PALEO-HEYELAN SAHASINDAKİ KALSİT OCAĞI KAZILARININ ŞEV STABİLİTESİ DEĞERLENDİRMESİ

SLOPE STABILITY ASSESSMENT OF CALCITE QUARRY EXCAVATIONS IN A PALEO-LANDSLIDE AREA

Sevinç ÜNSAL ORAL[1], Berna UNUTMAZ[2]

ÖZET

Bu çalışmada, Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi'nde planlanan kalsit ocağı kazılarının şev stabilitesi açısından geoteknik değerlendirmesi sunulmaktadır. Çalışmanın özgünlüğü, sahanın paleo-heyelan sahasında yer almasının yanı sıra Gölbaşı–Nurhak karayolu ile mevcut demiryolu hattı ve tünellerine yakın konumundan kaynaklanmaktadır. Bölgede yüksek sismisite, topoğrafik eğim, yüzey ve drenaj koşullarındaki olası değişimler ile kazı ve stok faaliyetlerinin çevredeki ulaştırma altyapısına etkileri temel mühendislik problemi olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda saha gözlemleri, karotlu sondajlar, topoğrafik kesitler, mühendislik jeolojisi değerlendirmeleri ve limit denge yöntemine dayalı statik ve pseudo-statik analizler birlikte değerlendirilmiştir. İncelemeler, sahanın yalnızca jeolojik özellikleri nedeniyle değil, aynı zamanda yakın çevresindeki kritik ulaşım yapıları, deprem sonrası bölgesel hassasiyet ve su kontrolünün önemi nedeniyle de dikkatle ele alınması gereken bir geoteknik problem sunduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, kazıların belirlenen üretim sınırları içinde, patlatmasız, kontrollü drenaj, uygun şev geometrisi ve sürekli deformasyon izleme önlemleri ile yürütülmesi halinde mühendislik açısından yönetilebilir olduğunu ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: *şev stabilitesi, paleo-heyelan, açık ocak kazısı, pseudo-statik analiz*

ABSTRACT

This study presents a geotechnical assessment of slope stability for the planned calcite quarry excavations in Gölbaşı district of Adıyaman. The originality of the study arises not only from the location of the site within a paleo-landslide area, but also from its proximity to the Gölbaşı–Nurhak highway, the existing railway line, and nearby tunnels. High seismicity, topographic relief, possible changes in surface and drainage conditions, and the effects of excavation and stockpiling activities on the surrounding transportation infrastructure are considered as the main engineering challenges. Within this scope, field observations, core drilling data, topographic cross-sections, engineering geological evaluations, and static and pseudo-static slope stability analyses based on the limit equilibrium method were assessed together. The investigations indicate that the site should be treated as a sensitive geotechnical problem not only because of its geological characteristics, but also due to the nearby critical transportation structures, the regional post-earthquake sensitivity, and the importance of water control. The findings suggest that the excavations can be managed from an engineering perspective, provided that they remain within the defined production limits and are carried out without blasting, with controlled drainage, appropriate slope geometry, and continuous deformation monitoring.
Keywords: *slope stability, paleo-landslide, open-pit excavation, pseudo-static analysis*

1. GİRİŞ

Açık ocak madenciliğinde yapılan kazılar, doğal şev geometrisini ve kaya kütlesi içerisindeki gerilme koşullarını değiştirerek mevcut yamaçların stabilitesini

[1] Dr. Öğrt. Üyesi, Başkent Üniversitesi, suoral@baskent.edu.tr (Sorumlu yazar)
[2] Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, berna.unutmaz@hacettepe.edu.tr

etkileyebilmektedir. Bu nedenle açık ocak şevlerinin tasarımında kazı geometrisinin yanı sıra kaya kütlesinin özellikleri, süreksizlikler, topoğrafya ve yeraltı suyu koşullarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle yüksek ve süreksizlik içeren kaya şevlerinde, saha koşullarının doğru tanımlanması ve uygun dayanım kriterlerinin kullanılması şev stabilitesi değerlendirmesinin önemli bir parçasıdır (Hoek vd., 2002; Read ve Stacey, 2009).

Eski heyelan sahalarında yapılacak kazılar, mevcut şev geometrisini ve gerilme koşullarını değiştirerek şev stabilitesini olumsuz etkileyebilir ve eski kayma yüzeylerinin yeniden aktive olmasına neden olabilir. Bunun yanında, sismik hareketlerin mevcut heyelan kütlelerini yeniden aktive edebildiği ve bu nedenle yüksek sismisiteye sahip bölgelerde eski heyelan alanlarının deprem etkileri altında ayrıca değerlendirilmesi gerektiği bilinmektedir (Martino, 2016). Deprem etkisi altındaki şevlerin ön değerlendirilmesinde pseudo-statik yöntemler yaygın olarak kullanılmakta ve deprem etkisi eşdeğer yatay atalet kuvveti ile limit denge analizlerine dahil edilmektedir (Jibson, 2011; Bray ve Travasarou, 2009).

Proje sahasının bulunduğu Adıyaman İli, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerden önemli ölçüde etkilenen bölgelerden biridir. Yapılan saha incelemelerinde T5 ve T6 tünellerinde deprem sonrasında belirgin bir deformasyon gözlenmezken, heyelan sahasının topuk bölgesinde bulunan T7 tüneli ve demiryolu hattında yaklaşık 40–50 cm yatay deplasman meydana geldiği görülmüştür. Deprem sonrasında T7 tünelinin kullanım dışı bırakılmasına ve demiryolu hattının bu bölgeden uzaklaştırılmasına karar verilmiştir. Bu durum, sahada yapılacak yeni kazıların değerlendirilmesinde mevcut heyelan koşulları ile deprem etkisinin birlikte ele alınmasının önemini artırmaktadır.

