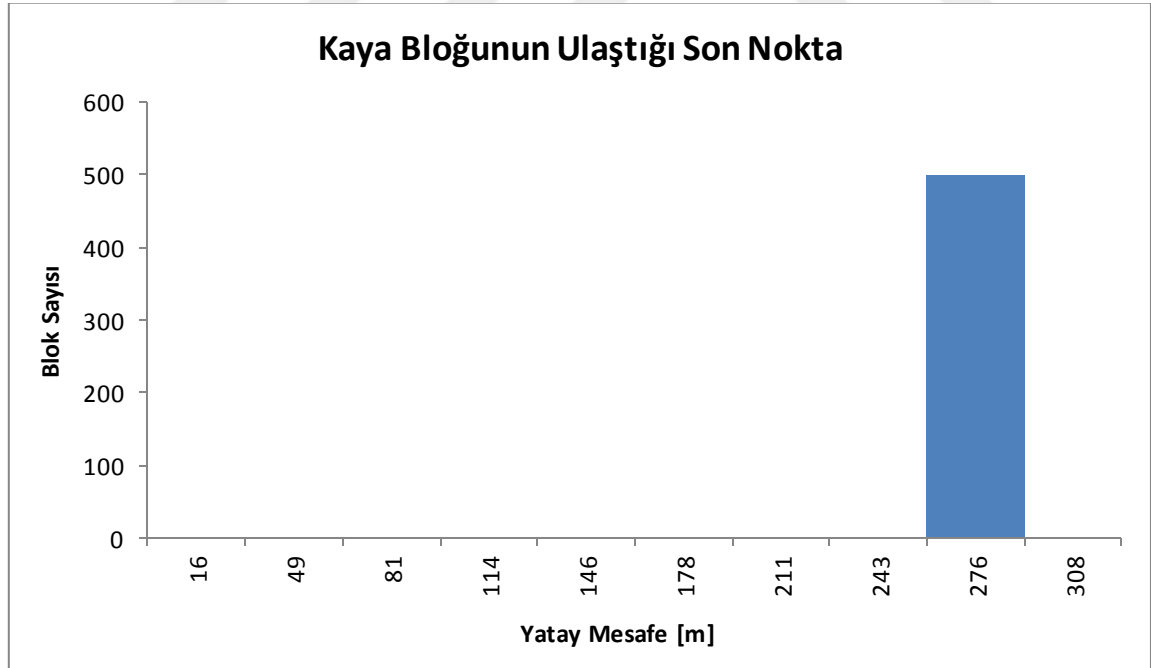
Ek Şekil 4.5.1. Sarıosman Monzograniti SH-5 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



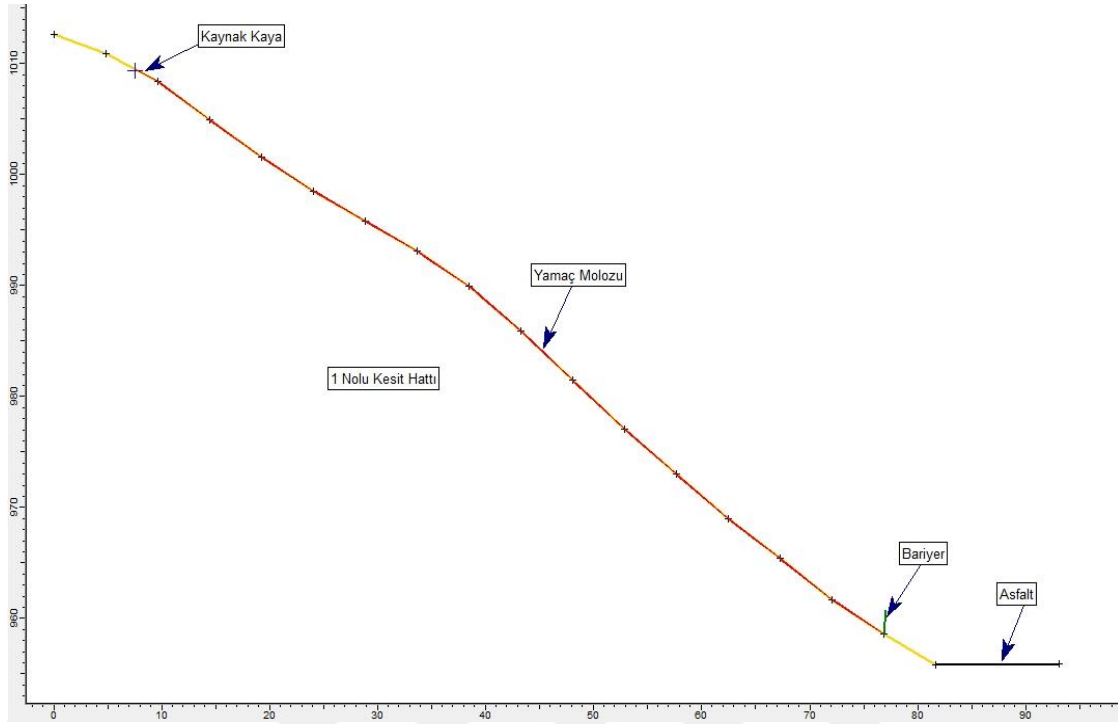
Ek Şekil 4.5.2. Sarıosman Monzograniti SH-5 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



