
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 07.04.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 24.04.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.304422	

Kazıklı iksa sistemi ile şev duraylılığının sağlanması

Ertan Bol¹, Sedat Sert², Aşkın Özocak^{*3}

ÖZ

Bu makalede stabilitesi her aşırı yağış sonrasında bozulan, üzerinde devamlı kullanılan bir yol ile evler bulunan bir yamacın güvenliğinin sağlanması için kullanılan kazıklı iksa sistemi açıklanmıştır. Kazıklı iksa sistemi Sakarya ili, Karapürçek İlçesi, Kanlıçay Mevkii güney batı yamacında bulunan yol üzerinde gerçekleşmiş heyelanı önlemek için kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 35-40 metre genişlik ve 60-65 metre uzunluğa sahip olan zemin kitlesinde hareketin farklı zamanlarda gerçekleştiği, özellikle yağın yağmurlar sonucunda hareketin şiddetinin arttığı beyan edilmektedir. Çalışma alanında toplam derinliği 29.5 metre olan 3 adet dönel sondaj gerçekleştirilmiştir. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde heyelan incelemesine yönelik olarak fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda alanda meydana gelen harekete zemin ortamında boşluk suyu basınçlarının yükselmesinin neden olduğu anlaşılmıştır. Yürütülen heyelan analizleri sonucunda hasar gören yolun kazıklı sistem üzerine oturtulacak konsol duvar ile çözümlenebileceği kanısına varılmış ve imalat gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, boşluk suyu basıncı, kazık, konsol duvar

Ensuring slope stability with piled retaining system

ABSTRACT

This article describes a piled retaining system, which was used to ensure the safety of a slope. There is a frequently used road and a house on the slope and the stability of the slope is under threat after every heavy rainfall. The piled system was used to prevent landslides, which have occurred on the road, in the south-western slopes of the Kanlıçay Location, in Karapürçek County, Sakarya Province. Soil mass, which has been moving at different times, is approximately 35-40 meters wide and 60-65 meters long. Three rotary drillings, having a total depth of 29.5 m, were carried out in the study area. Physical and mechanical tests were conducted on the samples taken from borings for the landslide investigation. As a result of investigations, it has been found that the landslide occurred because of the increase in pore pressures. The results of the slope stability analysis showed that the road and houses can be protected by using a cantilever retaining wall, which is settled on the piled system.

Keywords: Landslide, pore water pressure, pile, cantilever wall

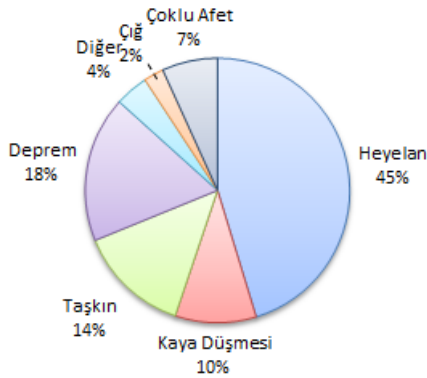
¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, ebol@sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, sert@sakarya.edu.tr

³ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, aozocak@sakarya.edu.tr

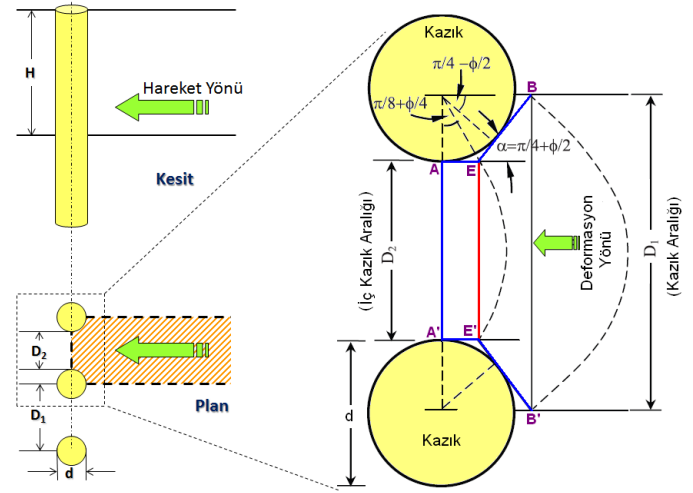
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karadeniz, Doğu Anadolu ve Orta Anadolu Bölgeleri ülkemizde heyelanların sıkça geliştiği alanları içermektedir. Karadeniz Bölgesinin tamamı ve Doğu Marmara Bölgesi çok farklı jeolojik birimlerden oluşsa da hemen her tür eğimli ortamda, özellikle de yağışların etkisiyle sıklıkla kitle hareketleri meydana gelmektedir. Son yıllarda genişleyen yerleşim alanlarında insan hataları nedeniyle de söz konusu heyelan sayılarının artışta olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Gökçe vd. (2008)' nin çalışmasına göre Türkiye' de afet türüne göre olay sayısı dağılımı Şekil 1' deki gibidir [1]. Buna göre can ve mal kayıplarına yol açan heyelanların toplam afetler içinde en büyük dilimi oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte kaya düşmeleri de bu grup içine alınırsa durum daha da kötüleşmektedir.



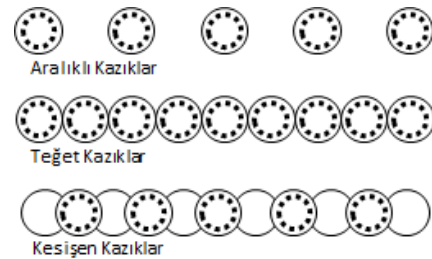
Şekil 1. Türkiye' de afet türüne göre olay sayısı dağılımı (Gökçe vd., 2008)

Çoğu doğal ancak azımsanmayacak bir kısmı da insan eliyle yapay olarak oluşabilen heyelanların etkilerini ortadan kaldırmak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı geçici (kozmetik) olarak nitelendirilirken bir kısmı da kalıcı olarak uygulanmaktadır. Şev duraylılığının sağlanmasında kullanılan yöntemlerden biri de kazıklı sistemlerin kullanılmasıdır. Kazıklı sistemin davranışı Ito ve Matsui (1975) tarafından Şekil 2' deki gibi açıklanmıştır [2]. Buna göre; hareket eden kil ayrık kazıkların arasında akıp geçmek durumundadır. Kazıklar buna rijitlikleri ile direnirken zemin de iki kazık arasında kemerlenmektedir. Zemin AEB ve A'E'B' boyunca plastik dengeye erişmiş olarak kaymakta ve EE' düzlemi aktif basınç almaktadır.



