Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

SUUDİ ARABİSTAN RİYAD BÖLGESİNDE KAYA STABİLİZASYONU İŞLERİ: VAKA ANALİZİ

ROCK STABILIZATION WORKS, RIYADH, SAUDI ARABIA: CASE STUDY

Atalay Mert TURGUT[1], Serkan YOLACAN[2], Gökhan GÜLERYÜZ[3]

ÖZET

Bildiri kapsamındaki Qiddiya Projesi, Suudi Arabistan'ın başkenti Riyad'ın güneybatısında inşası devam etmekte olan 376 km^2 bir alana kurulu eğlence, spor ve sanat merkezidir. Riyad bölgesinin jeolojik yapısının tamamı, Arap plaformunun batı kenarındaki Fanerozik yaşlı tortul kayaçlar tarafından örtülmektedir. Qiddiya Projesi'nin bağlantı yolu güzergahında bulunan 1 km uzunluğundaki dağ yarılmış, dağın kuzey ve güney cepheleri kalıcı kaya ankrajı ve bulonuyla stabilize edilmiştir. Yatay destek elamanlarıyla stabilize edilen dağ; ortalama tek eksenli basınç dayanımı 19 MPa, ortalama kaya kalite göstergesi (RQD) 60% olan kireç taşından oluşmaktadır. Şev derinlikleri 30.00 m ile 85.00 m arasında değişmektedir. Proje kapsamında yaklaşık 123,000 m kalıcı kaya ankrajı, 41,000 m kalıcı kaya bulonu imalatı yapılmıştır. Şevlerin stabilite hesaplarında limit denge yöntemi kullanılmıştır. Bildiri kapsamında; bölgedeki kayanın yapısı, yapılan araştırma çalışmalarının özeti, kinematik analiz sonuçları, şevlerin ve yatay destek elemanlarının tasarımı ve uygulama sırasında takip edilen kalite kontrol testleri ile sistemin performansı hakkında bilgi verilmiştir.
Anahtar Kelimeler: *Kaya Stabilizasyonu, Kinematik Analiz, Limit Denge Yöntemi, Kaya Ankrajı, Kaya Bulonu*