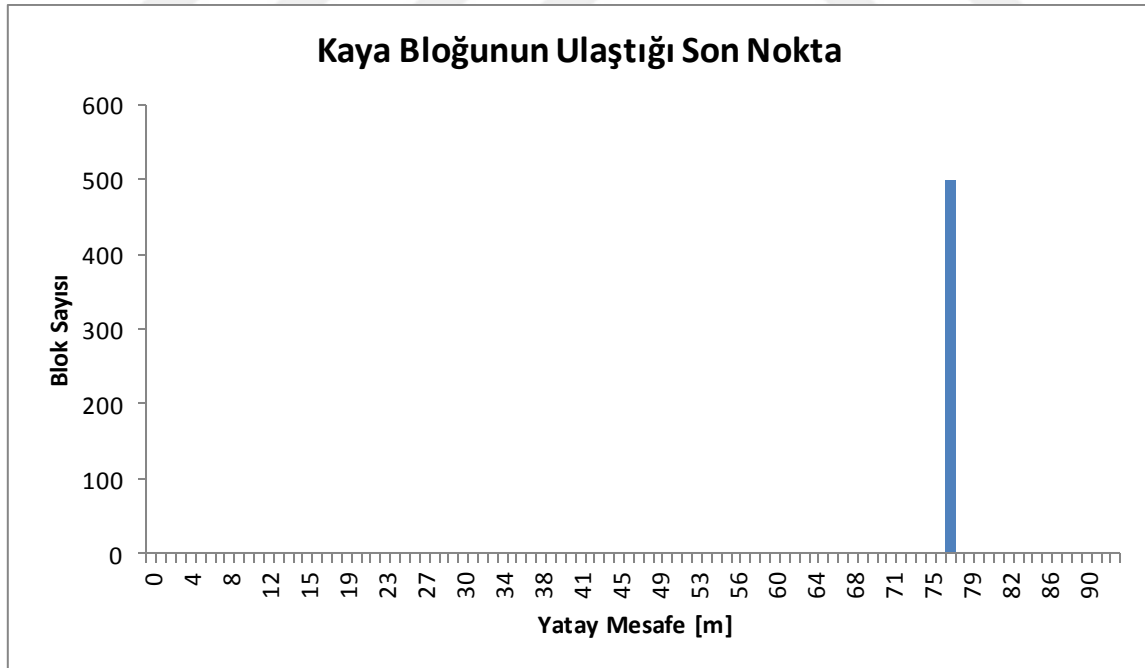
Ek Şekil 4.6.1. Sariosman Monzograniti SH-6 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



