

DESTEKLENMİŞ BİR YARMA ŞEVİNİN FARKLI RİJİTLİK PARAMETRELERİ İÇİN ANALİZİ

ANALYSIS OF VARIOUS STIFFNESS PARAMETERS BY THE SHORING SYSTEM ON A SLOPE CUT

Olca POLAT¹

ÖZET

Karayolu çevre yolu projesi kapsamında, heyelan hareketi de tespit edilen bir güzergah geçişine ait yarma şevi, proje unsurları gereği göreceli olarak dik açılarak, kazıklı iksa sistemi ile desteklenmiştir. Uygulanan sistemin başarısı, yapılan inklinometre ölçümü ile teyit edilmiştir. Bu çalışmada, iksa sisteminin 2D ve 3D boyutlu modelleri kullanılarak, farklı rijitlik parametreleri için kazıkta meydana gelen tesir kuvvetleri (eksenel kuvvet, kesme kuvveti, moment) ve yatay yer değiştirme miktarı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: heyelan, kazıklı iksa sistemi, sonlu elemanlar yöntemi, kazık rijitlik parametreleri.

ABSTRACT

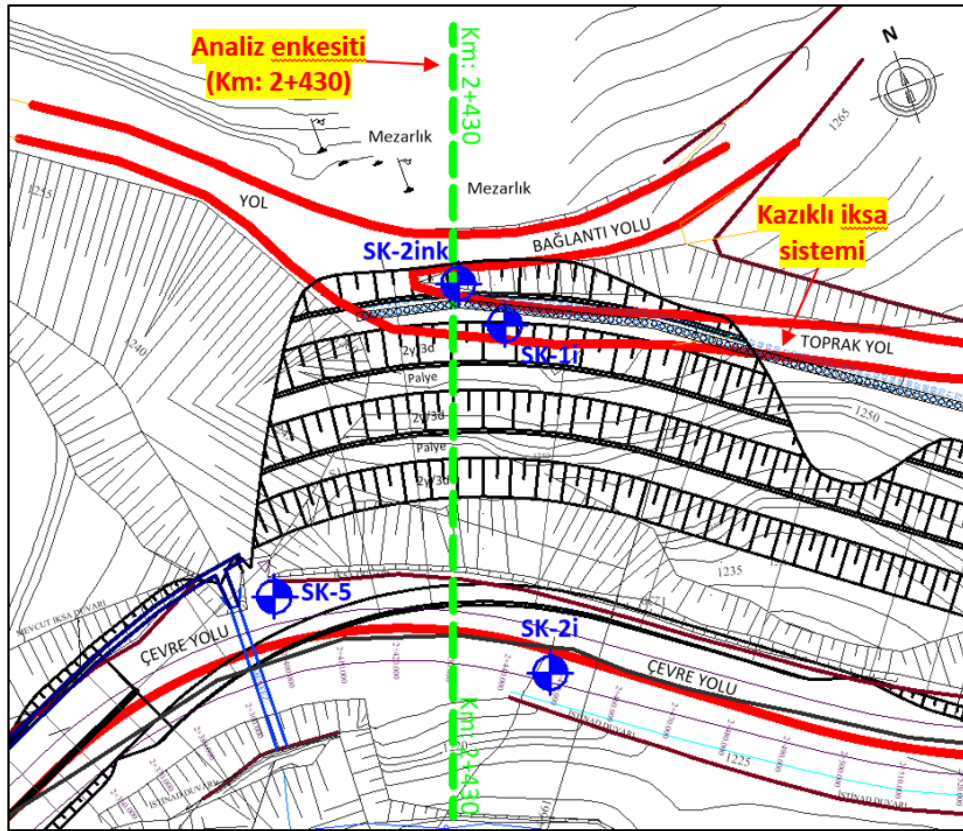
In order to increase the road standards in highway applications, the projects for highway road widening projects require different applications. Within the scope of projecting an ring road, where the landslide movement is also detected with inclinometer measurement, which is cutted perpendicularly to the project components, has been supported by the pile shoring system. In this study, internal forces (axial, shear, bending moment) and amount of horizontal deflection is examined for various stiffness parameters using 2D and 3D dimension models.

Keywords: landslide, pile shoring system, finite element method, pile stiffness parameters.