Proje sahasında yapılan incelemelerde, kazı yapılması planlanan kaya kütlesinin genel olarak sağlam ve orta çatlaklı olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık demiryolu hattına doğru inilen alt kotlarda ayrışmanın yer yer arttığı ve kil ara bantlarının bulunduğu görülmüştür. Sahada ayrıca derinlikleri 40–70 m arasında değişen beş adet karotlu sondaj gerçekleştirilmiş; sondajlarda ağırlıklı olarak beyaz renkli kalsit içerikli kayaçlarla karşılaşılmış ve yer yer kil bantları gözlenmiştir.

Bu çalışmada, eski heyelan alanı içerisinde planlanan kalsit ocağı kazılarının mevcut şev stabilitesine ve yakın çevrede bulunan ulaşım yapılarına olası etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda saha gözlemleri, sondaj verileri ve topoğrafik kesitler birlikte değerlendirilmiş, kritik kesitlerde limit denge yöntemi kullanılarak şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğal arazi ve kazı sonrası durum statik koşullarda karşılaştırılmış, ayrıca sahanın yüksek depremselliği ve yakınındaki karayolu ve demiryolu yapıları dikkate alınarak DD-1 deprem düzeyi için pseudo-statik analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları kullanılarak planlanan kazıların genel yamaç stabilitesi üzerindeki etkisi ve stabiliteyi kontrol eden temel geometrik ve jeolojik faktörler değerlendirilmiştir.

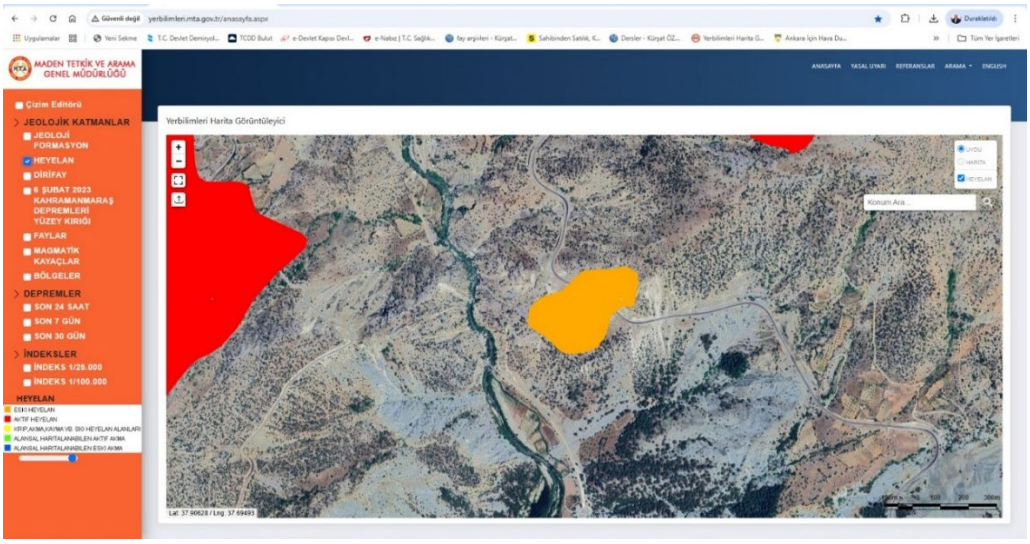
2. SAHA ÖZELLİKLERİ VE GEOTEKNİK İNCELEMELER

İncelenen kalsit ocağı Adıyaman ili, Gölbaşı ilçesi, Karabahşili Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Proje alanı eğimli bir topoğrafyaya sahip olup sahanın üst kesiminde Gölbaşı–Nurhak karayolu, alt kesiminde ise Malatya–Narlı demiryolu hattı bulunmaktadır. Mevcut demiryolu hattı boyunca T5, T6 ve T7 tünelleri yer almaktadır. Planlanan üretim alanının karayoluna en yakın mesafesi yaklaşık 100 m, mevcut demiryolu hattına en yakın mesafesi ise yaklaşık 150 m'dir. T5, T6 ve T7 tünellerinin üretim alanına en yakın mesafeleri sırasıyla yaklaşık 233 m, 585 m ve 959 m'dir.

2.1. Jeolojik Koşullar

Proje sahası, bölgesel jeoloji açısından volkanik ve tortul kayaçlardan oluşan Koçali Karmaşığı içerisinde yer almaktadır (Yıldırım ve Parlak, 2020). Saha incelemelerinde üretim kazılarının planlandığı üst kesimlerde yüzeyde belirgin bir yamaç molozu veya ileri derecede ayrışmış bir örtü birimi gözlenmemiştir. Bu kesimlerde kaya kütlesinin genel olarak sağlam ve orta çatlaklı olduğu, beyaz renkli kalsit içerikli kayaçların yüzeyde yaygın olarak bulunduğu görülmüştür.

