





**6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİ TARAFINDAN İSLAHİYE-  
FEVZİPAŞA ÇEVRESİNDE TETİKLENEN KAYA  
DÜŞMELERİNİN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ  
ORTOFOTOLAR KULLANILARAK  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**PREPARATION OF INVENTORY OF ROCKFALLS  
TRIGGERED BY THE 6 FEBRUARY 2023  
EARTHQUAKES AROUND THE ISLAHİYE-FEVZİPAŞA  
USING HIGH-RESOLUTION ORTHOPHOTOS**

**MINAGUL HABIBI**

**PROF. DR CANDAN GÖKÇEOĞLU**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2026



**MINAGÜL HABİBİ**'nin hazırladığı “6 Şubat 2023 Depremleri Tarafından İslahiye–Fevzipaşa Çevresinde Tetiklenen Kaya Düşmelerinin Yüksek Çözünürlüklü Ortofotolar Kullanılarak Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Başkan .....

Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

Danışman .....

Prof. Dr. Adil BİNAL

Üye .....

Doç. Dr. Nazlı TUNAR ÖZCAN

Üye .....

Dr. Öğr. Üyesi Gizem KARAKAŞ

Üye .....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak ..... / ..... /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Benat KOÇKAR

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*Kardeşime...*



## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12 / 3 / 2026

MINAGÜL HABİBİ



## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

12 / 3 /2026

(İmza)

MINAGUL HABIBI



## ÖZET

# 6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİ TARAFINDAN İSLÂHIYE- FEVZİPAŞA ÇEVRESİNDE TETİKLENEN KAYA DÜŞMELERİNİN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ ORTOFOTOLAR KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

**Minagul HABIBI**

**Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU**

**Ocak 2026, 78 sayfa**

6 Şubat 2023 tarihinde büyüklükleri 7.7 ve 7.6 olan iki büyük deprem yaklaşık 9 saat arayla meydana gelmiştir. Bu depremler sırasında özellikle dağlık bölgelerde çok sayıda kaya düşmesi gerçekleşmiş; söz konusu kaya düşmeleri hem ulaşım hatlarında hem de yerleşim alanlarında ciddi hasarlara ve can kayıplarına neden olmuştur. Kaya düşmelerinin yoğun olarak gözlemlendiği alanlardan biri, Gaziantep ilinin İslâhiye ile Fevzipaşa Mahallesi çevresindeki dağlık bölgedir. Bu bölgede meydana gelen kaya düşmeleri demiryolunun ulaşımına tamamen kapanmasına yol açmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri tarafından tetiklenen ve Gaziantep ili sınırları içinde İslâhiye ile Fevzipaşa arasında kalan bir bölgede meydana gelen kaya düşmelerinin bir envanterinin oluşturulması ve kaya düşme analizlerinin uygulanması amaçlanmıştır. Yamaç hareketlerinin mekanizmalarının anlaşılması ve gelecekte oluşturabilecekleri tehlikelerin değerlendirilmesi, ayrıntılı envanter çalışmalarını gerektirmektedir. Ancak kaya düşmelerinin envanterinin yalnızca saha çalışmalarıyla oluşturulması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle ulaşım hatlarına düşen kaya blokları kısa sürede temizlendiğinden, düşen kaya bloklarının nihai durma noktalarının belirlenmesi zorlaşmaktadır. Deprem sonrasında Harita Genel Müdürlüğü tarafından

bölgede gerçekleştirilen uçuşlar sonucunda deprem bölgesinin yüksek çözünürlüklü ortofotolar üretilmiştir. Bu yüksek çözünürlüklü ortofotolar kaya düşmelerinin konumlarının, boyutlarının ve etkilerinin belirlenmesinde etkili bir veri kaynağı sunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve özel çekimler gibi yüksek çözünürlüklü ortofotoların kullanılmasıyla veri toplamak, depremlerin çalışma alanında tetiklediği kaya düşmelerinin mekânsal dağılımını belirlemek ve bu olayların etkilerine ilişkin ayrıntılı bir envanter oluşturulmuş ve konumları bilinen kaya bloklarının analizleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bu envanter, gelecekte gerçekleştirilecek ayrıntılı analizler için önemli bir veri kaynağı ve temel oluşturacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, İslahiye (Gaziantep), kaya düşmesi, yüksek çözünürlüklü ortofoto, envanter, kaya düşmesi analizi

## **ABSTRACT**

# **PREPARATION OF INVENTORY OF ROCKFALLS TRIGGERED BY THE 6 FEBRUARY 2023 EARTHQUAKES ARONUD THE ISLAHIYE-FEVZİPAŞA USING HIGH-RESOLUTION ORTHOPHOTOS**

**Minagül HABIBI**

**Master of Science, Department of Geological Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU**

**January 2026, 78 pages**

On February 6, 2023, two large earthquakes with magnitudes of 7.7 and 7.6 occurred approximately 9 hours apart. During these earthquakes, numerous rockfalls were triggered, particularly in mountainous regions; these rockfalls caused significant damage and loss of life in both transportation routes and residential areas. One area where rockfalls were particularly intense is the mountainous region surrounding the İslâhiye and Fevzipaşa of Gaziantep province. Rockfalls in this region led to the complete closure of the railway route. This thesis aims to create an inventory of rockfalls triggered by the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes in a region between İslâhiye and Fevzipaşa within the Gaziantep province and to apply rockfall analyses. Understanding the mechanisms of slope movements and evaluating the potential future hazards requires detailed inventory studies. However, creating an inventory of rockfalls solely through field studies is often not possible. Since rock blocks falling onto transportation routes are quickly cleared, determining the final stopping points of falling rock blocks becomes difficult. Following the earthquake, high-resolution orthophotos of the earthquake zone

were produced as a result of flights conducted in the region by the General Directorate of Mapping. These high-resolution orthophotos provide an effective data source for determining the locations, sizes, and effects of rockfalls. Therefore, within the scope of this study, data was collected using high-resolution orthophotos such as satellite images, aerial photographs, and special shots, the spatial distribution of rockfalls triggered by earthquakes in the study area was determined, and a detailed inventory of the effects of these events was created, and analyses of rock blocks whose locations are known were performed. The inventory prepared will constitute an important data source and foundation for detailed analyses to be applied in the future.

**Keywords:** February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes, İslahiye (Gaziantep), rockfall, high-resolution orthophoto, inventory, rockfall analysis.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcından nihayete erinceye kadar geçen süreçte sağladığı katkılar ve yaptığı her şey için danışman hocam sayın Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU'na en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Yine bu süreçte her konuda yardımını esirgemeyen güler yüzüyle karşılayan hocam sayın Doç.Dr. Nazlı TUNAR ÖZCAN'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) aşamasında bilgi, deneyim ve değerli yönlendirmeleriyle sürece önemli katkılar sunan sayın Dr. Öğr. Üyesi Gizem KARAKAŞ'a çok teşekkür ederim.

Bu süre zarfında sabır ve sevgilerini eksiltmeden aileme ve bana destek olan sevgili eşim Mohammad Ayoub İlyar'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. BÖLÜM.....	1
1.1. Giriş.....	1
2. BÖLÜM.....	4
2.1. Önceki Çalışmalar.....	4
3. BÖLÜM.....	21
3.1. Kaya Düşmesi ve Tanımlar.....	21
3.2. Kaya Düşme Tehlikesi.....	23
3.3. Kaya Düşmesinin Nedenleri.....	24
3.4. Kaya Düşmesi Riski.....	25
3.5. Heyelan Envanteri.....	27
3.6. Kaya Düşmelerinin Sınıflandırılması.....	32
3.7. Kaya Düşmelerinde Blok Boyutu Etkisi.....	33
4. BÖLÜM.....	34
4.1. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri.....	34
4.2. Kahramanmaraş Depremlerinin Tetiklediği Kaya Düşmelerine Örnekler.....	37
4.2.1. Kahramanmaraş İlinde Gözlenen Kaya Düşmeleri.....	37
4.2.2. Kırıkhan İlçesinde gözlenen kaya düşmeleri.....	40
4.2.3. Gaziantep'te gözlenen kaya düşmeleri.....	41
5. BÖLÜM.....	42
5.1. Coğrafi Konum ve Jeomorfoloji.....	42
5.2. İklim ve Bitki Örtüsü.....	47
5.3. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri.....	50
5.4. İnceleme Alanının Depremselliği.....	52

6.	BÖLÜM .....	55
6.1.	Topografik Parametreler .....	55
6.2.	İnceleme Alanı İçin Oluşturulan Kaya Düşmesi Envanteri .....	57
6.3.	Kaya Düşmesi Envanterinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi.....	60
6.4.	Kaya Düşmelerinin Litoloji ile İlişkisinin Değerlendirilmesi.....	61
7.	BÖLÜM .....	62
7.1.	Kaya düşmesi analizleri .....	62
8.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....	69
9.	Kaynaklar .....	71
	ÖZGEÇMİŞ .....	79

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1-1. İllere göre kaya düşmesi olayı dağılımı (Gökçe vd., 2008).....	2
Şekil 3-1. Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket türleri (AFAD, 2020)....	23
Şekil 3-2. Kaya düşmelerine neden olan iç ve dış faktörler (Volkwein vd., 2011; AFAD, 2020).....	24
Şekil 3-3.Risk tanımlayan model (Pine 2015'ten).....	27
Şekil 3-4. Türkiye Heyelan Envanter Haritası (Duman vd., 2011).....	30
Şekil 4-1. 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 (AFAD, 2023).....	35
Şekil 4-2. 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi saha çalışmalarında gözlenen yüzey kırıkları (MTA, 2023) ...	36
Şekil 4-3. Şahinkaya kalesi (Enosnhaber 2025).....	38
Şekil 4-4. Kahramanmaraş'ta düşen kaya blokları (Anadolu Ajansı 2025).....	38
Şekil 4-5.Kahramanmaraş ilinin kaya düşme yayılma zonlarının haritası (Akbaş, 2024).....	39
Şekil 4-6. A20 noktası enerji çizgi açıları haritası (Akbaş, 2024).....	40
Şekil 4-7. (a) Bektaşlı köyü ve (b) Kırıkhan yolunda gözlenen kaya düşmeleri (Kocaman vd., 2025). ....	40
Şekil 5-1.Çalışma alanının yerbulduru haritası.....	43
Şekil 5-2 Çalışma alanının haritası.....	44
Şekil 5-3. Gaziantep İlinin Jeomorfolojik Yapısı (AFAD, 2021).....	45
Şekil 5-4.İslâhiye ilçesinin jeomorfoloji haritası (İleri vd., 2011).....	47
Şekil 5-5. Gaziantep şehir merkezinde kaydedilen uç ve ortalama değerler (veri aralığı:1940-2019) (AFAD, 2021).....	48
Şekil 5-6. İslâhiye aylık hava durumu, ortalama sıcaklık değişimi (Weatherspark, 2026). ....	49
Şekil 5-7.İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (İleri, 2018).....	52
Şekil 5-8. Gaziantep ve çevresindeki aktif faylar (AFAD, 2021).....	53
Şekil 6-1. Fevzipaşa ve yakın civarının bakı haritası.....	56
Şekil 6-2.Fevzipaşa ve yakın civarının eğim haritası.....	56
Şekil 6-3. Fevzipaşa Mahallesi ve yakın civarının topoğrafik eğrisellik haritası.....	57
Şekil 6-4. (devam ediyor).....	59
Şekil 6-5. İnceleme alanının topoğrafik parametrelerinin histogramı.....	60
Şekil 7-1. Seçilen blokların başlangıç ve bittiş noktaları ile izlediği yolun gösterildiği kesitler.....	64
Şekil 7-2. (a) Kesit 1-1, (b) Kesit 2-2', (c) Kesit 3-3', (d) Kesit 4-4', (e) Kesit 5-5' ve (f) Kesit 6-6' için yapılan kaya düşmesi analizleri sonucunda düşen kaya bloklarının izledikleri yol ve ulaşabilecekleri maksimum mesafe.....	65
Şekil 7-3. (devam ediyor).....	66
Şekil 7-4. AFAD tarafından 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi (Mw=7.7) sırasında 2712 nolu Nurgağı İstasyonu ivme-zaman grafikleri.....	68

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Kaya düşmesine neden olan faktörler (Cruden ve Varnes, 1978).....	25
Çizelge 3.2.Kütle hareketi riski tanımları (Rose, 2005'den düzenlenmiştir). .....	28
Çizelge 6.1. İnceleme alanının topografik parametrelerinin istatistiksel analizi.....	60
Çizelge 6.2. İnceleme alandaki kaya düşmesi envanterinin içerisine düşen bölgelerde kalan topografik parametrelerinin istatistiksel analizi. ....	60
Çizelge 6.3. İnceleme alanındaki kaya düşmelerinin litoloji ile ilişkisi.....	61
Çizelge 7.1. Kaya düşmesi analizlerinin girdi parametrelerinin özet çizelgesi.....	64

## **SİMGELER VE KISALTMALAR**

**RHRS:** Kaya Düşmesi Tehlike Derecelendirme Sistemi

**GPS:** Küresel Konumlandırma Sistemi

**CBS:** Coğrafi Bilgi Sistemleri

**SS:** Standart Sapma

**MTFD:** Ortalama Kopma (Ayrılma) Süresi

**TLS:** Yer Tabanlı Lazer Tarama

**2B:** İki Boyutlu

**SAM:** Sayısal Arazi Modeli

**KAF:** Kuzey Anadolu Fayı

**DAFZ:** Doğu Anadolu Fay Zonu

# 1. BÖLÜM

## 1.1. Giriş

Dünya nüfusundaki artış ve kentleşme gibi faktörler, her geçen gün yeni yerleşim alanlarına duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda, uygun yer seçimleri konusunda karar vericilerin sorumlulukları da artmaktadır. Doğal tehlikeler, topoğrafik, jeolojik ve klimatolojik etmenlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

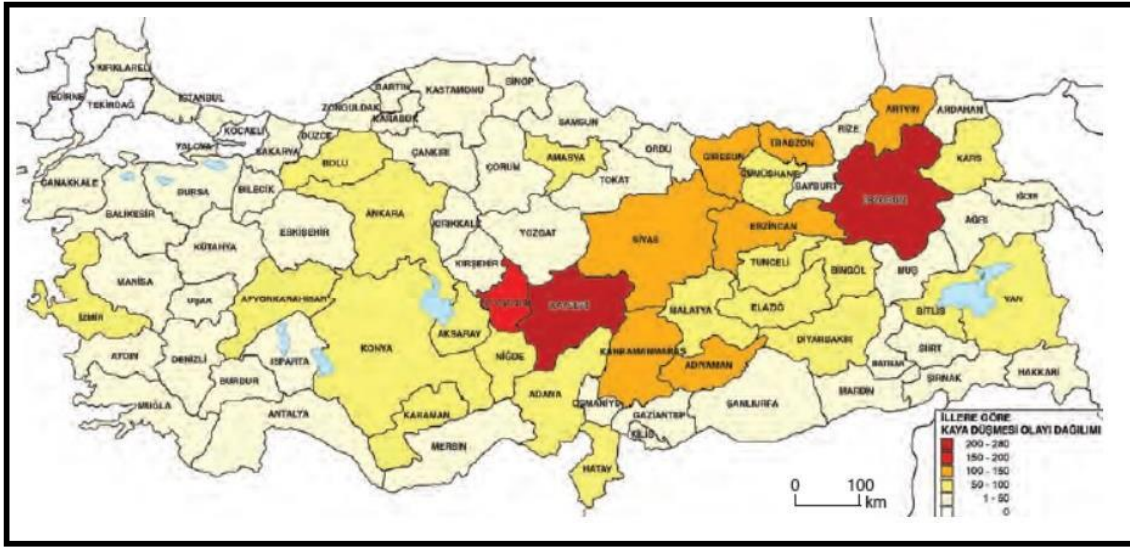
İnsanlar yaşadıkları çevrenin her açıdan güvenli olmasını ve bu güvenliğin sürdürülebilir olmasını isterler. Ancak tıpkı insan yaşamında olduğu gibi, Dünya'nın da kendi içinde işleyen ve unsurların birbirleriyle etkileşim halinde olduğu doğal bir işleyişi bulunmaktadır. Bu doğal süreçlerin bir sonucu olarak çeşitli doğal olaylar meydana gelmektedir. Heyelan, taşkın, deprem, sel, su baskını, kaya düşmesi, çığ, fırtına ve tsunami gibi hasar verme potansiyeline sahip tehlikeler, doğal sistemin dengede durma amacının bir parçası olarak ortaya çıkan süreçlerdir. Ancak bu tehlikeler insan yaşamını, yerleşimleri ve ekonomik faaliyetleri olumsuz yönde etkilediğinde afet olarak nitelendirilmektedir. Bu tür tehlikeler çoğu zaman ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilmekte ve sosyal yaşamı önemli ölçüde olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle afet risklerinin azaltılmasına yönelik gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır.

Heyelan veya kütle hareketleri kaya, moloz ve zemin gibi jeolojik malzemelerin, yerçekiminin etkisi ve çeşitli tetikleyici faktörlerin (yağış, deprem, erozyon vb.) etkisiyle yamaç boyunca aşağı doğru hareket etmesiyle gerçekleşen doğal süreçlerdir. Heyelanlar, Amerika Birleşik Devletleri, İtalya, İsviçre ve Fransa gibi gelişmiş ülkelerde dahi önemli ekonomik kayıplara ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Dünya Bankası verileri afetlerden kaynaklanan ölümlerin yaklaşık %95'inin az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde meydana geldiğini göstermektedir. Bu ülkelerde doğal afetler nedeniyle yıllık ekonomik üretimin yaklaşık %1-2'si kaybedilmektedir. Heyelanlar farklı türlerde gelişebilmekte olup, kaya düşmeleri de kütle hareketlerinin önemli bir alt türünü oluşturmaktadır.

Kaya düşmeleri jeolojik kökenli doğal tehlikeler arasında yer almaktadır. Bu olay, jeolojik özellikler, eğim, litoloji grupları, bitki örtüsü, yüzey oluşumları gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak depremler kaya düşmeleri bölgesel ölçekte yaygın biçimde tetikleyebilirler. Kaya düşmesi kaya parçalarının/bloklarının ana kayadan

ayrılarak düşerek, yuvarlanarak, kayarak ve sıçayarak şev topuğunda birikimlerini kapsayan yenilme olarak bilinmektedir.

Kaya düşmeleri depremler, iklimsel ve antropojenik faktörler tarafından tetiklenebilir. Antropojenik faktörler arasında uygun olmayan şev tasarımları, titreşimler ve kontrollü patlatmalar yer alır. Yapısal faktörler eklemli kaya kütleleri ve jeolojik yapı gibi unsurları içeren iklimsel ve çevresel faktörler arasında rüzgâr, donma-çözünme, yağışlar, su sızıntıları ve ağaç kökleri bulunur. Öte yandan, Ülkemizde kaya düşmeleri İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde etkili olan bir doğal tehlike türüdür. Afet İşleri Genel Müdürlüğü arşiv kayıtları incelendiğinde, Türkiye’de 1958 yılından günümüze kadar yaklaşık 750 kaya düşmesi olayının gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 1.1). Bu olaylar sonucunda 34 kişi yaşamını yitirmiş, yaklaşık 26.500 konut kaya düşmelerinden etkilenmiş ve risk altında bulunan bazı yerleşim birimlerinin başka alanlara taşınması gerekmiştir.



Şekil 1-1. İllere göre kaya düşmesi olayı dağılımı (Gökçe vd., 2008).

Türkiye jeolojik ve tektonik özellikleri nedeniyle yüksek deprem potansiyeline sahip bir ülkedir. Depremler, özellikle dağlık ve eğimli alanlarda kaya düşmelerini tetikleyen önemli dış faktörlerden biridir. Büyük depremler sonrasında çok sayıda kaya düşmesinin meydana geldiği ve bu durumun yerleşim alanları için önemli bir tehlike oluşturduğu bilinmektedir. Türkiye’de 1980–2017 yılları arasında meydana gelen afetler incelendiğinde, her yıl ortalama olarak bir milyon kişi başına yaklaşık 6 ile 25 arasında insanın afetler nedeniyle hayatını kaybettiği görülmektedir. Bunun en güncel ve çarpıcı

örneklerinden biri, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerdir. Pazarcık merkezli Mw 7.7 büyüklüğündeki deprem ile Elbistan merkezli Mw 7.6 büyüklüğündeki ikinci büyük deprem sonucunda, resmi verilere göre 50.000'den fazla kişi yaşamını yitirmiştir. Gerçekleşen bu depremler sırasında ve sonrasında birçok alanda kaya düşmeleri oluşmuştur. Bunun yanı sıra, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sırasında Kırıkhan ilçesi Bektaşlı köyünde meydana gelen kaya düşmeleri 50 kişinin yaşamını yitirmesine sebep olmuştur (Gökçeoğlu, 2023). Sahip olduğu jeolojik, litolojik ve morfolojik özellikleri ile Gaziantep ili de kaya düşmesi olaylarının en çok yaşandığı iller arasında bulunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı İslâhiye-Fevzipaşa arasındaki bölgede 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri tarafından tetiklenen kaya düşmelerinin envanterinin yüksek çözünürlüklü ortofotolar kullanılarak hazırlanması ve istatistiksel analizleri ile gerek kaynak gerekse mevcut konumları bilinen kaya bloklarının analizlerinin yapılmasıdır. Hazırlanan envanter birçok detaylı analiz için önemli bir temel ve veri kaynağını oluşturacaktır. Bu tez çalışmasının kapsamı içinde düşen kaya bloklarının boyutları, kaya düşmesi-litoloji ilişkisi, boyut-hareket mesafesi ilişkileri de istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar çalışma alanında geleceğe yönelik yapılacak risk azaltma planları açısından önemli bilgiler sağlamaktadır.

## 2. BÖLÜM

### 2.1. Önceki Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmasında kaya düşmesi ile ilgili ulaşılabilen rapor, makale, bildiri, tez ve kılavuz türündeki uluslararası yayınların büyük bir kısmının kaya düşmelerinin tanımı, jeolojik nedenleri, envanter oluşturulması, tehlike ve risk değerlendirmeleri, analiz yöntemleri ile ilgili olduğu görülmektedir. Bunun dışında inceleme alanının yakın çevresinde yapılan çalışmalara da bu bölümde değinilmiştir.

Roberts vd. (2021) Nepal Himalayası'nda meydana gelen heyelanları incelemek amacıyla kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada öncelikle çalışma alanına ait jeoloji ve jeomorfoloji verileri derlenmiş, ardından ayrıntılı bir heyelan envanteri oluşturulmuştur. Bu kapsamda heyelan envanterinin haritalanması, yol bağımlılığı analizleri ve heyelan oluşumunu kontrol eden faktörlerin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda çalışma alanı bir ana bölge ve bu bölge içerisinde yer alan iki alt bölgeye ayrılarak analiz edilmiştir. Uydu görüntülerinin karşılaştırılması ve örtüşme sayısı yöntemi kullanılarak heyelanların merkez noktaları belirlenmiş; eğim, yükselti, bakı ve litoloji gibi parametreler standart ArcGIS araçları yardımıyla elde edilmiştir. Topografik veriler ise ALOS World 3D-30 sayısal yükseklik modeli ürününden sağlanmıştır. Çalışma sonuçları, Nepal'de aynı heyelan güzergâhında geçmişte meydana gelen heyelanlar ile yeni gelişen heyelanlar arasında önemli ölçüde mekânsal örtüşme bulunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca farklı mekânsal ve zamansal çözünürlüklere sahip iki ayrı heyelan envanteri kullanılarak yapılan analizler, yol bağımlılığı etkisinin 30 m mekânsal çözünürlükte ve yaklaşık 10 yıllık veri setlerinde, 2 yıllık zaman aralıklarında gözlemlenebildiğini göstermiştir.

Chau vd. (2002), Hong Kong'daki kaya düşmesi olaylarını incelemek amacıyla kaya düşmesi envanterine dayalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada 1949–1996 yılları arasında Hong Kong'da rapor edilen 400'den fazla kaya düşmesi olayı değerlendirilmiş ve bu olayların gerçekleşme sıklığı günlük yağış verileri ile karşılaştırılmıştır. Kaya düşmesi tehlikesinin belirlenmesinde eğim ve tehlike haritaları Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak oluşturulmuş, tehlike derecelendirmesi ise Rockfall Hazard Rating System (RHRS) yöntemi ile yapılmıştır. 1984–1996 yıllarını kapsayan veri analizine göre kaya bloklarının en yüksek olasılıkla karayollarına düştüğü, bunu sırasıyla gecekonduların, alanları,

patikalar ve binaların izlediği belirlenmiştir. Aynı dönemde meydana gelen kaya düşmesi olaylarının yaklaşık %4'ünün yaralanma veya can kaybı ile sonuçlandığı, %4'ünün park alanlarının zarar görmesine ya da tıkanmasına neden olduğu, %2'sinin binalara bitişik merdivenler ve benzeri yapı elemanlarını etkilediği ve %2'sinin araç hasarlarına yol açtığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, kaya düşmesi riskinin azaltılmasına yönelik bölgeleme çalışmalarında daha sistematik ve standart yaklaşımların geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Benjamin vd. (2020), bölgesel ölçekte elde edilen yüksek çözünürlüklü kaya düşmesi envanterlerinin özelliklerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada, geniş alanları kapsayan ayrıntılı kaya düşmesi envanterlerinin oldukça sınırlı olduğu vurgulanmış ve bu tür envanterlerin kaya düşmesi süreçlerinin anlaşılmasında önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Çalışma kapsamında kaya düşmesi olaylarının büyüklük–frekans ilişkileri, kaya düşmesi aktivitesinin zamansal değişimi ve olayların mekânsal duyarlılığı incelenmiştir. Bu amaçla havadan elde edilen LiDAR verileri kullanılarak kaya düşmesi envanteri oluşturulmuş ve kaya düşmesi hacimleri ile ortalama kaya düşmesi büyüklüklerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, hem kıyı hem de iç kesimlerde yer alan uçurumların evrimini modellemeye katkı sağlamış; ayrıca kaya düşmesi büyüklük–frekans ilişkileri, kaya düşmesi hacimleri ve kıyı uçurum erozyonu hakkında önemli sonuçlar ortaya koymuştur.

Janeras vd. (2023), çok kaynaklı veri setlerine dayalı olarak kaya düşmesi büyüklük–frekans ilişkisini inceleyen ve izleme ile envanter çalışmalarını bir arada değerlendiren bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın temel amacı, dağlık alanlarda kaya düşmesi tehlikesinin daha doğru biçimde analiz edilmesine katkı sağlamaktır. Bu kapsamda iki farklı sahadan elde edilen veriler; Terrestrial Laser Scanning (TLS) izleme sonuçları, gözlemsel analizler, frekans hesaplamaları, kaya düşmesi envanterinin boyut dağılımı ve yüzey üzerindeki blok boyut dağılımları gibi yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, her kaya masifinin farklı jeomorfolojik koşullar ve eğim özellikleri altında geliştiğini ve her bir kaya çıkıntısının kendine özgü bir aktivite döngüsüne sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, kaya düşmesi tehlikesinin daha doğru tahmin edilmesine ve risk yönetimine yönelik yeni stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Pack ve Boie (2002), Utah eyaletinde kaya düşmesi tehlikelerinin belirlenmesine yönelik bir envanter çalışması başlatmıştır. Çalışmanın büyük bölümü 2001 yılından itibaren iki

araştırmacı tarafından yürütülmüştür. Araştırma alanının değerlendirilmesi amacıyla saha üç farklı kategoriye ayrılmış ve kaya düşmesi potansiyeli A, B ve C sınıfları altında derecelendirilmiştir. Buna göre 479 alan A, 569 alan B ve 51 alan C sınıfında değerlendirilmiş olup toplamda 1099 kaya düşmesi sahası belirlenmiştir. Envanter çalışmaları sırasında kaya bloklarının özellikleri, miktarı ve hacmi gibi parametreler dikkate alınmış; değerlendirmelerde Utah Department of Transportation (UDOT) tarafından kullanılan yöntemler ile Rockfall Hazard Rating System (RHRS) yaklaşımından yararlanılmıştır. Saha verileri, GPS ile belirlenen koordinatlar ve her bir lokasyonda çekilen en az iki fotoğrafın Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamına aktarılmasıyla analiz edilmiştir. Bununla birlikte, özellikle B+ eğime sahip alanların gerçek tehlike derecelerinin daha doğru belirlenebilmesi için bu bölgelerde daha ayrıntılı bir derecelendirme yapılması önerilmektedir.

Perret vd. (2006), kaya düşmelerinden etkilenen orman alanlarında ağaç yaralanmalarının envanteri ve analizine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma, genellikle Kuzey Kireçtaşı Alpleri'nde yer alan dağlık subalpin ortamlarda bulunan; kuru, alkali özellikte, dik eğimli ve güney bakılı yamaçlarda gelişen orman alanlarında yürütülmüştür. Kaya bloklarının ağaçlarla temas etmesi sonucunda oluşan hasarın büyük ölçüde ağaç gövdesinin çapına ve düşen kaya bloklarının boyutuna bağlı olduğu, çarpma sonucunda ağaçlarda yaralanma ve kırılmaların meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında araştırma alanına ait koordinatlar hava fotogrametrisi yöntemiyle belirlenmiş, ikinci aşamada ise kaya düşmesi olaylarının mekânsal dağılımı ortaya konularak ağaç yaralanmaları ile kaya düşmeleri arasındaki ilişkiler istatistiksel ve mekânsal analizler yardımıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca ortalama yaralanma sayısı, yaralanma yüksekliği, ağaç çapı ve diğer yaralanma parametreleri hesaplanmış ve bu parametrelere ait standart sapma (SD) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ve ağaç boyutlarına ilişkin özellikler ArcView GIS ortamında düzenlenerek analiz edilmiştir. Sonuçlar, yüksek gövde yoğunluğuna sahip alanlarda yaralanma sayısı ve yaralanma yüksekliğinin azaldığını ve bunun kısa Mean Time to Failure Detachment (MTFD) değerleriyle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Buna karşın, ağaçların göğüs hizası çapının (DBH) ağaç başına düşen yaralanma sayısı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Wubalem (2021) çalışmasında heyelan türleri, oluşumunu etkileyen faktörler, heyelan envanteri, duyarlılık, tehlike ve risk kavramlarını kapsamlı biçimde ele almıştır. Araştırmada, heyelan envanteri oluşturulmasının yanı sıra duyarlılık, tehlike ve risk

haritalarının hazırlanmasının afet kaynaklı kayıpların azaltılmasında büyük önem taşıdığı vurgulanmaktadır. Heyelan envanteri, heyelanların konumunu ve temel özelliklerini ortaya koyan en temel haritalama çalışması olarak kabul edilmektedir. Bu tür haritalar, heyelanların mekânsal dağılımını, oluşum sıklığını, aktivite durumunu, boyutunu, meydana gelme zamanını, türünü, hareket eden malzemenin özelliklerini ve oluşan hasarın yoğunluğunu göstermektedir. Heyelan envanteri ve risk haritalarının oluşturulmasında ise hava fotoğrafları ve uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (GBS) tabanlı analizler gerçekleştirilmektedir.

