



İskilip (Çorum) Civarının Kaya Düşmesi Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Assessment Of Rockfall Potential In The Vicinity Of Iskilip (Çorum)

Nazlı Tunar Özcan^{1*}

¹Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe/Ankara TÜRKİYE

Başyuru/Received: 18/11/2022

Kabul / Accepted: 18/01/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/01/2023

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2023

Öz

Kaya düşmesi yaygın olarak gözlenen şev duraysızlığı türlerinden biridir. Yerleşim alanlarının hasar görmesine, ana ulaşım hatlarının kapanmasına, can ve mal kayıplarına neden olan kaya düşmesi olgusundan korunmak için kaynak alanların belirlenmesi ve bu alanlarda düşme potansiyeli olan blokların yörüngelerinin ve menzil mesafelerinin tahmin edilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, kaya düşmesi tehdidi altında bulunan Hacıpiri ve Tabakhane Mahallelerinin (İskilip, Çorum) kaya düşme potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kaya düşmesi kaynak alanı ve bu alanın jeo-mühendislik özellikleri belirlenmiş olup, kinematik analizler, kaya düşmesi risk sınıflamaları ve iki boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Eosen yaşlı konglomera biriminden oluşan kaya düşmesi kaynak alanı için yapılan analizlerde, düşme potansiyeline sahip blokların menzil mesafelerinin 140 m ile 210 m arasında değişim gösterdiği ve bu blokların yerleşim yerlerine kadar ulaşabileceği saptanmıştır. Ayrıca, inceleme alanında meydana gelebilecek kaya düşmelerini engellemek ve/veya hasarları azaltmak için kaya tutma bariyerleri Rocfall yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Uygun özelliklerdeki esnek kaya tutma bariyerleri ile düşen blokların yerleşim yerlerine ulaşmasının önlenileceği analizlerle ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler

“İskilip, Kaya düşmesi, Kinematik analiz, Kaya düşmesi risk sınıflama sistemi, İki boyutlu kaya düşmesi analizleri”

Abstract

Rockfall is one of the most common types of slope instabilities. It is important to determine the source areas and to estimate the trajectories and run out distances of the blocks that have the potential to fall in order to be protected from the rockfall phenomenon that causes serious damage to the residential areas, the closure of the main transportation lines, and the loss of life and property. This study aimed to evaluate the rockfall potential of Hacıpiri and Tabakhane (Iskilip, Çorum), which are under threat of rockfall. For this purpose, the rockfall source area and geo-engineering characteristics of this area were determined, kinematic analyses, rockfall risk classifications and two dimensional rockfall analyses were performed. According to the analyzes made for the rockfall source area consisting of Eocene aged conglomerate units, it was determined that the run-out distances of the blocks with fall potential varied between 140 m and 210 m and that these blocks could reach the settlement area. In addition, flexible rockfall barriers are modeled using Rocfall software to prevent possible rockfalls and/or reduce damages that may occur in the study area. The analyses show that these blocks can be prevented from reaching the settlement area with flexible rockfall barriers with appropriate properties.

Key Words

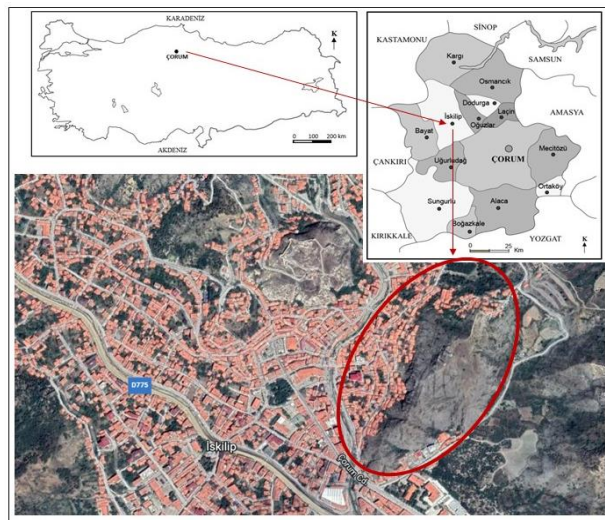
“İskilip, Rockfall, Kinematic analysis, Rockfall risk rating system, Two dimensional rockfall analyses”

1. Giriş

Türkiye’de iklimsel, jeomorfolojik, jeolojik ve hidrojeolojik koşullar nedeniyle deprem başta olmak üzere sel-taşkın, kaya düşmesi gibi mal ve can kaybına sebep olan, birçok doğal afet gerçekleşmektedir (Polat ve Güney, 2013). Bu doğal afetlerden biri olan kaya düşmesi olgusu, kaya bloklarının ana kütlede makaslama yenilmesi olmaksızın ayrılması ve dik bir eğim boyunca serbest düşme, sıçrama, yuvarlanma ve kayma şeklinde hareket etmesi olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1978; Ritchie, 1963; Whalley, 1984; Cruden and Varnes, 1996; Wyllie, 2015). Dik ve eklemlili kaya yamaçlarında sıklıkla gerçekleşen kaya düşmesi yoğun yağışlar, kimyasal-fiziksel ayrışma, donma-çözülme süreçleri (Matsuoka & Sakai, 1999), erozyon aşınması (Aydan 1989; Tokashiki & Aydan, 2010) bitki köklerinin büyümesi, depremler (Kobayashi vd., 1990), volkanik patlamalar ve tsunamiler tarafından tetiklenebilmektedir. Kaya düşmelerinin ve sonucunda meydana gelebilecek hasarların azaltılması amacıyla kaya düşmesi olayının mekanizmasının ortaya konulması, nedenlerinin değerlendirilmesi (Binal & Ercanoğlu, 2010) ve yerleşim alanları ile ulaşım güzergahlarında kaya düşmesi analizleri yapılarak, düşme potansiyeline sahip kaya bloklarının sınırlarının belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır (Topal vd., 2012; Akın vd., 2019). Kaya düşmesi konusundaki bilimsel literatür göz önüne alındığında, kinematik analiz, sayısal modelleme, coğrafi bilgi sistemi tabanlı değerlendirmeler (Crosta & Agliardi, 2003; Ercanoğlu & Aksoy, 2004; Aksoy & Ercanoğlu, 2006) ve iki veya üç boyutlu modelleme yaklaşımları (Tunusluoğlu & Zorlu, 2009; Tunar Özcan vd., 2021; San vd., 2020; Tağa & Zorlu, 2017, Kayabaşı, 2018; Guzzetti vd., 2003; Kalender & Sönmez, 2019; Polat, 2020) gibi farklı tekniklerden yararlanıldığı görülmektedir. Kaya düşmelerinin modellenmesi ve düşme potansiyeli olan blokların yörüngelerinin, menzil mesafelerinin, sıçrama yüksekliklerinin ve kinetik enerjilerinin tahmin edilmesi için SAS (Bozzolo & Pamini, 1986), Kolorado kaya düşmesi simülasyonu (Pfeiffer & Bowen, 1989), STONE (Guzzetti vd., 2002), Rocfall (Stevens, 1998), Rockyfor3D (Dorren vd., 2006), CONEFALL (Jaboyedoff & Labiouse, 2011) gibi deterministik ve ampirik yöntemlere dayalı birçok iki ve üç boyutlu yazılım geliştirilmiştir.

Kaya düşmelerinin insan hayatını etkilediği alanlarda, yerleşim yerlerinde, ulaşım hatlarında meydana gelebilecek zararların önlenmesi ve/veya azaltılması için bazı kaya ıslah yöntemleri uygulanmaktadır (Nasery & Çelik, 2020). Kaya saptamaları, kablo ile sabitleme, kayaların kontrollü bir şekilde kırılması, traşlama, ankrajlı çelik kafesler gibi bazı önleme ve koruma yöntemleri kayanın harekete geçmeden önce durdurulmasına yönelik çözümler sunmaktadır. Kaya tutma hendekleri, esnek ve sabit bariyerler, toprak setleri ve geçiş tünelleri gibi bazı yöntemler ise düşme potansiyeline sahip kayaların harekete geçtikten sonra kontrollü bir biçimde durdurulmasını sağlamaktadır.