Proje alanı MTA heyelan envanterinde eski heyelan alanı içerisinde kalmaktadır. Bununla birlikte saha gözlemlerinde, deprem sonrasında belirgin hareketlerin özellikle T7 tünelinin bulunduğu kesimde geliştiği; planlanan üretim alanına daha yakın olan T5 ve T6 tünelleri ve çevresinde ise gözleme dayalı belirgin bir deformasyon bulunmadığı görülmüştür. Ayrıca üretim alanının, hareket gözlenen T7 bölgesine göre ters şev yöneliminde olduğu değerlendirilmiştir. MTA heyelan envanter haritası üzerinde proje sahasının konumu Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. MTA heyelan envanter haritası üzerinde proje sahasının konumu

2.2. Saha İncelemesi ve Teknik Gözlemler

Proje sahasında gerçekleştirilen teknik incelemede, yamaç Gölbaşı–Nurhak karayolunun bulunduğu üst kotlardan demiryolu hattının geçtiği dere yatağına kadar incelenmiş; mevcut kaya yüzeyleri, yol yarmaları, sondaj lokasyonları ve çevredeki ulaşım yapıları gözlemsel olarak değerlendirilmiştir. Proje sahasının üst yamaç kesiminde yüzeyde belirgin bir yamaç molozu veya ileri derecede ayrışmış örtü birimi gözlenmemiş, yol yarmalarında açığa çıkan kaya kütlesinin genel olarak sağlam ve orta çatlaklı olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Proje sahası karayoluna yakın üst bölgeden genel görünüşler

Buna karşılık, demiryolu ve dere yatağına doğru inildikçe kaya kütlesindeki ayrışmanın yer yer arttığı ve kil ara bantlarının ortaya çıktığı gözlenmiştir (Şekil 3). Bu değişim, yamaç boyunca jeolojik koşulların homojen olmadığını ve alt kotların stabilite değerlendirmesinde ayrıca ele alınması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 3. Proje sahası en alt kotunda açılmış yol kenarı şevlerin görüntüsü

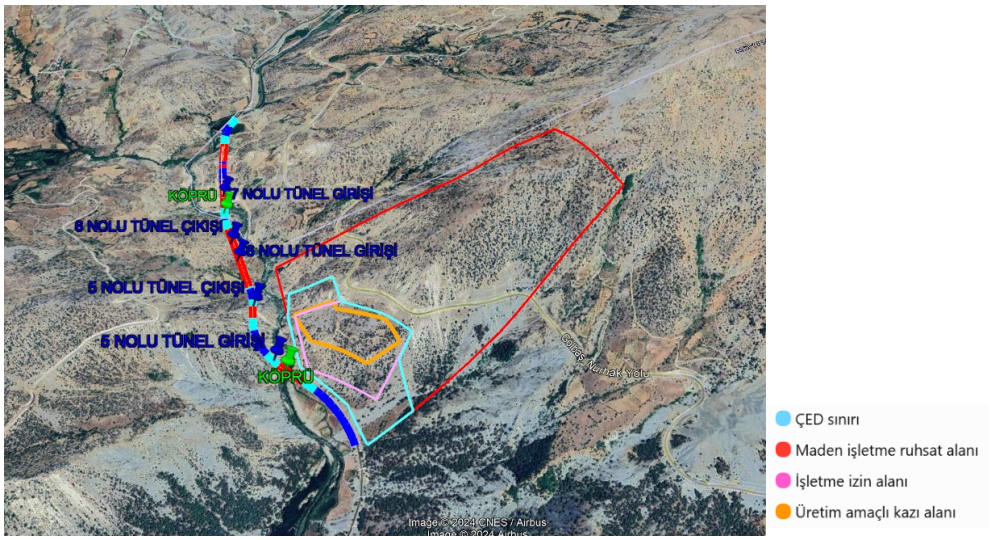
Saha incelemelerinde deprem sonrası deformasyonların da yamaç boyunca farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Üretim alanına daha yakın T5 ve T6 tünelleri ile portallarında belirgin bir deformasyon gözlenmezken, eski heyelan sahasının topuk kesiminde bulunan T7 tüneli ve demiryolu hattında yaklaşık 40–50 cm mertebesinde yatay deplasman gözlenmiştir. Bu mekânsal farklılık, eski heyelan sahasının güncel davranışının yamaç boyunca tekdüze olmadığını gösteren önemli bir saha bulgusu olarak değerlendirilmiştir.

Bu gözlemler doğrultusunda, üretim kazısının geniş işletme alanının tamamına yayılması yerine**,** üst yamaçtaki daha sağlam kaya koşullarının gözlendiği ve eski heyelan topuğundan uzak kalan kesimle sınırlandırılması esas alınmıştır. Böylece saha gözlemleri yalnızca jeolojik modelin oluşturulmasında değil, analizlerde değerlendirilen kazı geometrisinin ve kritik kesitlerin belirlenmesinde de doğrudan kullanılmıştır.

