Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

ENDÜSTRİ TESİSİNDE HEYELANIN KONTROLÜ

LANSLIDE CONTROL AT AN INDUSTRIAL FACILITY

Akın ÖNALP[1], Ahmet Can MERT[2]

ÖZET

Düzce'de bir metal üretim tesisinde gelişen heyelan fabrika üst yapısında yaygın hasar oluşturmuştur. Bu bildiri heyelanın değerlendirmesi, kitle hareketinin sürmemesi için alınan önlemler, yapılan müdahale sonucu elde edilen bilgiler ve alınan önlemlerin performansını özetlemektedir. Sorun, eğimi %30'a varan bir yamaç eteğinde önlemsiz derin yarma yapılarak yamaçta denge kaybına izin verilmesinden kaynaklanmıştır. Daha sonra yapılan değerlendirmeler kil derinliğinin 25m' ye ulaştığı ve YerAltı Su Seviyelerinin yüzeyden 2 ve 8m derinlikte olduğu, böylece ortamda kazı yapılmadan önce dahi güvenlik sayısının 1.00 dolayında bulunduğunu göstermiştir. Fabrika çelik üstyapısının korunması ve tesis arkasında ek üretim alanı sağlanması için yamaç 120cm çaplı ve 30m boylu teğet kazıklı perde ile önce iki, analiz duyarlılığının yükseltilmesi ile tek, sıra ankraj uygulaması ile tutulmuştur. Kazıklı perde duvarın hizmete girmesinden sonra sistemin halen verimsiz çalışan drenaj boruları dışında, tatminkar hizmet verdiği gözlemlenmektedir.
Anahtar Kelimeler: *Kayma, Boşluk Suyu Basıncı, Pasik Kazı, Ankraj, Ötelenme, Gergi*

ABSTRACT

A landslide has been triggered at a steel manufacturing plant in Düzce Province due to careless excavation at the toe, causing extensive damage to the steel superstructure and machine hall. This presentation describes the factors contributing to the occurrence of the landslide, measures taken to control it and the performance of the improvements carried out. It appears that the landslide was caused by overlooking the necessary precautions to prevent possible movements in the slope where inclination initially exceeded 30%. Evaluations following the slip indicated that the factor of safety in the 25m thick clay slope with the GroundWater Levels encountered at 2 and 8m depths in the terrain was around unity even at the start. A 120cm diameter contiguous piled curtain of 30m pile length was planned with two rows of permanent anchorages optimised to single row subsequently, to arrest the ongoing displacements. This precaution with the currently poorly performing drainage system appears to be keeping stability in the slope to provide safety and extra space provided behind the plant.
Keywords: *Slip, Porewater Pressure, Passive Piles, Anchorage, Displacement, Tension*

[1] Prof.Dr. (e.), Sakarya Üniversitesi, onalpakin@gmail.com
[2] Doktora sonrası araştırmacı, Güney Çin Teknoloji Üniversitesi, ahmetcanmert@scut.edu.cn (Sorumlu yazar)

1. VAKA TANIMI

Eğimli zayıf zeminde kitle hareketleri dikkatsiz/önlemsiz kazı ve yükselen boşluk suyu basınçları ile tetiklenirler (Önalp ve Arel, 2004). Türkiye gibi sert topoğrafyalı alanlarda heyelanlar sıkça gelişmektedir. Burada ele alınacak kitle hareketi bir endüstriyel yapı için elverişli olmayan arazide dik dağ yamacı eteğinde yapılan desteksiz kazı etkisi ile başlamıştır. Düzce İli' nde bulunan bir OSB arazisinde tesis edilmiş metal üretim fabrikası faaliyet halinde iken heyelan gelişmiş, üst yapıda ciddi hasar meydana gelirken (Şekil 1) üretim fabrika holünde oluşan hasar sonucu durduüu gözlemlenmiştir.