¹ İnşaat Y. Müh., LİMİT Tek. Arş. Prj. Uyg. Müh. San. ve Tic. A. Ş., olcaypolat@yahoo.com.tr

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Karayolları Genel Müdürlüğüne Ermenek çevre yolu projesi kapsamında hazırlanarak sunulan geoteknik raporuna ait verilerden derlenmiştir. Projede, genişletilerek çevre yoluna dönüştürülecek bir güzergah geçkisinin yarılacak şevinde, heyelan hareketi tespit edilmiştir. Önerilen kazıklı iksa sistemi ve şevlendirme ile hem yol genişletme uygulamasının yerine getirilmesi hem de heyelan hareketinin önlenmesini hedeflenmiştir. Kazıklı iksa sistemi olarak, 30.00 m boyunda, 1.20 m çapında, 1.45 m aralıklı tek sıra fore kazık uygulanmıştır. Sonrasında yarma şevi, 2yatay/3düşey şev oranı ile 10.00 m’de bir 5.00 m genişliğinde palyeli olarak açılmıştır (Şekil 1 ve Şekil 3).



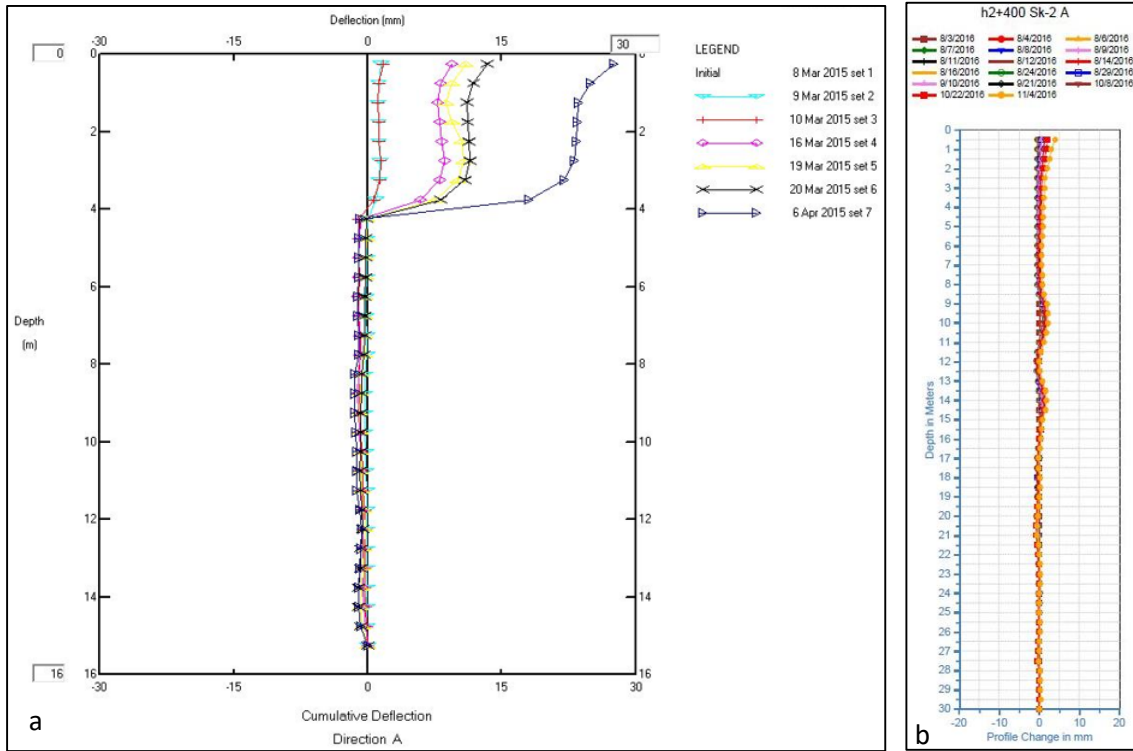
Tarih	Aşama	Durumu gösterir fotoğraflar
Mart 2015 - Nisan 2015	Araştırma sondaj kuyularının açılması ve SK-1i no'lu sondaj kuyusuna inklinometre yerleştirilerek, heyelan hızının tespiti.	
Haziran 2015 - Temmuz 2016	Kazıklı iksa sistemi ve yarma kazılarının tamamlanması, SK-1i no'lu kuyunun tahrip olması, ardından taş iksa duvarı ve yüzey kaplamasının yapılması.	
Ağustos 2016 - Kasım 2016	SK-2ink no'lu (yeni) sondaj kuyusunun açılması ve inklinometre yerleştirilerek heyelan hızının tespiti. Uygulanan geoteknik tasarımın başarısının teyidi.	

Fotoğraf 1. Araştırma ve yapım çalışmalarından görünüm.

