



KARADENİZ
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Heyelan
Uygulama ve Araştırma Merkezi

UYGAR

*Artvin İli Yusufeli İlçesi Havuzlu Köyünde 31.07.2024
Tarihinde Meydana gelen Heyelana Yönelik*
JEOLojİK-JEOTEKNİK RAPOR

HAZIRLAYAN

Prof. Dr. Hakan ERSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Heyelan Uygulama ve araştırma Merkezi

EYLÜL 2024

1. Konu ve Amaç

Artvin Barajı ve HES projesi nedeniyle Yusufeli İlçesi Havuzlu Köyünün mevcut heyelan riskinin artabileceği gerekçesiyle köy yerleşim alanının bir kısmı 2015 yılında Artvin Barajı ve HES kamulaştırma sahasına dâhil edilerek, kamulaştırılmıştır. Kamulaştırma işlemleri gerçekleştirilen aileler köy sınırları içerisinde başka bir alanda konut yapımı için Artvin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğüne başvuruda bulunmuş, söz konusu alan Artvin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğüne imara açılmış ve akabinde yerleşim yerinde konut yapımına yönelik palye kesme işlemlerine 2019 yılında başlanmıştır.

Palye kesme işlemleri tamamlanması akabinde İl Özel İdaresinden inşaat ruhsatı alınarak konut yapımı çalışmalarına başlanmış inşaat faaliyetleri devam ederken 31.07.2024 tarihinde heyelan meydana gelmiştir (Şekil 1). Heyelan sonrası inşaat alanına ulaşımın sağlandığı 2 adet stabilize yol kapanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Artvin AFAD İl Müdürlüğü'nün talebi üzerine Artvin İli Yusufeli İlçesi Havuzlu Köyü sınırları içerisinde yer alan mahallenin doğu kesimindeki vadi yamacında yüzeyleyen yamaç molozları içerisinde inşaat alanı kazanmak amacıyla yapılan kazılara bağlı olarak 31.07.2024 tarihinde meydana gelen heyelanla ilgili bir rapor hazırlanmış ve bu kapsamda;

- (1) Gelişen heyelanın oluşum mekanizması belirlenmiş
- (2) Heyelanlı alanın ıslah edilip edilmeyeceği ve yapı inşasına devam etmenin güvenli olup olmayacağına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Çalışma Sahasının Konumu

Çalışma sahası, Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Orta Çoruh Havzasında ve Çoruh Nehri üzerinde ve Artvin Barajı rezervuar alanı içerisinde yer almaktadır. Kuzeyden Hopa-Artvin, güneyden de Erzurum-Yusufeli üzerinden ulaşılan çalışma sahası Artvin şehrinin yaklaşık 35 km güneybatısında bulunmaktadır (Şekil 1).

Heyelanın meydana geldiği sahaya ulaşım karşı vadide bulunan Artvin-Yusufeli karayolundan kuzeydoğuya ayrılan yaklaşık 1.5 km'lik stabilize yol ile sağlanmakta olup, çalışma alanının tek ulaşım yolu Havuzlu Köyü içerisinde geçmektedir (Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma sahasına ait yer bulduru haritası



Şekil 2. Artvin-Yusufeli karayolunun, Havuzlu köyüne ulaşım yolunun, Havuzlu köyünün ve çalışma sahasının Google Earth uydu görüntüsündeki konumu

3. Çalışma Alanı ve Çevresinde Heyelan Durumu

Bu çalışmada, Artvin Barajı ve HES kamulaştırma sahasına dâhil edilerek kamulaştırılan ve Artvin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğünce imara açılan alanda konut yapımı için alan oluşturmak amacıyla yapılan kazılar sonrası inşaat faaliyetleri devam ederken 31.07.2024 tarihinde meydana gelen heyelan değerlendirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Kazı alanında 31.07.2024 tarihinde meydana gelen heyelan

4. Çalışma Alanı ve Çevresinde Heyelan Potansiyeli

4.1. Yapılan Önceki Çalışmalar

Çalışma sahası ve çevresinde geçmiş yıllarda birçok jeolojik çalışma yapılmıştır (Ketin, 1951 ve 1966; Altınlı, 1969 ve 1970; Tokel, 1977; İçten, 1979; Dokuz, 2000). İçten (1979), Yusufeli Baraj Alanının Mühendislik Jeolojisi isimli çalışmasında, açılan sondaj ve galeri değerlendirmiş, süreksizlik analizleri yapmış ve 1/1000 ölçekli baraj yeri jeoloji haritası hazırlamıştır (EİEİ, 1992)