İskilip İlçe Merkezi’nin (Çorum) doğusunda yer alan Hacıpiri ve Tabakhane Mahalleleri kaya düşmesi tehdidi altındadır (Şekil 1). Geçmiş yıllarda yağışlı dönemleri takiben bölgede yer alan hanelerde önemli hasarlara neden olan kaya düşmesi olayları gerçekleşmiştir. 142 konut, 2 depo, 7 işyeri ve 4 kamu binasının bu kaya düşmesi olaylarından etkilendiği ve/veya etkilenme potansiyeline sahip olduğu Çorum İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (AFAD) tarafından rapor edilmiş olup, bu yapıların nakledilmeleri önerilmiştir (Becer, 2020). Buna rağmen kaya düşme tehlikesine sahip bu bölgede herhangi bir önlem alınmamış olup, hane halkı ikametine devam etmektedir. Bu durum dikkate alınarak, bu çalışmada Hacıpiri ve Tabakhane Mahallelerinin kaya düşme potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda hat etütleri yapılmış, süreksizliklerin set sayısı, yönelim, pürüzlülük, bozunma, açıklık, aralık, dolgu vb. özellikleri belirlenmiştir. Saroglou vd. (2012) tarafından önerilen kaya düşme risk sınıflaması yöntemi kullanılarak inceleme alanının kaya düşmesi riski değerlendirilmiştir. Ayrıca, süreksizlik kontrollü duraysızlıkların tespit edilmesi için kinematik analizler yapılmış ve bunlara ek olarak düşme potansiyeline sahip blokların düşme sırasında izleyebilecekleri yörünge, menzil mesafesi, sıçrama yüksekliği ve kinetik enerjilerini belirlemek için dört hat boyunca iki boyutlu kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Son olarak olası kaya düşmelerini engelleyici kaya tutma bariyerleri modellenerek analizlerin işlevselliğinin artırılması hedeflenmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası.

2. Çalışma Alanının Tanıtımı ve Jeolojik Özellikleri

İnceleme alanı İskilip'in doğusunda yer alan, Akçay deresinin doğusu ile Koçkayaşı tepesinin batısı ile sınırlandırılmış Hacıpiri ve Tabakhane Mahallelerini kapsamaktadır. Bu alanın genel bir görüntüsü Şekil 2'de sunulmuştur. İnceleme alanında topografik yükseklikler 730-820 m arasında değişmekte olup, kışları yağışlı, yazları sıcak ve kurak geçen karasal iklim koşulları egemendir. İskilip'te sıcaklıklar yıl içerisinde -6 °C ile 29°C arasında değişmektedir (Weatherspark.com, 2022). En fazla yağış Mayıs ayında olup, ortalama yağış miktarı 42 mm'dir. Yağışlı dönemleri takiben bölgede kaya düşmesi olaylarında artış yaşanmaktadır. Şekil 3'te kaya düşmesi olayından etkilenen konutlar görülmektedir. Bunun yanı sıra, inceleme alanında kaya düşme tehlikesi altındaki bazı yapılar da Şekil 4'te sunulmuştur.

Üst Kretase sonunda, Sakarya Kıtası ile Kırşehir Kıtasının çarpışması ile, bu iki kıta arasındaki İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu üzerinde oluşmuş Çankırı-Çorum havzası (Gürsoy vd., 2019) üzerinde yer alan çalışma alanının jeolojik haritası Şekil 5'te gösterilmiştir. Buna göre, Koçkayaşı Tepe ve çevresinde yüzeylenen Hacihalil Formasyonuna ait Eosen yaşlı konglomeralar, İskilip yerleşim yerinin büyük kısmını kaplayan Paleosen yaşlı kumtaşı, çamurtaşı, konglomera ardalanması ve dere yataklarında çökelen kuvaterner yaşlı alüvyonlar çalışma alanının ana jeolojik unsurlarıdır (Yalçın & Karslı, 1998).

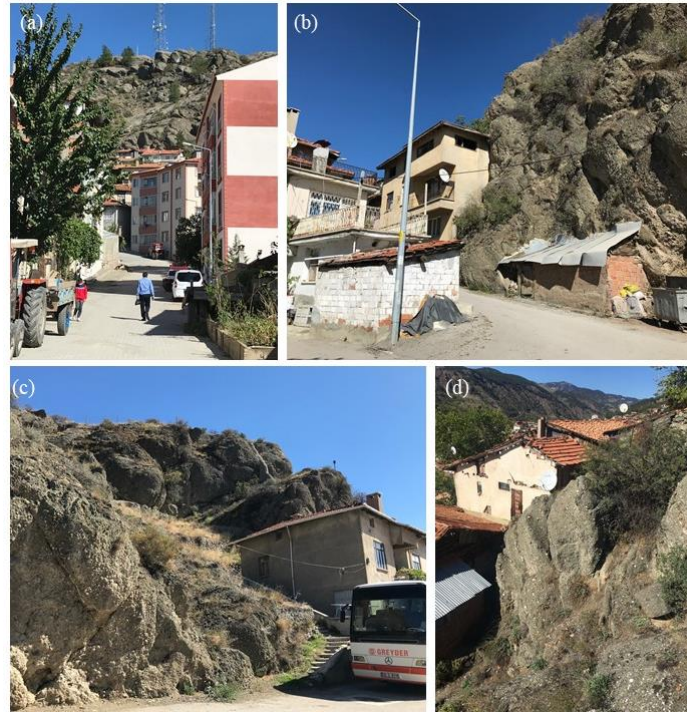
Hacıpiri ve Tabakhane Mahallelerinde mevcut kaya düşmelerinin kaynak zonu Eosen yaşlı Hacihalil Formasyonuna ait konglomeralar olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanındaki yamaç yüzeylerinde mostra veren konglomera birimi gri renkli, kırıklı, çatlaklı, yer yer kolayca dağılabilen özelliktedir. Konglomeralar üst seviyelerde kırıklı, çatlaklı olup, alt kısımlara doğru daha masif özellik göstermektedir. Konglomeraların bağlayıcı malzemesini karbonatlı seriler oluşturmaktadır olup içerisinde ince tabaka halinde killi ve jipsli seriler yer almaktadır (Yalçın & Karslı, 1998). Donma-çözünme süreçleri süreksizlik yüzeylerinin ve konglomeraların aşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca gece-gündüz sıcaklık farklılıkları, atmosferik ve klimatolojik özellikler kayaların killi ve jipsli kısımlarının aşınmasına ve dayanımının azalmasına yol açmıştır. Kayaların üst kısımları çekiç ile kolaylıkla kırılabilir sertliktedir. Yarı küresel blok şekline sahip konglomera blokları eğimin de etkisiyle harekete geçme potansiyeline sahip olmaları nedeniyle inceleme alanındaki konutlar için tehlike oluşturmaktadır.



Şekil 2. İnceleme Alanının Genel Bir Görünümü.