Şekil 2. Kazıklı sistemin davranışı [2]

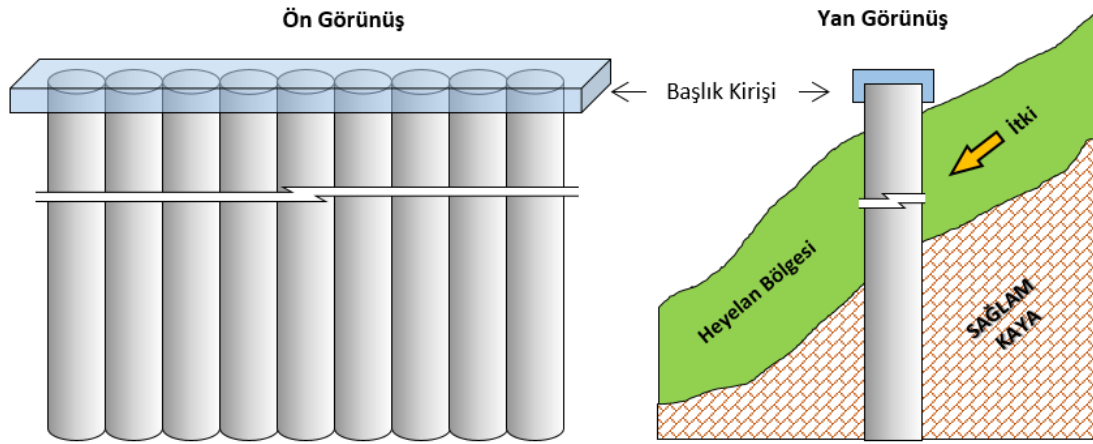
Yöntemin başarısı farklı araştırmacılar tarafından da açıklanmıştır [3] [4] [5]. Pasif kazıklar pahalı bir yöntem olmasına rağmen bazen tek çare olarak çözüm sunmaktadırlar. Kayan bir cisim durdurmak veya hareketini yavaşlatmak için önüne bir başka ağır cisim koymak insanın içgüdüsel yaklaşımıdır. Kitle hareketlerini, önüne ağır bir duvar yaparak kontrol etme işlemi de çok uzun süre mühendisin aklına gelen ilk çare olmuştur. Yapısal önlemler duraylılığa direnen kuvvetleri artırarak katkıda bulunur. 1960' lı yıllara gelindiğinde duvarlı sistemlerin büyük kitle hareketlerini durduramadığı anlaşılmıştır. Özellikle gereken desteği zeminde herhangi biçimde kazı yapmadan sağlama zorunluluğu pasif olarak da adlandırılan yanal kazıkların heyelan uygulamalarında kullanılmasını gündeme getirmiştir. Önceleri çakma kazıkla yapılan uygulama günümüzde yerinde yapılan delme kazıklarla gerçekleştirilmektedir [6]. Yanal yüke maruz destek sistemleri; tercihan çapı 1 m' den az olmayan kazıklardan boyutları 6 m x 4 m' ye büyüyeabilen kesonlara kadar değişen betonarme yapı elemanlarıdır. Sistem, genelde bir başlık ile birleştirilmiş ve özellikle killerde uygulanan ayrık, gerektiğinde teğet ve tam ankastre kazıklardan oluşturulur (Şekil 3).



Şekil 3. Heyelan önlemede kullanılan farklı kazık yerleşimi uygulamaları

Pasif kazıklara ankraj uygulaması da söz konusu olabilmektedir. Pasif kazıklı perdelerin boyu sağlam tabakanın bulunabilmesi için gerektiğinde 30 m' ye kadar uzatılabilmektedir. Bu denli uzun kirişte belirecek kesme kuvveti ve momentler çok yüksek olacağından maliyet uzunluğun karesi ile yükselecektir. Betonarme kazıklardan daha hızlı imal edilebilen ve çok daha düşük maliyetli jet-grout kolonlarının heyelanlarda uygulanmaları henüz tartışmalıdır [6].

Pasif kazık uygulaması Türkiye' de artık sıkça yapılmakta olup birçok heyelan bu yöntemle durdurulmuştur. İzmir Seferihisar' da bir sitede geriye doğru çok hızlı gelişen heyelanın sitenin hasar görmemiş kesimini etkilememesi için 1.2 m çaplı, 25 m boylu ayırık betonarme kazık uygulaması yapılmış ve kesin başarı sağlanmıştır [6]. Şekil 4' te temsili bir heyelanlı bölgede yerleştirilmiş kazıkların önden ve yandan görünümünü sunulmaktadır.



Şekil 4. Yamaçta pasif kazık uygulaması

2. HEYELANIN ÖZELLİKLERİ (PROPERTIES OF THE LANDSLIDE)

Sakarya ili, Karapürçek İlçesi, Kanlıçay Mevkii güney batı yamacında yol üzerinde gerçekleşmiş heyelan sonucunda meydana gelen çökmelerin

önüne geçilmesi için yapılan çalışmalar bu makalede örnek uygulama olarak anlatılacaktır. Öncelikle hareketin sebebinin belirlenmesi, sonrasında ise mevcut yolun ve arkasında kalan yapıların (Şekil 5) güvenliklerinin sağlanması için alınması gerekli önlemlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar özetlenecektir.