2.3. Üretim Kazısı Alanının Belirlenmesi ve Sondaj Bulguları

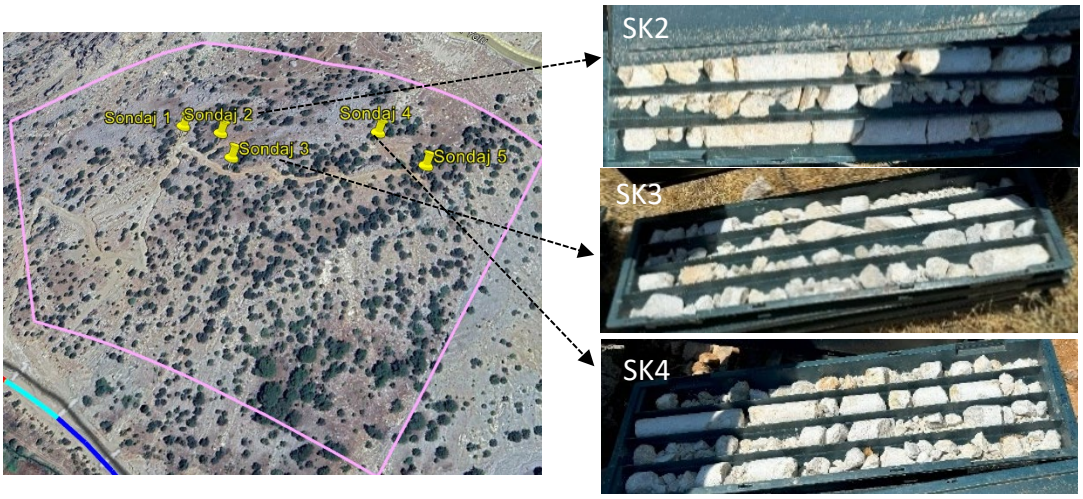
Proje kapsamında tanımlanan işletme alanı yamaç boyunca daha geniş bir bölgeyi kapsamakla birlikte, saha incelemelerinde eski heyelan sahasının topuk bölgesine ve mevcut

demiryolu hattına yaklaşıldıkça kaya kütlesindeki ayrışma ve çatlaklılığın arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle üretim kazısının sınırları; saha gözlemleri, mevcut yamaç geometrisi, jeolojik koşullar, eski heyelan sahasının konumu ve çevredeki ulaşım yapıları birlikte değerlendirilerek belirlenmiştir. Üretim kazısının, yamacın üst kesiminde yer alan ve daha uygun kaya kütlesi koşullarının gözlendiği Şekil 4'de turuncu renk ile gösterilen alan içerisinde gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 4. Proje sahası, planlanan üretim alanı ve çevredeki ulaşım yapılarının genel yerleşimi

Kazı alanındaki Temmuz 2024 tarihinde beş adet karotlu sondaj gerçekleştirilmiştir. Sondaj derinlikleri 40–70 m arasında değişmekte olup SK-1, SK-2, SK-3, SK-4 ve SK-5 sondajlarının derinlikleri sırasıyla 70 m, 66 m, 60 m, 40 m ve 55 m'dir. Saha incelemesi sırasında sondaj lokasyonları ve sondajlardan elde edilen karotlar yerinde incelenmiştir. Sondaj lokasyonları ve sondajlardan elde edilen karot örnekleri Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Sondaj lokasyonları ve sondajlardan elde edilen karot örnekleri

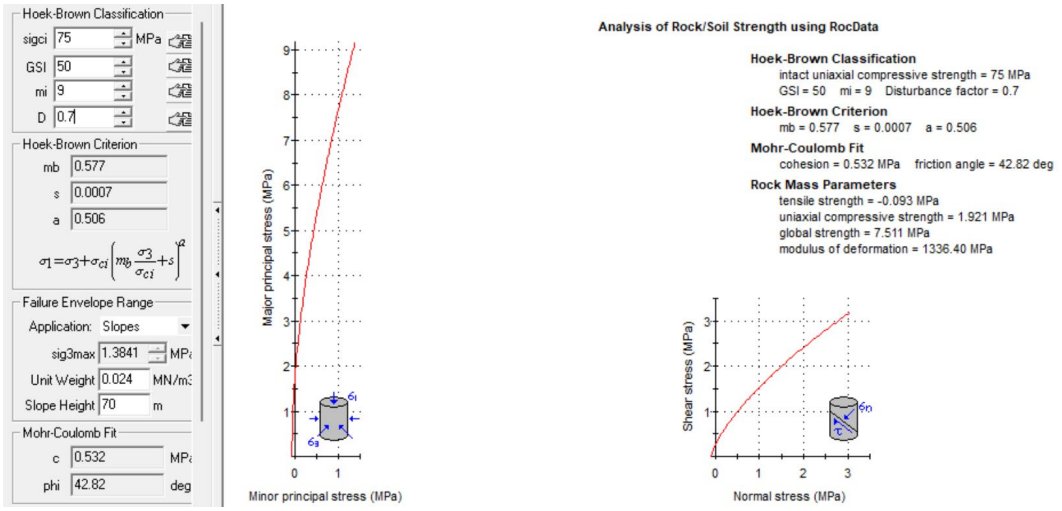
Tüm sondajlarda ağırlıklı olarak beyaz renkli, yüksek saflıkta kalsit içerikli kayaçlarla karşılaşılmış, yer yer ince kil bantları gözlenmiştir. Sondaj verileri, üretim kazısı için

belirlenen alanda süreklilik gösteren belirgin bir zayıf zon veya ileri derecede ayrışmış birimin bulunmadığını göstermektedir.

