

## KALEDRAAN-ANAMUR DEVLET YOLU KM:15+500 HEYELANININ YARATTIĞI TAHRİBATIN GİDERİLMESİ VAKA ANALİZİ

### A CASE STUDY OF ELIMINATING THE DAMAGE CAUSED BY THE LANDSLIDE AT KM:15+500 ON THE KALEDRAN-ANAMUR STATE ROAD

Hakan ÖZÇELİK<sup>1</sup>, Müslüm GÜNDÜZ<sup>2</sup>, Hikmet KAYRAN<sup>3</sup>,  
Samet SARI<sup>4</sup>

#### ÖZET

“Erdemli – Silifke – Taşucu – 13. Bl. Hd. Yolu” kapsamında Kaledran – Anamur Devlet Yolu Km: 15+500’de yolun sağ taşıma güneye bakan yamacında, mevsimsel aşırı yağışların mevcut litolojiyi doygun hale getirmesi ve artan boşluk suyu basıncı nedeniyle heyelan meydana gelmiştir. Tüm çalışmalar (sondaj, gerekli deneyler) neticesinde elde edilen verilerin göz önünde bulundurulması ile heyelan mekanizmasının idealize edildiği bir kesit oluşturulmuştur. Topuk ve taç bölgesindeki verilere ilaveten SK-2 nolu zemin araştırma sondajına yerleştirilen inklinometre donanımından elde edilen veri ile birlikte aktif kayma dairesi belirlenmiştir. Sahada yapılan zemin araştırma sondajları, laboratuvar deneyleri ve saha gözlem çalışmalarından elde edilen verilere göre, olası kayma yüzeyine ait mobilize olmuş kayma düzlemi geometrisine rezidüel parametreler, geri analiz yöntemi ile limit denge analiz programı kullanılarak incelenmiştir. Geri analiz yönteminde, öngörülen kayma düzlemi programa doğrudan tanımlanarak, güvenlik sayısının  $F.S \leq 1.00$  olduğu durumda, kohezyonunu kaybetmiş birimlerin rezidüel kayma açısı hesaplanmıştır. İlgili kesimde meydana gelen heyelan hareketinin ve devamındaki olumsuz etkilerinin önüne geçebilmek amacıyla, Kaledran – Anamur Devlet Yolu sağ taşıma eksen tarafında yol platformuna yaklaşık 15.00m uzaklıkta, fore kazık ve üzerine 2.50 m yüksekliğinde perde duvar yapılarının inşa edilmesine karar verilmiştir. Perde duvar – yol platformu arasına da istifsiz taş dolgu ile desteklenmesi gerekliliğine stabilite analizi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu bildiride, projenin tasarımı ve uygulama aşamaları anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** heyelan, stabilite analizi, inklinometre, geri analiz, fore kazık

<sup>1</sup> İnşaat Yüksek Mühendisi, GTM Geosentetik ve Duvar Tek. Mrkz. A.Ş., (Sorumlu yazar) [hozcelik@gtmgeo.com](mailto:hozcelik@gtmgeo.com)

<sup>2</sup> Jeoloji Yüksek Mühendisi, İnş.Müh. Y.Lis.-Geoteknik, Burkut Yer Hizmetleri A.Ş., [mgunduz@burkutas.com.tr](mailto:mgunduz@burkutas.com.tr)

<sup>3</sup> Jeoloji Mühendisi, Geodizayn Proje Müh. Müş. San.Tic. Ltd. Şti., [hkayran@geodizayn.com.tr](mailto:hkayran@geodizayn.com.tr)

<sup>4</sup> İnşaat Yüksek Mühendisi, Geodizayn Proje Müh. Müş. San.Tic. Ltd. Şti., [sametsari@geodizayn.com.tr](mailto:sametsari@geodizayn.com.tr)

## ABSTRACT

A landslide occurred due to saturation of the existing lithology by seasonal excessive rainfall and increased pore water pressure at Km: 15+500 on the right carriage south facing slope of the state road of Kaledran – Anamur located on the stretch of "Erdemli - Silifke - Taşucu - 13th Division Border Road". Considering the data obtained as a result of all studies (bore holes, necessary experiments), a cross section was created in which the landslide mechanism was idealised. In addition to the data in the heel and crown zone, the active slip circle was determined with the data obtained from the inclinometer equipment installed in the soil investigation borehole SK-2. According to the data obtained from the soil investigation borings, laboratory tests and field observation studies, the residual parameters of the mobilised slip plane geometry of the possible slip surface were investigated using the back analysis method and limit equilibrium analysis program. In the back analysis method, the predicted slip surface was directly defined in the programme and the residual slip angle of the units that has no cohesion was calculated when the safety number was  $F.S \leq 1.00$ . In order to prevent the landslide movement in the relevant section and its subsequent adverse effects, it was decided that bored piles and 2.50 m tall RC retaining wall structures should be constructed at a distance of approximately 15.00 m from the road platform on the right carriage axis side of the Kaledran - Anamur State Road. The RC retaining wall - road platform should be supported with unstacked stone fill. This paper discusses the design and implementation phases of the project.

**Keywords:** *Landslide, stability analysis, inclinometre, back analysis, bored piles*

## 1. GİRİŞ

"Erdemli – Silifke – Taşucu – 13. Bl. Hd. Yolu" kapsamında Kaledran – Anamur Devlet Yolu Km: 15+500'de yolun sağ taşıma güneye bakan yamacında, mevsimsel aşırı yağışların mevcut litolojiyi doymuş hale getirmesi ve artan boşluk suyu basıncı nedeniyle Nisan 2022 tarihinde heyelan meydana gelmiştir.