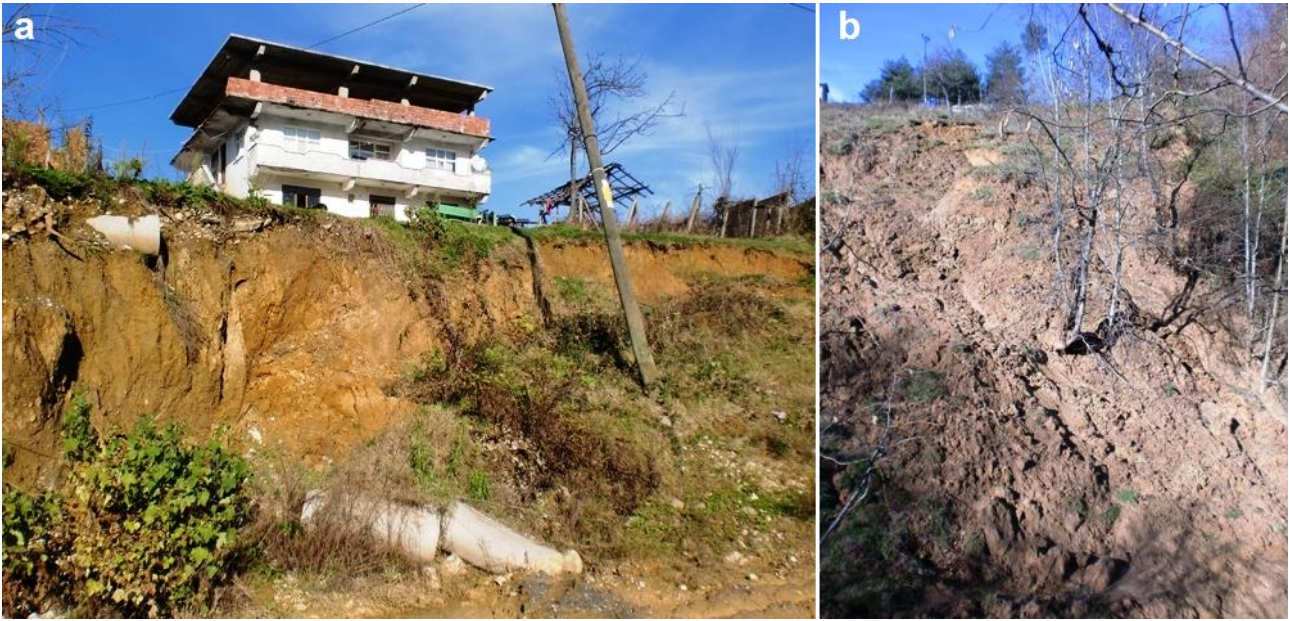


Şekil 5. Heyelan eden bölgenin yola ve arkasındaki yapılara göre konumu

Heyelan tacının koordinatları N40.63405 ve E030.49436 şeklindedir. Yaklaşık olarak 35-40 metre genişlik ve 60-65 metre uzunluğa sahip olan heyelan kitlesinde hareketin farklı zamanlarda gerçekleştiği, özellikle yağın yağmurlar sonucunda hareketin şiddetinin arttığı beyan edilmektedir. Heyelan tacı, arkasında bulunan üç katlı yapıya yaklaşık olarak 20 metre mesafededir (Şekil 6a).

Çalışma yapıldığı anda durmuş olan heyelanın geriye doğru ilerleyip bina için risk oluşturması mümkün gözükmemektedir. Alanda eğimler genelde Kuzey Batıdan Güney Doğuya doğrudur. Çalışma

alanında yola yakın üst kısımlarda eğim %25 civarında iken, dere yatağına doğru daha aşağı kısımlarda %47 civarında ölçülmüştür. Hareket sonucunda açığa çıkan heyelan aynası en yüksek yerinde yaklaşık 4-5 metre yüksekliğe sahiptir. Aynadan görüldüğü kadarıyla zemin kahverengi, düşük-orta plastisiteli killi-siltli birimlerden oluşmakta olup aynada sağlam kaya mostra vermemiştir (Şekil 6a). Heyelan kitlesi içerisinde ayrıca ufak çaplı tali aynalar da mevcuttur. Söz konusu alanda yapılan incelemelerde heyelan eden kitlenin özellikle eteklerine yakın yerlerinde suya doymun zeminlerin balçık kıvamına geldiği dikkati çekmiş ve fotoğraflanmıştır (Şekil 6b).



Şekil 6. a) Heyelan aynasının görünümü b) Eteğinde balçık kıvamına gelmiş heyelan kitlesi görünümü

Zeminin aşırı derecede suya doymun hale gelişinin nedeni; heyelanın bulunduğu alanın hemen solunda (batısında) kalıntı bir heyelan kitlesinin içinden geçen pınarın varlığıdır. Ayrıca heyelan kitlesinin tam tepesinde bulunan ve heyelan kitlesi ile birlikte hareket eden yolda temiz su boru hattının bulunduğu belirtilmiştir. Heyelanın söz konusu su hattına paralel şekilde oluşması; söz konusu boru hattı için kazılan hendeğin suyun birikmesine olanak sağlaması ve heyelanı hızlandırması görüşünü ortaya çıkarmıştır. Dolayısı ile zemin özellikleri bakımından zaten kritik durumda olan yamaçtaki heyelanı tetikleyen en büyük faktörler: söz konusu boru hattının yataklanma gereği olan çakıllı taban malzemesi vasıtası ile yüzey sularını heyelan kitlesine yöneltmesi, pınarla zeminin tabandan beslenmesi ve son olarak da aşırı yağışlarla yamaçta su seviyesinin yükselmesidir. Farklı sebepler ile artan

su hacmi nedeniyle sistem tamamen doymun hale gelmiştir. Bu durum yamaç üzerindeki yükü aşırı oranlarda arttırmış, aynı zamanda da efektif gerilmeyi düşürmüştür. Sonuçta artan su miktarı; yamaçın dengesini olumsuz yönde etkileyecek olan sürücü kuvvetlerin artmasına neden olmuş, zeminin kayma direncini düşürmüş ve heyelan tetiklenmiştir. Tüm bunların yanında yol üzerinde gerçekleşen küçük oturmalardan meydana gelen kot farkını gidermek için yapılan yol dolguları heyelanın tepesinde ağırlığı artırıcı rol oynamıştır. Güvenlik sayısında sudan kaynaklanan devamlı düşüşün hızlanmasına ilaveten heyelan kitlesinin üzerinde yapılan söz konusu dolgu ilave olarak sürücü kuvvetleri arttırmış ve bu durum güvenlik sayısının ani düşüş göstermesine neden olmuştur.

3. YÖNTEM (METHOD)

Heyelan incelemelerinde araziye yapılan saha ziyaretleri büyük önem taşımakta ve bu noktada tecrübe problemin çözülmesinde büyük önem taşımaktadır. Zira problemin nedenini tam olarak ortaya koymadan akılcı bir çözüm sunmak mümkün görünmemektedir. Bu sebeple yapılan arazi incelemelerinde meydana gelmiş olan heyelan ve etrafındaki diğer jeolojik-jeomorfolojik oluşumlarla ilgili gözlemler yapılmıştır. Sahanın genel özellikleri ve heyelan eden kitle tüm doğrultulardan gözlemlenerek heyelanın özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Bunun akabinde ayrıntılı arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında toplam uzunluğu 29.5 metre olan 3 adet dönel sondaj gerçekleştirilmiştir. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde sınıflandırmaya yönelik fiziksel deneyler ve heyelan incelemesine yönelik mekanik laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Daha sonra kazıklı sistemlerin çözümünü yapabilen bir stabilite programı (Talren) ile analizler yapılmıştır [7]. Son olarak da sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis 2D yazılımı ile analizler yapılmış olup en uygun kazık boyutlandırılması önerilmiş ve arazide uygulaması yapılmıştır.

3.1. Deneysel çalışma (Experimental study)

Alanda yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde TS1900-1 [8] ve TS1900-2 [9] uyarınca deneyler gerçekleştirilmiş ve TS1500 (2000)' e göre [10] de zeminlerin sınıfları belirlenmiştir. Yapılan sınıflandırmalara göre çalışma alanının üst kısımlarında daha çok yüksek plastisiteli yağlı killerin bulunduğu ve bunun altında ise killi az çakıllı kumların yataklandığı anlaşılmıştır (Tablo 1).

