

## HEYELAN OLUŞUM MEKANİZMALARINDA GÖMÜLÜ YAPILARIN ETKİSİ: BİR VAKA ANALİZİ

### THE EFFECT OF BURIED STRUCTURES ON LANDSLIDE FORMATION MECHANISMS: A CASE STUDY

İlkay TONYALI<sup>1</sup>, Sami Oğuzhan AKBAŞ<sup>2</sup>

#### ÖZET

Bu çalışmada, Sakarya ili Sapanca ilçesinde inşa edilen bir turizm tesisinde meydana gelen heyelan hareketleri incelenmiştir. Saha gözlemleri ve araştırma sonuçları, 100 metre çapında tekil mekanizmada gerçekleşmesi beklenen derin dairesel (rotasyonel) heyelan hareketinin, görece sığ rotasyonel kaymalar şeklinde iki ayrı sistemde (çoklu) oluştuğunu göstermektedir. Bu durumun, güneybatı kanadında bulunan 4,00 metre yüksekliğinde ve 14,00 metre uzunluğundaki mevcut U şeklindeki yapı perde kalıntısından kaynaklandığı öngörülmektedir. Söz konusu yapı, heyelan bölgesindeki topuk kısmını destekleyerek kayma mekanizmasını sınırlamaktadır. Heyelan mekanizmasının sayısal olarak değerlendirilmesi amacıyla, limit denge prensibi ile çalışan Slide 2D stabilite analiz programında modellemeler gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan heyelan kayma yüzey uzunluklarının saha verileri ile uyumlu olduğu, ancak bazı farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun, özellikle kayma dairesi boyunca yer değiştiren malzemenin mukavemet ve indeks özelliklerindeki farklılıklar ile analizlerdeki üçüncü boyut etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Analizler, heyelan hareketinin mevcut perde ile sınırlandırıldığını ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, gömülü rijit perde sisteminin heyelan mekanizması üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymakta ve heyelan riskinin yönetimi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, rijit gömülü elemanlar, inklinometre, stabilite analizleri

#### ABSTRACT

In this study, landslide movements occurring in a tourism facility constructed in Sapanca district of Sakarya province were investigated. Field observations and research results show that the deep circular (rotational) landslide movement, which was expected to occur in a single mechanism with a diameter of 100 meters, occurred in two separate systems (multiple) as relatively shallow rotational slides. It is predicted that this situation is caused

<sup>1</sup> İnş. Yük. Müh., Moment Proje, info@momentproje.com (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup> Prof. Dr., Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, soakbas@gazi.edu.tr



by the remains of the existing U-type structure on the Southwest side, which is 4.00 meters high and 14.00 meters long. This structure supports the toe of the landslide zone and limits the sliding mechanism. In order to further evaluate the landslide mechanism, numerical modeling was carried out with Slide 2D stability analysis program, which works on the principle of limit equilibrium. It was observed that the calculated landslide rupture surface lengths were consistent with the field data, but showed some differences. This is thought to be due to the differences in the strength and index properties of the material displaced along the sliding surface and the third-dimension effect in the analysis. The analyses revealed that the landslide movement is bounded by the existing shear wall. The findings reveal the positive-effect of the buried rigid shear wall system on the landslide mechanism and provide important contributions in terms of landslide risk management.

*Keywords: Landslide, rigid buried elements, inclinometer, stability analysis*

## 1. GİRİŞ

Sakarya ili Sapanca ilçesinde bir turizm tesisi inşaatı kapsamında sahada yapılan tahkimatsız kazılar esnasında şev boyunca gerilme çatlaklarının oluştuğu tespit edilmiştir. Yapılan gözlemler, devam eden süreçte hatalı kaya dolgu uygulamaları ve kontrolsüz su akışlarının sonucunda çeşitli heyelan mekanizmalarının geliştiğini ortaya koymuştur.

