

Yusufeli Barajı Relokasyon Yolları Kapsamında Kaya Düşme Probleminin
İncelenmesi

Ufuk Doğru

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Ocak 2023



Investigation of Rockfall Problem within the Scope of
Yusufeli Dam Relocation Roads

Ufuk Doğru

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Geological Engineering

January 2023

Yusufeli Barajı Relokasyon Yolları Kapsamında Kaya Düşme Probleminin
İncelenmesi

Ufuk DOĞRU

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

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Didem Yasin

İkinci Danışman: Prof. Dr. Ali Kayabaşı

Ocak 2023

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Didem Yasin danışmanlığında hazırlamış olduğum “Yusufeli Barajı Relokasyon Yolları Kapsamında Kaya Düşme Probleminin İncelenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 30/12/2022

Ufuk DOĞRU

İmza

ÖZET

Kaya düşmesi, yerçekimi etkisi altında gevşek kaya malzemesinin, yamaç aşağı hareketi olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizin jeolojik – jeomorfolojik yapısı, sahip olduğu iklim özellikleri nedeni ile birçok kesiminde kaya düşmeleri meydana gelmektedir. Kaya düşmeleri, yaşandığı bölgelerde yarattığı olumsuz etkilerden dolayı doğal afetler içerisinde yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı; çalışma alanı olarak seçilen Artvin ili Yusufeli ilçesinde gerçekleşen veya gerçekleşme potansiyeli olan kaya düşme probleminin tanımlanması, kaya düşme probleminin 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak analiz edilmesi ve sonuçların karşılaştırılmasıdır.

Bölgede Jura ile Kuvaterner yaşları arasında değişen birimler yer almaktadır. Çalışma alanında Jura yaşlı volkanik kayalar bulunmaktadır. Bu volkanik kayalarda yer alan çatlaklardan, donma-çözünme etkisinden ve arazinin apik olması gibi sebeplerden dolayı kaya düşmeleri gerçekleşebilmektedir.

Yapılan arazi çalışmalarında, düşen veya asılı kalan kayaların jeolojik özellikleri, eklem tabaka durumları ile tabaka boyutları incelenmiştir. RocFall v7.0, v8.0 programlarında 2 boyutlu analizler ve RocFall 3 programında 3 boyutlu analizler yapılmış, düşen blokların hızları, kinetik enerjileri, gidebilecekleri son noktalar ile zıplama yükseklikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu incelemeler sonucunda 2 boyutlu ve 3 boyutlu analizlerin avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Düşen veya düşme potansiyeline sahip kaya bloklarının yola gelmesini önlemek amaçlı önlemler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya Düşmesi, Yusufeli Barajı, 2 boyutlu kaya düşme analizi, 3 boyutlu kaya düşme analizi

SUMMARY

Rockfall is defined as the downslope movement of loose (free) rock material under the influence of gravity. Due to the geological – geomorphological structure and climatic characteristics of our country, rockfalls occur in many parts of the country. Rockfalls are among natural disasters owing to the negative effects they create in the regions where they occur.

The aim of this study is to define the rockfall problem that has occurred or has the potential to occur in the Yusufeli district of Artvin province, which is selected as the study area; to analyze the rockfall problem in 2D and 3D and to compare the results.

There are units in the region with ages ranging from Jurassic to Quaternary. In the study area, rock falls may occur due to reasons such as fractures in Jurassic aged volcanic rocks, freezing and thawing effect and the apic morphology of the terrain.

The geological features of falling or hanging rocks, joint - bedding conditions and dimensions of the layer were examined in the field studies. RocFall v7.0, v8.0 programs were used for 2D analyses and RocFall 3 programs were used for 3D analyses. The velocities, kinetic energies, end points and jump heights of the falling blocks were determined and the results were compared.

As a result of these examinations, the advantages and disadvantages of 2D and 3D analyzes were revealed. Measures have been proposed to prevent falling or potentially falling rock blocks from hitting the road.

Keywords: Rockfall, Yusufeli Dam, 2-D rockfall analysis, 3-D rockfall analysis

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	10
2.1. Yusufeli İlçesi Kaya Düşmesi	11
3. ÇALIŞMA ALANI VE GENEL ÖZELLİKLERİ	13
3.1. Çalışma Sahası ve Coğrafik Konumu	13
3.1.1. İklim Bilgileri	15
3.1.2. Yüzey Suları	16
3.1.3. Akarsu ve Göller	16
4. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ	17
4.1. Bölge Genel Jeolojisi ve Stratigrafisi	17
4.1.1. Yusufeli Formasyonu (Kyy).....	17
4.1.2. Kılıçkaya Volkanit Üyesi (Kyyk).....	20
4.1.3. Öğdem Formasyonu (JKö)	20
4.1.4. İnanlı Kireçtaşı Üyesi (JKöi).....	20
4.1.5. Sebzeciler Granitoyidi (Js)	21
4.1.6. Demirkent Magmatik Karmaşığı (PzTRd)	21
4.1.7. Güncel Çökeller.....	22
Alüvyon (Qal)	22
Yamaç Molozu (Qym)	22
4.1.8. Çalışma Alanı ve Çevresinin Yapısal Jeolojisi	22
4.1.9. Çalışma Alanının Depremselliği	23
5. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE YÖNTEMLER	28
5.1. Laboratuvar Çalışmaları	30
5.2. Devamlılık.....	31
5.3. Pürüzlülük ve Dalgalılık.....	32

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.4. Bozunma Derecesi.....	34
5.5. Blok Boyutu	35
6. KİNEMATİK ANALİZLER.....	37
7. KAYA DÜŞME ANALİZLERİ	41
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
8.1. 2B Kaya Düşme Analizleri.....	45
8.1.1. Sol Yamaç Kesiminde Yapılan 2B Kaya Düşme Simülasyonu	46
8.1.2. Sağ Yamaç Kesiminde Yapılan 2B Kaya Düşme Simülasyonu.....	48
8.2. 3B Kaya Düşme Analizleri.....	50
8.2.1. Sol Yamaç Kesiminde Yapılan 3B Kaya Düşme Simülasyonu	51
8.2.2. Sağ Yamaç Kesiminde Yapılan 3B Kaya Düşme Simülasyonu.....	53
8.3. 2B ve 3B Analizlerin Yorumlanması	56
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

1.1. Türkiye geneli, tüm afetlerin dağılımı (1950-2008) (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Afet Bölgeleri Haritası T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara, 2014)	2
1.2. İllere göre, kaya düşmesi, olay sayısının dağılımı (1950-2019) (AFAD, Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri, Ankara, 2020) Ölçeksizdir.	3
1.3. İllere göre, kaya düşmeleri, afetzede sayısının dağılımı (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Olay ve Zararlarının İl ve İlçelere Göre Dağılımı (Afet Türlerine Göre) Haritası, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2008.) Ölçeksizdir.	3
1.4. Artvin ili genelinde kaya düşme olayına ait grafik (AFAD, Artvin İrap İl Afet Risk Azaltma Planı, Artvin, 2021.).....	4
2.1. Yusufeli ilçesinde yamaç üzerinde ve askıda kaldığı tespit edilen serbest kaya blokları (X: 465 311, Y: 4 520 183 (TM42-ITRF96)).....	12
2.2. Yamaç üzerine düşen serbest kaya blokları (X: 465 311, Y: 4 520 183 (TM42-ITRF96)).	12
3.1. Çalışma alanına ait üç boyutlu yüzey görüntüsü (Ölçeksiz)	13
3.2. Yer Bulduru Haritası.	14
4.1. Yusufeli ve çevresi genel jeoloji haritası (MTA, TORTUM-G47 Paftası Jeoloji Haritası, 1 / 100 000, Ankara, Konak ve Hakyemez, 2009'dan değiştirilmiştir.).....	18
4.2. İnceleme alanı ve çevresi genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.....	19
4.3. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)	24
4.4. İnceleme alanı ve çevresi depremselliği (AFAD, 2018)	25
4.5. İnceleme alanı ve çevresinde 1972-2022 yılları arasında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından kayıt altına alınmış depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Tarihçesi).....	27
5.1. Çalışma alanına ait genel görünüm	28
5.2. Çalışma alanına ait 2B yükseklik haritası (Civil 3D-Ölçeksiz).....	29
5.3. Çalışma alanına ait 2B eğim haritası (Civil 3D-Ölçeksiz)	29
5.4. Çalışma alanı süreksizlik devamlılık histogram dağılımı	32
5.5. Çalışma alanı pürüzlülük/dalgallılık (JRC) histogram dağılımı.....	33
5.6. Çalışma alanı süreksizlik bozunma histogram dağılımı.....	34
5.7. Çalışma sahasında tespit edilen blok boyutlarına ait histogram.....	36
5.8. Çalışma sahasında düşmüş bloklardan bir görünüm	36
6.1. Kaya yüzleklerde gelişen duraysızlık türleri ve bu yenilmelerin stereonette görüntüleri (Hoek ve Bray, 1977).....	37
6.2. Çalışma alanı kontur diyagramı ve egemen eklem takımları (Dips v8.0).....	38
6.3. Çalışma alanı gül diyagramı (Dips v8.0).....	39
6.4. Çalışma alanı sol yamaç kesimi kinematik analizi (Dips v8.0).....	39
6.5. Çalışma alanı sağ yamaç kesimi kinematik analizi (Dips v8.0).....	40
7.1. Normal Geri Sıçrama Katsayısı Görseli (Wyllie,2015)	42
7.2. Tanjant Geri Sıçrama Katsayısı Görseli (Wyllie,2015)	42
8.1. Çalışma sahası ve kesitlerin yer bulduru görseli (Google Earth görüntüsü)	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

8.2.a) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu Analiz Profili görüntüsü b) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “End Location” histogramı (RocFall v8.0)	46
8.3.a) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” histogramı b) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” histogramı c) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” histogramı (RocFall v8.0)	47
8.4. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu Analiz Profili görüntüsü (RocFall v8.0)	48
8.5.a) Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “End Location” histogramı b) Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” histogramı c) Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” histogramı (RocFall v8.0).....	49
8.6. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” histogramı (RocFall v8.0)	50
8.7. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “EndPoint Distance From” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3)	51
8.8. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).....	52
8.9. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).....	52
8.10. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).....	53
8.11. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “EndPoint Distance From” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3)	54
8.12. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).....	54
8.13. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).....	55
8.14. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).....	55
8.15. Blok Temizliği (Maccaferri 2012)	58
8.16. Kaya kütlelerinin güçlendirilmesi için kaya bulonu uygulaması.....	59
8.17. Kaya bulonu uygulamasının şematik gösterimi (Andrew vd. 2011).....	59
8.18. Tel/Çelik Kafes uygulamasına ait görsel (Maccaferri, 2012).	60
8.19. Hendek yapısının uygulamasının şematik gösterimi (Turner ve Schuster, 2012).....	60
8.20. Hendek yapısının sahada görünümü (Akın M., vd., 2019).	61
8.21. Aç-Kapa yapısının yapım aşamasına ait görsel.....	61
8.22. Sedde Tipi Bariyer Sistemi (Maccaferri, 2022).	62
8.23. Kaya Bariyer Uygulamasına ait örnek bir görsel (Maccaferri, 2022).....	62
8.24. Kaya Bariyer Uygulamasına ait örnek bir görsel (Sümela Manastırı, Maccaferri, 2022).....	63
8.25. Adana-Pozantı yolunda kaya düşmesi problemini bertaraf etmek için uygulanan aç-kapa/koruma yapısına ait görsel (Akın, 2021).....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

1.1. Afettede ve olay sayısına göre, kaya düşmelerinden en çok etkilenen 20 il (Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Ankara, 2008).....	5
1.2. Afettede ve olay sayısına göre, kaya düşmelerinden en çok etkilenen 20 ilçe (Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri).	7
4.1. Çalışma alanı ve çevresinde 4.0 magnitüden büyük depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Tarihçesi).....	26
5.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları (ISRM 2007).	30
5.2. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)	31
5.3. Süreksizlik devamlılığı sınıflandırması (ISRM 2007).	32
5.4. Süreksizlik profili (ISRM 2007)	33
5.5. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleri ve tanımlanması (ISRM 2007).....	35
6.1. Kinematik Analiz Sonuçları.....	40
7.1. Literatürde önerilen geri verme katsayıları (Rocscience Coefficient of Restitution Table, RocScience).....	43
7.2. Çalışma alanı girdi parametreleri özet çizelgesi.....	44
8.1. 2B ve 3B Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılmasına Ait Çizelge	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
g, g_0	yerçekimi ivmesine ait vektörün büyüklüğü
F	Kuvvet vektörü
F	Kuvvet vektörünün büyüklüğü
m	kütle
$\Delta x(t)$	Belirli bir zaman aralığında nesnenin tek boyuttaki konumundaki değişimi ifade eden yer değiştirme
$\Delta r(t)$	Belirli bir zaman aralığında nesnenin birden fazla boyuttaki konumunda gerçekleşen değişimi ifade eden yer değiştirme vektörü
$v(t)$	Birden fazla boyuttaki harekete ait ortalama hız vektörü
RE	Enerji geri sıçrama katsayısı
R_{Kin}	Kinetik geri sıçrama katsayısı
R_n	Normal kinematik geri sıçrama katsayısı
R_t	Teğet kinematik geri sıçrama katsayısı
R_v	Kinematik geri sıçrama katsayısı
Φ	İçsel Sürtünme Açısı
%	Yüzdellik
$^{\circ}C$	Sıcaklık
<	Küçüktür
>	Büyüktür

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

Kn

Kilonewton

qu

Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonucu

Kısaltmalar

Açıklama

2B

2 Boyut

3B

3 Boyut

AFAD

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

CİVİL

3D AutoDesk Civil 3 Boyut

CBS

Coğrafi Bilgi Sistemi

DD

Deprem Yer Hareketi Düzeyi

DSİ

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

GB

GüneyBatı

GD

GüneyDoğu

İRAP

İl Risk Azaltma Planı

ISRM

International Society of Rock Mechanics

ITRF

Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi

JCS

Süreksizlik yüzeyinin dayanımı

JKö

Öğdem Formasyonu

JKöi

Öğdem Formasyonu İnanlı Kireçtaşı Üyesi

JRC

Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülük katsayısı

Js

Sebzeciler Granitoyidi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
KD	KuzeyDoğu
KB	KuzeyBatı
Km	Kilometre
Kyy	Yusufeli Formasyonu
Kyyk	Yusufeli Formasyonu Kılıçkaya Volkanit Üyesi
m ³	Metre Küp
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
mm	Milimetre
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PGA	En Büyük Yer İvmesi
PzT _{Rd}	Demirkent Magmatik Karmaşığı
sn	Saniye
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
Qal	Kuvaterner yaşlı alüvyon
Qym	Yamaç Molozu
WGS	Küresel Konumlama Sistemi tarafından kullanılan referans koordinat sistemi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Doğal afet en geniş anlamı ile insan ve diğer canlıların hayatına, mallarına zarar veren bir olaydır. Doğal afetin en büyük özelliklerinden birisi çok kısa zamanda meydana gelmesi ve başladıktan sonra engellenememesidir. Ülkemizin jeomorfolojik yapısı ve sahip olduğu jeolojik özellikler sebebi ile jeolojik kökenli doğal afetler ile sık sık karşılaşılmaktadır. Jeolojik kökenli doğal afetlerin içerisinde; deprem, heyelan, yanardağ patlamaları, tsunami ve kaya düşmeleri gibi afetler yer almaktadır. Deprem, heyelan ve kaya düşmeleri ülkemiz sınırları içerisinde en kritik doğal afetlerdir. Ülkemizde yerleşim alanlarının % 43,75' inde en az 1 afet olayı yaşanmış ya da yaşanmaktadır (Gökçe ve Özden, 2008).

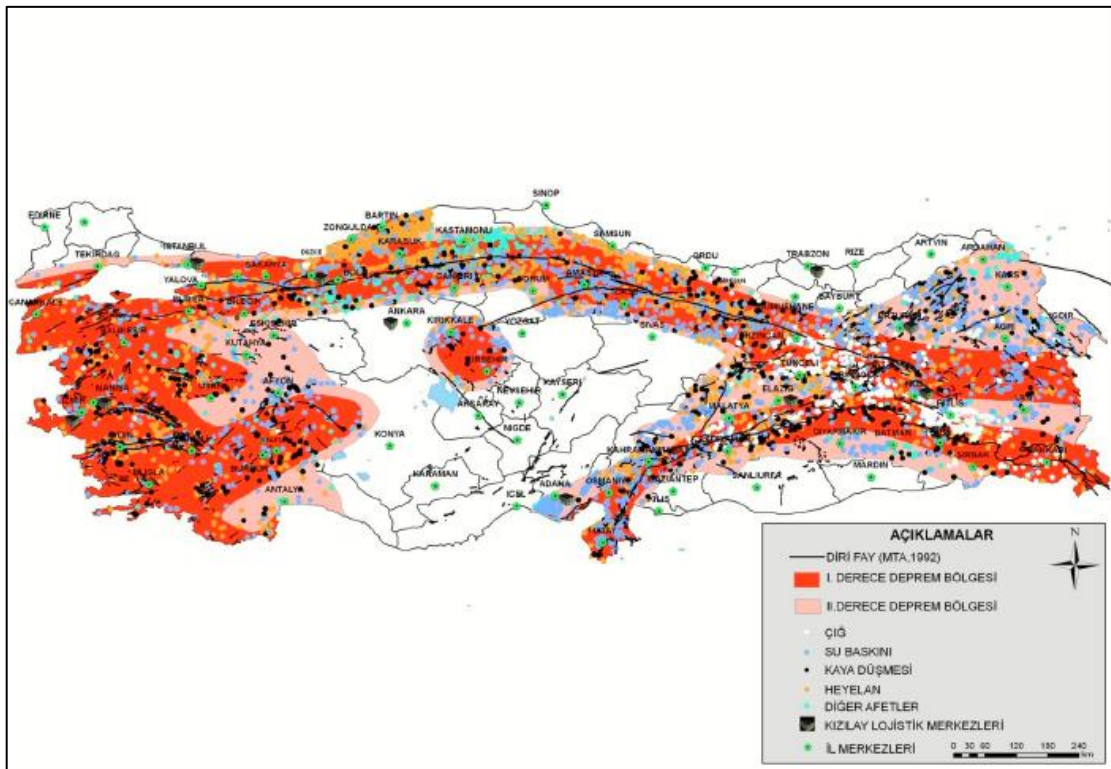
Kaya düşmeleri, dik topoğrafyaya sahip alanların yüksek kotlarında yüzeylenen eklemlili kaya ortamlarında, süreksizliklerin sınırlandırdığı kaya bloklarının serbest yüzeye doğru küçük hareketlerde duraylılığını yitirerek, kaynak bölgeden eğim aşağı yönde oldukça hızlı hareket ettiği bir tür yamaç duraysızlığıdır (Varnes, 1978; Hutckinson, 1988; Cruden ve Varnes, 1996). Kaya düşme tehlikesi genel olarak 3 faktöre bağlı tutulmuştur (Crosta ve Agliardi 2003; Jaboyedoff vd., 2005; Volkwein vd., 2011). Bunlar:

- 1) Kaya düşme şiddeti
- 2) Düşen blokların maksimum yayılması ve yörüngeleri
- 3) Düşen kaya blokların ayrılma / parçalanma olasılığıdır.

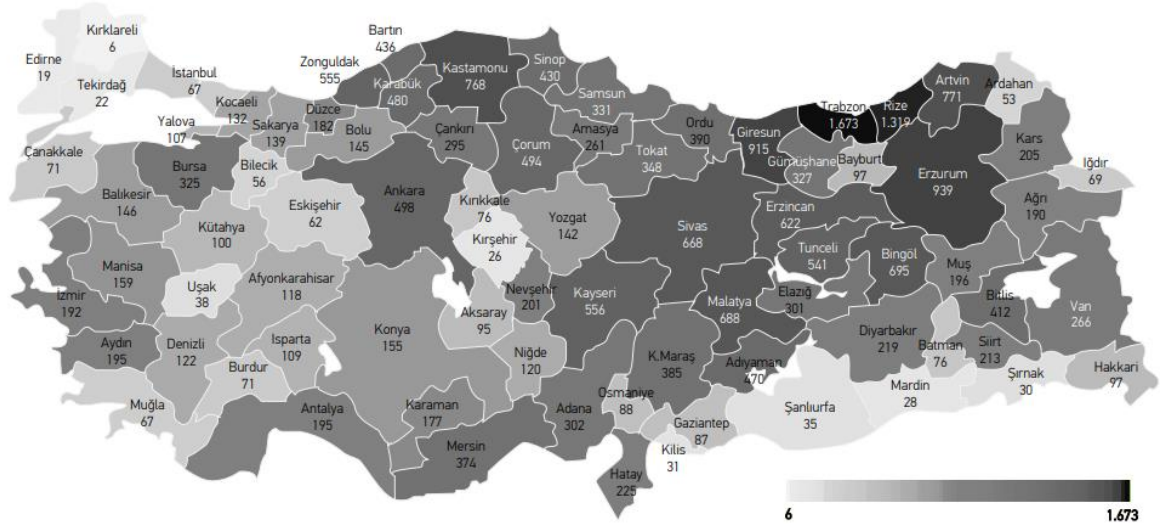
Doğal yamaçlarda veya mühendislik şevlerinde izlenen kaya düşmeleri; münferit blokların herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın süreksizliklerin ve yerçekiminin etkisi altında yamaçtan aşağı ani ve hızlı hareketidir. Söz konusu kaya düşmeleri ise dayanımlı birimlerin, altında yer alan zayıf seviyelerin ayrışması sonucu blokların düşmesi, patlatma ve inşaat sarsıntılarının etkisi, eklemlili kaya birimlerinde yer alan suyun donma çözülme etkisi ile blokları önü açık olan yamaca doğru itmesi ve askıda kalan blokların düşmesi şeklinde meydana gelmektedir. Kaya düşmelerinde yamacın eğim açısına bağlı olarak düşen kaya bloklarda üç ana hareket gözlenebilir. Bunlar; yuvarlanma, zıplama ve serbest düşme hareketleridir.

Düşen kaya bloklarının, yerleşim birimlerine, karayollarına doğru artan bir hızla yuvarlanmaları, zıplamaları veya serbest düşmesi beklenmedik bir anda büyük zararlara sebep olur. Kaya düşmeleri, Karadeniz ile Doğu Anadolu bölgelerinde diğer bölgelere göre daha fazla karşılaşılan doğal afet türüdür.

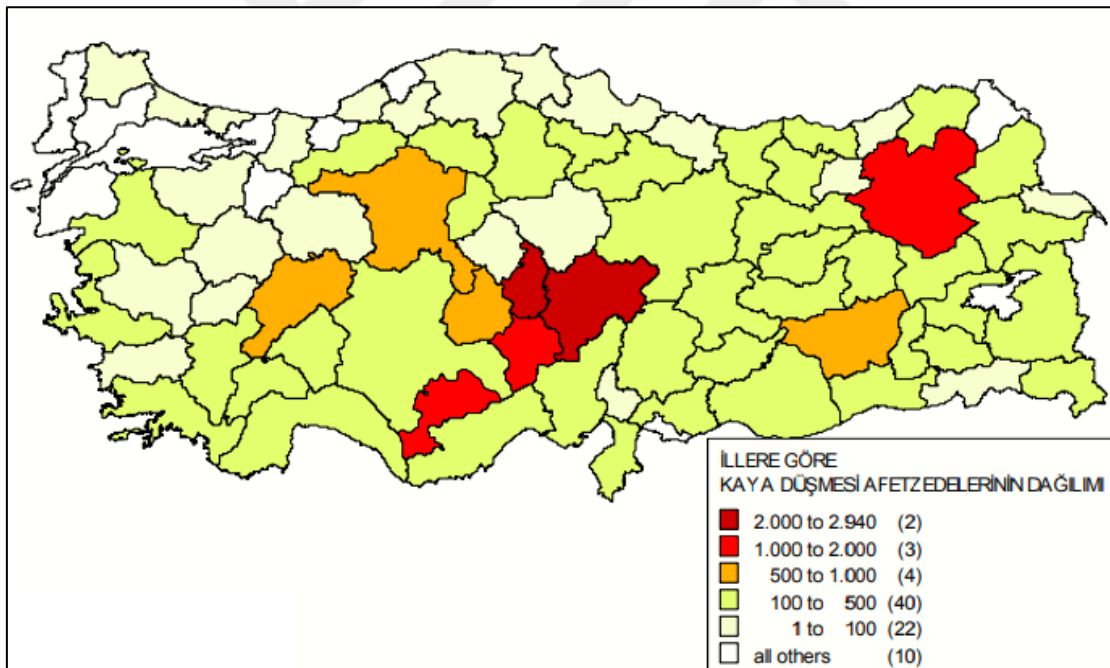
Türkiye geneli, tüm afetlerin dağılımı Şekil 1.1.'de (AFAD, 2014), kaya düşmesi tehlikesi ve riskinin afet olay sayısı Şekil 1.2.'de (AFAD, 2020), afetlerde dağılımı Şekil 1.3.'te (AFAD, 2008) ve Artvin ili ve ilçeleri kaya düşmesi olayı sayısı Şekil 1.4.'de (AFAD, 2021) verilmektedir.



