



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



**ÜÇ BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ İLE OLASI TEHLİKE
HARİTASI ÜRETİLMESİ ve ÖNLEM YAPILARI TASARIMI:
GÜMÜŞHANE KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rasim Taylan KARA

**ARALIK 2020
GÜMÜŞHANE**

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

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÜÇ BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ İLE OLASI TEHLİKE
HARİTASI ÜRETİLMESİ ve ÖNLEM YAPILARI TASARIMI:
GÜMÜŞHANE KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rasim Taylan KARA

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.12.2020
Tezin Sözlü Savunma Tarih : 18.12.2020**

ARALIK 2020

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum “Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizleri ile Olası Tehlike Haritası Üretilmesi ve Önlem Yapıları Tasarımı: Gümüşhane Kent Merkezi Örneği” 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. 18/12/2020

Rasim Taylan KARA

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜÇ BOYUTLU KAYA DÜŞME ANALİZLERİ İLE OLASI TEHLİKE HARİTASI
ÜRETİLMESİ ve ÖNLEM YAPILARI TASARIMI:
GÜMÜŞHANE KENT MERKEZİ ÖRNEĞİ

Rasim Taylan KARA

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI

2020, 96 sayfa

Trabzon-Erzurum Karayolu üzerinde bulunan Gümüşhane ili merkez ilçe yerleşkesi sarp bir topoğrafyaya sahip olup, iklimsel ve morfolojik yapının etkisi sonucu, hemen hemen her mevsim sıklıkla gerçekleşen kaya düşme olayları zaman zaman can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Bu nedenlerden ötürü Gümüşhane ili merkez yerleşkesinin kaya düşme potansiyeli açısından büyük tehdit oluşturan kuzey yamaçları inceleme alanı olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada, Gümüşhane il merkezindeki yerleşim alanlarını tehdit eden yüksek sarp yamaçlardaki kaynak kaya alanlarının yanı sıra, düşmüş ve askıdaki bloklar belirlenmiş ve düşmüş olan blokların yerleri dikkate alınarak, kaya düşme envanter haritası oluşturulmuştur. Daha sonra, kaya düşme olasılığı yüksek olan kaynak kaya alanlarında belirlenen hatlarda RocPro3D programı kullanılarak, kaya düşme analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, düşen blokların yayılma mesafesi, sıçrama yüksekliği, yuvarlanan kaya bloklarının kinetik enerjileri ve çelik bariyer uygulamaları ile düşmesi olası blokları önleme olanakları irdelenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda, inceleme alanında yayılım gösteren yerleşkelerin üst kotlarında belirlenen H1, H2, H3, H7 ve H9 kaynak kaya hatlarından yuvarlanan kaya blokları sırasıyla Oltanbey Mahallesi, Hasanbey Mahallesi, Özcan Mahallesi, Yeni Mahalle ve Eskibağlar Mahallesi yerleşkelerini tehdit etmektedir. H5, H6 ve H8 kaynak kaya hatlarından yuvarlanan kaya blokları, sırasıyla Karaer Mahallesi, İnönü Mahallesi, Yeni Mahalle, Eskibağlar Mahallesi ve Gümüşhane Üniversitesi yerleşkeleri ile kaynak kaya alanları arasında yayılım göstermekte olup, mevcut yerleşkeleri tehdit etmemektedir. Buna ek olarak H4 nolu kaynak kaya alanından yuvarlanan kaya blokları herhangi bir yerleşkeyi tehdit etmemektedir. Yapılan 3D kaya düşme analizleri sonucunda kaya düşme tehlikesi altında olan yerleşkelerde önlem yapılarından çelik bariyer uygulaması yapılarak yeniden analizler gerçekleştirilmiş ve tehlikeyi ortadan kaldıracak en ekonomik ve güvenli farklı bariyer çeşitleri önerilmiştir.

Tüm veriler ışığında elde edilen sonuçlar ArcGIS bilgisayar programında değerlendirilip, bariyer uygulamasının öncesi ve sonrası durumları gösteren olası tehlike haritası üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çelik Bariyer, Gümüşhane, Kaya Düşmesi, Olası Tehlike Haritası, RocPro3D

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCING POTENTIAL HAZARD MAP WITH THREE DIMENSIONAL ROCKFALL ANALYSIS and DESIGN of PROTECTION STRUCTURES: EXAMPLE of GÜMÜŞHANE CITY CENTER

Rasim Taylan KARA

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

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

2020, 96 pages

The central district campus of Gümüşhane province, located on the Trabzon-Erzurum Highway, has steep topography, and because of the climatic and morphological structure, rockfall events that occur frequently in almost every season can cause loss of life and property from time to time. For these reasons, the northern slopes of the centrum of Gümüşhane, which pose a great threat to the rockfall potential, were selected as the study area.

In this study, fallen and suspended blocks were identified as well as source rock areas on high steep slopes that threaten residential areas in Gümüşhane city center, and a rockfall inventory map was created by considering the locations of the fallen blocks. Subsequently, rockfall analyzes were carried out using RocPro3D program on the lines

determined in the source rock areas with high probability of rockfall.

As a result of these analyzes, the spreading distance of the falling blocks, the jump height, the kinetic energies of the rolling rock blocks, and the possibilities of preventing the blocks that may fall with the steel barrier applications were examined.

As a result of the analysis, rock blocks rolling from the source rock lines H1, H2, H3, H7, and H9 determined at the upper elevations of the settlements spread in the study area threaten the settlements of Oltanbey District, Hasanbey District, Özcan District, Yeni District and Eskibağlar District, respectively. Rock blocks rolling from the H5, H6 and H8 source rock lines spread between the campuses of Karaer District, İnönü District, Yeni District, Eskibağlar District and Gümüşhane University and source rock areas, respectively, and do not threaten the existing campuses. In addition, rock blocks rolling from the source rock area H4 do not threaten any settlement. As a result of the 3D rockfall analysis, re-analyzes were carried out by applying steel barrier from precaution structures in the settlements under the risk of rockfall, and the most economical and safe different barrier types to eliminate the danger were proposed.

The results obtained in the light of all data were evaluated in the ArcGIS computer program, and a potential hazard map showing the conditions before and after the barrier application was produced.

Keywords: Geographical Information Systems, Gümüşhane, Potential Hazard Map, Rockfall, RocPro3D, Steel Barrier

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 danışman hocam sayın Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında yardımını esirgemeyen, emeği çok olan ikinci danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI'ya ve tez aşamasında bilgisi ve birikimleri ile desteğini eksik etmeyen sayın Doç. Dr. Mutluhan AKIN hocama en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Hayatıma anlam katan değerli kızım Zeynep Ezgi KARA ve yaşamımın her aşamasında benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, eşim Tuğba Turhan KARA, annem Leyla Kadriye KARA, babam Cuma Fahri KARA ve ablam Ezel Evrim KARA'ya şükranlarımı sunarım.

Manevi destekleri ile bu süreçte yanımda olan Maden Tetkik ve Arama Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü Gümüşhane ve Çevresi Metalik Maden Aramaları Proje Başkanlığı'na, Gümüşhane etüt kamp şefliği yönetimine ve personeline teşekkür ederim.

Gümüşhane ili merkez yerleşkesinde gelecek yıllara ışık tutabilecek bu çalışmamı 2020 yılı Mart ve Aralık ayları içerisinde İstanbul ili Küçükçekmece ve Ümraniye ilçelerinde Covid-19 sebebiyle çok genç yaşta hayata veda eden kıymetli kuzenim melek çocuk Tarkan ERİK ve değerli amcam Adem KARA'ya ithaf ederim.

Rasim Taylan KARA
Gümüşhane, 2020

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş ve Amaç	1
1.2. Coğrafi Konum	2
1.2.1. İklim ve Bitki Örtüsü.....	3
1.2.2. Morfoloji.....	5
1.3. Literatür Çalışması.....	6
1.3.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresi ile ilgili Jeolojik Çalışmalar	6
1.3.2. Kaya Düşmeleri İle İlgili Çalışmalar	7
2. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ	10
2.1. Gümüşhane Granitoyidi.....	11
2.1.1. Ad ve Yayılım.....	11
2.1.2. Litoloji	11
2.1.3. Alt-Üst Sınırlar	12
2.1.4. Yaş	12
2.1.5. Deneştirme	13
2.2. Şenköy Formasyonu	13
2.2.1. Ad ve Yayılım.....	13
2.2.2. Litoloji	13
2.2.3. Kalınlık	14
2.2.4. Alt-Üst Sınırlar	14
2.2.5. Fosil İçeriği ve Yaş	15
2.2.6. Deneştirme	15

2.3.	Berdiga Formasyonu.....	15
2.3.1.	Ad ve Yayılım.....	15
2.3.2.	Litoloji	15
2.3.3.	Kalınlık	16
2.3.4.	Alt-Üst Sınırlar	16
2.3.5.	Fosil İçeriği ve Yaş.....	16
2.3.6.	Deneştirme.....	17
2.4.	Alibaba Formasyonu.....	17
2.4.1.	Ad ve Yayılım.....	17
2.4.2.	Litoloji	17
2.4.3.	Kalınlık	17
2.4.4.	Alt-Üst Sınırlar	18
2.4.5.	Fosil İçeriği ve Yaş.....	18
2.4.6.	Deneştirme.....	19
2.5.	Alüvyon	19
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	20
3.1.	Arazi Çalışmaları.....	20
3.2.	Laboratuvar Çalışmaları	21
3.2.1.	Birim Hacim Ağırlık.....	22
3.2.2.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	22
3.2.3.	Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian).....	23
3.3.	Bigisayar Destekli Büro Çalışmaları	23
3.4.	Kaya Düşme Analizlerine Yönelik Tanımlamalar ve Yapılan Çalışmalar.....	24
3.4.1.	Geri Verme Katsayıları (Rn, Rt) Belirlenmesi	27
3.4.2.	Çalışma Alanı Kaynak Kaya Alanlarının Belirlenmesi.....	28
3.4.3.	Çalışma Alanı Kaya Düşme Envanter ve Olası Tehlike Haritalarının Üretilmesi	28
3.5.	Mühendislik Jeolojisi.....	36
3.6.	Çalışma Alanındaki Kaya Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri	36
3.6.1.	Yoğunluğun Belirlenmesi.....	37
3.6.2.	Dolaylı Çekilme Dayanımı (Brazilian) (σ_t).....	38
3.6.3.	Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı.....	39
3.6.4.	Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizleri	40

3.6.4.1.	Sayısal Arazi Modeli	40
3.6.4.2.	Kaynak Kaya Alanları	42
3.6.4.3.	Kaya Düşme Envanter Haritası	43
3.6.4.4.	Düşmüş Blokların Geometrisi ve Şekli	44
3.6.4.5.	Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Alibaba Formasyonu)	47
3.6.4.6.	Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Berdiga Formasyonu)	55
3.6.4.7.	Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Şenköy Formasyonu)	65
3.6.4.8.	Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Gümüşhane Graniti)	66
3.6.5.	Kaya Düşme Alanlarında Uygulanan Önlem Yapısı	70
3.6.5.1.	Alibaba Formasyonu Andezit Blokları Kaya Düşme İyileştirme Analiz	70
3.6.5.2.	Berdiga Formasyonu Kireçtaşı Blokları Kaya Düşme İyileştirme Analizi; ...	75
3.6.5.3.	Gümüşhane Granitoyidi Granit Blokları Kaya Düşme İyileştirme Analizi; ..	81
3.6.6.	Olası Tehlike Haritaları	82
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
5.	KAYNAKLAR	92
	ÖZGEÇMİŞ	937

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (Google Earth'den üretilmiştir)	2
Şekil 2.1. İnceleme alanı ve çevresine ait stratigrafik kolon kesit.....	10
Şekil 2.2. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Kandemir, 2004'den değiştirilerek)	11
Şekil 2.3. Gümüşhane granitoyidinin arazi görünümü (Yeni Mahalle üst kotları).....	12
Şekil 2.4. Şenköy Formasyonu'ndan bir görünüm (Yeni Mah. üst kotları)	14
Şekil 2.5. Berdiga Formasyonundan bir görünüm (İnönü ve Yeni Mah. üst kotları)	16
Şekil 2.6. Alibaba Formasyonu'ndan görünüm (Hasanbey Mah. üst kotları Tumbul kaya).....	18
Şekil 3.1. Düşmüş kaya blokları ve kaynak kaya alanlarının sahada incelenmesi	20
Şekil 3.2. Düşmüş kaya bloklarının şekil ve boyutlarının belirlenmesi	21
Şekil 3.3. Birimlere ait örnekler ve laboratuvar deneyleri.....	22
Şekil 3.4. Bir kaya yamacından aşağı düşen kaya bloğunun, yamaç eğim açısına bağlı olarak yaptığı davranış türleri (Ritchie, 1963).....	24
Şekil 3.5. Kaya düşmeleri olay kayıtları haritası, 1950-2017 yılları arası (Afad sayısal verilerinden tematik olarak haritalanmıştır)	25
Şekil 3.6. Düşmüş kaya bloklarının arazide incelenmesi ve boyutlandırılması (İnönü ve Yeni Mahalle üst kotları)	29
Şekil 3.7. Düşmüş kaya bloklarının arazide tespiti (Eskibağlar Mah. Kömürcüoğlu Sok.).....	29
Şekil 3.8. Gümüşhane Granitoyidi'ne ait düşmüş granit blokları (Eskibağlar Mah.)	30
Şekil 3.9. Alibaba Formasyonu'na ait kaynak kaya alanlarından kopan andezit blokları (Oltanbey Mah. Müze Evler Sitesi).....	30
Şekil 3.10. Alibaba Formasyonu'na ait kesilmiş şevlerden kopan andezit blokları (Oltanbey Mah. Müze Evler Sitesi)	31
Şekil 3.11. Şev yüzeylerinden kopan andezit blokları (Oltanbey Mah. Aydınlık Evler ve Müze Evler Siteleri).....	31
Şekil 3.12. Askıdaki kaynak kaya alanlarından kopup yerleşim yerlerine düşmüş bloklar (Süleymaniye Mahallesi).....	32

Şekil 3.13. Karayolu kenarındaki kesilmiş şevlerden düşen granit blokları (Karaer Mah.).....	32
Şekil 3.14. Kesilmiş şevden kopan granit blokları (Karşıyaka Mahallesi).....	33
Şekil 3.15. Berdiga Formasyonu'na ait kaynak kaya alanları (İnönü Mah. ve Yeni Mah. Toki Konutları Üst Kotları).....	33
Şekil 3.16. Berdiga Formasyonu'na ait düşmüş kireçtaşı blokları (İnönü Mah.)	34
Şekil 3.17. Berdiga ve Alibaba Formasyonlarına ait (İnönü Mah. Hasanbey Mah. ve Yeni Mah.) kaynak kaya alanları.....	34
Şekil 3.18. Berdiga Formasyonu'na ait kaynak kaya alanı (Eskibağlar ve Yeni Mahalle).....	35
Şekil 3.19. İnceleme alanındaki jeolojik birimlerin görüntüsü.....	36
Şekil 3.20. Kompas yöntemi ile örnek hacminin belirlenmesi.....	37
Şekil 3.21. Çekilme dayanımı deneyi (Brazilian Yöntemi).....	38
Şekil 3.22. Birimlere ait örnekler ve Tek eksenli basınç dayanımı deneyi	39
Şekil 3.23. Çalışma bölgesine ait sayısal yükseklik modeli	41
Şekil 3.24. İnceleme alanına ait eğim haritası	41
Şekil 3.25. İnceleme alanında yayılım gösteren kaynak kaya alanları	42
Şekil 3.26. Düşmüş kaya bloklarının yayılımını gösteren envanter haritası	43
Şekil 3.27. Kaynak kaya alanları ve kaya düşme envanter alanları haritası.....	44
Şekil 3.28. Farklı formasyonlara ait düşmüş kaya bloklarının konumları.....	46
Şekil 3.29. Berdiga Formasyonu'na ait düşmüş kireç taşı blokları ve kaynak kaya alanları	46
Şekil 3.30. Düşmüş andezit bloklarının arazideki konumları ve geri verme katsayıları için analizler.....	47
Şekil 3.31. H1 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliği 3D haritası	49
Şekil 3.32. H1 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası.....	50
Şekil 3.33. H2 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D haritası.....	51
Şekil 3.34. H2 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası.....	51

Şekil 3.35. H3 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita	52
Şekil 3.36. H3 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası.....	53
Şekil 3.37. H4 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D haritası.....	54
Şekil 3.38. H4 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait gösterir 3D enerji haritası	54
Şekil 3.39. Alibaba Formasyonunda belirlenen dört hatta yapılan analizler ve andezit bloklarının yayılımını gösteren ortofoto görüntüsü.....	55
Şekil 3.40. Geri analiz yöntemi ile kireçtaşı bloklarında R_n , R_t katsayılarını belirleme .	56
Şekil 3.41. H5 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D haritası.....	59
Şekil 3.42. H5 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası.....	59
Şekil 3.43. H6 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita	60
Şekil 3.44. H6 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası.....	61
Şekil 3.45. H7 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita	62
Şekil 3.46. H7 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası.....	62
Şekil 3.47. H8 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita	63
Şekil 3.48. H8 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D.....	64
Şekil 3.49. Berdiga Formasyonu kireçtaşı bloklarının düşme sonucu oluşan yörüngelerini ve yayılımını gösteren ortofoto haritası	64
Şekil 3.50. Geri analiz yöntemi ile granit bloklarında R_n , R_t katsayılarını belirleme.....	66
Şekil 3.51. H9 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita	68
Şekil 3.52. H9 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası.....	69

Şekil 3.53. Granit bloklarının düşme sonucu oluşan yörüngelerini ve yayılımını gösteren ortofoto haritası	69
Şekil 3.54. ETAG 27 (ME) Standartlarında çelik bariyer örneği (Trumer Rockfall).....	70
Şekil 3.55. H1 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumu gösterir 3D harita.....	71
Şekil 3.56. H1 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	72
Şekil 3.57. H2 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumu gösterir 3D harita.....	73
Şekil 3.58. H2 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	73
Şekil 3.59. H3 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita.....	74
Şekil 3.60. H3 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	75
Şekil 3.61. H5 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita.....	76
Şekil 3.62. H5 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	76
Şekil 3.63. H6 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita.....	77
Şekil 3.64. H6 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	77
Şekil 3.65. H7 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita.....	78
Şekil 3.66. H7 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	79
Şekil 3.67. H8 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita.....	80
Şekil 3.68. H8 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	80
Şekil 3.69. H9 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita.....	81

Şekil 3.70. H9 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita.....	82
Şekil 3.71. Tüm hatlarda kaya yuvarlanma yörüngeleri 3D kabartma uydu görüntüsü ...	83
Şekil 3.72. Olası tehlike haritası.....	83
Şekil 3.73. Olası tehlike haritası bariyer uygulamasından sonra.....	84
Şekil 3.74. Olası tehlike haritası (Orto foto görüntülü).....	84
Şekil 3.75. Bariyer uygulamasından sonra üretilen olası tehlike haritası (Orto foto görüntülü)	85
Şekil 3.76. Olası tehlike haritası sınıflarının kapladığı yüzey alanları dağılım yüzdesi....	86
Şekil 3.77. Bariyerli durum olası tehlike haritası sınıflarının kapladığı yüzey alanları dağılım yüzdesi.....	86

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. 1. Gümüşhane iline ait meteorolojik veriler (1961-2019).....	5
Tablo 3.1. Tekdüze olasılık değişkenleri için parametreler	27
Tablo 3.2. İnceleme alanındaki birimlerin yoğunluk değerleri.....	37
Tablo 3.3. Birimlere ait dolaylı çekilme dayanımı değerleri	38
Tablo 3.4. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları	39
Tablo 3.5. Düşmüş kaya bloklarının şekli ve boyutları	45
Tablo 3.6. Alibaba Formasyonu için RocPro3D programında kullanılan parametreler ..	48
Tablo 3.7. Berdiga Formasyonu kireçtaşı bloklarına ait kaya düşme parametreleri.....	57
Tablo 3.8. Şenköy Formasyonuna ait ideal kaya düşme parametreleri	65
Tablo 3.9. Gümüşhane Granitoyidi'ne ait granit blokları için kaya düşme parametreleri	67

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği topluluğu
R_n	: Normal geri verme katsayısı
R_t	: Teğetsel geri verme katsayısı
Δ_R	: Değişkenlik (Geri Tepme)
$V_{R(lim)}$: Limit Hız (Geri Tepme)
Δ_R	: Limit Değişken (Geri Tepme)
Δ_{Qh}	: Değişkenlik (Yanal Sapma)
$V_{Qh(lim)}$: Limit Hız (Yanal Sapma)
Δ_{Qh}	: Limit Değişken (Yanal Sapma)
Δ_{Qv}	: Değişkenlik (Geri Sıçrama)
V_{Qv}	: Limit Hız (Geri Sıçrama)
Δ_v	: Limit Değişken (Geri Sıçrama)
Δ_k	: Değişkenlik (Sürtünme Katsayısı)
V_k	: Limit Hız (Sürtünme Katsayısı)
Δ_k	: Limit Değişken (Sürtünme Katsayısı)
Açı β_{lim}	: Limit Açısı
σ_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
σ_t	: Dolaylı (Brazilian) Çekilme Dayanımı

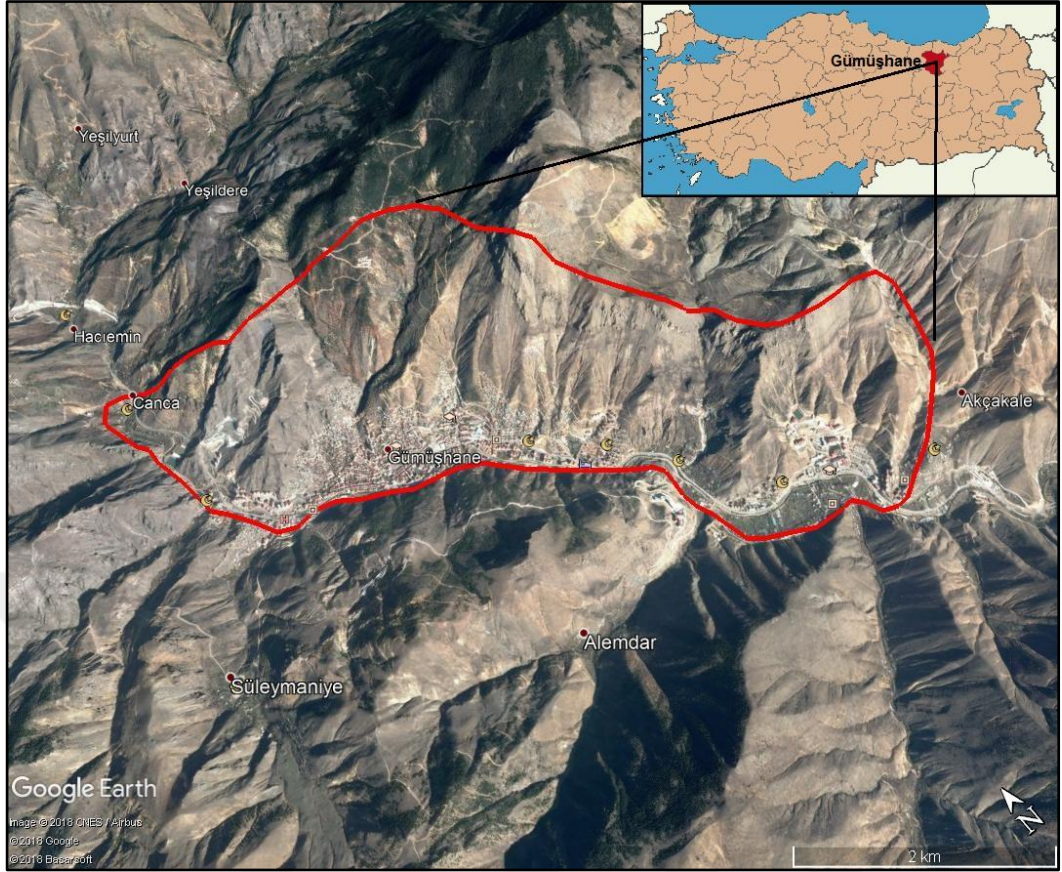
1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş ve Amaç

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 olarak yuvarlanarak ve/veya sıçrayarak hareket etmesidir (Ritchie, 1963). Kaya düşmeleri, kaynak alan ve tetikleyici unsurlar açısından değerlendirildiğinde kestirilmesi güç bir kütle duraysızlık türüdür. Yamaç yüzeyinde uzun süre duraylılığını koruyan bloklar, aniden kütleden ayrılarak düşebilmekte, can ve mal kaybına neden olabilmektedir. Bilindiği üzere ülkemiz jeolojik, morfolojik ve iklimsel konumu gereği farklı doğal afetlerin tehdidi altındadır. Ortaya çıkardıkları etki açısından depremler öne çıkan en önemli doğal afet türü olmasına rağmen, kaya kütle duraysızlıkları ve özellikle kaya düşmeleri de ülkemizin maruz kaldığı önemli afet türlerinden biridir (Akın, 2019).

Jeolojik ve jeomorfolojik özellikler ele alındığında, hem dünya genelinde hemde ülkemizde özellikle de başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere çok sayıda kaya düşmesi olayı yaşanmaktadır. Doğu Karadeniz Bölümü Trabzon-Erzurum Karayolu üzerinde bulunan, Doğu Pontid kuşağı güney zonunda yer alan Gümüşhane İl Merkezi (Şekil 1.1), hemen hemen her mevsim sıklıkla meydana gelen kaya düşme olayları ve zaman zaman can ve mal kayıplarının yaşandığı bir konumdadır. Bu sebeple Gümüşhane ili merkez yerleşkesinin kaya düşme potansiyeli açısından büyük tehdit oluşturan kuzey yamaçları inceleme alanı olarak seçilmiştir.

Çalışmada, Gümüşhane il merkezindeki yerleşim alanlarını tehdit eden serbest, askıdaki veya yüksek sarp yamaçlardaki kaya kütleleri incelenip, düşmüş olan blokların yerleri dikkate alınarak, kaya düşme envanter haritası oluşturulmuştur. Ayrıca kaya düşme olasılığı yüksek olan alanlarda RocPro3D programında kaya düşme analizleri yapılmıştır. Tüm veriler ışığında elde edilen sonuçlar değerlendirilip, ArcGIS bilgisayar programında inceleme alanı için olası tehlike haritası üretilmiştir. Kaya düşme analizleri dikkate alınarak, iyileştirme ve önlem yapıları önerilmiştir.



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

1.2. Coğrafi Konum

Gümüşhane İli; Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz bölümü sınırları içerisinde yer almaktadır. $38^{\circ}45'-40^{\circ}12'$ doğu boylamları ile $39^{\circ}45'-40^{\circ}50'$ kuzey enlemleri arasında olup, doğusunda Bayburt, batısında Giresun, kuzeyinde Trabzon, güneyinde Erzincan illeri bulunmaktadır. Toplam alanı 6575 km^2 , 2009 yılındaki verilere göre toplam nüfusu 130.976 olan ilin deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1400 metredir. Doğu Karadeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgesi'ni birbirine bağlayan karayolu üzerinde bulunan Gümüşhane ili Merkez ilçe, Torul, Kürtün, Kelkit, Şiran ve Köse olmak üzere 6 ilçeden oluşmaktadır. İnceleme alanı Gümüşhane İli Merkez yerleşim alanını kapsamakta olup, H42-b2, H43-a1 paftalarında yer almaktadır.

1.2.1. İklim ve Bitki Örtüsü

Gümüşhane ili her yönüyle olduğu gibi iklim özellikleri bakımından da Doğu Anadolu ile Doğu Karadeniz Bölümü arasında bir geçiş teşkil etmektedir. İl genelinde hem karasal hem de Karadeniz ikliminin genel özellikleri görülmesine rağmen birbirine yakın kesimlerde bile iklimde büyük farklılaşmalara rastlanır. Bu da ilin jeomorfolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak Gümüşhane’ de iklim yazları oldukça kurak, kış ve bahar ayları ise yağışlı geçen bir karaktere sahiptir. Deniz seviyesinden yükseldikçe ve Doğu Anadolu Bölgesi’ne sınır teşkil eden yörelere ve Bayburt il sınırına yaklaştıkça karasal iklimin kendisini bariz şekilde hissettirdiği gözlenirken, aynı durum ilin iç kesimlerinde de görülmektedir. Merkez ilçeden batı ve kuzeybatıya doğru gidildikçe Harşit Vadisi boyunca iklim elemanlarında bir geçiş özelliği gözlenir.

Gümüşhane’nin makro ölçekte ölçüm yapan tek istasyonu olan merkez ilçedeki meteoroloji istasyon müdürlüğü rasat istasyonundan alınan rasat değerleri incelendiğinde; Gümüşhane’nin yıllık ortalama sıcaklığı 9.8 °C, en sıcak ay olan Ağustos ayının 19.9 °C, en soğuk ay olan ocak ayının ise, -1.2 °C olduğu belirlenmiştir. İlde 20 °C ve daha üstündeki sıcaklık yılda ortalama 52 gündür. Yıl içerisinde sıcaklığın 0 °C’ nin altına düştüğü gün sayısı ise 64 gündür (MGM-2019).

Gümüşhane ili karasal iklim ile Karadeniz iklimi arasında bir geçiş özelliği gösterdiğinden yağış rejimi de bu duruma uygunluk göstermektedir. Yıllık yağış miktarı ortalama 415 mm olup, yıl içerisinde dağılışı oldukça düzenlidir. Ancak bu durum, il geneli için söylenebilir. Mikro ölçekte düzensizlikler görülebilmektedir. En fazla yağış ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Yağışlar genellikle kar ve yağmur yağışı şeklinde olup, karlı gün sayısı yıllık ortalama 79 gündür ve karın yerde kalma süresi ortalama 42 gündür. Nisan ayı 58.9 mm’ lik yağış ile en yağışlı ay olarak görülürken, temmuz ayı 14.0 mm’ lik yağış miktarı ile en kurak ay olarak izlenmektedir (MGM-2019).

Gümüşhane’nin ortalama rüzgâr hızı 10 m/sn dir. Kış mevsiminde batı (W) güneybatı (SW) diğer mevsimlerde ise genellikle W yönünden, sadece mayıs aylarında ise SE yönünden hakim olarak esmektedir. Şimdiye kadar tespit edilen en hızlı rüzgar nisan ayında 14.7 m/sn olup, batı (W) yönündedir. Gümüşhane’ de fırtınalı günler sayısı ise yıllık ortalama 6 gün kadardır (MGM-2019).

Gümüşhane ve çevresi Doğu Anadolu ile Karadeniz Bölgesi arasında geçiş özelliğine sahip olması bitki örtüsüne de yansımıştır. Akarsu kenarlarında söğüt ve çeşitli

kavak toplulukları yer almaktadır. Vadi tabanlarından ve düzlük alanlardan dağlık kesimlere doğru, kültür arazisi dışında kalan yamaçlarda genel olarak step hakimdir. Yöredeki step, yaşama devresi çok kısa olan genelde parlak renkli iekli otsu formasyonlardan oluşur. Bu formasyon içerisinde geven (*astragalus*) ve sığır kuyruğu (*verbascum*) beklerine rastlanır. imen dağlarında yükseltinin 1500 metreyi aştığı kesimlerde kızılçam (*pinus brutia*), ardı (*jniperus communis*) ve meşe (*quercus*) türlerinin hakim olduğu orman kümeleri bulunur. 2000 metreden sonra Göknar (*Abies Nordmanniana*) hakimdir. Göknar Gümüşhane Dağlarının güneye bakan yamaçlarında 1800 metreye kadar iner. Gknarın arasında karaçam (*pinus nigro*) ve sarıçam (*pinus slyvestris*) türleri de yer yer yoğunluk kazanır. 1800 metreden daha aşağı kesimlerde sarıçam ve karaağaç (*ulmus*) ormanın belirgin türleridir. Harşit vadisi tabanına doğru çeşitli meyve ağaçları (vişne, elma, armut, erik, kiraz, ceviz v.s.) vardır. Zigana Dağlarının güney yamaçlarında orman örtüsü nispeten grleşir. Bu alanlarda 1500 metrelere kadar kayın, gürgen, karaağaç, kızılağaç, akçaağaç, meşe, kavak türlerinden oluşan karışık orman görülmektedir. 1900 m den 2300 m ye kadar ladin ve sarıçam ormanları hakimdir. 2300 metreden sonra orman bodurlaşmaya ve yerini yüksek dağ ayırlarına bırakmaktadır.

İnceleme alanında mevsimsel yağış miktarına bağlı olarak (Tablo 1.1) sulu derelerin debileri artmakta, kuru dereler faaliyete geçmektedir. Artan yağış miktarı doğrudan heyelan, kaya düşmesi ve su baskını gibi tehlikelerle doğrudan ilişkilidir.

Tablo 1. 1. Gümüşhane iline ait meteorolojik veriler (1961-2019)

GÜMÜŞHANE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.9	-0.5	3.6	9.2	13.5	17.0	19.9	20.1	16.3	11.1	4.9	0.3	9.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.9	5.2	9.9	16.2	21.1	25.0	28.1	28.8	25.3	18.8	10.6	4.7	16.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-5.5	-4.8	-1.0	3.7	7.6	10.8	13.7	13.8	10.1	5.9	0.7	-3.1	4.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	1.3	3.7	4.9	6.0	7.3	8.9	10.0	9.6	7.9	5.4	2.3	0.8	68.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.1	10.5	12.5	13.5	15.4	10.3	3.9	3.7	5.4	9.4	9.9	11.3	116.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	35.6	31.4	43.7	58.9	69.0	47.6	12.5	13.7	21.4	43.9	41.9	42.0	461.6
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.8	18.0	24.0	29.0	32.6	36.2	41.0	41.1	37.0	32.0	22.1	19.2	41.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-23.6	-25.7	-22.6	-11.0	-2.8	1.8	4.5	4.9	-1.0	-4.8	15.0	21.0	-25.7

1.2.2. Morfoloji

İlin % 59.6'lık bir bölümünü oluşturan dağlık alanlar genellikle il sınırları ile kuzey kesimlerini kaplar. Bu dağlar sıradağların uzantıları şeklinde olup, iç kesimlere doğru da tek dağlar olarak bulunmaktadır. Oldukça engebeli bir arazi üzerinde yer alan Gümüşhane'nin kuzeyini Zigana Dağları ile Trabzon Dağları'nın güney kısımları oluşturmaktadır. Yine kuzey yönünde derin yarılmış Karadeniz Dağları ve Soğanlı Dağları duvarı andıran sıralar halinde ili sınırlamaktadır. Güney- güneydoğuya doğru Çimen Dağları bulunur. Bunlardan başka yükseklikleri 1800 m ile 2700 m arasında değişen Kostan Dağı, Teslim Dağı, Vavuk Dağı, Tersun Dağı, Pöske Dağı, Soğanlı Dağları ile Gavur dağları önemli yükseltiler arasında bulunmaktadır. Ayrıca merkez ilçede bulunan ve şehre ayrı bir görüntü katan, yükseklikleri 2000 m civarında olan Kuşakkaya (1920 m) ve Alemdar Tepeleri (1700 m) de tek dağlar olarak anılabilir.