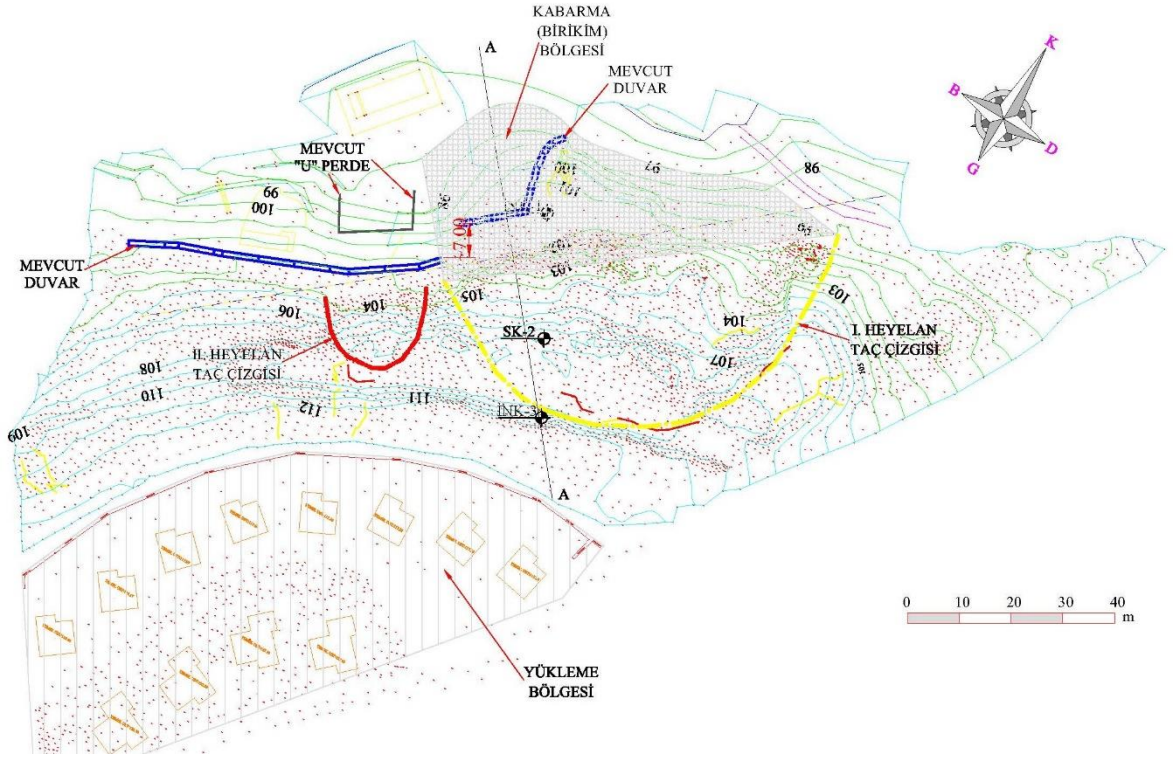
Sahanın kuzeydoğu cephesinde I nolu dairesel kayma, güneybatı cephesinde ise II nolu, daha sığ bir dairesel kayma hareketinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Şekil 1’de yer alan saha yerleşim planı ve Şekil 2’deki görseller, bu iki heyelan hareketinin bitişik düzende oluştuğunu göstermektedir.

Normal koşullar altında, zemin profilinin yatay ve düşey homojenliği göz önüne alındığında, heyelan mekanizmasının tek bir profil içinde oluşması beklenmektedir. Ancak, çoklu sistem hareketlerine yol açan koşulların belirlenmesi, geoteknik açıdan önemli bir değerlendirme sağlamaktadır. Bu durum, zemin stabilitesi açısından kritik bulgulara sahiptir ve ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

## 2. ZEMİN VE SAHA ARAŞTIRMALARI

Hareketlerin tespit edilmesinin ardından, inceleme alanında toplam 62 metre uzunluğunda üç adet araştırma sondajı gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma çalışmaları sonucunda, gözlemlenen derinlik boyunca yer yer yüksek plastisiteli silt (MH) ve siltli kum (SM) bantları içeren düşük plastisiteli siltli kil (CL) ve killi silt (ML) birimleri tespit edilmiştir. Sondaj çalışmaları esnasında elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinin sonuçları, Tablo 1’de özetlenmiştir (Tömekçe İnşaat, 2023).