İlgili kesimde gerçekleşen stabilite sorunlarının incelenmesi ve bölgedeki zemin koşullarının araştırılmasına yönelik olarak sahada 4 lokasyonda zemin araştırma sondajları yapılmıştır. Yapılan sondajlara ait veriler, yerinde (insitu) ve laboratuvar deney sonuçları ile değerlendirilerek, gelişen stabilite sorunlarının çözümüne yönelik heyelan önlem modelleri oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Bu bölüm kapsamında, sahada gerçekleştirilen sondaj çalışmaları ve laboratuvar deney sonuçları ile tespit edilen idealize zemin profili, yapılan saha gözlem çalışmalarına göre belirlenen heyelan mekanizması ve stabilite sorunlarının çözümüne yönelik olarak geliştirilen önlem uygulamaları ile stabilite analizleri incelenmiştir.

## 2. İDEALİZE ZEMİN PROFİLİ VE HEYELAN MEKANİZMASI

İnceleme alanında gerçekleştirilen sondajlar doğrultusunda ortam idealize edildiğinde; yüzeyden itibaren SK-2, SK-3 ve SK-4 numaralı sondajlarda 8.5m - 13.50m arasında değişen kalınlıklarda Heyelan Malzemesi kesilmiştir. Heyelan malzemesi, sarımsı, kahve-kızıl kahverenkli, zemin niteliği kazanmış yer yer killi siltli, parçalanmış, kırıklı-çatlaklı, süreksizlikler oksitli, yer yer kil dolgu sivalıdır.

SK-1 sondajında yüzeyden itibaren, SK-2 ve SK-3 sondajlarında ise Heyelan Malzemesi altında 1.80 – 21.50 m arasında değişen kalınlıklarda Şist birimi ile karşılaşmıştır. Şist;

sarımsı kahve-kızıl kahve-boz renkli, parçalanmış, çok çatlaklı kırıklı, çatlak-kırık yüzeyleri oksidasyonlu, kil dolgulu-sıvamalı, çok-yer yer tamamen ayrılmış, çok zayıf kaya kalitesindedir.

Tabanda ise, tüm sondajlarda Metasilttaşı kesilmiştir. Metasilttaşı; koyu gri-gri renkli, kırıklı-çatlaklı, orta-yer yer çok ayrılmış, çok zayıf-zayıf-orta kaya kalitesindedir.

SK-2 nolu zemin araştırma kuyusu, heyelanın neden olduğu yatay deplasmanın ölçümü amacıyla inklinometre boruları ile donatılmıştır. Referans okuması için indirilen probun 13 metreden sonra ilerlemediği bu derinlikte inklinometre borusunun kırıldığı tespit edilmiştir. Tüm çalışmalar neticesinde elde edilen verilerin göz önünde bulundurulması ile heyelan mekanizmasının idealize edildiği bir kesit oluşturulmuştur. Topuk ve taç bölgesindeki (Şekil 1) verilere ilaveten SK-2 nolu zemin araştırma sondajına yerleştirilen inklinometre donanımından elde edilen veri ile birlikte aktif kayma dairesi belirlenmiştir. Mevsimsel yağışlar ve kontrolsüz kazıların neden olabileceği potansiyel kayma dairesi de ayrıca aynı kesit üzerinde modellenmiştir (Şekil 2).



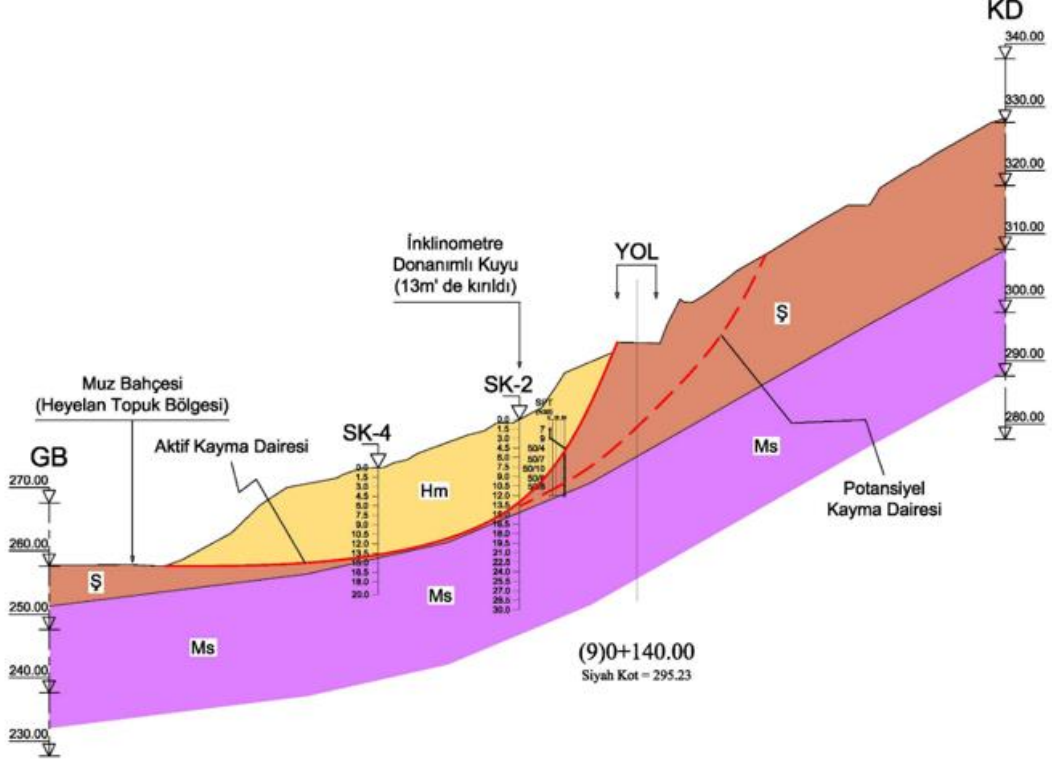
Şekil 1. Heyelan Taç ve Topuk Bölgesinin Görünümü

