

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YEDİGÖL KÖYÜ (İSPİR/ERZURUM) VE ÇEVRESİ KAYA DÜŞME
TEHLİKESİNİN 2 VE 3 BOYUTLU MODELLERLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Fatma ARSLANTÜRK

MART 2022
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YEDİGÖL KÖYÜ (İSPİR/ERZURUM) VE ÇEVRESİ KAYA DÜŞME
TEHLİKESİNİN 2 VE 3 BOYUTLU MODELLERLE ANALİZİ**

Fatma ARSLANTÜRK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
“JEOLJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16/02/2022
Tezin Savunma Tarihi : 16/03/2022**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan ERSOY

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

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

Tez danışmanı olarak çalışmanın tüm aşamasında bilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmanın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayarak karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olan Sayın Prof. Dr. Hakan ERSOY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında destek olan, bilgi, eleştiri ve önerileriyle yönlendiren Arş. Gör. Murat KARAHAN'a ve Jeoloji Mühendisi Esin DURMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması sırasında göstermiş olduğu maddi, manevi her türlü fedakârlığı için, aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Fatma ARSLANTÜRK
Trabzon, 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yedigöl Köyü (İspir/Erzurum) Ve Çevresi Kaya Düşme Riskinin 2-3 Boyutlu Modellerle Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hakan ERSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 16.03.2022

Fatma ARSLANTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VI I
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	8
1.3. Coğrafik Durum	9
1.4. Bölgesel Jeoloji	11
1.5. Çalışma Alanı ve Çevresinin jeolojisi	13
1.6. Deprem Durumu	15
1.7. Kaya Düşmesi Kavramı ve Kaya Düşmelerinde Hareket Tipleri	15
1.8. Kaya Düşmelerinde Kaynak Zonu ve Yuvarlanma Zonu	17
1.9. Kaya düşmelerine neden olan faktörler.....	17
1.10. Kaya Düşmelerinde İyileştirme Yöntemleri.....	18
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	22
2.1. Çalışma Alanındaki Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ve Meydana Gelmiş Vakaların İrdelenmesi	22
2.2. Arazi Çalışmaları	24
2.3. Laboratuvar Deneyleri	25
2.3.1. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Ölçümü (Kompas Yöntemiyle)	25
2.4. Proje Alanının Kaya Düşme Riski Sınıflama Sistemine Göre Değerlendirilmesi	27
2.5. Jeoteknik Birimlerin/Bölgelerin Tanımlanması ve Hareket Türlerinin Tespit Edilmesi	31
2.6. Hareket Etmesi Olası Blokların ve Özelliklerin tespit Edilmesi	33
2.6.1. Birinci Bölge	33
2.6.2. İkinci Bölge	41
2.6.2. Üçüncü Bölge	45

2.7.	Sayısal Yüzey ve Yükseklik Modelinin Oluşturulması	47
2.8.	İki Boyutlu Analizler için Kesitlerin Hazırlanması	48
2.9.	Üç Boyutlu Modelin Kurulması	50
2.10.	İki ve Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizleri	54
3.	BULGULAR	60
3.1.	Bir Numaralı Bölge için Önerilen Kaya Islah Yöntemleri ve 2-3 Boyutlu Analizlerin Yorumlanması	60
3.2.	İki Numaralı Bölge için Önerilen Kaya Islah Yöntemleri ve 2-3 Boyutlu Analizlerin Yorumlanması	65
3.3.	Üç Numaralı Bölge için Önerilen Kaya Islah Yöntemleri ve 2-3 Boyutlu Analizlerin Yorumlanması	67
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
5.	KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

YEDİGÖL KÖYÜ (İSPİR/ERZURUM) VE ÇEVRESİ KAYA DÜŞME TEHLİKESİNİN 2-3
BOYUTLU MODELLERLE ANALİZİ

Fatma ARSLANTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan ERSOY

2022, 81 Sayfa

Bu çalışma kapsamında Erzurum ili İspir ilçesi Yedigöller köyünün Kuzey yamacında bulunan köy için tehlike arz eden kayaların olası hareketi sonucu oluşacak olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmış, yapılan bu çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak önleme ve koruma yöntemleri önerilmiştir. Koruma yapılarının özellikleri, boyutları ve performansı RocFall ve RocPro3D yazılımı kullanılarak 2 ve 3 boyutlu analizlerle tespit edilmiştir. Analizlerde hareket etmesi olası blokların bariyere/hendeğe çarpma hızı, enerjisi ve çarpma yükseklikleri tespit edilmiştir. Çalışma alanı litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak 3 ayrı jeoteknik bölgeye ayrılmış ve bu bölgeler ayrı ayrı çalışılmıştır. Çalışma kapsamında her bölge için koruma ve önleme yöntemleri ile bütünlük bir ıslah yapılması önerilmiştir. Birinci ve üçüncü bölgedeki kaya ıslah çalışmaları için yamaç diplerine yakalama hendekleri, vadi içlerine çelik bariyerler, büyük blokların kimyasal kırıcılar ile kırılması, üçüncü bölgede kırılmayacak kadar büyüklükte blokların ise çelik ağ ile sarılması önerilmiştir. İkinci bölge için ise yamaç dipleri boyunca çelik bariyer konulması önerilmiştir. Koruma yapılarının özellikleri ve performansı 2 ve 3 boyutlu analizlerle tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda üst kotta 1.5 m, alt kotta 0.5 m derinliğinde ve 2.00 metre uzunluğunda kazılacak hendeklerin üst kotlardan yuvarlanması muhtemel 500 kg'lık blokları tuttuğu tespit edilmiştir. Çelik bariyerler birinci bölge için 14 ton ikinci bölge için 10 tonluk blokları tutacak şekilde tasarlanmıştır. Bariyerlere çarpacak blokların hız ve enerjileri 14 tonluk blok için maksimum 16 m/sn hızla, 2500 kJ enerji ile 10 tonluk blok için maksimum 26 m/sn hızla ve 4000 kJ enerji ile çelik bariyere çarptığı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kaya Düşmesi, İspir, Yedigöller, RocFall, RocPro3D

Master Thesis

SUMMARY

ANALYSIS OF THE ROCK FALL HAZARD OF YEDİGÖL VILLAGE (İSPİR/ERZURUM)
AND ITS SURROUNDING WITH 2-3 DIMENSIONAL MODELS

Fatma ARSLANTÜRK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Program
Supervisor: Prof. Dr. Hakan ERSOY
2022, 81 pages

Within the scope of this study, field and laboratory studies were carried out in order to eliminate the negative effects that may occur as a result of the possible movement of rocks, which are dangerous for the village located on the northern slope of Yedigöller village, İspir district of Erzurum, and prevention and protection methods were proposed by using the data obtained from these studies. The properties, dimensions and performance of the protection structures were determined by 2D and 3D analyzes using RocFall and RocPro3D software. In the analyses, the speed, energy and impact heights of the blocks that are likely to move to the barrier/ditch were determined. The study area was divided into 3 different geotechnical regions using classification systems based on lithology, origin and geotechnical features, and these regions were studied separately. Within the scope of the study, it has been proposed to make an integrated reclamation with protection and prevention methods for each region. For the rock reclamation works in the first and third regions, it has been suggested that rockfall ditches to excavated at the bottom of the slopes, steel barriers to be built inside the valley, large blocks to be shivered with chemical crushers, and the blocks that are large enough not to break in the third region to be wrapped with steel net. For the second region, it is suggested to build a steel barrier along the bottom of the slopes. The properties and performance of the protection structures were determined by 2 and 3-dimensional analysis. As a result of the analyzes, it was determined that rockfall ditches that are in depths of 1.5 m in higher elevations and 0.5 m in lower elevations with 2.00 m in length can hold the blocks of 500 kg, which are likely to be rolled from the upper elevations. Steel barriers are designed to hold blocks of 14 tons for the first zone and 10 tons for the second zone. The speed and energies of the blocks that will hit the barriers have been shown to hit the steel barrier with a maximum speed of 16 m/sec for a 14-ton block, a maximum of 26 m/sec for a 10-ton block with 2500 kJ and an energy of 4000 kJ.

Key Words: Rockfall, İspir, Yedigöller, Rocfall, RocPro3D

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Dünyada ve Türkiye’de meydana gelen doğal afetlerin dağılımı.....	2
Şekil 2. Çalışma Alanının Yerbulduru Haritası	10
Şekil 3. Türkiye’nin tektonik birliktelikleri ve Doğu Pontidlerin konumu	12
Şekil 4. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi	14
Şekil 5. Proje sahasının Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlikesi Haritasındaki konumu	15
Şekil 6. Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket şekilleri ve diğer morfolojik parametreler	16
Şekil 7. Kaya düşmelerinde iyileştirme (önleme ve koruma) yöntemleri	19
Şekil 8. Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları.....	20
Şekil 9. Çalışma konusu yamacın ve yamaç tabanında bulunan Yedigöller Köyüne ait uydu görüntüsü ve oyuntular	22
Şekil 10. Proje konusu yamaçta bulunan bloklar	23
Şekil 11. Tehlikeli bloklar için alınan yerel önlemler (sırasıyla; topuk tamponu, yığma taş,tel ağ ve beton tampon)	23
Şekil 12. Kaynak bölge, yuvarlanma bölgesi ve birikme bölgesi	24
Şekil 13. Bloktan numune alınması (a), örneklerin kesilmesi (b), örneklerin uçlarının düzeltilmesi (c) ve örneklerin etüve atılması (d).....	25
Şekil 14. Kaya Düşmesi Potansiyeline Göre 3 Farklı Bölgeye Ayrılmış Çalışma Sahası	32
Şekil 15. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan farklı boyutlardaki blokların görünümü	33
Şekil 16. Proje sahasında 1. Bölgede yoğun yapılaşmanın önünde bulunan ve kaya düşme riskinin azaltan tampon bölge ile doğu kesimde riskli bölgede bulunan yapılar	34
Şekil 17. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan oyuntular, oyuntularda görülen birkaç tonluk bloklar ve köylüler tarafından kaya düşmesi risklerini azaltmak için yapılan taş yığma yapılar	35
Şekil 18. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 1-10 numaralı bloklar	37
Şekil 19. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 11-20 numaralı bloklar	38
Şekil 20. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 21-30 numaralı bloklar	39
Şekil 21. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 31-34 numaralı bloklar	40
Şekil 22. Proje sahasında Birinci Bölgede bulunan ve blok hareketini sönümleyebilecek düzlük alan	40

Şekil 23.	Proje sahasında İkinci Bölgede bulunan farklı boyutlardaki blokların görünümü	41
Şekil 24.	Proje sahasında İkinci Bölge tabanında blok hareketinden doğrudan etkilenecek yapıların konumları	42
Şekil 25.	Proje sahasında ikinci bölgede dik falezlerin mevcut olduğu oyuntular ve oyuntularda görülen birkaç tonluk bloklar	43
Şekil 26.	Proje sahasında ikinci bölgede bulunan 35-40 numaralı alanlar (birden fazla blok)	44
Şekil 27.	Proje sahasında İkinci Bölgede bulunan 41, 42 numaralı alanlar (birden fazla blok) ve 43, 44 numaralı bloklar (son iki resim)	45
Şekil 28.	Proje konusu alanda Üçüncü Bölgenin dronla (üst fotoğraf) ve güneyden kuzeye doğru çekilmiş (alt fotoğraf) fotoğrafları	45
Şekil 29.	Proje sahasında Üçüncü Bölgede bulunan 45, 48 ve 49 numaralı alanlar (birden fazla blok) ve 46, 47 numaralı bloklar	46
Şekil 30.	Çalışma alanının DEM haritası (a) ve Ortofoto görüntüsü (b)	48
Şekil 30.	İki boyutlu analizlerde kullanılan kesit hatlarını gösterir harita	49
Şekil 31.	İki boyutlu analizlerde kullanılan 4 adet hatta ait kesitler	49
Şekil 32.	Çalışma alanına ait Ortofoto görüntüsü	50
Şekil 33.	RocPro3D yazılımında oluşturulan nokta bulutu (üst şekil) ve düzensiz üçgen ağı (TIN) (alt şekil)	51
Şekil 34.	Çalışma alanının 3 boyutlu katı modeli	52
Şekil 35.	RocPro3D yazılımında oluşturulan eğim haritası (üst şekil) ve yükseklik haritası (alt şekil)	53
Şekil 36.	Tasarlanan yakalama hendek geometrisinin 3 numaralı kesitte uygulanması ve hendek performansının değerlendirilmesi	54
Şekil 37.	Vadi içleri için yapılan 3 boyutlu analiz	55
Şekil 38.	Yamaçlar için yapılan 3 boyutlu analiz	56
Şekil 39.	Vadi içleri için önerilen çelik bariyer performansı için yapılan analiz	56
Şekil 40.	Yamaçlar için önerilen çelik bariyer-yakalama hendeği performansı için yapılan analiz	57
Şekil 41.	Yamaçlardan yuvarlanan 500 kg lık blokların enerji, hız ve yükseklik haritası	58
Şekil 42.	Vadilerden yuvarlanan 14000 kg lık blokların enerji, hız ve yükseklik haritası	59
Şekil 43.	Kesit 1,2 ve 3 numaralı hatlar boyunca yapılan 2 boyutlu kaya düşme analizi ve önerilen yakalama hendeklerinin performansı	61
Şekil 44.	Hendek performansının 3 boyutlu kaya düşme analizi ile değerlendirilmesi	61

Şekil 45.	3 boyutlu analiz ile vadi içlerine önerilen bariyerlerin performansının test edilmesi.....	63
Şekil-46.	4 numaralı çelik bariyerin için a) çarpma süresi, b) çarpma hızı, c) çarpma enerjisi ve d) bariyere çarptığı andaki yüksekliği)	63
Şekil 47.	İkinci bölgede bulunan vadi içindeki ve yamaç dibindeki çelik bariyerlerin performansının test edilmesi ve çeşitli haritaların üretilmesi ((a) Enerji, (b) Zaman, (c) Hız, (d) Çarpma anındaki yükseklik haritası)	66
Şekil 48.	Yamaç dibindeki ve vadi içindeki çelik bariyerlerin birlikte çalışması	67
Şekil-49.	4 nolu kesit hattı boyunca yapılan 2 boyutlu kaya düşme analizi ve önerilen yakalama hendeklerinin performansı.....	68
Şekil 50.	Üçüncü bölge için yapılan 3 boyutlu kaya düşme analizi sonuçları koruma yapıları modele işlenmeden önce (a) ve koruma yapıları modele işlendikten sonra (b)	69
Şekil 51.	Çelik halat ve çelik halat kafasından geçerek zemine monte edilecek ankraj demiri	71
Tablo 52.	Çelik halat kesişme yerlerini sabitleme aparatı (Cross Clamp).....	71

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları..... 20
Tablo 2.	Kompas Yöntemiyle Ölçülmüş Örnekler 26
Tablo 3.	Kompas Yöntemiyle Örneklerin Doğal, Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlıklarının Belirlenmesi 26
Tablo 4.	Yamacın kaya düşme riskine göre sınıflandırılması..... 28
Tablo 5.	Yamaçların kaya düşme riskine göre sınıflandırılması ve proje konusu kaya yamacın bu sınıflama sistemi içerisindeki durumu 31
Tablo 6.	Proje sahasında 1. Bölgede bulunan blokların konumları ve fiziksel özellikleri 36
Tablo 7.	Proje sahasında 1. Bölgede bulunan blokların konumları ve fiziksel özellikleri 44
Tablo 8.	Proje sahasında Üçüncü Bölgede bulunan blokların/alanların konumları ve fiziksel özellikleri 47
Tablo 9.	1 numaralı bölgedeki vadi içlerine önerilen çelik bariyerlere ait özellikler ve bloğun çarpma hızı..... 62
Tablo 10.	Delik çapına göre 1 metre derinlik için gerekli kimyasal toz miktarı 64
Tablo 11.	Blokların kontrollü kırılması için gerekli kaya kırıcı kimyasal toz miktarı ... 65
Tablo 12.	İki numaralı bölgedeki yamaç dibi ve vadi içlerine önerilen çelik bariyerlere ait özellikler ve blokların bariyer çarpma hızı..... 68
Tablo 13.	Delik çapına göre 1 metre derinlik için gerekli kimyasal toz miktarı 70
Tablo 14.	Blokların kontrollü kırılması için gerekli kaya kırıcı kimyasal toz miktarı ... 70
Tablo 15.	Kaya kütlelerinin çelik ağıla sarılması için gerekli malzeme miktarları 70

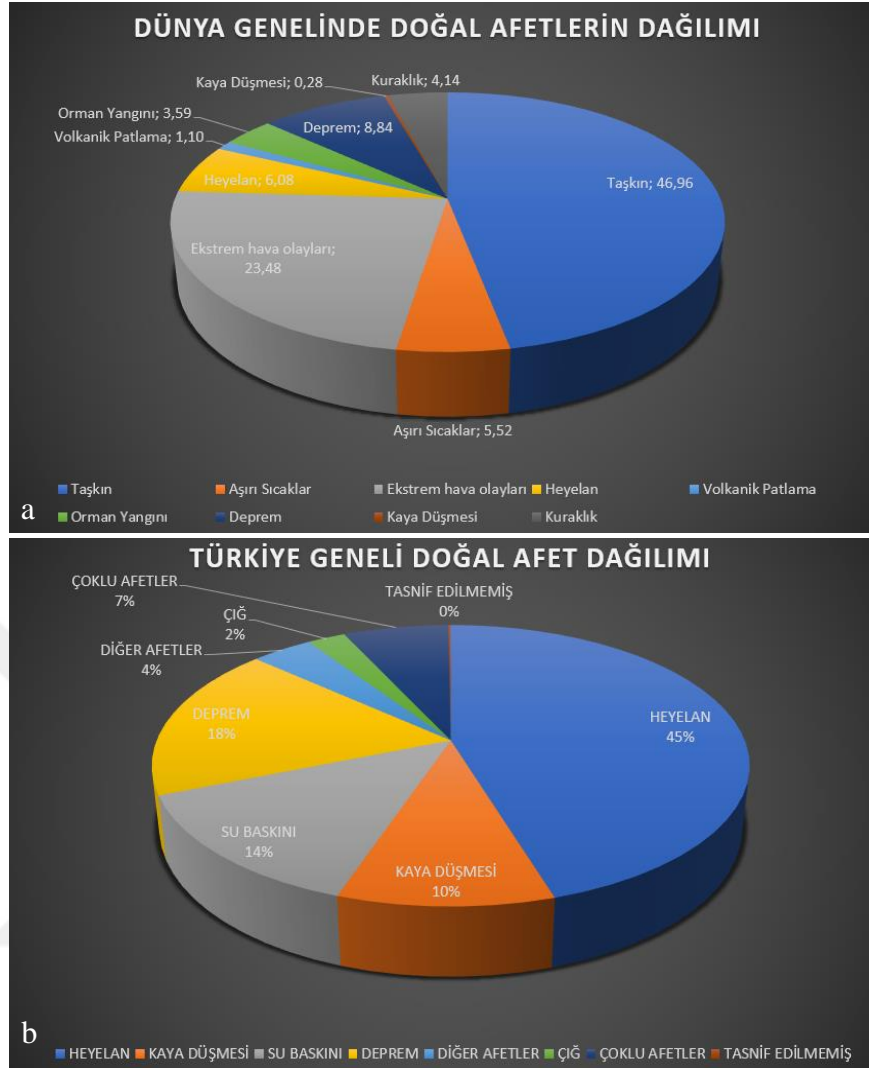
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsan yaşamını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyerek toplumun sosyo-ekonomik yapısını ve kültürel faaliyetlerini aksatan, can ve mal kayıplarına neden olan, yerel imkân ve kabiliyetlerle engellenmesi ve etkilerinin azaltılması çok mümkün olmayan doğa olayları “doğa kaynaklı afet” olarak tanımlanmaktadır (URL 1). Dünya ölçeğinde meydana gelen doğa kaynaklı afetlerin insan yaşamına olan etkileri geçmişten günümüze kadar sürekli artmış, bu artış son 200 yılda 4 kata ulaşmıştır. Geçmişten günümüze kadar, meteorolojik kökenli afetler içinde en fazla kuraklık ve taşkınlar, meteorolojik olmayan afetlerin içinde ise depremler can ve mal kaybına neden olmuş (URL 2), sadece 1994 ile 2019 yılları arasında küresel ölçekte meydana gelen 7.000’den fazla doğa kaynaklı afette 1,5 milyon’dan fazla insan hayatını kaybetmiştir (URL 3).

Türkiye, jeolojik, morfolojik ve iklimsel özellikleri dikkate alındığında bir afet ülkesi olarak bilinmektedir. Ülkede taşkın, erozyon, çölleşme ve çığ gibi afetler meteorolojik kökenli afetlerin başında gelirken, deprem, heyelan, kaya düşmesi gibi afetler ise meteorolojik olmayan afetlerin en önemlileridir (Şaraldı, 2015). Son 50 yıldır meydana gelen doğa kaynaklı afet dağılımına bakıldığında heyelanlar ve kaya düşmeleri %45’lik oranla ilk sırada, depremler %18’lik oranla ikinci sırada, taşkınlar %14’lük oranla üçüncü sırada yer almaktadır. Sadece 2019 yılında ülke genelinde taşkın ve heyelanların diğer afetler içerisindeki oranı ise %70’lere ulaşmıştır (URL 4). Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi, oluşma sıklığı bakımından heyelanların, etki alanı bakımından ise taşkınların en sık görüldüğü ve buna bağlı olarak can ve mal kaybının en fazla olduğu bölgedir. Ülke istatistiklerinden farklı olarak Doğu Karadeniz Bölgesi’nde doğa kaynaklı afetler içinde taşkın, heyelan ve kaya düşmeleri %95’lik oranla ilk sırada yer almaktadır (Gökçe vd., 2019).

Diğer ülkelerden farklı olarak doğa kaynaklı afetler içinde kaya düşmelerinin oranı dünya ölçeğinde %1’i geçmezken, Türkiye’de bu oran %10’lara ulaşmaktadır. Kaya düşme vakalarının yaklaşık %50’si Doğu Karadeniz Bölgesi’nde meydana gelmektedir (Şekil 1a ve b).



Şekil 1. Dünyada ve Türkiye’de meydana gelen doğal afetlerin dağılımı

Kaya düşmesi ile ilgili birçok araştırmacı çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmalar özetlenecek olursa;

Ujihira vd. (1997), yapmış olduğu çalışmalarda kablolu sensör kullanarak iki boyutlu analizler ile kaynak lokasyon sistemi ve mobil multimedya ağ sistemi kullanarak kaya düşmesi vakalarının değerlendirmelerinin mümkün olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Guzzetti vd. (2002), yapmış olduğu çalışma kapsamında STONE denilen bir program geliştirerek bu programda kaya düşme olaylarını simüle etmişlerdir. Programda Sayısal Arazi Modeli kullanılarak hareket esnasında oluşan hız kayıpları ve enerji miktarlarını tespit etmiştir.

Marzorati vd. (2002), Umria-Marche 1997 yılında İtalya da meydana gelen depremin birçok kaya düşmesi olayını tetiklediğini ileri sürmüşlerdir.

Çalışma kapsamında bölgenin hava fotoğraflarını kullanarak, sismik ve çevresel faktörler gibi kaya düşmesini etkileyen faktörler GIS veritabanına kaydederek çok değişkenli istatistiksel veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında kurulan model ile olası bir deprem durumunda meydana gelebilecek kaya düşmeleri için duyarlılık haritaları üretmişlerdir.

Ferrara ve Pappalardo (2005), yapmış oldukları çalışmalarda Castemola Tepesi'ndeki meydana gelmesi olası kaya düşmelerini çalışmışlardır. Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda bölge düşük, orta ve yüksek tehlikeli alanlara ayırdıktan sonra her bir alan için alınması gereken önlemleri önermişlerdir.

Alejano vd. (2007), İspanyada taş ocaklarında iş kazalarının çoğunun kaya düşmeleri vakalarından dolayı meydana geldiğini idda etmişlerdir. Taş ocaklarındaki ve kara yollarında meydana gelen kaya düşmesi vakalarını geri analize dayalı yeni bir yöntem ile çalışmışlardır.

Lan vd. (2007), coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak kaya düşme olaylarının üç boyutlu modellemesini ve kaya düşmesi riski değerlendirmeleri yapmışlardır. Çalışmaya altık oluşturmak için LİDAR ile kaya düşmelerinin izlediği yol ve kaynak bölgeler hakkında detaylı topoğrafik verileri elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu veriler kullanılarak GIS için bir 3D uzantısı olan Rockfall Analyst ile analizler yapmışlardır. Analizler kaya bloklarının yuvarlanma mesafeleri, hızları ve enerjileri tespit etmişlerdir.

Topal vd. (2007), Afyon kalesi ve çevresinde meydana gelen kaya düşmesi olaylarını çalışmışlardır. Çalışmalarında bölgede belirlenen 9 profil boyunca 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapılmıştır. Herbir profil boyunca blokların sıçrama yükseklikleri, kinetik enerjileri, yuvarlanma mesafeleri ve hızları hesaplamışlardır. Hesaplamalar sonucunda kaya düşmelerinin nedenleri ortaya konulmuş ve kaya düşmelerinden etkilenecek alanlar tespit etmişlerdir.

Giacomini vd. (2008), Yaptıkları çalışmalarda blokların çarpması sonucu çarpma açısının kayanın ufalanması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda blokların çarpma açısının kaya bloklarının ufalanmalarında anahtar rol oynadığı ve çarpma anındaki enerjinin ufalanmaya etkisinin ikinci planda kaldığı sonucuna vardığının tespit etmişlerdir.

Edelbro (2008), Yapmış olduğu çalışmalarda kendi kurduğu sayıl modeller ile meydana gelmiş kaya düşme vakası sonuçları karşılaştırılmışlardır. Sayısal modelde lineer-elastik ve esnek plastik maddeler kullanmışlardır. Yapılan vakalar ve sayısal modeller sonuçları kıyaslandığında modelin doğru bir şekilde kurulduğu sonucu varmışlardır.

Yılmaz vd. (2008), Yapmış olduğu çalışmalarda FallGIS adlı bir program geliştirmişlerdir. Programı geliştirmede 2 boyutlu kaya düşme analizi yapan RocFall programı ve analitik hiyerarşi ile sorgulama yapan ArcGIS programı kullanılmışlardır. Çalışma ile geliştirilen FallGIS ile RocFall programından elde edilen verileri ArcGIS ortamında kolaylıkla değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Tunusluoğlu ve Zorlu (2009), Kapadokya'daki Ortahisar Kalesi ve çevresinde görülen kaya düşme vakalarını çalışmışlardır. Yapılan detaylı arazi çalışmalarda bölgede meydana gelen kaya düşme vakalarının kayacın litolojik özelliklerine ve erozyon sürecine bağlı olduğunu belirlemişlerdir.

Spadari vd. (2011), Avustralya'da önemli jeolojik alanlardan biri olan New South Waleste bir takım arazi deneyleri yapmışlardır. Arazi deneylerinde alanı üç farklı bölgeye bölüp ve herbir bölgede 4 adet kaya düşme deneyi yapmıştır. Çalışma kapsamında farklı jeolojik ortamlardaki geri sıçrama ve yuvarlanma katsayılarını ve düşen blokların istatistiksel dağılımını tespit etmişlerdir.

Zorlu vd. (2011), Kapadokya bölgesinde bulunan Avanos, Zelve ve Çavuşini bölgelerinde meydana gelmiş kaya düşme vakalarını çalışmışlardır. Çalışma kapsamında her bir bölge 4 farklı alana ayrılmış ve bu alanlar için 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda her bir alan için risk haritalarını üretmişler ve kaya düşme vakalarının etkisini en aza indirmek için koruma ve önleme yöntemleri önermişlerdir. Çalışmalar sonucunda ađ ile kaplama, blonlama ve çelik bariyerler önermişlerdir.

Gentilini vd. (2012), yaptıkları çalışmalarda farklı kapasitelerde 3 adet prototip bariyer tasarlamışlar. Prototiplerin her biri farklı kapasitede enerji absorbe etme özelliğine sahip olacak şekilde tasarlamıştır.

Gentilini vd., (2013), 2012 yılında yaptıkları çalışmalarda tasarladıkları bariyerler ile yerinde arazide deneyleri yapılmışlardır. Yerinde yapılan deneyler ile bariyer tasarımlarında kullanılacak gelişme ve genişlemeye kılavuzluk edebilecek sonuçlar elde etmişlerdir.