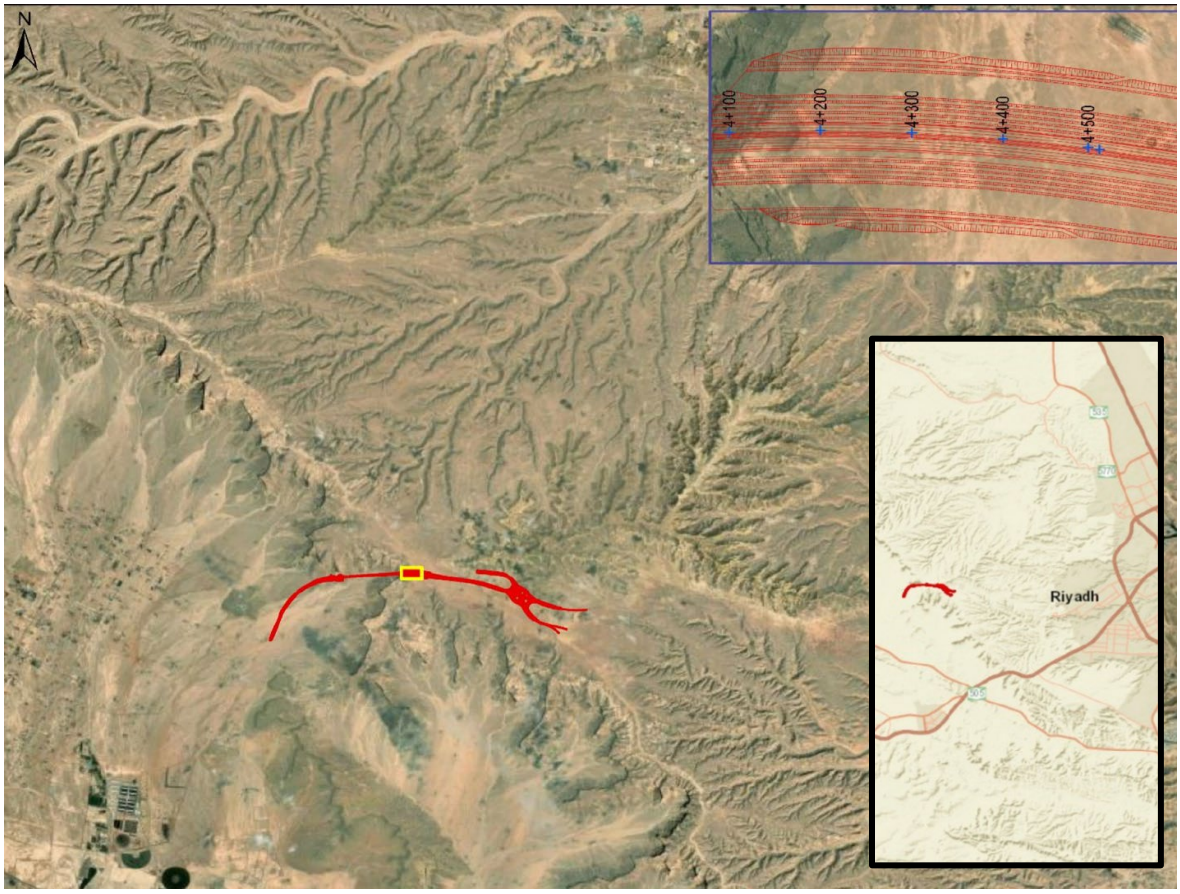
ABSTRACT

The Qiddiya Project within the scope of this paper is an entertainment, sports, and art center built on a 376 km^2 area in the southwest of Riyadh, the capital of Saudi Arabia. The entire geological structure of the Riyadh region is covered by Phanerozic sedimentary rocks on the western edge of the Arabian platform. To be able to construct the connection road of Qiddiya, a 1 km mountain was excavated with an open excavation method. The North and South facades of the mountain were supported with permanent rock anchors and rock bolts. The mountain, stabilized with lateral support elements, consists of limestone with an average uniaxial compressive strength of 19 MPa and rock quality designation (RQD) of 60 %. The depths of excavation are from 30.00 m to 85.00 m. For the stabilization of these slopes, 123,000 m permanent rock anchors and 41,000 m rock bolts were executed. In the stabilization system design, limit equilibrium method was used. The characteristics of the rock, the summary of the field investigations, kinematic analysis results, the design of slopes and lateral support elements, quality control tests performed during the execution, and also the performance of the system were summarized in the paper.
Keywords: *Rock Stabilization, Kinematic Analysis, Limit Equilibrium Method, Rock Anchor, Rock Bolt*

[1] MS. C.E., Kasktas Arabia Ltd., atalay.turgut@kasktasarabia.com (Sorumlu yazar)
[2] Eng. Geol.E., Kasktas Arabia Ltd., serkan.yolacan@kasktasarabia.com
[3] MS. Geol.E., Kasktas Arabia Ltd., gokhan.guleryuz@kasktasarabia.com

