

ALETSEL GÖZLEMİN HEYELAN STABİLİTESİ ONARIMINDA YÖNLENDİRİCİ BİR UYGULAMASI

H. Turan Durgunođlu¹

H. Fatih Kulaç²

Turhan Karadayılar²

Selim İıkiz²

A. Canan Öge²

C. Güney Olgun³

¹ Prof. Dr., Bođaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² İnş. Yük. Müh., ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., İstanbul

³ Araştırma Görevlisi, Bođaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET

Bu bildiride halihazırda inşaatı çeşitli kesimlerde sürmekte olan Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu'nun muhtelif kesimlerinde heyelan potansiyeli yüksek bölgelerden geçilmesi zorunluluğu nedeniyle oluşan heyelanların onarım projeleri üzerinde yapılan zemin etüd, proje ve aletsel gözlem çalışmaları bir örnek dahilinde sunulmuştur. Öncelikle onarım projesinin hazırlanması esnasında gerçekleştirilen zemin etüdü ve aletsel gözlem çalışmalarından elde edilen veriler özetlenmiştir. Bu verilerin yardımıyla geoteknik kesitler ve heyelan mekanizması belirlenebilmiştir. Oluşturulan modeller üzerinde geri hesap yöntemi kullanılarak, stabiliteyi kontrol eden zemin mukavemet parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerin geliştirilen onarım projelerinde kullanımına ait gerçek örnekler sunulmuştur. Heyelan mekanizması ve onarım projesinin yeterliliğini tahkik etmek amacıyla uygulanan ve yüzeysel röperler, inklinometreler ve piyezometrelerden oluşan aletsel gözlem çalışmalarının hazırlanan projenin optimizasyonu açısından önemi vurgulanmıştır.

SUMMARY

In this paper a case study is presented investigating a landslide which took place at a section of Gerede-Ankara and Ankara Peripheral Motorway due to the presence of high landslide potential regions. Firstly the data obtained from the subsoil investigations and monitoring works are summarized. Then the geotechnical profile and the landslide mechanism are determined making use of this information. Soil strength parameters controlling the stability are found by utilizing back calculation method on the models developed. Real examples are presented using these parameters within the the landslide remedial design project. The importance of the instrumentation and monitoring including surface benchmarks, inclinometers and piezometers on the determination of the landslide mechanism and optimization of the remedial design is emphasized.

1. GİRİŞ

Halihazırda inşaatı çeşitli kesimlerde sürmekte olan Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu'nun muhtelif kesimlerinde heyelan potansiyeli yüksek bölgelerden geçilmesi zorunluluğu nedeniyle oluşan heyelanların onarım projeleri üzerinde yapılan zemin etüd, proje ve aletsel gözlem çalışmaları bir örnek dahilinde bu bildiri kapsamında özetlenmiştir. Bu otoyolun tümü Enka-Bechtel O.G. tarafından inşa edilmekte olup, kontrollük hizmetleri Karayolları Genel Müdürlüğü adına KSWK tarafından yürütülmektedir. Bildiri konusu olan heyelanın onarım projesi ve müşavirlik hizmetleri ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir.

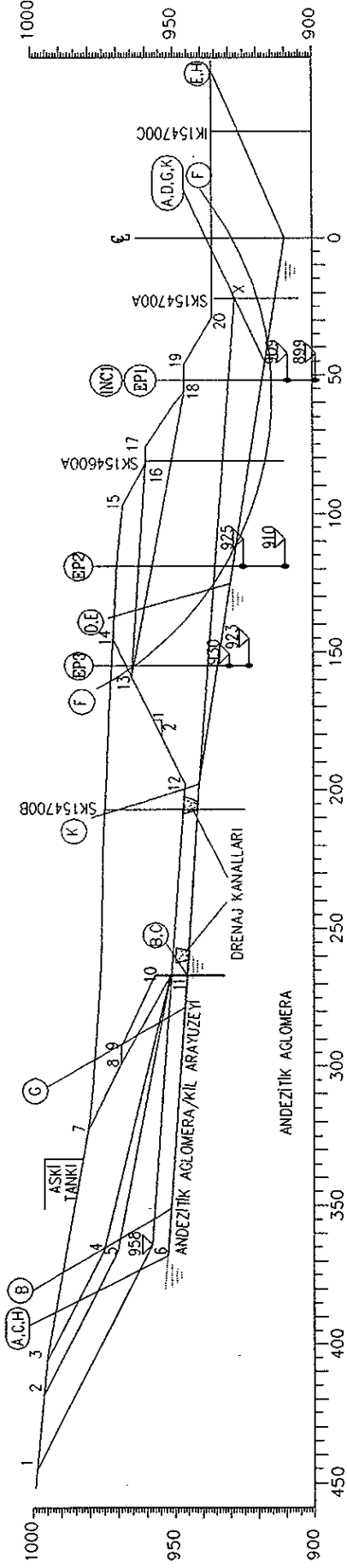
2. GEREDE-ANKARA VE ANKARA ÇEVRE OTOYOLU Km 154+650 HEYELANI