Baraj jeoloji ile ilgili çalışmalara 1982 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından başlanmıştır. Bu kapsamda EİEİ tarafından 1982 yılında Çoruh Nehri Havzası Master Plan Raporu hazırlanmış, planlanan Artvin Barajı ve HES tesis yeri İnanlı Köyü'ne 1 km uzaklıkta ve Demirkent Paleo-Heyelanının 1 km yukarısında önerilmiştir. Bu durumda baraj yerinin 1 km akış yukarısında bulunan Havuzlu Paleo-Heyelanın topuk kısmının su altında kalacağı görülmüş ve heyelan malzemesinin duraylılığının bozulabileceği düşünülerek ayrıntılı jeolojik etütler önerilmiştir.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından 1990 yılında ise Artvin Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi hazırlanmış, proje kapsamında baraj inşa edilecek alanın ve çevresinin iklim, hidrolojik, jeolojik ve sismik özellikleri detaylı olarak incelenmiş, derivasyon yapılarının planlaması, baraj tipi seçimi, temel iyileştirme yöntemleri, dolusavak ve dip savak dizaynı, enerji üretim tesislerinin planlanmasına yönelik çalışmalarda bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda Artvin Barajı rezervuar alanında iki büyük heyelanın bulunduğu belirlenmiştir. Bunlardan biri baraj yerine göre akış yukarıda, Çoruh Nehri'nin sağ sahilinde ve yaklaşık 8 km uzaklıkta bulunan Havuzlu Paleo-Heyelanı, diğeri ise baraj yerine göre akış yukarıda, Çoruh Nehri'nin sol sahilinde ve yaklaşık 6.5 km uzaklıkta bulunan Demirkent Paleo-Heyelanıdır. Çalışma kapsamında barajın su tutmasıyla rezervuar alanı içerisinde kalacak olan Havuzlu Paleo-Heyelanı detaylı olarak araştırılmış, heyelan malzemesinin duraylılığı incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda heyelan alanında ikincil kaymaya işaret eden iki düzlük alan görülmüştür. Bu nedenle heyelan malzemesi üzerinde farklı alanlarda derinlikleri 40-90 metre arasında değişen 4 adet sondaja ait veriler ve Elektrik Özdirenç Yöntemi ile elde edilen sonuçlar kullanılarak bu malzemenin düşey devamlılığı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan tüm bu

çalışmalar sonucunda Havuzlu ve Demirkent Paleo-Heyelanının genel özellikleri belirlenmiş ve bu özellikler Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Havuzlu ve Demirkent (Yusufeli, Artvin) Paleo-Heyelanlarının genel özellikleri (EİEİ, 1990)

Özellikler	Havuzlu	Demirkent
Yusufeli Barajı’na mesafe (km)	12	14
Artvin Barajı’na mesafe (km)	8	6.5
Alan (km ²)	0.8	1
Ortalama kalınlık (m)	110	-
Potansiyel hacim (m ³)	86 milyon	57 milyon
Ortalama eğim	22 ⁰	23 ⁰
Şekil ve tipi	Duraylı değil	Duraylı

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından 1992 yılında Artvin Baraj ve Hidroelektrik Santral Projesi Mühendislik Jeolojisi Raporu hazırlanmıştır. Bu çalışma kapsamında jeolojik harita alımı, sondaj uygulamaları, araştırma galerileri uygulamaları yapılmış, yerinde ve arazi ortamında yapılan deneyler ile zemin/kaya ortamının mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Baraj sahasında 17 adet toplam 1644 metre sondaj, 4 adet 550 metre uzunluğunda galeri açılmış ve bu galerilerde 34 adet yerinde deney yapılmıştır. Bununla birlikte Havuzlu Paleo-Heyelan malzemesi üzerinde toplam 219 metre derinliğinde 4 adet sondaj yapılmış, 15 hat boyunca Elektrik Özdirenç Yöntemi ile jeofizik çalışmalarda bulunulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda heyelan malzemesi genişliğinin üst kotlarda 900 metre, orta kısımlarda 800 metre ve topuk kısmında ise 600 metre olduğu belirlenmiş, heyelanın toplam uzunluğunun 1600 metre, yüzey alanının ise 0.8 km² olduğu belirlenmiştir. Heyelanda bir hareketin olması durumunda, direk olarak bütün kütlenin aynı anda kayması mümkün olmayacağı, bununla birlikte olası hareketin yerel gelişeceği tahmin edilmiştir.

