



KADIKALESİ (NEVŞEHİR-ÜRGÜP)

21 Eylül 2025 Kaya Düşmesi Ön Değerlendirme Raporu

İsmail DİNÇER¹, Mutluhan AKIN¹, Ahmet ORHAN¹, Nail USLU²

¹ NEVÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, NEVŞEHİR

²Altınoran Teknik Atölye Architecture Ltd. Co., NEVŞEHİR

28.09.2025

İÇİNDEKİLER

1.	GİRİŞ	1
2.	ÇALIŞMA YÖNTEMİ	4
3.	KAYA KÜTLE ÖZELLİKLERİ	5
4.	KAYA DÜŞME ANALİZLERİ	7
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	18

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 Kaya düşmesinin meydana geldiği bölgenin olay öncesi ve sonrasına ait ortofoto görüntüleri; a) olay öncesi, b) olay sonrası	1
Şekil 2 Kaya düşmesinin meydana geldiği yamaçta düşey süreksizlikteki açılmanın kronolojik gelişimi ve kopma sonrasına ait genel durum	2
Şekil 3 Kaya düşmesinin meydana geldiği bölgedeki mevcut önlem yapıları ve olay sonrasına ait genel görünüm	3
Şekil 4 Kaya düşmesinin meydana geldiği bölgedeki kaynak alandan düşen blokların yamaç boyunca dağılımı	4
Şekil 5 Kaya düşmesinin meydana geldiği yamaçtaki soğuma çatlaklarının oluşturduğu süreksizlik sistemleri	6
Şekil 6 Kaya düşmesi sonrası asılı halde kalan blokların genel görünümü	7
Şekil 7 Kaynak alanın üç boyutlu katı modeli ve bazı sayısal analiz sonuçları	8
Şekil 8 İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli ve üç boyutlu eğim haritası	9
Şekil 9 3-B kaya düşme analizleri için belirlenen kaya düşme kaynak alanları ve sanal olarak konumlandırılan esnek bariyer	10
Şekil 10 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen yuvarlanma hatları	11
Şekil 11 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen toplam kinetik enerji dağılımı	12
Şekil 12 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen ötelenme hızı dağılımı	13
Şekil 13 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen sıçrama yüksekliği dağılımı	14
Şekil 14 244 nolu bloğun kinetik enerji değerlerinin yuvarlanma hattı boyunca değişimi	15
Şekil 15 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen yuvarlanma hatlarının ortofoto üzerinde gösterimi	16

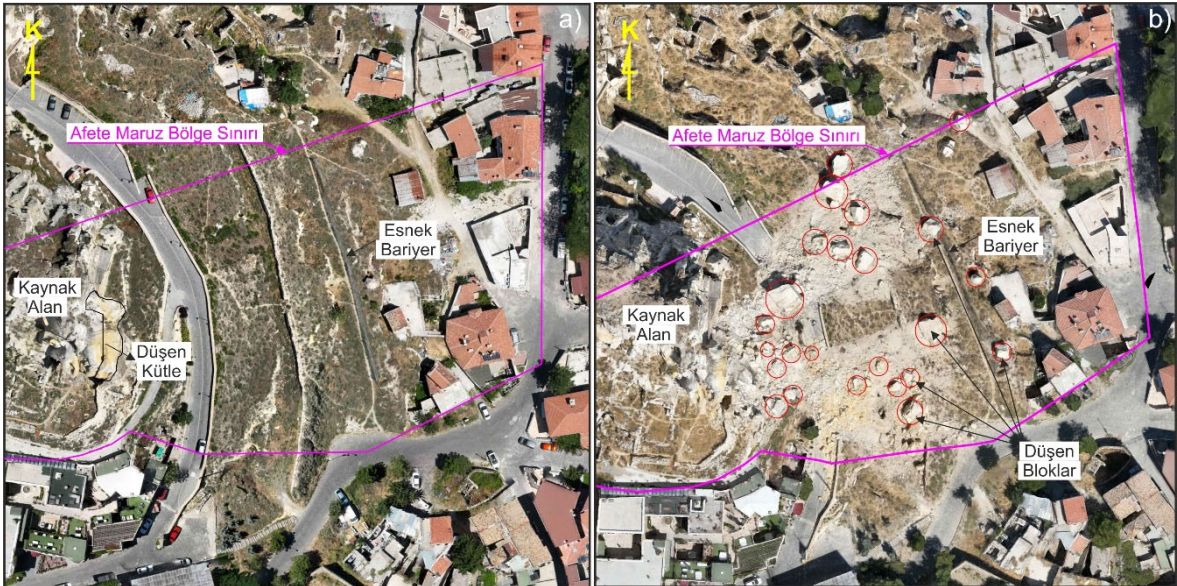
ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1 Kavak ignimbiritlerinin literatürde sunulan bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	6
--	---

1. GİRİŞ

Kapadokya bölgesi tarihi ve turistik güzelliklerinin yanı sıra jeolojik ve jeomorfolojik yapısı gereği kaya düşmeleri açısından olumsuz koşullar da içermektedir. Nevşehir ili, Türkiye geneli incelendiğinde, kaya düşmeleri açısından ilk üç sırada yer almaktadır. Jeolojik açıdan farklı dayanım özelliklerine sahip olan piroklastik ve volkanosedimanter kayaçların aralanmalı bir yapı gösterdiği bölgede, üst kotlardaki yüksek dayanıma sahip bazaltlar ve ignimbiritler kaya düşmesi kaynak zonunu oluşturmaktadır. Zaman içerisinde atmosferik koşulların ve yapısal unsurların etkisiyle düşen farklı boyutlardaki kaya blokları can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir.

21 Eylül 2025 Pazar günü saat 01:58'de Nevşehir İli, Ürgüp İlçesi Kadıkalesi mevkiinde afete maruz bölge içerisinde kalan yaklaşık 40.0 metre yüksekliğindeki sarp yamaçtan büyük bir kaya kütlesi devrilerek kopmuştur. Söz konusu yamacın doğu yönündeki eğim aşağısında bir ulaşım yolu ve az katlı konutlar bulunurken, güneyinde ise trustik tesisler yer almaktadır. Herhangi bir can ve mal kaybının meydana gelmediği olayda, kopan büyük kütlenin parçalanması sonucu oluşan bloklar kaynak alandan yaklaşık 90.0 metre uzağa ulaşmış ve konutlara yakın noktalarda durmuştur (Şekil 1).



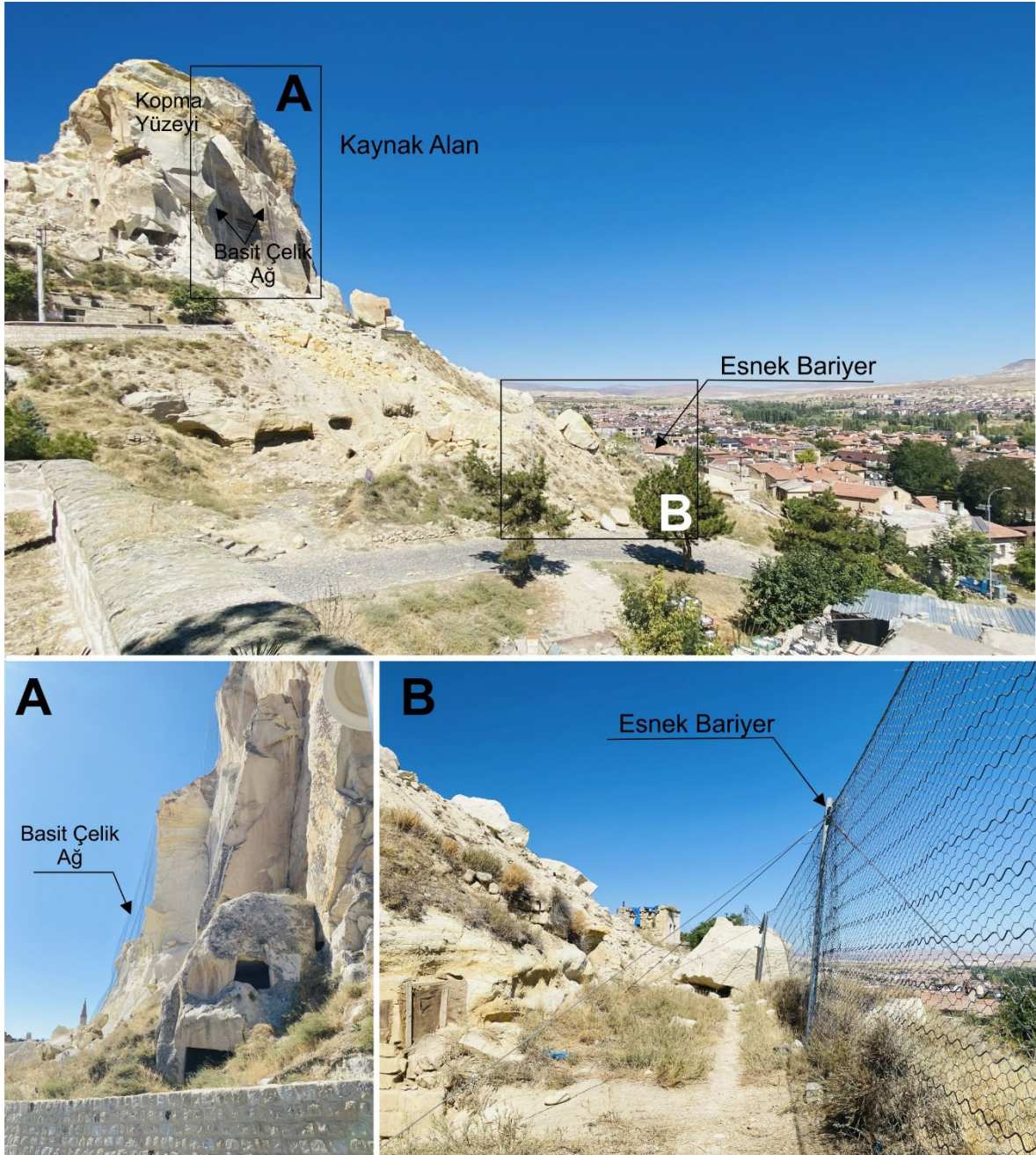
Şekil 1 Kaya düşmesinin meydana geldiği bölgenin olay öncesi ve sonrasına ait ortofoto görüntüleri; a) olay öncesi, b) olay sonrası