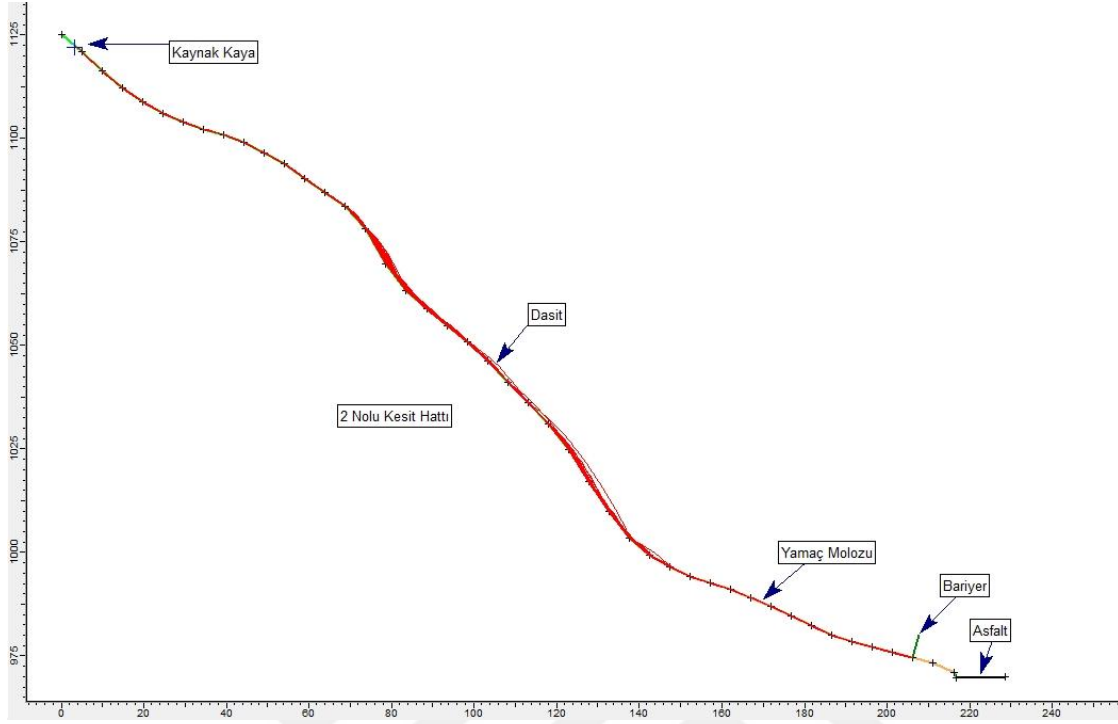
Ek Şekil 4.6.2. Sariosman Monzograniti SH-6 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



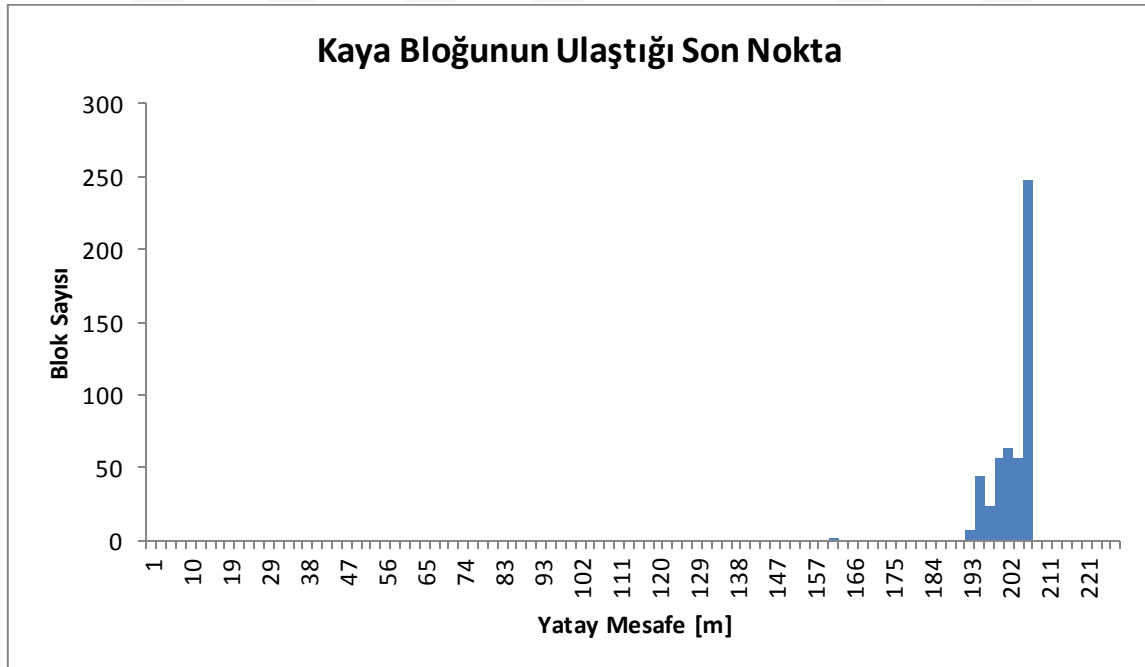
Ek Şekil 4.7.1. Kızılkaya Dasiti KH-1 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