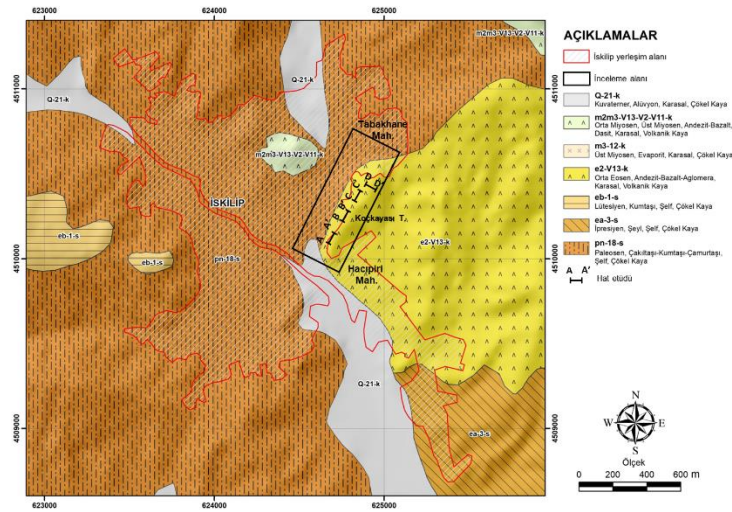


Şekil 3. Hacıpiri Mahaltesinde Kaya Düşmesinden Etkilenen Konutlar (İRAP, 2021).

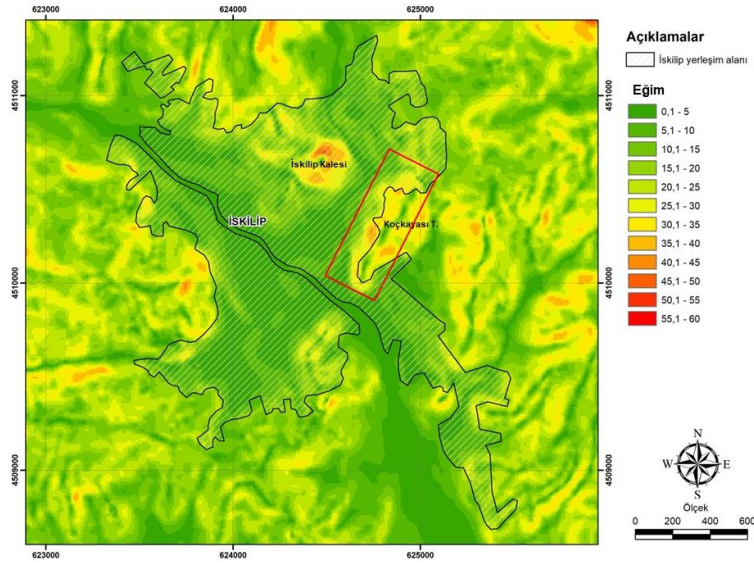


Şekil 4. Hacipiri Ve Tabakhane Mahallelerinde Kaya Düşme Tehlikesi Altındaki Bazı Yapılar.

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve yakın çevresinin eğim haritası da oluşturulmuştur (Şekil 6). Buna göre, eğim haritası üzerinde kırmızıyla işaretli bölgede kaya düşme potansiyeline sahip konglomera birimindeki eğimlerin 35° ile 60° arasında değiştiği belirlenmiştir.



Şekil 5. İnceleme Alanının Jeoloji Haritası (Sevin & Uğuz, 2011'den Düzenlenmiştir).

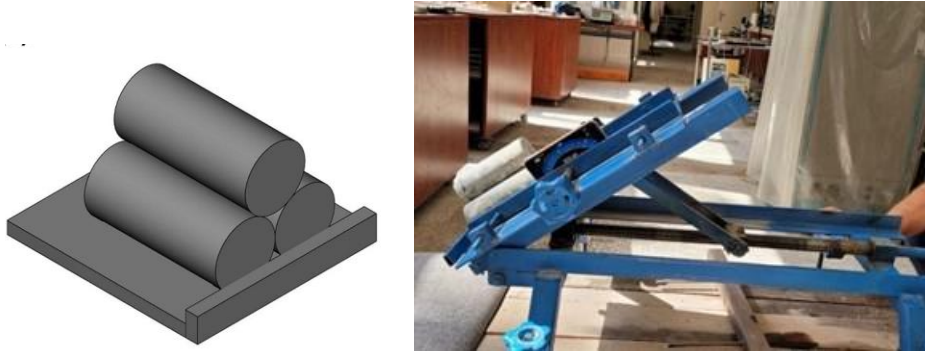


Şekil 6. İnceleme Alanı Ve Çevresinin Eğim Haritası.

3. Kaynak Kayanın Jeo-Mühendislik Özellikleri

Kaya düşmesi analizlerinde ve kaya düşmesi risk değerlendirmesinde girdi parametresi olarak kullanılacak olan konglomera kaynak kayasına ilişkin birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik yüzeylerinin dayanımı, süreksizlik sürtünme açısı gibi bazı jeo-mühendislik özellikler laboratuvar deneyleriyle ve arazi ölçümleriyle belirlenmiştir. Bu amaçla, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarında konglomera biriminden silindirik karotlar alınmış olup, bu örneklerinin ortalama birim hacim ağırlıkları 25 kN/m^3 olarak tayin edilmiştir. Yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri sonucunda konglomeranın tek eksenli sıkışma dayanımının 33 ve 77 MPa arasında değiştiği ve ortalama 52 MPa olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7.a'da gösterildiği gibi Alejano vd. (2018) tarafından önerilen çizgisel dokanaklı üç karot düzeneği Stimpson (1981) yöntemine göre tilt deneyleri (Şekil 7.b) yapılmış ve konglomeranın süreksizlik sürtünme açısının 38° olduğu saptanmıştır.



Şekil 7. (a) Çizgisel Dokanaklı Üç Karot Tilt Deney Uygulamasının Şematik Görünümü (Stimpson, 1981; Alejano Vd., 2018) (b) Süreksizlik Sürtünme Açısının Tilt Deneyleriyle Belirlenmesi.

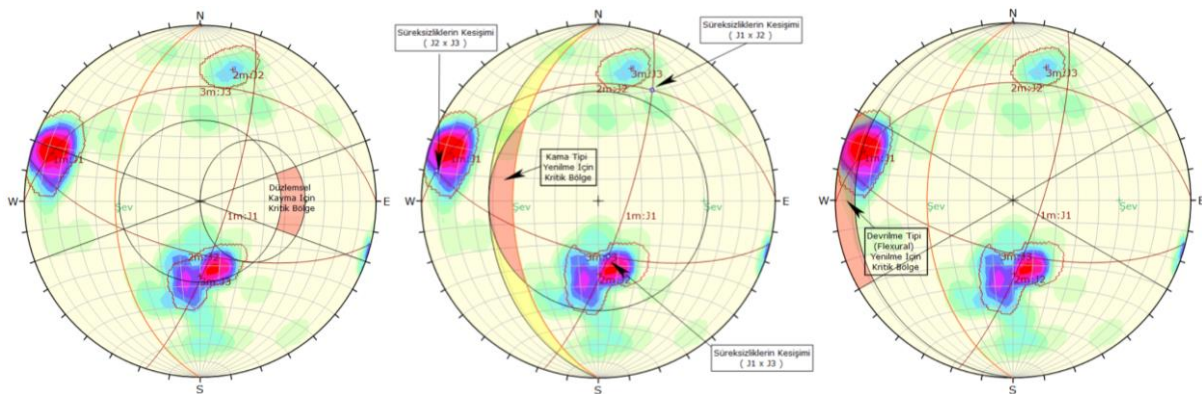
Konglomera kaynak kaya kütlelerinin süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanında 4 profil boyunca hat etütleri yapılmıştır. Bu kaynak kaya kütleleri her bir hat etütünde ölçülen parametreler dikkate alınarak kaya kütlelerinin yapısını ve süreksizliklerin yüzey koşulunu esas alan niceliksel jeolojik dayanım indeksi (GSI) sistemine (Sönmez & Ulusay, 1999; 2002) göre sınıflandırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Buna göre, ortalama 3 süreksizlik sistemine sahip kaynak konglomeranın GSI değerinin 47 ile 57 arasında değiştiği belirlenmiş olup, bloklu-çok bloklu bir kaya kütleli olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, süreksizlik yüzeylerinin dayanımının (JCS) belirlenmesi için inceleme alanında Schimidt çekici deneyleri yapılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre konglomera kaya kütlelerindeki süreksizlik yüzeylerinin dayanımı ortalama 24 MPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Kaynak Kaya Kütesinin Hat Etütleri Boyunca Belirlenen Bazı Özellikleri