Şekil 1. Yerleşim planı



Şekil 2. İnceleme alanı heyelan görünümleri

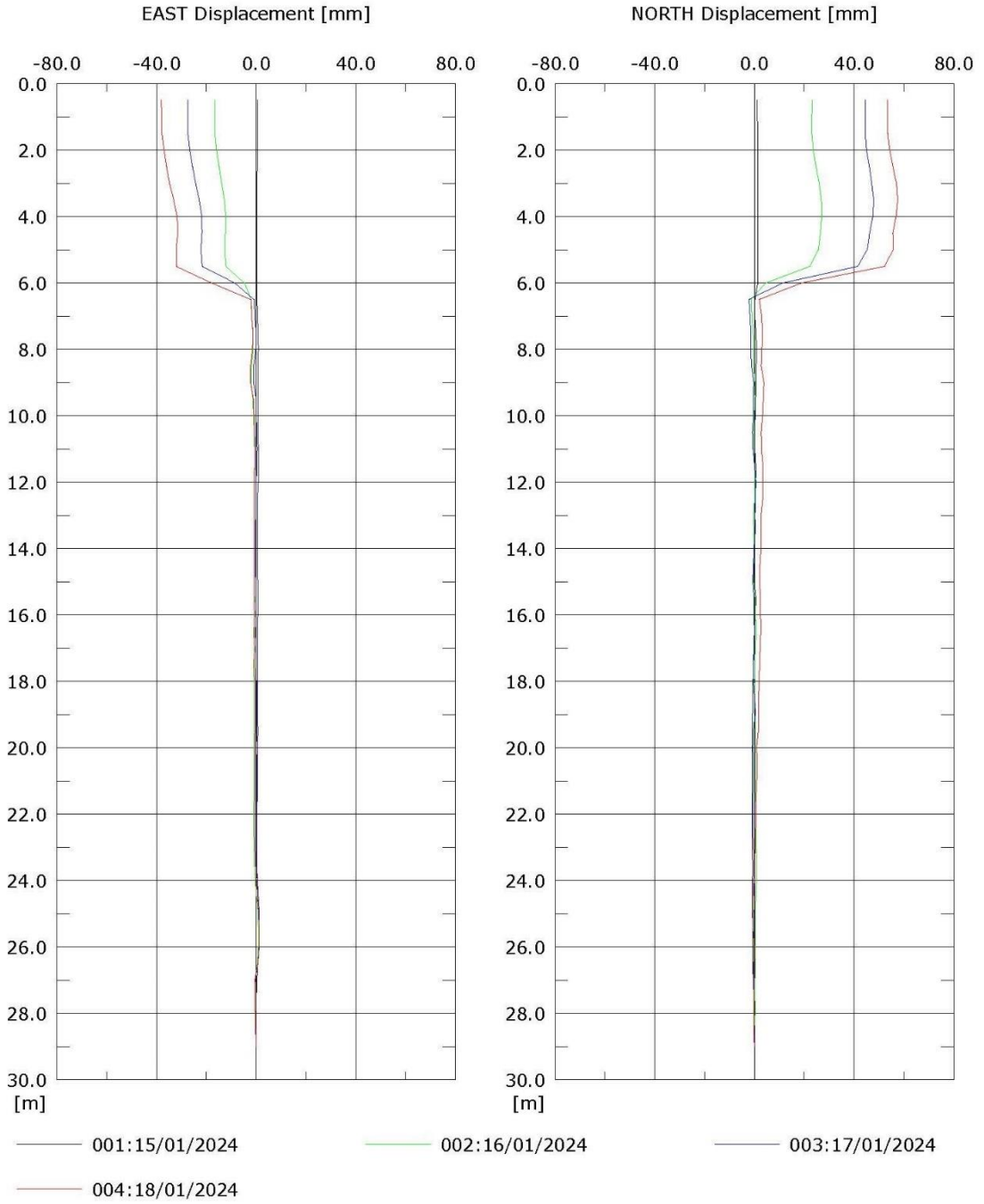
Tablo 1. Laboratuvar deney sonuçları

Sondaj No	Sondaj Kotu	Derinlik (m)	w <sub>n</sub> (%)	IDO (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı	Kıvam (Terzaghi ve Peck, 1967)	
INK-1 (20 m)	101,50	1,50	26,79	83,11	40	21	19	CL	Orta Katı	
		3,00	26,76	83,37	37	21	16	CL	Yumuşak	
		4,50	21,71	89,18	28	21	7	CL-ML	Çok Katı	
		7,50	22,15	90,07	43	23	20	CL	Çok Katı	
		9,00	23,81	90,91	57	38	19	MH	Çok Katı	
		10,50	21,11	89,85	28	20	8	CL-ML	Sert	
		12,00	20,26	90,70	30	12	18	CL	Katı	
		13,50	20,70	95,80	29	12	17	CL	Sert	
		15,00	11,01	30,70				NP	SM	-
		19,00	21,54	71,70	39	20	19	CL	-	
SK-2 (22 m)	108,73	1,50	24,86	82,88	42	24	18	CL	Yumuşak	
		3,00	26,06	85,90	38	20	18	CL	Yumuşak	
		4,50	15,03	83,04	38	20	18	CL	Katı	
		6,00	20,67	92,79	34	18	16	CL	Çok Katı	
		7,50	21,98	91,10	38	21	17	CL	Çok Katı	
		9,00	18,27	96,80	42	21	21	CL	Çok Katı	
		10,50	27,28	96,50	42	20	22	CL	Katı	
		15,00	20,88	74,80	29	22	7	CL-ML	Çok Katı	
		16,50	22,22	67,09	28	22	6	CL-ML	Katı	
		18,00	21,70	75,08	28	21	7	CL-ML	Çok Katı	