1.3. Literatür Çalışması

1.3.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresi ile ilgili Jeolojik Çalışmalar

Çalışma alanını da içine alan bölgede şimdiye kadar birçok araştırma yapılmış olup Tüdeş, 2001; Alemdağ vd., 2011; Dağ vd., 2011; Tüdeş vd., 2012; Alemdağ vd., 2014; Alemdağ vd., 2015; Alemdağ vd., 2017; Gurocak vd., 2017; Bostancı, 2018; Dağ, 2018; literatürdeki çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Tüdeş (2001), Gümüşhane il merkezinde yaptığı doktora tezi çalışmasında, yerleşim alanında yayılım gösteren kayaçların mühendislik özelliklerini incelemiştir. Araştırmacı kaya kütlelerinin sınıflamaları, kazılabilirlikleri, taşıma güçleri, yerleşim alanlarının depremselliği, taşkın değerlendirmeleri gibi parametreleri CBS ortamına aktarmıştır. CBS ortamında ilgili haritaları hazırlayarak çalışma alanının yerleşime uygunluk değerlendirmesini yapmıştır.

Alemdağ vd., (2011), Farklı Ayırışma Derecesine Sahip Kaya Kütlelerinin Kazılabilirlik Özellikleri: Gümüşhane Granitoyidi Örneği, Gümüşhane, KD Türkiye isimli çalışmasında; Gümüşhane ve yakın yöresinde yüzeylenen Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi'nin kazılabilirlik özellikleri incelemiştir. Sonraki aşamada ise kaya kütlelerinin RMR₈₉, Q ve GSI değerleri belirlemiş ve kazılabilirlik açısından sınıflandırmıştır. Yapılan sınıflamalara göre, orta derecede ayrıışmış kaya kütleleri “sökülebilir”, ileri derecede ayrıışmış kaya kütlesi ise “kazılabilir” özelliktedir. İnceleme alanlarında yapılan kazı çalışmalarında orta derecede ayrıışmış kaya kütlelerinin hidrolik kırıcı kullanılarak söküldüğü, ileri derecede ayrıışmış kaya kütlelerinin ise kepçe kullanılarak kazıldığı tespit etmiştir.

Tüdes vd., (2012) Gümüşhane il merkezinde yaptıkları çalışmada, inceleme alanında yüzeyleme veren kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini ve bölgesel ölçekte depremselliği ve taşkın durumlarını dikkate alarak, yer seçiminde planlayıcılara ve arazi kullanımına ilişkin alınacak kararlara yardımcı olmak amacıyla il merkezinin yerleşime uygunluk haritasını hazırlamışlar ve veri tabanı oluşturmanın önemini vurgulamışlardır.

Alemdağ vd., (2014), Gümüşhane il merkezi Mordut mevkiinde Gümüşhane Granitoyidi'nde meydana gelen heyelanın sebepleri, oluşum mekanizması ve rehabilitasyonuna yönelik farklı yenilme yöntemleri kullanarak çözüm üretmişlerdir.

Alemdağ vd., (2015), Gümüştaş Atık Baraj Sahası temel kayalarının, ampirik ve sayısal analizler kullanarak taşıma kapasitesi ve geçirgenliğin değerlendirilmesi adlı

çalışmasında andezit ve andezitik breş kaya kütlerinin başınçlı su deneyi ve sonlu elemanlar yöntemi ile sızma analizleri yaparak yeraltına sızıntı olabilecek kimyasalları çevre ve insan sağlığına etkileri ve baraj gövdesinin tamamen sızdırmazlığı üzerine çözümler geliştirmiştir.

Alemdağ vd., (2017), Toprakların Taşıma Kapasitesi Belirlenmesinde Yerleşim Miktarının Önemi adlı çalışmasında; Yüzey Dalgalarının Analizi (MASW) ve elek analizleri, kesme kutusu testleri, üç eksenli dayanım testleri ile bozulmuş ve bozulmamış örnekler üzerinde sıkıştırma testleri yapılmıştır. Daha sonra sonlu elemanlar sayısal modeli uygulanarak uygun temel tasarımı için zemin parametreleri elde edilmiştir.

Gurocak vd. (2017), Gümüşhane il merkezini de içine alan Gümüşhane Granitoyid Kompleksi'nin yayılım gösterdiği alanlarda kaya kütledeki süreksizliklere bağlı olası duraysızlık mekanizmasının kinematik analiz yöntemi ile belirlenmesi ve daha sonra oluşacak duraysızlık modelleri için ArcGIS programında CBS tabanlı haritalarının oluşturulması ve bulanık anlamlandırma yöntemi (Fuzzy) kullanılarak inceleme alanı için nihai duraysızlık haritası üretilmiştir.

Bostancı vd. (2018), Köse Granitoyid kompleksinde kaya kütle yenilme mekanizmalarını (düzlemsel, kama ve devrilme) belirleyip, CBS ortamında nihai duraysızlık haritası belirlenmiş ve en yaygın duraysızlık tipinin kama türü yenilme olduğu belirlenmiştir. Bu harita dikkate alınarak arazi kullanım haritası üretilmiştir.

Dağ, 2018, Kayaların doygunluk derecesinin zamanın bir fonksiyon olarak belirlenmesi, Türkiye'nin dağlık bölgesinden bir vaka çalışması adlı çalışmasında; 5 farklı kaya grubuna ait kayaların doygunluk derecesinin zamana göre değişimini ölçümler ve laboratuvar deneyleri ile zamanın foksiyonu olarak grafiksel ve denklemsel ifade ederek farklı kaya grupları doygunluk dereceleri arasındaki uyumları incelemiştir.

1.3.2. Kaya Düşmeleri ile İlgili Çalışmalar

Abellán vd. (2009), Jeolojik Tehlikelerde 3B Nokta Bulutlarının Kullanımı başlıklı çalışmada, nokta bulutu verileri ile sayısal yükseklik modelleri elde etmiş ve yüksek çözünürlüklü bu verilerin Jeolojik tehlikelerin tespiti açısından önemine yönelik değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Lato vd. (2012), Üç boyutlu lidar ve fotogrametri modellerinde kaya süreksizliklerinin otomatik haritalanması yöntemini kullanarak kayalara ait kırık ve çatlak

sistemleri ve bunların haritalanması sağlanmıştır.

Topal ve Akın (2012), yaptığı çalışmada Kastamonu Kalesi (Türkiye) çevresinde seçilen 17 profil hattı üzerinde kaya düşmesi riskli alanları belirlemek için iki boyutlu RocFall analizi yaparak, düşmesi olası kayaların yayılma alanlarını tespit etmişlerdir.

Keskin (2013), Boğaziçi (Erzincan, Türkiye) bölgesinde bulunan sarp kayalıklarda kopmuş ve kopma tehlikesi olabilecek alanlarda oluşturulan kesit hatlarını RocFall bilgisayar programında modelleyerek düşen kayaların kinetik enerjisi, gidebileceği mesafe, sıçrama yüksekliği ve hızını belirlemiştir.

Sorro (2014), Son Poc kaya düşmesi (Mallorca, İspanya); bu çalışma mevcut kaya düşmesi olan alandaki blokların geometrisi ve parametreleri ortaya çıkarılarak geri analiz yöntemi ile tüm katsayılar hesaplanarak; 3D simülasyon ile oluşabilecek yeni kaya düşme olayları neticesinde risk altında olan alanlar ortaya çıkarılmıştır.

Riquelme vd., (2015), 3D verileri kullanarak, eğim kütle derecelendirmesiyle kaya yamaçlarının karakterizasyonu nokta bulutları sayısal verileri ile ortaya çıkarmışlardır.

Yakar vd., (2015), İHA fotogrametresi ile kaya düşme bölgelerinin 3 boyutlu, sayısal arazi modeli, ortofoto ve vektör haritalarını oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda İHA'lar ile yüksek doğrulukta ve hassasiyette veriler elde edilebilmekte olduğu, ulaşılması güç alanların görüntülendirilmesinde kullanılabildiği ve az zamanda ölçümlerin yapılabileceğini görmüşlerdir. Bundan dolayı İHA'ların kaya düşmesi olaylarında kullanılabileceğini ve arazinin modellenmesi için gerekli verilerin üretilmesinde etkin rol alacağını söylemektedirler.

Wang, vd., (2016), Üç boyutlu bir nokta bulutundan otomatik mostra kırığı çıkarma işlemi için lidar görüntülerinden elde ettikleri veriler ışında değişik algoritmalar geliştirilerek oluşan ve oluşabilecek kaya düşmeleri alanlarını saptamışlardır.

Akın vd. (2018), 3-B Kaya Düşme Analizleri İçin Sayısal Yüzey Modellerinin Oluşturulmasında Nokta Bulutlarının Kullanımı çalışmasında; yüksek çözünürlükteki nokta bulutları verileri yardımıyla kaya düşmesinin gerçekleştiği topoğrafyaya ait sayısal yüzey modeli elde etmişlerdir. 2B analizlere göre 3B analizlerin daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğu göstermişlerdir.

Sorro (2018), İHA Fotogrametrisine Dayalı Kaya Düşmesi Simülasyonu Acil Durum Bildirimi Sırasında Elde Edilen Veriler çalışmasında kültürel miras alanına çok yakın bir lokasyonda hidro elektrik santralinde meydana gelen bir kaya düşmesi olayından faydalanılarak, kültürel miras alanını tehdit eden olası kaynak kaya alanları ve kaya

düşmesi potansiyel alanları ortaya koymuştur.

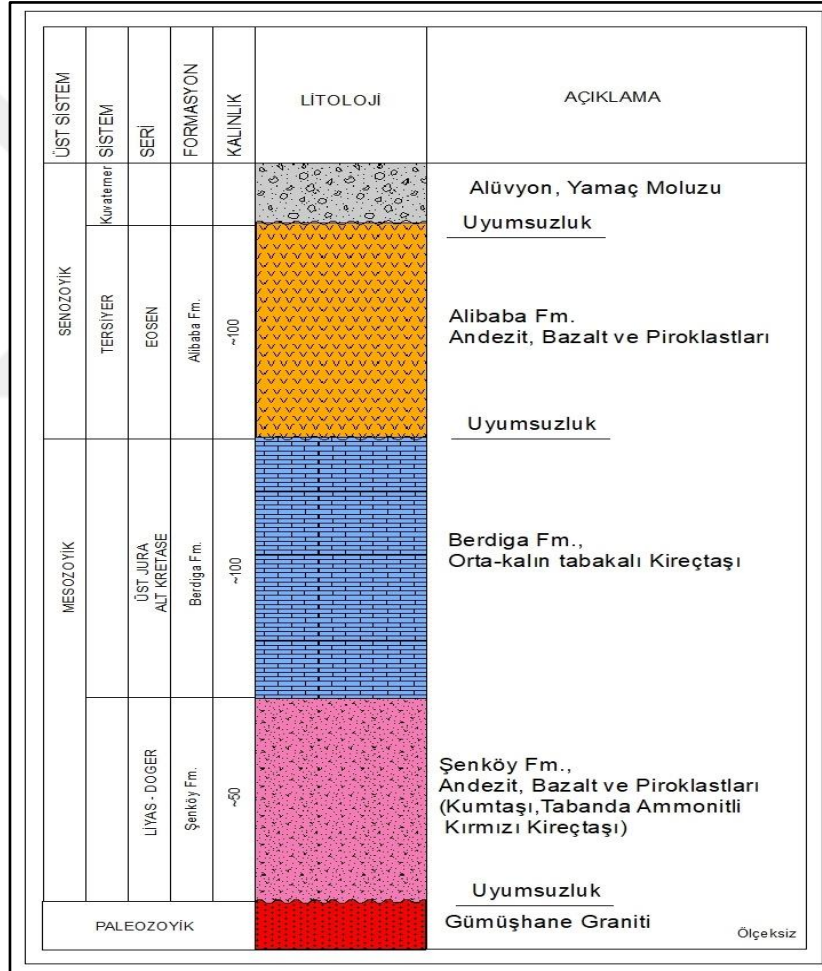
Akın vd., (2019), Kaya Tutma Hendek Performansının 3-Boyutlu Kaya Düşme Analizleriyle Değerlendirilmesi çalışmasında; sayısal yüzey modeli için insansız hava aracı ile alınan fotogrametrik görüntülerden elde edilen nokta bulutu verisi ile oluşturmuş ve RocPro3D yazılımında gerçekleştirilen 3-boyutlu kaya düşme analizleri sonucunda, genel olarak düşen blokların kaynak zon ile yerleşim yeri arasında kazılan hendek tarafından tutulduğu ancak bazı bölümlerde bu blokların kaya tutma hendeğini aşarak yuvarlanmaya devam edebileceği ortaya koymuştur.

Şener (2019), İnsansız Hava Araçları Kullanılarak Olası Kaya Düşmelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı 3D Modellenmesi: Kasımlar Köyü (Isparta-Türkiye) Örneği çalışmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı 3D modelleme sonuçlarına göre olası kaya düşmelerinde maksimum kinetik enerji, maksimum sıçrama yüksekliği ve maksimum düşme hızlarını belirlemiştir. Konumsal olarak belirlenen bu veriler kullanılarak olası kaya düşmelerini engellemeye veya etkilerinin en aza indirilmesine yönelik yapılacak mühendislik yapıları projelendirilmeleri altlık veri hazırlamıştır.

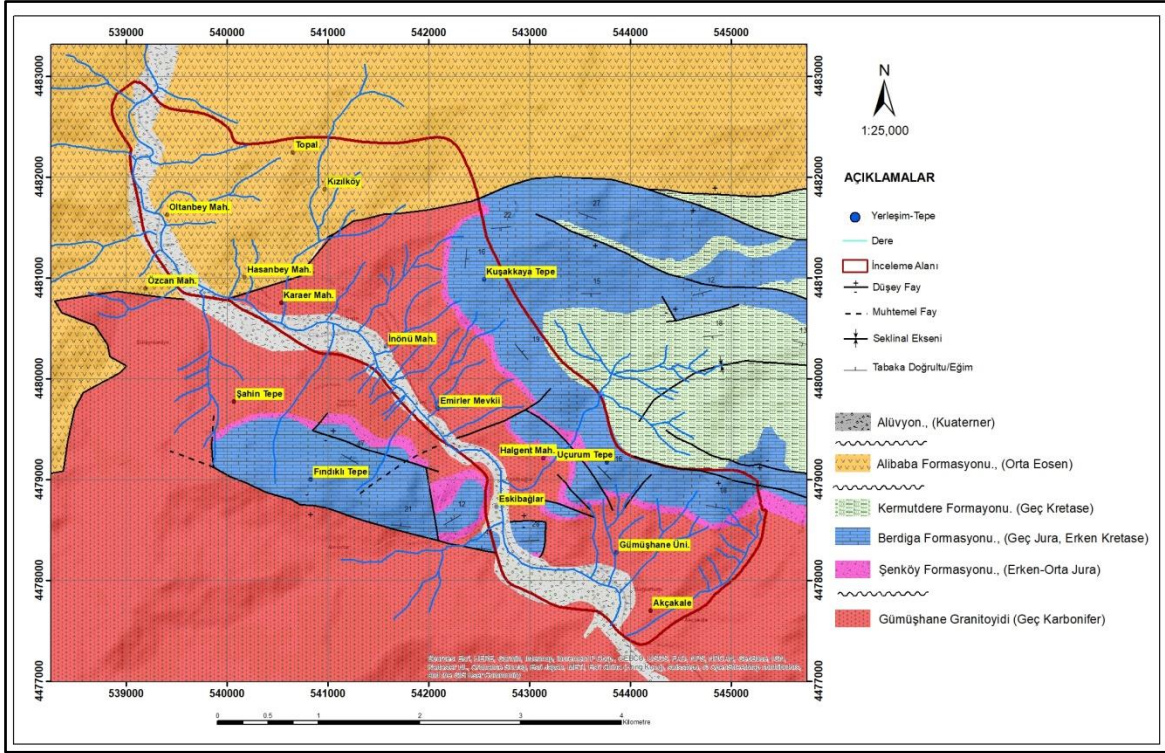
Alptekin ve Yakar (2020), Kaya bloklarının 3B nokta bulutunun yersel lazer tarayıcı kullanarak elde edilmesi çalışmalarında, engebeli bir araziden kayarak düşen ve bir evi tehdit eden kayanın lazer taraması yapılarak 3B modeli yüksek çözünürlükte elde etmişler ve bu verilerin 3B kaya düşmesi simülasyonlarında kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir.

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme sahasındaki adlandırmalar litostratigrafi kuralları göz önüne alınarak yaşlıdan gence doğru; Gümüşhane Granitoyidi (Geç Karbonifer), Şenköy Formasyonu (Erken-Orta Jura), Berdiga Formasyonu (Geç Jura- Erken Kretase), Alibaba Formasyonu (Eosen), Yamaç Molozu ve Alüvyonlardır (Kuvaterner). İnceleme alanında yayılım gösteren birimleri karakterize edecek stratigrafik kolon kesit Şekil 2.1’de, jeoloji haritası ise Şekil 2.2.’de verilmiştir.



Şekil 2.1. İnceleme alanı ve çevresine ait stratigrafik kolon kesit



Şekil 2.2. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Kandemir, 2004'den değiştirilerek)

2.1. Gümüşhane Granitoyidi

2.1.1. Ad ve Yayılım

İnceleme alanının temel kayalarını Gümüşhane Graniti (Yılmaz, 1972) ya da Gümüşhane Pülütünü (Çoğulu, 1975) olarak adlandırılan granitik kayalar oluşturur. Gümüşhane Graniti ismi birçok araştırmacı tarafından kabul görmüştür. Çalışma alanı içinde aşınma uyumsuzluğu ile Şenköy Formasyonu'na ait birimler tarafından üzerlenir.

2.1.2. Litoloji

Gümüşhane Granitoyidi; başlıca kuvarslı mikrodiyorit, granodiyorit, granitler oluşmaktadır. Gümüşhane civarında yoğun olarak izlenen bu birim Gümüşhane il merkezi, Yeni Mahalle alt kotlarında, Bağlarbaşı ve Eskibağlar ve Akçakale Köyü ve Harşit Çay'ının daha çok sağ yamacında izlenmektedir. Pembe renkli, oldukça kırıklı, kırıklar boyunca killeşme ve yer yer arenalaşma göstermektedir. Makroskobik olarak taneli bir yapı göstermekte olup, iri kristaller halinde ortoöz, kuvars, feldspat ve ferromagnezyen

mineraller içerdiği gözlenmiştir. Mikroskobik incelemelerinde ise taneli bir doku gösterdiği, serizitleşmiş otomorf ve subtomorf oligoklaz andezin, ortoz kristalleri, kuvars ve serizitleşmiş muskovit içerdiği gözlenmiştir (Oktay, 2014) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Gümüşhane granitoidinin arazi görünümü (Yeni Mahalle üst kotları)

2.1.3. Alt-Üst Sınırlar

İnceleme alanında Gümüşhane Granitoid'inden daha yaşlı birim yoktur. Bu nedenle alt sınırı görülememiştir. Birimin üzerine ise Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu' na ait kırmızı kireçtaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı-kiltaşı, andezit-bazalt lav ve piroklastları ve çörtler uyumsuz olarak gelmektedir.

2.1.4. Yaş

Gümüşhane Granitoidi çalışma sahasının en yaşlı birimi olup, Orta-Geç Karbonifer yaşlıdır. Jeokronolojik yöntemlerle granitoidin yaşı 298-338 milyon yıl olarak saptanmıştır (Çoğulu, 1970). Buna göre, Gümüşhane Granitoidi' nin Permokarbonifer yaşlı

olduğu ve Hersinyen orojenezi sırasında sokulum yaptığı ifade edilmiştir (Ketin, 1950). Ayrıca Baykal (1952) ve oğulu (1970) granitoidin yaşını Geç Permokarbonifer olarak belirtmişlerdir. Söz konusu granitoidlerin çalışmacılar tarafından Triyas süresince aşınmaya uğradığı belirtilmiştir. Topuz vd. (2008), Gümüşhane pltonunda yaptığı çalışmalarda granitoidin yaşını 324 My (U- Pb) ve 320 My (Ar- Ar) olarak tespit etmiştir.

2.1.5. Deneştirme

Gümüşhane Granitoidi, yaşı ve litolojik içeriği ile benzerlik gösteren Geç Karbonifer yaşlı Köse Graniti olarak adlandırılan (Bergougnan 1987; Dokuz 2011), çoğunlukla alkali feldspat granit, granit ve daha az olarak granodiyorit bileşiminde kayalardan oluşan birim ile deneştirilebilir niteliktedir.

2.2. şenköy Formasyonu

2.2.1. Ad ve Yayılım

Bu birimi tanımlamaya yönelik ilk alışma Ağar (1977) tarafından Demirözü (Bayburt) yöresinde yapılmış ve birime Hamurkesen Formasyonu adı verilmiştir. Eren (1983) yakın yörede yapmış oldukları çalışmalarda Erken-Orta Jura yaşlı kayaları Zimonköy Formasyonu olarak adlandırmıştır. Son olarak Kandemir (2004) şenköy Formasyonu olarak adlandırmıştır. Tamamen benzer özelliklerinden dolayı inceleme alanındaki Erken-Orta Jura yaşlı kayalara bu adın verilmesi uygun grlmştir. Erken-Orta Jura yaşlı, gri renkli killi kireçtaşları, tf ve tfitle başlayıp yukarıya doğru bazaltandezit ve piroklastiklerine geçen tabanda konglomera-kumtaşı bulunan birim, Hersinyen temeli aşınma uyumsuzluğu ile üzerler.

2.2.2. Litoloji

Formasyonun tüm kayaları inceleme alanında görülmez. Sahada birim tabanda merceksi bir geometriye sahip, yuvarlaklaşmış Gümüşhane Graniti'ne ait çakılları içeren konglomera, yukarıya doğru ara seviye olarak bitki kırıntılı killi ve çamurtaşı seviyeler içeren yeşil-kırmızı renkli volkanik kumtaşı, katmanlanma yüzeyi düzgün olmayan çörtlü ve dolomitik kireçtaşı, yer yer ayrışmış ve iri plajiyoklas kristallerinden oluşmuş bazik

kayaçlarla temsil edilir. Gümüşhane merkez İnönü, Erenler, Gözeler ve Eskibağlar mahallelerinin K-KD'sunda yüzeylenmektedir. Birimin Eosen yaşlı granitik kayaçlarla dokanaklarında silisleşmeler, piritleşmeler ve killeşmeler görülmektedir. Değişik litolojik birimlerden oluşan bu seri farklı renklerde olmasına rağmen genellikle gri, bordo ve koyu yeşil renklerle ayırt edilirler Birime ait kayaçlar karasal, geçiş, akarsu ve bataklık ortamında çökeldiği belirtilmiştir (Kandemir, 2004), (Şekil 2.4).

2.2.3. Kalınlık

Birim yanal ve düşey yönde ani kalınlık ve fasiyes dağılımı sunarlar. Birimin arazideki görünür kalınlığı yaklaşık 50-60 m'dir.



Şekil 2.4. Şenköy Formasyonu'ndan bir görünüm (Yeni Mah. üst kotları)

2.2.4. Alt-Üst Sınırlar

Şenköy Formasyonu kırmızı çamur taşları konglomera seviyesi ile Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Üst sınırı ise Berdiga Formasyonu' na ait dolomitik kireçtaşlarıyla uyumludur.

2.2.5. Fosil İçeriği ve Yaş

Birimi oluşturan kayalarda yapılan incelemelerde, birime yaş verebilecek herhangi bir fosile rastlanmamıştır. Daha önceki çalışmalarda, kaynaklar Şenköy Formasyonu'nda saptanan makro ve mikro fosillere dayanarak bu birime Erken-Orta Jura yaşı verilmiştir. Bu çalışmada da Şenköy Formasyonu'nun Erken-Orta Jura yaşlı olduğu esas alınmaktadır (Kandemir, 2004).

2.2.6. Deneştirme

Birim, Açar (1977) tarafından Demirözü (Bayburt) yöresinde tanımlanan Hamurkesen Formasyonu ile deneştirilebilir.

2.3. Berdiga Formasyonu

2.3.1. Ad ve Yayılım

Tüm Doğu Pontidlerde Geç Jura- Erken Kretase yaşlı sığdenizel kireçtaşlarından oluşan birim, Pelin(1977) tarafından Alucra(Giresun) yöresinde Berdiga Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birim Hamurkesen formasyonu üzerine uyumlu olarak gelirken, Geç Kretase yaşlı Kermutdere formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenir.

2.3.2. Litoloji

Genel olarak gri-bej renginde yer yer masif katmanlı üst seviyeleri çörtlü, taban seviyeleri dolomitize olup, tabandan tavana karbonatlı fasiyeste gelişmiştir. Karaer, İnönü, Yeni Mah. ve Eskibağlar Mahalleleri üst kotlarında izlenmektedir. Birim, sakin tektonik koşullarda çökelmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Berdiga Formasyonundan bir görünüm (İnönü ve Yeni Mah. üst kotları)

2.3.3. Kalınlık

Masif kireçtaşlarının yüzeylendiği yerlerde topoğrafya eğimi artmakta ve bazen dik şevler oluşturmaktadır. Orta kalın katmanlı olup, çalışma alanındaki kalınlığı yaklaşık 150-200 m arasında değişmektedir.

2.3.4. Alt-Üst Sınırlar

Berdiga Formasyonu, alt sınırında Şenköy Formasyonu ve üst sınırında Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu ile uyumlu gözlenmektedir.

2.3.5. Fosil İçeriği ve Yaş

Berdiga Formasyonu Geç Kretase yaşlı kırmızı kireçtaşlarının altında yer alır. Ayrıca, Liyas yaşlı Şenköy Formasyonu'nu uyumlu olarak üstlerler. Tüm bu veriler ve inceleme alanına yakın bölgede yapılan önceki çalışmalarla (Ağar, 1977; Pelin, 1977,

Tokel, 1972) korele edilerek, kireçtaşlarının yaşının Geç Jura Erken Kretase olabileceği sonucuna varılmıştır.

2.3.6. Deneştirme

Kuşakkaya Formasyonu (Türk-Japon Ekibi, 1985) ve Hozbirikyayla Formasyonu (Ağar,1977) ile benzerlik göstermektedir. Berdiga Formasyonu, Gümüşhane yöresinde Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Harşit Formasyonu (Tokel, 1972); ile litolojik ve stratigrafik olarak benzer özellikler göstermektedir.

2.4. Alibaba Formasyonu

2.4.1. Ad ve Yayılım

Nummunitli kireçtaşı- tüfit-kiltaşı-kumtaşı ara seviyeli bazaltik-andezitik lav ve piroklastlarından oluşmuş birim, Tokel (1972) tarafından tanımlanan Alibaba Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birim çalışma alanında Berdiga formasyonunu uyumsuz olarak üstlemekte ve polijenik çakıllı alüvyon malzeme tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir.

2.4.2. Litoloji

Birim çalışma alanı içinde Hasanbey, Oltan bey ve Özcan Mahallesi çevrelerinde yüzeylenirler. Makroskopik olarak, bazik ve ortaç volkanik kayalar gri-yeşil renkli yer yer porfiritik özellikte, kırıklı çatlaklı olup, kırıklar boyunca yoğun silisleşme, killeşme, piritleşme ve güncel alterasyonlar görülür. Mikroskopik olarak plajiyoklas, horblend, biyotit ve opak minerallerden oluşmuştur (Şekil 2.6).

2.4.3. Kalınlık

Formasyonun görünür kalınlığı yaklaşık 400 m dir. Formasyon yoğun volkanik etkinliğin de eşlik etmesiyle sığ denizel ve karasal ortamlarda birikmiştir.



Şekil 2.6. Alibaba Formasyonu'ndan görünüm (Hasanbey Mah. üst kotları Tumbul kaya)

2.4.4. Alt-Üst Sınırlar

Alibaba Formasyonu, alt sınırında Kermtudere Formasyonu ve üst sınırında Güncel çökeller ile uyumsuz olarak gözlenmektedir.

2.4.5. Fosil İçeriği ve Yaş

Alibaba formasyonu içindeki kırıntılılardan alınan örneklerin fosil determinasyonu İpresiyen ve Lütesiyen arasında yaşlar vermektedir. Yılmaz vd. (1997), Aydınçakır (2012) birimin içerisindeki Borçka bazaltından Ar/Ar hornblend yaşlandırması sonucu 46 ± 0.8 My ve 46.1 ± 0.6 My yaşlar elde etmiştir. Ayrıca andezit-diyorit porfirlerdeki amfibollerden Ar-Ar yöntemiyle 50.04 ± 0.10 My (İpresiyen) yaş elde edilmiştir (Aydınçakır, 2014). Buna göre birim erken İpresiyen-Lütesiyen yaştaadır.

2.4.6. Deneştirme

Birim yoğun volkanik etkinliğin de eşlik etmesiyle sığ denizel ve karasal ortamlarda birikmiştir. Formasyon Güven (1993) tarafından tanımlanan Kabaköy Formasyonu ile benzerlik göstermektedir.

2.5. Alüvyon

Kuvaterner yaşlı alüvyon özellikle Harşit ayı boyunca görülmektedir. Harşit ayı kollarını oluşturan diğer dere ve vadilere ulaşmıştır. Alüvyon içerisinde evre kayaçların blok boyutundan kil boyutuna kadar değişen boyutlarda malzemelerini gözlemek mümkündür. Malzemenin büyük bir çoğunluğunu yuvarlak ve az yuvarlak tane Őekilleri gösteren, blok ve çakıl boyutunda kayaçlar oluşturmaktadır. Alvyonların kalınlığı değişkenlik göstermekte olup, bunlar güncel olarak oluşmaya devam etmektedir (Oktay, 2014).

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gümüşhane il merkezindeki yerleşim alanlarını tehdit eden serbest, askıdaki veya yüksek sarp yamaçlardaki kaya kütleleri incelenip, kaya düşme envanter haritası oluşturulmuş ve yapılacak mühendislik çalışmaları ışığında 3B kaya düşme analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler dikkate alınarak riskli olan alanlar için iyileştirme yöntemleri 3 boyutlu kaya düşme analiz programında değerlendirilip, en uygun iyileştirme yöntemi/yöntemleri önerilmiştir.

3.1. Arazi Çalışmaları

Arazide gerçekleştirilen çalışmalarda düşmüş kaya bloklarının yerleri ve düşmesi olası blokların tespiti sahada belirlenmiş (Şekil 3.1), blok şekli ve geometrisi çıkarılmış (Şekil 3.2) ve araziden her bir jeolojik birime ait blok örnekler toplanmıştır. Ayrıca inceleme alanına ait jeoloji haritası güncellenmiştir.



Şekil 3.1. Düşmüş kaya blokları ve kaynak kaya alanlarının sahada incelenmesi



Şekil 3.2. Düşmüş kaya bloklarının şekil ve boyutlarının belirlenmesi

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Arazide çalışmaları sırasında laboratuvar deneyleri için sahaya ait birimlerden blok örnekler alınmıştır. Alınan örnekler laboratuvar ortamında ISRM (2007) standartlarında hazırlanarak deney için hazır hale getirilmiştir. Berdiga formasyonu'na ait kireçtaşları, Alibaba Formasyonuna ait andezit ve Gümüşhane Granitoyidi'ne ait granitlerden alınan silindirik blok örneklerde birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Birimlere ait örnekler ve laboratuvar deneyleri

3.2.1. Birim Hacim Ağırlık

Blok örneklerinden karotiyer yardımıyla hazırlanan karot numuneleri öncelikle ISRM (2007) standartlarında kompas yardımı ile çapları, uzunlukları ve hasas terazi yardımı ağırlıkları belirlenerek birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

3.2.2. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Kapasitesi 2000kN olan presin kullanıldığı deneylerde karot örnekler için, ISRM 2007 de boy/çap 2,5-3 oranı ebatlarında silindirik örnekler hazırlanıp, tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir. Yükleme hızı olarak 0.1 kN/s seçilmiş olup, numuneler 5-10 dk arasında yenilmiştir. Her bir jeolojik birim için 5 örnek üzerinde deney tekrar edilmiştir.

3.2.3. Dolaylı Çekilme Dayanımı (Brazilian)

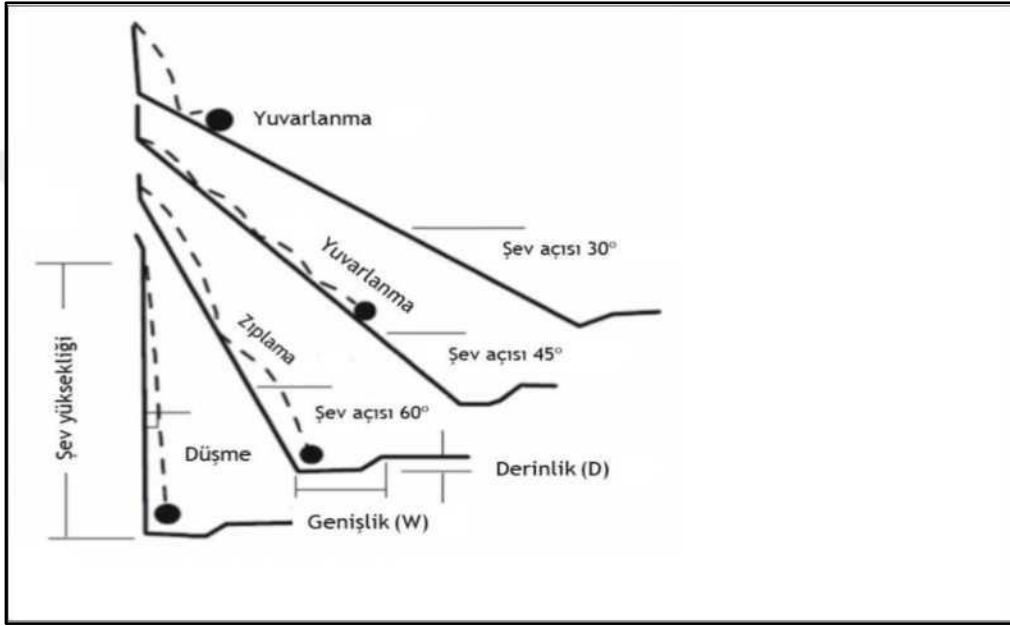
Benzer doğrultuda birbirinden uzaklaşan ters yönlerdeki kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeye “Çekme Gerilmesi” denir. Çekme gerilmesi kaya kütlelerinin boylarında uzamaya, enlerinde ise daralmaya neden olur. Her bir ucundan çekilen bir numunenin yenildiği andaki gerilme değerine “Çekme Dayanımı” (σ_t) denir. Çekme dayanımı, kayaların mekanik özelliklerinden birisidir. Çekme dayanımı genel olarak zedelenmemiş sağlam kayanın sınıflaması ve tanımı için kullanılmakla birlikte bu değer, bazı tasarım problemlerinde de girdi olarak da kullanılabilir. Bu çalışmada örneklerin deneye hazırlanması ve deneyin yapılışı doğrudan çekme deneyine göre daha pratik olması nedeniyle deney için Brazilian yöntemi (ISRM, 2007) uygulanmıştır. Hazırlanan örneklerde örnek boyu (kalınlık) çapın yarısı kadar olmalı, sağlam, çatlaksız ve silindirik olmalıdır.

