

Araştırma Makalesi / Research Article

## Kaya Düşmesi Risklerinin Kentlerin Planlanmasına Etkileri: Çoruh Havzası Örneği

*Effects of Rockfall Risks on Urban Planning: The Coruh Basin Case*

Eroltan DURMUŞ<sup>1\*</sup> , Özkan CORUK<sup>2</sup> , Ahmet KARAKAŞ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Geliş (Received): 24.07.2024 / Düzeltme (Revised): 20.08.2024 / Kabul (Accepted): 06.11.2024

### ÖZ

Ülkemizde derin vadi tabanlarındaki yerleşimlerdeki jeolojik ve jeomorfolojik tehlikeler kent planlamasını kısıtlamakta ve zorlaştırmaktadır. Bu yerleşim alanlarında nüfusun artmasıyla yeni yapılaşma talebi kent yerleşimi ile planlamasını yeniden gündeme getirmiştir. Ülkemizde bazı il, ilçe ve köy yerleşkelerinde de yamaç stabilitesini etkileyen kaya düşmesi olayları önemli riskler oluşturmaktadır. Bu çalışmada Çoruh havzası ve Artvin ili yerleşim alanındaki kent planlamasını etkileyen kaya ve blok düşmesi riskleri ele alınmıştır. Çoruh havzasında nehrin günümüze kadar yapmış olduğu aşındırmalar dik/dike yakın vadi yamaçlarını şekillendirmiştir. Heterojen litolojinin yanında, bölgedeki tektonizma jeolojik birimlerde süreksizlik yoğunluğunu oluşturmuştur. Bölgenin iklimsel özellikleri kaya ortamında atmosferik bozunmalara da neden olmuştur. Morfolojik, jeolojik ve iklimsel özellikler, Çoruh havzasında Artvin ve yakın çevresinde kaya düşmesi olaylarının sık sık yaşanmasının ana nedenleridir. Vadi tabanlarının dar olması bu kesimlerdeki yerleşimi de kısıtlamaktadır. Genelde yerleşim eğimin nispeten düştüğü yamaçlardadır. Ancak bu sahaların birçoğu, daha üst kotlarında dik/dike yakın eğimli yamaçlara bağlı kaya düşmesi etkisi altındadır. Bu yerleşimlerde mevcut yapı stoğunun kontrol edilerek kent planı tekrar ele alınmalı, yeni yerleşim alanlarının planlanmasında taşkın riski ile birlikte potansiyel kaya düşmesi riski mutlaka dikkate alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaya Düşmesi Riski, Kent Planlanması, Çoruh Havzası

### ABSTRACT

*Geological and geomorphological hazards in settlements on deep valley bottoms restrict urban planning. Population increases in these settlement areas has led to demand for new construction of urban settlement and planning has returned to the agenda. Rockfalls affecting slope stability also pose significant risks in some settlements in our country. This study discusses rockfall risks affecting urban planning in the Çoruh basin and Artvin province settlement areas. Erosion by the river in the Çoruh basin has shaped the steep valley slopes. In addition to heterogeneous lithology, tectonism in the region has increased discontinuities, along with atmospheric degradation of geological units. Morphological, geological and climatic characteristics are the main reasons for the frequent occurrence of rockfall events in the Çoruh basin, Artvin and immediate surroundings. The narrowness of the valley bottoms also restricts settlement in these areas. Generally, settlements are located on slopes where the slope is relatively low. However, many of these areas are affected by rockfalls due to steepness at higher elevations. In these settlements, the existing building stock should be checked, the urban plan should be reconsidered, and the*

*potential risk of rockfalls along with the risk of flooding should definitely be taken into consideration when planning new settlement areas.*

**Keywords:** *Rockfall Risk, Urban Planning, Çoruh Basin*

## GİRİŞ

Ülkemizin üzerinde bulunduğu coğrafya gerek jeolojik ve jeomorfolojik gerekse iklimsel özelliklere bağlı olarak birçok doğal afete karşı duyarlı özellikler taşımaktadır. Doğal afetlere karşı duyarlı sahalara ve yakın çevresinde yapılacak kent planlamaları da yerleşim yerlerinin doğal afet tehlike ve risk olasılıklarını arttırmaktadır. Bilindiği üzere kaya düşmeleri, yamaç veya şevlerde kaya bloklarının yer çekimi etkisiyle eğim yönü boyunca hareket kazanması olarak tanımlanır. Doğu Karadeniz Bölgesinde Çoruh Vadisi de özellikle kaya düşmeleri açısından yüksek duyarlılığa sahip sahalara temsil etmektedir.

Çoruh vadisi boyunca gözlemlenen jeolojik formasyonlar, tektonik anlamda Doğu Anadolu Yığılma Kuşağının kuzey kenarı boyunca meydana gelmiş KD-GB doğrultulu bindirme zonları ve buna bağlı gelişen süreksizlik sistemleri nedeniyle kırıklı bir yapı sunarlar. Çoruh Nehri ve yan kollarındaki akarsuların aşındırmış olduğu dik/dike yakın yamaç yüzeylerinde vadi güzergahları boyunca kırıklı yapıya sahip formasyonlar nedeniyle çok sayıda kaya düşmesi kaynak alanları mevcuttur. Çoruh vadisi ve yan kollarının dar vadi tipi özellikleri gösteriyor oluşu nedeniyle vadi tabanlarında yerleşim alanları bakımından topografik anlamda uygun genişlikte düzlük alanlar bulabilmek neredeyse olanaksızdır. Vadi tabanlarının eğim miktarları, akarsu debileri ve iklimsel şartlar göz önüne alındığında vadi tabanları aynı zamanda su baskını riskini de taşıdığından, yerleşim alanı bakımından vadilerin düşük/orta derecede topografik eğime sahip yamaçlarının tercih edilmiş olduğu anlaşılmaktadır.

Kaya düşmelerine konu incelemeler, önlemler ve modellemeleriyle ilgili çalışmalara baktığımızda Dünya'da genelde ABD, Çin, Kanada, İtalya gibi iklimsel ve jeolojik faktörlerin kaya düşmesi olaylarını tetikleyici rol oynadığı bölgelerde yoğunlaştığı görülür. Ritchie (1963), kaya düşmelerinin topografik özelliklere bağlı olarak hareket türlerini belirlemiş olmakla birlikte aynı zamanda önlem projeleri üretme adına hendek tasarımları üzerine çalışmalar yapmıştır. ABD'de, Oregon Ulaştırma Dairesi (ODOT) tarafından karayolu güzergahı üzerindeki kaya düşmesi olaylarına konu bir sınıflama yapılmıştır (Pierson and Vickle, 1993). Bu sınıflama daha sonraki yıllarda revize edilerek Amerika Birleşik Devletleri'nin pek çok bölgesinde uygulamaya konulmuştur. Çin'de, Chau vd. (2002) tarafından Hong Kong'ta kaya düşmesi modellemeleri için normal ve teğetsel katsayılarının kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. İtalya'da ise Wasowski ve DelGaudio (2000) tarafından sismik olayların kaya düşmelerine olan etkileri kullanılarak modellemeler geliştirilmiştir. Agliardi ve Crosta (2003) dağlık bölgelerdeki kaya düşmesi olaylarının doğru tahmin edilebilmesi için 3 boyutlu sayısal modellemeler yapmışlardır. Güney İtalya'daki karayolunu etkileyen şevde Schweigl vd. (2003) tarafından kaya ortamının jeoteknik özellikleri kullanılarak kaya düşmelerinin analizleri yapılmıştır. Wang ve Lee (2012), kaya bloğu geometrisinin ve yüzey pürüzlülüğünün kaya düşmelerine olan etkilerini sayısal simülasyonlara dayalı istatistiksel analiz yöntemleriyle incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre topografik eğim ne kadar düzensiz olursa, kaya düşmesinin hareket davranışı da yuvarlanmadan sıçramaya varan değişkenlikler gösterecektir.

Kaya bloğunun şekli ise düşen kaya bloğunun hareket yolunu etkileyen bir faktör olarak görülmüştür ve bu da eklem pürüzlülük katsayısına bağlıdır. Wyllie (2014), Kanada'da British Columbia Üniversite'sinde karayolu ve demiryolu güzergahları üzerindeki şevlerde oluşan kaya düşmeleri için modellemeler yapmıştır. Türkiye'de de 1970'li yıllardan sonra Kapadokya bölgesindeki kaya düşmelerine konu çalışmaların akademik anlamda ele alınmaya başladığı anlaşılmaktadır. Örneğin Doyuran (1976) Kapadokya bölgesindeki kaya düşmesi olaylarının çevreye olan olumsuz etkilerini ele almıştır. Topal vd. (2007) Afyonkarahisar kalesindeki kaya düşmelerini olaylarını incelemiş, volkanik birimlerdeki süreksizlik denetimindeki kaya düşmesi olaylarının çevreye olan etkilerini araştırmıştır. Tunusluoğlu ve Zorlu (2009) Kapadokya bölgesinde farklı profillerdeki kaya düşmeleri sayısal anlamda modellenmiş, kaya düşmesi olaylarının çevreye olan etkilerinin hangi ölçekte gerçekleşebileceği araştırılmıştır. Zorlu vd. (2011) tarafından yine Kapadokya bölgesindeki beş farklı alanda kaya düşmesi olayları üzerine farklı modelleme ve yaklaşımlarla çevresel etki değerlendirmesi yapılmıştır. Düzgün vd. (2012) kaya düşmeleri ve kaya şev kaymaları risk analizine dayalı mühendislik çözümlerinin değerlendirildiği Amasya ili Harşena dağında detay çalışmalar yapmışlardır. Polat vd. (2016) çalışmasında Sivas ili Gürün ilçesi Sarıca köyündeki kaya düşmeleri modellenmiş ve modelleme sonucunda çözüm önerileri olarak sunulan çelik bariyerlerinin verimliliği incelenmiştir. Nasery ve Çelik (2020) Trabzon İli Ortahisar ilçesine bağlı Kaymaklı mahallesindeki kaya düşmesi olayını incelemiş ve farklı ıslah çalışmalarında birleşik çözümlere yönelik modellemeler üzerine çalışma yapmışlardır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2020) kaya düşmelerinden

kaynaklı afetlerin değerlendirilmesine yönelik teknik kılavuz geliştirerek yayınlamıştır. Akın vd. (2021) 3-boyutlu kaya düşme analizlerinde TLS ve İHA ile oluşturulan sayısal yüzey modellerinin kullanımı konusunda çalışma yapmışlardır. Varol vd. (2023) kaya düşmelerinin değerlendirilmesinde 3 boyutlu olasılıksal analizler ve ampirik yöntemleri birlikte kullanmışlardır.