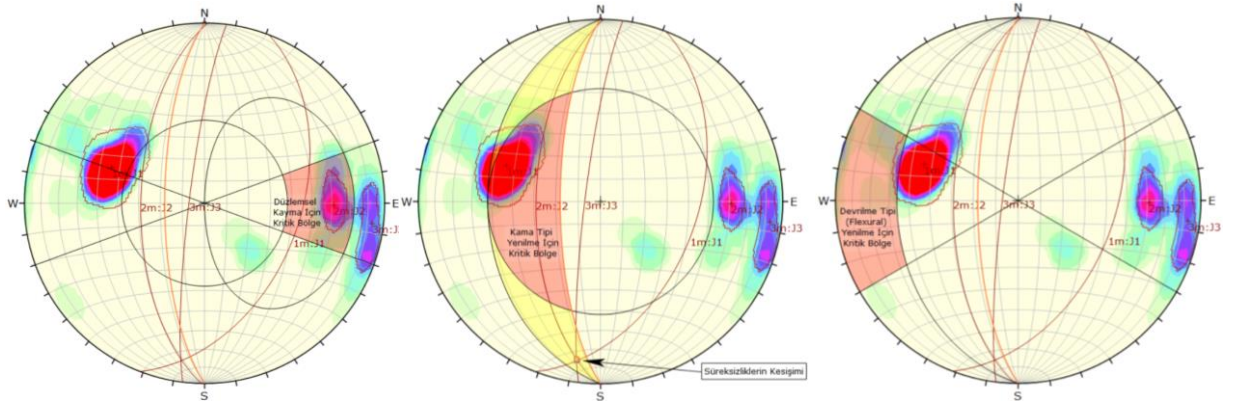
Özellik	Profil	AA'	BB'	CC'	DD'
Süreksizlik set sayısı		3	3	4	2
Süreksizlik seti eğim/eğim yönü		77/108	46/111	35/100	46/103
		33/358	61/271	74/235	75/322
		66/194	83/277	71/277	58/332
Hacimsel eklem sayısı, J_v (eklem/m ³)		2.8	2.1	3.4	1.8
Blok boyutu (m ³)		1.5	5.2	2.4	5
Pürüzlülük puanı, R_r		5	5	5	5
Bozunma puanı, R_w		3	3	3	3
Dolgu puanı, R_f		2	2	0	2
Süreksizlik yüzey koşulu puanı, SCR		10	10	8	10
Yapısal özellik puanı, SR		62	67	58	70
GSI		53	56	47	57

4. Kinematik Analizler

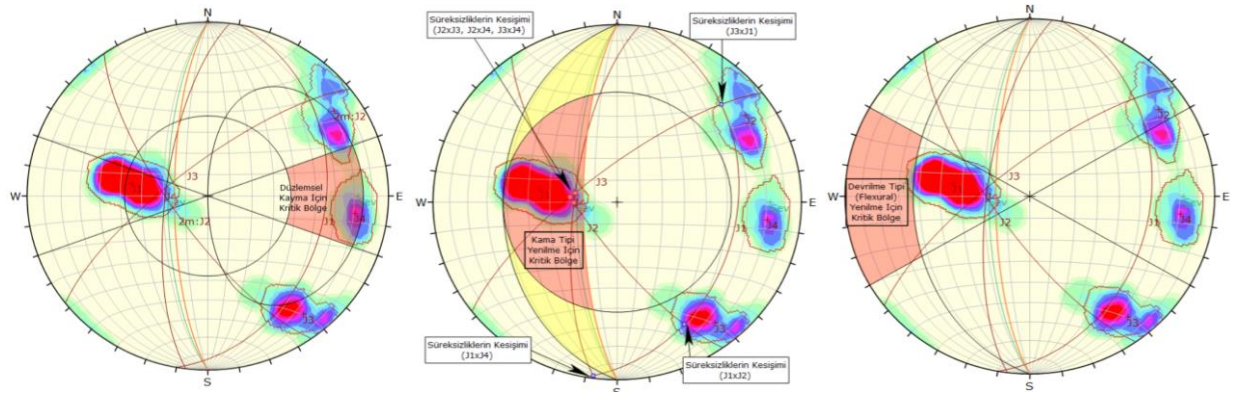
Kinematik analiz yöntemi kaya kütlelerinde süreksizlik sistemleri tarafından kontrol edilen, düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların belirlenmesi amacıyla ayrıntılı analizlere başlanmadan önce yararlanılan pratik bir yöntemdir (Ulusay, 2010). İnceleme alanında bu tür duraysızlıkların değerlendirilmesi için her bir hat etüdü profili için Dips v7.016 (Rocscience, 2022a) programı kullanılarak kinematik analizler yapılmıştır. AA' profili için yapılan analizler değerlendirildiğinde bu alanda 3 ana süreksizlik setinin olduğu ve herhangi bir düzlemsel ve kama türü duraysızlığın gerçekleşmediği saptanmıştır. Buna karşın devrilme türü duraysızlık için yapılan kinematik analizlerde eğim/eğim yönü 77/108 olan süreksizlik setinin kutup noktalarının %41'inin kritik bölgenin içine düştüğü belirlenmiştir. Buna göre AA' profili için kritik duraysızlık modeli devrilme olarak tanımlanabilir (Şekil 8). BB' profili için yapılan kinematik analizler Şekil 9'da sunulmuştur. Buna göre, BB' profilinde düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıkların tümünün gerçekleşme potansiyelinin bulunduğu analiz sonuçlarından görülmektedir. Doğal şev eğim/eğim yönünün genel olarak 75/270 olduğu CC' profili için yapılan analizlerde kaya kütesinin dört ana süreksizlik seti tarafından bölündüğü saptanmıştır (Şekil 10). Bu profil için yapılan kinematik analizlerde eğim/eğim yönü 71/277 olan süreksizlik setinin %75'inin düzlemsel kayma kritik bölgesine girmektedir. Buna ek olarak, üç eklem takımına ait kesişim noktalarının kama türü duraysızlık kritik bölgesinin içinde olduğu belirlenmiştir. Eğim yönü KKB (340) olan DD' profili boyunca düzlemsel ve kama türü duraysızlıkların gerçekleşme potansiyelinin olduğu kinematik analizlerle belirlenmiştir (Şekil 11). Tüm kinematik analiz sonuçları saha gözlemleriyle uyumlu olup, Şekil 12'de inceleme alanında ölçüm yapılan profiller boyunca gerçekleşmiş düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklara ait örnekler sunulmuştur.