Pedraza (2021), Montserrat Mountain'da (Katalonya, İspanya'nın kuzeydoğusunda ve Barcelona'nın yaklaşık 50 km kuzeybatısında) kaya düşmesi süreçlerini inceleyen bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma kapsamında, dağın farklı yükselti ve baki koşullarını temsil eden çok sayıda tarayıcı istasyonunda, Yersel Lazer Taraması (TLS) verilerine dayalı olarak 12 yılı aşkın süre boyunca yapılan ölçümler değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak kaya düşmesi olaylarının hacim aralıkları istatistiksel dağılımlar yardımıyla analiz edilmiş ve minimum tespit edilebilir hacim sınırı belirlenmiştir. Ayrıca kaya düşmesi envanteri ile TLS izleme verilerinin bir arada kullanılması, belirli büyüklükteki kopma senaryolarının tanımlanmasına olanak sağlamış ve ayrılma tehlikesinin daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine katkı sunmuştur. Bu yaklaşım aynı zamanda nicel risk analizleri için önemli bir temel oluşturmaktadır. Sonuç olarak, kaya düşmesi envanterinin TLS tabanlı izleme verileri ile birleştirilmesi sayesinde farklı büyüklükteki tehlike senaryolarının mekânsal dağılımı belirlenebilmekte ve bu senaryolar için yıllık gerçekleşme olasılıkları tahmin edilebilmektedir. Bu durum, kaya düşmesi riskinin nicel olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Avelino vd. (2023), Area Nueva yerleşiminin La Cantera Dome'unun güney yamacında ve Sierra de Guadalupe'nin kuzeydoğu kesiminde yer alan kaya düşmesi potansiyelini incelemiştir. Çalışma alanı yaklaşık 450 m uzunluğunda olup yoğun biçimde çatlaklı ve kırıklı bir yamaç morfolojisi göstermektedir. Araştırma kapsamında 114 adet kaya düşmesi deposunun envanteri oluşturulmuş ve büyük bloklar için coğrafi konum, yükselti, eğim, escarpmandan uzaklık, blok hacmi ve blokların zemin yüzeyine temas durumu gibi parametreler belirlenmiştir. Elde edilen veriler GBS ortamında değerlendirilerek eğim, arazi eğriliği ve jeomorfolojik özellikleri gösteren tematik haritalar hazırlanmıştır. Analiz sonuçları, blokların ulaştıkları mesafelerin büyük ölçüde yamaç eğimi ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Buna göre blokların önemli bir kısmı

45°'nin altındaki eğimlerde daha uzun mesafelere ulaşabilmekte; 30–45° eğim aralığında daha kısa mesafelerde birikmekte, 20–30° eğim aralığında ise yatay yönde yayılım göstermektedir. Ayrıca 10–20° eğim aralığında blokların yerleşim alanlarına ulaşma olasılığının arttığı belirlenmiştir. Çalışmada, yerleşim alanına yaklaşık 120 m mesafedeki bölgelerin risk açısından kritik olduğu vurgulanmış ve riskin azaltılması amacıyla orta yamaçlarda bulunan dengesiz blokların sabitlenmesi, riskli alanlarda yeni yapılaşmadan kaçınılması ve teras tabanından itibaren yaklaşık 100 m genişliğinde bir güvenlik kuşağı oluşturulması önerilmiştir.

Pons ve Buxó (2007), demiryolu hatları boyunca kaya düşmesi riskinin değerlendirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada, demiryolları için jeolojik izleme planının ilk aşamasının potansiyel olarak tehlike oluşturabilecek yamaçların envanterinin çıkarılmasını kapsadığı belirtilmiştir. Bu kapsamda yamaç envanteri 1:10.000 ölçekli haritalar kullanılarak hazırlanmış ve orta düzey bölgesel–yerel ölçekte bir katalog (SC-10) oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar daha sonra MPRG-25k veri seti ile karşılaştırılmış ve GBS tabanlı analizler yardımıyla kaya düşmesi kaynak alanları sistematik biçimde belirlenmiştir. Ayrıca vaka çalışmaları kapsamında yapılan değerlendirmeler, Flow-R yazılımı modelinin bölgesel ve orta ölçekli kaya düşmesi analizleri için uygun bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Çan (2013), çalışmasında heyelan envanter haritalarının hazırlanmasına yönelik yöntemleri ele almış ve bu haritaların oluşturulmasında kullanılabilir veri kaynakları hakkında bilgiler sunmuştur. Araştırmada, heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında hava fotoğraflarının nasıl kullanılabilir olduğu, bu verilerin analiz süreçleri ve haritaların hangi ölçeklerde hazırlanmasının uygun olduğu ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Ayrıca farklı dönemlere ait hava fotoğraflarından yararlanılarak hazırlanan heyelan envanter haritalarının genellikle çok zamanlı heyelan envanter haritaları olarak adlandırıldığı belirtilmiştir. Bu tür haritalar, heyelanların zamansal değişimini ve gelişimini ortaya koymasından dolayı önemli bir veri kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Kalender ve Sönmez (2019), Ankara–Eskişehir karayolu üzerinde yer alan Kargabedir Tepe bölgesinde kaya düşmesi duyarlılığını inceleyen bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında bölgenin kaya düşmesi potansiyelini belirlemek amacıyla arazi gözlemleri ile birlikte yüksek çözünürlüklü görüntüleme tekniklerinden yararlanılmış ve insansız hava aracı (İHA) kullanılarak elde edilen ortofoto ve sayısal yükseklik modeli verileri değerlendirilmiştir. Bu veriler yardımıyla kaya düşmesi kaynak alanları

belirlenmiş ve blokların olası yayılım zonları analiz edilmiştir. Araştırmada özellikle bölgesel ölçekte kaya düşmesi tehlikesinin belirlenmesinde ampirik yaklaşımların pratik ve uygulanabilir olduğu vurgulanmıştır. Bu kapsamda, yalnızca kaynak alan haritası ve sayısal yükseklik modeli verilerini girdi olarak kullanan konik yayılım yaklaşımının geniş alanlarda kaya düşmesi duyarlılığının belirlenmesinde etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, potansiyel kaya düşmesi zonlarının belirlenmesi ve karayolu güzergâhları ile yerleşim alanları için tehlike haritalarının oluşturulması açısından önemli sonuçlar sağlamaktadır.

Varol vd. (2023) tarafından yapılan araştırmaya göre, dik yamaçlarda uzun süre dengede kalabilen büyük kaya blokları, şiddetli yağış, don-çözülme döngüleri, deprem gibi ani tetikleyici faktörlerin etkisiyle ana kaya kütesinden ayrılarak hareket edebilmektedir. Bu tür ani kopmalar, blokların yüksek hızlarla yamaç aşağı ilerlemesine neden olmakta ve özellikle yerleşim alanları, ulaşım hatları ve altyapı sistemleri için ciddi riskler oluşturmaktadır. Çalışmada kaya düşmesi olaylarının hem doğal süreçler hem de insan faaliyetleriyle ilişkili olabileceği, bu nedenle potansiyel risk alanlarının belirlenmesi ve izlenmesinin afet zararlarının azaltılması açısından büyük önem taşıdığı belirtilmiştir. Ayrıca kaya düşmesi tehlikesinin değerlendirilmesinde arazi gözlemleri, envanter çalışmaları ve sayısal analiz yöntemlerinin birlikte kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar sağlayacağı ifade edilmektedir. Bu tür çalışmalar, potansiyel kaya düşmesi alanlarının belirlenmesi ve risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

Yeşiloğlu-Gültekin (2023), çalışmasında, jeolojik kökenli tehlikelerin mekânsal planlama süreçlerinde yeterince dikkate alınmamasının, bu tehlikelerin etkilerinin artmasına neden olabileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle doğal tehlikelerin dağılım alanlarının belirlenmesi, riskli bölgelerin ortaya konulması ve bu alanlarda meydana gelebilecek olası zararların toplum ve yerel yönetimler tarafından anlaşılmasının büyük önem taşıdığı belirtilmektedir. Ayrıca, doğal tehlike çalışmalarının planlama süreçlerine entegre edilmesiyle hem risk yönetimi hem de afet zararlarının azaltılması açısından daha etkin stratejilerin geliştirilebileceği vurgulanmaktadır.

Topal vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma, Afyon Kalesi çevresindeki dik yamaçlarda gelişen kaya düşmesi tehlikesini mühendislik jeolojisi ve sayısal modelleme ile değerlendirmiştir. Kale çevresindeki trakitik andezitlerde bulunan kolonlu soğuma çatlakları ve akma tabakalanması blok kopmalarını kontrol etmekte; saha gözlemleri

farklı boyutlarda blokların geçmişte düşmüş olduğunu göstermektedir. Dokuz kesit boyunca RocFall analizleri ile blokların yayılım mesafesi, sıçrama yüksekliği, hız ve kinetik enerjileri hesaplanmış; maksimum 40–255 m yayılım, 28 m sıçrama yüksekliği, 42 m/s hız ve yaklaşık 9000 kJ enerji değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, yerleşim alanlarının doğrudan kaya düşmesi tehditi altında olduğunu göstermektedir. Çalışma ayrıca deprem etkisi, donma-çözülme ve bozunmanın kaya düşmesini tetikleyen ana mekanizmalar olduğunu vurgulamış ve kaya temizliği, ankraj ve çelik bariyerlerin etkili risk azaltma yöntemleri olduğunu belirtmiştir.

Tunusluoğlu ve Zorlu (2009), Kapadokya'daki Ortahisar Kalesi çevresinde ignimbiritlerde gelişen kaya düşmesi tehlikesini ayrıntılı saha ölçümleri ve RocFall analizleri ile değerlendirmiştir. Kale, yoğun süreksizlik içeren dik ignimbirit yamaç üzerinde bulunduğundan kopmuş ve askıda bloklar belirlenmiş; dört ana süreksizlik seti ve ortalama 2.81 m aralıkla büyük blok boyutlarının olduğu saptanmıştır. Analizlerde 3.2–38 ton arası bloklar için maksimum yaklaşık 47–134 m yayılım, 29 m/s hız ve  $\approx 38,000$  kJ enerji değerleri elde edilmiş; yaklaşık 30,000 m<sup>2</sup> alanın kaya düşmesi tehdidi altında olduğu belirlenmiştir. Çalışma, ignimbirit litolojisi, dik topoğrafya ve insan yapımı boşlukların kaya düşmesi tehlikesini artırdığını; donma-çözülme, bozunma ve rüzgâr erozyonunun tetikleyici olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak, turistik ve yerleşim alanlarında kaya düşmesi tehlike zonlaması, kontrollü ziyaret, bariyerler ve enerji sönmüleyici yüzey kaplamalarının gerekli olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, Kapadokya'daki kaya oyma yerleşimleri için kaya düşmesi tehlikesinin planlama süreçlerine entegre edilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Binal ve Ercanoğlu (2010), Manisa Kula Geopark bölgesindeki bazalt kolon yapılarında gelişen kaya düşmesi tehlikesini ayrıntılı saha çalışmaları, süreksizlik ölçümleri ve 2B RocFall analizleri ile değerlendirmiştir. Bazalt blokların zayıf çamurtaşının üzerinde bulunması nedeniyle erozyon ve bozunma süreçlerinin blok kopmalarını tetiklediği belirlenmiş; sekiz kesit boyunca yapılan analizlerde bazı blokların 7.4–39.3 m yayılım mesafesine, 8.7–21.3 m/s hızlara ve  $\approx 6-497$  kJ kinetik enerjiye ulaşabildiği hesaplanmıştır. Analizler, incelenen blokların çoğunun yol hattına ulaşabildiğini ve ulaşım güvenliği için ciddi tehlike oluşturduğunu göstermiştir. Sonuçlar, jeopark ve turistik alan planlamasında kaya düşmesi zonlamasının önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Zorlu vd. (2011) çalışmasında, Kapadokya'daki Avanos, Zelve ve Çavuşini bölgelerinde mesa ve büt morfolojilerinde gelişen kaya düşmesi tehlikesini saha süreksizlik ölçümleri ve 2B RocFall simülasyonları ile değerlendirmiştir. Farklı erozyon sonucu farklı dayanımlı ignimbirit/kireçtaşı üst seviyelerinin zayıf tüfler üzerinde bulunması kaya bloklarının kopmasına neden olan temel mekanizma olarak belirlenmiştir. Arazi çalışmalarında 50–6000 kg arası bloklar kullanılarak 36 kesitte yapılan analizlerde birçok turistik alan ve yolun maksimum run-out mesafesi içinde kaldığı gösterilmiş ve kaya düşmelerinin özellikle süreksizlik geometrisi, litolojik kontrast, donma-çözülme ve erozyon ile kontrol edildiği ortaya konmuştur. Çalışma, Kapadokya'daki yoğun turizm faaliyetleri nedeniyle kaya düşmesi risk zonlamasının zorunlu olduğunu ve ağ sistemleri, bulonlama, hendek açılması ve bariyerler gibi mühendislik önlemlerinin uygulanması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu sonuçlar, ignimbirit topoğrafyasında kaya düşmesi tehlikesinin morfoloji-litoloji etkileşimi ile kontrol edildiğini açıkça göstermektedir.

Aydın vd. (2012) çalışmasında, Kastamonu İnebolu–Kayaarkası bölgesinde bir Türk göknarı ormanında kaya düşmelerinin ağaçlar üzerindeki etkilerini inceleyerek kaya düşmesi aktivitesinin geçmiş olaylar üzerinden değerlendirilmesini amaçlamıştır. 0.35 ha'lık alanda 117 ağacın %91'inde kaya düşmesi kaynaklı yaralanmalar belirlenmiş; ortalama yaralanma yüksekliği  $\approx 81$  cm, ortalama yaralanma sayısı  $\approx 7.5$  ve ortalama yaralanma alanı  $\approx 628$  cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Kaya düşmeleri oluşan ağaç yaralanmaların %84'ünün ağacın yamaç tarafında oluşması kaya bloklarının yönünü, yaralanma sayısının kaynak alana uzaklıkla azalması ise kaya düşmesi yayılımını ortaya koymuştur. Çalışma ayrıca daha büyük çaplı ağaçların daha fazla yaralanma aldığı ve ormanların kaya düşmesi enerjisini azaltarak yerleşimleri koruyan doğal bariyer görevi gördüğünü göstermiştir.

Topal vd. (2012) çalışmasında, Kastamonu Kalesi çevresindeki kumtaşı yamaçlarda gelişen kaya düşmesi tehlikesini saha ölçümleri, süreksizlik analizleri ve 17 kesit boyunca yapılan 2B RocFall simülasyonları ile değerlendirmiştir. Kale çevresinde geçmişte birçok kaya düşmesi olayının yerleşim alanlarını etkilediği belirlenmiş; blok kopmalarının özellikle tabakalanma düzlemleri, iki eklem seti, bozunma, donma-çözülme ve deprem etkileri ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Analizlerde blokların 36–88 m yayılım mesafesine, 9 m sıçrama yüksekliğine, yaklaşık 22 m/s hıza ve  $\approx 2600$  kJ kinetik enerjiye ulaşabildiği hesaplanmış ve kale çevresinde geniş bir kaya düşmesi tehlike zonu belirlenmiştir.

Yeşiloğlu-Gültekin vd. (2012) çalışmasında, Eğirdir yerleşim alanı çevresindeki çoklu jeoteknikleri (heyelan, debris flow ve kaya düşmesi) saha çalışmaları ve GIS tabanlı analizlerle haritalamış ve özellikle dik neritik kireçtaşı yamaçlarda gelişen kaya düşmesi kaynak alanlarını belirlemiştir. Arazi gözlemlerinde ortalama 0.1–13.6 m<sup>3</sup> hacimli blokların düştüğü ve iki ana kaya düşmesi kaynak alanının yerleşimi tehdit ettiği belirlenmiştir. RocFall analizleri ile potansiyel düşme alanları belirlenmiş ve toplam çalışma alanının yaklaşık %2.03'ünün kaya düşmesi tehdidi altında olduğu hesaplanmıştır. Çalışma, kaya düşmesi tehlikesinin özellikle süreksizlik geometrisi, litoloji ve topoğrafya ile kontrol edildiğini ve yerleşim planlamasında kaya düşmesi zonlarının mutlaka dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Dinçer vd. (2016), Kapadokya'daki Tatların Yeraltı Şehri çevresinde gelişen kaya düşmesi tehlikesini ayrıntılı mühendislik jeolojisi çalışmaları ve 3B HY-STONE kaya düşmesi modellemesi ile değerlendirmiştir. Sahada bazalt–tüf ardalanmalı jeolojik yapı nedeniyle bazalt tabakalarının zayıf tüfler üzerinde oyulması sonucu büyük blok kopmaları geliştiği belirlenmiştir; özellikle farklı dayanımlı litolojilerin etkileşimi ve süreksizlik geometrisi kaya düşmesini kontrol eden ana faktörlerdir. 2011'de yaklaşık 45 m<sup>3</sup>'lük bir blok düşmesi gibi geçmiş olayların analizleri ile model kalibre edilmiş ve gelecekteki senaryolarda blokların çoğunlukla <10,000 kJ enerjiye ulaşabileceği, özellikle güney kesimde yollar ve yapılar için tehdit oluşturduğu belirlenmiştir.

Geniş vd. (2017) tarafından yapılan çalışma, Zonguldak–Ankara yolu üzerindeki Gököl Tüneli çevresinde sık görülen kaya düşmelerini saha ölçümleri, jeomekanik testler ve RocFall analizleri ile değerlendirmiştir. Alt Karbonifer yaşlı kireçtaşlarında iki eklem seti ve tabakalanma düzleminin blok kopmalarını kontrol ettiği belirlenmiş; ortalama blok hacminin 0.21–1 m<sup>3</sup> olduğu hesaplanmıştır. İki farklı şev profili için yapılan 2B analizlerde blokların maksimum 5.78–28.71 m yayılım, 3.5–9.7 m sıçrama yüksekliği ve 219 kJ'a kadar enerji değerlerine ulaşabildiği görülmüş ve blokların doğrudan yol platformuna ulaşabildiği belirlenmiştir. Analizler, eğim ve askıda blokların kaya düşmesi şiddetini belirleyen ana faktörler olduğunu ortaya koymuş; 0.5–4 m yüksekliğinde bariyerlerin ve çelik ağ sistemlerinin yol güvenliği için yeterli olabileceği hesaplanmıştır. Çalışma, tünel girişleri ve karayolu yarma şevlerinde kaya düşmesinin süreksizlik geometrisi, blok boyutu ve topoğrafya ile güçlü şekilde kontrol edildiğini ve düzenli envanter ile sayısal analizlerin zorunlu olduğunu göstermektedir.

Kayabaşı (2018), Eskişehir–Kütahya demiryolu hattı boyunca Kızılinler köyü çevresindeki bazalt lav akıntılarında kaynaklanan kaya düşmesi tehlikesini saha ölçümleri, süreksizlik analizleri ve RocFall simülasyonları ile değerlendirmiştir. Zayıf tuf birimlerinin hızlı bozunması sonucu üstteki bazalt bloklarının süreksizlikler boyunca koparak demiryoluna kadar ulaştığı belirlenmiş ve bazı blokların >5 m çapında olduğu sahada ölçülmüştür. Yapılan analizler, seçilen üç şev kesitindeki farklı blok hacimleri için kaya bloklarının demiryoluna ulaşabildiğini ve hattın kaya düşmesi tehditi altında olduğunu göstermiştir.

San vd. (2020) çalışmasında, Ankara Kalesi çevresinde dik andezit yamaçlarda gelişen kaya düşmesi tehlikesini saha gözlemleri, kinematik analizler ve 2B RocFall simülasyonları ile değerlendirmiştir. Kale çevresinde yol, okul ve yerleşim alanlarını tehdit eden çok sayıda askıda blok bulunduğu belirlenmiş; blok kopmalarının özellikle soğuma çatlakları, ayrışma, donma-çözülme ve deprem etkileri ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Dört farklı blok boyutu için yapılan analizlerde sıçrama yüksekliği, yayılım mesafesi ve kinetik enerji değerleri hesaplanarak kaya düşmesi tehlike zonları oluşturulmuş ve tehlikenin genel olarak orta düzeyde ancak yerleşim için kritik olduğu belirlenmiştir. Çalışma, düşmüş ve gevşek blokların temizlenmesi ve uygun özellikte yakalama bariyerlerinin kurulmasının etkili bir risk azaltma yöntemi olduğunu vurgulamaktadır.

Keskin vd. (2020) çalışmasında, Zonguldak–Kilimli karayolu boyunca dik mikritik kireçtaşının oluşturduğu yamaçlarda gelişen kaya düşmesi tehlikesini saha ölçümleri, süreksizlik analizleri ve 2B RocFall simülasyonları ile değerlendirmiştir. Ortalama blok boyutunun yaklaşık 34.7 cm ve  $J_v$  değerinin  $11.2 \text{ j/m}^3$  olduğu belirlenmiş; analizlerde 10–1500 kg arası blokların bir kısmının yol hendeğinde durduğu, ancak bazı küçük blokların yola kadar ulaşarak trafik güvenliğini tehdit ettiği görülmüştür. Maksimum kinetik enerji yaklaşık 160 kJ, maksimum sıçrama yüksekliği 1.85 m olarak hesaplanmış ve özellikle düşük kütleli blokların yola ulaşma olasılığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bozdağ (2022), Konya yakınındaki antik Kilistra yerleşimi çevresinde dik ignimbirit yamaçlarda gelişen kaya düşmesi tehlikesini ayrıntılı saha ölçümleri, süreksizlik analizleri ve 2B RocFall simülasyonları ile değerlendirmiştir. Yerleşimin dik ( $>85^\circ$ ) pyroklastik kaya yamaçları üzerinde bulunması nedeniyle askıda ve kopmuş blokların yaygın olduğu belirlenmiş ve 24 kesit boyunca yapılan analizlerde blokların  $\approx 106 \text{ m}$  yayılım mesafesi,  $\approx 6.8 \text{ m}$  sıçrama yüksekliği,  $\approx 14,286 \text{ kJ}$  enerji ve  $\approx 23.9 \text{ m/s}$  hız

değerlerine ulaşabildiği hesaplanmıştır. Sonuçlar, tarihi yapıların büyük bölümünün kaya düşmesi tehlike zonu içinde yer aldığını ve özellikle süreksizlik kontrollü kama ve devrilme tiplerinin baskın kopma mekanizması olduğunu göstermiştir. Çalışma, ağ sistemleri, kaya bulonları ve askıda blokların temizlenmesi gibi aktif-pasif önlemlerin gerekli olduğunu vurgulamaktadır.

Alemdağ vd. (2022a), Gümüşhane şehir merkezindeki Oltanbey ve Hasanbey mahallelerinde potansiyel kaya düşmesi tehlikesini üç boyutlu RocPro3D analizleri ile değerlendirmiştir. Yüksek eğimli ( $>60^\circ$ ) kaynak alanlarında süreksizlik kontrollü andezit bloklarının koparak yerleşim alanlarına ve yol ağlarına kadar ulaşabildiği belirlenmiş; blokların maksimum yayılım mesafesinin yaklaşık 148–198 m, sıçrama yüksekliğinin 5–7.5 m ve kinetik enerjinin 999–1161 kJ mertebesine ulaşabildiği hesaplanmıştır. Bu değerler, özellikle kentsel alanlarda kaya düşmesinin yüksek enerjili ve ölümcül bir tehlike olduğunu göstermektedir.

Alemdağ vd. (2022b), Gümüşhane’de Torul–Kürtün karayolu boyunca kaya düşmesi tehlikesini belirlemek için GIS tabanlı kinematik analiz, RocFall simülasyonları ve bariyer tasarımı yaklaşımını birlikte kullanmıştır. Çalışmada 204 farklı noktada ve yaklaşık 97,900 m<sup>2</sup> alanda devrilme tipi yenilme sonrasında oluşan kaya düşmesi potansiyeli belirlenmiş, toplam 13 kesit boyunca yapılan kaya düşmesi simülasyonlarında SP7 dışında tüm blokların karayoluna ulaşabileceği gösterilmiştir. Maksimum sıçrama yüksekliği  $\approx 9.1$  m, maksimum kinetik enerji  $\approx 5899$  kJ olarak hesaplanmış; bu değerler yol güvenliği açısından ciddi tehdit oluşturmaktadır. Sonuç olarak çalışmada, süreksizlik kontrollü devrilme ve kama tipi kopmaların dik yamaçlı karayolu kesimlerinde kaya düşmesini tetiklediği ve özellikle aktif bozunma–iklimsel süreçlerin etkili olduğu vurgulanmıştır.

Keskin ve Polat (2022), UNESCO Dünya Mirası Safranbolu kentini tehdit eden kireçtaşı yamaçlardaki kaya düşmesi tehlikesini saha süreksizlik ölçümleri, kinematik analiz ve CONEFALL–Rockfall simülasyonları ile değerlendirmiştir. Hat etüdüleri ile dört ana süreksizlik seti belirlenmiş ve birçok şevde kama, düzlemsel kayma ve devrilme tipi yenilmelerin kaya düşmesine dönüşebileceği gösterilmiştir. 14 kesit boyunca yapılan simülasyonlarda blokların bazı kesimlerde  $\approx 14$  m sıçrama yüksekliği,  $\approx 4000$  kJ kinetik enerji ve  $\approx 23.8$  m/s hız değerlerine ulaşabileceği hesaplanmış ve bu değerlerin tarihi yapılar ve yerleşimler için ciddi tehdit oluşturduğu ortaya konmuştur. Çalışma, Safranbolu gibi dik kireçtaşı topoğrafyasında kaya düşmesinin süreksizlik geometrisi,

bozunma ve deprem gibi tetikleyicilerle kontrol edildiğini ve risk azaltımı için uygun bariyerler, ağ sistemleri ve planlama önlemlerinin gerekli olduğunu vurgulamaktadır.

Nasery vd. (2023), Trabzon'daki Sümela Manastırı'nda bulunan tarihi tonozlu bir kagir yapının maruz kaldığı kaya düşmesi tehlikesini çok senaryolu sayısal analizlerle değerlendirmiştir. Sarp yamaç üzerindeki serbest blokların konum ve boyutları saha çalışmaları ve UAV fotogrametrisi ile belirlenmiş, ardından 2400 farklı kaya düşmesi simülasyonu gerçekleştirilerek blokların maksimum yayılım mesafesi, hız, sıçrama yüksekliği ve kinetik enerjileri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, tonozlu kagir yapıların darbe yüklerine karşı oldukça hassas olduğunu ve özellikle yüksek hız-yüksek enerji blok çarpmalarının lokal göçmelere ve duvar çatlaklarına yol açabileceğini göstermiştir.

Genç vd. (2026) Sümela Manastırı'ndaki tarihi kemerli su kemerinin kaya düşmesi etkileri altında sayısal olarak hasar davranışını incelemiştir. Dik topoğrafya ve süreksizlik kontrollü blok ayrılmaları nedeniyle bölgede önemli kaya düşmesi tehlikesi bulunduğu belirlenmiş; UAV haritalama ve RocFall analizleri ile dokuz kritik kaya düşmesi rotası ve dört farklı blok hacmi (0.06–5.0 m<sup>3</sup>) için 3600 simülasyon yapılmıştır. Analizler, küçük hacimli blokların kemerlerde lokal yüzey hasarı oluşturduğunu, ancak 2.5–5 m<sup>3</sup> blokların toptan göçme mekanizmalarına yol açabildiğini göstermiştir. Maksimum blok hızlarının yaklaşık 35 m/s'ye ulaşabildiği ve çıplak kaya yüzeyleri nedeniyle sıçrama yüksekliğinin arttığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, özellikle sarp topoğrafyadaki tarihi yapılar ve turistik alanlarda kaya düşmesinin yüksek enerjili ve ani hasar oluşturan kritik bir jeolojik tehlike olduğunu göstermektedir. Çalışma ayrıca kontrollü blok kırma, ankraj, çelik bariyer ve temizlik uygulamalarının etkili bir risk azaltma yöntemi olduğunu vurgulamaktadır.

Ündül vd. (2026), İstanbul Boğazı kıyısındaki yoğun yerleşim alanında meydana gelen ayrışma kontrollü kaya düşmesi olayını inceleyerek minimum müdahale prensibiyle risk azaltma yöntemleri geliştirmiştir. Yaklaşık 3–5 m<sup>3</sup> hacimli blokların 60 m boyunca ilerleyerek binalara zarar verdiği belirlenmiş; saha gözlemleri, UAV fotogrametrisi ve sayısal analizlerle kopma mekanizmasının süreksizliklerde kök gelişimi ve ayrışma nedeniyle zayıflama olduğu gösterilmiştir. 1050 senaryo içeren RocFall analizlerinde blokların ortalama sıçrama yüksekliğinin 3–4 m, kritik kesimlerde kinetik enerjinin 3000 kJ seviyesine ulaşabileceği hesaplanmış ve bu değerlerin kentsel alanlarda ciddi yapısal hasar riski oluşturduğu vurgulanmıştır. Çalışma, özellikle kaya düşmesi açısından lokal

blok temizliği, kaya ankrajları, elik bariyerler ve birleşik ağ sistemlerinin etkili ve çevresel açıdan uyumlu çözümler olduğunu göstermiştir.

Nasery vd. (2024) tarafından yapılan çalışma, 6 şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin Siverek Kalesi ve çevresindeki şevlerde oluşturduğu hasarları incelemiş ve özellikle potansiyel kaya düşmesini ayrıntılı olarak değerlendirmiştir. Saha gözlemleri, jeofizik alışmalar (VES, SRM, MASW), sondajlar ve sayısal analizler sonucunda kale duvarlarındaki ayrılmalar ve şev üzerindeki gevşek blokların deprem sonrası düşme potansiyelinin arttığı belirlenmiştir. Yapılan 2B ve 3B probabilistik kaya düşmesi analizlerinde yaklaşık 1 m<sup>3</sup> hacimli bazalt bloklarının 3.27 m sıçrama yksekliliğine ve 186 kJ kinetik enerjiye ulaşabileceği, bazı blokların yol ve yerleşim alanlarına kadar ilerleyebileceği hesaplanmıştır. Bu durum, deprem sonrası tarihi yapılarda kaya düşmesinin önemli bir ikincil problem olduğunu göstermektedir. Çalışma, kaya düşmesi riskinin azaltılması için şev stabilizasyonu, destek duvarları, güçlendirme sistemleri ve kontrollü erişim önlemleri önermektedir.

Gelişli vd. (2024) Trabzon Sümela Manastırı'nın üzerinde bulunan dik volkanik kaya yamaçlarında kaya düşmesi potansiyelini belirlemek amacıyla GPR (Ground Penetrating Radar) ve süreksizlik analizlerini birlikte kullanmıştır. UAV ortofotoları ve dağcı ekiplerinin gözlemleriyle riskli 10 blok belirlenmiş; özellikle andezit–bazalt kayalaarda 4 ana süreksizlik seti saptanmıştır. GPR radargramlarında blokların yüzeyden 2–2.5 m derinliğe kadar yoğun çatlaklı olduğu, daha derinde ise masif yapı gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre askıda ve parçalanmış blokların kontrollü kırılması, bazı blokların elik ağlarla sabitlenmesi önerilmiş ve uygulama sonrası manastır ziyaretçilere güvenli şekilde açılmıştır. Çalışma, özellikle dik ve bozunmuş volkanik kayalardan oluşan yamaçlarda kaya düşmesi tehlikesinin yalnız yüzey ölçümleriyle belirlenemeyeceğini; GPR gibi jeofizik yöntemlerin blok içi süreksizlik sürekliliğini ortaya koyarak kaya düşmesi analizinde kritik rol oynadığını göstermektedir.