3.3. Bilgisayar Destekli Büro Çalışmaları

Büro çalışmalarında ise; inceleme alanını kapsayan ortofoto görüntüleri ve CBS ortamında üretilen sayısal arazi modelinden yararlanılarak tespit edilen düşmüş bloklar ile sahada belirlenen kaya blokları karşılaştırılmış ve kaya düşme envanter haritası oluşturulmuştur. Ayrıca inceleme alanı içinde kaynak kaya alanları, CBS ortamında üretilen eğim haritasında sınıflandırılmıştır. Belirlenen kaya düşme alanlarında yapılan üç boyutlu kayadüşme analizleri sonucunda yuvarlanan blokların topoğrafyadaki yayılma mesafeleri dikkate alınarak olası tehlike haritaları üretilmiştir.

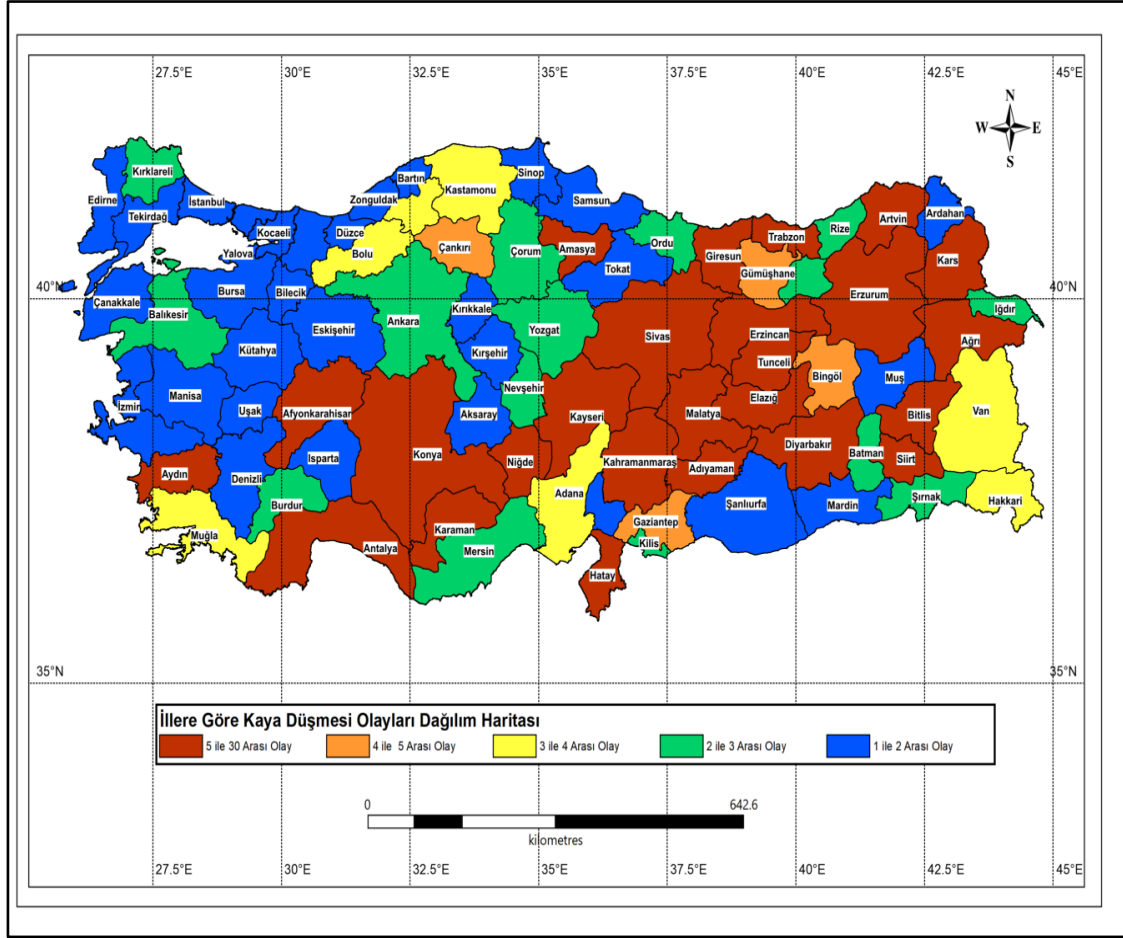
3.4. Kaya Düşme Analizlerine Yönelik Tanımlamalar ve Yapılan Çalışmalar

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 3.4).



Şekil 3.4. 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. Çalışma alanı Merkez (Gümüşhane), için kaya düşmesi değerlendirmesinde etkili olan parametreler irdelendiğinde, ilk sırayı oldukça dik yamaç eğimleri almaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü 1962-2017 kayıtlarına göre (URL-1, 2019) kaya yuvarlanmaları/düşmelerinin illere göre dağılımı tematik harita şeklinde Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Kaya düşmeleri olay kayıtları haritası, 1950-2017 yılları arası (Afad sayısal verilerinden tematik olarak haritalanmıştır)

Düşme potansiyeline sahip kaya bloğunun izleyeceği yol, kazanacağı hız, sıçrama yüksekliği ve kinetik enerjileri bilgisayar destekli kaya düşme analizleriyle belirlenebilir (Schweigl, 2003).

Kaya düşme analizleri deterministik ve probabilistik (olasılıksal) olarak iki ayrı yöntem kullanılarak gerçekleştirilebilir. Deterministik yöntemde analizlerde (ister 2-B, ister 3-B) kullanılan parametrelere birer değer atanır ve bu değerlerin analiz boyunca sabit olduğu kabul edilir. Probabilistik yöntemde ise parametrelere atanan değerlerin analiz boyunca değişebileceği kabulünden yola çıkılarak bu değerlerin ne tür bir aralıkta değişebileceği yazılıma tanımlanır ve atanan ilk değer analiz süresince probabilistik değişkenler doğrultusunda değiştirilir ve böylece hız, sürtünme ve yüzey heterojenliği gibi nedenlerden kaynaklanan belirsizliklerin analize dahil edilmesi sağlanır.

Çalışma sahasında gözlenen kaya düşmelerinin modelleme çalışmalarında RocPro3D (2014) bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Program Windows 7 ve üzeri işletim sisteminde hem 32 hemde 64 bit versiyonlar olarak çalışmaktadır. RocPro3D parametre atama ekranında R_n , R_t ve k gibi parametrelerin altındaki "variability (değişkenlik), limit velocity (limit hız) ve limit variability (limit değişkenlik) gibi kavramlar 3-boyutlu analizlerde probabilistik hesaplamada kullandığımız değişkenlerdir. Diğer bir ifadeyle bu değerler seçilen alandaki litolojik birimlerin özelliklerine göre değişim gösteren parametrelerdir. Eğer kaya düşme analizlerini gerçekleştirdiğiniz sahada, yuvarlanma zonundaki değişkenlikler fazla ise probabilistik yöntem kullanmak analiz sonuçlarının gerçekçiliğini artıracaktır. Yani limit hız veya sürtünme için atanan değerler, değişkenlik parametresinde belirttiğiniz değer doğrultusunda yuvarlanma esnasında değişim gösterir. Bu olasılıksal değişkenleri atarken arazinizin heterojenliği düşünülür ve geri tepme katsayılarını veya sürtünme katsayısını çok sık değiştirebilecek koşullar varsa değişkenlik değeri artırılır. Yatay (Lateral) ve düşey (Vertical) sapma (deviation) ise bloğun yüzeye çarpması sırasında düşey veya yatay yönde ne kadarlık bir açıyla sapabildiğini gösterir. Yuvarlanma yüzeyiniz çok girintili çıkıntılı ise açı olarak sunulan bu değişkenlik değerini de % 20'ler civarında alınması uygundur (Tablo 3.1.)

Tablo 3.1. Tekdüze olasılık değişkenleri için parametreler

Doğrultma Katsayıları;
Normal geri verme katsayısı (R_n)
Teğetsel geri verme katsayısı (R_t)
Değişkenlik d_r
Limit Hız v_r (lim)[m/s]
Limit Değişkenlik d_r (lim)[%]
Yanal Sapma;
Değişkenlik D_{qh} [°]
Limit Hız V_{qh} (lim) [m/s]
Limit değişkenlik D_{qh} (lim) [°]
Geritepme Katsayıları
Değişkenlik D_{qv} [°]
Limit Hız V_{qv} (lim) [m/s]
Limit Değişkenlik D_{qv} (lim) [°]
Sürtünme Katsayısı: kayma (kütle) veya yuvarlanma (rijit blok)
k değeri [-]
Değişkenlik D_k [%]
Limit hız V_k (lim) [m/s]
Limit değişkenlik D_k (lim) [%]
Geçiş Parametreleri
b_{lim} açısı [°]
$b_{lim'}$ açısı [°]

3.4.1. Geri Verme Katsayılarının (R_n , R_t) Belirlenmesi

Geri verme katsayıları (R_n , R_t), sürtünme açısı tayini oldukça önemlidir. Düşen bloğun topoğrafyaya temas ettiği noktalarındaki enerji sönmelenmelerini kontrol eden geri verme katsayıları (Coefficient of normal and tangential restitutions) R_n ve R_t değerleri analiz programında girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır. Bu katsayılar, düşen bloğun ve yüzeyin özelliklerine göre değişim göstermektedir. 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.

Sürtünme açısı, kaya bloğunun hareket edebilmesi için yamaç yüzeyi üzerindeki segmentlerin kritik açısını ifade etmektedir.

Sürtünme açısının belirlenmesinde; RocPro3D programında tanımlanan kaya kütleleri için belirlenen genel değerler kullanılmıştır. İnceleme alanında herbir litolojik birim için ayrı sürtünme değerleri belirlenmiş ve analizlerde bu değerler kullanılmıştır. Sürtünme açısında olduğu gibi analizlerde kullanılan diğer parametrelerde (limit hız, limit değişkenlik) program altlıklarında verilen standart değer aralıklarında arazi durumu (topoğrafik ve litolojik) göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

3.4.2. Çalışma Alanı Kaynak Kaya Alanlarının Belirlenmesi

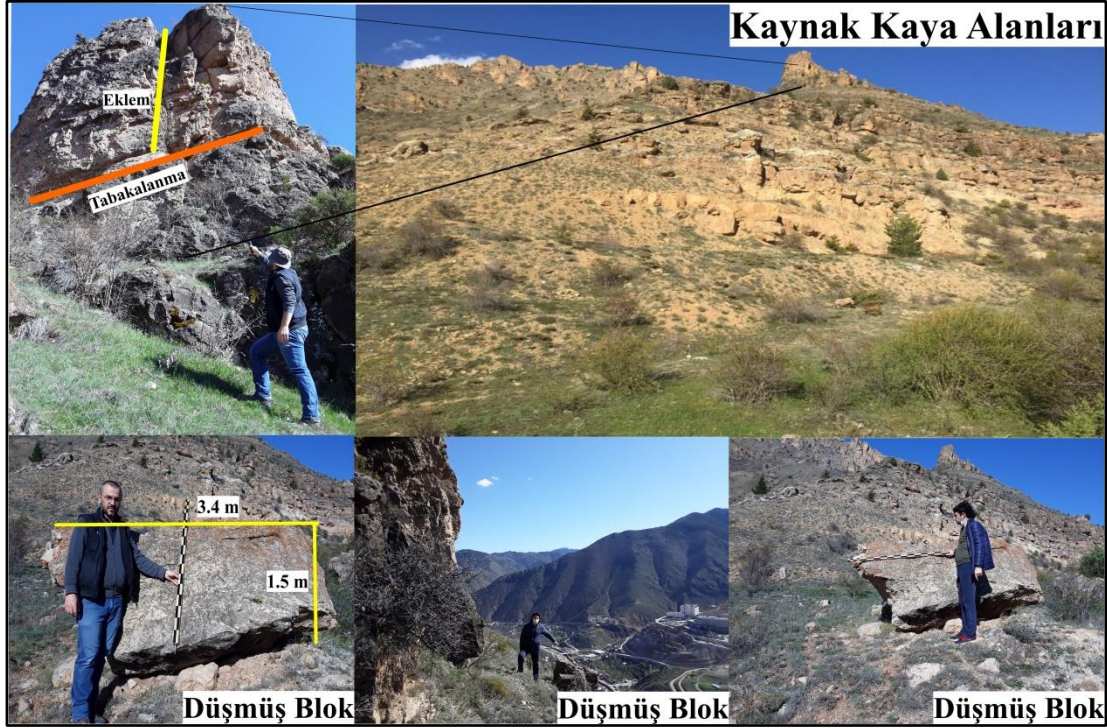
İnceleme alanındaki her bir çalışma bölgesi için öncelikle, 0.18m x 0.18m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli kullanılarak, eğim haritaları elde edilmiştir. Daha sonra hem eğim haritası üzerinde potansiyel aktif kaynak kaya alanları için (Troisi, vd.,2008), eşitliğinden hemde arazide yerinde tespit ve sayısal kayıt altına alma ile tüm kaynak kaya alanları belirlenmiştir.

3.4.3. Çalışma Alanı Kaya Düşme Envanter ve Olası Tehlike Haritalarının Üretilmesi

Çalışma alanı ortofoto görüntüleri, 50 yıllık AFAD verileri ve sayısal yükseklik modelinden yararlanılarak inceleme alanı kaya düşme envanter ve olası tehlike haritaları CBS tabanlı olarak üretilmiştir.

Bunun için öncelikle 0.18m x 0.18m çözünürlüklü sayısal yükseklik arazi modelinden eğim ve bakı haritaları elde edilmiştir. Envanter haritalarının oluşturulmasında; eğim haritası üzerinde potansiyel aktif kaynak kaya alanlarında askıda olan ve alt kotlarda düşmüş kaya blokları ortofoto üzerinde işaretlenmiş ve yerinde tespit edilmiştir. Ayrıca yazılı ve görsel medya üzerinden elde edilen kaya düşme olayları da

geçmişten günümüze doğru araştırılarak kayıt altına alınmıştır (URL-2, 2015, URL-3, 2019, URL-4, 2020, URL-5, 2019, URL-6, 2017). Ayrıca sayısal haritalar üzerinde düşmüş bloklar ile çevrilmiş alanlar olarak eklenmiştir (Şekil 3.6-3.18).



Şekil 3.6. Düşmüş kaya bloklarının arazide incelenmesi ve boyutlandırılması (İnönü ve Yeni Mahalle üst kotları)



Şekil 3.7. Düşmüş kaya bloklarının arazide tespiti (Eskibağlar Mah. Kömürcüoğlu Sok.)



Şekil 3.8. Gümüşhane Granitoyidi'ne ait düşmüş granit blokları (Eskibağlar Mah.)



Şekil 3.9. Alibaba Formasyonu'na ait kaynak kaya alanlarından kopan andezit blokları (Oltanbey Mah. Müze Evler Sitesi)



Şekil 3.10. Alibaba Formasyonu'na ait kesilmiş şevlerden kopan andezit blokları (Oltanbey Mah. Müze Evler Sitesi)



Şekil 3.11. Şev yüzeylerinden kopan andezit blokları (Oltanbey Mah. Aydınlık Evler ve Müze Evler Siteleri)



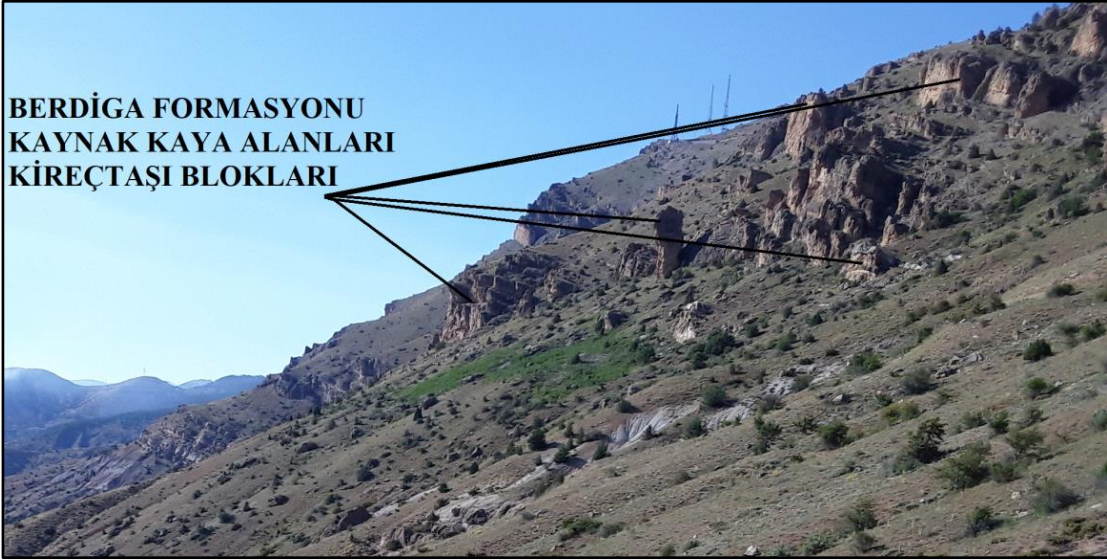
Şekil 3.12. Askıdaki kaynak kaya alanlarından kopup yerleşim yerlerine düşmüş bloklar (Süleymaniye Mahallesi)



Şekil 3.13. Karayolu kenarındaki kesilmiş şevlerden düşen granit blokları (Karaer Mah.)



Şekil 3.14. Kesilmiş şevden kopan granit blokları (Karşyaka Mahallesi)



Şekil 3.15. Berdiga Formasyonu'na ait kaynak kaya alanları (İnönü Mah. ve Yeni Mah. Toki Konutları Üst Kotları).



Şekil 3.16. Berdiga Formasyonu'na ait düşmüş kireçtaşı blokları (İnönü Mah. ve Yeni Mah.)



Şekil 3.17. Berdiga ve Alibaba Formasyonlarına ait (İnönü Mah. Hasanbey Mah. ve Yeni Mah.) kaynak kaya alanları

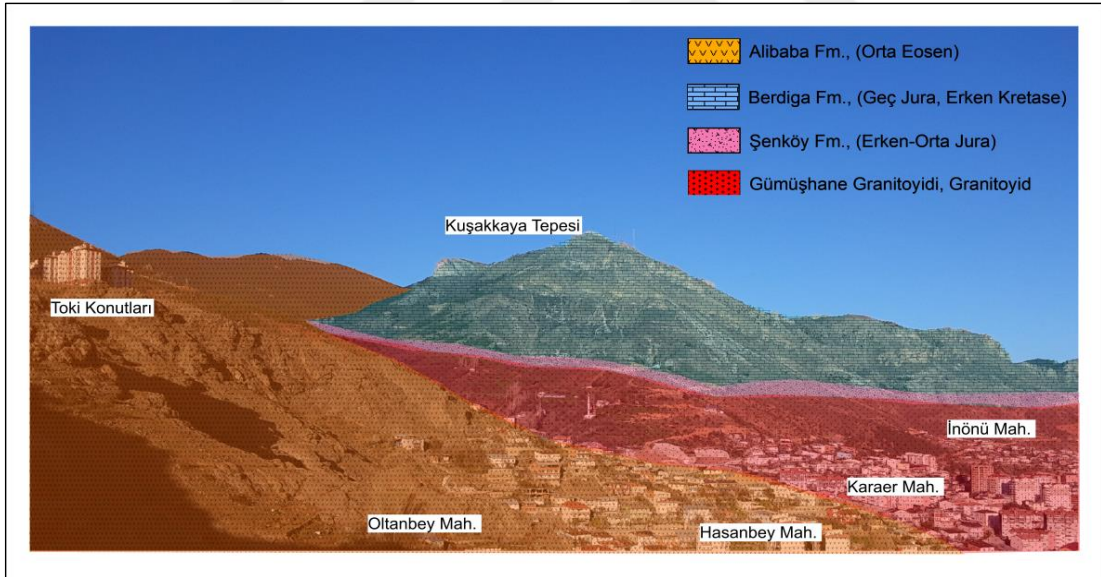


Şekil 3.18. Berdiga Formasyonu'na ait kaynak kaya alanı (Eskibağlar ve Yeni Mahalle)

Olası tehlike haritalarının üretilmesinde kaynak kaya alanlarından kaya düşme envanter alanları olarak CBS sistemine aktarılan alanlar, olası kaya düşme yönünde tehlikeli alanlar ve 3D kaya düşme analizleri yapılarak düşen blokların yayılma alanları ve mesafeleri, düşmüş blok sıklığı ve eğim durumları da göz önünde bulundurularak CBS sistemi yardımı ile dört sınıftan oluşan tehlike durum haritası oluşturulmuştur.

3.5. Mühendislik Jeolojisi

İnceleme alanı içerisinde meydana gelen kaya düşme olayları bölgede bulunan yerleşim yerlerini ve karayolu kullanımını ciddi olarak tehdit etmektedir. Çalışma alanı olarak seçilen Gümüşhane İl merkezi yerleşkesi jeolojisi (Şekil 3.19) ve meydana gelen kaya düşmeleri hem arazi hem de orto foto üzerinden kaynak kaya alanları olarak belirlenmiştir. Yamaçlarda serbest bulunan düşmüş ve düşmesi olası kaya bloklarının boyutları tespit edilmiştir. Her bir litolojik birim için düşmüş blok geometrileri ve kütleleri belirlenip, RocPro3D programında kaya düşme analizleri gerçekleştirilerek, yuvarlanan blokların kinetik enerjileri, sıçrama yükseklikleri ve maksimum yayılma mesafeleri belirlenerek, yerleşim alanları ve karayolunu tehdit eden alanlarda çelik bariyer kullanılarak iyileştirme analizleri yinelenmiş ve iyileştirme sonrasında bariyer tip ve özellikleri önerilmiştir. Ayrıca kaya bloklarının maksimum yayılma mesafeleri dikkate alınarak CBS ortamında inceleme alanı olası tehlike haritası üretilmiştir.



Şekil 3.19. İnceleme alanındaki jeolojik birimlerin görüntüsü

3.6. Çalışma Alanındaki Kaya Birimlerinin Jeomekanik Özellikleri

İnceleme alanı içerisinde Alibaba Formasyonu'na ait andezitler, Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları ve Gümüşhane Granitoyidi'ne ait granitlerden blok örnekler alınarak jeomekanik özellikleri belirlenmiştir.

3.6.1. Yoğunluğun Belirlenmesi

Her bir jeolojik birimden alınan beşer adet blok örnekleri laboratuvarında karotiyer kullanılarak karot numuneleri hazırlanmış ve ISRM (2007) tarafından önerildiği şekli ile (kompas yöntemi) hacimleri belirlenmiş ve daha sonra karot örnekleri terazide tartılarak kütleleri bulunmuş ve yoğunlukları 1' nolu eşitlikten hesaplanmıştır (Şekil 3.20, Tablo 3.2).

$$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}, \rho = m / V \quad (1)$$



Şekil 3.20. Kompas yöntemi ile örnek hacminin belirlenmesi

Bu eşitlikte;

ρ : Yoğunluk değeri (kg/m³)

m : Ağırlık (kg)

V : Hacimi (m³) vermektedir.

Tablo 3.2. İnceleme alanındaki birimlerin yoğunluk değerleri

Formasyon (Litoloji)	Yoğunluk, ρ (kg/m ³)				
	Deney Sayısı	En Az	En Çok	Ortalama	Standard Sapma
Alibaba Formasyonu (Andezit)	5	2474	2644	2574.8	65.14
Berdiga Formasyonu (Kireçtaşı)	5	2481	2886	2714.6	165.03
Gümüşhane Granitoyidi (Granit)	5	2547	2655	2613.6	40.12

3.6.2. Dolaylı Çekilme Dayanımı (Brazilian) (σ_t)

Her bir jeolojik birimden alınan ve boyu karot çapının yarısı ebatlarında hazırlanan örnekler laboratuvarında çekilme dayanımı testine tabi tutulmuş ve 2' nolu eşitlikten çekilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.21, Tablo 3.3).

$$\sigma_t = \frac{0.636F}{Dt} \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

σ_t : Örneğin Çekilme Dayanımı (MPa)

F: Örneğin Yenilmesi Anındaki Yük (kg)

D: Örnek çapı (cm)

t: Örnek kalınlığı (cm) vermektedir.



Şekil 3.21. Çekilme dayanımı deneyi (Brazilian Yöntemi)

Tablo 3.3. Birimlere ait dolaylı çekilme dayanımı değerleri

Formasyon (Litoloji)	Dolaylı Çekilme Dayanımı, σ_t (MPa)				
	Deney Sayısı	En Az	En Çok	Ortalama	Standard Sapma
Alibaba Formasyonu (Andezit)	5	7.6	11.2	8.81	1.46
Berdiga Formasyonu (Kireçtaşı)	5	5.05	7.48	6.36	0.92
Gümüşhane Granitoyidi (Granit)	5	4.3	6.5	5.71	0.88

3.6.3. Kaya Malzemelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek Eksenli Basınç Dayanımı deneyi küp veya silindirik biçime sahip kaya malzemesi örneklerinin basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla yapılır. Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı değeri kaya kütlesi sınıflamalarında ve mühendislik yapı tasarımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ulusay vd., 2011).

İnceleme alanında Alibaba Formasyonu'na ait Andezitler, Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları ve Gümüşhane Granitoyidi'nden alınan blok örnekler laboratuvarında karotiyer yardımıyla standartlara uygun hale getirilerek, tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiş olup (Şekil 3.22), istatistiksel dağılımı Tablo 3.4' te verilmiştir.



Şekil 3.22. Birimlere ait örnekler ve Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Tablo 3.4. Tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

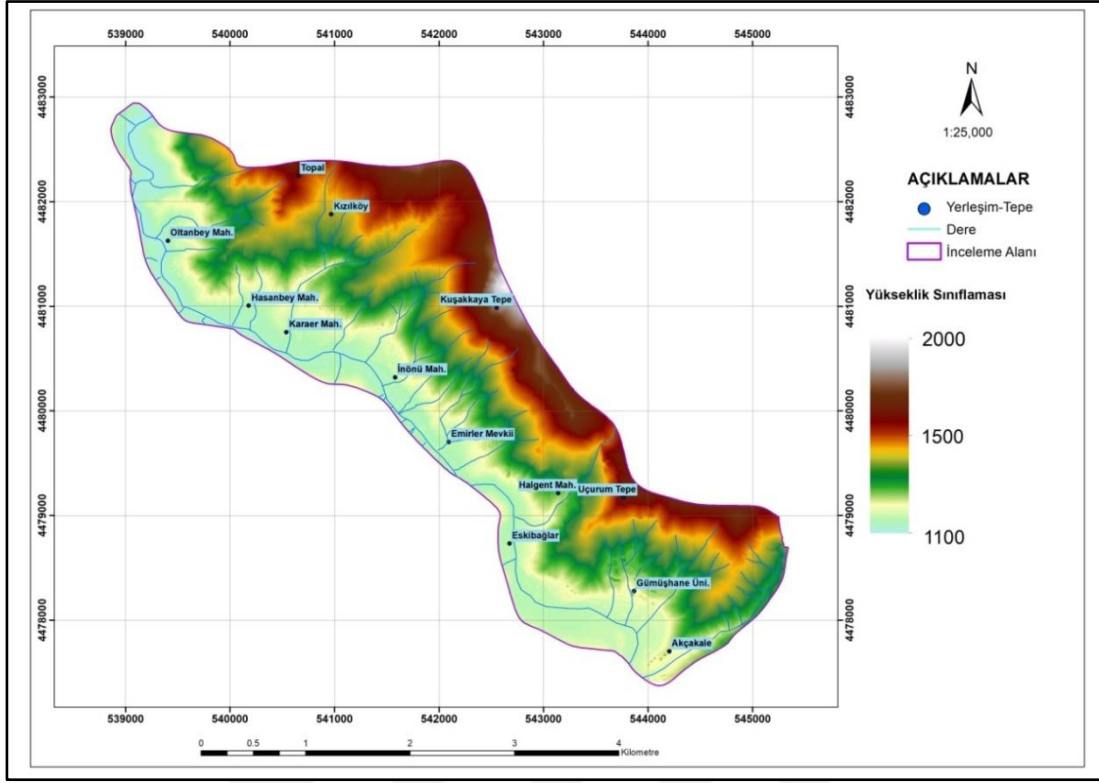
Formasyon (Litoloji)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, σ_c (MPa)				
	Deney Sayısı	En Az	En Çok	Ortalama	Standard Sapma
Alibaba Formasyonu (Andezit)	5	120	172	140	20.84
Berdiga Formasyonu (Kireçtaşı)	5	60	103	83.2	18.61
Gümüşhane Granitoyidi (Granit)	5	70	112	93.6	16.62

3.6.4. Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizleri

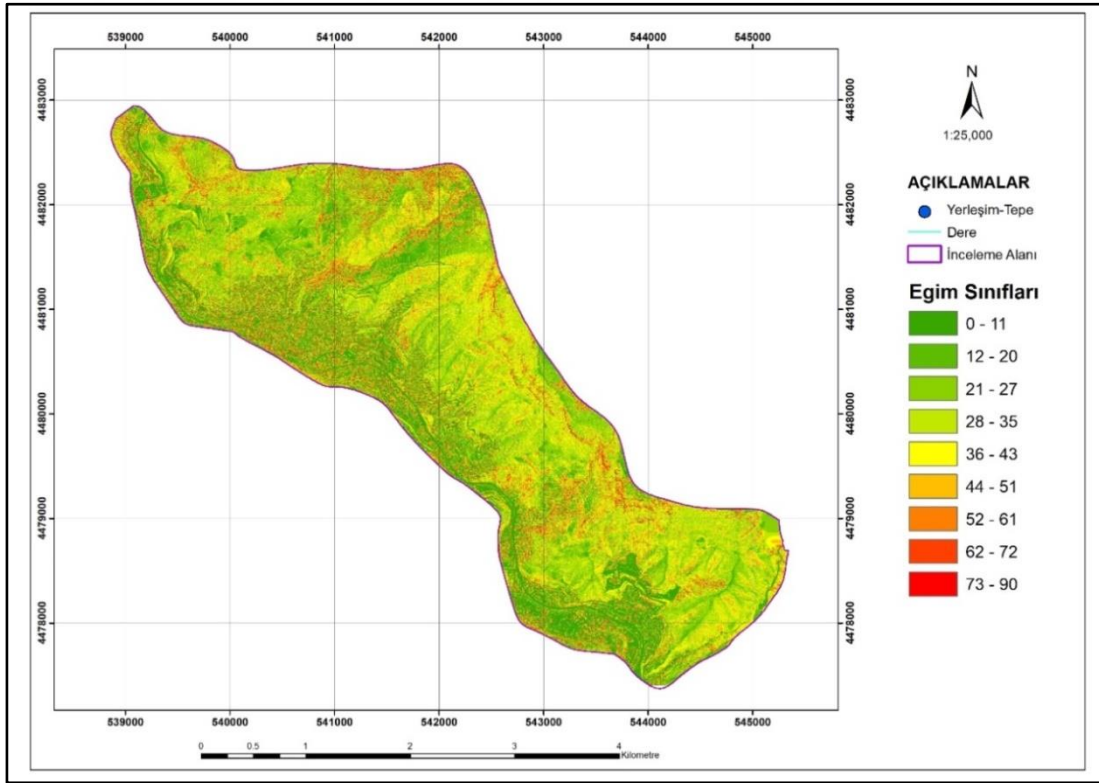
3.6.4.1. Sayısal Arazi Modeli

Topoğrafyadaki engebeli yapılar ve bitki örtüsü, kaya düşme hatlarının yönelimi ve düşen blokların yuvarlanma mesafesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. 3D analizlerin 2D analizlere göre avantajı, düşen blokta meydana gelen yuvarlanmanın alınan bir topoğrafik kesit üzerinde değil, 3D programa girilen sayısal arazi modeli üzerinde (x-y-z düzlemi boyunca) yuvarlanmasıdır. Bu bize kaynak kaya alanından yuvarlanacak bir bloğun gerçekte hangi güzergahı izleyebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla yapılacak iyileştirme yöntemlerinin uygulanacağı alanların tespitinde oldukça faydalı olacaktır.

İnceleme alanının sayısal arazi modelinde bitki örtüsü, binalar vb. detaylar ile küçük topoğrafik değişimlerin gösterilebilmesi ve daha sağlıklı yuvarlanma rotalarının belirlenmesi noktasında 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar gibi orta ölçekli haritalardan elde edilecek veriler ve sayısal yükseklik modelleri son derece yetersiz kalmakta olup, bu çalışmada yüksek çözünürlüklü ortofoto görüntüleri ve yine bu kapsamda elde edilmiş olan nokta bulutlarından (coğrafi referanslı x,y,z koordinat değerlerine sahip noktalar) üretilen yüksek çözünürlüklü (0.18 x 0.18m) sayısal yükseklik, sayısal arazi modelleri ve eğim haritaları kullanılmıştır (Şekil 3.23, 3.24). Eğim haritaları yaklaşık 10° aralıklı olarak sınıflandırılmıştır. Sayısal altlıkların tamamı Turef TM39 - Gauss-Krüger (ITRF 96/GRS 80) projeksiyon sistemine üretilmiştir.