Çalışma alanı ve çevresinde son çalışmalar Karadeniz Teknik Üniversitesi bünyesinde 2015 yılında tamamlanmıştır. Çalışmada, 15 adet 1169.1 metre derinlikte araştırma sondajı açılmış, 4 kuyuda toplam 126 adet presiyometre deneyi uygulanmış ve yeraltı suyu gözlemi için 2 adet rasat kuyusu tesis edilmiştir. Bununla

birlikte, 1 adedinde ise 88 metre derinlikte inklinometre kuyusu açılmıştır. Ayrıca 11 profilde 2-boyutlu elektrik özdirenç birleşik sondaj ölçüsü ve 16 farklı noktada da mikrotremor ölçüsü alınmıştır. Çalışmada Havuzlu köyünün 450-900 m genişliğinde 1650 m uzunluğunda kalınlığı 39-105 m arasında değişen ve toplam hacmi 85 milyon m³'e ulaşan bir heyelan kütlesi üzerinde kurulduğu, bu malzemenin lokal kazılara bağlı olarak hareket edebileceği belirtilmiştir.

4.2. Yapılan Önceki Çalışmalar

Çalışma sahasında yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, kazı alanının bir kısmının önceki çalışmalarda duraylı olmadığı ve lokal alanlarda heyelan riski taşıdığı (Şekil 4) belirtilen Havuzlu Paleo-heyelanı içerisinde kaldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle bu alanda kazı-destek projesi olmadan yapılan kontrolsüz kazılar sonrasında heyelan meydana gelmiş, inşaat alanına giden 2 ulaşım yolu kapanmıştır.



Şekil 2. Havuzlu Paleo-heyelanının Google Earth uydu görüntüsündeki konumu ve 12.12.1222 tarihinde meydana gelen heyelan

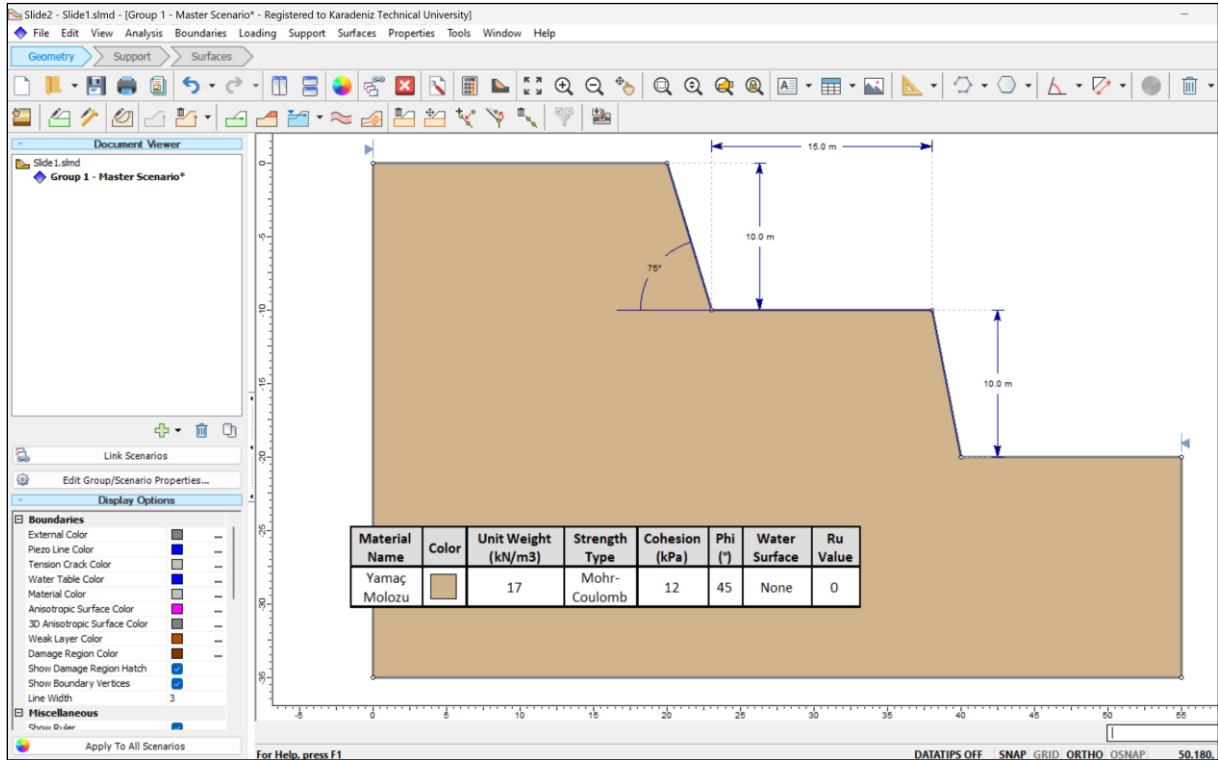
Çalışma alanı ve çevresinde yapılan incelemelerde tüm palyeler boyunca yamaç molozlarının yüzeylenme verdiği görülmektedir. Şev yükseklikleri dikkate

