

HEYELANLARIN ONARIM PROJELERİ ÜZERİNE VAKA ANALİZLERİ

Prof.Dr. Turan DURGUNOĞLU, Boğaziçi Üniversitesi
İnş. Yük. Müh. H. Fatih KULAÇ, ZETAŞ
İnş. Yük. Müh. Turhan KARADAYILAR, ZETAŞ
İnş. Yük. Müh. Selim İKİZ, ZETAŞ
İnş. Yük. Müh. A. Canan ÖGE, ZETAŞ

ÖZET

Bu bildiri Türkiye'de inşa edilmekte olan Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu'nun üç ayrı kesiminde, heyelan potansiyeli yüksek bölgelerden geçilmesi zorunluluğu nedeniyle oluşan heyelanların onarım projelerinin hazırlanması üzerine yapılan çalışmalar sunulmuştur. Öncelikle bu projelerin hazırlanması esnasında gerçekleştirilen yüzeysel jeoloji, sondaj, laboratuvar 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 projelerinin yeterliliğini tahkik etmek amacıyla uygulanan ve yüzeysel röperler, inklinometreler ve piezometre/yeraltı suyu gözlem kuyularından oluşan aletsel gözlem çalışmalarının, hazırlanan projenin optimizasyonu açısından önemi vurgulanmıştır.

SUMMARY

In this paper, case studies are presented investigating three landslides took place at different sections of Gerede-Ankara and Ankara Peripheral Motorway due to presence of high landslide-potential regions. Firstly, the data obtained from the surface geology studies, borings, laboratory and monitoring works are summarized. Then the geotechnical profiles and 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 landslide remedial design project. The importance of the instrumentation and monitoring including surface benchmarks, inclinometers and piezometers on the optimization of the remedial design is emphasized.

HEYELANLARIN ONARIM PROJELERİ ÜZERİNE VAKA ANALİZLERİ

1. GİRİŞ

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

Bildiri kapsamında sunulan ilk heyelan, otoyolun Gerede-Ankara kesiminde Km 63+400 konumundaki viyadüğün doğu yamacında oluşmuştur. Heyelanın oluştuğu Mayıs 1990 ile Temmuz 1992 arasında ve sonrasında proje ve inşaat çalışmaları sürmüştür. İkinci heyelan ise Çevre Yolu üzerinde Km 154 civarındaki yarmanın sol şevinde ani bir göçme şeklinde oluşmuştur. Temmuz 1993 tarihinde olan bu heyelan için zemin etüd, proje ve projeye esas aletsel gözlem çalışmaları tamamlanmış olup inşaat ve inşaatı yönlendirici nitelikteki aletsel gözlem ise sürmektedir. Bildirideki üçüncü stabilite bozukluğu ise Gerede-Ankara kesiminde Km 42+500 dolgusunda oluşmuştur. Bu dolguda çok kısa süre içerisinde aletsel gözlem verilerinden yararlanılarak oluşturulan ve halihazırda inşaatı tamamlanmış olan onarım projesi özetlenmiştir.

2. GERED-ANKARA VE ANKARA ÇEVRE OTOYOLU Km 63+400 BUĞRALAR HEYELANI

2.1. Heyelan Hareketi

Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu Km 63+400'de Buğralar konumunda, otoyolun geçtiği vadinin doğu yamacında, Mayıs 1990'da Buğralar Köprüsü inşaatı esnasında gerçekleştirilen bir kazıyı takiben büyük ölçekli bir heyelan meydana gelmiştir. Kayan malzemenin büyük bir kısmının kaldırılması, alt drenlerin ve alt kotta bir kaya payandanın teşkilinden sonra geçen sürede heyelan geriye doğru ilerlemiş ve Temmuz 1992 itibariyle gözlenen haliyle kaya payandaya dayanmıştır.

2.2. Zemin Koşulları ve Hareketin Mekanizması

Heyelanın gerçekleştiği sahadaki zemin koşulları yapılan arazi ve zemin etüdüleri sonucunda belirlenmiştir. Heyelan konumunda Şekil 1'de görüldüğü üzere, üstte kolüvyon (Qc), altında, alt kotlarda kilitli (CLS), üst kotlarda ise önce tüflü kilitli (TCL) ve bu tabakanın altında da kilitli mevcuttur. Üst kotlarda kolüvyon kalınlığı azalmaktadır. Alt kotlarda heyelanın kolüvyon/kilitli ara yüzeyinden (kayma yüzeyi #a) olduğu anlaşılmaktadır. Üst kotlarda ise heyelanın sığ kolüvyon/tüflü kilitli (kayma yüzeyi #b) veya daha derin tüflü kilitli/kilitli (kayma yüzeyi #c) ara yüzeyinden olması olasılığı bulunmaktadır. Bu bakımdan bu üç değişik yüzey için her kesitte ayrı stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Dairesel kayma mekanizmaları bilgisayarda "Modifiye Bishop" yöntemini kullanan, daireli olmayan kayma mekanizmaları ise yine bilgisayarda "Janbu" metoduna dayanan, şev stabilite analizleri ile incelenmiştir. Analizler esnasında yeraltı suyu gözlem kuyuları teşkil edilerek belirlenen yeraltı suyunun konumu, sondajlardan elde edilen zemin verileri ve mevcut alt dren sistemi dikkate alınmıştır. Sahada belirlenen formasyonlar için kabul edilen geoteknik parametreler Tablo 1'de özetlenmiştir. Skempton (1964) tarafından kayma yüzeyi boyunca kayma mukavemetinin heyelandan önce pik içsel sürtünme açısı, ϕ' , heyelandan sonra ise artık rezidüel içsel sürtünme açısı, ϕ_r' ile belirlenebileceği açıklanmıştır. Rezidüel kohezyon değeri, c_r ise sıfır olarak alınmıştır.