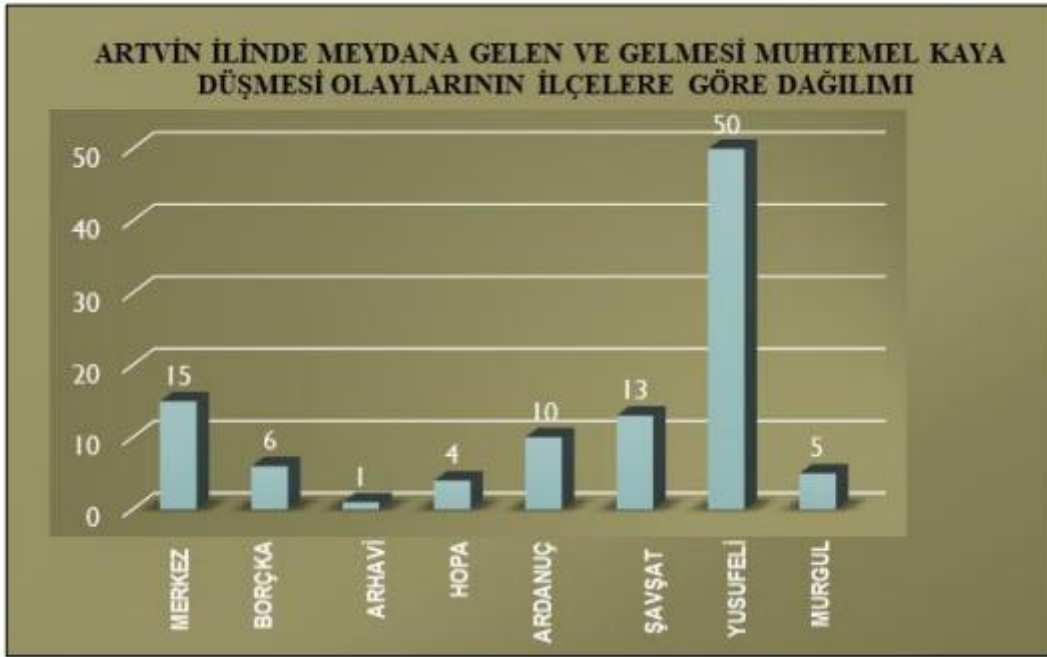
Şekil 1.1. Türkiye geneli, tüm afetlerin dağılımı (1950-2008) (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Afet Bölgeleri Haritası T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara, 2014)



Şekil 1.2. İllere göre, kaya düşmesi, olay sayısının dağılımı (1950-2019) (AFAD, Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri, Ankara, 2020) Ölçeksizdir.



Şekil 1.3. İllere göre, kaya düşmeleri, afetlerde sayısının dağılımı (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Olay ve Zararlarının İl ve İlçelere Göre Dağılımı (Afet Türlerine Göre) Haritası, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2008.) Ölçeksizdir.



Şekil 1.4. Artvin ili genelinde kaya düşme olayına ait grafik (AFAD, Artvin İrap İl Afet Risk Azaltma Planı, Artvin, 2021.)

Kaya düşmesi olayının meydana geldiği il sayısı 79, bu olaylardan etkilenen yerleşim sayısı 1703, toplam olay sayısı 2956 ve afetzede sayısı 19.422'dir (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Olay ve Zararlarının İl ve İlçelere Göre Dağılımı (Afet Türlerine Göre) Haritası, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2008).

Türkiye'nin iklim durumu, yapısal ve jeolojik özellikleri sebebiyle oluşan kaya kütle duraysızlıklarının büyük bir çoğunluğu kaya düşmesi ve/veya kaya kayması şeklinde meydana gelmektedir.

Kaya düşme olayı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, 2956 olayla (1950-2008 yılları arasında meydana gelen) heyelanlardan sonra en fazla görülen 2. afet türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Karşılaştırma yapıldığında Artvin, 111 kaya düşmesi olayı (1950-2008 yılları arasında meydana gelen) ile 7., Erzurum ise 229 kaya düşmesi olayı (1950-2008 yılları arasında meydana gelen) ile 2. sıradadır.

Afetzede açısından ise Yusufeli ilçesi 39 afetzede ile 11. sırada yer almaktadır. (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Olay ve Zararlarının İl ve İlçelere Göre Dağılımı (Afet Türlerine Göre) Haritası, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2008) (Çizelge 1.1., Çizelge 1.2.).

Çizelge 1.1. Afetzede ve olay sayısına göre, kaya düşmelerinden en çok etkilenen 20 il (Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Ankara, 2008).

İL	AFET OLAYI
KAYSERİ	279
ERZURUM	229
NEVŞEHİR	179
ADİYAMAN	135
SİVAS	129
ERZİNCAN	120
ARTVİN	111
KAHRAMANMARAŞ	106
GİRESUN	102
TRABZON	101
MALATYA	98
DİYARBAKIR	93
BİNGÖL	92
KARAMAN	92
TUNCELİ	92
ANKARA	91
BİTLİS	87
AFYON	85
NİĞDE	84
GÜMÜŞHANE	82

Çizelge 1.1 (Devamı) Afetlerde ve olay sayısına göre, kaya düşmelerinden en çok etkilenen 20 il (Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Ankara, 2008).

İL	AFET OLAYI
KAYSERİ	2934
NEVŞEHİR	2607
NİĞDE	1186
ERZURUM	1143
KARAMAN	1037
AFYON	905
AKSARAY	865
ANKARA	680
DİYARBAKIR	530
KARS	464
ADİYAMAN	438
KAHRAMANMARAŞ	437
TUNCELİ	421
HATAY	393
ISPARTA	364
ERZİNCAN	357
BİNGÖL	350
SİİRT	334
ARTVİN	320
BOLU	320

Çizelge 1.2. Afetlerde ve olay sayısına göre, kaya düşmelerinden en çok etkilenen 20 ilçe (Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri).

İL	İLÇE	AFET OLAYI
NEVŞEHİR	ÜRGÜP	82
ERZURUM	OLTU	58
AMASYA	MERKEZ	51
KAHRAMANMARAŞ	MERKEZ	51
NEVŞEHİR	MERKEZ	49
BİNGÖL	MERKEZ	46
ADİYAMAN	MERKEZ	43
GÜMÜŞHANE	MERKEZ	43
KARAMAN	MERKEZ	43
TUNCELİ	MERKEZ	42
ARTVİN	YUSUFELİ	39
ERZİNCAN	KEMAH	39
KARAMAN	ERMENEK	39
KAYSERİ	YEŞİLHİSAR	38
AKSARAY	GÜZELYURT	36
KAYSERİ	PINARBAŞI	35
NİĞDE	MERKEZ	35
AKSARAY	MERKEZ	34
BİTLİS	MUTKI	31
KAYSERİ	TALAS	31

Çizelge 1.2. (Devamı) Afettede ve olay sayısına göre, kaya düşmelerinden en çok etkilenen 20 ilçe (Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri).

İL	İLÇE	AFET OLAYI
NEVŞEHİR	MERKEZ	1082
NİĞDE	MERKEZ	595
KAYSERİ	MELİKGAZİ	548
KARAMAN	MERKEZ	496
NEVŞEHİR	AVANOS	460
NEVŞEHİR	ÜRGÜP	448
AKSARAY	MERKEZ	441
AKSARAY	GÜZELYURT	424
KAYSERİ	TALAS	416
KARAMAN	ERMENEK	394
KAYSERİ	YEŞİLHİSAR	366
NİĞDE	ÇİFTLİK	365
KAYSERİ	TOMARZA	355
KAYSERİ	DEVELİ	319
KAYSERİ	KOCASİNAN	308
NEVŞEHİR	ACIGÖL	296
ANKARA	ALTINDAĞ	290
AMASYA	MERKEZ	288
ERZURUM	OLTU	281
AFYON	BOLVADİN	278

Tez çalışmasının amacı, Artvin ili, Yusufeli ilçesi'nde yer alan Yusufeli Barajı Relokasyon Yolları kapsamında bulunan bir bölgede gerçekleşen / gerçekleşmesi öngörülen kaya düşmesi durumunu 2 boyutlu ve 3 boyutlu programlar aracılığı ile analiz edilmesi ve bu analizlerin karşılaştırılmasıdır. Analizlerde kullanılan girdi parametreleri (normal ve teğet geri sıçrama katsayıları, kütle, hacim) 2B ve 3B analizlerde eşit seçilmiş olup, 2B ve 3B arasındaki farkın net olarak ortaya koyulması hedeflenmiştir.

Kaya düşmesinin en önemli nedenlerinden birisi su ile anakayanın etkileşimidir. Yağmur, donma – çözülme, kar erimesi, yeraltı suyunun dolaşımı su ile etkileşimine örnek olarak gösterilebilir. Bir diğer neden ise jeolojik koşullardır. Çatlaklı kaya, kırıklar ve ayrışma jeolojik koşullara örneklerdir. Bu sebeplerin yanı sıra ağaç köklerinin kaya içerisindeki yerleşimi, deprem gibi nedenlerde kaya düşmesinin sebepleri arasında yer almaktadır. Yusufeli ilçesi sınırları içerisinde bu sebeplerin dışında, halihazırda devam eden Baraj ve Relokasyon yollarına ait çalışmalar dolayısıyla inşaat sarsıntıları, patlatmalar da kaya düşmesine neden olabilmektedir.

Kaya düşme tehlikesinin, yerleşim yerlerine, karayollarına yakın kesimlerde meydana gelmesi çok büyük zararlara yol açabilmektedir. Olayın sürekli hale gelmesi kaya düşme tehlikesini afete dönüştürebilir.

Ülkemizin Kuzeybatısında yer alan Artvin ili Yusufeli ilçesi de kaya düşmesi gözlenen ve tehlike altında kalan bölgelerden birisidir. Kaya düşme tehlikesine karşı alınabilecek önlemler ve bu tehlikeye yönelik uygun iyileştirme teknikleri çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, arazi çalışmaları ve kaya düşme programları kullanılarak kaya düşme potansiyelleri karşılaştırılmış ve tehdidin boyutları, zararları belirlenmeye çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kaya düşmesi ile ilgili olarak ülkemiz ve dünyada çok fazla çalışma yapılmış olup, bunlardan bazıları şu şekildedir:

Varnes (1984); yapmış olduğu çalışmalarda lokasyon ve oluşma olasılıklarını değerlendirmiştir.

Guzzetti vd. (1999); yapmış olduğu çalışmalarda heyelan kütlelerinin tanımı, dağılımı ve bu dağılıma ait haritalar yayınlamışlardır.

Tüdeş (2001); Gümüşhane ilinde yayılım gösteren kayaçların mühendislik özelliklerini incelemiş CBS programında değerlendirmiştir.

Evans'ın (2002); yapmış olduğu çalışmalarda Newfound karayolu bölgesinde yer alan bazalt bloklarının düşme olaylarını incelemiştir ve RocFall programının girdi parametrelerini belirlemiştir.

Aksoy ve Ercanoğlu (2006); Ankarada yer alan andezit bloklarının bulunduğu bölgelerdeki kaya düşme risklerinden ve alanlarından bahsetmektedir.

Topal ve Akın (2012); Kastamonu Kalesinde kaya düşme durumunu RocFall programında değerlendirmişlerdir.

Keskin (2013); Erzincan mevkiisinde meydana gelen kaya düşmelerini RocFall programında modelleyerek, belirli çıktılar ortaya koymuştur.

Kalender (2017); Doktora tezinde kaya bloklarının maksimum menzil puanının sınıflamasını önermiştir.

Kırbaş (2019); Yüksek Lisans tezinde Eskişehir ili Odunpazarı ilçesine bağlı Kızılinler köyü civarında demiryolunu etkileyen kaya düşme sorununu değerlendirmiş ve çözüm önerisi sunmuştur.

Akın M., vd. (2019); Kaya Tutma Hendek Performansının 3-Boyutlu Kaya Düşme Analizleriyle Değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) Örneği makalesinde Akköy ilçesinde düşen kaya bloklarının yerleşim alanlarına ulaşmasını engellemek amaçlı yapılan kaya hendekleri, 3 boyutlu kaya düşme programları ile analizlenmiş ve değerlendirilmiştir.

Akın M., vd. (2021); 3 Boyutlu Düşme Analizleri İçin Sayısal Yüzey Modellerinin Oluşturulmasında Nokta Bulutlarının Kullanımı makalesinde 3 Boyutlu analizler ile 2 boyutlu analizler karşılaştırılmış, 3 Boyutlu analizler yapılırken veri tabanının önemi vurgulanmıştır.

Bozdağ (2022); Doğal ve tarihi bir alanda kaya düşmesi tehlikesi değerlendirmesi; Eski Kilistra yerleşimi örneği Konya, Türkiye: Tarihi yapıların bulunduğu bölgede askıda kalmış kayaların düşme potansiyeli, derecelendirilmiştir. Ayrıca çalışma, risk yönetimi stratejilerinin tanımlanması için ön veriler sunmaktadır.

2.1. Yusufeli İlçesi Kaya Düşmesi

Yusufeli ilçesinde bugüne kadar çok sayıda kaya düşmesi türünde kütle hareketi meydana gelmiştir. İlçe ve yakın kesimlerde temel zeminin volkanik kayalar, kireçtaşları ile sedimanter kayalar ve toprak örtü tabakası (yer yer kalınlığı 3 metreye varan) bulunduğu belirtilmiştir.

Yusufeli ilçesinde kopan kaya bloklarının zaman zaman düşeceği ve yaşanacak blok ve kaya düşmelerinin trafik güvenliğine olumsuz etki edeceği tespit edilmiştir.

Ana kayadan kopmuş ve yamaçta asılı halde duran blokların boyutları 0.1 ile 1 m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir. (Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.).



Şekil 2.1. Yusufeli ilçesinde yamaç üzerinde ve askıda kaldığı tespit edilen serbest kaya blokları (X: 465 311, Y: 4 520 183 (TM42-ITRF96)).

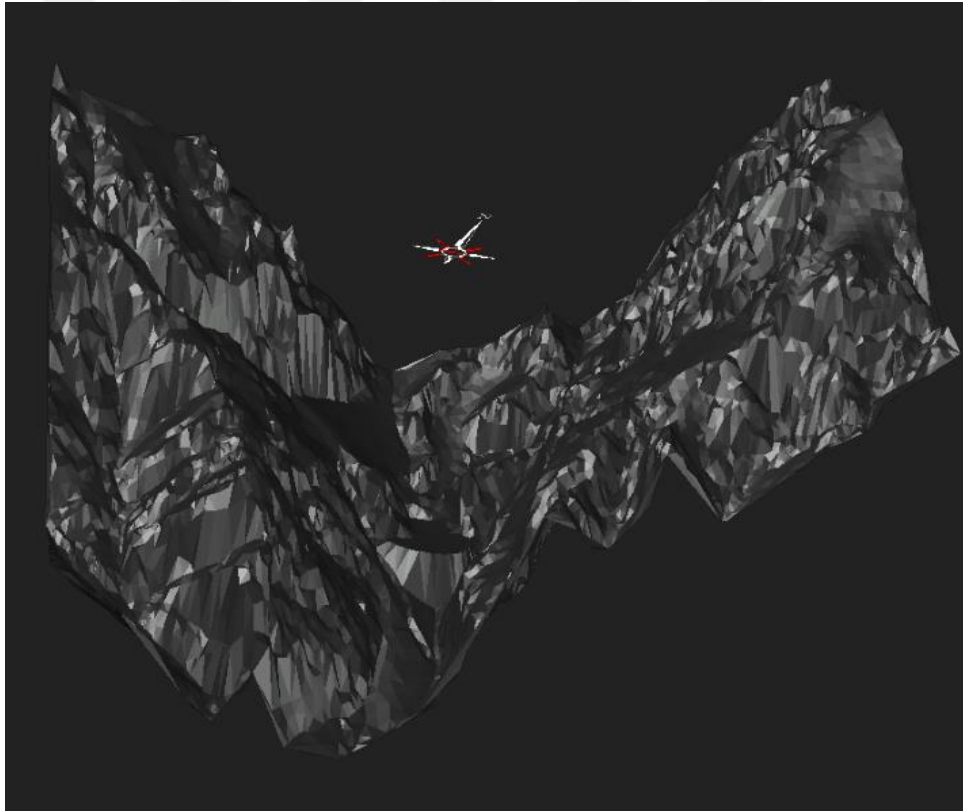


Şekil 2.2. Yamaç üzerine düşen serbest kaya blokları (X: 465 311, Y: 4 520 183 (TM42-ITRF96)).

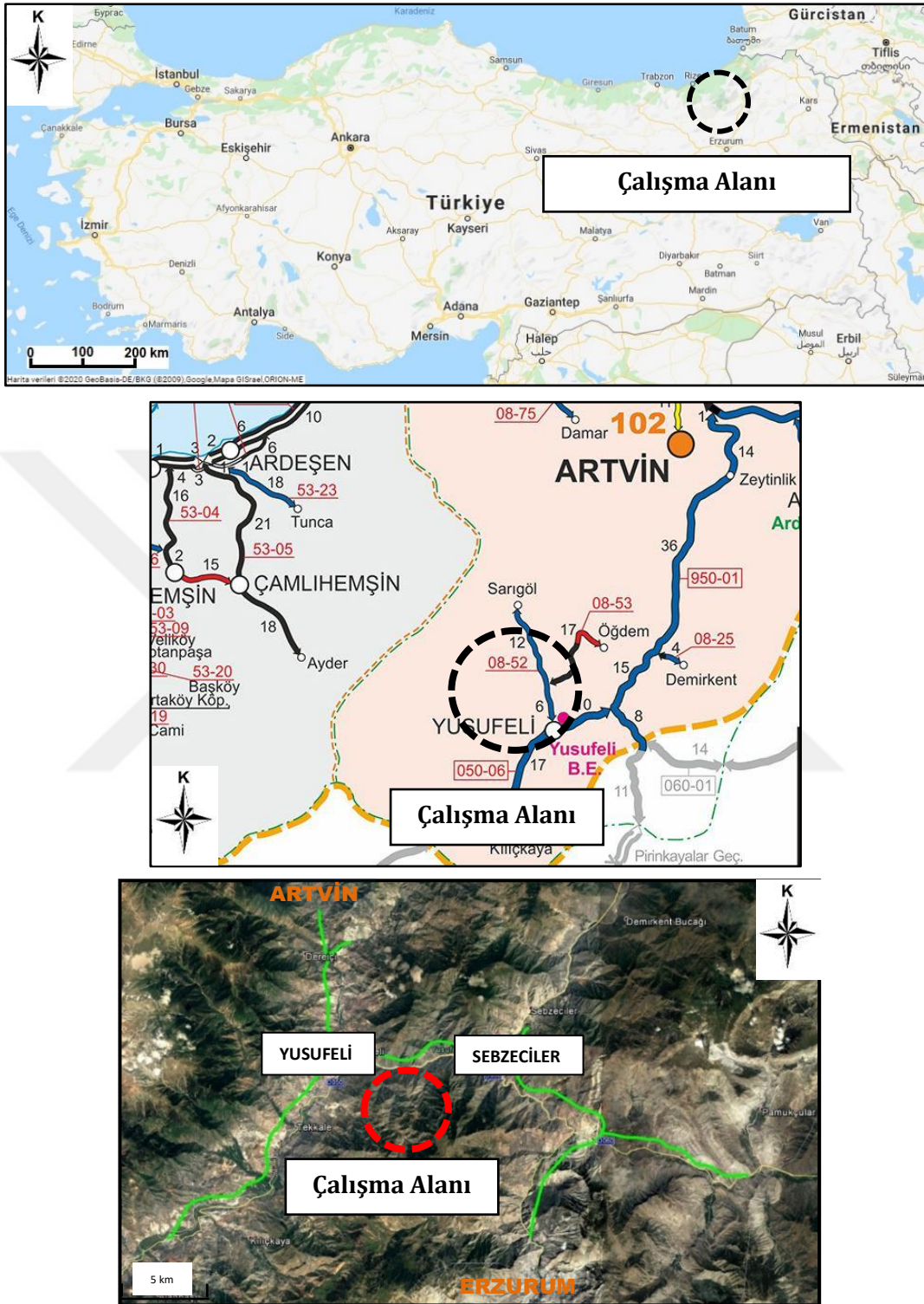
3. ÇALIŞMA ALANI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1. Çalışma Alanı ve Coğrafi Konumu

Çalışma alanı Artvin ili, Yusufeli ilçesi yerel yönetim sınırları içerisinde kalmaktadır (Şekil 3.2.). Bu başlık altında seçilen çalışma alanının konum bilgileri, genel ve mühendislik jeolojisi ve arazi kapsamında elde edilen bilgiler yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında çalışma alanının 3B modeli Civil 3D programında hazırlanmıştır. Söz konusu model Şekil 3.1.'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma alanına ait üç boyutlu yüzey görüntüsü (Ölçeksiz)



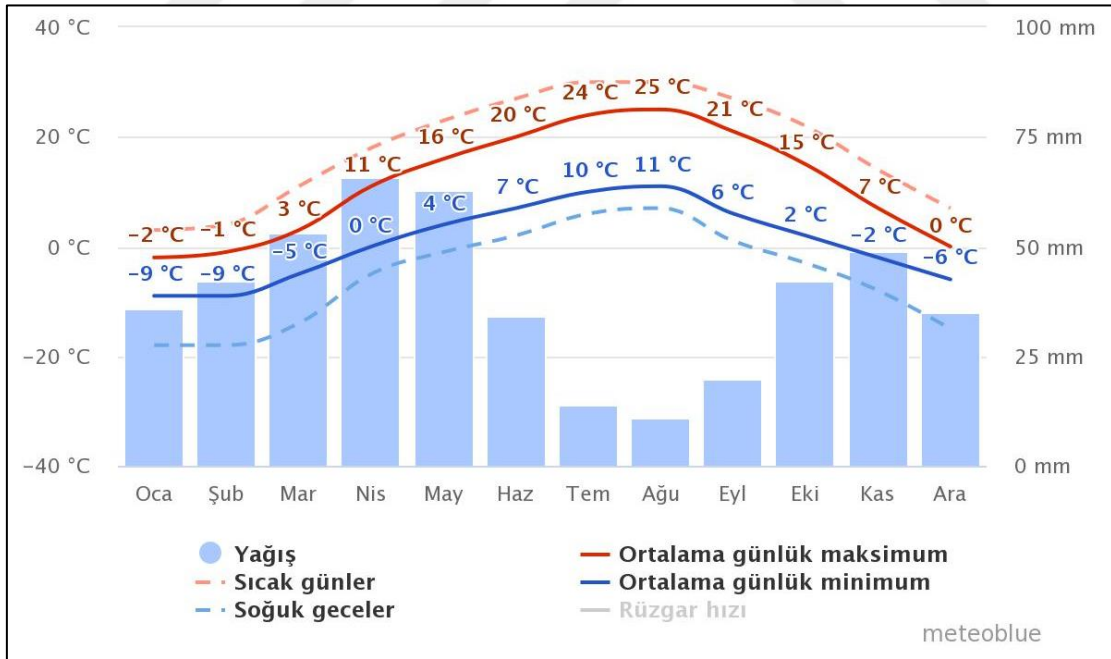
Şekil 3.2. Yer Bulduru Haritası.

3.1.1. İklim Bilgileri

Artvin ili, Doğu Karadeniz Bölgesinin iklim yönünden en çok değişkenlik gösteren bölgesidir. Karadeniz iklimi görülmektedir. Cankurtaran dağlarından Artvin Merkez ve Borçka'ya kadar olan kesimde Karadeniz iklimi hakimdir. Yusufeli ve Ardanuç'ta Akdeniz iklimi ile Karasal iklimin karışımı olan bir iklim (yazları sıcak-kurak, kışları ise ılık ve daha az yağışlı) gözlenmektedir.