2.1. Heyelan Hareketi

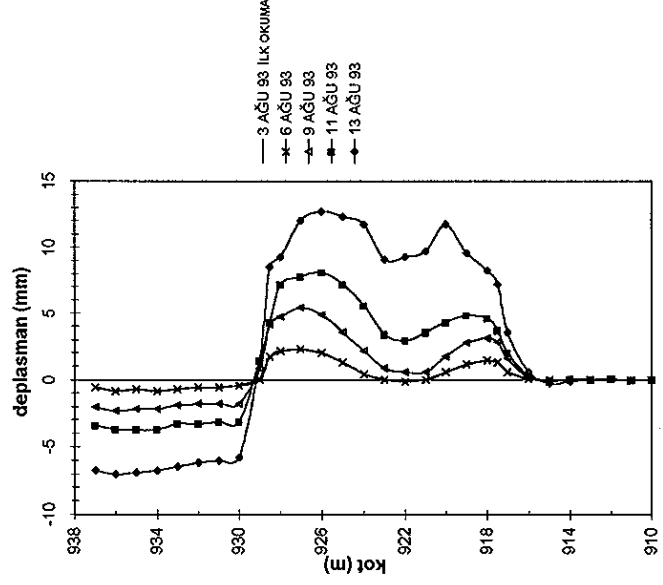
Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu Km 154'teki yaklaşık 300 m uzunluğundaki yarma Haziran 1992'de tamamlanmıştır. 19 Temmuz 1993 tarihinde sözkonusu yarmanın 30.0 m yüksekliğindeki sol şevinde ani bir göçme meydana gelmiştir. Yarmanın karşı yamacındaki malzemenin dolgu malzemesi olarak kullanımı amacıyla kazıyı takip eden bu ilk hareketin boyutu birinci palyede 0.5 m açılma olarak gözlenmiştir. Kayma yüzeyi şev topuğunun takriben 300 m arkasında bulunan 5000m³'lük ASKİ su tankı konumuna kadar uzanmaktadır. Gözlenen değişik çatlak oluşumları ana kaya bloğun içerisinde ikincil kayma hareketlerinin varlığını kanıtlamaktadır. Meydana gelen heyelanın geoteknik kesiti Şekil 1'de görülmektedir.

2.2. Zemin Koşulları ve Kayma Mekanizması

Zemin koşulları ve meydana gelen heyelanın kayma mekanizmasının belirlenmesi ve buna yönelik bir onarım projesi yapılabilmesi amacıyla, sondaj çalışmaları, inklinometre, PVC boru ve yüzeysel röperlerin yerleştirilmesini içeren kapsamlı bir zemin etüd ve aletsel gözlem çalışması gerçekleştirilmiştir. Heyelanın gerçekleştiği sahada zemin genel itibariyle andezitik aglomeradır. Bu formasyon içerisinde yer yer killeşmiş tabakalar geçilmektedir. Sondajlarda rastlanan yeraltı su seviyesi yüksek olup birinci palyenin üzerinde yüzeye çıkmaktadır. Onarım projesi dahilinde yeraltı su



Şekil 1. Tipik Heyelan Kesiti



Şekil 2. İnklinometre 1 Okumaları

seviyesini ve gerçekleşen drenajı gözlemek amacıyla piyezometrelerin yerleştirilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla heyelan şevinde onarım projesinin inşasına geçilmesi öncesinde üç adet piyezometre kuyusuna (EP1, EP2, EP3) toplam 6 adet elektrikli piyezometre yerleştirilmiştir.