1. GİRİŞ

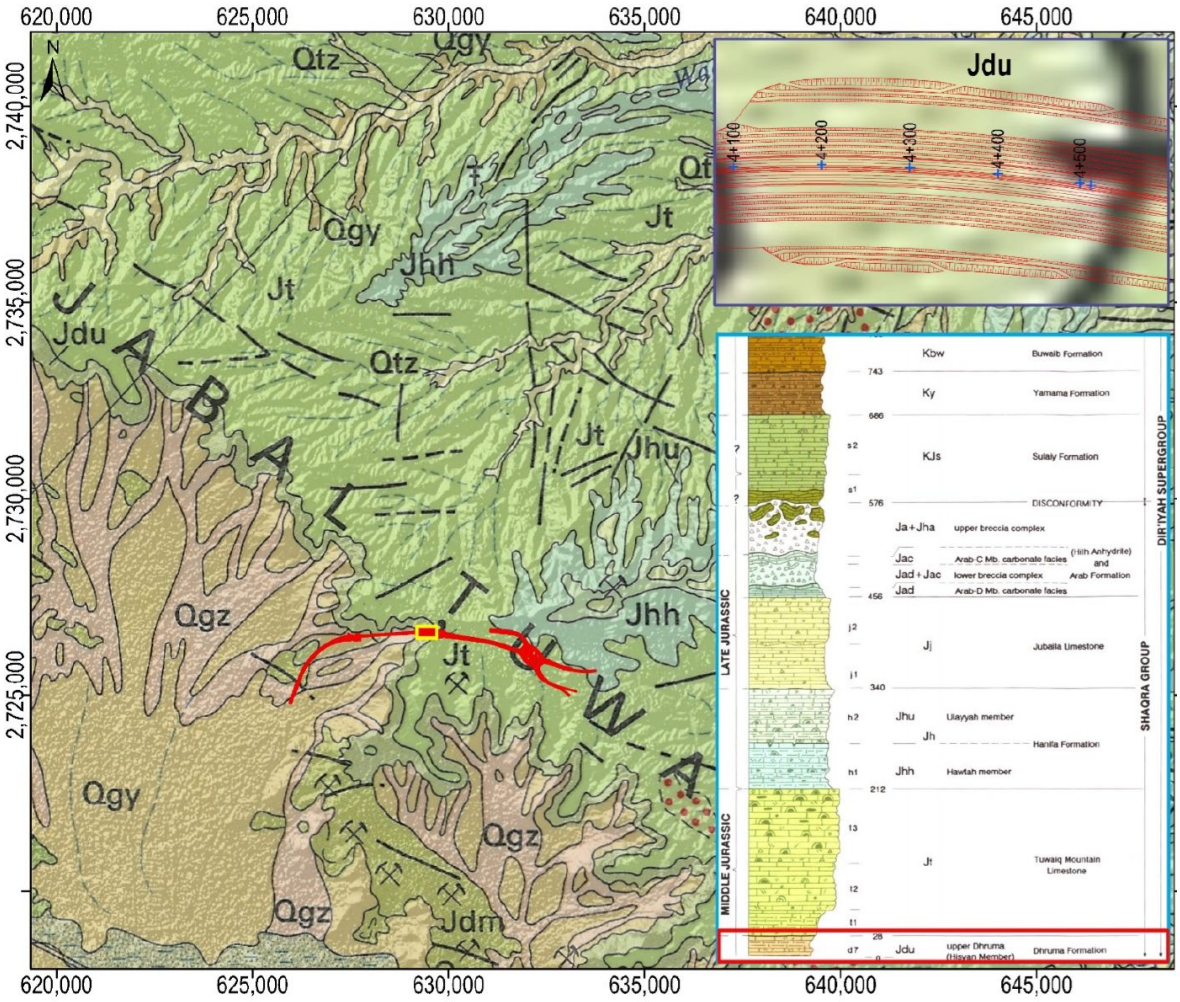
Vizyon 2030, Suudi Arabistan Krallığı'nın ekonomiyi çeşitlendirmek adına başlattığı bir çerçevedir. Bu planının hedeflere ulaşmak için bir dizi stratejik mega proje başlatılmıştır. Qiddiya, mevcut ve hizmet verilmeyen güçlü bir pazara hizmet etmek için inşa edilmektedir. Hem yerel, bölgesel ve uluslararası pazarlardan gelen talebi karşılamaktadır. Proje sahası Riyad şehir merkezine 40 km uzaklıkta bulunmaktadır. Alan genel olarak dalgalı bir yapıda olup bitki örtüsü ve yerleşim azdır. Qiddiya Projesi'nin bağlantı yolunun güzergahında bulunan 1 km uzunluğundaki dağ yarılmış, dağın kuzey ve güney cepheleri kalıcı kaya ankrajı ve bulonuyla stabilize edilmiştir. Şev derinlikleri 30.00 m ile 85.00 m arasında değişmektedir. Proje sahasının uydu fotoğrafı ve yerleşimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Proje uydu fotoğrafı ve genel yerleşim planı

2. BÖLGE JEOLOJİSİ VE ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Bölgenin jeolojisinde, dörtgen şeklindeki Ar Riyad kayaçlarının tamamı Fanerozoik yaşlı birimler tarafından örtülmektedir. Proterozoyik'e dayanan Arap platformunun batı kenarındaki tortul kayalar 5 ila 8 km arasında olduğu tahmin edilen derinliklere dayanmaktadır. İnceleme alanı Tuwayq Dağı kireç taşı ile dhurma Formasyonu arasındaki temas noktasında yer almaktadır. Burada Tuwayq Dağı kireçtaşı esasen bazal marn ve kalkarenit kireçtaşı katkılarıyla sıkıştırılmış krem masiften ve ten rengi kireçtaşı ile kahverengi kalkarenitten oluşan dhurma formasyonundan oluşur.