Ulamış (2026) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında, Mardin Kalesi çevresindeki dik kireçtaşı–dolomitik kireçtaşı yamaçlarında kaya düşmesi tehlikesini UAV tabanlı 3B modelleme ve RocPro3D analizleri ile değerlendirilmiştir. UAV ortofotoları ile 80 askıda blok ve 117 düşmüş blok belirlenmiş; blok ağırlıklarının 1–165 ton aralığında olduğu hesaplanmıştır. Yapılan 20,000 simülasyon sonucunda birçok bloğun yürüyüş yolu ve yerleşim alanlarına ulaşabileceği ve bazı kesimlerde >5000–6805 kJ kinetik enerji ve ≈5.8 m sıçrama yüksekliliği değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

Özellikle kireçtaşındaki çoklu süreksizlik setleri ve Mardin Bindirme Zonu kaynaklı tektonik deformasyonların blok kopmalarını kontrol eden ana faktörlerdir. Çalışma, mevcut 4 m yüksekliğinde çelik bariyerlerin bazı kesimlerde yeterli olduğunu, ancak yüksek enerji seviyelerinde terra-mesh takviyeli dolgu şevlerin daha etkin çözüm sağladığını göstermiştir.

Varol vd. (2026), Kapadokya'daki Akköy, Göre, Soğanlı, Şahinefendi ve Tatların yerleşimlerinde kaya düşmesi davranışını hem ampirik enerji çizgisi açısı yöntemi hem de UAV tabanlı yüksek çözünürlüklü 3B probabilistik modelleme ile analiz ederek yöntemlerin karşılaştırmasını yapmıştır. Bölgenin ignimbirit–bazalt ardalanmalı jeolojisi ve farklı bozunma süreçlerinin kaya düşmelerini kontrol ettiği, özellikle zayıf flüvyo-lakustrin birimler üzerinde askıda ignimbirit veya bazalt bloklarının koparak uzun mesafelere ulaşabildiği belirlenmiştir. Ampirik yöntemlerin bölgesel ölçekte gerçekçi sonuçlar verdiği ancak topoğrafya, süreksizlik geometrisi ve yüzey pürüzlülüğünü yeterince temsil edemediği; buna karşılık 3B modellerin blok trajeksiyon dağılımlarını ve yüksek tehlikeli alanları daha doğru belirlediği ortaya konmuştur. Çalışmada enerji çizgisi açıları  $23^{\circ}$ – $33^{\circ}$  aralığında bulunmuş ve bazı yerleşimlerde blokların 200 m'ye varan mesafelere ulaşarak konutlar ve kültürel miras yapıları için ciddi tehdit oluşturduğu belirlenmiştir.

Dinçer vd. (2026) çalışmasında, Kapadokya'daki Paşabağ (St. Symeon Hermitage Valley) bölgesinde kritik stabilite durumuna ulaşmış bir peri bacasının ziyaretçiler için oluşturduğu kaya düşmesi tehlikesini mühendislik jeolojisi ve 2B–3B sayısal analizlerle değerlendirmiştir. Peri bacasının yaklaşık  $8.4 \text{ m}^3$  hacimli ve  $\sim 10$  ton ağırlıklı tepe kısmının güneybatı yönünde düşme eğilimi gösterdiği belirlenmiş ve 3B RocPro3D analizlerinde blokların maksimum yaklaşık 20 m yayılım,  $\approx 2000 \text{ kJ}$  kinetik enerji ve 2–3 m sıçrama yüksekliğine ulaşabileceği hesaplanmıştır. Çalışma, UNESCO miras alanı olması nedeniyle büyük yapısal müdahalelerin mümkün olmadığını, bu nedenle ziyaretçi rotalarının yeniden düzenlenmesi, güvenlik çiti kurulması ve pomza gibi enerji sönmüleyici malzemeler kullanılması gibi minimal müdahale yöntemlerinin etkili olacağını göstermiştir.

Elnashi vd. (2021) 2020 yılı  $M = 6.8$  Sivrice–Elazığ depremi sonrasında yapılan saha gözlemleri, deprem kaynaklı zemin ve kaya davranışlarının geniş bir yelpazede değiştiğini göstermiştir. Bazı kaya şevlerinde kaya düşmeleri, bazı temellerde ise sadece milimetre-seviyesinde oturmalar olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmadan elde edilen

bulgular, Türkiye’de aktif fay zonları boyunca meydana gelen orta büyüklükteki depremlerde bile zemin koşullarına bağlı olarak farklı geoteknik hasar mekanizmalarının gelişebileceğini ve bu gözlemlerin deprem-zemin etkileşimi modelleri için önemli veri sağladığını göstermektedir.

Karakaş vd. (2021), 24 Ocak 2020 Mw 6.8 Elazığ Depremi sonrası gelişen kütle hareketlerini yüksek çözünürlüklü hava fotogrametrisi ve çok zamanlı DSM karşılaştırmaları ile analiz ederek Türkiye’deki ilk kapsamlı deprem-tetiklemeli heyelan envanterlerinden birini oluşturmuştur. Toplam 328 kütle hareketi belirlenmiş olup bunların önemli bir kısmının yol yarmaları, göl kıyıları ve dik topoğrafyalarda geliştiği; ayrıca deprem sırasında çok sayıda kaya düşmesinin de tetiklendiği belirtilmiştir. Çalışmadan elde sonuçlar, deprem sonrası kaya düşmesi tehlikesinin özellikle dik şevlerde ve mühendislik kazılarında arttığını; yüksek çözünürlüklü fotogrametri-tabanlı envanterlerin kaya düşmesi mekanizmalarının anlaşılması ve erken önlem planlaması için kritik olduğunu ortaya koymaktadır.

Yan vd. (2024) çalışmasında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında Hatay’dan Göksun’a kadar uzanan hat boyunca yapılan saha gözlemleriyle deprem kaynaklı hasarları incelemiş ve özellikle fay zonları çevresinde gelişen şev dutaysızlıkları, heyelanlar ve kaya düşmelerinin altyapı üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Arazi incelemelerinde, deprem sırasında güçlü yer hareketlerinin dik topoğrafyalarda çok sayıda küçük ölçekli kaya düşmesini tetiklediği ve bu olayların yollar, demiryolları ve boru hatlarında hasara yol açtığı belirlenmiştir; özellikle fay zonu boyunca gelişen şev yenilmeleri ve kaya blok kopmaları ulaşım hatlarını kesintiye uğratmıştır. Çalışma ayrıca, deprem sonrası ikincil tehlikelerin aktif fay zonlarına yakın dağlık alanlarda yoğunlaştığını ve bu tür bölgelerde deprem sonrası hızlı kaya düşmesi envanteri ve risk değerlendirmesinin zorunlu olduğunu vurgulamaktadır.

Mursal vd. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışma, Gaziantep Rumkale çevresindeki doğal ve kültürel miras alanlarında kaya düşmesi tehlikesini değerlendirmek için dijital ikiz (digital twin) tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir. RPAS fotogrametrisi ile cm hassasiyetinde 3B model oluşturulmuş, süreksizlik ölçümleri, blok boyutu analizleri ve kinematik değerlendirmelerle toplam 508 potansiyel düşebilir blok belirlenmiştir. Analizler, Miosen kireçtaşlarında düzlemsel, kama ve devrilme mekanizmalarının yaygın olduğunu; özellikle 470–498 m kotlarında dik şev ve yoğun süreksizlik nedeniyle kaya

düşmesi duyarlılığının arttığını göstermiştir. Yedi kritik kesitte yapılan kaya düşmesi simülasyonlarında blokların 45–120 m yayılım, 7–30 m sıçrama yüksekliği ve 600–13,000 kJ enerji aralığına ulaşabileceği belirlenmiş; bu değerler ziyaretçi alanları ve iskele gibi altyapılar için ciddi tehlike oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bölge 6 Şubat 2023 depremlerinden etkilenmiş ve çok sayıda kaya düşmesi yaşanmıştır.

Gökçeoğlu (2023), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin genel jeolojik etkilerini değerlendirirken, deprem sonrası gelişen ikincil afetler arasında kaya düşmesi ve kaya çığlarının yaygınlığını ortaya koymaktadır. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca yaklaşık 400 km yüzey kırığı olduğu ve dağlık kesimlerde çok sayıda kaya düşmesi olayının yollar, demiryolları ve yerleşimleri etkilediği belirtilmiştir. Özellikle Bektaşlı köyünde meydana gelen kaya düşmesinin can kaybına yol açması ve Gölbaşı–Nurhak yolu ile Fevzipaşa demiryolu çevresindeki blok düşmeleri, deprem sonrası topoğrafya kontrollü ikincil tehlikenin büyüklüğünü göstermektedir.

Kocaman vd. (2025) 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında oluşan depremlerin tetiklediği kütle hareketlerini incelemek amacıyla geniş ölçekli bir heyelan envanteri oluşturmuş ve toplam 2596 heyelan belirlemiştir. Arazi gözlemleri ve ortofoto analizleri, deprem sonrası özellikle dağlık kesimlerde çok sayıda kaya düşmesi ve blok kopmasının meydana geldiğini göstermiştir; ancak envanterin ölçeği nedeniyle kaya düşmeleri ayrı poligonlar olarak haritalanmamıştır. Çalışmalarında Kocaman vd. (2025) örnekler ile Amanos Dağları çevresinde yolları ve yamaçları etkileyen kaya düşmelerini göstermiştir. Çalışmada gerçekleştirilen analizler, yüksek eğim, aktif faylara yakınlık ve süreksizlikli kaya kütlelerinin deprem sırasında ani blok kopmalarına neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, aktif tektonik bölgelerde deprem sonrası kaya düşmesinin yaygın ve kritik bir ikincil tehlike olduğunu; özellikle ulaşım hatları, tüneller ve yerleşim alanları için detaylı kaya düşmesi envanteri ve sayısal analizlerin zorunlu olduğunu göstermektedir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden etkilenen yaklaşık 38.500 km<sup>2</sup>'lik geniş bir bölgede heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunu değerlendirmek amacıyla Random Forest tabanlı bir model Karakas vd. (2024) tarafından geliştirilmiş ve 2611 eş-sismik heyelan envanteri ile doğrulama yapmıştır. Çalışma doğrudan kaya düşmesini hedeflemese de, sonuçlar kaya düşmesi açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır: aktif faylara yakın, dik topoğrafyaya sahip ve zayıf litolojili bölgelerde deprem sonrası ani kütle hareketlerinin yoğunlaştığı görülmüş; özellikle DEM türlerinden eğim ve yükseklik parametrelerinin en kritik faktörler olduğu belirlenmiştir.

Bu durum, deprem sonrası blok kopmaları ve kaya düşmesi potansiyelinin topoğrafya ve tektonik kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Yıldız vd. (2025) 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında jeolojik tehlikelerin kadastro verileri üzerindeki etkisini inceleyerek özellikle deprem kaynaklı yüzey deformasyonlarının (fay atımı, heyelan, sıvılaşma, yanal yayılma ve kaya düşmesi) parsel sınırlarında oluşturduğu belirsizlikleri değerlendirmiştir. Kaya düşmelerinin çoğunlukla yalnızca fiziksel sınırları etkilediği, ancak parsel topolojisini genelde değiştirmediği ve bu nedenle kadastro belirsizliğinin diğer tehlike türlerine göre daha düşük olduğu vurgulanmıştır. Çalışma, deprem sonrası özellikle dik yamaçlarda gelişen kaya düşmelerinin yerleşim alanları ve altyapı için önemli bir tehdit oluşturduğunu ve kadastro sistemlerinin doğal tehlike verileri ile entegre edilmesi gerektiğini göstermektedir.

### 3. BÖLÜM

#### KAYA DÜŞMESİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

##### 3.1. Kaya Düşmesi ve Tanımlar

Kaya düşmesi, yamaç veya şevlerde bulunan kaya bloklarının süreksizlik yüzeyleri boyunca ana kaya kütlelerinden ayrılarak yerçekiminin etkisiyle eğim doğrultusunda ani ve hızlı biçimde hareket etmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Akin, 2021). Dünya genelinde can ve mal güvenliğini tehdit eden önemli doğal tehlikelerden biri olan kaya düşmeleri, özellikle topoğrafyanın eğimli olduğu sahalarda altyapı ve yerleşim alanları üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır. Türkiye’de meydana gelen afetler değerlendirildiğinde, depremden sonra en yaygın ve yıkıcı tehlikeler arasında sel, taşkın ve kaya düşmesi olaylarının yer aldığı görülmektedir (AFAD, 2021). Düşme türleri, hareket eden malzemenin niteliğine bağlı olarak kaya, moloz ve toprak düşmesi şeklinde sınıflandırılabilir. Bunun yanında ayrışma derecesi, kayaç dayanımı ve süreksizlik özellikleri gibi jeolojik faktörler de bu tür olayların gelişiminde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle yüksek eğimli yamaçlarda bulunan gevşek malzemenin, yeraltı suyu koşulları, topuk oyulması ve donma-çözülme gibi süreçlerle birlikte hidrostatik basıncın etkisine maruz kalması, düşme ve kayma türü hareketleri tetikleyebilmektedir (Anaçalı, 2015).

Kaya düşmeleri, yüzeyde ya da sualtı yamaçlarında meydana gelebilen blok hareketleri olup çoğunlukla bitki örtüsünün zayıf ya da hiç gelişmediği alanlarda daha belirgin şekilde gözlenmektedir. Kaya bloklarının konumu, hızı, ivmesi ve sahip olduğu kinetik enerjinin belirlenmesi, olası tehlikenin düzeyinin ortaya konulması ve uygun önlemlerin seçilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle araştırmacılar, blokların hareket davranışını açıklayabilmek amacıyla farklı modelleme yaklaşımları geliştirmiştir. Kaya bloklarının hareketi genellikle serbest düşme, yuvarlanma, kayma ve sıçrama mekanizmalarının birlikte etkili olduğu karmaşık bir süreç şeklinde gelişmektedir. Özellikle geri sıçrama katsayısı, blokların zeminle çarpışma sonrasında göstereceği davranışın modellenmesinde önemli bir parametre olup, tehlike alanlarının öngörülmesine ve koruyucu yapıların boyutlandırılmasına katkı sağlamaktadır (Çapar, 2018).

Kaya düşmeleri, engebeli ve dağlık arazilerde, şev yarmalarında, doğal yamaçlarda ve açık maden sahalarında sıklıkla karşılaşılan önemli bir jeolojik tehlike türüdür. Bu olaylar karayolu, demiryolu ve benzeri ulaşım altyapılarının yanı sıra yerleşim alanlarını da olumsuz etkileyebilmektedir. Kaya bloklarının düşmesi sonucunda yapılar zarar görebilmekte, ulaşım kesintiye uğrayabilmekte ve bazı durumlarda can kayıpları meydana gelebilmektedir. Her ne kadar etkilediği alan diğer bazı afet türlerine kıyasla daha sınırlı olsa da, ortaya çıkardığı sonuçlar oldukça ağır olabilmektedir. Bu nedenle kaya düşmesi tehlikesi taşıyan alanlarda uygun tehlike belirleme, risk değerlendirme ve zarar azaltma yöntemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır (Volkwein, 2011). Türkiye’de kaya düşmeleri özellikle İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak gözlenen doğal tehlikeler arasında yer almaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü arşiv kayıtlarına göre, 1950’li yıllardan itibaren ülkede yüzlerce kaya düşmesi olayı meydana gelmiş; bu olaylar sonucunda can kayıpları yaşanmış, çok sayıda konut etkilenmiş ve bazı yerleşim alanlarında yer değiştirme zorunluluğu ortaya çıkmıştır (Ergünay, 2007).

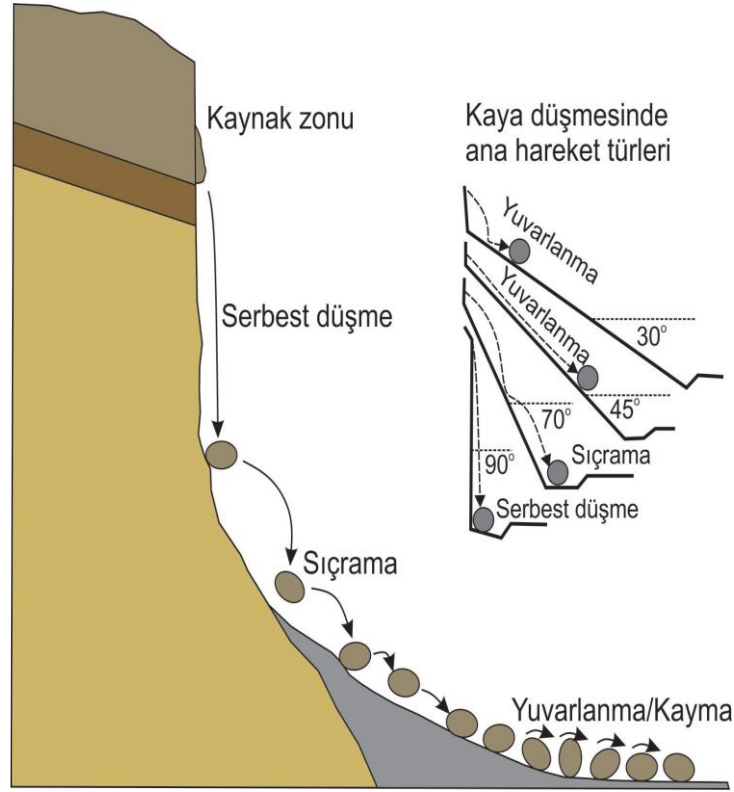
Kaya bloklarının hareketi dik yamaçlarda düşme şeklinde olup, eğiminin azalmasına bağlıdır; kaya saçrama ve yuvarlama şeklinde devam etmektedir. Olayın hızının yüksek olması sebebiyle kaya düşmesi blok hacmine de bağlı olarak ulaşım ağları ve yapılaşma alanları için oldukça tehlikeli olabilir (Cruden ve Varnes, 1996). Düşen kayaların bloğunun hacmi kaynak alanındaki süreksizliklerinin grup sayısı, yönelimi ve aralığı gibi süreksizlik özelliklerine bağlıdır. Düşme blok olayının gözlenebileceği sahaların ve menzil mesafelerinin (run-out distance) ayırtlandığı haritalar saha seçimlerinde karar vericilere önemli bilgiler sağlamaktadır.

Kaya düşme analizleri büyük ölçekte kaya bloğunun harekette başladığı lokasyon, kayanın blok aralığı, şekli, litolojisi, iki boyutta (2D) şev profili veya uç boyutta yüksek çözünürlükte sayısal arazi modeli (SYM, 3D topoğrafya) teğetsel ve normal enerji azalım katsayıları gibi çok sayıdaki girdi değişkenlerinden yararlanılarak yapılabilir.

Kaya düşmesinin literatürde farklı araştırmacılar tarafından verilmiş farklı tanımları bulunmaktadır.

AFD (2020) kaya düşmesini, dik yamaçlardan düşen kaya bloklarının düşey hareketi olarak tanımlamıştır. Bu süreçte serbest düşme, sıçarma ve yuvarlanma gibi hareket türleri gözlemlenir (Şekil 3.1). Düşen bloklar enerjisini kaybettiğinde yuvarlanma veya

kayma hareketi gerçekleşebilir. Tek bir blok düşebileceği gibi birden fazla blok da aynı anda düşebilir. Büyük bir blok serbest düştükten sonra parçalanarak çoklu bloklar halinde hareket edebilir. Bu bloklar birbirinden bağımsız hareket ettiğinden, düşme karakterinin belirlenmesi önemlidir. Örneğin, küçük bir blok yüksek hızda düşebilirken, büyük bloklar daha düşük hızla düşer.



Şekil 3-1. Yamaç eğimlerine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket türleri (AFAD, 2020).

Alptekin ve Yakar (2020), kaya düşmesini kaya kütleleri üzerindeki kuvvetlerin değişimiyle meydana gelen bir afet olarak tanımlamışlardır. Kaya düşmesini tetikleyen faktörler arasında tektonik hareketler, aşırı yağışlar, süreksizlik düzlemleri, eklemler ve bitki köklerinin büyümesi yer aldığı ifade etmişlerdir.

### 3.2. Kaya Düşme Tehlikesi

Kaya düşmesi terminolojisinde tehlike kavramı, belirli bir hacme veya enerjiye sahip bir kaya düşmesi olayının belirli bir zaman aralığında ve belirli bir alanda meydana gelme olasılığını ifade etmektedir (Ferrari vd., 2016). Bu nedenle temel bir kaya düşmesi tehlike haritası, belirli bir bölgede önceden tanımlanmış büyüklükteki kaya düşmesi olaylarının

gerçekleşme olasılığını ortaya koymalıdır (Crosta ve Agliardi, 2003). Kaya düşmesi tehlikesinin değerlendirilmesi genellikle üç temel bileşene dayanmaktadır.

Birincisi, belirli bir blok boyutuna sahip kaya düşmesinin belirli bir zaman dilimi içerisinde ve belirli bir kaynak alanında meydana gelme olasılığıdır. Bu parametre, hem kaya düşmesine duyarlı alanların belirlenmesini hem de olayın tekrarlanma olasılığını ifade eden zamansal olasılık bileşenini kapsamaktadır. İkinci bileşen, kaya bloklarının eğim boyunca aşağı doğru yayılım davranışıdır. Bu kapsamda blokların izlediği yörünge, sıçrama hareketleri ve maksimum yayılım mesafesi değerlendirilerek potansiyel etki alanı belirlenmektedir. Üçüncü bileşen ise kaya düşmesi olayının şiddetidir. Şiddet genellikle blokların taşıdığı kinetik enerji ile ifade edilmekte olup, olası hasarın büyüklüğünü belirleyen önemli bir parametredir. Bu nedenle herhangi bir kaya düşmesi tehlike değerlendirme yöntemi; olayın meydana gelme sıklığını, kaynak alan duyarlılığını, blokların yayılım özelliklerini ve düşen blokların enerji düzeylerini hem kaynak alanında hem de düşme yolu boyunca birlikte dikkate almalıdır

### 3.3. Kaya Düşmesinin Nedenleri

Çoğu zaman kaya düşmelerini tetikleyen etken birden fazladır. Bu faktörleri jeolojik, morfolojik, fiziksel ve antropojenik (insan kaynaklı) olmak üzere başlıca dört gruba ayırmak mümkündür. Kaya düşmesine neden olan başlıca faktörler aşağıda Şekil 3.2 ve Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3-2. Kaya düşmelerine neden olan iç ve dış faktörler (Volkwein vd., 2011; AFAD, 2020)

Çizelge 3.1 Kaya düşmesine neden olan faktörler (Cruden ve Varnes, 1978)

Ana Faktörler	Alt Faktörler
1. Jeolojik Nedenler	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Zayıf jeolojik malzeme</li> <li>b) Duyarlı jeolojik malzeme</li> <li>c) Bozunmuş zeminler</li> <li>d) Makaslama zonlarına maruz kalmış malzemeler</li> <li>e) Eklemliler ve fisürlü jeolojik malzeme</li> <li>f) Tabakalanma, faylanma gibi süresizlikler</li> <li>g) Malzeme özellikleri (geçirimsizlik, düşük dayanım vb)</li> </ul>
2. Morfolojik Nedenler	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Volkanik tektonik yükselme</li> <li>b) Flüvyal veya glasiyel erozyon</li> <li>c) Akarsu aşındırması</li> <li>d) Bitki örtüsünün yok olması</li> <li>e) Yağış alma/almama, buharlaşma</li> </ul>
3. Fiziksel Nedenler	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Şiddetli yağış</li> <li>b) Ani kar erimesi</li> <li>c) Uzun süreli yağış</li> <li>d) Taşkınlar</li> <li>e) Depremler</li> <li>f) Volkanik aktivite</li> <li>g) Donma-çözünme</li> <li>h) Şişme</li> </ul>
4. İnsan Etkisi	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Kazı</li> <li>b) Yükleme</li> <li>c) Ormanlık alanların tahrip edilmesi</li> <li>d) Sulama</li> <li>e) Madencilik faaliyetleri</li> <li>f) Patlatma</li> <li>g) Su çekme/su alma</li> </ul>

### 3.4. Kaya Düşmesi Riski

Kaya düşmesi riski, bir tehlikenin meydana gelme olasılığı ile bu tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçların birlikte değerlendirilmesiyle belirlenen bir kavramdır. Başka bir ifadeyle risk, tehlikenin oluşma

olasılığı ile bu olayın yol açabileceği zararların çarpımı olarak ifade edilmektedir. Bu yaklaşım Şekil 6'da sunulan model ile açıklanmakta olup, yapılan risk analizleri çeşitli olasılık ve etki değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Pine, 2015). Bu analiz kapsamında aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilmektedir:

- Mevcut koşullar, geçmiş olaylar ve olağandışı çevresel durumlar (örneğin taşkın alanları gibi) dikkate alınarak bir tehlikenin meydana gelme olasılığının belirlenmesi: Ayrıca birden fazla olayın birlikte gerçekleşme ihtimali de değerlendirilmektedir. Örneğin, kasırgalarla birlikte oluşabilecek hortum, sel veya yangın gibi birleşik tehlike senaryoları bu kapsamda incelenmektedir.
- İnsanlar üzerindeki etkilerin değerlendirilmesi: Bu kapsamda yaralanmaların şiddeti (akut, gecikmiş veya kronik sağlık etkileri), olası yaralanma ve can kaybı sayısı ile risk altındaki hassas gruplar belirlenmektedir.
- Kritik altyapı ve tesisler üzerindeki etkilerin değerlendirilmesi: Hastaneler, itfaiye istasyonları, polis merkezleri ve iletişim altyapıları gibi kritik tesislerde meydana gelebilecek hasarın boyutu analiz edilmektedir.
- Mülk ve yapıların görebileceği zararların belirlenmesi: Bu kapsamda oluşabilecek hasarın geri kazanılabilir ya da kalıcı olup olmadığı değerlendirilmektedir.
- Çevresel etkilerin değerlendirilmesi: Doğal çevre üzerinde oluşabilecek zararların geçici veya kalıcı olup olmadığı incelenerek çevresel risk düzeyi ortaya konulmaktadır

Bu bağlamda risk, bir tehlikenin gerçekleşme olasılığı ile bu olayın neden olabileceği olumsuz sonuçların büyüklüğünün birlikte değerlendirilmesiyle ifade edilmektedir (Şekil 3.3)

Rose (2005) çalışmasında, jeoteknik mühendisliği ve kütle hareketleri literatüründe risk kavramının farklı yaklaşımlarla tanımlandığını belirtmekte ve bu tanımların özetini Çizelge 3.2'de sunmaktadır. Buna göre risk kavramı genel olarak aşağıdaki biçimlerde ifade edilmektedir:

- Tehlikenin meydana gelme olasılığı ile ortaya çıkabilecek kaybın gerçekleşme olasılığı,
- Tehlike, kayıp ve duyarlılık arasındaki etkileşim,

- Bir olayın meydana gelme olasılığı ile bu olayın sonuçlarının çarpımı.

Bu yaklaşımlar doğrultusunda risk, Çizelge 2.4'te maruz kalma, tehlike, duyarlılık ve kayba yatkınlık gibi bileşenlerin birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanan bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Hesaplanan sonuçlar genellikle kayıp yüzdesi ya da ekonomik değer cinsinden ifade edilmektedir. Bununla birlikte bazı tanımlarda risk, doğrudan para birimi veya olası can kaybı sayısı gibi ölçütlerle de gösterilebilmektedir. TennRMS sisteminde ise risk, belirli bir model çerçevesinde sonuç sayısı/zaman oranı şeklinde hesaplanmaktadır. Bu sistemde olasılık, belirli bir zaman aralığında meydana gelen tehlikeli olayların sayısı ile; sonuç ise bu olaylar sonucunda ortaya çıkan etkilerin sayısı ile ifade edilmektedir.

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} \times \text{Sonuç}$$

Şekil 3-3.Risk tanımlayan model (Pine 2015'ten).

### 3.5. Heyelan Envanteri

Heyelan envanter haritaları, heyelanların mekânsal dağılımı ile bu olayları etkileyen koşullandırıcı faktörler arasındaki ilişkinin ortaya konulması açısından büyük önem taşımaktadır (Pourghasemi vd., 2012). Heyelan envanteri, heyelan haritalarının hazırlanmasında temel veri kaynağını oluşturur ve genellikle heyelan türü, konumu, etkilenen alan ve oluşum zamanı gibi bilgileri içermektedir (Düzgün vd., 2012). Heyelan envanteri veritabanı, bireysel heyelan olaylarına ilişkin mevcut bilgilerin derlenmesiyle ya da hava fotoğrafları, uzaktan algılama verileri ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen verilerle oluşturulmaktadır. Bu veriler kullanılarak farklı türlerde envanter haritaları hazırlanabilmektedir. Bunlar arasında arşiv envanteri, jeomorfolojik (tarihsel) envanter, olay envanteri ve çok zamanlı envanter haritaları yer almaktadır (Guzzetti vd., 2012).

Çizelge 3.2.Kütle hareketi riski tanımları (Rose, 2005'den düzenlenmiştir).