Olaydan 3 gün önce çevredeki vatandaşlar tarafından söz konusu yamaçta bulunan düşey süreksizliklerin açılmaya başladığı Ürgüp Belediyesi'ne iletilmiştir (Şekil 2). Bunun üzerine yerinde yapılan değerlendirmelerde açılmanın devam ettiği belirlenmiş ve olası kaya düşmesi etki alanı içerisinde gerekli tahliye işlemleri yapılmıştır. Olayın geç saatlerde meydana gelmesi ve gerekli tahliye işlemlerinin yapılmış olması büyük bir tehlikeyi önlemiştir. Öte yandan kaya düşmesinin meydana geldiği sahada 2012 yılında kaya düşme tehlikesine yönelik bazı ıslah çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, dik yamaçta kontrollü blok temizliği ve basit çelik ağ uygulaması gerçekleştirilirken, yamacın alt kotlarına yaklaşık 3.5 m yüksekliğinde bir esnek bariyer yerleştirilmiştir (Şekil 1). Son kaya düşmesi olayında, esnek bariyer bazı iri blokları durdurmasına rağmen, iri bir blok bariyerin güney kanadını ezmiştir (Şekil 3). Yapılan arazi gözlemlerinde düşen blokların ağırlığının yaklaşık 35 tona kadar ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 2 Kaya düşmesinin meydana geldiği yamaçta düşey süreksizlikteki açılmanın kronolojik gelişimi ve kopma sonrasına ait genel durum

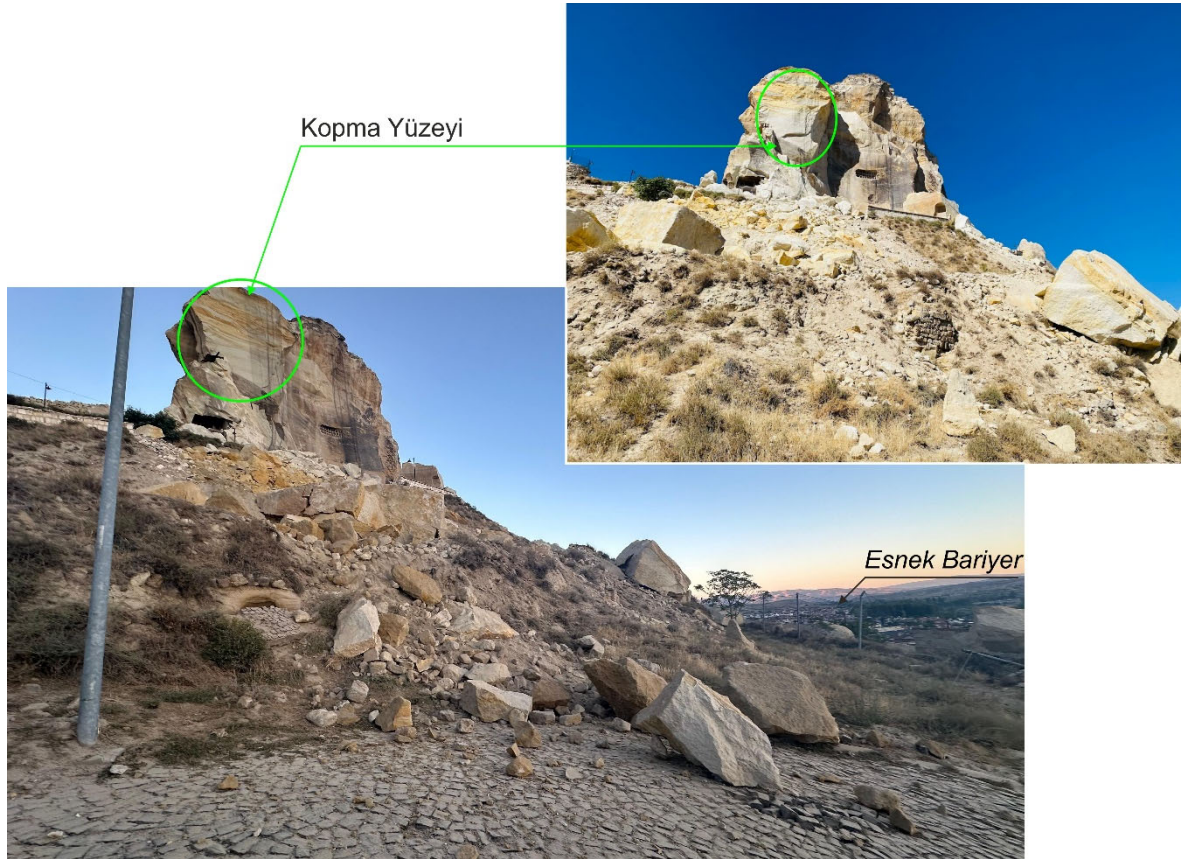
Bu rapor, meydana gelen kaya düşmesinin etkilerinin genel boyutlarıyla değerlendirilmesi, kaya düşmesi olayından sonra kaynak alanda halen asılı kalan blokların neden olabileceği tehlikenin boyutlarının ortaya konması ve bundan sonraki dönemde kaya düşmesi riskin azaltılmasına yönelik çalışmalar için karar alıcıların ihtiyacı olan ön bilginin sağlanması amacıyla hazırlanmıştır.



Şekil 3 Kaya düşmesinin meydana geldiği bölgedeki mevcut önlem yapıları ve olay sonrasına ait genel görünüm

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Bu rapor kapsamında saha gözlemleri ve ilgili yazılımlar ile sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Olay sonrası hızla sahaya gidilerek, kaynak alan, yuvarlanma zonu ve durma bölgesinde detaylı gözlemler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda kaynak alan kaya kütle özellikleri ve asılı blokların tespiti gerçekleştirildikten sonra düşen blokların boyutsal ve konumsal özellikleri tespit edilmiştir (Şekil 4). Öte yandan saha çalışmaları kapsamında sayısal analizlere altlık olan 3-B nokta bulutunun oluşturulması için İnsansız Hava Aracı (İHA) ile görüntüleme işlemi yapılmıştır.



Şekil 4 Kaya düşmesinin meydana geldiği bölgedeki kaynak alandan düşen blokların yamaç boyunca dağılımı

Bu kapsamda elde edilen yüksek çözünürlüklü bindirmeli İHA görüntülerinden çok yüksek çözünürlüğe ve hassasiyete sahip gerçek ortofoto mozayığı ve 3-B nokta bulutu üretilmiştir. Arazi çalışmalarından sonra 3-B sonlu elemanlar analizi ile yamaç duraylılığı ve olası hareket

yönü değerlendirilmiş ve bu amaç için RS3 (Rocscience, 2025) yazılımı kullanılmıştır. Daha sonra sayısal analizler ve arazi gözlemleri sonucu belirlenen kaynak alanlar için 3-B kaya düşme analizleri Rocpro3D yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Ulaşılan sonuçlar saha verileriyle karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