İl sınırlarında en sıcak ay olan Ağustos ayında ise ortalama sıcaklık 25.0 °C'dir. Kaydedilen en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri - 16.1 °C ve 43.0 °C'dir. Yıllık ortalama nem miktarı ise % 62 olarak ölçülmüştür (MGM-2019).

Bu bilgilere ek olarak; Artvin iline ait yıllık ortalama sıcaklık ve yağış değerlerini gösteren grafik Şekil – 3.3.'te aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Artvin ili Yusufeli ilçesi ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (Meteoblue, 2022)

3.1.2. Yüzey Suları

İnceleme alanının güneyinde yer alan Çoruh Nehri ile doğusunda bulunan Barhal Çayı bölgenin yüzey sularını taşıyan en önemli akarsularıdır. Mevsimsel oluşan ve yağış potansiyeline paralel su taşıyan dereler bölgenin yüzey suyu drenajını sağlar.

Çalışma alanının temel zeminini oluşturan volkano – sedimanter istif ise pratik olarak geçirimsiz özelliklere sahip birimlerden oluşması nedeni ile yüzey sularını alt seviyelere iletme özellikleri bulunmamaktadır. Ancak kırık ve çatlak sistemlerinin özelliklerine bağlı olarak yüzey sularının sızmalarına izin verirler. Topoğrafik koşullar ile temel zeminlerini oluşturan kaya birimlerin fiziksel özellikleri dikkate alındığında, yağışlar ve karların erimesi sonucunda oluşan yüzey sularının önemli bir kısmı akışa geçmektedir. Akışa geçen bu sular inceleme alanının dik yamaçlarından Çoruh Nehrine ve Sakut deresine doğru akarı bulunan dere ve / veya derecikler vasıtasıyla drene olurlar.

3.1.3. Akarsu ve Göller

Artvin ili içerisinde 30'a yakın akarsu bulunmaktadır. Karadeniz'e dökülenler hariç, diğer akarsular Çoruh Nehri'nin kollarıdır. Çoruh Nehri, Artvin ilinin en büyük akarsuyudur. Toplam uzunluğu 376 km olan Çoruh Nehrinin 354 kilometresi Türkiye sınırları içinde kalmaktadır. Artvin ili içindeki uzunluğu ise 150 km'dir.

Çoruh Nehrinin maksimum debisi Deriner Barajı (Artvin merkezine yaklaşık 2 km uzaklıkta yer almaktadır.) yakınında yaklaşık $1264 \text{ m}^3/\text{sn}$, minimum debisi ise yaklaşık $31.4 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. İl sınırları içerisinde krater vb. oluşumlu göller de mevcuttur. Borçka ve Muratlı olmak üzere iki adet te baraj gölü bulunmaktadır.

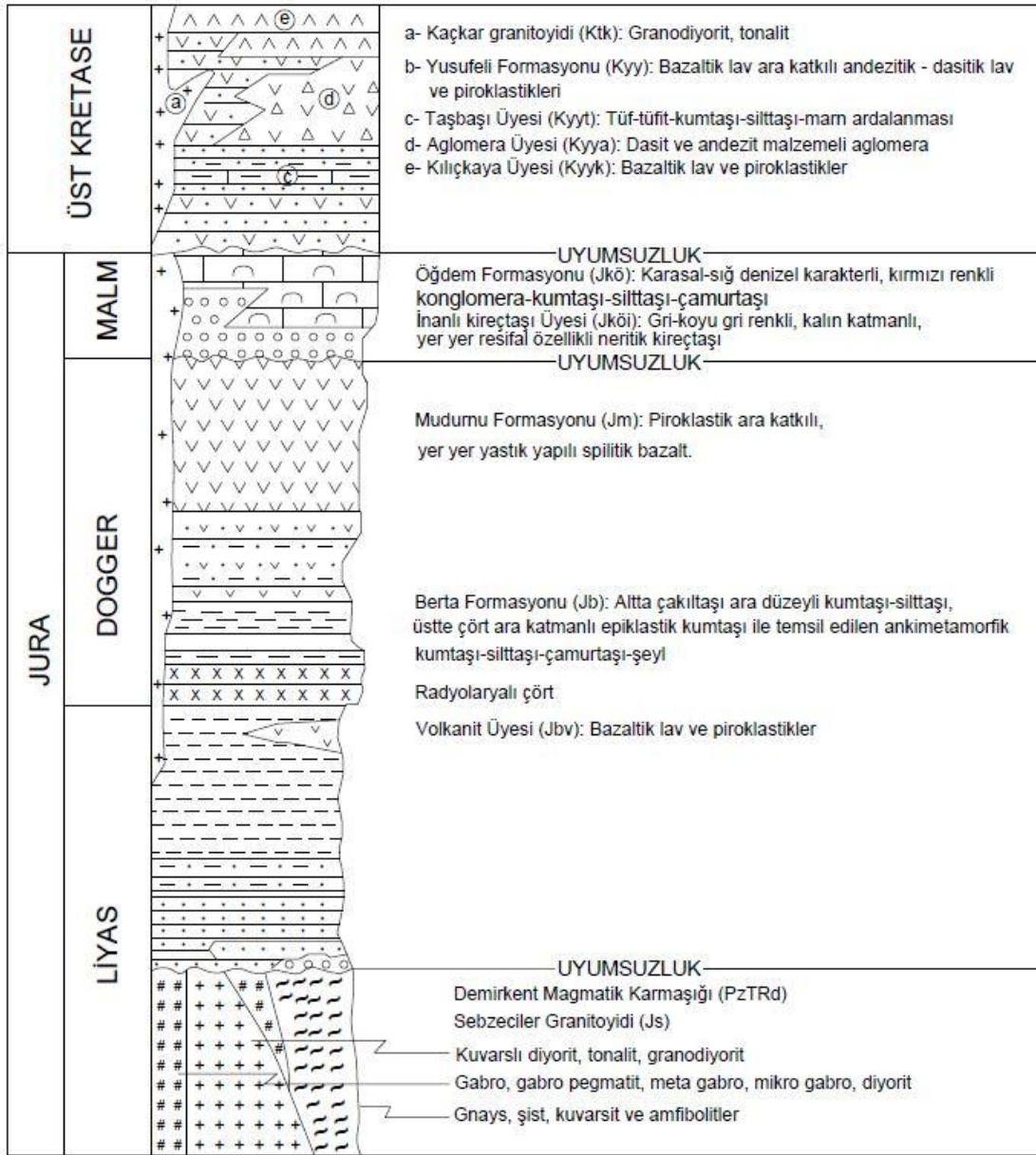
4. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

4.1. Bölge Genel Jeolojisi ve Stratigrafisi

Doğu Pontidler'in doğusunda, yanal / yatay hareketler sonucu yapısal hatlarla üst üste ve yan yana gelen bir kısmında Üst Paleosen'e kadar süreklilik sunan, genelde Jura – Kretase yaşlı çeşitli istiflerin varlığı ilk kez Konak ve diğerleri (1991) tarafından tanımlanmıştır. İstif daha sonra tekrar tanımlanmış, Hopa – Narman kesitindeki dört zon bazında gruplandırılmıştır (Konak vd., 2001). Zonlar; Artvin – Yusufeli Zonu, Hopa – Borçka Zonu, Erzurum – Kars Ofiyolit Zonu ve Olur – Tortum Zonu adlarıyla konumlanmışlardır. Çalışma alanına ait jeoloji haritası ile çalışma alanı ve çevresine ait genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit Şekil – 4.1. ve Şekil – 4.2.'de verilmektedir. Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış 1 / 100 000 ölçekli G-47 (Tortum) Paftası'nda da yer alan birimler şu şekilde sıralanmaktadır (Konak ve Hakyemez, 2009'dan değiştirilmiştir).

4.1.1. Yusufeli Formasyonu (Kyy)

Yusufeli formasyonu bazaltik lav, dasitik lav ile piroklastiklerden meydana gelmektedir. Birim piroklastik ara katkılı silttaş, marn, volkanojenik kumtaşı ve şeyl aralanmasından oluşmaktadır. Dasitlerde, 2 – 3 mm büyüklüğündeki kuvars kristalleri çıplak gözle gözlenebilmektedir (Konak ve Hakyemez, 2009'dan değiştirilmiştir.).



Şekil 4.2. İnceleme alanı ve çevresi genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Konak vd., 2009'dan değiştirilmiştir.) Ölçeksizdir.

Yusufeli formasyonu (Kyy), Öğdem formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Geç İpresiyen yaşlı kırıntılılarla başlayıp andezitik – bazaltik volkanitlerle devam eden Eosen istifi açısız uyumsuzlukla örtmektedir. Yusufeli formasyonunun yaşı, Geç Kretase olarak literatüre geçmiştir.

4.1.2. Kılıçkaya Volkanit Üyesi (Kyyk)

Kılıçkaya volkanit üyesi (Kyyk) Yusufeli formasyonunun en üstünde yer almakta olup, bazaltik lav ve piroklastiklerden meydana gelmektedir. Birim, Kılıçkaya bölgesinde gözlemlendiği için Kılıçkaya volkanit üyesi olarak adlandırılmıştır. Genellikle koyu gri – siyaha yakın renklerde olup, boşlukları kalsit ve klorit dolguludur. Kılıçkaya volkanit üyesinin yaşı Kampaniyen – Maestrihtiyen'dir (Konak ve Hakyemez, 2009'dan değiştirilmiştir).

4.1.3. Öğdem Formasyonu (JKö)

Öğdem formasyonu resifal kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından meydana gelmektedir.

Öğdem ilçesinin güneyinde yer alan birim, kırmızı – bordo renkli, kumtaşı mercekli çakıltaşları ile başlar. Formasyonun alt kesiminde Liyas yaşlı neritik kireçtaşlarından türemiş iri çakıllar da seyrek olarak bulunur. Bu çakıllarda yer alan fosillere göre birimin yaşı Liyas olarak belirtilmiştir (Konak ve Hakyemez, 2009'dan değiştirilmiştir).

4.1.4. İnanlı Kireçtaşı Üyesi (JKöi)

İnanlı kireçtaşı üyesi, Öğdem formasyonunun alt – orta düzeylerinde yer almaktadır. Birim resifal kireçtaşları ile tanımlanmaktadır.

Resifal kireçtaşları genelde büyüklü – küçüklü mercekler şeklinde bulunmakta olup, sarı, kirli beyaz veya bej renkli, kalın ve belirsiz katmanlanmalıdır.

Resifal kireçtaşı merceğinden rastlanılan fosillere göre birimin yaşı Kimmerciyen'dir (Konak ve Hakyemez, 2009'dan değiştirilmiştir.). Birim, genel özellikleriyle yelpaze deltası üzerinde veya kıyıtlı sığ denizel çökeller arasında gelişmiş yamaç resifi özellikleri sergiler.

4.1.5. Sebzeçiler Granitoyidi (Js)

Demirkent magmatik karmaşığını keserek yerleşen granodiyoritik – tonalitlik bileşimli kayalar Sebzeçiler granitoyidi olarak tanımlanmıştır. Sebzeçiler granitoyidi içerisinde yer alan birimler; bej, pembemsi bej ve yer yer daha açık renkler sunmaktadır. Bulunduğu konum ve litolojik, mineralojik ve petrografik özellikleri bakımından Kaçkar granitoyidinden farklı olan birimin yaşının Liyas – Dogger olabileceği düşünülmektedir (Konak ve Hakyemez, 2009’dan değiştirilmiştir.).

4.1.6. Demirkent Magmatik Karmaşığı (PzTRd)

Gabro, pegmatitik gabro ve mikrogabro özellikli yan kayanın diyoritik, granitik, dasitik, tonalitlik ve diyabazik karakterli çeşitli kalınlıklardaki dayk ile kesilmesiyle oluşan kompleks (tektonik dilim halinde), Konak ve diğerleri (1991 ve 2001) tarafından Demirkent dayk karmaşığı olarak tanımlanmış, Konak ve diğerleri (2009) ise birimin adını Demirkent magmatik kompleksi (karmaşığı) olarak değiştirmişlerdir.

Demirkent magmatik karmaşığı’nın (PzTRd) metagabro, metadiyabaz veya amfibolit olarak tanımlanabilecek kesimleri koyu yeşil, siyahımsı renkli, orta – kalın ve az belirgin yapraklanmalıdır. Yan kayayı kesen asidik damar kayalar ise, kirli beyaz-bej renkli, kalın ve az belirgin yapraklanmalıdır.

Demirkent magmatik karmaşığının yaşı kesin olarak bilinmemektedir. Ancak birimin tektonik dokanaklarına göre; birimin yan kayasını oluşturan gabroyik kayaların Karbonifer – Triyas yaşlı olabileceği, damar ve daykların bir kısmının Malm öncesi, bir kısmının ise Geç Kretase - Erken Tersiyer döneminde sokulum yapmış olabileceği söylenebilir.

Demirkent magmatik karmaşığını Şengör ve diğerleri (1980,1984) tipik bir ofiyolit dizisi olarak tanımlamışlardır. Birimi Paleo – Tetis okyanusunun kalıntısı olarak yorumlamışlardır.

4.1.7. Güncel Çökeller

Alüvyon (Qal)

Akarsu yataklarında yer alan kil, silt, kum, çakıl ve blok gibi çeşitli boyutlarda tutturulmamış çökellerdir. Tortum, Barhal, Çoruh Nehri ve Oltu çayı boyunca en yaygın örneklerini sunmaktadır.

Yamaç Molozu (Qym)

Dağ etekleri ve yamaçlarında kalınlaşmış, ana kayadan türemiş, köşeli, tane destekli, tutturulmamış çakıl ve bloklardır.

4.1.8. Çalışma Alanı ve Çevresinin Yapısal Jeolojisi

Çalışma alanı Doğu Pontid tektonik birliği içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan kayaç birimleri Alp Orojenezinin etkisi altında kalmaktadır. Bu Orojenik faaliyetlere bağlı olarak Anadolu, Üst Kimmerik, Attik ve Pireneik fazları etkili olmuştur. Yukarıda belirtilen oluşumlar sebebiyle; uyumsuzluklar (diskordanslar), bindirmeler (ters faylar) ve faylanmalar oluşmuştur.

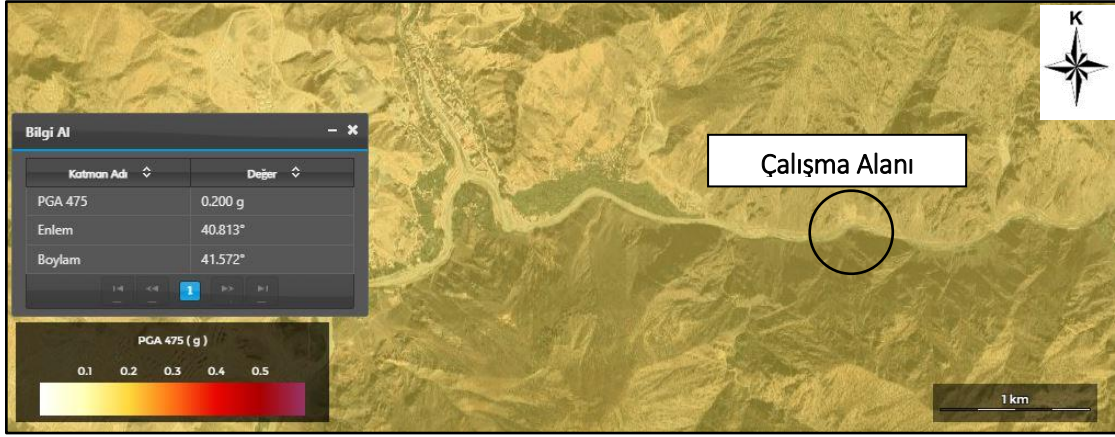
Çalışma alanında etkili olan Alp Orojenezi nedeniyle, kırık ve kıvrım tektoniği iyi gelişmiş, formasyonlar faylanmış ve kırılmıştır. Çalışma alanının bazı bölgelerinde izlenen bindirmeler, sahanın bir sıkışma etkisi altında kaldığını göstermektedir.

Çalışma alanında gözlenen bindirmeler; Yusufeli ilçesinden Morkaya'ya ulaşan ve Artvin ilinin kuzey ve güneyinden geçen bindirme, Ardanuç ilçesinden GB'ya doğru Demirkent, Yusufeli ve Morkaya 'ya ulaşan bindirme, Şavşat ilçesi GB'ya doğru Kılıçkaya – Yusufeli güneyine uzanan büyük bindirmeler şeklinde olup doğrultuları genellikle KD – GB'dir. Çalışma alanında kırılmaların çok yaygın olduğu hemen her tür kayaçta kırık ve çatlakların gelişmesi ile belirgindir (Konak ve Hakyemez, 2009'dan değiştirilmiştir).

4.1.9. Çalışma Alanının Depremselliği

Resmi Gazete`de 18 Mart 2018 tarihinde yayınlanan ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)” ve “Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve Parametre Değerleri Hakkında Bakanlar Kurulu Kararı”na göre maksimum yer ivmesi belirlenmektedir. Şekil 4.3.’te verilen Türkiye Deprem Tehlike Haritasında açık/koyu renkli alanlar yer ivmelerini göstermektedir. Renk açıldıkça düşük tehlikeyi simgelerken, koyulaştıkça yüksek tehlikeyi simgelemektedir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi – 2 (DD – 2) Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının % 10 ve buna karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da isimlendirilmektedir. Deprem Yer Hareketi Düzeyi – 2 (DD – 2) için Türkiye Deprem Tehlike Haritası’na göre inceleme alanındaki mostrada oluşması beklenen en büyük yer ivmesi (PGAmostra) 0.200 g olarak belirlenmiştir (Şekil – 4.4).

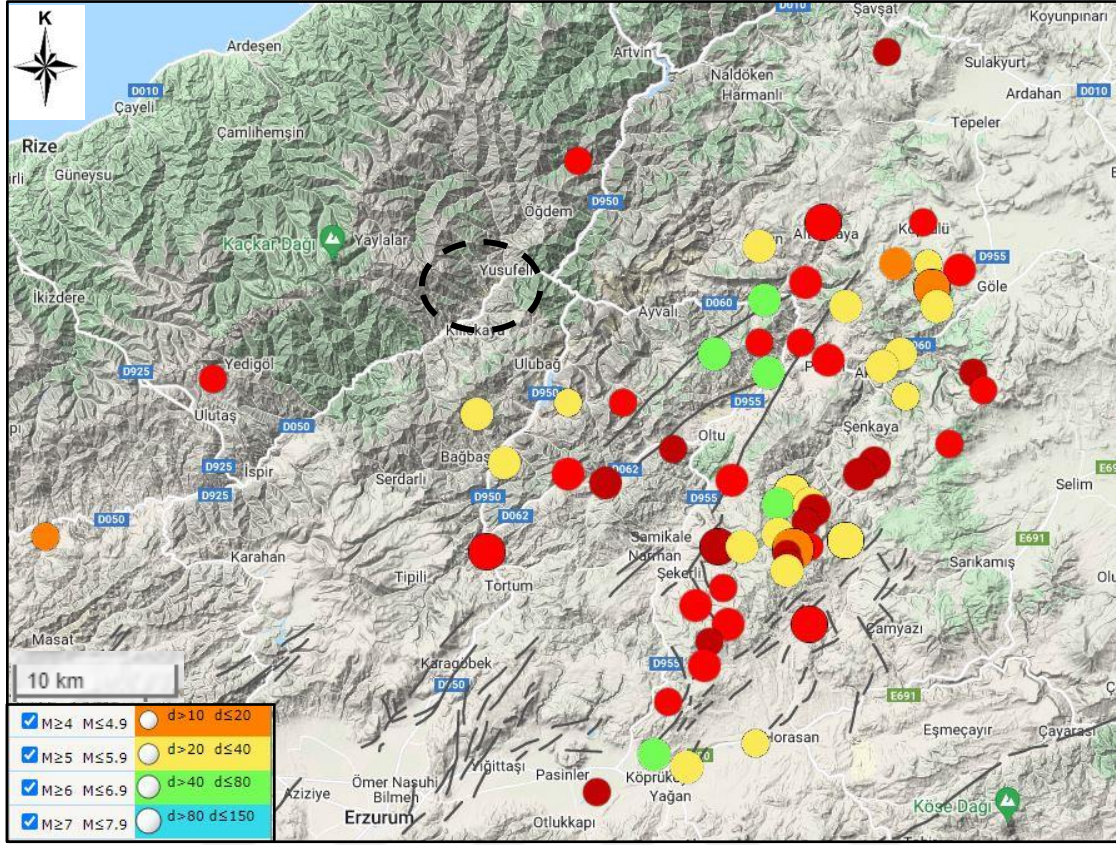


Şekil 4.4. İnceleme alanı ve çevresi depremselliği (AFAD, 2018)

Çalışma alanı ve yakın kesiminde geçmiş dönemlerde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından kayıt altına alınmış 4 büyüklüğünden yüksek bir deprem tespit edilememiştir. Çalışma alanı çevresinde ise Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından, 1972- 2022 yılları aralığında kayıt altına alınmış depremler Çizelge 4.1. ve Şekil 4.5.'te yer almaktadır. Depremlerin 54 adetinin büyüklüğü 4 ile 5 arasında, 7 adetinin büyüklüğü 5 ile 6 arasında, 1 adetinin ise büyüklüğü de 6 ile 7 arasında kalmaktadır.

Çizelge 4.1. Çalışma alanı ve çevresinde 4.0 magnitüden büyük depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Tarihçesi)

No	Tarih	Derinlik (km)	Magnitude
1	15/01/1972	43.00	4.50
2	21/02/1973	2.00	4.70
3	01/12/1975	47.00	4.80
4	18/02/1977	10.00	4.60
5	01/06/1980	10.00	4.50
6	30/10/1983	16.00	6.80
7	30/10/1983	10.00	4.90
8	30/10/1983	31.00	5.30
9	30/10/1983	10.00	4.10
10	02/11/1983	25.00	4.80
11	02/11/1983	10.00	4.70
12	18/07/1984	10.00	5.50
13	18/09/1984	10.00	4.20
14	18/10/1984	19.00	5.30
15	07/11/1985	31.00	5.10
16	17/05/1988	10.00	4.30
17	29/06/1988	35.00	4.50
18	18/10/1988	10.00	5.30
19	10/03/1989	10.00	4.70
20	23/12/1998	8.00	4.10
21	03/12/1999	10.00	5.50
22	27/01/2000	1.00	4.00
23	17/02/2007	5.00	4.60
24	15/04/2009	10.10	4.40
25	21/01/2012	5.00	4.10
26	17/07/2013	5.00	4.10
27	28/05/2014	5.80	4.20
28	15/07/2019	2.20	4.60
29	01/12/2019	5.00	4.10
30	29/12/2019	5.00	4.30



Şekil 4.5. İnceleme alanı ve çevresinde 1972-2022 yılları arasında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından kayıt altına alınmış depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Tarihesi).

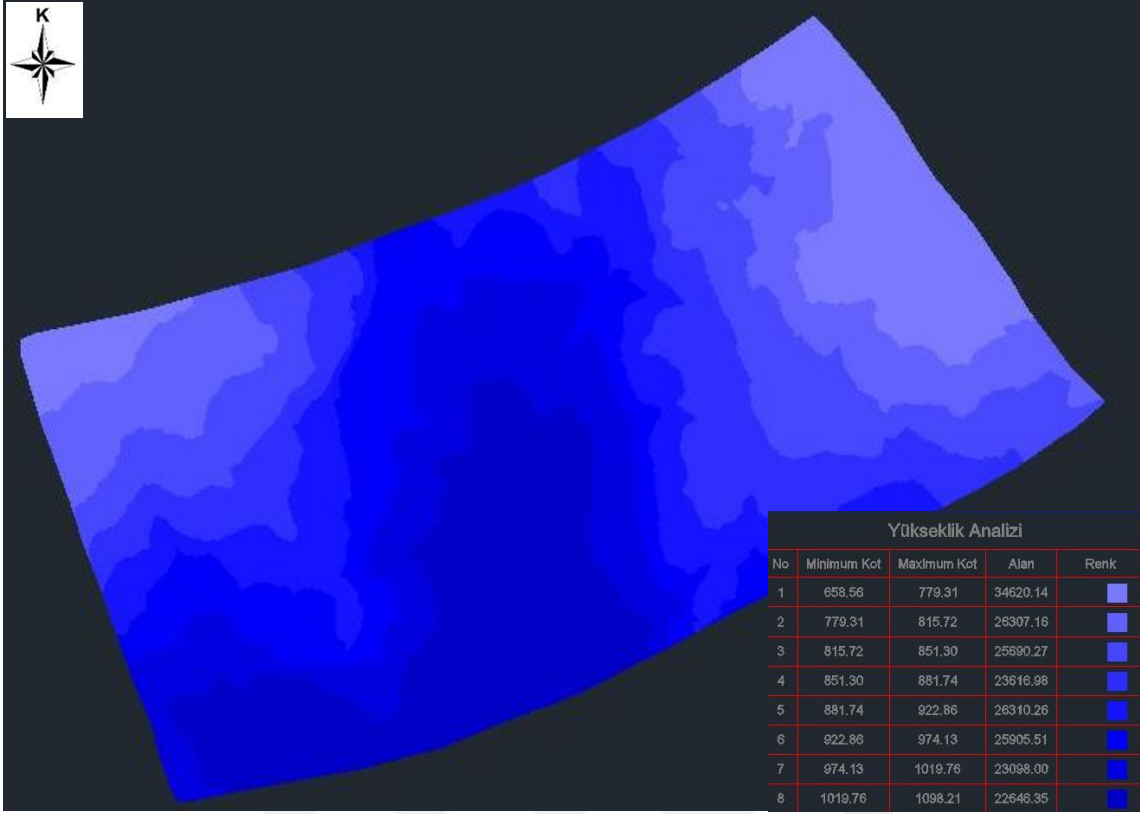
5. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE YÖNTEMLER

Artvin Yusufeli ilçesinde halihazırda yapım çalışmaları devam eden yolları tehdit eden askıda, serbest veya sarp yamaçlardaki kaya kütleleri incelenmiş, 2B ve 3B kaya düşme analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan arazi çalışmalarında düşen kaya bloklarının boyutları, yerleri ve düşme potansiyeline sahip kayaların tespiti yapılmıştır (Şekil 5.1.). Çalışma alanında yer alan birime ait blok örnek üzerinden deneyler yapılmıştır.