Kayma direnci parametrelerinin tayinine yönelik olarak 1.50-2.00 m ve 2.50-3.00 m örselenmemiş numuneleri üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Alanda mevcut hareketlenmeden dolayı zeminlerin dayanımının artık kalıntı (*residual*) dirençler ile temsil edilebileceği düşüncesi ile kesme kutusu deneyinde kalıntı parametreleri belirlemeye yönelik çalışmalar da yapılmıştır. Kesme kutusu deney sonuçları Tablo 2' de özetlenmektedir. Buradan elde edilen veriler çalışma alanının stabilite problemlerinin çözümünde kullanılmıştır.

Tablo 1. Fiziksel deney sonuçları

Sondaj No	Derinlik	Renk	w_n	w_L	w_P	IP	I_L	%İnce	SPTN ₆₀	Sınıf [10]
SK-3	1.50-2.00	K	24	58	21	37	0.09	90	12	CH, Yağlı Kil
SK-3	2.50-3.00	K	27	39	19	20	0.41	75	---	CI, Orta Plastisiteli Kil ve Az Kum
SK-3	3.00-3.45	K	24	52	14	38	0.27	84	26	CH, Yağlı Kil ve Az Kum
SK-3	4.50-4.95	K	26	54	21	33	0.14	87	27	CH, Yağlı Kil
SK-3	6.00-6.45	K	26	50	22	28	0.12	75	34	CH, Yağlı Kil ve Az Kum
SK-3	7.50-7.95	K	22	57	20	38	0.06	74	38	CH, Yağlı Kil ve Az Kum
SK-3	9.00-9.45	K	22	53	19	34	0.08	68	37	CH, Kumlu Yağlı Kil
SK-3	12.00-12.45	KY	17	28	26	12	0.01	53	44	CL, Kum. D. Plst. Kil ve Az Çakıl
SK-3	15.00-15.45	aKY	20	32	21	11	-0.05	62	51	CL, Kumlu Düşük Plastisiteli Kil
SK-3	18.00-18.45	KY	18	32	17	15	0.04	45	52	SC, Killi Kum ve Az Çakıl
SK-3	19.50-19.95	KY	19	32	18	14	0.05	47	53	SC, Killi Kum ve Az Çakıl

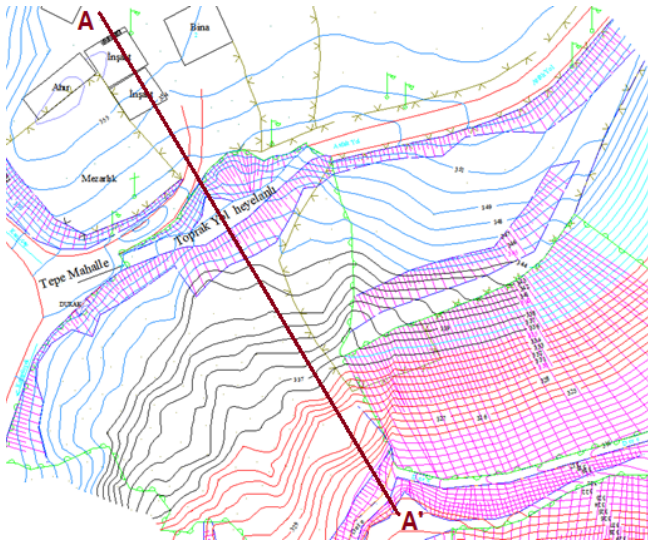
a: Açık, K: Kahve, Y: Yeşil

Tablo 2. Kesme kutusu deneyi sonuçları

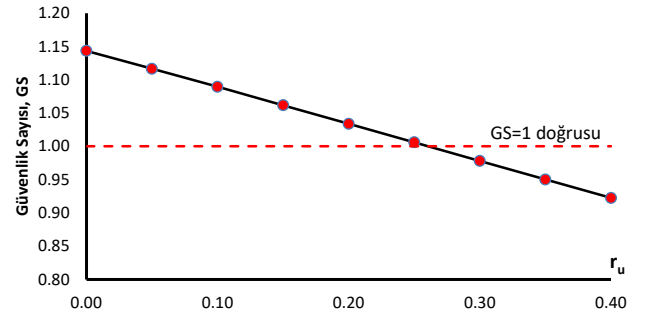
Sondaj No	Derinlik	Litoloji	ρ (kN/m ³)	e	c (kPa)	ϕ (°)	c_r (kPa)	ϕ_r (°)
SK-3	1.50-2.00	CH	23.36	0.43	19	10	9	10
SK-3	2.50-3.00	CI	19.68	0.74	1	37	0	33

3.2. Analizler (Analyses)

Alanda meydana gelen heyelanın boşluk suyu basıncındaki (u_w) artış nedeni ile tetiklendiği düşünülmektedir. Buna yönelik olarak, alanı temsil eden ve Şekil 7' de gösterilen en dik/kritik A-A' hattı boyunca boşluk suyu basıncının güvenlik sayısı üzerindeki etkisi deprensiz durumda incelenmiş ve sonuçlar Şekil 8' de gösterilmiştir. Sonuçta boşluk suyu basıncının şev üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve boşluk suyu basıncı oranı r_u ' nun 0.27 olması durumunda şevde güvenliğin kritik eşiğe geldiği görülmüştür.