3. KAYA KÜTLE ÖZELLİKLERİ

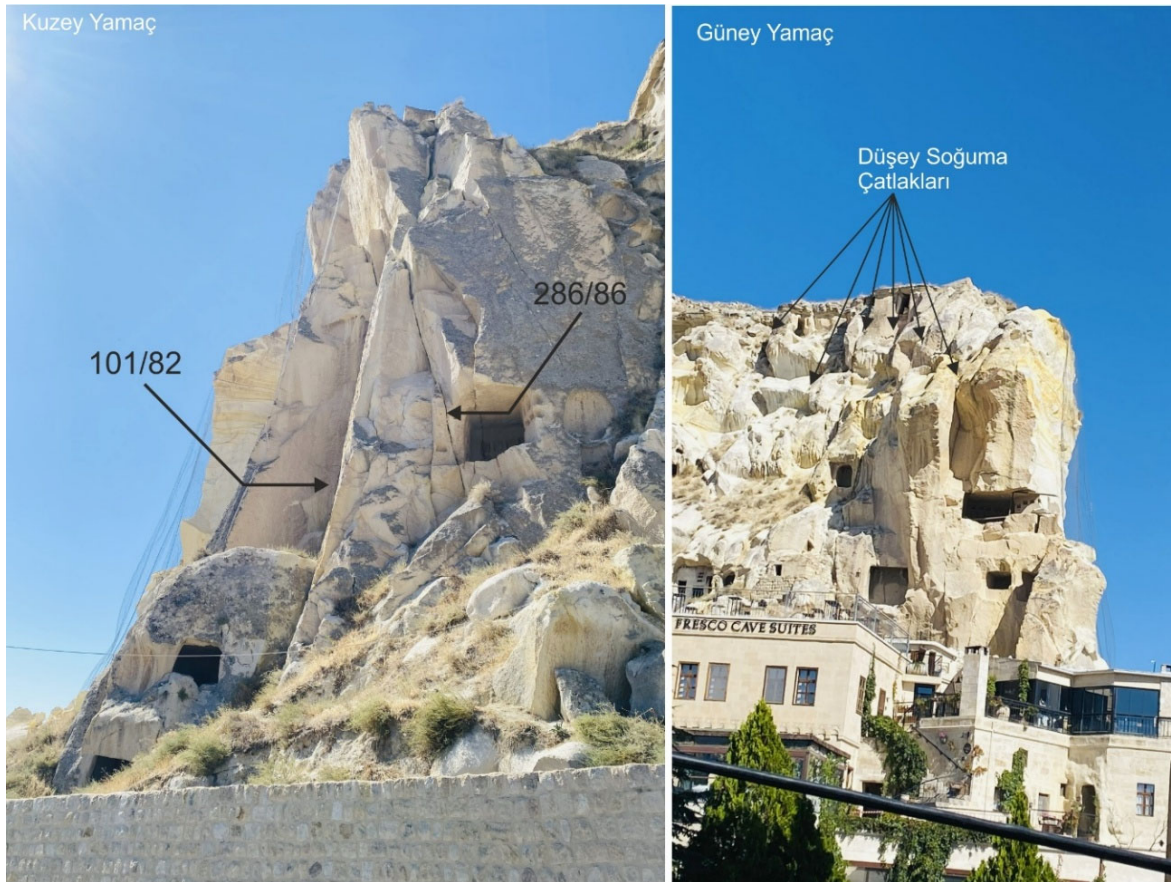
Kaya düşmesinin gerçekleştiği bölgede Ürgüp Formasyonu'nun Üst Miyosen yaşlı Kavak Üyesi ignimbiritleri gözlenmektedir. Kavak ignimbiritleri beyaz-sarımsı gri renkli, yer yer pembemsi, az-orta derecede kaynaşmış, yer yer iri pomza taneleri içeren bir yapı sergilemektedir. Bölgede zaman zaman akarsu ve görsel çökeller ile kesilen birimin kalınlığı 100 metreye ulaşmaktadır.

Zayıf kaya özellikleri sunan bu ignimbiritlerin birim hacim ağırlığı 12 ile 14 kN/m³ arasında, tek eksenli basınç dayanımı ise 2.3 ile 9.10 MPa arasında değişmektedir. Gözenekliliği oldukça yüksek olan ignimbiritlerin çekme dayanımı da oldukça düşüktür. Önceki çalışmalardan derlenen Kavak ignimbiritlerinin diğer malzeme özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

İgnimbiritler jeolojik dönemlerdeki oluşumu esnasında yüksek sıcaklıklarda (>500-600 °C) depolanan volkanik birimlerdir ve depolandıktan sonraki soğuma evresinde bünyelerinde oldukça fazla miktarda düşey ve düşeye yakın yönde soğuma çatlakları oluşmaktadır (Şekil 5). İncelemeye konu olan kaynak alanda 286/86 ve 101/82 yönelimli ve yüksek devamlılık sunan süreksizlikler tespit edilmiştir. Bu soğuma çatlakları, ignimbirit kaya kütesinin zaman içerisindeki davranışında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Düşey soğuma çatlakları zaman içerisinde ayrışmanın ve atmosferik etkenlerin sonucunda blokların yamaçtan kopmasını kolaylaştırmakta ve bloklar yamaçtan koparak dik yamaçlar önünde birikim göstermektedir. Bu durum Kapadokya Bölgesi'nde oldukça dik yamaçların bulunduğu kesimlerde yaygın biçimde gözlenmektedir. Nitekim 21 Eylül 2025 tarihinde meydana gelen kaya düşmesinde soğuma çatlakları boyunca meydana gelen genleşme önemli rol oynamıştır.

Tablo 1 Kavak ignimbiritlerinin literatürde sunulan bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Ulusay vd. (2006)	Tuncay (2009)	Topal (1995), Topal ve Doyuran (1997)
	Kavak İgnimbiriti		
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	12.4-14.4	13.3-14.3	13.52-13.88
Gözeneklilik (%)	-	21-27	37.48-38.73
P-dalga Hızı (m/s)	1236-2299 (1672)	-	1887-2190
Ağırlıkça Su Emme (%)	-	-	29.28-29.90
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Kuru) (MPa)	2.3-9.1 (4.6)	3.60-5.0	5.69-7.43
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Doygun) (MPa)	-	1.10-1.56	-
Dolaylı çekme dayanımı (MPa)	0.41-1.34 (0.64)	-	0.54-0.74 (0.65)
Elastisite modülü (kuru) (GPa)	0.2-2.34 (1.1)	-	2.8-4.2 (3.08)
Poisson Oranı (kuru)	-	-	0.16-0.23 (0.2)



Şekil 5 Kaya düşmesinin meydana geldiği yamaçtaki soğuma çatlaklarının oluşturduğu süreksizlik sistemleri

Kadıkalesi'nde meydana gelen süreksizlik kontrollü devrilme türündeki kaya kütle duraysızlıkları yamaçların daha dik bir topoğrafyaya sahip olmasına neden olmaktadır.

Düşey süreksizliklerin etkisinde oluşan kaya kütle yenilmeleri, yamaçların dik bir yapı kazanmasındaki en büyük etken olarak karşımıza çıkmaktadır.

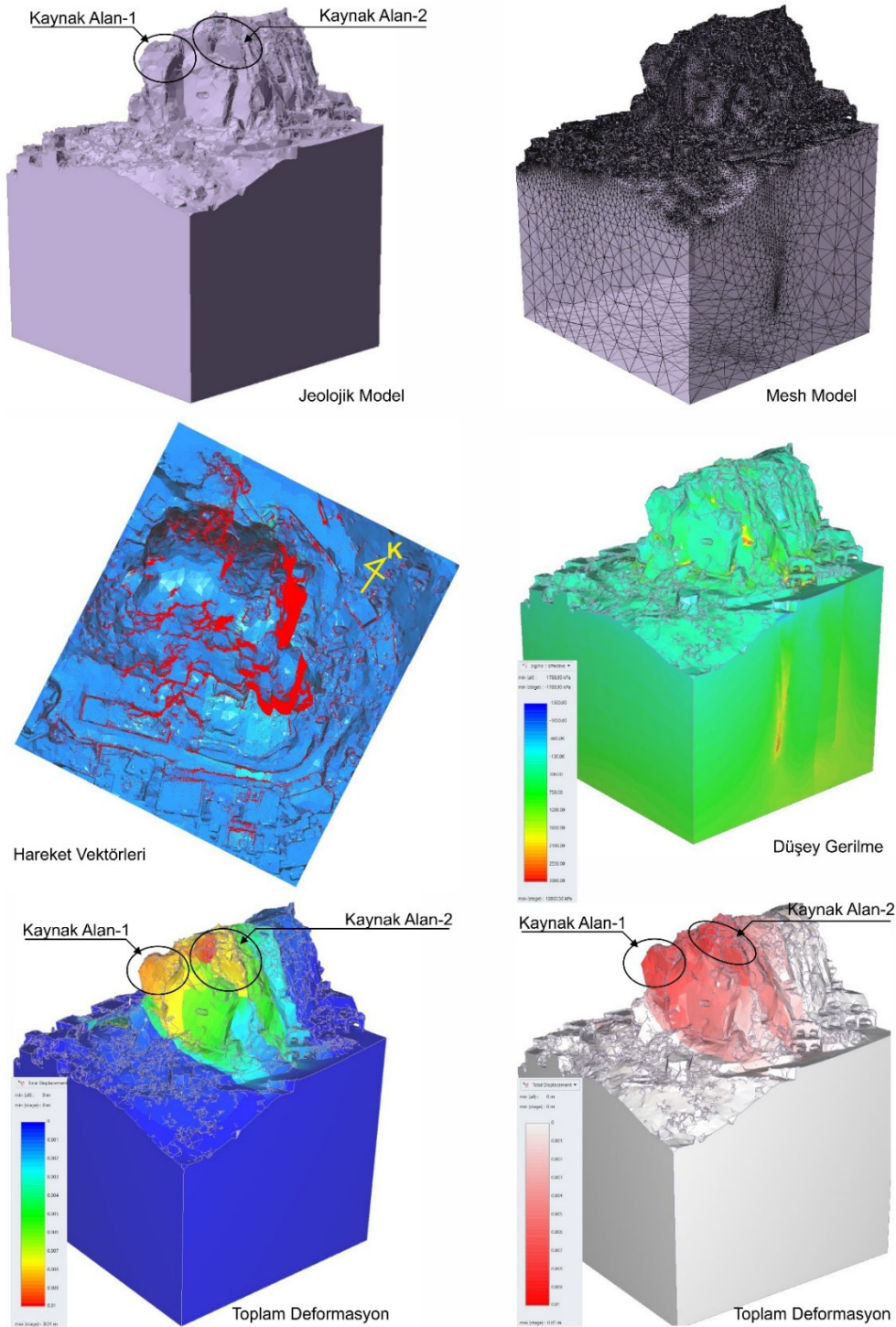
4. KAYA DÜŞME ANALİZLERİ

21 Eylül 2025 tarihinde meydana gelen kaya düşmesinden sonra yeniden şekillenen kaynak alanda yapılan incelemelerde riskli bazı blokların halen yamaç üzerinde bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 6). Söz konusu bloklar çevresi ve etki alanı içerisindeki yapılarda (konut, otel ve yol) etkili olma potansiyeline sahiptir. 1 nolu blok yamacın güney ucunda konumlanırken, 2 nolu blok yamacın kuzey ucunda yer almaktadır (Şekil 6).