Genel risk tanımı	Birimler	Referans	Not
Olumsuz olayların büyüklüğü ve olasılığının	Yok	Whitmann 2000 NRC,2004	1 2.6
(Tehlike hassaslık, kayıp) etkileşimi	Değer veya % kayıp	Alexander, 2002	3
1. Olasılık x sonuç veya daha belirgin bir biçimde	Dolar veya can (tipik olarak)	Fell 1994	4.6
		Morgenstem 1995	5
		Finlay and fell 1997	4.6
		IUGS, 1997	7
		Fell ve Hartford, 1997	7.5
2. Olasılık (sonuç) x sonuç alternatif veya eşit olarak (bkz. Notlar		Vick, 2002	8
		Baecher ve christian, 2003	7.5
		NRC 2004	9.5
		Chang-jo ve Fabbri, 2004	10
3. Kayıp miktarı		Crozier ve Glade,2004	11.5
		Sorriso – Valvo, 2005	12
		Alexander, 2024	13
<b>Tehlikenin Özel Yorumları ve Tanımları</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geniş anlamda {beklenen [magnitüd/gerçekleşme] x olasılık [gerçekleşme]}.</li> <li>2. Tehlike, {bir heyelanların ve gerçekleşme olasılığının tanımı} tanımlanır.</li> <li>3. Tehlike, boyut ve olasılık tanımlarını içermelidir. Tehlike, alternatif olarak, {belirli bir heyelanın belirli bir zaman diliminde gerçekleşme olasılığı} olarak tanımlanabilir. Tehlike tanımlama ve analiz, {heyelanların sayısı ve özelliklerinin olasılığı}nı belirlemek olarak tanımlanır ve bu, bir frekans-büyükük dağılımı üretir.</li> <li>4. Tehlike, boyut ve olasılık tanımlarını içermelidir.</li> <li>5. Tehlike, {gerçekleşebilecek tehlikeli bir durum, olay veya fenomenin tanımı} olarak tanımlanır.</li> <li>6. Tehlike, {hasar verici bir heyelanının potansiyel gerçekleşmesi} olarak tanımlanır.</li> <li>7. Tehlike, {potansiyel olarak zarar verici bir süreç veya durum} olarak tanımlanır.</li> <li>8. Tehlike, “bir olayın gerçekleşme olasılığını ifade eder”</li> <li>9. Tehlike, {belirli bir zaman diliminde ve alanda hasar verici bir olayın olasılığı} olarak tanımlanır.</li> <li>10. Tehlike, {büyükükle değişen bir hasar verici olayın olasılığı} olarak tanımlanır.</li> <li>11. azarlar, doğal tehlikeler araştırmasında tehlikenin her iki kullanımını tanımlar, (1) onu {potansiyel olarak tehlikeli bir olay veya durum} olarak tanımlar ve (2) onu {tehlikeli bir olayın olasılığı} olarak tanımlar.</li> <li>12. Tehlike, {belirli bir boyuttaki bir olayın belirli bir zaman diliminde gerçekleşme olasılığı} olarak tanımlanır.</li> <li>13. Tehlike, belirsiz ve uyumsuz şekillerde tanımlanmış olarak kabul edilir ve terimin kullanılmasından kaçınılır.</li> <li>14. Yazarlar, tehlikeye atıfta bulunmazlar ve terimin tanımını sağlamazlar.</li> </ol>			

Uygulama açısından değerlendirildiğinde, heyelan envanter haritaları karar vericiler, planlamacılar ve yerel yönetimler için önemli bir bilgi kaynağıdır. Bu nedenle dünya genelinde ulusal, bölgesel ve yerel ölçeklerde birçok heyelan envanter haritası hazırlanmakta ve bu haritalar aracılığıyla heyelanlara ilişkin veriler sistematik bir biçimde sunulmaktadır. Ancak yapılan değerlendirmeler, üretilen heyelan envanter haritalarının yalnızca yaklaşık %25'inin doğrudan uygulamalarda etkin şekilde kullanılabildiğini göstermektedir. Ayrıca heyelanların konumu, durumu ve boyutlarına ilişkin ayrıntılı bilgilerin planlama süreçlerinde kullanılma oranının oldukça sınırlı olduğu belirtilmektedir (AFAD, 2015).

Son 10–15 yıl içerisinde Türkiye’de heyelan envanter haritalarının önemine yönelik farkındalık önemli ölçüde artmış ve bu alanda yoğun çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. Özellikle kamu kurumları, üniversiteler ve araştırmacılar tarafından ulusal ve uluslararası düzeyde birçok bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Jeoloji Araştırmaları birimi tarafından yürütülen Türkiye Heyelan Envanteri Projesi ile Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi tarafından gerçekleştirilen afet tehlike değerlendirme çalışmaları, Türkiye’de heyelan araştırmaları kapsamında gerçekleştirilen en önemli kurumsal çalışmalar arasında yer almaktadır (Şekil 3.4).

Heyelan envanterlerinin oluşturulabilmesi için bazı temel özelliklerin ayrıntılı biçimde ortaya konulması gerekmektedir. Bu özellikler arasında heyelanların konumu, türü, boyutları, aktivite durumu, etkilediği alanlar, oluşum zamanı ve varsa tetikleyici faktörler yer almaktadır. Bu tür ayrıntılı verilerin elde edilmesi, heyelan tehlikesinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Galli vd., 2008).

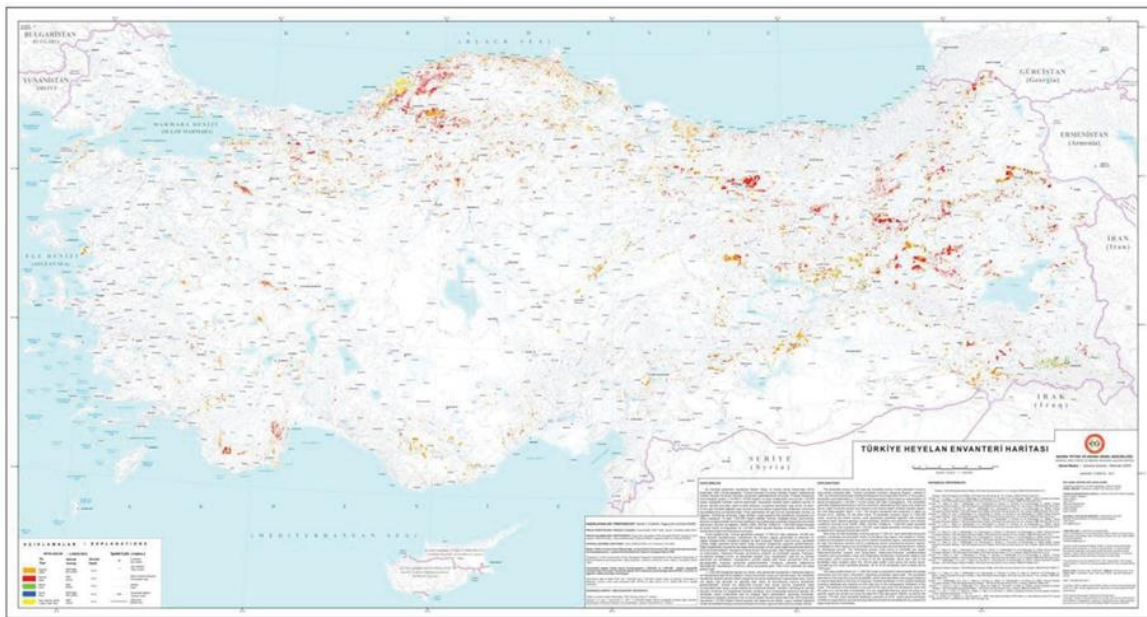
Heyelan envanter haritalarının oluşturulmasının temel amaçları aşağıda özetlenmiştir.

- Kütle hareketlerinin yeryüzü üzerindeki etkilerini ve zaman içerisindeki değişimini incelemek ve ortaya koymak,
- Heyelanların jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerle ilişkili mekânsal dağılımını, türlerini ve aktivite durumlarını belirlemek,
- Heyelan tehlikesi ve risk değerlendirmelerine temel oluşturacak verileri sağlayarak planlama ve yönetim çalışmalarına altlık oluşturmak.

Heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında, farklı veri kaynaklarına ve analiz yaklaşımlarına dayanan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (Mantovani vd., 1996).

- Topoğrafik haritalar ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verilerinin analizi,
- Hava fotoğraflarının yorumlanması,
- Arazi çalışmaları ve yerinde gerçekleştirilen jeomorfolojik gözlemler,
- Basılı veya sayısal harita ve veri arşivlerinin kullanılması,
- LIDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisinin uygulanması
- Uydu görüntülerinin kullanılması.

Heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler genel olarak iki grupta değerlendirilmektedir. Topoğrafik haritaların ve Sayısal Yükseklik Modellerinin (SYM) analizi, hava fotoğraflarının yorumlanması, arazi çalışmaları ve basılı ya da sayısal harita arşivlerinin kullanılması gibi yöntemler klasik veya geleneksel yöntemler olarak kabul edilmektedir. Buna karşılık, LIDAR teknolojisi ile optik/pasif ve radar/aktif uydu görüntülerinin kullanımı ise yeni ve modern yöntemler arasında değerlendirilmektedir. Heyelan envanter haritaları, arazide mevcut olan heyelanların coğrafi konumunu ve temel özelliklerini ayrıntılı biçimde gösteren haritalardır (Yalçın, 2007). Bu haritalar genellikle arazi üzerinde belirgin şekilde gözlemlenebilen heyelan alanlarını temsil etmektedir. Heyelanların doğru konumunun ve etkilediği alanın belirlenmesi, güvenilir heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3-4. Türkiye Heyelan Envanter Haritası (Duman vd., 2011)

Heyelan envanter haritaları; çalışmanın amacı, veri kalitesi ve araştırma alanının büyüklüğüne bağlı olarak doğrudan arazi gözlemleri veya uzaktan algılama verileri kullanılarak hazırlanabilmektedir. Özellikle hava fotoğraflarının yorumlanması, heyelanların öncesi ve sonrasına ait yüzey özelliklerinin karşılaştırılmasına olanak sağladığı için heyelan alanlarının belirlenmesini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Bulut ve Dağ, 2012).

Guzzetti vd. (2012), oluşturulan heyelan envanterlerinin doğruluğunu etkileyen birçok faktör bulunduğunu belirtmiştir. Bu faktörler arasında kullanılan hava fotoğraflarının ölçeği, çekim tarihi, görüntü kalitesi ve teknik özellikleri (örneğin yer örnekleme mesafesi, radyometrik çözünürlük ve bulutluluk durumu) önemli bir yer tutmaktadır. Bunun yanı sıra heyelan verilerinin gösterilmesinde kullanılan altlık haritaların kalitesi, ölçeği ve türü ile görüntülerin analizinde kullanılan yöntem ve araçlar da envanter doğruluğunu etkileyen diğer unsurlar arasında yer almaktadır. Ayrıca değerlendirmeyi yapan araştırmacının bilgi düzeyi, teknik becerisi ve deneyimi de heyelan envanter haritalarının güvenilirliği üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Heyelan envanter haritalarının hazırlanmasında önemli unsurlardan biri de uygun ölçek seçiminin yapılmasıdır. Heyelan çalışmalarında kullanılan ölçekler için kesin bir standart bulunmamakla birlikte, farklı araştırmacılar ve kurumlar bu konuda çeşitli önerilerde bulunmuştur. Örneğin, Fell vd. (2008) tarafından yapılan değerlendirmeye göre orta ölçekli haritalar genellikle 1:25.000 ile 1:100.000 arası ölçeklerde hazırlanmakta ve yaklaşık 1.000 km<sup>2</sup> ile 10.000 km<sup>2</sup> büyüklüğündeki çalışma alanlarının incelenmesinde tercih edilmektedir. Orta ölçekli heyelan envanter haritaları çoğunlukla hava fotoğraflarının yorumlanması ve arazi gözlemlerinin birlikte kullanılmasıyla oluşturulmaktadır (Guzzetti vd., 2012). Bu ölçekte yapılan çalışmalar, aynı zamanda istatistiksel analiz yöntemlerinin uygulanması açısından da uygun bir veri altyapısı sağlamaktadır (van Westen vd., 2006).

Bu bilgiler doğrultusunda heyelan envanterleri hazırlanabilmekte ve kütle hareketlerinin farklı türleri kayıt altına alınabilmektedir. Kaya düşmeleri de kütle hareketlerinin bir türü olduğundan, kaya düşmesine neden olan jeolojik ve jeomorfolojik koşulların belirlenmesi amacıyla envanter çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda hazırlanan envanterler genellikle farklı veri kaynaklarından yararlanılarak oluşturulan yerel ölçekli veri tabanları niteliğindedir. Bir yandan arazi gözlemleri ve saha denetimleri ile düzenli izleme faaliyetleri yürütülürken, diğer yandan yoğun yağış gibi tetikleyici olaylara bağlı

olarak gelişen yeni kütle hareketlerine yönelik hızlı değerlendirmeler yapılmaktadır. Bunun yanında farklı türde belgelerden, arşiv kayıtlarından ve çeşitli veri kaynaklarından elde edilen bilgilerin derlenmesi de envanter oluşturma sürecinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Janeras vd., 2023).

Türkiye genelinde meydana gelen heyelanların mekânsal dağılımı incelendiğinde, yalnızca alan olarak haritalanabilen heyelanların ulusal ölçekte 1:1.500.000 ölçekli bölünmüş haritalar kullanılarak kaydedildiği görülmektedir. Bu değerlendirmeler, heyelanların özellikle Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, diğer bölgelerde görülen heyelanların dağılımı ise litolojik özellikler ve çeşitli jeoçevresel faktörlerin etkisiyle şekillenmektedir. Yapılan analizler, heyelanların yaklaşık üçte birinin bu bölgelerde yer aldığını ve aynı zamanda aktif fay zonları çevresinde de yoğun şekilde gözlemlendiğini göstermektedir. Ayrıca heyelanların yaklaşık %60'ının deniz seviyesinden 1000 m ve üzerindeki yükseltilerde meydana geldiği belirlenmiştir (Çan vd., 2013).

### **3.6. Kaya Düşmelerinin Sınıflandırılması**

Kaya düşmesinde şev/yamacın eğim açısına bağlı olarak düşen kaya bloklarında üç ana hareket türü gözlenebilir. Bunlar serbest düşme, yuvarlanma, kayma, sıçramadır.

Çapar (2018) çalışmasında kaya düşme olaylarında hareket eden hacimin büyüklüğüne göre dört ayrı gruba ayrılarak sınıflandırmıştır.

- Tekil blok düşmeleri (hareketli hacim:  $10^2-10^2$  m<sup>3</sup>)
- Kütle düşmeleri (hareket hacim:  $10^2-10^5$  m<sup>3</sup>)
- Çok büyük kütle düşmeleri (hareket hacim:  $10^5-10^7$  m<sup>3</sup>)
- Kütle yer değiştirmeleri (hareket hacim:  $10^7$  m<sup>3</sup> ten büyük)

Hutchinson (1988), kaya düşmelerini iki temel grupta sınıflandırmıştır:

- Birincil düşmeler: Hareket eden kütle ana kaya kütesinden yeni kopan bloklardan oluşur. Bu bloklar, kaya kütesinde gelişen çatlaklar ve süreksizlikler boyunca meydana gelen kopmalar sonucunda oluşur ve ana kütlede ayrılarak düşme hareketi gerçekleştirir. Bu gruba kaya ve zemin düşmeleri dâhil edilmektedir.
- İkincil kaya düşmeleri: Hareketli kütle, ana kaya kütesinden daha önce kopmuş ve yamaç yüzeyinde birikmiş bloklardan oluşmaktadır. Bu bloklar

çeşitli tetikleyici faktörlerin etkisiyle yeniden hareket ederek kaya düşmesi olaylarına neden olmaktadır.

### **3.7. Kaya Düşmelerinde Blok Boyutu Etkisi**

Kaya şevleri ve yamaçlarda meydana gelen kaya düşmelerinin mühendislik açısından değerlendirilmesinde en önemli parametrelerden biri blok boyutudur. Kaya bloklarının boyutu ve şekli büyük ölçüde kaya kütleindeki süreksizliklerin varlığı, aralığı ve yönelimi ile ilişkilidir. Blok geometrisinin, kaya düşmesi hareketinin türü, blokların hareket hızı ve maksimum yayılım mesafesi üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bununla birlikte, kaya düşmesi analizlerinde blok şeklinin gerçekçi biçimde temsil edilmesi oldukça zordur. Bunun nedeni blok geometrisinin şev morfolojisi ve kayaç özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermesidir (AFAD, 2020). Genel olarak pürüzsüz yüzeyli veya daha yuvarlak blokların köşeli bloklara göre daha kolay yuvarlanabildiği ve bu nedenle daha uzak mesafelere ulaşabildiği bilinmektedir. Bu nedenle arazi çalışmalarında blok boyutlarının ve geometrik özelliklerinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (AFAD, 2020).

Blok geometrisi aynı zamanda kaya düşmesi hareketinin davranışını belirleyen önemli göstergelerden biridir. Kaya kütleindeki süreksizlik aralıkları, süreksizlik set sayısı ve süreksizliklerin yönelimi gibi faktörler blokların oluşum şeklini doğrudan etkilemektedir. Blok boyutu genellikle ortalama blok boyutu indeksi ( $I_b$ ) ya da birim hacimdeki süreksizlik sayısını ifade eden hacimsel eklem sayısı ( $J_v$ ) gibi parametrelerle tanımlanmaktadır (Sönmez ve Ulusay, 2002). Bunun yanında, blok boyutu düşen kaya parçalarının hareket hızını, sıçrama yüksekliğini ve sahip oldukları kinetik enerjiyi de belirleyen temel unsurlardan biridir.

Kaya düşmesi analizlerinde blok boyutu ve şeklinin arazi çalışmaları sırasında ayrıntılı biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ortalama blok boyutu, maksimum blok boyutu, blokların tipik geometrik şekilleri ve potansiyel olarak düşebilecek blokların konum bilgileri (x, y, z koordinatları) kayıt altına alınmalıdır. Günümüzde kaya düşmesi analizlerinde kullanılan birçok sayısal model ve yazılım, blok boyutu ve şekline ilişkin farklı geometrik tanımlamaların modele dahil edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yazılımlarda genellikle küresel, kübik veya elipsoidal blok geometrileri kullanılmakla birlikte bazı gelişmiş modellerde daha karmaşık blok şekillerinin tanımlanması da mümkündür (Akın, 2021).

## 4. BÖLÜM

### 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ VE BU DEPREMLERİN TETİKLEDİĞİ BAZI KAYA DÜŞMESİ OLAYLARI

#### 4.1. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri

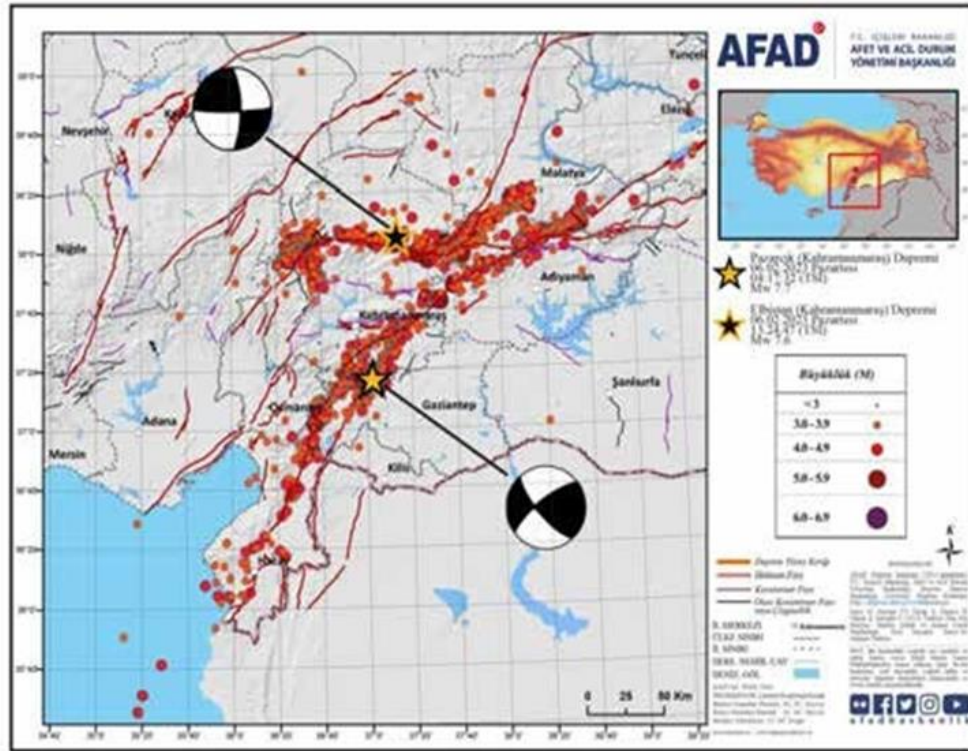
Anadolu Levhası, kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile sınırlanmaktadır. Arap Levhası'nın kuzeye doğru hareket etmesi sonucunda Anadolu Levhası batıya doğru hareket etmektedir. Bu levha hareketlerinin bir sonucu olarak özellikle KAFZ boyunca son yüzyılda çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Buna karşılık, tarihsel kayıtlar incelendiğinde, DAFZ boyunca son iki yüzyılda görece daha az sayıda büyük deprem meydana geldiği ve bu nedenle fay zonu boyunca önemli miktarda gerilme biriktiği ifade edilmektedir (Nalbant vd., 2002). Bu durum, DAFZ üzerinde bazı segmentlerin sismik boşluk niteliği taşıdığını ve dolayısıyla bölgenin yüksek bir sismik potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle söz konusu fay zonu boyunca gelecekte büyük depremlerin meydana gelebileceği öngörülmüştür (Gökçeoğlu vd., 2022).

Son yüzyılda Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca yüzey kırığı oluşturan sınırlı sayıda büyük deprem meydana gelmiştir. Bunlar arasında 1971 Bingöl depremi ( $M_s=6.8$ ), 2010 Karakoçan depremi ( $M_w=6.1$ ) ve 2020 Elazığ depremi ( $M_w=6.8$ ) yer almaktadır. Bunun yanında Hazar Gölü'nün doğusunda bulunan DAFZ segmentlerinin geçmişte 1874 ( $M_s=7.1$ ), 1875 ( $M_s=6.7$ ) ve 1866 ( $M_s=7.2$ ) yıllarında meydana gelen depremler sırasında yüzey kırığı oluşturduğu bilinmektedir (Gökçeoğlu, 2023).

Aletsel dönem öncesi ve sonrasında elde edilen veriler, DAFZ boyunca tarihsel süreçte önemli büyüklükte depremlerin meydana geldiğini göstermektedir. 6 Şubat 2023 tarihinde, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı verilerine göre, Türkiye saati ile 04:17'de merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ( $37.288^\circ K$ ,  $37.043^\circ D$ ) olan  $M_w$  7.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş ve depremin odak derinliği 8.6 km olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1) (AFAD, 2023). Yapılan değerlendirmelere göre 1900 yılı ile 6 Şubat 2023 tarihi arasında bölgede büyüklüğü 4 ve üzeri olan yaklaşık 224 deprem meydana gelmiş olup, ayrıca 1900 yılı öncesine ait yaklaşık 75 tarihsel deprem kaydı da bulunmaktadır.

Bu depremden yaklaşık 9 saat sonra, yerel saat ile 13:24'te merkez üssü Elbistan (Kahramanmaraş) olan Mw 7.6 büyüklüğünde ikinci büyük deprem meydana gelmiştir. Daha sonra 20 Şubat 2023 tarihinde saat 20:04'te Hatay'ın Defne ilçesi merkezli bir başka deprem kaydedilmiştir. Bu depremlere ilişkin sismolojik ve jeodezik veriler, TUSAGA-Aktif GNSS istasyonları kullanılarak analiz edilmiş ve bölgedeki yer değiştirmeler ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir (Kocaaslan, 2024).

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri Türkiye'de geniş bir alanı etkilemiş ve Adana, Adıyaman, Batman, Bingöl, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kayseri, Kilis, Malatya, Mardin, Niğde, Şanlıurfa ve Tunceli olmak üzere toplam 17 ilde ciddi hasarlara yol açmıştır. Bu depremler yol açtıkları geniş çaplı yıkım nedeniyle kamuoyunda "Asrın Felaketi" olarak nitelendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelere göre depremlerin Türkiye ekonomisine yaklaşık 103.6 milyar dolar düzeyinde bir maliyet getirdiği hesaplanmıştır. Bu miktar, Türkiye'nin 2023 yılı için öngörülen milli gelirinin yaklaşık %9'una karşılık gelmektedir. Başka bir ifadeyle söz konusu depremler, Türkiye'nin 1999 yılında yaşadığı ve ekonomiyi ciddi biçimde etkileyen Marmara Depremi'ne kıyasla yaklaşık altı kat daha fazla ekonomik kayba neden olmuştur (SAÜ, KTÜ, SUBÜ ve DÜ, 2023).



Şekil 4-1. 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 (AFAD, 2023)

Odak mekanizma çözümleri, söz konusu depremlerin sırasıyla kuzeydoğu–güneybatı (KD–GB) ve doğu–batı (D–B) doğrultulu sol yanal doğrultu atımlı faylanma sonucu meydana geldiğini göstermektedir. Yapılan saha incelemeleri, 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi sırasında Doğu Anadolu Fay Zonu’nun Amanos, Pazarcık, Erkenek ve Narlı fay segmentleri boyunca yüzey kırıklarının oluştuğunu ortaya koymuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4-2. 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi saha çalışmalarında gözlenen yüzey kırıkları (MTA, 2023)

Söz konusu yüzey kırıkları Kırıkhan ile Çelikhan arasında yaklaşık 260 km uzunluğunda izlenmiştir. Bunun yanı sıra Narlı segmenti boyunca episantr ile Pazarcık ilçesine bağlı Tetilik köyü arasında yaklaşık 40–45 km uzunluğunda bir kırılma zonu belirlenmiştir. Bu veriler dikkate alındığında, 2023 Pazarcık depreminin yaklaşık 300 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturduğu söylenebilir. Yüzey kırıkları boyunca yapılan ölçümlerde sol yanal yatay yer değiştirmelerin yaklaşık 4.5 metreye, düşey yer değiştirmelerin ise 1–2 metreye kadar ulaştığı belirlenmiştir (MTA, 2023).

Depremin ardından meydana gelen ikinci büyük ana şok ise doğu–batı doğrultulu bir fay segmenti üzerinde gelişmiş ve hasar alanının doğu–batı yönünde daha da genişlemesine neden olmuştur. Her iki ana şokun büyüklüğü dikkate alındığında, afet sonrası yürütülen arama ve kurtarma ile yardım çalışmalarını zorlaştıran ve 11 ili kapsayan geniş bir hasar alanı ortaya çıkmıştır. Ayrıca 19 Mart 2023 tarihine kadar bölgede yaklaşık 16.000 artçı

deprem kaydedilmiştir. Bu artçı depremlerin büyüklükleri ise oldukça geniş bir aralıkta değişiklik göstermiştir. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde meydana gelen 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında etkilenen her ilde farklı sismik özellikler gözlemlenmiştir. Bununla birlikte büyük depremler yalnızca fay zonu çevresini değil, yapı kalitesi, zemin özellikleri ve mühendislik uygulamaları gibi faktörlere bağlı olarak çok daha geniş alanları etkileyebilmektedir. Bu nedenle bölgedeki tarihsel ve aletsel deprem kayıtlarının incelenmesi, sismik aktivitenin ve depremlerin oluşturabileceği etkilerin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür veriler hem mevcut risklerin değerlendirilmesine hem de gelecekte meydana gelebilecek olası depremlere yönelik hazırlık çalışmalarına önemli katkı sağlamaktadır.

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen deprem dizisi sırasında Doğu Anadolu Fay Zonu'nun altı ana fay segmentinin kırıldığı ve yaklaşık 400 km uzunluğunda yüzey kırığı olduğu belirlenmiştir. Depremler sonucunda 50.000'den fazla kişinin hayatını kaybettiği ve yaklaşık 300.000 binanın yıkıldığı veya ağır hasar gördüğü bildirilmiştir. Yapılarda ve altyapıda meydana gelen hasarların yanı sıra deprem dizisi sırasında sıvılaşma, heyelan, kaya düşmesi ve kaya çığları gibi çeşitli ikincil jeolojik afetlerin de meydana geldiği gözlemlenmiştir (Ozcan ve Gokceoglu, 2025).

## **4.2. Kahramanmaraş Depremlerinin Tetiklediği Kaya Düşmelerine Örnekler**

### **4.2.1. Kahramanmaraş İlinde Gözlenen Kaya Düşmeleri**

Kahramanmaraş'ın Onikişubat ilçesine bağlı ve yaklaşık üç bin kişinin yaşadığı bir mahalle, Pazarcık ve Elbistan merkezli Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğündeki depremlerden önemli ölçüde etkilenmiştir. Mahalleye adını veren ve yerleşim alanına hâkim konumda bulunan Şahinkayası Tepesi üzerindeki "Kale" olarak adlandırılan mevkiden, özellikle ikinci büyük depremin ardından kopan kaya blokları yerleşim alanına doğru hareket etmiştir (Şekil 4.3). Meydana gelen kaya düşmeleri sonucunda bazı evler ve araçlar zarar görmüş, ayrıca bölgede çok sayıda hayvanın telef olduğu bildirilmiştir (Şekil 4.4) (Ensonhaber, 2025).



Şekil 4-3. Şahinkaya kalesi (Enosnhaber 2025).

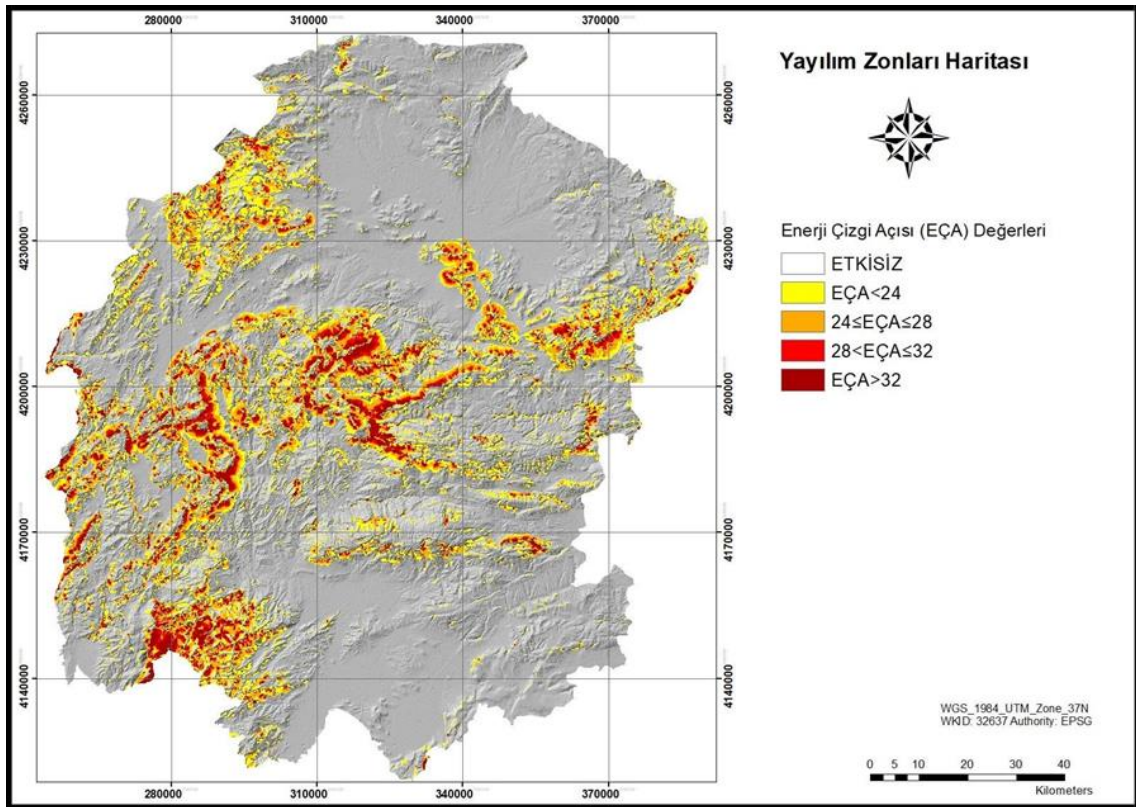


Şekil 4-4. Kahramanmaraş'ta düşen kaya blokları (Anadolu Ajansı 2025).