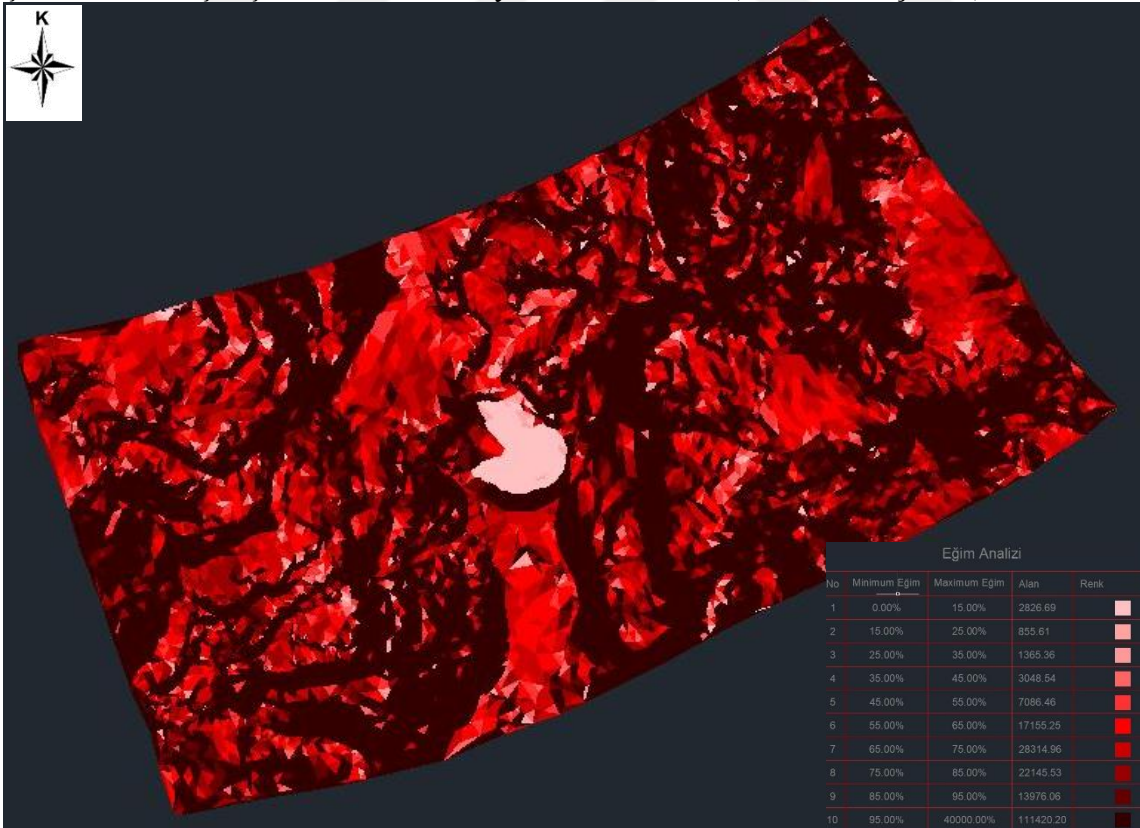
Tespit edilen lokasyonlarda halihazırda düşen kaya bloklarının çapları ve bölgedeki jeolojik durum not edilmiştir. Bu çalışma kapsamında çalışma alanının 2B eğim ve yükseklik haritaları Civil 3D programında hazırlanmıştır. Lokasyona ait eğim ve yükseklik haritaları Şekil 5.2. ve 5.3.'te verilmektedir.



Şekil 5.1. Çalışma alanına ait genel görünüm



Şekil 5.2 Çalışma alanına ait 2B yükseklik haritası (Civil 3D-Ölçeksiz)



Şekil 5.3. Çalışma alanına ait 2B eğim haritası (Civil 3D-Ölçeksiz)

Kaya düşme afetini çok sayıda kontrol eden faktörler / sebepler vardır: Bunlar kısaca, blok boyutu, blok şekli, alanın eğimi, kaya düşmesinin gerçekleştiği alandaki birimin bozunma derecesi, pürüzlülük, bitki örtüsü vb.

Belirlenen incele alanında düşen bloklar Sebzeçiler granitoyidi olarak isimlendirilen volkanik kayalardır. Arazi çalışmalarının amacı kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemektir. Bu özellikler; devamlılık, pürüzlülük ve dalgalılık, blok boyutu ve bozunma derecesidir. Bu bilgilere süreksizliklerin toplanmasında en önemli yöntem olan hat etütü yöntemi ile ulaşılmıştır. Hat etüdü yönteminde uygun uzunlukta mostra seçilmiş ve hattın 50 cm alt ve üstünde kalan kısımlar taranmıştır.

5.1. Laboratuvar Çalışmaları

Saha çalışmaları esnasında çalışma alanından birimi tanımlamak için blok örnekler alınmıştır. Sebzeçiler granitoyidinden alınan örneklerde, tek eksenli basınç dayanımı (ISRM 2007) deneyi yapılmıştır.

Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Karot numune örnekleri için, ISRM 2007 standartlarına uygun şekilde tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiş olup Çizelge 5.1.'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Sonuçları (ISRM 2007).

NUMUNE (NO)	Ağırlık	Yük	TEK EKSENLI BASMA DAY. DENEYI
	g	kN	q _u (MPa)
B-1	629	497,1	164,77
B-2	595	325,1	107,76
B-3	622	138	45,74
B-4	229	188,3	62,41
B-5	280,1	199,8	66,2
B-6	664	85,6	23,58
B-7	657	277,7	76,50
B-8	668	242,8	66,89

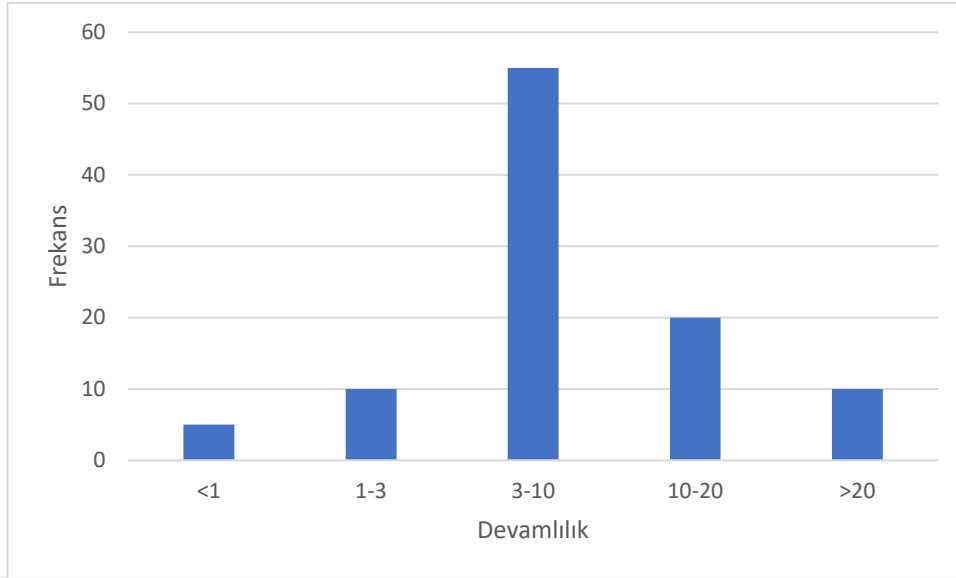
Tek Eksenli Sıkışma deneyi sonuçlarının 23,58 MPa ile 164,77 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çizelge 5.2.'de tek eksenli sıkışma dayanımı sonuçlarına karşılık gelen tanımlamalar verilmiştir. Sonuç olarak çalışma alanında yer alan granadiyorit seviyelerinin R2-R5 arasında olduğu çıkarımına varılmıştır.

Çizelge 5.2. Süreksizlik yüzeylerinin tek eksenli sıkışma dayanımına ve arazi tanımlamalarına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981)

Simge	Tanım	Saha Tanımlaması	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)
R0	Aşırı Derecede Zayıf Kayaç	Kayaçın yüzeyinde tırnak ile çentik oluşturulabilir.	0.25- 1.0
R1	Çok Zayıf Kayaç	Jeolog çekiciyle sert bir darbeye ufalanan kayaç, çakı ile doğranabilir.	1.0 - 5.0
R2	Orta Derecede Sağlam Kayaç	Kayaç çakı ile güçlükle doğranır. Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayaçın yüzeyinde iz bırakır.	5.0 - 25
R3	Orta Derecede Sağlam Kayaç	Kayaç çakı ile doğranamaz. Kayaç örneği Jeolog çekici ile yapılacak sert bir darbe kayaçın yüzeyinde iz bırakır.	25 - 50
R4	Sağlam Kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile birden fazla darbenin uygulanması gerekir.	50 - 100
R5	Çok Sağlam Kayaç	Kayaç örneğinin kırılabilmesi için jeolog çekici ile çok sayıda darbe gerekir.	100 -250
R6	Aşırı Derecede Sağlam Kayaç	Kayaç örneği , jeolog çekici ile sadece yontulabilir.	>250

5.2. Devamlılık

Süreksizlik devamı duraylılığı etkileyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Devamlılık azaldıkça duraylılık artarken, devamlılık arttıkça duraysızlık artar. Ölçülen devamlılıkların sınıflandırılması (Çizelge 5.3.) ve tanımlanması ISRM (2007)'e göre yapılmıştır. Hat etüdünde yapılan değerlendirme de çalışma sahasında yer alan süreksizliklerinin % 55'i orta derecede devamlılık, %20'si yüksek devamlılık göstermektedir. Çalışma kapsamında arazide yapılan Devamlılık ölçümlerine ait histogram Şekil 5.4.'te verilmektedir.



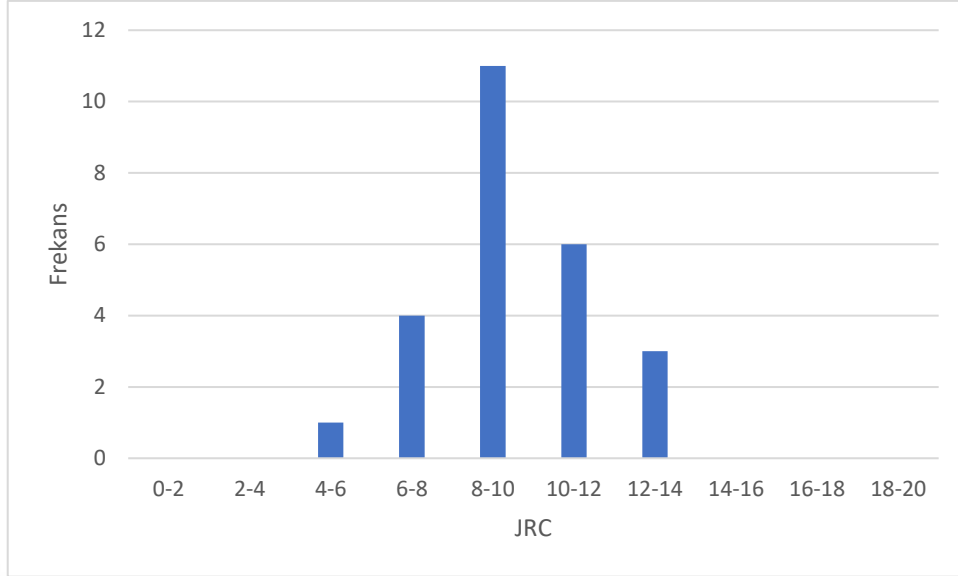
Şekil 5.4. Çalışma alanı süreksizlik devamlılık histogram dağılımı

Çizelge 5.3. Süreksizlik devamlılığı sınıflandırması (ISRM 2007).

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

5.3. Pürüzlülük ve Dalgalık

Pürüzlülük; bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte düzlemsellikten sapması, dalgalık ise pürüzlülüğün tersi olarak büyük ölçekte düzlemsellikten sapmasıdır. Profilometre ile alınan ölçümlerde çalışma sahasında yer alan süreksizliklerin (Çizelge 5.4.) değerlendirilmesi Barton yenilme ölçütünde parametre olan (JRC) çizelgesi ile yapılmıştır. Profilometre ile alınan ölçümlere ait histogram Şekil 5.5.'te verilmektedir. JRC çizelgesine göre çalışma sahasında yer alan birimlerin değeri 8 – 10 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.5. Çalışma alanı pürüzlülük/dalgallık (JRC) histogram dağılımı

Çizelge 5.4. Süreksizlik profili (ISRM 2007)

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

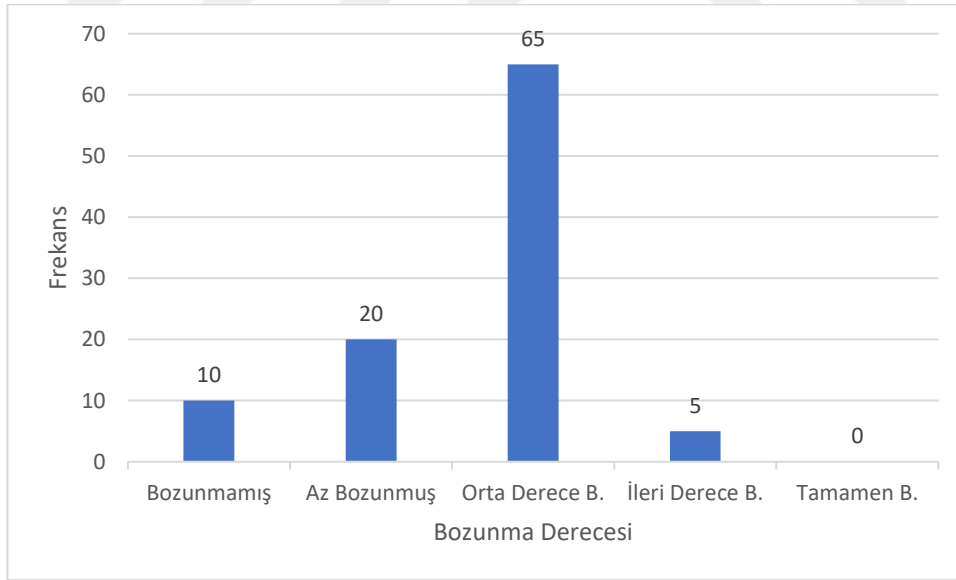
0 5 10 cm

5.4. Bozunma Derecesi

Kaya bozunmaları ile ilgili 1930'lu yıllardan itibaren birçok çalışma yapılmış olup, birbirine benzeyen bozunma tanımlamaları yapılmıştır, (Ollier, 1969; Fookes vd., 1971; Chandler, 1972; Richards, 1972; Bell, 1983; Beavis, 1985; Bltyh ve Freiter 1987).

Yukarıda verilen yıllarda yapılan tanımlamalar arasında çelişkiler bulunmasına rağmen, bozunma olayını en iyi şekilde tanımlayan açıklama oluşturulmuştur. Günümüzde en çok kabul gören bozunma tanımı ise, Fookes vd. (1971) tarafından yapılmış olan ve bozunmayı "kayaların hidrosfer ve atmosferin doğrudan etkisi altında kalarak ayrışması olayı" olarak açıklayan tanımıdır. Bozunma derecesi duraysızlık ile doğru orantılıdır.

Çalışma sahasında yer alan birimlerin bozunma derecesi / dereceleri ISRM 2007'ye (Çizelge 5.5.) göre yapılmıştır. Yapılan çalışmaya göre orta derecede bozunma gözlemsel olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanında yapılan gözlemlere ait histogram Şekil 5.6.'da verilmektedir.



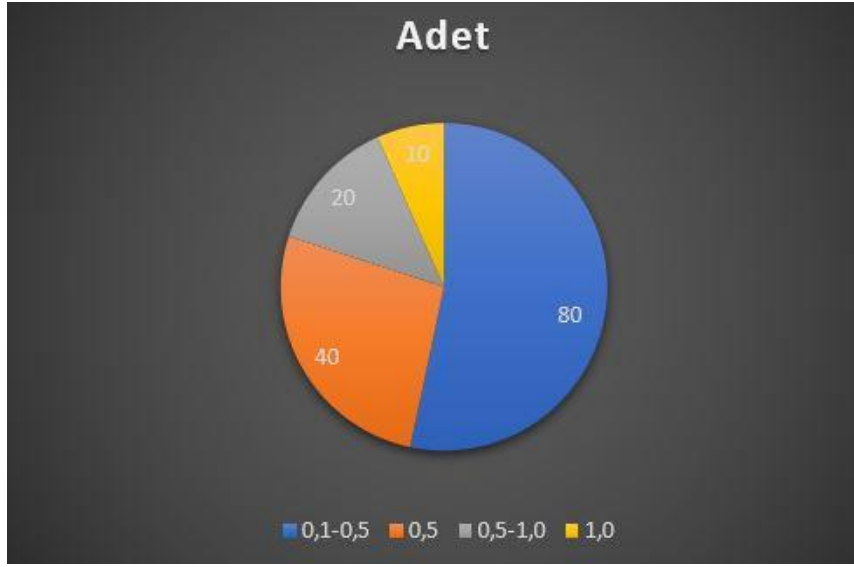
Şekil 5.6. Çalışma alanı süreksizlik bozunma histogram dağılımı

Çizelge 5.5. Kaya kütlelerinin bozuşma dereceleri ve tanımlanması (ISRM 2007).

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma Derecesi
Bozunmamış (Taze)	Kayacın bozunduğuna ilişkin gözle ayırt edilebilir bir belirti olmamakla birlikte, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi gözükmemektedir.	1
Az Bozunmuş	Kayaç malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeniyle tüm kayacın rengi değişmiştir. Kayaç taze halinden zayıf olabilir.	2
Orta Derecede Bozunmuş	Kayacın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Taze veya rengi değişmiş kaya sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	3
Tamamen Bozunmuş	Kayacın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	4
Artık Zemin	Kayacın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla beraber, zemin taşınmamıştır.	5

5.5. Blok Boyutu

Artvin ili Yusufeli ilçesinde yer alan çalışma sahasında düşen ve askıda kalan kaya blokları tespit edilmiş ve boyutları ayırtlanmıştır. Çalışma alanında ölçülen blok boyutlarına ait histogram oluşturulmuştur (Şekil 5.7.). Çalışma sahasında tespit edilen düşen (Şekil 5.8.) veya askıda kalan kaya sayısı 150 adet olarak analiz edilmiştir. Bu 150 adet kayanın, %53'ü 50 cm'den küçük ebatlarda (80 adet), %27'si 50 cm ebatlarında (40 adet), % 13'ü 50 cm – 100 cm ebatları arasında (20 adet) ve % 7'si ise 100 cm'den büyük ebatlarda (10 adet) olduğu arazide tespit edilmiş ve bu çapları içeren histogram Şekil 5.7.'de verilmiştir.



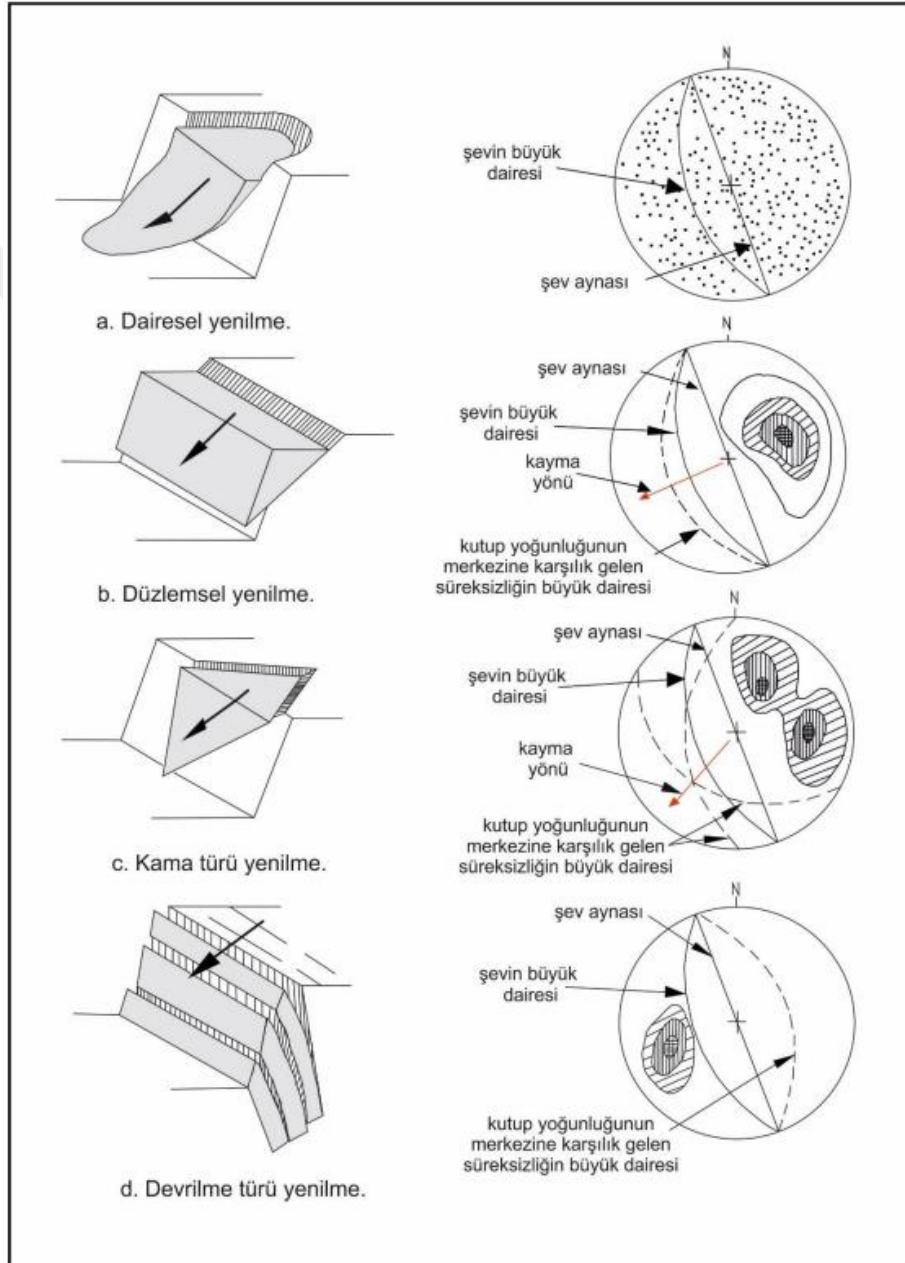
Şekil 5.7. Çalışma sahasında tespit edilen blok boyutlarına ait histogram



Şekil 5.8. Çalışma sahasında düşmüş bloklardan bir görünüm

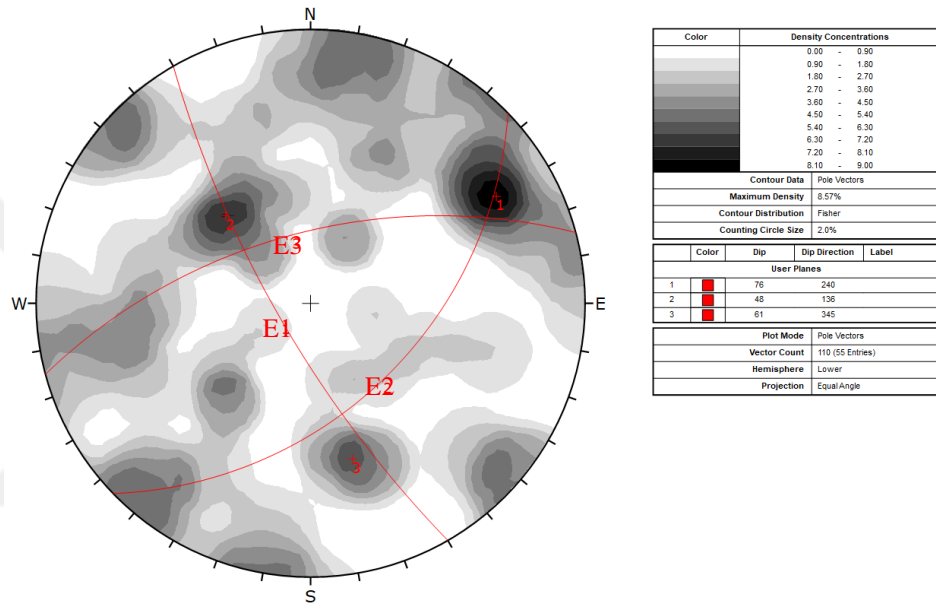
6. KİNEMATİK ANALİZLER

Çalışma sahasında yapılan arazi çalışmaları neticesinde potansiyel; düzlemsel ve kama tipi kayma ile devrilme olasılıkları kinematik analiz vasıtasıyla incelenmiştir. Kinematik analizler Dips v8.0 bilgisayar program yardımı ile yapılmıştır.