Yapım aşamasından evvel, heyelan hareketini belirlemek için açılan SK-1i no'lu sondaj kuyusunda yapılan ölçümde (Şekil 2.a.), yaklaşık bir aylık süreç içerisinde 27 mm yerdeğiştirme gözlenmiştir. Heyelan hareketinin hızı, 0.9 mm/gün (çok yavaş) olarak tanımlanmış ve “bazı hassas olmayan yapılar hasar görmez” sınıfına girdiği belirlenmiştir (Varnes, 1978; IUGS/WGL, 1995).

İksa kazıklarının yapımı aşamasında, SK-1i no'lu sondaj kuyusu tahrip olduğundan, ölçülen yatay yerdeğiştirme miktarını, bir önceki alt bölümde analiz ile belirlenen değer ile kıyaslama yapmak mümkün olmamıştır.

Kazıklı iksa sistemi ve yarma şevi kazılarının tamamlanmasının ardından, SK-2ink no'lu sondaj kuyusunda yapılan ölçümde (Şekil 2.b.), yaklaşık üç aylık süreç içerisinde 4.5 mm yerdeğiştirme gözlenmiştir. Heyelan hareketinin hızı, kazıklı iksa sisteminin yapımından sonra 240 kat azalarak, 0.004 mm/gün (aşırı derecede yavaş) olarak tanımlanmış ve “ölçüm alınmadan hissedilmez, yapı açısından önlem amaçlı tedbirler alınabilir” sınıfına girdiği belirlenmiştir.



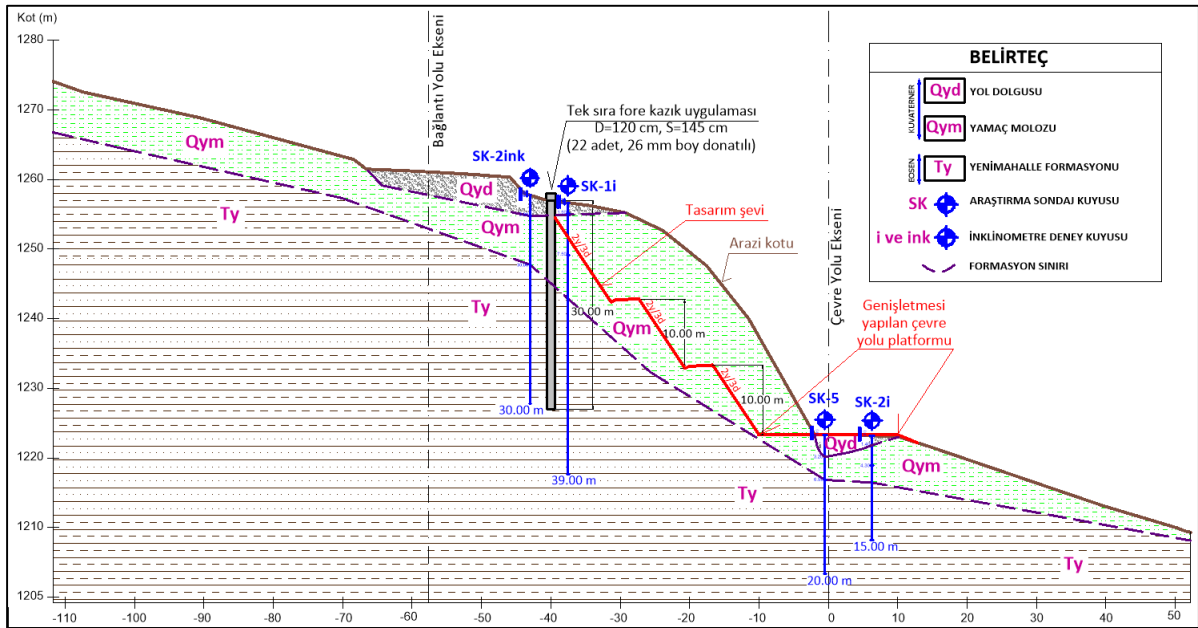
Şekil 2. Sırayla SK-1i ve SK-2ink no'lu sondaj kuyularında yapılan inklinometre ölçüm verileri.