2.3. Stabilite Analizleri ve Önerilen Onarım Projesi

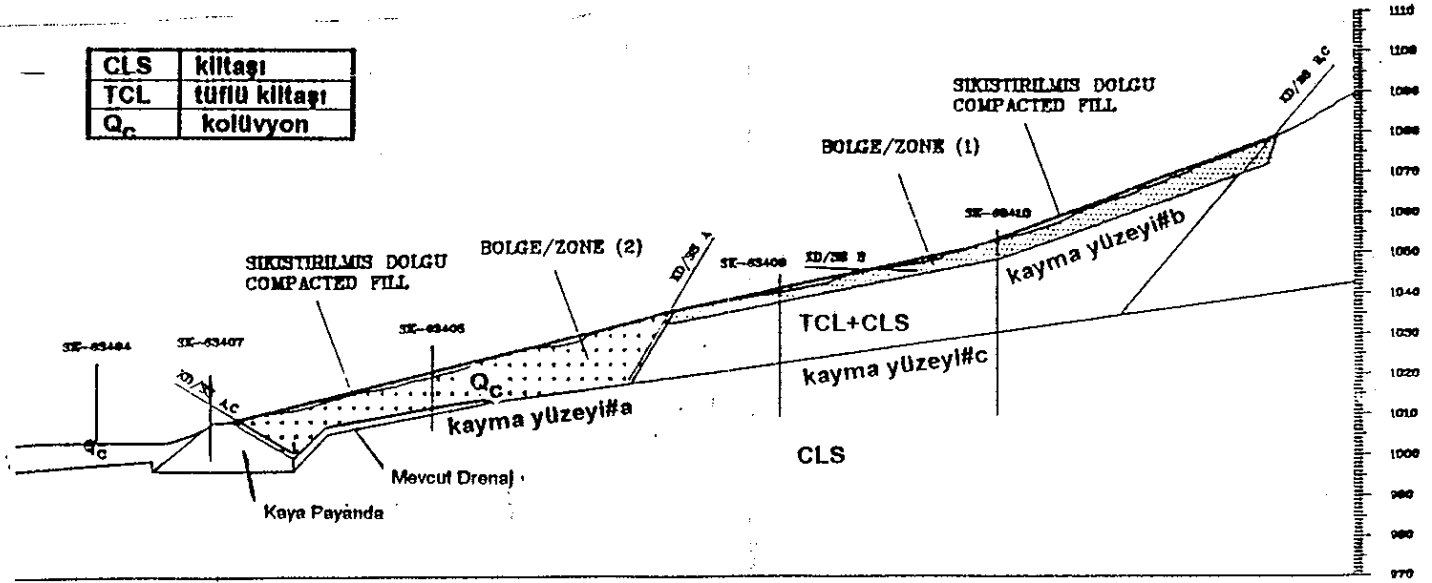
Temmuz 1992 itibarıyla gözlenen durum ve önerilen onarım sonrası durum için çeşitli stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir (ZETAŞ, 1992a). Her iki durumun özeti üç kesit ve üç ayrı kayma yüzeyi için Tablo 2'de verilmiştir.

Heyelanın Temmuz 1992 itibarıyla gözlenen durumu için gerçekleştirilen stabilite analizleri Kesit 1'in kritik olduğunu ve daha önce ana kaya kotuna kadar kazılmış olan bölgeye biriken alt kolüvyonun daha da kayarak (kayma yüzeyi #a) kaya payandanın üzerinden aşmasının (FS=0.89) olası olduğunu göstermiştir (Bknz. Şekil 1). Her üç kesitte gerçekleştirilen analizler üstteki kolüvyonun (kayma yüzeyi #b) stabilitesinin bozuk olduğunu ve heyelanın daha üst kotlara çıkabileceğini de (FS=0.75-0.92) göstermiştir. Çok derinden (tüflü kilitli/kilitli ara yüzeyi, kayma yüzeyi #c) tüm kütlelerin heyalan etmesinin daha sığ heyelanlara göre daha az olası olduğu üç kesitte gerçekleştirilen analizler sonucu görülmektedir.

Temmuz 1992 itibarıyla gözlenen durumu ile heyelan daha önce yapılmış olan ve heyelanın onarılmasına yönelik imalatları tehdit eder ve geriye doğru yayılma eğilimi

ŞEKİL 1. Km 63+400 BUĞRALAR HEYELANI -TİPİK GEOTEKNİK KESİT

KESİT/SECTION (1)



TABLO 1. GEOTEKNİK PARAMETRELER

Malzeme	c_r' (kPA)	ϕ_r' (derece)	γ_n (kN/m ³)
(1) Kollüvyon	0	14*	19
(1a) Sıkıştırılmış dolgu	25	25	20
(2) Kaya dolgu	0	42	20
(3) Tüf-kiltaş	25	25	19
(4) Kiltaş	50	25	19

* Zetas tarafından Mayıs 1990 heyelanı için gerçekleştiren geri hesaplar $\phi_r' = 14^\circ$ vermiştir.