Şekil 6 Kaya düşmesi sonrası asılı halde kalan blokların genel görünümü

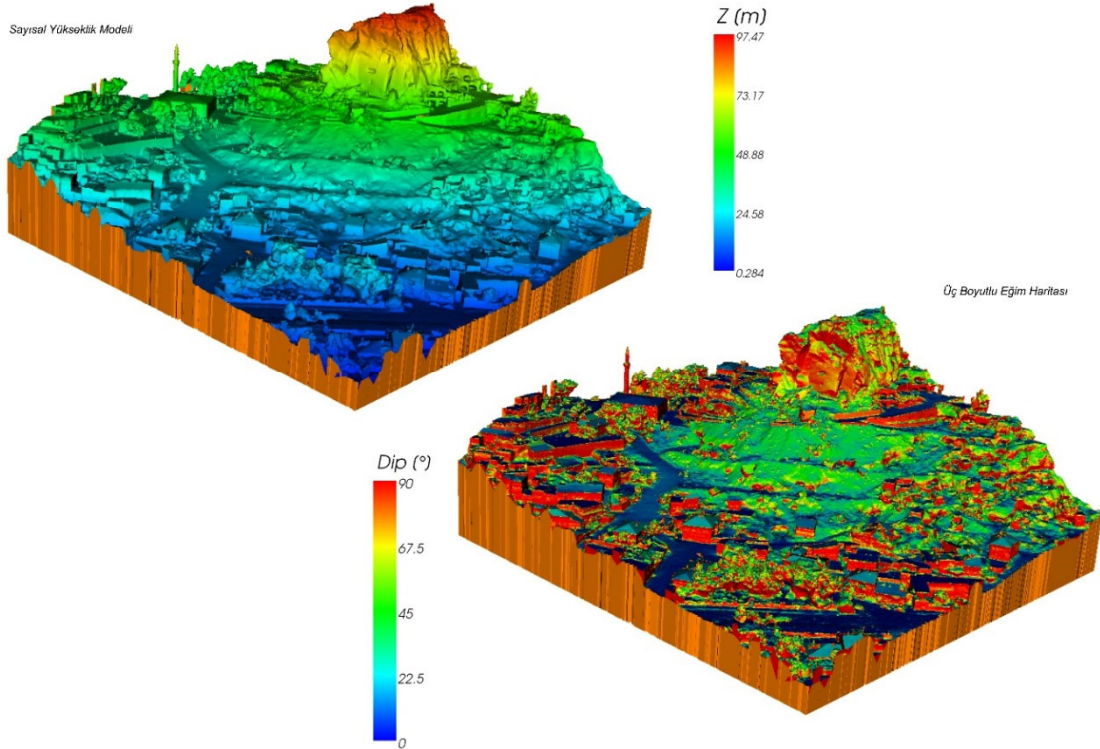
Kaya düşmesi kaynak alanı olarak değerlendirilen yamaçtaki olası hareketleri değerlendirmek için sonlu elemanlar analiz yöntemine göre hareket vektörleri ve toplam deformasyon değerlendirmeleri yapılmıştır (RS3-Rocscience, 2025) (Şekil 7).



Şekil 7 Kaynak alanın üç boyutlu katı modeli ve bazı sayısal analiz sonuçları

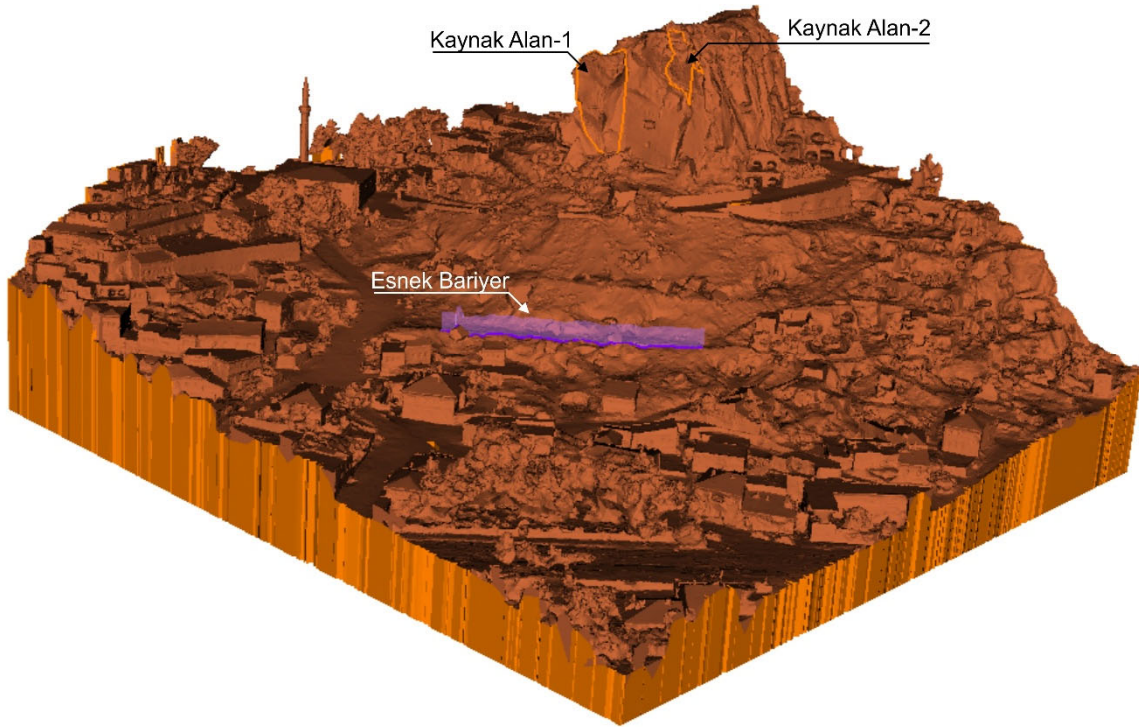
Sayısal analiz sonuçlarına göre ana hareket vektörlerinin doğu yönünde olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, yamaçtaki düşey gerilme değerleri -1.50 MPa ile 13.0 MPa arasında değişmekte olup, ağırlıklı olarak düşey gerilme değeri 1.0 MPa civarındadır. Öte yandan, toplam deformasyon değişimleri göz önünde bulundurulduğunda maksimum toplam deformasyon değerinin 10.0 mm olarak yamacın en üst kotlarında geliştiği tespit edilmiştir. Maksimum toplam deformasyon değerlerinin belirlendiği alanlar ile arazi çalışmalarında kaya düşmesi açısından potansiyel oluşturan alanlar oldukça uyumludur.

İncelenen yamaçta kaya düşmesi kaynak alan olarak belirlenen iki bölgedeki kaya düşmesinin değerlendirilmesinde 3-B kaya düşme analizlerinden yararlanılmıştır. Bu analizler sonucunda inceleme sahasında düşmesi muhtemel blokların yuvarlanabileceği maksimum mesafe, sıçrama yüksekliği ve toplam kinetik enerji dağılımları 3-B sayısal yüzey modelleri üzerinde RocPro3D yazılımı yardımıyla hesaplanmıştır. İncelenen yamacın 3-B kaya düşme analizleri, insansız hava aracı (İHA) ile alınan ortofoto görüntülerinden fotogrametrik yöntemlerle elde edilen nokta bulutundan hazırlanan detay sayısal yüzey modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8 İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli ve üç boyutlu eğim haritası

RocPro3D yazılımında oluşturulan ve 3-B kaya düşme analizlerinin altlığını oluşturan düzensiz üçgen ağı (TIN) Şekil 9’de sunulmuştur. Şekil 7 ve 8’den görüleceği üzere inceleme alanındaki dik yamaç yüksekliği 35-40 metreye kadar ulaşmaktadır. Arazi çalışmaları, sayısal analiz sonuçları ve ortofoto görüntüsünden yararlanarak yamaçta iki ayrı alan, kaynak zon olarak belirlenmiştir (Şekil 8). Bununla birlikte, kaya düşme analizlerinde kullanılan sayısal yüzey modeli 21 Eylül 2025 tarihinde meydana gelen kaya düşmesi olayından sonra yamaçta yayılım gösteren iri blokları da içermektedir. Öte yandan, son kaya düşmesi olayından sonra yer yer zarar gören düşük enerji kapasiteli esnek bariyer de analizlerde etkisiz kabul edilmiş ve sanal bariyer olarak konumlandırılarak bariyere etkiyebilecek kinetik enerji değerleri belirlenmiştir.