alındığında yamaç molozu kalınlığının 10 metreden fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında mevcut şevlerin konumları dikkate alınarak stabilite analizleri yapılmıştır. Şekil 3'te verilerin Slide2 yazılımına tanımlanma şekli görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında iki boyutlu analizde basitleştirilmiş Bishop yöntemi kullanılmış, yöntemde dairesel kayma yüzeyleri için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında en kritik kesit için stabilite analizleri uygulanmıştır. Duraylılık analizlerinde girdi parametresi özellikleri önceden sahada yapılmış raporlardan temin edilmiştir (Tablo 2).

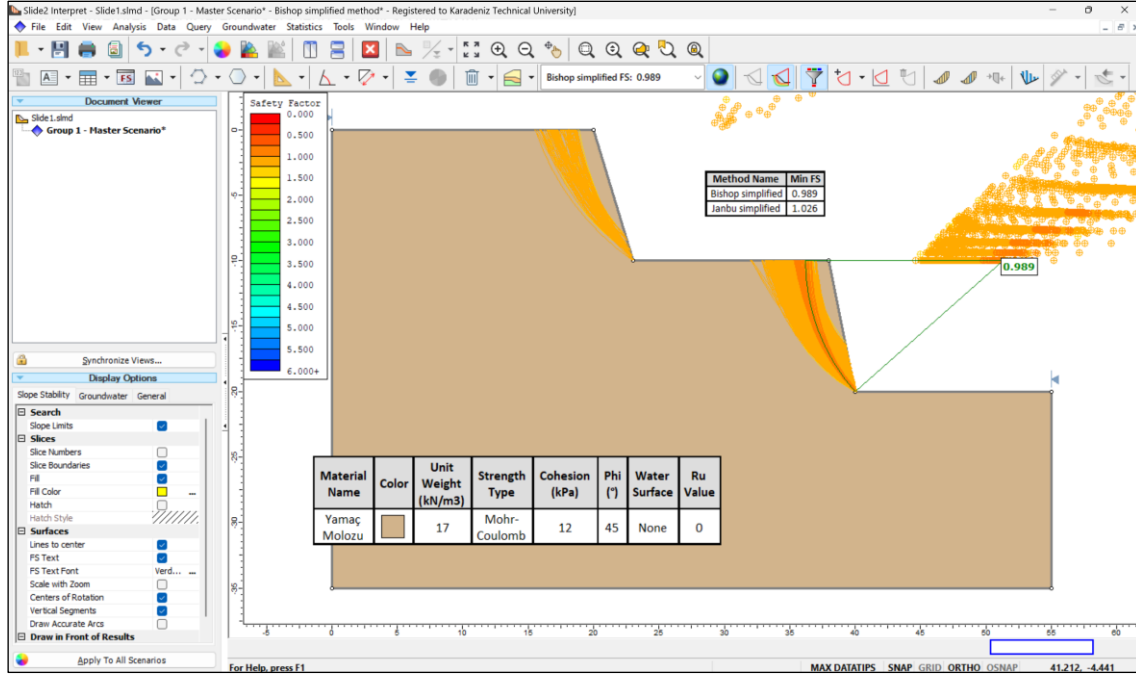
Tablo 2. Proje kapsamında yamaç stabilitesi analizinde girdi olarak kullanılan zemin parametreleri (Gelişli vd. 2015)