TABLO 2. STABİLİTE ANALİZLERİ ÖZET TABLOSU

KESİT	GÜVENLİK FAKTÖRÜ			AÇIKLAMA
	#a	#b	#c	
1	0.89	0.75	1.33	Temmuz 1992 itibariyle gözlenen Durum
2	1.43	0.82	1.49	Temmuz 1992 itibariyle gözlenen Durum
3	1.12	0.92	1.58	Temmuz 1992 itibariyle gözlenen Durum
1			1.34	Kazı 1 ve 2 sonrası
1			1.68/1.75*	Son durum
2			1.92/2.02*	Son durum
3			2.11/2.19*	Son durum
1			0.94	Deprem (0.2g)
1	Dairesel min. FS=2.36			Son Durum
1	Dairesel min. FS=1.27 (0.2g)			Son Durum

* Dolgu için $\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ alınarak yapılan analizler

gösterir bir durumdadır. Bu nedenle heyelan eden kütlenin stabilitesini artırıcı onarım çalışmaları gerekli görülmüştür.

Önerilen onarım çalışmaları özetle, alt kotta yaklaşık olarak Mayıs 1990'da heyelan etmiş olan ve tüflü kilitaşının belirginleştiği/kolüvyonun sığılaştığı kotlara kadar heyelan eden kütlenin ana kaya kilitaşına (CLS) veya daha önce yapılan drenaj üst kotuna kadar kaldırılması, daha üst kotlarda ise min. 5.0 m veya tüflü kilitaşına (TCL) kadar sadece kolüvyonun kaldırılmasına yönelik bir çeşit derin sıyırma kazısı yapılması, en son olarak ise kazılan kısımların doğal topoğrafyayı yakalayacak şekilde sıkıştırılmış zemin ile doldurulmasıdır. Alt kazının yapılması esnasında ek alt drenlerin yapılması önerilmiştir. İmalat aşamaları aşağıda sıralandığı şekilde öngörülmüştür :

- * Üst kotlarda 5.0 m veya TCL'ye kadar kazı yapılması (Bölge 1).
- * Alt kotlarda ana kayaya CLS'ye kadar kazı yapılması. Bu esnada Bölge 1'de yerleştirilen oturma röperleri ile üst TCL içerisinde oluşabilecek hareketlerin izlenmesi.
- * Alt drenlerin imalatı.
- * Kazılan kısımların kısa bir süre içerisinde sıkıştırılmış zemin ile doldurulması.
- * Yüzeysel drenlerin imalatı.

Alt kazı (Bölge 2) esnasında kritik olabilecek kayma yüzeyi #c için kazı sonrasında stabilite hesabı $FS=1.34$ vermektedir. Temmuz 1992 itibariyle gözlenen durumda (kazı öncesi) aynı yüzeyde stabilite tahkiki $FS=1.33$ güvenlik faktörü vermiştir. Bu durumda, Bölge 2 kazısının mevcut stabilite durumunu kritikleştirmediği görülmektedir. Ancak herhalikarda, Bölge 2'deki kazı ve dolgu çalışmalarında üst TCL içerisinde oluşabilecek hareketlerin oturma röperleri ile izlenmesi ve dikkatle çalışılması önerilmiştir.

Analizlerde onarım sonrası hal ile Temmuz 1992 itibariyle gözlenen hal için hesaplanan güvenlik faktörleri karşılaştırıldığında stabilite açısından, önerilen onarım neticesinde önemli bir gelişme elde edildiği ve son durumun yeterli güvenlikte olduğu sonucuna varılarak projenin uygulanmasına başlanılmıştır.

Bu aşamada, projede öngörülen Bölge 1 ve Bölge 2 kazıları ve drenaj işlerinin gerçekleştirilmesi esnasında Mühendis'in talebi üzerine Bölge 1 ile Bölge 2 arasında oluşturulan geçici kaya payandanın muhafaza edilmesi ve Bölge 1 dolgusunun bir kısmını yapmamak olasılıkları araştırılmıştır. Ayrıca mevcut payandanın önüne ilave bir payanda yapılması stabilite açısından gerekli bulunmuştur. Projenin son aşaması olarak yedi değişik geri dolgu konfigürasyonu için stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Projede Bölge 1'de orijinal doğal zemin kotlarına kadar geri dolgu yapılması öngörüldüğünden

kaya payanda yakınında (Bölge 2/kaya payanda ara yüzeyinde) yüzeylenen kayma yüzeyleri ve Bölge 1'deki geri dolgunun minimize edilmesi amaçlanarak daha üst kotlarda yüzeylenebilecek kayma yüzeyleri araştırılmıştır. Bu durumda Bölge 1 ve 2'deki geri dolgu kotlarını bir miktar yükseltmek gerekli olmuştur. Hazırlanan onarım projesi arazide uygulanmış ve yapılan gözlemler sonucu stabilitenin temin edildiği belirlenmiştir.

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

3.1. Heyelan Hareketi

Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu Km 154'deki takriben 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 yapılan kazıyı takip eden bu ilk hareketin boyutu birinci palyede 0.5 m olarak gözlenmiştir. Kayma yüzeyi şev topuğunun takriben 300 m arkasında bulunan 5000 m³'lük ASKİ su tankı konumuna kadar uzanmaktadır. Değişik çatlak oluşumları ana kayan bloğun içerisinde ikincil hareketlerin varlığını da kanıtlamaktadır.