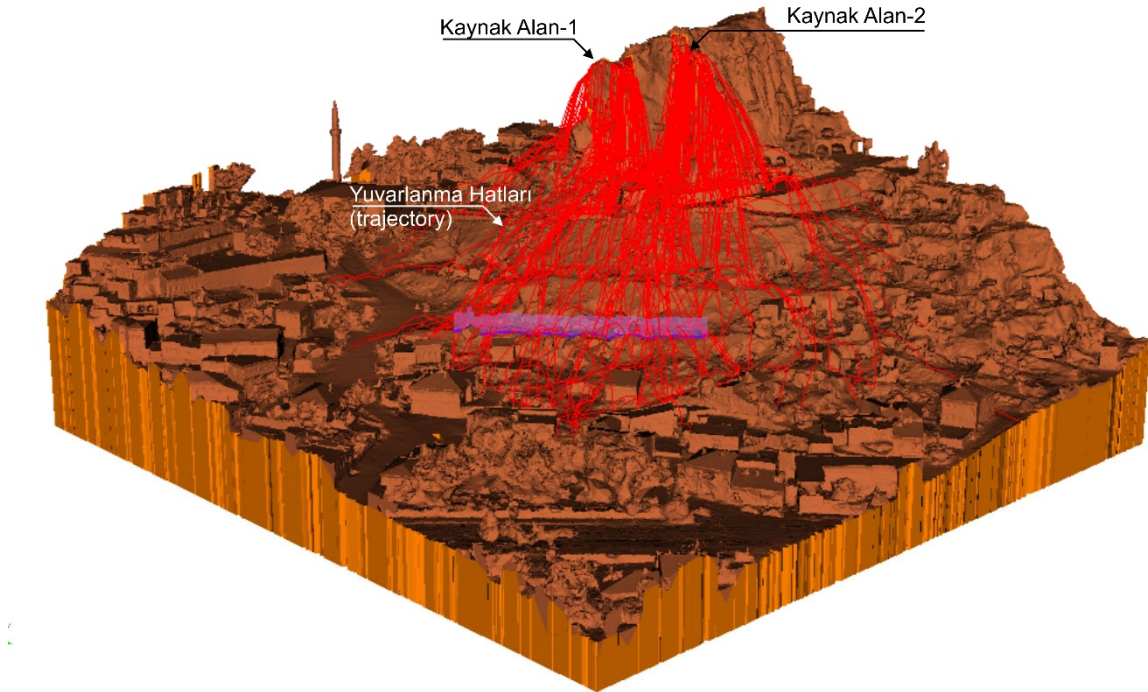


Şekil 9 3-B kaya düşme analizleri için belirlenen kaya düşme kaynak alanları ve sanal olarak konumlandırılan esnek bariyer

İnceleme alanı için gerçekleştirilen 3-B kaya düşme analizlerinde literatür verilerine ve sahadaki düşen blokların geri analizine bağlı olarak belirlenen geri verme ve sürtünme katsayıları kullanılmıştır. Buna göre, tüm alandaki jeolojik birim ignimbirit (ana kaya) olarak

tanımlanmış olup, ignimbiritin normal geri verme katsayısı (R_n) 0.45, tanjant geri verme katsayısı (R_t) 0.90 ve sürtünme katsayısı (k) 0.4 olarak kabul edilmiştir. RocPro3D yazılımında inceleme alanı için sayısal yüzey modeli üzerinde gerçekleştirilen 3-B kaya düşme analizlerinde, düşebilecek blokların birim hacim ağırlığı, doygun koşullar da göz önüne alınarak, 1600 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Analizlerde kaynak alan-1 için blok boyutu 3.50 m, kaynak alan-2 için 2.50 m olarak kabul edilmiş ve her bir kaynak alandan 250 adet blok düşürülmüştür.

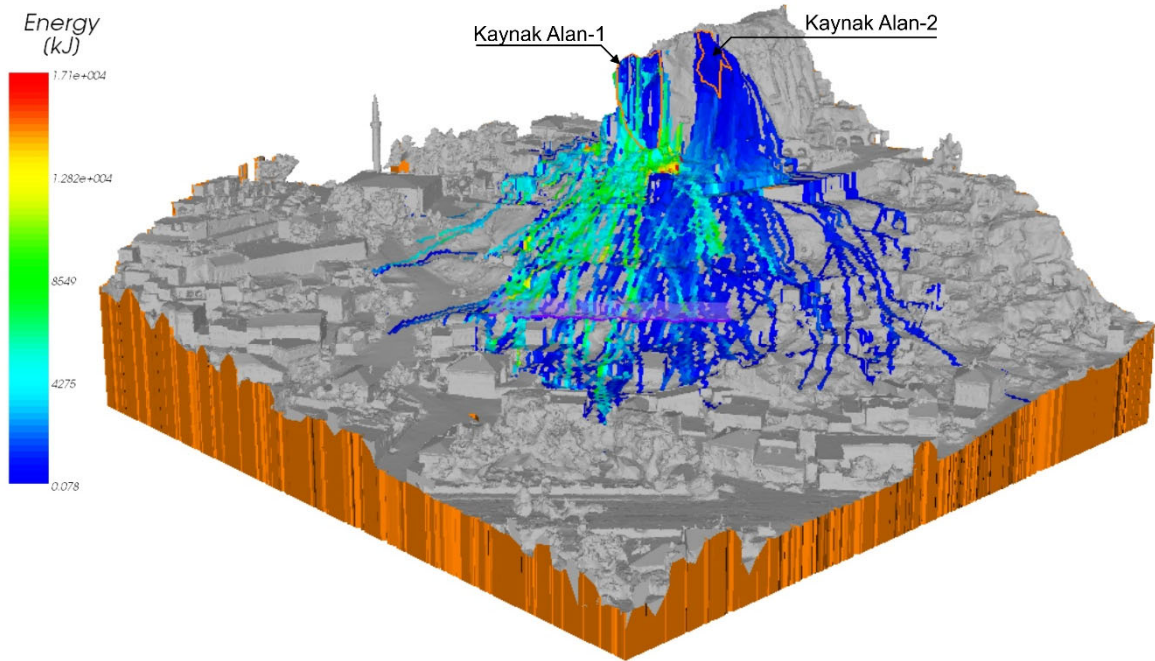
3-B kaya düşme analizleri sonucunda belirlenen kaya yuvarlanma hatları Şekil 9'da sunulmuştur. Şekil 10'da sunulan kaya düşme hatları (kırmızı hatlar) incelendiğinde, düşme potansiyeli olan blokların yamacın alt bölümünde bulunan ve afete maruz alan ilan edilen bölgenin tamamında saçılım gösterdiği görülmektedir. Öte yandan, elde edilen yuvarlanma hatlarının 21 Eylül 2025 tarihinde meydana gelen kaya düşmesindeki blok dağılımı ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 10). Son olayda mevcut basit ağ ve esnek bariyerin deforme olduğu ve zarar gördüğü göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu yamaç için bir takım yapısal önlemlerin alınması ve hasar gören koruma yapılarının yenilenmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 10 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen yuvarlanma hatları

RocPro3D yazılımı ile gerçekleştirilen 3-boyutlu kaya düşme analizlerinde, düşen blokların sıçrama yükseklikleri ve toplam kinetik enerjileri de belirlenmiştir. Buna göre, her bir yuvarlanma hattı için hesaplanan toplam kinetik enerji, ötelenme hızı ve sıçrama yüksekliği dağılımı 3-B model üzerinde sırasıyla Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12’de sunulmuştur.