Artuç (2014), Ankara ili Çubuk ilçesindeki Susuz köyü ve çevresindeki kaya düşme vakalarını çalışmıştır. Çalışma kapsamında enerji ve gölge açısı kavramları kullanılarak çalışma alanına ait bloklar için yayılma, enerji ve hız haritaları oluşturulmuştur.

Üretilen haritalar kullanılarak bloklara ait menzil, mesafe ve hız değerlerini yorumlanmıştır. Daha sonrasında kaya düşmesinden etkilenecek alanlar için önleme yapıları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda belirlenen kaynak bölgelerden CONEFALL programı kullanılarak farklı koni açıları ve farklı boyuttaki kayalar düşürülerek kaya düşme zonları tespit edilmiştir. Blokların boyutları 1-5 m³ koni açıları ise 15, 17.5, 20, 22.5, 25 ve 30 derece olarak alınmıştır.

Çalışmalar sonucunda 1 ve 3 bölgelerin 20 derecelik 2. Bölgenin ise 17.5 derecelik yayılma zonu içinde olduğu tespit edilmiştir. Tüm çalışmalar sonucunda kaya düşme vakalarının olumsuz sonuçlarının en aza indirmek için belirlenen hat boyunca 125 kJ ve 625 kJ düzeylerinde kablolu önleyici yapıların yapılması önerilmiştir.

Taşpınar (2015), Ihlara Vadisi ve çevresinde özellikle turistik faaliyetlerin yoğun olduğu alanlara'daki kaya düşme vakalarını çalışmıştır. Çalışma kapsamında kaya düşme analizlerinde kullanılan verilerin elde edilmesi için arazide ve laboratuvarında çalışmalar gerçekleştirmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında hat etüdüleri ve blok düşürme deneyleri yapılmış ayrıca laboratuvar deneyleri için örnekler toplamıştır.

Laboratuvar deneyleri kapsamında ise tilt, tek eksenli basınç deneyi, üç eksenli basınç deneyi ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri yapmıştır. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda blokların gidebilecekleri en uzak mesafe, hız ve kinetik enerji dikkate alınarak, kaya düşmelerinden etkilenebilecek alanlar belirlenmiş ve tehlike derecesine göre zon haritası üretmişlerdir.

Altay (2015), kaya düşme vakalarında önemli bir koruma yapısı olan toprak dolgu setinin performansının farklı koşullarda altında ANSYS programında üç boyutlu olarak analiz etmiştir. Kullanılan ANSYS programı sonlu elemanlar yöntemine göre 3 boyutlu nümerik analiz yapabilen paket bir programdır. Çalışmada modellenen kaya bloğu ve toprak dolgu setinin özellikleri değiştirilerek farklı koşullar için analizler yapılmıştır. Kaya bloğunun hızı, kütlesi, geometrisi ve çarpma yüksekliği değiştirilmişken toprak dolgu setinin ise dolguyu oluşturan malzemenin içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığı değiştirilmiştir. Farklı koşullar deneyerek 3 boyutlu analizler ile set üzerinde meydana gelen maksimum deformasyonlar tespit edilmiştir. Analizler sonucunda hız, kütle ve çarpma yüksekliğinin artması ile deformasyonun arttığı ve küresel blokların kübik bloklara kıyasla daha fazla deformasyona yol açtığını tespit etmiştir. Ayrıca toprak dolgu sette kullanılan malzemenin içsel sürtünme açısının ve birim hacim ağırlığının artması ile deformasyonun azaldığını tespit etmiştir.

Şaraldı (2015), Kapadokya Bölgesindeki Tatların Yeraltı Şehri ve çevresindeki kaya düşme risklerini çalışmıştır. Çalışma kapsamında arazi çalışmaları ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinden 2 boyutlu kaya düşmesi analizi için gerekli olan veriler elde edilerek analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda Tatların Yeraltı Şehri ve çevresindeki bütün yolların ve yapıların risk altında olduğu tespit etmiştir.

Ei (2017), 2 ve 3 boyutlu analizler yardımıyla Ankara kalesi ve çevresindeki kaya düşme vakalarını çalışmıştır. Çalışma kapsamında saha çalışmaları ve laboratuvar deneyleri ile analizler için gerekli verileri elde etmiştir. 2 ve 3 boyutlu analizler sonucunda düşmüş ve gevşemiş andezit blokların kaldırılması ve kaldırılamayan blokların yerinde sabitlenmesini önermiştir.

Çapar (2018), kaya düşme analizlerinde en önemli girdi parametrelerinden biri olan geri sıçrama katsayısının etkisini deneysel ve analitik yöntemler ile incelemiştir. Çalışmada RocFall programı ile MATLAB programı ile yazılan N-TEK programı karşılaştırılmıştır. Arazide ve laboratuvarda yapılan deneylerden elde edilen veriler her iki program kullanılarak iki program kıyaslamıştır.

Keskin (2019), yapmış olduğu çalışmada Zonguldak-Kilim yolunda kaya düşmesi potansiyelini çalışmıştır. Çalışma kapsamında arazide süreksizlik analizleri yapılmış ve laboratuvar deneyleri için örnekler alınmıştır. Laboratuvar deneylerinde kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri tespit etmiştir. Çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapmıştır. Analizlerde şevden düşen blokların yol güvenliğini tehlikeye attığı tespit etmiştir. Bu önlemek için beton bariyerler önerilmiş ve analizler beton bariyer kullanılarak tekrardan yapılmıştır. Beton bariyerli yapılan analizlerde kaya düşmelerinin yola bir zarar vermediğini tespit etmiştir.

Kırbaş (2019), Eskişehir Kızılınler köyü ve çevresindeki kaya düşme vakalarını çalışmıştır. Kızılınler köyü ve çevresindeki yamaçlarda bulunan bazalt bloklarının tren yolunu tehdit edip etmediğini ve tehdit etmesi durumunda can ve mal kaybını önlemek için alınması gereken önlemleri tespit etmiştir. Çalışma alanında özellikler kış ve ilkbahar mevsimlerinde aşırı yağışlar ile kaya düşme vakaları meydana gelmektedir. Kaya düşme vakaları ayrış tuf üzerindeki bazalt bloklarının hareket etmesi sonucu meydana gelmektedir. Çalışma kapsamında arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmış yapılan çalışmalar sonucunda 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapmıştır. 2 boyutlu analizler sonucunda bazalt bloklarının tren yolu için risk teşkil ettiğini tespit etmiştir.

Çalışma sonucunda kaya bloklarının tren yoluna gelmesini önlemek amaçlı bariyerler, yakalama hendekleri ve zemin iyileştirme yöntemleri önermiştir.

Koçyiğit (2019), Kapadokya' daki göre kasabasında meydana gelen kaya düşmelerini yüksek lisans tez çalışması kapsamında çalışmıştır. Bölge doğal, tarihsel ve kültürel değerleri bakımından Türkiye'deki en önemli turistik yerlerden biri olduğu için bölgede meydana gelebilecek kaya düşme olayları ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında riskli alan bölgeler ayrılmış ve herbir bölgede mevcut jeolojik birimlerin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak arazide ve laboratuvarında yoğun çalışmalar yapmışlardır.

Yaptıkları arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ışığında kinematik ve 2 boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Tüm çalışmalar sonucunda çalışma alanlarından orta ve güney bölümün yerleşim alanları için risk teşkil ettiği tespit etmişlerdir.

Buz (2019), Ürgüp ilçesinin Şahinefendi köyünde meydana gelen kaya düşmelerini çalışmış, mevcut yakalama hendeklerinin performansını değerlendirmiş ve bölgedeki yapıların kaya düşmelerinden etkilenip etkilenmeyeceği araştırmışlardır. Bu kapsamda arazi çalışmaları ve laboratuvarında deneyleri yapılmıştır. Yapılan arazi çalışmalarından ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ile Rocfall programında 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda mevcut yakalama hendeklerinin verimli bir şekilde çalışmadığı ve hendeğin tutamadığı blokların bölgedeki evler için risk teşkil ettiği tespit etmişlerdir. Analizlerde yakalama hendeğinin verimli çalışmadığı tespit edildikten sonra mevcut hendek programda yeniden boyutlandırılarak en uygun geometri tespit etmişlerdir. Yeniden boyutlandırılan hendeğin farklı bölgelerden gelen tüm blokları yakaladığı analizler sonucunda ortaya çıkmıştır. Tespit edilen yeni hendek boyutları (enderinlik) dikkate alınarak mevcut hendeğin iyileştirilmesi önermişlerdir.

Akın (2019), 3 boyutlu kaya düşme programı kullanarak Ürgüp/Akköy köyünde kaya düşmelerini engellemek için yapılan kaya tutma hendeklerinin performansını değerlendirmişlerdir. Çalışma için Arazide detaylı jeodezik ölçümler yapılarak arazinin 3 boyutlu katı modeli oluşturulmuştur. Oluşturan bu katı model RocPro3D programında altlık olarak kullanılarak 3 boyutlu analizler yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda olası bir kaya düşmesi durumunda kaya tutuma hendeklerinin gelen kayaları tuttuğu tespit etmişlerdir.

Alptekin (2020), Mersin ili Karahıdırlı Mahallesi'nde aşırı yağış sonrası meydana gelen kaya düşme vakasını çalışmıştır. Meydana gelen kaya düşmesi bir evin yakınında dururak herhangi bir can ve mal kaybı meydana gelmemiştir. Düşen bloğun ve geldiği güzergahın 3 boyutlu modeli çıkararak ilerleyen zamanlarda 3 boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılacağını belirtmiştir.

Nasery vd. (2020), yapmış olduğu çalışmada Trabzon İli Kaymaklı Mahallesinde meydana gelen kaya düşmesi risklerini araştırmışlardır. Bölgede olası kaya düşmelerinin 74 adet konutu, karayolunu ve sanayi bölgesini tehdit ettiğinde bölgenin önemli olduğuna değinmişlerdir. Çalışma kapsamında bölgede detaylı harita alımları yapmışlar ve bu verilerden arazinin 3 boyutlu sayısal modelini üretmişlerdir. Üretilen model üzerinden 40 farklı kesit alarak 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapmışlardır. Analizler ile kaya bloklarının hız, sıçrama yüksekliği ve enerjilerini hesaplamışlardır. Yaptıkları hesaplamalar sonucunda istinat duvarı üzerine çelik bariyer tasarımı önermişlerdir.

Çelik (2020), Alternatif kaya ıslahı çözümleri için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada eğimli/çok eğimli arazilerde çelik bariyer dışında alternatif olarak toprakarme duvarların uygulanabilirliği çalışmışlar ve yaptıkları bu projeyi uygulamışlardır. Çalışmayı Trabzon İli Maçka İlçesi Güney Mahallesi Kanlıpelit mevkiinde yapmışlardır. Çalışma kapsamında arazi ve laboratuvar deneyleri yapılarak analizler için veriler toplanmış ve bu veriler ışığında 2 boyutlu kaya düşme analizleri yapmışlardır. Analizler sonucunda blokların hızları, sıçrama yükseklikleri ve enerjileri tespit edilerek tespit etmişlerdir. Tespit edilen bu verileri kullanarak toprakarme duvar boyutlandırmışlardır. Projelendirilen duvar ile yeniden 2 boyutlu analizler yapılarak duvarın performansı test etmişlerdir. Analiz sonuçlarında duvarın gelen kaya bloklarının tuttuğu tespit etmişlerdir. Projelendirilen duvarın uygun olduğu tespit edildikten sonra proje uygulamışlardır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Erzurum ili İspir ilçesi Yedigöller köyünde meydana gelen kaya düşmesi vakalarının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı kapsamında kaya düşme vakalarının olumsuz etkilerini en aza indirmek için; (1) önceden meydana gelmiş kaya düşme vakaları araştırılmış, (2) arazide kaynak bölgeler, serbest bloklar ve yuvarlanma-birikme bölgeleri tespit edilmiş, (3) serbest bloklar numaralandırılıp boyutları ölçülmüş, (4) laboratuvar deneyleri için numuneler alınmış ve kaya malzemesinin fiziksel-dayanım özellikleri

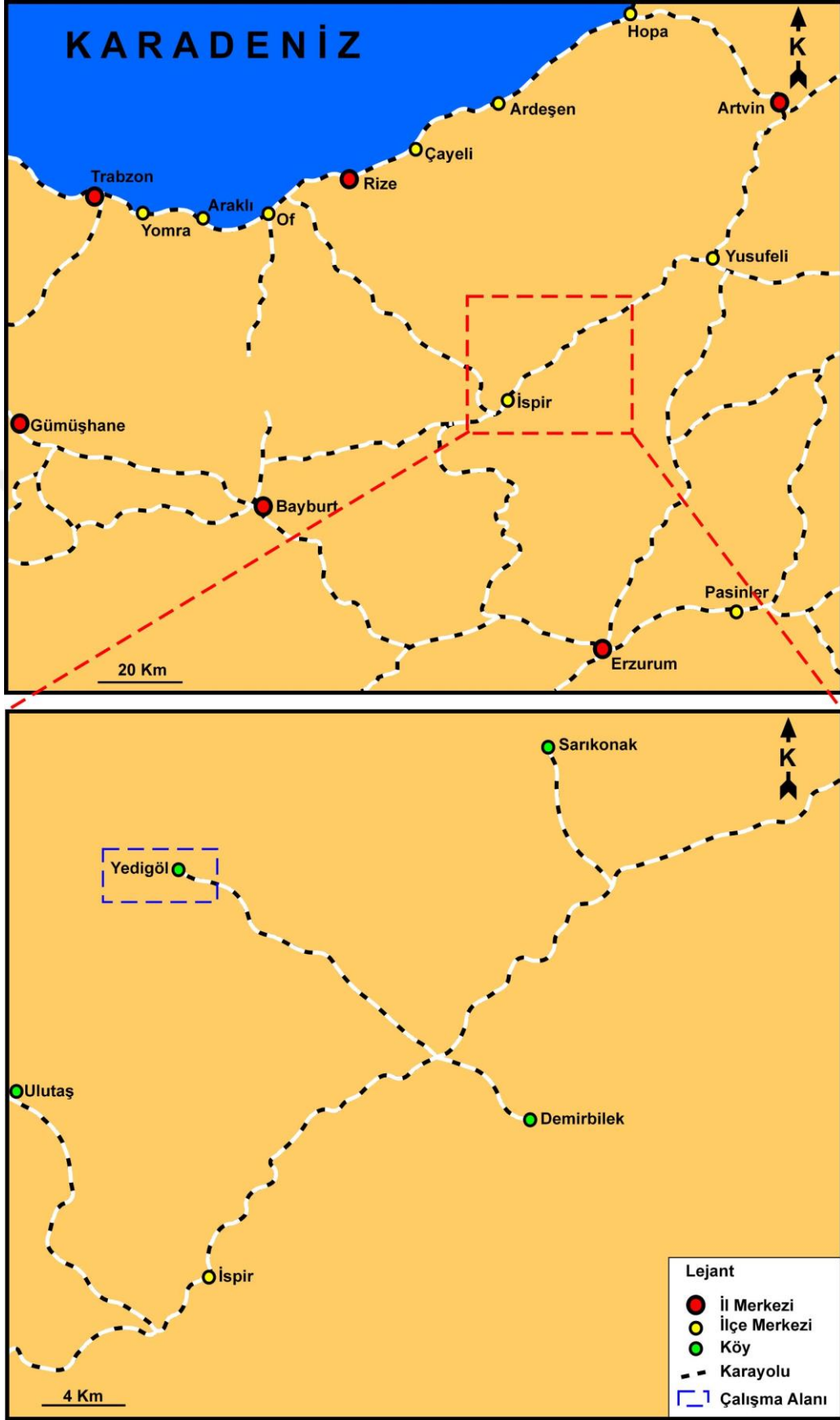
belirlenmiş, (5) insansız hava araçları ile ölçümler yapılarak haritalama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin bir bütün halinde değerlendirilmesi sonucunda; (1) kaynak-yuvarlanma-birikme zonları tespit edilmiş, (2) meydana gelecek kaya yenilme/hareket türleri değerlendirilmiş, (3) yamaç kaya düşme riskine göre sınıflandırılmış, (4) 2-3 boyutlu kaya düşme analizleri yapılmış, (5) yapılan tüm çalışmalar sonucunda bölge için en uygun önleme ve koruma yöntemleri tespit edilmiş ve projelendirilmiştir, (6) Önerilen önlem ve koruma projelerinin performansı 2 ve 3 boyutlu analizler ile test edilmiştir.

1.3. Coğrafi Durum

Erzurum ili İspir ilçesi sınırları içerisinde yer alan çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölümü içerisinde bulunmaktadır ve İspir ilçe merkezinin 40 km kuzeydoğusunda yer alan Yedigöller köyü 1/25000 ölçekli Tortum G45-c2 paftası içerisinde yer almaktadır (Şekil 2).

İspir ilçesi doğuda Tortum, güneyde Ilica ilçeleri, güneybatıda Bayburt ili, batıda Pazaryolu ilçesi, kuzeyde Rize, kuzeydoğuda da Artvin illeriyle çevrilidir. Erzurum ilinin kuzeybatısında yer alan ilçe topraklarını Doğu Karadeniz Sıradağlarının kıyı dağları ile iç sıraları şekillendirir. Kuzeydeki Rize ve Kaçkar dağlarının dorukları ilçe sınırları dışındadır. Güneydeki Çoruh-Kelkit Dağlarından Mescit Dağının doruğu ilçe sınırları dışındadır, Deve Dağı (3.202 m), Velibaba Tepesi (3.186 m) ve Sulaktepe (2.882 m) ise ilçe sınırları içindedir. Bu dağ sıralarını birbirinden ayıran tektonik kökenli Çoruh-Kelkit Vadi oluşuna yerleşmiş Çoruh Irmağı, kabaca güney-batı-kuzeydoğu doğrultusunda ilçe topraklarından geçer.

Proje alanı, kışları çok soğuk ve sert geçen Erzurum ilinin mikroklima oluşturan bir kesiminde yer almaktadır, İspir ilçesinde sıcak ve ılıman iklim görülmektedir. İspir ilçesinde belirgin yağış görülmeyle birlikte en kurak aylarda bile yağış miktarı oldukça fazladır. İspir ilçesinin yıllık ortalama sıcaklığı 10 derece, yıllık ortalama yağış miktarı ise 516 mm dir.



Şekil 2. Çalışma Alanının Yerbulduru Haritası

1.4. Bölgesel Jeoloji

Karadeniz kıyısına paralel şekilde doğu-batı doğrultusunda uzanan Doğu Pontidler Okay ve Tüysüz (1999) tarafından belirlenen Sakarya Zonu içerisinde yer almaktadır (Şekil 3). Eski bir ada yayını temsil eden Doğu Pontidler birçok araştırmacı tarafından tektonik, magmatik, sedimentolojik özelliklerine göre farklı zonlara ayrılmıştır (Arslan vd., 1997; Şen vd., 1998; Şen, 2007). Özsayar vd. (1981) tarafından Kuzey ve Güney Zon olarak ikiye ayrılan Doğu Pontidler, Bektaş vd. (1995) ve Eyüboğlu vd. (2006, 2007) tarafından Kuzey, Güney ve Eksen Zonu olarak üçe ayrılmıştır. Kuzey Zon volkanik kayalar ve granitik intrüzyonlarla karakterize edilirken, Güney Zon metamorfik masifler, granitik kayalar ve baskın olarak sedimanter kayalar ile karakterize edilir.

Bölgede Mesozoyik, Liyas, Geç Jura-Erken Kretase ve Geç Kretase yaşlı birimler yüzeyleme vermektedir. Liyas'ın volkanik, Geç Jura-Erken Kretase'nin platform karbonatlarıyla temsil edildiği bölgede Geç Kretase dönemi farklı ortam koşullarında gelişmiş birimler ile karakteristiktir. Mesozoyik'in en alt seviyesinde her iki zonda da yüzeyleyen volkano-tortul seri (Ağar, 1977) genellikle, bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitlerinden oluşmuştur. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenen birimin yaşı, fosil bulgulara dayandırılarak Liyas olarak kabul edilmiştir (Ketin, 1951; Baykal, 1952; Ağar, 1977).

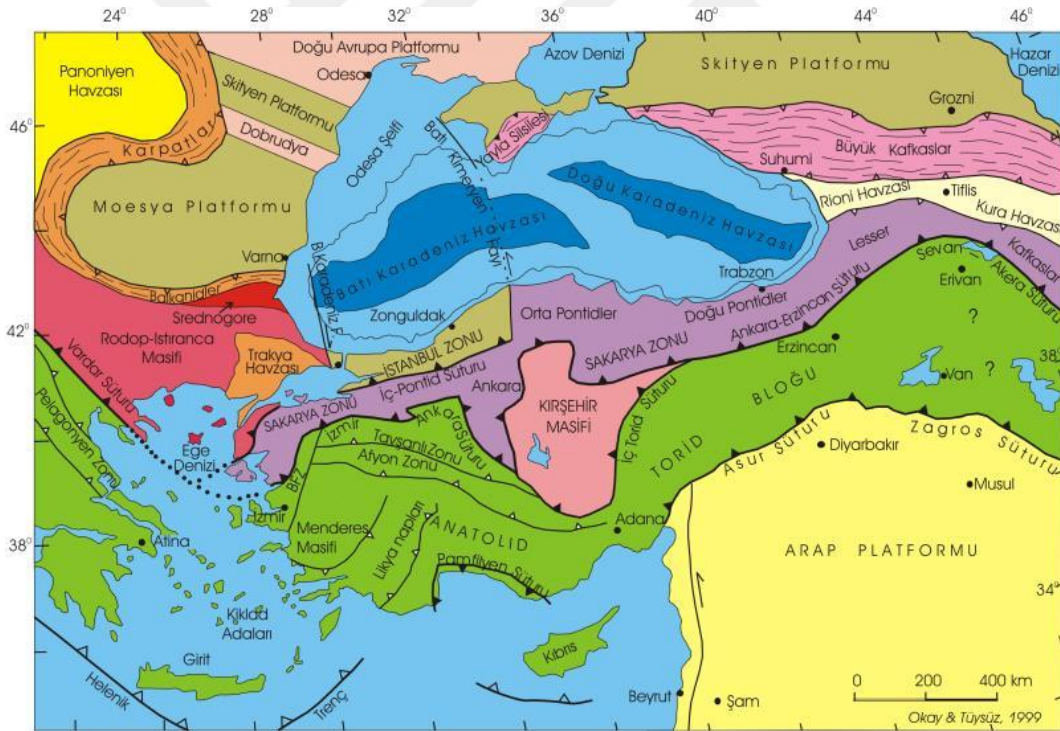
Bölgede, volkanik birimler arasında yer alan platform karbonatlarının kalınlığı 100-200 metre arasında değişmektedir ve bu seri her iki zonda da yüzeylemektedir. Birim Kuzey Zon'da daha masif yapıları killi, çörtlü ve kumlu kireçtaşları ile temsil edilirken, Güney Zon'da ise orta-kalın tabakalı çökellerle karakteristiktir. Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda Geç Kretase yaşlı flişlere geçiş yapan kireçtaşları, Kuzey Zon'da yine Geç Kretase yaşlı volkano-tortul bir istif tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Birimin yaşı, paleontolojik bulgulara dayandırılarak Geç Jura-Senomaniyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993, 1998).

Geç Kretase dönemi boyunca Doğu Pontid'lerin Kuzey zonu'nda gelişen volkanizma sonucu kalın bir volkanik istif gelişmiştir. Bu istifin ilk evreleri bazik ve asidik bileşimli volkanik kayalardan oluşmaktadır.

Bazik karakterli genellikle kumtaşı, siltaşı, marn, şeyl ve kireçtaşı arakatlı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan yaklaşık 900 metre kalınlığındaki serinin yaşı fosil tanımlamalarına göre Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen olarak kabul edilmiştir.

Asidik karakterli riyodasit, dasit ve proklastitlerden oluşan birim ise yer yer tuf, aglomera ve breş arakatıkları içermektedir. Yaklaşık 150-200 metre kalınlığında olan birim, Türoniyen-Kampaniyen-Santoniyen yaşlı birincil evre bazik nitelikli seri üzerine uyumlu olarak geldiği için, Santoniyen yaşlı kabul edilmiştir. İkinci evreli bazik ve asidik volkanik kayalar bu birimlerden sonra oluşmuştur.

Kumtaşı, marn ve kırmızı renkli kireçtaşı ara katkılı, bazalt, andezit ve piroklastitlerinden oluşan ikincil evreli bazik kayalar yaklaşık 800 metre kalınlığındadır. Kırmızı renkli kireçtaşları içinde bulunan fosillerden yararlanarak birimin yaşı, Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir (Güven, 1993; Güven, 1998). Bazik karakterli volkano-tortul seri üzerine uyumlu olarak gelen ikincil evreli asidik kayalar, riyodasit, dasit, trakiandezit ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. 100-200 metre kalınlığında olan birimin yaşı, stratigrafik konumuna göre Maastrichtiyen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. Türkiye'nin tektonik birliktelikleri ve Doğu Pontidlerin konumu (Okay ve Tuysuz, 1999)

Bunları uyumlu olarak üzerleyen seri ise tortul kayalardan oluşmaktadır (Güven, 1993). Bu birim genel olarak killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve kumtaşı ardalanmasından

oluşmaktadır. Kalınlığı 200-250 metre arasında olan birimin yaşı, fosil bulgularından yararlanılarak, Maastrichtiyen-Erken Paleosen olarak kabul edilmiştir.

Kuzey Zon'da yüzeylenen resifal kireçtaşları (Güven, 1993) 150-200 metre kalınlığındadır ve Maastrichtiyen-Erken Paleosen yaşlı birimler ile yanal geçişlidir ve Eosen yaşlı volkano-tortul seri tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir.

Doğu Karadeniz Bölümü'nün doğu kesimlerinde yer alan Kaçkar Dağları, Doğu Pontid Kuzey Zonu içerisindeki granitoidlerin en fazla yüzeylendiği bölgedir. Bu bölgede, genellikle Eosen yaşlı birimlerin içine sokulan intrüzyif kayaçlar, Güven (1993) tarafından Kaçkar Granitoidleri olarak tanımlanmıştır.

Geç Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve büyük ölçüde Paleosen sonunda yerleşimini tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı birimler arasında bir aşınma düzlemi bulunmaktadır. Eosen döneminde yenilenen granitoid intrüzyonları ise Eosen yaşlı kayaçlarda kontakt etkiler yapmıştır.

Bölgede Senozoyik, genellikle kırıntılı çökellerle başlar ve üst bölümlere doğru volkano-tortul seviyeye geçiş gösterir (Güven, 1993). Geç Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ve açısız uyumsuzlukla gelen birimler, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara katkılı andezit, bazalt ve bunların proklastitlerinin oluşturduğu volkano-tortul bir seridir. Yaklaşık 700 metre kalınlığındaki birim, kumlu ve killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içeren ve Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen bir birim tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenmektedir (Güven, 1993).

1.5. Çalışma Alanı ve Çevresinin jeolojisi

Proje sahası, Erzurum ili İspir ilçesi'ne bağlı Yedigöller Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. İspir ilçesinin 40 km kuzeydoğusunda bulunan çalışma sahası ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bölgede Geç Kretase-Paleosen yaşlı Kaçkar Granitlerinin hakim litoloji olduğu belirlenmiştir. Yamaçlarda Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve vadi tabanında Kuvaterner yaşlı alüvyon bulunmaktadır (Şekil 4).