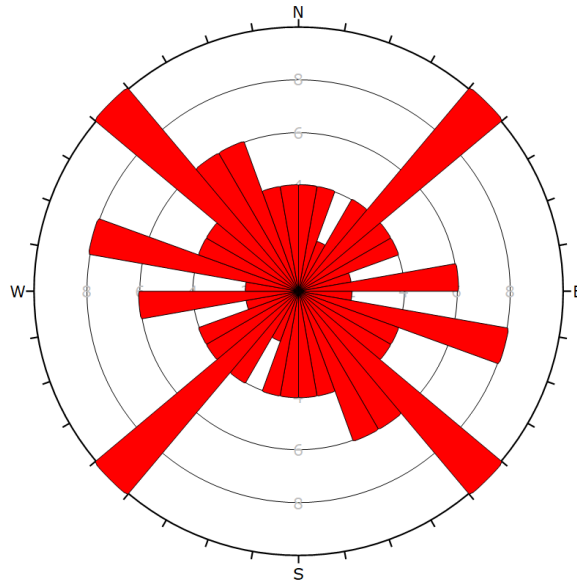
Şekil 6.1. Kaya yüzlelerde gelişen duraysızlık türleri ve bu yenilmelerin stereonette görüntüleri (Hoek ve Bray, 1977).

Kaya düşmesi potansiyeli olan bölgelerde arazi çalışmaları sırasında yapılan süreksizlik ölçümleri ile belirlenen Sebzeçiler granitoidine (Js) ait süreksizliklerin kontur diyagramı, egemen eklem takımları ve süreksizliklere ait yapılan gül diyagramı hazırlanmıştır. Çalışma alanında yapılan süreksizlik ölçümlerinin 3'er farklı bölgede yoğunlaştığı gözlenmiş ve egemen eklem takımları oluşturulmuştur. Alanda yer alan egemen eklem takımlarının konumları 240 / 76, 136 / 48 ve 345 / 61 şeklindedir. Çalışma alanına ait kontur diyagramı ve egemen eklem takımları ise Şekil 6.2.'de sunulmuştur.



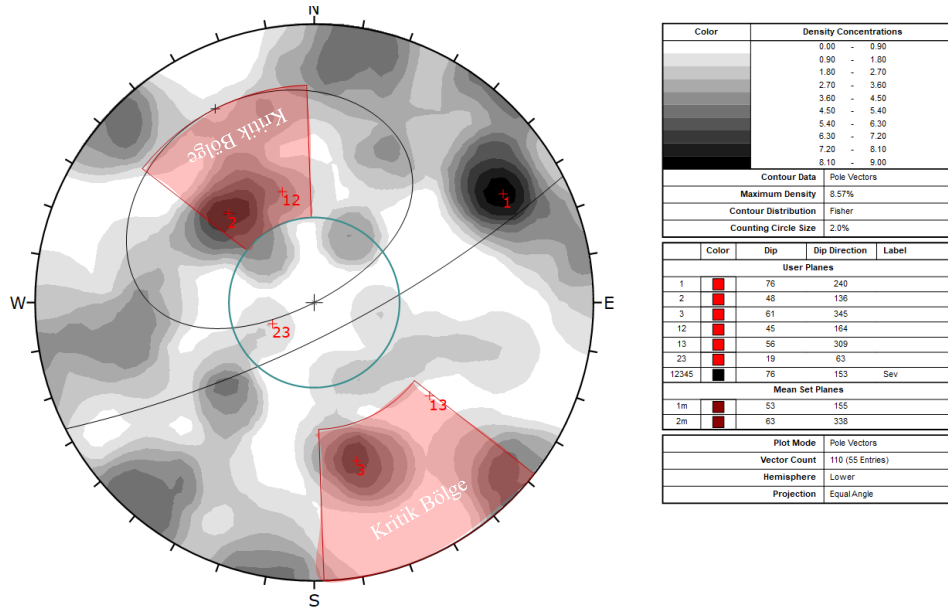
Şekil 6.2. Çalışma alanı kontur diyagramı ve egemen eklem takımları (Dips v8.0)

Süreksizlik ölçümleri ile oluşturulan gül diyagramına sonucunda, çalışma alanının genelinde KB – GD ve KD – GB yönünde etkin bir basınç mekanizması gözlenmiştir. Gül diyagramları Şekil 6.3.'te sunulmuştur.

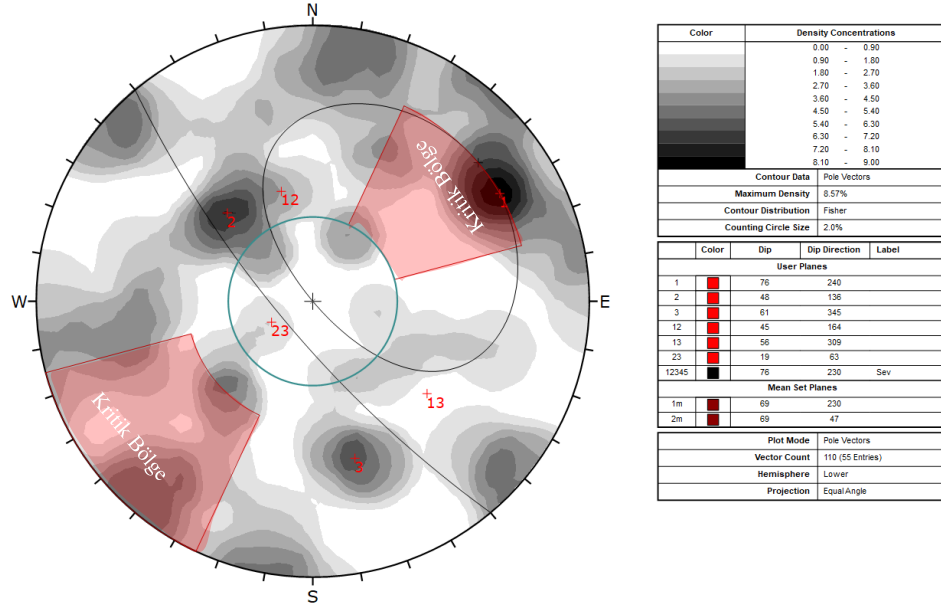


Şekil 6.3. Çalışma alanı gül diyagramı (Dips v8.0)

Literatürde yer alan değerlendirmeler doğrultusunda kinematik analizlerde, çalışma bölgesinde yüzeylenen kayalar dikkate alınarak süreksizlik mukavemet parametresi $\phi_u = 34^\circ$, olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının egemen eklem takımlarının sahada belirlenen sol yamaç kesimi ve sağ yamaç kesiminde gösterdiği davranışlar incelenmiş, analiz sonuçları Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'de sunulmuştur.



Şekil 6.4. Çalışma alanı sol yamaç kesimi kinematik analizi (Dips v8.0)



Şekil 6.5. Çalışma alanı sağ yamaç kesimi kinematik analizi (Dips v8.0)

Gerçekleştirilen kinematik analizler ile çalışma alanında potansiyel kama tipi kayma, düzlemsel kayma ve devrilme türü duraysızlıklar değerlendirilmiş olup, Çizelge 6.1.'de sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kinematik Analiz Sonuçları

BÖLGE	ŞEV EĞİM AÇISI	ŞEV EĞİM YÖNÜ	ANALİZ SONUCU
Sol Yamaç Kesimi	76°	153°	Düzlemsel kayma, Kama tipi kayma ve Devrilme potansiyeli belirlenmiştir.
Sağ Yamaç Kesimi	76°	230°	Düzlemsel kayma potansiyeli belirlenmiştir.

7. KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

Yamaç ve / veya şevlerde ana kayadan kopan kayaç parçalarının yerçekimi etkisi ile yamaç veya şevden aşağı doğru yapmış olduğu hızlı ve ani harekete kaya düşmesi denir.

Kaya düşmeleri, süreksizlikler aracılığıyla, ana kaya içerisinde yer alan ayrışma seviyeleri içerisindeki duraysızlık ile, eklemli kaya içerisinde bulunan suyun donma-çözünme etkisi ile ve topuk oyulması ile askıda kalan kayaların düşmesi şeklinde meydana gelebilir.

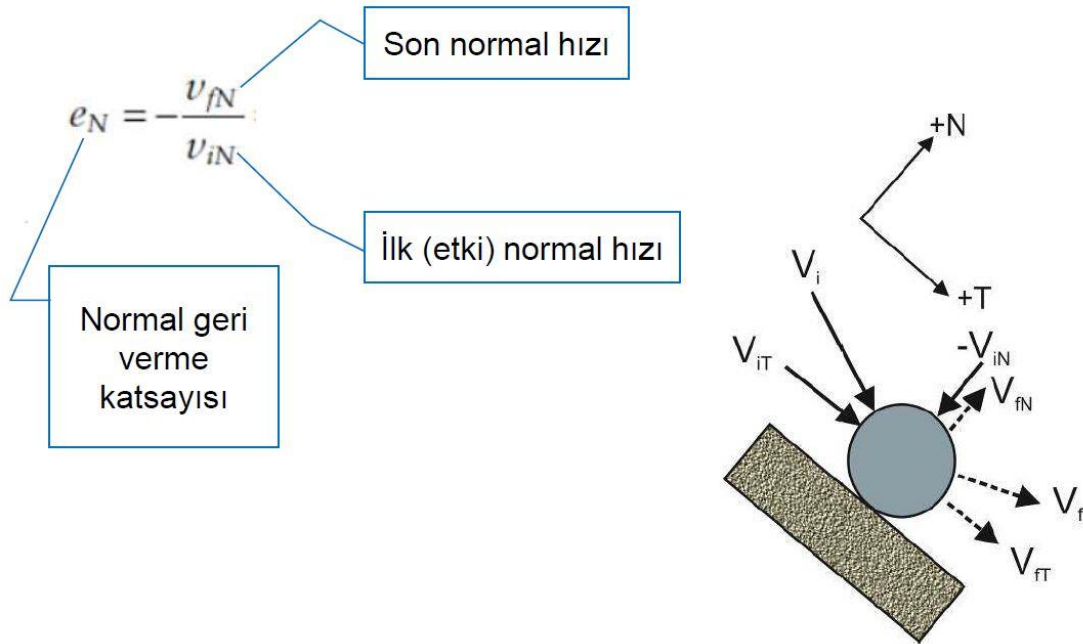
Çalışma sahasında ölçülen düşen blok boyutları Şekil 5.7.'de verilmiştir. Analizler kaya çığının yaşanmayacağı ve 100 cm'den büyük blok boyutunun düşmeyeceği kriterleri kabul edilerek yapılmıştır.

Kaya düşme afetinin büyüklüğünü ve tehlikesini tam ifade etmek için öncelikle parametre setlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametre setleri, blok boyutu, R_n (Normal geri sıçrama katsayısı) ve R_t (tanjant geri sıçrama katsayısı) değerleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

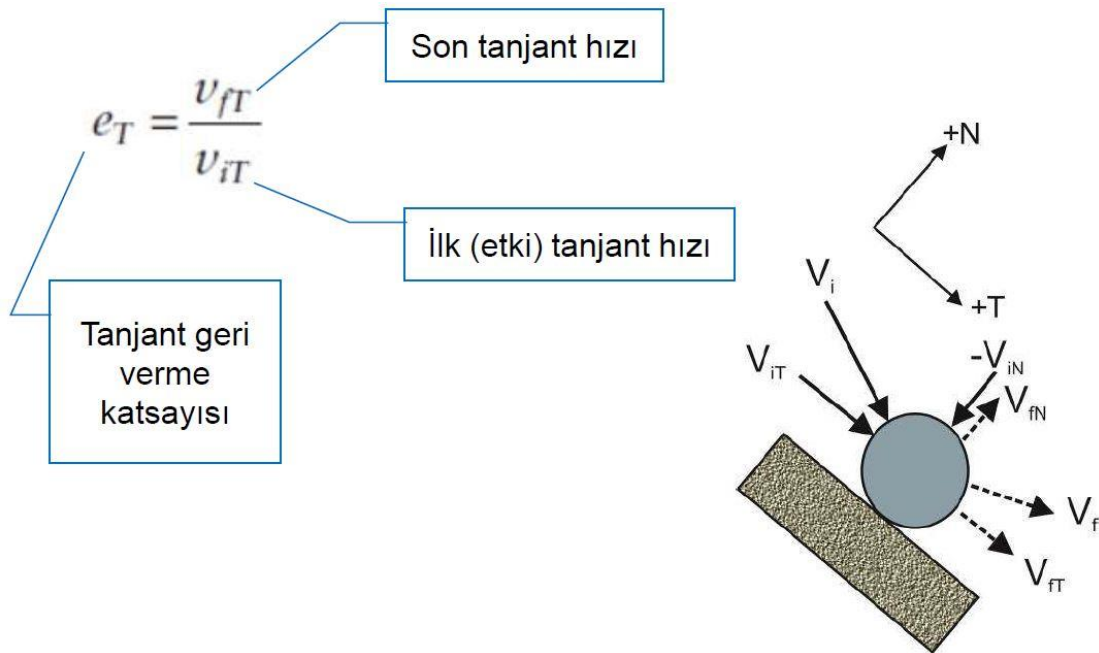
Saha çalışmaları sırasında blok boyutları ve bu blokların ulaşabildiği en uzak mesafeler not alınmış, analizlere yansıtılmıştır.

Diğer önemli parametrelerden birisi geri sıçrama katsayılarıdır. Geri sıçrama katsayıları, düşen kaya bloğunun yüzeye temas ettiği noktalardaki enerji sönümlenmelerini kontrol eder. Normal geri sıçrama katsayısı R_n (Şekil 7.1.), düşen bloğun çarpma etkisi altındaki normal eksen yönündeki hızını tanımlamaktadır. Bu tanım etki açısı ile ilişkilidir. Tanjant geri sıçrama katsayısı R_t (Şekil 7.2.), ise düşen bloğun çarpma etkisi altında tanjant hızının azalmasını kontrol etmekte olup, şev/yamaç ile düşen kütle arasındaki sürtünme kuvvetleri tarafından kontrol edilir. Geri sıçram katsayıları farklı yöntemler ile elde edilebilmektedir. Bunlar; düşen bloklar dikkate alınarak geriye dönük analizler, arazide blok düşürülmesiyle ve katsayı Çizelgesi ile elde edilebilir (Rocscience Coefficient of Restitution Table, RocScience).

R_n , R_t değerleri bu çalışmada literatürde kabul edilen iyileştirme katsayısı Çizelgesi (Rocscience Coefficient of Restitution Table) ile belirlenmiştir (Çizelge 7.1). Her formasyon ve/veya birim için ayrı değerler belirlenmiştir.



Şekil 7.1. Normal Geri Sıçrama Katsayısı Görseli (Wyllie,2015)



Şekil 7.2. Tanjant Geri Sıçrama Katsayısı Görseli (Wyllie,2015)

Çizelge 7.1. Literatürde önerilen geri verme katsayıları (Rocscience Coefficient of Restitution Table, RocScience).

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

Arazi çalışmaları sırasında yamaç şevlerinin pürüzlülüğü de ayrıca belirlenmiştir (Bölüm 5.3). Belirlenen girdi parametreleri Çizelge 7.2.'de verilmektedir.

RocFall v.7.0, v.8.0 programlarında Bölüm 5.5.'te yer alan kaya boyutlarına göre kaya düşme senaryoları 2B ve 3B olarak analizlenmiş olup, kesit yerlerini gösteren görsel ile birlikte Bölüm 8'de yer almaktadır.

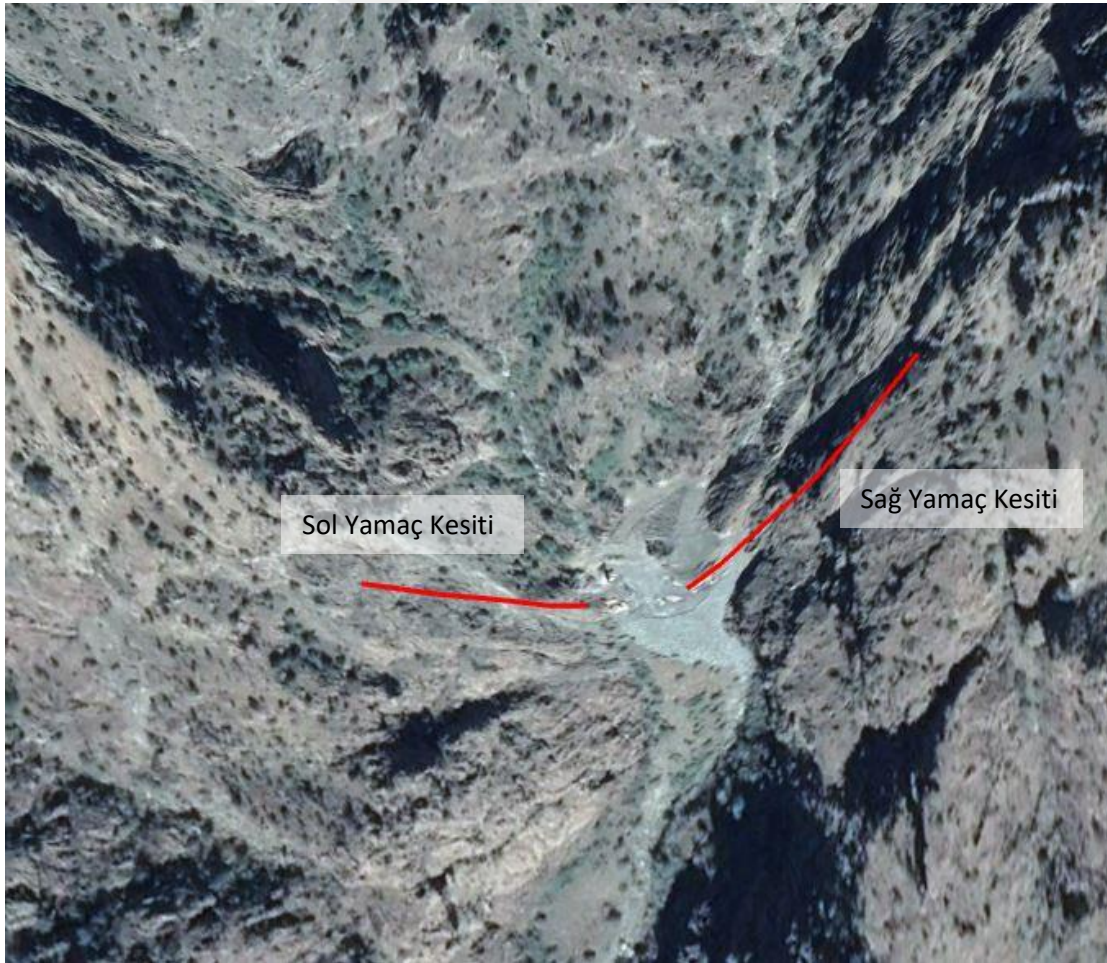
Çizelge 7.2. Çalışma alanı girdi parametreleri özet çizelgesi

<u>Alan</u>	<u>R_N</u>	<u>R_T</u>	<u>Pürüzlülük</u>	<u>Tanımlama</u>
	0,34	0,88	8.00	Ayrılmış Anakaya - Anakaya

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. 2B Kaya Düşme Analizleri

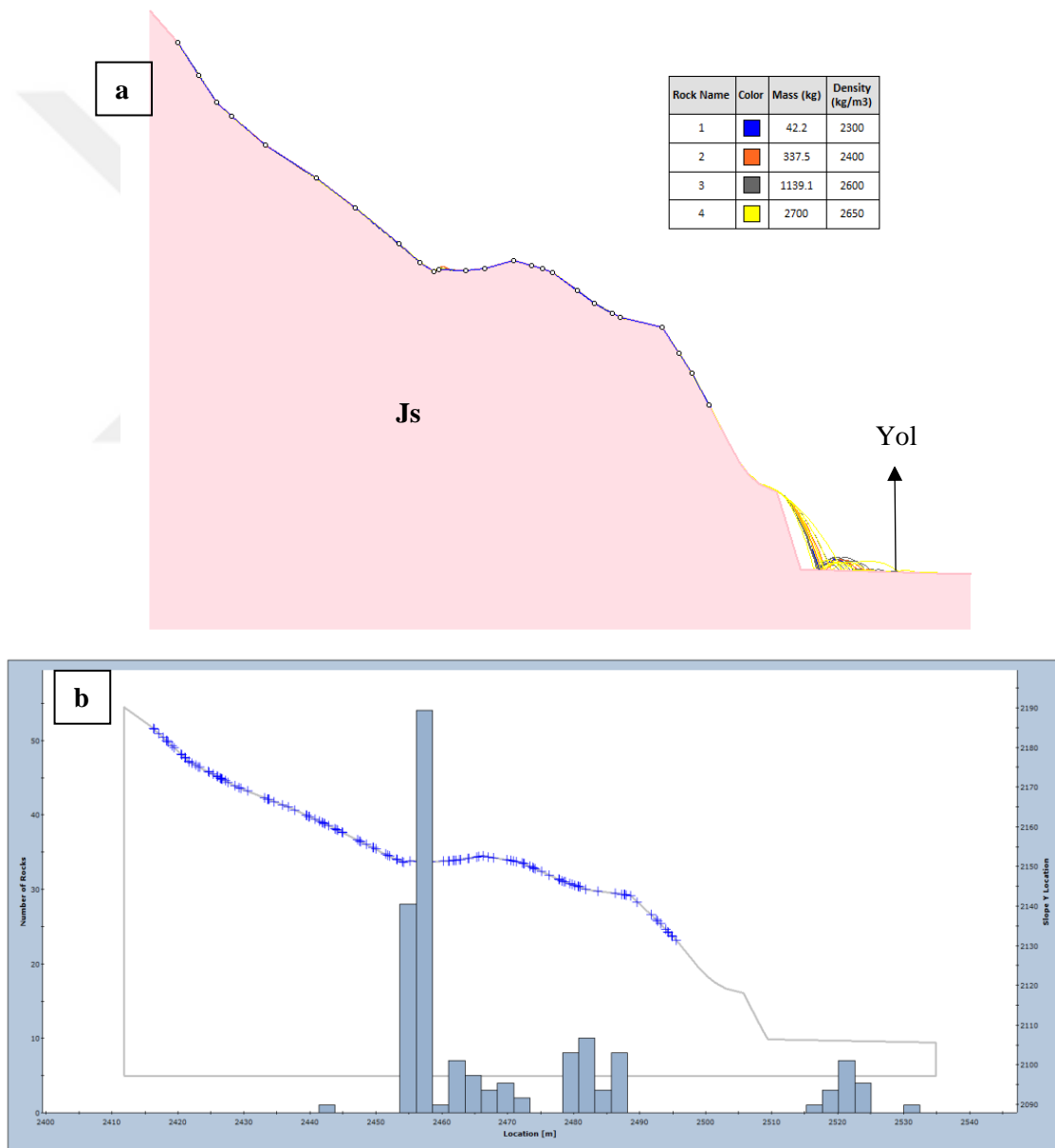
Çalışma sahası ve kesitlerin yer bulduru görseli Şekil 8.1.'de verilmektedir. 2 boyutlu kaya düşme analizleri, Şekil 5.7.'de belirtilen blok boyutları referans alınarak yapılmıştır. 50 cm'den küçük ebatlı olan kaya blokları mavi renkle, 50 cm civarında ebatlı olan kaya blokları turuncu renk ile, 50 cm – 100 cm arası ebatlarda olan kaya blokları gri renk ile son olarak 100 cm'den büyük ebatlı kaya blokları ise sarı renk ile analizlerde gösterilmiştir. Analizler Sebzeçiler granitoyidi içerisinde yer alan granodiyorit seviyeleri içerisinde gerçekleştirilmiştir.