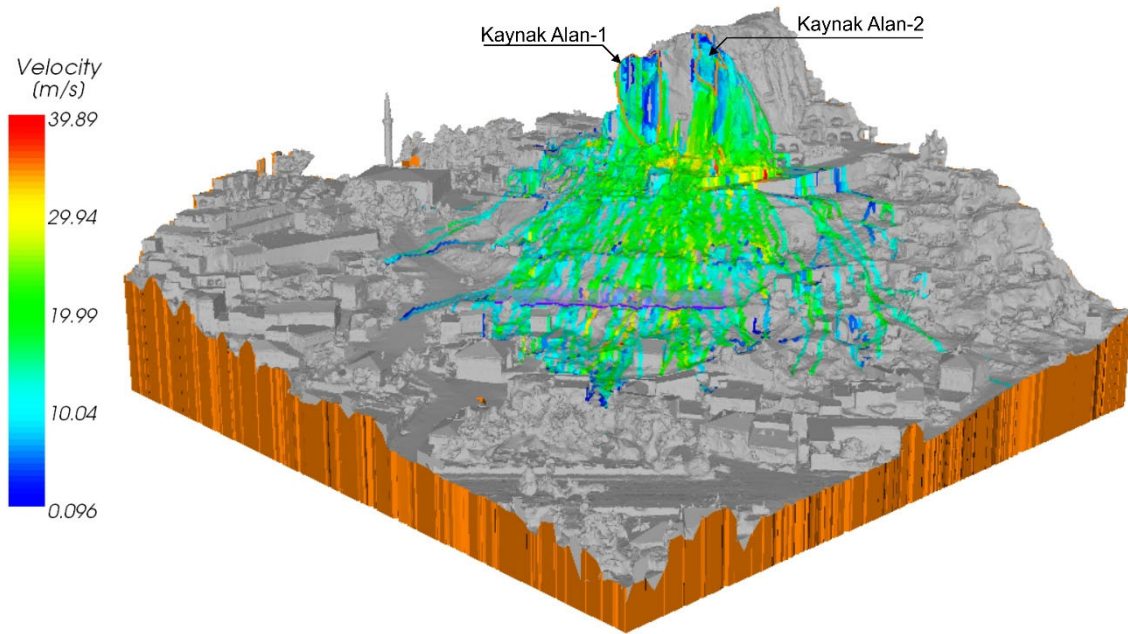
Şekil 10’da sunulan toplam kinetik enerji dağılım haritasında blokların kinetik enerjilerinin maksimum 17000 kJ’a kadar ulaştığı görülmekle birlikte, bu değerin oldukça sınırlı (lokal) bir alanda şevin en üst noktasından şev topuğuna temas ettiği anda gerçekleştiği dikkati çekmektedir. Ancak genel olarak bakıldığında kinetik enerji miktarlarının ağırlıklı olarak 5000 kJ’un altında olduğu görülmektedir.



Şekil 11 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen toplam kinetik enerji dağılımı

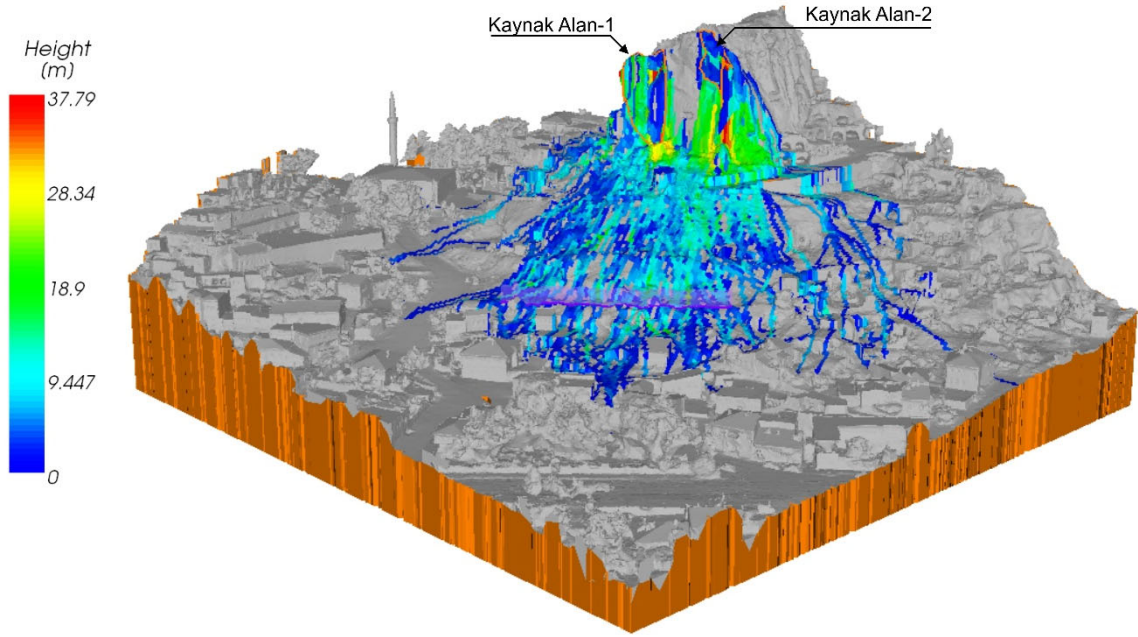
Kaynak zondan kopan bloklar genel olarak sıçrama hareketi yapmaktadır. Bu hareket sırasında ötelenme hızlarının 39.89 m/s’ye kadar ulaştığı görülmekle birlikte, hakim ötelenme hızı 15-20 m/s aralığında gerçekleşmektedir (Şekil 12). Şekil 13’de sunulan model üzerinde yuvarlanan blokların topoğrafyaya çarpması sırasında oluşan sıçrama yükseklikleri incelendiğinde, bloklardaki sıçrama yüksekliğinin alan boyunca farklı dağılımlar gösterdiği

göze çarpmaktadır. Yamaçtan düşen blokların serbest düşmesi sırasındaki sıçrama yükseklikleri (bloğun orta noktasından) maksimum 37.0 m civarındadır. Bu durum serbest düşme esnasındaki yamaç yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Bloğun ilk temasından sonraki sıçrama yüksekliklerine baktığımızda ise ağırlıklı olarak 10.0 metrenin altında hatta durma noktasına yaklaştığında 5.0 metrenin de altına inen sıçrama yükseklikleri göze çarpmaktadır.

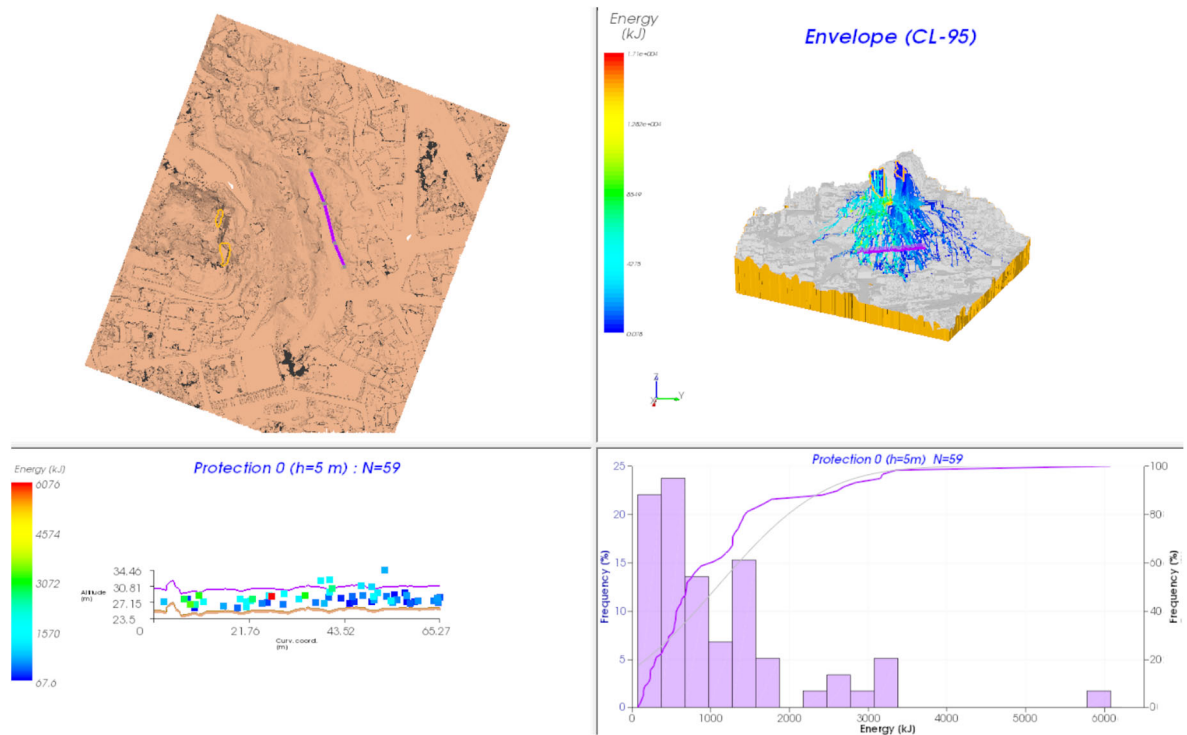


Şekil 12 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen ötelenme hızı dağılımı

Raporun önceki bölümlerinde bahsedildiği üzere kaya düşmesinin meydana geldiği yamacın alt kotlarında yaklaşık 70 metre uzunluğunda bir esnek bariyer bulunmaktadır. Esnek bariyerin enerji kapasitesi hakkında net bir bilgi olmamakla birlikte, söz konusu esnek bariyer gelen blokların birkaçını durdurmayı başarmış olmasına rağmen, güney kanatta bir blok ciddi anlamda esnek bariyeri tahrip etmiştir. Söz konusu blok yaklaşık 15 ton ağırlığında olup, esnek bariyeri ezerek bariyer üzerinde durmuştur. Söz konusu bariyere yeni oluşan koşullarda gelecek blokların kinetik enerji değerini ve sıçrama yüksekliğini görmek için aynı konuma 5.0 m yüksekliğinde sanal bir bariyer modellenmiştir (Şekil 14).