INK-3 (20 m)	110,68	1,50	22,40	91,80	42	22	20	CL	Orta Katı	
		3,00	19,55	92,80	45	22	23	CL	Orta Katı	
		6,00	27,34	89,50	45	21	24	CL	Orta Katı	
		9,00	18,08	72,80	28	22	6	CL-ML	Çok Katı	
		10,50	11,50	74,70	28	21	7	CL-ML	Çok Katı	
		12,00	22,07	81,80	45	20	25	CL	Sert	
		13,50	28,38	84,40	39	20	19	CL	Sert	
		15,00	21,67	24,90	55	40	15	MH	Sert	
		18,50	20,81	80,80	30	20	10	CL	Sert	

Sondajlardan iki tanesinde inklinometre borusu yerleştirilerek heyelan hareketinin yüzeyden itibaren kayma derinliği, yönü ve büyüklüğü belirlenmeye çalışılmıştır. INK-1 kuyusunda elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 3'de sunulmaktadır.

Bu verilere göre, INK-1 sondajının bulunduğu bölümde hareketin yüzeyden itibaren yaklaşık 6,00 metre derinlikte kuzeybatı yönünde geliştiği gözlenmiştir. Şekil 1'deki yerleşim planında gösterildiği üzere, ikinci inklinometre kuyusu olan INK-3, heyelan taç sınırının dışında konumlandırılmıştır. Bu durum, ölçümler esnasında anlamlı bir deplasman kaydedilememesine neden olmuştur. Ancak, saha gözlemleri ile birleştirildiğinde, mevcut veriler kullanılarak kayma düzleminin yeterli doğrulukta belirlenmesi mümkün olmuştur.