En olası kayma yüzeyi baz alınarak gerçekleştirilen geri hesap yöntemi, kayma yüzeyinin andezitik aglomera içerisinde kalan çıkış bölümünde içsel sürtünme açısının $\phi'=30^\circ$ olduğu kabul edildiğinde ara yüzey boyunca sürtünme açısının $\phi_r'=9^\circ$ olduğunu göstermiştir. Diğer bir yaklaşımla, kayma yüzeyinin çıkış bölümünde de aynı ara yüzey sürtünme özelliklerine sahip olduğu kabul edilirse, tüm kayma kaması için sürtünme açısı $\phi_r'=11^\circ$ olarak belirlenmiştir (Durgunoğlu ve diğerleri, 1994). Tablo 1'de analizlerde kullanılan geoteknik parametreler özetlenmiştir.

TABLO 1. Geoteknik Parametreler (Durgunoğlu ve diğerleri, 1994)

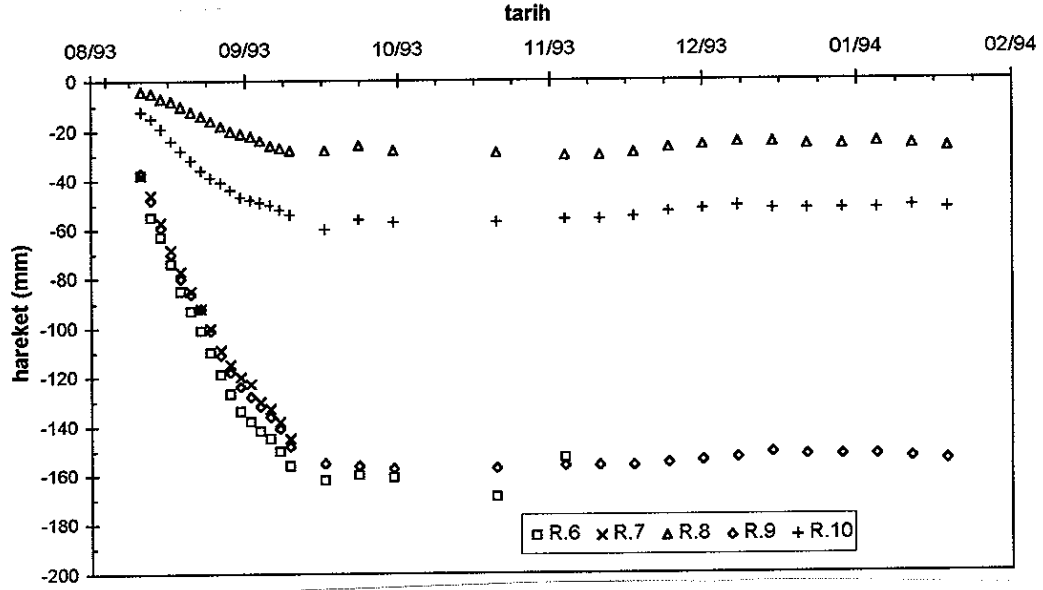
Malzeme	c_r' (kPa)	ϕ_r' (derece)	γ_n (kN/m ³)
Andezitik aglomera	0	30	19
Andezitik aglomera/kiltaşı	0	9	-
Andezitik aglomera/kil	0	9	-

Etüd ve projelendirme aşamasında gerçekleştirilen aletsel gözlem çalışmaları, inklinometre ve yüzeysel röperlerden oluşmaktadır. İnklinometre okumaları, kayma yüzeylerinin derinliğinin belirlenmesine yönelik olarak kullanılmıştır. Örneğin heyelan kesitinde INC1 olarak gösterilen inklinometreden elde edilen zamana bağımlı okumalar Şekil 2'de görüldüğü gibi takriben 929 m kotunda bir kayma hareketinin varlığını göstermektedir.

Yüzeysel röperler ise inklinometrelerle elde edilen bulgularla uyusmaktadır. Bu röperlerden geliştirilen grafikler zaman içerisinde heyelanın gelişimi hakkında bilgi vermiştir. Şekil 3'te tipik bir örnek verildiği üzere tüm yüzeysel röperler Ekim 1993 tarihinden itibaren yapılan kazı çalışmaları ile heyelanın yavaşladığı ve durduğunu göstermektedir.