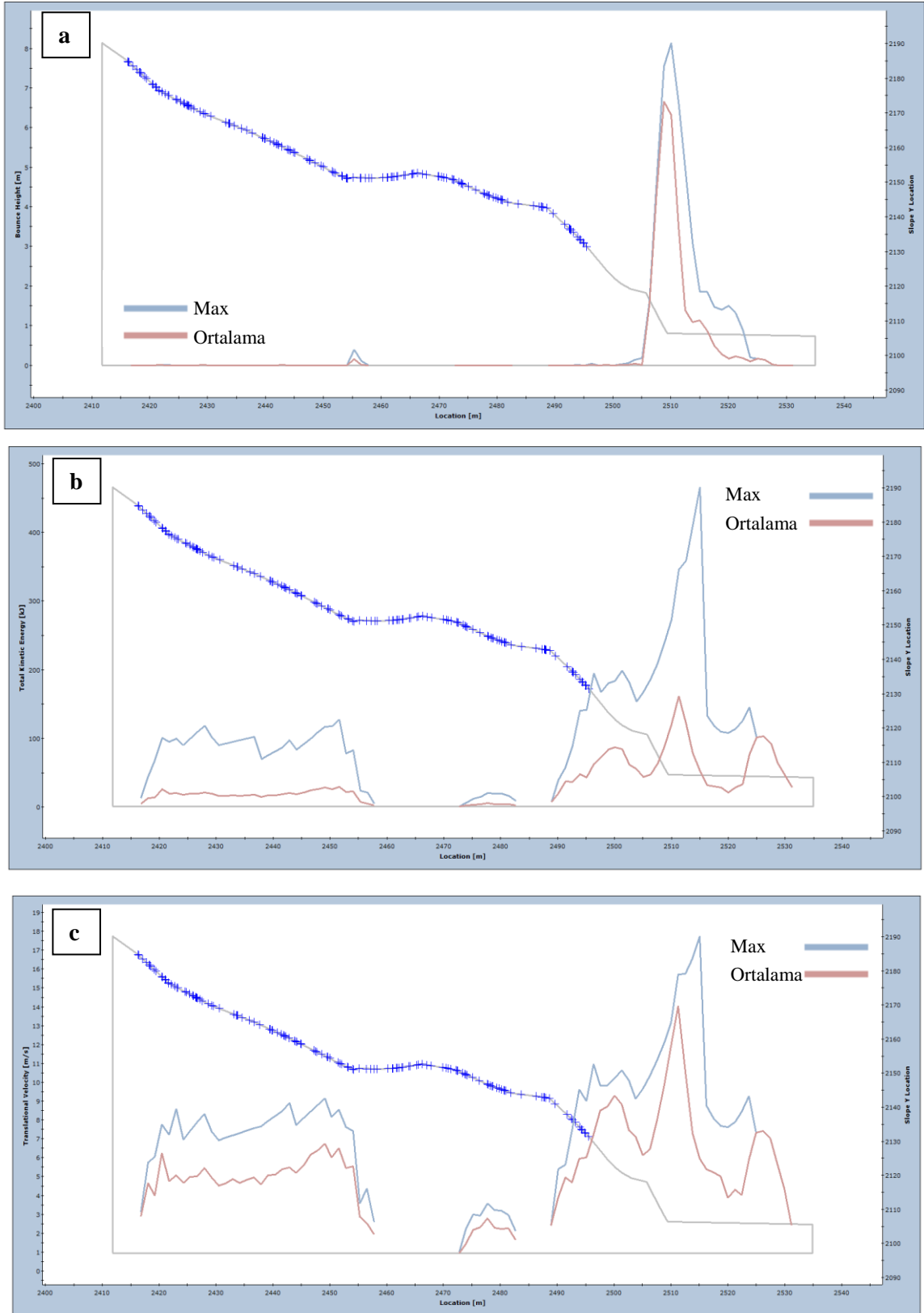
Şekil 8.1. Çalışma sahası ve kesitlerin yer bulduru görseli (Google Earth görüntüsü)

8.1.1. Sol Yamaç Kesiminde Yapılan 2B Kaya Düşme Simülasyonu

İlgili kesitte olayın tam olarak anlaşılabilmesi için 150 kaya bloğunun kaya düşmesi senaryosu kabul edilmiştir. Yapılan simülasyon da sıçrama ve yuvarlanma hareketlerinin olduğu gözlenmiştir. Tüm kaya bloklarına ait maksimum toplam kinetik enerji 525 kJ, maksimum hızları ise 18.81 m/sn olarak hesaplanmıştır. Kayaların ulaşabileceği en uzak mesafe (sönümlendiği nokta) 120 metredir. Sol yamaçta yer alan kesite ait analiz sonuçları Şekil 8.2. ve Şekil 8.3.'de yer almaktadır.



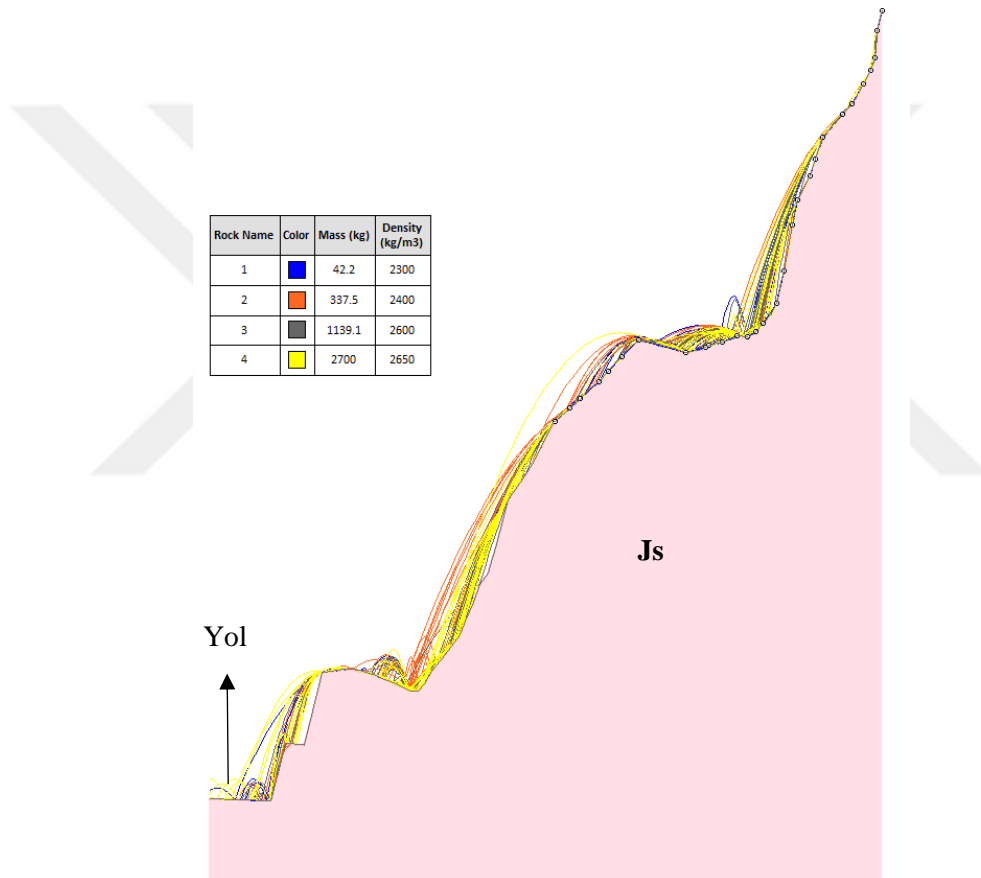
Şekil 8.2. a)Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu Analiz Profili görüntüsü b) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “End Location” histogramı (RocFall v8.0)



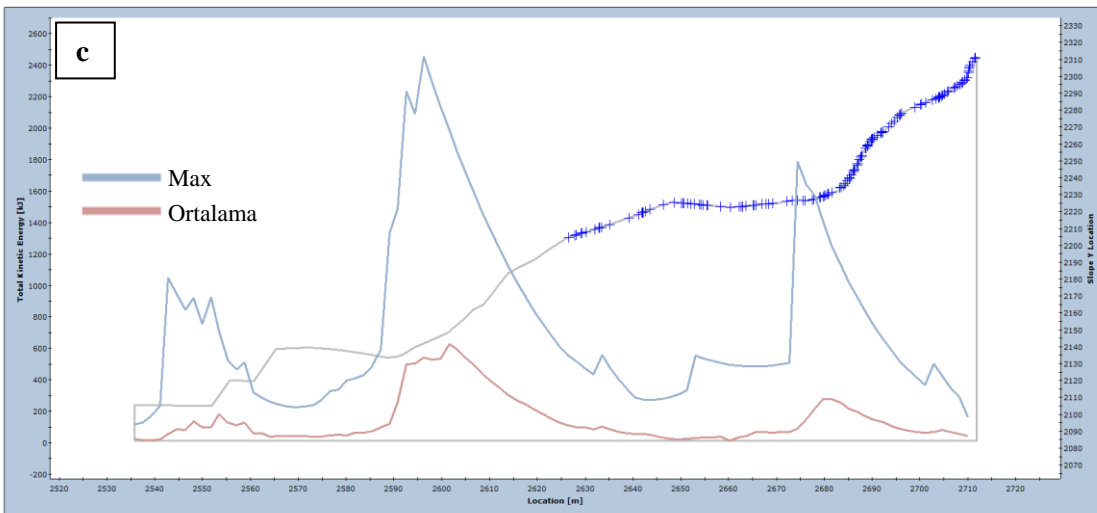
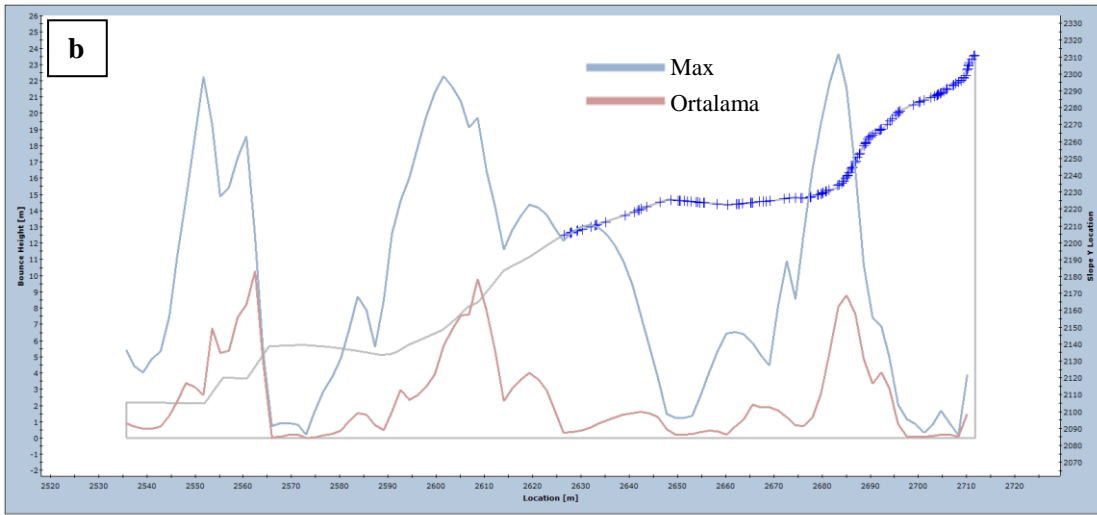
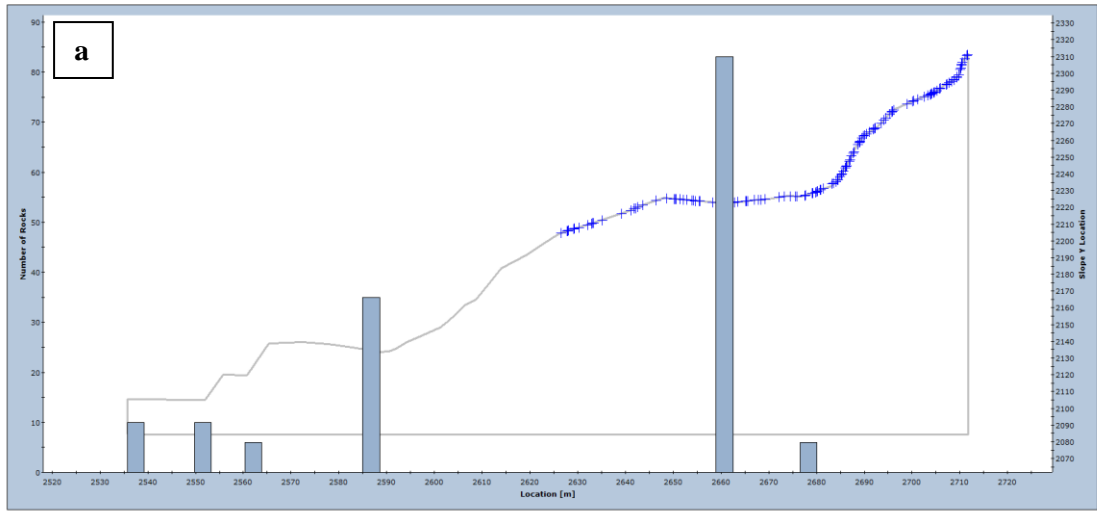
Şekil 8.3. a) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” histogramı b) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” histogramı c) Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” histogramı (RocFall v8.0)

8.1.2. Sağ Yamaç Kesiminde Yapılan 2B Kaya Düşme Simülasyonu

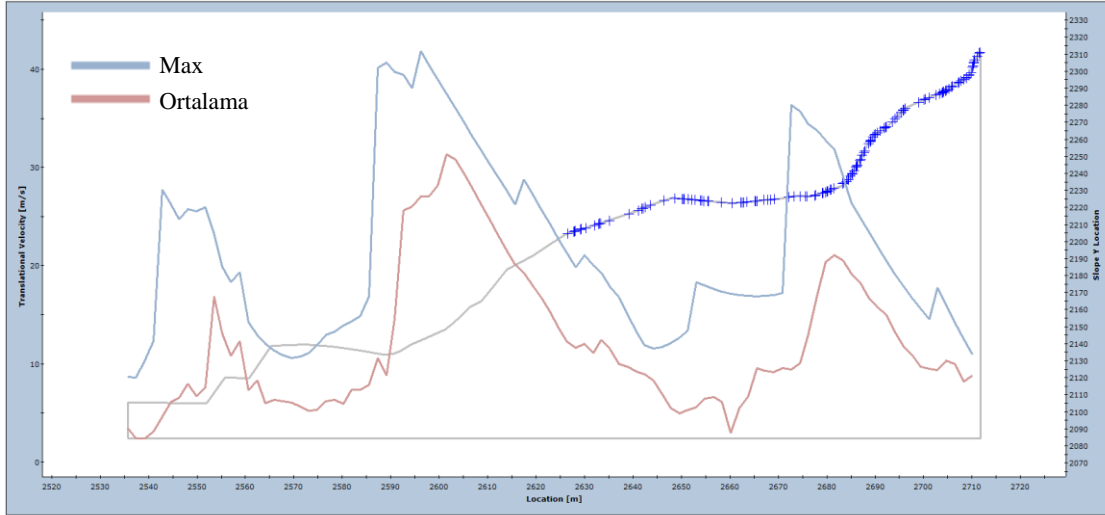
İlgili kesitte olayın tam olarak anlaşılabilmesi için sol yamaç kesiminde yapıldığı gibi 150 kaya bloğunun kaya düşmesi senaryosu kabul edilmiştir. Yapılan simülasyon da sıçrama ve yuvarlanma hareketlerinin olduğu gözlenmiştir. Tüm kaya bloklarına ait maksimum toplam kinetik enerji 2455 kJ, maksimum hızları ise 41.84 m/sn olarak hesaplanmıştır. Kayaların ulaşabileceği en uzak mesafe (sönümlendiği nokta) 180 metredir. Sağ yamaçta yer alan kesite ait analiz sonuçları Şekil 8.4., Şekil 8.5. ve Şekil 8.6.'da yer almaktadır.



Şekil 8.4. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu Analiz Profili görüntüsü (RocFall v8.0)



Şekil 8.5. a) Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “End Location” histogramı b) Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” histogramı c) Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” histogramı (RocFall v8.0)



Şekil 8.6. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 2B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” histogramı (RocFall v8.0)

Rocfall v.7.0-v8.0 programlarında 2B olarak analizlenen çalışma sahasına ait kaya düşme afetine göre, düşen bloklar halihazırda devam eden Yusufeli Barajı Relokasyon yollarına ulaşacağı sonucu belirlenmiştir.

8.2. 3B Kaya Düşme Analizleri

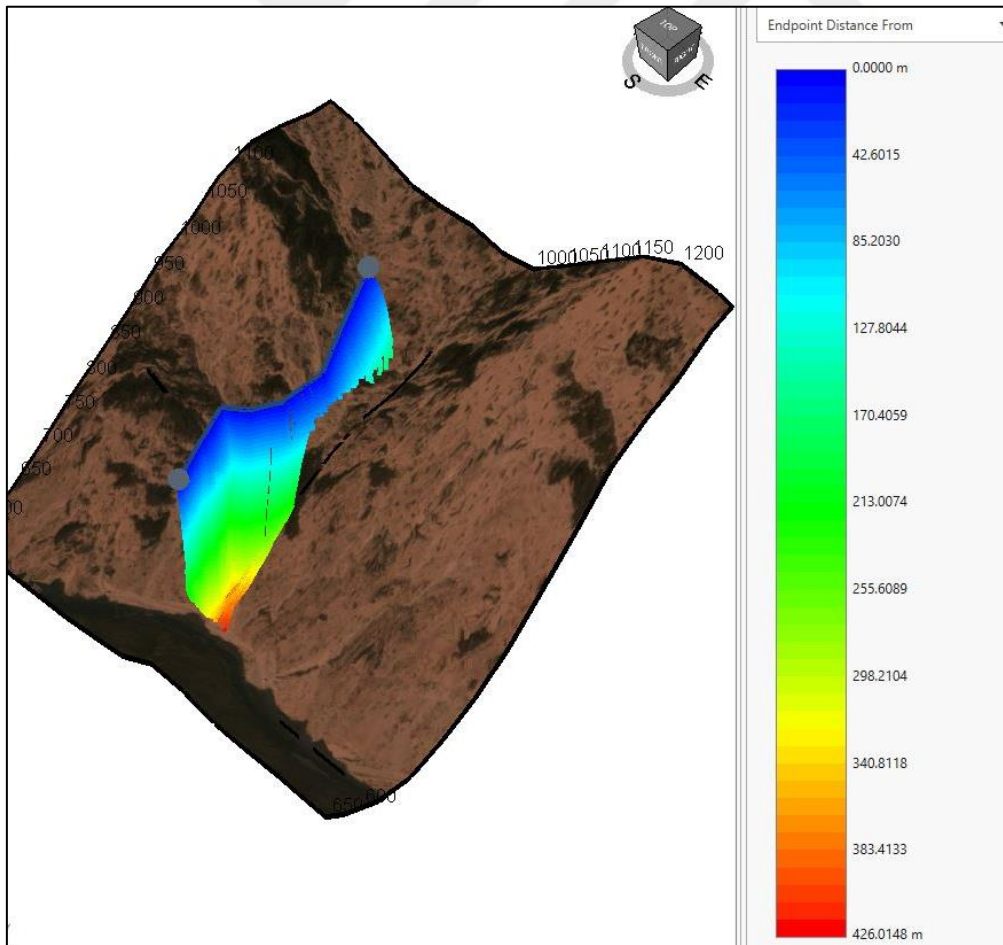
Topografyada yer alan yapılar (bina, köprü, tünel vb.), bitki örtüsü vb. detaylar kaya düşme analizlerini en çok etkileyen etmenlerden bazılarıdır. Düşen kaya blok parçalarının sönümlenme noktaları, toplam kinetik enerji, hız ve zıplama yüksekliklerini etkilemektedir.

İnceleme sahasında yapıların, arazi değişimlerinin net olarak ifade edilebilmesi, yuvarlanan veya seken kayaların rotalarının tam olarak ortaya koyulabilmesi için altlık olarak kullanılan haritanın yeterli olması gerekir. Bu çalışmada 3B kaya düşme analizi Rocfall3 programı kullanılması tercih edilmiştir. Programda yüzey Google earth satelite altlık olarak alınmış olup, harita konturları ise yüksek çözünürlükte olan arazi modeli ve eğim haritaları kullanılmıştır. Eğim haritaları yaklaşık 10° aralıklı olarak sınıflandırılmıştır. Sayısal altlıkların tamamı ITRF 96/WGS 84 projeksiyon sisteminde üretilmiştir.

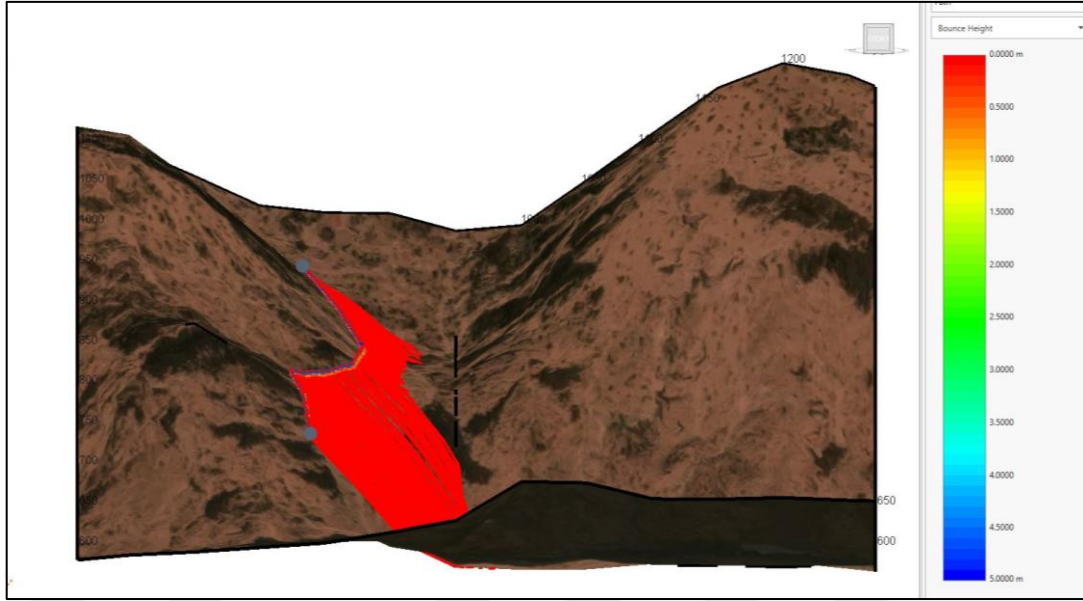
Bu çalışmada yapılan analizlerde karşılaştırılma yapılabilmesi için girdi parametreleri her iki programda da aynı şekilde verilmiştir.