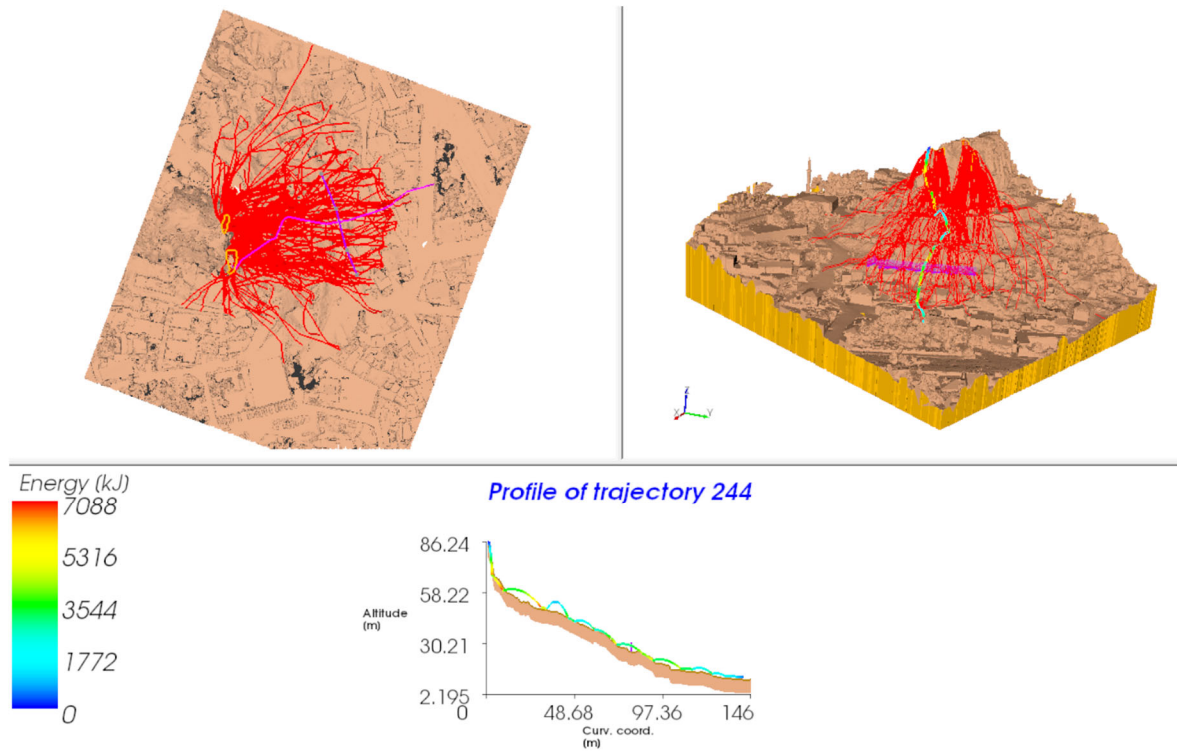
Şekil 13 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen sıçrama yüksekliği dağılımı



Şekil 4 Sanal esnek bariyer için gerçekleşen kinetik enerji dağılımları

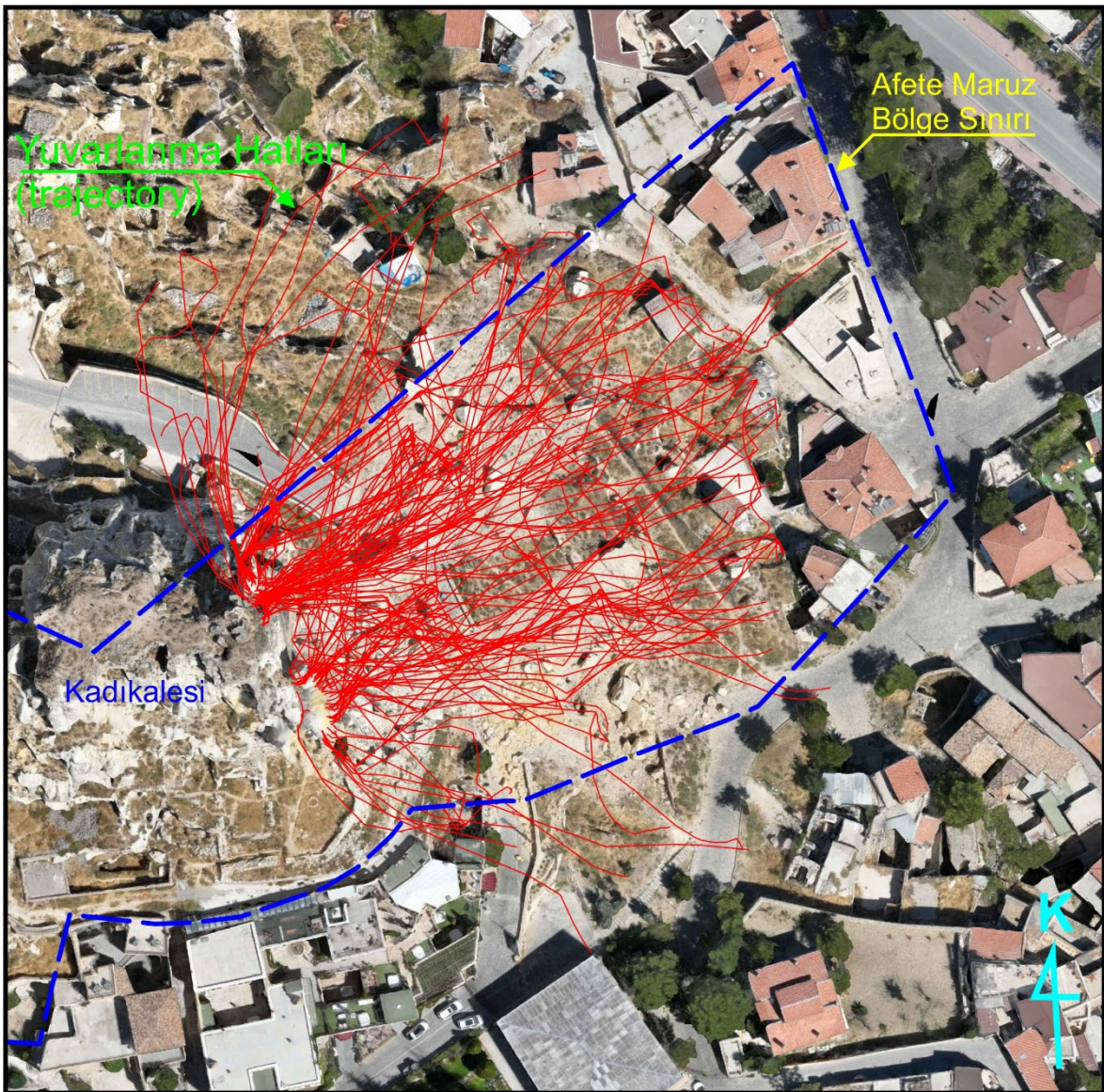
Esnek bariyere ulaşan blokların kinetik enerjileri 67 ile 6075 kJ arasında değişirken, genel olarak kinetik enerji değerinin 2000 kJ'un altında olduğu görülmektedir. Esnek bariyere ulaşan blokların ortalama hızı 10 m/s iken, sıçrama yükseklikleri ise 1.0 ile 8.7 metre arasında değişmektedir. Bariyere ulaşan tüm blokların genel olarak sıçrama yüksekliğinin 5 m'nin altında olduğu saptanmıştır (Şekil 14). Gerçekleştirilen bu analizler, bu sahada yeniden bir esnek bariyer planlanması durumunda esnek bariyerin enerji kapasitesinin yüksek olması gerektiğini ön plana çıkarmaktadır. Öte yandan, esnek bariyerin yüksekliği ve uzunluğu da artırılarak projelendirilmelidir.

RocPro3D 3-B kaya düşme yazılımının en önemli avantajlarından biri de 3-B analizler ile belirlenen kaya düşme hatlarının 2-boyutlu kesitler üzerinde incelenmesine olanak sağlamasıdır. Bu kesitler üzerinde, yuvarlanan blokların hareketleri sırasındaki sıçrama yüksekliği, kinetik enerji, yuvarlanma hızı vb. gibi özelliklerindeki değişim mesafeye bağlı olarak değerlendirilebilmektedir (Şekil 15).



Şekil 14 244 nolu bloğun kinetik enerji değerlerinin yuvarlanma hattı boyunca değişimi

Şekil 15'te seçilen bir yuvarlanma hattı (244) için toplam kinetik enerji değerlerinin kesit hattı boyunca değişimi sunulmuştur. Yamacın doğusundaki ve en uzun yuvarlanma mesafesine sahip olan 244 nolu blok kaynak alandan yaklaşık 146 m uzakta durmuştur. 244 numaralı yuvarlanma hattında kinetik enerji maksimum 7088 kJ'dur. Fakat blok ilk iki sıçrama hareketinden sonra enerjisini büyük ölçüde kaybetmekte ve enerji değeri 3000 kJ'un altına kadar düşmektedir. Şekil 16'te üç boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen yuvarlanma hatlarının (kırmızı hatlar) ortofoto üzerinde gösterimi sunulmuştur.