## ÇORUH HAVZASINDA YERLEŞİM DURUMU

Artvin İl sınırları içerisinde Çoruh vadisi boyunca Borçka ve Yusufeli ilçe merkezleri ile Artvin il merkezi önemli yerleşim alanlarıdır. Bu alanlar dışında Çoruh vadisi sağ ve sol sahili boyunca çok sayıda köy yerleşkeleri mevcuttur. Artvin İl sınırları içerisinde Çoruh vadisi sağ ve sol sahillerinde toplamda 37 adet köy yerleşkesi mevcuttur. Bu çalışmada, Çoruh vadisi üzerinde kurulu olup kaya düşmesinden etkilenmiş olan 3 ayrı köy yerleşkesi örneği üzerine durulmuştur (Şekil 1).

## İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Eroskay (1970) tarafından bölgede yapılan çalışmalarda Eosen yaşlı kalkalkalen volkanizma tanımlanmış olup bu volkanitler, Laleli Volkanitleri olarak isimlendirilmiştir.

Mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresinin Çoruh havzasındaki olası baraj yerlerinin, göl alanlarının ve tünel güzergahlarının mühendislik jeolojisi incelemeleri kapsamında Ertunç (1980) tarafından yapılan incelemelerde; Çoruh havzası kuzeydoğusunda kıvrımlanma, faylanma, metamorfizma ve genç granit intrüzyonlarının gözlemlendiği serpantinleşmiş gabro, spilit ve metalav, yeşil şist, grovak, kayrak ve fillattan

oluşan Liyas yaşlı Yusufeli formasyonu ile Üst Kretase yaşlı Püvey formasyonu ile Berta formasyonları ve en üstte Eosen yaşlı Borçka volkanitlerini ayırtlamıştır. Ertunç (1980)'a göre Çoruh vadisi kuzey kesiminde yer alan neredeyse tüm jeolojik birimler zaman zaman granit sokulumları ile kesilmiştir. Çoruh vadisinin güney batısında temelde Üst Kretase Püvey formasyonu üzerine Geç Kretase'de ofiyolit yerleşimi söz konusudur. Eosen'de, bölgede andezit ve piroklastiklerden oluşan kalkalkalen bir volkanizma söz konusudur. Bu çalışmada MTA (1998) çalışmasında kullanılan formasyon adlaması jeolojik haritalarda esas alınmıştır. MTA tarafından 1998 yılında bölgede yapılan çalışmalarda Paleozoyik yaşlı metamorfik bir temel üzerinde bazalt-andezit-lav ve piroklastlarının kumtaşı, çamurtaşı, siltaşı, radyolarit ve şeyl aratabakalarıyla birlikte ardalanmasından oluşan Jura yaşlı Hamurkesen formasyonu ayırtlanmıştır. Formasyonun dokanakları çoğunlukla tektoniktir. Bölgede, bu formasyonu uyumlu olarak üzerleyen Jura yaşlı siyah sleyt, kumlu-killi türbidit ve toleyitik bazaltlardan oluşan Çataksu formasyonu ile resifal kireçtaşı aratabakalı, bazalt lav ve piroklastların yanı sıra, konglomera ve kumtaşlarından oluşan Madenler formasyonu izlenir. Bu formasyonlar, Kretase yaşlı Çatak, Kızılkaya, Çağlayan ve Çayırbağı formasyonları tarafından üzerlenmiştir. Havzanın kuzey-kuzeydoğusunda Kretase yaşlı birimler üzerinde Eosen yaşlı Bakırköy, Kızılcık, Ağıllar ve Kabaköy formasyonları yer alır. MTA (1998) tarafından yapılan bu çalışmada da, Ertunç (1980) çalışmasında belirtildiği üzere, bölgedeki neredeyse tüm jeolojik birimlerin granit sokulumları ile kesilmiş olduğu belirtilmektedir. Çoruh havzası, kaya düşmelerine karşı duyarlılık durumları ve karmaşık litolojisi dikkate alındığında KD ve GB olmak üzere iki ayrı kısımda incelenmesinde fayda vardır.

## ÇORUH HAVZASI JEOMORFOLOJİSİ

Bölge jeomorfolojisinde, Çoruh vadisi boyunca bölgeye etkiyen tektonizma ile litolojinin kontrolünde akarsu proseslerinin etkin rolü vardır. Kuvaterner'deki epirojenik yükselmeler sonucu Çoruh Nehri'nin yatağını aşındırmasına bağlı olarak nehir tabanı yüzlerce metreye ulaşan derinliğe sahip ve her iki yamacında da yüksek eğimli vadi konumu kazanmıştır (MTA, 1998). Bu nedenle vadi boyunca özellikle bazalt ve granitlerin yüzeyletiği vadi yamaçlarında sarp bir topografya söz konusudur. Havza jeomorfolojisi göz önüne alındığında, vadi eteği ve yamaçlarına konuşlandırılmış yerleşkelerin, potansiyel kaya düşmesi riskli alanlar içerisinde olabileceğini belirtmek mümkündür (Şekil 2).

## MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Artvin İl sınırları içerisinde Çoruh vadisi boyunca konuşlandırılmış yerleşim yerlerinden 3 farklı sahanın geçmiş yıllardaki kaya düşmesi olayları için Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Artvin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü arşivi incelenmiştir. Söz konusu alanların jeolojik ve topografik özelliklerine göre kaya düşmesi potansiyeli, tehlike ve risk değerlendirmeleri ortaya konulmuş olup kaya düşmesi riski yüksek alanlarda yapılan ıslah çalışmalarının sonuçları da değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kaya düşme potansiyeli olan sahaların duyarlılık durumları Conefall yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Bu programın çalışma prensibi, belirli bir topografik eğim açısı (kritik eğim açısı) üzerindeki alanların (ya da sahada belirlenen kaynak alanların) alt kotlarında kalan yamaçların topografik özelliklerine göre kaya düşmesine karşı duyarlı olan alanların belirlenmesidir. Programın çalışmasında sayısal topografik haritaları ve sayısal kaynak alan harita parametreleriyle analiz yapıldığından duyarlılık haritaları bu parametreler sayesinde elde edilmiştir.

Çalışmada, 3 ayrı yerleşim yerinin kaya düşmesi tehlike ve risk değerlendirmeleri yapılırken hem arşiv ve saha verilerinden faydalanılmış, hem de CBS ortamında 1/25.000 ölçekli 25x25 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli haritalarından faydalanılarak oluşturulan topografik eğim haritalarından faydalanılmıştır. İlk aşamada inceleme alanlarında gerçekte kaya düşmelerinin meydana geldiği kaynak alanların bulunduğu yamaçların Conefall yazılımı ile kaya düşmesi duyarlılık durumları incelenmiştir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın <https://aras.afad.gov.tr> adresindeki "Afet Risk Analiz Sistemine (ARAS)" de kaya düşmesi duyarlılık haritaları için aynı veri ve çözünürlük değerleriyle Conefall yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada, ARAS ekran görüntüleri alınmıştır.

$$\alpha = 55 \times \text{RES}^{-0.075} \quad (1)$$

Formül 1 kullanılarak topografik eğim haritasında kaya düşmesi için kritik açı belirlenmiştir. Burada;

$\alpha$ : Kritik eğim açısı,

RES: Çözünürlük değeridir.

Uygulamada Sayısal Yükseklik Modeli çözünürlüğü 25 m olduğundan RES değeri 25 olarak alınmıştır. Buradan kritik eğim açısı ( $\alpha$ ) değeri, 43° olarak seçilmiştir.

Conefall yazılımı üzerinde 32-35-38°'lik konik açı değerleri kullanılarak yapılan analizlerde Çizelge 1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Yerleşim alanlarındaki kaya düşmesi etütlerinde, sahada daha önce düşmüş olan kaya bloklarının ulaştığı noktalar da haritalanarak Conefall yazılımından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Düşen blokların konumları ile Conefall yazılımı arasında belirli bir uyum gözleniyor olsa da, çalışmaların sonraki aşamalarında daha büyük ölçekte (1/1.000)