Jeoteknik Özellik	Kohezyon (kPa)	Sürtünme Açısı	BHA (kN/m ³)
Maksimum	12	45 ⁰	20.5
Minimum	3	32 ⁰	12.5
Kullanılan değer	10	38 ⁰	17 (doğal) 20 (doygun)

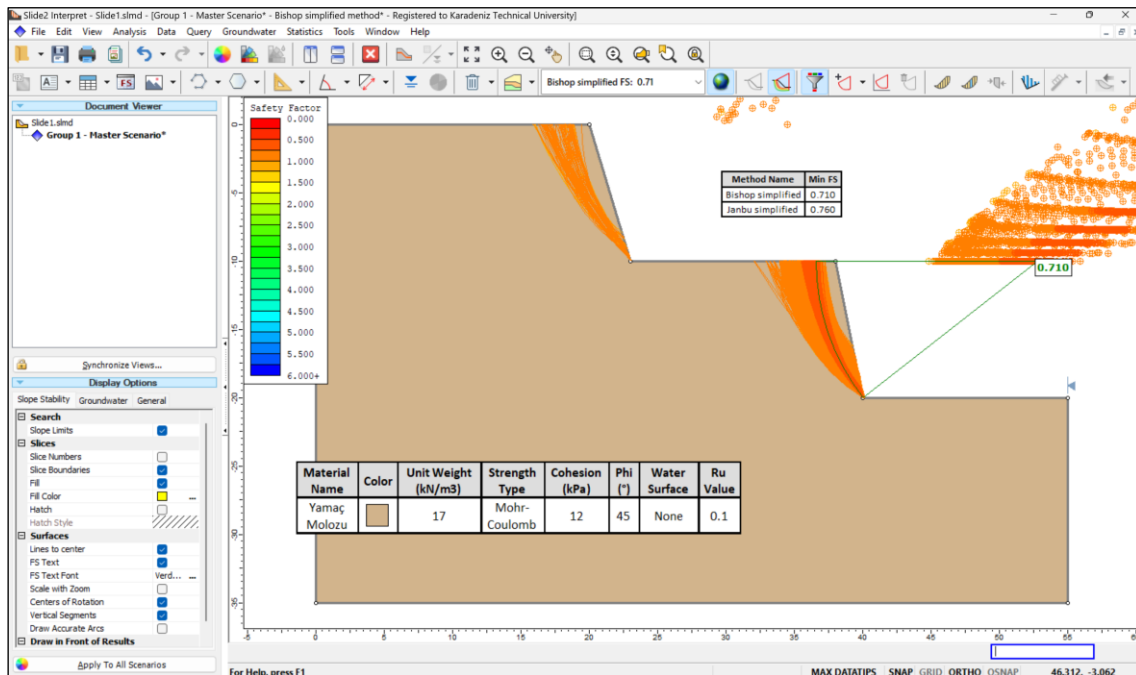


Şekil 3. Mevcut şevin geometrik özelliklerinin zemin parametrelerinin Slide2 yazılımına tanımlanması (sadece 2 basamak üzerinde analiz yapılmıştır)

Yapılan stabilite analiz sonuçları değerlendirildiğinde güvenlik sayısı değerinin statik durumda 0.989 olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bununla birlikte yağış durumu dikkate alınarak yapılan analizlerde ($r_u=0.1$ alınmıştır) güvenlik sayısının 0.71'e düştüğü görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 4. Mevcut şevde statik durum için yapılan 2 boyutlu limit denge analiz sonuçları



Şekil 5. Mevcut şevde statik durum için yağış etkisini dikkate alınarak yapılan 2 boyutlu limit denge analiz sonuçları