8.2.1. Sol Yamaç Kesiminde Yapılan 3B Kaya Düşme Simülasyonu

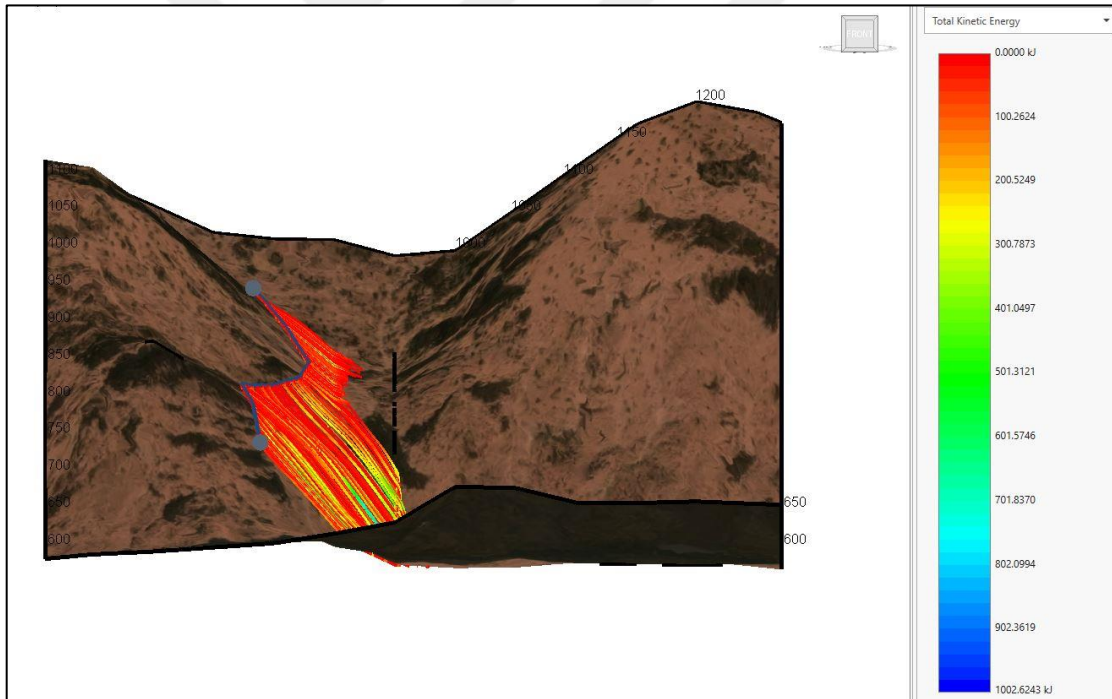
Yusufeli ilçesinde yer alan çalışma alanında sol yamaç kesiminde seçilen 3B1 hattı için 150 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanmıştır. 3B1 hattı üzerindeki 150 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3B analiz sonucunda granodiyorit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği blokların en fazla 450 m. civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin 0 m. – 5 m. arasında olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 3,57 kJ – 1002,62 kJ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. 3B1 hattı için yapım aşamasında olan Yusufeli Baraj Yolları için yüksek tehlike oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 8.7. - Şekil 8.10.).



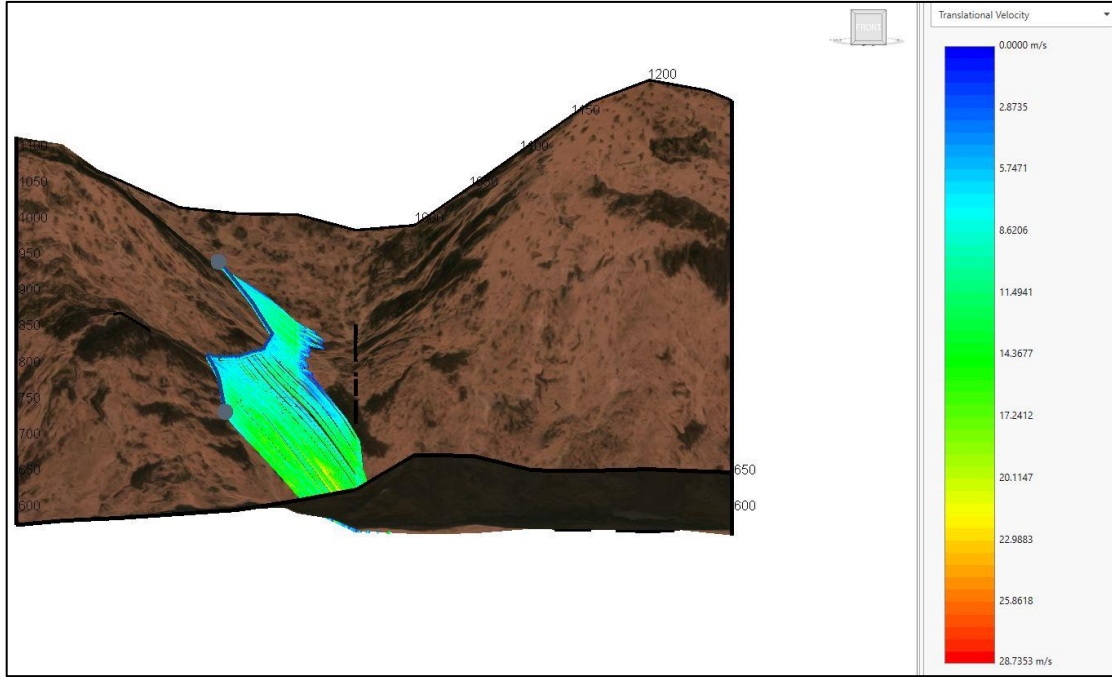
Şekil 8.7. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “EndPoint Distance From” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3)



Şekil 8.8. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).



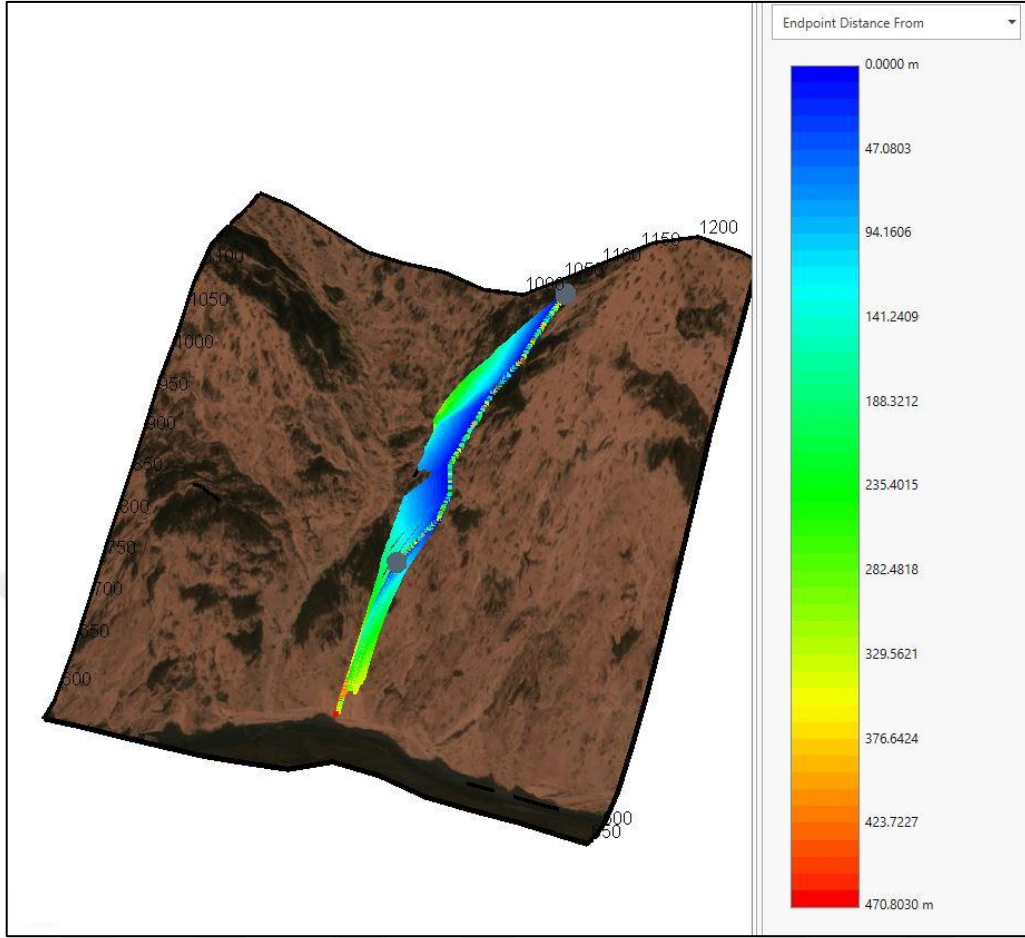
Şekil 8.9. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).



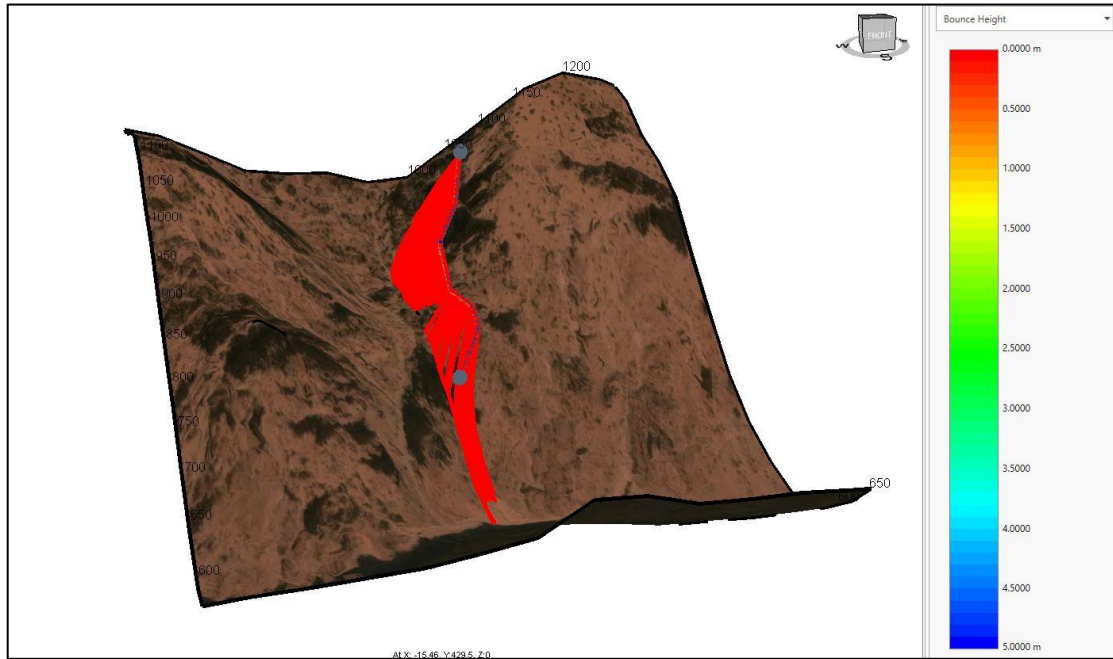
Şekil 8.10. Çalışma sahası sol yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).

8.2.2. Sağ Yamaç Kesiminde Yapılan 3B Kaya Düşme Simülasyonu

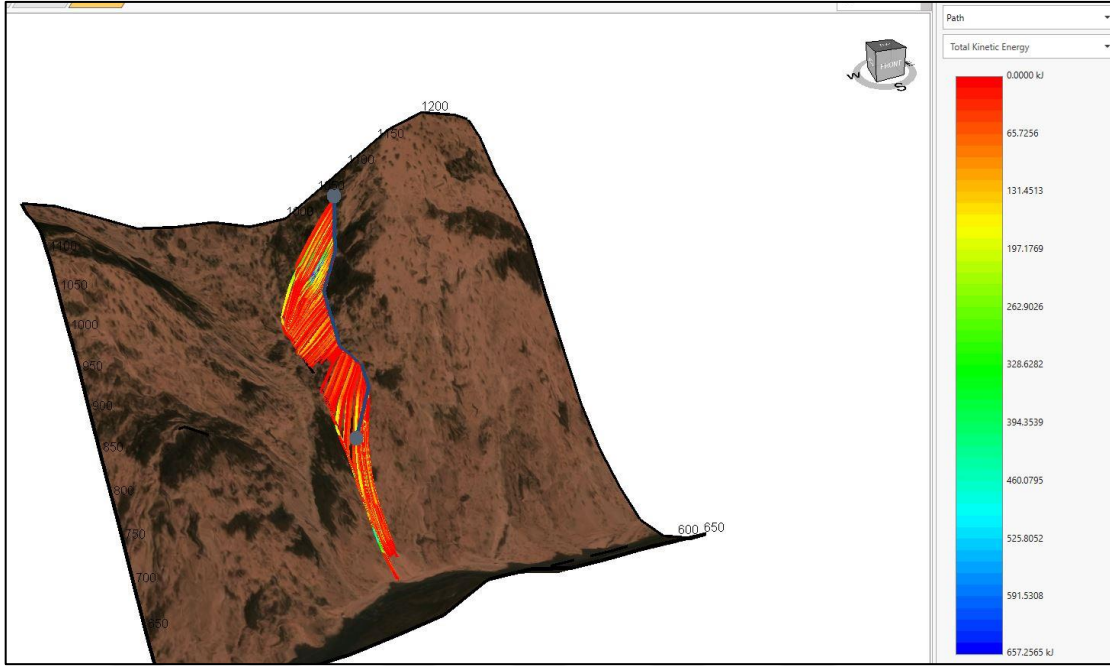
Yusufeli ilçesinde yer alan çalışma alanında sol yamaç kesiminde seçilen 3B2 hattı için 150 adet düşebilir kaya bloğu tanımlanmıştır. 3B2 hattı üzerindeki 150 adet kaya bloğu üzerinde yapılan 3B analiz sonucunda granodiyorit bloklarının drenaj ağları boyunca hareket ettiği blokların en fazla 470 m. civarında bir yayılım gösterdiği, sıçrama yüksekliğinin 0 m. – 5 m. arasında olduğu ve yuvarlanan blokların oluşturduğu kinetik enerjinin 3,57 kJ – 1216,08 kJ arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. 3B2 hattı için de 3B1 Hattında olduğu gibi yapım aşamasında olan Yusufeli Baraj Yolları için yüksek tehlike oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 8.11. - Şekil 8.14.).



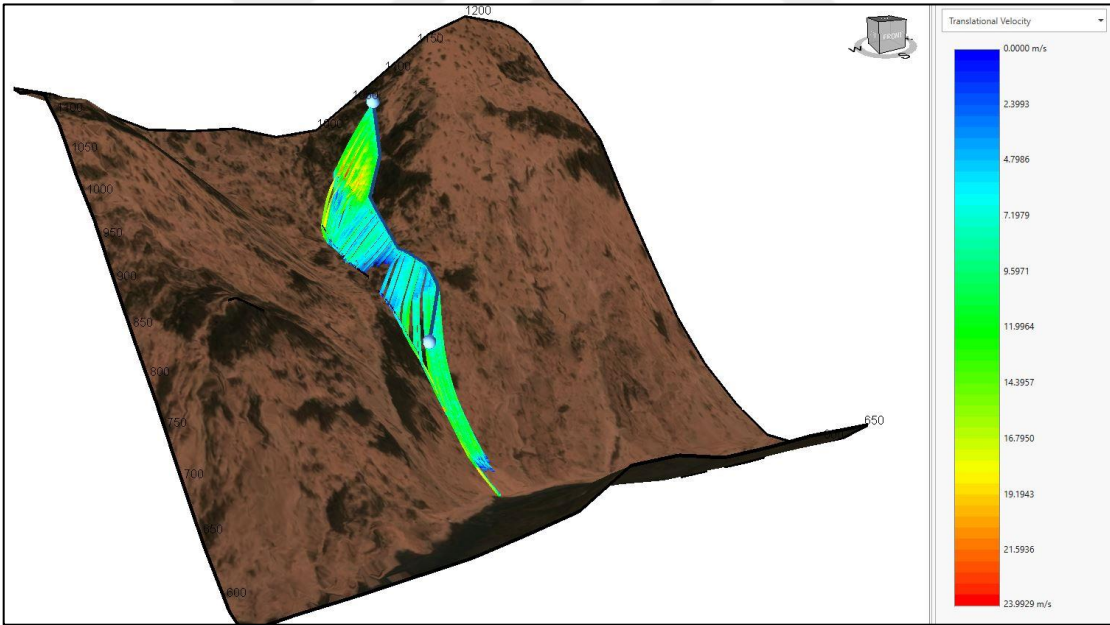
Şekil 8.11. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “EndPoint Distance From” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3)



Şekil 8.12. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Bounce Height” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3)



Şekil 8.13. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Kinetic Energy” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3).



Şekil 8.14. Çalışma sahası sağ yamaç şevine ait 3B analiz kaya düşme simülasyonu “Velocity” çizelgesi ve Plan Görüntüsü (RocFall3)

8.3. 2B ve 3B Analizlerin Yorumlanması

RocFall V7.0-V8.0 programında yapılan 2B kaya düşme analizleri ile RocFall 3 programında yapılan 3B kaya düşme analizleri karşılaştırılırken 4 değer üzerinden kıyaslama yapılmıştır. Bu değerler; düşen kaya bloğunun hızı (m/s), zıplama yüksekliği (m), total kinetik enerji (kJ), sönümlenme uzaklığı (m)'dir. Çizelge 8.1.'de de gözlendiği üzere aynı ortam şartlarında 2B ve 3B analizler arasında değer farklılıkları gözlenmiştir.

Çizelge 8.1. 2B ve 3B Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılmasına Ait Çizelge

Değerler	2B Sol Yamaç	3B Sol Yamaç	2B Sağ Yamaç	3B Sağ Yamaç
Hız (m/sn)	18,81	20,11	41,84	19
Zıplama Yüksekliği (m)	8,72	5	23	5
Total Kinetik Enerji (kJ)	525	1002	2455	1216
Sönümlenme Uzaklığı (m)	120	450	180	470

Yapılan analizler kıyaslanmış olup özet olarak durum şu şekildedir;

2B ve 3B sol yamaç kesiminde yapılan kaya düşme analizlerinde düşen kaya blok hızları neredeyse aynı sayılabilecek yakın değerlerde gözlenmiştir. Fakat diğer değerlerde (zıplama yüksekliği, total kinetik enerji ve sönümlenme noktaları) yakınlıktan bahsetmek mümkün değildir. Özellikle sönümlenme uzaklığı arasındaki fark çok fazla olup dikkat edilmesi gereken konulardan birisidir.

2B ve 3B sağ yamaç bölgesinde yapılan kaya düşme analizlerinde ise, sol yamaçtaki duruma göre iki analiz arasında ortak bir değer gözlenememiştir.

Fakat analiz sonuçları karşılaştırılırken sol yamaç kesiminde 3B analizler hız ve kinetik enerji değerlerinde daha yüksek değerler verirken sağ yamaç kesiminde ise 3B analizlerde tam tersi durum gözlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre üzerinde durulması gereken en önemli nokta; düşen kaya bloğunda meydana gelen yuvarlanma miktarının 3B modelde daha net veriler verdiği ortaya konmuştur. Yuvarlanan kaya bloklarının hangi güzergahı izleyeceği 3B analizlerde net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durum güzergahın hangi kesimlerine hangi desteklerin yapılmasına dair bize fikirler vermektedir.

2B kaya düşme analizlerinin avantajları:

RocFall v7.0-v8.0 programında analizler 3B analizlere göre daha hızlı uygulanabilmektedir.

Mevcut yüzey ile kesitler kolay oluşturulabilir ve analizlenebilirler.

3B analizlerde olduğu gibi sönümlenme noktası (endlocation), hız, kinetik enerji, sıçrama yükseklikleri belirlenebilmektedir.

2B analizlerde tek kaya bloğunun düşürülmesinin yanında birden fazla kaya bloğu da düşürülebilmektedir.

2B kaya düşme analizlerinin dezavantajları ise;

3B analizlerinin en önemli özelliklerinden birisi olan düşen veya yuvarlanan kaya bloklarının saçılımları net olarak ortaya konulamamaktadır.

Düşen veya yuvarlanan kaya bloklarının düşme/yuvarlanma hattı net olarak ortaya konulamamaktadır.

3B kaya düşme analizlerinin avantajları:

Düşen veya yuvarlanan kaya bloklarının saçılımları net olarak ortaya konulabilmektedir.

Kaya bloklarının saçılımlarına bakılarak hangi kesimde hangi desteğin yapılacağına daha hızlı ve kolay karar verilebilir.

2B analizlerde olduğu gibi sönümlenme noktası (endlocation), hız, kinetik enerji, sıçrama yükseklikleri belirlenebilmektedir.

3B kaya düşme analizlerinin dezavantajları ise;

Çalışma alanının yüzeyi hazırlanırken ayrıntılı ve doğru hazırlanmalıdır. Yüzey doğru ve yeteri kadar ayrıntılı olmaz ise analiz çıktıkları da doğru bilgileri yansıtmaz.

2B analizler kadar hızlı analiz yapılamaz.

Çalışma alanında kaya düşmesi tespit edilen kesimlerde, kaya düşme probleminin can ve mal kaybına yol açmaması için birçok yöntem önerilebilir. Bu yöntemlerin başlıcaları; kaya şevinin güçlendirilmesi (kaya bulonu, ankraj vb.), tel / çelik ağlar, blok temizliği, hendek, kaya tutma alanlarının açılması, bariyerler ve son olarak kaya koruma galerileridir.

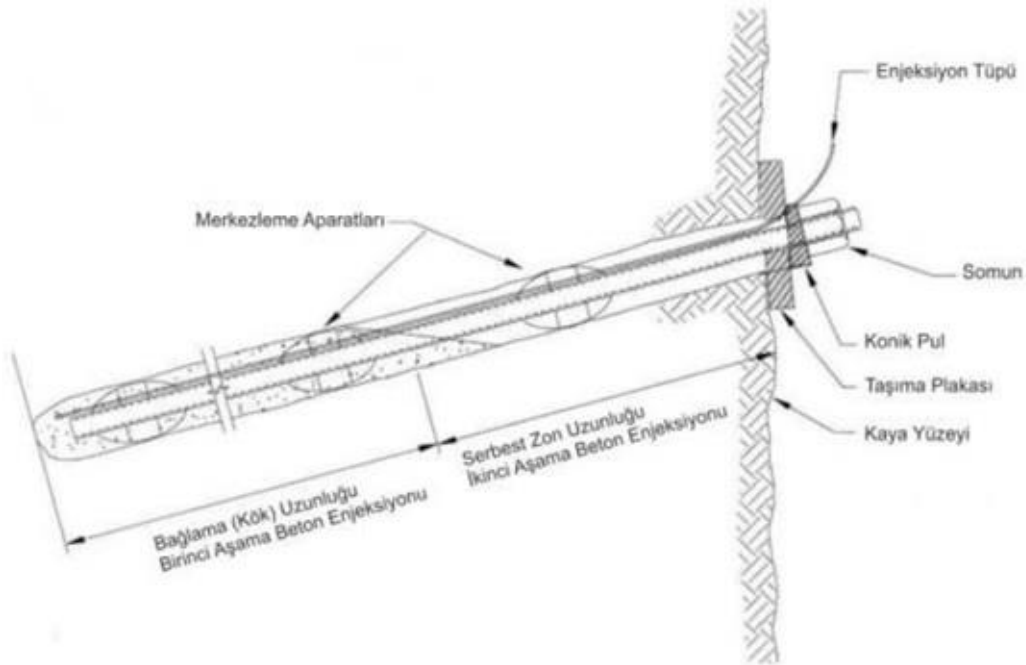
Önerilen önlemlere ait örnek görseller aşağıda verilmektedir (Şekil 8.15.-Şekil 8.25.).