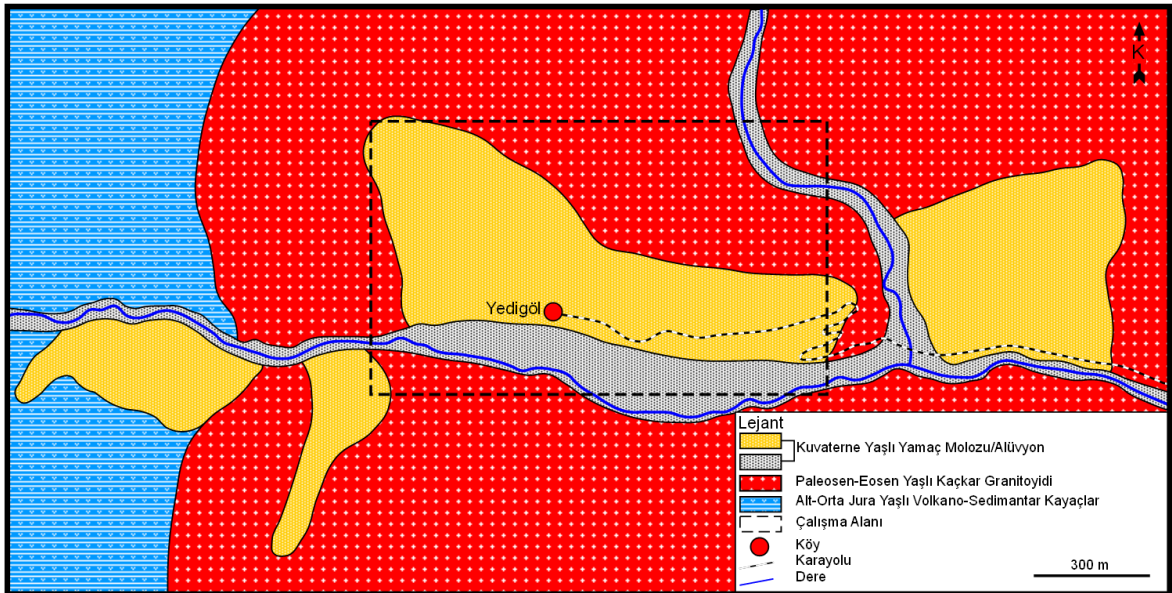
Çalışma alanının tamamında büyük bir batolit şeklinde mostra vermektedir. Doğu Karadeniz Bölgesinde geniş alanlarda gözlenen ve yaklaşık doğu-batı uzanımlı magmatiklerin orta kısmını oluşturan Kaçkar Graniti (Güven 1993); granit, granodiyorit,

tonalit, kuvarsmonzonit ve diyorit bileşimli kayalardan ve monzonit, monzodiyorit ve monzogabro bileşimli anklavlardan oluşmaktadır.

Plütonda gözlenen bütün kaya litolojilerinde mineral birlikteliği benzer olup, plajyoklas, kuvars, K-feldispat, amfibol, biyotit, piroksen ana mineral parajenezlerini oluştururken tali mineral olarak sfen ve apatit gözlenmektedir. Anklavların boyutları 1-2 cm'den 30-40 cm'ye kadar değişmekte olup, genellikle elipsoidal biçimli ve yer yer düzensiz kenarlıdırlar.

Birim genel olarak Geç Kretase yaşlı Çatak, Kızılkaya ve Çağlayan formasyonlarını keserek yükselmişlerdir. İnceleme alanı dışında yer alan Mesozoyik yaşlı magmatikler farklı isimler altında incelenmiştir. Shulze-Westrum (1961) Harşit civarında yaptıkları çalışmada birimi "Harşit Graniti", Gedikoğlu (1977) "Harşit Granit Karmaşığı", Boztuğ (2006) ise "Birleşik Kaçkar Batoliti" ismini kullanarak incelemişlerdir.

Çalışma alanı ve çevresinde fiziksel ve kimyasal ayrışma ile oluşan farklı litolojide ve boyutlarda kayaç parçalarının yerçekimi etkisi ile yamaç eteklerinde birikmesi ile yamaç molozu oluşmuştur. Çaçurluk deresi boyunca 2-4 metre kalınlıkta alüvyon bulunmaktadır. Alüvyonda silt-kum-çakıl ve blok boyutunda malzemeler bulunmaktadır.



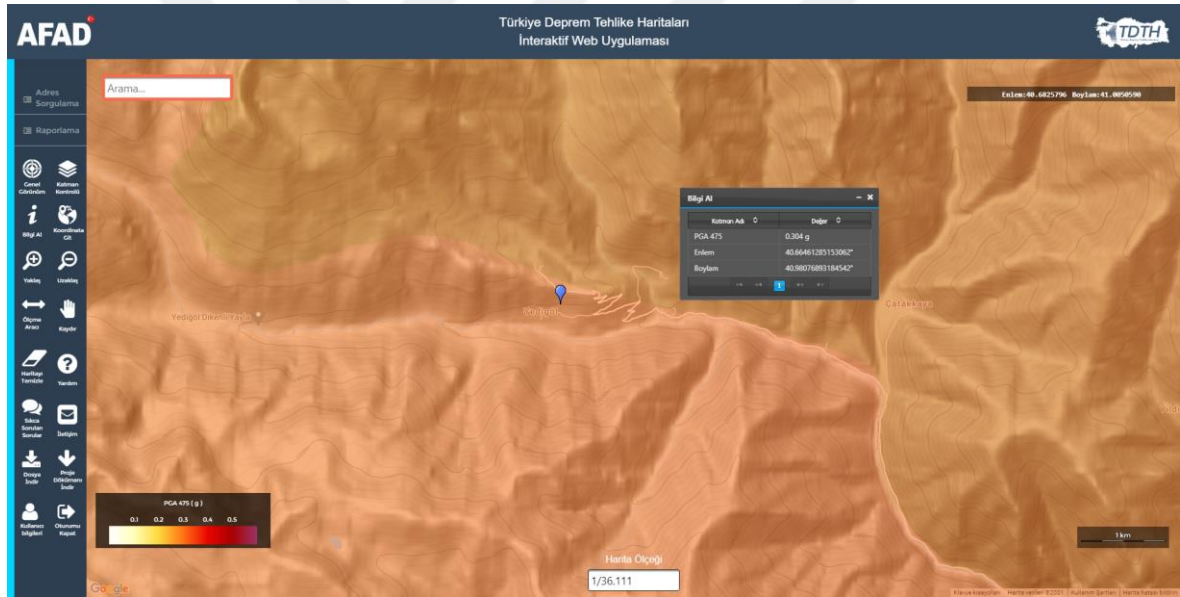
Şekil 4. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

1.6. Deprem Durumu

Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonu (KAF), Alp-Himalaya kuşağının en aktif bölümlerinden biridir.

Bu faylar Anadolu Bloğu'nun, güneyde Arap Plakası (yılıda 2.5 cm'yi bulan hızlı sıkıştırma hareketi ile) ve kuzeyde (neredeyse hiç hareket etmeyen) Avrasya Plakası'nın arasında kalması ve bu sebeple batıya doğru açılma şeklinde hızla hareket etmesi sebebiyle yüksek sismik aktivite göstermektedir.

Erzurum ili İspir ve çevresinin, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlikesi Haritasındaki konumu Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 5 değerlendirildiğinde, çalışma alanı için yatay yer ivmesi değerinin 0.304 g olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Proje sahasının Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlikesi Haritasındaki konumu

1.7. Kaya Düşmesi Kavramı ve Kaya Düşmelerinde Hareket Tipleri

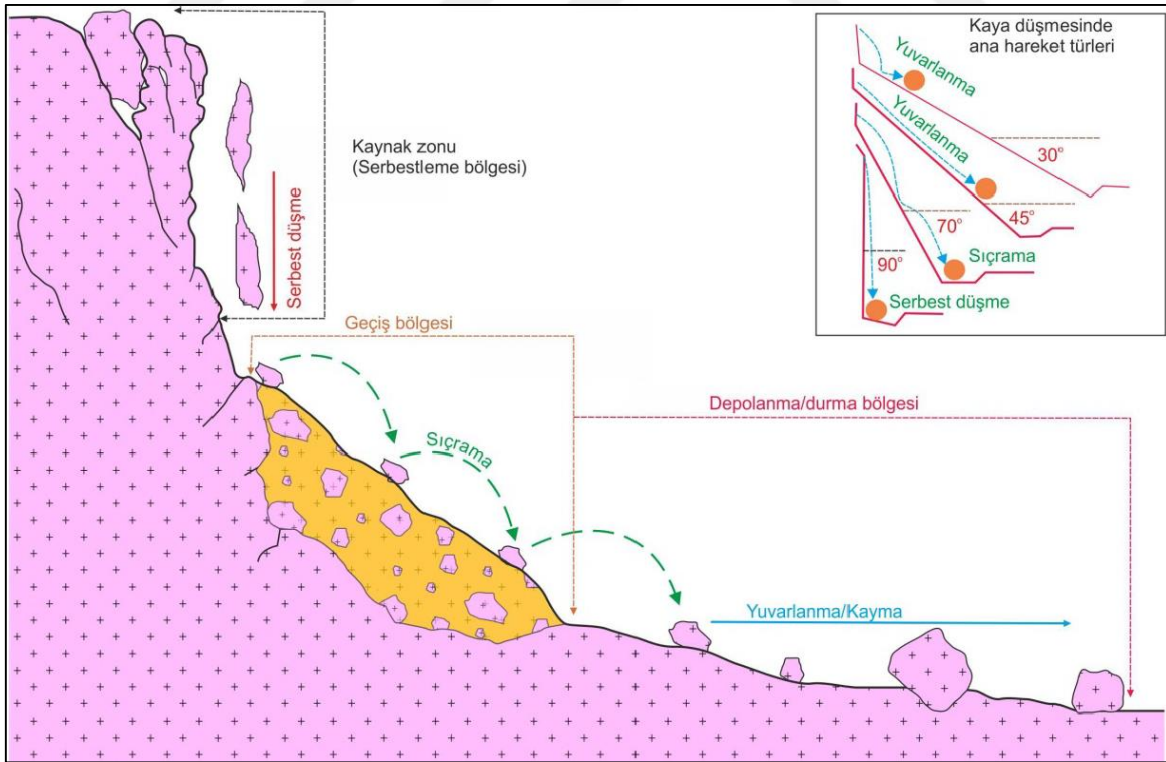
Kaya düşmesi, eğimli yamaçlarda bulunan büyük kaya bloklarının, dış olayların etkisiyle harekete geçmesi olayıdır. Aşınmaya dayanıksız kısmın aşınmasıyla altı boşalan tabakalarda oluşan büyük çatlaklar zamanla donma, çözülme ve güneşlenmenin etkisiyle

giderek büyür, böylece parçalanmış kayaçlar yamaçtan aşağı düşer veya yuvarlanırlar. Kaya düşmesine neden olan başka bir olayda sarsıntıdır (Altay 2015).

Kaya düşmeleri, engebeli ve dağlık arazilerde, şev yarmalarında ve açık maden ocaklarında meydana gelen ve karayolu, demiryolu gibi çizgisel yapıların yanı sıra daha geniş yayılıma sahip yerleşim yerlerine zarar verebilen bir doğal afettir.

Kaya düşmeleri sonucunda yapılarda ve araçlarda hasarlar, ulaşımında aksamlar ve buna bağlı ekonomik zararlar meydana gelebileceği gibi, düşen kaya blokları can kayıplarına da neden olabilmektedir. Diğer afetler türleri ile kıyaslandığında her ne kadar daha sınırlı bir alanda etkili olsalar da kaya düşmelerinin altyapıya veya insanlara verdikleri zarar ciddi sonuçlar doğurabilmektedir (Dinçer 2016).

Kaya düşmesi, herhangi bir boyuttaki kaya bloğunun yeteri kadar dik olan bir yamaç veya şevden düşey yöndeki hareketi olarak tanımlanabilir. Kaya düşmeleri sırasında topoğrafyanın eğimine bağlı olarak serbest düşme, sıçrama (zıplama), yuvarlanma şeklinde hareket türleri gözlenebilmektedir (Şekil 6). Düşen kaya bloklarının enerjisini kaybetmesiyle bloğun yuvarlanma hareketi ile blok kaymaları da olabilir.



Şekil 6. Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket şekilleri ve diğer morfolojik parametreler (Ritchie 1963, Evans and Hungry 1993, Fanos ve Pradhan 2018)

1.8. Kaya Düşmelerinde Kaynak Zonu ve Yuvarlanma Zonu

Kaya düşmelerinde düşmenin gerçekleştiği hattı, yüzey morfolojisine, topoğrafik eğime, depolanma durumuna ve jeolojik yapıya bağlı olarak farklı bölümlere ayrılmaktadır.

Kaya bloklarının çeşitli nedenlerden dolayı kaya kütesinden ayrılarak düşme hareketine başladığı ilk alana “kaynak zonu” olarak adlandırılmaktadır.

Kaynak zonları genellikle dik bir topoğrafik eğime sahiptir ve kırıklı, çatlaklı bir yapı sunarlar. Kaynak zonundan ayrılan bloklar, düşme hareketinden sonra yamaç üzerinde sıçrayarak veya yuvarlanarak hareketlerine devam ederler ki kaya düşmelerinde bu bölge “yuvarlanma zonu” olarak tanımlanmaktadır.

1.9. Kaya Düşmelerine Neden Olan Faktörler

Kaya düşmeleri, farklı iç ve dış kuvvetlerin etkili olduğu sahalarda meydana gelmektedir. Çoğu zaman kaya düşmelerini tetikleyen birden fazla etken vardır. Bu faktörleri yapısal, çevresel ve antropojenik (insan kaynaklı) olmak üzere başlıca üç ana gruba ayırmak mümkündür. Bu sınıflara ait alt faktörler ise şunlardır;

1. Yapısal faktörler (iç faktörler)
 - a. Yamacın/şevin jeolojik yapısı
 - b. Kinematik olarak duraysızlık potansiyeli olan süreksizlik yüzeyleri
 - c. Kırıklı-çatlaklı kaya kütesi
2. Çevresel faktörler (dış faktörler)
 - a. Yağmur
 - b. Donma-çözülme
 - c. Rüzgâr
 - d. Kar erimesi
 - e. Ani yüzeysel akışlar
 - f. Su kaynakları veya sızıntılar
 - g. Kazıcı hayvanlar
 - h. Farklı ayrışma
 - i. Ağaç kökleri
 - j. Depremle

3. Antropojenik faktörler (dış faktörler)
 - a. Kontrolsüz patlatma uygulamaları
 - b. Trenlerin ve büyük inşaat araçlarının yarattığı sarsıntılar
 - c. Uygun olmayan şev tasarımı

1.10. Kaya Düşmelerinde İyileştirme Yöntemleri

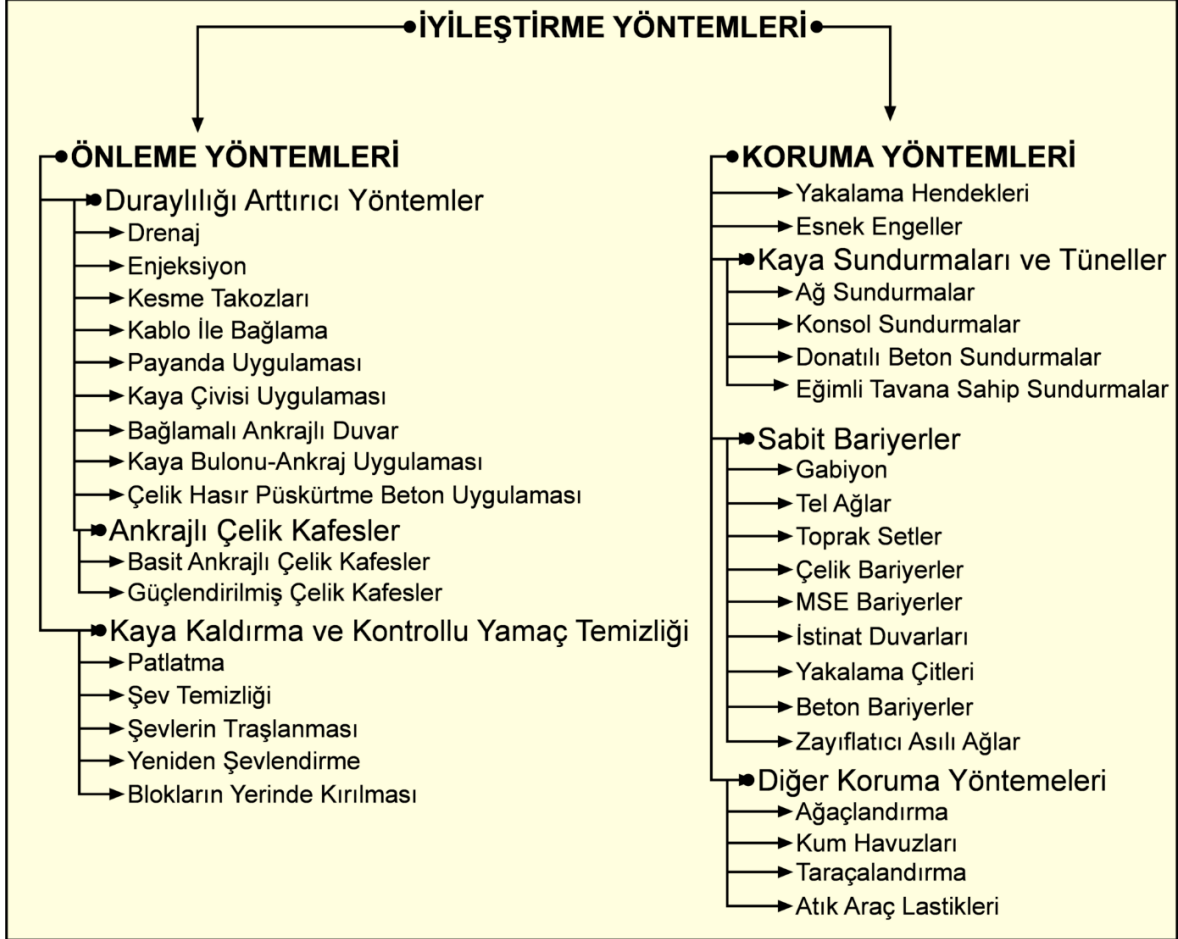
Kaya düşme vakalarında gerek can gerekse mal kaybını önlemek için ilk aşamada riskli alanların tespit edilmesi sonrasında önleme ve koruma projeleri üretilmesi gerekmektedir. Proje aşamasından önce uygulanacak analizlerde öncelikli olarak kütle hareketine neden olacak süreksizliklerin jeolojik özelliklerinin belirlenmesi, yenilme türünün tespit edilmesi ve hareket mekanizmasının doğru bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir (Altay, 2015; San, 2017; Çapar, 2018; Keskin, 2019; Koçyiğit, 2019; Buz, 2019; Kırbaş, 2019).

Farklı tip kütle hareketlerinin oluşum mekanizmaları farklı olacağı için, önerilecek önlemlerin başarısı da yenilme türünün doğru olarak tespit edilmesine bağlıdır. Meydana gelecek hareketin türünün kaya düşmesi olacağını tespit edilmesi durumunda ise hareket etmesi muhtemel blok veya blokların izleyeceği güzergah, farklı güzergahlar boyunca hareket edecek blokların kinetik enerjisi, sıçrama yüksekliği, çarpma hızı ve önerilen ıslah yöntemlerinin uygun olup olmadığı 2 ve 3 boyutlu yaklaşımlarla analiz edilmelidir (Akın vd. 2019).

Buna ek olarak, analizlerde kullanılmak üzere gerekli jeolojik verilerin temininde, uygulanacak yöntem seçilmesinde ve uygun ıslah yönteminin tasarlanmasında arazi ve laboratuvar çalışmaları oldukça önemli yer tutmaktadır. Arazi ve laboratuvar deneyleri ile kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, kaya kütlelerini bölen süreksizliklerin özellikleri, kütle hareketi nedenleri, hareket türleri, düşen/düşmesi muhtemel blokların boyutları, hareket eden blokların sıçrama yükseklikleri ve izledikleri yollar tespit edilebilmektedir.

Kaya ıslah projelerinde aktif ve/veya pasif yöntemler uygulanmaktadır. Aktif yöntemde bloğun harekete geçmesini önlemek amaçlanırken pasif yöntemde ise harekete geçen bloğu kontrollü şekilde durdurmak veya tehlikesiz alana nakletmek amaçlanmaktadır (Grosic vd., 2009). Bu nedenle aktif yöntemler önleme yöntemi, pasif yöntemler koruma yöntemleri olarak adlandırılır. Önleme ve koruma yöntemleri ayrı ayrı uygulandığı gibi

bütünleşik bir şekilde de uygulanmaktadır (Volkwein vd., 2011). Şekil 7’de önleme ve koruma yöntemleri detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 7. Kaya düşmelerinde iyileştirme (önleme ve koruma) yöntemleri (Grosic vd., 2009; Fanos ve Pradhan 2019’dan değiştirilerek)

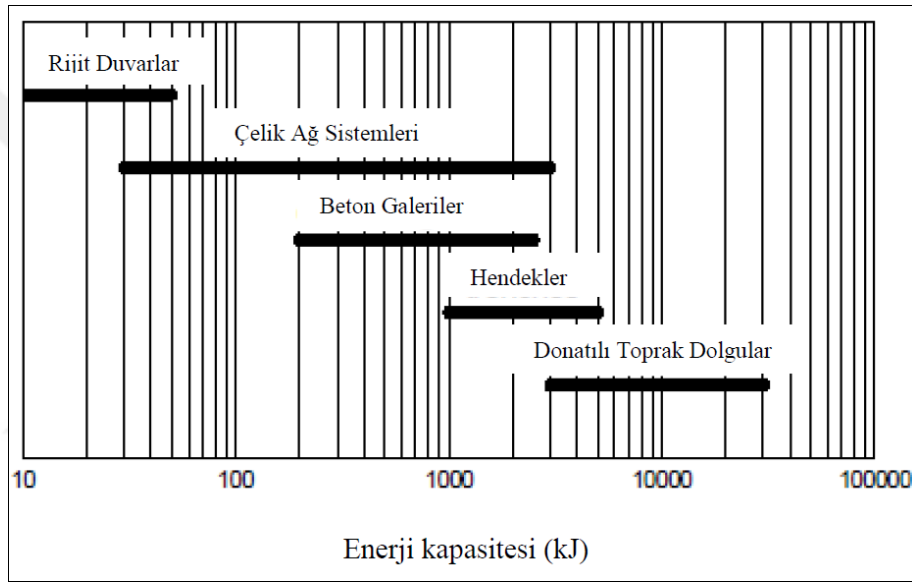
Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları tel ağ sistemleri, bariyerler ve tutucular olarak üç ana başlık altında toplanabilirler. Tel ağ sistemleri; kaplama ve ankastre olarak iki farklı şekilde kullanılabilirler. Her iki ağ sistemi de sadece düşük çarpma enerjilerine karşı koyabilirler. Bariyerler kendi içinde toprak dolgu setler, beton bariyerler, yapısal duvarlar, esnek bariyerler ve zayıflatıcılar olmak üzere beşe ayrılırlar. Toprak dolgu setler yüksek çarpma enerjilerine karşı koyabilen önleme yapılarındandır.

Özellikle de donatılı toprak dolgu setler önleme yapıları arasında en yüksek çarpma enerjisine karşı koyabilen bariyerlerdir. Üç ana başlıktan sonuncusu olan tutucular da hendekler ve hibrit hendekler olarak ikiye ayrılırlar. Hibrit hendekler, bariyerle hendeğin

birlikte kullanılması ile oluşurlar. Örneğin bir toprak dolgu set önüne hendek açılması durumunda meydana gelen sistem hibrit hendek olarak adlandırılır.

Toprak dolguların bu kadar yaygın kullanılmasına rağmen, zeminin lineer olmayan gerilme şekil değiştirme davranışı çarpma anında oluşan büyük deformasyonlar, zeminin dinamik davranışına dair belirsizlikler ve zeminin donatı ile etkileşimindeki belirsizliklerden dolayı bir tasarım prosedürü henüz literatürde bulunmamaktadır.

Şekil 8’de karşı konulan enerji düzeyleri, Tablo 1’de ise kaya düşmelerine karşı önleme yapılarını dezavantajları ile birlikte verilmiştir.



Şekil 8. Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları (Grassl ve diğ. 2002)

Tablo 1. Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları (Andrew ve diğ. 2011)

Önleme Yapısı	Tanımı / Amacı	Kısıtlamalar
Tel Ağ Sistemleri		
Kaplama Ağlar	Eğimli bir arazi yüzeyine aşınmayı yavaşlatmak, düşen kayaların kontrolünü sağlamak ve onları bir toplama alanı içinde tutmak için kaplanmış altıgen tel örgü, kablo şeklinde ağlar, ya da yüksek çekme dayanımlı çelik hasır.	Bir toplama alanı gerektirir. Bağlantı noktaların kar yükü gibi yüklerden zarar görebilir. Çapı 1.5 metreden küçük kayaların düşme ihtimali olan alanlar için uygundur.
Ankastre Ağlar	Yerinde tutturulmuş ağlar veya örgüler. Yamaçtaki kayalar ve toprağı tutmak amacıyla, aktif tutma kuvveti uygulamak için kullanılır.	Birikmiş kaya cepleri oluşturabilir. Temizlemesi zor olabilir.
Bariyerler		
Toprak Bariyerler	Doğal zemin ve kayalardan veya mekanik olarak stabilize edilmiş dolgudan inşa edilen bariyerlerdir. Etkinliğini arttırmak için bir toplama alanının önüne inşa edilirler. Özellikle MSE duvarlar daha büyük çarpma enerjilerine ve tekrarlı çarpmalara karşı koyabilirler. Kolay onarılabılır ve maliyetleri düşüktür.	Biriken kaya bloklarını toplamak için düşen kayaları toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir. Yüksek setler geniş taban alanı gerektirirler.
Beton Bariyerler	Düşük çarpma enerjilerinden korunmayı sağlarlar. Kolay ve hızlı inşa edilebilir ve ekonomiktirler.	Yüksek çarpma enerjilerinde rijitliğin yüksek olması nedeniyle çatlaklar ya da kırıklar oluşabilir.
Yapısal Duvarlar	Rijit bariyerler düşen kayaları durdurmak ve belirli bir alanda toplamak için kullanılırlar. Yüksek kinetik enerjili ve tekrarlı çarpmalara karşı koyabilirler.	Biriken kaya bloklarını toplamak için düşen kayaları toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir. Çok yüksek enerjili çarpmalar karşısında büyük hasarlar olma ihtimali yüksektir.
Esnek Bariyerler	Dayanımı ve enerji absorbe kapasitesi yüksek tel örgülerden yapılan esnek bariyerler çelik direkler ya da ankrajlı ipler gibi durdurucularla desteklenebilirler.	Çarpma sırasında bariyerler tarafından yönü değişen kayalar için boşluklar gerektirir. Periyodik olarak temizlenmelidir. Yüksek enerjili çarpmalarda ağır hasarlar meydana gelir ve imalatı pahalıdır.
Zayıflatıcılar	Esnek bariyerlere benzer bir tel örgü sistemine sahiptirler. Düşen kayaların hareketine yavaş bir şekilde izin verilir ve bir toplama alanına yönlendirilir. Bakım onarım maliyeti düşüktür.	Bir toplama alanı ve bu alanın periyodik olarak bakımı gerekir.
Tutucular		
Hendekler / Hibrit Hendekler	Eğim boyunca belirli şekillerde yapılmış önleme yapılarıdır. Estetik olarak en avantajlı koruma yapılarıdır. Hibrit hendekler bariyer ve hendeklerin birleşiminden oluşurlar.	Pürüzlü ve dik yamaçlar büyük toplama alanları gerektirirler. Toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanındaki Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ve Meydana Gelmiş Vakaların İrdelenmesi

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında Erzurum İli İspir İlçesi Yedigöller Köyü sınırları içerisinde bulunan ve güney yönlü bakıya sahip olan bir yamaçta dağınık halde bulunan kaya bloklarının köyde bulunan haneler için tehlike arz edip etmediği araştırılmıştır. Eğim genel olarak 30-40 derece arasında değişmekte olup, yamaçta 6 adet oyuntu bulunmaktadır. Genel olarak yamaç yüzeyi 20-50 cm kalınlığında moloz ve toprak örtü ile kaplıdır. Ancak oyuntu üst kotlarında birkaç metre yüksekliğinde dik falezler yüzeylenmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Çalışma konusu yamaçın ve yamaç tabanında bulunan Yedigöller Köyüne ait uydu görüntüsü ve oyuntular

116 hektar alana sahip proje sahasında birkaç kg'dan tonlarca ağırlığa kadar irili ufaklı yüzlerce blok bulunmaktadır (Şekil 10). Bu blokların çoğu yassı yüzeyleri boyunca yamaçta duraylı halde dururken bazı bloklar ise aşağı kotlarda bulunan haneler için tehlike arz

etmektedir. Bu nedenle köylüler tarafından riskin azalmasına yönelik çeşitli önlemler (tel ağ, yığma taş, beton vb) alınmıştır (Şekil 11).