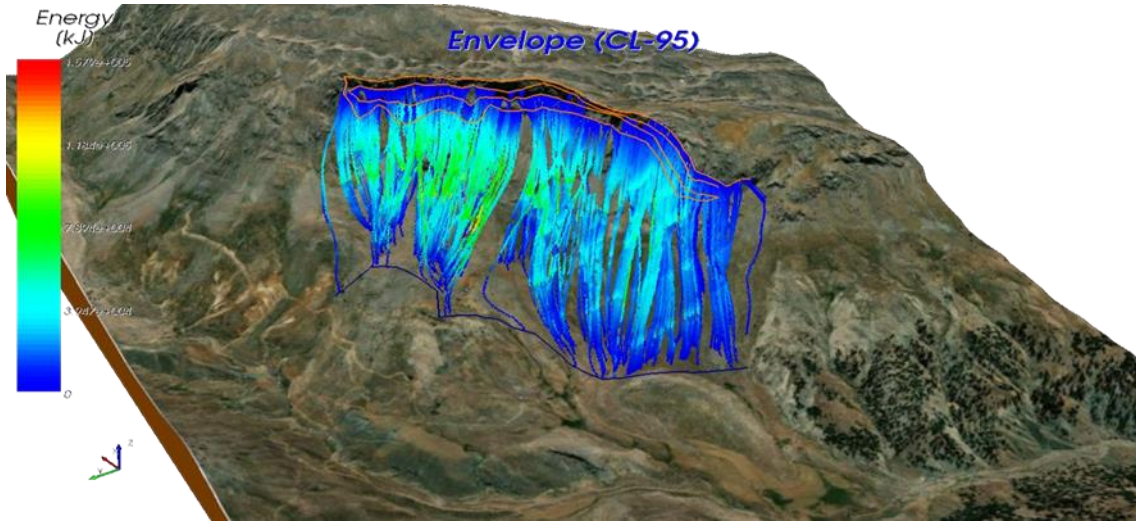
Akbaş (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Kahramanmaraş depremleri sırasında ve sonrasında meydana gelen kaya düşmeleri üç boyutlu analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında sahada 1040 farklı noktada kaya düşmesi kaynak alanı belirlenmiş ve bu alanlar CBS kullanılarak haritalandırılmıştır. Elde

edilen veriler doğrultusunda kaya düşmesi duyarlılık haritaları hazırlanmış ve sayısal analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5). Çalışma sonuçlarına göre kaya düşmesi olaylarının çoğunlukla 150–200 m yükselti aralığında, kuzey bakılı yamaçlarda ve 20°–40° eğim değerlerine sahip alanlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışma alanında litolojik açıdan kireçtaşı, mermer ve çakıltası birimlerinin yaygın olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kaya düşmesi yayılımının değerlendirilmesinde enerji çizgisi açısı (EÇA) yöntemi kullanılmış ve genel kaya düşmesi açısı yaklaşık 30° olarak kabul edilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında belirlenen 20 farklı noktada yapılan analizlerde enerji çizgisi açılarının 24° ile 31.6° arasında değiştiği belirlenmiş ve bu değerlere göre kaya düşmesi yayılım zonları tanımlanmıştır. Buna göre enerji çizgisi açısı değerleri EÇA > 32° çok yüksek, 32° ≥ EÇA > 28° yüksek, 28° ≥ EÇA ≥ 24° orta, EÇA < 24° ise düşük veya çok düşük tehlike sınıfı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.6).

Ayrıca Kahramanmaraş ili için MAKS (Mekânsal Adres Kayıt Sistemi) veritabanı kullanılarak yapılan analizlerde toplam 227.199 yapının kaya düşmesi tehlikesine göre farklı etkilenme sınıflarında yer aldığı belirlenmiştir. Buna göre 359 yapı çok yüksek, 1039 yapı yüksek, 5558 yapı orta ve 9242 yapı ise düşük etkilenme sınıfı içerisinde değerlendirilmiştir.



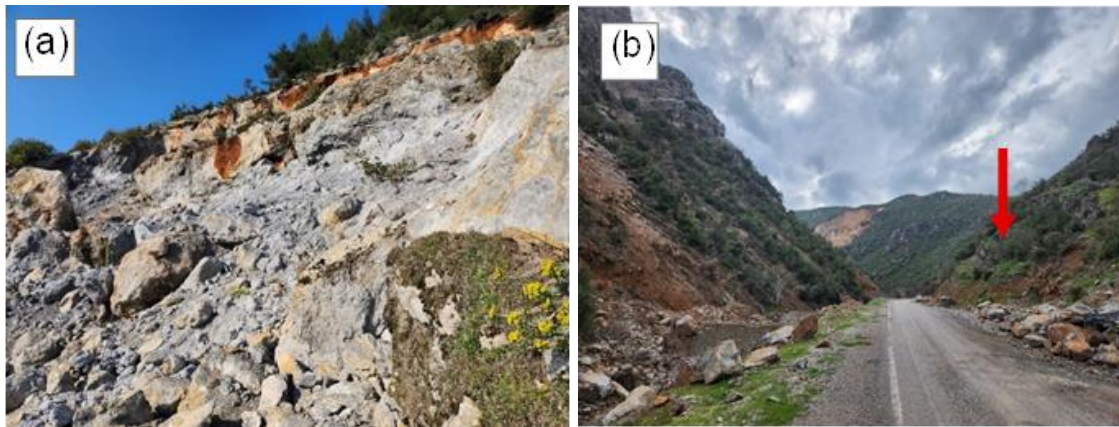
Şekil 4-5.Kahramanmaraş ilinin kaya düşme yayılma zonlarının haritası (Akbaş, 2024)



Şekil 4-6. A20 noktası enerji çizgi açıları haritası (Akbaş, 2024)

#### 4.2.2. Kırıkhan İlçesinde gözlenen kaya düşmeleri

Hatay'ın Kırıkhan ilçesine bağlı Bektaşlı köyünde, depremin şiddetli yer hareketleri sonucunda çevredeki dağlık alanlardan kaya blokları kopmuştur. Yamaçlardan yuvarlanarak gelen kaya parçalarının bazı evlerin üzerine düşmesi sonucu yerleşim alanında ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Kaya bloklarının altında kalmaktan son anda kurtulan bazı köy sakinleri güvenlik nedeniyle köyü terk etmek zorunda kalmıştır. Yaklaşık 250 haneden oluşan yerleşimde, deprem ve buna bağlı kaya düşmesi olayları sonucunda yıkılan yapılarda 50 kişinin hayatını kaybettiği bilinmektedir.



Şekil 4-7. (a) Bektaşlı köyü ve (b) Kırıkhan yolunda gözlenen kaya düşmeleri (Kocaman vd., 2025).

### 4.2.3. Gaziantep'te gözlenen kaya düşmeleri

Gaziantep ilinde, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile ilişkili olarak özellikle Amanos Dağları'nın doğu yamacında yer alan yerleşim alanlarında kütle hareketleri ve kaya düşmeleri görülmektedir. Heyelanlar ve diğer kütle hareketleri özellikle İslahiye ve Nurdağı ilçelerinin Amanos Dağları'nın doğu eteklerinde bulunan kırsal mahallelerinde yoğunlaşmaktadır. Nurdağı ilçesinden başlayarak güneybatıya doğru Hassa ilçesine kadar uzanan hat üzerinde Fevzipaşa, Hanağzı, Kozdere, İdilli, Tandır ve Hasanlök gibi yerleşim alanlarında bu tür olayların daha sık gözlemlendiği belirtilmektedir. Bölgedeki kütle hareketlerinin oluşumunda, Paleozoyik yaşlı şist birimlerinde gelişen süreksizlikler, çatlak sistemleri ve kil içerikli zayıf seviyeler önemli rol oynamaktadır. Gaziantep çevresinde bazı yerleşim alanları kayalık ve dik yamaçların eteklerinde kurulmuş olup, bu durum kaya düşmesi açısından potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Bu tür olaylara 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sırasında da rastlanmıştır. Depremler sırasında Gaziantep'in İslahiye ilçesinde, dağlık alanlardan kopan kaya blokları karayoluna düşerek yolu kapatmış ve sarsıntının etkisiyle karşılıklı yamaçlarda önemli deformasyonlar meydana gelmiştir. Ayrıca dağlardaki karların erimesi sonucu bölgede geçici bir yapay göl oluştuğu bildirilmiştir. Gaziantep ile Osmaniye arasındaki ulaşım güzergâhlarından biri olan yol, dağdan kopan kaya parçalarının yaklaşık 50 m yüksekliğe kadar ulaşması nedeniyle ulaşım kapanmıştır. Olay sırasında yolun boş olması ise daha büyük bir felaketin yaşanmasını engellemiştir (Kılıç, 2025).



Şekil 4.8. Deprem bölgesinden bazı kaya düşme örnekleri (sol: Amanos Dağları'nın doğu yamaçlarındaki Fevzipaşa'nın güneyi; sağ: Amanos Dağları'nın doğu yamaçları İslahiye yakınları (Kocaman vd., 2025)

## 5. BÖLÜM

### İNCELEME ALANININ TANITIMI

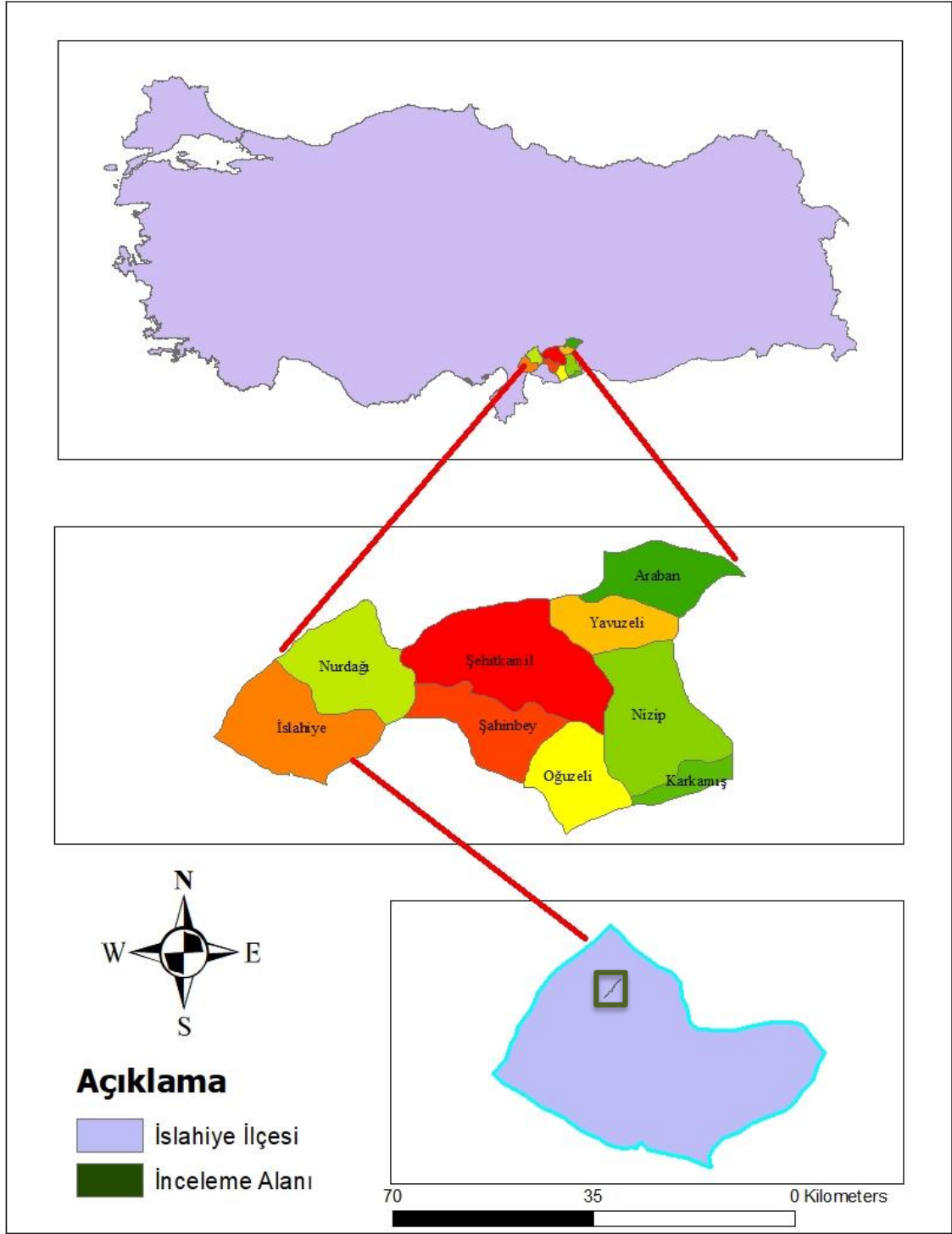
İnceleme alanı ve yakın çevresinin yeryüzü şekilleri, iklim, bitki örtüsü ve jeolojik özellikleri bu bölümde ana hatlarıyla ele alınıp açıklanmaya çalışılmıştır.

#### 5.1. Coğrafi Konum ve Jeomorfoloji

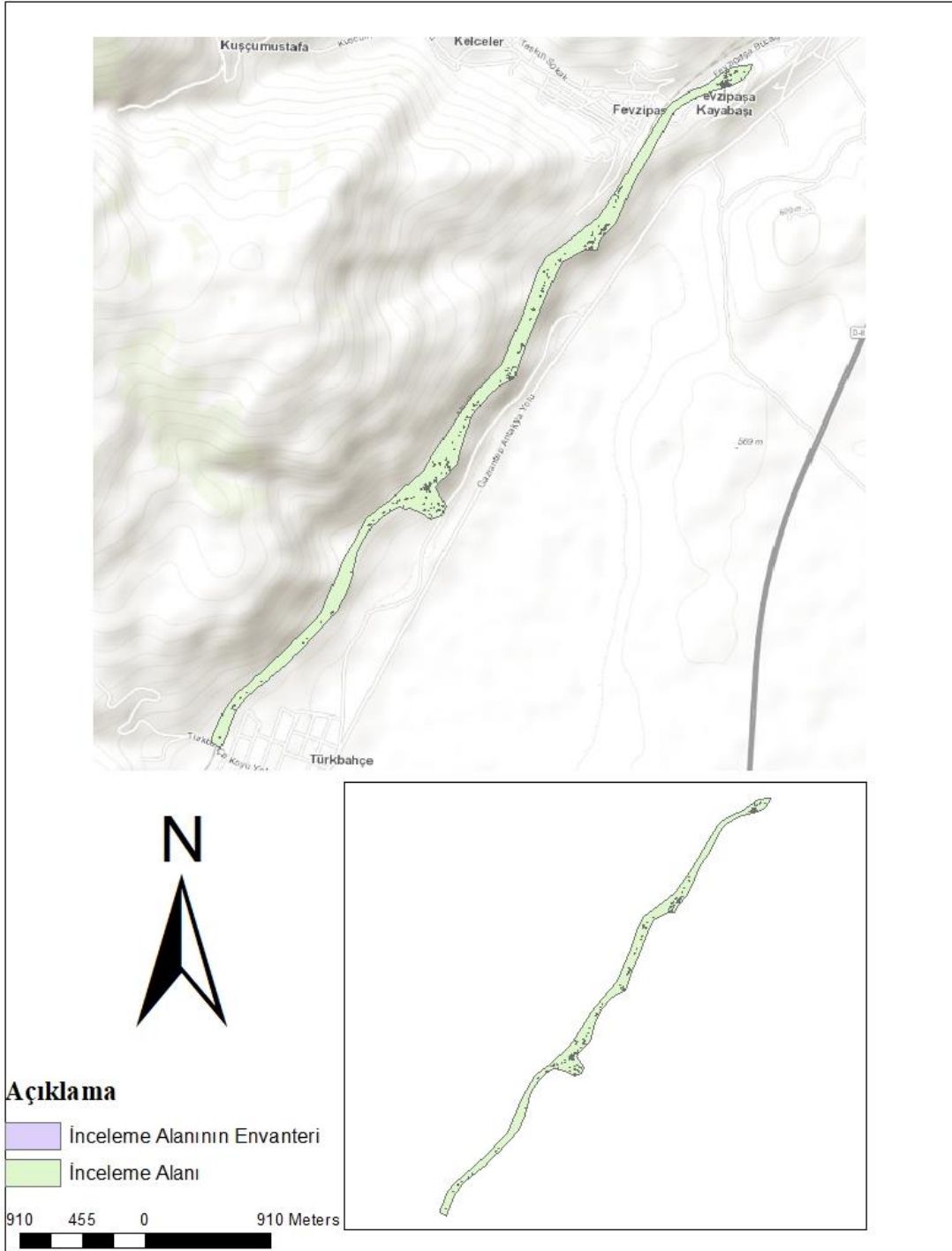
İslâhiye ilçesi, yüzey şekilleri bakımından oldukça çeşitli bir morfolojik yapıya sahiptir. Bölgenin jeomorfolojik oluşumunda, Toros Dağları sistemi içerisinde yer alan Amanos ve Kurt Dağları ile bu dağlar arasında uzanan Kahramanmaraş–Hatay çöküntü kuşağı temel belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Şekil 5.1). Ayrıca çalışma alanı kapsamında değerlendirilen İslâhiye çevresi, Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alması nedeniyle tektonik açıdan oldukça aktif bir bölgedir (Ceylan, 2011).

Akdeniz Bölgesi'nin doğu kesiminde yer alan İslâhiye ilçesi; Gaziantep, Kahramanmaraş, Kilis, Hatay ve Osmaniye illeri arasında konumlanmaktadır. İlçe, Suriye ile yaklaşık 5 km uzunluğunda bir sınır hattına sahip olup ilçe merkezi bu sınıra yaklaşık 20 km mesafede bulunmaktadır. İlçenin batı ve kuzeybatı kesimlerinde Nur Dağları, doğu kesimlerinde ise Kartal ve Kurt Dağları yer almaktadır. Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde bulunan İslâhiye, birinci derece deprem kuşağında yer almakta olup sismik açıdan yüksek risk taşıyan bölgeler arasında değerlendirilmektedir (Alagöz vd., 2016).

İslâhiye ilçesi deniz seviyesinden yaklaşık 518 m yükseltide yer almakta olup Gaziantep il merkezine yaklaşık 88 km uzaklıktadır. İlçenin toplam yüzölçümü 1.513 km<sup>2</sup>'dir. İlçe sınırları içerisinde yer alan Fevzipaşa Mahallesi, 1928 yılında Mareşal Fevzi Çakmak'ın 1926 yılındaki ziyareti sonrasında, köy halkının talebi üzerine eski adı olan "Keller" yerine Fevzipaşa adını almıştır. Yaklaşık 650 m rakımda bir vadi tabanında konumlanan yerleşim, demiryolu ve karayolu bağlantıları sayesinde bölgesel ölçekte gelişim göstermiştir. Ekonomik yapısı büyük ölçüde tarıma dayalı olan Fevzipaşa, tarihsel süreçte farklı etnik grupların birlikte yaşadığı bir yerleşim alanı olmuştur. Ancak Cumhuriyet'in erken dönemlerinde nüfus yapısında önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Günümüzde ise yeni yapılaşmaların arttığı ve bölgenin yeniden bir gelişim sürecine girdiği gözlenmektedir (İleri vd., 2018).



Şekil 5-1.Çalışma alanının yerbulduru haritası.



Şekil 5-2 Çalışma alanının haritası



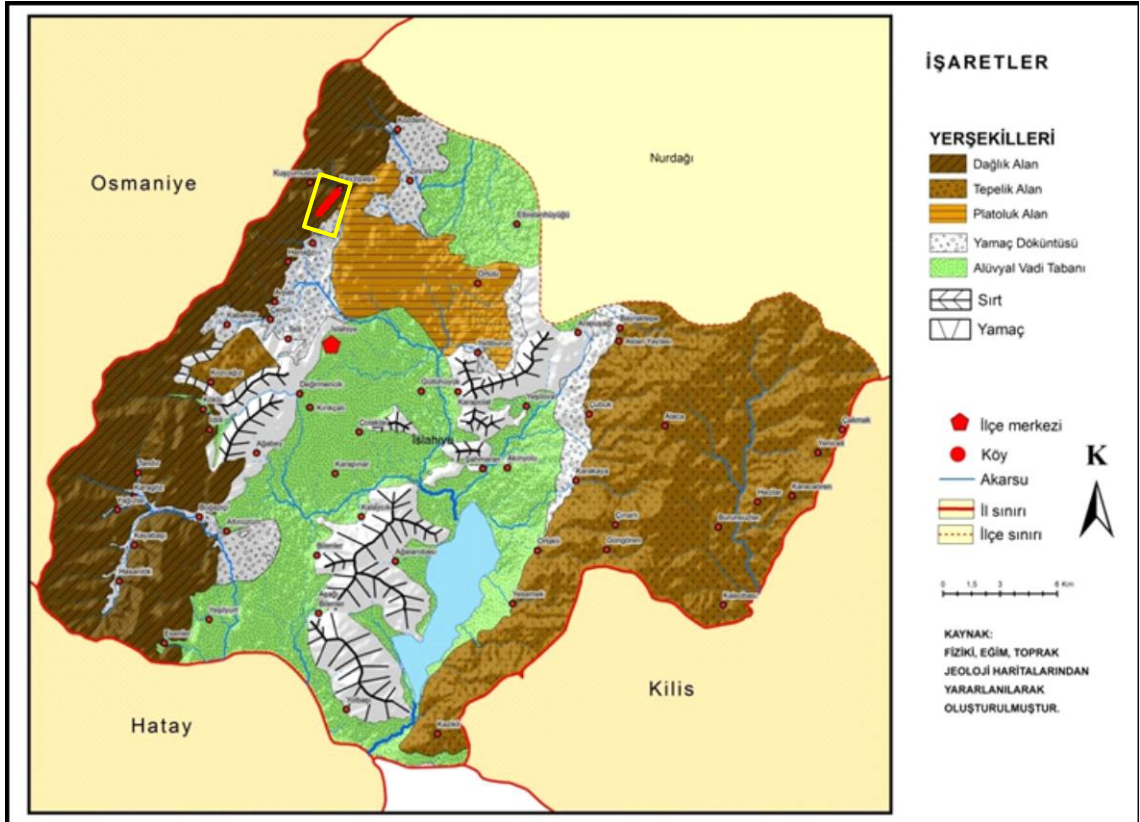
doğrultuya paralel bir uzanım göstermektedir. Ovanın deniz seviyesine göre yükseltisi 400–600 m arasında değişmektedir. İlçe merkezinin bulunduğu kesimde yükselti 500–550 m aralığında iken, ilçenin kuzeydoğu kesimlerinde bu değer yaklaşık 500 m seviyesine kadar düşmektedir. Benzer şekilde Altınüzüm ve Yeşilyurt yerleşimlerinde de yükselti 500 m'nin altında değerlere sahiptir (İleri vd., 2018).

Amanos Dağları, morfolojik özellikleri ve uzanım doğrultularına göre üç farklı bölümde değerlendirilmektedir. Belen'in güneyinde kalan kesim Güney Amanoslar, Belen ile Fevzipaşa arasında Türkoğlu–Haruniye Fayı'na kadar uzanan bölüm Orta Amanoslar, bu fayın kuzeyinde Ceyhan Nehri'ne kadar devam eden kesim ise Kuzey Amanoslar olarak adlandırılmaktadır (Karabulut vd., 2012). Araştırma sahasının batısında kuzeydoğu–güneybatı doğrultusunda uzanan Amanos (Nur) Dağları, İslâhiye Ovası ile batısında yer alan Çukurova arasında doğal bir sınır oluşturmaktadır. İslâhiye kent merkezinin de üzerinde yer aldığı İslâhiye Ovası'nın ortalama yükseltisi yaklaşık 526 m civarındadır. Ova tabanından doğu ve batı yönlerine doğru ilerledikçe yükselti hızla artarak dağlık alanlara ulaşmaktadır.

İslâhiye Ovası ve çevresi, Gaziantep ilinin tarımsal üretim açısından en verimli alanları arasında yer almaktadır. Kuzeydoğudan güneye doğru uzanan bu ova, Amanos Dağları ile Sof Dağları arasında gelişmiş tektonik kökenli bir çöküntü alanı niteliğindedir. Söz konusu tektonik hat, kuzeyde Kahramanmaraş sınırlarından başlayarak Pazarcık Ovası'nı da içine almakta ve güneyde İslâhiye Ovası'na kadar devam etmektedir. İslâhiye Ovası, Kahramanmaraş–Hatay graben sisteminin kuzey kesiminde yer almakta olup morfolojik ve jeolojik özellikleri bakımından Nurdağı ilçesi çevresindeki alanlarla önemli benzerlikler göstermektedir. Bu tektonik çöküntü hattı, İslâhiye çukurluğunun güneyinden itibaren devam ederek Amik Gölü ve Antakya Havzası'na kadar uzanmaktadır. Bu durum, bölgenin hem jeomorfolojik hem de jeodinamik açıdan aktif bir karaktere sahip olduğunu ortaya koymaktadır (İleri vd., 2018).

İslâhiye Ovası'nı çevreleyen dağlık alanlar, jeolojik özellikler bakımından oldukça farklı litolojik birimlerden oluşmaktadır. Özellikle Amanos Dağları'nın kuzey ve orta kesimlerinde, ağırlıklı olarak Alt Paleozoyik yaşlı (Silüriyen ve Devoniyen dönemlerine ait) şist, fillit ve kuvarsit türü kayalar yaygın olarak görülmektedir. Hassa ve çevresinde ise sınırlı alanlarda yüzeylenen Prekambriyen yaşlı kristalen şistler dikkat çekmektedir.

Bu eski birimlerin üzerinde yer yer Jura–Kretase yaşlı kireçtaşları, konglomeralar ve çeşitli yeşil kayaçlar bulunmaktadır. Yeşil kayaç grubunu başlıca serpantin, diyorit ve granodiyorit gibi kayaçlar oluşturmaktadır. Bu kayaçlar özellikle Amanos Dağları'nın batı ve güney kesimlerinde geniş alanlarda yüzeylemekte ve dağlık kuşak boyunca belirgin litolojik şeritler halinde uzanmaktadır. Söz konusu kayaç toplulukları, bölgenin morfolojik yapısının şekillenmesinde ve topoğrafyanın oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır (Üngör vd., 2011).

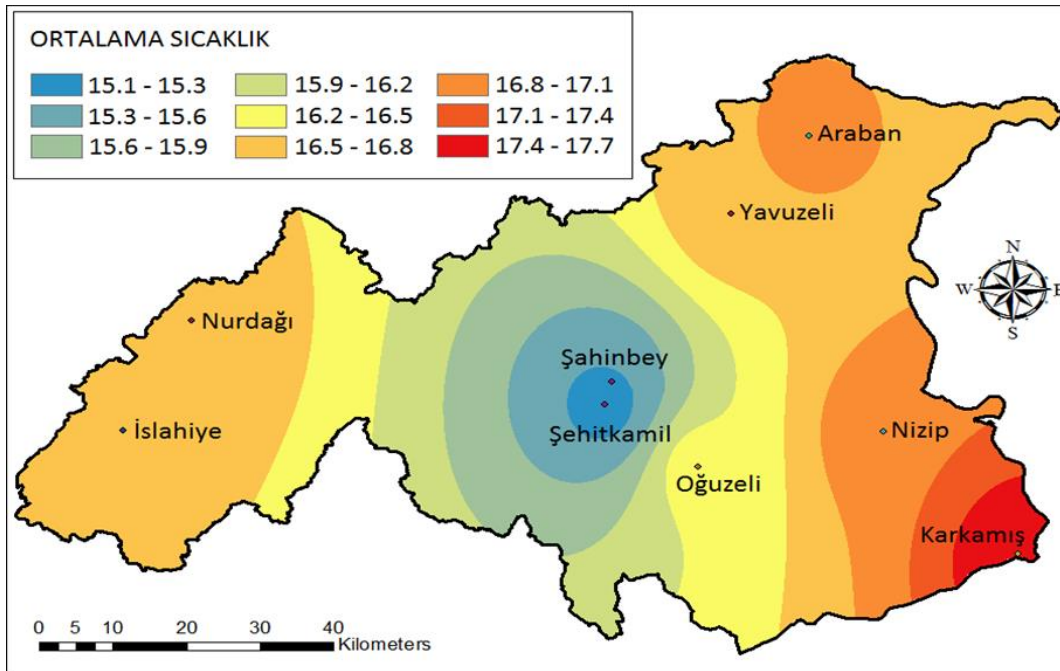


Şekil 5-4. İslâhiye ilçesinin jeomorfoloji haritası (İleri vd., 2011)

## 5.2. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanında yerleşim dağılımını etkileyen önemli doğal faktörlerden biri iklim koşullarıdır. İklim hem doğal çevrenin şekillenmesinde hem de insan yaşamının sürdürülebilirliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda iklim koşulları, yağış miktarı, sıcaklık değişimleri ve don-çözülme süreçleri gibi etkiler yoluyla heyelan ve kaya düşmesi gibi kütle hareketlerinin oluşumunu da etkileyebilmektedir. Bu bağlamda çalışma alanı içerisinde yer alan İslâhiye ilçesi ve Fevzipaşa Mahallesi'nin iklim özelliklerinin değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Gaziantep ili, iklim özellikleri bakımından Akdeniz iklimi ile karasal iklim özellikleri arasında geçiş özelliği gösteren bir konumda bulunmaktadır. Bununla birlikte, genel olarak Akdeniz ikliminin etkileri daha baskındır. Özellikle ilin güney kesimlerinde yaz mevsimi sıcak ve kurak, kış mevsimi ise nispeten serin ve yağışlı geçmektedir. Bölgede yıllık yağışın büyük bir bölümü kış aylarında gerçekleşmekte olup yaz aylarında yağış miktarı oldukça azdır (Şekil 5.4) (AFAD, 2021). İslâhiye ilçesi her ne kadar coğrafi olarak Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde yer alsada, topoğrafik koşullar ve çevredeki dağlık alanların etkisi nedeniyle tam anlamıyla tipik Akdeniz iklimi özelliklerini yansıtmayan bir geçiş iklimi karakteri göstermektedir.

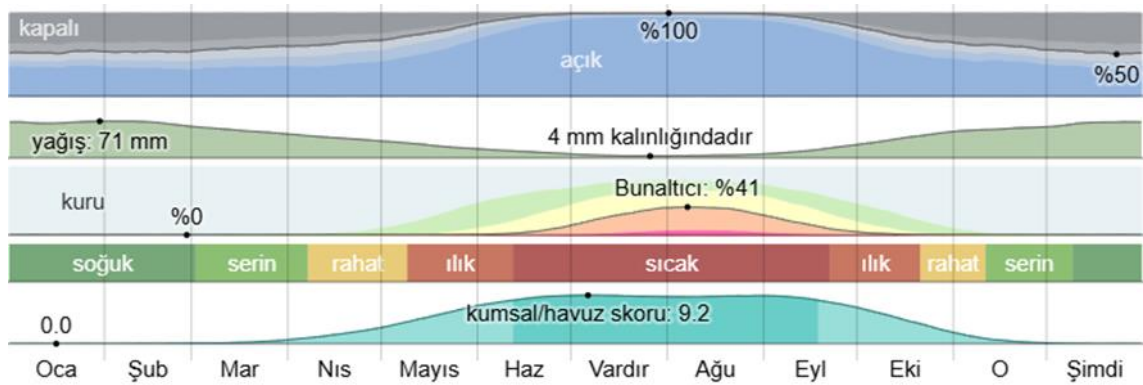


Şekil 5-5. Gaziantep şehir merkezinde kaydedilen uç ve ortalama değerler (veri aralığı: 1940-2019) (AFAD, 2021).