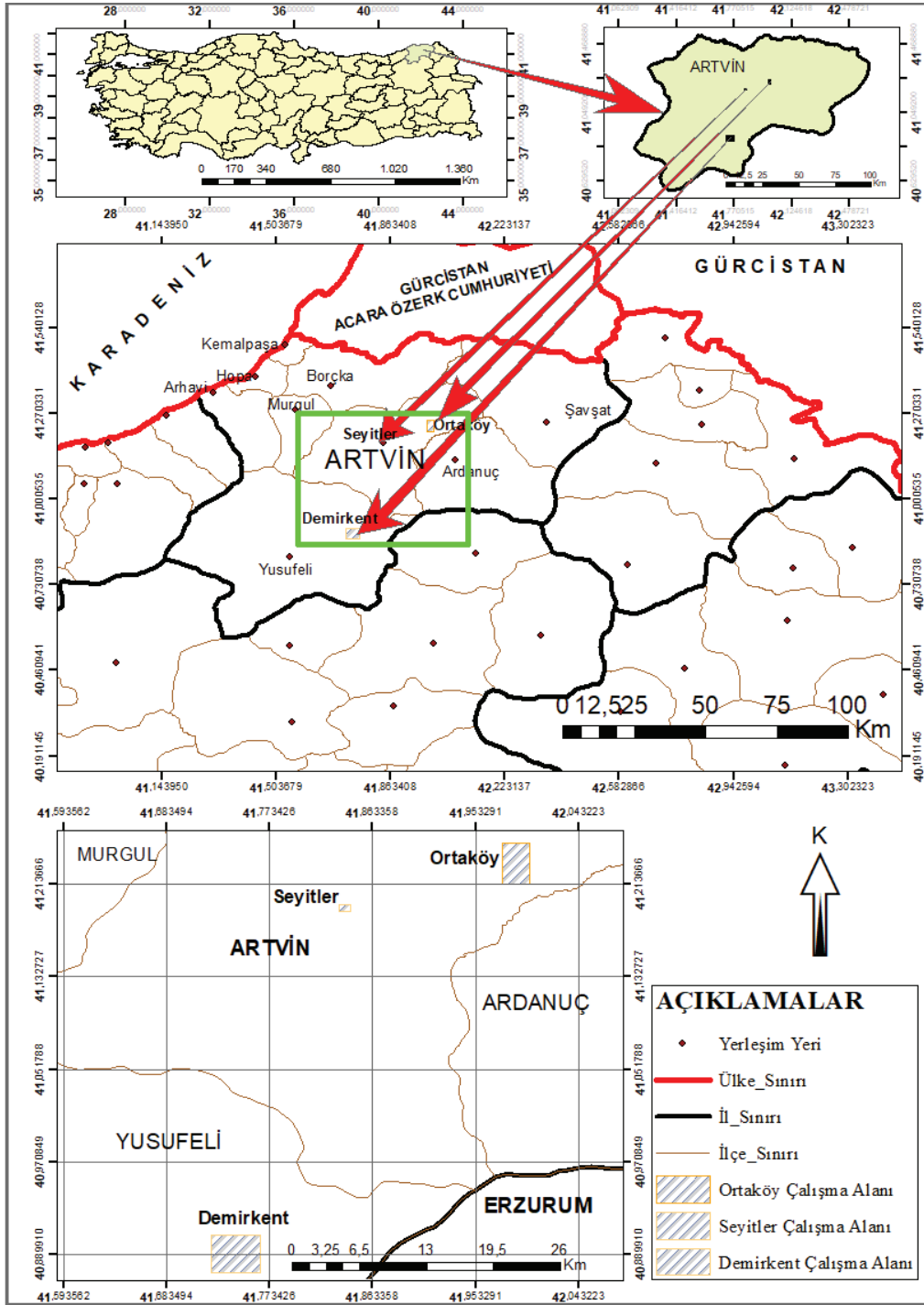
halihazır harita çalışmaları yapılmış, düşmesi muhtemel kaya bloklarının konumları, hacim ve şekilleri sayısal haritalara işlenerek kaya düşmesi analizleri yapılmıştır. Düşen kaya bloklarının ulaştığı en uzak mesafeler, Conefall duyarlılık sonuçları ve düşme analizi sonuçları birlikte değerlendirilerek meskûn alanlarda kaya düşmesine bağlı yapı ve ikamete yasaklı alan sınırları belirlenmiştir. Bu çalışmada, incelemesi yapılan alanlardaki Conefall yazılım sonuçları, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın Afet Risk Azaltma Sisteminden (ARAS) alınmıştır.

Sahada elde edilen jeolojik ve topografik verilere göre, havzanın kuzeydoğusundaki jeolojik formasyonların özellikleri ile havzanın güneydoğusundaki jeolojik formasyon özellikleri gereği kaya düşmelerine karşı duyarlılık durumları incelenmiştir.

## KAYA DÜŞMELERİNDE TEHLİKE ve RİSK DEĞERLENDİRMESİ

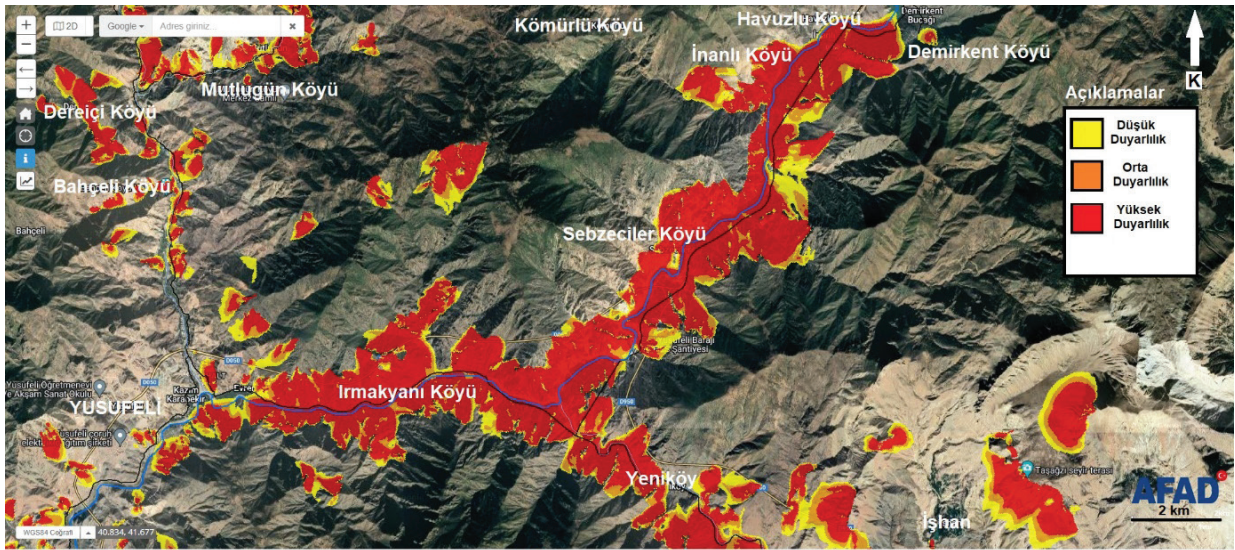
Kaya düşmeleri, süreksizlikler veya zayıflık zonları ile sınırlandırılmış kaya bloklarının doğal veya yapay nedenlere bağlı olarak belirli bir eğime sahip yamaç ya da şev yüzeyinden koparak/ ayrılarak hareket etmesi olarak tanımlanır. Kaya düşmeleri sırasında topografik eğime bağlı olarak serbest düşme, sıçrama ve yuvarlanma şeklinde hareket türlerine rastlayabilmekteyiz (Ritchie, 1963). Dik/dike yakın yamaçların alt kotlarındaki alanlar, yamaçtaki kaya ortamının mühendislik jeolojisi ve yamacın jeomorfolojik özelliklerine bağlı olarak "kaya düşmesi tehlikesi" altında olabilirler. Kaya düşmesi tehlikesi olan alanlarda imarı tamamlanmış yerleşim alanları için ise, "kaya düşmesi riskinden" bahsedilir. Bu tür yamaçlarda yapılacak analizler sonucunda yerleşkelerin kaya düşmesi afetinden zarar görebilirliğini azaltacak önlemler geliştirilmeli; kaya düşmesi afetine karşı dirençli yerleşim alanları oluşturulmalıdır.

Durmuş, Coruk, Karakaş



Şekil 1. Çoruh vadisi boyunca kaya düşmelerinden etkilenmiş yerleşkeleri gösteren yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map showing settlements affected by rockfalls along the Çoruh valley.



Şekil 2. AFAD Afet Risk Analiz Sistemi (ARAS) üzerinde kaynak alanların girilmesinden sonra Conefall yazılımı sonucu Çoruh havzasındaki kaya düşmesi olası etki alanlarının dağılımı. (AFAD-ARAS, 2024).

Figure 2. Distribution of possible rockfall impact areas in the Çoruh basin based on Conefall software after entering source areas on the AFAD Disaster Risk Analysis Systems (AFAD-ARAS, 2024).

Çizelge 1. Konik yayılım açısına göre kaya düşmesi duyarlılıkları.

Table 1. Rockfall susceptibility classes according to conical spreading angle.

Konik Yayılım açısı $\beta$ (°)	Duyarlılık Sınıfı
$38 \geq \beta$	Yüksek
$35 \leq \beta < 38$	Orta
$32 \leq \beta < 35$	Düşük

Ülkemizde de özellikle Doğu Karadeniz, Doğu Anadolu ve Orta Anadolu gibi jeomorfolojik açıdan sarp topografyaya sahip, jeolojik bakımdan yapısal unsurların denetimindeki kaya düşmesi kaynak alanlarının etki alanında çok sayıda yerleşke mevcuttur. Bu sahalara en iyi örneklerden biri de Çoruh havzası üzerindeki yerleşkelerdir.

Çoruh havzası, bölgenin geçirmiş olduğu tektonizma ve litolojinin kontrolünde günümüzdeki jeomorfolojisini kazanmıştır.

Havza boyunca oluşan sarp bir topografya ve kıvrımlı, kırıklı bir yapıya sahip heterojen bir litoloji söz konusudur. Havza içerisinde, yamaçlarda kurulu yerleşim alanlarının birçoğu dik/dike yakın yamaçları oluşturan kırıklı litolojik birimlerin alt kotlarında yer aldığından, kaya düşmesi riski altında bulunurlar.

Çalışmaya konu 3 farklı yerleşim alanının inşasında kaya düşmesi tehlike ve risklerinin yeteri kadar araştırılmadığı anlaşılmaktadır. Yerleşkelerde günümüze kadar muhtelif zamanlarda kaya düşmesi olayları meydana geldiği tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak 3 yerleşim yeri geçen süre zarfında gerekli gelişimi gösterememiş, yapılaşmalar kısıtlı alanlar içerisinde kalmıştır.

### Yusufuli İlçesi, Demirkent Köyü

Demirkent köyü Yusufuli ilçe merkezine yaklaşık 29 km kuzeydoğu mesafededir.