Sol yamaçta bulunan yedigöl köyü daha önceden sağ yamaçta bulunmaktaymış. Sağ yamaç sol yamaca kıyasla daha dik olup anakaya yüzeyleme vermektedir. Fakat köyün bulunduğu önceki yerde eğimin çok olması neden ile çığ meydana gelmiş ve çığ riskleri nedeni ile köy sol yamaca taşınmıştır. Sol sahile taşınan köyde bu defeda kaya düşme olayları meydana gelmiştir. Meydana gelen vakalarda mal kayıpları meydana gelmiştir. Köyün hemen üst kısımlarında ve köy içerisinde yuvarlanmış bloklar bulunmaktadır.



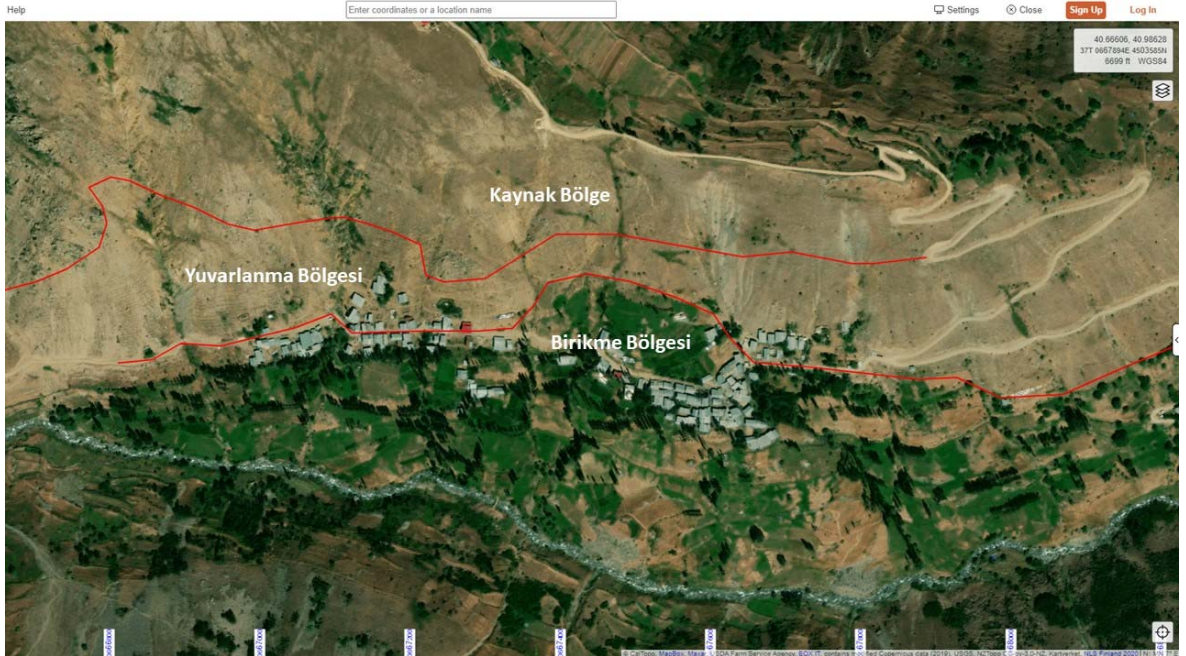
Şekil 10. Proje konusu yamaçta bulunan bloklar



Şekil 11. Tehlikeli bloklar için alınan yerel önlemler (sırasıyla; topuk tamponu, yığma taş, tel ağ ve beton tampon)

2.2. Arazi Çalışmaları

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında arazide kaynak bölgeler, serbest blokların bulunduğu bölge, yuvarlanma bölgesi ve birikme bölgesi tespit edilmiştir (Şekil 12). Bölgelerdeki kaya/blokların konumları ve fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Kaynak bölgede mostra vermiş kayaların/blokların durumları ve özellikleri (kaya kütlelerinde süreksizlik özellikleri ve ayrışma, blokların ise en, boy, yükseklik ve konumları hakkında veriler elde edilmiştir). Serbest blokların bulunduğu bölge, yuvarlanma bölgesi ve birikme bölgelerinde ise hareket etmesi olası blokların boyutları ve konumları tespit edilmiş ve her bir blok numaralandırılmıştır. Olası hareketleri söz konusu olan blokların birim hacim ağırlığının tespit etmek için araziden laboratuvar deneyleri için blok numuneler alınmıştır. 2 ve 3 boyutlu analizlerde altlık oluşturması için bölgede İnsansız Hava Aracı (İHA) ile bölgenin yüksek çözünürlüklü koordinatlı fotoğrafları çekilerek ortofoto üretilmiştir. Üretin ortofotodan çeşitli haritalar üretilerek analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 12 Kaynak bölge, yuvarlanma bölgesi ve birikme bölgesi

2.3. Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri kapsamında araziden alınan bloklardan silindirik örnekler alınarak numunelerin birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan birim hacim ağırlıklar 2 ve 3 boyutlu analizlerde kullanılmıştır.

Laboratuvar deneylerinde araziden alınan blok numuneden karot alam aleti ile silindirik numuneler alınmış, altına numunelerin uçları kesilmiş, karot numunelerin uçları düzeltilmiş, çap-boy-ağırlıkları ölçülmüş ve sonuçta örneklerin birim hacim ağırlıklar hesaplanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Bloktan numune alınması (a), örneklerin kesilmesi (b), örneklerin uçlarının düzeltilmesi (c) ve örneklerin etüve atılması (d)

2.3.1. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Ölçümü (Kompas Yöntemiyle)

Belirli bir geometriye sahip olan karot veya prizmatik kara örneklerinin gözeneklerde dahil olmak üzere yoğunluğu ve birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılır. Kompas yöntemi kullanılırken örnek kayanın kolay şişebilen, kırılabilen, dağılabilen özellikte olmaması gerekir. Silindirik şekilde hazırlanmış karot örnekleri 0.1mm duyarlılıkta kompas yardımıyla Çap (D) ve Boy (L) ölçülür.

En az üç örnek üzerinde kompasla ölçüm işlemi yapılır ve ortalaması alınır. Alınan ölçümlere göre silindirik karot örneğinin hacmi (V) hesaplanır.

Tablo 2. Kompas Yöntemiyle Ölçülmüş Örnekler

Örnek No	1	2	3	4	5
Çap (mm)	49,8	48,92	48,94	48,96	48,88
Boy (mm)	130,3	128,78	130,17	129,59	129,13
Alan (cm ²)	19,47	18,79	17,81	18,82	18,76
Hacim (cm ³)	253,8	242,05	244,86	243,97	242,31

Karot örneklerinin ağırlıkları (W) hassas terazide ölçülerek Doğal Birim Hacim Ağırlık, Kuru Birim Hacim Ağırlık, Doygun Birim Hacim Ağırlıkları hesaplanır. İlk ağırlık ölçümü doğal örnek üzerinde yapılarak doğal ağırlık, ardından 24 saat suda bekletilerek doymuş ağırlığı ve 105⁰C’lık fırında 24 saat kurutulduktan sonra soğuması için 30dk desikatörde bekletilir ve örneğin kuru ağırlığı belirlenir. Ölçümleri yapılan W ve V esas alınarak her örneğin yoğunluğu ve birim hacim ağırlığı aşağıda gösterilen bağıntılardan hesaplanır.

$$\text{Yoğunluk (gr/cm}^3\text{)} \quad p = W / V$$

$$\text{Birim Hacim Ağırlık (kN/m}^3\text{)} \quad y = p \times 9,81$$

Tablo 3. Kompas Yöntemiyle Örneklerin Doğal, Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlıklarının Belirlenmesi

Örnek No	1	2	3	4	5
Doğal Kütle (g)	516,24	512,6	519,34	513,67	503,49
Doygun Kütle (g)	528,13	524,6	532,06	525,74	515,2
Kuru Kütle (g)	502,34	498	506,38	499,34	490,48
Doğal BHA (kN/m ³)	19,95	20,78	20,81	20,65	20,38
Doygun BHA (kN/m ³)	20,41	21,26	21,32	21,14	20,86
Kuru BHA (kN/m ³)	19,42	20,18	20,29	20,08	19,86

Tayinlerde kullanılacak örneklerin en az 50g ve bir kenarı en az 27mm olan örnekler kullanılmalıdır. Ayrıca yoğunluk değerleri 0,1g/cm³, birim hacim ağırlıklar ise en yakın 0,1 kN/m³ ‘e kadar verilmelidir.

2.4. Proje Alanının Kaya Düşme Riski Sınıflama Sistemine Göre Değerlendirilmesi

Kaya şev duraylılığının incelenmesi, açık ocak madenleri, karayolları ve doğal yamaçlar gibi birçok mühendislik sürecinin tasarlanması için oldukça önemlidir. Uygun ve doğru yöntemler kullanılarak yapılan şev tasarımları; sadece şev duraylılığını arttırmakla kalmaz, aynı zamanda kazaları azaltarak güvenli ortamda çalışma imkânı da sağlar. Kaya şevlerindeki yenilmeler çoğunlukla kütle içindeki süreksizliklere bağlıdır. Kaya şev problemlerinin çoğu süreksizlikler arasındaki geometrik ilişkilere bağlı olduğundan (Hack vd., 2003; Kınca ve Koca, 2009), süreksizliklerin kinematik olarak değerlendirilmesi kaya mühendisliği alanında önemli bir konudur.

Şev duraylılığı genellikle kinematik analizler, limit denge analizleri, sayısal analizler (nümerik) ve Şev Kütle Puanlaması (SMR) gibi kaya kütle sınıflandırma sistemleri ile değerlendirilmektedir (Hoek ve Bray, 1981; Hoek, 1999; Ulusay vd., 2001). Veri olarak, şev geometrisi ve süreksizliklerin kayma dayanımı parametrelerinden içsel sürtünme açısının kullanıldığı kinematik analizler, kaya şevlerindeki yenilmelerin süreksizlikler tarafından kontrol edildiği durumlarda kullanılabilir (Kliche, 1999; Kınca ve Koca, 2009; Kulatilake vd., 2011). Kinematik analizler ile kaya şevlerindeki olası yenilme türleri (düzlemsel, kama tipi ve devrilme türü yenilmeler) belirlenebilmektedir.

Kinematik analiz sonucunda herhangi bir yenilme tehlikesi ortaya çıkarsa, limit denge analizleri ile olası tehlike araştırılır. Limit denge analizleri yenilme düzlemi boyunca gelişen makaslama dayanımını, boşluk suyu basıncını ve maksimum yatay yer ivmesi gibi dış kuvvetleri dikkate almaktadır. Limit denge analizleri şevlerin duraylılığının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan basit bir yöntem olmasına rağmen, şevler kazı örselenmesi, süreksizlik yönelimleri gibi karmaşık mekanizmalar tarafından duraysızlığa uğradığında, limit denge analizleri zaman zaman yetersiz kalmaktadır. Kaya kütle sınıflandırmaları tünel ve yeraltı madenciliğinde yıllarca başarı ile uygulanmaktadır (Barton 1976, 1988; Bieniawski, 1989). Yeraltı kazıları için geliştirilen bazı kaya kütle sınıflandırmaları sonraki yıllarda şevler için de uygulanabilmiş (Bieniawski, 1989) veya yeniden düzenlenmiştir (Romana, 1993, 2003). Bu çalışma kapsamında çalışma konusu yamaç kaya düşme riski potansiyeline göre sınıflandırılmıştır (Tablo 4 ve Tablo 5).

Tablo 4. Yamacın kaya düşme riskine göre sınıflandırılması (Saroglou vd. 2012)

Parametre	Sınıf/ Parametre Önem Faktörü	Puan				Skor (Puan ve parametre önem faktörünün çarpımı)
		25-40	Orta 40-50	Yüksek 50-60	Çok Yüksek >60 Konsol	
1. Şev açısı (°)	A/%7	25-40	Orta 40-50	Yüksek 50-60	Çok Yüksek >60 Konsol	
Puan		10	30	60	100	2.1
2. Şev yüksekliği (m)	A/%4	<15	15-30	30-60	>60	
Puan		10	30	60	100	4
3. Düşme yüksekliği (H toplam şev yüksekliğidir)	A/%7	Kayalar şevin alçak kesimlerinden düşüyor (H/4)	Kayalar şevin orta kesimlerinden düşüyor (H/2)	Kayalar şevin orta-yüksek kesimlerinden düşüyor (3H/2)	Kayalar şevin tamamını kat ediyor (H)	
Puan		10	30	60	100	4.2
4. Şev pürüzlülüğü	A/%3	Pürüzlü, düzlemsel, (sürtünme ivmeyi düşürüyor)	Düzlemsel kaygan (ivmeyi artırıyor)	Pürüzlü, dar basamaklar (sıçramaya neden oluyor)	Çok pürüzlü, dar basamaklar	
Puan		10	30	60	100	0.3
5. Şevdeki bitki örtüsü	A/%4	Yoğun bitki örtüsü, yüksek ağaçlar	Kısa boylu bitkiler, çalılıklar	Seyrek bitki örtüsü	Bitki örtüsü yok	
Puan		10	30	60	100	2.4

Tablo 4'ün devamı

6. Süreksizlik pürüzlülüğü/ Süreksizliklerdeki dolgu malzemesi/ Süreksizlik açıklığı	B/%6	Pürüzlü, kademeli	Kaygan, kademeli	Dalgalı ya da pürüzlülüğe bakılmaksızın açılı parçalar içeren dolgu malzemesi ya da orta açıklıkta süreksizlikler 2.5-10 mm	Az pürüzlü düzlemsel ya da pürüzlülüğe bakılmaksızın >5mm sert kil dolgulu ya da çok geniş açıklık 10-100mm	Kaygan düzlemsel ya da pürüzlülüğe bakılmaksızın >5mm yumuşak kil dolgulu ya da aşırı geniş açıklık >100mm	
Puan		10	15	30	60	100	1.8
7. Süreksizlik yönelimi (ya da süreksizliklerin kesişimi)	B/%5	Stabilite için olumlu		Orta	Olumsuz	Çok olumsuz	
Puan		10		30	60	100	3.0
8. Süreksizlik devamlılığı (m)	B/%4	Çok düşük <1m	Düşük 1-2m	Orta 2-5m	Yüksek 5-10m	Çok yüksek >10m	
Puan		10	15	30	60	100	1.2
9. Süreksizlik sıkışma dayanımı (SSD, MPa, süreksizliklerdeki sürtünmeyi etkiler)	B/%1	>30	20-30	5-20	<5 ayrılmış		
Puan		10	30	60	100	0.3	
10. Kaya malzemesinin dayanımı (MPa, düşükse düşen kayaların parçalanmasını sağlar, yüksekse sıçramayı artırır)	B/%1	<10	10-30	30-60	>60 MPa		
Puan		10	30	60	100	0.6	
11. Kaya kütleinin blok verme oranı / Blok hacmi (m ³)	B/%4	<1	1-2.5	2.5-4.0	4.0-8.0	>8.0	

Tablo 4'ün devamı

Puan		10	15	30	60	100	1.2
12. Yaklaşık blok sayısı (incelenen şevin genişliği için)	B/%2	Hiç	1-5	5-10		>10	
Puan		10	30	60		100	2
13. Karstik özellikler	B/%2	Karst yok	Seyrek	Orta sıklıkta oyuklar		Sık oyuklar	
Puan		10	30	60		100	0.2
14. Yağış sıklığı ve şiddeti	C/%3	Nadir	Seyrek	Mevsimsel	Sık	Çok sok, yılın her dönemi	
Puan		10	15	30	60	100	0.9
15. Geçirgenlik/Şev drenaj durumu	C/%3	Çok yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok düşük	
Puan		10	15	30	60	100	1.8
16. Sismik tehlike (ivme katsayısı α)	C/%4	$\alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$		$\alpha > 0.36$	
Puan		10	30	60		100	
17. Tutma alanının genişliği (m)	D/%10	>20	10-20	5-10		2-5	Yok
Puan		10	15	30		60	100
18. Kaya düşmesi geçmişi	D/%5	Hiç-Az	Ara sıra	Çok sayıda		Sıklıkla	Sürekli
Puan		10	15	30		60	100
19. Şev ulaşılabilirliği	D/%5	Her türlü stabilizasyon uygulanabilir	Çoğu stabilizasyon türü uygulanabilir	Birkaç stabilizasyon türü uygulanabilir		Az sayıda stabilizasyon türü uygulanabilir	Ulaşım çok zor
Puan		10	15	30		60	100
20. Çarpmanın potansiyel etkisi ve yapıların değeri	D/%20	İhmal edilebilir; insan yapıları ve kalıcı aktivite yok	Düşük; düşük dereceli insan aktivitesi olan bölgeler	Orta sıklıkta insan mevcudiyeti; düşük sıklıkta evler		Yüksek; sık insan mevcudiyeti, çok sayıda ev	Çok yüksek; sürekli insan mevcudiyeti, yoğun şekilde meskûn alanlar
Puan		10	15	30		60	100

41.20

Sınıflama yapılırken arazi ölçümleri, laboratuvarında yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılmış ve mevcut yamaç için kaya düşme riski ağırlıklı puanı 41.20 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4). Bu değer ise çalışma alanının yer aldığı kaya yamacın “orta riskli yamaç (risk sınıfı 3)” sınıfına girdiğini göstermektedir (Tablo 5).

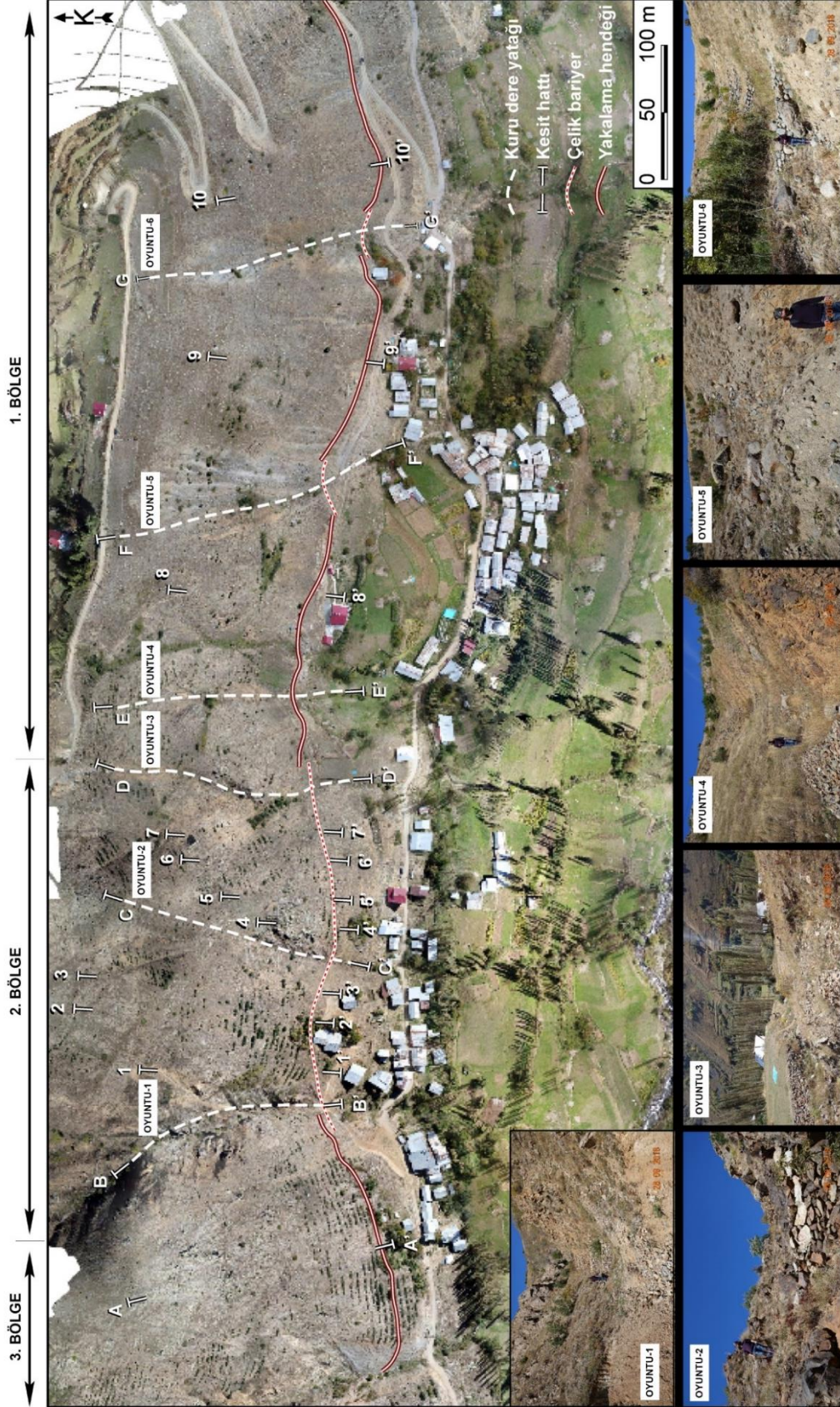
Tablo 5. Yamaçların kaya düşme riskine göre sınıflandırılması ve proje konusu kaya yamacın bu sınıflama sistemi içerisindeki durumu (Saroglou vd. 2012)

Risk Sınıfı	Toplam ağırlıklı skor 1-100	Risk	Gösterge koruma tedbirleri (seçim çalışılan bölgeye özgüdür)
I	<20	Çok düşük	Gerek yok. Seyrek müdahaleler olabilir.
II	21-40	Düşük	Kısıtlı derecede
III	41-60	Orta	Hafif tedbirler (örneğin bulonlar, ağlar, duraysız blokların alınması, basit hafif çitler)
IV	61-80	Yüksek	Aktif (bulonlar, ankrajlar gibi) ve pasif (ağlar, çelik halatlar, payandalı duvarlar, çitler, duraysız kayaların alınması) tedbirlerin birleşimi
V	81-100	Çok yüksek	Kritik stabilite durumu, genelleştirilmiş ve/veya güçlü aktif ve pasif tedbirlerin birleşimi. Geriye kalan risk kabullenilmelidir.

2.5. Jeoteknik Birimlerin/Bölgelerin Tanımlanması ve Hareket Türlerinin Tespit Edilmesi

Mühendislik jeolojisi çalışmalarında, 1/5000-1/10000 ölçekleri arasında tanımlanabilen, mineralojik bileşim ve yapısal anlamda homojen, ancak mekanik özellikler açısından uniform olmayan birimler “*litolojik tür*” olarak ifade edilir. Bu sınıflamada, birimin mekanik özellikleri için gerçek anlamda ve temsil edici ortalama değerlerin verilmesi mümkün olmayıp, mühendislik özellikleri belirli aralıkları temsil eden değerler şeklinde verilebilir. 1/5000 veya daha büyük ölçeklerde tanımlanabilen ve fiziksel anlamda en yüksek homojenlik derecesine sahip birimler ise “*jeoteknik birim veya bölge*” olarak ifade edilir (IAEG, 1976; Dearman, 1981).

Bu çalışmada tüm bunlar dikkate alınarak proje alanı jeoteknik bölgelere ayrılmıştır, kaya düşme potansiyeli açısından ANON (1976), IAEG (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından modifiye edilen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılmış ve proje alanı 3 farklı jeoteknik birime (bölgeye) ayrılmıştır (Şekil 14).



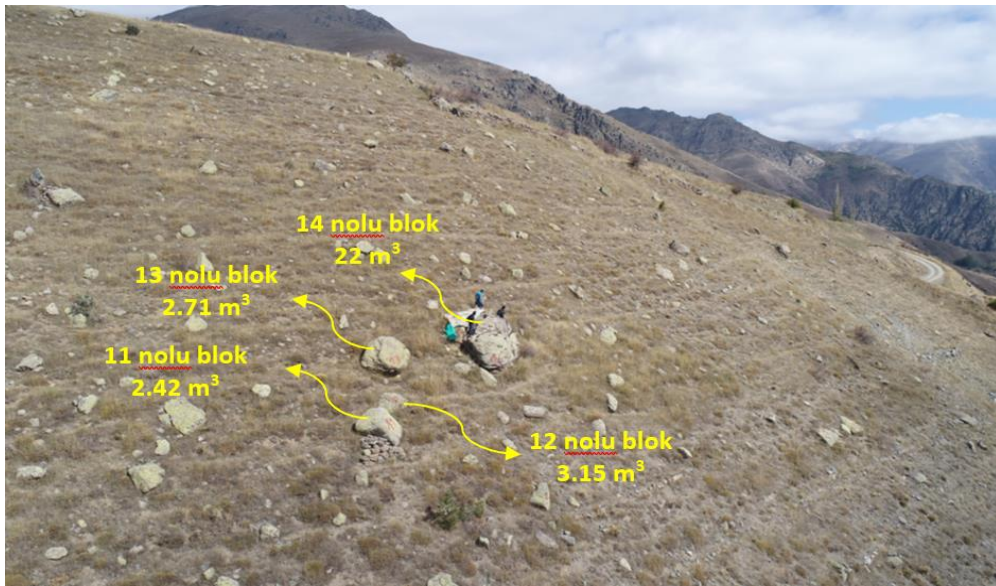
Şekil 14. Kaya Düşmesi Potansiyeline Göre 3 Farklı Bölgeye Ayrılmış Çalışma Sahası

3 farklı jeoteknik birime ayrılan çalışma alanında farklı hareket türlerinin olacağı ön görülmektedir. Bölgedeki hareket türlerinin tespit edilmesi önleme ve koruma yöntemlerinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. 1. Bölgede eğimin 25-45 derece arasında olduğu ve serbest blokların varlığı söz konusudur. Bu bölgede olası hareketlerin yuvarlanma şeklinde olduğu hem arazi gözlemlerinde hem de yerel halktan alınan bilgilere göre yuvarlanma şeklinde hareketlerin söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgedeki vadiler içinde ise sıçrama ve yuvarlanma şeklinde olduğunda tespit edilmiştir. 2. Bölgede ise eğim 45-70 derece arasında olup bu bölgede sıçrama ve yamacın diplerine doğru yuvarlanma şeklinde olduğu tespit edilmiştir. 3. Bölgede ise eğim 60-90 arasında olup düşme-sıçrama ve yuvarlanma türü hareketler söz konusudur.

2.6. Hareket Etmesi Olası Blokların ve Özelliklerin Tespit Edilmesi

2.6.1. Birinci Bölge

Proje sahasının doğu kesiminde bulunan alan Bölge-1 olarak tanımlanmıştır. Proje sahasındaki diğer bölgelerinden farklı olarak sabit bir eğime (30-40 derece arasında) ve derin olmayan oyuntulara sahiptir. Bölgede irili ufaklı birçok kaya bloğu bulunmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan farklı boyutlardaki blokların görünümü

Bu alanda yamaç düzenli bir yapı sunmaktadır. Yüksek kesimlerde veya yamaçta hareketlenecek bir bloğun sıçramasına neden olacak bir engebeli yüzey mevcut değildir. Bu nedenle genel olarak bu bölgede sıçramadan ziyade yamaç yüzeyi boyunca yuvarlanma meydana gelir. Birinci Bölgenin orta ve batı kesimlerinde yapılaşma hakim olup, bu bölgede yapılaşma ile yamacın arasında düşme riskinden kaynaklanacak etkiyi azaltacak bir düzlük bulunmaktadır (Şekil 16). Yapılaşmanın çok sık olmadığı orta ve doğu kesimler doğrudan riskli bölge içinde bulunmaktadır.