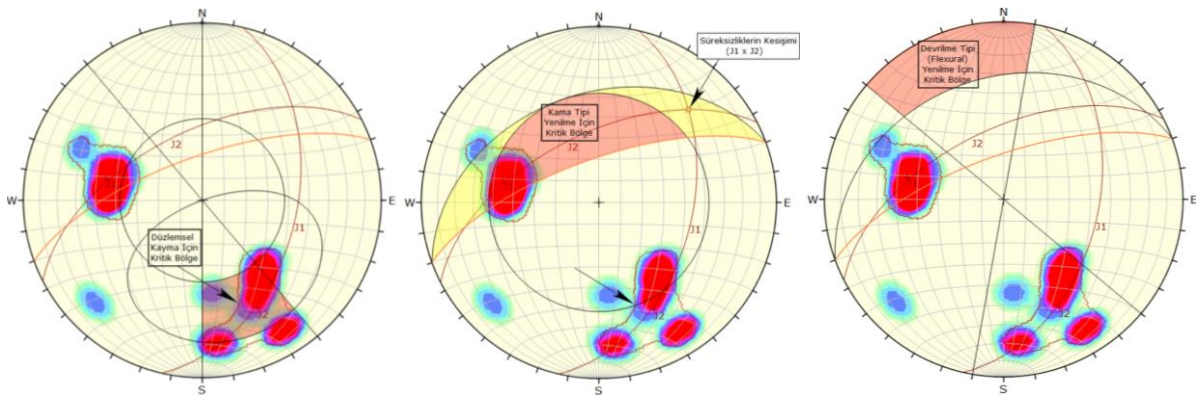
Şekil 8. AA' Profiline Ait Düzlemsel Kayma, Kama Ve Devrilme Türü Duraysızlıklar İçin Yapılan Kinematik Analizler.



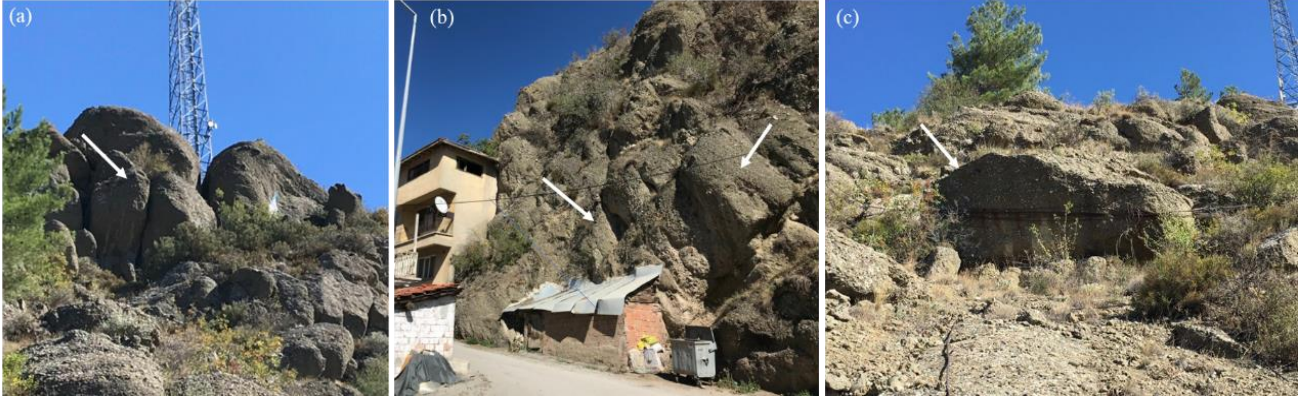
Şekil 9. BB' Profiline Ait Düzlemsel Kayma, Kama Ve Devrilme Türü Duraysızlıklar İçin Yapılan Kinematik Analizler.



Şekil 10. CC' Profiline Ait Düzlemsel Kayma, Kama Ve Devrilme Türü Duraysızlıklar İçin Yapılan Kinematik Analizler.



Şekil 11. DD' Profiline Ait Düzlemsel Kayma, Kama Ve Devrilme Türü Duraysızlıklar İçin Yapılan Kinematik Analizler.



Şekil 12. (a) AA' Profili Yakınlarında Gözlenen Devrilme Türü Duraysızlık, (b) BB' Profili Civarında Gerçekleşmiş Kama Tipi Kayma, (c) CC' Profili Yakınında Düzlemsel Kayma Potansiyeline Sahip Bir Kaya Bloğunun Çelik Halat İle Desteklenmesi.

5. Kaya Düşmesi Risk Değerlendirmesi

Literatürdeki kaya düşmesi riski değerlendirme sistemleri çoğunlukla karayolu ve demiryolu şevlerindeki kaya düşmesi riskinin değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilmiştir (Saroglou vd., 2022). Saroglou vd. (2022), şev geometrisi, kaynak bölgenin konumu, şev pürüzlülüğü, bitki örtüsü, süreksizlik özellikleri, yağış ve sismik aktivite gibi parametreler ve önceki kaya düşmelerine ilişkin bilgileri kapsayan, doğal ve yapay şevlerin kaya düşme riskinin hesaplanmasında uygulanabilen bir kaya düşmesi risk sınıflama sistemi önermişlerdir. Bu çalışma kapsamında, Hacıpiri ve Tabakhane Mahallerinin kaya düşme riski kaya düşmesi risk sınıflama sistemine (Saroglou vd., 2022) göre değerlendirilmiştir. Bu amaçla inceleme alanı benzer özelliklere sahip kısımlar bir grupta toplanacak şekilde A, B, C ve D olmak üzere dört bölgeye ayrılmıştır (Şekil 13). Her bir parametre için belirlenen puanlar, toplam puan ve bölgelerin risk sınıfları Tablo 2'de sunulmuştur. Buna göre inceleme alanının A, B ve C bölgelerinin yüksek, D bölgesinin ise orta derecede kaya düşmesi riskine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 13. İnceleme Alanı İçin Tanımlanmış Kaya Düşmesi Risk Sınıflaması Bölgeleri.

Tablo 2. Saroglou Vd. (2022) Tarafından Önerilen Yönteme Göre İnceleme Alanının Kaya Düşmesi Risk Sınıflaması.

Şev Bölümleri	A	B	C	D
Parametreler	Parametre ağırlık faktörüne göre hesaplanmış skor (puan)			
1. Şev açısı ($^{\circ}$)	4.20 (60)	7.00 (100)	7.00 (100)	7.00 (100)
2. Şev yüksekliği (m)	1.20 (30)	2.40 (60)	2.40 (60)	2.40 (60)
3. Kaynak zonun yüksekliği	4.20 (60)	4.20 (60)	4.20 (60)	4.20 (60)
4. Şev pürüzlülüğü	1.80 (60)	1.80 (60)	1.80 (60)	1.80 (60)
5. Şev yüzeyi bitki örtüsü	4.00 (100)	4.00 (100)	4.00 (100)	0.40 (10)
6. Süreksizlik pürüzlülüğü / dolgu malzemesi / süreksizlik açıklığı	6.00 (100)	6.00 (100)	6.00 (100)	6.00 (100)
7. Süreksizlik yönelimi	5.00 (100)	5.00 (100)	5.00 (100)	3.00 (60)
8. Süreksizlik devamlılığı	1.20 (30)	2.40 (60)	2.40 (60)	1.20 (30)
9. Süreksizlik yüzeyi dayanımı (JCS, MPa)	0.30 (30)	0.30 (30)	0.30 (30)	0.30 (30)
10. Sağlam kaya dayanımı (MPa)	0.60 (60)	0.60 (60)	0.60 (60)	0.60 (60)
11. Blok hacmi (m^3)	1.20 (30)	2.40 (60)	2.40 (60)	2.40 (60)
12. İncelenen şev genişliği boyunca önceden düşmüş tahmini blok sayısı	2.00 (100)	2.00 (100)	2.00 (100)	1.20 (60)
13. Karstlaşma	0.20 (10)	0.20 (10)	0.20 (10)	0.20 (10)
14. Yağış koşulları ve yoğunluğu	0.90 (30)	0.90 (30)	0.90 (30)	0.90 (30)
15. Permeabilite / Şevdeki drenaj durumu	0.90 (30)	0.90 (30)	0.90 (30)	0.90 (30)
16. Sismik tehlike (yer ivmesi, a)	2.40 (60)	2.40 (60)	2.40 (60)	2.40 (60)
17. Kaya tutma zonunun genişliği (m)	3.00 (30)	3.00 (30)	3.00 (30)	1.50 (15)
18. Kaya düşmesi geçmişi	1.50 (30)	1.50 (30)	1.50 (30)	0.75 (15)
19. Şevin ulaşılabilirliği	1.50 (30)	1.50 (30)	1.50 (30)	1.50 (30)
20. Çarpmanın potansiyel sonuçları ve yapıların değeri	20.00 (100)	20.00 (100)	20.00 (100)	20.00 (100)
Toplam Puan (10 ile 100 arasında)	62.10	68.50	68.50	58.65
Risk Sınıfı	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK	ORTA