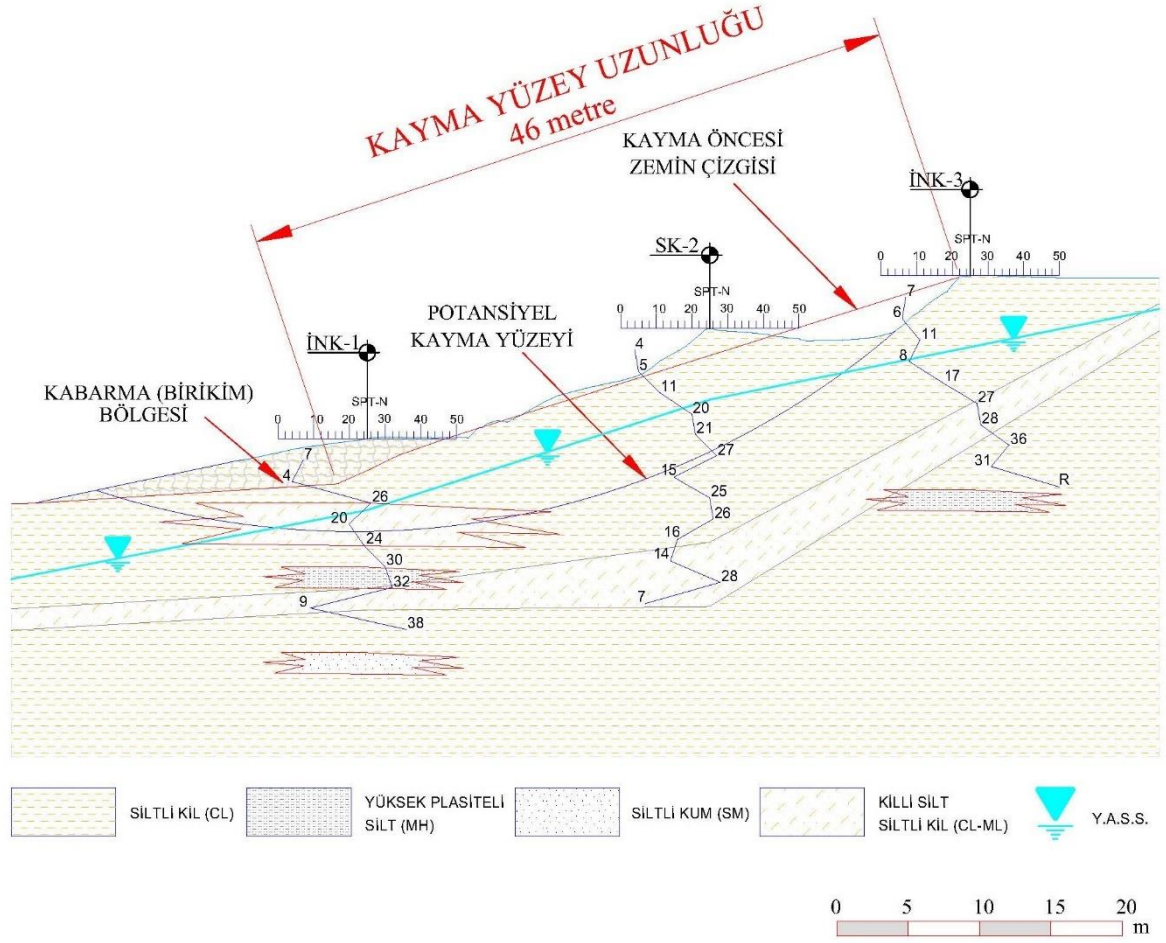




Şekil 3. INK-1 kuyusunda gerçekleştirilen inklinometre okuma sonuçları

Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile inklinometre okuma sonuçları dikkate alındığında, Şekil 4'de sunulan zemin profili ve heyelan mekanizması oluşturulmuştur.





Şekil 4. Zemin profili ve II nolu heyelan mekanizması

### 3. HEYELAN HAREKETİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Saha gözlemleri ve araştırma çalışmaları sonucunda elde edilen veriler ile Cruden ve Varnes (1996) tarafından geliştirilmiş Tablo 2 dikkate alınarak heyelan tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, heyelan aktivite durumu değerlendirilmiştir. Saha gözlemleri ile inklinometre verileri incelendiğinde heyelanın "Aktif-Hareket Halinde-Çoklu" bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Hareket tanımındaki kriterlerden biri olan heyelan hızı, ardışık inklinometre okumalarına göre  $4,86 \times 10^{-4}$  mm/sn olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Cruden ve Varnes (1996) tarafından oluşturulan heyelan hız ölçeğine göre "Yavaş" olduğu değerlendirilmiştir.