Demirkent Köyü ve yakın çevresinde Hamurkesen formasyonuna ait volkanitler, Karbonifer-Triyas yaşlı Meta Gabro - Meta Diyabaz ve Paleozoyik yaşlı Metamorfitletler gözlenir. Birimler genelde Orta-sık çatlaklı bir yapıya sahiptir. Doğrultuları Çoruh vadi doğrultusuna kısmen paralel diyabaz daykları izlenmektedir (Şekil 3).

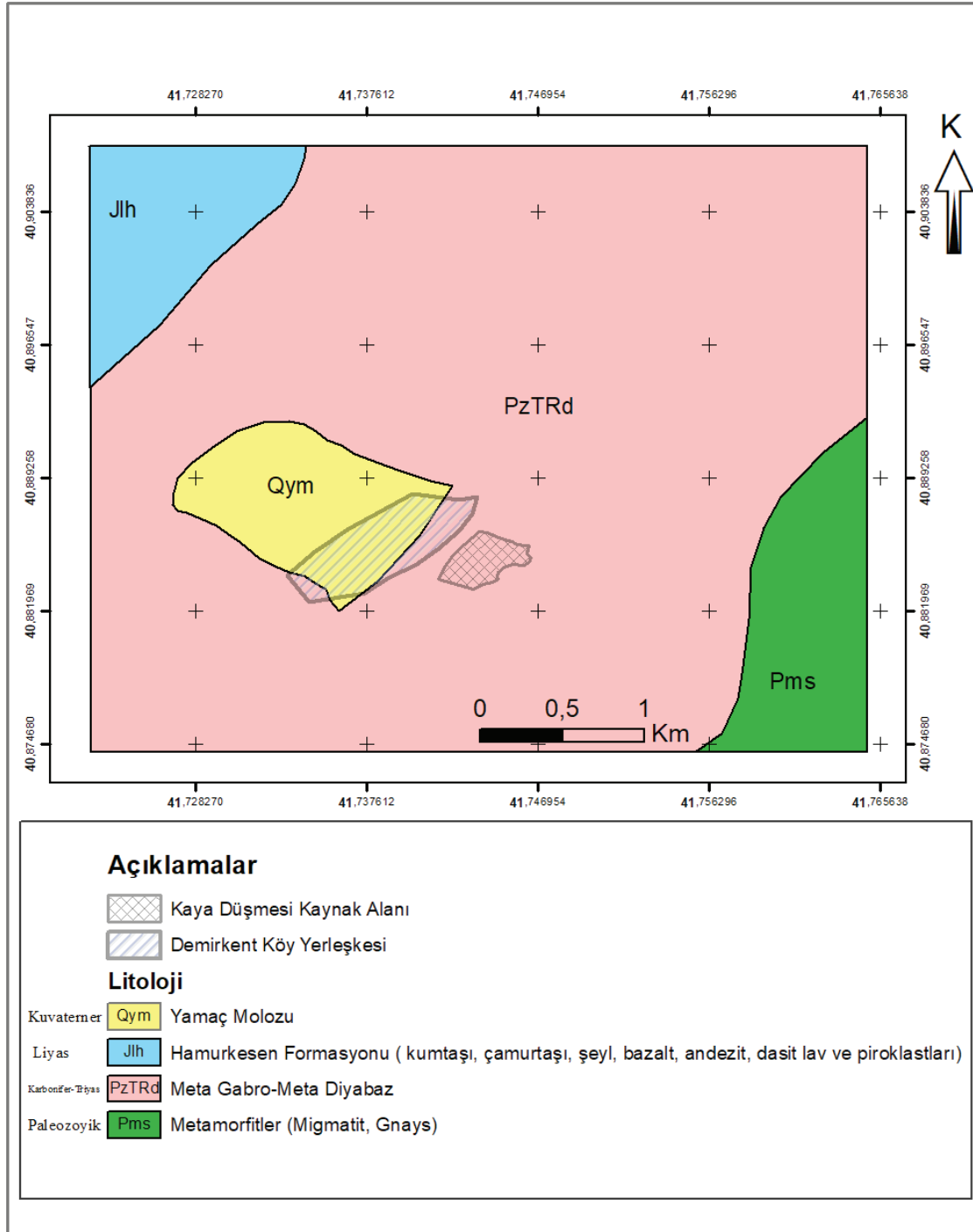
Demirkent köy yerleşkesinin bulunduğu alanlar düşük eğimli alanları temsil ediyor olmasına rağmen, köy yerleşkesinin doğu yamaçlarında kaynak alan-köy yerleşkesi arasındaki eğim 35°'nin üzerine çıkar (Şekil 4). Orta-sık çatlaklı yapıya sahip kaya ortamı içerisindeki süreksizlikler genelde açık (nadiren kalsit dolgulu), az pürüzlü, dik/dike yakın açılı olup eğim yönleri ve doğrultuları bakımından çeşitlilik göstermektedir. Ancak sahada devamlılığı en fazla izlenebilen süreksizlikler, diyabaz dayk dokanaları boyunca vadi doğrultusuyla uyumlu olanlardır.

Süreksizlik ara uzaklığının 2 metrenin altına düştüğü zonlar boyunca açıklıklarının 0,5 cm ve üzerinde olan süreksizliklerle sınırlandırılmış kaya bloklarının bulunduğu alanlar, kaya düşmesi kaynak alan niteliği taşımaktadır (Şekil 5). Yakın geçmişte de söz konusu kaynak alandan sıklıkla (yılıda 2 ve 3 defa) yaşanan kaya düşmesi olayları, köy yerleşkesinin kuzey doğusundaki kısmen düzlük/düşük eğimli topografyaya sahip alanlara doğru gelişmesini engellemektedir. Daha önceki yıllarda düşmüş olan kaya blokları incelendiğinde, düşmüş blok hacimlerinin 0,5 ile 2 m<sup>3</sup> arasında değişen hacimlerde olduğu görülmektedir. Muhtemel kaya düşmesi olayı nedeniyle 2018 yılında Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Artvin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğüne yapılan çalışmada, toplamda 260 haneli köy yerleşkesinde muhtemel kaya düşmesi etki alan sınırları içerisinde 66

konut, 1 okul ve 9 ahır tespit edilmiştir. Conefall yazılımı kullanılarak elde edilen yayılım zonu ile, daha önce düşmüş olan kaya bloklarının ulaştığı noktalar karşılaştırıldığında, yazılım sonucunda elde edilen yayılma zonunun gerçekte daha önce düşmüş olan kaya bloklarının ulaştığı en uzak mesafelerin birbiriyle uyumluluk gösterdiği görülmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7). Mevcut durum itibariyle Demirkent köyünün kaya düşmesi afetine karşı dirençli bir yerleşke olmadığı tespiti ve sonrasında ilgili mevzuat gereği köy sakinlerinden kaya düşmesi riski altında olan konut maliklerinin daha güvenli bir alana nakli öngörülmüştür. Ancak Demirkent köyünde kaya düşmesi riskli alanlar içerisinde bulunan konutlar kaya düşmesi riski altında olmasına rağmen, köy sakinleri başka bir alana taşınmak istememişlerdir. Bu durumda Demirkent köy yerleşkesinin afete dirençli hale getirebilmek adına önlem projeleri geliştirilmiş ve sahada uygulanmıştır (Şekil 8).

Uygulanan imalatlar öncesinde kaynak alan ve yerleşim yeri arasındaki sahanın halihazır harita çalışmaları yapılmış, düşmesi muhtemel kaya bloklarının hacim ve konumları sayısal halihazır haritalar üzerine işlenmiştir. Düşmesi muhtemel blokların hacmi, geometrisi, buldukları konum, topografik veriler, kaynak alan-yerleşim alanı arasındaki yamaç özellikleri değerleri kullanılarak düşme analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonrasında hem güçlendirilmiş tel ağlar ile stabilizasyon, hem de koruma tip önlemler (çelik kaya bariyerleri) önerilmiş olup öneriler doğrultusunda saha imatları gerçekleştirilmiştir. Çelik kaya bariyerinin yüksekliği, kaya düşmesi analizlerinde belirlenen blok sıçrama yüksekliklerine göre; enerji kapasitesi ise bariyer imalatının bulunduğu hat üzerinde kaynak alandan düşen kaya bloğunun kazandığı toplam kinetik enerjiye göre belirlenmiştir.





Şekil 3. Yusufeli ilçesi Demirkent Köyü ve yakın çevresi jeoloji haritası (MTA, 2012).

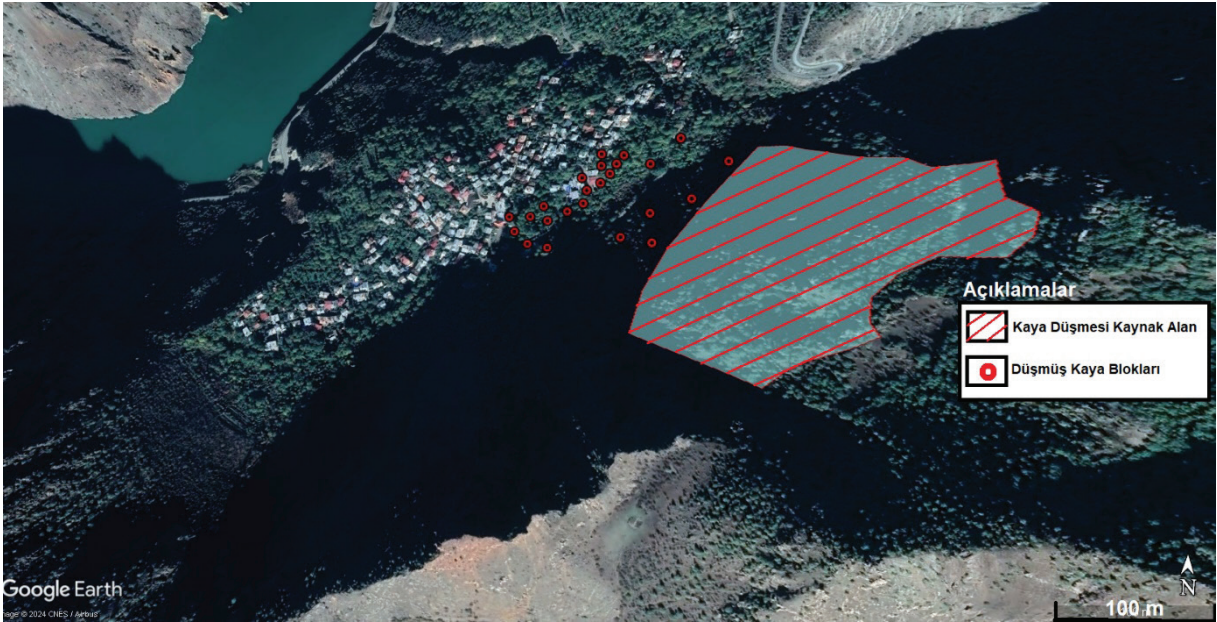
Figure 3. Geological map of Demirkent village and immediate surroundings in Yusufeli (MTA, 2012).