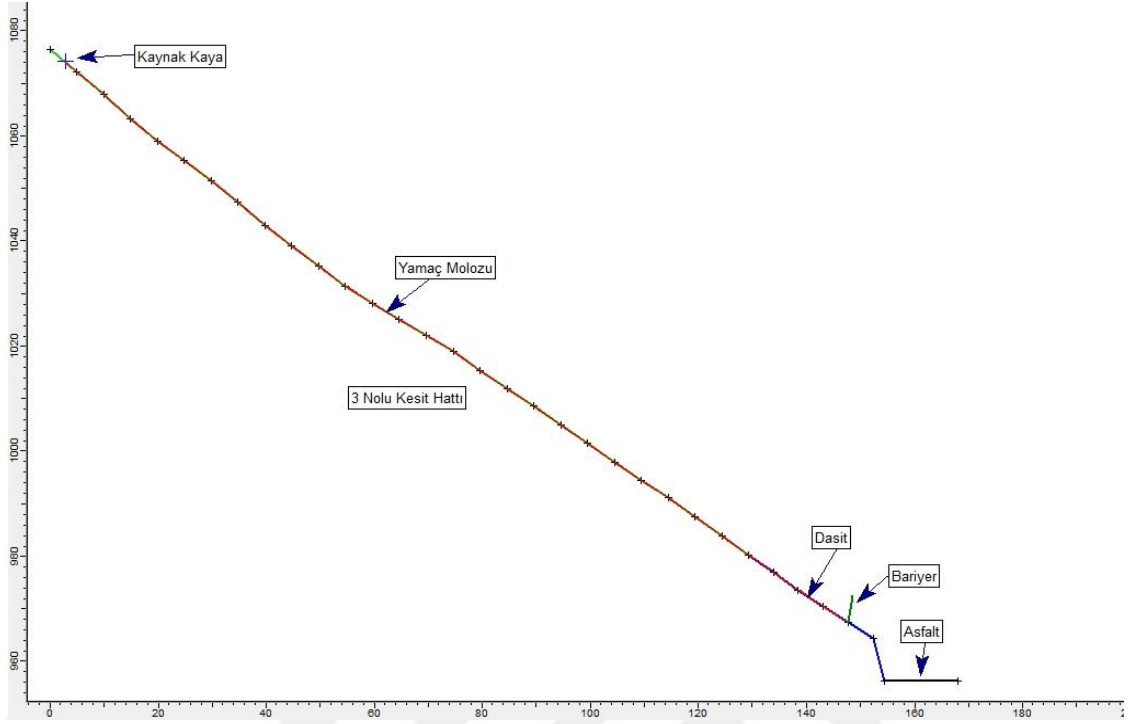
Ek Şekil 4.7.2. Kızılkaya Dasiti SH-1 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



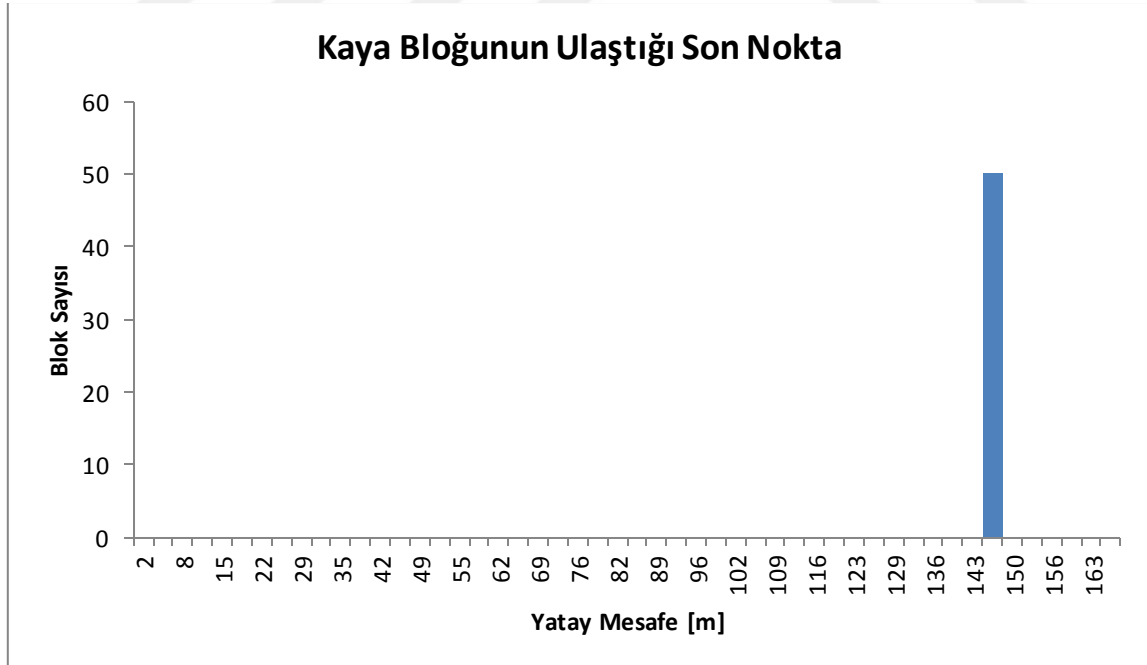
Ek Şekil 4.8.1. Kızılkaya Dasiti KH-2 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