Şekil 3.23. Çalışma bölgesine ait sayısal yükseklik modeli



Şekil 3.24. İnceleme alanına ait eğim haritası

3.6.4.2. Kaynak Kaya Alanları

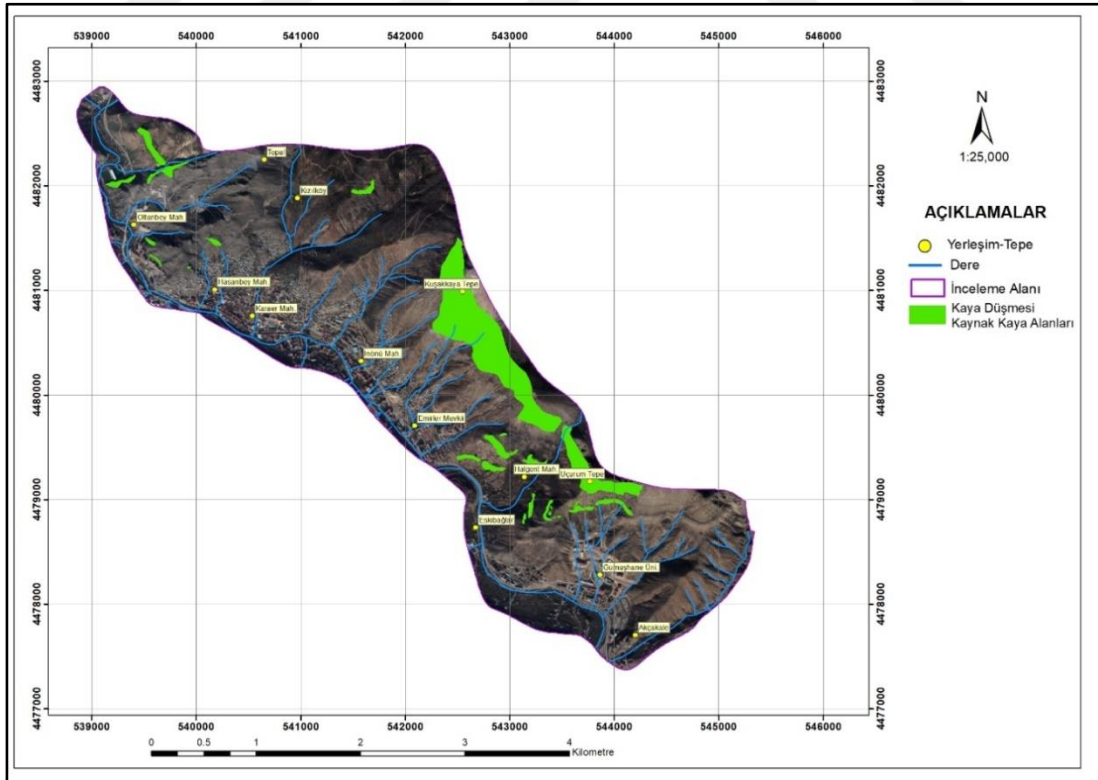
İnceleme alanı için potansiyel kaya düşmesinin gerçekleşebileceği kaynak kaya alanları orto fotodan elde edilen sayısal arazi modelinin çözünürlüğünü dikkate alan 3 no'lu eşitlikten yola çıkılarak (eğim haritası üzerinde potansiyel aktif kaynak kaya alanları; burada (a) değeri sınır eğim değeri, RES ise arazi sayısal yükseklik modeli çözünürlüğü olmak üzere (metre cinsinden)) $a = 62^\circ$ olarak bulunmuştur. İnceleme alanı için üretilen eğim haritasında eğimi 60° üzerindeki alanlar kaynak kaya alanı olarak kabul edilmiş ve eğimi 60° ve üzerindeki alanlar ortofoto üzerinde sınırlandırılmış ve kaynak kaya alanlarını gösterir harita üretilmiştir (Şekil 3.25).

$$a = 55 \times \text{RES}^{-0.075} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

a: Sınır eğim değeri (derece)

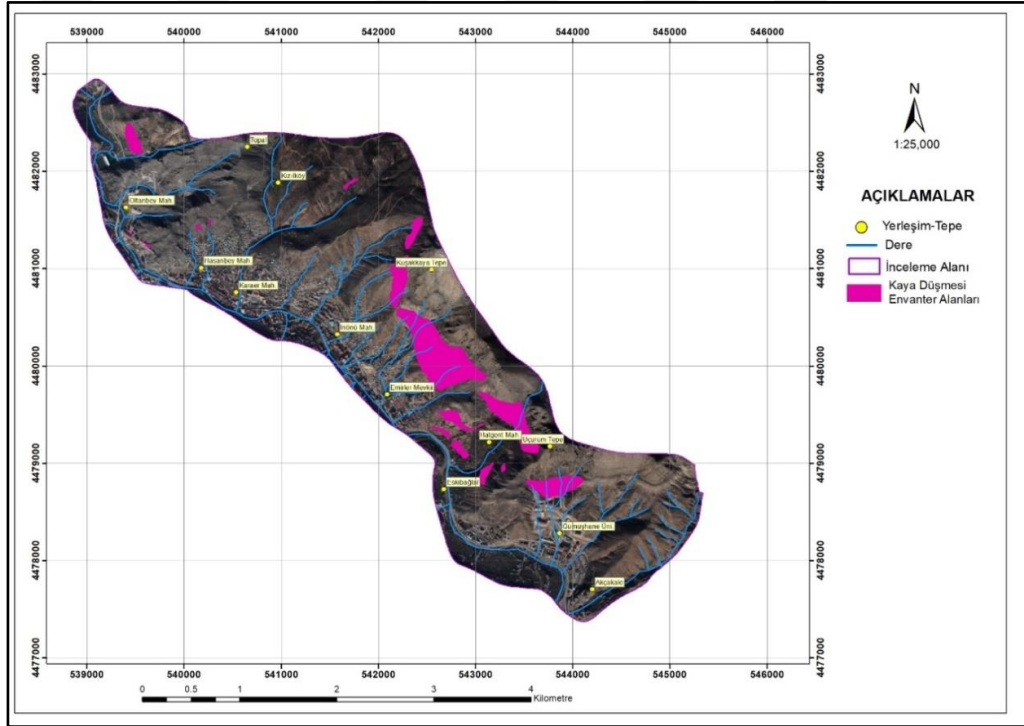
RES: Sayısal arazi yükseklik modelinin çözünürlüğü (m) vermektedir.



Şekil 3.25. İnceleme alanında yayılım gösteren kaynak kaya alanları

3.6.4.3. Kaya Düşme Envanter Haritası

İnceleme alanında düşmüş kaya blokları ortofoto üzerinden işaretlenerek, daha sonra düşmüş bloklar arazide tespit edilmiştir. Ayrıca ortofoto üzerinde görünmeyen veya tespit edilemeyen bloklar, AFAD 50 yıllık kaya düşme envanteri ile yazılı ve görsel medya üzerinden haber konusu olmuş kaya düşme olayları da geçmişten günümüze doğru araştırılarak, belirlenen bloklar ortofoto üzerine işlenerek kaya düşme alanları belirlenmiştir (Şekil 3.26). İnceleme alanındaki kaya düşme analizlerinin gerçekleştirileceği potansiyel alanları ortaya koymak amacı ile hem kaynak kaya alanlarını hem de düşmüş blokları gösteren envanter haritası Şekil 3.27’de verilmiştir.



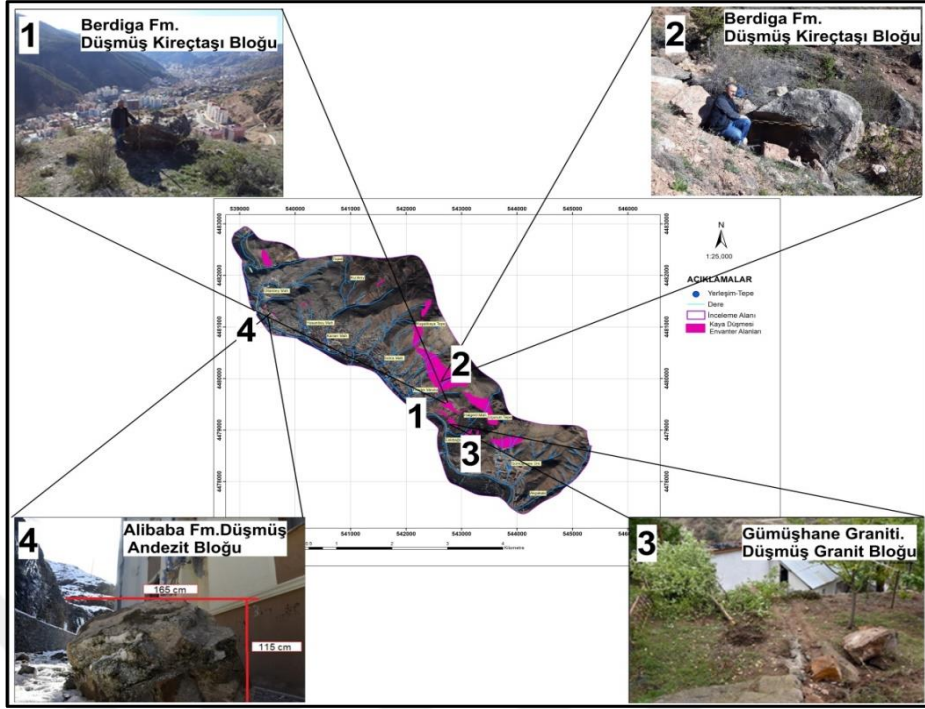
Şekil 3.26. Düşmüş kaya bloklarının yayılımını gösteren envanter haritası

Tablo 3.5. Düşmüş kaya bloklarının şekli ve boyutları

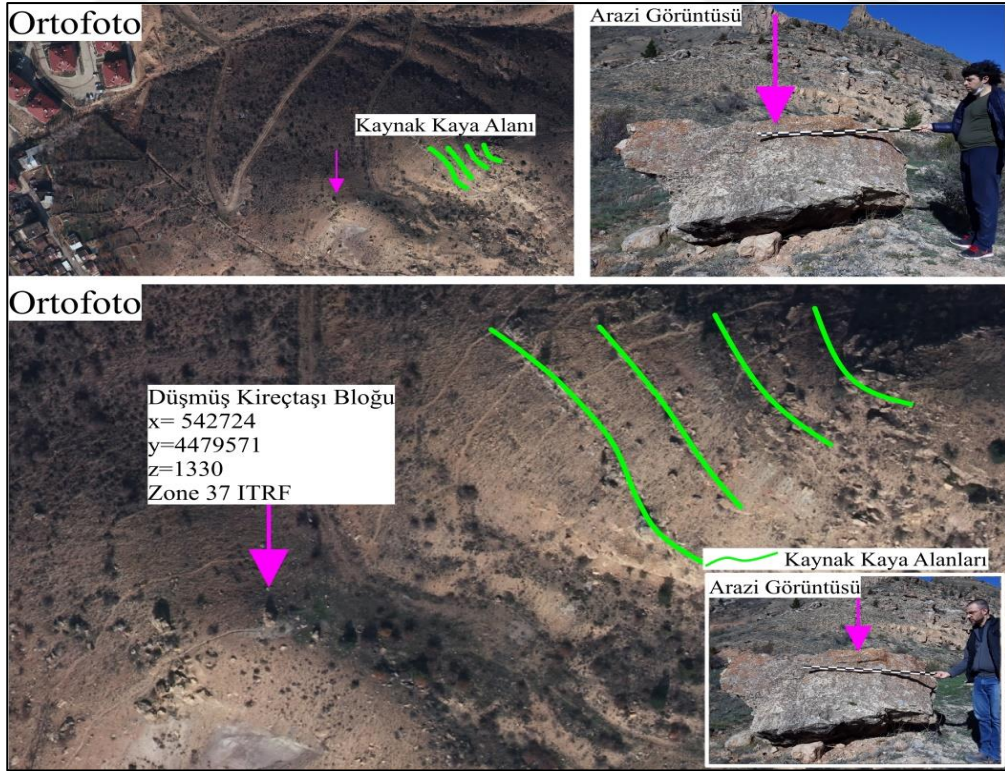
Alibaba Formasyonu (Andezit)						
Örnek	Düşen Blok Boyutları x,y,z (m)			Blok Hacmi (m ³)	Tip	Yoğunluk (kg/m ³)
1	1.65	1.15	1.2	2.28	Diktörtgen Prizma	2570
2	2.10	1.75	1.3	4.78	Diktörtgen Prizma	2570
3	0.75	0.95	0.45	0.32	Diktörtgen Prizma	2570
4	1.15	1.87	1.22	2.62	Diktörtgen Prizma	2570
5	2.25	1.98	1.55	6.91	Diktörtgen Prizma	2570

Berdiga Formasyonu (Kireçtaşı)						
Örnek	Düşen Blok Boyutları x,y,z (m)			Blok Hacmi (m ³)	Tip	Yoğunluk (kg/m ³)
1	3.40	1.55	2.2	11.59	Diktörtgen Prizma	2710
2	4.20	5.21	3.78	82.71	Diktörtgen Prizma	2710
3	10.25	10.58	7.58	822.01	Diktörtgen Prizma	2710
4	1.50	1.35	1.1	2.23	Diktörtgen Prizma	2710
5	0.95	1.25	0.75	0.89	Diktörtgen Prizma	2710

Gümüşhane Granitoyidi (Granit)						
Örnek	Düşen Blok Boyutları x,y,z (m)			Blok Hacmi (m ³)	Tip	Yoğunluk (kg/m ³)
1	1.65	1.73	1.5	4.28	Diktörtgen Prizma	2610
2	0.7	0.85	1.2	0.71	Diktörtgen Prizma	2610
3	2.2	1.4	2.7	8.32	Diktörtgen Prizma	2610
4	1.2	0.9	1.2	1.30	Diktörtgen Prizma	2610
5	1.1	1.8	1.5	2.97	Diktörtgen Prizma	2610



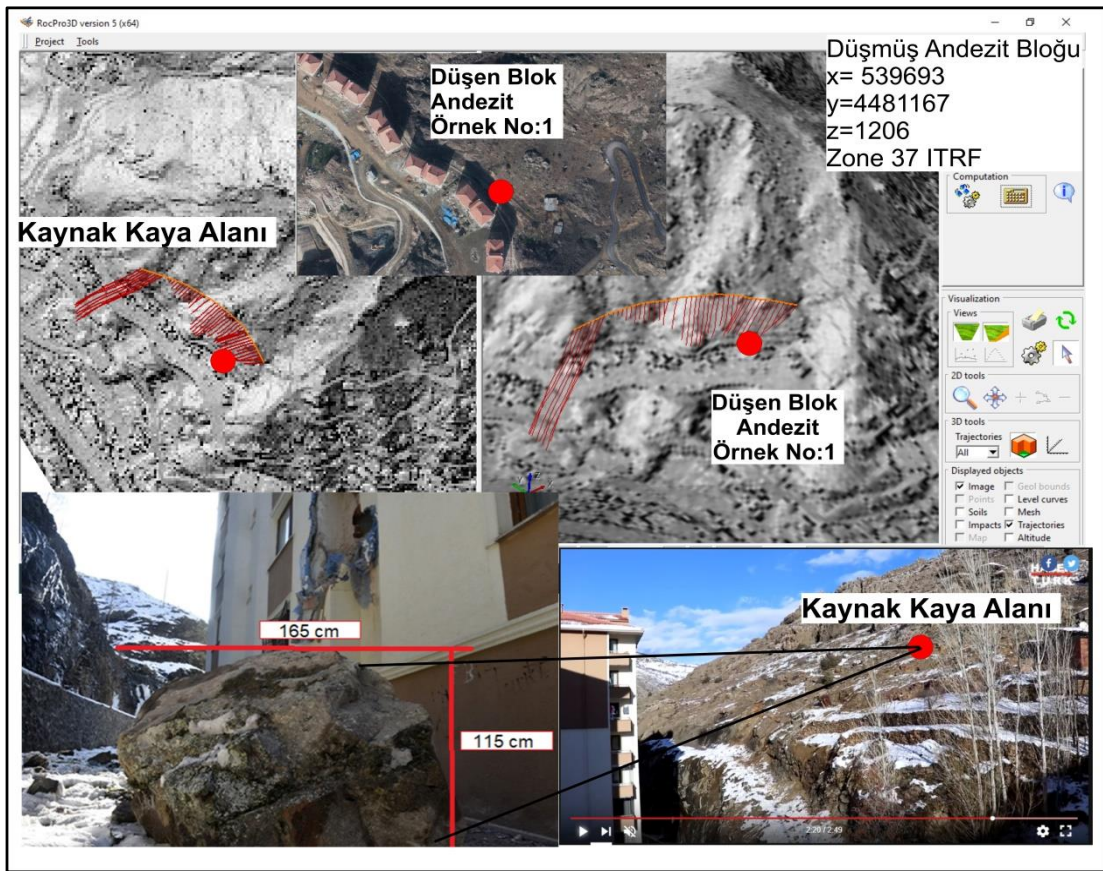
Şekil 3.28. Farklı formasyonlara ait düşmüş kaya bloklarının konumları



Şekil 3.29. Berdiga Formasyonu'na ait düşmüş kireçtaşı blokları ve kaynak kaya alanları

3.6.4.5. Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Alibaba Formasyonu)

Kaya düşme envanter haritası üzerine işlenmiş 10 adet düşmüş blok için geri analiz yöntemi ile CBS tabanında koordinatları belirlenmiş olan düşmüş bloklar için farklı parametre veri giriş varyasyonları ve simülasyonlarını deneyerek, R_n ve R_t parametreleri elde edilmiştir (Şekil 3.30). Elde edilen veriler ışığında 10 adet örnek değerinin ortalaması alınarak inceleme alanı içerisinde bulunan Alibaba Formasyonu andezit bloklarının kaya düşme esnasında ki en ideal parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 3.30. Düşmüş andezit bloklarının arazideki konumları ve geri verme katsayıları için analizler

Alibaba Formasyonunda düşmesi olası blokların analizlerinde kullanılacak parametreler geriye dönük analizler ile ve RocPro3D programının parametre altlıkları kullanılarak arazide daha önceden düşmüş olan 10 adet blok örnekleri kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 3.6'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Alibaba Formasyonu için RocPro3D programında kullanılan parametreler

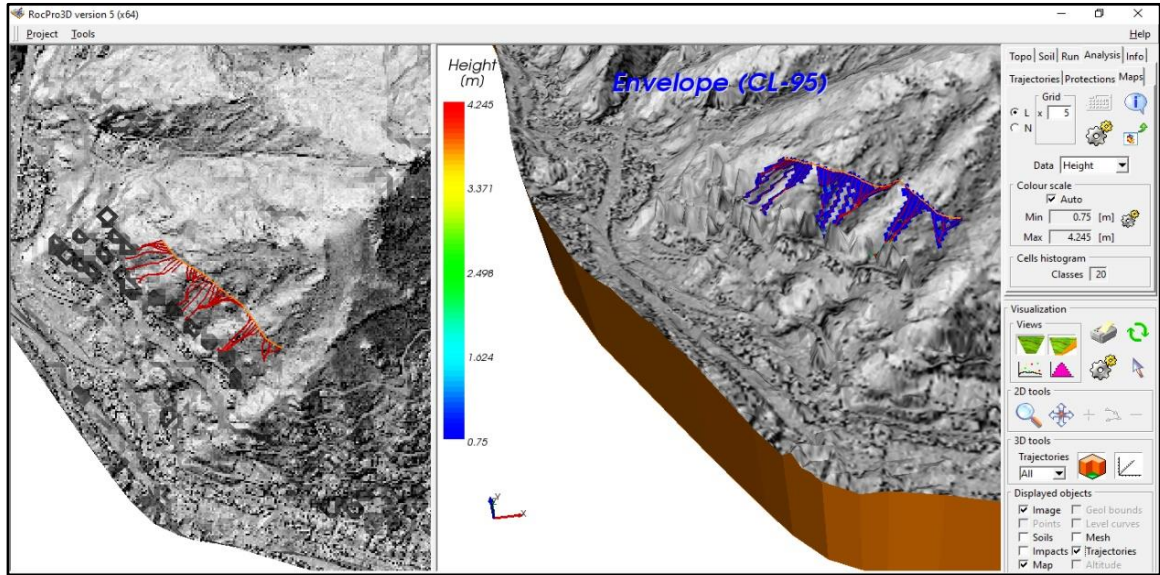
Alibaba Formasyonu	Örnek No:1	Örnek No:2	Örnek No:3	Örnek No:4	Örnek No:5	Örnek No:6	Örnek No:7	Örnek No:8	Örnek No:9	Örnek No:10	Ortalama
Rn	0.50	0.51	0.52	0.48	0.49	0.50	0.52	0.50	0.52	0.48	0.50
Rt	0.80	0.81	0.78	0.83	0.79	0.81	0.82	0.78	0.79	0.81	0.80
Değişkenlik Δ_R %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Limit Hız $V_R(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Limit Değişken $\Delta_R(\text{lim})$ %	2.1	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Yanal Sapma											
Değişkenlik Δ_{Qh} (°)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20.0
Limit Hız $V_{Qh}(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Limit Değişken $\Delta_{Qh}(\text{lim})$ (°)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Geri Sıçrama											
Değişkenlik Δ_{Qv} (°)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Limit Hız $V_{Qv}(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Limit Değişken $\Delta_v(\text{lim})$ (°)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.0
Sürtünme Katsayısı											
k değeri	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Değişkenlik Δ_k (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Limit Hız $V_k(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Limit Değişken $\Delta_k(\text{lim})$ %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0
Geçiş Parametreleri											
Açı β_{lim} (ani gelişen durum)(°)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
Açı β_{lim} (eğimli durum)(°)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25.0

İnceleme alanında Alibaba Formasyonu'na ait kaynak kaya alanları içerisinde özellikle de eğimin 62° ve daha yüksek olduğu alanlarda oluşturulan 4 adet (H1, H2, H3, H4) düşme hattı kesitleri ile 3D kaya düşme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen parametreler; blokların yuvarlanma enerjisi, sıçrama yükseklikleri ve yayılma mesafeleri olup, grafikler şeklinde verilmiştir. Sonuç olarak yuvarlanan blokların izlediği rotalar ve yayılma mesafeleri ortofoto görüntüsü ile birleştirilerek sayısal haritalar elde edilmiştir.

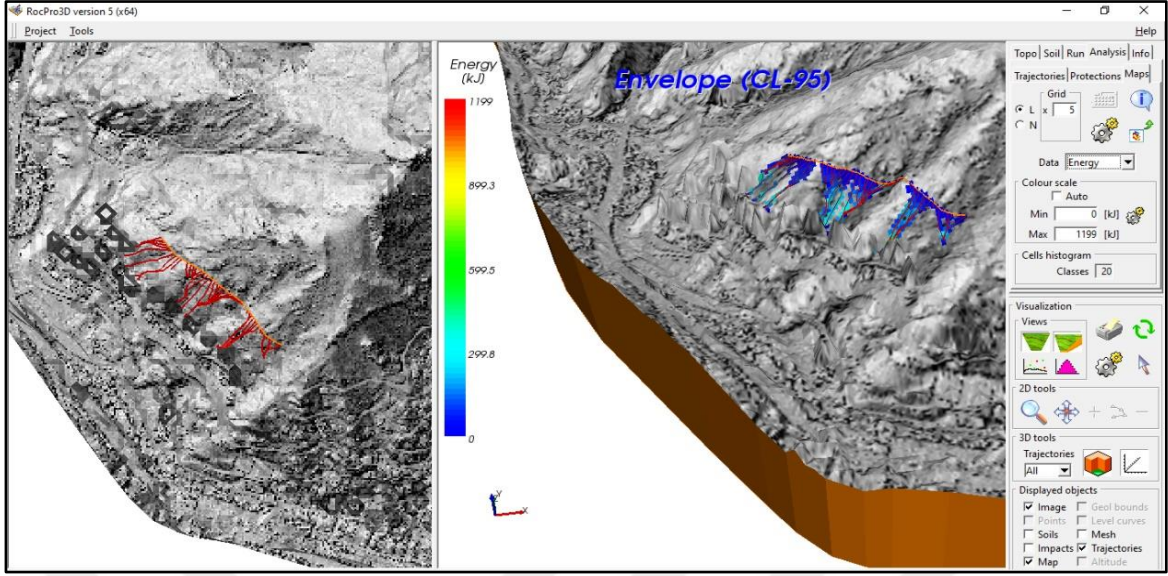
Gümüşhane ili Merkez yerleşkesindeki Hasanbey Mahallesi, Özcan Mahallesi, Oltanbey Mahallesi ve Çamlıca Mahallesi üst kotlarında ve üst kotlara yakın kaynak kaya alanlarında belirlenen düşme hatları (H1, H2, H3 ve H4) dikkate alınarak kaya düşme analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar her bir hat için aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

H1 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Oltanbey mahallesi üst kotlarından kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H1 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H1 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda andezit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği blokların en fazla 75m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 4.2m olduğu (Şekil 3.31) ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0kJ-1199kJ arasında değişim gösterdiği (Şekil 3.32) belirlenmiştir. H1 hattı için yerleşim yerlerine yaklaşan andezit blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturduğu ve düşen blokların alt kotlarda bulunan yerleşim yerleri içerisine kadar yayıldığı ve konutları direkt tehdit ettiği belirlenmiştir.



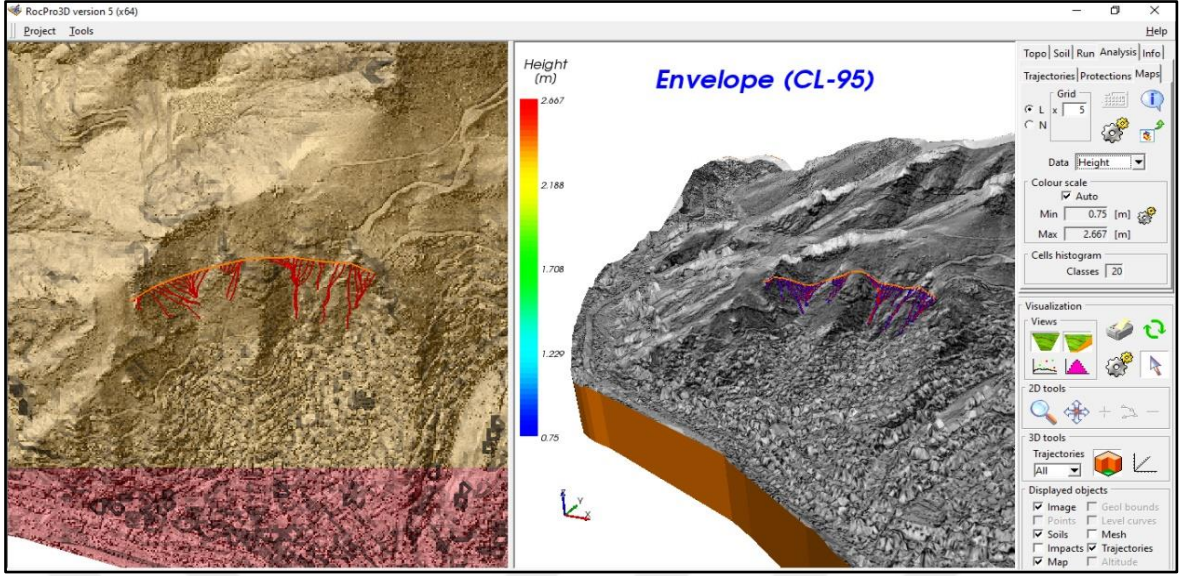
Şekil 3.31. H1 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliği 3D haritası



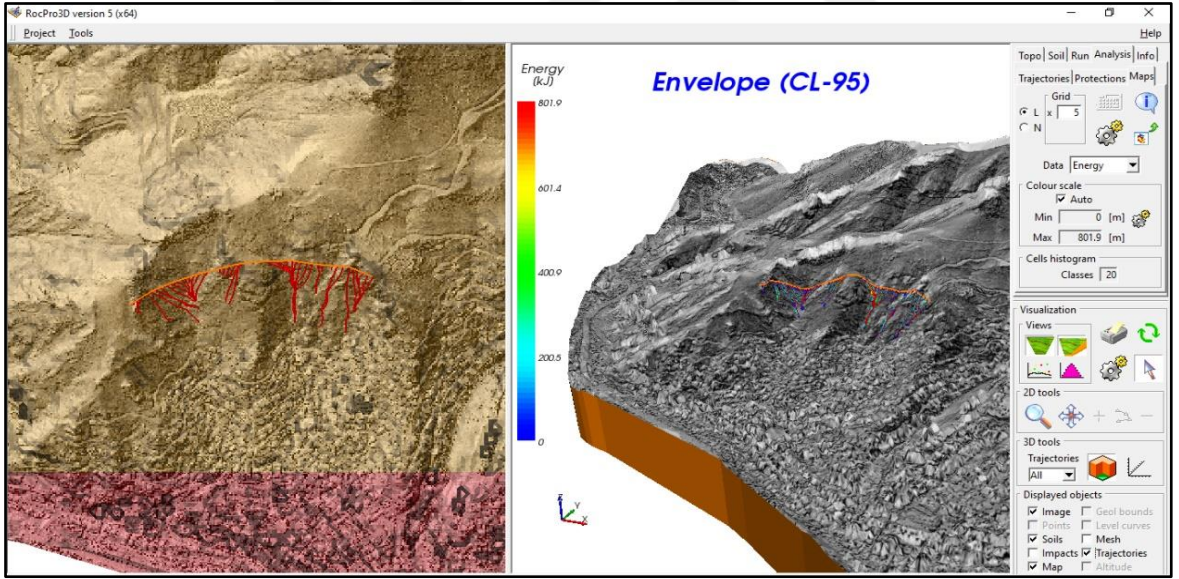
Şekil 3.32. H1 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası

H2 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Hasanbey Mah. Kayalık semti üst kotlarından kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H2 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H2 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda andezit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve blokların en fazla 150m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 2.6m olduğu (Şekil 3.33) ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0 kJ-801 kJ arasında değişim gösterdiği (Şekil 3.34) belirlenmiştir. H2 hattı için yerleşim yerlerine yaklaşan andezit blokları hali hazırda bulunan yapılar ve tali yol ağları için yüksek tehlike oluşturduğu ve düşen blokların alt kotlarda bulunan yerleşim yerleri içerisine kadar yayıldığı ve konutları direk tehdit ettiği belirlenmiştir.



Şekil 3.33. H2 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D haritası

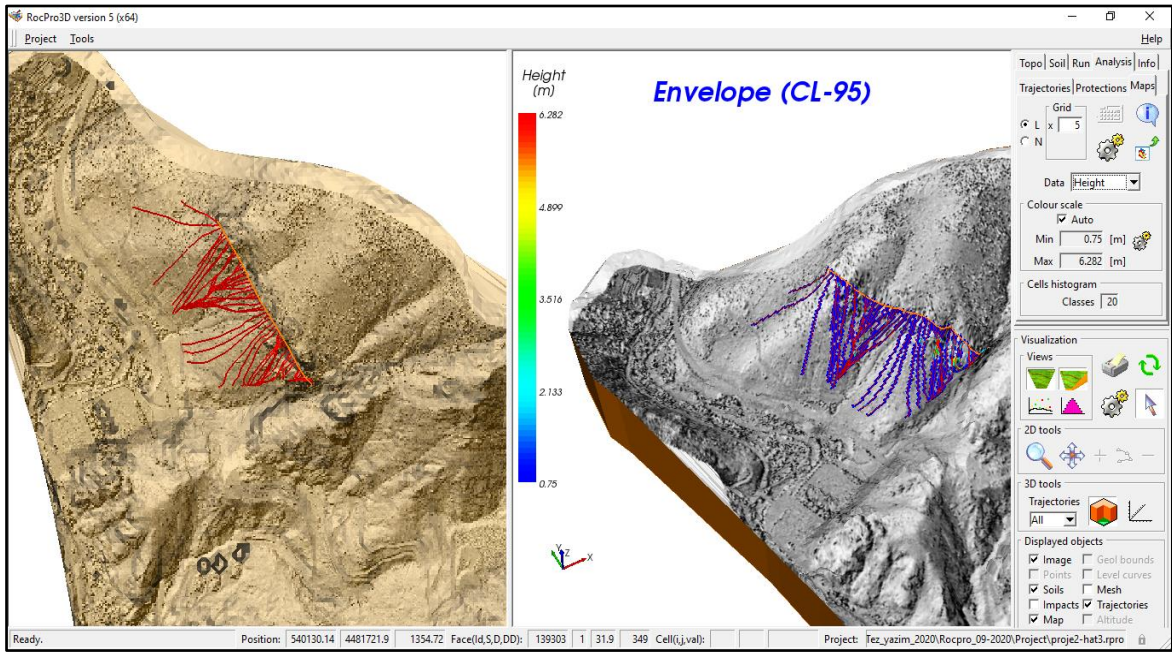


Şekil 3.34. H2 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası

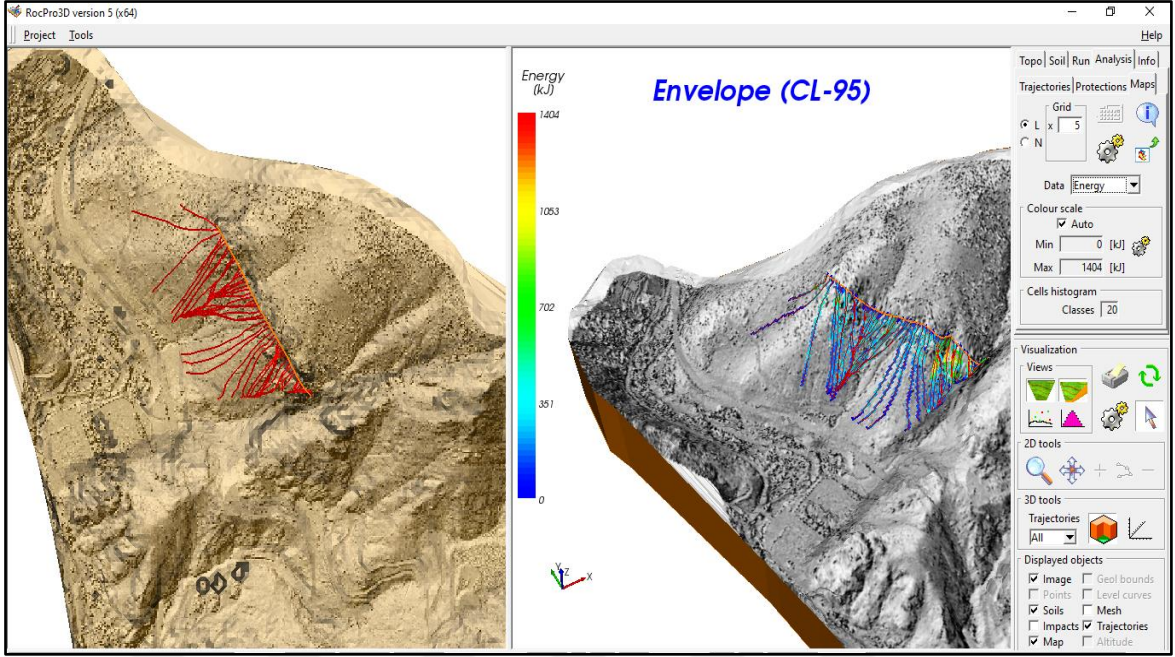
H3 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Özcan mahallesi yeni şehir stadyumu kuzeyinde kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H3 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H3 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda andezit

bloklarının drenaj ağı boyunca hareket ettiği kaya bloklarının en fazla 205m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 6.2m olduğu (Şekil 3.35) ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0 kJ-1404 kJ arasında değişim gösterdiği (Şekil 3.36) belirlenmiştir. H3 hattı için yerleşim yerlerine yaklaşan andezit blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturduğu ve düşen blokların alt kotalarda bulunan yerleşim yerleri içerisine kadar yayıldığı, konutları ve tali yolu direkt olarak ve şehirlerarası karayolunu dolaylı olarak tehdit ettiği görülmüştür.