Ayrıca proje kriterlerinin kontrol edilmesine yönelik olarak yukarıda bahsedildiği üzere elektrikli piyezometreler yerleştirilmiştir. Piyezometreler vasıtasıyla, onarım projesi ve stabilite hesapları yönünden çok önemli bir parametre olan yeraltı su

seviyesi (boşluk suyu basıncı) ve drenajın etkisi ölçülmüştür. Bu gözlemler sonucu elde edilen veriler dahilinde projede gerçekleştirilen değişiklikler ilerki kısımlarda açıklanmıştır.



Şekil 3. Yüzey Röper Okumaları (Durgunoğlu ve diğerleri, 1994)

2.3. Stabilite Analizleri

Düzenleme kazısı analizleri esnasında ASKİ tankının kaldırılması veya otoyol standartlarına uygun güvenlik faktörü sağlayan kazıklı bir istinat yapısı ile tutulması alternatifleri yapılan analizler sonucunda değerlendirilmiştir. Mevcut topoğrafya ve farklı düzenleme kazı geometrileri için birçok stabilite analizi gerçekleştirilmiştir (Durgunoğlu ve diğerleri, 1995). Tablo 2’te yapılan analizler ve sonuçları özetlenmiştir. Her alternatif için kazı geometrisi Şekil 1’de kesit üzerinde numaralı noktalardan belirlenebilir. Her kazı geometrisi için farklı koşullar ve kayma yüzeyleri için stabilite analizleri yapılmış ve her alternatif için gereken kazı miktarı hesaplanarak müteahhite sunulmuştur.

Heyelan sonrası mevcut durumda (1-2-3-7-14-15-16-17-18-19-20 noktaları ile tarifli) sahadaki yüksek yeraltı suyu seviyesi altındaki andezitik aglomera/kil-kiltaşı ara yüzeyinde, A-A kayma kütlesi için $FS=1.0$ güvenlik katsayısı elde edilmektedir (K154A). Mevcut topoğrafya için tamamen drenajlı koşulda A-A yüzeyi boyunca stabilite analizi statik durumda $FS=1.547$ (K154DRY) ve yatay deprem katsayısı $k=0.100$ (Çetinkaya, Durgunoğlu ve diğerleri, 1993) deprem durumunda $FS=0.966$ (K154DR1) güvenlik faktörleri vermektedir. Bu durumda hiç kazı yapılmadan,

tamamiyle drenajın temin edilebilmesi halinde mevcut geometri ile statik durumda yeterli güvenlik faktörü elde edildiği, deprem durumunda ise yeterli güvenlik faktörüne çok yaklaşıldığı görülmüştür. Tablo 2’de görüldüğü gibi mevcut durum için diğer kayma yüzeyleri için gerçekleştirilen analizler de kritik değere yakın güvenlik faktörleri vermektedir.

Tablo 2. Stabilité Analizleri Özet Tablosu (Durgunoğlu ve diğerleri, 1995)

	KAZI GEOMETRİSİ	KAYMA YÜZEYİ	YASS	GÜVENLİK FAKTÖRÜ							
				STATİK	Hesap no.	k=0.075	Hesap no.	k=0.100	Hesap no.	k=0.200	Hesap no.
I	1-2-3-7-14-15-16-17-18-19-20 MEVCUT DURUM	A-A	mevcut	1.018	K154A						
		A-A	kuru	1.547	K154DRY			0.966	K154DR1	0.739	K154DRE
		D-D	mevcut	1.159	K154PN1						
		D-x-D*	mevcut	1.048	K154PN3						
		E-E	mevcut	1.269	K154PN2						
		F-F	ru=0.15	1.030	K154PNC						
		F-F	ru=0.05	1.180	K154PNC1						
II	1-7-8-9-10-11-12-13-16-17-18-19-20 KAZIKLI DUVAR 425,000 m ³	C-C	1	1.332	K154T1S			0.981	K154T1L	0.764	K154T1E
III	1-7-11-12-13-16-17-18-19-20 430,000 m ³	A-A	1	1.510	K154XS	1.042	K154X1	0.953	K154X		
		A-A	3	1.442	K154XS1						
		A-A	2	1.332	K154XS2						
		C-C	1	0.913	K154XTS						
		C-C	1	1.099	K154XTZ						
IV	1-3-4-11-12-13-16-17-18-19-20 635,000 m ³	A-A	1					1.062	K154M		
		B-B	1	1.579	K154MSX						
V	1-3-4-11-12-13-16-17-18-19-20 600,000 m ³	A-x-A	1	1.394	K154LZS	0.908	K154LZ1	0.818	K154LZ		
		A-A	1	1.701	K154LS			1.030	K154L		
			3					0.981	K154L1		
			2					0.893	K154L2		
		B-B	1	1.255	K154LSX						
		H-H	1					1.111	K154LW1		
		D-D	1	2.102	K154LDS			1.451	K154LD		
		D-x-D*	1	1.754	K154LZX			1.117	K154LZW		
		D-x-D	1	1.518	K154LZY	1.106	K154LZM	1.018	K154LZD		
		E-E	1					1.487	K154LE		
		F-F	ru=0.05	1.360	K154RNC1	0.910	K154RNC2				
F-F	kuru			0.970	K154RNC3						
K-x-K	1	2.266	K154LZK			1.297	K154LZE				
VI	1-2-5-11-12-13-18-19-20 700,000 m ³	A-A	1							0.809	K154H1
		D-x-D*	1	1.859	K154HD						
VII	1-6-11-12-13-18-19-20 850,000 m ³	A-A	1							0.995	K154FL
		G-G	1	2.755	K154HD					0.995	K154EGW
			2	2.277	K154ES1						
		D-D	1	2.264	K154GS2					1.154	K154S2E