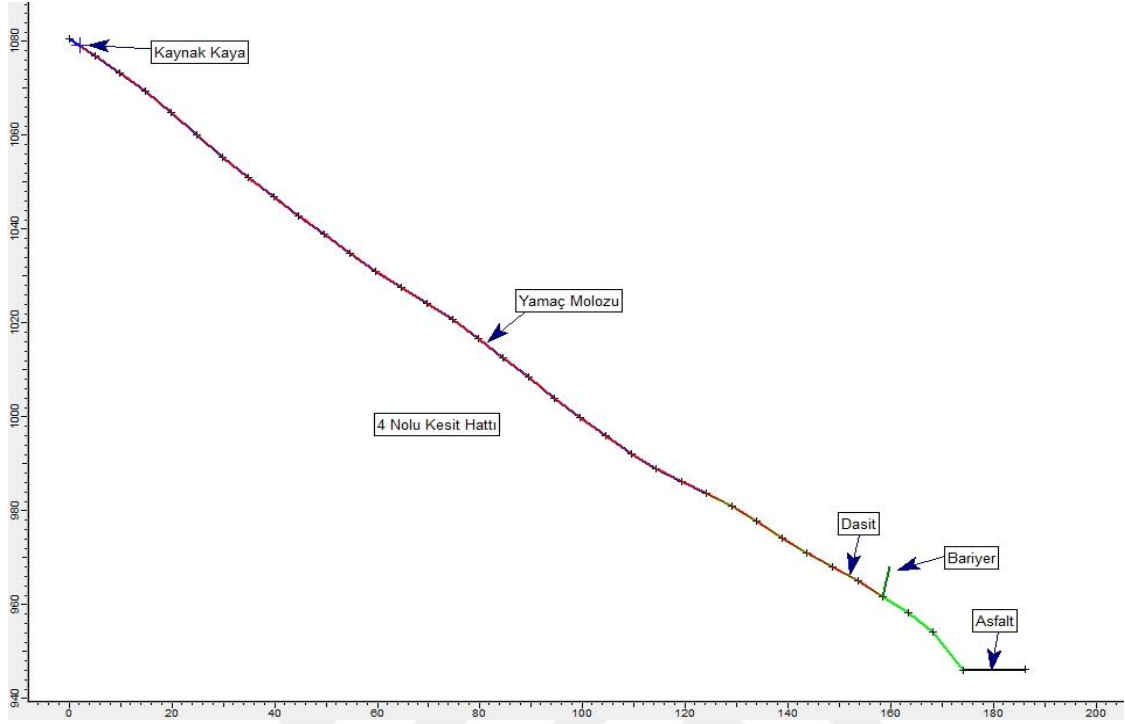
Ek Şekil 4.8.2. Kızılkaya Dasiti SH-2 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