### 3. GERİ ANALİZ

Bir şev kayarak göçtüğünde, göçme anındaki şev koşulları hakkında geriye dönük bilgi edinilebilir. Şev stabilitesi bozulduğunda, şevde güvenlik sayısı bir (1.0) olarak kabul edilmektedir. Bu bilgi ışığında uygun analiz yöntemi kullanılarak göçme anındaki şev modeli gerçeğe yakın bir şekilde tahmin edilmektedir. Şev; zemin özellikleri, yeraltı suyu, boşluk suyu basıncı, kayma dayanımı parametreleri ve göçme mekanizmalarının kullanıldığı analiz yöntemi ile modellenir. Oluşturulan şev modeli, göçme durumunun daha iyi anlaşılmasına yardımcı olurken uygun tasarımın analizi için esas alınabilir. Bir şev göçmesi vakasında koşulları belirleyip şevde uygun model oluşturma süreci geri analiz veya geri hesaplama olarak adlandırılır (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Sahada yapılan zemin araştırma sondajları, laboratuvar deneyleri ve saha gözlem çalışmalarından elde edilen verilere göre, olası kayma yüzeyine ait mobilize olmuş kayma düzlemi geometrisindeki rezidüel parametreler, geri analiz yöntemi ile incelenmiş olup,

analizlerde SLIDE-6 limit denge analiz programı kullanılmıştır. Geri analiz yönteminde, öngörülen kayma düzlemi programa doğrudan tanımlanarak, güvenlik sayısının  $F.S \leq 1.00$  olduğu durumda, kohezyonunu kaybetmiş birimlerin rezidüel kayma açısı hesaplanmıştır.



### AÇIKLAMALAR

	Litolojik Sınır
	Zemin Araştırma Sondajı
	Aktif Kayma Dairesi
	Potansiyel Kayma Dairesi
	Heyelan Malzemesi (Şist; parçalanmış, kırıklı-çatlaklı)
	Şist; sarımsı kahve - kızıl kahve - boz renkli, parçalanmış, çok çatlaklı-kırıklı, çatlak-kırık yüzeyleri oksidasyonlu, kil dolgululu - sıvımalı, çok-yer yer tamamen ayrılmış, çok zayıf kaya kalitesinde
	Metasilttaş; koyu gri - gri renkli, kırıklı-çatlaklı, orta-yer yer çok ayrılmış, çok zayıf-zayıf-orta kaya kalitesinde

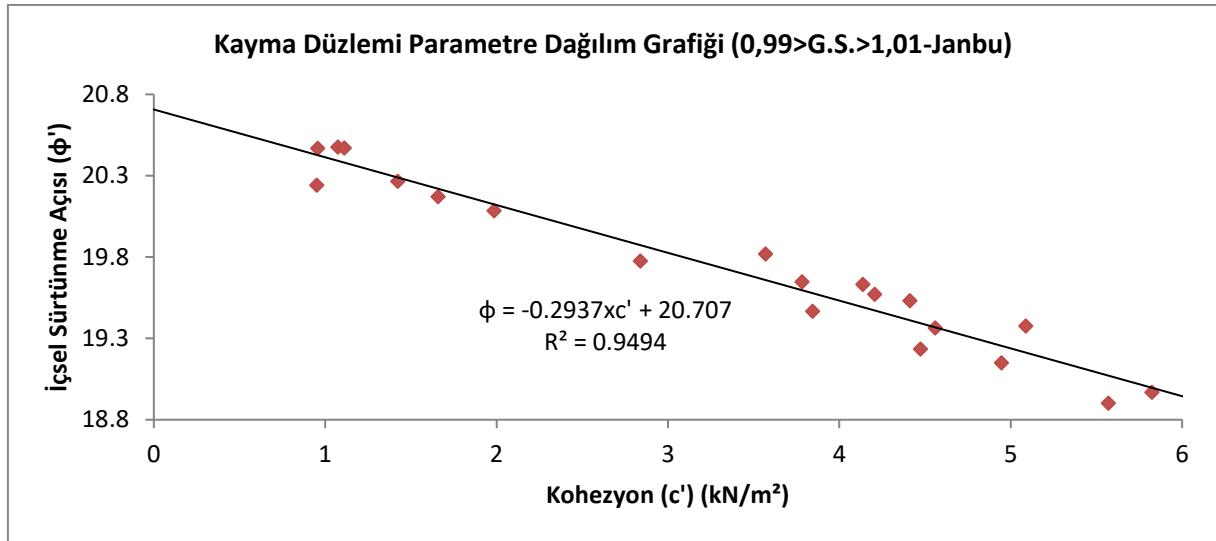
Şekil 2. İdealize Zemin Profili ve Heyelan Mekanizması