Şekil 1. Fabrikada Hasar

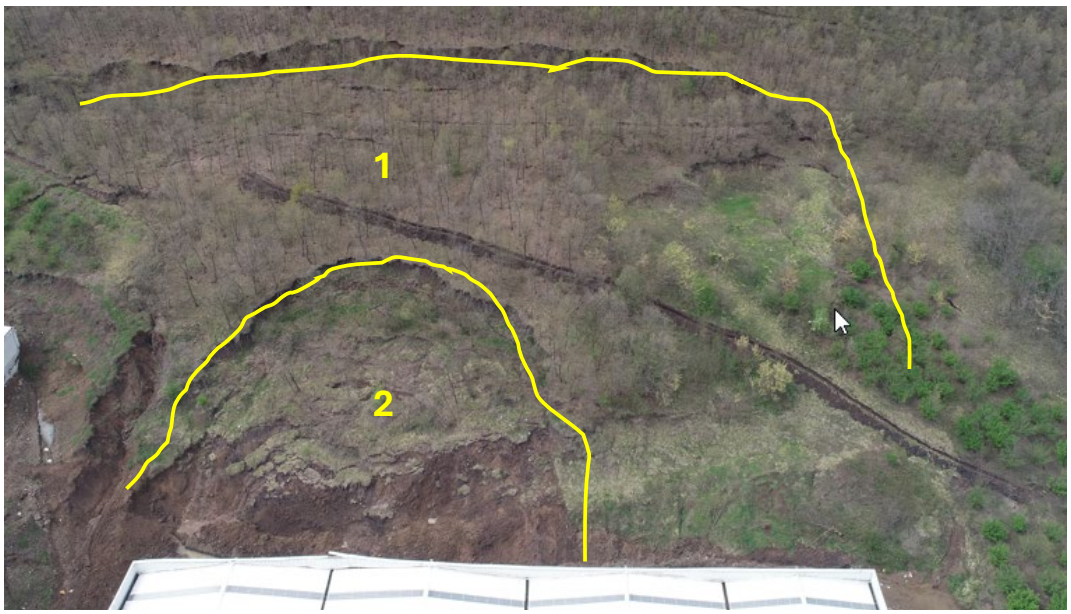
Olaya bu evrede müdahale edildiğinde kayma ekseni boyunca yeni ek sondajlar yapılmış, elde edilen parametrelerin kullanımı ve gerçekleştirilen analizler yardımı ile güvenlik sağlanmıştır.

2. ZEMİN ÖZELLİKLERİ

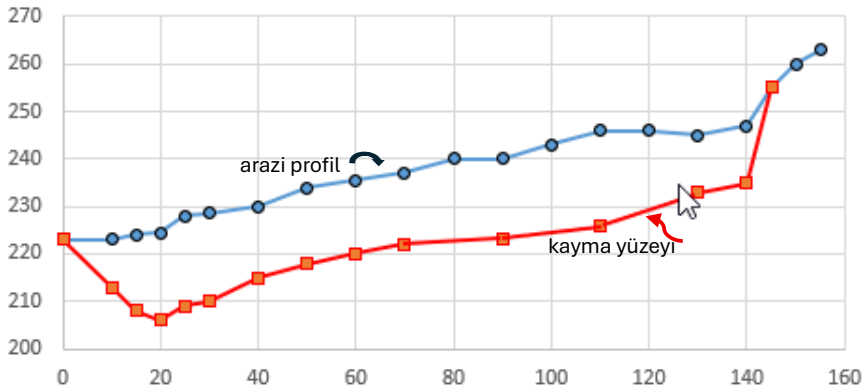
Şekil 2 heyelanın havadan görünümünü, Şekil 3 heyelan alanında kritik eksenin profili ve yapılmış sondajlar ve yüzey ölçümlerinden çıkartılmış kayma yüzeyini göstermektedir. Buna göre kayan kitlenin hacmi 400,000m^3 dolayında tahmin edilmiştir. Yapılmış ayrıntılı jeofizik ölçümlerde kayma dalgası hızının V_{S30}=370m/s düzeyinde olduğu rapor edilmiş, yapılmış sondaj kuyularında N_{60} değerlerinin tipik olarak 20'lerde seyrettiği anlaşılmıştır. Bu bilgilerden aşırı konsolide kilde oluşan harekette ana etkenin yüksek su basınçları olduğu tahmin edilmiştir.

Fabrika inşaatı öncesi yapılmış zemin laboratuvar deneyleri gerçek durumu yansıtmadığından bu kez numuneler Sakarya Üniversitesi' nde gerekli deneylere tabi tutularak zemin parametreleri Tablo 1' de gösterilen biçimde ölçülmüştür. Buradan özellikle

kayma yüzeyi bölgesindeki yağlı killerde kayma direncinin doruktan yumuşamış ve kalıntı'ya (*residual*) ciddi düşüşler gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 2. Fabrika arkası Yamaçta beliren Kayma Bölgesi



Şekil 3. Kitle Hareketi Kesiti

Kayma yüzeyinin yeri kayma sonrası yamaca yerleştirilen inklinometrelerin okumaları ve yamaçta yapılan sondaj bilgileri ve yüzeysel ölçümlerle tahmin edilmiştir.