3.2. Zemin Koşulları ve Kayma Mekanizması

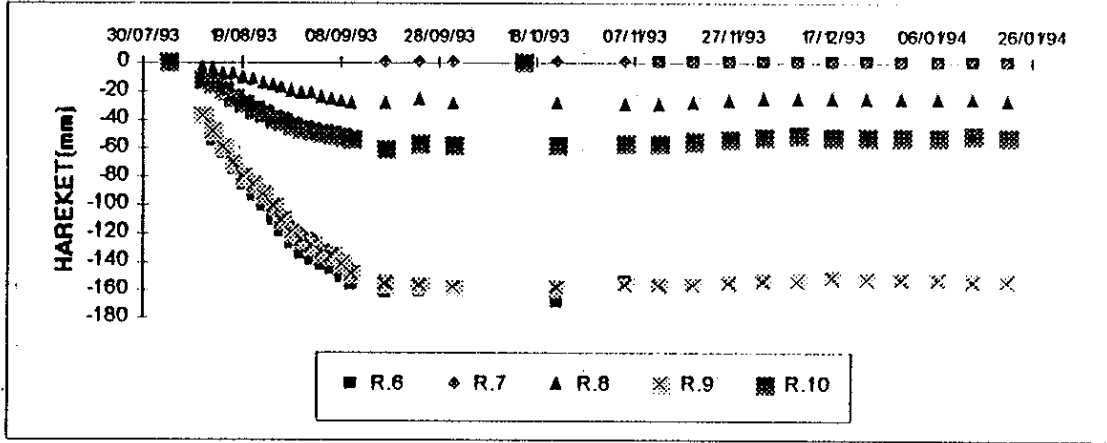
Zemin koşulları sondaj çalışmaları, inklinometre, PVC boru ve yüzeysel röperlerin yerleştirilmesini içeren kapsamlı bir zemin etüdünün uygulanması sonucu belirlenmiştir. Heyelanın gerçekleştiği sahada zemin genel itibariyle andezitik aglomeradır. Bu formasyon içerisinde yer yer killeşmiş tabakalar geçilmektedir. Sondajlarda rastlanan yeraltı suyu seviyesi yüksek olup birinci palyenin üzerinde yüzeye çıkmaktadır. Yeraltı suyu seviyesini gözlemek amacıyla piezometrelerin yerleştirilmesine karar verilmiştir.

En olası kayma yüzeyi için gerçekleştirilmiş olan 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. Tablo 3'de analizlerde kullanılan geoteknik parametreler özetlenmiştir.

TABLO 3. GEOTEKNİK PARAMETRELER

Malzeme	c_r' (kPa)	ϕ' (derece)	γ_n (kN/m ³)
Andezitik aglomera	0	30	19
Andezitik aglomera/Kiltaşı arayüzeyi	0	9	
Andezitik aglomera/Kil arayüzeyi	0	9	
Kinematik olarak kayma olmaz			

Etüd ve proje aşamasında gerçekleştirilen aletsel gözlem çalışmaları, inklinometre ve yüzeysel röperlerden oluşmaktadır. İnklinometre okumaları, kayma yüzeylerinin derinliğinin belirlenmesine yönelik olarak kullanılmıştır. Örneğin Şekil 2'de INCI olarak gösterilen inklinometreden elde edilen zamana bağlı okumalar takriben 929 m kotunda bir hareketin varlığını kanıtlamaktadır (Bknz. Şekil 4). Yüzeysel röperler ise inklinometre okumalarını desteklemiştir. Bu röperlerden geliştirilen grafikler zaman içerisinde heyelanın gelişimi hakkında bilgi vermiştir. Şekil 3'de tipik bir örnek verildiği üzere tüm yüzeysel röperler Ekim 1993 tarihinden itibaren yapılan kazı çalışmaları ile heyelanın yavaşladığı ve durduğunu göstermektedir.