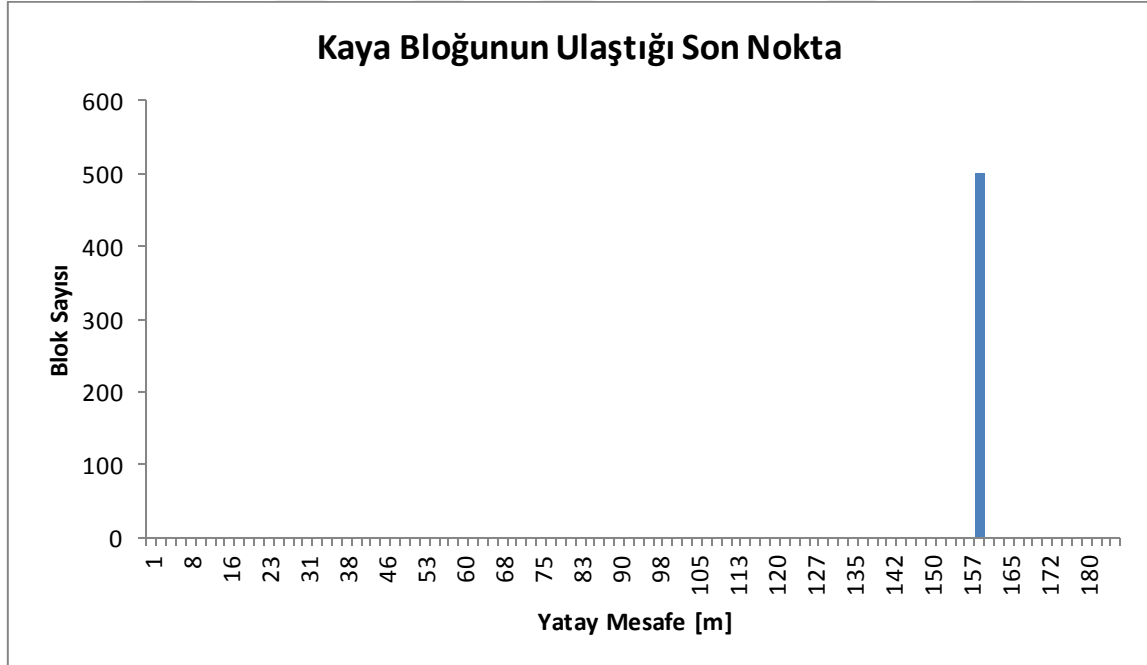
Ek Şekil 4.9.1. Kızılkaya Dasiti KH-3 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



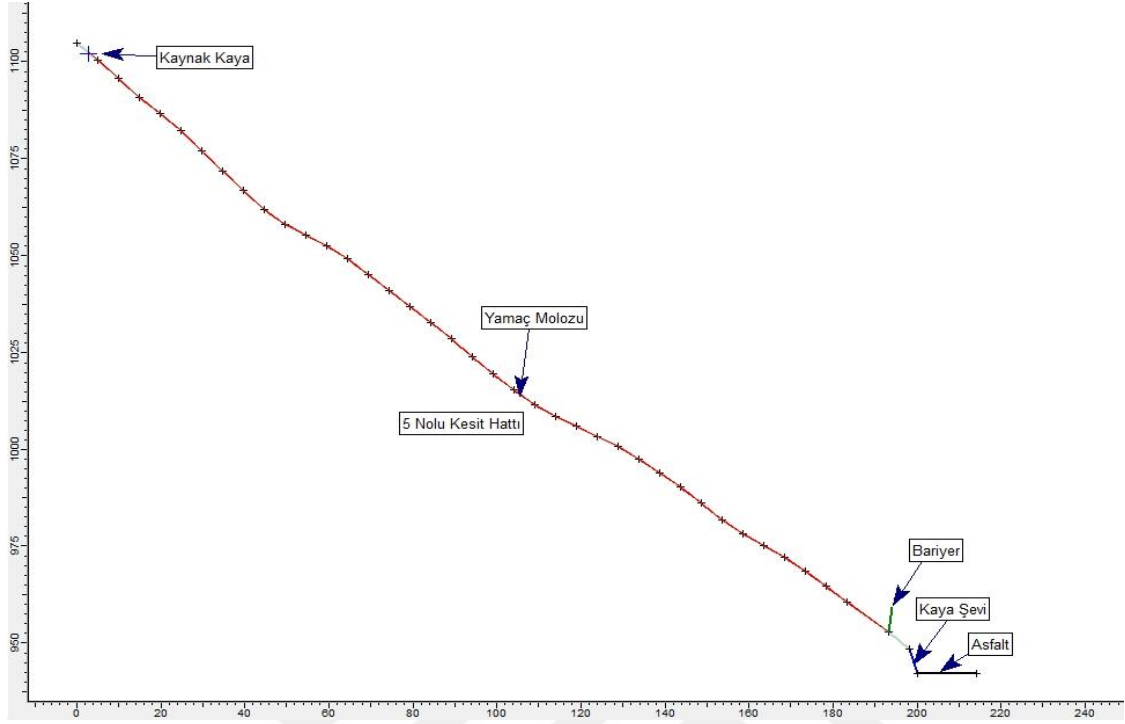
Ek Şekil 4.9.2. Kızılkaya Dasiti SH-3 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



