

HEYELAN ISLAHINDA GEREKEN DAYANMA KUVVETİNİN LİMİT DENGE YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

DETERMINING SUPPORT FORCE FOR LANDSLIDE AMENDMENT WITH LIMIT EQUILIBRIUM METHOD

***Evren Poşluk¹, Süleyman Dalgıç², İbrahim Kuşku²,
Elif Apaydın Poşluk²**

¹ *Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları 2. Demiryolu Yapım Grup Müdürlüğü,
11300, Bozüyük-Bilecik*

² *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar-İstanbul*

Yayına Geliş (Recieved): 30.12.15, Yayına Kabul (Accepted): 16.05.16

Basım (Published): Şubat/February 2017

*Corresponding author

Öz

Yüksek standartlı demiryolu güzergah çalışmaları, eğim ve kurp sınırlamaları yüzünden büyük titizlik gerektirir. Özellikle limit denge koşullarındaki eski heyelanlı (paleo heyelan) bölgelerde yapılan kazılar ile gerilim koşullarında dengesizlik oluşur ve bunun sonucunda heyelanlar meydana gelir. Ankara - İstanbul Hızlı Tren Projesinde yer alan (Bilecik İli Vezirhan İlçesi güneyi), yarma şevi imalatı sonrasında, arazide bulunan eski heyelanlar tetiklenmiş, raylarda ondülasyon ile izlenebilen kütle hareketi meydana gelmiştir. Bu çalışmada, meydana gelen kütle hareketinin sebebi ve durdurulması amacı ile oluşturulması gereken toplam dayanma kuvvetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, arazi çalışmaları ile jeolojik birimler ayrırtlanmış, gerilme çatlakları ve inklinometre ölçüm verileri kullanılarak kayma modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde, limit denge koşulunda, geri analiz yöntemi kullanılarak heyelan malzemesi için kütle parametreleri belirlenmiştir. Ardından stabilitenin sağlanması amacı ile deprensiz ve depremli (0,2 g) durumda gerekli olan dayanma kuvveti, “Janbu” metodu ile limit denge analizi yapılarak hesaplanmıştır.

Çalışmalar sonucunda, heyelan kütlelerinin, 500 metre boyunda ve 280 metre genişliğinde bir alanı kapsadığı, derinliğinin 10.20 ile 49.80 m arasında değiştiği ve günlük 1,5 ile 2 mm’ lik bir ivmeyle hareketini sürdürdüğü belirlenmiştir. Yapılan analizler ile heyelanın stabilitesinin sağlanabilmesi için deprensiz durumda 450 kN/m, 0,2 g deprem ivmeli durumunda ise 12500 kN/m kuvvet gerektiği tespit edilmiştir. Yapılan analizler ile uzun dönemde stabilitenin sağlanmasının ancak yük hafifletme, topuğa dolgu ve dayanma yapısı sistemlerinin birlikte değerlendirilmesi ile mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Limit denge analizi, heyelan ıslahı, inklinometre, geri analiz, dayanma kuvveti

Abstract

The high standard railway route studies require great care due to the slope and curve limits. Especially, the disequilibrium occurs in the tension conditions during the excavations in the paleo landslide regions in the limit equilibrium conditions. As a result, the landslides develop. After the cut slope manufacturing in the Ankara-İstanbul High Speed Project (Bilecik city- South of Vezirhan town), the paleo landslides were triggered, no mass movement and undulation were observed along the railroad track. In this study, it is aimed to identify the reason of the mass movement and the total failure strength that must be generated in order to stop the mass movement.

For this purpose, the geological units were determined in the field studies, a slip model was created by using tension crack and inclinometer measurement data. The mass parameters for landslide materials were specified by using the reverse analysis method at the limit equilibrium condition on the created model. Then, with the purpose of providing the stability, the required failure strength both in static and earthquake (0.2 g) situations were calculated by using Janbu method according to principles of limit equilibrium analysis.

In consequence of the studies, it was determined that the landslide mass encloses an area with a length of 500 m and a width of 280 m, its depth varies between 10.2 and 49.80 meters and it moves with a 1.5-2 mm/day acceleration.

As a result of the analysis, it is concluded that 450 kN/m strength in the static situation and 12500 kN/m strength in the situation of 0.2 g earthquake acceleration are required and the stripping-filling and failure structure systems must be evaluated together in order to supply these strengths.