Heyelan hareketinde yer değiştiren malzemenin, Varnes (1978) yaklaşımına dayanarak "Islak" olduğu gözlenmiştir. Bu terim, kısmen sıvı gibi davranacak kadar su içeren, içinden su akan veya önemli miktarda duran su kütlelerini barındıran olarak tanımlanmaktadır (Cruden ve Varnes (1996)).



Yukarıdaki tanımlamalara ek olarak, malzeme ve hareket tipi dikkate alındığında, heyelan hareketi "Yavaş-İslak-Toprak-Kayması" olarak tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırma, heyelan hareketinin özelliklerini ve dinamiklerini daha iyi anlamak için önemlidir ve mevcut koşullar altında meydana gelen hareketlerin doğasını net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Heyelan isimlendirme terminolojisi (Cruden ve Varnes (1996))

Aktivite Durumu			
Durum	Dağılım	Tip	
Aktif	İlerleyen	Kompleks	
Yeniden etkinleşmiş	Geriye doğru	Birleşik	
Askıya alınmış	Genişleyen	Çoklu	
Pasif	Büyüyen	Ardışık	
	Uyku halinde	Sıkışmış	Tek
	Terkedilmiş	Azalan	
	Stabilize edilmiş Kalıntı	Hareket eden	
Hareket Tanımı			
Hız	Su İçeriği	Malzeme	Hareket Tipi
Son derece hızlı	Kuru	Kaya	Düşme
Çok hızlı	Nemli	Zemin	Devrilme
Hızlı	İslak	Toprak	Kayma
Orta hızda	Çok ıslak	Moloz	Yayıma
Yavaş			Akma
Çok yavaş			
Son derece yavaş			

Heyelan tanımlamasında "Çoklu" ifadesi, genellikle yırtılma yüzeyinin genişlemesini takiben meydana gelen, aynı tipteki tekrarlayan hareketler için kullanılmaktadır. Eisbacher ve Clague (1984), çoklu rotasyonel kaymalarda yer değiştiren kütlelerin temas halinde olduğunu ve genellikle tek bir yırtılma yüzeyini paylaştığını belirtmektedir. Ayrıca, her iki heyelan bloğunun da genellikle derin yırtılma yüzeylerine teğet olacak şekilde hareket ettiğini ortaya koymuşlardır.

Yukarıda belirtilen hususlar göz önüne alındığında, inceleme alanında planda 100 metre çapında tekil mekanizmada gerçekleşmesi beklenen derin dairesel (rotasyonel) tip heyelan hareketinin, görece sığ rotasyonel kaymalar şeklinde iki ayrı sistemde (çoklu) olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, heyelan derinliğinin görece yüzeye yakın güneybatı kanat bölümüne konumlandırılmış, 4,00 metre yüksekliğinde, 14,00 metre uzunluğunda mevcut U şeklindeki yapı perde kalıntısından kaynaklandığı öngörülmektedir (Şekil 5). Söz konusu yapının, heyelanın güneybatı bölümünde topuk kısmını destekleyerek kayma mekanizmasını sınırlandırdığı değerlendirilmektedir.

IAEG Heyelan Komisyonu (1990) tarafından geliştirilen heyelan boyutlama sistemine göre, I nolu heyelan kayma yüzey uzunluğu 46,00 metre olarak belirlenmiştir. Bu uzunluk, II nolu heyelan sisteminde ise 17,00 metre olarak ölçülmüştür.





Şekil 5. Heyelan kabarma bölgesi ve mevcut gömülü yapı görünümü

#### 4. SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI

Yukarıda aktarılan heyelan oluşum mekanizmalarının değerlendirilmesi amacıyla, limit denge prensibi ile çalışan Slide 2D (Rocscience Inc., 2016) programı kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Sistem analizlerinde, uzun süreli (drenajlı) zemin parametreleri tercih edilmiştir. Sondaj çalışmalarının tamamında gözlemlenen 5,00 metre derinlikteki su seviyesi modellerde dikkate alınmıştır.