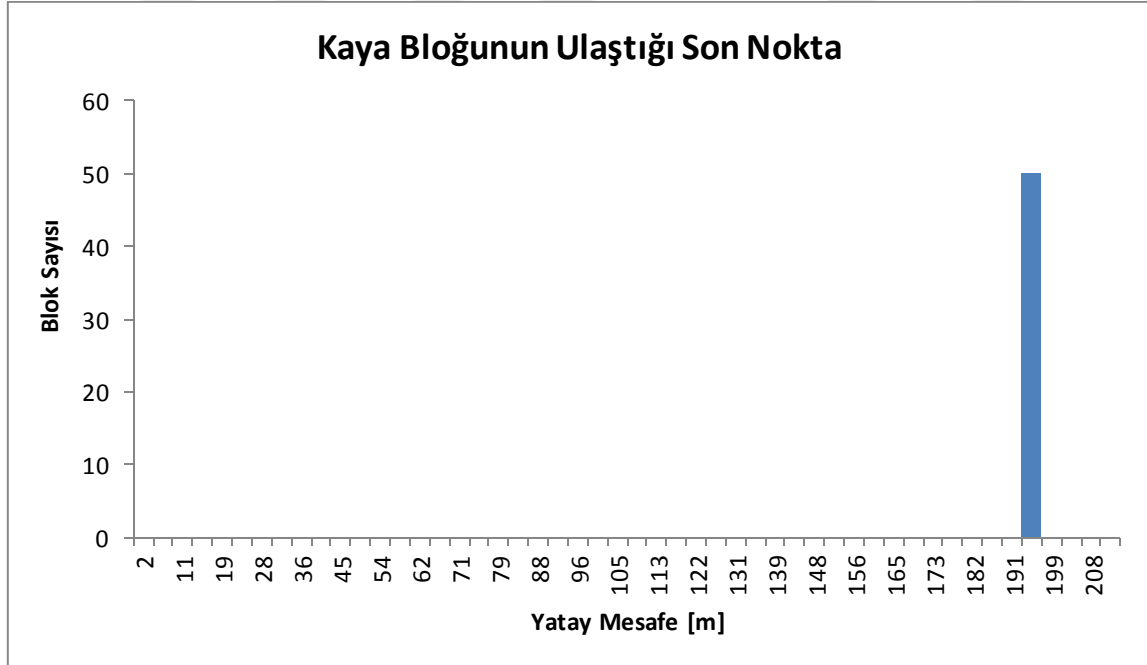
Ek Şekil 4.10.1. Kızılkaya Dasiti KH-4 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



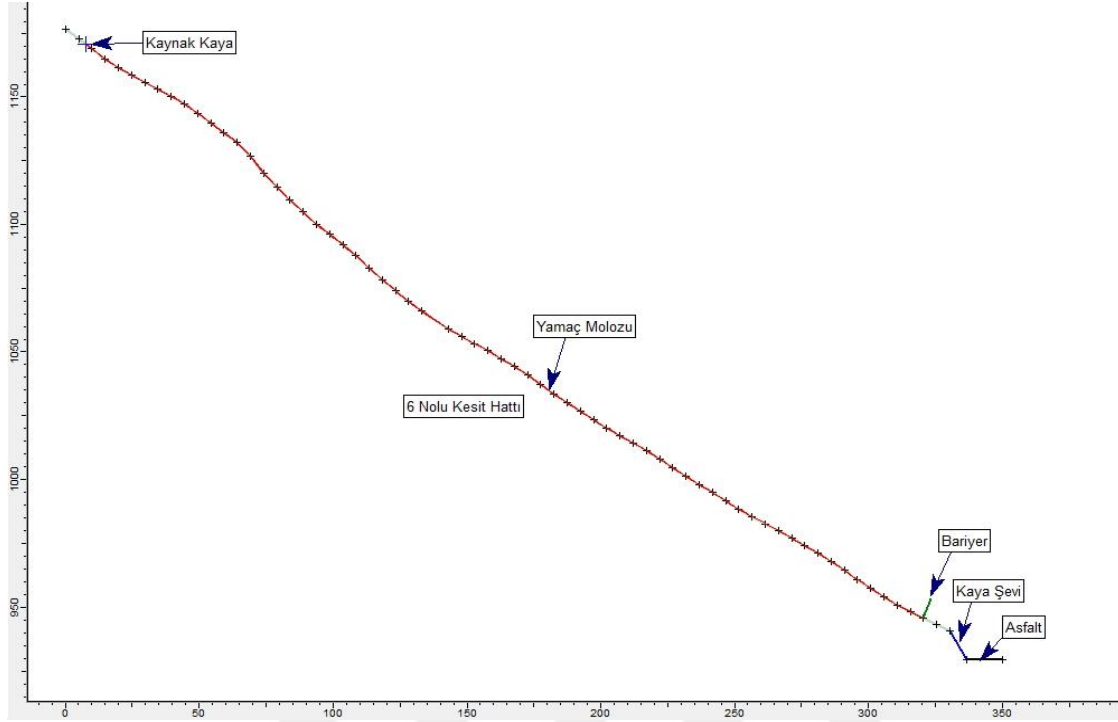
Ek Şekil 4.10.2. Kızılkaya Dasiti SH-4 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