3. TEMSİLİ ZEMİN - KAYA PROFİLİ

Önceki bölümde açılan sondaj kuyularına ait veriler birlikte değerlendirilerek, analiz enkesiti için sonlu elemanlar programında kullanılan zemin - kaya parametreleri, aşağıdaki tabloda özetlenmiş, temsili zemin - kaya profili Şekil 3'de gösterilmiştir. Zemin katmanları için malzeme modeli olarak, kazı durumunu ve yükleme - boşaltma bünye davranışını temsil eden, pekleşen zemin modeli (Hardening Soil Model) seçilmiştir. Efektif parametrelerin belirlenmesinde; kaya kütle özellikleri, şevin mevcut durumda duraylı ($GS>1$) olduğu güvenlik sayısı ve SPT-N verilerinin esas alındığı literatür verilerinden yararlanılmıştır.

Tablo 1. Analizde kullanılan zemin ile kaya parametreleri.

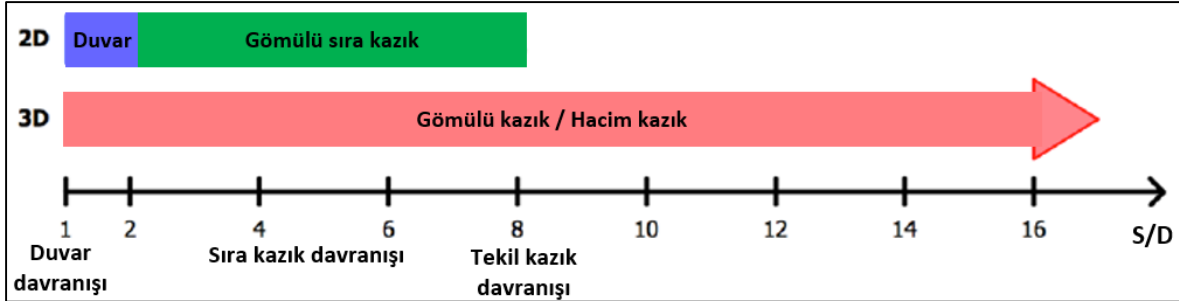
Malzeme	Kalınlık (m)	Malzeme modeli	Değerler
Qyd Mevcut yol dolgusu (SC)	0.00 ila 3.00	Hardening soil	$c = 5 \text{ kPa}$, $\phi = 35^\circ$ $\psi = 5^\circ$ $E_{50}^{\text{ref}} = E_{\text{oed}}^{\text{ref}} = 40\,000 \text{ kPa}$ $E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 120\,000 \text{ kPa}$
Qym Bloklu, killi, çakıllı KUM (SC, CL, CH)	3.30 ila 10.00	Hardening soil	$\text{TCR} = \%61$, $\text{RQD} = \%0$ $c = 10 \text{ kPa}$, $\phi = 38^\circ$ $\psi = 8^\circ$ $E_{50}^{\text{ref}} = E_{\text{oed}}^{\text{ref}} = 50\,000 \text{ kPa}$ $E_{\text{ur}}^{\text{ref}} = 150\,000 \text{ kPa}$
Ty Kiltaş-Silttaş- Kumtaş Ardalınması	>20.00	Hoek-Brown	$\text{TCR} = \%94$, $\text{RQD} = \%44$ $q_u = 11.37 \text{ MPa}$ $I_{550} = 0.27 \text{ MPa}$ $\text{GSI} = 30$ $m_i = 17$ $d = 0.5$ (mekanik kazı için) $E_{\text{mass}} = 137\,610 \text{ kPa}$



Şekil 3. Kritik enkesit için çıkarılan temsili zemin - kaya profili.

4. DEĞERLENDİRMELER

Sluis (2012), kazıklı iksa sistemlerinin 2D (iki boyutlu) modellenmesinde, kazıkların merkezleri arasındaki mesafe (S)/kazık çapı (D) oranı 2'ye kadar duvar modelinin kullanılmasını önermiştir. $S/D > 2$ için ise gömülü kazık modelini temsil edecek, 3D (üç boyutlu) modelinin kullanılmasının daha gerçekçi sonuçlar vereceğini belirtmiştir. Kazık merkezleri arasındaki mesafenin artması ile birlikte grup etkisi azalmakta ve $S/D > 8$ için ortadan kalktığı bilinmektedir.



Şekil 4. Plaxis 2D ve 3D modelde sıra kazığının farklı yapısal elemanlar için uygulaması (Sluis, 2012).

Plaxis 2D analiz modeli kullanılarak, 1.20 m çapında 1.45 m aralıklı kazıklı iksa sisteminin, duvar eleman olarak tanımlanarak analizi, Polat ve Kızıroğlu (2018)'nda sunulmuştur. Bu çalışmada, Plaxis 3D kullanılarak, farklı rijitlik parametrelerine sahip kazık yerleşimleri için 2D model de dahil olmak üzere, karşılaştırmalı analiz sonuçları verilmiştir. Kazık ve kazık başlığından oluşan iksa sistemi için sırası ile 2D ve 3D analizlerinde kullanılan duvar ve gömülü kazık özellikleri, aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 2. Kazık ve kazık başlığı (duvar eleman) için 2D modelde kullanılan rijitlik parametreleri.