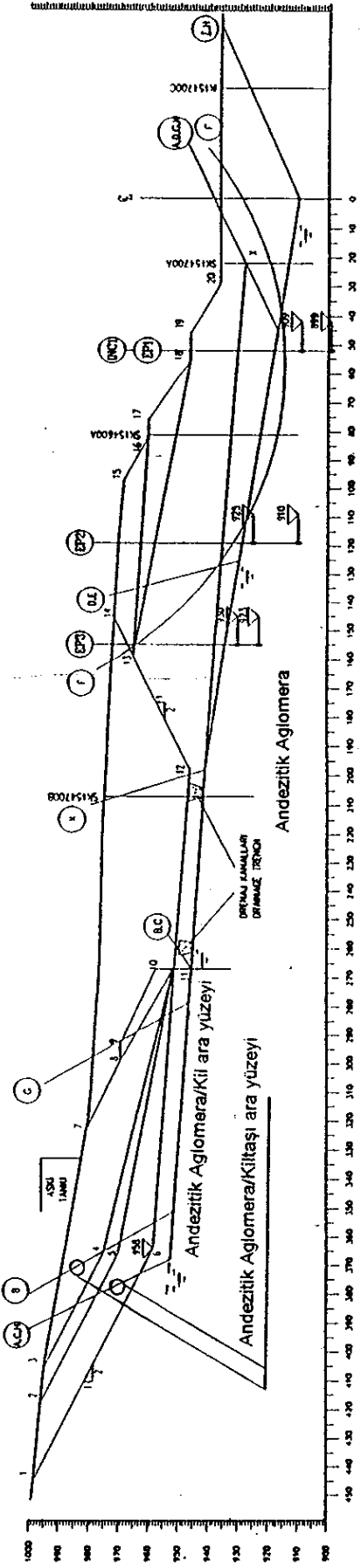
ŞEKİL 3. OTURMA RÖPERİ OKUMALARI

3.3. Stabilite Analizleri ve Önerilen Onarım Projesi

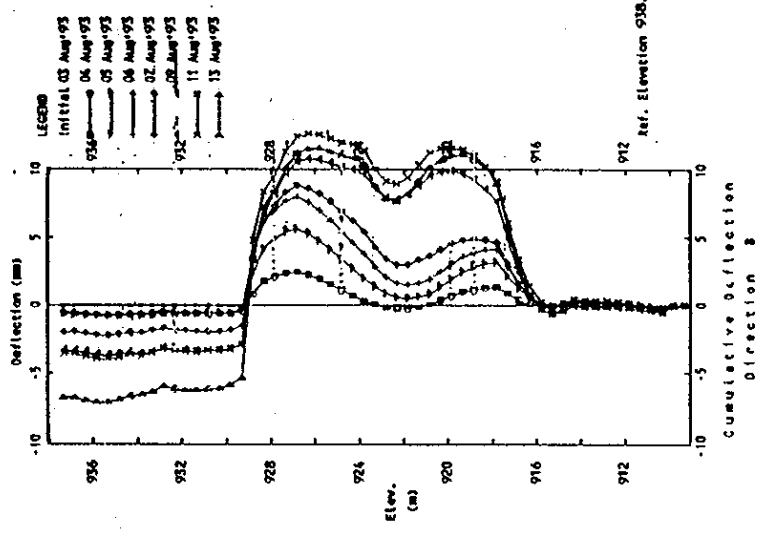
Mevcut topoğrafya ve değişik düzenleme kazısı geometreleri için birçok stabilite analizi gerçekleştirilmiştir (ZETAŞ, 1994). Tablo 4'de yapılan analizler özetlenmiştir. Şekil 2'de her alternative ait kazı geometrisi gösterilmiştir.

Mevcut durumda (1-2-3-7-14-15-16-17-18-19-20 noktaları ile tarifli) sahadaki yüksek yeraltı suyu seviyesi altında andezitik aglomera/kil-kiltaşı ara yüzeyinde, A-A kayma kütleleri için FS=1.0 güvenlik faktörü elde edilmektedir (K154A). Mevcut topoğrafya için tamamen drenajlı koşulda A-A yüzeyi boyunca stabilite analizi statik durumda FS=1.547 (K154DRY) ve k=0.10 deprem durumunda FS=0.966 (K154DR1) güvenlik faktörleri vermektedir. Bu durumda hiç kazı yapılmadan, tamamiyle drenajın temin edilebilmesi

ŞEKİL 2. Km 154+650 HEYELANI TİPİK KESİT



ŞEKİL 4. İNKLINOMETRE 1 OKUMALARI



TABLO 4. STABİLİTE ANALİZLERİ ÖZET TABLOSU

KAZI GEOMETRİSİ EXCAVATION GEOMETRY	KAYMA YÜZEYİ SLIP SURFACE	YASSI GMT	STATİK Run no.	Güvenlik Faktörü / Factor of Safety Run no.	Run no.	Run no.	
							Run no.
I 1-2-3-4-11-12-13-16-17-18-19-20 MEVCUT DURUM/PRESENT CASE	A-A	Present	1018	1.018	1154A	1154A	1154A
	A-A	DRY	1547	1.547	1154ORY	1154ORY	1154ORY
	D-O	Present	1159	1.159	1154PNT	1154PNT	1154PNT
	D-O	Present	1048	1.048	1154PNC	1154PNC	1154PNC
	E-E	Present	1269	1.269	1154PNC2	1154PNC2	1154PNC2
	F-F	run0.15	1030	1.030	1154PNC	1154PNC	1154PNC
	F-F	run0.05	1180	1.180	1154PNC1	1154PNC1	1154PNC1
	C-C	Case I	1332	1.332	1154T1S	1154T1S	1154T1S
	A-A	Case II	1310	1.310	1154XS	1154XS	1154XS
	A-A	Case III	1442	1.442	1154XST	1154XST	1154XST
II 1-2-5-11-12-13-16-17-18-19-20 KAZIKLI DUVAR/PILED WALL 425,000m ³ 430,000m ³	A-A	Case II	1322	1.322	1154XSS2	1154XSS2	1154XSS2
	C-C	Case I	1913	1.913	1154XTS	1154XTS	1154XTS
	C-C	Case I	1099	1.099	1154XKZ	1154XKZ	1154XKZ
	A-A	Case I	1579	1.579	1154MSX	1154MSX	1154MSX
	A-A	Case I	1394	1.394	1154LZS	1154LZS	1154LZS
	A-A	Case I	1701	1.701	1154LS	1154LS	1154LS
	A-A	Case III	1030	1.030	1154L	1154L	1154L
	A-A	Case II	1091	1.091	1154L1	1154L1	1154L1
	A-A	Case II	1255	1.255	1154LSX	1154LSX	1154LSX
	A-A	Case I	1111	1.111	1154LW1	1154LW1	1154LW1
III 1-4-11-12-13-16-17-18-19-20 430,000m ³	A-A	Case I	1451	1.451	1154LD	1154LD	1154LD
	A-A	Case I	1177	1.177	1154LW	1154LW	1154LW
	A-A	Case I	1018	1.018	1154LZD	1154LZD	1154LZD
	A-A	Case I	1487	1.487	1154LE	1154LE	1154LE
	A-A	run0.05	1350	1.350	1154RNC1	1154RNC1	1154RNC1
	A-A	run0.05	1370	1.370	1154RNC3	1154RNC3	1154RNC3
	A-A	Case I	1297	1.297	1154LZE	1154LZE	1154LZE
	A-A	Case I	1809	1.809	1154HT	1154HT	1154HT
	A-A	Case I	1995	1.995	1154F1	1154F1	1154F1
	A-A	Case I	1995	1.995	1154EGW	1154EGW	1154EGW
IV 1-2-5-11-12-13-16-17-18-19-20 600,000m ³	A-A	Case II	1277	1.277	1154NE1	1154NE1	1154NE1
	A-A	Case I	1254	1.254	1154GS2	1154GS2	1154GS2
V 1-2-5-11-12-13-16-17-18-19-20 700,000m ³	A-A	Case I	1809	1.809	1154HT	1154HT	1154HT
	A-A	Case I	1995	1.995	1154F1	1154F1	1154F1
VI 1-4-11-12-13-16-17-18-19-20 850,000m ³	A-A	Case I	1995	1.995	1154EGW	1154EGW	1154EGW
	A-A	Case I	1254	1.254	1154GS2	1154GS2	1154GS2