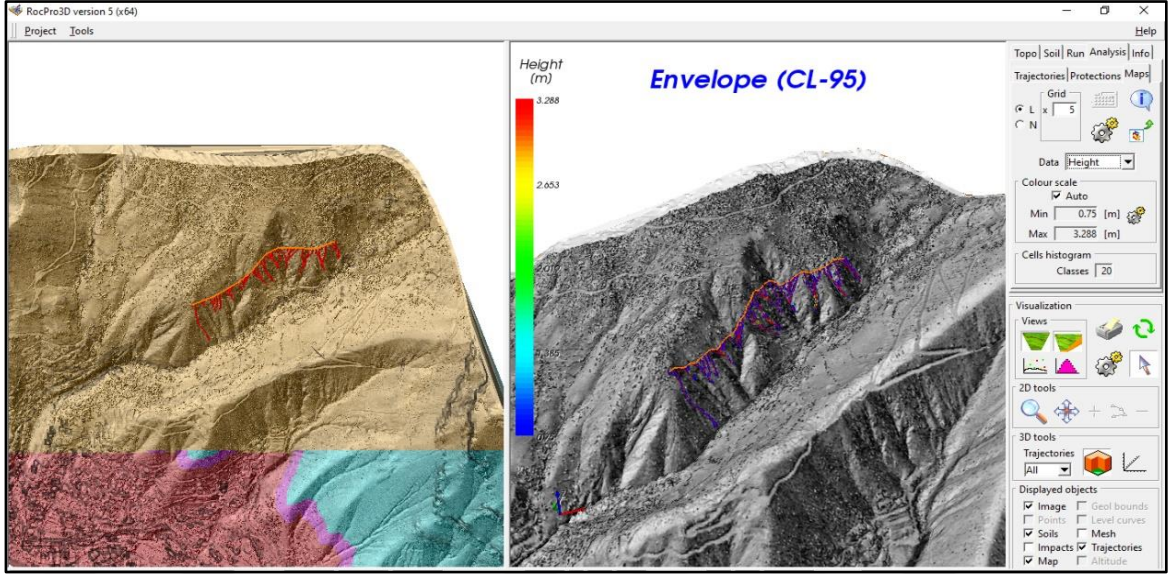
Şekil 3.35. H3 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita



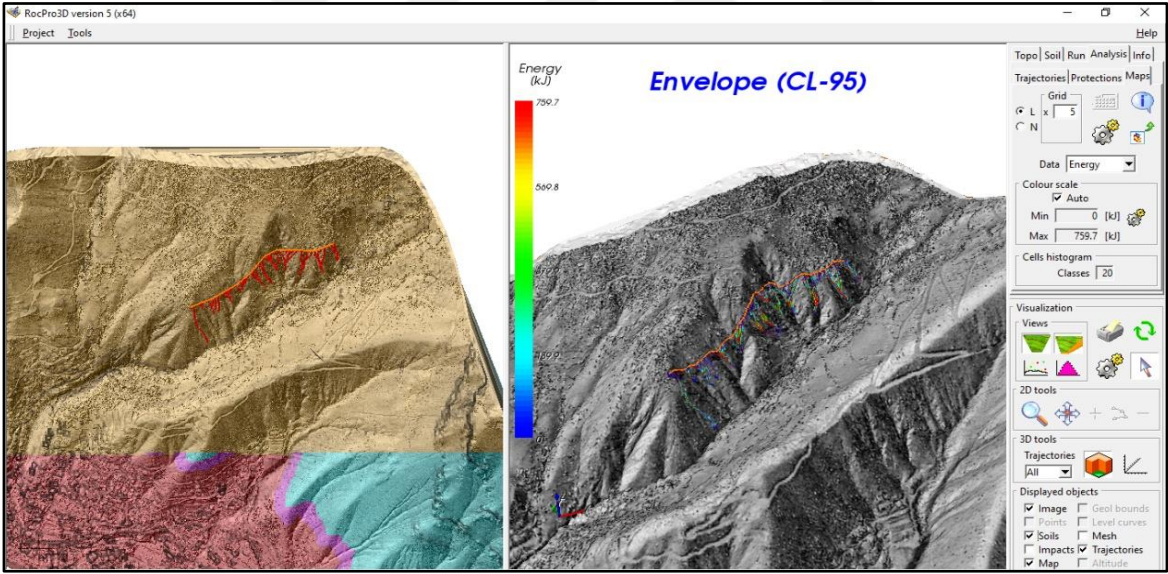
Şekil 3.36. H3 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası

H4 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Çamlıca mahallesi üst kotlarında kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H4 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H4 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda andezit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 132m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 3.2m olduğu (Şekil 3.37) ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0 kJ-759 kJ arasında değişim gösterdiği (Şekil 3.38) belirlenmiştir. H4 hattından yuvarlanacak blokların herhangi bir yerleşim alanı veya karayolunu tehdit etmediği görülmüştür.

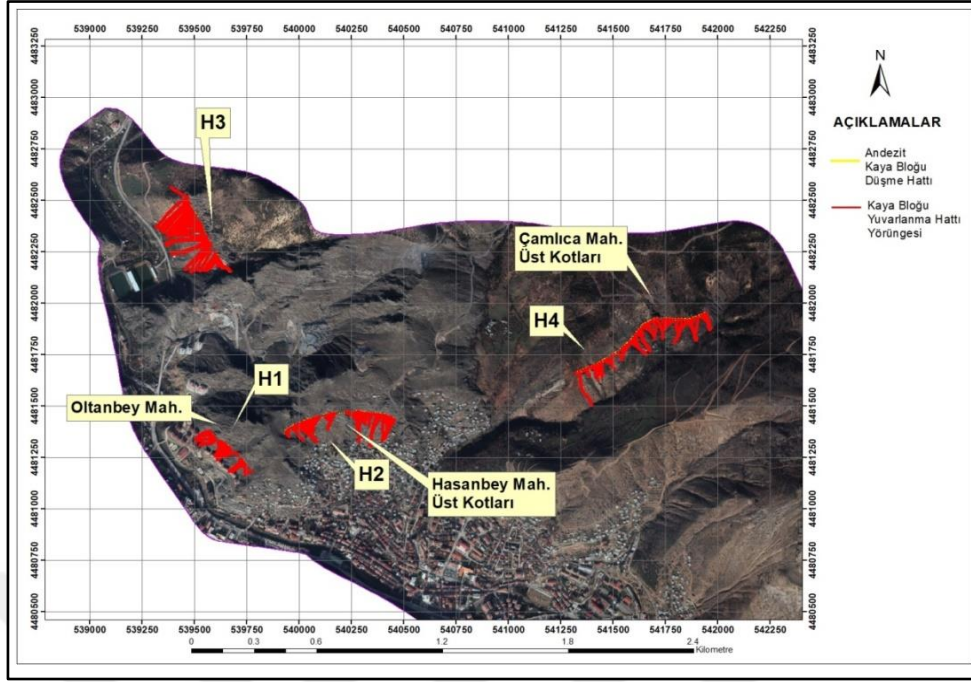


Şekil 3.37. H4 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D haritası



Şekil 3.38. H4 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait gösterir 3D enerji haritası

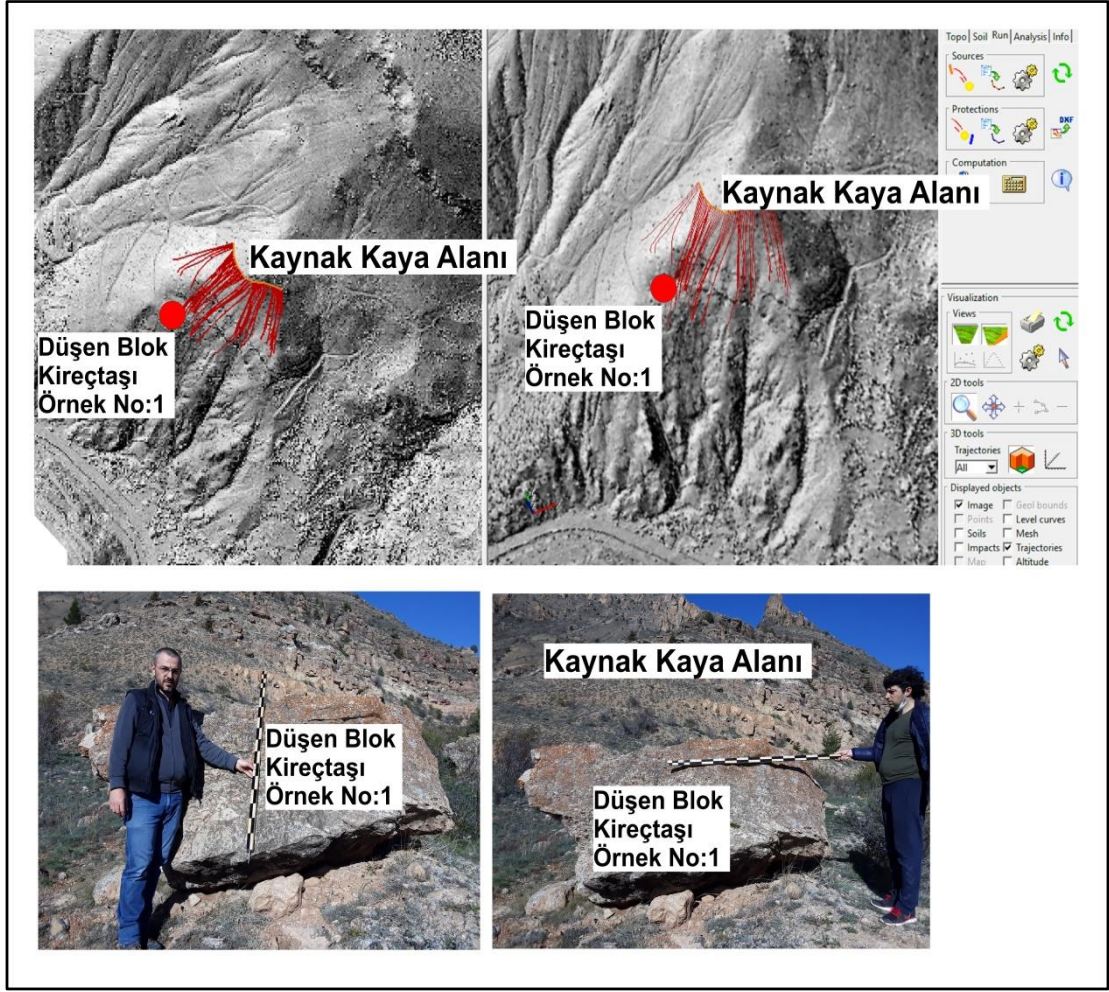
Her bir hatta yapılan çalışmaları bütünleşik olarak göstermek amacıyla; Gümüşhane ili merkez yerleşkesinde Alibaba Formasyonu'nda yayılım gösteren kaynak kaya alanlarında belirlenen dört hat boyunca yapılan kaya düşme analizlerinde yayılım gösteren andezit bloklarının etkilediği alanlar orto foto haritasında (Şekil 3.39) verilmiştir.



Şekil 3.39. Alibaba Formasyonunda belirlenen dört hatta yapılan analizler ve andezit bloklarının yayılımını gösteren ortofoto görüntüsü

3.6.4.6. Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Berdiga Formasyonu)

Kaya düşme envanter haritası üzerine işlenmiş 10 adet düşmüş blok için geri analiz yöntemi ile CBS tabanında koordinatları belirlenmiş olan düşmüş bloklar için farklı parametre veri giriş varyasyonları ve simülasyonları deneyerek, R_n ve R_t parametreleri elde edilmiştir (Şekil 3.40). Elde edilen veriler ışığında 10 adet örnek değerinin ortalaması alınarak inceleme alanı içerisinde bulunan Berdiga Formasyonu kireçtaşı bloklarının kaya düşme esnasında ki en ideal parametreleri elde edilmiştir (Tablo 3.7).



Şekil 3.40. Geri analiz yöntemi ile kireçtaşı bloklarında R_n , R_t katsayılarını belirleme

Tablo 3.7. Berdiga Formasyonu kireçtaşı bloklarına ait kaya düşme parametreleri

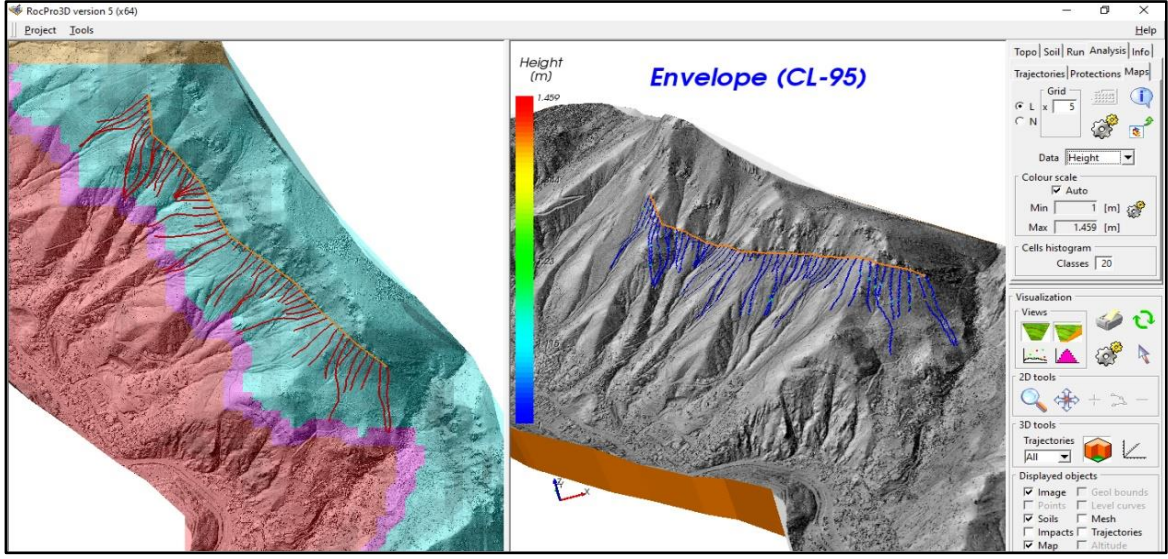
Berdiga Formasyonu	Örnek No: 1	Örnek No:2	Örnek No:3	Örnek No:4	Örnek No:5	Örnek No:6	Örnek No:7	Örnek No:8	Örnek No:9	Örnek No:10	Ortalama
Rn	0.57	0.55	0.57	0.52	0.56	0.54	0.53	0.55	0.56	0.57	0.55
Rt	0.77	0.79	0.74	0.73	0.72	0.73	0.75	0.75	0.78	0.73	0.75
Değişkenlik Δ_R %	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Limit Hız $V_R(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_R (lim) %	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Yanal Sapma											
Değişkenlik Δ_{Qh} (°)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Limit Hız $V_{Qh}(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_{Qh} (lim) (°)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Geri Sıçrama											
Değişkenlik Δ_{Qv} (°)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Limit Hız $V_{Qv}(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_v (lim) (°)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Sürtünme Katsayısı											
k değeri	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Değişkenlik Δ_k (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Hız $V_k(\text{lim})$ [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_k (lim) %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Geçiş Parametreleri											
Açı β_{lim} (ani gelişen durum)(°)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Açı β_{lim} (eğimli durum)(°)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Karaer Mahallesi, İnönü Mahallesi, Yeni Mahalle ve Eskibağlar Mahallesi kuzeyinde üst kotlarında bulunan Berdiga Formasyonu kireçtaşı blokları için elde edilen RocPro3d ideal parametre değerleri de göz önünde bulundurularak farklı hatlar belirlenmiş ve bu hatlar üzerinde kireçtaşı blokları düşme analizi simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen düşme analizi parametreleri sonucu olarak uzaklık, sıçrama yüksekliği ve enerji sönüm istatistikleri elde edilmiştir. Sonuç olarak da kaya düşmesi simülasyon yörüngeleri değerleri ortofoto görüntüsü ile birleştirilerek sayısal haritalar elde edilmiştir. (Şekil 3.49).

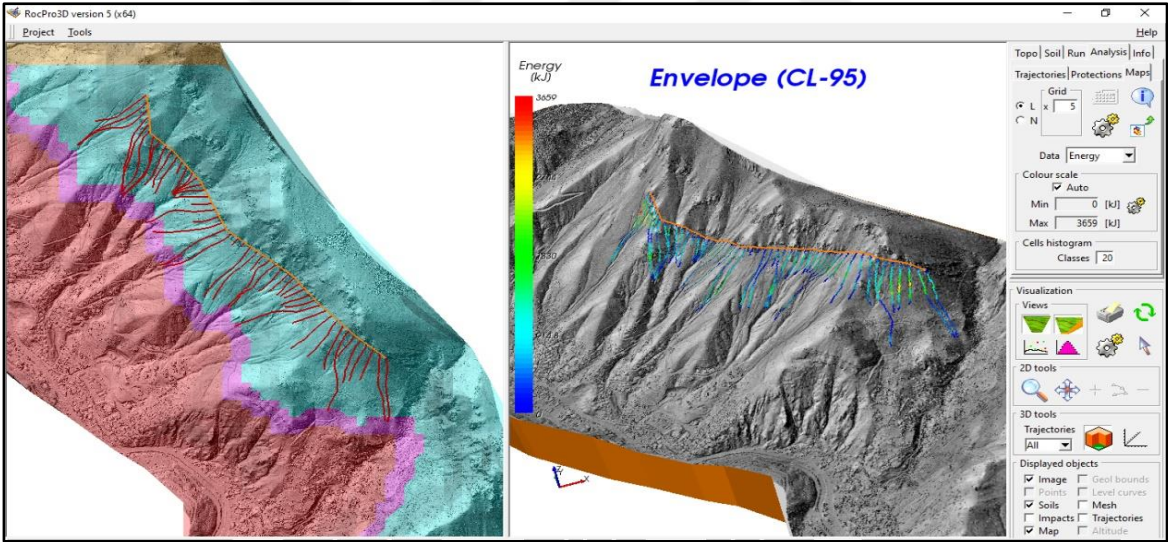
Belirlenen H5, H6, H7 ve H8 hatları için gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

H5 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Karaer ve İnönü Mahalleleri üst kotlarından kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H5 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H5 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 426 m civarında değişen bir yol alabileceği ve sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.4m olduğu (Şekil 3.41) ve enerjisinin en fazla 3652 kJ olduğu (Şekil 3.42) belirlenmiştir. H5 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturmadığı görülmüştür. Fakat gelecek yıllar içerisinde bu alanlarda yapılacak olan imar plan revizyonu çalışmalarında kaya düşme açısından önemli alanlar olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.41. H5 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D haritası

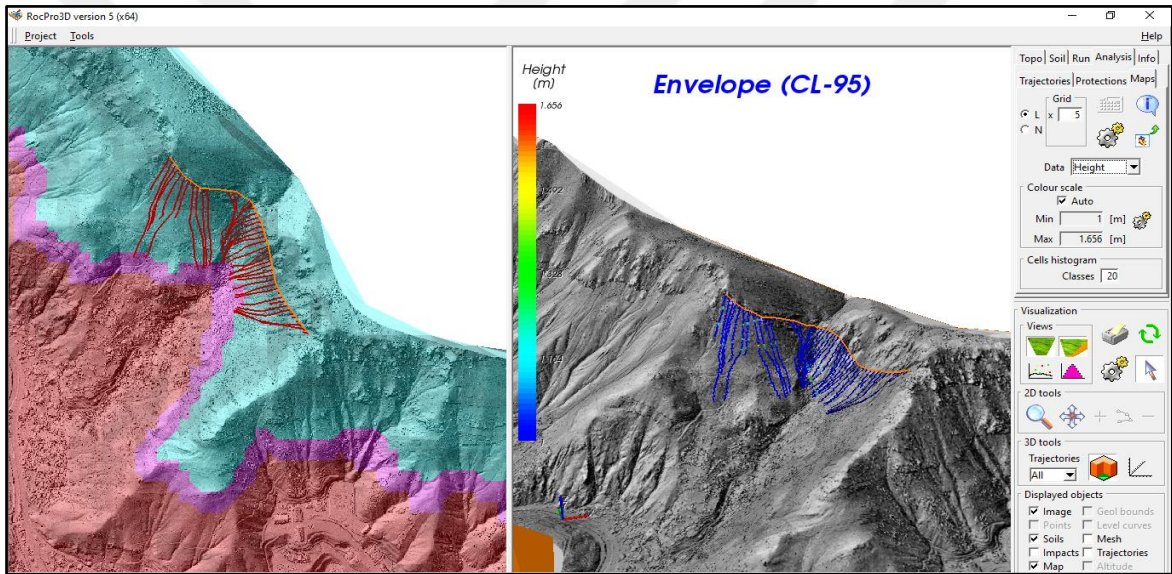


Şekil 3.42. H5 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası

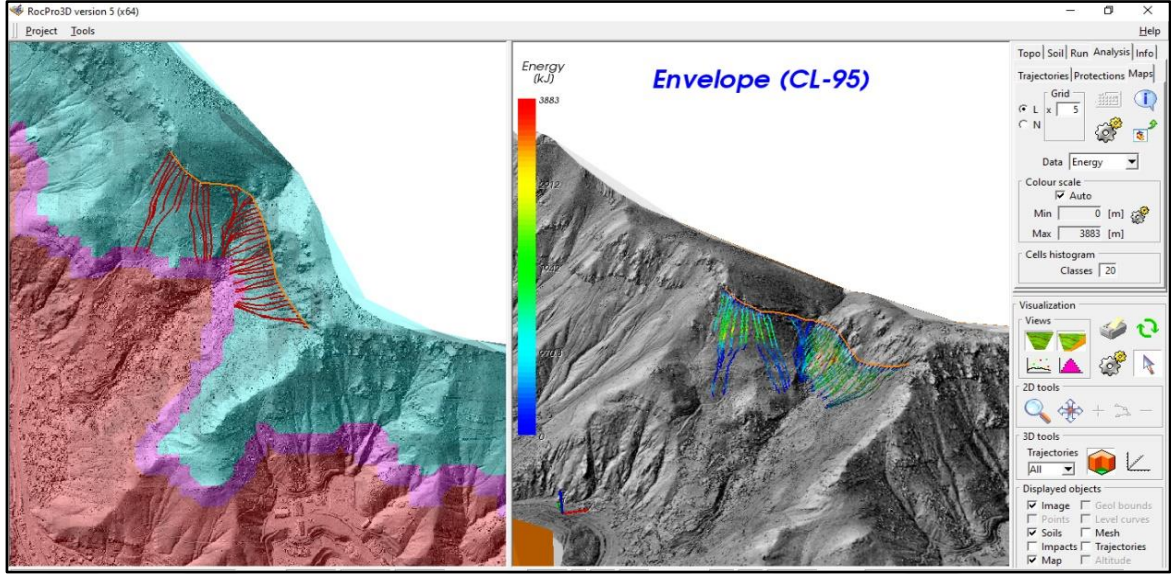
H6 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Karaer Mahallesi, İnönü Mahallesi ve Yeni Mahalle üst kotlarından koparak gelen kireçtaşı bloklarının bulunduğu kaynak kaya alanında seçilen H6 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H6 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan

3D analiz sonucunda kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 628 m civarında değişen bir yol alabileceği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.6 m (Şekil 3.43) ve enerjisinin en fazla 3883 kJ olduğu (Şekil 3.44) hesaplanmıştır. H6 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek risk oluşturmadığı görülmüştür. Fakat gelecek yıllar içerisinde uygulama imar revizyonu çalışmalarında, H6 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığına sahip olması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.



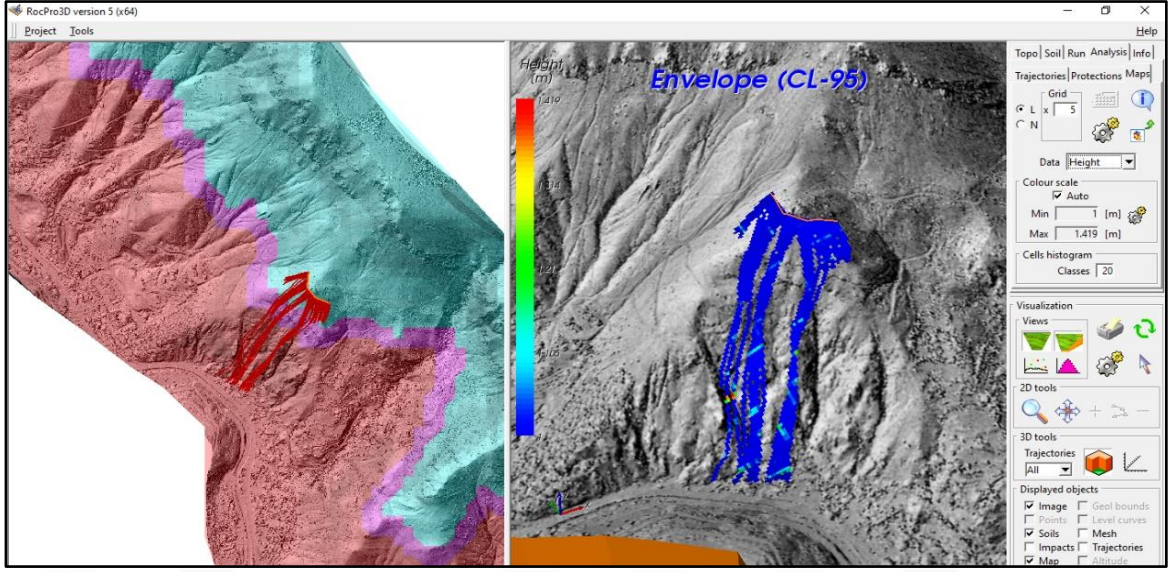
Şekil 3.43. H6 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita



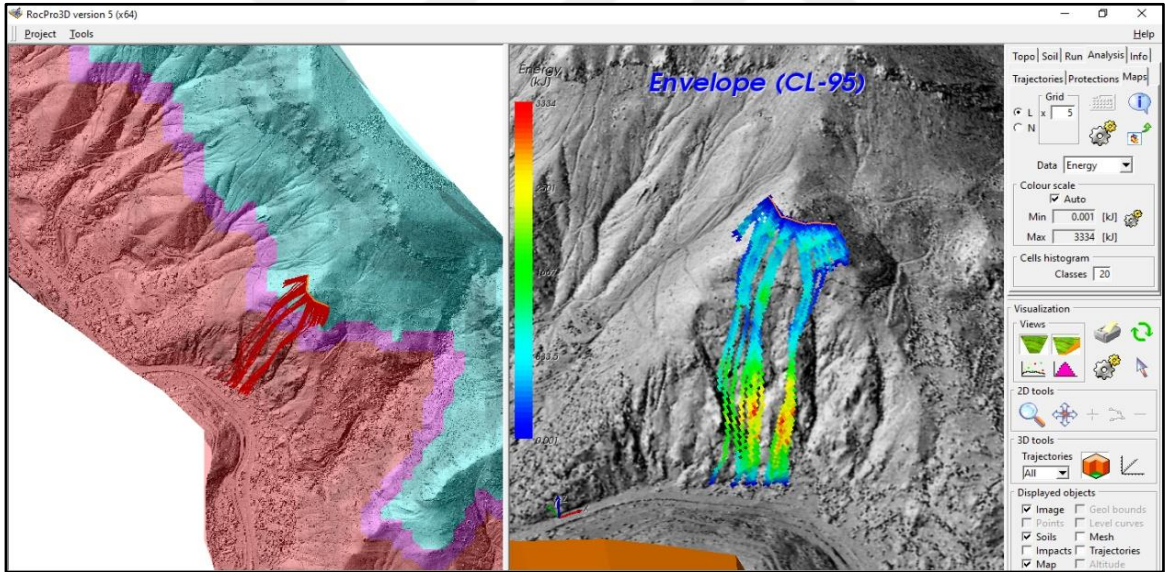
Şekil 3.44. H6 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası

H7 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Yeni Mahalle ve Eskibağlar mahallesi üst kotlarından koparak gelen kireçtaşı bloklarının bulunduğu kaynak kaya alanında seçilen H7 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H7 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 487m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.4m olduğu (Şekil 3.45) ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin en fazla 3500 kJ olduğu (Şekil 3.46) belirlenmiştir. H7 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı bloklarının hali hazırda bulunan yapılar ve karayolu için yüksek tehlike oluşturduğu görülmektedir. H7 hattının etki alanı etrafında kaya düşme riskine karşı iyileştirme yöntemlerinin tercih edilmesi ve H7 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığına sahip olması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3.45. H7 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

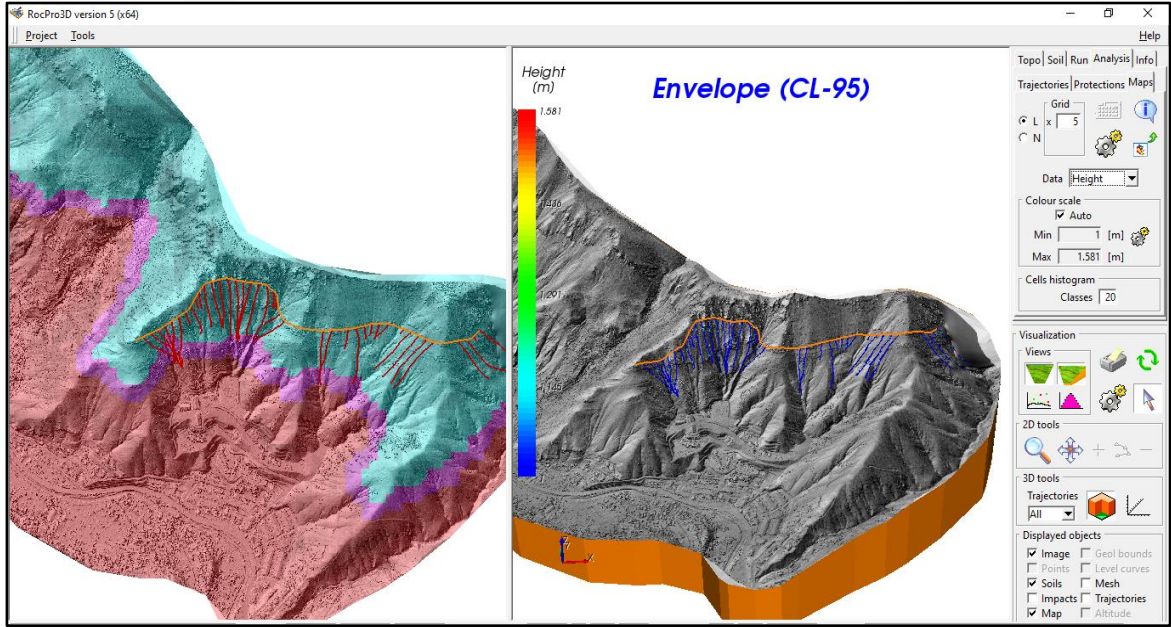


Şekil 3.46. H7 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası

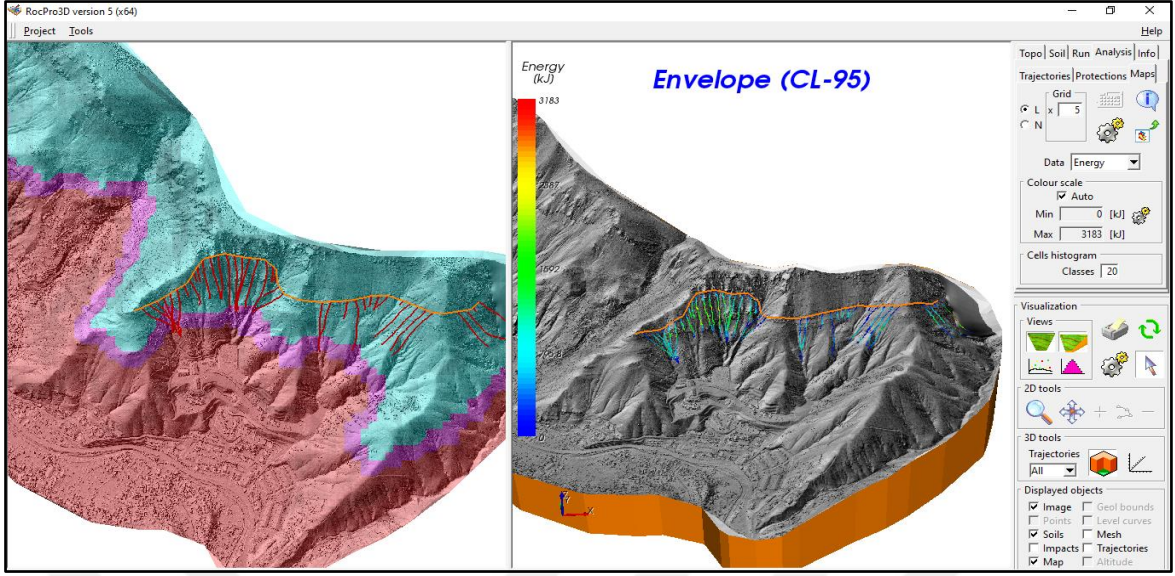
H8 Nolu Kaynak Kaya Hattı;