Şekil 16. Proje sahasında 1. Bölgede yoğun yapılaşmanın önünde bulunan ve kaya düşme riskinin azaltan tampon bölge ile doğu kesimde riskli bölgede bulunan yapılar

Oyuntu-3 ile “İkinci Bölgeden” ayrılan bu bölgede 3 adet oyuntu bulunmaktadır. Oyuntularda çoğunlukla ana kaya mostrası bulunmakla beraber, yüksek falezler içeren kaya kütleleri mevcut değildir (Şekil 17). Bununla birlikte özellikle doğu tarafındaki oyuntularda birkaç tonluk askıda kaya bloğu bulunmaktadır. Bu nedenle oyuntu boyunca köylülerin taşkın ve kaya düşmesine karşı önlem almak için taş yığma yapılar inşa ettikleri görülmüştür. Şekil 18, 19, 20 ve 221’de proje sahasının “Birinci Bölgesinde” bulunan ve tehlike arz eden bloklar, Tablo 5’te bu bloklar hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 17. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan oyuntular, oyuntularda görülen birkaç tonluk bloklar ve köylüler tarafından kaya düşmesi risklerini azaltmak için yapılan taş yığma yapılar

Tablo 6. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan blokların konumları ve fiziksel özellikleri

Blok No	Koordinatlar		Kot (m)	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Hacim (m ³)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kütle (ton)
	X	Y							
1	667782	4503680	2056	1.00	1.10	0.50	0.55	2.48	1.36
2	667768	4503680	2056	1.00	1.00	1.50	1.50	2.48	3.72
3	667767	4503670	2050	1.56	2.65	1.42	5.87	2.48	14.56
4	667769	4503670	2049	0.50	1.20	0.40	0.24	2.48	0.60
5	667764	4503670	2049	0.81	1.00	0.60	0.49	2.48	1.21
6	667760	4503670	2048	0.72	1.75	0.74	0.93	2.48	2.31
7	667746	4503670	2048	0.80	1.12	0.73	0.65	2.48	1.62
8	667760	4503650	2039	1.13	1.46	0.50	0.82	2.48	2.05
9	667755	4503650	2039	0.97	1.35	0.82	1.07	2.48	2.66
10	667729	4503650	2040	0.65	1.40	0.95	0.86	2.48	2.14
11	667723	4503660	2044	0.91	0.95	1.13	0.98	2.48	2.42
12	667725	4503660	2045	1.27	1.30	0.77	1.27	2.48	3.15
13	667727	4503660	2047	0.75	1.92	0.76	1.09	2.48	2.71
14	667735	4503660	2048	2.51	3.54	2.52	22.39	2.48	55.53
15	667735	4503680	2059	0.72	1.28	0.86	0.79	2.48	1.97
16	667717	4503680	2057	1.17	1.64	1.06	2.03	2.48	5.04
17	667703	4503680	2055	1.52	1.79	0.50	1.36	2.48	3.37
18	667699	4503670	2046	0.90	1.80	1.00	1.62	2.48	4.02
19	667693	4503670	2045	0.63	1.88	1.78	2.11	2.48	5.23
20	667654	4503670	2038	1.9	1.94	1.28	4.72	2.48	11.70
21	667738	4503610	2013	1.08	1.23	1.15	1.53	2.48	3.79
22	667754	4503610	2015	2	2.26	1.31	5.92	2.48	14.68
23	667752	4503610	2013	0.4	1.2	0.53	0.25	2.48	0.63
24	667805	4503620	2010	0.95	1.77	1.65	2.77	2.48	6.88
25	667809	4503620	2005	0.4	1.3	1.53	0.80	2.48	1.97
26	667815	4503610	2003	0.91	2.03	1.4	2.59	2.48	6.41
27	667810	4503640	2019	1.4	1.87	1.5	3.93	2.48	9.74
28	667905	4503610	2003	1.47	1.97	2.02	5.85	2.48	14.51
29	667914	4503620	2002	0.64	2	1.67	2.14	2.48	5.30
30	667629	4503720	2066	1	1	0.75	0.75	2.48	1.86
31	667604	4503720	2069	1.04	2.1	1.05	2.29	2.48	5.69
32	667588	4503710	2064	1.12	1.85	0.9	1.86	2.48	4.62
33	667564	4503710	2063	0.83	1.1	0.4	0.37	2.48	0.91
34	667559	4503730	2078	1.1	2.28	1.7	4.26	2.48	10.57



Şekil 18. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 1-10 numaralı bloklar



Şekil 19. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 11-20 numaralı bloklar



Şekil 20. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 21-30 numaralı bloklar



Şekil 21. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan 31-34 numaralı bloklar

Birinci bölgede kaya düşme riski olan bölgenin taban kotunda bulunan yapıların birçoğunun önünde blok hareketini sönmüleyecek bir düzlüğün bulunması bu bölge için riskin düşük olduğunu göstermektedir (Şekil 22).



Şekil 22. Proje sahasında Birinci Bölgede bulunan ve blok hareketini sönmüleyebilecek düzlük alan

2.6.2. İkinci Bölge

Proje sahasının orta kesiminde bulunan ve Oyuntu-1 ile Oyuntu-3 arasında kalan Bölge-2 olarak tanımlanmıştır. Genel olarak sabit bir eğime (30-45 derece arasında) sahip olan alanda Bölge-1'e göre daha derin Oyuntular mevcuttur. Bölgede irili ufaklı birçok kaya bloğu bulunmaktadır (Şekil 23).



Şekil 23. Proje sahasında İkinci Bölgede bulunan farklı boyutlardaki blokların görünümü

Bu alanda yamaç oyuntular haricinde düzenli bir yapı sunmaktadır. Yüksek kesimlerde veya yamaçta hareketlenecek bir bloğun sıçramasına neden olacak bir engebeli yüzey mevcut değildir. Bu nedenle genel olarak bu bölgede sıçramadan ziyade yamaç yüzeyi boyunca yuvarlanma meydana gelir.

İkinci Bölgede vadi tabanının tamamında yapılaşma hâkim olup, bu bölgede yapılaşma ile yamacın arasında düşme riskinden kaynaklanacak etkiyi azaltacak bir düzlük mevcut değildir (Şekil 24). Bu nedenle hareketlenecek her blok doğrudan risk oluşturmaktadır.




Şekil 24. Proje sahasında İkinci Bölge tabanında blok hareketinden doğrudan etkilenecek yapıların konumları

Oyuntu-3 ile “Birinci Bölgeden” Oyuntu-1 ile ise “Üçüncü Bölgeden” ayrılan bu bölgede 2 adet oyuntu bulunmaktadır. Oyuntularda çoğunlukla ana kaya mostrası bulunmakla beraber, yüksek falezler içeren kaya kütleleri de dikkat çekmektedir (Şekil 25). Şekil 26 ve 27’de proje sahasının “Birinci Bölgesinde” bulunan ve tehlike arz eden bloklar (ve/veya blok yoğunluklu alanlar), Tablo 8’de bu bloklar hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 25. Proje sahasında ikinci bölgede dik falezlerin mevcut olduğu oyuntular ve oyuntularda görülen birkaç tonluk bloklar

Tablo 7. Proje sahasında 1. Bölgede bulunan blokların konumları ve fiziksel özellikleri

Blok No	Koordinatlar		Kot (m)	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Hacim (m ³)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kütle (ton)
	X	Y							
43	667289	4503610	2056	1.00	1.10	0.50	0.55	2.48	1.36
44	667373	4503630	2056	1.00	1.00	1.50	1.50	2.48	3.72
Alan No			<i>41 numaralı alanın görünümü</i>						
35	667310	4503760	2105						
36	667212	4503750	2112						
37	667199	4503740	2102						
38	667153	4503740	2093						
39	667151	4503740	2086						
40	667164	4503720	2077						
41	667328	4503680	2054						
42	667317	4503670	2049						



Şekil 26. Proje sahasında ikinci bölgede bulunan 35-40 numaralı alanlar (birden fazla blok)



Şekil 27. Proje sahasında İkinci Bölgede bulunan 41, 42 numaralı alanlar (birden fazla blok) ve 43, 44 numaralı bloklar (son iki resim)

2.6.2. Üçüncü Bölge

Proje sahasının batı kesiminde bulunan ve Oyuntu-1 ile sınırlı alan Bölge-3 olarak tanımlanmıştır. Genel olarak sabit bir eğime (30-45 derece arasında) sahip olan alanda oyuntu bulunmamaktadır. Bölgede irili ufaklı birçok kaya bloğu bulunduğu gibi, mostra vermiş kırıklı kaya mostraları da mevcuttur (Şekil 28).



Şekil 28. Proje konusu alanda Üçüncü Bölgenin dronla (üst fotoğraf) ve güneyden kuzeye doğru çekilmiş (alt fotoğraf) fotoğrafları

Bu alanda yamaç mostra vermiş kaya kütleleri hariç düzenli bir yapı sunmaktadır. Yüksek kesimlerde veya yamaçta hareketlenecek bir bloğun sıçramasına neden olacak bir engebeli yüzey mevcut olmamakla beraber, kaya kütlelerinde meydana gelebilecek düşmeler yamaç yüzeyi boyunca yuvarlanma şeklinde devam edecektir.

Üçüncü bölgede vadi tabanının seyrek yapılaşma hâkim olup, bu bölgede yapılaşma ile yamacın arasında düşme riskinden kaynaklanacak etkiyi azaltacak bir düzlük mevcut değildir. Bu nedenle hareketlenecek blokların risk oluşturma imkânı bulunmaktadır.

Şekil 29'da proje sahasının "Üçüncü Bölgesinde" bulunan ve tehlike arz eden bloklar (ve/veya blok yoğunluklu alanlar), Tablo 10'da bu bloklar/alanlar hakkında bilgiler verilmiştir.



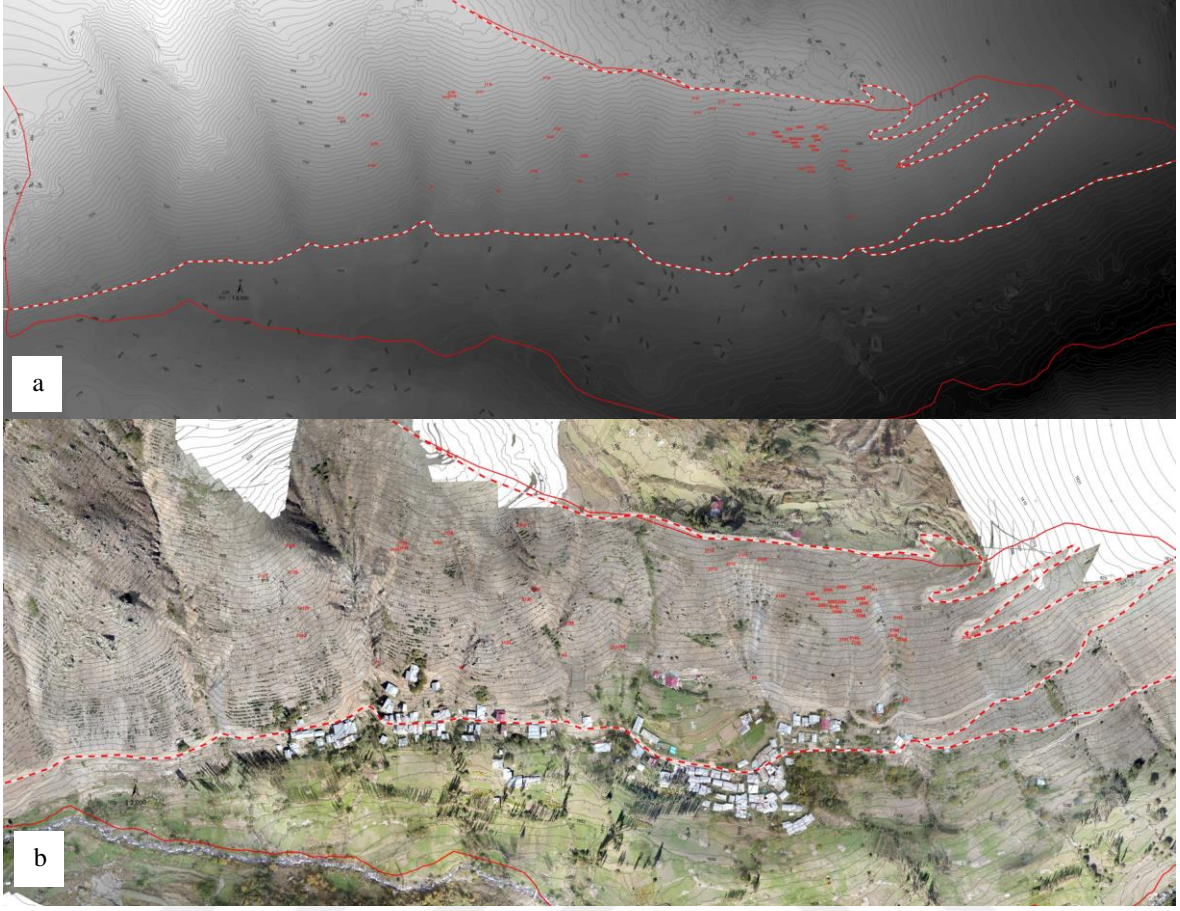
Şekil 29. Proje sahasında Üçüncü Bölgede bulunan 45, 48 ve 49 numaralı alanlar (birden fazla blok) ve 46, 47 numaralı bloklar

Tablo 8. Proje sahasında Üçüncü Bölgede bulunan blokların/alanların konumları ve fiziksel özellikleri

Blok No	Koordinatlar		Kot (m)	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Hacim (m ³)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kütle (ton)
	X	Y							
46	666979	4503700	2093	1	1.45	0.8	1.16	2.52	2.92
47	667006	4503700	2081	0.8	1.28	0.71	0.73	2.52	1.83
Alan									
45	667002	4503740	2073						
48	667021	4503650	2058						
49	667017	4503620	2035						

2.7. Sayısal Yüzey ve Yükseklik Modelinin Oluşturulması

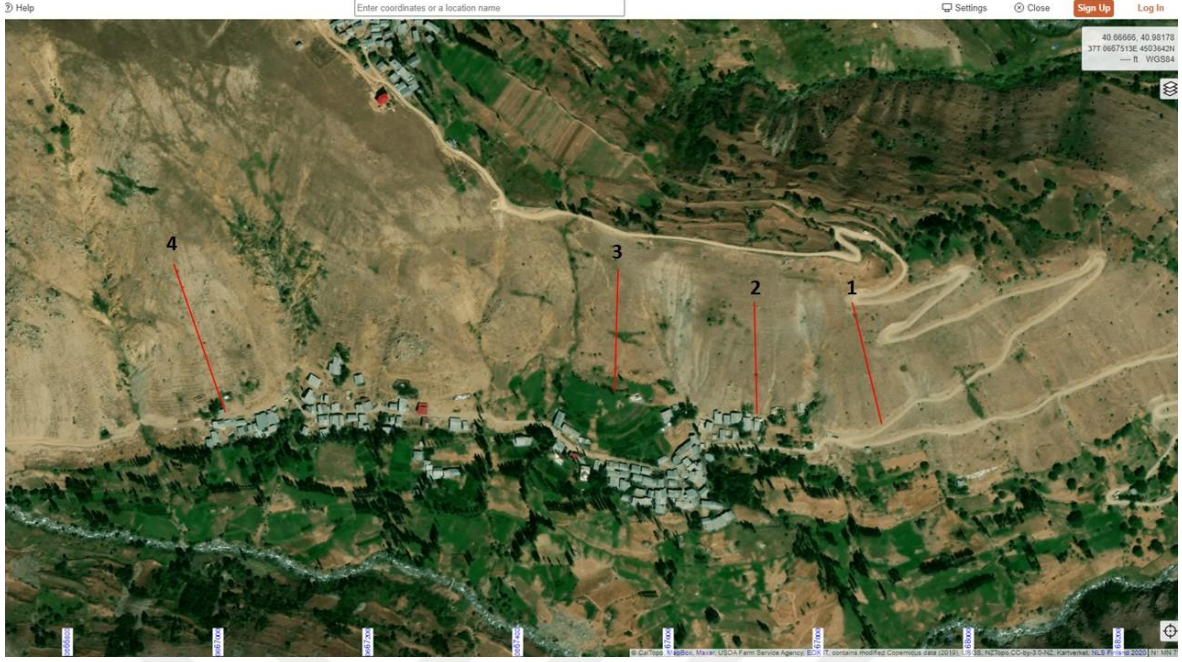
Bu çalışma kapsamında gerek dik yamaçların gerekse yoğun serbest blokların varlığı nedeniyle 2 ve 3 boyutlu analizlerde ve projelendirme aşamasında kullanılmak üzere gerekli olan farklı haritaların topoğrafik çalışmalar yardımıyla üretilmesi oldukça güç olduğu için haritalandırma işlemlerinde fotogrametrik yöntemler tercih edilmiştir. Fotogrametrik yöntemler ile herbir blok haritalar işlenerek analizlerde kullanılmıştır. Fotogrametrik yöntemde otonom uçuş yapabilen DJI Phantom 4 Pro insansız hava aracı kullanılmıştır. İnsansız hava aracı yardımıyla %80 bindirme oranına sahip olan 352 adet oblik hava fotoğrafı çekilmiş, bu fotoğraflar Agisoft PhotoScane yazılımı ile işlenerek çalışma alanına ait yüksek çözünürlüklü (2,65 cm/pix) DEM ve ortofoto oluşturulmuştur (Şekil 30 a ve b).



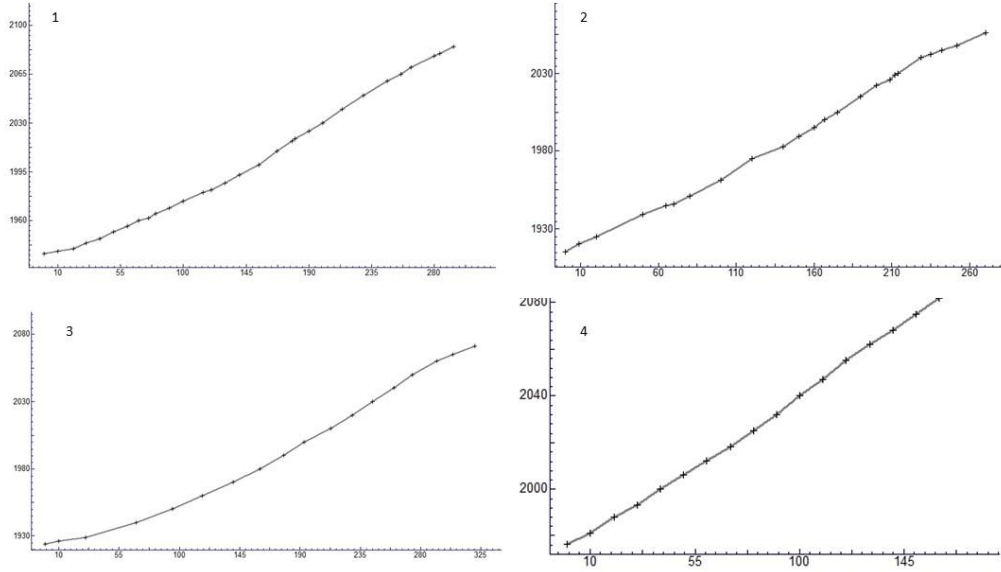
Şekil 30. Çalışma alanının DEM haritası (a) ve Ortofoto görüntüsü (b)

2.8. İki Boyutlu Analizler için Kesitlerin Hazırlanması

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalarda 1. ve 3. bölgelerde koruma yapısı olarak yakalama hendekleri yapılması gerektiği düşünülmüştür. 1. ve 3. bölgede yamaçların alt kısımlarında yakalama hendekleri için uygun alanların varlığı arazi çalışmaları esnasında tespit edilmiştir. Projelendirilmesi önerilen yakalama hendeklerinin boyutlandırılmasında 2 boyutlu RocFall (2004) programı kullanılmıştır. 2 boyutlu analizlerde 7 farklı kesit kullanılmış ve herbir kesit için en uygun yakalama hendeği geometrisi tespit edilmiştir. Projelendirilmesi önerilen yakalama hendeklerinin performansı 2 boyutlu analizlerle test edilmiştir. (Şekil 30 ve 31).



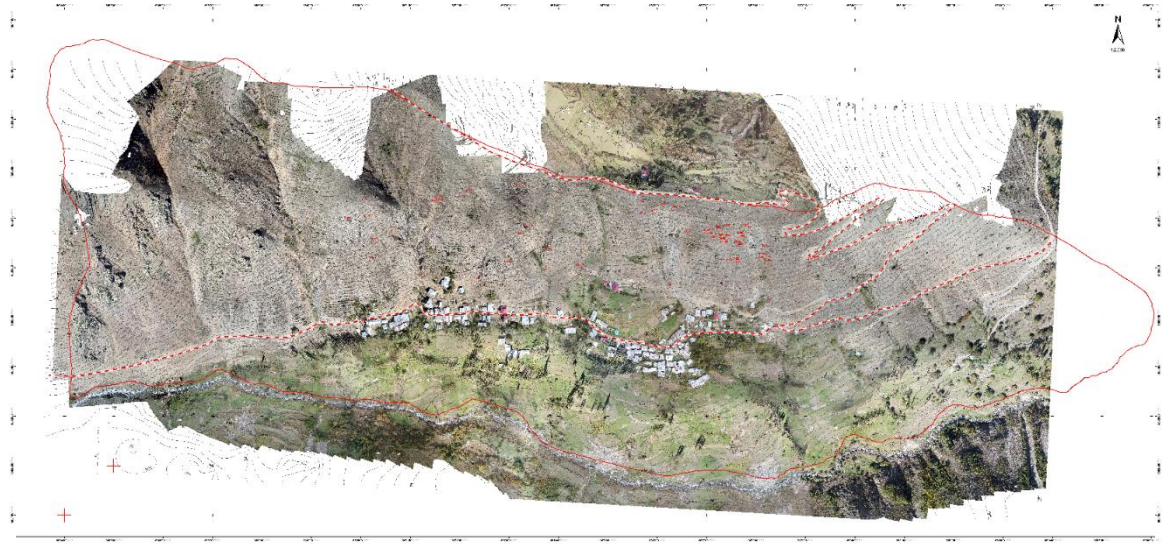
Şekil 30. İki boyutlu analizlerde kullanılan kesit hatlarını gösterir harita



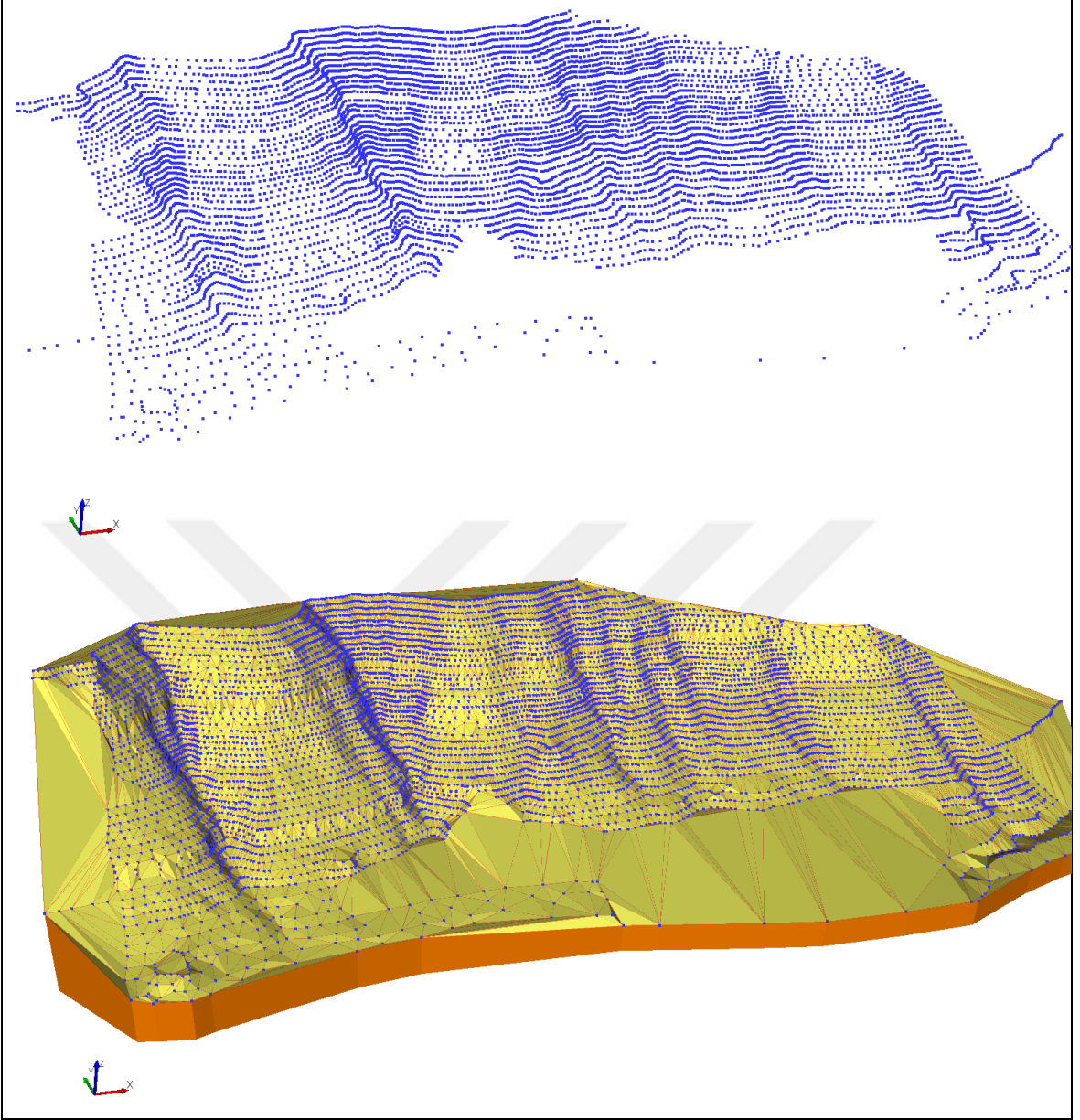
Şekil 31. İki boyutlu analizlerde kullanılan 4 adet hatta ait kesitler

2.9. Üç Boyutlu Modelin Kurulması

Çalışma alanının 3-boyutlu sayısal modeli proje sahasında dron uçuşları ile üretilen topoğrafik haritanın sayısallaştırılması sonucunda üretilmiştir (Şekil 32). Sayısallaştırma işlemi 3 boyutlu kaya düşme analizleri RocPro3D yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yazılımda sayısallaştırılan topoğrafik harita kullanılarak nokta bulutu oluşturulmuş (9489 adet nokta) ve bu oluşturan nokta bulutundan düzensiz üçgenler üretilerek (TIN) arazi yüzeyi (18774 yüzey) oluşturulmuştur (Şekil-33). Tin model kullanılarak çalışma alanının 3 boyutlu katı modeli (Şekil-34), 3 boyutlu yükseklik ve eğim haritaları oluşturulmuştur (Şekil-35). Oluşturan 3 boyutlu katı model kullanılarak farklı noktalardan farklı boyutlarda bloklar yuvarlanarak analizler yapılmıştır. Vadi içindeki bloklar için ve yamaçlardaki bloklar için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Yapılan 3-boyutlu kaya düşmesi analizleri ile vadi içindeki ve yamaçlardaki blokların sıçrama yükseklikleri, çarpma hızları ve enerji miktarları hesaplanmıştır (Şekil 41 ve Şekil 42). Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak vadi içleri ve yamaç dipleri için koruma ve önlemleri yapıları önerilmiş, önerilen koruma yapılarının performansı test edilmiş ve nihayetinde yazılım yardımı ile önerilen koruma yapılarının konumları ve boyutları belirlenmiştir.