halinde mevcut (doğal) geometri ile statik durumda yeterli güvenlik faktörü elde edildiği, deprem durumunda ise yeterli güvenlik faktörüne çok yaklaşıldığı görülmüştür. Diğer kayma yüzeyleri için gerçekleştirilen analizler de kritik değere yakın güvenlik faktörleri vermektedir. Bu neticeler, daha küçük ölçekli ara kaymaların da olası olduğunu göstermektedir. Bu ara yüzeylerin bir kısmında hareket oluşmuş olması nedeniyle andezitik aglomera içinde 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.

Konu heyelanın tam olarak drenajının temin edilmesi, proje kriteri olarak verilen güvenlik faktörlerini sağladığı halde, heyelan boyutu (~30-35m derinlikte ve ~400m boyunda) nedeniyle, olağan drenaj önlemleri alınarak (örneğin yatay drenler) yeraltı suyu seviyesine ulaşılması olası değildir. Bu nedenle heyelanın orta kesiminde, iten kuvvetleri azaltmak ve yeraltı suyu seviyesine ulaşmak amacıyla derin bir kazı yapılması öngörülmüştür. Bu derin kazının alt ve üstünde kalan heyelan malzemesinin drenajının 5.0m derinliğe varan hendekler ile yapılması amaçlanmıştır.

Düzenleme kazısı analizleri esnasında ASKİ tankının kaldırılması veya otoyol standartlarına uygun güvenlik faktörü sağlayan kazıklı bir istinad yapısı ile tutulması alternatifleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak verilen tüm analiz ve açıklamalar ışığında 1-7-11-12-13-16-17-18-19-20 noktaları ile tariflenen düzenleme kazısı uygulama projesinin oluşturulması için seçilmiştir. Projede ASKİ tankı etrafına biri iki adet elektrikli piyezometreli ve diğerisi ise inklinometre kuyusu olmak üzere toplam iki adet 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 veya bir istinat yapısı ile tutulması gerekebilecektir. Yapım aşamasında gerçekleştirilmesi önerilen gözlem aletlerinden elektrikli piyezometre verileri, stabilite 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 vs. önlemler alınması gerekli olacaktır. Bu onarım projesi de ölçüm önerileri ile birlikte uygulanmış, önerilen kazı ve drenaj sisteminin inşasını müteakip gerekli stabilitenin temin edildiği görülmüştür.

4. GEREDE-ANKARA VE ANKARA ÇEVRE OTOYOLU Km 42+500 DOLGUSU

4.1. Heyelan Hareketi

Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu, takriben 30.0 m yüksekliğindeki Km 42+500 dolgusunda otoyol kaplamasında otoyol işletmeye açılmadan önce, boyuna bazı çatlaklar oluşmuştur. Bu dolgu kesimi için, meydana gelen çatlakların oluşum mekanizmasının belirlenmesi ve ilgili onarım projesinin hazırlanmasına yönelik olarak zemin etüdü ve aletsel gözlem programı oluşturulması amacıyla ilk olarak Haziran 1992 tarihinde bir arazi etüdü gerçekleştirilmiştir.