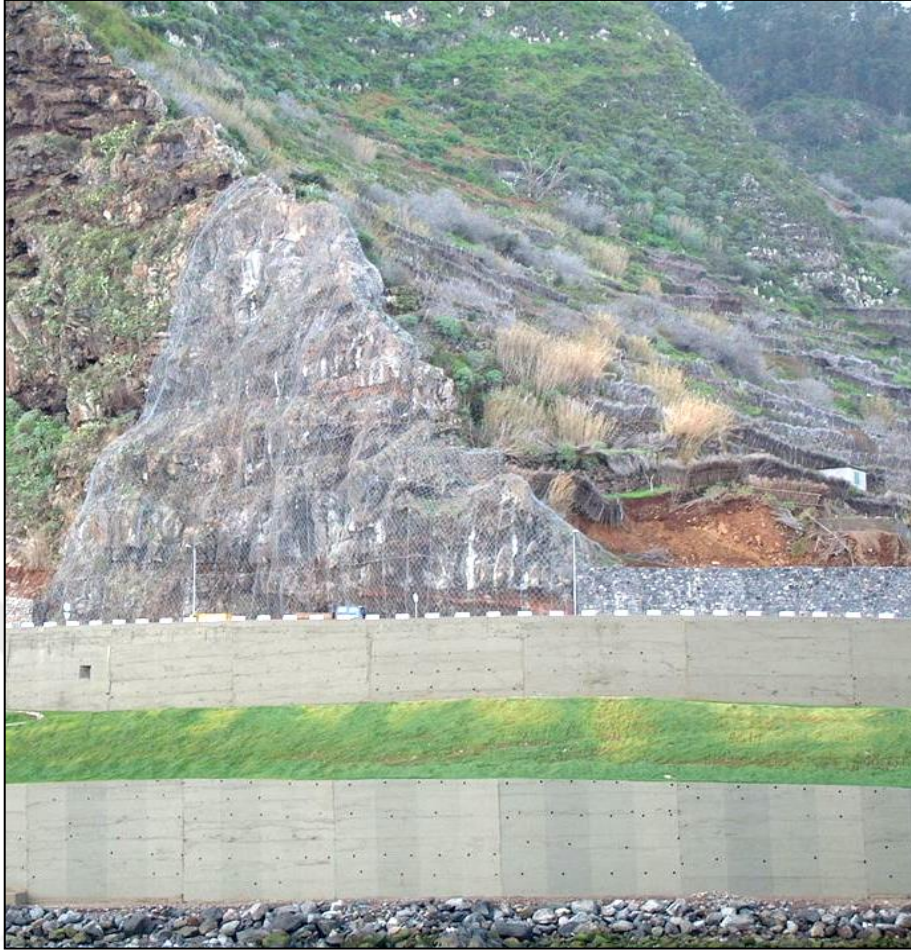
Şekil 8.15. Blok Temizliği (Maccaferri 2012)



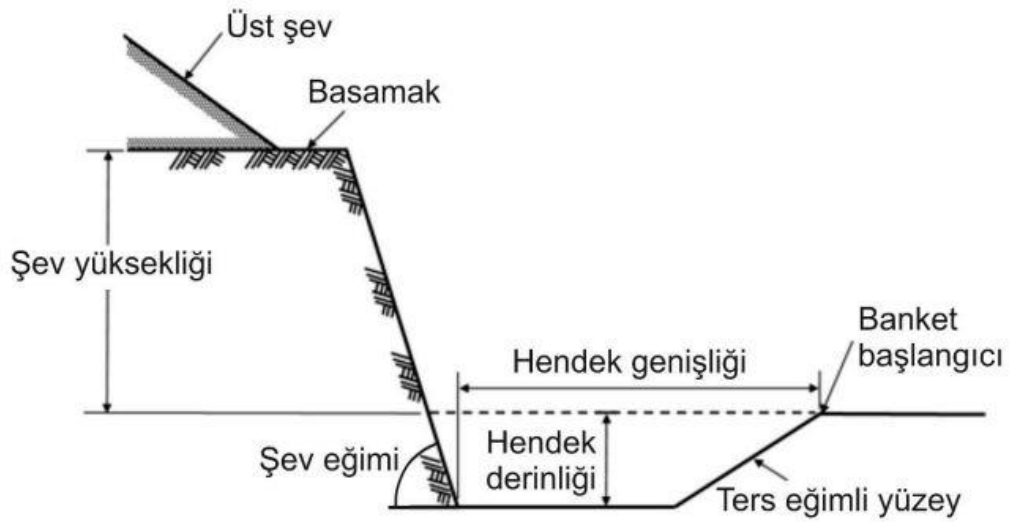
Şekil 8.16. Kaya kütleinin güçlendirilmesi için kaya bulonu uygulaması



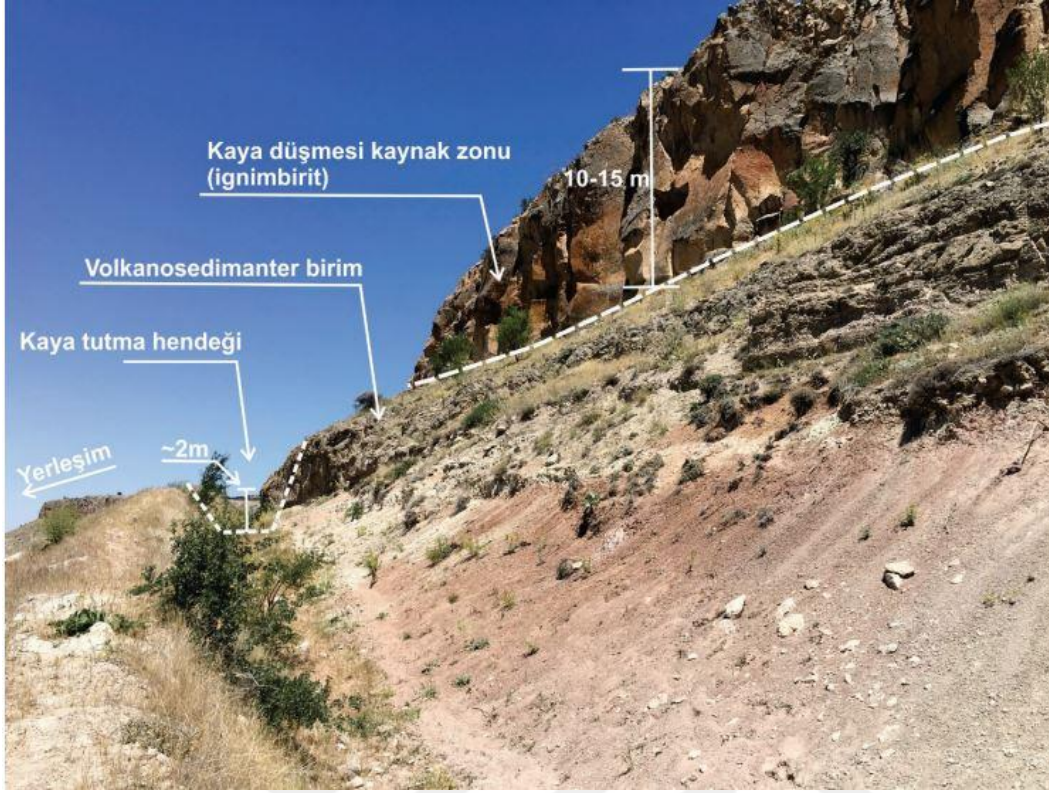
Şekil 8.17. Kaya bulonu uygulamasının şematik gösterimi (Andrew vd. 2011).



Şekil 8.18. Tel/Çelik Kafes uygulamasına ait görsel (Maccaferri, 2012).



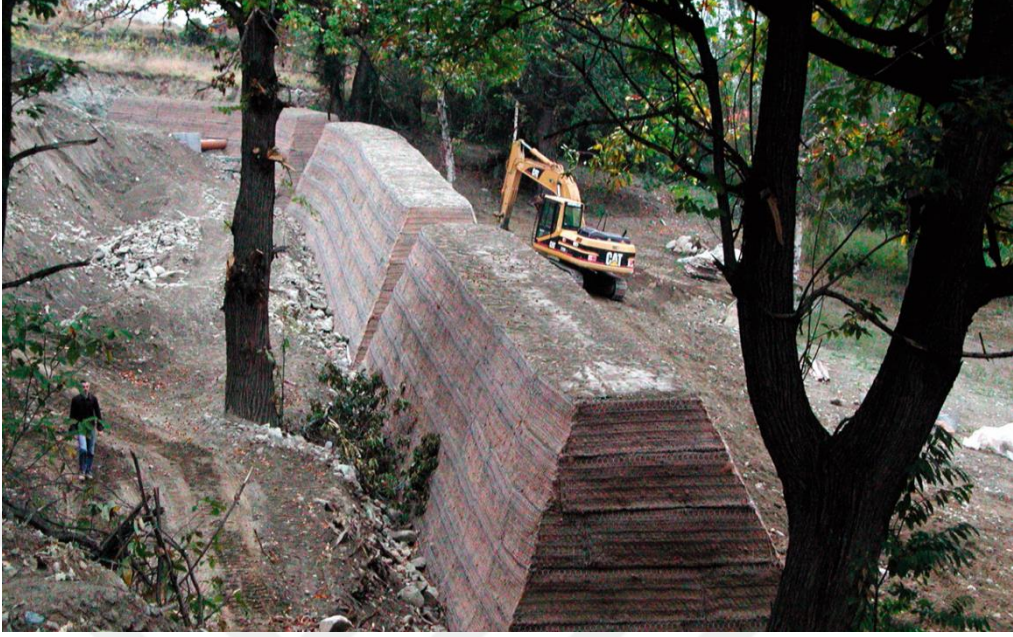
Şekil 8.19. Hendek yapısının uygulamasının şematik gösterimi (Turner ve Schuster, 2012).



Şekil 8.20. Hendek yapısının sahada görünümü (Akın M., vd., 2019).



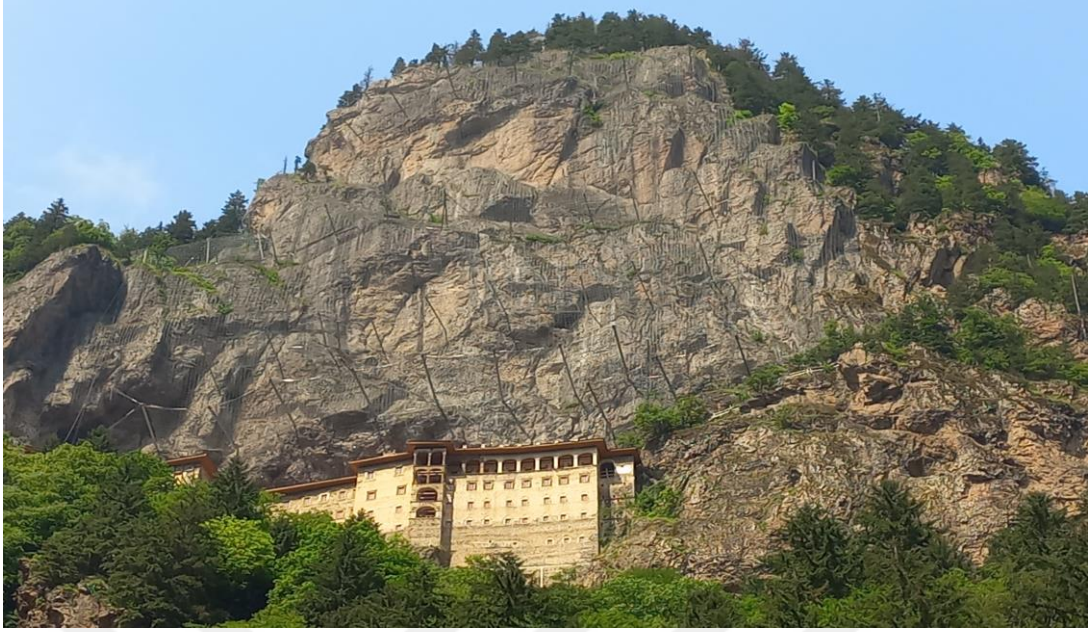
Şekil 8.21. Aç-Kapa yapısının yapım aşamasına ait görsel



Şekil 8.22. Sedde Tipi Bariyer Sistemi (Maccaferri, 2022).



Şekil 8.23. Kaya Bariyer Uygulamasına ait örnek bir görsel (Maccaferri, 2022).



Şekil 8.24. Kaya Bariyer Uygulamasına ait örnek bir görsel (Sümela Manastırı, Maccaferri, 2022).



Şekil 8.25. Adana-Pozantı yolunda kaya düşmesi problemini bertaraf etmek için uygulanan aç-kapa/ koruma yapısına ait görsel (Akın, 2021).

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma “Yusufeli Barajı Relokasyon Yolları” inşaatı kapsamında, halihazırda yapımı devam eden yolların kaya düşme probleminin 2B ve 3B olarak değerlendirilmesi ve yapılan analizlerin karşılaştırılması amacı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlar ve öneriler şu şekildedir;

Çalışma alanı ve çevresinde, Jura ile Kuvaterner yaşları arasında değişen birimler yer almaktadır. Analizlerin yapıldığı Jura (Liyas – Dogger) yaşlı volkanik kayalar yer almaktadır. Bu volkanik kayalarda yer alan çatlaklardan, donma-çözünme etkisinden ve arazinin apik olması gibi sebeplerden dolayı kaya düşmeleri gerçekleşmektedir.

Çalışma alanının jeolojik – jeoteknik özelliklerini ortaya koyabilmek, analizlerde kullanılacak parametreleri oluşturabilmek ve veritabanını hazırlayabilmek amacı ile bir dizi araştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında; alanda sayısal ölçümler yapılarak topoğrafik haritalar elde edilmiştir. Analiz aşamasında söz konusu topoğrafik modelden önemli ölçüde yararlanılmıştır. Çalışma alanında jeolojik harita alım çalışmaları, düşen veya asılı kalan kayaların jeolojik özellikleri, eklem tabaka durumları, boyutları yapılan saha araştırma gezilerinde incelenmiş ve ilgili kesimde yer alan birimler hakkında net verilerin kullanılabilmesi için laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

Çalışma sahasında yapılan çalışmalar ve incelemeler sonucunda RocFall v7.0 – v8.0 programında 2B analizler ve RocFall 3 programında 3B analizler yapılmış, bloklara ait hız, kinetik enerji, uzaklık (end location) ve zıplama yükseklik dataları belirlenmiş, belirlenen datalar karşılaştırılmış ve 2B ile 3B boyutlu analizlerin artı eksileri ortaya konmuştur.

Çıkan sonuçlara göre;

2B analizler ile 3B analizler çalışma alanında sağ ve sol yamaçlarda gerçekleştirilmiştir.

Sol yamaç bölgesinde hız verisinin sonuçları yakın değerlerde çıkmıştır.

Total kinetik enerji, zıplama yüksekliği ve uzaklık/sönümlenme noktaları (end location) sonuçlarında benzerlik tespit edilmemiş, farklı değerler ortaya çıkmıştır.

Sağ yamaç bölgesinde ise hiçbir değerde ortak sonuç gözlenmemiştir.

2B ve 3B analiz sonuçlarında en göze çarpan sonuç yuvarlanma miktarıdır. 2B analizlerde yuvarlanmanın sadece alınan kesit üzerinde olduğu ve bu yüzeyde noktaların ortaya koyulduğu, 3B analizlerde ise yuvarlanan kaya bloklarının hangi güzergahı izleyeceği net bir şekilde gözlenmiştir. Bu durum güzergahta kaya düşmesinin kritik olabileceği noktaları belirlememizde ve hangi desteğin yapılacağına ait fikirler vermektedir.

3B analizlerin, 2B analizlere göre daha gerçekçi sonuçlar vermekte olduğu tespit edilmiştir. Fakat 3B analizlerden tam anlamıyla doğru verim alınabilmesi için yüzey modelinin dikkatli ve özenli bir şekilde alınması gerekmektedir.

Çalışma alanında karşılaşılan kaya düşme sorununa yönelik alınabilecek olası önlemler;

- Kaya bloklarının sağlam zemine/kayaya sabitlenmesi (kaya bulonu, ankraj vb.)
- Yüzeysel kaya düşmelerine karşı çelik ağ, tel, kaya tutucu ve yavaşlatıcı ağların yerleştirilmesi çözümleri,
- Askıda bulunan kaya bloklarının alınması,
- Yapılan/yapılacak analizler ile düşen kayaların yerlerini tespit edilmesi ve düşen blokları tutan hendek, kaya tutma alanlarının açılması,
- Bariyer, dayanma yapısı ve kaya koruma galerileridir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- AFAD., 2008. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Olay ve Zararlarının İl ve İlçelere Göre Dağılımı (Afet Türlerine Göre) Haritası, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- AFAD., 2014. Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması, Heyelan–Kaya düşmesi Temel Kılavuzu. T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara
- AFAD., 2020. Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri, Ankara.
- AFAD., 2021. İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Artvin İRAP, İl Afet Risk Azaltma Planı, Artvin.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Akın, M., Dinçer, I., Orhan, A., vd. 2019. Kaya Tutma Hendek Performansının 3-Boyutlu Kaya Düşme Analizleriyle Değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) Örneği
- Akın, M., Dinçer, İ., Ok, A.O., Orhan, A., vd. 2021. 3 Boyutlu Düşme Analizleri İçin Sayısal Yüzey Modellerinin Oluşturulmasında Nokta Bulutlarının Kullanımı
- Akın, M., 2021. Kaya Düşmelerinde Güncel Analiz ve İyileştirme Yöntemleri
- Aksoy, H. ve Ercanoğlu, M., 2006. Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using a rule-based fuzzy evaluation, Natural Hazards ve Earth System Science, 6, 941-954 2006.
- Andrew, R.D., Bartingale, D.R., Hume, H., 2011. Context Sensitive Rock Slope Design Solutions. Publication FHWA-CFL/TD-11.002. Central Federal Lands Highway Division. Lakewood, Colo., Jan.
- Beavis, F. C., 1985. Engirik Geology, Blackwell Publications.
- Bell, F.G., 1983. Engineering Properties of Soils and Rocks, 2nd Edition Butterworths.
- Blyth, F.G. ve Freither., 1987. A Geology for Engineers Arnold, London, 325 pp.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi, Deprem Tarihçesi
- Bozdağ, 2022. Doğal ve tarihi bir alanda kaya düşmesi tehlikesi değerlendirmesi; Eski Kilistra yerleşimi örneği Konya, Türkiye

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chandler, R.J., 1972. Lias Clay Weathering Processes and Their Effects on Shear Strength. *Geotechnique*. 22 pp 403-431.
- Crosta ve Agliardi 2003. High resolution three-dimensional numerical modelling of rockfalls
- Cruden, D. M. ve Varnes, D. J., 1996. Landslide types ve processes, in: *Landslides. Investigation ve Mitigation*, edited by: Tuner, A. K. ve Schuster, R. L., Special report of the Transportation Research Bra).
- Evans, S., 2002. Catastrophic landslides: effects, occurrence, ve mechanisms. Boulder, CO, Geological Society of America 412-422.
- Evans, S. G. ve Hungr, O., 1993. The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes, *Can. Geotech. J.*, 30, 620–636.
- Fookes, P.G., Dearman W.R. ve Franklin J. A., 1971. Some Engineering Aspects of Rock Weathering *Quar. J. Eng. Geology*, 4, pp. 139-185.
- Gökce, O., Özden, Ş., Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatiksel Dağılım Afet Bilgileri Envanteri. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı. Ankara.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing ve Monitoring: 1974-2006. Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM, R.Ulusay ve J.A.Hudson (Eds.), Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey,
- Guzzetti, vd. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques ve their application in a multi-scale study, Central Italy
- Hoek, E.,1987. Rockfall-a program in BASIC for the analysis of rockfall from slopes. Unpublished note, Golder Associates/ University of Toronto, Canada.
- Hoek, E., Bray, J., 1977. *Rock Slope Engineering*, Revised Second Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hutchinson, J.N. 1968. Mass movement In Fairbridge. R.Q. (Editor), *Encyclopedia of Geomorphology*: Reinhold Publishers, New York, pp. 688-695
- Hutchinson, J.N. 1970. A coastal mudflow on the London Clay cliffs at Beltinge, North Kent: *Geotechnique*. Vol. 20, pp. 412-438

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hutchinson, J. N., 1988. Morphological ve geotechnical parameters of landslide in relation to geology ve hydrogeology, in: 5th international symposium on landslides, Lausanne, edited by: Bonnard, C., A.A. Balkema, 1, 3–35.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring. Brown, E., Ed., Pergamon Press, Oxford.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization. In: Ulusay, R., Hudson, J.A. (Eds.), Testing and Monitoring: 1974-2006.
- Jaboyedoff, M., Dudt J.P., Labiouse V. 2005. An attempt to refine rockfall hazard zoning based on the kinetic energy, frequency ve fragmentation degree
- Kalender., A., 2017. Kargabedir Tepe (Ankara-Eskişehir Karayolu) Bölgesinin Kaya Düşmesi Duyarlılığının İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri Kullanılarak Konik Yayılım Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi
- Keskin., İ., 2013. Bir kentsel alandaki kaya düşmelerinin değerlendirilmesi: Boğaziçi önerği (Erzincan/Türkiye)
- Kırbaş, F., 2019. Kızılinler Mahallesi (Tepebaşı, Eskişehir) Çevresindeki Kaya Düşmesi Duraysızlıkların Araştırılması ve Çözüm Önerileri
- Konak, N., Ercan, T. ve Bilgin, Z. R., 1991. Artvin – Oltu arasındaki Jura öncesi kayaların tanımı ve yapısal özellikleri. Ankara Üniversitesi, Suat Erk Jeoloji Sempozyumu, Bildiri Özleri.
- Konak, N. ve Hakyemez, H. Y., 2001. Tectonic units of the easternmost part of the Pontides: Stratigraphical ve structural implications. Dennen, A. S., Toksoy, F. ve Yılmaz, E. (ed). In: Proceedings of the 2nd Int. Symp. on the Petroleum Geology ve Hydrocarbon Potential of the Black Sea Area, 93 – 103, Turkish Association of Petroleum Geologists, Spec. Publ. 4.
- Konak., N., Hakyemez. H.Y., 2009. Türkiye Jeolojisi Haritaları Tortum – G47 Paftası, MTA Yayını, Ankara
- Konak, N., Okay, A. İ. ve Hakyemez, H. Y., 2009. Tectonics ve stratigraphy of the Eastern Pontides. 2nd international Symposium on the Geology of the Black Sea Region. Field Trip Guide Book, 9th – 14th October 1009. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü ve TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. 120s.
- Korkmazer., B., Tortum – G47 - Jeoloji Haritası Paftası, 1 / 100 000 MTA Yayını, Ankara

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Maccaferri (2012) Slope mesh design software, BIOS ve Mac.Ro1. Maccaferri S. p. A., Bologna, Italy
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2009, 1 / 100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Tortum G47 Paftası, Ankara.
- Ollier, C.D., 1969. Weathering Oliver & Boyd Edinburgh.
- Richards, L.R., 1972. Classification of Weathering of Near Surface Jointed Rock. PhD Thesis, Royal School of Mines. Imperial College, London , England, 165 P.
- Rocscience 2002. RocFall software for risk analysis of falling rocks on steep slopes. Rocscience user's guide
- Rocscience (2022) RocFall 7.0 - Statistical Analysis of Rockfalls (Yüksel Proje Lisans)
- Rocscience (2022) RocFall 8.0 - Statistical Analysis of Rockfalls (Yüksel Proje Lisans)
- Rocscience (2022) RocFall3 - Statistical Analysis of Rockfalls (Free Trial Version)
- Şengör, A.M.C., Yılmaz Y. ve Ketin İ., 1980. Remnants of a Pre-Late Jurassic ocean in Northern Turkey; Fragments of Permian-Triassic Paleo-Tethys. Geol. Soc. Amer. Bull., 91/1, 599-609.
- Şengör, A.M.C. Yılmaz Y. ve Sungurlu O., 1984. Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: Nature ve evolution of the western termination of Paleo-Tethys, The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean.
- Topal, T., Akin, M. K., Akin, M., 2012. Rockfall hazard analysis for an historical castle in Kastamonu (Turkey). Natural Hazards 62, 255-274.
- Turner, A.K., Schuster, R.L., 2012. Rockfall Characterization and Control, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., 658 p.
- Tüdeş, Ş., 2001. Gümüşhane kenti ve yakın çevresinin yerleşime uygunluk açısından araştırılması. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 203.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:38
- Ünver, B., 1995. Kayaların Bozunma Özelliklerinin Yerüstü Kazıları ve Yeraltı Açıklıklarının Duyarlılığına Etkisi
- Varnes, D.J., 1978. Slope movements: types ve processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J.(Eds.), Landslide Analysis ve Control. Transportation Research Board, Special Report No. 176, Washington, DC, p. 11-33.
- Varnes, D.J., 1984, Landslide hazard zonation: a review of principles ve practice, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., L. Dorren, K.A., Gerber, W, and Jaboyedoff, M., 2011. Rockfall characterisation ve structural protection – a review, *Natural Hazards Earth System Sciences*,11, 2617–2651.
- Wang, X., Zou, L., Shen, X., Ren, Y., Qin, Y., 2017. A regiongrowing approach for automatic outcrop fracture extraction from a three-dimensional point cloud. *Computers ve Geosciences* 99, 100–106.
- Wyllie, D.C., 2015. *Rock Fall Engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group. 270 pp.
- Yasin, D., 2012. Porsuk Havzası (Eskişehir) Yeraltısularında Mevsimsel ve Depremselliğe Bağlı Hidrojeolojik Değişimlerin Araştırılması
- URL-1. 2022. Artvin ili Yusufeli ilçesi ortalama nem değerleri, www.mgm.gov.tr, erişim tarihi: 28 Ekim 2022
- URL-2. 2022. Artvin ili Yusufeli ilçesi ortalama sıcaklık ve yağış değerleri, www.meteoblue.com, erişim tarihi: 20 Ekim 2022