Key words: Limit equilibrium analysis, landslide reclamation, inclinometer, reverse analysis, failure

GİRİŞ

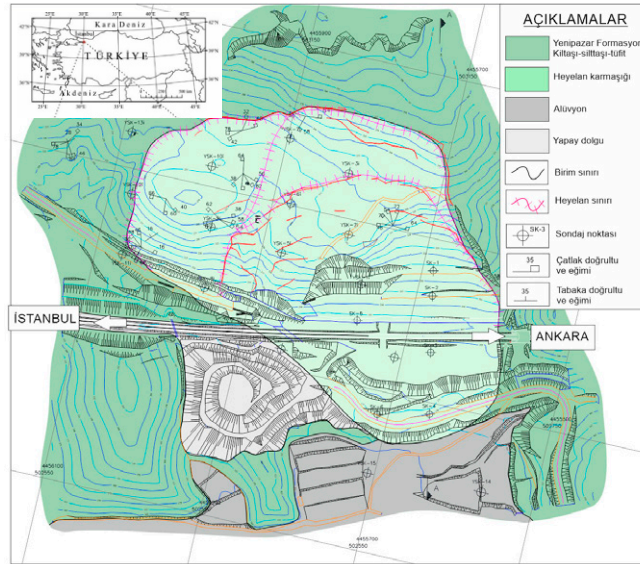
Kaya düşmesi, kayma, akma gibi jeolojik olaylarla anılan heyelanlar, doğal yada insan faaliyetleri sonucunda tetiklenmektedir (Jiao ve diğ., 2013). Bu çalışmada olduğu gibi, yüksek eğimli alanlarda insan faaliyetleri sonucunda gerilim bölgelerinde yamaç boyunca dengesizlik oluşmakta ve büyük heyelan hareketleri hızlandırmaktadır (Maiorano ve diğ., 2014). Özellikle jeolojik ve jeomorfolojik etütlerin iyi yapılmadığı durumlarda maliyet ve zaman kaybı problemleri oluşmaktadır. Güzergah üzerinde bulunan jeolojik birimlerin detaylı incelenmesi, kazı ve desteklemesi zor bölgelerden kaçınılması gelişebilecek riskleri azaltacaktır. Güzergah kesilip imalata geçildikten sonra önemli değişiklikler yapmak olanaksızlaşır (Yılmaz, 1993). Doğal yamaçlarda oluşturulacak şevlerin dizaynı, ön etüt ve proje çalışmalarına gereken önemin verilmesi, jeolojik - jeoteknik etütlerin doğru yapılması, saha ve laboratuvar verilerinin doğru analizi ve değerlendirilmesi ile mümkündür.

Bu çalışmada, Ankara-İstanbul hızlı tren projesi 16 numaralı tünel ile 17 numaralı tünel arasında bulunan şev bölgesinde (Bilecik-Vezirhan) güzergah çalışmaları sırasında, 500 metre genişliğinde bir

alanda tetiklenen heyelan incelenmiştir. Demiryolu güzergah şevleri imalatının ardından geçen sürede raylarda meydana gelen büyük ölçekli ondülasyon ile fark edilen hareketler, yüzeyde yapılan topografik ölçümler ve inklinometre ölçümleri ile takip edilmiş, sonuçlar ile kritik kayma modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde stabilitenin sağlanması amacı ile depremsiz ve depremliler için limit denge yöntemi kullanılarak gerekli olan bileşke dayanma kuvveti belirlenmiş, uzun dönemde stabilitenin sağlanması amacı ile yapılabilecek çalışmalar irdelenmiştir.

ÇALIŞMA ALANI VE GENEL JEOLoji

Ankara-İstanbul hızlı tren proje güzergahında bulunan çalışma alanı, Bilecik İli Vezirhan ilçesi güneyinde (Şekil 1), Karasu Deresi kontrolünde şekillenen yükseklik farklarının oldukça fazla olduğu bir topografyada bulunmaktadır. 16 numaralı tünel ile 17 numaralı tünel arasında, yaklaşık 500 metre uzunluğu olan çalışma alanında 5 birim ayırtlanmıştır. Bunlar ilk proje çalışmaları sırasında yapılan dolgu, alüvyon, heyelan malzemesi ve Üst Kretase yaşlı temel kaya niteliğindeki kiltası, silttaşı, kumtaşı ve tüfit birimlerinden oluşan Yenipazar Formasyonu (Şekil 2).