Saha gözlemleri ve sondaj bulgularının birlikte değerlendirilmesi sonucunda, üretim kazısı eski heyelan sahasının topuk bölgesine ve demiryolu hattına doğru ilerletilmemiştir. Hazırlanan topoğrafik kesitlere göre belirlenen kazı sınırı, demiryolu hattının yaklaşık 120 m üzerinde ve yatayda yaklaşık 250–300 m mesafede sona ermektedir. Şev stabilitesi analizlerinde bu kazı geometrisi esas alınarak, yalnızca oluşturulacak palyeli şevlerin lokal stabilitesi değil, kazının mevcut doğal yamacın genel stabilitesi üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

3. ŞEV STABİLİTESİ ANALİZLERİ

Planlanan maden kazılarının şev stabilitesine etkisini belirlemek amacıyla analizler limit denge yöntemi kullanılarak statik ve pseudo-statik koşullar için gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kaya kütlesinin dayanımı Hoek-Brown yenilme kriteri ile tanımlanmış, ayrıca eşdeğer Mohr-Coulomb dayanım parametreleri kullanılarak analizler tekrarlanmıştır. Hoek-Brown yenilme kriterine göre belirlenen kaya kütlesi dayanım parametreleri Rocdata v4 yazılımı ile belirlenmiş olup Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Hoek-Brown yenilme kriterine göre belirlenen kaya kütlesi dayanım parametreleri

Analizlerde kullanılan kaya kütlesi dayanım parametreleri saha gözlemleri, sondajlardan elde edilen karotların değerlendirilmesi ve literatür verileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Saha incelemelerinde kaya kütlesinin genel olarak sağlam ve orta çatlaklı olduğu, sondajlarda ise ağırlıklı olarak kalsit içerikli kayaçların bulunduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, topuk bölgesinde gözlenen ileri derecede ayrışmış ve kil ara bantları içeren seviyeler ile kaya kütlesindeki doğal değişkenlik dikkate alınarak, Hoek–Brown yenilme kriterinden elde edilen eşdeğer Mohr–Coulomb kohezyon değeri analizlerde konservatif olarak azaltılarak kullanılmıştır. Şev stabilitesi analizlerinde kullanılan geoteknik parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Şev stabilitesi analizlerinde kullanılan geoteknik parametreler

Parametre	Birim	Değer
Birim hacim ağırlık, γ	kN/m^3	24
Kohezyon, c	kPa	266
İçsel sürtünme açısı, φ	°	42

3.1. Deprem Etkisinin Tanımlanması

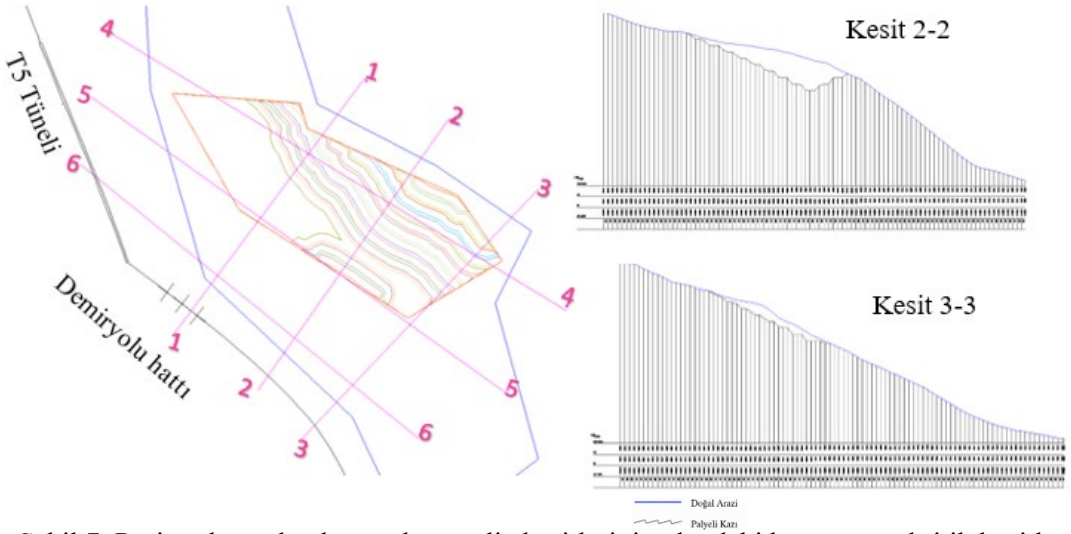
Proje sahasının deprem tehlikesinin belirlenmesinde AFAD tarafından yayımlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası esas alınmıştır. Sahanın yüksek sismisitesi ile şevin alt kesiminde demiryolu, üst kesiminde ise karayolu bulunması dikkate alınarak, pseudo-statik analizlerde daha kritik bir değerlendirme amacıyla DD-1 deprem düzeyi esas alınmıştır. Deprem etkisi pseudo-statik yöntemle analizlere dahil edilmiştir. Proje sahasının DD-1 deprem düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinden proje koordinatlarına bağlı olarak S_{DS} değeri 2.105 elde edilmiş ve yatay deprem katsayısı TBDY (2018) yaklaşımı kullanılarak k_h katsayısı aşağıdaki eşitlikle elde edilmiştir.

$$k_h = \frac{0.4 S_{DS}}{2} \tag{1}$$

k_h değeri 0.421 olarak hesaplanmış olup bu değer kullanılarak kazı sonrası şev geometrileri Pseudo-statik koşullarda ayrıca analiz edilmiştir.

3.2. Kritik Kesitler ve Analiz Senaryoları

Proje sahasının topoğrafyasını ve planlanan kazı geometrisini temsil etmek amacıyla toplam altı kesit oluşturulmuştur. Planlanan kazılar yamacın üst kesiminde yer almakta ve maksimum kazı yüksekliği yaklaşık 70 m'ye ulaşmaktadır. Kazıların demiryolu hattının bulunduğu topuk bölgesine kadar devam etmediği ve demiryolu hattının yaklaşık 120 m üzerinde sona erdiği görülmektedir. Proje sahasında oluşturulan analiz kesitlerinin plandaki konumu ve kritik kesitler Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Proje sahasında oluşturulan analiz kesitlerinin plandaki konumu ve kritik kesitler

Altı kesit içerisinde palye sayısı, toplam kazı yüksekliği ve şev geometrisi dikkate alınarak Kesit 2-2 ve Kesit 3-3 kritik kesitler olarak seçilmiş ve stabilite analizleri bu iki kesit için gerçekleştirilmiştir.