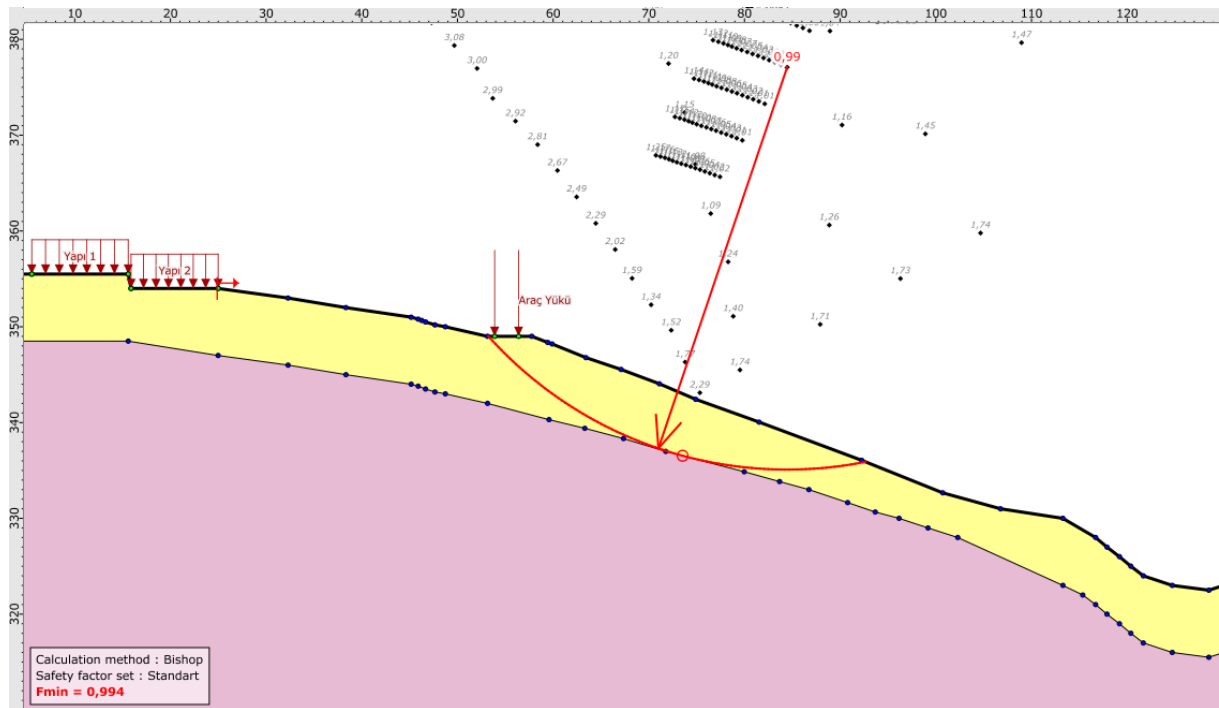


Şekil 7. Karapürçek heyelan analiz hattı (A-A')

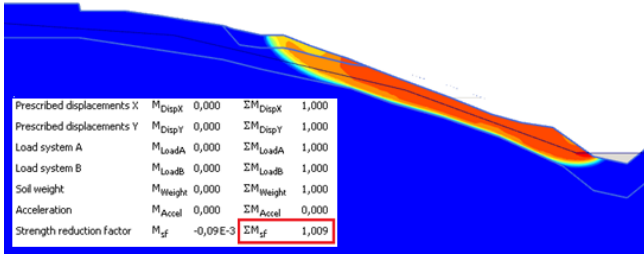


Şekil 8. A-A' kesitinde boşluk suyu basıncı oranı (r_u)-güvenlik sayısı (GS) ilişkisi

Tablo 2 incelendiğinde zeminin kalıntı kohezyonunun 0.00-9.00 kPa arasında ve kayma direnci açısının da 10° - 33° arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler göz önüne alınarak alanın mevcut topoğrafyasının geri analizleri yapılmıştır. Geri analiz safhasında heyelanın meydana geldiği andaki yağışlı durum da göz önüne alınarak boşluk suyu basıncı oranı (r_u) 0.27 olarak alınmıştır. Kayma meydana geldiği anda güvenlik sayısının ~ 0.99 olduğu kabulü ile (Şekil 9) üstteki killi zeminin kohezyon değerinin 19 kPa, sürtünme açısının 10° ve alttaki zeminin ise kohezyonunun 0 kPa, sürtünme açısının 33° alınmasına karar verilmiş ve analizlerde bu değerler kullanılmıştır. Geri analiz için kullanılan parametreler ışığında aynı çözümler Plaxis 2D [11] yazılımı kullanılarak yapılmış ve söz konusu çalışmada da beliren kayma yüzeyinin konumu gerçek durum ile örtüşmüştür (Şekil 10).



Şekil 9. Karapürçek/Kanlıçay heyelanı geri analiz sonucu



Şekil 10. Karapürçek/Kanlıçay heyelanı Plaxis 2D geri analiz sonucu

Heyelan analizlerinde yatay deprem (sismik) katsayısının ne seçileceği hakkında literatürde kesin bir yargı yoktur. Bununla birlikte Tablo 3' te bu konuda bazı araştırmacıların önermiş olduğu değerler özetlenmektedir. Çalışma alanı için yapılan heyelan analizlerinde yatay deprem ivmesi $k_h=0.15g$ olarak alınmıştır.

Tablo 3. Melo ve Sharma (2004) tarafından derlenen yatay sismik katsayılar [12]

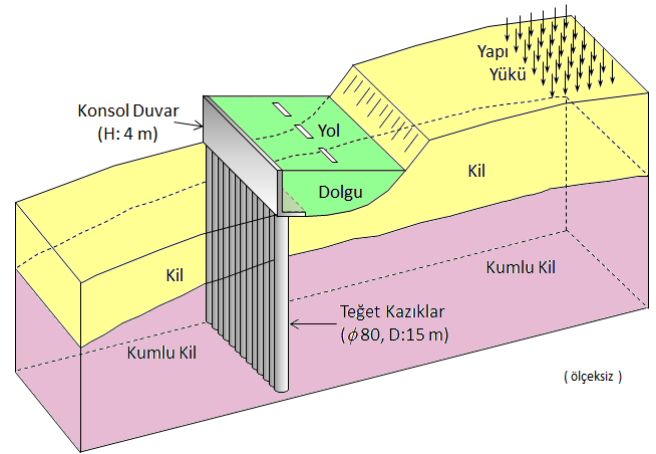
k_h	Açıklama	Referans
0.05-0.15	Amerika Birleşik Devletleri	
0.12-0.25	Japonya	
0.10	Ciddi (<i>severe</i>) Depremler	Terzaghi (1950) [13]
0.20	Şiddetli (<i>violent</i>) Depremler	Terzaghi (1950) [13]
0.30	Felaket Depremler (<i>catastrophic</i>)	Terzaghi (1950) [13]
0.10-0.20	GS > 1.15	Seed (1979) [14]
0.10	Önemli (<i>major</i>) Depremler	Corps of Engineers (1982) [15]
0.15	Büyük (<i>great</i>) Depremler	Corps of Engineers (1982) [15]
PHA/3-PHA/2	GS > 1.0	Marcuson ve Franklin (1983) [16]
PHA/2	GS > 1.0	Hynes-Griffin ve Franklin (1984) [17]

GS=Güvenlik Sayısı, PHA= Maksimum Yatay İvme (Peak Horizontal Acceleration)