Durmuş, Coruk, Karakaş



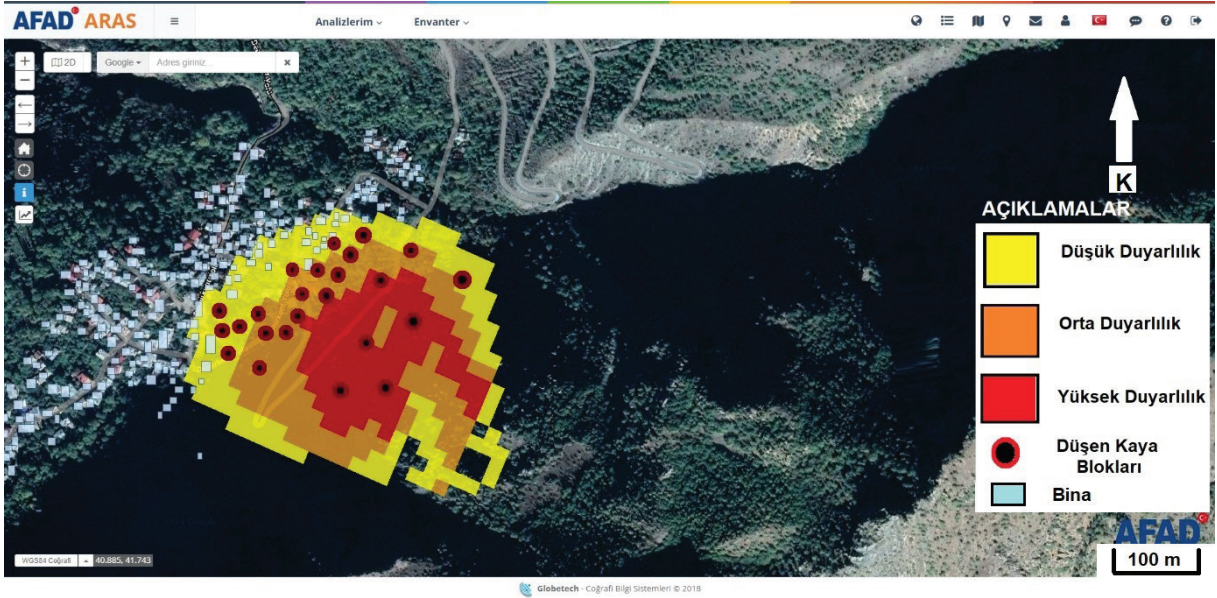
Şekil 4. Demirkent köyünün Google Earth görüntüsü.

Figure 4. Google Earth view of Demirkent village.



Şekil 5. Demirkent köyü yerleşkesi, kaynak alan ve değişik zamanlarda düşmüş 24 adet kaya bloğu konumlarının Google Earth görüntüsü.

Figure 5. Google Earth view of Demirkent village, source area and locations of 24 rock blocks that fell at different times.



Şekil 6. Demirkent Köyü yerleşkesi için Conefall yazılımı kullanılarak elde edilen kaya düşmesi etki alan sınırları (AFAD-ARAS, 2024).

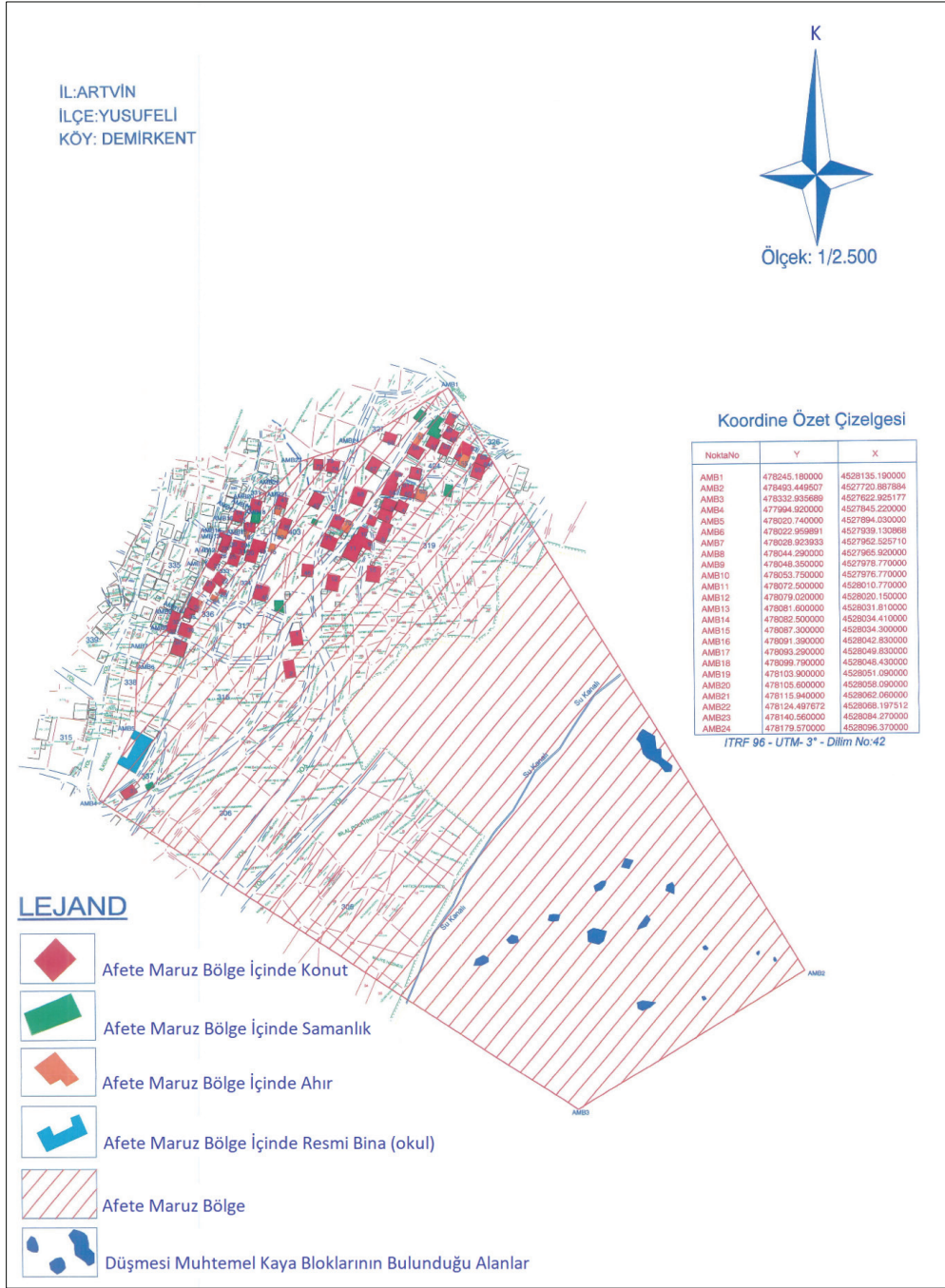
Figure 6. Rockfall impact area boundaries obtained by using Conefall software for Demirkent village (AFAD-ARAS, 2024).

Demirkent köyünde kaya ıslahı çalışmalarının yapıldığı tarihten (2018) günümüze kadar herhangi bir kaya düşmesi olayı görülmemiştir; Kaya düşmesi kaynak alanda çelik halatlarla güçlendirilmiş tel ağlar ile yapılan yüzey örtülemeleri (stabilizasyon türü önlem) ve alt kotlarda çelik kaya bariyerleri (koruma türü önlem) imatları yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen blok sıçrama yükseklikleri ve kazandıkları toplam kinetik enerji değerlerine göre bariyerlerin yükseklik ve

enerji kapasiteleri belirlenmiştir. Stabilizasyon türü önlem imatları sayesinde günümüze kadar çelik kaya bariyerlerinin enerjilerine eş (2000 Kj ve 1000 Kj) bir kaya düşmesi olayı bariyerlere ulaşmamıştır. Sahada, ıslaha yönelik yapılmış tüm uygulamalar, periyodik olarak sahada kontrol edilmekte olup buna bağlı olarak bakım çalışmaları da yapılmaktadır.

Böylelikle Demirkent Köyü'ne, kaya düşmesi afetine karşı dirençli bir yerleşke özelliği kazandırılmıştır.

Durmuş, Coruk, Karakaş



Şekil 7. Demirkent Köyünde düzenlenen jeolojik etüt sonucunda muhtemel kaya düşmesinden etkilenebilecek sahalr (Artvin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2018).

Figure 7. Areas that may be affected by possible rockfalls as a result of the geological investigations carried out in Demirkent village (Artvin Provincial Disaster and Emergency Directorate, 2018).



Şekil 8. Demirkent köyündeki kaya ıslahı çalışmalarının görünümü.

Figure 8. View of the rock reclamation works in Demirkent village.