Kesit 2-2'de yaklaşık 65 m yüksekliğinde, 9 palyeli ve 1Y/1D palye eğimine sahip bir kazı geometrisi; Kesit 3-3'te ise yaklaşık 70 m yüksekliğinde, 7 palyeli ve 1Y/1D palye eğimine sahip bir kazı geometrisi değerlendirilmiştir.

Her iki kritik kesit için; i)doğal arazi – statik durum, ii)kazı sonrası – statik durum ve iii) kazı sonrası – DD-1 pseudo-statik deprem durumu olmak üzere üç farklı analiz durumu değerlendirilmiştir.

4. ANALİZ SONUÇLARI VE BULGULAR

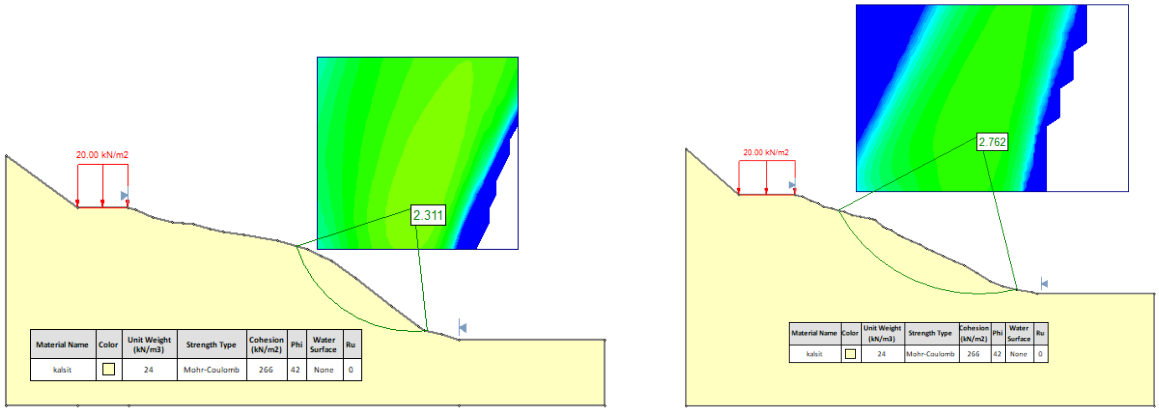
Kritik olarak belirlenen Kesit 2-2 ve Kesit 3-3 için doğal arazi ve kazı sonrası şev geometrileri statik koşullarda Slide v6 yazılımı ile analiz edilmiş, kazı sonrası durum ayrıca DD-1 deprem düzeyi için pseudo-statik koşullarda değerlendirilmiştir. Basitleştirilmiş Janbu yöntemine göre elde edilen güvenlik faktörleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Şev stabilitesi analizlerinden elde edilen güvenlik faktörleri

Kesit No	Doğal Arazi – Statik	Kazı Sonrası – Statik	Kazı Sonrası – pseudo-statik
Kesit2-2	2.311	2.350	1.20
Kesit 3-3	2.762	2.845	1.267

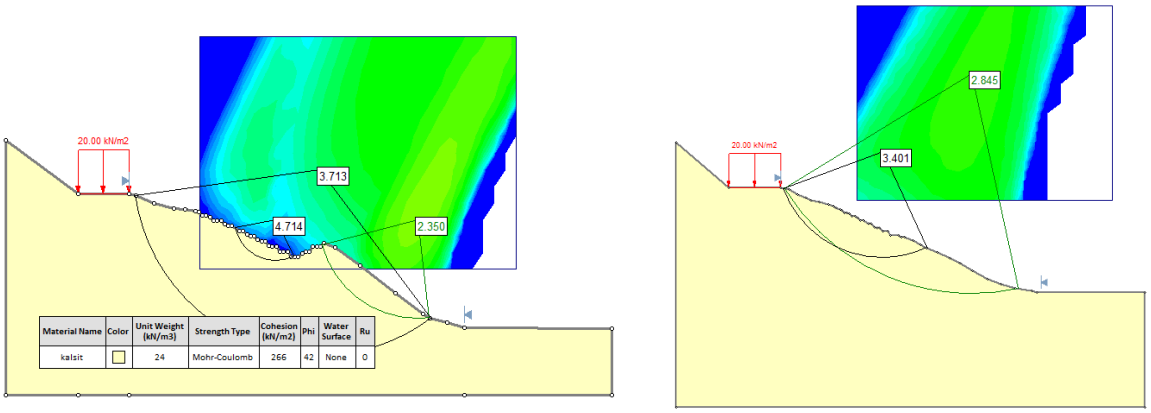
Kesit 2-2'de doğal arazi koşulları için yapılan statik analizde güvenlik faktörü 2.311 olarak hesaplanmıştır. Yaklaşık 65 m yüksekliğinde, 9 palyeli ve 1Y/1D eğimli kazı geometrisinin oluşturulması sonrasında ise genel şev için güvenlik faktörü 2.350 değerine yükselmiştir. Kazı ile oluşturulan palyeli şevlerin kendi içerisindeki güvenlik faktörü ise 4.714 olarak elde edilmiştir. Pseudo-statik deprem durumunda ise en düşük güvenlik faktörü 1.20 elde edilmiştir.