İslâhiye ilçesinde, literatürde “bozulmuş Akdeniz iklimi” ya da Akdeniz–karasal geçiş iklimi olarak tanımlanan bir iklim tipi görülmektedir. Bu iklim karakteri nedeniyle yaz ayları genellikle sıcak ve kurak, kış ayları ise serin ve yağışlı geçmektedir. Bölgenin iklim özelliklerinin oluşumunda, denize olan uzaklık, batı kesimde yükselen Amanos Dağları’nın topoğrafik etkisi ve genel yeryüzü şekilleri önemli rol oynamaktadır. İslâhiye ve çevresinde yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 850 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise yaklaşık 17 °C civarındadır. Bölgenin geçiş iklimi özellikleri yalnızca doğal çevreyi değil, aynı zamanda tarımsal faaliyetler ve yerleşim düzeni gibi beşerî faaliyetleri de etkilemektedir. Bitki örtüsü açısından değerlendirildiğinde, dağlık kesimlerde meşe ve

kızılçam ormanları, ova tabanında ise bozkır formasyonuna ait bitki toplulukları yaygın olarak görülmektedir (Üngör vd., 2011).

Gaziantep, İslâhiye ve çevresinde sıcaklık dağılımı incelendiğinde belirgin bölgesel farklılıkların bulunduğu görülmektedir. İslâhiye ve çevresinde yıllık ortalama sıcaklık yaklaşık 16,6 °C iken, Gaziantep il merkezinde bu değer 14,5 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 5.5). Aylık ortalama sıcaklıkların yıl içindeki değişimi değerlendirildiğinde, her iki yerleşim alanında da en düşük sıcaklıkların ocak ayında gerçekleştiği görülmektedir. Bu dönemde ortalama sıcaklık İslâhiye’de 5,1 °C, Gaziantep’te ise 2,5 °C civarındadır. En yüksek sıcaklık değerleri ise ağustos ayında gözlenmekte olup bu ayda ortalama sıcaklık İslâhiye ve Nurdağı çevresinde 27,6 °C, Gaziantep’te ise 27,3 °C olarak kaydedilmiştir. Bu veriler, bölgede yıllık ortalama sıcaklıkların güneyden kuzeye doğru azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum büyük ölçüde topografik yapı (rölyef) ve karasal iklim etkileri ile açıklanmaktadır. Aylık ortalama sıcaklıkların yıl içindeki dağılımı incelendiğinde, ocak ayından itibaren sıcaklıkların eylül ayına kadar kademeli olarak arttığı, eylül ayından sonra ise yeniden düşüş eğilimine girdiği görülmektedir. Buna göre İslâhiye ve çevresinde Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ortalama sıcaklık değerlerinin 22 °C’nin üzerinde seyrettiği belirlenmiştir. Bu veriler, İslâhiye–Nurdağı yöresinin iklim özelliklerinin büyük ölçüde Akdeniz termik rejiminin etkisi altında bulunduğunu göstermektedir (Kesici, 1992). Son yıllarda ilçenin dağlık kesimlerinde rüzgâr potansiyelinin yüksek olması nedeniyle rüzgâr enerji santrallerinin kurulmasına yönelik yatırımların arttığı da gözlenmektedir.



Şekil 5-6. İslâhiye aylık hava durumu, ortalama sıcaklık değişimi (Weatherspark, 2026).

İslâhiye ve çevresi bitki örtüsü bakımından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Bu zenginliğin oluşmasında bölgenin iklim koşulları, toprak özellikleri, topoğrafik yapı ve

insan faaliyetleri önemli rol oynamaktadır. İlçe sınırları içerisindeki ormanlık alanların büyük bölümü dağlık kesimlerde yoğunlaşmaktadır. Bunun başlıca nedenleri arasında dağlık alanların iklim ve nem koşulları bakımından orman gelişimine daha elverişli olması ve ova kesimlerinde bulunan ormanların zaman içerisinde çeşitli nedenlerle tahrip edilmesi yer almaktadır. İslahiye’de ormanlarla kaplı alan yaklaşık 4.526 hektar olup bu değer ilçenin toplam yüzölçümünün yaklaşık %55’ine karşılık gelmektedir. Bu oran, Türkiye genel ortalamasının oldukça üzerinde olup bölgenin ekolojik çeşitliliği ve orman varlığı açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Üngör vd., 2011). İslâhiye ve çevresindeki bitki örtüsü genel olarak üç ana kuşak halinde değerlendirilmektedir. İlk kuşak, yer yer maki formasyonuna ait türlerin oluşturduğu çalılık alanlardan meydana gelmektedir. İkinci kuşak, Akdeniz dağ kuşağına özgü geniş yapraklı ağaç ve çalı türlerinin yanı sıra ağırlıklı olarak iğne yapraklı ormanların yer aldığı kesimleri kapsamaktadır. Üçüncü kuşak ise daha çok step (bozkır) karakteri taşıyan ve otlak formasyonlarının yaygın olduğu alanlardan oluşmaktadır (İleri vd., 2018).

Bölgede orman formasyonları genellikle 550–600 metre yükseltiden başlayarak yaklaşık 2000 metreye kadar uzanan alanlarda, özellikle Amanos ve Kurt Dağları üzerinde yayılış göstermektedir. Bu ormanlık alanlarda en yaygın ağaç türü kızılçam olup bölgenin karakteristik orman elemanlarından biridir. Bunun yanı sıra farklı yükselti basamakları ve mikroklimatik koşulların etkisiyle çeşitli ağaç ve çalı türleri de görülmektedir. Bu türler arasında sedir, karaçam, kayın, selvi, Toros göknarı, titrek kavak, ardıç, sandal ağacı, sakız ağacı, tespih ağacı, karaçalı ve sütleğen gibi bitki türleri yer almaktadır (Çakır, 2009).

### **5.3. İnceleme Alanının Jeolojik Özellikleri**

Gaziantep ili, farklı tektonik birliklerin kesişim alanında bulunması nedeniyle karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir. Righi ve Cortesini (1964)’ye göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi dört ana tektonik kuşağa ayrılmakta olup Gaziantep ili, Toros Orojenik Kuşağı ile Kenar Kıvrımları Kuşağı içerisinde yer almaktadır (AFAD, 2021). İslâhiye ilçesi ise Antakya–Kahramanmaraş grabeni içerisinde konumlanan tektonik kökenli bir ova üzerinde yer almaktadır. Bu graben, kuzeydoğu–güneybatı doğrultusunda gelişmiş bir tektonik çöküntü alanı olup Fevzipaşa yerleşimi de bu çöküntü alanının bir parçasını oluşturmaktadır. Bölgede Tersiyer yaşlı tortul kayalar geniş bir yayılım göstermektedir. Başlıca jeolojik birimler arasında Gaziantep Formasyonu (Eosen–Oligosen yaşlı

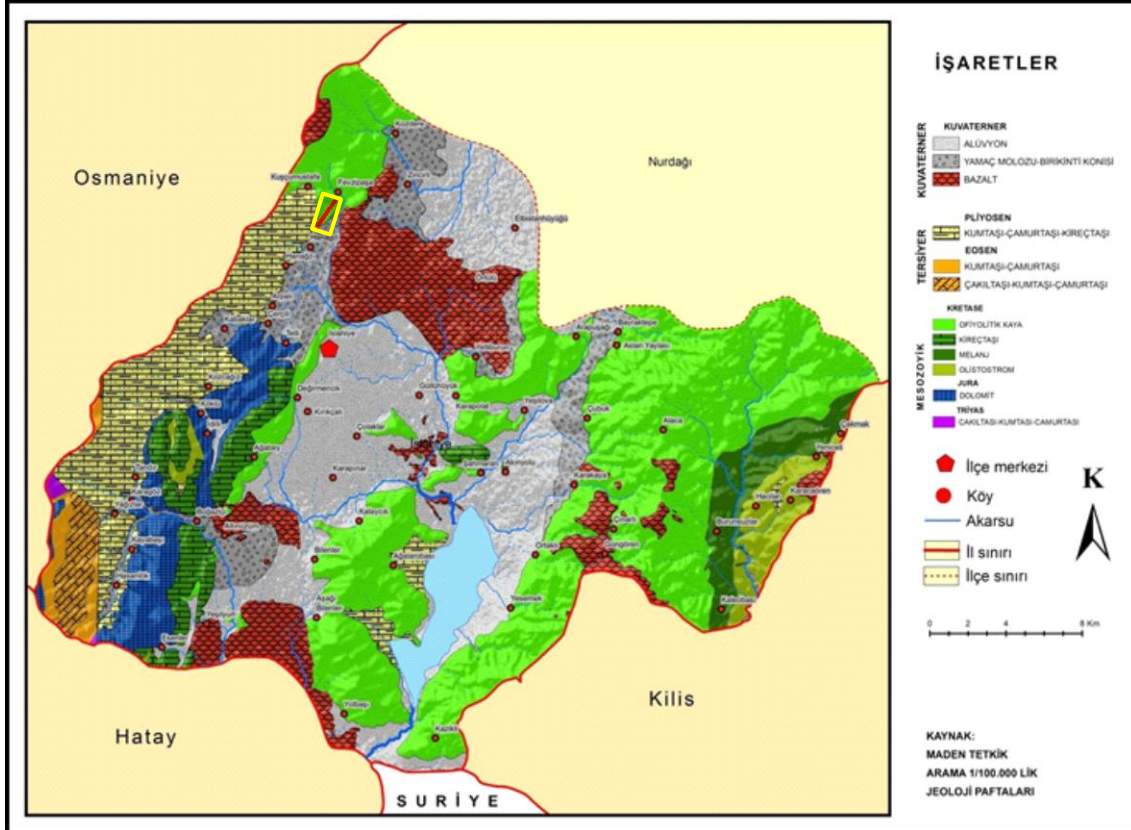
kireçtaşları), Şelmo Formasyonu (Miyosen yaşlı göl ve akarsu çökelleri), Yavuzeli Bazaltı (Üst Miyosen) ve Harabe Formasyonu (Plio–Kuvaterner) sayılabilir (Şekil 5.7) (Üngör vd., 2011).

Üçüncü jeolojik zamanın sonları ile dördüncü jeolojik zamanın başlarında meydana gelen tektonik hareketler, bölgede özellikle kırılma ve yükselme olayları şeklinde etkili olmuştur. Bu süreçte Kızıldeniz ve Lut Gölü boyunca uzanan tektonik hat ile ilişkili olarak Kahramanmaraş–Hatay çöküntü kuşağı gelişmiştir. Bu kırılmalar sırasında Hassa çevresinde yüzeye çıkan bazaltik lavlar, güney yönüne doğru yayılarak geniş alanları kaplamıştır. Bu lavların soğuyup katılaşması sonucu oluşan gözenekli bazalt yüzeyler yörede “leçe” olarak adlandırılmaktadır. Leçeli araziler İslâhiye ilçesi ve çevresinde geniş bir yayılım göstermekte olup özellikle İslâhiye–Hassa ve İslâhiye–Nurdağı arasındaki alanlarda yaygın olarak görülmektedir (Üngör vd., 2011).

Bunun yanı sıra İslâhiye çöküntü alanında yer yer serpantinitle ve bazik magmatik kayalar da gözlenmektedir. Bu kayalar bölgedeki tektonik ve jeodinamik süreçlerin önemli göstergeleri olarak değerlendirilmektedir. İslâhiye ve çevresi aynı zamanda Kuvaterner yaşlı Holosen çökelleri ile örtülüdür. Bu birimler içerisinde eski ve yeni alüvyonlar, yamaç molozları, taraçalar ve birikinti konileri geniş yer kaplamaktadır. İlçenin bu genç jeolojik birimler üzerinde yer alması ve aktif tektonik kuşak içerisinde bulunması, bölgenin sismik açıdan hassas bir karakter göstermesine neden olmaktadır. Nitekim tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen depremler, bölgenin morfolojik yapısını ve yerleşim gelişimini doğrudan etkileyen önemli doğal olaylar arasında yer almaktadır (Biricik ve Korkmaz, 2001).

İlçe merkezinin hemen batısında bulunan yamaçlar, çoğunlukla yamaç molozları ve birikinti konileri gibi jeomorfolojik birikim şekilleri ile karakterizedir. Benzer oluşumlar, Tahtaköprü Barajı’na bakan güneydoğu kesimdeki batı yamaçlarında ve ilçenin güneybatı kesiminde yer alan bazı alanlarda da gözlemlenmektedir. İlçe sınırları içerisinde özellikle Tahtaköprü Barajı’nın doğu kesiminde, aktif bir fay hattı tarafından kesilen alanlarda Mezozoik yaşlı ayrışmamış ultrabazik kayalar yaygın olarak görülmektedir. Bu kayalar arasında harzburgit, dunit ve serpantin türleri öne çıkmaktadır. Söz konusu ultrabazik kayalar, fay hattının doğusunda uzanan Kartal Dağı’nın yüksek kesimlerinde daha yoğun bir şekilde yüzeylenmektedir.

Bu tür birikim şekilleri yalnızca yamaç alanlarında sınırlı kalmayıp, ovanın bazı kesimlerinde de dağınık halde görülebilmektedir. İlçenin kuzeybatısında yer alan Fevzipaşa ve çevresinde ise jeolojik açıdan farklı litolojik birimler bulunmaktadır. Bu bölgede Üst Jura–Alt Kretase yaşlı neritik kireçtaşları ile Üst Ordovisiyen yaşlı kırıntılı tortul kayaçlar yaygın olarak görülmektedir. Söz konusu litolojik birimler, ilçenin güneybatı kesiminde graben doğrultusuna paralel uzanan bir şerit boyunca yayılım göstermektedir (Şekil 5.7) (İleri vd., 2018).



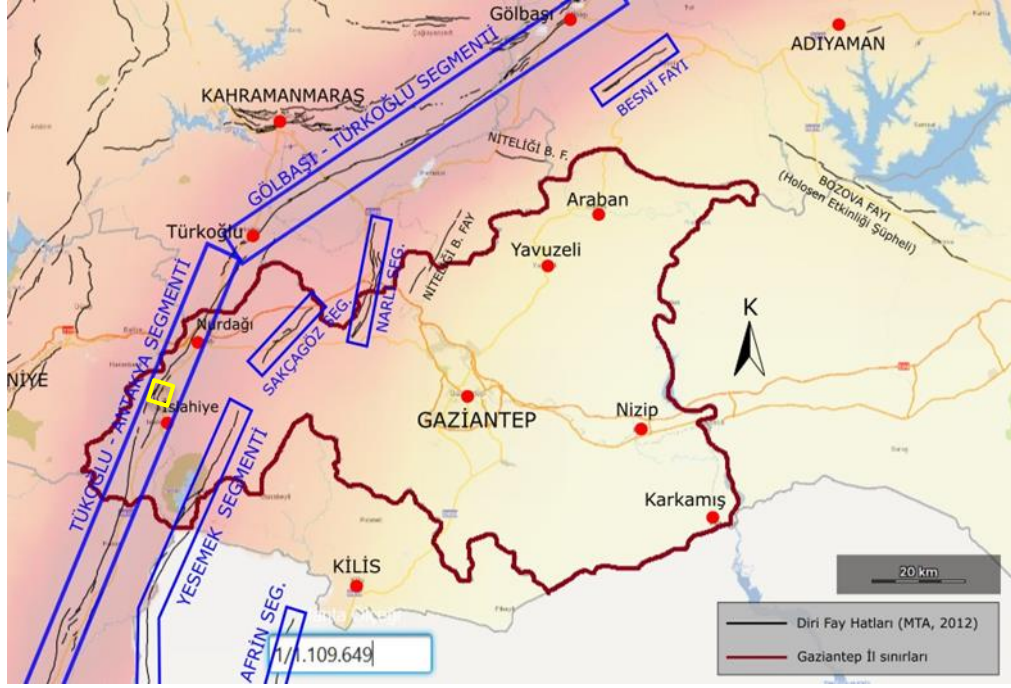
Şekil 5-7.İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (İleri, 2018)

#### 5.4. İnceleme Alanının Depremselliği

Sismik aktiviteler genellikle yer kabuğunun jeolojik açıdan genç, tektonik olarak aktif ve henüz dengeye ulaşmamış bölgelerinde daha sık meydana gelmekte ve bu alanlarda daha yıkıcı etkiler oluşturabilmektedir. Depremler, taşıdıkları yüksek enerji ve ani oluşumları nedeniyle doğal tehlikeler arasında en yıkıcı ve en etkili olaylardan biri olarak kabul edilmektedir (Üngör vd., 2011).

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler, çok sayıda ili etkilediği gibi Gaziantep ilinde de ciddi hasarlara neden olmuştur. Özellikle İslâhiye

ve Nurdağı ilçeleri, depremin etkilerinden en fazla zarar gören yerleşim alanları arasında yer almıştır. Bu durumun başlıca nedenleri arasında her iki ilçenin Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunması ve bölgedeki zemin özelliklerinin gevşek ve alüvyal karakter göstermesi sayılabilir (Şekil 5.8). Bu jeolojik ve tektonik özellikler, deprem sırasında oluşan yer hareketlerinin etkisini artırarak bölgede meydana gelen hasarın boyutunu önemli ölçüde büyütülmüştür.



Şekil 5-8. Gaziantep ve çevresindeki aktif faylar (AFAD, 2021)

AFAD tarafından hazırlanan 2021 tarihli Gaziantep İl Afet Risk Azaltma Planı'nda (İRAP), İslâhiye ve Nurdağı ilçeleri olası bir depremde en fazla hasar görebilecek yerleşim alanları arasında gösterilmektedir. Bu durumun başlıca nedenlerinden biri zemin özellikleridir. Bölgede yerleşim alanlarının büyük bir kısmı alüvyal ve gevşek zeminler üzerinde kurulmuştur. Ayrıca yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması, deprem sırasında zemin büyütmesi ve sıvılaşma tehlikesinin artmasına neden olabilmektedir. Bu koşullar, deprem dalgalarının etkisini artırarak yıkıcı sonuçların daha şiddetli hissedilmesine yol açabilmektedir (AFAD, 2021).

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında yapılan saha incelemelerinde, İslâhiye ilçesinden geçen yaklaşık 12 km uzunluğunda bir yüzey fay kırığı tespit edilmiştir. Bu kırık hattının Fevzipaşa Mahallesi'nden başlayarak İslâhiye Devlet Hastanesi çevresine kadar uzandığı belirlenmiştir. Söz konusu alanda geniş

çatlaklar, yer yer yaklaşık 2 m'ye ulaşan çöküntüler ve çeşitli yapısal hasarlar meydana gelmiştir (Türkmen, 2024).

Deprem sırasında bölgede yalnızca yüzey kırıkları oluşmamış, aynı zamanda heyelan ve kaya düşmesi gibi ikincil jeolojik tehlikeler de tetiklenmiştir. Özellikle İslahiye'nin Değirmencik Mahallesi çevresinde ve İdilli Vadisi'nin kuzey yamaçlarında büyük ölçekli kütle hareketleri gözlemlenmiştir. Bu olayların oluşumunda yüksek yatay yer ivmesi, eğimli topoğrafya, zemin özellikleri ve yeraltı suyu koşulları gibi faktörlerin etkili olduğu belirtilmektedir (Türkmen, 2024; Kocaman vd., 2025).

Fevzipaşa Mahallesi çevresinde uzanan fay hattı da deprem sırasında önemli jeolojik deformasyonlara neden olmuştur. İslâhiye Devlet Hastanesi çevresinde çatlaklar oluşmuş, bazı istinat duvarları yıkılmış ve ağaçlar köklerinden sökülüştür. Bölgedeki arazide yer yer yaklaşık 100 m uzunluğunda ve derin yarıklar oluşmuş, dağ yamaçlarından kopan büyük kaya blokları karayolunu kapatmıştır. Ayrıca 13 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen artçı sarsıntı sırasında Fevzipaşa'da kopan kaya parçaları ev ve ağıl gibi yapılara zarar vermiştir. Depremler sonucunda İslahiye–Fevzipaşa demiryolu hattı da ciddi şekilde zarar görmüş ve tamamen ulaşımına kapanmıştır (Karahana ve Gökçeoğlu, 2023).

## 6. BÖLÜM

### KAYA DÜŞMESİ Envanterinin oluşturulması

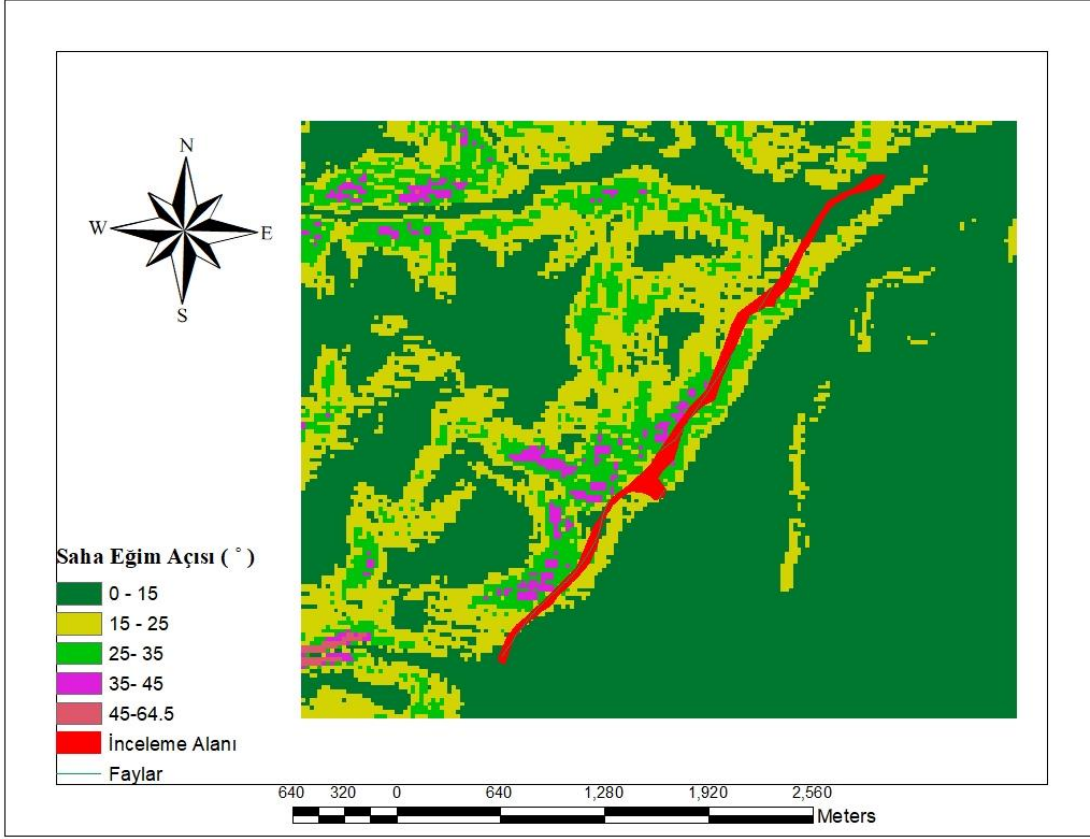
Bu çalışma kapsamında kullanılan yüksek çözünürlüklü ortofoto görüntüleri, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında Harita Genel Komutanlığı ve AFAD tarafından gerçekleştirilen uçuşlar sonucunda elde edilmiştir. Bu veri kullanılarak sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş, bu modele göre inceleme alanının bazı topoğrafik parametreleri hesaplanmıştır. Bu bölümde kaya düşmesi envanterinin oluşturulması ve inceleme alanının topografik parametreleri aşağıda sunulmuştur.

#### 6.1. Topografik Parametreler

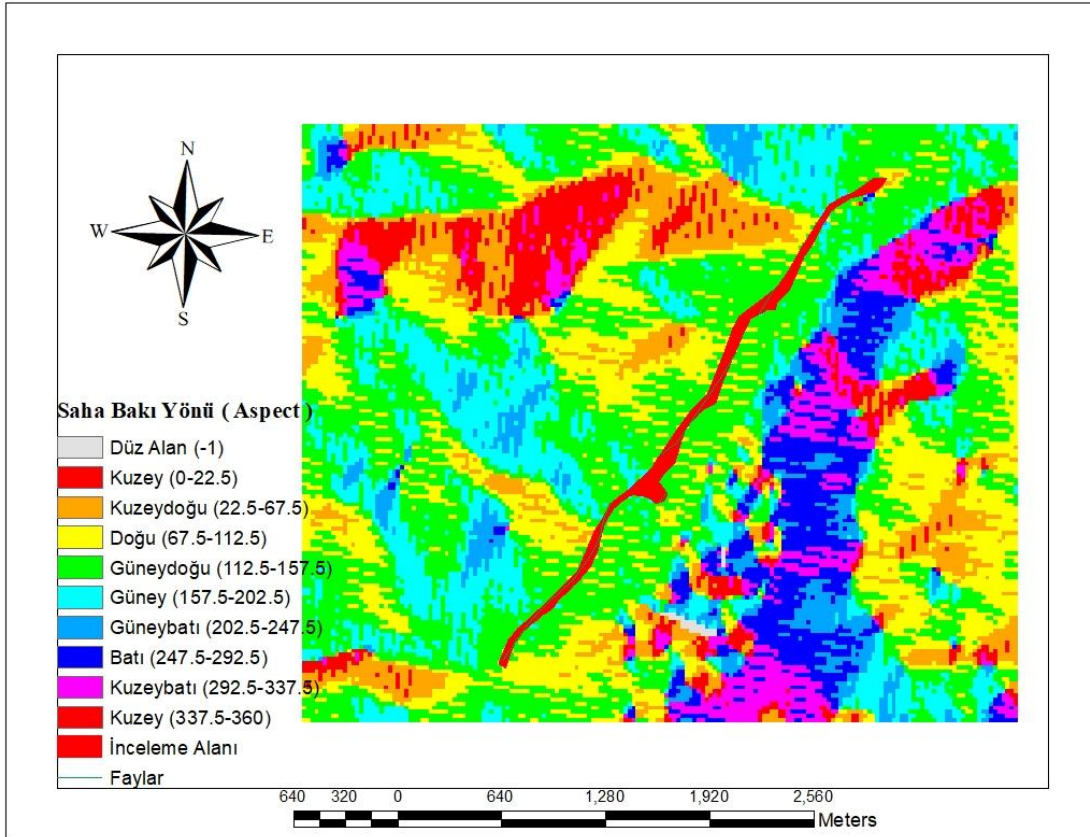
Nokta bulutu verisi kullanılarak inceleme alanı için sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Sayısal yükseklik modelinden üretilen topoğrafik parametreler çalışma alanı için değerlendirilmiştir.

Eğim açısı yamaç süreçlerinin niteliğini ve bu süreçlerden kaynaklanabilecek potansiyel tehlikelerin düzeyini belirleyen temel morfolojik parametrelerden biridir. Eğim derecesindeki artış kütle hareketlerinin hem hızı hem de yıkıcılık potansiyelini artırmaktadır. Özellikle eğim açısının 45°nin üzerinde olduğu sahalarda kaya düşmesi olaylarının daha sık meydana geldiği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, yamaçların morfolojik özellikleri ve eğim değerleri litolojik yapı bölgenin iklim koşulları arasında doğrudan ve güçlü bir ilişki göstermektedir. Fevzipaşa bölgesini eğim açısına göre 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 6.1). Bu nedenle 15 derece eğimli olan alanlar nispeten daha düşük eğimlidir ve 65 derece olan alanlar ise dik yamaçlıdır.

Bir alan üzerindeki fiziksel ayrışma ve erozyon süreçlerini etkileyen başlıca faktörler özellikle güneşlenme süresi ve şiddeti hakim rüzgar yönü ile nemlilik koşullarını yansıtmaktadır. Bu bağlamda bakı (aspect) özellikleri yüzey süreçlerinin mekansal farklılaşmasında belirleyici bir parametre olarak değerlendirilmektedir. İnceleme alanı bakı hartasına göre düz(eğimsiz) alanlar, kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı ve kuzey yönlü olmak üzere 10 farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 6.2).

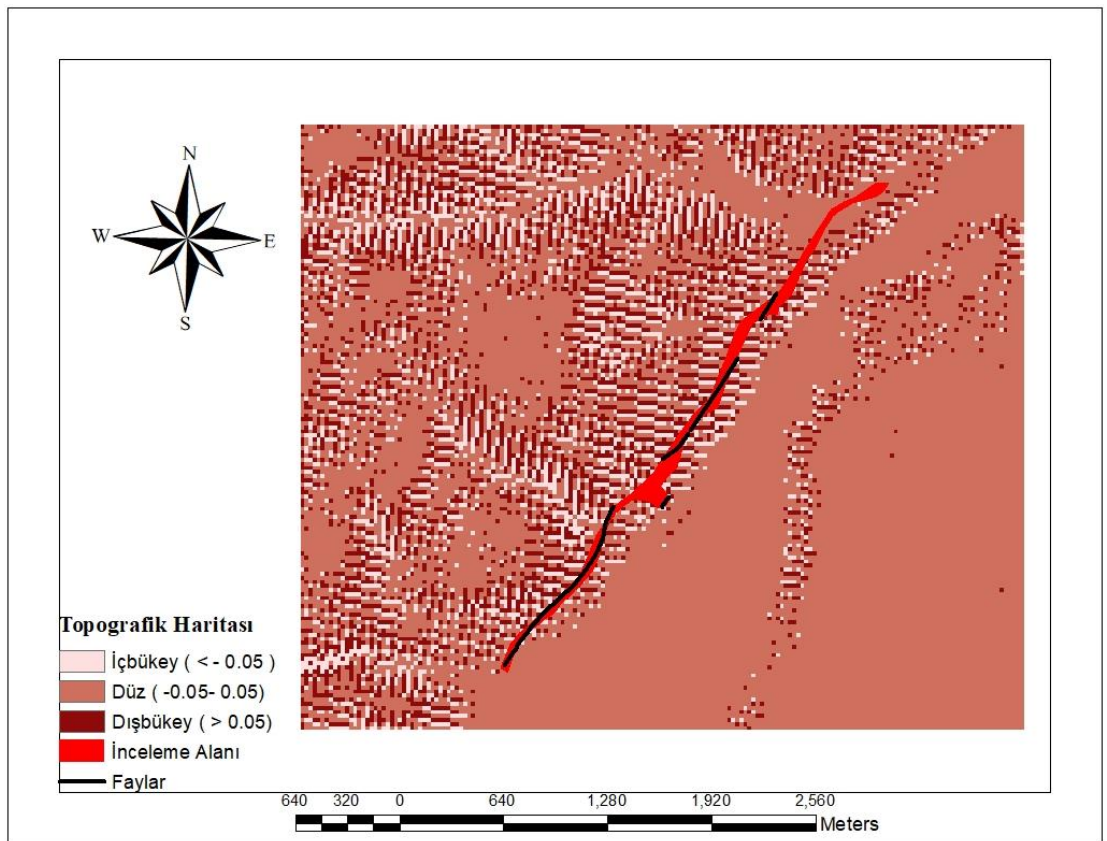


Şekil 6-2.Fevzipaşa ve yakın civarının eğim haritası.



Şekil 6-1. Fevzipaşa ve yakın civarının bakı haritası.