### Artvin Merkez İlçesi, Seyitler Köyü

Seyitler Köyü Artvin ilçe merkezinin kuzeydoğusunda yer alır. Seyitler Köyü ve Artvin İl Merkezi birbirlerinden Çoruh Vadisiyle ayrılırlar (Şekil 11). Seyitler Köyü Carbiyet mahallesi üst kotlarında (doğusu) dik bir yamaç yüzeyine sahip, gri, koyu gri renkli, az-orta derecede dayanımlı ve orta-sık çatlaklı volkanitlerin oluşturduğu kaynak alan nedeniyle kaya düşmesi tehlikesi altında bulunur. Kaynak alan, bölgedeki tektonizma sonucu yanal yönlü yer değiştirme sonucu oluşan ütü altı yapısını temsil eder. Kaya ortamı içerisindeki süreksizliklerin geneli dik açılı olup doğrultuları

majör faya diktir (Şekil 12). Süreksizlik açıklıkları 20 cm'yi bulur. Eğim miktarları 45-70° arasında değişen diğer süreksizliklerin eğim yönleri KB-GD şeklindedir. Süreksizliklerin eğim yönleri ve açıları ile kaynak alan yamacının doğrultusu/eğim miktarı göz önüne alındığında devrilme, kamalanma şeklinde duraysızlıklar için duyarlı bir yamaç olduğu anlaşılmaktadır. Artvin şehir merkezinin kuzeydoğusundaki Seyitler köyüne doğru gelişmesi düşünülmüş, ancak Carbiyet mahallesindeki mevcut kaya düşmesi kaynak alanın kaya düşmesi bakımından duyarlı olması nedeniyle şehir, Çoruh vadisinin sağ sahili üzerindeki Carbiyet mahallesine doğru

Durmuş, Coruk, Karakaş

gelişim gösterememiştir. 1989 yılında Mülga Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğünce yapılan jeolojik etüt çalışması sonucunda 240 haneli Seyitler köyünde 19 konutun muhtemel kaya düşmesi etki alan sınırları içerisinde kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 13 ve Şekil 14).

### Artvin Merkez İlçesi, Ortaköy Köyü, Yenice Mahallesi

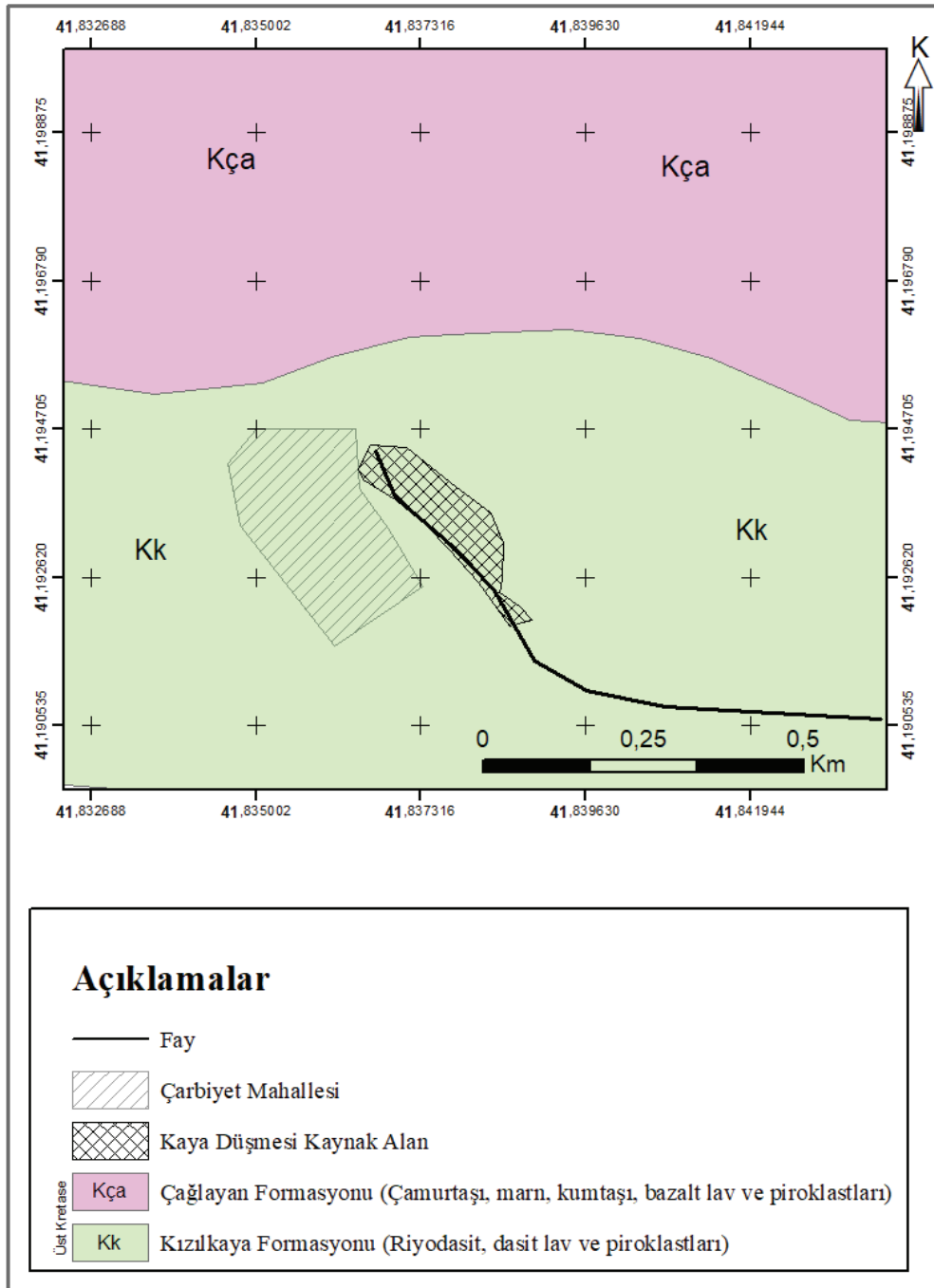
Ortaköy Köyü Yenice Mahallesi Artvin yerleşimi batısında yer alır (Şekil 13). Yenice mahallesi ve yakın çevresinde bazalt, andezit ve riyolitlerin izlendiği Üst Kretase yaşlı Çağlayan formasyonuna ait volkanitler yer almaktadır. Birimin kuzeyinde Kaçkar Granitoyidi sokulumları izlenmektedir (Şekil 14). Yaklaşık batı/güneybatıya 35-40°'lik bir topografik açıyla eğimli, konveks şekilli bir yamaç üzerinde dik/dike yakın açılı, orta-sık çatlaklı, orta derecede dayanımlı özellikler gösteren andezit, bazalt lav

ve piroklastikler gözlenmektedir. Süreksizliklerin açıklığı 15 cm'ye varmaktadır. Süreksizlik düzlemleri genelde pürüzlü, devamlılıkları 10-12 m civarındadır. Süreksizlik ara uzaklıkları 50 cm ile 5 m arasında değişmektedir. Geçmiş dönemlerde, 4-5 yılda 1-2 defa olmak üzere muhtelif defalar söz konusu alandan kaya düşmesi olayları yaşanmıştır. Volkanitlerin bulunduğu bu bölge, topografik eğimi ve süreksizlik özellikleri gereği kaya düşmesi kaynak alan olarak nitelenebilecek bir alandır. Kaya düşmesine karşı duyarlı bir yamaç yüzeyi altında bulunan Yenice Mahallesinde bu nedenle uzun yıllar yeni yapılaşmalar yapılamamakta ve mahalle gelişmemektedir. 2011 yılında Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Artvin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda 480 haneye sahip Ortaköy köyünde muhtemel kaya düşmesi etki alan sınırları içerisinde Yenice mahallesinde 31 adet konut tespit edilmiştir.



Şekil 9. Seyitler Köyü Carbiyet Mahallesi ve yakın çevresinin Google Earth görüntüsü.

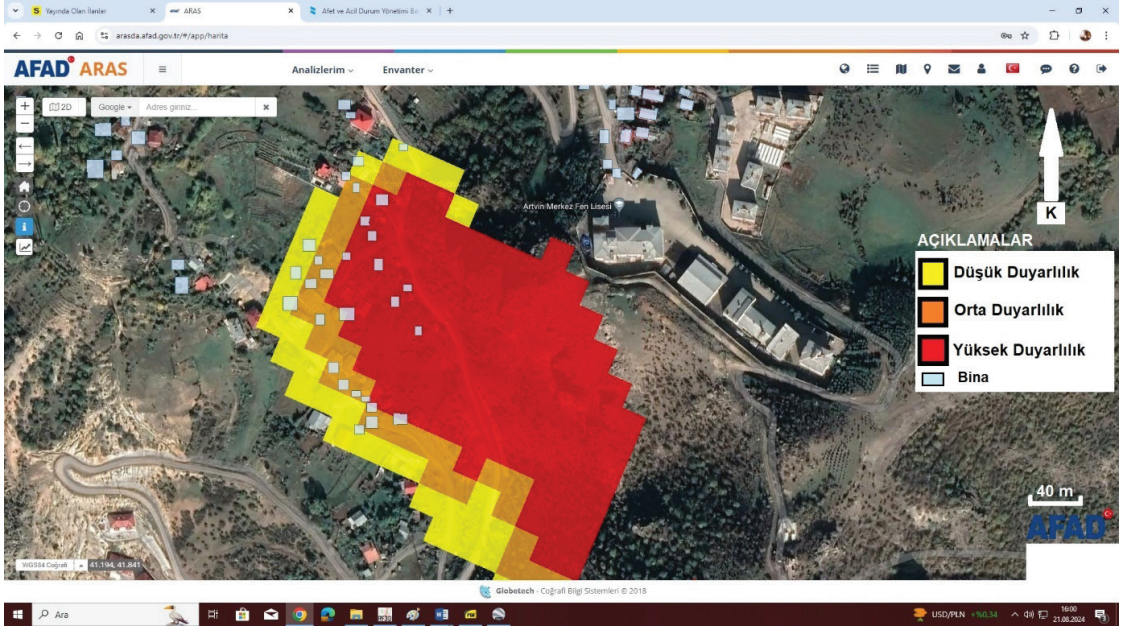
Figure 9. Google Earth view of Seyitler village Carbiyet neighborhood and immediate surroundings.