Öngörülen dairesel kayma yüzeyi göz önünde bulundurularak, analizler Janbu (Dilimler arası yatay kuvvetler) metodu ile incelenmiştir. Diğer yöntemlere benzer olmakla birlikte Janbu yönteminin farklılığı herhangi bir yenilme yüzeyine uygulanabilmesidir (Arıoğlu E., 2005). Janbu yöntemi dilimler arası kuvvetlerin yatay olduğu varsayımına dayanır (Duncan J. M., 2005). Yapılan geri analiz sonucu belirlenen rezidüel zemin parametreleri Tablo-1’de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Geri Analiz İle Elde Edilen Parametreler

Metot	Birim ağırlık ( $\gamma$ , (kN/m <sup>3</sup> ))	Kohezyon (c, kPa)	Rezidüel Kayma Açısı ( $\phi_r$ , °)	Güvenlik Sayısı (Fs)
Janbu	20	1	20.50	1.006

Rezidüel kayma düzlemine ait kohezyon değerinin sıfıra yaklaştığı kabulü ile  $c'=1$  kPa olarak kabul edilmiştir (Şekil 3). Bu doğrultuda grafik üzerinden  $c'=1$  kPa değeri için  $\phi' \approx 20.50^\circ$  olarak elde edilmiştir.