Eskibağlar Mahallesi ve Gümüşhane Üniversitesi üst kotlarından düşen kireçtaşı bloklarının bulunduğu kaynak kaya alanında seçilen H8 hattı için düşebilir 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H8 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en

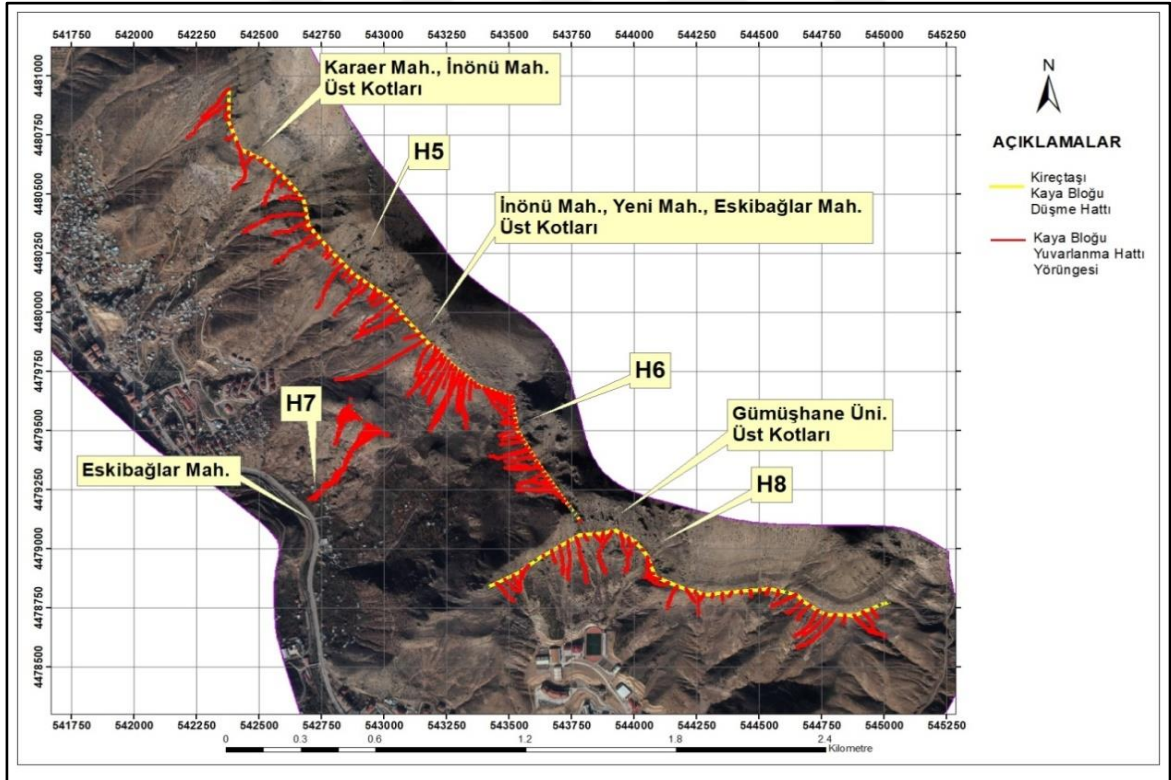
fazla 201 m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.5 m olduğu (Şekil 3.47) ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin en fazla 3183 kJ'e eriştiği (Şekil 3.48) belirlenmiştir. H8 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek risk oluşturmamaktadır. Fakat H8 hattının etki alanı etrafında kaya düşme tehlikesine karşı iyileştirme yöntemlerinin tercih edilmesi ve H8 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığına sahip olması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3.47. H8 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita



Şekil 3.48. H8 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası



Şekil 3.49. Berdiga Formasyonu kireçtaşı bloklarının düşme sonucu oluşan yörüngelerini ve yayılımını gösteren ortofoto haritası

3.6.4.7. Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Şenköy Formasyonu)

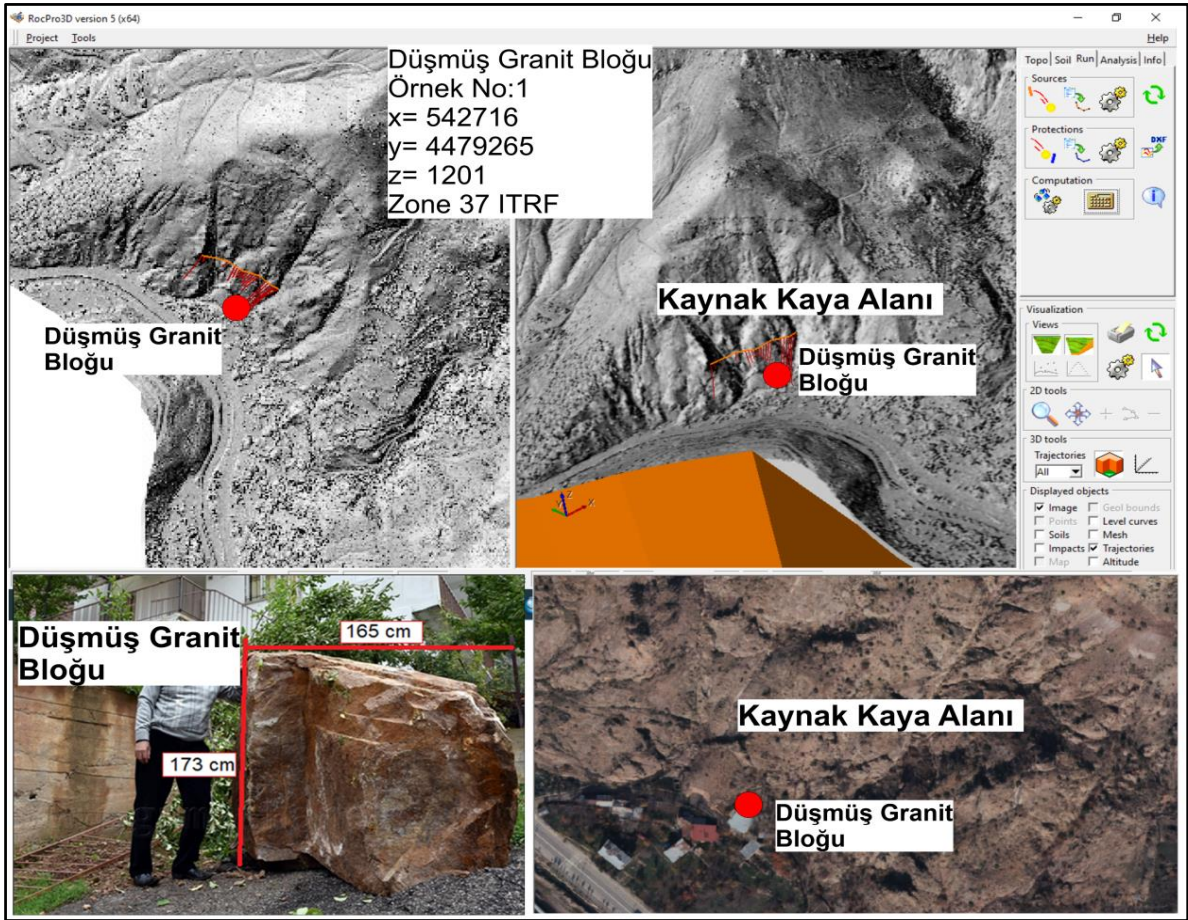
Kaya düşme envanter haritası üzerine işlenmiş Şenköy Formasyonuna ait kaynak kaya ve/veya düşmüş bir kaya bloğu envanteri ve/veya arazi bulgusu bulunmamaktadır. Jeolojik haritada formasyonun üst kotlarında kaynak kaya alanları olması ve yuvarlanan blokların bazı bölgelerde Şenköy Formasyonu'nu katetmesi sebebiyle RocPro3D tanımlama modülü kullanılarak ayrılmış kaya ve gevşek zemin özelliklerini karakterize eden ilgili parametre değerleri atanarak Şenköy Formasyonu için en ideal yuvarlanma parametreleri elde edilmiştir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8. Şenköy Formasyonuna ait ideal kaya düşme parametreleri

Şenköy Formasyonu	Örnek No: 1	Ortalama
Rn	0.57	0.55
Rt	0.77	0.75
Değişkenlik Δ_R %	4.0	4.0
Limit Hız V_R(lim) [m/s]	10	10
Limit Değişken Δ_R (lim) %	2.1	2.0
Yanal Sapma		
Değişkenlik Δ_{Qh} (°)	20	20
Limit Hız V_Qh(lim) [m/s]	10	10
Limit Değişken Δ_{Qh} (lim) (°)	10	10
Geri Sıçrama		
Değişkenlik Δ_{Qv} (°)	2.1	2.0
Limit Hız V_Qv (lim) [m/s]	10	10
Limit Değişken Δ_v (lim) (°)	4.0	4.0
Sürtünme Katsayısı		
k değeri	0.50	0.50
Değişkenlik Δ_k (%)	10	10
Limit Hız V_k (lim) [m/s]	10	10
Limit Değişken Δ_k (lim) %	10	10
Geçiş Parametreleri		
Açı β_{lim} (ani gelişen durum)(°)	2.0	2.0
Açı β_{lim} (eğimli durum)(°)	25	25

3.6.4.8. Kaya Düşme Analizlerinin Değerlendirilmesi (Gümüşhane Graniti)

Kaya düşme envanter haritası üzerine işlenmiş 10 adet düşmüş blok için geri analiz yöntemi ile CBS tabanında koordinatları belirlenmiş olan düşmüş bloklar için farklı parametre veri giriş varyasyonları ve simülasyonları deneyerek, R_n ve R_t parametreleri elde edilmiştir (Şekil 3.50). Elde edilen veriler ışığında 10 adet örnek değerinin ortalaması alınarak inceleme alanı içerisinde bulunan granit bloklarının kaya düşme esnasındaki en ideal parametreleri elde edilmiştir (Tablo 3.9).



Şekil 3.50. Geri analiz yöntemi ile granit bloklarında R_n , R_t katsayılarını belirleme

Tablo 3.9. Gümüşhane Granitoyidi'ne ait granit blokları için kaya düşme parametreleri

Granit	Örnek No:1	Örnek No:2	Örnek No:3	Örnek No:4	Örnek No:5	Örnek No:6	Örnek No:7	Örnek No:8	Örnek No:9	Örnek No:10	Ortalama
Rn	0.56	0.53	0.53	0.57	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Rt	0.88	0.82	0.85	0.85	0.82	0.85	0.83	0.82	0.82	0.81	0.84
Değişkenlik Δ_R %	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.00
Limit Hız V_R (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_R (lim) %	2.1	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Yanal Sapma											
Değişkenlik Δ_{Qh} (°)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Limit Hız V_{Qh} (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_{Qh} (lim) (°)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Geri Sıçrama											
Değişkenlik Δ_{Qv} (°)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Limit Hız V_{Qv} (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_v (lim) (°)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Sürtünme Katsayısı											
k değeri	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Değişkenlik Δ_k (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Hız V_k (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Limit Değişken Δ_k (lim) %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Geçiş Parametreleri											
Açı β_{lim} (ani gelişen durum)(°)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Açı β_{lim} (eğimli durum)(°)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

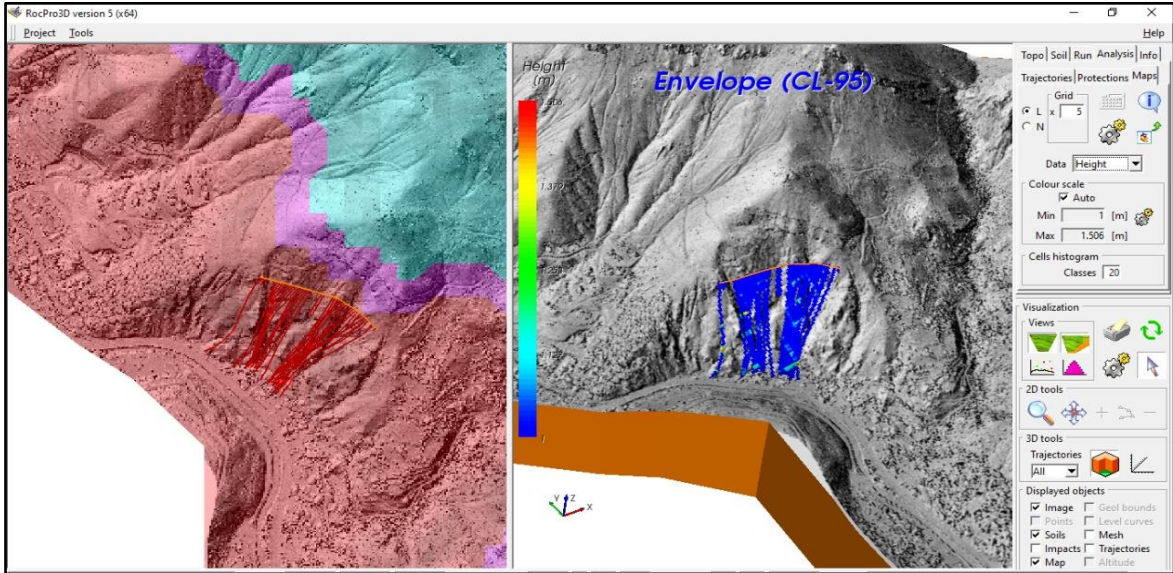
RocPro3D programı ile gerçekleştirilecek analizlerde parametre değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır.

Eskibağlar Mahallesi Kömürcüoğlu Sokak ve civarı üst kotlarından düşen granit bloklarının konumları ve yapılan geri analizler sonucu elde edilen Rn ve Rt parametreleri ve RocPro3D program altlıklarındaki standart parametreler kullanılarak belirlenen hat üzerinde granit blokları düşürme simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak da kaya

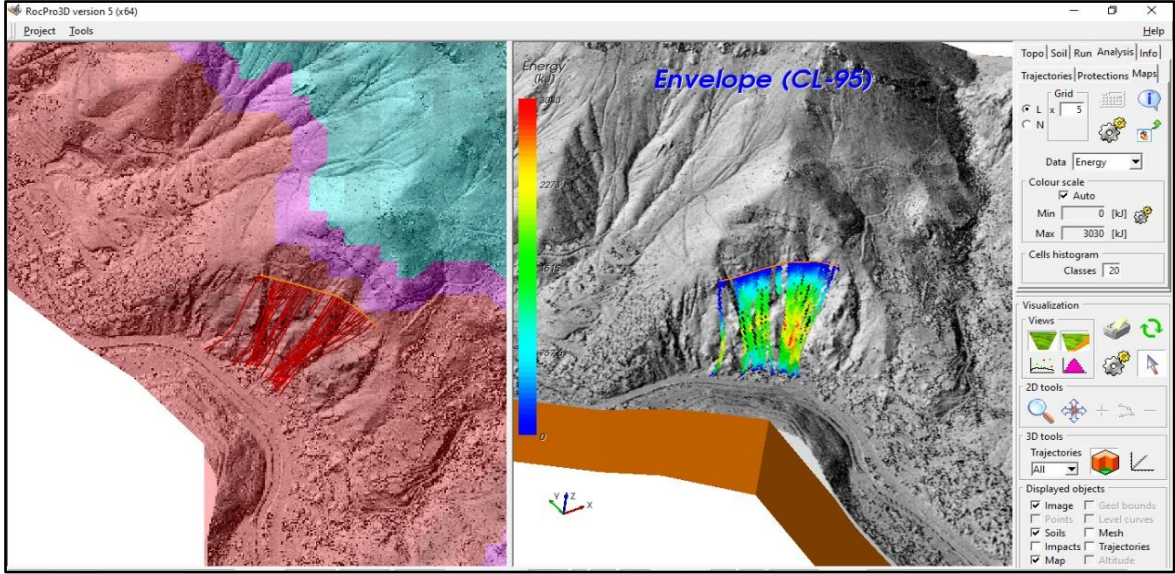
düşmesi simülasyon yörüngeleri değerleri ortofoto görüntüsü ile birleştirilerek sayısal haritalar elde edilmiştir (Şekil 3.53).

H9 Hattı;

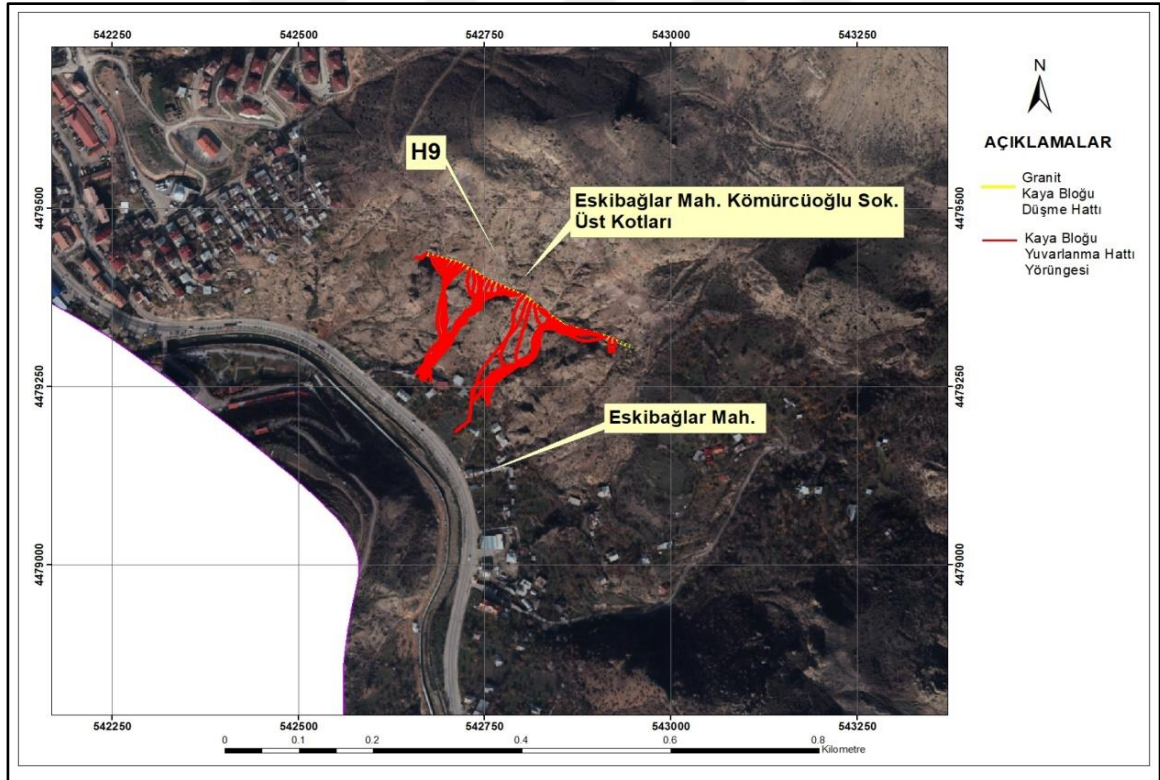
Eskibağlar Mahallesi Kömürcüoğlu Sokak ve üst kotlarından düşen granit bloklarının bulunduğu kaynak kaya alanında seçilen H9 hattından düşürülecek 50 adet kaya bloğu tanımlanmıştır. H9 hattı üzerindeki 50 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda granit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 186.50 m civarında değişen bir yol alabileceği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.5 m (Şekil 3.51) ve enerjisinin en fazla 3080 kJ olduğu hesaplanmıştır (Şekil 3.52). H9 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan granit blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturmaktadır. H9 hattı civarındaki yerleşim yerlerini tehdit eden kaya blokları için iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır. H9 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığında sahip olması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3.51. H9 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita



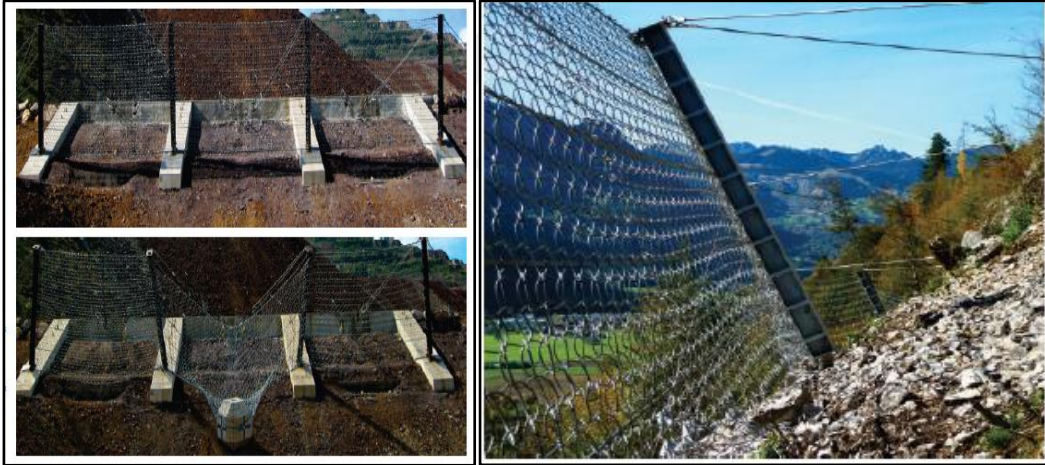
Şekil 3.52. H9 kaynak kaya alanından yuvarlanan 50 adet kaya bloğuna ait 3D enerji haritası



Şekil 3.53. Granit bloklarının düşme sonucu oluşan yörüngelerini ve yayılımını gösteren ortofoto haritası

3.6.5. Kaya Düşme Alanlarında Uygulanan Önlem Yapısı

İnceleme alanında belirlenen kaynak kaya alanlarında yapılan 3D kaya düşme analizleri sonucunda her bir alan için yerleşim alanı ve yol güzergahlarını tehdit eden yuvarlanmış veya yuvarlanma olasılığı yüksek kaya bloklarını önlemek için literatürde birçok iyileştirme yöntemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada inceleme alanının sarp ve eğimi yüksek olması ve iyileştirme uygulanacak alanların yer yer birkaç kaynak kaya alanından oluşması ve iyileştirme alanına iş makinelerinin erişebileceği yol ağının olmaması sebebiyle çelik bariyer uygulamasının daha doğru ve pratik olacağı düşünülmüştür. Bu sebeple hem topoğrafyada bariyer uygulamasının yapılabileceği uygun alanların belirlenmesi, hem de yapılan kaya düşme analizleri sonucunda yuvarlanan blokların sıçrama yüksekliği ve enerjilerinin en az olduğu, sönmüldüğü metrajlar tercih edilerek ETAG 27 (ME) standartlarında bariyer tipleri belirlenmiştir (Şekil 3.54).



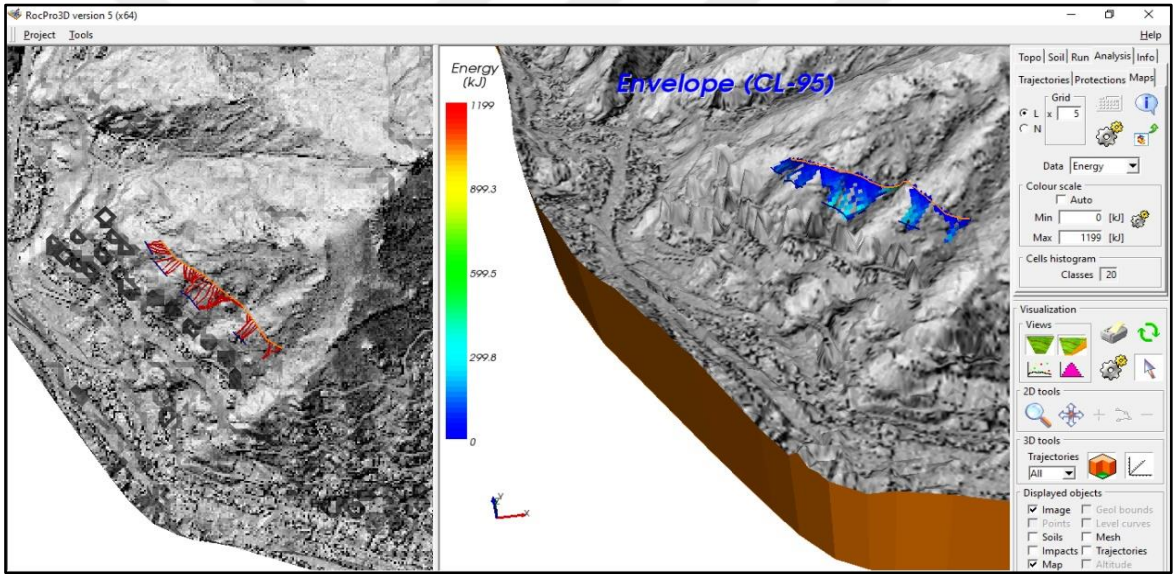
Şekil 3.54. ETAG 27 (ME) Standartlarında çelik bariyer örneği (Trumer Rockfall)

3.6.5.1. Alibaba Formasyonunu (Andezit Blokları) Kaya Düşme İyileştirme Analizi;

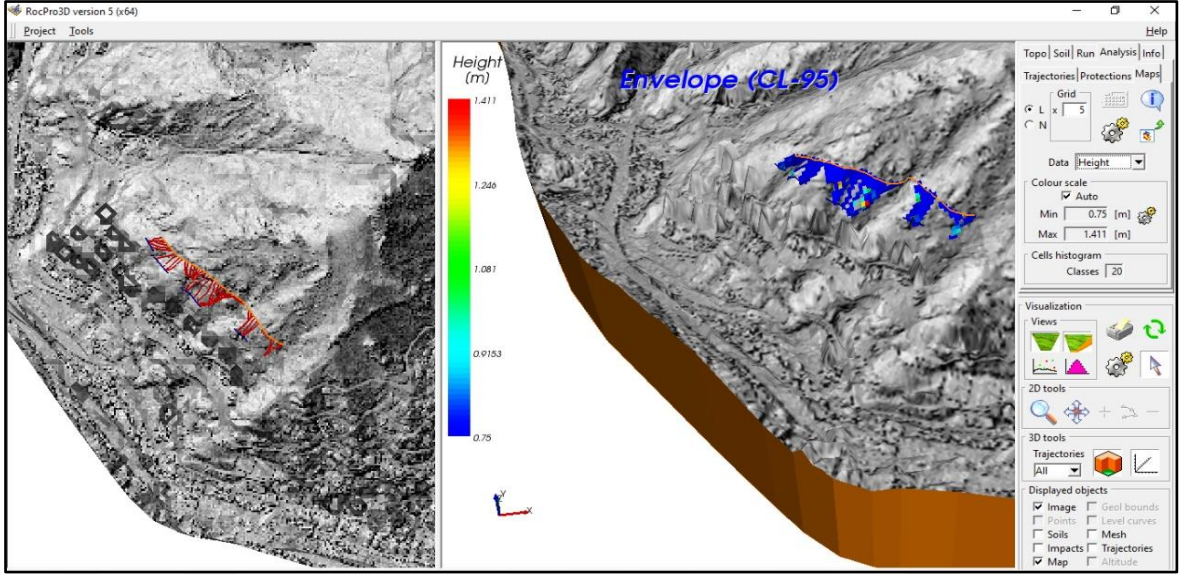
Alibaba Formasyonunda belirlenen dört kaynak kaya alanında (H1, H2, H3, H4) yapılan kaya düşme analizleri sonucunda yerleşim yeri ve yol ağlarını etkileyen alanlarda (H1, H2 ve H3) düşen blokların izlediği rotalar dikkate alınmıştır. Profil seçiminde, en uzak yatay mesafeye yayılım gösteren yuvarlanma profilleri dikkate alınarak, uygun kinetik enerji ve sıçrama yüksekliği parametrelerine göre uygun olan bariyer tipi ve yeri belirlenmiştir.

H1 Kaynak Kaya Alanından Düşen Bloklar İçin;

H1 kaynak kaya alanından düşen blokların Oltanbey Mahallesiindeki yerleşim yeri ve yol ağlarını tehdit ettiği yapılan kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer tiplerinden; ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2. sınıf 4 farklı alanda ve toplam 144m uzunluğunda bariyer hattı H1 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliğinin en uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.55-3.56). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



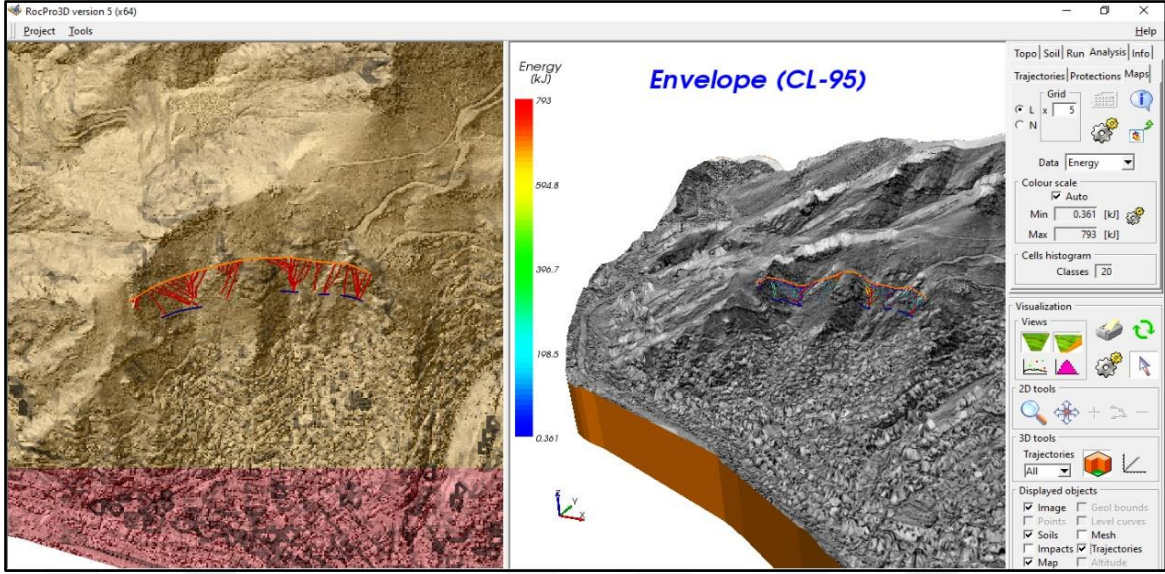
Şekil 3.55. H1 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumu gösterir 3D harita



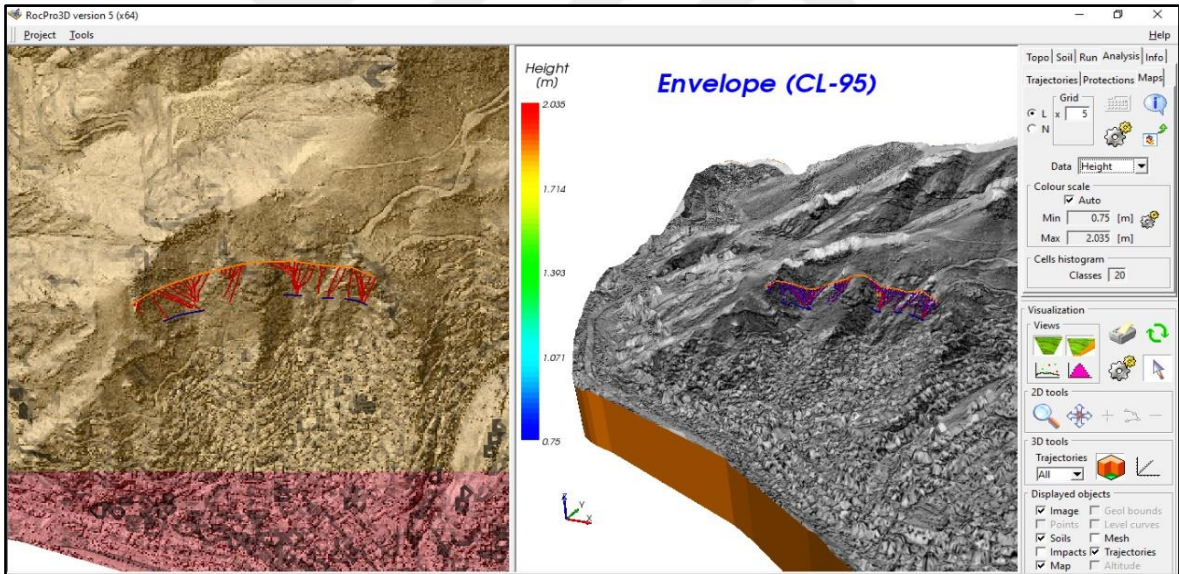
Şekil 3.56. H1 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

H2 Kaynak Kaya Alanından Düşen Bloklar İçin

H2 kaynak kaya alanından düşen blokların Hasanbey Mahallesi kayalık semti üst kotlarında yerleşim yeri ve tali yol ağlarını tehdit ettiği yapılan kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer tiplerinden; ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2. sınıf ve toplam uzunluğu 200m olan 4 farklı hatta bariyer ağı H2 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin en uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.57-3.58). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.57. H2 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumu gösterir 3D harita