Malzeme	Boyut (m)	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)
Kazık	D=1.20 ve S=1.45	23 399 449	2 105 950
Kazık başlığı	B=1.40 ve H=1.00	30 000 000	2 500 000

Tablo 3. Kazık başlığı (duvar eleman) için 3D modelde kullanılan özellikler.

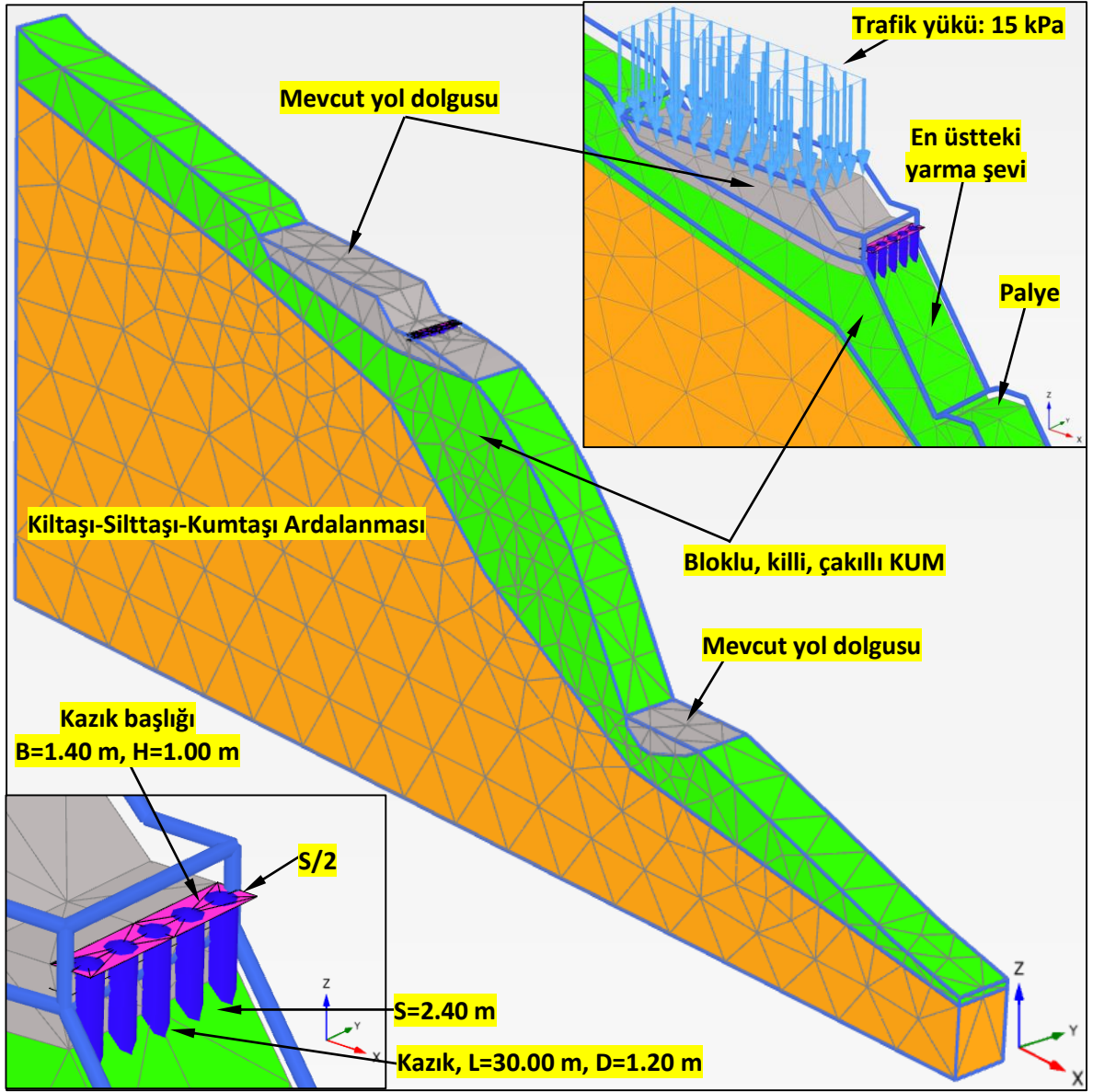
Özellik	Simge	Değer	Birim
Elastisite modülü	E	30	GPa
Poisson oranı	ν	0.20	-
Duvar kalınlığı	H	1.00	m

Tablo 4. Gömülü kazık eleman için 3D modelde kullanılan özellikler.