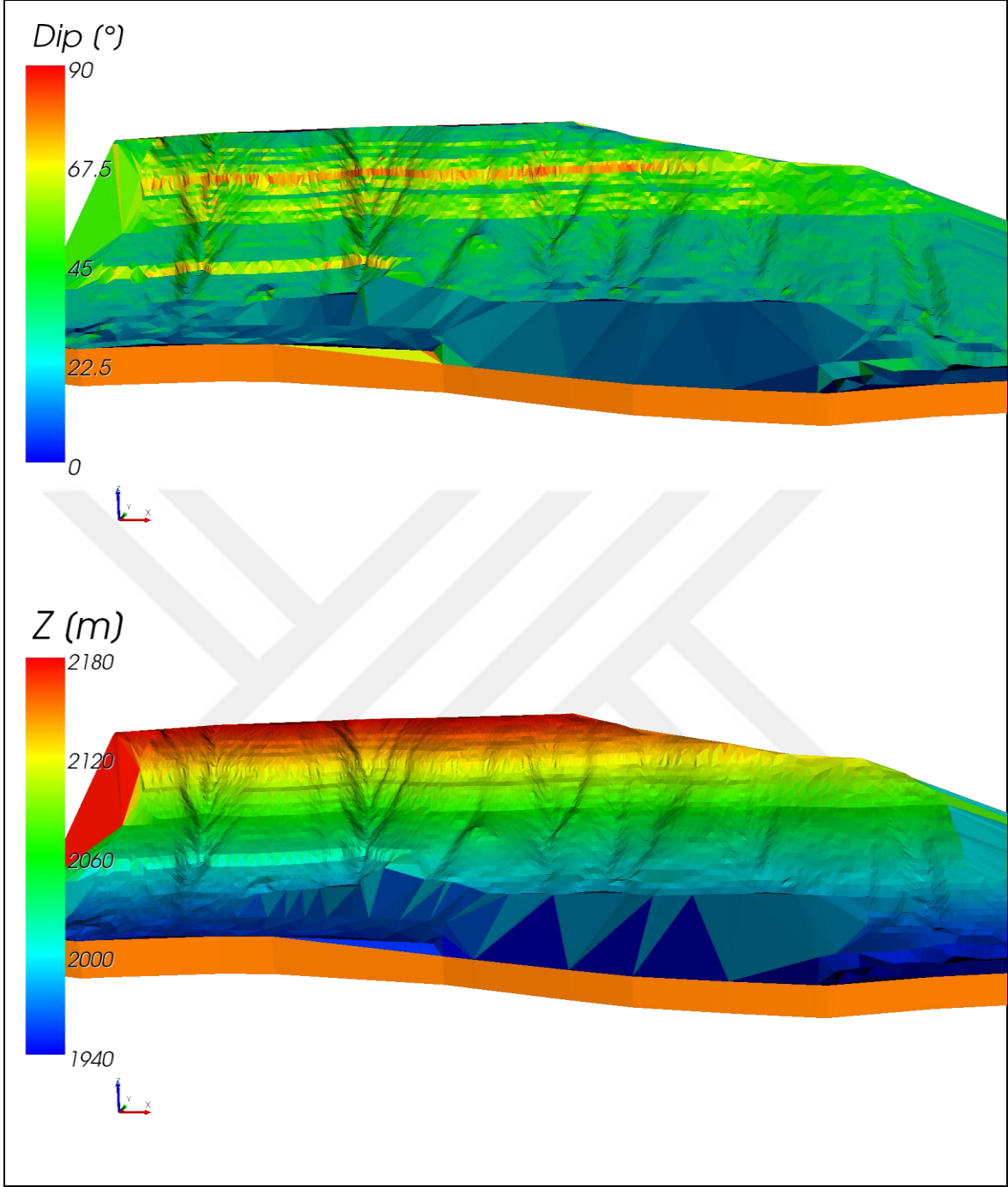
Şekil 32. Çalışma alanına ait Ortofoto görüntüsü



Şekil 33. RocPro3D yazılımında oluşturulan nokta bulutu (üst şekil) ve düzensiz üçgen ağı (TIN) (alt şekil)



Şekil 34. Çalışma alanının 3 boyutlu katı modeli

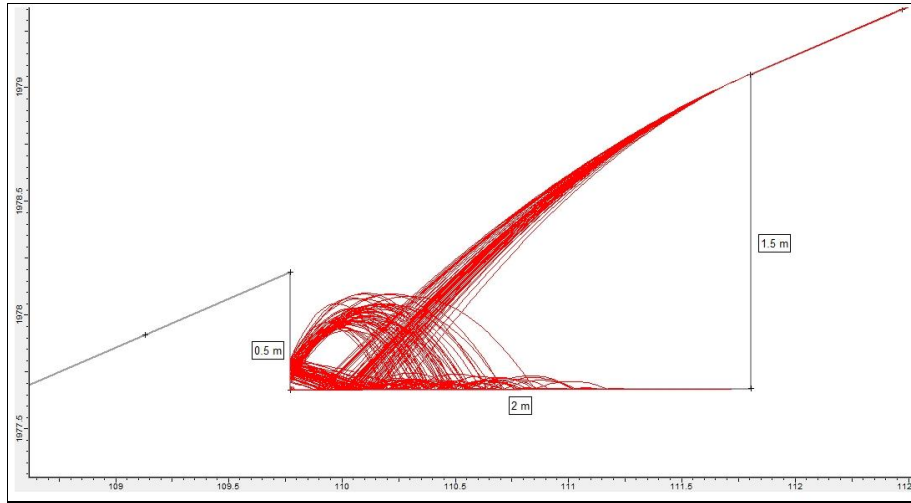


Şekil 35. RocPro3D yazılımında oluşturulan eğim haritası (üst şekil) ve yükseklik haritası (alt şekil)

2.10. İki ve Üç Boyutlu Kaya Düşme Analizleri

Köyün üst kısımlarında olası hareketi sonucu can ve mal kayıplarına neden olacak bloklar bulunmaktadır. Risk teşkil eden kayalar yamaç molozunun olduğu bölgelerde ve vadi içlerinde serbest olarak halinde, granitik kayaların yüzeyleme verdikleri yerlerde ise kaynak kaya halindedir. Kaynak bölgelerdeki kayalar fiziksel ayrışma ile parçalanarak yerçekiminin etkisi ile yamaç aşağı yuvarlanmaktadır. Kaya ıslahı için birleşik yöntemlerin kullanılması gerekliliğine karar verilmiştir. Kaya düşme olaylarının etkisini en aza indirmek için hem önleme hemde koruma yöntemleri önerilecek, önerilen yapıların konumları, boyutları ve performansları 2 ve 3 boyutlu analizler ile test edilecektir. Birleşik yöntemlerde blokların kırılması, kaynak zonların sarılması, yakalama hendeklerinin kazılması ve çelik bariyerlerin imalatı tasarlanmıştır.

İki boyutlu analizler yakalama hendeklerinin konumunun belirlenmesinde, boyutlarının tespit edilmesinde ve performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Üretilen haritalardan 7 farklı kesit alınarak 500 kg lık bloklar yuvarlanarak hendek yeri ve en uygun hendek geometrisi tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda 1.5 m, alt kotta 0.5 m derinliğinde ve 2.00 metre uzunluğunda kazılacak yalama hendeklerinin düşme/yuvarlanma/sıçrama hareketlerinin önlediği tespit edilmiştir (Şekil 36).

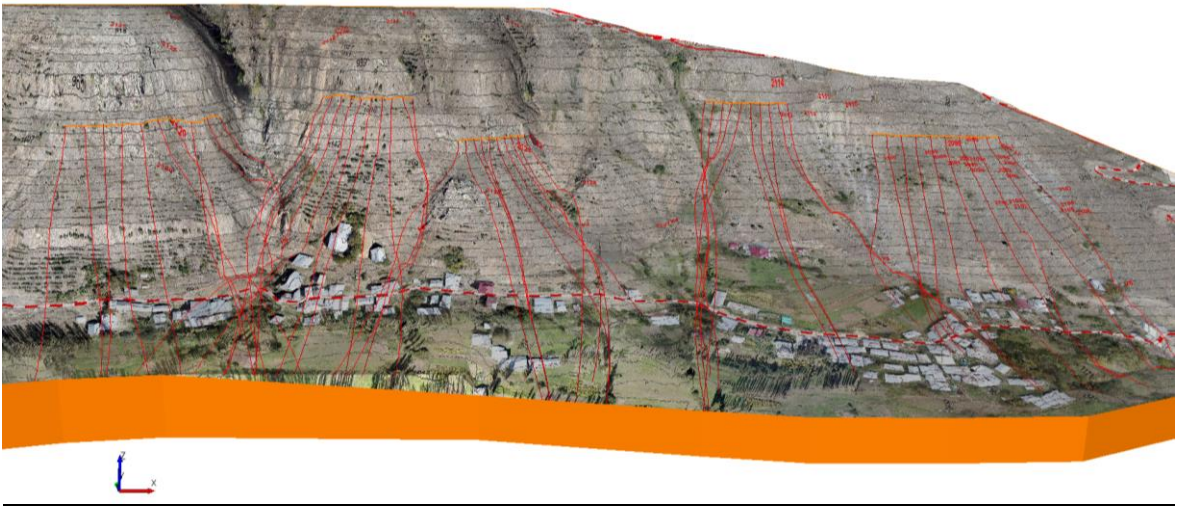


Şekil 36. Tasarlanan yakalama hendek geometrisinin 3 numaralı kesitte uygulanması ve hendek performansının değerlendirilmesi

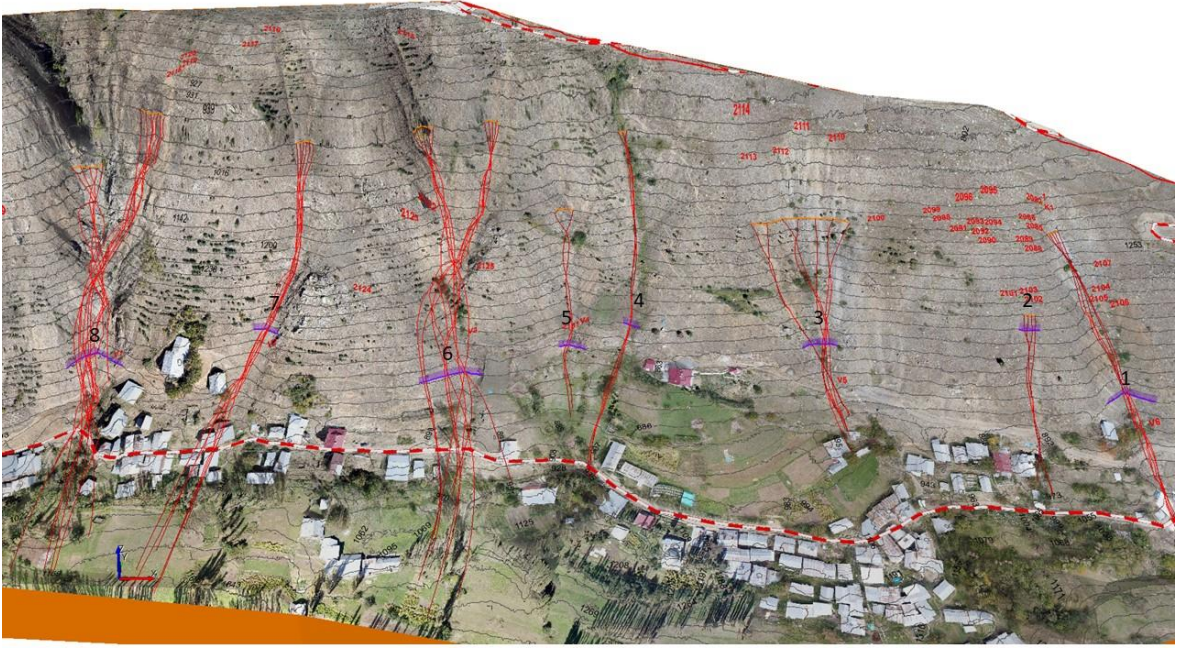
Üç boyutlu kaya düşme analizleri vadi içleri ve yamaçlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Oluşturulan 3 boyutlu katı model ile hareket etmesi olası blokların hızları, enerjileri ve sıçrama yükseklikleri tespit edilmiştir (Şekil 37 ve Şekil 38). Yapılan analizler sonucunda çelik bariyerlerin konulacağı konumları, boyutları ve enerjileri tespit edilmiştir. 3 boyutlu kaya düşme analizlerinde arazide tespit edilen maksimum kaya bloğunun ağırlığı kullanılmıştır. Bu bloğun boyutları ve yoğunluğu kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bloğun kütlesi 10 ton olarak hesaplanmıştır. 3 boyutlu analizlerde ilk aşamada koruma yapısız haritalar oluşturulmuş ikinci aşamada ise koruma yapılarının (yakalama hendeği ve çelik bariyer) performansının test edildiği haritalar üretilmiştir (Şekil 39 ve Şekil 40).



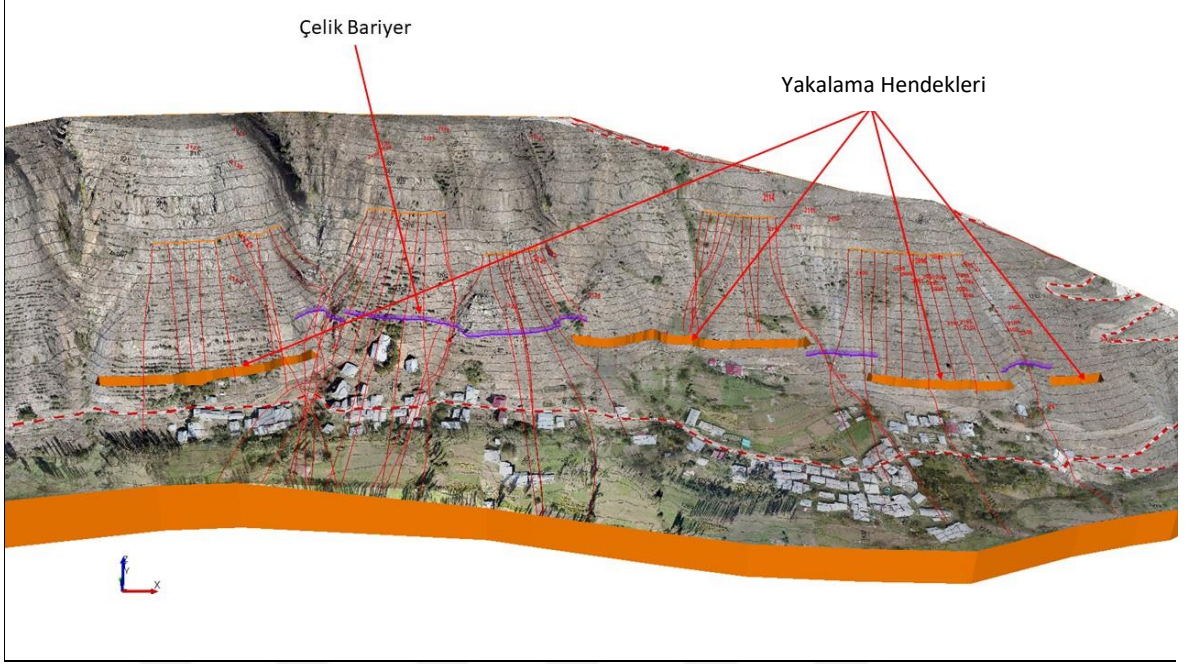
Şekil 37. Vadi içleri için yapılan 3 boyutlu analiz



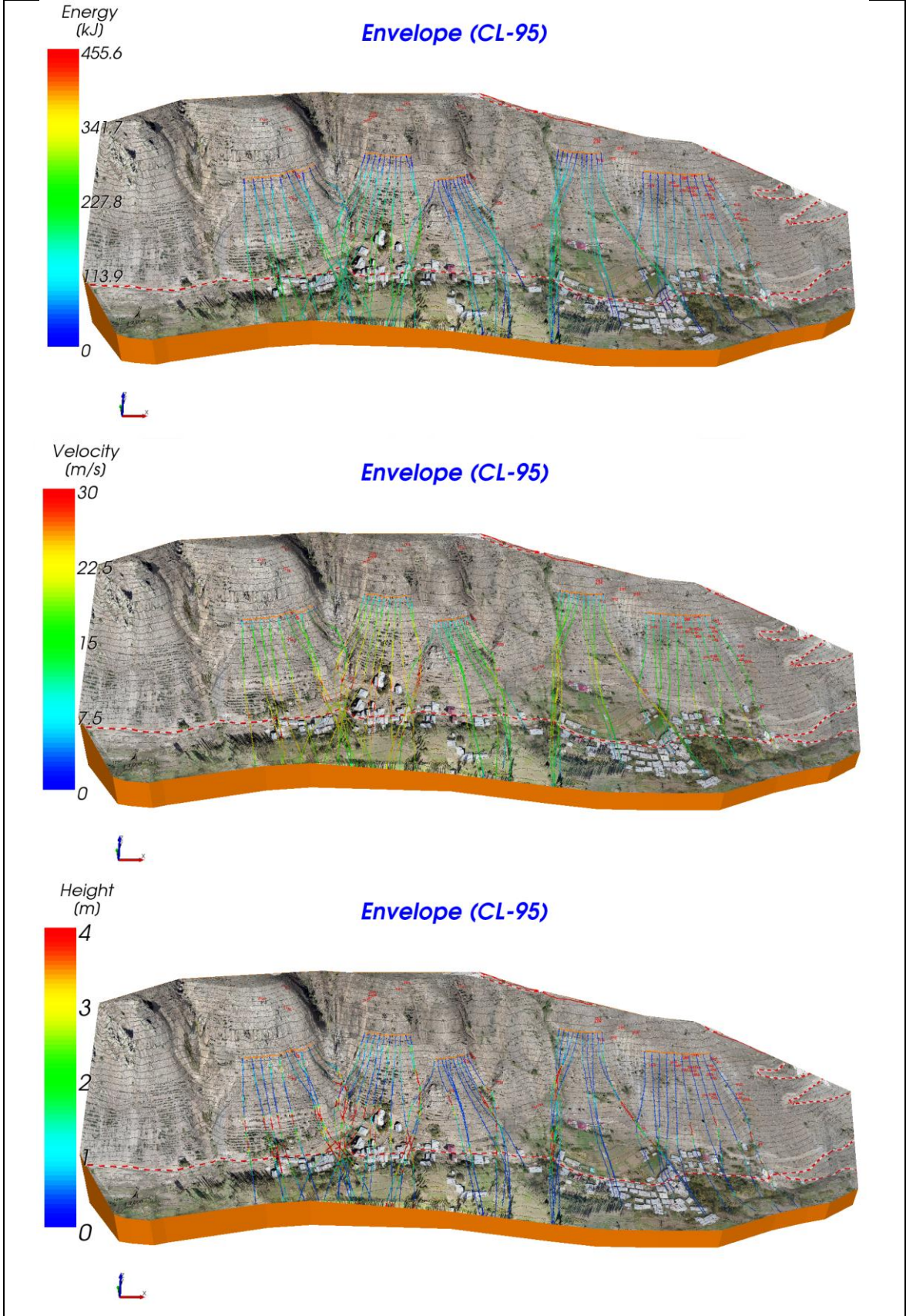
Şekil 38. Yamaçlar için yapılan 3 boyutlu analiz



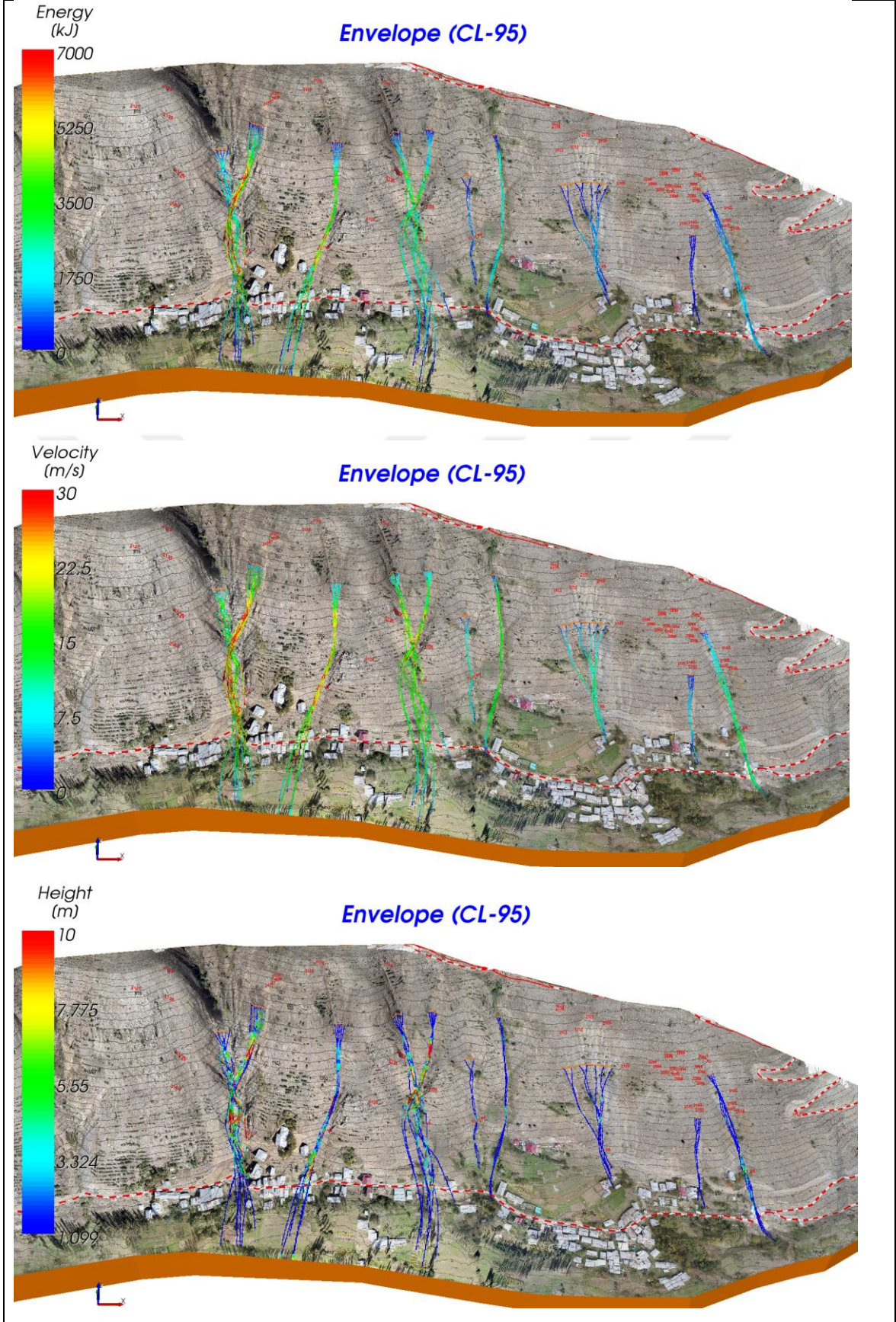
Şekil 39. Vadi içleri için önerilen çelik bariyer performansı için yapılan analiz



Şekil 40. Yamaçlar için önerilen çelik bariyer-yakalama hendeği performansı için yapılan analiz



Şekil 41. Yamaçlardan yuvarlanan 500 kg lık blokların enerji, hız ve yükseklik haritası



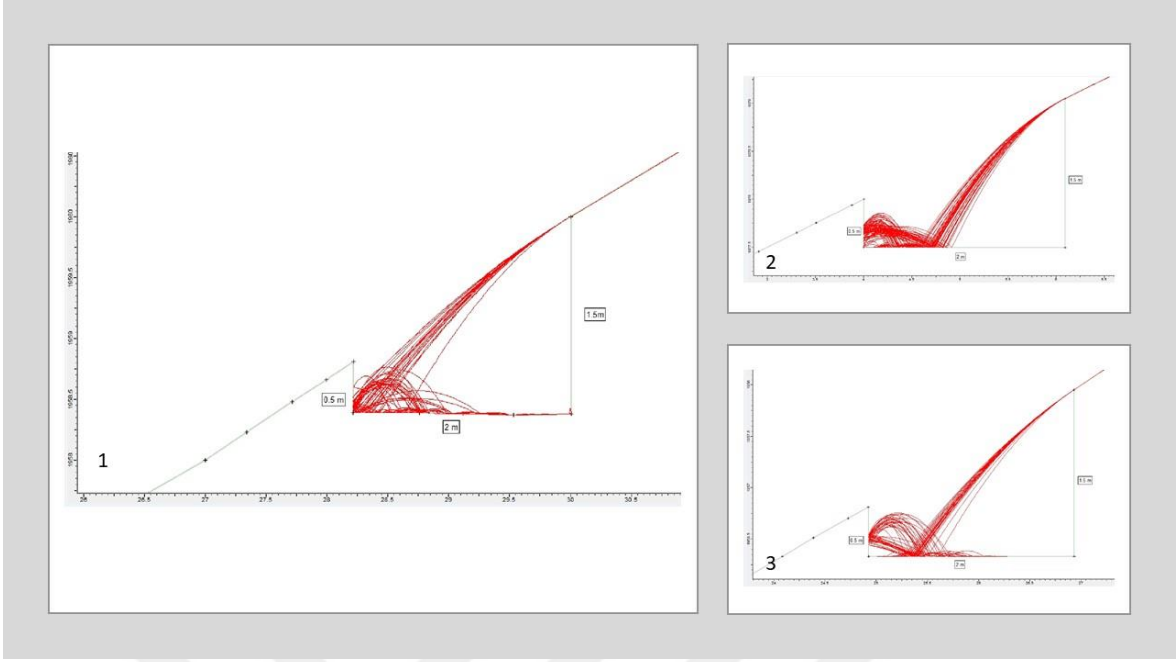
Şekil 42. Vadilerden yuvarlanan 14000 kg lık blokların enerji, hız ve yükseklik haritası

3. BULGULAR

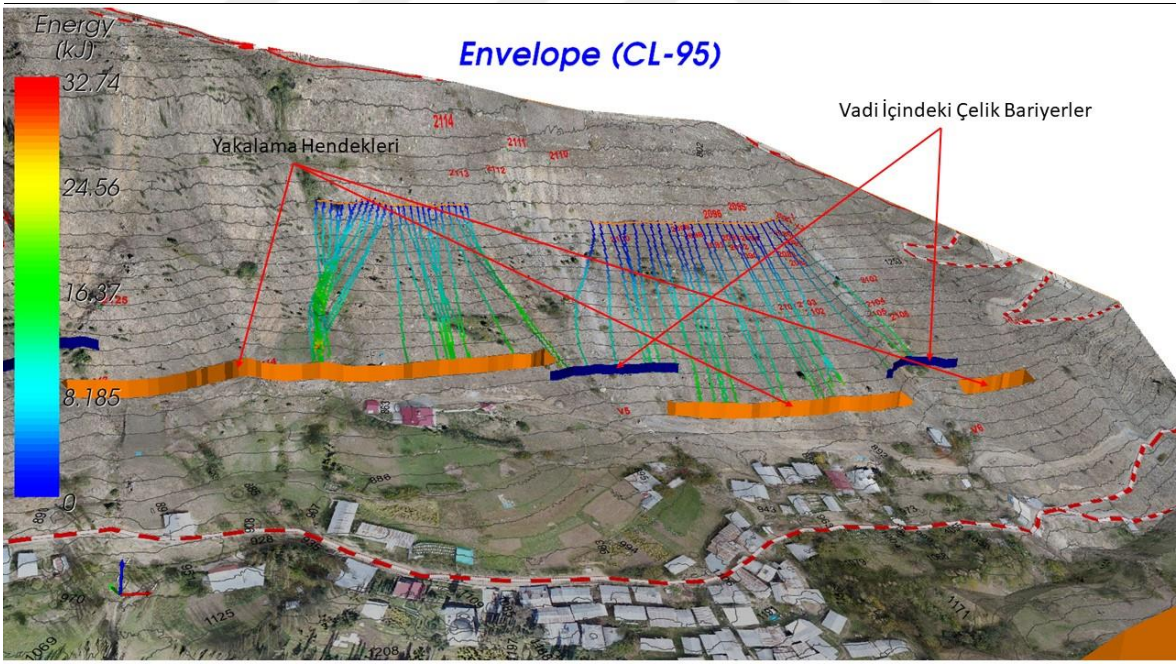
3.1. Bir Numaralı Bölge İçin Önerilen Kaya Islah Yöntemleri ve 2-3 Boyutlu Analizlerin Yorumlanması

Birinci bölge 3 vadi ve bu vadilerin arasında bulunan yamaçlardan oluşmaktadır. Bu bölgede koruma ve önleme yöntemlerinden yamaçlardaki serbest bloklardan 500 kg dan fazla ağırlığa sahip olanların kimyasal kırıcılar ile kırılması, 500 kg dan daha az ağır olan blokların olası hareketinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için yakalama hendeği kazılması ve vadi içindeki büyük bloklardan hareketini önlemek için çelik bariyer önerilmiştir. Yakalama hendeği için tüm analizler RocFall (2004) ve RocPro3D (2021) yazılımı ile, çelik bariyerler için ise tüm analizler RocPro3D yazılımı ile yapılmıştır.

Eğimli oyuntular dışında bu bölgede herhangi bir etkiyle (deprem, ağırlı yağış, sellenme, ayrışma, donma-çözülme vb) yuvarlanacak blokların yakalama hendekleri ile engellenmesi en etkili çözüm olacaktır. Bu nedenle üst kotta 1.5 m, alt kotta 0.5 m derinliğinde ve 2.00 metre uzunluğunda kazılacak hendekler için RocFall (2004) ve RocPro3D (2021) programları kullanılarak düşme/yuvarlanma/sıçrama analizleri yapılmış, planlanan hendeğin performansı araştırılmıştır. Kesit 1, 2 ve 3 hatları boyunca ve 3 boyutlu katı model üzerinde yapılan analizlerde hareket eden blok kütlesi 500 kg olarak tanımlanmış ve bu büyüklükte blokların planlanan hendeğin içinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 41 ve Şekil 42).