Şekil 2. Çalışma alanına ait 1:250.000 ölçekli jeoloji haritası

Proje için 12 adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiş olup, alınan numunelerde yerinde ve laboratuvarlarda testler yapılmıştır. Yapılan sondaj sonuçlarına göre, kaya 3 sınıfa ayrılmıştır. Bunlar sırasıyla ayrışmış kireçtaşı, marn kireçtaşı ve kireçtaşı olarak isimlendirilmiştir. Sondaj sonuçlarının özeti ve Hoek-Brown yöntemine göre belirlenen kaya parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı sondaj yerleşim planı

Tablo 1. Geoteknik tasarım parametreleri (Hoek vd., 2002)

Zemin Cinsi	Birim Hacim Ağırlığı (γs) (kN/m³)	Efektif Kohezyon (c') (kPa)	Efektif İçsel Sürtünme Açısı (Φ′) (°)	Efektif Deformasyon Modulu (E′) (MPa)
Ayrışmış Kireçtaşı	22.5	185	28.0	400
Marn Kireçtaşı	23	200	29.4	445
Kireçtaşı	24	290	36.0	1070

3. KİNEMATİK ANALİZ ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

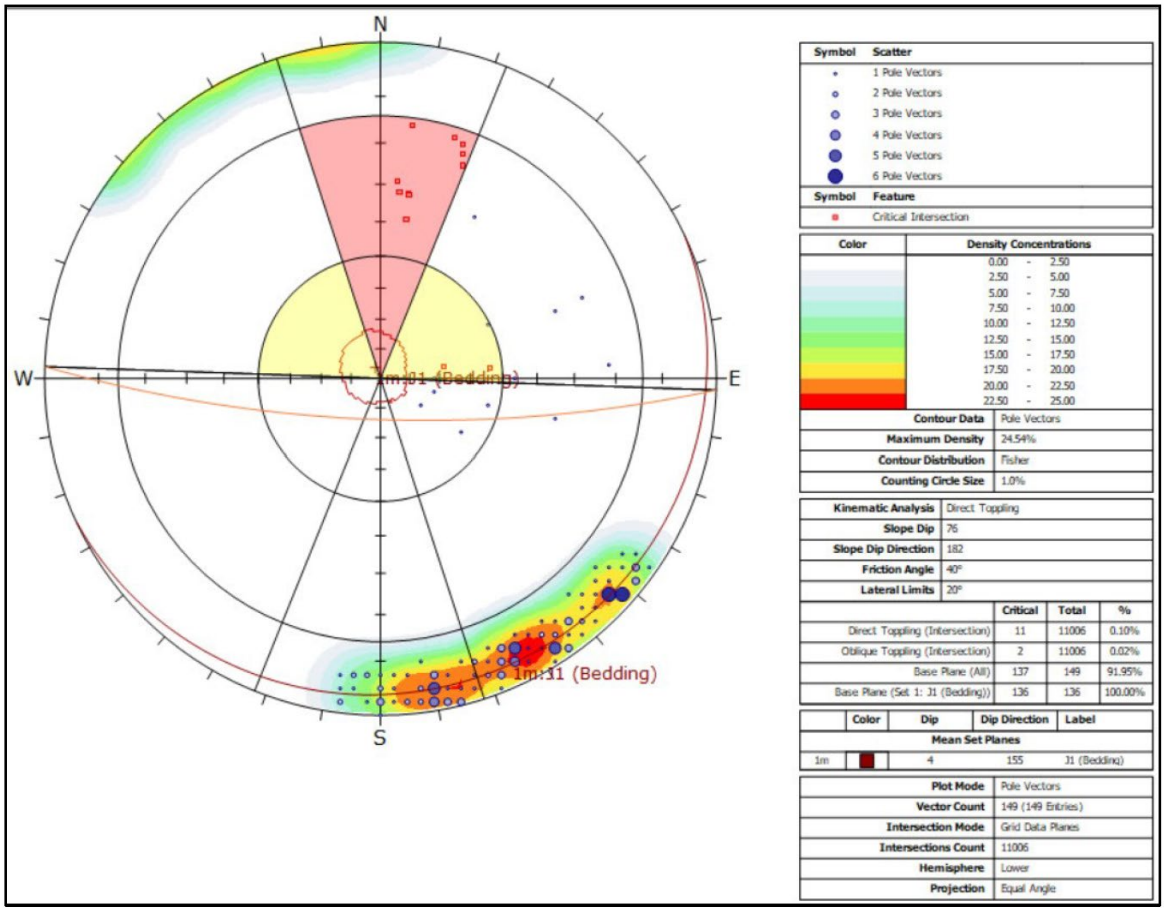
Projenin kaya stabilite analizleri; jeolojik saha incelemesi, ampirik kaya kütlesi karakterizasyon sistemleri (RMR, GSI ve Q-değeri), kinematik ve şev stabilite analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Yapısal kontrollü şev kesitleri için kinematik analizler Dips 7 yazılımı (Rocscience 2004) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu şev kesitleri için ilave stabilite analizleri, şev stabilite yazılımı Slide2 ile yapılmıştır.