Özellik	Simge	Değer	Birim
Elastisite modülü	E	30	GPa
Poisson oranı	ν	0.20	-
Kazık çapı	D	1.20	m
Tepedeki sürtünme direnci	$T_{top\ max.}$	100	kN/m
Altındaki sürtünme direnci	$T_{bot\ max.}$	500	kN/m
Taban direnci	$F_{max.}$	5000	kN

Yapılan analizin, uygulama ile paralellik göstermesi gözetilerek, modelde öncelikli olarak iksa sistemi tanımlanmış, ardından tedrici olarak yarma şevi kazıları yapılmıştır. Fotoğraf 1'de görülen taş iksa duvarı, kazı aşamasından sonra yapıldığı ve yer değiştirmelerin kazıdan hemen sonra gerçekleştiği bilindiğinden ötürü modele dahil edilmemiştir.

Analizlerde, farklı rijitlik parametreleri için belirlenen; tesir kuvvetleri, en büyük yatay yer değiştirme miktarı ve kazık boy donatısı, Tablo 5’de özetlenmiştir. Temsili olması açısından, 3D modelde, $S/D=2$ için sırası ile analiz modeli ve görüntüleri Şekil 5. ve Şekil 6’da verilmiştir.

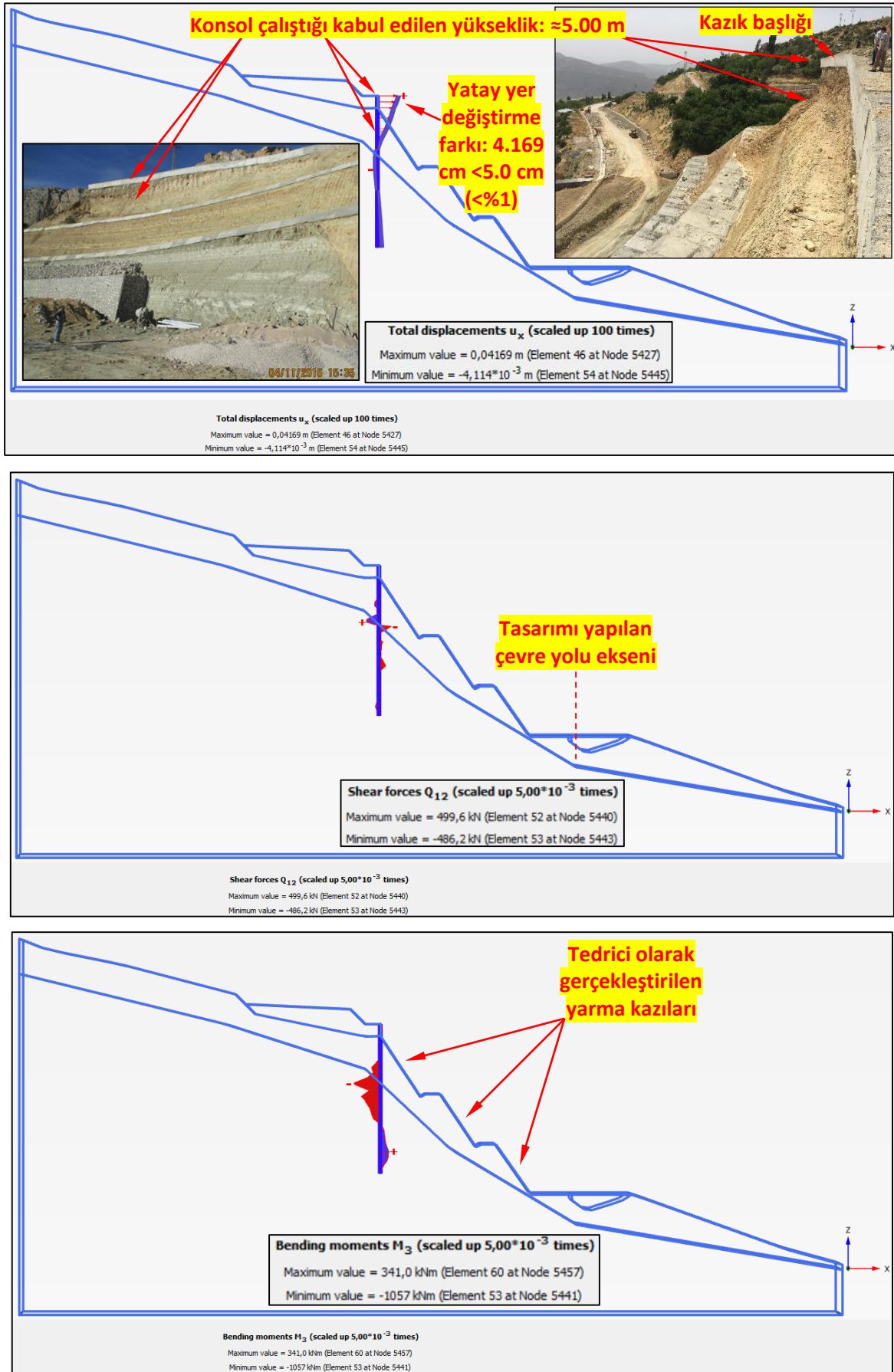


Şekil 5. Sonlu elemanlar ağı ve kazık diziliminin gösterilmesi.

Tablo 5. 2D ve 3D modelde farklı rijitlik parametreleri için analiz sonuçlarının özeti.

Model ve eleman	S/D	Eksenel kuvvet (kN)	Kesme kuvveti (kN)	Moment (kNm)	Yatay yer değiştirme (cm)	Kazık boyuna donatısı
2D, Duvar (*)	1.45/1.20=1.21	-645	-295	-1406	4.78	22 ϕ 26
3D, Duvar	1.45/1.20=1.21	-561	175	-798	3.77	22 ϕ 26
	1.45/1.20=1.21	-777	220	-715	3.79	22 ϕ 26
3D, Gömülü kazık	2.40/1.20=2	-1002	499.6	-1057	4.169	22 ϕ 26
	3.60/1.20=3	-1393	829	-1590	4.23	22 ϕ 26
	6.48/1.20=5.4	-3217	-851	-2706	9.14	44 ϕ 26

(*) Tesir kuvvetleri, kazık merkezleri arasındaki mesafe (1.45) için çarpılmış değerleridir.



Şekil 6. Nihai aşamada belirlenen yatay yer değiştirme, kesme kuvveti ve moment değerleri.