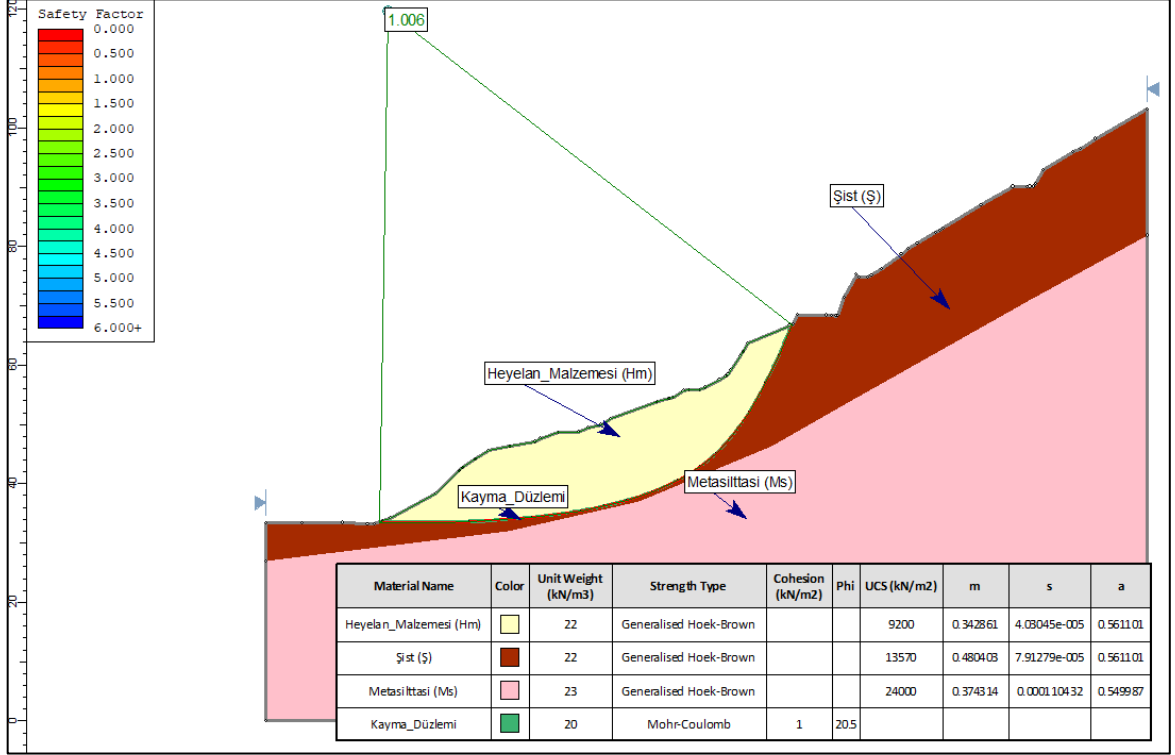


Şekil 3. Kayma Düzlemi Parametre Dağılım Grafiği

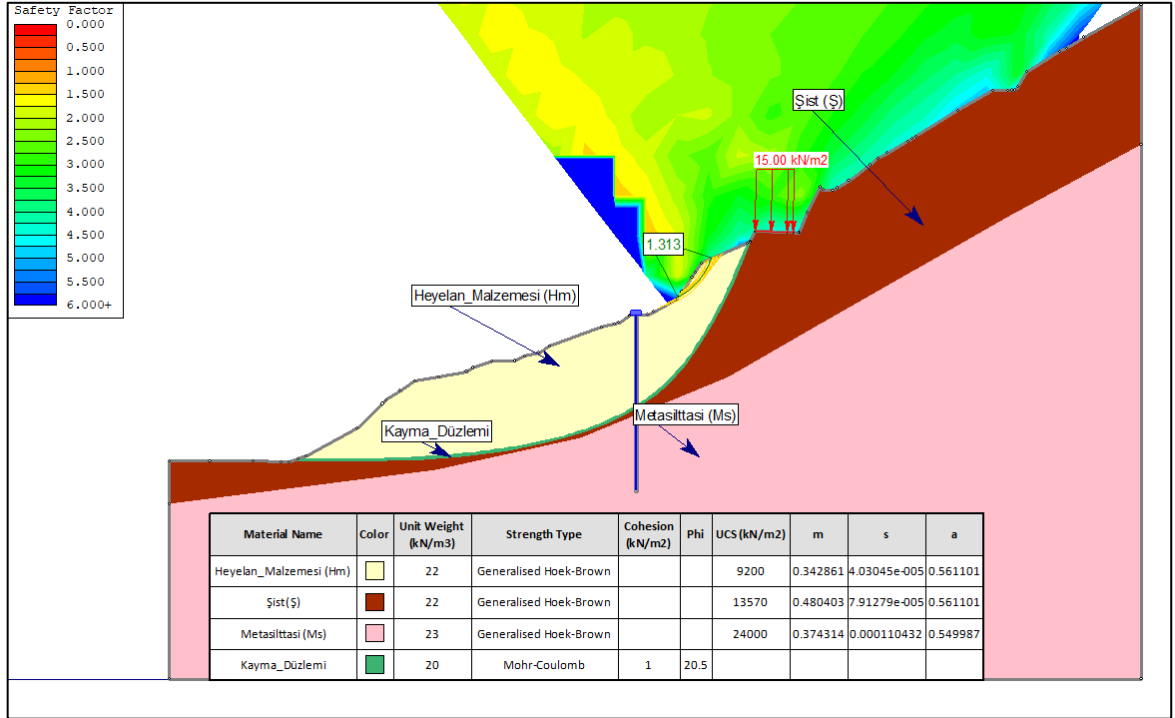
Belirlenen bu rezidüel zemin parametreleri ile kayma yüzeyi üzerinde SLIDE-6 limit denge programı ile yapılan analizde  $G.S.=1.006$  olarak bulunmuştur (Şekil 4)

#### 4. HEYELAN ÖNLEME TASARIMI

İlgili kesimde meydana gelen heyelan hareketinin ve devamındaki olumsuz etkilerinin önüne geçebilmek amacıyla, 0+140 kesiti dikkate alınarak Kaledran – Anamur Devlet Yolu sağ taşıma eksen tarafında yol platformuna yaklaşık 15.00m uzaklığında, +284.00 m kotunda  $D=120\text{cm}$ ,  $L=26.00\text{m}$ ,  $S=140\text{cm}$  aralıklı fore kazık inşa edilmesi durumu değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucu  $G.S.=1.313$  (Şekil 5), bulunmuş olup bu değer K.G.M. Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesinde belirtilen min.  $G.S. \geq 1.50$  koşulunu sağlamadığı görülmüştür.