Kesit 3-3'te doğal arazi için statik güvenlik faktörü 2.762 olarak elde edilmiştir. Yaklaşık 70 m yüksekliğinde ve 7 palyeli kazı geometrisinin oluşturulması sonrasında güvenlik faktörü 2.845 değerine yükselmiştir. Kazı ile oluşturulan palyeli şevler için hesaplanan güvenlik faktörü ise 3.401'dir. Pseudo-statik deprem durumunda ise en düşük güvenlik faktörü 1.267 elde edilmiştir.



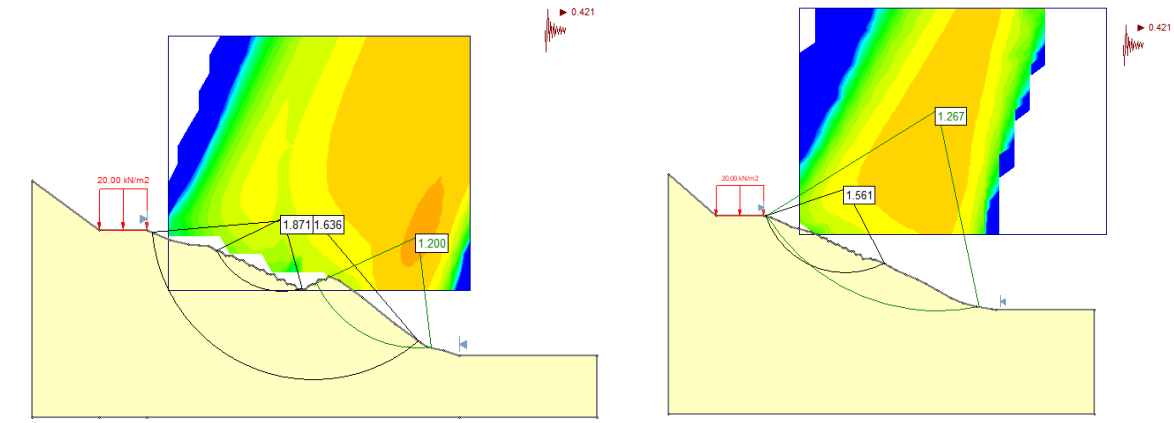
Kesit 2-2 Kesit 3-3

Şekil 8. Doğal arazi statik şev stabilite analizi güvenlik faktörleri



Kesit 2-2 Kesit 3-3

Şekil 9. Palyeli kazı statik şev stabilite analizi güvenlik faktörleri



Kesit 2-2 Kesit 3-3

Şekil 10. Palyeli kazı pseudo-statik şev stabilite analizi güvenlik faktörleri

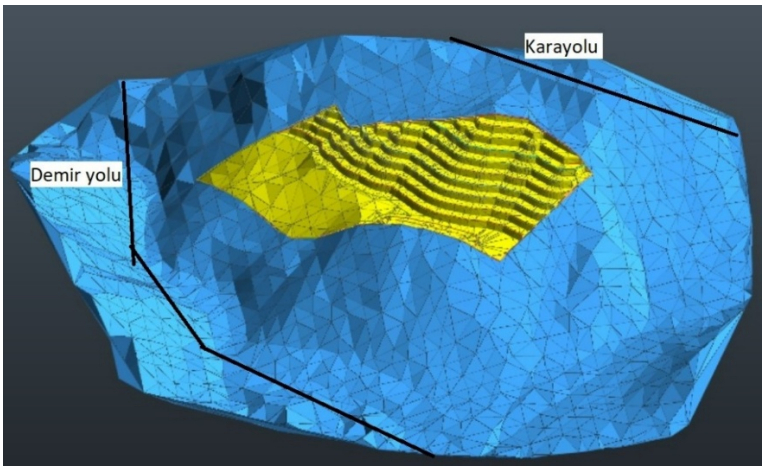
4.1. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Her iki kritik kesitte de planlanan kazı sonrasında genel şev güvenlik faktöründe azalma meydana gelmemiş, aksine sınırlı bir artış elde edilmiştir. Kazı ile oluşturulan palyeli şevlerin güvenlik faktörlerinin genel şevden belirgin biçimde daha yüksek olması, incelenen sahada stabilite davranışının lokal palye geometrisinden çok kazının mevcut yamaç içerisindeki konumu ve genel yamaç geometrisi tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Kazının yamacın üst kesiminde gerçekleştirilmesiyle bu bölgeden kütle kaldırılması, genel şev üzerindeki sürükleyici etkinin artmasını önlemiştir.

Kazının yamaç üzerindeki konumu özellikle eski kayma mekanizmalarının bulunduğu sahalarda önem kazanmaktadır. Stark vd. (2005), derin bir ana kaya heyelanında topuk bölgesindeki kazının direnç kuvvetlerini azaltarak büyük ölçekli hareketin gelişiminde etkili olduğunu göstermiştir. Bu açıdan mevcut çalışmada kazının yamacın üst kesiminde sınırlandırılması ve demiryolunun bulunduğu topuk bölgesine kadar ilerlememesi, genel şev mekanizmasının korunması açısından önemlidir. Kazı sınırının topuk bölgesinin yaklaşık 120 m üzerinde sona ermesi de bu geometrik ayrımı ortaya koymaktadır.