Üstteki tablodan, aynı S/D oranına sahip 2D ve 3D modelde, duvar eleman için belirlenen tesir kuvvetleri ve yatay yer değiştirme değerleri görülmektedir. 2D model için sırası ile eksenel kuvvet, kesme kuvveti, moment ve yatay yer değiştirme değerleri; 1.14, 1.69, 1.76 ve 1.27 kat daha büyük olarak belirlenmiştir.

Kazık tepesinde yatay yer değiştirme, S/D=5.4 haricindeki oran için 5.0 cm değerinin altında kalmaktadır. Konsol yüksekliği kabul edilen 5.00 m’de, toplam yatay yer değiştirme <5.0 cm (<%1) olduğu görülmektedir. Buna göre, konsol kazıklarda, izin verilebilir yatay yer değiştirme limiti içerisinde kalındığı kabul edilmiştir (Peck, 1969 ve Clough G. W. ile O’Rourke, T. D., 1990). Aynı zamanda, hesaplanan kazık boyuna donatısı (22 ϕ 26) oranı (%1.03), uygulanabilir en düşük oran (%1) ile karşılanmakta olup, kullanılan kazık boy donatısı için düşünüldüğünde, ekonomik bir çözüm ortaya konmuştur.

S/D=5.4 oranı için yatay yer değiştirme miktarı, izin verilebilir limiti aşarak, kazık tepesinde 9.1 cm olarak tespit edilmiş ve kazık boyuna donatısı (44 ϕ 26) %2.07 oranı ile hesaplanmıştır. Bu S/D oranı için tasarım, yatay yer değiştirme açısından uygulanabilir olmamaktadır.

Buna göre, S/D=5.4 oranı haricindeki değerler (1.21, 2 ve 3) için tasarım kriterlerinin sağlanabildiği anlaşılmaktadır. Projede, güvenli tarafta kalmak maksadı ve benzer geçmiş uygulamalar gözetilerek, S/D=1.21 (1.45 aralıklı, 1.20 m çapında kazık) oranı için tasarım yapılarak uygulanmıştır. Diğer yandan, projede uygulanan kazık aralıklarının açılması (S/D=2 veya 3) durumunda, heyelan malzemesi olarak tanımlanan “Bloklu, killi, çakıllı KUM” biriminin, kazıkların arasından göreceli dik şevler için zaman içerisinde akarak, iksa sisteminin duraylılığı bozabileceği de akla gelmektedir.