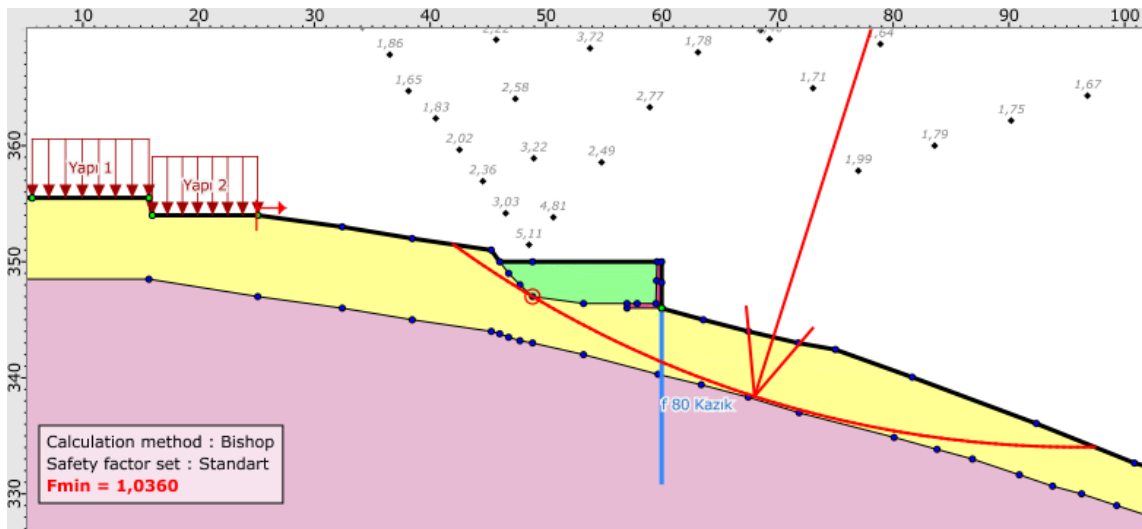
4. İKSA SİSTEMİ TASARIMI (DESIGN OF THE RETAINING SYSTEM)

Yol üzerinde zaman zaman meydana gelen kaymalardan dolayı oluşan kot kaybı dolgu yapılarak giderilmeye çalışılmış, ancak bu da üst taraftaki yükü arttırdığından heyelanı önleyici bir

çözüm olmamış, aksine boyutunu büyütüştür. Bu bakımdan yolun kalıcı olarak güvenli bir şekilde tekrar kullanıma açılması için şevnin kazıklı bir sistemle takviye edilmesi gerektiği düşünülmüştür. Bu sebeple mevcut heyelandan dolayı meydana gelen yaklaşık 4 metrelik kot farkını gidermek için kazıkların üzerine oturtulmuş bir konsol duvar tasarlanmıştır (Şekil 11). Konsol duvarın kaymaya karşı güvenliğini arttırmak için de kazıkların üzerinden uzatılacak donatılarla bağlanması düşünülmüştür. Çapı 0.80 m, boyu 15 m olan teğet kazıkların üzerine yerleştirilmiş ve geri dolgu kaliteli gereçle yapılmış konsol duvar sistemi Talren v5 programı ile analiz edilmiştir. Bu sistemin depremsiz durumda güvenlik sayısının 1.47 olduğu görülmüştür. Aynı sistemin yatay sismik katsayı $k_h=0.15$ alınarak çözülmüş durumu Şekil 12' de verilmektedir. Bu durumda güvenlik sayısının 1.04 olması da sistemin deprem anında dahi güvenliğini koruyacağına işaret etmiştir.



Şekil 11. Yolda meydana gelen kot kaybını önlemek için düşünülen konsol duvar sistemi



Şekil 12. Kazıklı sistemde depremlili durum için Talren V5 stabilite analizi sonucu

5. SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER (NUMERICAL ANALYSES)

Bu aşamada kazıklara gelen normal kuvvetler ve kesme gerilmeleri, momentler ve deformasyonları belirlemek amacı ile iki boyutlu sonlu elemanlar programı Plaxis 2D çözümler yapılmıştır [11]. Çözümler kazık önünün hem dolu hem de boş olması durumlarını temsil edecek şekilde uzun vade için gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte her iki çözüm aşamasında da zemin özellikleri iki farklı şekilde ele alınmış ve zeminler, pekleşen zemin modeli ile temsil edilmiştir. Her iki çözümü temsil eden zemin parametreleri Tablo 4' te, duvar ve kazık malzemelerine ait özellikler Tablo 5' te verilmektedir.

Tablo 4. Sayısal çözümlerlerde kullanılan zemin parametreleri

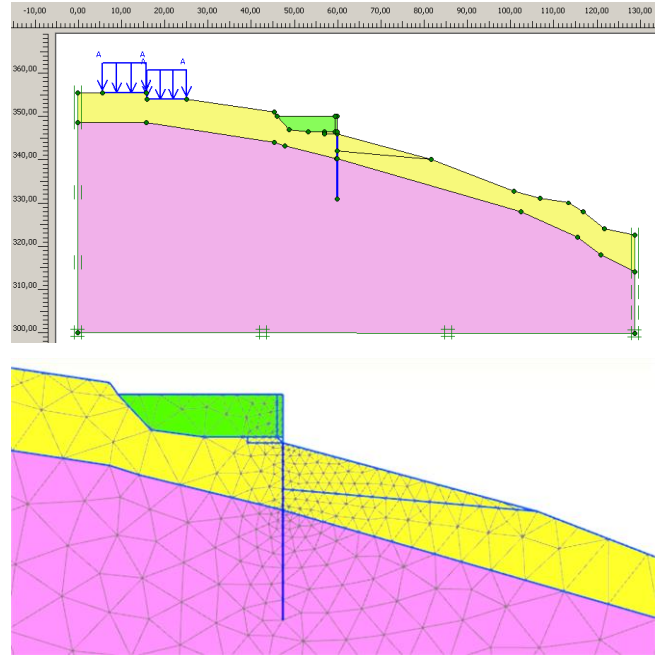
İsim	Çözüm 1			Çözüm 2		
	Üst Tabaka	Alt Tabaka	Dolgu	Üst Tabaka	Alt Tabaka	Dolgu
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
ρ_n (kN/m ³)	21	22	21	21	22	21
ρ_d (kN/m ³)	21	22	21	21	22	21
E_{50}^{ref} (kPa)	10000	50000	50000	15000	100000	50000
E_{oed}^{ref} (kPa)	10740	50000	50000	15000	100000	50000
E_{ur}^{ref} (kPa)	30000	150000	150000	45000	200000	150000
Üstlük, m	0.8	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5
c' (kPa)	19	0.1	25	25	10	5
ϕ' (°)	10	33	31	15	35	35
ψ (°)	0	3	1	0	5	5
Pref	100	100	100	100	100	100
$K_{0,NC}$	0.826	0.455	0.485	0.741	0.426	0.426
v'_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
OCR	2	5	3	2	5	3
R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Tablo 5. Sayısal çözümlerlerde kullanılan duvar ve kazık özellikleri

Malzeme	Duvar		Kazık	
	Linear Elastik (non-porous)		Linear Elastik (non-porous)	
E (kPa)	30000000		EA (kN/m)	24000000
ρ_n (kN/m ³)	24		EI (kNm ² /m)	1280000
ν	0.2		w (kN/m/m)	10
Kalınlık (m)	0.5		ν	0.2
			Kalınlık (m)	0.80