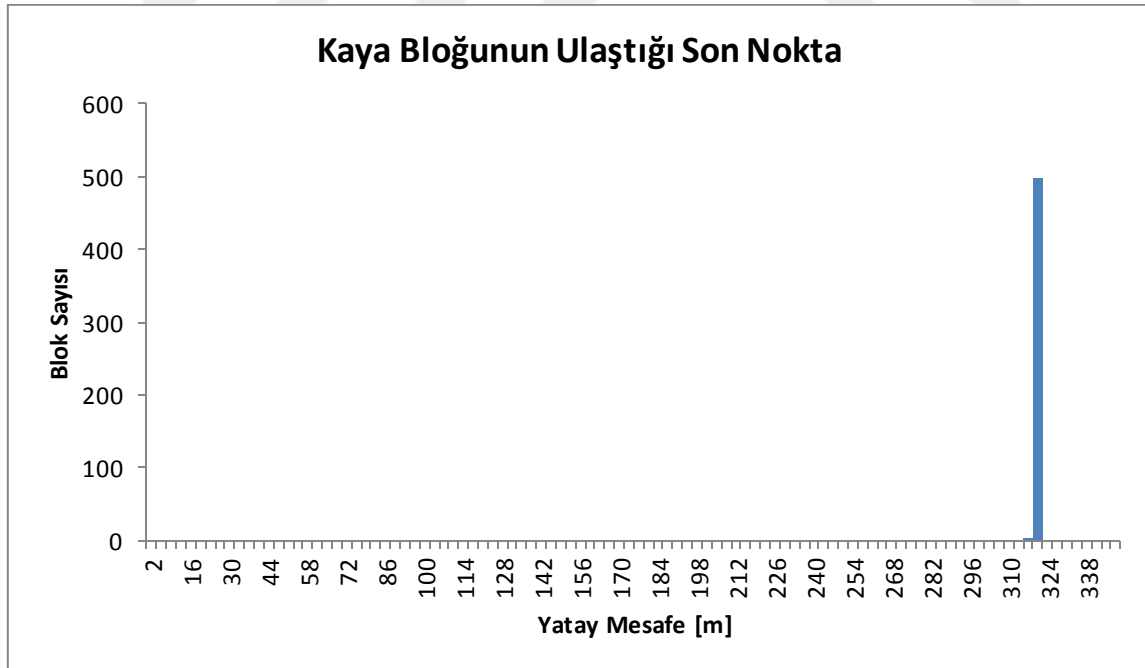
Ek Şekil 4.11.1. Kızılkaya Dasiti KH-5 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



Ek Şekil 4.11.2. Kızılkaya Dasiti SH-5 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta



Ek Şekil 4.12.1. Kızılkaya Dasiti KH-6 hattında bariyer uygulaması sonrası kaya düşme analizi



Ek Şekil 4.12.2. Kızılkaya Dasiti SH-6 hattında bariyer uygulaması sonrası blokların ulaştığı son nokta

ÖZGEÇMİŞ

Elif GACENER; 1992 yılında Tokat-Zile İlçesi' nde dünyaya geldi. 1999-2010 yılları arasında ilk, orta ve lise öğrenimini Zile' de tamamladı. Üniversite eğitimini 2010-2015 yılları arasında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü' nde tamamladı. Lisans öğrenimini tamamladıktan sonra, 2015 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2017 yüksek lisans bahar döneminde Erasmus öğrenci hareketliliği programı ile Wroclaw Üniversitesi (Wroclaw-Polonya)' nde 6 ay öğrenim gördü. 2017-2018 tarihleri arasında Gümüştaş Madencilik Kurşun-Çinko-Bakır Zenginleştirme Tesisi' nde Jeoloji Mühendisi olarak çalışmış olan Elif GACENER, bekar olup İngilizce bilmektedir.