ru : boşluk suyu basıncı oranı

k : yatay deprem katsayısı

1 : YASS düřtürülmüş

2 : YASS otoyol ekseninde 930 m kotunda

3 : YASS otoyol ekseninde 920 m kotunda

* tüm kayma yüzeyi boyunca 15° sürtünme açısı

Bu neticeler, daha küçük ölçekli ara kaymaların da ihtimal dahilinde olduğunu göstermektedir. Bu ara yüzeylerin bir kısmında hareket oluşmuş olması nedeniyle andezitik aglomera içerisinde kalan kısım için daha düşük içsel sürtünme açısı kullanılması uygun bulunmuştur. Bu amaçla kayma yüzeyinin tümünde kullanılması uygun olacak ortalama bir sürtünme açısı belirlemeye yönelik olarak geri hesap yöntemi kullanılmış ve $\phi_r'=15^\circ$ ortalama sürtünme açısı belirlenmiştir (K154PN3). Sonuç olarak analizlerin bir kısmı bu parametre kullanılarak yapılmıştır.

Sözkonusu heyelan kütesinin tam olarak drenajının temin edilmesi, proje kriteri olarak verilen güvenlik faktörünü sağladığı halde, heyelan boyutu (~30-35 m derinlikte ve ~300 m boyunda) nedeniyle, olağan drenaj önlemleri olarak (örneğin yatay drenler) öngörülen yeraltı su seviyesine ulaşılması olası görülmemektedir. Bu nedenle heyelanın orta kesiminde, iten kuvvetleri azaltmak ve yeraltı su seviyesine ulaşmak amacıyla derin bir kazı yapılması öngörülmüştür. Bu derin kazının alt ve üstünde kalan heyelan malzemesinin drenajının 5.0 m derinliğe varan hendeklerle yapılması amaçlanmıştır.

Mevcut alternatiflerden VII numaralı en uygunu olarak tespit edilmiş ve önerilmiştir. ASKİ tankının kaldırılmasını gerektiren bu alternatifin yüksek miktarda kazı (850.000 m³ bkz Şekil 1 ve Tablo 2) gerektirmesi sebebiyle İşveren ve Müteahhit tarafından benimsenmemesi sebebiyle yapılan alternatifler arasından diğerleri değerlendirilmiştir.