Şekil 10. Seyitler Köyü Carbiyet Mahallesi ve yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2012).

Figure 10. Geological map of Seyitler village Carbiyet neighborhood and immediate surroundings (MTA, 2012).

Durmuş, Coruk, Karakaş



Şekil 11. Seyitler Köyü yerleşkesi için Conefall yazılımı kullanılarak elde edilen kaya düşmesi etki alan sınırları (AFAD-ARAS, 2024).

Figure 11. Rockfall impact area boundaries obtained by using Conefall software for Seyitler village (AFAD-ARAS, 2024).



Şekil 12. Artvin şehir merkezinden Seyitler Köyü Carbiyet Mahallesi ve kaya düşmesi kaynak alanının görünümü.

Figure 12. View of Seyitler village Carbiyet neighborhood and rockfall source area from Artvin city center.





Şekil 13. Ortaköy köyü ve yakın civarının Google Earth görüntüsü.

Figure 13. Google Earth view of Ortaköy village and near surroundings.

Sahada, kaynak alan ve yerleşim yeri (Yenice mahallesi) arasındaki alanın halihazır haritaları çıkarılmıştır. Düşmesi muhtemel kaya bloklarının konumları, geometrileri ve hacimleri sayısal haritalar üzerine aktarılmıştır. Düşmesi muhtemel bloklara dair veriler (hacim, şekil, konum) ve topografik veriler (eğim, yamaç yüzeyindeki malzeme niteliği vb.) kullanılarak yapılan düşme analizleri sonucunda kaynak alan yamaç yüzeyinde çelik halatlar ve pasif ankrajlarla stabilizasyon ile birlikte daha alt kotlarda çelik kaya bariyeri uygulaması önerilmiştir. Önerilen imalatların tamamlandığı 2015 yılından günümüze kadar Ortaköy köyü Yenice mahallesi yerleşkesini etkileyen herhangi bir kaya düşmesi olayı meydana gelmemiştir. İmalat sonrası yapılan aylık rutin kontrollerde 16. ayda kaynak alan alt kotlarından 3000 Kj enerji sönmüleme kapasiteli kaya bariyerine gelen 1 adet kaya bloğunun daha düşük kinetik enerjiyle (150-200 Kj) bariyere ulaşmış olduğu tespit edilmiş olup sahada ıslah imalatlarının tamamının rutin kontrolleri ve bakımları yapılmaktadır. Yapılan ıslah çalışmalarıyla Ortaköy köyü Yenice

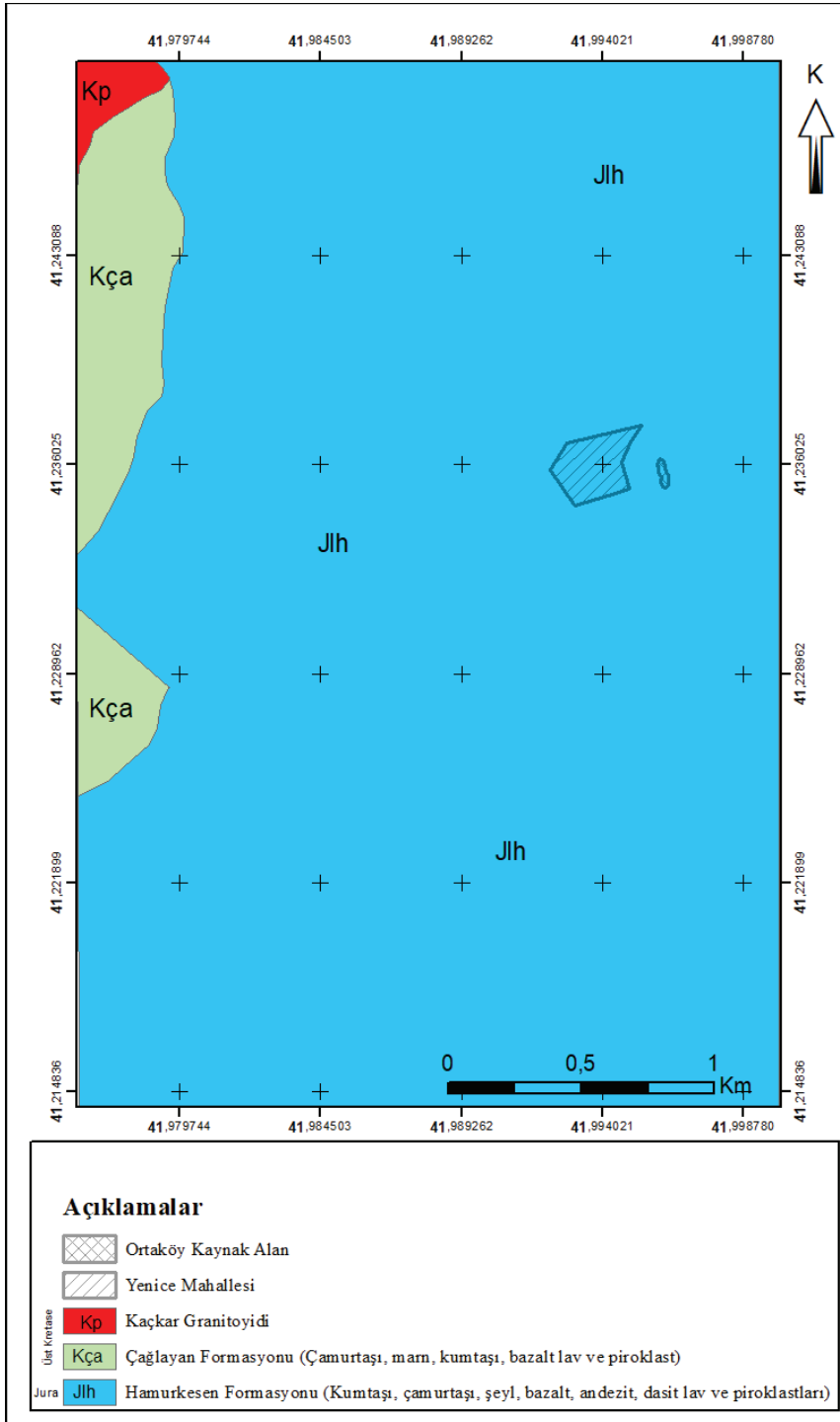
mahallesine kaya düşmesi afetine karşı dirençli bir yerleşke özelliği kazandırılmıştır (Şekil 16).

## SONUÇLAR

Bu çalışma ile Artvin İl sınırları dahilinde, Çoruh havzası boyunca konuşlanmış olan yerleşkelerin kaya düşmesi sorunları ve kaya düşmelerinin mevcut yerleşkelerin planlama ve gelişmesine etkileri değerlendirmiştir.

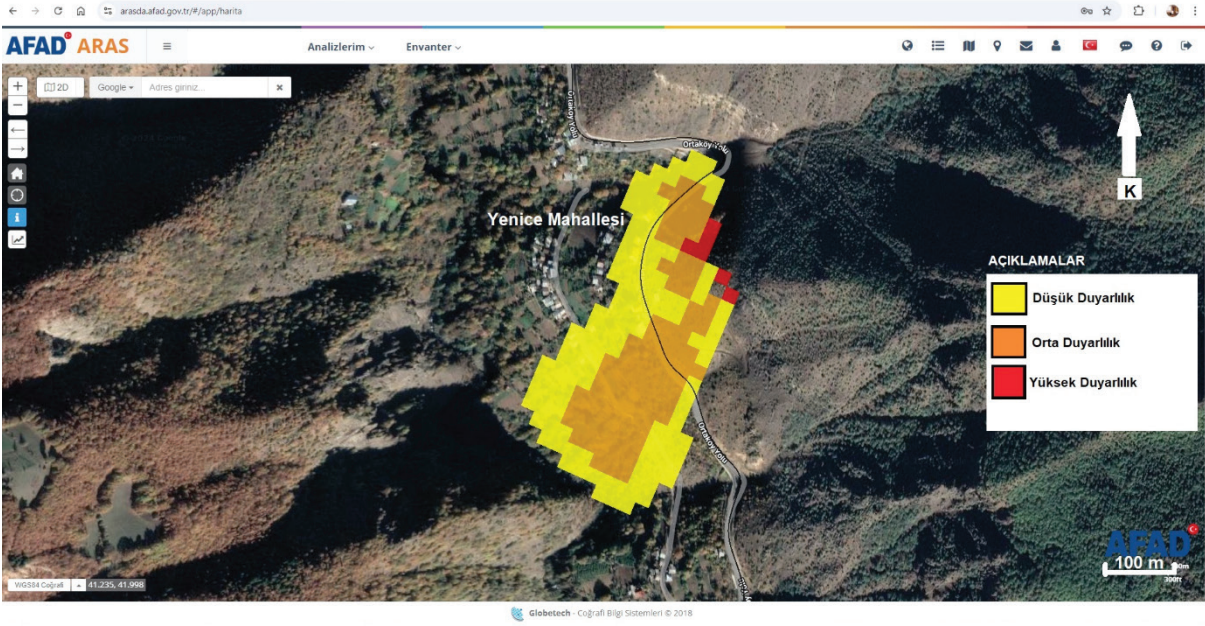
Yapılan duyarlılık analizleri sonucunda, Çoruh havzasındaki yerleşkelerin bulunduğu alanların ve yerleşkeler arasındaki ulaşım yol güzergahlarının büyük bir bölümünün topografik anlamda konik yayılım açılarının  $38^\circ$  ve üzerinde olduğu, kaynak alanlar ile yerleşkeler arasındaki topografik eğim değerlerinin de  $35^\circ$ 'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, Çoruh havzası genelindeki jeomorfolojinin kaya düşmeleri üzerine olan etkilerini de içerdiğinden, havza tamamının kaya düşmesi duyarlılık durumlarının görülebileceği 1/25.000 ölçekli sayısal haritalara işlenmiş kaynak alanlara göre duyarlılık analizi yapan Conefall yazılım sonuçları kullanılmıştır.