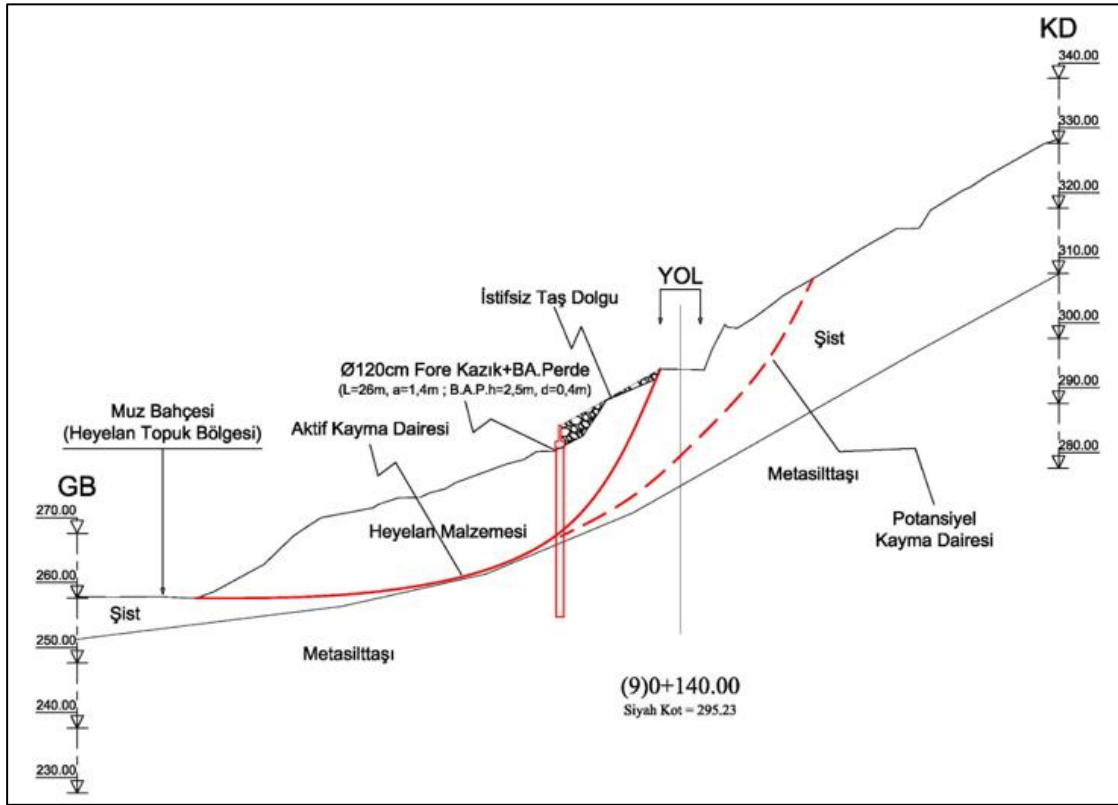


Şekil 4. Rezidüel Parametreler ile Kayma Yüzeyi Üzerinde Stabilité Analizi

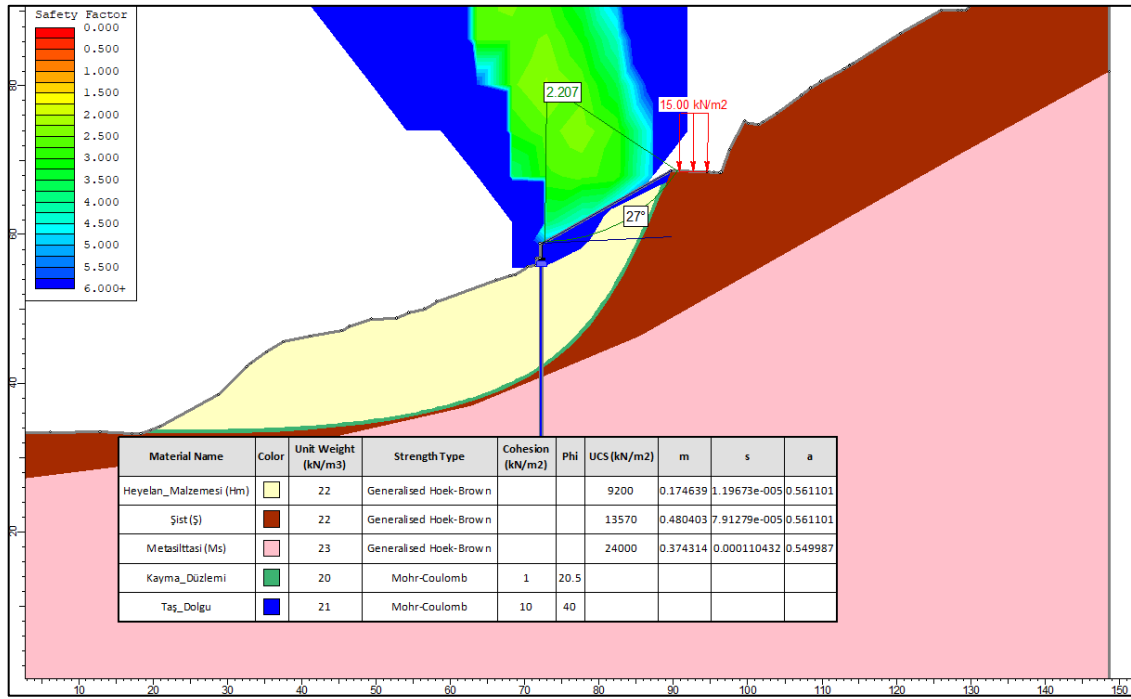


Şekil 5. Kazıklı Tutucu Yapı Sonrası Statik Durum Stabilité Analizi (G.S.=1.313<1.50)

Kazıklı tutucu yapı ve yol platformu arasında kalan bölgede tespit edilen yetersiz stabilite güvenlik katsayıları nedeniyle kazıklı tutucu yapı üzerine 2.50 m boyunda perde duvar inşa edilmesi ve duvar arkasına da istifsiz taş dolgu yapılması durumu incelenmiştir (Şekil 6).

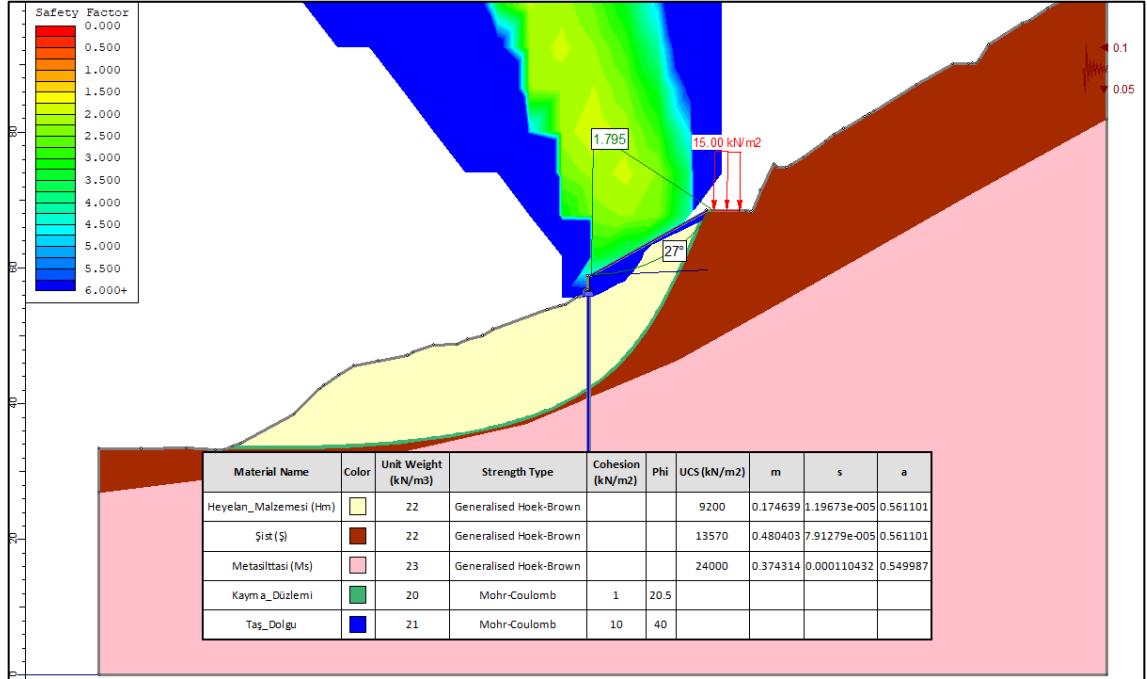


Şekil 6. Heyelan Önleme Tasarımı



Şekil 7. Kazık + Betonarme Perde Duvar ve İstifsiz Taş Dolgu Sonrası Statik Durum Stabilité Analizi (G.S.=2.207&gt;1.50)