Tablo 2. Kinematik Analiz Sonuçları – Kuzey Cephe

	Kritik	%	Toplam
Düzlemsel Kayma	0	0.00	149
Düzlemsel Kayma (Limit Yok)	1	0.67	149
Kama Kayması	4	0.04	110
Eğilmeli Devrilme	0	0.00	149
Direkt Devrilme	137	91.95	149

Tablo 2. Kinematik Analiz Sonuçları – Güney Cephe

	Kritik	%	Toplam
Düzlemsel Kayma	0	0.00	202
Düzlemsel Kayma (Limit Yok)	3	1.49	202
Kama Kayması	6	0.03	20,274
Eğilmeli Devrilme	0	0.00	202
Direkt Devrilme	3	1.49	202



Şekil 4. Direkt Devrilme için kuzey cephe kinematik analizi

Şev stabilite analizi, Yukarı Plato'daki TBN 17 yol yarma eğiminin kuru koşullar altında stabil ve güvenli olduğunu ortaya çıkarmasına rağmen (FoS>1,5), kaya kütlesi karakterizasyonu (Q-değeri yöntemi) ve yeraltı su seviyesinin göz önüne alındığı durumlarda kaya bloğunun desteklenmesi gerektiğini göstermiştir. Bu nedenle, aşağıdaki stabilizasyon ve koruma prosedürlerinin kullanılması tavsiye edilmiştir:

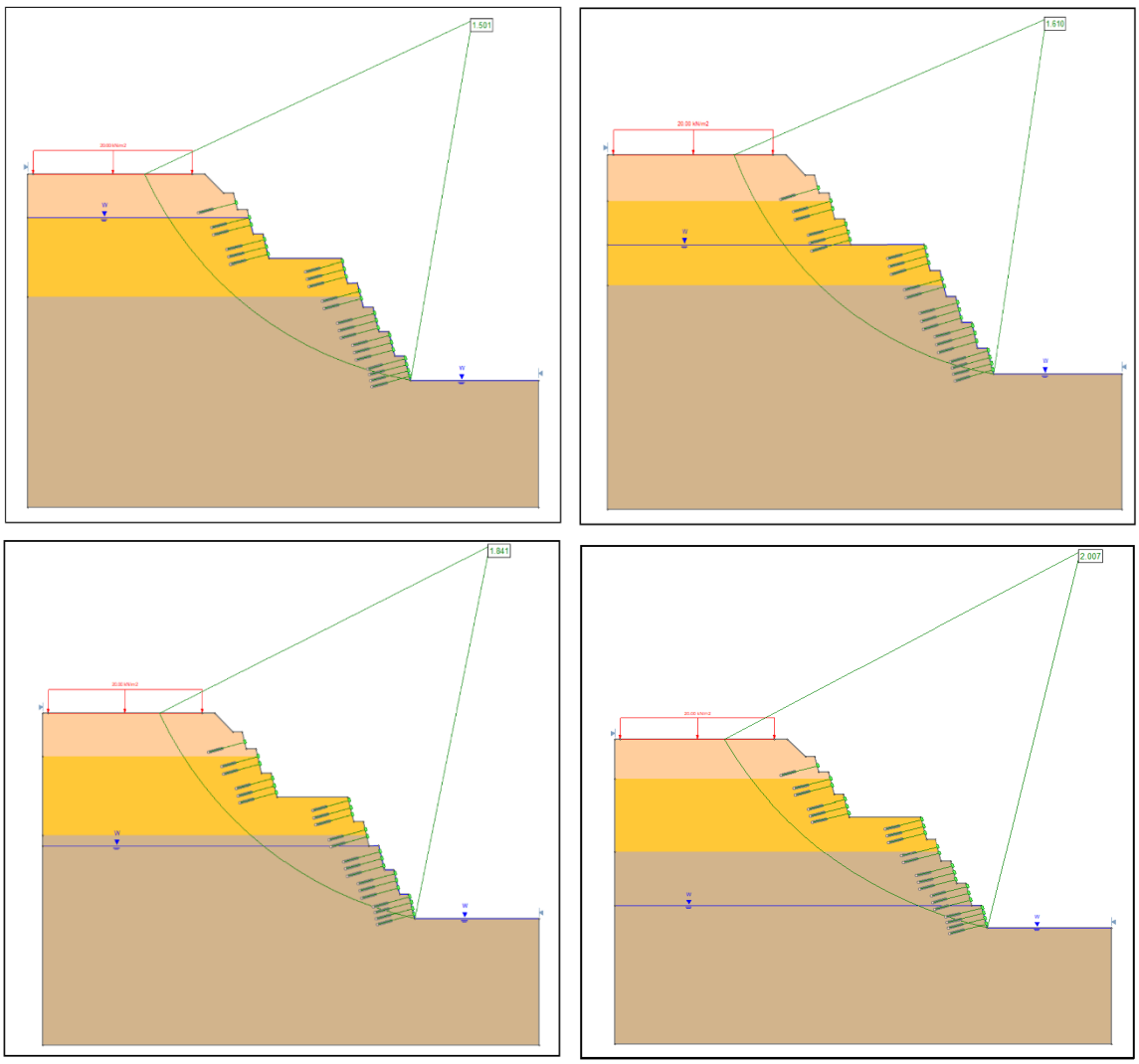
- 50 m'ye kadar olan kazı derinliklerindeki cepheler için minimum 10 m uzunluğunda yatay destek elemanı,
- 50 m'den daha derin ve 84 m'ye kadar olan kazı cepheleri için ise minimum 15 m uzunluğunda yatay destek elemanı kullanılması önerilmiştir.

4. STABİLİZASYON SİSTEMİNİN TASARIMI

Derin kazının güvenli ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amacıyla, kalıcı kaya ankrajları ve bulonlardan oluşan entegre bir stabilizasyon sistemi tasarlanmıştır. Söz konusu sistem, kazı süresince oluşabilecek yatay deplasmanları ve potansiyel instabilite mekanizmalarını sınırlandırarak hem geçici hem de kalıcı aşamalarda şev stabilitesini hedeflemektedir.