5. SONUÇLAR

Hem heyelan hareketi tespit edilen hem de genişletmesi yapılacak bir çevre yolu projesi için çözüm önerisi olarak sunulan iksa sisteminin tasarım ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Aşamalı olarak yapımı tamamlanan projede, kritik görülen analiz enkesiti için öncelikli olarak heyelan hareketinin hızı belirlenerek, iksa sistemi ile çözüm önerisi sunulmuş, nihai olarak ise uygulamanın başarısı aletsel gözlem verisi ile teyit edilmiştir.

Bu çalışmada, uygulanan iksa sisteminin 2D ve 3D boyutlu modelleri kullanılarak, farklı S/D oranları için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde, aynı S/D oranına sahip 2D ve 3D modelde, duvar eleman için belirlenen tesir kuvvetleri ve yatay yer değiştirme değerleri görülmektedir. 2D model için sırası ile eksenel kuvvet, kesme kuvveti, moment ve yatay yer değiştirme değerleri; 1.14, 1.69, 1.76 ve 1.27 kat daha büyük olarak belirlenmiştir. Bu husus, kazıklı iksa sistemlerinin 2D “duvar” eleman ile modellenerek çözümünün, 3D “gömülü kazık” eleman model çözümüne nazaran, ekonomik olmayan ve muhafazakar tasarım sunabileceğine işaret etmektedir. Bir diğer deyişle, yatay yer değiştirme şartının sağlanması sureti ile 3D çözümünün, diğer proje unsurları (yapım şartları, göreceli dik şevde kazıklar arasından zeminin akabileceği, vs.) göz önünde bulundurulduğunda, daha gerçekçi ve uygun olacağı anlaşılmaktadır. İlgili sonuçlar, mevcut proje verileri için geçerli olup, her projenin kendine özgü sonuçlar doğurabileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013.
- Clough G. W. ve O'Rourke, T. D. (1990), "Construction Induced Movements of In-situ Walls", Design and Performance of Retaining Structures, Proceedings of a Specialty Conference at Cornell University, ASCE, New York.
- Ermenek Çevre Yolu Km: 2+400 Heyelanı Geoteknik Proje Raporu, 2015.
- Ermenek Çevre Yolu Km: 2+400 Heyelanı Ek Geoteknik Proje Raporu, 2016.
- IUGS/WGL-International Union of Geological Science Working Group on Landslides (1995), A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bull Int Assoc Eng Geol 52- pp. 75-78.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, "Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartname", 2005.
- Peck, R. B. (1969), "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, 7th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Engrg, . Mexico City, Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos, A.C."
- Plaxis 2D Tutorial Manual, 2016.
- Plaxis 3D Tutorial Manual, 2013.
- Polat, O. ve Kızıroğlu, S. (2018), "Desteklenen Bir Yarma Şevinde Analiz Sonuçlarının Aletsel Gözlem Verileri İle Teyidi", Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, İstanbul, 1461-1468.
- Sluis, J. (2012), "Validation of Embedded Pile Row in Plaxis 2D", Delft University of Technology, Delft.
- Varnes, D., J. (1978), "Slope Movement Types and Processes", Landslides: Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report 176, Schuster, R. L., Krizek, R. J. (editors), National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp. 11-33.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama
A	kazık alanı (m ²)
I	kazık atalet momenti (m ⁴)
c	kohezyon (kPa)
Ø	İçsel sürtünme açısı (°)
Ψ.....	Dilatansi açısı (°)
E...	Elastisite modülü (kPa)
E ₅₀ ^{ref} ...	%50 mertebesindeki sekant elastisite modülü (kPa)
E _{oed} ^{ref} ...	Odometre elastisite modülü (kPa)
E _{ur} ^{ref}	Boşaltma – geri yükleme elastisite modülü (kPa)
TCR.....	Toplam karot verimi (%)
RQD.....	Kaya kalite göstergesi (%)
d	Örselenme faktörü (-)
q _u =	Kayada tek eksenli basınç dayanımı (MPa)
I _{S50}	Nokta yük dayanımı (MPa)
GSI.....	Jeolojik dayanım indeksi
m _i	Kaya malzeme sabiti (-)
E _{mass}	Kaya kütlelerinin elastisite modülü (kPa)