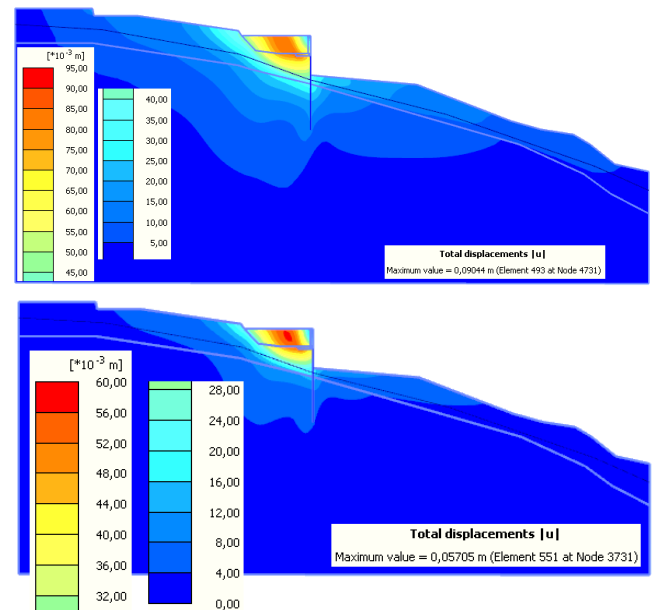
Şekil 13' te analizler için oluşturulan model ve sonlu eleman ağı kazık önünün dolu olması durumu için sunulmaktadır. Çözümde öncelikle doğal gerilmeler oluşturulduktan (initial phase) sonra zemine ortalama 40 kPa gerilme uygulayan bina aktif hale getirilmiş ve bu aşama (Phase 1) sonu doğal durum olarak kabul edilmiştir. Daha sonrasında sırasıyla kazık inşa edilmiş (Phase 2), duvar aktif hale getirilmiş (Phase 3), dolgu yapılmış (Phase 4) ve en son olarak da en kötü

durumu temsilen kazığın sağ tarafındaki zemin boşaltılmıştır (Phase 5).



Şekil 13. Plaxis 2D analizler için oluşturulan (a) model (b) sonlu eleman ağı

Şekil 14' te en kötü durumu temsilen kazık önünün boş olduğu durumda toplam deplasmanlar sunulmaktadır. Burada toplam deplasmanların zemin özelliklerinin görece kötü olduğu durumda ve kazık önünün boşaltılması sonrasında 90 mm civarında tahmin edildiği görülmektedir (Şekil 14a). Zemin özelliklerinin görece iyi olması durumunda toplam deplasmanlar 57 mm civarında tahmin edilmektedir (Şekil 14b).



Şekil 14. Phase 5 sonrası toplam deplasmanlar a) Çözüm 1 b) Çözüm 2

Kazık önünün hem dolu hem de boş olması durumlarını temsil eden 2 aşamalı çözüm sonuçları

Tablo 6’ da özetlenmektedir. Buradan uzun vadede kazık ve duvarda oluşacak yatay deplasmanların zemin özelliklerinin görece kötü olması durumunda kazık önü dolu iken 32.7 mm

ve kazık önü boşaltılmış iken 67.6 mm civarında kabul edilebilir değerlerde gerçekleşeceği ortaya çıkmaktadır.

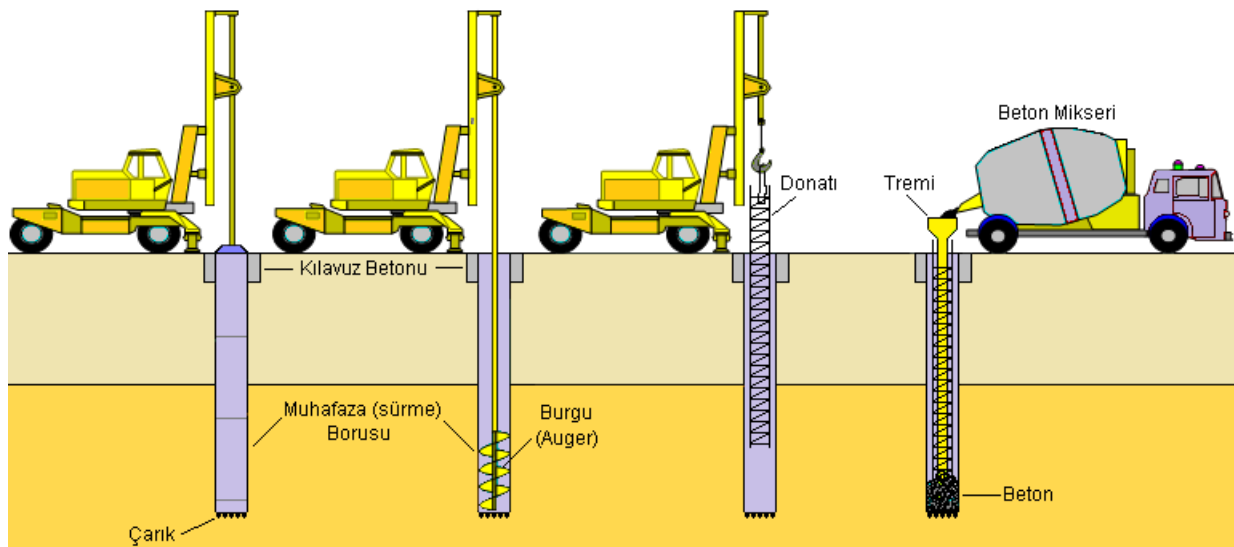
Tablo 6. Plaxis 2D analiz sonuçları

	N (kN/m)		T (kN/m)		M (kNm/m)		$U_{x,max}$ (mm)	
	Çözüm 1	Çözüm 2	Çözüm 1	Çözüm 2	Çözüm 1	Çözüm 2	Çözüm 1	Çözüm 2
4. Aşama (kazık önü dolu)	-331.9	-315.1	+104.5 -109.1	+124.6 -110.2	548.6	617.0	32.72	23.66
5. Aşama (kazık önü boş)	-381.7	-362.6	+192.5 -206.8	+175.1 -211.8	960.1	910.1	67.64	40.32

6. KAZIKLI SİSTEM UYGULAMASI (APPLICATION OF PILED SYSTEM)

Analizlerin tamamlanmasından sonra arazide uygulamaya başlanmıştır. Şekil 15’ de fore kazık imal aşamaları gösterilmektedir. Uygulamada ilk önce tesviye edilen yapım alanı üzerine kılavuz betonu dökülür. Bu, beton delme sırasında çarık ve muhafaza borularının düzgün bir istikamette gitmesini sağlar. Delme işlemi çarık denilen ucu sertleştirilmiş silindirik boru uzantısı ile yapılır. Çarık aşağı doğru hidrolik itki ve dönme işlemi ile ilerlerken hemen peşine uygun çaplardaki muhafaza boruları sürülür ve bu işlem arzu edilen derinliğe kadar muhafaza borularının arka arkaya eklenmesi ile yürütülür. Aynı zamanda muhafaza borusunun içinde bulunan zemin auger vasıtası ile yukarıdan aşağıya doğru temizlenir. İçi boş muhafaza borusunun içine donatı yerleştirilir. Donatıların ortasındaki boşluktan kuyu tabanına kadar uzanan bir tremi (huni) yerleştirilir.