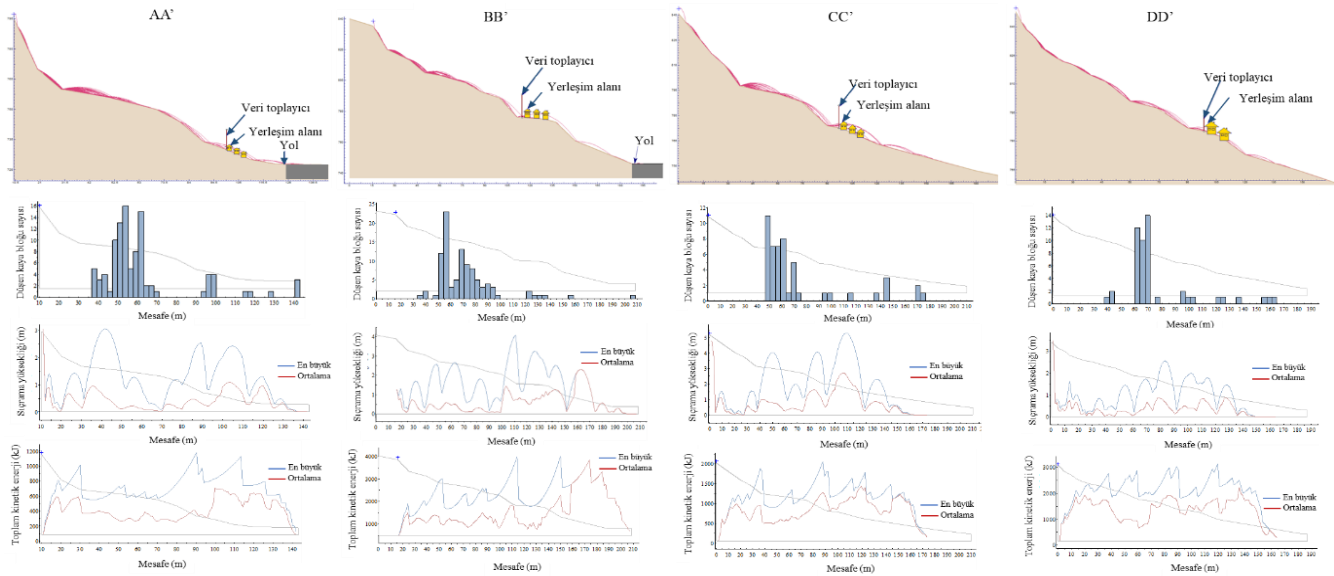
5. Kaya Düşmesi Analizleri

Son yıllarda kaya düşmesinin tahminine yönelik bazı pratik simülasyon programları geliştirilmiş ve bu programlar kaya mühendisliği uygulamalarında geniş yer bulmuştur. Bu programlar yardımıyla şev geometrisi, sürtünme katsayısı, kaya bloklarının boyut ve şekli, normal ve teğetsel geri sıçrama katsayıları (R_n , R_t) gibi parametreleri kullanarak kaya düşmesi davranışı modellenip, düşme potansiyeline sahip blokların izleyeceği yol, ulaşacağı maksimum mesafe, sıçrama yüksekliği ve toplam kinetik enerji miktarları belirlenmektedir. Kinematik analizler ve kaya düşme riski değerlendirmelerinin yanı sıra bu çalışmada etkin sonuçlar elde edilmesi ve kullanım kolaylıkları nedeniyle iki boyutlu RocFall v.8.016 (Rocscience, 2022b) yazılımı kullanılarak inceleme alanının topoğrafik haritasından elde edilmiş dört profil boyunca kaya düşmesi modellemesi yapılmıştır. Kaya düşmesi modellemeleri RocFall yazılımının

içerdiği parçalı kütle (lumped mass) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaya düşme analizlerinde kullanılan yörünge modelleri içerisinde en önemli girdi parametrelerinden biri geri sıçrama katsayısıdır (Ulusay vd., 2006; Çapar, 2018). Normal geri sıçrama katsayısı (R_n) enerji kaybı olarak tanımlanır ve şev yüzeyini kaplayan malzemenin elastisitesiyle belirlenmektedir. Teğetsel geri sıçrama katsayısı (R_t) ise yüzey pürüzlülüğü ve bitki örtüsü gibi şev karakteristikleri tarafından kontrol edilmektedir (Dorren vd., 2004). İnceleme alanında kaya düşmelerinin konglomera birimi üzerinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu konglomera birimi için normal ve teğetsel geri sıçrama katsayıları geriye dönük analizlerle sırasıyla 0.5 ve 0.85 olarak saptanmıştır. Süreksizlik sürtünme açısı daha önce de belirtildiği gibi tilt deneylerinden 38^0 olarak tayin edilmiştir. İnceleme alanında yapılan ölçümlere göre blok boyutları 1 m^3 ile 20 m^3 arasında değişim göstermektedir. Her bir profil için o profile ait ortalama blok boyutu analizlerde girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Analizlerde fırlatılan blok sayısı 100, ilk hız 1 m/s olarak seçilmiştir.

Yukarıda değinilen tüm parametreler dikkate alınarak yapılan kaya düşmesi analizlerinin sonuçları Şekil 14'te sunulmuştur. Bu analiz sonuçlarına göre düşmesi muhtemel blokların yerleşim yerlerine ve hatta yola kadar ulaşabileceği görülmektedir. Düşme potansiyeline sahip blokların menzil mesafelerinin 140 m ile 210 m arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu blokların hem kaynak kaya hem de blokların üzerinde hareket edeceği temel zemin olan konglomera çarparak sıçrayabilecekleri en büyük ve ortalama yüksekliklerin ve blokların hareketi esnasında oluşabilecek toplam kinetik enerjilerinin menzil mesafesine göre değişimi de belirlenmiştir. (Şekil 14).

Bu çalışma kapsamında Hacıpıri ve Tabakhane Mahallelerinde meydana gelebilecek kaya düşmelerini engellemek ve oluşabilecek hasarları azaltmak için kaya tutma bariyerleri de RocFall (Rocscience, 2022b) yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Analizlerde kaya tutma bariyerlerin taşıyabileceği en büyük enerji seviyesinin belirlenebilmesi için daha önce yapılmış olan bariyersiz kaya düşmesi analizlerinde evlerin yakınına veri toplayıcı yerleştirilmiş olup bu veriler değerlendirilerek kaya tutma bariyerlerinin özellikleri belirlenmiştir. Buna göre her profil için farklı yüksekliklerde ve farklı enerji sönümleme kapasitesine sahip esnek bariyerler tasarlanmıştır (Tablo 3). Kaya düşmesi analizlerinde kaya blokları şevin en yüksek kısmından ($790 \text{ m} - 820 \text{ m}$ kotlarından) düşürülmüş olup, bu kısım yerleşim yerlerine yatay ekseninde yaklaşık $100\text{-}150 \text{ m}$ uzaklığındadır. Düşmesi beklenen kayalar sadece en yüksek kottan beklenmemekte ve potansiyel kaya düşmesi kaynak alanı yerleşim yerlerine daha yakın mesafelerden de kopabilecek kaya bloklarının mevcut olduğunu göstermektedir. Bu nedenle esnek kaya düşmesi bariyerlerinin yerleşim yerine yakın konumda olması gerekmektedir.