Turizm tesisi yapılarının tek katlı olması nedeniyle, analizlerde 20 kPa temel basıncı göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, tesviye çalışmaları sırasında plan boyunca konumlandırılmış yaklaşık 4,00 metre yüksekliğindeki duvarlardan kaynaklanan 80 kPa'lık ilave yükleme oluşacağı değerlendirilerek, toplamda sisteme 100 kPa düşey yayılı yükleme uygulanmıştır.

Heyelan kaması içinde kalan rezidüel birimlere ait mukavemet parametreleri, limit denge (güvenlik katsayısı= 1.0) durumu için geri analizler ile belirlenmiştir. Bu tabaka altında yer alan zeminlere ait parametreler ise arazi ve laboratuvar deney sonuçları ile ampirik yaklaşımlar kullanılarak elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan zemin parametreleri Tablo 3'de toplu olarak verilmektedir.

Tablo 3. Analize esas zemin modeli ve mukavemet parametreleri

Zemin Cinsi	İçsel Sürtünme Açısı (Derece)	Kohezyon (kPa)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )
Rezidüel Birim	14	0,10	16,00
Siltli Kil (CL1)	28	3,00	18,00
Siltli Kum-Silt (SM-ML)	32	3,00	18,00
Siltli Kil (CL2)	30	10,00	18,00

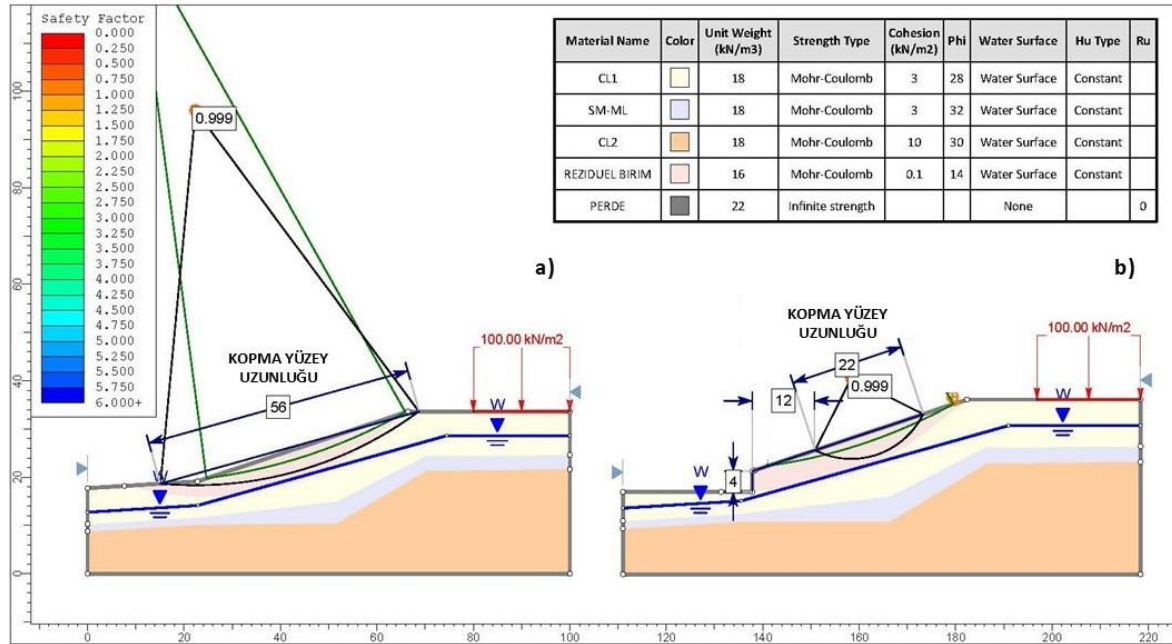




Stabilite analiz sonuçları, Şekil 6'da toplu olarak sunulmuştur. I. Heyelan Alanı dikkate alınarak gerçekleştirilen analizler, belirlenen heyelan mekanizmasına dayanarak II. Heyelan Alanı için çözümlerinin yapılmasını sağlamıştır. Modellemede, sisteme rijit perde elemanı eklenmiş ve bunun akma hareketini sınırladığı gözlenmiştir.