Şekil 15 3-B kaya düşme analizlerinden elde edilen yuvarlanma hatlarının ortofoto üzerinde gösterimi

Şekil 16’da verilen yuvarlanma hatlarına göre kaynak alandaki blokların düşmesi sonucu yamacın doğusunda bulunan oldukça geniş bir alanda kaya düşmeleri etkili olacaktır. Yeni koşullara göre elde edilen yuvarlanma hatlarından elde edilen tehlike zonu, daha önceden ilan edilen afete maruz bölge sınırı ile büyük ölçüde uyumludur. Yuvarlanma hatları yamacın kuzeyinde kısmen afete maruz bölgenin dışında gözlenmektedir. Afete maruz bölge sınırının kuzeydoğusunda bulunan konut ciddi tehdit altındadır. Nitekim meydana gelen son olayda büyük bir kaya bloğu şans eseri evin hemen yanında durmuştur. Öte yandan, doğudan batıya doğru Kadıkalesi’ne çıkan parke yol, afete maruz bölge dışında kalmasına rağmen olası kaya düşmelerinden etkilenme potansiyeline sahiptir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu rapor kapsamında, 21 Eylül 2025 Pazar günü saat 01:58'de Nevşehir ili Ürgüp ilçesi Kadıkalesi mevkiinde, afete maruz bölge sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 40 m yüksekliğindeki dik yamaçta meydana gelen kaya düşmesi olayı ve sonrasında oluşan mevcut durum ayrıntılı biçimde değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Kaynak alandan kopan ignimbirit blokları doğu yamaçta yaklaşık 90 m uzağa kadar ulaşmış ve konutlara yakın bölgelerde durmuştur. Herhangi bir can ve mal kaybı yaşanmamış olmakla birlikte, düşen blokların kütlesi 35 tona kadar ulaşmıştır. Olay öncesinde süreksizliklerde meydana gelen açılmaların fark edilerek bölgenin tahliye edilmesi ve yamaca daha önce uygulanmış mevcut önlemlerin (basit ağ, esnek bariyer ve yamaç düzenlemesi) bulunması, Kadıkalesi doğu yamacında can ve mal kayıplarının önlenmesinde kritik rol oynamıştır.

Kaya düşmesi kaynak alanı, Ürgüp Formasyonu'nun Üst Miyosen yaşlı Kavak Üyesi ignimbiritleri oluşturmaktadır. Söz konusu ignimbiritler, beyaz-sarımsı gri renkli, yer yer pembemsi tonlarda, az-orta derecede kaynaşmış ve iri pomza taneleri içeren bir dokuya sahiptir. Zayıf kaya özellikleri sergileyen bu birimlerin birim hacim ağırlığı $12-14 \text{ kN/m}^3$ aralığında değişirken, tek eksenli basınç dayanımı $2.3-9.10 \text{ MPa}$ arasında ölçülmüştür. Yüksek poroziteye bağlı olarak çekme dayanımının da düşük olduğu belirlenmiştir. Kaynak alanda 286/86 ve 101/82 doğrultu-eğim değerlerine sahip, devamlılığı oldukça yüksek olan süreksizlik sistemleri tespit edilmiştir. Bu süreksizlikler, ignimbirit kaya kütlesinin yamaç duraylılığında belirleyici rol oynamakta; ayrışma ve atmosferik etkilerle birlikte blokların yamaçtan koparak kaya düşmelerine neden olmaktadır. Nitekim 21 Eylül 2025 tarihinde meydana gelen olayda da soğuma çatlakları boyunca gelişen genişlemenin kritik etkisi olmuştur.

Olay sonrasında yeniden şekillenen kaynak alanda yapılan gözlemler, halen risk arz eden bazı blokların varlığını ortaya koymuştur. Bu bloklardan biri (1 nolu blok) yamacın güney ucunda, diğeri (2 nolu blok) ise kuzey ucunda konumlanmıştır. Her iki blok da yakın çevresindeki konut, turistik tesis ve yol gibi yapılar üzerinde olası bir tehlike

oluşturmaktadır. Bu bulgular, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerden elde edilen deformasyon değerleri ve hareket vektörleri ile de doğrulanmaktadır. Özellikle yamacın üst kotlarında maksimum deformasyonların gözlenmesi, mevcut duraysızlığın devam etme potansiyelini göstermektedir.

Gerçekleştirilen üç boyutlu kaya düşme analizleri, potansiyel blokların daha önce afete maruz bölge ilan edilen alanın tamamında etkili olabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, elde edilen yuvarlanma hatlarının 21 Eylül 2025 tarihinde gerçekleşen olay sırasında gözlenen blok dağılımı ile yüksek düzeyde uyumlu olduğu gözlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre blokların kinetik enerji değerleri ağırlıklı olarak 5000 kJ'un altında seyretmekte, ancak lokal olarak bu değerlerin üzerinde değerler de ortaya çıkabilmektedir. Sıçrama yükseklikleri ise geniş bir dağılım göstermekte olup, genellikle 10 m'nin altında, durma noktasına yaklaştıkça ise 5 m'nin altına düşmektedir.

Yamacın alt kotlarında yaklaşık 70 m uzunluğunda mevcut bir esnek bariyer bulunmakta olup, olay sırasında belirli blokları durdurabilmiştir. Ancak bariyerin kapasitesi, büyük bloklara karşı yetersiz kalmıştır. Bu nedenle aynı konumda 5 m yüksekliğinde sanal bir bariyer modellenerek, blokların bariyere ulaşması halinde sahip olabilecekleri kinetik enerji ve sıçrama yükseklikleri değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bariyere ulaşan blokların kinetik enerjileri 67–6075 kJ arasında değişmekte olup, çoğunlukla 2000 kJ'un altında yoğunlaşmaktadır. Sıçrama yükseklikleri ise 1.0–8.7 m aralığında belirlenmiş ve blokların büyük çoğunluğunun 5 m'nin altında sıçrama yüksekliğine sahip olduğu saptanmıştır. Bu bulgular, mevcut koşullar altında bariyerin enerji kapasitesinin artırılması ve geometrik boyutlarının yeniden tasarlanması gerektiğini göstermektedir.

Genel olarak, Kadıkalesi mevkiindeki dik yamaçlar yüksek kaya düşmesi tehlikesi barındırmakta olup, jeolojik özellikler ve süreksizlik sistemleri, bu tehlikenin sürekliliğini işaret etmektedir. Gerçekleştirilen saha gözlemleri ve analizler söz konusu sahada kaya düşme tehlikesinin halen devam ettiğini göstermektedir. Özellikle mevcut önlemlerin (basit ağ, esnek bariyer ve şev düzenlemesi) ciddi anlamda tahrip olduğu göz önünde bulundurulduğunda olası bir kaya düşmesinde daha ciddi sonuçlar ile karşılaşılabilir. Bunun için aşağıdaki önerilerin dikkate alınmasında fayda vardır.



- 1) Gerekli koruma/önleme yöntemleri uygulanana kadar risk altında bulunan konutların tahliyesine devam edilmeli ve tehlike zonu içerisindeki yollar kapalı tutulmalıdır.
- 2) Rapor içeriğinde belirtilen, yamaçtaki riskli blokların kontrollü bir şekilde kaldırılması gerekmektedir. Bu temizlik işleminden sonra, yamaçtaki düşey soğuma çatlaklı yapıya bağlı olarak halen kaya düşmesine neden olabilecek blok yapısı mevcuttur. Bu nedenle blok temizliği sadece şu an askıda olan blokların temizlenmesi açısından faydalı olacaktır. Yamaçtaki duraysızlık probleminin ortadan kaldırılabilmesi için güçlendirilmiş çelik ağ şeklinde bir önleme projesine ihtiyaç duyulmaktadır.
- 3) Yamacın hemen doğusunda bulunan ve Kayakapı'ya çıkan yolun açılması için kaynak alanda blok temizliğinin ardından gerekli projelendirme çalışmaları gerçekleştirilerek güçlendirilmiş çelik ağ uygulaması yapılmalıdır.
- 4) Söz konusu yolun kapalı tutulması durumunda mevcut esnek bariyerin bulunduğu lokasyona kapasitesi ve boyutları arttırılmış bir esnek bariyer inşaa edilmelidir.
- 5) Yamaç yüzeyinde kaya düşmesi sonucu tahrip olan teraslar tekrar eski haline getirilmeli, mümkünse kaynak alan topoğrafisinde da yeni bir teras oluşturulmalıdır.
- 6) Bu kaya düşmesi sonucu yamaç yüzeyinde biriken ve tehlike oluşturan bloklar, yukarıda bahsedilen önleme/koruma yöntemlerinin seçimi ve uygulanmasından sonra kaldırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- RocPro3D v5 (2014) 3D assessment of rockfall hazard [Computer software].
- Rocscience Inc. 2025. RS3 Three Dimensional Finite Element Analysis for Excavations and Slopes [Computer software].
- Topal, T., & Doyuran, V. (1997). Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff. *Engineering Geology*, 47(1-2), 175-187.
- Tuncay, E. (2009). Rock rupture phenomenon and pillar failure in tuffs in the Cappadocia region (Turkey). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(8), 1253–1266. doi:10.1016/j.ijrmms.2009.01.011
- 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 Urgüp (Cappadocia), Turkey. *Environmental Geology*, 50, 473-494.