Topografya eğriselliği engebeli rölyeflerde heyelan oluşumunun etkileyen temel morfometrik parametrelerden biridir yüzey morfolojisi konkav (iç bükey), konveks (dış bükey) ve düz formlar şeklinde yansıtan bu parametre kapsamında özellikle konkav ve konveks alanlar yamaç hareketlerine karşı daha duyarlı sahalara olarak öne çıkmaktadır. Bu alanlarda nem birikiminin artması zemin ve kayaç dayanımını azaltarak stabilitenin düşmesine ve eğimli yamaçlarda kütle hareketlerinin gelişmesine zemin hazırlamaktadır. Fevzipaşa mahallesinin tabaka eğrililiğinin morfolojik özellikleri esas alınarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar konkav (içbükey), konveks (dışbükey) ve düz alanlardan oluşmaktadır (Şekil 6.3).



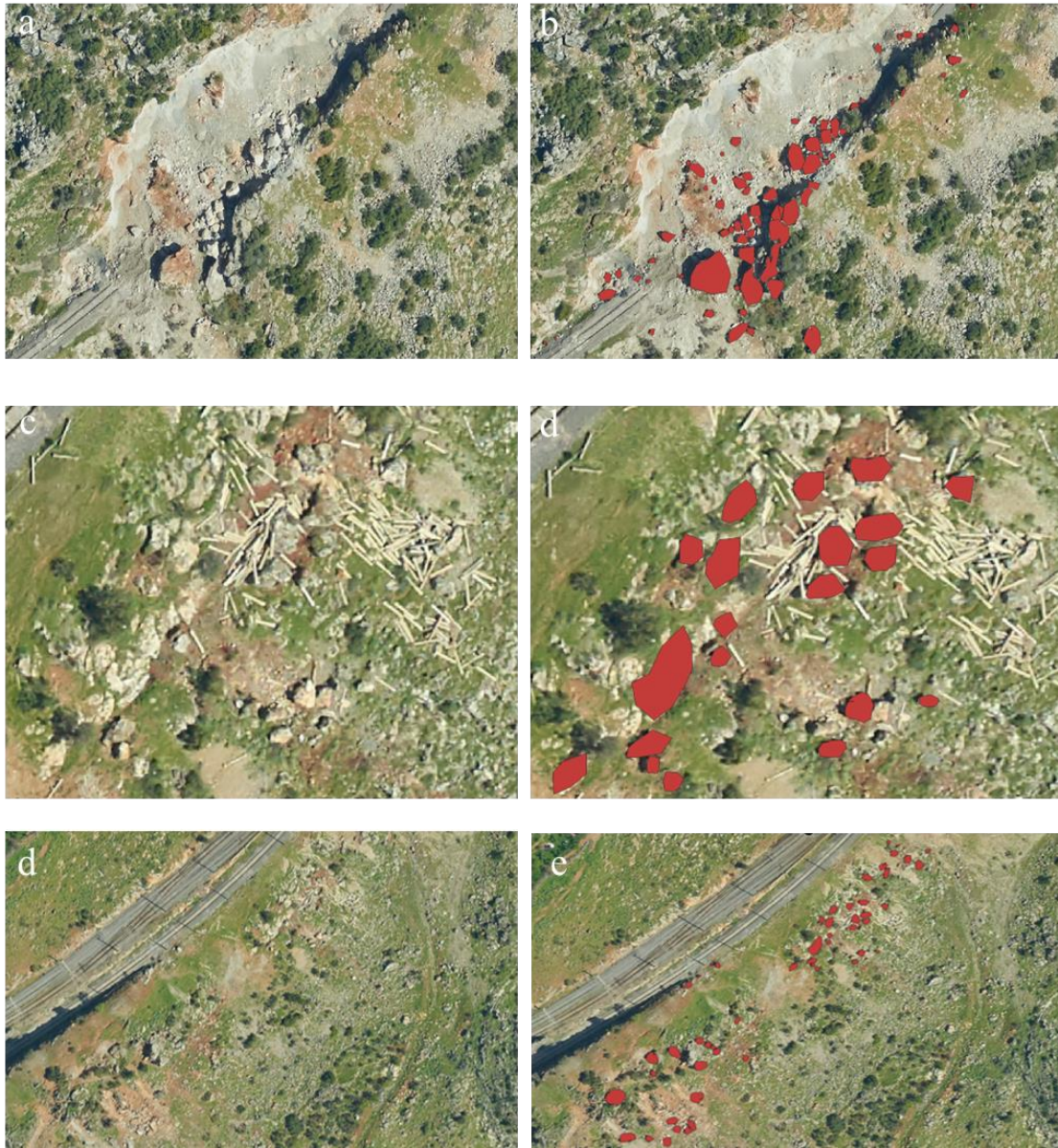
Şekil 6-3. Fevzipaşa Mahallesi ve yakın civarının topoğrafik eğrisellik haritası.

## 6.2. İnceleme Alanı İçin Oluşturulan Kaya Düşmesi Envanteri

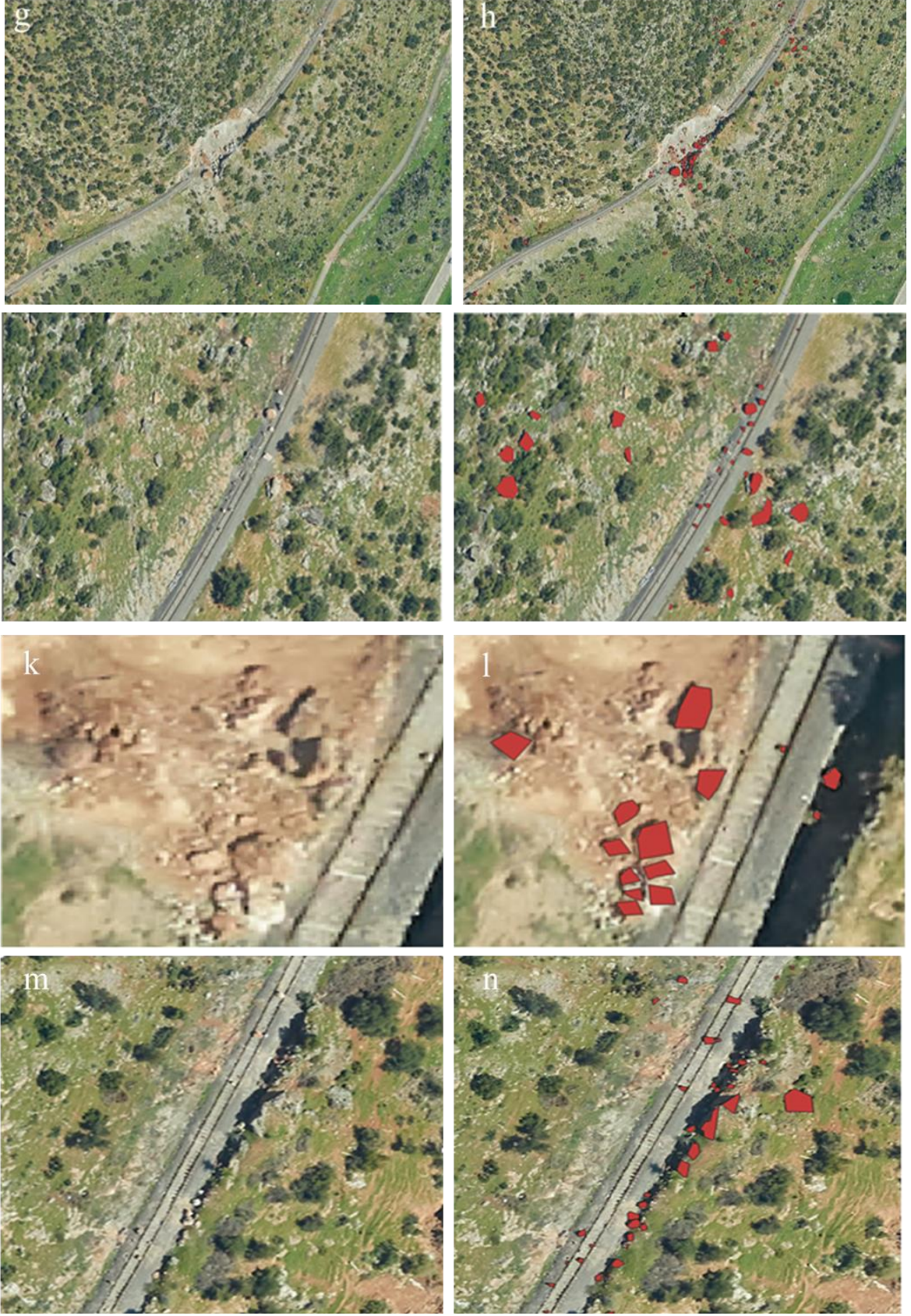
Çalışmada kullanılan ortofotoların mekânsal çözünürlüğü 10 cm olup bu yüksek çözünürlük sayesinde çalışma alanındaki kaya düşmesi izleri, blok birikimleri ve kopma yüzeyleri ayrıntılı biçimde tespit edilebilmiştir. Ortofoto görüntüleri, çalışma sahasında meydana gelen kaya düşmesi olaylarının belirlenmesi ve mekânsal dağılımlarının ortaya

konulmasında önemli bir veri kaynağı sağlamıştır. Kaya düşmesi envanterine ilişkin bazı görüntüler Şekil 6.4'te sunulmuştur.

Ortofoto görüntülerinin yorumlanması ve arazi verilerinin değerlendirilmesi sonucunda, çalışma alanı sınırları içerisinde toplam 750 adet kaya düşmesi envanteri belirlenmiş ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında sayısallaştırılmıştır. Bu envanterler, kaya düşmesi kaynak alanları, blok birikimleri ve yamaç boyunca gelişen hareket izlerini içermektedir. Belirlenen envanterler arasından temsil niteliği taşıyan 6 farklı saha seçilmiş ve bu alanlarda ayrıntılı kaya düşmesi analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.4.Fevzipaşa civarındaki düşen kaya bloklarının envanterinin oluşturması.



Şekil 6-4. (devam ediyor)

### 6.3. Kaya Düşmesi Envanterinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

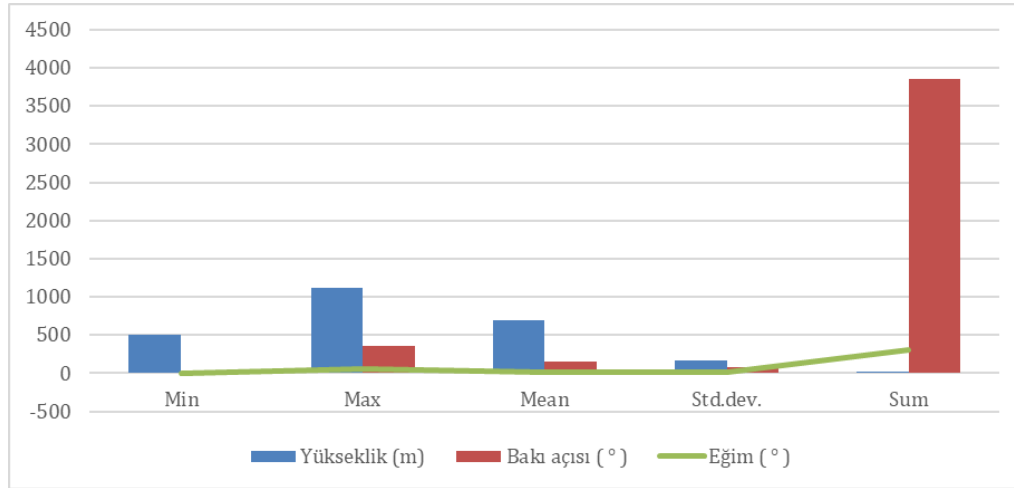
Yüksek çözünürlüklü ortofolardan oluşturulan kaya düşmesi envanter verisi istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Çizelge 6.1. İnceleme alanının topografik parametrelerinin istatistiksel analizi.

Özellikler	Min	Max	Mean	Std.dev.	Sum
Yükseklik (m)	505.06	1124.14	689.29	172.08	18.28
Bakı açısı ( ° )	-1	359.95	148.77	81.69	3849,015
Eğim ( ° )	0	64.57	11.68	9.68	302.38

Çizelge 6.2. İnceleme alandaki kaya düşmesi envanterinin içerisine düşen bölgelerde kalan topografik parametrelerinin istatistiksel analizi.

Özellikler	Min	Max	Mean	Std.dev.	Sum
Yükselik (m)	587.80	609.70	598.49	9.26	2.992
Bakı ( ° )	1.47	28.53	17.70	13.138	88.54
Eğim ( ° )	109.99	191.74	136.92	33.80	684.61



Şekil 6-5. İnceleme alanının topografik parametrelerinin histogramı.

#### 6.4. Kaya Düşmelerinin Litoloji ile İlişkinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında kaya düşmesi olaylarının litoloji ile olan ilişkisi, frekans oranı (FR) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir litolojik birim alansal oranı ( $A_i/A$ ) ile o birimde günlüslümen kaya düşmesi piksel oranı ( $N_i/N$ ) karşılaştırılmıştır. Burada  $A_i$  ilgili litolojinin toplam piksel sayısını,  $A$  çalışma alanındaki toplam piksel sayısını,  $N_i$  ilgili litolojideki kaya düşmesi piksel sayısını,  $N$  ise çalışma alanındaki toplam kaya düşmesi piksel sayısını ifade etmektedir. Frekans oranı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$FR = \frac{N_i/N}{A_i/A}$$

Bu analiz sonucunda göre karbonatlar ve kalstik birimler en yüksek FR değerine sahip olup ( $FR=12.40$ ) kaya düşmesi açısından en duyarlı litolojiler olarak belirlenmiştir. kalstik birimleri orta düzeyde ( $FR=1.12$ ), Bazalt ve neritik kireçtaşı ise daha az duyarlı ( $FR<1$ ) litolojiler olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.3. İnceleme alanındaki kaya düşmelerinin litoloji ile ilişkisi.

Faktör	Sınıf	Piksel Sayısı	Piksel (%)	Kaya Düşmelerin piksel	Kaya Düşmesi (%)	FR (Frekans Oranı)
Litolojik Birimler	Bazalt	2,761,875	16.50	378	15.12	0.92
	Neritik kireçtaşı	10,149,375	60.60	103	4.12	0.41
	Klastikler	2,478,125	14.80	414	16.56	1.12
	Karbonatlar ve kalstikler	338,125	2.02	1561	62.44	12.40
	Ayrımlanmamış	1,016,875	6.08	44	1.76	0.29
Toplam		16,744,375	100	2,500	100	

## 7. BÖLÜM

### 7.1. Kaya düşmesi analizleri

Çalışma kapsamında, Fevzipaşa–İslâhiye demiryolu hattının geçtiği Amanos Dağları'nın doğu yamaçlarında yer alan bir kesimde, kaynak alanları ve mevcut konumları belirlenebilen bloklar dikkate alınarak inceleme alanı için oluşturulan envanter içerisinde altı farklı blok seçilmiştir. Bu bloklar üstünde iki boyutlu kaya düşmesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde blokların potansiyel hareket yolları, yayılım (run-out) mesafeleri ve topoğrafya ile olan ilişkileri değerlendirilmiş; böylece çalışma alanındaki kaya düşmesi tehlikesinin değerlendirilmesinde geleceğe yönelik verilerin sağlanması amaçlanmıştır. Kaya düşmesi analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modeli, arazi topoğrafyasının üç boyutlu olarak analiz edilmesine olanak sağlamış ve kaya düşmesi potansiyeline sahip yamaçların eğim, yükseklik ve morfolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde önemli katkı sunmuştur. Bu veriler kullanılarak, düşen bloğun hareketi boyunca topoğrafik kesitler oluşturulmuş ve potansiyel kaya düşmesi yolları ile blokların yayılım davranışları analiz edilmiştir.

Kaya düşmesi sorunu Türkiye'nin gerek jeolojik gerekse jeomorfolojik şartlarına bağlı olarak yaygın biçimde gözlenmektedir. Kaya düşmesi sorunu gerek statik şartlarda gerekse dinamik koşullarda (deprem, patlatma vb.) oluşabilmektedir. Nitekim bu durum 2. Bölümde değinilen uluslararası literatüre de yansımıştır. Literatür değerlendirildiğinde, kaya düşmesi, özellikle dağlık topoğrafyaya sahip ülkelerde yaygın görülen ve ulaşım hatları, yerleşim alanları ve kültürel miras yapıları için önemli tehdit oluşturan bir jeolojik tehlike olduğunu ve çok sayıda araştırmaya konu edildiğini göstermektedir. Türkiye'de farklı litolojik ve jeomorfolojik ortamlarda gerçekleştirilen çalışmalar, kaya düşmesi mekanizmalarının büyük ölçüde süresizlik geometrisi, litolojik farklılık, topoğrafya ve bozunma süreçleri tarafından kontrol edildiğini ortaya koymuştur. Fevzipaşa–İslâhiye demiryolu gibi sarp topoğrafyalı ulaşım koridorlarında yapılan analizler, blokların run-out mesafesi, sıçrama yüksekliği ve kinetik enerjilerinin sayısal modelleme ile belirlenmesinin risk değerlendirmesinde temel yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Türkiye'de kaya düşmesi literatürü incelendiğinde, çalışmaların önemli bölümünün tarihi kaleler ve turistik alanlar üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Afyon, Ankara, Kastamonu ve Ortahisar kalelerinde yapılan araştırmalar, dik yamaçlarda kolonlu soğuma çatlakları,

tabakalanma düzlemleri ve eklem setlerinin blok kopmalarını kontrol ettiğini; donma-çözülme, erozyon ve deprem etkilerinin ise başlıca tetikleyiciler olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, blokların yüzlerce metreye ulaşabilen yayılım mesafeleri ve binlerce kJ'e ulaşan enerji seviyeleri ile yerleşimler için ciddi tehlike oluşturduğunu göstermiştir. Kapadokya'daki ignimbirit üstünde gerçekleştirilen araştırmalar ise farklı erozyon sonucu yüksek dayanımlı kaya seviyelerinin zayıf tüfler üzerinde askıda kalmasının kaya düşmesinin temel mekanizması olduğunu ortaya koymuş; turistik alanlarda kaya düşmesi zonlaması ve mühendislik önlemlerinin zorunlu olduğunu vurgulamıştır.

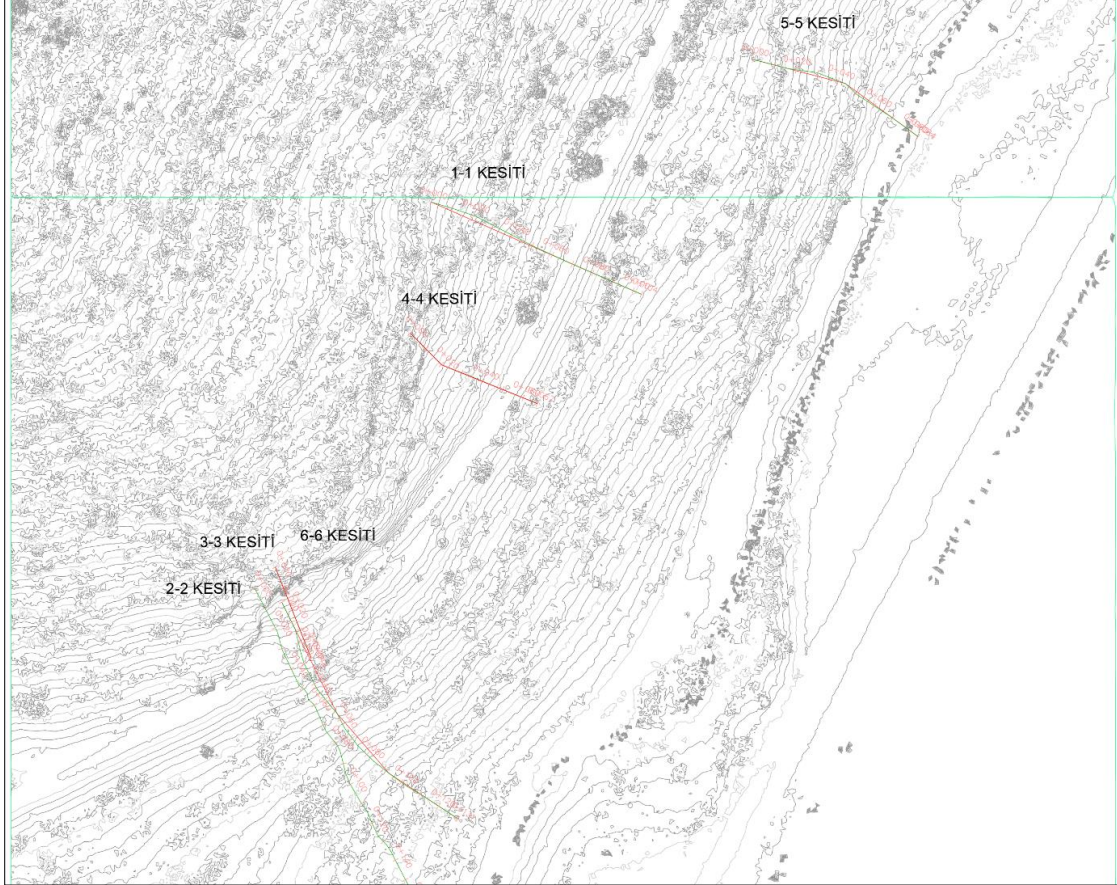
Ulaşım altyapısı çevresinde yapılan çalışmalar, kaya düşmesinin demiryolları ve karayolları için kritik bir tehlike olduğunu göstermektedir. Zonguldak-Kilimli yolu, Gökgöl Tüneli ve Eskişehir-Kütahya demiryolu çevresindeki analizlerde blokların doğrudan yol platformuna ulaşabildiği ve özellikle bazalt-tüf veya kireçtaşı-şeyl gibi litolojik kontrastların kopma mekanizmasını kontrol ettiği belirlenmiştir. Bu tür ortamlarda 0.5-4 m yüksekliğinde bariyerler, çelik ağ sistemleri ve blok temizliği gibi pasif önlemler etkili çözümler olarak önerilmiştir.

Son yıllarda kaya düşmesi çalışmalarında önemli metodolojik gelişmeler yaşanmıştır. UAV fotogrametrisi, GPR ölçümleri, dijital ikiz modeller ve 3B probabilistik simülasyonlar sayesinde blok geometrisi, süreksizlik devanlılığı ve potansiyel trajektori dağılımları daha yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir. Sümela Manastırı, Rumkale, Mardin Kalesi ve Paşabağ peri bacaları gibi kültürel miras alanlarında yapılan çalışmalar, kaya düşmesi analizlerinin yalnız mühendislik değil, koruma-planlama açısından da kritik olduğunu göstermiştir. Bu analizler, küçük hacimli blokların lokal hasar, büyük blokların ise yapısal göçme yaratabildiğini ortaya koymuştur.

Deprem-tetikli kaya düşmeleri literatürde ayrı bir başlık oluşturmaktadır. 2020 Elazığ ve 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında yapılan saha çalışmalarında aktif fay zonları ve dik topoğrafyalarda çok sayıda kaya düşmesi meydana geldiği belirlenmiştir. Bu bulgular, deprem sonrası ikincil afetler içinde kaya düşmesinin önemli bir yer tuttuğunu ve özellikle ulaşım hatları ile yerleşimler için hızlı envanter ve risk değerlendirmesinin gerekli olduğunu göstermektedir.

Tüm bu literatür değerlendirmesi dikkate alındığında, özellikle depremlerin tetiklediği kaya düşmeleri halen tam açıklığa kavuşturulmamış, yeni vakalarla çalışılması gereken

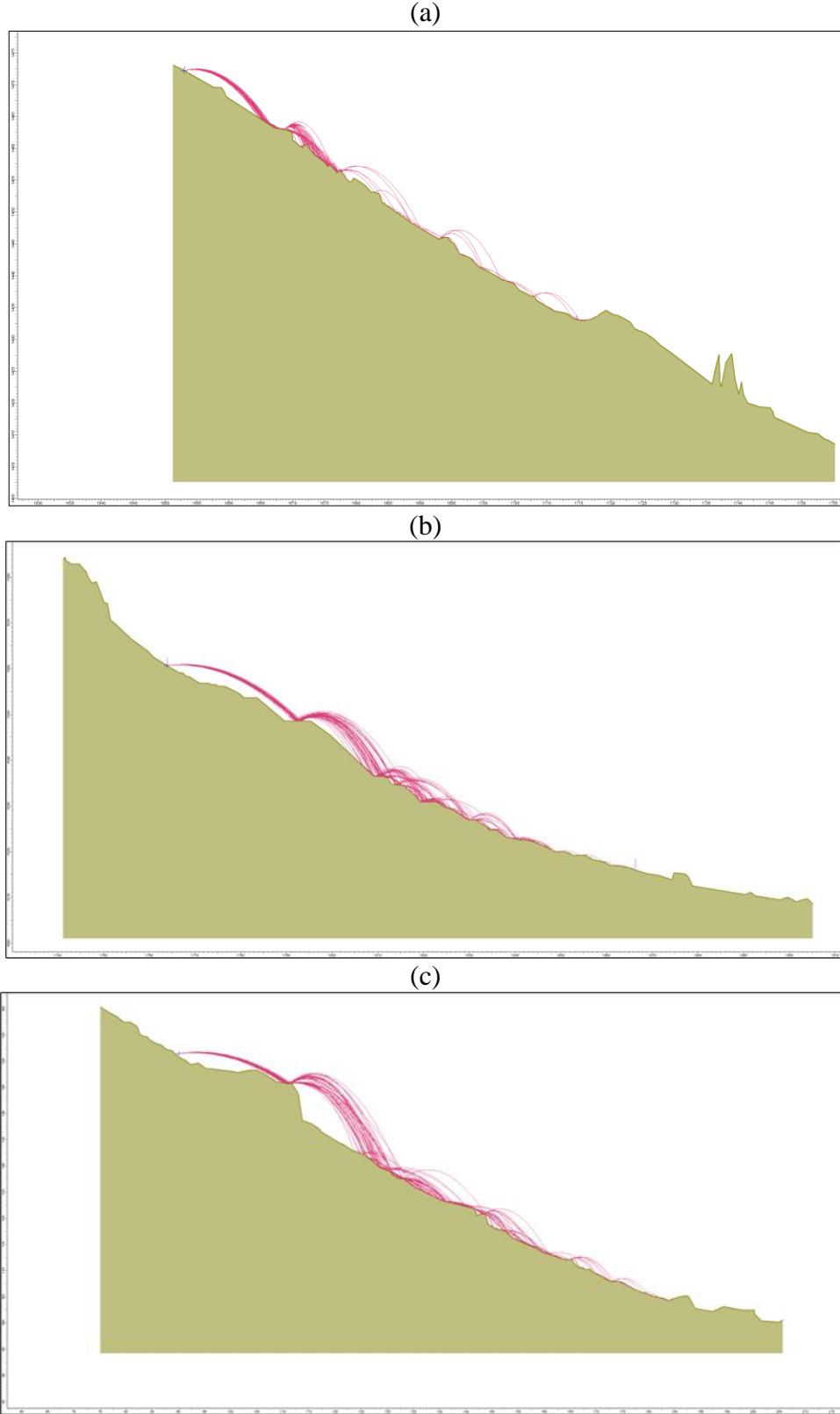
bir konu olduğu açıktır. Bu nedenle, bu çalışmada Fevzipaşa-İslahiye Demiryolunu da ciddi biçimde etkileyen kaya düşmeleri dikkate alınmıştır. 6 Şubat 2023 Depremleri sırasında tetiklenen bloklardan 6 tanesi seçilmiş (Şekil 7.1) ve bu blokların analizleri gerçekleştirilerek, sahadan elde edilen gözlemlerle uyumlulukları değerlendirilmiştir. Analizler Rocfall (Rocscience, 2025) yazılımı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 7-1. Seçilen blokların başlangıç ve bitiş noktaları ile izlediği yolun gösterildiği kesitler.

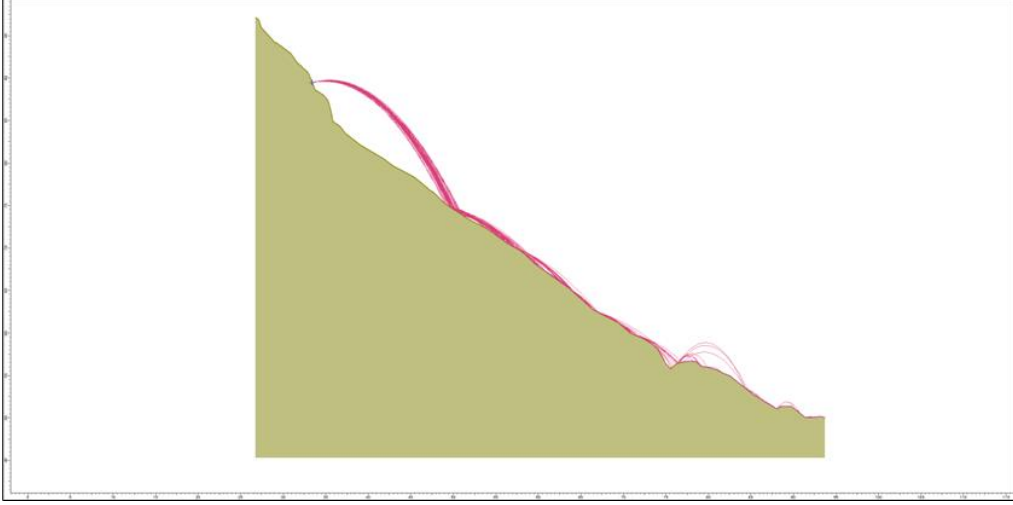
Çizelge 7.1. Kaya düşmesi analizlerinin girdi parametrelerinin özet çizelgesi.

Kesit No	Alan (m2)	Hacim (m3)	Yoğunluk (kg/m3)	Kütle (kg)	Number Of Rocks	Horizontal Velocity (m/s)	Vertical Velocity (m/s)
Rock_1	2,07605	0,999008925	2500	2497,522312	50	8,5	2
Rock_2	6,01015	4,625709318	2500	11564,27329	50	16	2
Rock_3	7,1202	4,11135169	2500	10278,37922	50	16	2
Rock_4	3,2637	1,715760022	2500	4289,400056	50	8,5	2
Rock_5	2,00175	0,429257794	2500	1073,144485	50	8,5	2
Rock_6	3,0361	0,768197318	2500	1920,493295	50	0	0

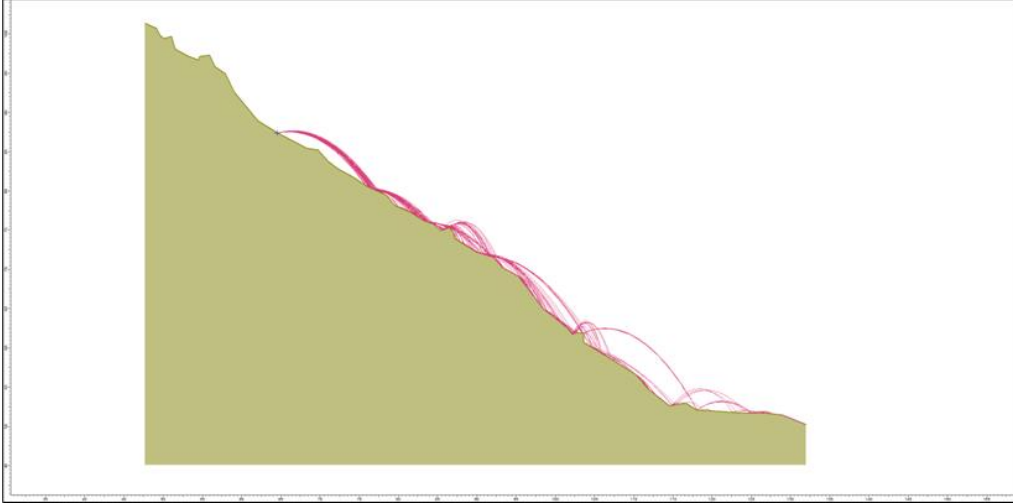


Şekil 7-2. (a) Kesit 1-1, (b) Kesit 2-2', (c) Kesit 3-3', (d) Kesit 4-4', (e) Kesit 5-5' ve (f) Kesit 6-6' için yapılan kaya düşmesi analizleri sonucunda düşen kaya bloklarının izledikleri yol ve ulaşabilecekleri maksimum mesafe.