Yapılmış sondajlarda YerAltı Su Seviyesi için ilginç bulgulara ulaşılmıştır. Sığ kayma kitlesinde 8.5m, ana gövdede 19m derinlikte su ile karşılaşıldığı, suyun yamaçta hareketli olduğu ve çevredeki fabrikaların bu sudan yararlandıkları bölgede deneyimli firmalar tarafından bildirilmiştir.

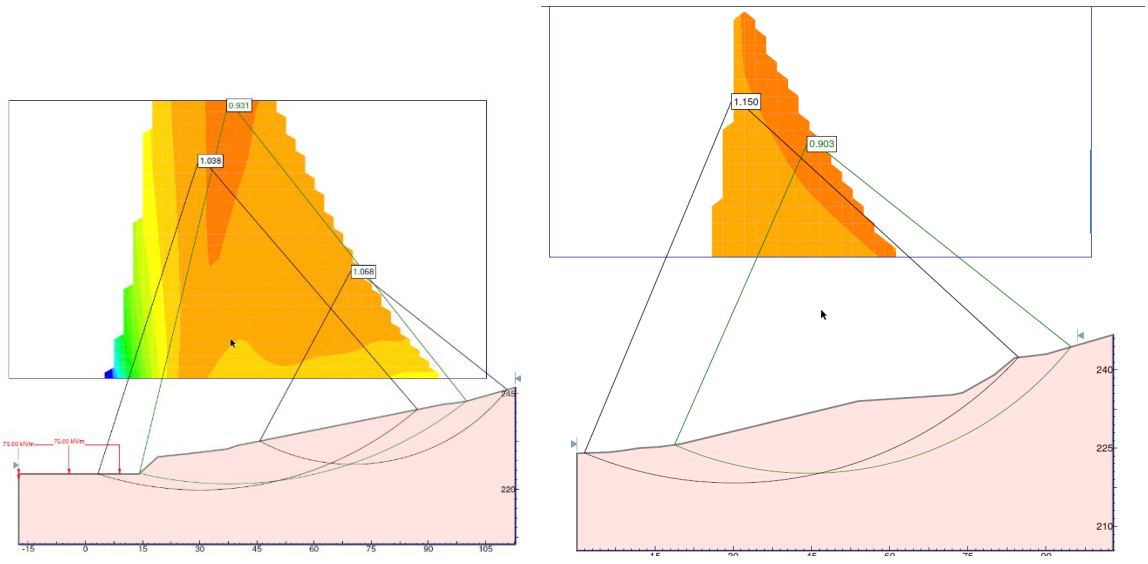
Kesme kutusu deneylerinde beliren kabarma açıları (ψ~5°) ortamın 'pekleşen' özellik göstereceği yönünde yorumlanmış, düşük sıvılık indisi (I_L) değerlerine göre killerin hafif derece aşırı konsolide olduğu tahmin edilmiştir. 20m derinlikten sonra, kayma kitlesinin altında bulunan Yığılca Formasyonu üyesi ayrışmış beyaz kumtaşlarına girilmektedir.

Tablo 1. Zemin Özellikleri

YSK	z(m)	w_n	w_L	w_P	I_P	I_L	İNCE	SINIF	KİL	S_u	ρ_n	c	ϕ	c_r	ϕ_r
1	4.0	26	42	26	16	0.01	41	SM		116	19.94	23	31	16	9
1	9.0	26	46	25	21	0.04	63	CI			18.60	12	25	12	29
2	9.0	24	49	24	25	-0.02	64	CI		347	18.74				
1	15.0	30	85	27	58	0.06	86	**CH**			17.50	72	8	55	5
1	19.5	33	87	30	57	0.04	91	**CH**	63		17.17	54	10	28	5
1	22.0	33	97	31	65	0.03	88	**CH**			17.77	56	12	4	11
2	22.5	27	NP	NP	NP	--	28	SM							

3. ANALİZ

Heyelanın çalışma başlangıcı durumu dairesel kayma yüzeyi varsayımı ile limit denge yöntemi ile yapıldığında kaymaya karşı güvenlik sayısı 1 dolayında ve altında bulunarak (Şekil 4) heyelan hareketinin sürmekte olduğu teyidedildikten sonra hareketin durdurulması için ankrajlı kazıklı perde önleminin geçerliliği değerlendirilmiştir.