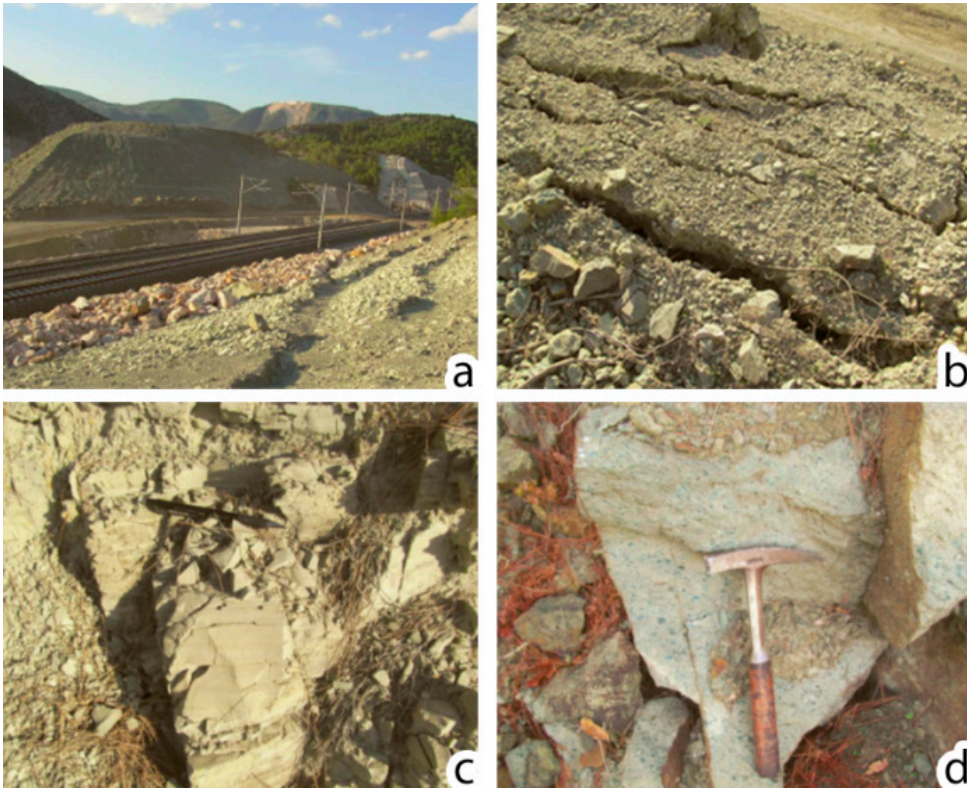
Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon ve jeoloji haritası (UTM 3⁰ projeksiyon sisteminde, European Datum 1950'ye göre) (Yüksel Proje 2013 ve Tokgözoğlu, 2014'den değiştirilerek)

Figure 1. Location and geological map of study area (according to the UTM 3⁰ projection system, European Datum 1950) (Changing from Yüksel Project 2013 and Tokgözoğlu, 2014)

Çalışma alanında yapılan dolgu; genel olarak; yeşil, koyu yeşil renkli, orta katı, nemli, ince yer yer iri taneli, killi kumlu çakıllı bloklardan oluşmaktadır (Şekil 2a). Çalışma alanının batısında, Karasu deresine yakın alanda yer alan alüvyon birimi genel olarak; gri, kahverengi renklerinde, gevşek, ince yer yer iri taneli, killi çoğunlukla siltli ve kumlu çakıl ve çakıllı kumdan oluşmaktadır.

Heyelan malzemesini oluşturan karmaşık içerisinde 0,5 ila 2 cm boyutları arasında değişen volkanik kayaç parçaları bulunduran tüfit birimlerinden meydana gelmiştir (Şekil 2b). Birim çoğunlukla yeşilimsi gri renkli, zayıf yer yer orta sert dayanımlı, çok, yer yer tümüyle ayrılmış, çatlak yüzeyleri kil dolgulu bir yapıdadır.

Çalışma alanında temel kayayı oluşturan Yeni-pazar Formasyonu 2 farklı litoloji ile temsil edilir. Bu birimler en üstte tüfit seviyesi, altında tekil ve ardalımlar halinde kiltası, silttaşı ve yer yer kumtaşları birimleridir. En üstte gözlenen tüfit birimi, açık yeşil renkte, orta sert, yer yer zayıf dayanımlı, orta derecede ayrılmış, yer yer çok ayrılmış, içinde 0,5 ila 2 cm boyutlarında volkanik kayaç parçaları bulundurur. Birimin süreksizlikleri pürüzlü ve kil dolguludur. Tüfit birimi altında gözlenen ve genellikle ardalımla şeklinde çökelmiş olan kiltası, silttaşı ve yer yer kumtaşı seviyesi, koyu gri, yer yer yeşilimsi gri renkli, orta sert yer yer zayıf yer yer çok zayıf dayanımlı, çok ayrılmıştır. Süreksizlikler pürüzlü, kil dolgulu ve demir oksit boyamalıdır (Şekil 2c).