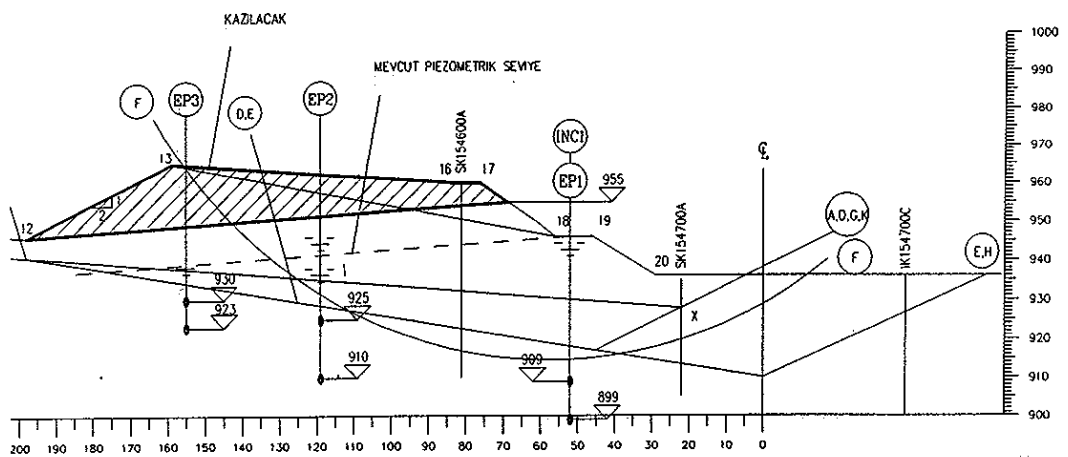
Sonuç olarak verilen tüm analiz ve açıklamalar ışığında 1-7-11-12-13-16-17-18-19-20 noktaları ile tariflenen (Durum III) düzenleme kazısı uygulama projesinin oluşturulması için seçilmiştir. Yapılan analizlerin görece düşük güvenlik katsayıları vermesi sebebiyle projede stabilizeyi gözlemek amacıyla ASKİ tankı etrafına biri iki adet elektrikli piyezometreli ve diğeri ise inklinometre kuyusu olmak üzere toplam iki adet gözlem gözlem kuyusu önerilmiş olup bu gözlem aletlerinin herhangi bir kazı işlemine başlanmadan önce yerleştirilmesi öngörülmüştür. Böylelikle yapılacak kazılar esnasında, sistemin stabilitesi sürekli olarak gözlenecek ve gelişmelere göre ASKİ tankının yıkılması, bir istinat yapısı ile tutulması veya ilave tedbirler yönünde karar verilebilecektir.

Yapım aşamasında gerçekleştirilmesi önerilen gözlem aletlerinden elektrikli piyezometre verileri, stabilize analizlerindeki kabuller dikkate alındığında drenaj

koşulunun temin edildiğini kesinleştirmek bakımından önem taşımaktadır. Elektrikli piyezometreler projede kabul edilenden daha yüksek boşluk suyu basıncının kalıcı olduğunu gösterirlerse, yatay dren, topuk drenajı, kazı vs. önlemler alınması gerekli olacaktır. Bu sebeple onarım projesinin uygulanmasını takiben yerleştirilen aletler aracılığıyla sözkonusu geoteknik parametreler gözlenmiştir.

3. ALETSEL GÖZLEM VE DEĞERLENDİRME

Onarım projesi bu çalışmalar sonucu gerçekleştirilmiş olup inşaata başlanmıştır. Uygulama sırasında aletsel gözlemden elde edilen verilere dayanarak proje kriterlerinden farklılık taşıyan hususların ölçülmesi sonucunda ilave önlemler alınması gerekli olmuştur (ZETAŞ, 1995). Projeye göre yerleştirilmiş olan üç adet piyezometre kuyusundaki toplam 6 adet elektrikli piyezometrede ölçülen boşluk suyu basıncı değerlerinin projede öngörülen sınır değerinin çok üzerinde olması nedeniyle bu şevde projede öngörülmüş olan güvenlik faktörlerinin temin edilmesi amacıyla gerekli olan ilave önlemler tasarlanmıştır. Bu yönde drenaj, kazıklı istinat yapısı ve ilave kazı yapılmasını içeren stabiliteyi artırıcı ilave önlemler farklı alternatifler dahilinde analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Burada inşasına karar verilen kazı alternatifi özetlenmiştir.



Şekil 4. B4 Alternatifi İlave Kazı Kesiti (ZETAŞ, 1995)

Alternatif B4 olarak adlandırılan bu çözüm inşasına başlanan kazı geometrisine ilave olarak kayma kuvvetlerini azaltacak şekilde kazı yapılmasını öngörmektedir. Sözkonusu uygulama için öngörülen kesit Şekil 4'te görülmektedir. Bu durumda yeni kesit ve ölçülen piyezometrik seviye altında yapılan stabilite analizleri statik olarak 1.63 ve $k=0.100$ yatay deprem katsayısı için 0.94 güvenlik faktörü vermiştir. Kazı sonrası piyezometrik seviyenin bir miktar düşmesi halinde statik ve deprem güvenlik faktörlerinde bir miktar daha iyileşme beklenmektedir.