4.2. Zemin Koşulları ve Hareketin Mekanizması

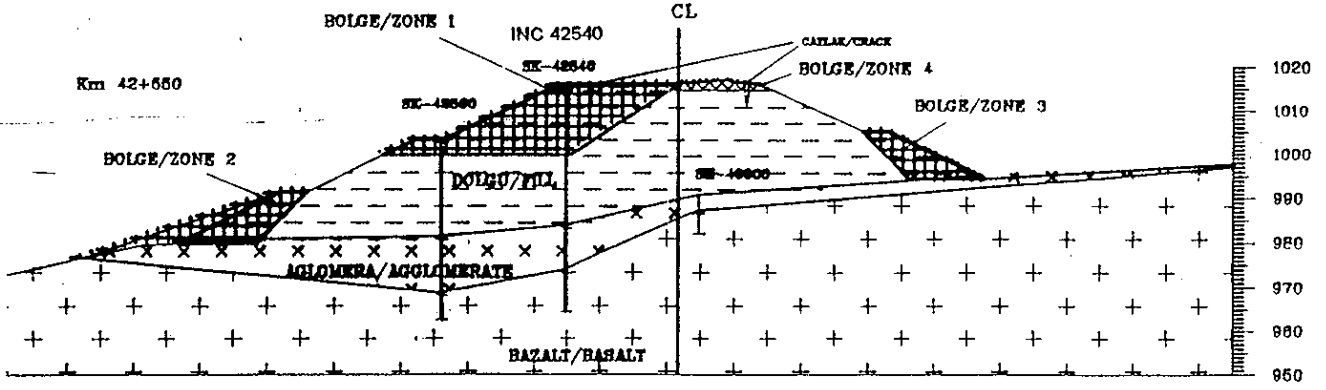
Dolgu alanı zemin koşulları yapılan zemin etüdüleri ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilmiştir. Sahada Şekil 5'de görüldüğü üzere, dolgunun altında temel zemini olarak değişken kalınlıkta aglomera tabakası ve bu tabakanın altında ise bazalt/tüf formasyonu mevcuttur. Bu aşamada oturma röperleri ve inklinometre ile aletsel gözlemler yapılmıştır. Ayrıca otoyolun sağ platformunda oluşan çatlağın her iki tarafında oluşturulan röperler ile gözlenen hareketin 8-9 mm mertebesinde olduğu belirlenmiştir. İnklinometrede en büyük hareketin olduğu doğrultuda kayıt edilen yanal hareketin derinlikle değişimi Şekil 6'da sunulmuştur.

Hareketin ve çatlakların oluşum nedenlerini belirlemek amacıyla sistem, öncelikle konsolidasyon oturmaları ve su etkisi altındaki oturmalar (hydro-compression) bakımından incelenmiştir. Ancak yapılan sondajlar esnasında dolgu içerisinde ve temel zemininde su seviyesine rastlanılmamıştır. Ayrıca temel zeminin aglomera ve bazalt/tüf olması dolayısıyla gözlenen hareketlerin konsolidasyon oturması neticesinde oluşmadığı sonucuna varılmıştır. Dolgudan alınan numuneler üzerinde Modifiye Proktor deneyi yapılarak elde edilen optimum su muhtevasının (w_{opt}) %2-4 kuru tarafında, $w=w_{opt}-(2-4)\%$ olacak şekilde gerçekleştirilen odometre deneyleri ise, 200 kN/m² ve 400 kN/m²'lik düşey yükler altında su verilmesi sonucu, numunelerin oturması ile değil aksine şişmesi ile sonuçlanmıştır. Bu ölçümler ışığında, oturma röperleri ve inklinometre okumalarının değerlendirilmesi ile çatlak oluşumunu, otoyola dik ve vadi tabanına doğru yanal bir hareketin varlığı ile açıklamak mümkün olmuştur.

4.3. Stabilite Analizleri ve Önerilen Onarım Projesi

Sondaj ve laboratuvar verileri ışığında, dolgu malzemesinin normal şartlarda $\phi'=26.5^\circ$ içsel sürtünme açısına (ZETAŞ,1992b) sahip olduğu görülmüş ve aşırı boşluk suyu basıncı oluşması olasılığının düşük olduğu dikkate alındığında yeterli stabiliteyi sağlayabileceği görüşüne varılmıştır. Bu durumda, sızma suları nedeniyle belirli