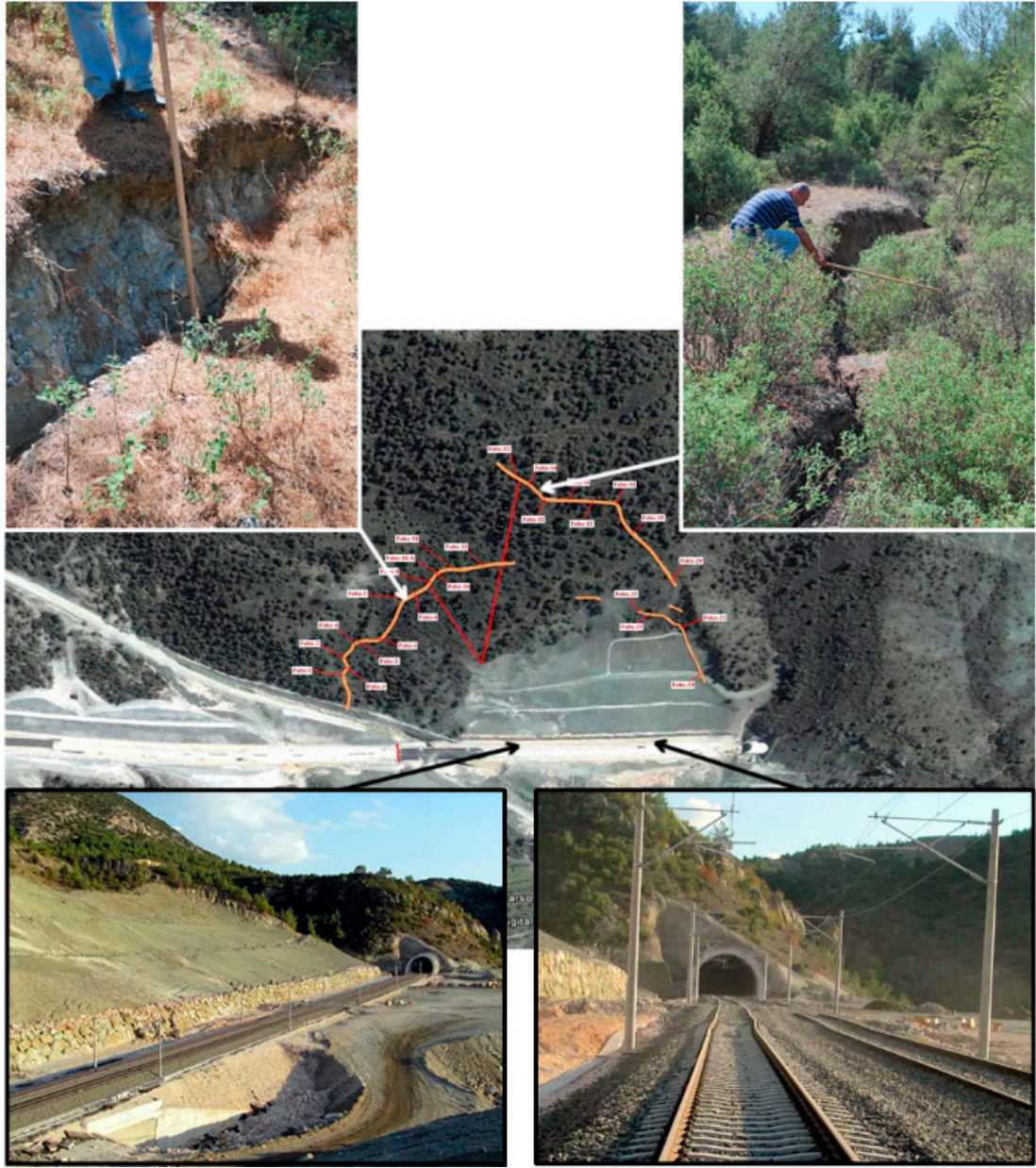
Şekil 2. Çalışma alanında tanımlanan birimler; a) Yapay dolgu b) heyelan karmaşığı c) Yenipazar formasyonu kiltası, silttaşı d) Yenipazar formasyonu tüfit

Figure 2. Identified units at study area; a) Filled soil b) Landslide material, c) Claystone-siltstone of Yenipazar Formation, d) Tuffite of Yenipazar Formation