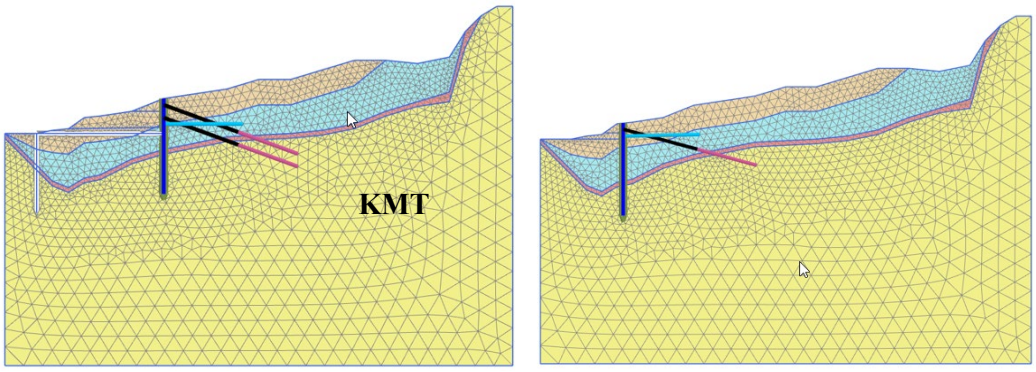
Şekil 4. Janbu Analizi ile Güvenlik Sayısı (Janbu, 1976)

4. HAREKETLERİN KONTROLÜ

İşveren hareketin durdurulması yanında, fabrika arkasında 20m'lik ek açık çalışma alanı sağlanmasını talep ettiğinden bu alanın 75cm kalınlıkta beton plakla kaplanması, oluşacak 4.50m'lik düşey kazının 120lik betonarme kazıklı perde ve bu perdenin 2 sıra kalıcı ankrajla tutulması çözümü için analizler yapılmıştır. Kazık boyları 30m, aralıkları 130cm tutulmuştur. Ankraj uygulaması ile sistemde ötelenme büyük ölçüde kısıtlanacağından elastik davranış kabulu ile aşağıdaki işlem sırası izlenerek sayısal analiz (Brinkgreve ve diğ., 2024) gerçekleştirilmiştir:

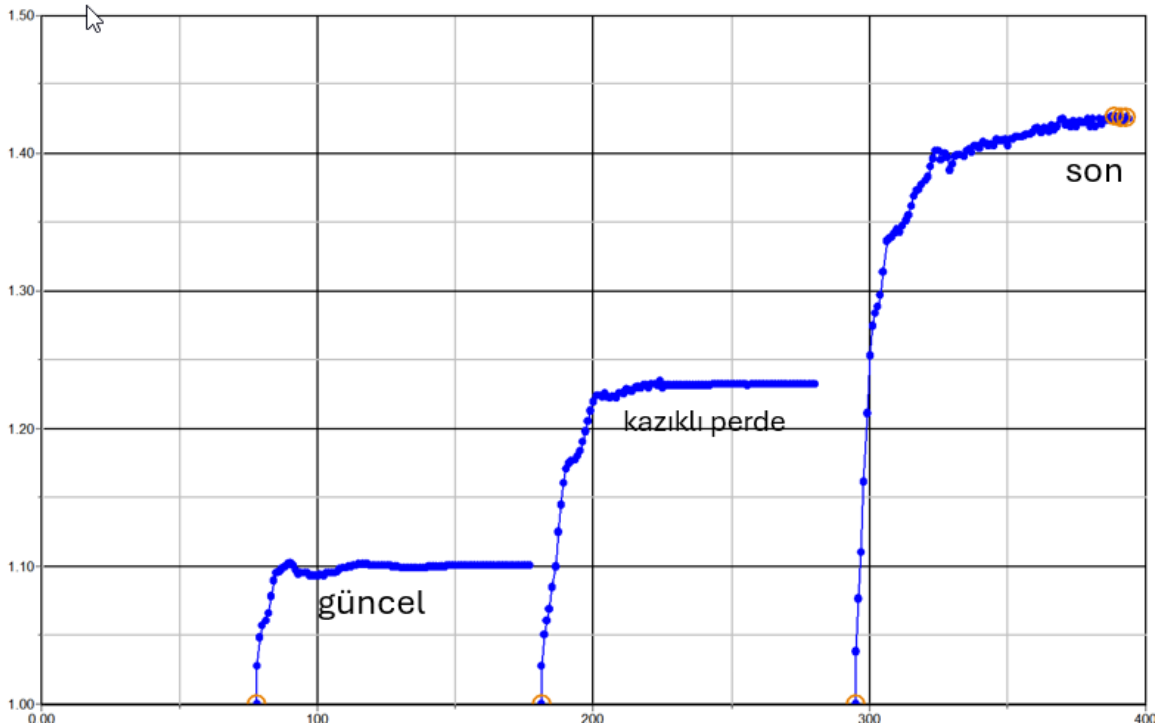


'Kalıntı' parametre kullanımı ile 2 sıra ankrajlı çözümde drenaj önlemine karşın Güvenlik sayısı 1.21, ankraj maksimum yükü 50 Ton olarak hesaplandığından bu kez parametreler 'yumuşamış' değerleri ile ve tek sıra ankraj uygulanarak çözüm tekrarlanmıştır. Şekil 5 bu iki çözüm için sonlu eleman ağlarını göstermektedir.



Şekil 5. Yamacın Tutulması için (a) 2 sıra Ankraj (b) Tek Sıra Ankraj Uygulaması

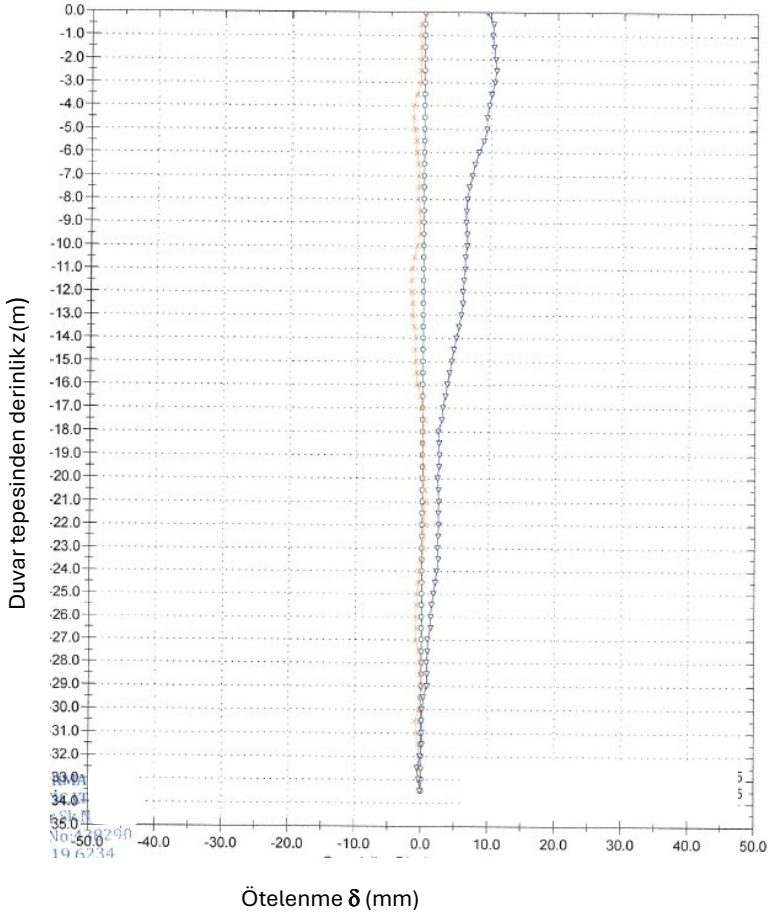
Analizler 4.5m serbest yükseklik için 2 sıra ankraj uygulamasının belirgin bir yarar sağlamadığı, tek sıra uygulandığında buna yakın etki sağlanacağı gibi ilginç bir sonuç vermiştir. Şekil 6 tek sıra ankraj uygulamasının sisteme etkisini göstermektedir. Bu durumda G.S. 1.43'e yükselmekte, maksimum ankraj yükü 50 Ton'da sabitlenmektedir.