ŞEKİL 5. Km 42+500 DOLGUSU - TİPİK GEOTEKNIK KESİT

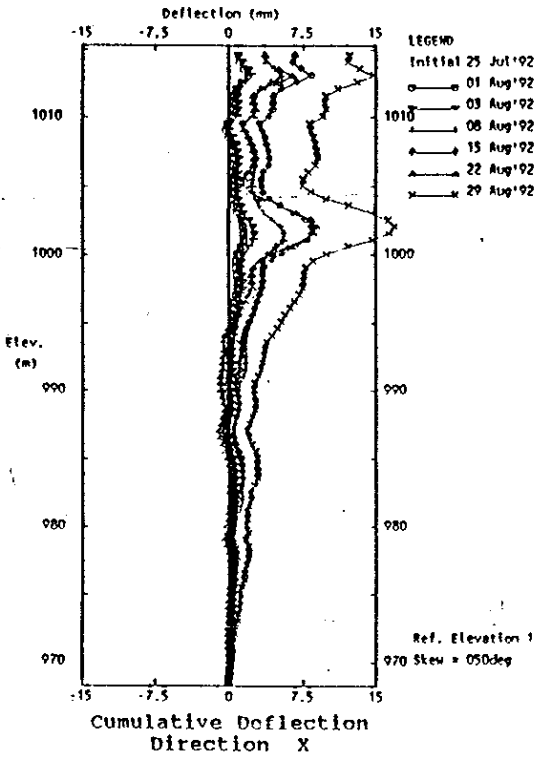


TABLO 5. STABİLİTE ANALİZLERİ ÖZET TABLOSU

Kesit Section	Kayma Yüzeysel Slip Surface	ϕ ϕ'	FS	Açıklama/Explanation
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C1	16	0.898	Mevcut Durum-Geri Hesap Present Case-Back Calculation
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C2	9	0.998	Mevcut Durum-Geri Hesap Present Case-Back Calculation
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C3	15	1.051	Mevcut Durum-Geri Hesap Present Case-Back Calculation
Km 42 + 600	Kama/Wedge	20	1.014	Mevcut Durum-Geri Hesap Present Case-Back Calculation
X-X	Kama/Wedge	18	1.038	Mevcut Durum-Geri Hesap Present Case-Back Calculation
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C1*	16/42	1.907	Onarım Sonrası-Statik After Remedial Works-Static
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C2	9/42	3.251	Onarım Sonrası-Statik After Remedial Works-Static
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C3	15/42	1.654	Onarım Sonrası-Statik After Remedial Works-Static
Km 42 + 600	Kama/Wedge*	20/42	1.401	Onarım Sonrası-Statik After Remedial Works-Static
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C1*	16/42	1.443	Onarım Sonrası-Deprem After Remedial Works-Earthquake
Km 42 + 550	Dairesel/Circular-C3	15/42	1.128	Onarım Sonrası-Deprem After Remedial Works-Earthquake
Km 42 + 600	Kama/Wedge*	20/42	1.132	Onarım Sonrası-Deprem After Remedial Works-Earthquake

FS - 1.0 güvenlik faktörü veren içsel sürtünme açısı
Internal friction angle giving FS = 1.0 factor of safety
 ϕ' : Özel kaya dolgu içsel sürtünme açısı
Special rock fill internal friction angle
FS : Güvenlik Faktörü/Factor of Safety

* Bu durumlar için güvenlik faktörü bölge 1 kazısı/özel kaya dolgu nedeniyle hesaplanandan bir miktar daha yüksektir.



ŞEKİL 6. İNKLİNOMETRE 42540 OKUMALARI

yüzeylerde pik içsel sürtünme açısının azalarak küçük yerel hareketlerle rezidüel değerlere düşmesinin harekete neden olması olasılığı tahkik edilmiştir.

İnclinometre ve çatlak konumları dikkate alınarak üç ayrı kesitte değişik dairesel ve kama kayma yüzeyleri için $FS \approx 1.0$ güvenlik faktörü veren içsel sürtünme açısı değerleri araştırılmıştır. Yapılan geri hesap analizleri sonucunda, bir stabilite bozukluğunun oluşması için pik içsel sürtünme açısının incelenen kesitlerde $\phi_r' = 16-20^\circ$ rezidüel değerine düşmesinin yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Onarım projesi kapsamında sol platformda üst palyedeki dolgunun kaya dolgu malzeme ile değiştirilmesi ve şev dibinde bir kaya payanda teşkili önerilmektedir. Analiz edilen dairesel ve kama yüzeyleri için statik koşullarda elde edilen güvenlik faktörü $FS = 1.40-3.25$ aralığındadır. Projelendirmede yapı ömrüne göre seçilen $k = 0.12g$ yatay deprem ivmesi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde ise $FS = 1.13-1.44$ aralığında güvenlik faktörü değerleri elde edilmiştir. Yapılan stabilite analizleri Tablo 5'de özetlenmektedir. Statik ve deprem koşulları için hesaplanan güvenlik faktörleri yeterlidir. Önerilen onarım projesi uygulanmış, kaplamanın teşkilini müteakip stabilite ve kaplama yüzeyi gözlenmiş, ve benzer bir sorunla karşılaşmadan otoyolun bu kesimi işletmeye açılmıştır.

5. SONUÇ

Otoyol inşaatı esnasında gerek yarmaların teşkili için yapılan kazılarda ve gerekse dolgularda stabilite sorunları ile karşılaşılması temel mühendisliğinde olağan karşılanmaktadır. Bu durumlarda, hareket ve karar mekanizmasının doğru olarak modellenmesi ve onarımı müteakip yeterli güvenliğin sağlanması önem taşımaktadır. Bu maksatla sunulan üç ayrı uygulamaya ait vaka analizi ile aletsel gözlem ve değerlendirmenin önemi vurgulanmıştır.

TEŞEKKÜR

Tüm proje çalışmaları boyunca devamlı koordinasyon ve işbirliği sağlayarak, özellikle böyle bir uygulamada önerilen arazi ölçümlerinin gerçekleştirilmesini 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.

REFERANSLAR

Mayne, P., W., (1980), "Cam-clay Predictions of Undrained Strength", Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol.106, pp.1219-1242.

Skempton, A., W., (1964), "Fourth Rankine Lecture: Long Term Stability of Clay Slopes", Geotechnique, Vol.14, pp.75-102.

ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., (1992a), "Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu Km 63+400 Buğrular Heyelanı Onarım Projesi", İstanbul.

ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., (1992b), "Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu Km 42+500 Dolgusu Onarım Projesi", Cilt 1, İstanbul.

ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş., (1994), "Gerede-Ankara ve Ankara Çevre Otoyolu Km 154+650 Heyelanı Onarım Projesi Uygulama Raporu", İstanbul.