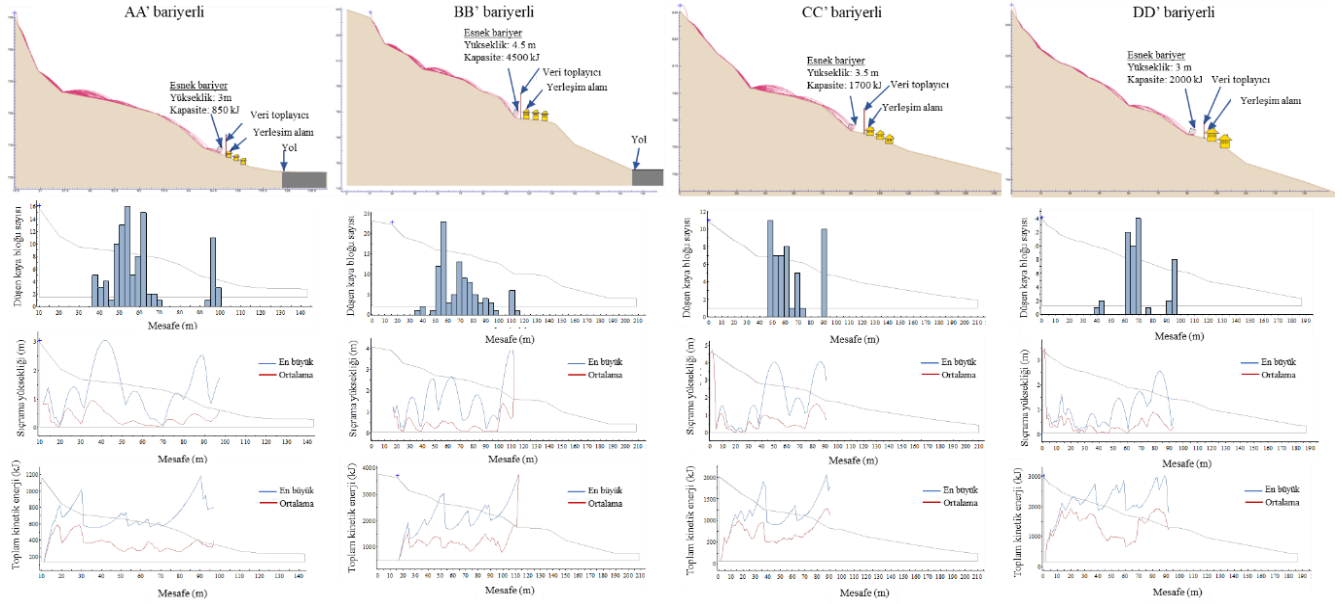


Şekil 14. AA', BB', CC' ve DD' Kesitleri İçin Düşme Potansiyeline Sahip Kaya Bloklarının İzleyeceği Yol, Ulaşacağı Maksimum Mesafe, Sıçrama Yüksekliği Ve Toplam Kinetik Enerji Grafikleri.

Bariyerli kaya düşme analizlerinin sonuçları Şekil 15'te sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre inceleme alanında Tablo 3'te verilen özelliklere sahip olan esnek bariyerlerin inşa edilmesiyle düşme potansiyeli olan kaya bloklarının yerleşim yerine ulaşmasının önüne geçilebileceği ortaya konulmuştur.

Tablo 3. Kaya Düşmesi Analizlerinde Kullanılan Bariyerlerin Yükseklikleri Ve Kapasiteleri.

Profil	Bariyer Yüksekliği (m)	Bariyer Kapasitesi (kJ)
AA'	3.0	850
BB'	4.5	4500
CC'	3.5	1700
DD'	3.0	2000



Şekil 15. AA', BB', CC' ve DD' Kesitleri İçin Esnek Bariyer Yapıldıktan Sonra Düşme Potansiyeline Sahip Kaya Bloklarının İzleyeceği Yol, Ulaşacağı Maksimum Mesafe, Sıçrama Yüksekliği Ve Toplam Kinetik Enerji Grafikleri.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada Hacıpiri ve Tabakhane Mahallelerinin kaya düşme potansiyeli kinematik analizler, kaya düşme risk değerlendirme sistemi ve kaya düşmesi simülasyonlarıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- (i) İnceleme alanında yağışlı dönemlerin ardından yerleşim yerlerine hasar veren kaya düşmesi olayları gerçekleşmektedir. Kaya düşmelerinin Eosen yaşlı Hacihalil Formasyonuna ait konglomeralarda bozunmaya bağlı serbestleşme sonucunda meydana geldiği izlenmiştir.
- (ii) Konglomeraların ortalama birim hacim ağırlıklarının 25 kN/m^3 tek eksenli sıkışma dayanımının ortalama 52 MPa ve süreksizlik sürtünme açısının 38° olduğu laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir. GSI değeri 47 ile 57 arasında değişen, ortalama 3 süreksizlik setine sahip konglomeranın kaynak kaya kütlesi bloklu-çok bloklu bir kaya kütlesi olarak sınıflandırılmıştır. Blok boyutlarının 1 m^3 ile 20 m^3 arasında değiştiği ve ortalama $3,5 \text{ m}^3$ olduğu saptanmıştır.
- (iii) İnceleme alanında düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızların gerçekleştiği gözlenmiş ve kinematik analizlerle de bu durum doğrulanmıştır.
- (iv) Saroglou vd. (2012), tarafından önerilen kaya düşmesi risk sınıflama sistemine göre inceleme alanındaki A, B ve C bölgelerinin yüksek, D bölgesinin ise orta derecede kaya düşmesi riskine sahip olduğu belirlenmiştir.
- (v) Rocfall yazılımı kullanılarak yapılan kaya düşmesi simülasyonlarında düşme potansiyeline sahip blokların mesafelerinin 140 m ile 210 m arasında değiştiği ve bu blokların yerleşim yerlerine kadar ulaşabildiği görülmüştür. 3 m – $4,5 \text{ m}$ yüksekliğinde ve 850 – 4500 kJ kapasitesinde esnek kaya tutma bariyerleriyle bu blokların yerleşim yerlerine ulaşmasının önlenilebileceği yapılan analizlere ortaya konmuştur.
- (vi) Kaya düşme potansiyeli önemli ölçüde yüksek olan inceleme alanında gerçekleşebilecek bir kaya düşmesi afetinde can ve mal kayıpları yaşanmaması için gerekli önlemlerin ivedilikle alınması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında yapılan laboratuvar deneyleri sırasında desteklerini esirgemeyen H.Ü. Mühendislik Jeolojisi Laboratuvarı teknisyenleri Özgür Erol ve Ahmet Bay'a, inceleme alanına ilişkin haritaların hazırlanmasında vermiş olduğu destek için Bülent Topuz'a, Rocfall yazılımının temin edilmesindeki katkısı için sevgili hocam Prof. Dr. Ömer Aydan'a, arazi çalışmaları sırasındaki destekleri için Gökhan Uğuz ve Genco Özcan'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Akın, M., Dinçer İ., Orhan A., Ok A.Ö., Muge A. & Topal T. (2019). Kaya tutma hendek performansının 3-boyutlu kaya düşme analizleriyle değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) örneği, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43, 211-232.

Aksoy H. & Ercanoğlu M. (2006). Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using a rule-based fuzzy evaluation, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 941-954.

Alejano L.R., Muralha J., Ulusay R., Li C.C., Pérez-Rey I., Karakul H., Chryssanthakis P. & Aydan Ö. (2018). ISRM Suggested Method for Determining the Basic Friction Angle of Planar Rock Surfaces by Means of Tilt Tests, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51, 3853-3859.