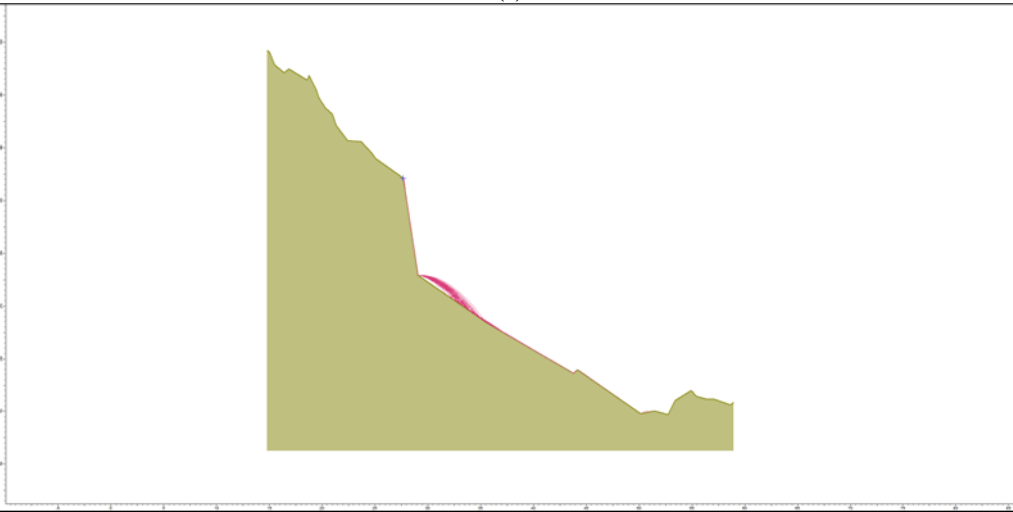
(d)



(e)



(f)



Şekil 7-3. (devam ediyor)

Kaya düşme analizleri başlangıç ve bitiş noktaları bilinen 6 blok üstünde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan Kesit 6-6' herhangi bir ilk hız olmadan serbest düşmeye başladığında mevcut konumuna kadar ulaşmaktadır. Bu durum bloğun tam dengede olduğunu, depremin ilk anında, henüz yatay ivme tam etkmeden hareket ettiğini, statik şartlarda da aynı mesafeye ulaşacağını göstermektedir. Ancak analizlerde diğer bloklar sadece serbest düşme ile mevcut konumuna ulaşamamıştır. Bu nedenle bloklara ilk hız verilmiş deprem sırasında etki eden ivme değerlerinin ilk hız kazandırdığı anlaşılmıştır. İvme – hız ilişkisi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir:

$$v_0 = \int_0^{\Delta t} ah(t)dt \quad \text{Eşitlik 7.1}$$

Burada;

V=hız (m/s)

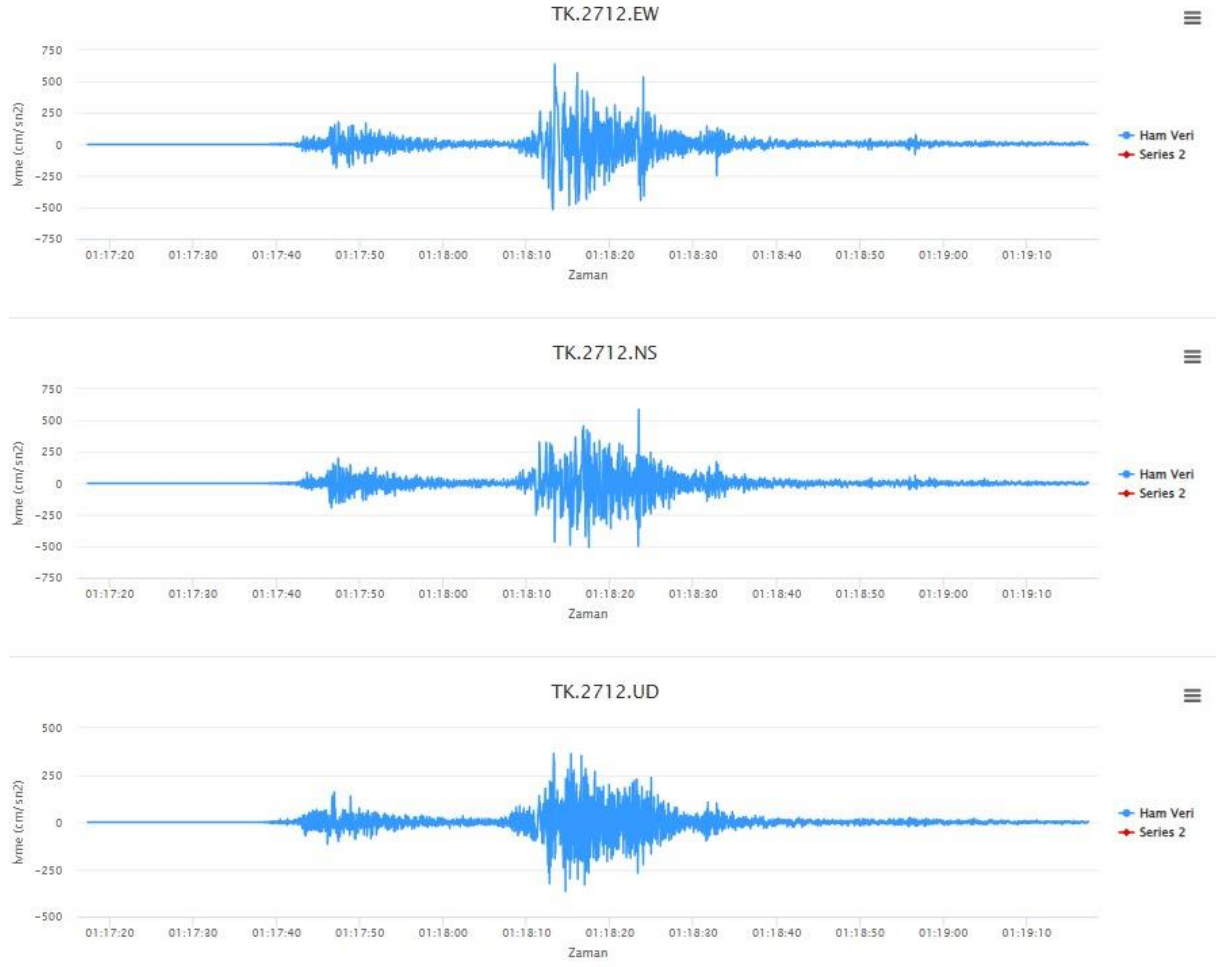
t=zaman (s)

a=ivme (m/s<sup>2</sup>)'dir.

Bu bağıntıda ivme sabit ve yatay olduğu (ah) kabul edildiğinde eşitlik aşağıdaki şekle dönüşür:

$$a_h = \frac{v_0}{\Delta t} \quad \text{Eşitlik 7.2}$$

Buna göre, AFAD (2023) verilerine göre, 2712 nolu istasyonda K-G yönünde 554.9 gal, D-B yönünde 602.7 gal ve düşey yönde 346.1 gal en yüksek yer ivmeleri oluşmuştur (Şekil 1). Blok 1, 4 ve 5 16 m/s ilk hızla, Blok 4 ve 5 ise 8.5 m/s'lik ilk yatay hızla hareket ettiğinde mevcut konumuna ulaşmaktadır (Çizelge 10). Yukarıda verilen ivme-hız ilişkisi dikkate alındığında, 8.5 m/s'lik hıza ulaşması için 20. Saniyede 0.425 m/s<sup>2</sup>'lik, 16 m/s'lik hıza ulaşması için de 30. Saniyede 0.533 m/s<sup>2</sup>'lik ivmelerin oluşması gerekmektedir. Şekil 7.3'te verilen zaman-ivme grafiği incelendiğinde, bu değerlerle örtüştüğü anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, Blok 6 ise depremin ilk anında hareketine başlamış ve ciddi bir ivme ile ilk hız kazanamamıştır.



Şekil 7-4. AFAD tarafından 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi ( $M_w=7.7$ ) sırasında 2712 nolu Nurgağı İstasyonu ivme-zaman grafikleri.

## 8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sırasında ve sonrasında meydana gelen sarsıntılarının tetiklediği kaya düşmesi olayları, Gaziantep ili İslâhiye ilçesi Fevzipaşa Mahallesi çevresinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışma alanında belirlenen 750 kaya düşmesi olayına ait envanter verisi kullanılarak kaya düşmesi oluşumunu etkileyen temel parametrelere ilişkin tematik haritalar hazırlanmıştır. Bu kapsamda çalışma alanına ait yükselti, eğim, bakı ve litoloji parametre haritaları CBS ortamında üretilmiş ve kaya düşmesi ile ilişkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca altı farklı alan için blokların olası hareket güzergâhları, yayılma (run-out) mesafeleri ve topoğrafik özelliklerle olan etkileşimleri analiz edilerek çalışma alanındaki kaya düşmesi tehlikesinin daha ayrıntılı şekilde ortaya konulması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sırasında Gaziantep ili İslahiye–Fevzipaşa çevresinde tetiklenen kaya düşmeleri yüksek çözünürlüklü ortofotolar kullanılarak değerlendirilmiş ve çalışma alanına ait ayrıntılı bir kaya düşmesi envanteri oluşturulmuştur. Depremler sırasında meydana gelen çok sayıda kaya düşmesi olayının mekânsal dağılımı belirlenmiş, düşen blokların özellikleri ve hareket davranışları analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, depremlerin tetiklediği kaya düşmelerinin özellikle yüksek eğimli ve süreksizlik içeren kaya yamaçlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Çalışma alanında belirlenen kaya düşmelerinin önemli bir kısmının dik topoğrafyaya sahip kesimlerde ve demiryolu hattı ile ulaşım güzergâhlarının yakınında meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durum, bölgede gelişen kaya düşmelerinin ulaşım altyapısı için önemli bir tehlike oluşturduğunu göstermektedir.

Yüksek çözünürlüklü ortofotoların kullanılması, kaya düşmelerinin konularının ve yayılım alanlarının belirlenmesinde oldukça etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle deprem sonrasında kısa süre içerisinde gerçekleştirilen hava fotoğrafı çekimleri sayesinde düşen kaya bloklarının konuları, boyutları ve birikim alanları ayrıntılı biçimde belirlenebilmiştir. Bu yöntem sayesinde yalnızca saha çalışmaları ile ortaya koyamayacak birçok veri elde edilmiş ve çalışma alanına ait kapsamlı bir kaya düşmesi envanteri oluşturulmuştur.

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler, kaya düşmelerinin topoğrafik eğim, litoloji ve yüzey morfolojisi ile yakın bir ilişki içerisinde olduğunu göstermektedir. Belirli litolojik

birimlerin kaya düşmesi açısından belirgin şekilde daha duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır, bu durum da risk değerlendirmesi ve arazi kullanım planlanmasına önemli katkı sağlanmaktadır. Özellikle yüksek eğim değerlerine sahip yamaçlarda blokların daha uzun mesafelere ulaşabildiği ve daha yüksek kinetik enerji ile hareket edebildiği belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen kaya düşmesi analizleri, çalışma alanında kopan kaya bloklarının yamaç boyunca yuvarlanma ve sıçrama hareketleri yaparak alt kesimlerde birikme eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum özellikle yamaç eteklerinde yer alan ulaşım hatları ve yerleşim alanları için önemli bir tehlike oluşturmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan kaya düşmesi envanteri, gelecekte gerçekleştirilecek daha ayrıntılı tehlike ve risk analizleri için önemli bir veri tabanı oluşturmuştur. Ayrıca elde edilen sonuçlar, çalışma alanında kaya düşmesi tehlikesinin değerlendirilmesi ve risk azaltma çalışmalarının planlanması açısından önemli bilgiler sağlamaktadır. Bununla birlikte, özellikle aktif sismik bölgelerde yapılacak kaya düşmesi analizlerinde, bloğa tanımlanacak ilk hızın, beklenen ivme değeri ile ilişkilendirilmesi gerektiği neticesine ulaşılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin tetiklediği kaya düşmelerinin mekânsal dağılımının ve davranış özelliklerinin ortaya konulmasına katkı sağlamış ve çalışma alanı için önemli bir kaya düşmesi veri tabanı oluşturmuştur. Elde edilen bulgular, bölgedeki kaya düşmesi tehlikesinin değerlendirilmesi ve gelecekte uygulanacak risk azaltma çalışmalarına bilimsel bir temel sağlamaktadır.

## 9. KAYNAKLAR

- Afad. (2015). Heyelan -Kaya Düşmesi Temel Kılavuz. Ankara: T.C. Başkanlık Afad Acil Durum Müdürlüğü.
- Afad. (2021). Gaziantep İl Afet Risk Azaltma Planı. Gaziantep: Gaziantep Valiliği İl Afet Ve Acil Müdürlüğü.
- Afad. (2021). Kaya Düşmelerinden Kaynaklı Afetlerin Değerlendirilmesine Yönelik Teknik Kılavuz. Ankara: T.C. İçişleri Bakanlığı Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Akın, D. D. (2021). Kaya Düşmelerinde Güncel Analiz Ve İyileştirme Yöntemleri. Nevşehir. Nevşehir: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi.
- Akın, M. (2021). Kaya Düşmelerinde Güncel Analiz Ve İyileştirme Yöntemleri. Jeotag Eğitim Çalışmaları-7 Ders Notu, 12.
- Alagöz, U. A. (2016). Şehr-İ Ayntab-I Cihan Gaziantep. Gaziantep: Gaziantep: T.C. Gaziantep Valiliği.
- Alemdag, S. B. (2022b). Gıs-Based Determination Of Potential İnstabilities And Source Rock Areas On The Torul-Kürtün (Gümüşhane) Motorway, Rockfall, And Protection Structure Analyses. Bulletin Of Engineering Geology. And The Environment, 81, 30. <https://doi.org/10.1007/S10064-021-02498-7>.
- Alemdağ, S. K. (2022a). Evaluation Of Potential Rock Falls With Three-Dimensional Analysis: Example Of Oltanbey And Hasanbey Districts (Gümüşhane City Center). Bulletin Of The Mineral Research And Exploration. 169, 87–104. <https://doi.org/10.19111/Bulletinofmre.977928>.
- Alptekin, A. &. (2020). Kaya Bloklarının 3b Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. Türkiye: Türkiye Lidar Dergisi Ve Mersin Üniversitesi.
- Binal, A. &. (2010). ). Assessment Of Rockfall Potential İn The Kula (Manisa, Turkey) Geopark Region. . Environmental Earth Sciences,61, 1361–1373. <https://doi.org/10.1007/S12665-010-0454-1>.
- Biricik, P. &. (2021). Kahramanmaraş'ın Depremselliği. . Marmara Coğrafya Dergisi, Sayı, 3, Cilt: 1, 53.



- Dincer, İ. O. (2025, 11 20). Rockfall At The Heritage Site Of The Tatlarin Underground City (Cappadocia, Turkey). *Natural Hazards*, 82(2), 1075–1098: <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2234-z> Adresinden Alındı
- Dinçer, İ. O. (2026). Assessment Of Rockfall Hazard For Fairy Chimneys: St. Symeon's Hermitage Valley (Paşabağ, Cappadocia) . *Geoheritage*, 18, 1: <https://doi.org/10.1007/s12371-025-01205-2>
- Düzgün, P. A. (2012). Kaya Düşmeleri Ve Kaya Şev Kaymaları İçin Risk Analizine Dayalı Mühendislik Çözümlerinin Değerlendirilmesi. Ankara: Odtü Bidb - Bütünleşik Bilgi Sistemi.
- Enosnhaber. (2025, 1 10). Kahramanmaraş'ta Köylülerin Kaya Parçası Korkusu. Enosnhaber. Tmmob Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Ankara: 5-7 Aralık 2007 İmo Kengre Ve Kültür Merkezi Ankara.: <https://www.enosnhaber.com/yasam/kahramanmarasta-koylulerin-kaya-parcasi-korkusu> Adresinden Alındı Adresinden Alındı
- Environmental Earth Sciences. (1996). Remote Sensing Techniques For Landslide Studies And Hazard Zonation In Europe. Germany: Geomorphology.
- Ergünay, O. (2007). Tmmob Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Ankara: 5-7 Aralık 2007 İmo Kengre Ve Kültür Merkezi Ankara.
- Fell, R., Corominas,, J., Bonnard, C., & Cascini , L. (2008). Guidelines For Landslide Susceptibility, Hazard And Risk Zoning For Land-Use Planning. Australia: Engineering Geology J O U R N A L H O M E P A G E : [www.elsevier.com/locate/enggeo](http://www.elsevier.com/locate/enggeo).
- Galli, M. A. (2008). Comparing Landslide Inventory Maps. Italy: Geomorphology Available Online At [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- Gelişli, K., Şeren, A., Ersoy, , H., & Babacan, A. (2024). Ground Penetrating Radar For The Evaluation Of Rockfall Potentials In The Vertical Rock Slope Of Sumela Monastery (Ne Türkiye). *Bulletin Of Engineering Geology And The Environment*, 83, 435.: <https://doi.org/10.1007/s10064-024-03940-2>
- Genç, A. F. (2026). Damage Simulations Of The Historic Masonry Aqueduct At Sümela Monastery Under Rockfall And Post-Disaster Landscape Management.

Engineering Failure Analysis, 183, 110267:  
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.110267>

Genis, M. S. (2017). ). A Stability Assessment Of The Rockfall Problem Around The Gököl Tunnel (Zonguldak, Turkey). Bulletin Of Engineering Geology And The Environment, 76, 1237–1248. Doi 10.1007/S10064-016-0907-1.

Gokçeöğlü, C. (2023). 6 February 2023 Kahramanmaraş – Türkiye Earthquakes: A General Overview. The International Archives Of The Photogrammetry. Antalya: Remote Sensing And Spatial Information Sciences, Volume XLV111-M-1 Antalya, Türkiye, 417-418.

GÖKÇEÖĞLÜ, C. (2023). 6 February 2023 Kahramanmaraş–Türkiye Earthquakes. A General Overview. The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, XLV111-M-1-2023, 417–424: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLV111-M-1-2023-417-2023>

Gokceoglu, C., Can, , A., & Baskose, Y. (2022). Stability Assessments Of A Triple-Tunnel Portal With Numerical Analysis (South Of Turkey. Ankara: Geotechnical Research İce , 117-119.

Guzzetti, F. (. (2012). Landslide İventory Maps: New Tools For An Old Problem. Italy: Earth-Science Reviews.

Guzzetti, F. (20004). Landslides Triggered By The 23 November 2000 Rainfall Event İn The Imperia Province, Western Liguria. Italy: Engineering Geology .

Guzzetti,F, (. (2012). Landslide İventory Maps: New Tools For An Old Problem. Italy: Earth Science Reviews Journal Homepage: [www.elsevier.com/locate/earscirev](http://www.elsevier.com/locate/earscirev).

Hutchinson, ,. J. (1988). General Report: Morphological And Geotechnical Parameters Of Landslides İn Relation To Geology And Hydrogeology. Balkema: Proceedings, Fifth International Symposium On Landslides (Ed: Bonnard,C.), 1, 3-35. Rotterdam.

İleri, E. (. (2018). Nüfus Ve Yerleşme Coğrafyası Bakımından İslahiye. İstanbul: T.C Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

İleri, E. .. (2018). Nüfus Ve Yerleşme Coğrafyası Bakımından İslahiye. İstanbul: T.C. Marmara Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi ).

- Janeras, M., Lantada, N., Hantz, D., & Guinau, M. (2023). Rockfall Magnitude-Frequency Relationship Based On Multi-Source Data From Monitoring And Inventory. *Remote Sensing*, 36.
- Kalender, A. &. (2019). Kargabedir Tepe (Ankara-Eskişehir Karayolu) Bölgesinin Kaya Düşmesi Duyarlılığının İnsansız Hava Aracı (İha) Görüntüleri Kullanılarak Konik Yayılım Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği.
- Karabulut, D. D. (2012). Tekir-Göksun (Kahramanmaraş) Arasındaki Karstik Şekiller. Hatay: Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu.
- Karadoğan, S. (2013). Adıyaman Havzasının Jeomorfolojik Özellikleri. Adıyaman: Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi.
- Karakas, G. N. (2021). Derivation Of Earthquake-İnduced Landslide Distribution Using Aerial Photogrammetry. The January 24, 2020 Elazig (Turkey) Earthquake. *Landslides*, 18(7), 2193–2209: <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01660-2>
- Kayabaşı, A. (2018). The Assessment Of Rockfall Analysis Near A Railroad: A Case Study At The Kızılınler Village Of Eskişehir. Turkey. *Arabian Journal Of Geosciences*, 11, 800. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4175-1>. Turkey. *Arabian Journal Of Geosciences*, 11, 800: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4175-1>
- Kesici, Ö. (1992). Kilis Yöresinin Beşeri Ve Ekonomik Coğrafyası. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- Keskin, B. B. (2020). Investigation Of Rockfall Potential Of Zonguldak–Kilimli Roadway (Turkey). *Arabian Journal Of Geosciences*, 13, 805. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05815-8>.
- Keskin, İ. &. (2022). Kinematic Analysis And Rockfall Assessment Of Rock Slope At The Unesco World Heritage City (Safranbolu/Turkey). . ). *Iranian Journal Of Science And Technology, Transactions Of Civil Engineering*, 46, 367–384. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00803-8>.
- Kılıç, S. (2025, 1 24). Kopan Kayalar Dağları Birleştirdi, Yapay Göl Oluşturdu Birleştirdi, Yapay Göl Oluşturdu. *Trt Haber:*

<https://www.trthaber.com/haber/turkiye/kopan-kayalar-daglari-birlestirdi-yapay-gol-olustu-747311.html>

- Kocaaslan, Ö. (2024). 6 Şubat 2023 Tarihinde Meydana Gelen Pazarcık, Elbistan (Kahramanmaraş) Ve Defne (Hatay) Depremlerinin Tusaga-Aktif İstasyonlarına Etkisinin İncelenmesi. Konya: Konya Teknik Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi).
- Kocaman, S., Çetinkaya, S., Tunar Özcan, N., & Karakaş, G. (2025). Landslides Triggered By The 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes Türkiye. Turkish Journal Of Earth Sciences, 34(1), 47–67. <https://doi.org/10.55730/1300-0985.1945>.
- Mantovani, F., Soeters, R., & Westen, C. (1996). Remote Sensing Techniques For Landslide Studies Ans Hazard Zonation İn Europe. Germany: Geomorphology.
- Mursal, U. U. (2025). Rockfall Hazard Assessment For Natural And Cultural Heritage Site: Close Vicinity Of Rumkale (Gaziantep, Türkiye) Using Digital Twins. Heritage, 8(7), 270. : <https://doi.org/10.3390/Heritage8070270>
- Nalbant, S. S. (2022). Stress Accumulation And İncurred Seismic Risk İn Eastern Turkey. Earth And Planetary Science Letters 195 Dergisi, 292-294.
- Nasery, M. M. (2023). ). Multi-Scenario Analysis Of Rockfall Hazard For A Historical Vaulted Masonry Building İn Sumela Monastery. International Journal Of Architectural Heritage, 17(11), 1876–1904: <https://doi.org/10.1080/15583058.2022.2091967>
- Nasery, M. M., Çelik,, M., & Şadoğlu, E. (2024). Damage Assessment Of Siverek Castle During The Kahramanmaraş Earthquakes (Mw 7.7 And Mw 7.6) On 06 February 2023. Remediation And Strengthening Proposals. Engineering Geology, 334, 107511: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107511>
- Ozcan, A., & Gokceoglu, C. (2025). Statistical Assessment Of Geological And Geomorphological Factors On Building Damages Caused By The February 6, 2023 Earthquakes İn The Amanos Region Of Türkiye. Natural Hazards Review, 26(19), <https://doi.org/10.1061/Nhrefo.Nheng-2174>.
- Pine. (2015). Hazard Analysis Reducing The Impact Of Disasters Second Edition. Boca Raton: Crc Press.

- Pine., & Vd. (2015). Hazards Analysis Reducing The Impact Of Disasters Second Edition. London New York: Crc Press.
- Pourghasemi, H., Pradhan, B., Gökçeoğlu, C., & Moezzi, K. (2025, 8 24). ). Landslide Susceptibility Mapping Using A Spatial Multi Criteria Evaluation Model At Haraz Watershed, Iran. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pusula. (2025, 8 24). Büyük Risk. Gaziantep Pusula Gazetesi: <https://www.gaziantepusula.com/haber/10337317>
- Pusula. (2025, 8 24). Gaziantep Pusula Gazetesi. Büyük Risk: <https://www.gaziantepusula.com/haber/10337317>
- Roberts, S. J. (2021). Characteristics Of Landslide Path Dependency Revealed Through Multiple Resolution Landslide Inventories In The Nepal Himalaya. *Geomorphology* 390: , <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107868>
- Rose, B. T. (2025). Tennessee Rockfall Management System. Amerika Birleşik Devletleri: Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute And State University .
- San, N. E. (2020). Rockfall Hazard Assessment Around Ankara Citadel (Turkey) Using Rockfall Analyses And Hazard Rating System. *Geotechnical And Geological Engineering*, 38, 3831–3851.: 3831–3851. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01261-1>
- Saiı, K. S. (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık Mw=7.7 Ve Elbistan Mw =7.6. Karadeniz: Karadeniz Teknik Üniversitesi,Düzce Üniversitesi. Sakarya Üniversitesi: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniveristesi.
- Sönmez, H. &. (2022). A Discussion On The Hoek-Brown Failure Criterion And Suggested Modifications To The Criterion Verified By Slope Stability Case Studies. Ankara: Hacettepe University.
- Topal, T. A. (2012). Rockfall Hazard Analysis For An Historical Castle In Kastamonu (Turkey). *Natural Hazards*, 62(1), 255–274. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9995-1>.
- Topal, T., Akın, M., & Özden, U. A. (2007). Assessment Of Rockfall Hazard Around Afyon Castle, Turkey. *Environmental Geology*, 53(1), 191–200. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0633-2>.

- Tunusluoğlu, M. C., & Zorlu, K. (2009). Rockfall Hazard Assessment In A Cultural And Natural Heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey). *Environmental Geology*, 56(5), 963–972. <https://doi.org/10.1007/S00254-008-1198-Z>.
- Türkmen, S. (Tarih Yok). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depreminde Tetiklenen Değirmencik Heyelanı (Gaziantep – İslahiye). *Geosound (Yerbilimleri) Dergisi*, , 12-18.
- Ulamis, K. (2026). Evaluation Of Protective Measures Against Rockfall Hazard With 3d Analysis (Mardin Castle, Türkiye). *Bulletin Of Engineering Geology And The Environment*, 85, 132: <https://doi.org/10.1007/S10064-025-04761-7>
- Ulamis, K. (2026). Evaluation Of Protective Measures Against Rockfall Hazard With 3d Analysis (Mardin Castle, Türkiye). *Bulletin Of Engineering Geology And The Environment*, 85, 132: <https://doi.org/10.1007/S10064-025-04761-7>
- Ündül, Ö. N. (2026). ). Assessment Of A Weathering-Induced Rockfall Event And Development Of Minimal-Intervention Mitigation Strategies In An Urban Environment. *Applied Sciences*, 16(2), 1045: <https://doi.org/10.3390/App16021045>
- Ündül, Ö., Nasery., M., Doğu, M., & Zengin, E. (2026). Assessment Of A Weathering-Induced Rockfall Event And Development Of Minimal-Intervention Mitigation Strategies In An Urban Environment. *Applied Sciences*, 16(2), 1045: <https://doi.org/10.3390/App16021045>
- Üngör, İ. (. (2011). İslahiye Ve Çevresinin Eskiçağ Tarihi. Erzurum: T.C Atatürk Üniversitesi (Doktora Tezi).
- Üngör, İ. (. (2011). İslahiye Ve Çevresinin Eskiçağ Tarihi. Erzurum: T. C. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (Doktora Tezi) S. 4.
- Üngör, İ. (2011). İslahiye Ve Çevresinin Eskiçağ Tarihi. Erzurum: T. C. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (Doktora Tezi).
- Varol, O. O. (2026). Characterization Of Rockfalls In Cappadocia Region (Türkiye) By Empirical And 3-Dimensional Methods. *Journal Of Mountain Science*, 23(1), 203–220. : <https://doi.org/10.1007/S11629-025-9941-4> Adresinden Alındı
- Volkwein, K. S. (2011). Rockfall Characterisation And Structural Protection – A Review. Switzerland: *Natural Hazards And Earth System Sciences*.

- Yalçın, A. (2007). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Ve Cbs'nin Kullanımı. Ankara: Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray Üniversitesi.
- Yeşiloğlu-Gültekin, N. (2023). Ankara Zir Vadisi Kaya Düşmelerinin Üç Boyutlu Analizlerle Değerlendirilmesi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi.
- Yesiloglu-Gultekin, N. G. (2012). Geohazard Reconnaissance Mapping For A Settlement Area (Egirdir, Isparta, Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 66, 1653–1666. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0984-1>. *Environmental Earth Sciences*, 66, 1653–1666. : <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0984-1>
- Yıldırım, N. (2019). Adıyaman İlinin Maden Potansiyeli. Adıyaman: Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Yildiz, U., Gokceoglu, C., & Kocaman, S. (2025). ). Impact Of Geohazards On Cadastral Data: An Assessment After The 6 February 2023 Kahramanmaras Earthquakes (Türkiye). *Natural Hazards*, 121, 1183–1208. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06823-7>.
- Zorlu, K., Tunusluoglu., M., Gorum., T., Nefeslioglu, H., Yalcin, A., Turer, D., & Gokceoglu, C. (2011). Landform Effect On Rockfall And Hazard Mapping İn Cappadocia (Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 62.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Minagul Habibi  
Doğum yeri : Takhar -Afghanistan  
Doğum tarihi : 17/02/1996  
Medeni hali : Evli  
Yazışma adresi : Güzelyurt Mah. Zeytin sokak 3/15 keçiören /Ankara  
Telefon : 05525928415  
Email adresi : habibi.mina070@gmail.com

### EĞİTİM DURUMU

Lisans : Takhar Üniversitesi –Afghanistan