TBDY 2018'e göre özel riskler içeren durumlar hariç $\gamma_{RK} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli güvenlik düzeyi olarak kabul edildiği için şevin statik durumda duraylı olmadığı analizlerden görülmektedir. 31.07.2024 tarihinde meydana gelen heyelan bu sonucu doğrulamaktadır. Tüm verilerin bir bütün olarak değerlendirilmesi sonucunda heyelanın nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- (1) Çalışma sahası literatürde yapılan bütün çalışmalarda "aktif heyelan bölgesi" olarak tanımlanan Havuzlu Paleo-heyelanı içerisinde kalmaktadır.
- (2) Çalışma sahasında tüm yamaç boyunca kalınlığı 10 metreden fazla olan heyelan açısından risk teşkil eden malzeme olarak tanımlanan yamaç molozları yüzeylenmektedir (Şekil 6).
- (3) Heyelan potansiyeli olan alanda güvenli şev açısı-şev yüksekliği ilişkisi kurulmadan ve şev stabilite raporu hazırlanmadan kontrolsüz kazı yapılmıştır.
- (4) Kazıda şev eğimleri çok yüksek (yaklaşık 80 derece), şev yükseklikleri fazla (en az 10 m) tutulmuştur.



Şekil 6. Çalışma sahasındaki kazılarda palyelendirilen ve kalınlığı 10 metreyi aşan yamaç molozlarını

Tüm bu koşullar dikkate alındığında kalınlığı 10 metreden fazla olan yamaç molozlarının tüm vadi boyunca yüzeylenmesi, yapılacak ıslah çalışmalarının kazı

tabanından (yaklaşık 660 m kot) kazı tavanına (820 m) kadar geniş bir alanı kapsamayı gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle bu alana müdahale edilmesi durumunda heyelanların tekrarlanma riski bulunmaktadır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında Artvin İli Yusufeli İlçesi Havuzlu Köyü sınırları içerisinde yer alan mahallenin doğu kesimindeki vadi yamacında yüzeylenen yamaç molozları içerisinde yapı inşaat alanı kazanmak amacıyla yapılan kazı sonrası 31.07.2024 tarihinde meydana gelen heyelanla ilgili olarak; gelişen heyelanın oluşum mekanizması belirlenmiş, heyelanlı alanın ıslah edilip edilmeyeceği ve yapı inşasına devam etmenin güvenli olup olmayacağına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- (1) Çalışma sahasında yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, kazı alanının bir kısmının önceki çalışmalarda duraylı olmadığı ve lokal alanlarda heyelan riski taşıdığı belirtilen ve 450-900 m genişliğinde 1650 m uzunluğunda kalınlığı 39-105 m arasında değişen, toplam hacmi 85 milyon m³'e ulaşan bir paleo-heyelan (Havuzlu Paleo-heyelanı) içerisinde kaldığı anlaşılmaktadır.
- (2) Çalışma alanı ve çevresinde yapılan incelemelerde tüm palyeler boyunca yamaç molozlarının yüzeylenme verdiği görülmektedir. Şev yükseklikleri dikkate alındığında yamaç molozu kalınlığının 10 metreden fazla olduğu anlaşılmıştır.
- (3) Bu nedenle çalışma kapsamında mevcut şevlerin konumları dikkate alınarak mevcut durumu simüle edene stabilite analizleri yapılmış, şevlerin statik durumda bile duraylı olmadığı belirlenmiştir. 31.07.2024 tarihinde meydana gelen heyelan bu sonucu doğrulamaktadır.
- (4) Zaten heyelan açısından hassas olan bu alanda, yanlış yer seçimine ek olarak, güvenli şev açısı-şev yüksekliği ilişkisi kurulmadan ve şev stabilite raporu hazırlanmadan kontrolsüz kazı yapılması heyelanla sonuçlanmıştır.
- (5) Tüm bu koşullar dikkate alındığında kalınlığı 10 metreden fazla olan yamaç molozlarının tüm vadi boyunca yüzeylenmesi, yapılacak ıslah çalışmalarının kazı tabanından (yaklaşık 660 m kot) kazı tavanına (820 m)

kadar geniş bir alanı kapsamayı gerektiğini göstermektedir. Bu alana müdahale edilmesi durumunda heyelanların tekrarlanma riski söz konusu olduğu için alanın inşaat için uygun olmadığı net olarak anlaşılmaktadır.

Prof. Dr. Hakan ERSOY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Heyelan Uygulama ve araştırma Merkezi