Aydan Ö. (1989). The stabilization of rock engineering structures by rockbolts, Doctorate Thesis, 204p, Nagoya University, 1989.

Becer M. M., Demir, B. & Şener, A. (2020). İskilip İlçesi Hacıpıri – Tabakhane Mahallesi Jeolojik Etüt Raporu. Çorum İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2020.

Binal A. & Ercanoğlu M. (2010). Assessment of rockfall potential in the Kula (Manisa, Turkey) geopark region, *Environmental Earth Science*, 61(7), 1361-1373.

Bozzolo D. & Pamini R. (1986). Simulation of rock falls down a valley side, *Acta Mechanica*, 63, 113-130.

Çapar N. (2018). Kaya Düşmesi Analizinde Geri Sıçrama Katsayısının Etkisinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Ankara, 186.

Crosta G.B. & Agliardi F. (2003). A methodology for physically based rockfall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 407-422.

Cruden M.D. & Varnes J.D. (1996). Landslide types and processes, *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transport Research Board, Washington DC, 36-75.

Dorren L. K. A, Maier B., Putters U. S. & Seijmonsbergen A. C. (2004). Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps. *Geomorphology* 57:151-167.

Dorren L.K.A., Berger F. & Putters U.S. (2006). Real size experiments and 3D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 145-153.

Ercanoğlu M. & Aksoy, H. (2004). Ankara Kalesi ve civarındaki kaya şevleri için potansiyel duraysızlık haritası. *Yerbilimleri*, 25 (29), 97-114.

Gürsoy M., Demircan H., Aydın A., Görmüş M. & Tunoğlu C. (2019). Çankırı-Çorum Havzası Eosen-Oligosen stratigrafisi ve paleocoğrafyası, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 28, 49-53.

Guzzetti F., Crosta G., Detti R., & Agliardi F. (2002). STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rockfalls, *Computers and Geosciences*, 28 (9), 1079-1093.

Guzzetti F., Reichenbach P. & Wieczorek G.F. (2003). Rockfall hazard and risk assessment in the Yosemite Valley, California, USA. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3, 491-503.

İRAP (2021). T.C. Çorum Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü İl Afet Risk Azaltma Planı, 146.

Jaboyedoff M. & Labiouse V. (2011). Preliminary estimation of rockfall runout zones. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 11:819-828.

- Kalender A., Sönmez H. (2019). Kargabedir Tepe (Ankara-Eskişehir Karayolu) Bölgesinin Kaya Düşmesi Duyarlılığının İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri Kullanılarak Konik Yayılım Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43, 187-210.
- Kayabaşı A. (2018). The assesment of rockfall analysis near a railroad: a case study at the Kızılinler village of Eskişehir, Turkey, *Arabian Journal of Geoscience*, 11, 800.
- Kobayashi Y., Harp E.L. & Kagawa T. (1990). Simulation of rockfalls triggered by earthquakes, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 23, 1-20.
- Matsuoka N. & Sakai H. (1999). Rockfall activity from an alpine cliff during thawing periods, *Geomorphology*, 28, 309-328.
- Nasery M.M. & Çelik M. (2020). Kaya Islahı Çalışmalarında Birleşik Çözümlerin İncelenmesi: Trabzon Kaymaklı Örneği, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25 (1).
- Pfeiffer, T.J. & Bowen T.D. (1989). Computer simulation of rockfalls. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 1, pp 135-146.
- Polat, A. (2020). Cbs Tabanlı 3b Kaya Düşmesi Analizi Ve Veri Hazırlama Süreçleri: Kavak Köyü(Sivas-Türkiye) Örneği, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25 (3).
- Polat, S. & Güney, Y. (2013). Bağbaşı Köyü'nde (Uşak) Kaya Düşmesi. *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6 (1), s 198-224.
- Ritchie A.M. (1963). Evaluation of Rockfall and its Control. *Stability of Rock Slope Vol 17, Highway Research Board, National Academy of Sciences-National Research Council., Washington, DC*, pp 13-28.
- Rocscience (2022a) <https://www.rocscience.com/software/dips>, Dips v7.016, 2022.
- Rocscience (2022b) Rocfall 2D software, Rocscience Inc.,Toronto, Canada, 2022.
- San N.E., Topal T. & Akin, M.K. (2020). Rockfall Hazard Assessment Around Ankara Citadel (Turkey) Using Rockfall Analyses and Hazard Rating System, *Geotechnical and Geological Engineering*, 38, 3831-3851, 2020.
- Saroglou H., Marinos V., Marinos P. & Tsiambaos G. (2012). Rockfall hazard and risk assessment: an example from a high promontory at the historical site of Monemvasia, Greece. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 12, 1823-1836, 2012.
- Sevin M. & Uğuz M.F. (2011). 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Çankırı G32 paftası. MTA Yayınları No: 148, 2011.
- Sönmez H. & Ulusay R. (2002). A discussion of the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, 26, 77-90, 2002.
- Sönmez H. & Ulusay R. (1999) Modifications to the geological strength indeks (GSI) and their applicability to stability of slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 36 (6), 743-760.
- Stevens, W. D. (1998). Rocfall: A tool for probablistic analysis, design of remedial measures and prediction of rockfalls, Master's thesis, University of Toronto, http://www.rocscience.com/library/pdf/rf_3.pdf, 1998.
- Stimpson B. (1981). A suggested technique for determining the basic friction angle of rock surfaces using core. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science Geomechanics Abstracts*, 18, 63-65, 1981.
- Taga H. & Zorlu K. (2017). Assessment of Rockfall Hazard on Steep Slopes: Ermenek (Karaman, Turkey), *Yerbilimleri*, 38 (2), 161-178.
- Tokashiki N. & Aydan Ö. (2010). The stability assessment of overhanging Ryukyu limestone cliffs with an emphasis on the evaluation of tensile strength of Rock Mass. *Journal of Geotechnical Engineering, JSCE*, 66(2), 397-406.
- Topal, T., Akin, M. K. & Akin, M. (2012). Rockfall hazard analysis for an historical Castle in Kastamonu (Turkey). *Natural Hazards*, 62, pp 255-274, DOI:10.1007/s11069-011-9995-1
- Tunar Özcan N., Aydan Ö., Murayama Y., Horiuchi K. & Ulusay R. (2021). A Study on Model Experiments and Numerical Simulations on Rockfalls and Its Utilization to Assess the Rockfall Hazards in Miyagi Island (Japan) and Cappadocia (Turkey). In: Barla M., Di

- Donna A., Sterpi D. (eds) Challenges and Innovations in Geomechanics. IACMAG 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, Springer, 126, 482-490.
- Tunusluoglu M.C. & Zorlu K. (2009). Rockfall hazard assessment in a cultural and natural heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey). *Environmental Geology*, 56 (5), 963–972.
- Ulusay R., Gokceoglu C., Topal T., Sonmez H., Tuncay E., Erguler Z. A. & Kasmer O. (2006). Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia) Turkey, *Environmental Geology*, 50, 473–494.
- Ulusay R. (2010). Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No:38, Ankara, 458, 2010.
- Varnes, D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. Landslide Special Report, 176, National Academy of Sciences, Washington, DC, pp 11-33.
- Whalley W.B. (1984). Rockfalls, Wiley, New York, 217–256.
- Whetherspark (2022). <http://weatherspark.com>, erişim tarihi, 2022.
- Wyllie D.C. (2015). Rock fall engineering, CRC Press, New York.
- Yalçın H., Karslı Ş., Dodurga (Çorum) kömür havzasında karbonat ve smektit minerallerinin kökeni ve diyajenetik evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41, 95-108, 1998.