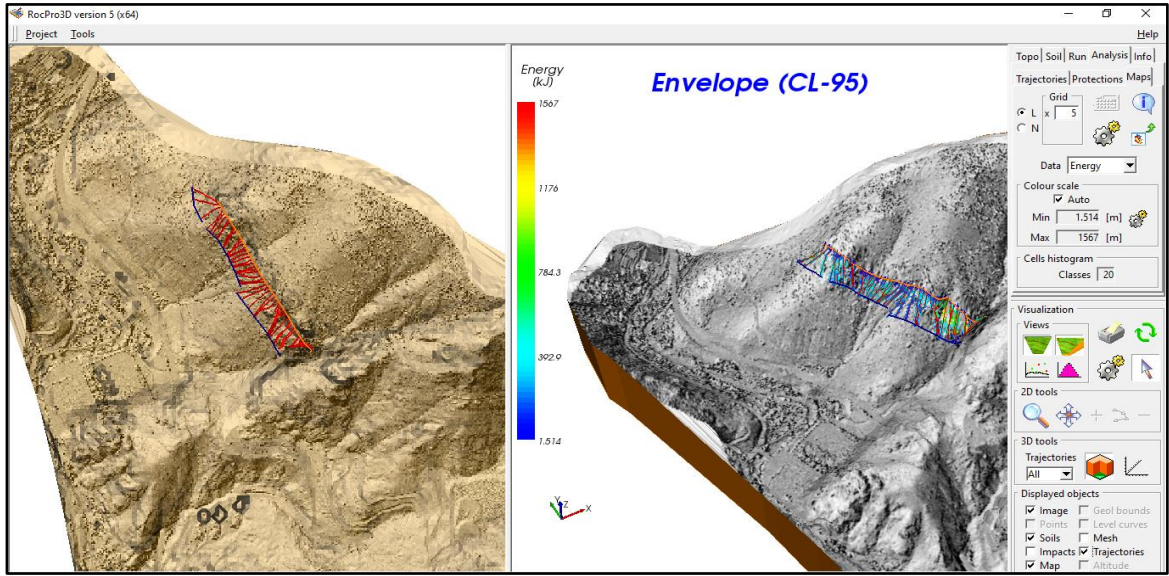


Şekil 3.58. H2 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

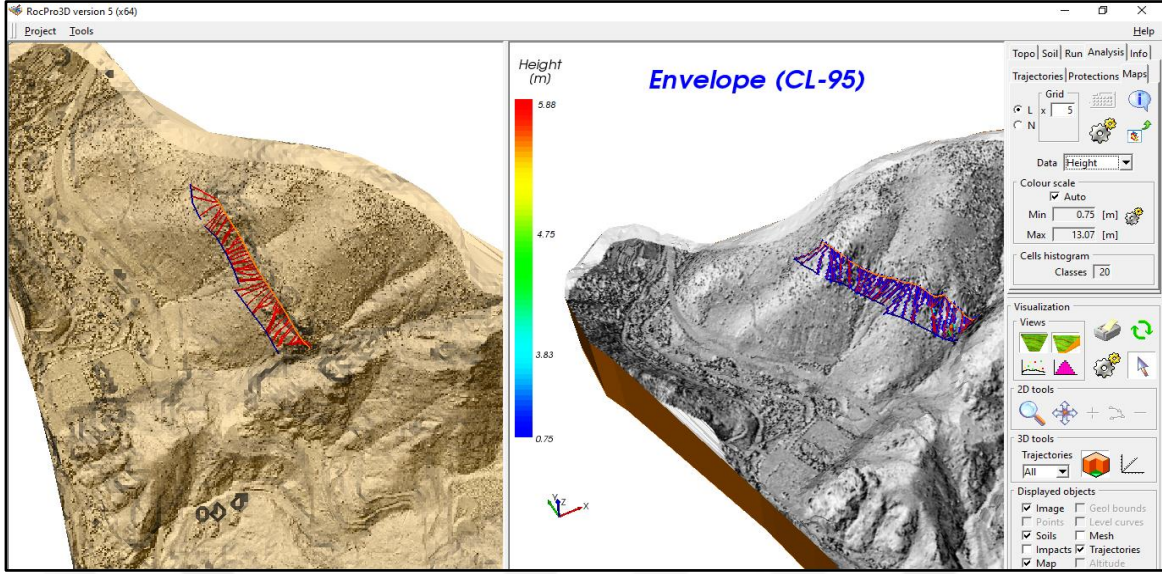
H3 Hattı İyileştirme Yöntemi;

H3 kaynak kaya alanından düşen blokların, Özcan Mahallesi Yeni Şehir Stadyumu kuzeyinde üst kotlarındaki yerleşim yeri tali yol ve şehirlerarası karayolunu tehdit ettiği yapılan kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların

yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer tiplerinden; ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2. sınıf ve toplam uzunluğu 424m olan 3 farklı alanda bariyer ağı H3 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.59-3.60). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.59. H3 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita

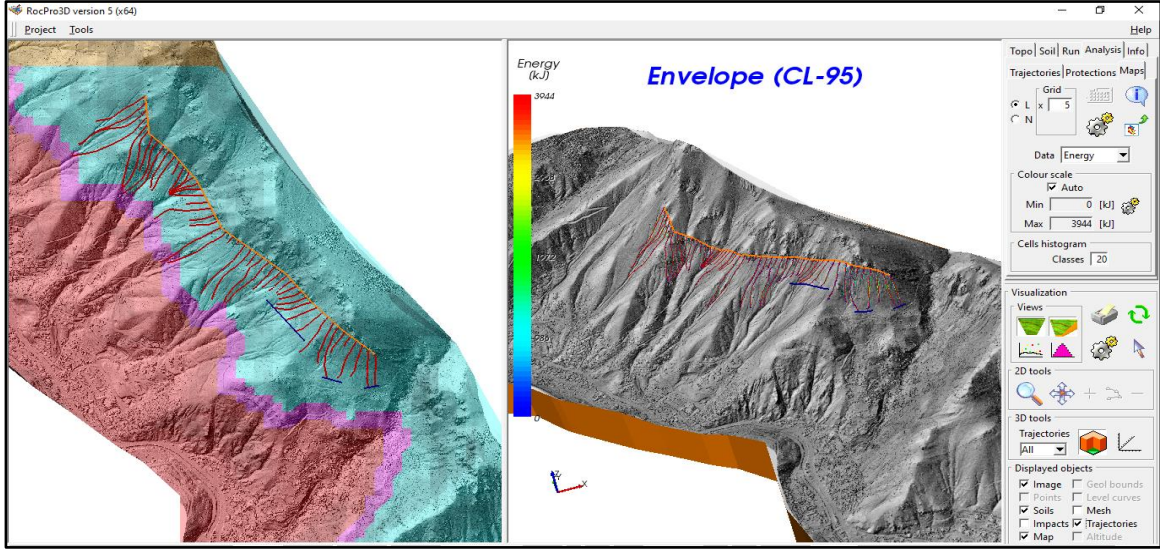


Şekil 3.60. H3 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

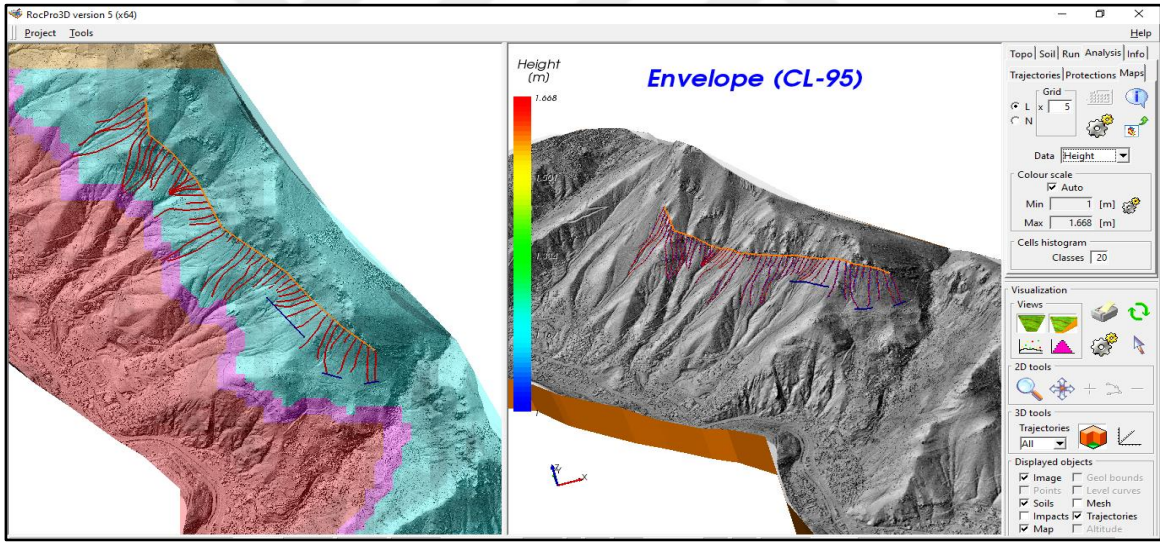
3.6.5.2. Berdiga Formasyonu (Kireçtaşı Blokları) Kaya Düşme İyileştirme Analizi;

H5 Hattı İyileştirme Yöntemi;

H5 hattı için Karaer, İnönü ve Yeni Mahalle üst kotlarında yerleşim yerlerini ve tali yolları tehdit eden alanlar kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer tiplerinden; ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2. sınıf ve toplam 402m uzunluğunda 3 farklı alanda bariyer ağı H5 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin en uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.61-3.62). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.61. H5 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita

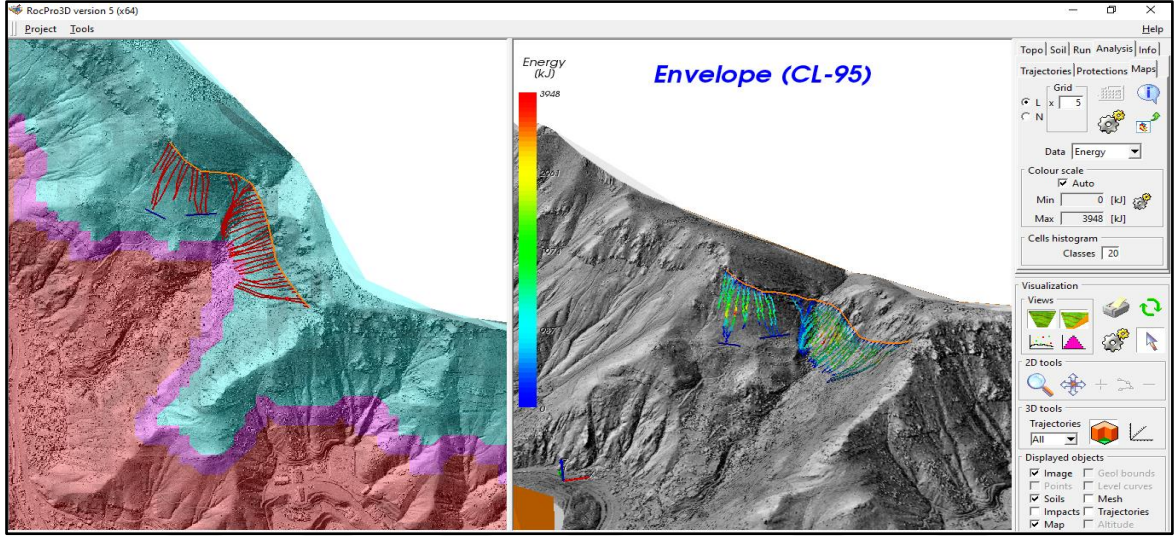


Şekil 3.62. H5 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

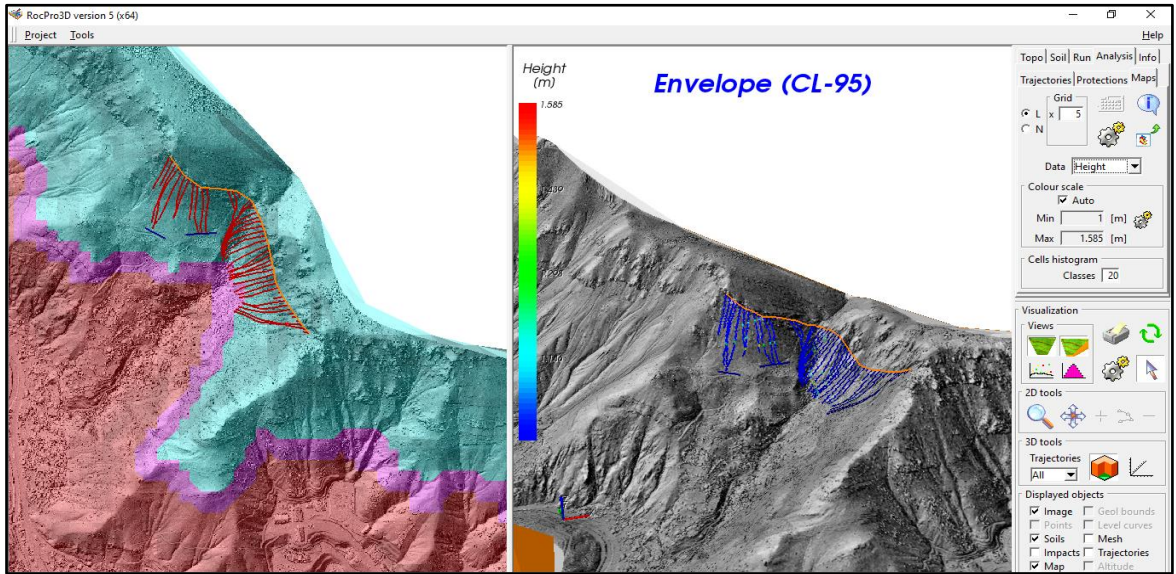
H6 Hattı İyileştirme Yöntemi;

H6 hattı için özellikle İnönü, Yeni ve Eskibağlar Mahalleleri üst kotlarında yerleşim yerlerini ve tali yolları tehdit eden alanı içine alan bölge kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer

tiplerinden; ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2. sınıf ve toplam uzunluğu 155m olan 2 farklı alanda bariyer ağı H6 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin en uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.63-3.64). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



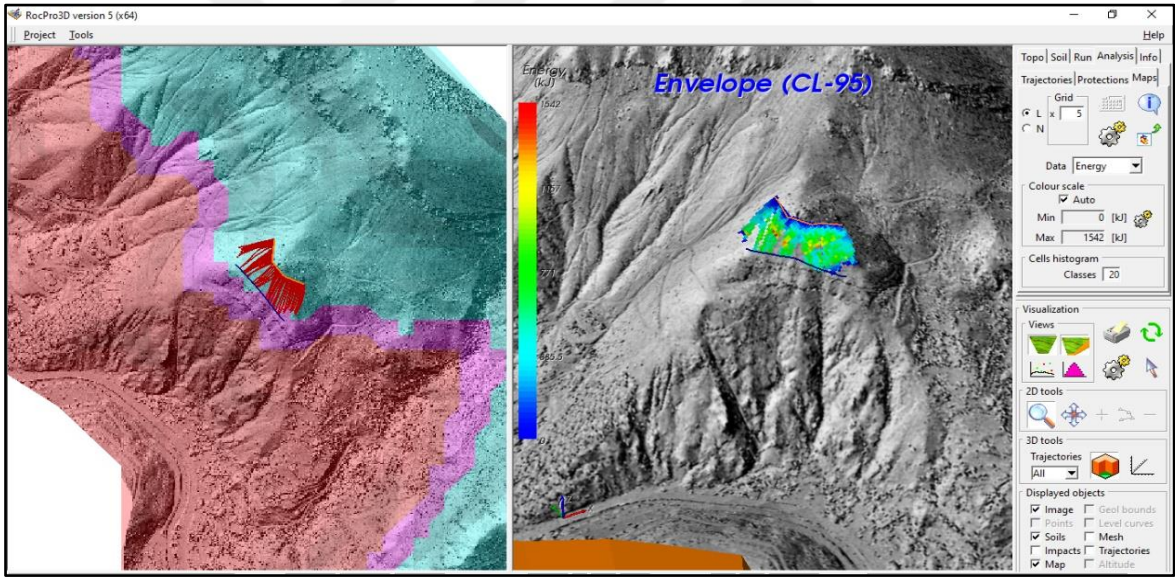
Şekil 3.63. H6 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita



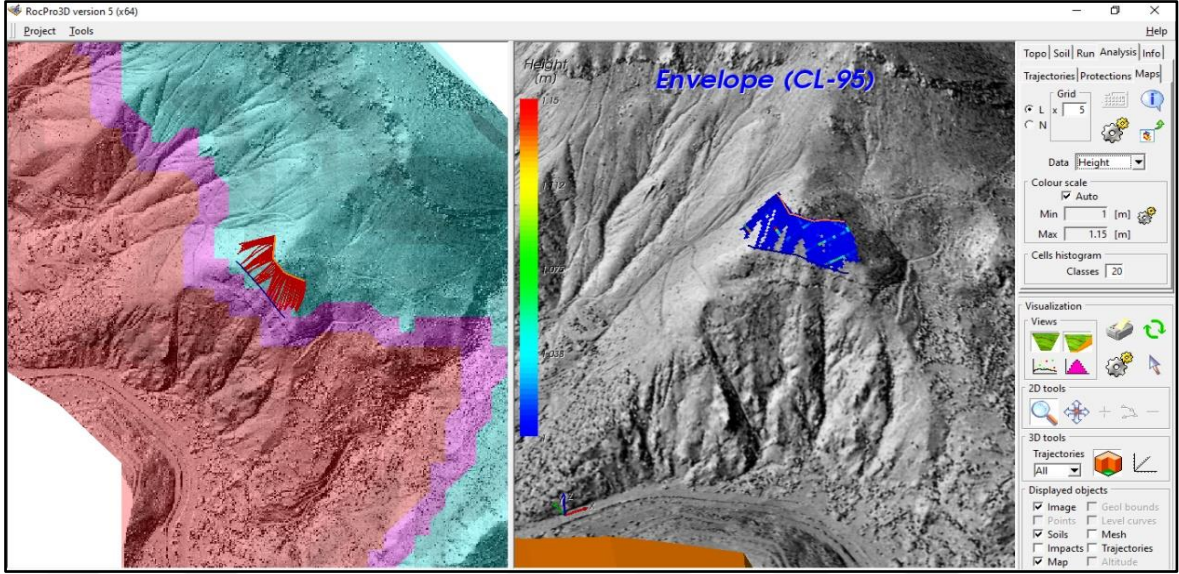
Şekil 3.64. H6 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

H7 Hattı İyileştirme Yöntemi;

H7 hattı için özellikle Yeni Mahalle ve Eskibağlar Mahallesi üst kotlarında yerleşim yerlerini ve şehirlerarası karayolunu tehdit eden alanı içine alan bölge, kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer tiplerinden; ETAG 27(ME) standardında 2m yüksekliğinde ve 1000 kJ kapasiteli 3.sınıf ve toplam uzunluğu 195m olan bariyer ağı H7 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin en uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.65-3.66). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



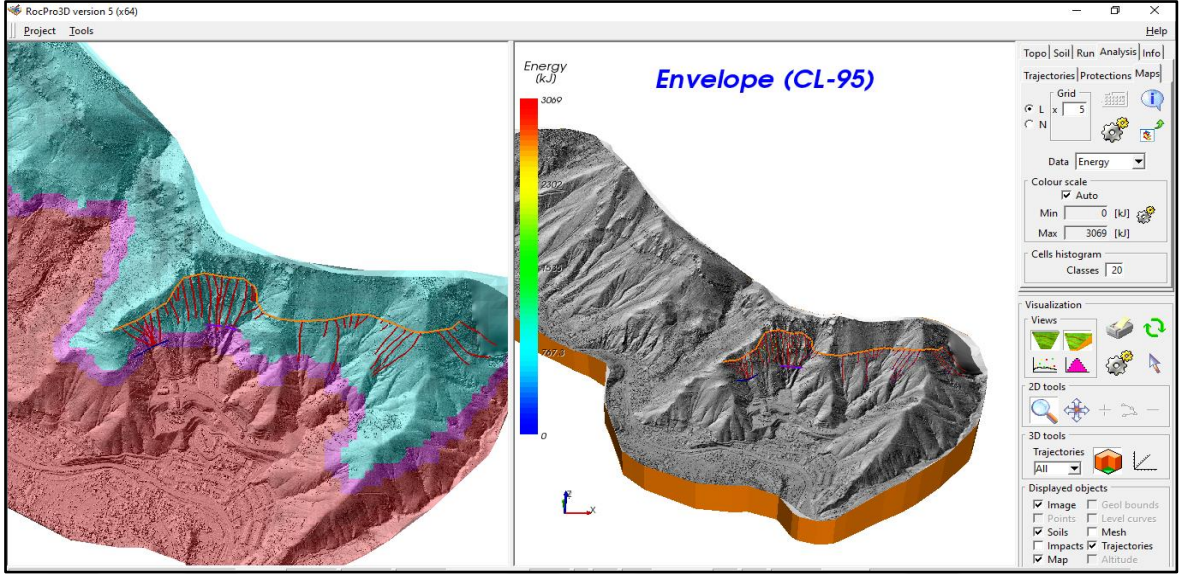
Şekil 3.65. H7 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita



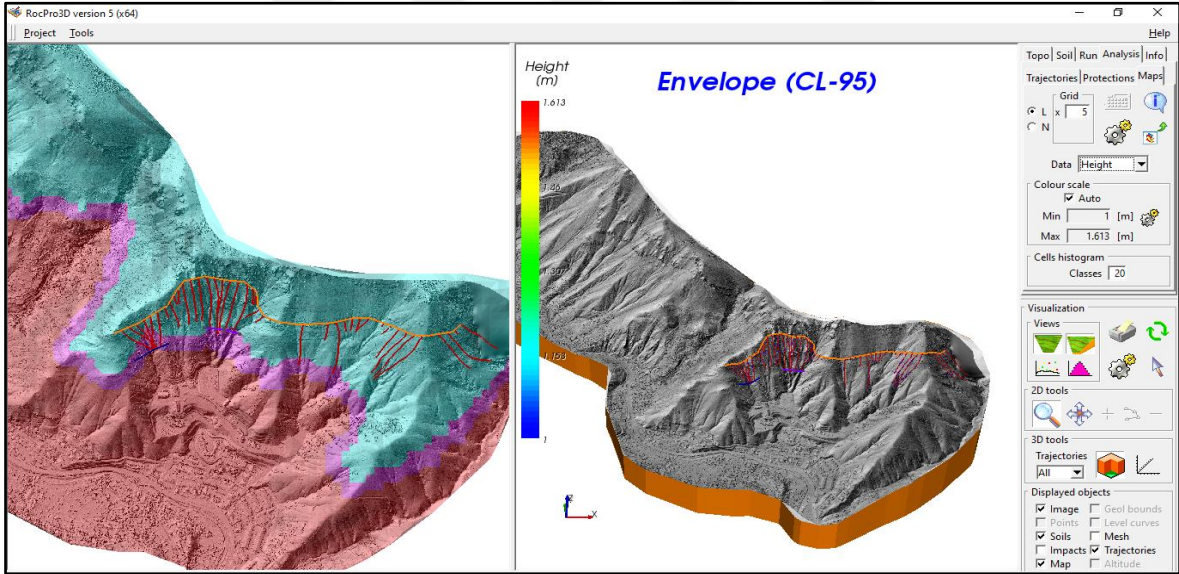
Şekil 3.66. H7 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

H8 Hattı İyileştirme Yöntemi;

H8 hattı için Eskibağlar Mahallesi ve Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesi civarında üst kotlarında yerleşim yerlerini ve tali yolları tehdit eden alanı içine alan bölge kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer tiplerinden; ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2.sınıf ve toplam uzunluğu 359m olan 2 farklı alanda bariyer ağı H8 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin en uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.67-3.68). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.67. H8 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita

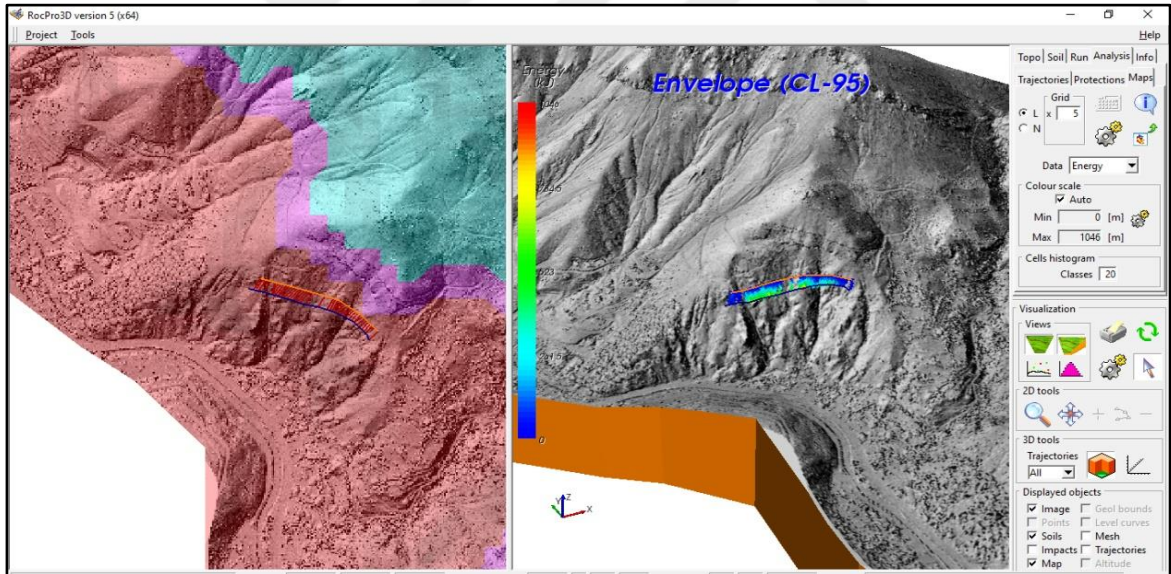


Şekil 3.68. H8 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

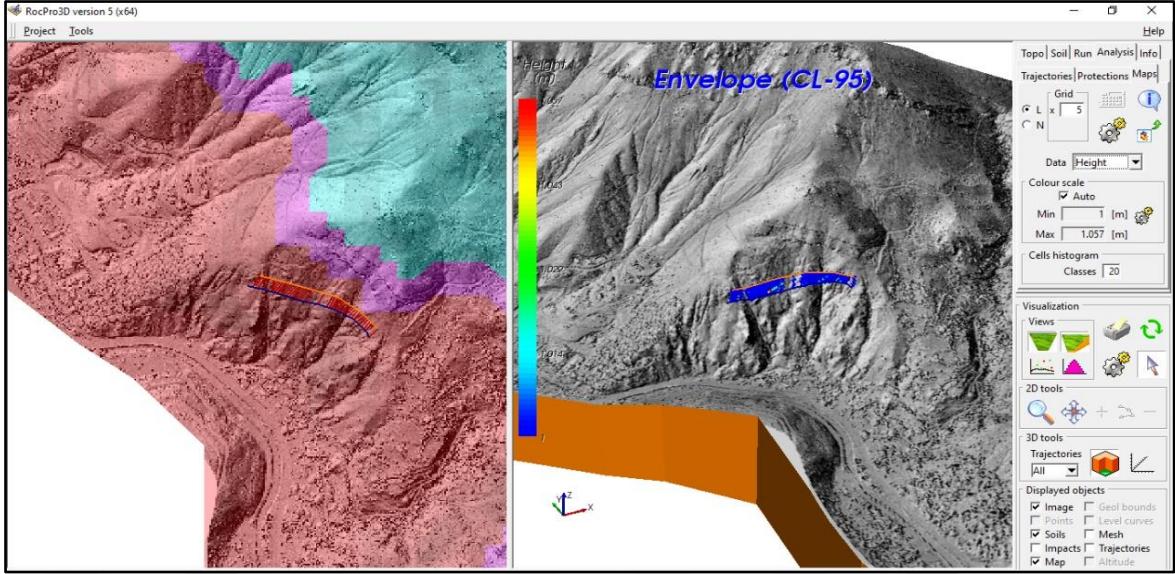
3.6.5.3. Gümüşhane Granitoyidi (Granit Blokları) Kaya Düşme İyileştirme Analizi;

H9 Hattı İyileştirme Yöntemi;

H9 hattı için özellikle Eskibağlar Mahallesi Kömürcüoğlu Sokak ve civarında üst kotlarında yerleşim yerlerini ve tali yolları tehdit eden alan kaya düşme analizleri ile belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarından blokların yuvarlanma hattı boyunca sıçrama yüksekliği ve enerjisi dikkate alınarak ETAG standartlarında üretilmiş çelik bariyer tiplerinden; ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2.sınıf ve toplam 304m uzunluğunda 1 bariyer ağı H9 kaynak kaya alanından düşen blokların enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin en uygun olduğu alana uygulanmıştır (Şekil 3.69-3.70). Bu analizlerden elde edilen sıçrama yüksekliği ve enerji grafikleri seçilen bariyer tipinin önlem yapısı için uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir.



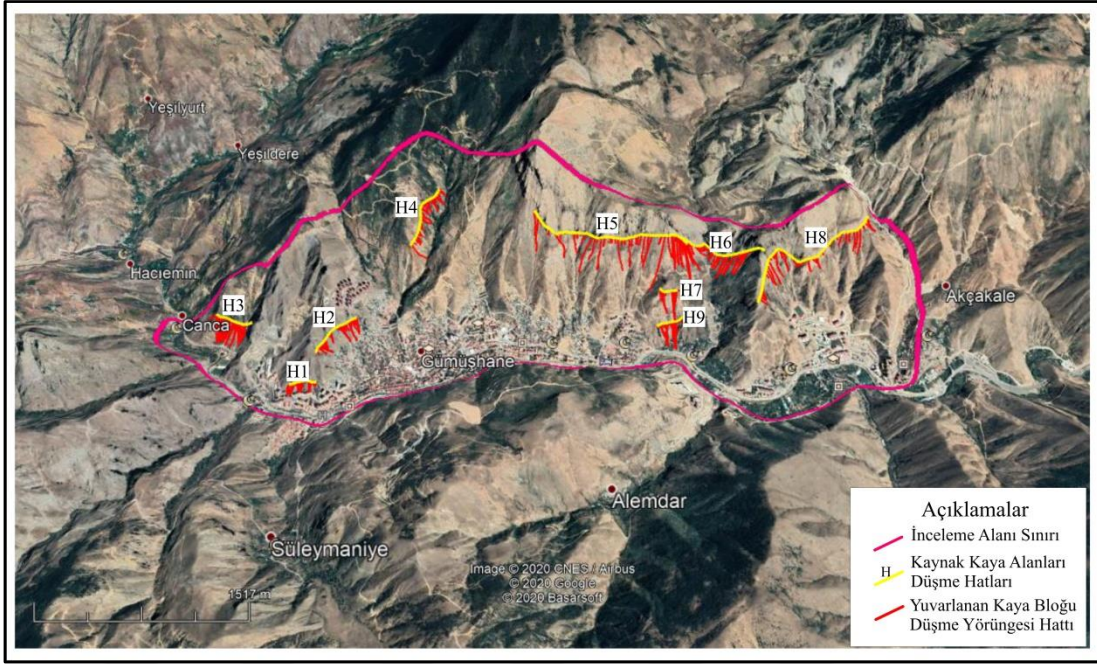
Şekil 3.69. H9 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki kinetik enerji durumunu gösterir 3D harita



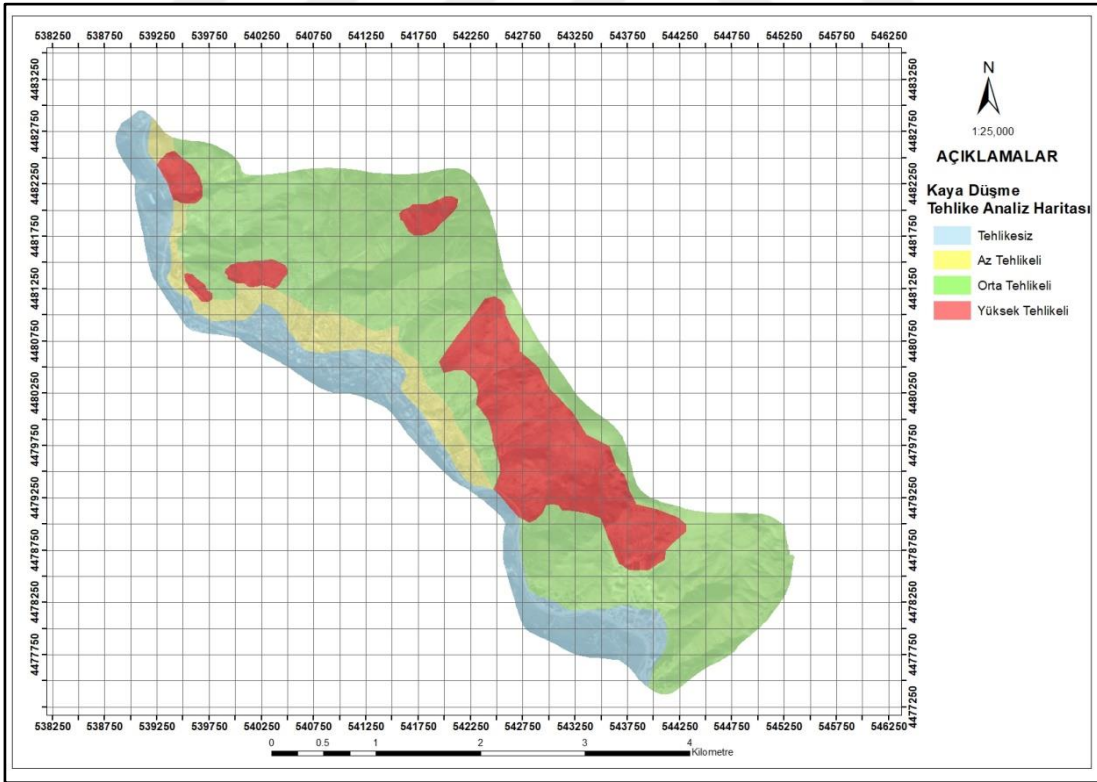
Şekil 3.70. H9 nolu kaya düşme hattında çelik bariyer uygulaması sonrasındaki sıçrama yüksekliğini gösterir 3D harita

3.6.6. Olası Tehlike Haritaları

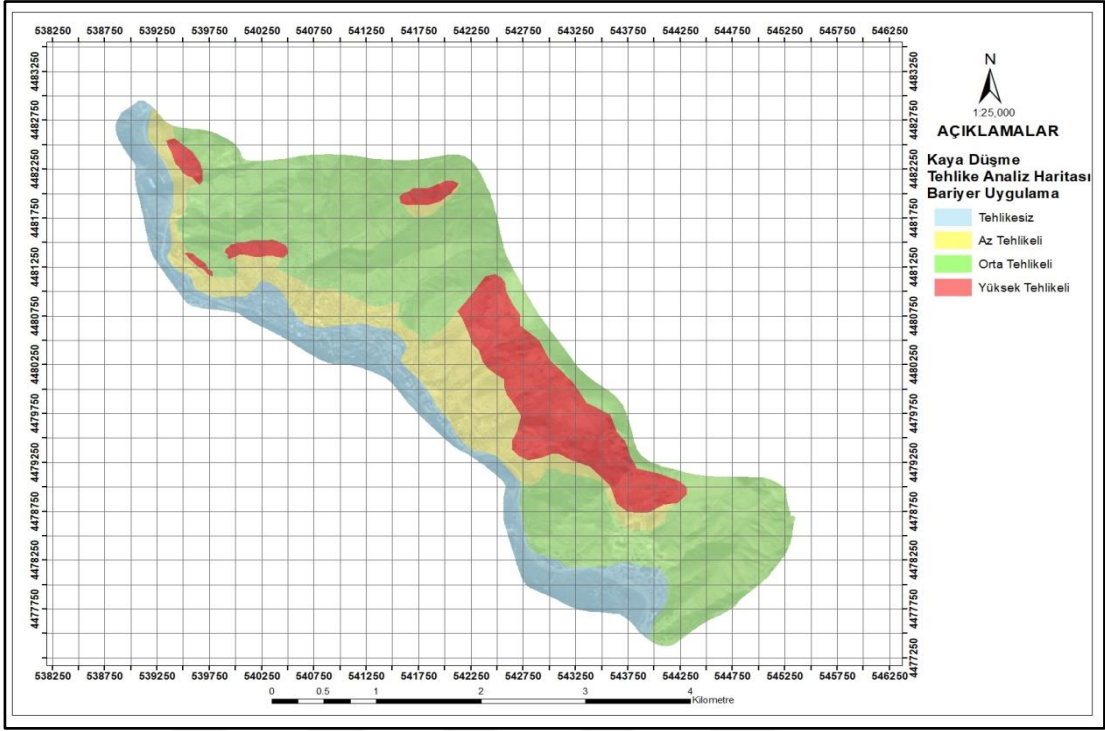
İnceleme alanı içinde 9 farklı alanda belirlenen kaynak kaya alanlarında oluşturulan olası düşme hatlarından yuvarlanan kaya bloklarının topoğrafyada yayıldıkları en uzak mesafeler RocPro3D programında belirlenmiş (Şekil 3.71) ve buna ek olarak daha önceden düşmüş bloklardan elde edilen kaya düşme envanter haritası ve eğiminde azaldığı zonlar dikkate alınarak tehlikesiz, az tehlikeli, orta tehlikeli ve yüksek tehlikeli olmak üzere dört kaya düşme tehlike sınıfı oluşturulmuştur (Şekil 3.72). Daha sonra yerleşim alanlarındaki evleri ve yol hatlarını etkileyen yuvarlanma olasılığı yüksek blokları önleme amacıyla uygulanan çelik bariyerler sayesinde, olası yuvarlanacak bloklar sönmümlenerek tehlike ortadan kaldırılmıştır. Bu durum iyileştirme sonrası yapılan kaya düşme analizleri ile ortaya koyulmuştur. Çelik bariyer uygulanması sonrasında, iyileştirme yapılmadan önce oluşturulmuş olası tehlike haritası güncellenerek yeniden sınırlandırılmıştır (Şekil 3.73). İnceleme alanındaki yol hatları ve daha önceden yerleşime açılmış mahallelerdeki kaya düşme tehlike durumunu ortofoto üzerinde göstermek amacıyla CBS ortamında hazırlanan olası tehlike haritaları bariyer uygulamadan önce (Şekil 3.74) ve bariyer uygulandıktan sonra (Şekil 3.75) yeniden üretilmiştir.