Şekil 43. Kesit 1,2 ve 3 numaralı hatlar boyunca yapılan 2 boyutlu kaya düşme analizi ve önerilen yakalama hendeklerinin performansı



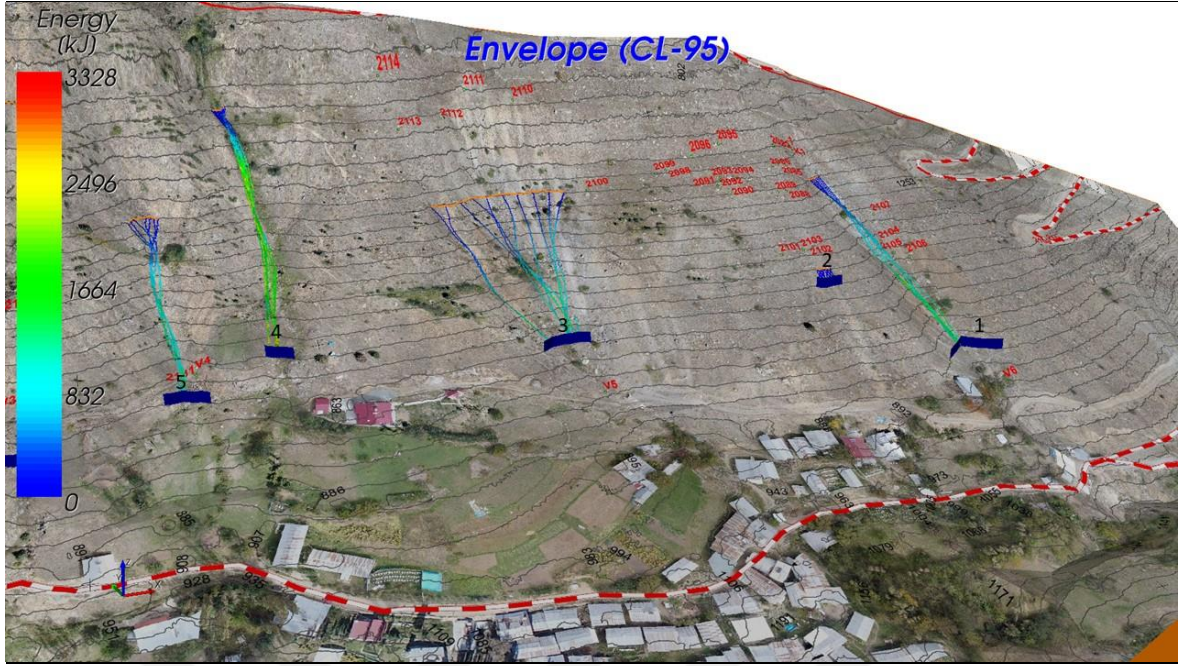
Şekil 44. Hendek performansının 3 boyutlu kaya düşme analizi ile değerlendirilmesi

Bu bölgede Şekil 9’da görülen hat boyunca hendek kazılması önerilse de Oyuntu-4, Oyuntu-5, Oyuntu-6 ve küçük vadiler boyunca hareket edecek bir bloğun hendek tarafından durdurulması mümkün değildir. Bu nedenle 4, 5, 6 ve küçük vadiler boyunca kaya tutucu bariyer inşası önerilmektedir. Bu bölgedeki vadi içlerine yapılması önerilen çelik bariyerlere özelliklerinin tespit edilmesi için yapılan 3 boyutlu analizler yapılmıştır. 3 boyutlu analizlerde Oyuntularda bulunan en büyük kaya bloğu (boyut: 1.5 x 2.5 x 1.5 m³; kütle:14 ton) harekete geçmesi düşünülerek yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 14 tonluk kütle için çelik bariyerlere maksimum 16 m/sn lik hız ve 2500 kJ’luk enerji çarptığı ortaya konulmuştur. Önerilen çelik bariyerlere ait özellikler ve blokların çarpma hızı tablo-7’de özetlenmiştir. Ortamda dayanımı yüksek ve ayrışma derecesi düşük kaya mostraları bulunduğu için kaya tutucu bariyer ankraj derinliklerinin 3 metre ile sınırlı olması yeterli olacaktır.

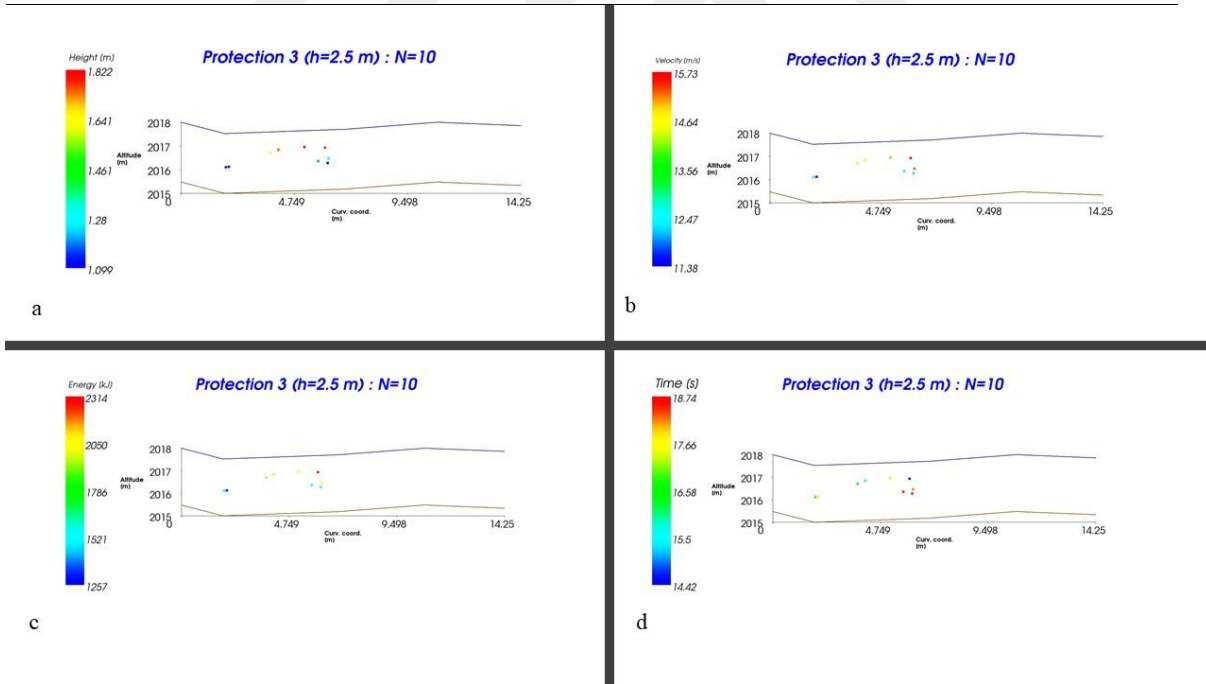
Tablo 9. 1 numaralı bölgedeki vadi içlerine önerilen çelik bariyerlere ait özellikler ve bloğun çarpma hızı

Bariyer No	Uzunluk (m)	Enerji (kJ)	Bloğun Çarpma Hız (m/sn)	Yükseklik (m)
1	20	1500	13	4,00
2	15	1500	4	1
3	25	1400	12	2
4	15	2500	16	2,5
5	20	1200	12	2

En yüksek enerji ile çarpmanın meydana geleceği bariyer 4 için kesit Şekil-44’te verilmiştir. Şekil-44’te blokların çarpma süresi, çarpma hızı, çarpma enerjisi ve bariyere çarptığı yükseklik verilmiştir.



Şekil 45. 3 boyutlu analiz ile vadi içlerine önerilen bariyerlerin performansının test edilmesi



Şekil 45. 4 numaralı çelik bariyerin için a) çarpma süresi, b) çarpma hızı, c) çarpma enerjisi ve d) bariyere çarptığı andaki yüksekliği

500 kg'dan daha yüksek kütleli blokların planlanan hendeği aştığı, daha derin hendek kazılmasının ise kütle hareketi riskini arttıracığı bilindiği için daha yüksek kütleli blokların kimyasal kırıcılarla kırılması ve kütlelerinin 500 kg'ın altına düşürülmesi planlanmıştır.

Uygulama maddeleri aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır;

* Kaya bloğu üzerinde matkapla en az 30 mm çapında ve blok yarıçapı derinliğinde delikler açılmalıdır. Delikler arası mesafe delik çapının 10 katından büyük olmalıdır.

* Açılacak deliklere kimyasal maddenin daha iyi doldurulabilmesi için deliklerin ıslatılmalı, deliklere su birikmesini önlemek için gerektiğinde hava sıkılarak bu suyun boşaltılması sağlanmalıdır.

* Kimyasal madde seçiminde uygulamanın yapılacağı hava sıcaklığı tahmin edilerek uygun malzeme seçilmelidir (kimyasal madde piyasa da 6 farklı ambalaj rengine bulunmakta olup 5°C ile +70° C arasındaki hava sıcaklıklarında kullanılabilir).

* Kimyasal toz kullanılmadan önce büyük bir kap içerisinde %30 oranında temiz su ile karıştırılmalıdır (5 kg lık paket için yaklaşık 1.5 lt su). Önce büyük bir kap içine su doldurulmalı daha sonra toz kimyasal yavaş yavaş katılmalıdır. Karıştırma kremi bir kıvam oluncaya kadar ve topaklanma meydana gelmeyecek şekilde devam etmelidir.

* Karışım, 5 dakika içerisinde açılmış olan deliklere doldurulmalı, deliklerde üst 1-2 cm boş bırakılmalıdır. Yatay delikler malzemenin akabilmesi için hafif meyilli olarak açılmış olmalıdır.

* 20-30 dakika arasında istenilen ebatta parçalanma gerçekleşecektir.

Seçilen delik çapına göre kullanılacak kimyasal toz miktarı Tablo 8'de, bu tabloda verilen değerler ve blok boyutları kullanılarak her bir blok için gerekli olan kimyasal toz miktarı değerleri ise Tablo 9'de verilmiştir.

Tablo 10. Delik çapına göre 1 metre derinlik için gerekli kimyasal toz miktarı

Delik çapı (mm)	30	32	34	36	38	40	45	50
Kimyasal miktarı (kg/m)	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.6	3.0

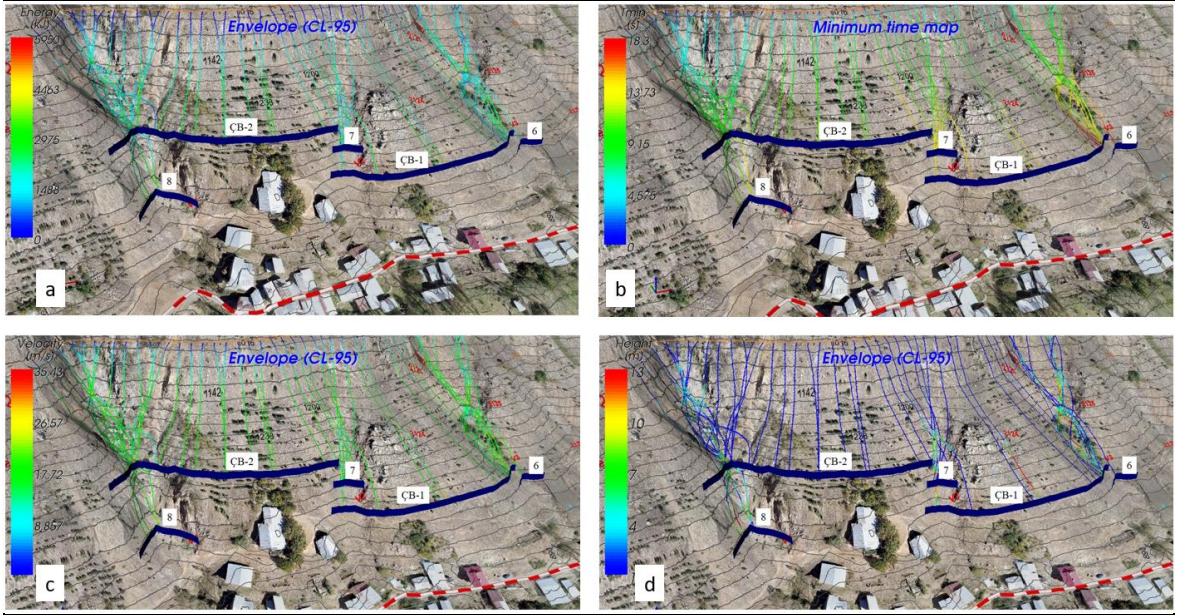
Tablo 11. Blokların kontrollü kırılması için gerekli kaya kırıcı kimyasal toz miktarı

Blok No	Koordinatlar		Kot (m)	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Kütle (ton)	Delik derinliği (m)	Delik adedi	Miktar (kg)
	X	Y								
1	667782	4503680	2056	1.00	1.10	0.50	1.36	0.5	5	3
2	667768	4503680	2056	1.00	1.00	1.50	3.72	1.0	9	10
3	667767	4503670	2050	1.56	2.65	1.42	14.56	1.0	20	20
4	667769	4503670	2049	0.50	1.20	0.40	0.60	0.4	5	2
5	667764	4503670	2049	0.81	1.00	0.60	1.21	0.6	5	3
6	667760	4503670	2048	0.72	1.75	0.74	2.31	0.7	9	7
7	667746	4503670	2048	0.80	1.12	0.73	1.62	0.7	5	4
8	667760	4503650	2039	1.13	1.46	0.50	2.05	0.5	5	3
9	667755	4503650	2039	0.97	1.35	0.82	2.66	0.8	9	8
10	667729	4503650	2040	0.65	1.40	0.95	2.14	0.9	9	9
11	667723	4503660	2044	0.91	0.95	1.13	2.42	1.0	9	10
12	667725	4503660	2045	1.27	1.30	0.77	3.15	0.7	12	9
13	667727	4503660	2047	0.75	1.92	0.76	2.71	0.7	9	7
14	667735	4503660	2048	2.51	3.54	2.52	55.53	1.0	60	60
15	667735	4503680	2059	0.72	1.28	0.86	1.97	0.8	5	5
16	667717	4503680	2057	1.17	1.64	1.06	5.04	1.0	12	12
17	667703	4503680	2055	1.52	1.79	0.50	3.37	0.5	9	5
18	667699	4503670	2046	0.90	1.80	1.00	4.02	1.0	9	9
19	667693	4503670	2045	0.63	1.88	1.78	5.23	1.0	12	12
20	667654	4503670	2038	1.9	1.94	1.28	11.70	1.0	16	16
21	667738	4503610	2013	1.08	1.23	1.15	3.79	1.0	9	9
22	667754	4503610	2015	2	2.26	1.31	14.68	1.0	20	20
23	667752	4503610	2013	0.4	1.2	0.53	0.63	0.5	5	3
24	667805	4503620	2010	0.95	1.77	1.65	6.88	1.0	12	12
25	667809	4503620	2005	0.4	1.3	1.53	1.97	1.0	5	5
26	667815	4503610	2003	0.91	2.03	1.4	6.41	1.0	12	12
27	667810	4503640	2019	1.4	1.87	1.5	9.74	1.0	16	16
28	667905	4503610	2003	1.47	1.97	2.02	14.51	1.0	20	20
29	667914	4503620	2002	0.64	2	1.67	5.30	1.0	12	12
30	667629	4503720	2066	1	1	0.75	1.86	0.7	5	4
31	667604	4503720	2069	1.04	2.1	1.05	5.69	1.0	12	12
32	667588	4503710	2064	1.12	1.85	0.9	4.62	0.9	12	11
33	667564	4503710	2063	0.83	1.1	0.4	0.91	0.4	5	2
34	667559	4503730	2078	1.1	2.28	1.7	10.57	1.0	16	16
TOPLAM KİMYASAL KIRICI TOZ MİKTARI (kg)										368

3.2. İki Numaralı Bölge İçin Önerilen Kaya Islah Yöntemleri ve 2-3 Boyutlu Analizlerin Yorumlanması

Bu bölgede, birinci bölgenin aksine dağınık bloklardan daha çok, ayrışmaya bağlı olarak dağılmış kaya mostraları gözlemlenmiştir. Bu blokların bir kısmı süreksizlik düzlemleri ile birbirleriyle ayrılmışken, çoğunlukla parçalı bir yapı sunan kaya kütleleri bulunmaktadır. Bu nedenle bu tür alanlarda kimyasal kırıcı kullanarak kontrollü küçültme

yapmak mümkün değildir. Her ne kadar bu tür kaya kütlelerinin çelik ağlarla sarılması önerilse de alanda çok sayıda bağımsız bloğun bulunması bu önlemin de bütünsel açıdan uygun olamayacağını göstermektedir. Bu nedenle yamacın mevcut köye yakınlığı da düşünülerek kaya tutucu bariyer sistemlerinin yamaç tabanı boyunca ve vadi içlerine kurulması önerilmektedir. Bu amaçla oyuntularda bulunan en büyük kaya blokları (10 ton) dikkate alınarak 3 boyutlu analizler yapılmış ve bu blokların planlanan bariyere çarpacağı çarpma hızları, çarpma enerjileri, bariyer çarpma yükseklikleri ve çarpma süreleri hesaplanmıştır. Tablo-10 da vadi içindeki ve yamaç dibindeki çelik bariyerlerin özellikleri ve blokların çarpma hızı özetlenmiştir.

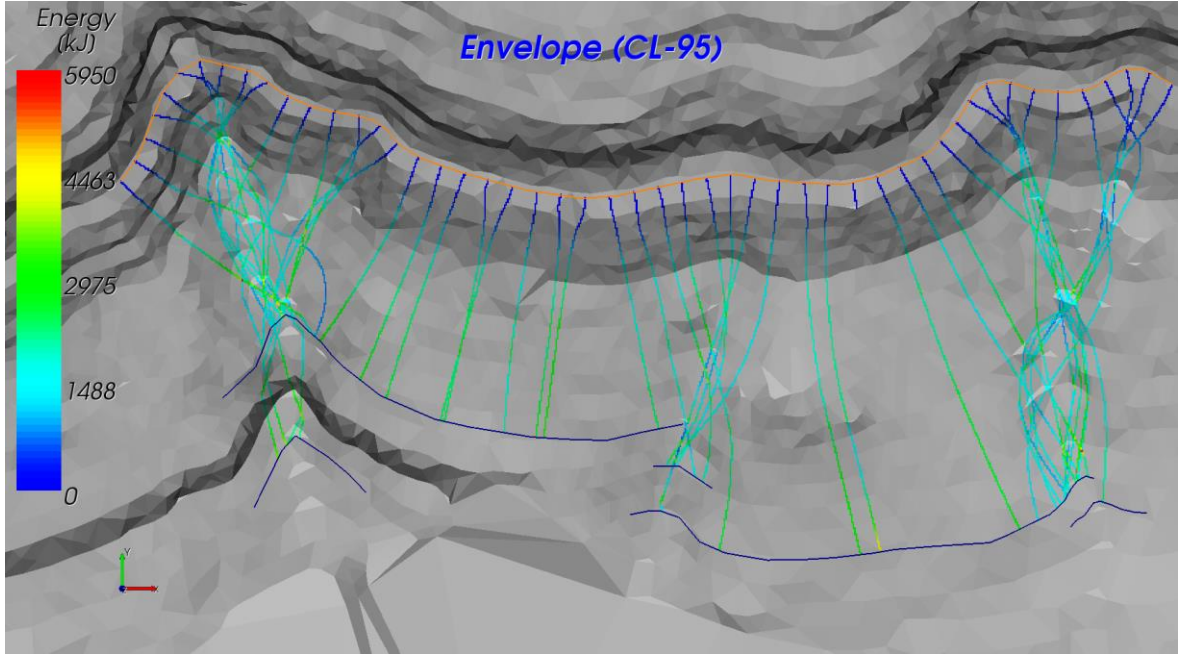


Şekil 47. İkinci bölgede bulunan vadi içindeki ve yamaç dibindeki çelik bariyerlerin performansının test edilmesi ve çeşitli haritaların üretilmesi ((a) Enerji, (b) Zaman, (c) Hız, (d) Çarpma anındaki yükseklik haritası)

Tablo 12. İki numaralı bölgedeki yamaç dibi ve vadi içlerine önerilen çelik bariyerlere ait özellikler ve blokların bariyer çarpma hızı

Bariyer No	Uzunluk (m)	Enerji (kJ)	Bloğun Çarpma Hız (m/sn)	Yükseklik (m)
6	30	2000	17	2
7	20	2200	17	4
8	60	4000	26	4,5
ÇB-1	170	3500	21	4
ÇB-2	120	3500	22	2

İki numaralı bölgede yamaç tabanı ve vadi içine çelik bariyer önerilmesinin sebebi vadi içinden geçen çelik bariyerlerin gelen blokları tutmada yetersiz olduğu görülmüştür. Bu nedenden dolayı yamaç dibindeki çelik bariyerlere ek olarak vadi içine de çelik bariyer önerilmiştir (Şekil 46).



Şekil 48. Yamaç dibindeki ve vadi içindeki çelik bariyerlerin birlikte çalışması

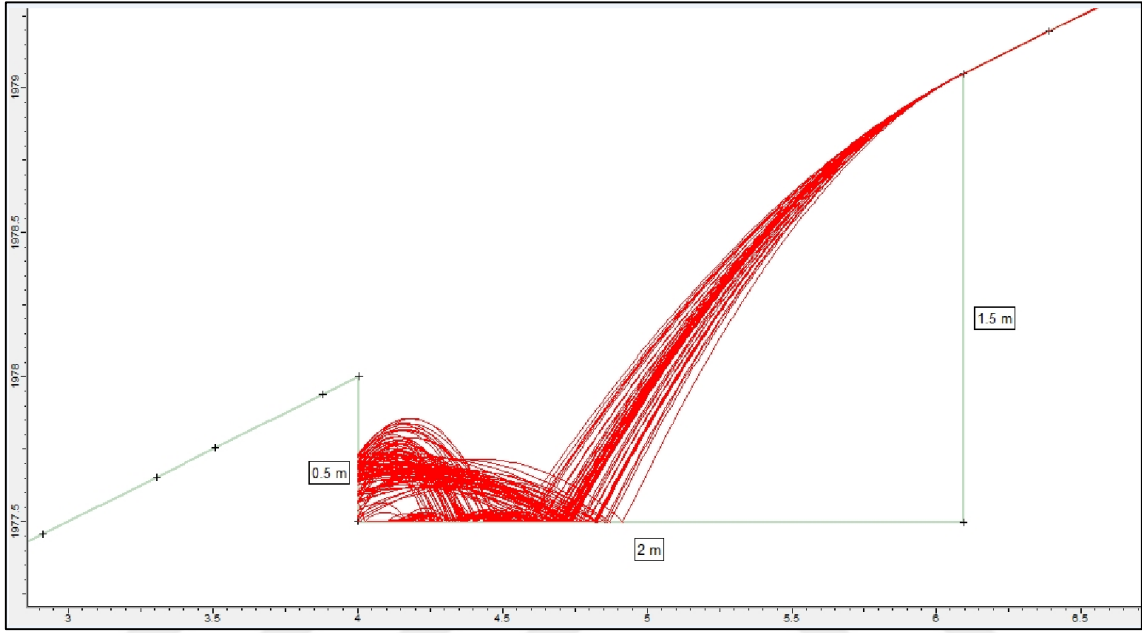
Dayanımı yüksek ve ayrışma derecesi düşük kaya mostraları bulunduğu için kaya tutucu bariyer ankraj derinliklerinin 3 metre ile sınırlı olacaktır.

3.3. Üç Numaralı Bölge İçin Önerilen Kaya Islah Yöntemleri ve 2-3 Boyutlu Analizlerin Yorumlanması

Mostra vermiş kaya kütleleri dışında bu bölgede herhangi bir etkiyle (deprem, ağırlı yağış, sellenme, ayrışma, donma-çözülme vb) yuvarlanacak blokların yakalama hendekleri ile engellenmesi en etkili çözüm olacaktır. Bu nedenle üst kotta 1.5 m, alt kotta 0.5 m derinliğinde ve 2.00 metre uzunluğunda kazılacak hendekler için RocFall (2004) ve RocPro3D (2021) programları kullanılarak düşme/yuvarlanma/sıçrama analizleri yapılmış, planlanan hendeğin performansı 2 ve 3 boyutlu olarak araştırılmıştır. 4 numaralı kesit hattı

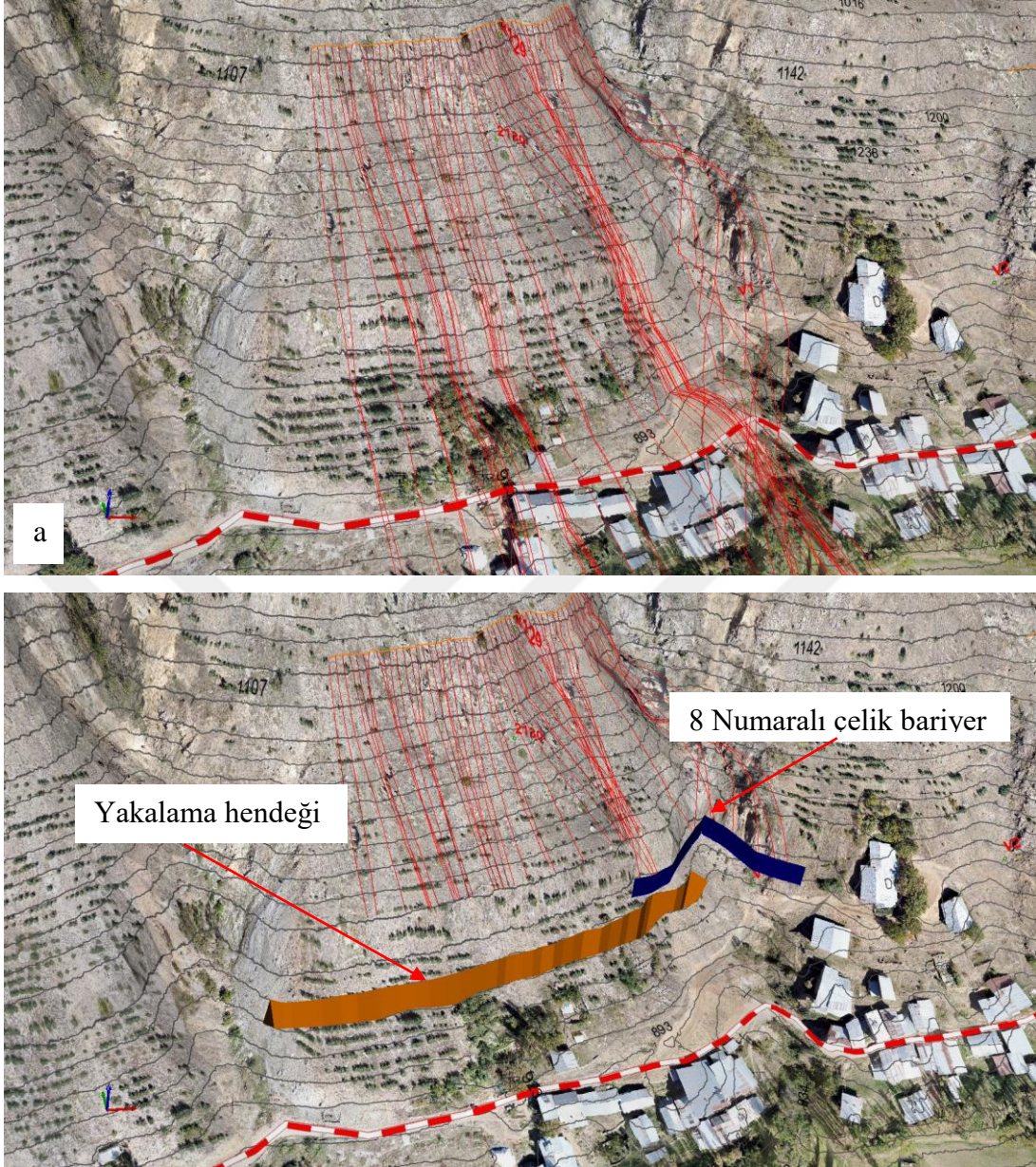
boyunca yapılan analizlerde hareket eden blok kütlesi 500 kg olarak tanımlanmış ve bu büyüklükte blokların planlanan hendeğin içinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 47).