Kinematik analiz sonuçları da dikkate alınarak, kazı kesitleri farklı senaryolar kapsamında analiz edilmiştir. Hem kuru hem de yer altı suyunun yağmurlardan dolayı yükselmesi durumu için analizler yapılmıştır. 4+250 km'sindeki kazı üst kotu +939.20 olup, final kazı

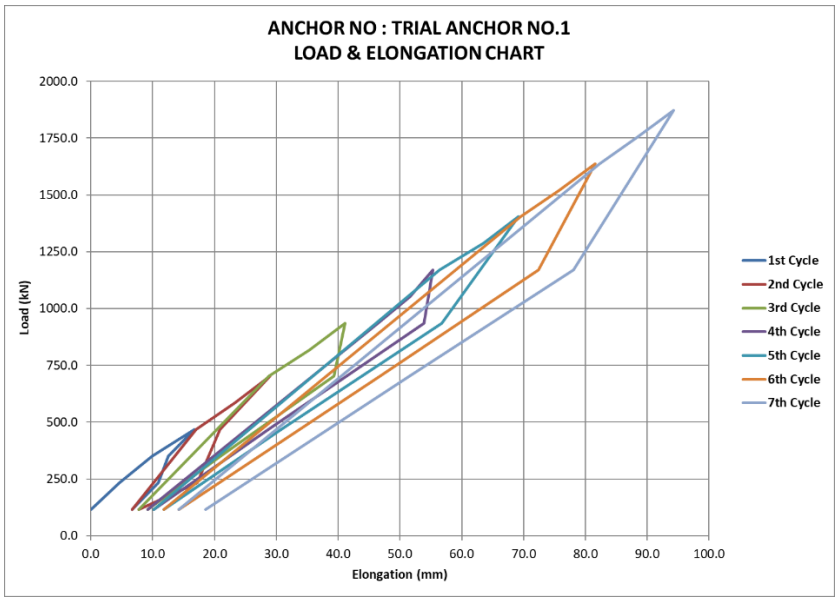
kotu +854.94'tür. Bu kesit için, kuru durum ile su seviyesinin sırasıyla +921,55 m, +904,85 m, +884,90 m ve +864,94 m olduğu durumlara yönelik limit denge analizleri yapılmıştır.



Şekil 5. 4+250 bölgesine ait kesitin değişen yeraltı suyu seviyelerine göre limit denge analizleri

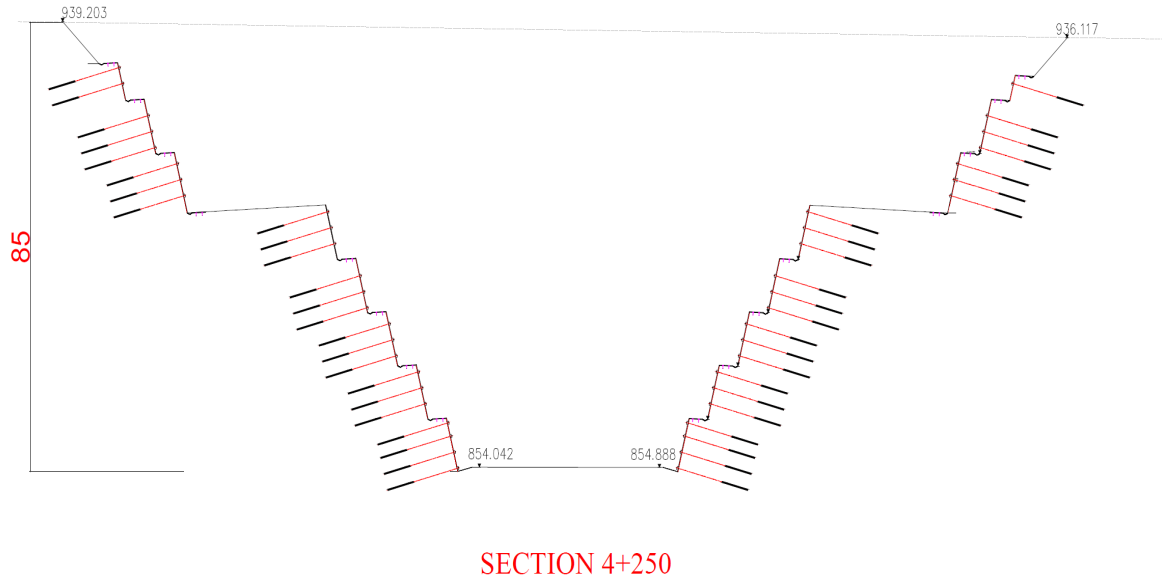
Yapılan analiz sonuçlarına göre güvenlik katsayıları yeraltı su seviyesinin en yüksek olduğu durumdan en düşük olduğumu duruma göre sırasıyla 1.501, 1.610, 1.841 ve 2.007 hesaplanmıştır. Ayrıca kuru durum için de analiz yapılmış olup, güvenlik katsayısı 2.072 olarak hesaplanmıştır.