Aletsel ölçüm ve gözlemlemenin bu yönde kullanımı zemin şartlarındaki belirsizliklerin projelendirme karşısına çıkardığı sorunların çözümüne örnek teşkil etmektedir. Meydana gelen heyelanın çeşitli analizler sonucu geliştirilen alternatifler arasından seçilen onarım projesi açısından büyük önem taşıyan kayma mekanizmasını belirleyen zemin parametrelerinin gözlenmesi yoluyla ilave önlemler alınması gerekmiş ve ekonomik açıdan en uygun çözüm güvenliği kontrol edilerek geliştirilmiştir.

4. SONUÇ

Otoyol inşaatı esnasında gerek yarmaların teşkilinde, gerekse dolgularda stabilite sorunları ile karşılaşmaktadır. Bu durumlarda, hareket ve karar mekanizmasının doğru olarak modellenmesi ve onarımı müteakip güvenliğin sağlanması önem taşımaktadır. Bu maksatla Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolunda meydana gelen bir heyelan ve onarım projesi bu bildiri kapsamında özetlenmiştir. Söz konusu projede zemin mekanizmasının belirsizliğinin proje açısından getirdiği zorlukların giderilebilmesi açısından aletsel gözlemin kullanımının önemi vurgulanmıştır.

Onarım projesi kapsamında yürütülen zemin etüdüleri ve aletsel gözlemden elde edilen verilerle zemin tanımlaması yapılmış ve kayma mekanizması belirlenebilmiştir. Oluşturulan modeller üzerinde geri hesap yöntemi kullanılarak, stabiliteyi kontrol eden zemin mukavemet parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerin geliştirilen onarım projelerinde kullanımına ait gerçek örnekler sunulmuştur. Heyelan kesitinde stabiliteyi gerekli sınırlara yükseltebilmek için farklı kazı alternatifleri tasarlanmış ve bunların çeşitli kayma yüzeyleri ve farklı piyezometrik seviyeler için stabilite analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda seçilen projenin uygulanmasına geçilmiştir. Projeyi yapan firmanın uyarıları dorultusunda kazı sırasında hareketleri ve boşluk suyu

basıncını gözlemek için inklinometre ve elektrikli piyezometre yerleştirilmiştir. Aletset gözlem verileri sonucunda ilave önlemler alınması gerektiği anlaşılmış ve yeni kazı geometrisi ve gözlenen piyezometrik seviye kullanılarak yapılan stabilite analizleri sonuçlarına göre uygulamaya geçilmiştir.

TEŞEKKÜR

Proje çalışmaları boyunca devamlı koordinasyon ve işbirliği sağlayarak böyle bir uygulamada önerilen arazi ölçümlerinin gerçekleşmesini temin eden ENKA-BECHTEL O.G. merkez ve şantiye grubu, kontrollük teşkilatı KUTLUTAŞ-SWK ve tüm değerlendirmeler boyunca kıymetli görüşlerini veren Karayolları Genel Müdürlüğü teknik personeline teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Çetinkaya N. N., Durgunoğlu H. T., Kulaç H. F., Karadayılar T. (1993). “Ankara, İstanbul ve İzmir Bölgeleri Deprem Riski Analiz Karşılaştırmaları”, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, s. 539-546, İstanbul.

Durgunoğlu H. T., Kulaç H. F., Karadayılar T., İkiz S., Öge A.C. (1994). “Heyelanların Onarımı Üzerine Vaka Analizleri”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Beşinci Ulusal Kongresi, Cilt II, s. 391-402, Ankara.

Durgunoğlu H. T., Kulaç H. F., Öge A.C., İkiz S., Karadayılar T., (1995). “Two Case Studies Related to the Landslide Remedial Designs”, Seventy Years of Soil Mechanics Conference, s. 55-67, İstanbul.

ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. (1995) “Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu Km 154+650 Heyelanı Onarım Projesi İlave Alternatif Önlemler Karşılaştırması Ön Hesap/Rapor/Metraj/Projesi”, İstanbul