İstifisiz taş dolgu yerleşimi sonrasında yapılan statik (Şekil 7) ve dinamik (Şekil 8) durum analizleri sonucunda elde edilen stabilite güvenlik katsayısı değerlerinin ilgili şartnamede (Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2014) belirtilen güvenlik koşullarını ( $G.S._{statik} > 1.50$ ,  $G.S._{dinamik} > 1.10$ ) sağladığı görülmüştür.

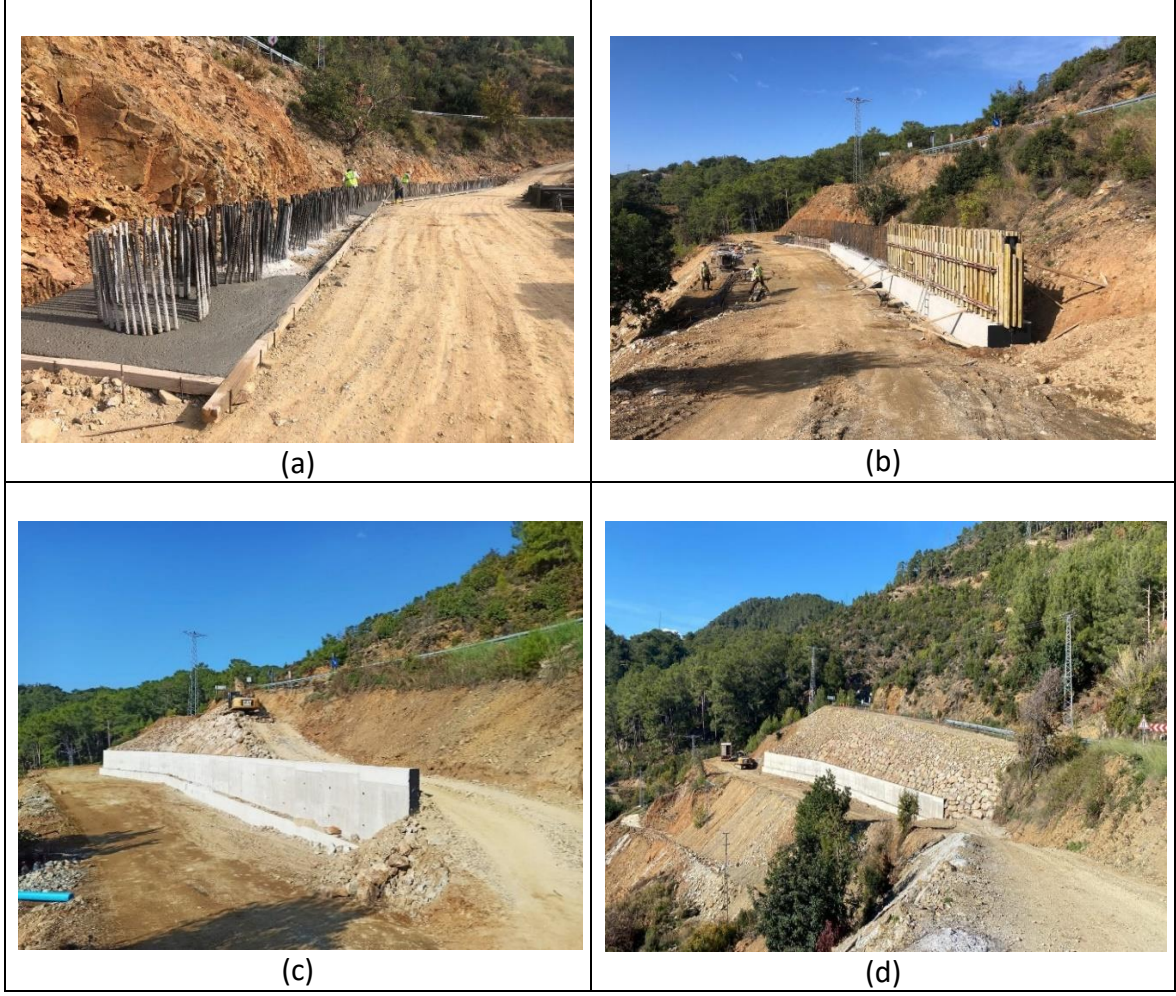


Şekil 8. Kazık + Betonarme Perde Duvar ve İstifisiz Taş Dolgu Sonrası Statik Durum Stabilite Analizi ( $G.S.=2.207 > 1.50$ )