Analizlerde kritik kayma yüzeylerinin palyeli kazı şevlerinde değil, doğal yamacın kazı yapılmayan alt kesimlerinde gelişmesi bu değerlendirmeyi desteklemektedir. Saha gözlemlerinde üst kesimlerde kaya kütlesinin genel olarak sağlam ve orta çatlaklı olduğu, alt kotlara doğru ise ayrışmanın arttığı ve yer yer kil ara bantlarının bulunduğu belirlenmiştir. Wu vd. (2024) tarafından incelenen kazı kaynaklı heyelanda da kazı etkisinin zayıf jeolojik seviyelerin konumu ile birlikte yenilme mekanizmasını kontrol ettiği gösterilmiştir. Bu bulgular, genel şev davranışının yamaç geometrisi ile alt kotlardaki görece zayıf jeolojik koşulların ortak etkisi altında geliştiğine işaret etmektedir.

Saha gözlemleri ve stabilite değerlendirmeleri çerçevesinde ele alınan nihai kazı geometrisinin mevcut yamaç ve çevredeki ulaşım yapılarıyla ilişkisi Şekil 11'de üç boyutlu olarak sunulmuştur.



Şekil 11. Üretime esas 3D kazı planı

Eski heyelanların yeniden aktivasyonuna ilişkin vaka çalışmalarında kazı, zayıf jeolojik seviyeler ve su koşullarının birlikte etkili olabildiği gösterilmiştir (Dai vd., 2023). Bu nedenle mevcut analiz sonuçları, incelenen jeolojik model ve saha araştırmaları sırasında belirlenen kuru koşullar için geçerli stabilite durumunu temsil etmekte olup, hidrojeolojik

koşullardaki önemli değişimlerin genel şev davranışını etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

5. SONUÇLAR

Elde edilen bulgular, paleo-heyelan sahalarında planlanan yeni kazıların stabilite üzerindeki etkisinin yalnızca oluşturulan kazı şevlerinin güvenliği üzerinden değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. İncelenen sahada, yaklaşık 65–70 m yüksekliğindeki palyeli kazılara rağmen genel şev stabilitesinde azalma meydana gelmemesi, kazının yamacın üst kesiminde konumlanması ve bu kesimden kütle kaldırılması ile ilişkilidir. Kritik kayma yüzeylerinin kazı şevlerinden ziyade doğal yamacın alt kesimlerinde gelişmesi ise genel yamaç geometrisinin ve kazının yamaç içerisindeki konumunun stabilite mekanizması üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır.

Saha gözlemleri ile analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi, paleo-heyelan sınırının güncel stabilite koşullarını tek başına tanımlamak için yeterli olmadığını da göstermiştir. Üst ve alt yamaç kesimleri arasındaki jeolojik farklılıklar ile 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında gözlenen farklı deformasyon davranışları, paleo-heyelan sahası içerisinde stabiliteyi kontrol eden koşulların mekânsal olarak değişebildiğine işaret etmektedir.

Bu yönüyle çalışma, paleo-heyelan sahalarındaki açık ocak kazılarında değerlendirme ölçeğinin lokal kazı şevinden bütünsel yamaç davranışına genişletilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Kazının yamaç üzerindeki konumu, topuk bölgesiyle ilişkisi, yamaç boyunca değişen jeolojik koşullar ve sismik etkiler birlikte ele alındığında, geçmiş heyelan sınırlarının güncel mühendislik davranışı açısından daha gerçekçi bir şekilde yorumlanabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Bray, J.D. ve Travasarou, T. (2009), "Pseudostatic Coefficient for Use in Simplified Seismic Slope Stability Evaluation", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol 135, 1336–1340. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000012.

Dai, Z., Yang, L., Zhang, N., Zhang, C., Zhang, Z. ve Wang, H. (2023), "Deformation Characteristics and Reactivation Mechanism of an Old Landslide Induced by Combined Action of Excavation and Heavy Rainfall", Frontiers in Earth Science, Vol 10, 1009855. DOI: 10.3389/feart.2022.1009855.

Hoek, E., Carranza-Torres, C. ve Corkum, B. (2002), "Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition", Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and 17th Tunnelling Association of Canada Conference (NARMS-TAC 2002), Toronto, Canada, 267–273.

Jibson, R.W. (2011), "Methods for Assessing the Stability of Slopes During Earthquakes—A Retrospective", Engineering Geology, Vol 122, 43–50. DOI: 10.1016/j.enggeo.2010.09.017.

Martino, S. (2016), "Earthquake-Induced Reactivation of Landslides: Recent Advances and Future Perspectives", Earthquakes and Their Impact on Society, S. D'Amico (Ed.), Springer Natural Hazards, 291–322.

Read, J. ve Stacey, P. (Eds.) (2009), "Guidelines for Open Pit Slope Design", CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.

Stark, T.D., Arellano, W.D., Hillman, R.P., Hughes, R.M., Joyal, N. ve Hillebrandt, D. (2005), "Effect of Toe Excavation on a Deep Bedrock Landslide", Journal of

Performance of Constructed Facilities, Vol 19, 244–255. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2005)19:3(244).

Wu, Y., Xue, D., Chen, K., Dai, C., Hang, Z., Wu, Z. ve Zhang, S. (2024), "Failure Mechanism and Early Warning of an Excavation-Induced Soil Landslide", Frontiers in Earth Science, Vol 12, 1410011. DOI: 10.3389/feart.2024.1410011.