Treminin görevi mikser tarafından getirilen betonun kuyu tabanına düzgün bir şekilde ulaşmasını sağlamaktır, zira özellikle su seviyesinin yüksek olduğu bölgelerde kazık içine serbestçe bırakılan betonun suya çarpmasıyla agrega ile çimento birbirinden ayrılarak segregasyon meydana gelebilir. Beton tabandan yukarıya doğru tremi vasıtası ile kuyu içine doldurulurken kuyu içindeki çamur-su karışımı kuyu ağzından yukarıya doğru çıkmaktadır. Kuyu tamamen betonla doldurulduktan sonra muhafaza boruları diğer kazıkta kullanılmak üzere yukarı çekilir. Bu adımlarla Karapürçek arazisinde imal edilen 80 cm çaplı, 15 metre uzunluğundaki teğet kazıkların arazide imalatı Şekil 16’ dan izlenebilir. Burada güçlendirmesi yapılacak yolun hemen altında fore kazık makinasının delgi işlemi görülmektedir. Aynı zamanda kuyu içine yerleştirilecek donatılar da yine Şekil 16’ dan izlenebilir. Şekil 17’ de ise imalatı tamamlanmış pasif kazıklar üzerine oturtulmuş konsol duvar görülmektedir.



Şekil 15. Fore kazık imal aşamaları



Şekil 16. Kazık delgi işlemleri ve donatıların hazırlanması



Şekil 17. İmalat sonu konsol duvarın karşı yamaçtan görünümü

Bu sistem ile yol eski kotuna getirilmiş ve kullanıma açılmıştır. İmalattan sonra geçen iki senelik zaman diliminde yapılan gözlemlerde yol kotunda ve kazıklı iksa sisteminde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir. Türkiye’de yaklaşık 120 cm çapına kadar sorunsuz imal edilebilen fore kazıklar çok derin olmayan kayma yüzeyleri için stabiliteyi güvenle sağlayan yapı elemanları olarak kullanılabilir.

7. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu makalede kazıklı iksa sisteminin, stabilitesi her aşırı yağış sonrasında bozulan ve üzerinde devamlı kullanılan bir yol ile evler bulunan bir yamacın güvenliğinin sağlanması için kullanımı açıklanmıştır. Sondajlardan gelen numuneler üzerinde laboratuvarda yapılan fiziksel deneylerin sonuçlarına göre; üst 7.50 metrelerde aşağıdaki kayaların ayrışma ürünü olan yüksek plastisiteli

killerin hâkim olduğu belirlenmiştir. Yamacın yüzeysel ve yeraltı suları ile yıllardır beslenmesi kayma direncinin dereceli olarak düşmesine sebep olmuştur. Zeminin heyelana etmesi ile düşen yol kotunun yükseltilmesi amacıyla dolgu yapılmasının doğru bir yaklaşım olmadığı ortaya konmuştur. Limit denge yöntemlerini ve sonlu eleman yaklaşımını kullanan farklı yazılımlarla yapılan analizler sonrasında yamacın güvenliğinin sağlanması ve yol kotunun eski haline getirilebilmesi için; çapı 0.80 m, boyu 15 m olan teğet kazıkların üzerine yerleştirilmiş ve geri dolgusu kaliteli gereçle yapılmış konsol duvar sisteminin oluşturulması gerekli görülmüştür. İmalattan sonra yol eski kotuna yükseltilebilmiştir. Çözüm öncesi hemen her yıl ilave edilen dolgu ile yükseltilmeye çalışılan yol, kazıklı iksa sisteminin imalatından sonra yağışlı mevsim geçirmesine rağmen sorunsuz bir şekilde hizmet vermeye devam etmektedir.

Not: Bu makale, ISITES2016 (4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science) Sempozyumunda yayınlanan bildirinin genişletilmiş halidir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] O. Gökçe, Ş. Özden ve A. Demir, “Türkiye’de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı”, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2008.
- [2] T. Ito ve T. Matsui, “Methods to estimate lateral force acting on stabilizing piles”, *Soils and Foundations*, cilt 15, no. 4, pp. 43-60, 1975.

- [3] H. Sommer, "Creeping slope in a stiff clay", *Proceedings of 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Rotterdam, A. A. Balkema, 1977, pp. 113-118.
- [4] M. F. Nethero, "Slide control by drilled pier walls", *Proceedings of the Application on Walls to Landslide Control Problems*, Las Vegas, Nevada, ASCE Convention, 1982, pp. 61-76.
- [5] R. Kourkoulis, F. Gelagoti, I. Anastasopoulos ve G. Gazetas, "Hybrid Method for Analysis and Design of Slope Stabilizing Piles", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, cilt 138, no. 1, 2012.
- [6] A. Önalp ve E. Arel, *Yamaç ve Şevlerin Duraylılığı*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2007.
- [7] Talren, "Advanced Program for Slope Stability", Terrasol, Paris, 2015.
- [8] TS 1900-1, *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Tayini, Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini*, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü, 2006.
- [9] TS 1900-2, *İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini*, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü, 2006.
- [10] TS 1500, *İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması*, Ankara: Türk Standardları Enstitüsü, 2000.
- [11] R. B. J. Brinkgreve, E. Engin ve W. M. Swolfs, *PLAXIS 2D AE Manual*, A.A. Balkema, 2014.
- [12] C. Melo ve S. Sharma, "Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., 2004.
- [13] K. Terzaghi, *Mechanisms of Landslides*, Engineering Geology (Berkeley), pp. 83-122, Geological Society of America, 1950.
- [14] H. B. Seed, "Considerations in the earthquake-resistant design of earth and rockfill dams", *Géotechnique*, cilt 29, no. 3, pp. 215-263, 1979.
- [15] Corps of Engineers, *Slope Stability Manual EM-1110-2-1902*, Washington, D.C.: Department of the Army, Office of the Chief of Engineers, 1982.
- [16] M. F. Marcuson ve A. G. Franklin, "Seismic Design, Analysis, and Remedial Measures to Improve the Stability of Existing Earth Dams-Corps of Engineers Approach", *Seismic Design of Embankments and Caverns*, New York, ASCE, 1983.
- [17] M. E. Hynes-Griffin ve A. G. Franklin, *Rationalizing the seismic coefficient method*, Vicksburg, Mississippi: U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Miscellaneous Paper GL-84-13, 1984.