Proje için tasarlanan ankraj sistemi 7 halatlı öngermeli kaya ankrajıdır. Toplam ankraj boyu 16m, kök boyu ise 6m'dir. Öngörme yükü 90 ton olarak belirlenmiştir. Sahada ankraj ön yükleme testleri yapılmış olup, 180 ton maksimum test yüküne çıkılmıştır. Bu test yüküne ulaşmak ve test sırasında halatlarda yenilme meydana gelmesini önlemek amacıyla, yalnızca testlerde kullanılmak üzere halat sayısı 9'a çıkarılmıştır. 7 adet yükleme ve boşaltma döngüsü ile testler başarıyla tamamlanmıştır. Creep gözlenmemiş olup, kökte sıyrılma olmamıştır. Şekil 6'da Yük – Uzama Grafiği verilmiştir.



Şekil 6. Yapılan Ankraj Testi için Yük – Uzama Grafiği

Yapılan analizler ve sahadaki testler neticesinde kaya stabilizasyon sistemi olarak 20 sıra kalıcı kaya ankrajı kademeli imal edilerek kazı ilerletilmiştir. Ayrıca tüm palyeler için şev açısı 1D:0.25Y olarak belirlenmiştir. Detaylı kesit Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Yarmanın en derin bölgesine ait kesin görüntüsü

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, Suudi Arabistan'ın Riyad bölgesinde yer alan Qiddiya Projesi kapsamında gerçekleştirilen kaya stabilizasyon uygulamalarını kapsamlı bir vaka analizi olarak sunmaktadır. Proje kapsamında, bağlantı yolu güzergahında bulunan yaklaşık 1 km uzunluğundaki dağ kesilerek 30 m ile 85 m arasında değişen derinliklerde şevler oluşturulmuş ve bu şevler kalıcı kaya ankrajları ile kaya bulonları kullanılarak stabilize

edilmiştir. Saha ve laboratuvar çalışmaları ile belirlenen kaya kütlesi özellikleri doğrultusunda, kinematik analizler gerçekleştirilmiş ve potansiyel duraysızlık mekanizmaları değerlendirilmiştir. Şev stabilitesi analizleri limit denge yöntemi kullanılarak, farklı yeraltı suyu seviyeleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sistemin genel olarak yeterli güvenlik katsayısına sahip olduğunu göstermekle birlikte, ilave destek sistemlerinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu kapsamda tasarlanan öngermeli kaya ankraj sistemi sahada uygulamaya alınmış ve gerçekleştirilen ön yükleme testleri ile sistem performansı doğrulanmıştır. Test sonuçları, ankraj sisteminde creep davranışı veya kök bölgesinde sıyrılma meydana gelmediğini göstermiştir. Ayrıca proje boyunca imal edilen tüm ankrajlar için kitleme öncesi kabul testi ve Lift-off yapılarak kalite-kontrol devam ettirilmiştir. Sonuç olarak, tasarlanan stabilizasyon sisteminin hem teorik analizler hem de saha performansı açısından etkin ve güvenilir olduğu ortaya konmuştur.



Şekil 8. Genel Saha Fotoğrafı

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya katkılarından dolayı çalışanı olduğum; KASKTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

Hoek, Evert, Carlos Carranza-Torres, and Brent Corkum. "Hoek-Brown failure criterion-2002 edition." Proceedings of NARMS-Tac 1 (2002): 267-273.

Geotechnical & Environmental Co. Ltd. (2021). Report on slope stability investigation of TBN17 road cut at Upper Plateau Bridges Project, Qiddiya, Riyadh, KSA (Project No. HYD-21231).

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
γs	Birim Hacim Ağırlığı	$\boldsymbol{\Phi'}$	Efektif İçsel Sürtünme Açısı
c'	Efektif Kohezyon	$\mathbf{E}'$	Efektif Deformasyon Modulu
FoS	Güvenlik Katsayısı		