I. Heyelan Alanı için kayma yüzey uzunluğu saha ölçümlerinde 46 metre olarak belirlenmişken, analizlerde 56 metre olarak tespit edilmiştir. II. Heyelan Alanı'nda ise saha ölçümleri 17 metre iken, bu değer modellemede 22 metre olarak belirlenmiştir. Oluşan farkların kayma dairesi boyunca yer değiştiren malzemenin mukavemet ve indeks özelliklerindeki değişimlerden kaynaklandığı ve bunların kabul edilebilir seviyelerde olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, analizlerin iki boyutlu olarak gerçekleştirilmesinin, sayısal modeldeki kayma yüzey uzunluklarının saha gözlemlerine kıyasla daha fazla olmasına yol açabileceği açıktır.

Saha verileri ile uyumlu olarak belirlenen kayma yüzey uzunluklarına ek olarak, II. Heyelan alanında topuk bölgesi ile perde arasındaki mesafenin inceleme alanındaki gibi 12,00 metre olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, gömülü rijit perde sisteminin mevcut veya potansiyel heyelan mekanizması üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, heyelan riskinin yönetimi açısından önemli katkılar sunmaktadır.



Şekil 6. Stabilite analiz sonuçları: a) I nolu heyelan b) II nolu heyelan

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma, Sakarya ili Sapanca ilçesinde bir turizm tesisinde meydana gelen heyelan hareketlerinin detaylı bir analizini sunmaktadır. Elde edilen bulgular, heyelan mekanizmasının karmaşık yapısını ve gömülü rijit elemanların süreçteki rolünü ortaya koymaktadır.



Arazi ve laboratuvar verileri, tekil derin dairesel (rotasyonel) heyelan hareketinin beklenenden farklı olarak iki ayrı sığ kayma sistemi şeklinde geliştiğini göstermiştir. Bu durum, güneybatı kanadında bulunan 4,00 metre yüksekliğinde ve 14,00 metre uzunluğundaki mevcut U şeklindeki yapı perde kalıntısının, heyelan dinamiği üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu yapı, heyelan bölgesinin topuk kısmını destekleyerek kayma mekanizmasını sınırlandırmaktadır.

Sayısal analizlerde belirlenen kayma yüzey uzunlukları, saha verileriyle genel olarak uyumlu olmasına rağmen bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların, kayma dairesi boyunca yer değiştiren malzemenin mukavemet ve indeks özelliklerindeki değişimler ile analizlerdeki üçüncü boyut etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, gömülü rijit yapıların heyelan mekanizmaları üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koymakta ve potansiyel risklerin yönetimine önemli katkılar sunmaktadır. Elde edilen bulguların, gelecekte farklı topografik ve jeolojik özelliklere sahip ortamlarda meydana gelebilecek heyelan mekanizmaları üzerinde değerlendirilmesi son derece önemli görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Cruden, D.M. ve Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75
- Eisbacher, G.H., ve J.J. Clague. 1984. Desructive Mass Movements in High Mountains: Hazard and Management. Sayfa 84-16. Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontario, 230 pp.
- IAEG Commission on Landslides. 1990. Suggested Nomenclature for Landslides. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, pp. 13-16.
- Rocscience Inc. (2016). "Slide 7.0 2D limit equilibrium slope stability analysis program."
- Terzaghi, K. ve Peck, R. B. (1967). "Soil Mechanics in Engineering Practice" John Wiley & Sons, New York.
- Tomekce İnşaat Şehir Plancılığı Jeoloji Mühendislik ve Muşavirlik Ltd. Şti. (2023), "Sondaja Dayalı Veri Raporu"
- Varnes, D.J. 1978. Slope Movement Types ve Processes. *In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control* (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 11-33.

## SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
$w_n$	Doğal su muhtevası	IDO	İnce dane oranı
LL	Likit limit	PL	Plastik limit
PI	Plastisite indisi	Y.A.S.S.	Yeraltı su seviyesi



Yazar adları (Örnek: Mehmetođlu ve Ahmetođlu veya Mehmetođlu ve diđ.)