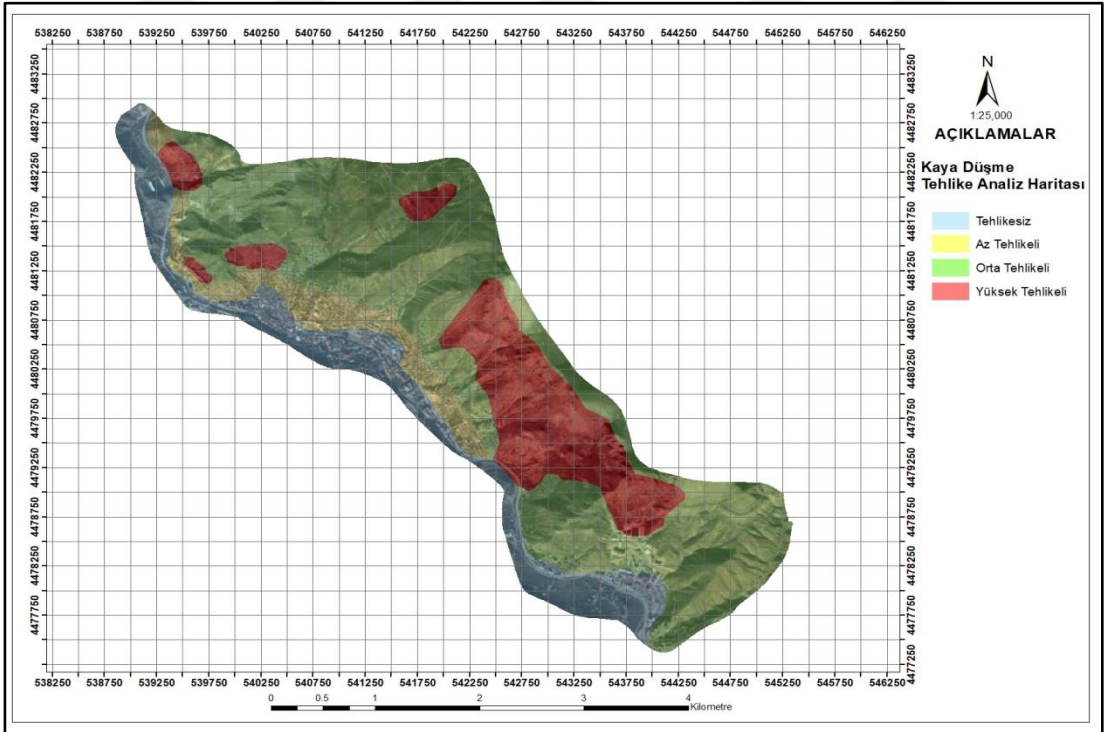
Şekil 3.71. Tüm hatlarda kaya yuvarlanma yörüngeleri 3D kabartma uydu görüntüsü



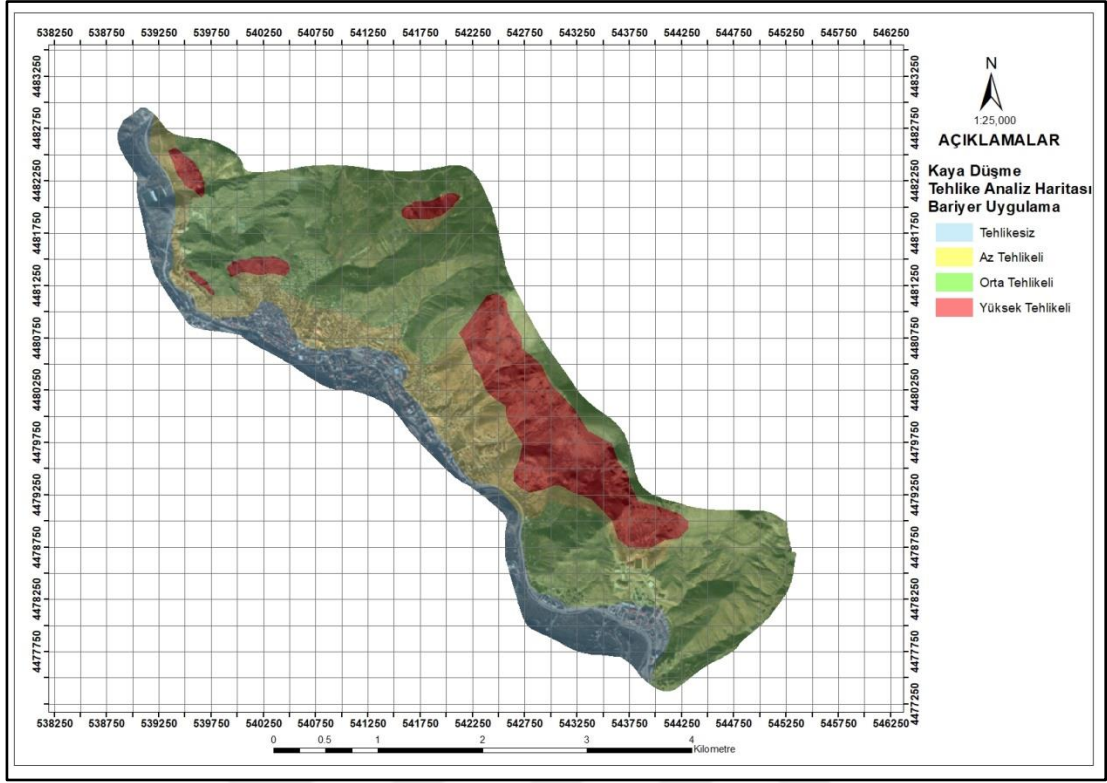
Şekil 3.72. Olası tehlike haritası



Şekil 3.73. Olası tehlike haritası (bariyer uygulamasından sonra)

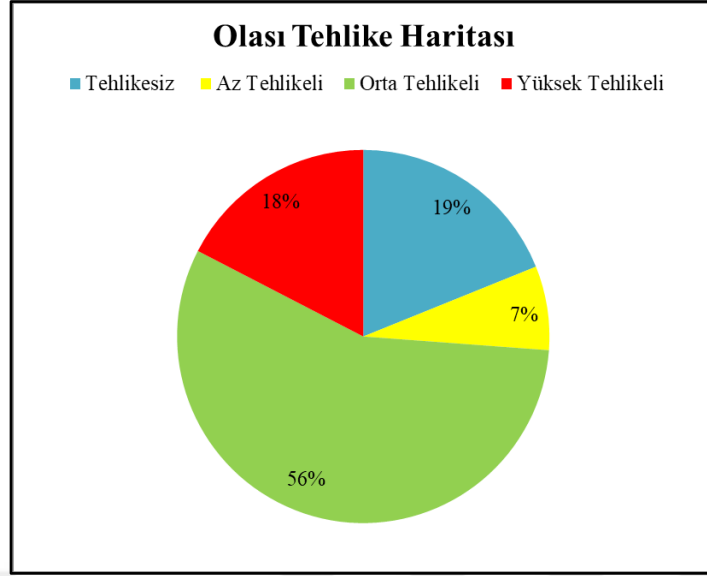


Şekil 3.74. Olası tehlike haritası (Orto foto görüntülü)

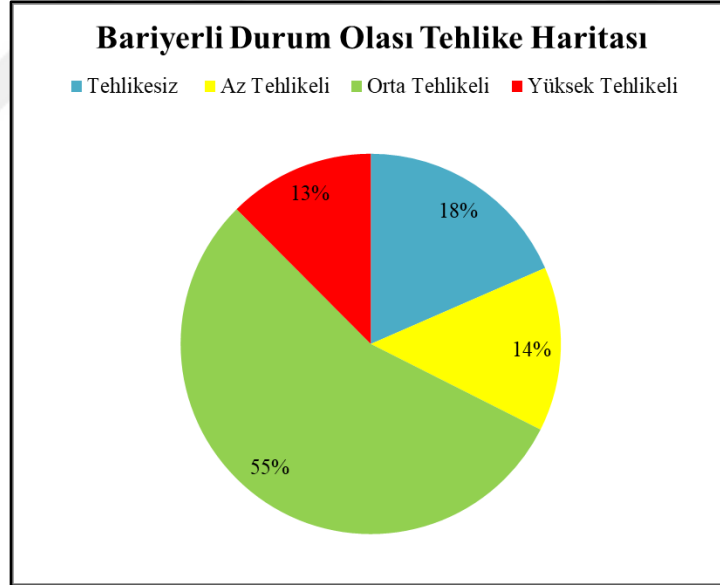


Şekil 3.75. Bariyer uygulamasından sonra üretilen olası tehlike haritası (Orto foto görüntülü)

Her iki durum sonucu oluşturulan tehlike haritaları karşılaştırılmış olup, iyileştirme öncesi yüksek tehlikeli bölgeler, bariyer uygulamasından sonra az tehlikeli bölgeye dönüştüğü ve özelliklede olası tehlike haritasında tüm alanın %18'lik bir yüzey alanını kapsayan yüksek tehlikeli alan sınıfının, bariyer uygulaması sonucunda %13'lik bir değere dönüştüğü ve orta, az tehlikeli ve tehlikesiz sınıflara geçiş yaptığı görülmüştür (Şekil 3.76, 3.77).



Şekil 3.76. Olası tehlike haritası sınıflarının kapladığı yüzey alanları dağılım yüzdesi



Şekil 3.77. Bariyerli durum olası tehlike haritası sınıflarının kapladığı yüzey alanları dağılım yüzdesi

Ayrıca oluşturulan kaynak kaya hatları, yuvarlanma yörüngeleri ve tehlike haritaları, 100cm x 75cm boyutlarında yüksek çözünürlükte haritalanmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Gümüşhane il merkezindeki yerleşim alanlarını tehdit eden serbest, askıdaki veya yüksek sarp yamaçlardaki kaya kütleleri incelenip, düşmüş olan blokların yerleri dikkate alınarak, kaya düşme envanter haritası oluşturulmuş ve kaya düşme olasılığı yüksek olan alanlarda RocPro3D programı kullanılarak kaya düşme analizleri yapılmıştır. Tüm veriler ışığında elde edilen sonuçlar değerlendirilip, yerleşim yerlerini ve yol ağlarını tehdit eden kaya düşmelerini önlemek için çelik bariyer uygulaması yapılarak analizler yenilenmiştir. İyileştirme öncesi ve sonrası durumları daha iyi ifade edebilmek için, inceleme alanının iyileştirme öncesi ve sonrası olası tehlike haritaları ArcGIS programında üretilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) İnceleme alanında kaynak kaya alanlarını Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları, Gümüşhane Granitoyidi'ne ait granitler ve Alibaba Formasyonu'na ait andezit kaya kütleleri oluşmaktadır.
- 2) İnceleme alanının sayısal arazi modelinin oluşturulmasında, bitki örtüsü, binalar vb. detayların ve topoğrafik ayrıntıların gözden kaçmaması ve daha sağlıklı yuvarlanma rotalarının belirlenmesi amacıyla yüksek çözünürlüklü ortofoto görüntüleri ve sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Oluşturulan tüm sayısal haritalar Turef TM39-Gauss-Krüger (ITRF 96/GRS 80) projeksiyon sistemine üretilmiştir.
- 3) Ortofoto görüntüleri incelenmesinden elde edilen bulgulardan, inceleme alanı için potansiyel kaya düşmesinin gerçekleşebileceği kaynak kaya alanları, 60° ve daha yüksek eğimli alanlar olarak kabul edilmiştir. Buna göre ortofoto üzerinde 60° ve daha fazla eğime sahip alanlar sınırlandırılmış ve kaynak kaya alanlarını gösterir harita üretilmiştir.
- 4) Arazi çalışmaları sonucunda düşmüş kaya bloklarının yerleri ve geometrileri sahada belirlenmiş ve inceleme alanı için daha önceden üretilmiş olan sayısal arazi modeli ve ortofoto görüntüsü ile karşılaştırılarak, kaya düşme envanter haritası oluşturulmuştur.
- 5) Çalışma alanında olası kaya düşmelerinin üç boyutlu modellenebilmesi için düşmüş blokların envanter haritasında belirlenen alanlar ve sahada yapılan

- 6) gözlemlerle tespit edilen askıdaki bloklar dikkate alınarak, düşecek blokların kaynak alanlarını gösterir 9 adet (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9) hat belirlenmiştir.
- 7) **H1 Kaynak Kaya alanı için;** yuvarlanan kaya bloklarının en fazla 75m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 4.2m olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0kJ-1199kJ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Andezit blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturduğu, düşen blokların alt kotlarda bulunan yerleşim yerleri içerisine kadar yayıldığı ve konutları direkt tehdit ettiği görülmüştür.
- 8) **H2 Kaynak Kaya alanı için;** Hasanbey Mahallesi Kayalık semti üst kotlarından kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H2 hattında yapılan 3D analiz sonucunda, andezit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve blokların en fazla 150m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 2.6m olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0 kJ-801kJ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. H2 hattı için yerleşim yerlerine yaklaşan andezit blokları hali hazırda bulunan yapılar ve tali yol ağları için yüksek tehlike oluşturduğu ve düşen blokların alt kotlarda bulunan yerleşim yerleri içerisine kadar yayıldığı ve konutları direk tehdit ettiği belirlenmiştir.
- 9) **H3 Kaynak Kaya alanı için;** Özcan mahallesi yeni şehir stadyumu kuzeyinde kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H3 hattı üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda, andezit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği kaya bloklarının en fazla 205m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 6.2m olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0kJ-1404kJ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. H3 hattı için yerleşim yerlerine yaklaşan andezit blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturduğu ve düşen blokların alt kotlarda bulunan yerleşim yerleri içerisine kadar yayıldığı, konutları ve tali yolu direkt olarak, şehirlerarası karayolunu ise dolaylı olarak tehdit ettiği belirlenmiştir.
- 10) **H4 Kaynak Kaya alanı için;** Çamlıca mahallesi üst kotlarında kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H4 hattı üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda, andezit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 132m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama

yüksekliğinin en fazla 3.2m olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 0kJ-759kJ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. H4 hattından yuvarlanacak blokların herhangi bir yerleşim alanı veya karayolunu tehdit etmediği görülmüştür.

11) H5 Kaynak Kaya alanı için; Karaer ve İnönü mahalleleri üst kotlarından kaya düşme olasılığı yüksek kaynak kaya alanında seçilen H5 hattı üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda, kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 426m yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.4m olduğu ve enerjisinin 0kJ-3652kJ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. H5 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturmadığı görülmüştür. Ancak gelecek yıllar içerisinde bu alanlarda yapılacak olan imar planı revizyonu çalışmalarında, kaya düşme açısından önemli alanlar olarak değerlendirilmesi gerektiği önerilmektedir.

12) H6 Kaynak Kaya alanı için; Karaer Mahallesi, İnönü Mahallesi ve Yeni Mahalle üst kotlarında kaynak kaya alanı olarak seçilen H6 hattı üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda, kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 627.9m yol alabileceği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.6m ve enerjisinin en fazla 3883kJ olacağı belirlenmiştir. H6 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek risk oluşturmadığı görülmüştür. Fakat gelecek yıllar içerisinde uygulama imar revizyonu çalışmalarında; H6 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığında olması gerekliliği göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

13) H7 Kaynak Kaya alanı için; Yeni Mahalle ve Eskibağlar Mahallesi üst kotlarından düşen kireçtaşı bloklarının bulunduğu kaynak kaya alanında seçilen H7 hattı üzerinde yapılan 3B analiz sonucunda kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 487m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.4m olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 3500kJ kadar çıktığı belirlenmiştir. H7 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı blokları hali hazırda bulunan

yapılar ve karayolu için yüksek tehlike oluşturduğu görülmüştür. H7 hattının etki alanı etrafında kaya düşme tehlikesine karşı iyileştirme yöntemlerinin tercih edilmesi ve H7 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığına sahip olması gerekliliği göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

14) H8 Hattı için; Eskibağlar Mahallesi ve Gümüşhane Üniversitesi üst kotlarından düşen kireçtaşı bloklarının bulunduğu kaynak kaya alanında seçilen H8 hattı üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda kireçtaşı bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 201m civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.5m olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin en fazla 3183kJ olduğu belirlenmiştir. H8 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan kireçtaşı blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturmamaktadır. Ancak olası bir kaya düşme tehlikesine karşı önlem almak amacıyla H8 hattın etki alanı etrafında iyileştirme yöntemlerinin tercih edilmesi ve H8 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığında sahip olması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.

15) H9 Hattı için; Eskibağlar Mahallesi Kömürcüoğlu Sokak ve civarı üst kotlarından düşen granit bloklarının bulunduğu kaynak kaya alanında seçilen H9 hattı üzerinde yapılan 3D analiz sonucunda granit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği ve kaya bloklarının en fazla 186.5m civarında bir yol alabileceği, sıçrama yüksekliğinin en fazla 1.5m ve enerjisinin en fazla 3080kJ olacağı belirlenmiştir. H9 hattı boyunca yerleşim yerlerine yaklaşan granit blokları hali hazırda bulunan yapılar için yüksek tehlike oluşturmaktadır. H9 hattı civarındaki yerleşim yerlerini tehdit eden kaya blokları için iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır. H9 hattından düşen blokların tehdit ettiği alanların imar vasfı kazanması ve yapılaşmaya gidilmesi durumunda, kesinlikle kaya düşmesi sorunlu alanlar kapsamında yapılaşmaya gidilecek bir imar plan altlığına sahip olması gerekliliği göz önünde bulundurulmalıdır.

16) İnceleme alanında belirlenen kaynak kaya alanlarında yapılan 3D kaya düşme analizleri sonucunda her bir alan için yerleşim alanı ve yol güzergahlarını tehdit

eden yuvarlanmış veya düşme olasılığı yüksek kaya bloklarını önlemek için çelik bariyer kullanılarak iyileştirme yöntemi uygulanmıştır. Bariyer yeri ve tipi seçiminde kaya düşme analizleri sonucunda yuvarlanan blokların sıçrama yüksekliği ve enerjilerinin en uygun olduğu metrajlar tercih edilerek, topoğrafyada uygulamanın yapılabileceği alanlar belirlenmiştir. İnceleme alanında yayılım gösteren formasyonlarda belirlenen kaynak kaya alanlarında (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9) yapılan kaya düşme analizleri sonucunda yerleşim yeri ve yol ağlarını etkileyen alanlarda düşen blokların izlediği rotalar dikkate alınarak uygun kinetik enerji ve sıçrama yüksekliği parametrelerine göre uygun olan bariyer tipleri ve yerleri belirlenmiştir. Buna göre; H1, H2, H3, H5, H6, H8 ve H9 nolu kaynak kaya alanlarından yuvarlanan kaya bloklarını önlemek ve durdurmak için ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 500 kJ kapasiteli 2. Sınıf bariyer çeşidinin kullanılması ile yeniden yapılan kaya düşme analizlerinde uygulanan bariyer tipinin uygun olduğu belirlenmiştir.

- 17) H7 nolu kaynak kaya alanından yuvarlanan blokların yerleşim alanını tehdit etmemesi ve düşen blokları sönmölemek için yapılan analiz sonucunda ETAG 27(ME) standartlarında 2m yüksekliğinde ve 1000kJ kapasiteli bariyer kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.
- 18) İnceleme alanı çelik bariyer uygulaması öncesi ve sonrası kaya düşme tehlike durumunu göstermek için CBS tabanlı olası tehlike haritaları üretilmiş ve tehlikesiz, az tehlikeli, tehlikeli ve yüksek tehlikeli olacak şekilde yeniden sınıflandırılmıştır.
- 19) Yapılan bu çalışma sonucunda belirlenen kaya düşme kaynak alanları, düşen blokların yayılma zonları ve 3D kaya düşme analizlerinden elde edilen iyileştirme sonuçları dikkate alınarak, CBS tabanlı olarak üretilen kaya düşme tehlike haritasının **“Gümüşhane ili revize ve uygulama imar plan değişikliklerinde”** mutlaka dikkate alınması, ileride doğacak can ve mal kayıplarını en aza indirgeyecek ve önleyecektir.

5. KAYNAKLAR

- Abellán, A., 2009. Rockfall detection from terrestrial LiDAR point clouds, a clustering approach using R. JOSIS, No 8.
- Adrián, J., Riquelme A., Abellán, A., Tomás, R., Jaboyedoff, M., 2014. A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds, Computers & Geosciences, 68, 38–52
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akın, M., vd., 2019. Kaya Tutma Hendek Performansının 3-Boyutlu Kaya Düşme Analizleriyle Değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) Örneği, Jeoloji Mühendisliği Dergisi; 43, 211-232.
- Akın, M., vd., 2018. RocPro3D 3 Boyutlu Kaya Düşme Analizi Örnek Uygulama TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Eğitim Semineri.
- Alptekin, A. ve Yakar M., 2020. Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. Türkiye LİDAR Dergisi, 2(1); 1-04.
- Alemdağ, S., Kaya, A., Gürocak, Z. ve Dağ, S., 2011. Farklı Ayrışma Derecesine Sahip Kaya Kütlelerinin Kazılabilirlik Özellikleri: Gümüşhane Granitoyidi Örneği, Gümüşhane, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35 (2), 135-152.
- Alemdağ, S., Akgun, A., Kaya A. ve Gokceoglu C., 2014. A large and rapid planar failure, causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey). Arabian Journal of Geosciences, 7 (3), 1205–1221.
- Alemdağ, S., Cinoğlu A., Gacener E., 2017. The importance of amount of settlement in determining the bearing capacity of soils, Bulletin of The Mineral Research and Exploration, 154, 169-180.
- Alemdağ, S., Gürocak, Z. ve Özkirişçi Oktay, C., 2015. Bağlarbaşı-Tekke (Gümüşhane) Karayolundaki Kaya Şevlerinin Kinematik ve Limit Denge Yöntemleri İle Değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1, (1-2), 1-10.
- Alemdag, S., Zeybek, H.İ, Kulekci G, 2019. Stability evaluation of the Gümüşhane-Akçakale cave by numerical analysis method, Journal of Mountain Science, 16(9), 2150-2158.
- Aydınçakır, E., 2012. Borçka (Artvin, Türkiye) Yöresi Tersiyer Volkanitlerinin Petrografisi, Jeokimyası ve Petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 200 s.

- Aydıncakır, E., 2014. The Petrogenesis of Early Eocene Non-adakitic 108 Volcanism in NE Turkey, Constraints on the Geodynamic Implications, *Lithos*, 208-209, 361-377.
- Baykal, F., 1952. Kelkit-Şiran Bölgesinde Jeolojik Araştırmalar, MTA Raporu No: 2205, Ankara.
- Bergougnan, H., 1987. Elides géologiques dans l'Est Anatolien, Université P., et M. Curie, Mémoires des sciences da la Terre, Doktora Tezi, Paris, p. 606.
- Bostancı. H.T., Alemdag S., Gurocak Z. ve Gokceoglu 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.
- Boynukalın, S., 1990. Dereli (Giresun) baraj yeri ve göl alanının mühendislik jeolojisi ve çevre kayaçlarının jeomekanik özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 255 s.
- Bulut, F., 1989. Çambaşı (Trabzon-Çaykara) Barajı ve Uzungöl Hidroelektrik Santral Yerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından incelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 183 s.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Graniitik Plütonların Mukayeseli. Petrojeolojik ve Jeokronometrik Etüdü, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul,, (Yayınlanmamış).
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A., 2011. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntem ve Parametrelere İlişkin Genel Bir Değerlendirme. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,1, 2, 151-176.
- Dag, S., 2018. Determining the degree of saturation of rocks as a function of time: A case study from mountainous area of Turkey, Journal of Mountain Science 15(10), 2307-2319.
- Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Köse composite pluton. Gondwana Research, 19, 926-944.
- Gacener, E., 2019. Torul-Kürtün (Gümüşhane) Karayolu Kaya Şev Duraysızlıklarının CBS Tabanlı Olarak Belirlenmesi Ve İki Boyutlu Kaya Düşme Modellemesi Yüksek Lisans Tezi, GÜ, Gümüşhane, 84 s.
- Gurocak, Z., Alemdag, S., Bostancı, H.T. ve Gokceoglu, C., 2017. Discontinuity controlled slope failure zoning for a Granitoid complex: a fuzzy approach. In: Feng, Xia-Ting (Ed.), *Rock Mechanics and Engineering. Surface and Underground Projects 5*. eBook, Broken Sound Parkway NW, Boca Raton, pp. 1–25.

- Gülibrahimoğlu, G., 1985. Trabzon Maçka Güneyi Maden Jeolojisi Raporu. MTA Genel Müdürlüğü, No: 1850, Ankara
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 ölçekli kompilasyonu. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayımlanmamış).
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yöresindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonunun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 272 s.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C., 2009. Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gumushane area, NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys ocean. Journal of Asian Earth Sciences, 34, 586–598.
- Kaya, A., Alemdağ, S., Dağ, S., Gürocak, Z., 2016. Stability assessment of high-steep cut slope debris on a landslide (Gumushane, NE Turkey). Bull. Eng. Geol. Environ. 75 (1), 89-99.
- Keskin, I. 2013. Evaluation of rock falls in an urban area: the case of Boğazici (Erzincan/Turkey) Environ Earth Sci 70, 1619–1628.
- Ketin, İ., 1950. Über die tektonischen Ergebnisse defd Gelände -auf nahme des Gebietes Ergani-Eğil in SO-Anatolien. Rev. Fac. Sc. Univ. d'Ist., B, XV/2, İstanbul.
- Laton, M.J. ve Vöge, M., 2012. Automated mapping of rock discontinuities in 3D lidar and photogrammetry models. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 54, 150–158
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları bakımından incelemesi. KTÜ Yayını No: 87, 103 s.
- RocPro3D, 2014. RocPro3D software. User's Guide, RocPro3D version 5.
- Oktay C. Ö., 2014. Bağlarbaşı-Tekke (Gümüşhane) arasındaki kesilmiş kaya şevlerinin duraylılığının incelenmesi Yüksek Lisans Tezi. GÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 96 s.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region (Kuzeydoğu Türkiye) Ph. D. Thesis,. University • College, London (yayımlanmamış).
- Topal, T., Akin M. K., 2012. Rockfall hazard analysis for an historical Castle in Kastamonu (Turkey), Natural Hazards, 62, 255-274.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A. ve Meyer, H.P., 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex, Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey, International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.

- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasozbek A, Barth, M., Satır, M., Sen, C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gumushane pluton (NE Turkey), Lithos, 116, 92–110.
- Tudes, S., Ceryan, S. ve Bulut, F. 2012, Geoenvironmental evaluation for planning: an example from Gumushane City, close to the North Anatolia Fault Zone, NE Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 71 (4), 679–690.
- Tüdeş, Ş., 2001. Gümüşhane Kenti ve Yakın Çevresinin Yerleşime Uygunluk Açısından Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 203 s.
- Türk Japon Ekibi, 1985. The cooperative Mineral Exploration of Gümüşhane Area, Phase 1, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Raporu No:334, Ankara (yayımlanmamış).
- Sarro, R., Mateos R.M., Moreno G., Herrera G., Reichenbach P., Laín L. ve Paredes C., 2014. The Son Poc rockfall (Mallorca, Spain) on the 6th of March 2013: 3D simulation.
- Sarro, R., Riquelme A., Carlos J., Davalillo G., Mateos R.M., Tomas R., Pastor J.L., Cano M., Herrera G., 2018. Rockfall Simulation Based on UAV Photogrammetry Data Obtained during an Emergency Declaration: Application at a Cultural Heritage Site.
- Seymen, L., 1975. Kelkit vadisi, kesiminde Kuzey Anadolu. Fay Zonu'nun tektonik özelliği, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 140 s.
- Şener, E., 2019. İnsansız Hava Araçları Kullanılarak Olası Kaya Düşmelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı 3D Modellenmesi: Kasımlar Köyü (Isparta-Türkiye) Örneği.
- Yakar, vd., 2015, İHA fotogrametresi ile kaya düşme bölgelerinin 3 boyutlu, sayısal arazi modeli, ortofoto ve vektör haritalarını oluşturulması. 10. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu, Aksaray.
- Wang, Y.ve Tonon V., 2012. Discrete Element Modeling of Rock Fragmentation upon Impact in Rock Fall Analysis. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 54, 150–158
- Ritchie, A.M., 1963. The evaluation of rockfall and its control. Highway Record
- Schweigl, J., Ferretti C. ve Nossing L., 2003. Geotechnical characterization and rockfall simulation of a slope: a practical case study from south Tyrol (Italy), Eng Geol., 67, 281–296.
- Taşlı, K., 1984. İkisu (Gümüşhane) ile Hamsiköy (Trabzon) yörelerinin jeolojisi ve Berdiga Formasyonunun biyostratigrafik denştirilmesi, MMLS tezi, KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 120 s.

- Troisi, C., Berger, F. ve Dorren, L., 2008. Protection de la viabilité alpine, PROVIALP project report.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C ve Binal, A., 2011. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 58, Ankara. Vallejo, L. E., (1994). Fractal analysis of the slake durability test, Canadian Geotechnical Journal, 31, 1003-1008.
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and structure of the Gümüşhane: Granite and the surrounding rocks., N.E. Anatolia, Ph., D. thesis, Univ. of London, 266 s., (Yayınlanmamış)
- URL-1, www.tabb-analiz.afad.gov.tr.
- URL-2, www.gumushane.gen.tr/v2/gumushanede-kaya-dusmesi-p3-aid,4514.html#galeri. 14 Ekim 2015.
- URL-3, www.gumushane.gen.tr/v2/gumushane/gumushanede-dev-kayalar-apartmanin-uzerine-dustu-h22660.html. 3 Ocak 2019.
- URL-4, www.gumushane.gen.tr/v2/gumushane/gumushanede-insaat-alaninda-gocuk-meydana-geldi-h25500.html. 29 Şubat 2020.
- URL-5, www.haber29.net/gumushane/dagdan-kopan-kayalar-eve-zarar-verdi-h18965.html. 11 Mart 2019.
- URL-6, www.gumushane.gen.tr/v2/gumushane/gumushane-kayalar-park-halindeki-aracin-uzerine-dustu-h14747.html. 07 Nisan 2017

ÖZGEÇMİŞ

1987-1998 yılları arasında lk, orta ve lise öğrenimini Gümüşhane' de tamamladı. Üniversite eğitimini 1999-2003 yılları arasında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Lisans öğrenimini tamamladıktan sonra, 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2004 yılından bugüne kadar yurtiçi ve yurt dışında özellikle Doğu Karadeniz Bölgesinde birçok maden arama, maden işletme firmaları ile birlikte imara esas jeolojik ve jeoteknik etütler, kaya düşmesi, heyelan vb. gibi birçok proje ve raporlama çalışmalarının içerisinde çeşitli pozisyonlarda yer aldı. Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji, Jeofizik ve Fizik Mühendisliği bölümlerinde hazırlanan bazı makale ve bildiri çalışmaları içerisinde yer aldı. Arazide jeofizik veri toplama ve jeofizik verilerin sayısal sitemlerde ifadesi ve cbs olarak haritalanması üzerine KTÜ, GÜ, Jeoloji Müh. Odası (Trabzon) ve Jeofizik Müh. odası (Trabzon-Gümüşhane) ilgili etkinliklerinde veri toplama ve 2 ve 3 boyutlu yazılım eğitimcisi olarak sertifika programları içinde yer aldı. Halen Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü Doğu Karadeniz Bölgesi Gümüşhane Ve Çevresi Metalik Maden Aramaları Projesi Gümüşhane Etüt Kamp şefliğinde jeokimyasal örnekleme, sondaj çalışmaları, haritalama, istatistik, cbs ve 3d modelleme üzerine sözleşmeli mühendis olarak çalışmaktadır. Lisanslı olarak uzun yıllar alp disiplini kayak sporu ve bireysel kayak antrenörlüğü yapan Rasim Taylan KARA, evli ve bir kız çocuk babasıdır ve ingilizce bilmektedir.