## 5. UYGULAMA

Yapılan çalışma neticesinde, K.G.M. Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesinde belirtilen min.  $G.S._{statik} > 1.50$  ve  $G.S._{dinamik} > 1.10$  değerlerini sağlayan çözüm KGM 5.Bölge Müdürlüğü Yapım ve Araştırma Dairelerinden onay aldıktan sonra, fore kazık ve istinat duvarı imalatına geçilmiştir. Kaledran – Anamur Devlet Yolu sağ taşıma eksen tarafında yol platformuna yaklaşık 15.00m uzaklığında, +284.00 m kotunda  $D=120$  cm,  $L=26.00$  m,  $S=140$  cm aralıklı fore kazık imalatı tamamlandıktan sonra 2.50m yüksekliğindeki istinat duvarının yapımına geçilmiştir. Kazıkların devamı olarak istinat duvarı temeli ve perdesi inşa edilmiştir. İstinat duvarı tamamlandıktan sonra da yol platformu ile istinat duvarı arasındaki bölge istifisiz taş dolgu ile doldurularak Kaledran – Anamur yolu ulaşımına açılmıştır. Uygulama aşamaları Şekil 9’da verilmiştir.





Şekil 9. Uygulama Aşamaları, a) Fore kazık imalatının tamamlanması, b) İstinat duvar imalatı, c) İstiftsiz taş dolgu imalatı, d) Uygulamanın bitmiş hali

## 6. SONUÇLAR

Bu bildiriye, “Erdemli – Silifke – Taşucu – 13. Bl. Hd. Yolu Muhtelif Kesimlerdeki Heyelan Islahı Yapım İşi” kapsamında, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanındaki Kaledran – Anamur Devlet Yolu Km: 15+500’de meydana gelen heyelanın yolda oluşturduğu mevcut tahribatın ve oluşturabileceği potansiyel tahribatın giderilmesi ve yolun bundan sonraki servis süresince emniyetinin sağlanmasına yönelik çalışma anlatılmıştır.

- Kaledran – Anamur yolunun Km: 15+500’de sağ taşımının güneye bakan yamacında, mevsimsel aşırı yağışların mevcut litolojiyi doymun hale getirmesi ve artan boşluk suyu basıncı nedeniyle heyelan meydana gelmiştir.
- Stabilite problemlerinin gözlemlendiği ilgili bölgede mevcut litolojiyi ve heyelan mekanizmasını belirlemek amacıyla 4 farklı lokasyonda sondaj çalışmaları, yerinde (insitu) deneyler ve laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

- SK-1 sondajında yüzeyden itibaren, SK-2 ve SK-3 sondajlarında ise Heyelan Malzemesi altında 1.80 – 21.50 m arasında değişen kalınlıklarda Şist birimi ile karşılaşmıştır. Şist; sarımsı kahve-kızıl kahve-boz renkli, parçalanmış, çok çatlaklı kırıklı, çatlak-kırık yüzeyleri oksidasyonlu, kil dolgulu-sıvamalı, çok-yer yer tamamen ayrılmış, çok zayıf kaya kalitesindedir. Tabanda ise, tüm sondajlarda Metasiltaşı kesilmiştir. Metasiltaşı; koyu gri-gri renkli, kırıklı-çatlaklı, orta-yer yer çok ayrılmış, çok zayıf-zayıf-orta kaya kalitesindedir.
- Yapılan araştırmalar sonucunda kayma düzleminin şev yüzeyinden itibaren yaklaşık olarak 13,00-13,50m derinliğinde yer aldığı görülmüştür.
- Mevcut arazinin topoğrafik koşulları dikkate alınarak olasılıklı geri analiz yöntemi ile kayma düzlemine ait rezidüel parametreler elde edilmiştir.
- İlgili kesimde meydana gelen heyelan hareketinin ve devamındaki olumsuz etkilerinin önüne geçebilmek amacıyla, 0+140 kesiti dikkate alınarak Kaledran – Anamur Devlet Yolu sağ taşıma eksen tarafında yol platformuna yaklaşık 15.00m uzaklığında, +284.00 m kotunda D=120 cm, L=26.00 m, S=140 cm aralıklı fore kazık inşa edilmesi durumu öngörülmüştür. Yapılan analiz sonucu G.S.=1.313 (Şekil 4), bulunmuş olup bu değer K.G.M. Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesinde belirtilen min. G.S.≥1.50 koşulunu sağlamadığı görülmüştür. Kazıklı tutucu yapı ve yol platformu arasında kalan bölgede tespit edilen yetersiz stabilite güvenlik katsayıları nedeniyle kazıklı tutucu yapı üzerine 2.50 m boyunda perde duvar inşa edilmesi ve duvar arkası istifsiz taş dolgusu yerleşimi durumu incelenmiştir.
- Perde duvar inşası ve istifsiz taş dolgu yerleşimi sonrasında yapılan statik ve dinamik durum analizleri sonucunda elde edilen stabilite güvenlik katsayısı değerlerinin ilgili şartnamede (Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2014) belirtilen güvenlik koşullarını (G.S.statik>1.50, G.S.dinamik>1.10 sağladığı görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu projedeki katkıları ve yapmış oldukları çalışmalar için Karayolları Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Arıoğlu E., T. N. (2005). *Çözümlü Problemlerle Şev Stabilite Analizi* (s. 417). içinde İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Duncan J. M., V. S. (2005). *Zemin Şevlerinin Duraylılığı*. Ankara: Çeviren: Kamil Kayabalı, Gazi Kitabevi.
- Duncan, J. M., Wright, S., & Brandon, T. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. Canada: John Wiley & Sons.
- Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı. (2014). *Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Ün, B., & Yıldız, A. (2021). *Şev Stabilitesi Probleminin Geri Analizle Çözümü: Örnek Bir Vaka*. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*.