4 numaralı kesit hattı boyunca alınan topografik kesit kullanılarak yapılan 2 boyutlu analizlerde önerilen hendeğin gelen 500 kg'lık blokları tuttuğu tespit edilmiştir.



Şekil 49. 4 nolu kesit hattı boyunca yapılan 2 boyutlu kaya düşme analizi ve önerilen yakalama hendeklerinin performansı

3 numaralı bölge için yapılan 3 boyutlu analizlerde önerilen hendek ve 8 numaralı çelik bariyerin üst kotlardan gelen 500 kg'lık blokları durdurduğu şekil-48'de görülmektedir. Şekil-48a incelendiğinde koruma yapıları 3 boyutlu modele işlenmeden önce hareket eden blokların köydeki konutlara zarar verdiği görülmektedir. İkinci aşamada koruma yapıları (yakalama hendeği ve 8 numaralı çelik bariyer) işlendiğinde gelen blokların köye ulaşmadığı tespit edilmiştir. Önerilen koruma yapılarının uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil-48b).



Şekil 50. Üçüncü bölge için yapılan 3 boyutlu kaya düşme analizi sonuçları koruma yapıları modele işlenmeden önce (a) ve koruma yapıları modele işlendikten sonra (b)

500 kg'dan daha yüksek kütleli blokların planlanan hendeği aştığı, daha derin hendek kazılmasının ise kütle hareketi riskini arttıracacağı bilindiği için daha yüksek kütleli blokların kimyasal kırıcılarla kırılması ve kütlelerinin 500 kg'ın altına düşürülmesi planlanmıştır. Seçilen delik çapına göre kullanılacak kimyasal toz miktarı Tablo 11'de, bu tabloda verilen değerler ve blok boyutları kullanılarak her bir blok için gerekli olan kimyasal toz miktarı değerleri ise Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 13. Delik çapına göre 1 metre derinlik için gerekli kimyasal toz miktarı

Delik çapı (mm)	30	32	34	36	38	40	45	50
Kimyasal miktarı (kg/m)	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.6	3.0

Tablo 14. Blokların kontrollü kırılması için gerekli kaya kırıcı kimyasal toz miktarı

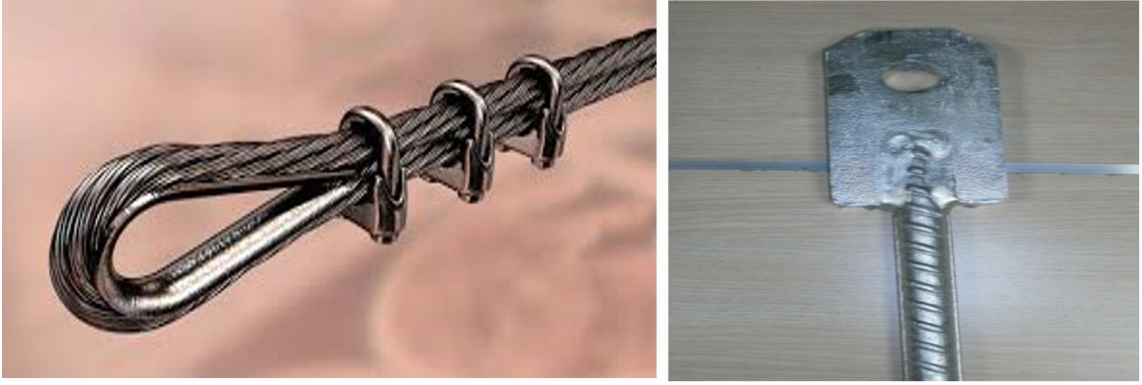
Blok No	Koordinatlar		Kot (m)	En (m)	Boy (m)	Yükseklik (m)	Kütle (ton)	Delik derinliği (m)	Delik adedi	Miktar (kg)
	X	Y								
46	666979	4503700	2093	1	1.45	0.8	2.92	0.7	9	7
47	667006	4503700	2081	0.8	1.28	0.71	1.83	0.7	5	4
Toplam kimyasal kırıcı toz miktarı (kg)										11

Bu bölgede 45, 48 ve 49 numaralı alanların kimyasal kırıcı ile kontrollü kırılması kaya kütlelerinin dağınık yapısı ve büyüklükleri nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle bu blokların çelik ağ ile sarılması önerilmektedir. Tablo 13'te üç kaya kütlesi için gerekli olacak malzeme miktarı görülmektedir.

Tablo 15. Kaya kütlelerinin çelik ağla sarılması için gerekli malzeme miktarları

Kaya Kütle Numarası	45	48	49
L – Uzunluk (m)	3.5	5.5	3.0
x – Genişlik (m)	4.0	3.0	2.5
h – Yükseklik (m)	2.0	3.0	2.0
Hacim (m ³)	28.00	49.50	15.00
Ağırlık (ton)	70.00	123.75	37.50
Çelik halat sayısı	6	7	3
Klips sayısı	9	10	2
Ankraj sayısı	12	14	6
Çelik halat uzunluğu (m)	46.5	68.0	20.0
Çelik ağ alanı (m ²)	60.00	103.50	45.50

Projede kullanılacak çelik tel halatın 6x19 Std WSC çelik öz olması diğer projelerde dikkate alınarak uygun görülmüştür. Çelik halat çapının en az 12 mm, halatın çekme gerilmesinin 93,53 N/mm² olması önerilmektedir (Şekil 49).



Şekil 51. Çelik halat ve çelik halat kafasından geçerek zemine monte edilecek ankraj demiri

Çelik halat, ankraj demirinde bulunan delikten geçirildikten en az 3 adet klipsle sabitlenmelidir. Ankraj delikleri taşınabilir matkaplarla 45 mm çapında en az 1 m derinliğinde ve kaya bloğun her yüzeyine denk gelecek şekilde (4 adet) açılmalı içine çimento şerbeti doldurulduktan sonra 26 mm çapında ve delik uzunluğuna göre önceden atölyede hazırlanmış ankrajlar delik içine itilmelidir. Ankrajın uç kısmındaki plaka ve somunun sıkılmasında önce, çimentonun delik içinde katılaşması beklenmektedir. Çelik halat kesişme yerleri klipslerle sabitlenmelidir (Şekil 50).



Şekil 52. Çelik halat kesişme yerlerini sabitleme aparatı (Cross Clamp)

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında Erzurum ili İspir ilçesi Yedigöller köyünün Kuzey yamacında bulunan kaya düşmesi vakaları çalışılmıştır. Çalışma kapsamında arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmış yapılan bu çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak 2 ve 3 boyutlu analizler yapılmıştır. Çalışma alanı 3 jeoteknik bölgeye ayrılmış ve bu bölgelerdeki vadi içleri ve yamaçlar için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde hareket etmesi muhtemel blokların hızları, enerjileri, yükseklikleri ve hareket süreleri tespit edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak koruma ve önleme yapıları tespit edilmiş, tespit edilen bu yapılar modele işlenerek performansları değerlendirilmiştir.

Birinci bölge için vadi içlerine çelik bariyerler ve yakala hendekleri gibi koruma yapıları, büyük blokların ise kırılması gibi önleme yöntemleri önerilmiştir. İkinci bölge için vadi ve yamaç diplerine çelik bariyer, üçüncü bölgeye yakalama hendeği, vadi içlerine çelik bariyer ve kaynak kayaların bulunduğu bölgelerin çelik hasır ile sarılması önerilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde detaylı şekilde sıralanmıştır;

(1) Erzurum ili İspir ilçesi sınırları içerisinde yer alan çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölümü içerisinde bulunmaktadır ve İspir ilçe merkezinin 40 km ve 1/25000 ölçekli Tortum G45-c2 paftası içerisinde yer almaktadır.

(2) Erzurum ili İspir ilçesi için yatay yer ivmesi değerinin 0.194 g olduğu tespit edilmiştir.

(3) Çalışma konusu kaya kütlesi Saroglou ve diğ. (2012) tarafından önerilen “Kaya Düşme Sınıflama Sistemi” kullanılarak tanımlanmış, sınıflama yapılırken arazi ölçümleri, laboratuvar da yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılmış ve mevcut yamacın “orta riskli yamaç (risk sınıfı 3)” sınıfına girdiğini belirlenmiştir.

(4) Çalışma alanı, Erzurum ili İspir ilçesi’ne bağlı Yedigöller Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. İspir ilçesinin 40 km kuzeydoğusunda bulunan çalışma sahası ve çevresinde bulunan kayaçlar, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bölgede Üst Kretase-Paleosen yaşlı Kaçkar Granitlerinin hakim litoloji olduğu belirlenmiştir.

(5) Bu çalışmada, ANON (1976), IAEG (1976) ve ISRM (1976) tarafından önerilen ve Dearman (1981) tarafından modifiye edilen litolojiye, kökene ve jeoteknik özelliklere dayanan sınıflama sistemleri kullanılarak proje alanı 3 ayrı jeoteknik bölgeye ayrılmıştır.

(6) Çalışma alanının doğu kesiminde bulunan alan Bölge-1 olarak tanımlanmıştır. Proje sahasındaki diğer bölgelerinden farklı olarak sabit bir eğime (30-40 derece arasında) ve derin olmayan oyuntulara sahiptir. Bölgede irili ufaklı birçok kaya bloğu serbest halde bulunmaktadır. Eğimli oyuntular/vadiler dışında bu bölgede herhangi bir etkiyle (deprem, ağırlı yağış, sellenme, ayrışma, donma-çözülme vb) yuvarlanacak blokların yakalama hendekleri ile engellenmesi en etkili çözüm olacaktır. Bu nedenle üst kotta 1.5 m, alt kotta 0.5 m derinliğinde ve 2.00 metre uzunluğunda kazılacak hendekler için RocFall (2004) ve RocPro3D (2021) yazılımı kullanılarak 2 ve 3 boyutlu düşme/yuvarlanma/sıçrama analizleri yapılmıştır. Analizlerde 500 kg kütleyle sahip bloklar yuvarlanmış ve koruma yapısının performansı test edilmiştir. Analizlerde kütlesi 500 kg'dan az olan blokların planlanan hendeğin içinde kaldığı belirlenmiştir.

(7) Bölge-1 için yapılan 2 ve 3 boyutlu analizlerde 500 kg'dan daha yüksek kütleli blokların planlanan hendeği aştığı, daha derin hendek kazılmasının ise kütle hareketi riskini arttıracığı bilindiği için daha yüksek kütleli blokların kimyasal kırıcılarla kırılması ve kütlelerinin 500 kg'ın altına düşürülmesi planlanmıştır. Kırılacak bloklar ve kullanılması gereken kimyasal miktarları tez içerisinde detaylı bir şekilde verilmiştir.

(8) Bu bölgede vadi tabanı boyunca hendek kazılması önerilse de Oyuntu-4, Oyuntu-5, Oyuntu-6 ve küçük vadiler boyunca hareket edecek bir bloğun hendek tarafından durdurulması mümkün değildir. Bu nedenle 4, 5, 6 ve küçük vadiler boyunca kaya tutucu bariyer (çelik bariyer) inşası önerilmektedir. İnşaa edilecek bariyerlerin boyutu, enerjisi ve yüksekliği RocPro3D (2021) yazılımı kullanılarak tespit edilmiştir. Analizlerde vadi içindeki en büyük blok boyutları dikkate alınarak (boyut: 1.5 x 2.5 x 1.5 m³) 14 tonluk kütleyle sahip bloklar vadi/oyuntular boyunca yuvarlanmıştır. Analizler sonucunda bu bölgede inşaa edilecek 5 adet çelik bariyerin uzunlukları, yükseklikleri, blokları bariyere çarpma hızı ve bariyere çarpma yükseklikleri tespit edilmiştir. 14 tonluk bloğun maksimum 16 m/sn hızla ve 2500 kJ enerji ile çelik bariyere çarptığı ortaya konuşmuştur. Bariyerlerin özellikleri Tablo-7 de özetlenmiştir.

Çelik bariyerlerin inşaa edileceği ortamda dayanımı yüksek ve ayrışma derecesi düşük kaya mostraları bulunduğu için çelik bariyer ankraj derinliklerinin 3 metre ile sınırlı olması yeterli olacaktır. Önerilen çelik bariyerlerin özellikleri tablo-7'de özetlenmiştir.

(9) Proje sahasının orta kesiminde bulunan ve Oyuntu-1 ile Oyuntu-3 arasında kalan Bölge-2 olarak tanımlanmıştır. Genel olarak sabit bir eğime (30-45 derece arasında) sahip olan alanda Bölge-1'e göre daha derin oyuntular mevcuttur. Bölgede irili ufaklı birçok kaya bloğu bulunmaktadır. Bu bölgede, Birinci Bölgenin aksine dağınık bloklardan daha çok, ayrılmaya bağlı olarak dağılmış kaya mostraları gözlemlenmiştir.

Bu blokların bir kısmı süreksizlik düzlemleri ile birbirleriyle ayrılmışken, çoğunlukla parçalı bir yapı sunan kaya kütleleri bulunmaktadır. Bu nedenle bu tür alanlarda kimyasal kırıcı kullanarak kontrollü küçültme yapmak mümkün değildir. Her ne kadar bu tür kaya kütlelerinin çelik ağlarla sarılması önerilse de alanda çok sayıda bağımsız bloğun bulunması bu önlemin de bütünsel açıdan uygun olamayacağını göstermektedir. Bu nedenle yamacın mevcut köye yakınlığı da düşünülerek kaya tutucu bariyer sistemlerinin vadi tabanı boyunca kurulması önerilmektedir. Bu amaçla oyuntularda bulunan en büyük kaya blokları (10 ton) dikkate alınarak 3 boyutlu analizler yapılmıştır. Analizlerde koruma yapısı olarak çelik bariyerler modellenmiştir. 2 numaralı bölgeye boylu boyunca tek bir çelik bariyer modellenmemiştir. Bunun yerine 5 parça olarak tasarlanmıştır, bunun nedeni ise tamamen topografyadan kaynaklanmaktadır. Bu bölge için sadece yamaç dipleri için çelik bariyerin yetersiz kaldığı görülmüştür. Yamaç için önerilip vadi içlerine kadarda modellenen çelik bariyerlerin vadi içinden gelen blokları durduramadığı analizler sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu nedenle vadi içlerine de biri biri ile bindirmeli çelik bariyerler önerilmiştir. Bu şekilde modellenen çelik bariyerlerin 10 tonluk blokları durdurmada başarılı olduğu analizler sonucunda tespit edilmiştir. Analizler sonucunda 10 tonluk bir bloğun olası hareketi sonucu bariyere çarpma hızı, çarpma enerjisi ve bariyere çarptığı yüksekliği tespit edilmiştir. 10 tonluk bloğun maksimum 26 m/sn hızla ve 4000 kJ enerji ile çelik bariyere çarptığı ortaya konuşmuştur. Bariyerlerin özellikleri Tablo-10'da özetlenmiştir. Dayanımı yüksek ve ayrışma derecesi düşük kaya mostraları bulunduğu için kaya tutucu bariyer ankraj derinliklerinin 3 metre ile sınırlı olması yeterli olacaktır.

(10) Proje sahasının batı kesiminde bulunan ve Oyuntu-1 ile sınırlı alan Bölge-3 olarak tanımlanmıştır. Genel olarak sabit bir eğime (30-45 derece arasında) sahip olan alanda bölge-2 ile bölge-3 arasında derin bir vadi bulunmaktadır. Bölgede irili ufaklı birçok kaya bloğu bulunduğu gibi, mostra vermiş kırıklı kaya mostraları da mevcuttur. Mostra vermiş kaya kütleleri dışında bu bölgede herhangi bir etkiyle (deprem, ağır yağış, sellenme, ayrışma, donma-çözülme vb) yuvarlanacak blokların yakalama hendekleri ile engellenmesi en etkili çözüm olacaktır.

Bu nedenle üst kotta 1.5 m, alt kotta 0.5 m derinliğinde ve 2.00 metre uzunluğunda kazılacak hendekler için RocFall (2004) ve RocPro3D (2021) yazılımı kullanılarak 2 ve 3 boyutlu düşme/yuvarlanma/sıçrama analizleri yapılmıştır.

Analizlerde 500 kg kütleyle sahip bloklar yuvarlanmış ve koruma yapısının performansı test edilmiştir. Analizlerde kütlesi 500 kg'dan az olan blokların planlanan hendeğin içinde kaldığı belirlenmiştir. Yamacın vadiye yakın kısımlardaki blokların ise vadi içine doğru hareket ettiği ve bu blokların bölge-2 için önerilen çelik bariyer tarafından tutulduğu tespit edilmiştir.

Daha yüksek kütleli blokların kimyasal kırıcılarla kırılması ve kütlelerinin 500 kg'ın altına düşürülmesi planlanmıştır. Bu bölgede 45, 48 ve 49 numaralı alanların kimyasal kırıcı ile kontrollü kırılması kaya kütlelerinin dağılık yapısı ve büyüklükleri nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle bu blokların çelik ağ ile sarılması önerilmektedir.

(11) Bu proje kapsamında yüzey ölçümleri ile kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin derinlikle değişiminin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle uygulama aşamasında projede belirtilen bazı değerler (ankraj derinliği vb.) değişebilir. Bununla birlikte bu tür uygulamaların kütle hareketi riskini tamamen ortadan kaldırmaya yönelik olmadığı, bu riski minimuma indireyecek nitelikte olduğu da göz ardı edilmemelidir.

5. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akın, M., Dinçer, İ., Orhan, A., Ok, A.Ö., Akın M.K. ve Topal, T., 2019. Kaya Tutma Hendek Performansının 3-Boyutlu Kaya Düşme Analizleriyle Değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) Örneği. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 43, 211-232.
- Alejano, L., Pons, B., Bastante, F., Alonso, E. ve Stockhausen, H., 2007. Slope geometry design as a means for controlling rockfalls in quarries, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 44, No. 6: 903-921.
- Altay, A., 2015. Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Toprak Dolgu Setlerin Nümerik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkutata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Alptekin, A. ve Yakar, M., 2020. Kaya Bloklarının 3b Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi, Türkiye LİDAR Dergisi – 2020; 2(1); 01-04.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and petrogenesis of the eastern pontide volcanic rocks, Northeast Turkey, Chemie der Erde/Geochemistry, 57, 157-187.
- Artuç, E.F., 2014. Susuz Köyü (Çubuk- Ankara) ve Yakın Çevresinin Kaya Düşme Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baykal, F., 1952. Kelkit-Şiran Bölgesinde Jeolojik Araştırmalar, MTA Raporu No: 2205, Ankara.
- Barton, N.R., 1976. Recent Experiences with the Q System of Tunnel Support Design. In: Bieniawski ZT (ed) Proceedings Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg. Balkema, Rotterdam, 107–117.
- Barton, N.R., 1988. Rock Mass Classification and Tunnel Reinforcement Selection using the Q-System. In: Kirkaldie L (ed), Proceedings Symposium on Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM Special Technical Publication 984, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 59–88.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taşlı, K., Akdağ, K. ve Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): The formation of carbonates, breccias and turbidites as evidences of a drowned platform. Geologia, 57, 1-2, 233-244.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classification. Wiley, Chichester. p. 251.

- Boztuğ, D., Jonckheere, R.c., Wagner, G.A. ve Yeğingil, Z., 2002. Slow Senonian and fast Paleocene-Early Eocene uplift of the granitoids in the Central Eastern Pontides, Turkey: apatite fission-track results, *Tectonophysics*, 382, 213-228.
- Buz, R., 2019. Şahinefendi (Nevşehir) ve Yakın Çevresini Etkileyen Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Çapar, N., 2018. Kaya Düşmesi Analizinde Geri Sıçrama Katsayısının Etkisinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çelik, M. ve Nasery, M.M., 2021. Eğimli Arazilerde Kaya Tutucu Toprakarme Duvarların Uygulanabilirliği ve Alternatif Kaya Islahı Çözümleriyle Karşılaştırılması: Kanlıpelit Örneği, *Doğ Afet Çev Derg*, 2021; 7(1): 176-191, DOI: 10.21324/dacd.689927.
- Dearman, W.R., Turk, N., Irfan, T.Y. ve Rowshane, H., 1981. Detection of rock material variation by sonic velocity zoning. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 35, 3-8.
- Diñçer, İ., Orhan, A., Frattini, P. ve Crosta, G.B., 2016. Rockfall at the heritage site of the Tatlarin Underground City (Cappadocia, Turkey), *Natural Hazards*, 82 (2), 1075-1098.
- Edelbro, C., 2008. Strength, fallouts and numerical modelling of hard rock masses, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology.
- Ei, N., 2017. Investigation of Rockfall Around Ankara Citadel. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O. ve Pul, D., 2007. MidCretaceous olistostromal ophiolitic melange developed in the back-arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey), *International Geology Review*, 49, 12, 1103-1126.
- Fanos, A.M. ve Pradhan, B., 2019. A Novel Rockfall Hazard Assessment Using Laser Scanning Data and 3D Modelling in GIS, *Catena*, 172, 135-150.
- Ferrara, V. ve Pappalardo, G., 2005. Kinematic analysis of rock falls in an urban area: The case of Castelmola hill near Taormina (Sicily, Italy), *Geomorphology*, 66, 373-383.
- Gedikoğlu, A., 1977. Harşit granit karmaşığı ve çevre kayaları, Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 161 s (yayımlanmamış).
- Gentilini, C., Govoni, L., de Miranda, S., Gottardi, G. ve Ubertini, F. 2012. Three dimensional numerical modelling of falling rock protection barriers, *Comput Geotech*, 44:58-72.

- Gentilini, C., Gottardi, G., Govoni, L., Mentani, A. ve Ubertini, F., 2013. Design of falling rock protection barriers using numerical models, *Engineering Structures* 50, 96–106.
- Giacomini, A., Buzzi, O., Ferrero, A. M., Migliazza, M. ve Giani, G.P., 2008. Numerical study of flow anisotropy within a single natural rock joint, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, 1, 47–58.
- Grosic, M., Arbanas, Z. ve Udovic, D., 2009. Designing And Constructing Rockfall Barriers – Experiences İn Republic of Croatia, *ISRM Regional Symposium-EUROCK 29-31 October 2009, Croatia*, 113.
- Gökçe, H.S., Hatungimana, D. ve Ramyar, K., 2019. Effect Of Fly Ash And Silica Fume On Hardened Properties Of Foam Concrete, *Construction and Building Materials* 194, 1-11.
- Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R. ve Agliardi, F., 2002. STONE: a computer program for the three - dimensional simulation of rock – falls, *Comp Geoscience*, 28,1079–1093.
- Güven, İ.H. 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara.
- Güven, I.H., 1998. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları, No: 58, Trabzon C29 ve D29 Paftaları, MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi, Ankara, 12 s.
- Hack, R., Price, D. ve Rengers, N., 2003. A New Approach to Rock Slope Stability—a Probability Classification (SSPC), *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 167–184
- Hoek, E. ve Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering*. 3rd edition. London, Institute of Mining and Metallurgy. p. 358.
- Hoek, E., 1999. Putting Numbers to Geology - an Engineer’s Viewpoint. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 32, 1-19.
- IAEG Engineering Geological Map 1976. A Guide to Their Preparation. International Association of Engineering Geology, UNESCO Press. 79 p. Paris.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) 1976. *Engineering geological maps*, The UNESCO Press, 15, 78
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) 1978. *Comission on Standardization of Laboratory and Field Tests: Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15, 319-68.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) 2007. In: Ulusay R, Hudson JA (eds) *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring*, Kazan Offset Pres, 628 p. Ankara.

- Keskin, B., 2019. Zonguldak-Kilimli Yolunda Kaya Düşme Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 13 s. Zonguldak.
- Ketin, İ., 1951. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Yayını, 66, 113-127, Ankara.
- Kliche, C.A., 1999. Rock slope stability, SME, Littleton, CO.
- Kıncal, C. ve Koca, M.Y., 2009. A Proposed Method for Drawing the Great Circle Representing Dip Angle and Strike Changes, Environmental and Engineering Geoscience, 15, 145-165.
- Kırbaş, F., 2019. Kızılinler Mahallesi (Tepebaşı, Eskişehir) Çevresindeki Kaya Düşmesi Duraysızlıklarının Araştırılması ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Koçyiğit, T., 2019. Göre (Nevşehir) ve Yakın Çevresini Etkileyen Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Kulatilake, P.H.S.W., Wang, L., Tang, H. ve Liang, Y., 2011. Evaluation of Rock Slope Stability for Yujian River Dam Site by Kinematic and Block Theory Analyses, Computers and Geotechnics, 38, 846-860.
- Lan, H., Martin, C.D. ve Lim, C.H., 2007. RockFall analyst: a GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling, Comp Geoscience, 33:262-279.
- Marzorati, S., Luzi, L. ve Amicis, M. D., 2002. Rock falls Induced by Earthquakes: A statistical Approach, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, 565-577
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 67, 841-875
- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society, London, Special Publications, 156, 475-515.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981, Doğu Pontidler'de Kretase: KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 1, 2, 65-114.
- Romana, M., 1993. A Geomechanics Classification for Slopes: Slope Mass Rating. (In Comprehensive Rock Engineering. Ed. I. Hudson). Pergamon, 3, 575-600.
- San, N.E., 2017. Ankara Kalesi Çevresinde Kaya Düşmesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü 17 s. Ankara.

- Saroglou, H., Marinou, V., Marinou, P. ve Tsiambaos, G., 2012. Rockfall Hazard and Risk Assessment: an Example from a High Promontory at the Historical Site of Monemvasia, Greece. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1823–1836.
- Schultze, W. ve Hans, H., 1961. Das Geologische Profil des Aksudere bei Giresun, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 57 / 57.
- Spadari, M., Giacomini, A., Buzzi, O., Fityus, S. ve Giani, G.P., 2011. In situ rock fall testing in New South Wales, Australia, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science* 49, 84–93.
- Şaraldı, M.H., 2015. Tatların (Nevşehir) Yeraltı Şehrini ve Çevresini Etkileyen Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Şen, C. ve Kaygusuz, A. 1998. Doğu Pontid adayayı granitoidlerin karşılaştırılmalı petrografik ve kimyasal özellikleri. *KD Türkiye. Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı*, 12-13.
- Şen, C., 2007. Jurassic Volcanism in the Eastern Pontides: Is it Rift Related or Subduction Related, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 523-539.
- Taşpınar, M., 2015. İhlara Vadisi (Aksaray) Boyunca Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Topal, T., Akin, M. ve Ozden, U.A., 2007. Assesment of rockfall hazard around Afyon Castle, Turkey, *Environ Geol.*, 52, 191-200
- Tunusluoğlu, M.C. ve Zorlu, K., 2009. Rockfall hazard assesment in a cultural and natural heritage (Ortahisar castle, Cappadocia, Turkey), *Environmental Geology*, 56, 963-972.
- Ujihira, M., Ogawa, K., Suzuki, S., Hosoya, S., Saeki, H. ve Komazaki, M., 1997. Two dimensional source location system for rock fall detection by using cable sensor and mobile multimedia network, *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci.* Vol. 34 (3-4), Paper No. 315.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. ve Tuncay, E., 2001. Causes, Mechanism and Environmental Impacts of İnstabilities at Himmetoğlu Coal Mine and Possible Remedial Measures. *Environmental Geology*, 40, 6, 769–786.
- Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., Dorren, L. K. A., Gerber, W. ve Jaboyedoff, M., 2011. Rockfall Characterization and Structural Protection-a Review, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2617-2651.

Yılmaz, I., Yildirim, M. ve Keskin, I., 2008. A method for mapping the spatial distribution of RockFall computer program analyses results using ArcGIS software, Bull Eng Environ, 67, 547-554.

Zorlu, K., Tunusluoglu, M.C., Gorum, T., Nefeslioglu, H.A., Yalcin, A., Turer, D. ve Gokceoglu, C., 2011. Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia (Turkey), Environmental Earth Science, 62,8, 1685-1693

URL-1, www.medak.org.tr/faydali-bilgiler/olay-acil-durum-ve-afet

URL-2, ww.afad.gov.tr/upload/Node/3491/xfiles/abep_kitap_matbaa_final_04122008_small

URL-3, www.emdat.be/glossary

URL-4, www.afad.gov.tr/afet-analiz



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini Borçka'da tamamladıktan sonra 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında KTU Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. İngilizce biliyor.