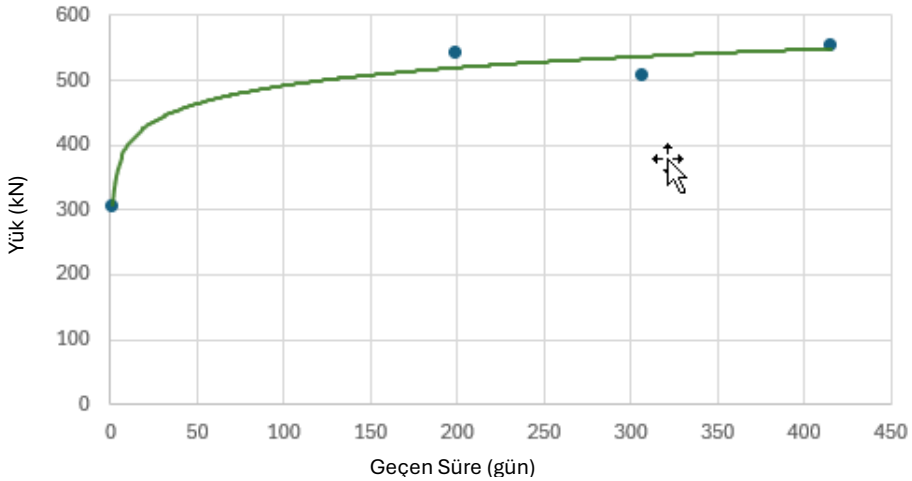
Şekil 6. Yamaçta güvenlik sayısı gelişimi

5. ÖNLEMLERİN ETKİSİ

Tek sıra ankraj destekli çözüm uygulanırken, arazi yüzeyindeki toprağın akmaması için alanda kazıyla 35° eğimli 5 kademe oluşturularak düzenleme yapılmıştır. Yapılacak olan kazının etkisi ve drenaj borularının ile güvenlik sayısının zaman içinde 1.5'e yükseleceği varsayılmıştır. Yapılan iyileştirmenin etkinliğini görme amacı ile kazık içlerine yerleştirilen inklinometreler (3adet) ile yamaç hareketi ve ankrajlarda ölçülen yük hücresi okumaları yaptırılmıştır. Şekil 7 en büyük okumaların alındığı No.3 inklinometre okumalarını göstermektedir. İnklinometrelerin yerleştirilmesinden 550 gün sonra diğer iki aletlette ötelenmeler ihmal edilebilir düzeyde kalırken No.3 inklinometrede maksimum hareketin 12mm'ye ulaştığı ölçülmüştür. Bu değer açık kazılarda limit olan 0.003H limitine yakın olmakla birlikte (Budhu, 2011) bu okumanın yamaca paralel yönde alınmış olması nedeniyle kabul edilebilir nitelikte olduğu değerlendirilmiştir. Şekil 8 duvara yerleştirilmiş yü hücresinin okumalarını göstermektedir. Okumalar ankraj yükünün bir yılı aşkın sürede 500kN düzeyinde sabitleştiğini göstermektedir.



Şekil 7. İnklinometre 3 te maksimum okuma kaydı



Şekil 8. Ankraj Load Cell Okumaları

6. SONUÇ VE ÖNERİLERİ

Heyelan hareketinin kontrolu için alınan önlemlerin aradan geçen bir yıl süre içinde yamaçta kontrolu sağladığı göstermektedir. Kazık başlık kirişinde bir hasar belirmemesi olumlu bir gösterge olarak yorumlanmıştır. Sürdürülen yük ve ötelenme ölçümlerinde kabul edilebilirlik limitleri dışına bir eğilim belirdiğinde ikinci sıra ankrajların uygulanması için

önlemlerin alınması gündeme gelecektir. Duvar yüksekliği ek ankraj uygulaması için elverişli düzeydedir.

KAYNAKLAR

Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., Swolfs, W. M., Fonseca, F., Zalamea, N., Ragi Manoj, N., Singh, K., and Zampich, L. (2024). Plaxis material models manual 3D, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, PLAXIS 3D 2024.2.

Budhu, M. (2011), "Soil Mechancis and Foundations", John Wiley and Sons.

Janbu, N. (ed.) (1973), "Slope stability computations.", Embankment Dam Engineering, Casagrande Memorial Volume, Wiley, New York, 47–86.

Önalp, A., Arel, E. (2004), "Geoteknik Bilgisi 2: Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği", Birsen Yayınevi.