Durmuş, Coruk, Karakaş



Şekil 14. Ortaköy Köyü Yenice Mahallesi ve yakın çevresi jeoloji haritası (MTA, 2012).

Figure 14. Geological map of Ortaköy village Yenice neighborhood and immediate surroundings (MTA, 2012).



Şekil 15. Ortaköy Köyü yerleşkesi için Conefall yazılımı kullanılarak elde edilen kaya düşmesi etki alan sınırları (AFAD-ARAS, 2024).

Figure 15. Rockfall impact area boundaries obtained by using Conefall software for Ortaköy village (AFAD-ARAS, 2024).



Şekil 16. Ortaköy köyündeki kaya ıslahının görünümü.

Figure 16. View of rock reclamation in Ortaköy village.

Kaynak alanları oluşturan jeolojik formasyonlar içerisindeki kırık ve çatlak süreksizliklerine sahip litolojinin varlığı da dikkate alındığında, Çoruh havzası içerisindeki

yerleşkelerin bulunduğu alanların kaya düşmesi riski bakımından yüksek riskli alanlar oldukları sonucu elde edilmiştir.

Durmuş, Coruk, Karakaş

İnceleme alanı litolojileri jeoloji-mühendislik jeolojisi özellikleri dikkate alındığında, havza KD kesiminin kaya düşmelerine karşı havza GB kesimine göre daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Kaya düşmesi riski altındaki köy yerleşkelerinde, köy sakinleri mevcut risklere rağmen yerlerini terk etmemektedirler. Bu durum, mevcut yerleşkelerin kaya düşmesi afetine karşı dirençli hale getirilebilmesi için önlem projelerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Mevcut yerleşkelerin kaya düşmesi afetine karşı korunaklı, güvenli hale getirilebilmesi için önerilen projelerin uygulanabilirliği aşamalarında çalışma alanlarının kısıtlılığı ve çalışma alanı alt kotlarında mevcutta yerleşkenin oluşu nedeniyle dikkat ve hassasiyet gerektiren, maliyetli uygulamalardır.

Mevcut yerleşkelerde tespit edilen kaya düşmesi tehlike ve risklerine karşı afet önleyici tedbirler bakımından önerilen mühendislik çözümleri sahanın topografik ve jeolojik özelliklerine uygun, uygulanabilir önlemler olmalıdır. Önlem yapılarının projelendirme aşamalarında sahada daha önceki dönemlerde meydana gelmiş kaya düşmesi olayları, düşme sonrası hareket yönleri ve senaryoları, hareket yönü boyunca yamaç yüzeyinin fiziksel özellikleri (yamacı oluşturan jeolojik birimlerin özellikleri, taze kaya yüzeyi olması durumunda yüzey pürüzlülüğü, bitki örtüsü vb.) ile kaynak alandaki süreksizliklerin mühendislik özellikleri, düşmesi muhtemel blokların şekli, hacmi ve kütleleri, coğrafi konumları ve de kaynak alan ile yamacın sayısal topografik verileri ayrıntılı olarak çalışılmalıdır. Bir kaya düşmesi kaynak alandan itibaren düşmesi muhtemel bir kaya bloğunun ulaşabileceği en uzak mesafenin ve düşme sırasında alabileceği yol güzergâhlarının tespiti için yukarıda belirtilen verilerin eksiksiz

elde edilmesi gerekir; koruma önlemi olarak konulabilecek bir enerji sönümleyici bariyerin doğru hat üzerine yerleştirilmesi, veya stabilizasyon önlemi için pasif ankraj ve çelik halatlarla ve de ağlarla yapılacak imalatlar için ya da güvenli düşürme işlemleri için bu verilerden yararlanılmalıdır. Söz konusu verilerin elde edilebilmesi de kuşkusuz süreç gerektirmektedir.

Çoruh havzası içerisinde kurulacak yeni yerleşkeler veya gelişim sahaları için yapılacak mikrobölgeleme etütlerinde bölgenin heterojen bir litolojiye sahip olduğu unutulmamalı, kaya düşmeleri konusunda yapılacak detay analizlerin sonuçları planlamada görev alan diğer mühendislik disiplinleriyle paylaşılmalı, planlama aşamasında ortak bir dil kullanılabilmelidir.

Yerleşkelerin planlanması aşamalarında kaya düşmelerine yönelik mevcut duyarlılık ve tehlikenin tespiti sonrasında kaya düşmesi tehlikesinin ortadan kaldırılması için yapılacak yatırım maliyetleri, yapılaşma süreci tamamlanmış bir yerleşkenin kaya düşmesi tehlike ve risklerinin bertaraf edilmesi için harcanan ıslah maliyetlerinin daha altında olacağı gibi, planlama aşamasında yapılacak çözümler mühendislik açısından daha verimli ve daha uzun ömürlü olacaktır.

Çoruh havzası gibi heterojen litolojiye ve sarp topografik yamaçlara sahip sahalar için planlanabilecek yerleşkelere dair yapılacak yeni bir planlamada, kaya düşmelerine karşı kaynak alan envanterleri oluşturularak gerekli analizler sonuçlandıktan sonra geleceğe dönük planlamalar yapılmalıdır.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, çalışmada kullanılan verileri sağlayan İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum

Yönetimi Başkanlığına ve Artvin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğüne teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2024). Afet risk analiz sistemleri. Ankara, Türkiye: AFAD Yayınları.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2020). Kaya düşmelerinden kaynaklı afetlerin değerlendirilmesine yönelik kaynak kılavuz. Ankara, Türkiye: AFAD Yayınları.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (Mülga Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü). (1989). Artvin İli Merkez ilçesi Seyitler Köyü jeolojik etüt raporu. Ankara, Türkiye: AFAD Yayınları.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Artvin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. (2012). Artvin İli, Merkez ilçesi, Ortaköy Köyü jeolojik etüt raporu. Ankara, Türkiye: AFAD Yayınları.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Artvin İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. (2018). Artvin İli Yusufeli ilçesi Demirkent Köyü jeolojik etüt raporu. Ankara, Türkiye: AFAD Yayınları.
- Agliardi, F., & Crosta, G. (2003). High-resolution three-dimensional numerical modelling of rockfalls. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(3), 455–471. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(03\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(03)00021-2)
- Akın, M., Dinçer, İ., Ok, A. Ö., Orhan, A., Akın, M. K., & Topal, T. (2021). 3-Boyutlu kaya düşme analizlerinde TLS ve İHA ile oluşturulan sayısal yüzey modellerinin kullanımı. *Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu*, 455–462.
- Baltzer, A. (1875). On a recent rockfall on Rossberg with a few observations on these phenomena in the Alps. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 914–924.
- Bozzolo, D., & Pamini, R. (1986). Simulation of rockfalls down a valley side. *Acta Mechanica*, 63(1), 113–130. <https://doi.org/10.1007/BF01182518>
- Dorren, K. A. L. (2003). A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 27(1), 69–87. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp359ra>
- Doyuran, V. (1976). Environmental geology problems of Ortahisar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 83–88.
- Wyllie, D. C. (2014). *Rockfall engineering: Development and calibration of an improved model for analysis of rockfall hazards on highways and railways*. Vancouver, Canada: University of British Columbia.
- Düzgün, H., Akgün, A., & Gheibie, S. (2012). Kaya düşmeleri ve kaya şev kaymaları için risk analizine dayalı mühendislik çözümlerinin değerlendirilmesi (Proje No: 110M796). Ankara, Türkiye: ODTÜ Yayınları.
- Eroskay, O. (1970). Laleli-Taşköy derivasyon tüneli jeoloji raporu. Ankara, Türkiye: EİE Yayınları.
- Ertunç, A. (1980). Çoruh Havzası olası baraj yerleri, göl alanları ve tünel güzergahlarının mühendislik jeolojisi incelemesi. Ankara, Türkiye: EİE Yayınları.
- Wang, I.-T., & Lee, C.-Y. (2012). Simulation and statistical analysis of motion behavior of a single rockfall. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 61, 1–10.
- Hoek, E. (2023). *Practical rock engineering*. Retrieved from <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
- Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü. (1998). Artvin ilinin çevre jeolojisi. Ankara, Türkiye: MTA Yayınları.
- Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü. (2012). Artvin F47-F48-G46-G48 paftaları sayısal jeoloji haritaları. Ankara, Türkiye: MTA Yayınları.
- Nasery, M., & Çelik, M. (2020). Kaya ıslahı çalışmalarında birleşik çözümlerin incelenmesi: Trabzon Kaymaklı örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 539–554.
- Pierson, L. A., & Van Vickie, R. (1993). *Rockfall hazard rating system: Participant's manual*

Durmuş, Coruk, Karakaş

- (Publication No. SA-93-057). Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Polat, A., Keskin, İ., & Denizli, İ. (2016). Kaya düşmesi önleme yöntemlerine bir örnek: Çelik bariyer uygulaması (Gürün - Sarıca). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 40(1), 81–96.
- Quanterra. (2016). Conefall (v1.0.). Retrieved from <https://quanterra.ch/resources/software/>
- Ritchie, A. M. (1963). Evaluation of rockfall and its control. *Highway Research Record*, 17, 1–35.
- Schweigl, J., Ferretti, C., & Nossing, L. (2003). Geotechnical characterization and rockfall simulation of slope: A practical case study from South Tyrol, Italy. *Engineering Geology*, 67(3), 281–296. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00210-8](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00210-8)
- Tunusluoğlu, C., & Zorlu, K. (2009). Rockfall hazard assessment in cultural and natural heritage: Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey. *Environmental Geology*, 56(5), 963–972. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1197-y>
- Varol, O., Akın, M., Orhan, A., & Dinçer, İ. (2023). Kaya düşmelerinin 3 boyutlu olasılıksal analizlerle ve ampirik yöntemlerle değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 47(1), 1–28. <https://doi.org/10.24232/jmd.1267107>
- Zorlu, K., Tunusluoğlu, C., Görüm, T., Nefeslioğlu, H. A., Yalçın, A., & Gökçeoğlu, C. (2011). Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 62(8), 1685–1693. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0636-7>