MATERYAL VE METOD

Ankara-İstanbul hızlı tren projesi kapsamında altyapı ve üstyapı imalatları tamamlanan çalışma alanında Temmuz 2013'de güzergah yarma şevi istinat yapısında (taş duvarında) yenilmeler ve raylarda ondülasyon (Şekil 3) ile kütle hareketi fark

edilmiştir. Hareket boyutunun araştırılması amacı ile gerçekleştirilen arazi inceleme ve araştırma çalışmalarında öncelikle bölgenin topografik alımları yapılmış, bu verilere kütle hareketine bağlı olarak gelişen açılma çatlakları (genişliği 50-60 cm mertebesine varan) işlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanında oluşan kütle hareketi sonuçları
Figure 3. Results of mass movement occurred at study area

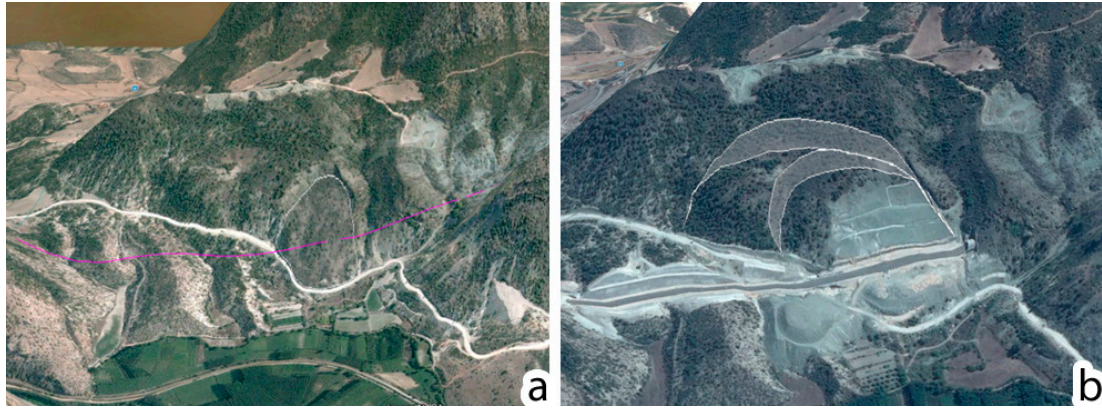
Veriler değerlendirildiğinde heyelan bölgesinin birbirini takip eden üç ana kütlede oluştuğu, bu kütlelerden ilkinin, tespit edilen bütün kütlelerin yaklaşık %60'lık kısmını oluşturduğu ve diğer iki kütleli tetiklediği düşünülmektedir. Kütle hareketi; boyu yaklaşık 500 metre, genişliği yaklaşık 280 metre yüksekliği de yaklaşık 110 metre civarında bir alanda oluştuğu düşünülmüştür.

Söz konusu kütle hareketinin derinliğinin anla-

şılabilmesi amacı ile Şekil 1'de gösterilen 21 adet jeoteknik amaçlı sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan 14'ünde inklinometre boruları yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. 45 günlük bir periyotta alınan ölçümler ile heyelan kütle kalınlığının 10.20 ila 49.80 metre arasında değiştiği ve günde ortalama 1.50 ila 2.00 mm arasında değişen hız ile hareket ettiği saptanmıştır (Tablo1).

Tablo 1. İnklinometre ölçümleri özet tablosu (Yüksel Proje, 2013)**Table 1.** Inclinomometer measurements short table (Yüksel Proje, 2013)

Sondaj No	Tesis Derinliği (m)	Kayma Hareketi			
		Ölçüm Süresi (gün)	Kayma Miktarı (mm)	Kayma Derinliği (m)	Hareketin Hızı (mm / gün)
YSK01İ	27.00	<i>Referans ölçümünden sonra kırılmıştır.</i>			
YSK02İ	45.00	27	6.24	36.20	0.19
YSK03İ	24.00	27	16.49	25.90	0.61
YSK04İ	21.00	45	-	-	-
YSK05İ	48.00	2	4.47	47.10	2.22
YSK06İ	42.00	10	11.00	17.90	1.10
			26.00	49.50	2.60
YSK07İ	50.00	12	26.92	21.10	2.24
YSK08İ	45.00	31	-	-	-
YSK09İ	50.00	11	13.41	22.80	1.22
YSK10İ	48.00	27	19.64	35.33	0.72
YSK11İ	45.00	45	-	-	-
YSK12İ	39.00	27	-	-	-
YSK13İ	51.00	31	-	-	-
YSK16İ	51.00	10	10.10	12.80	1.37

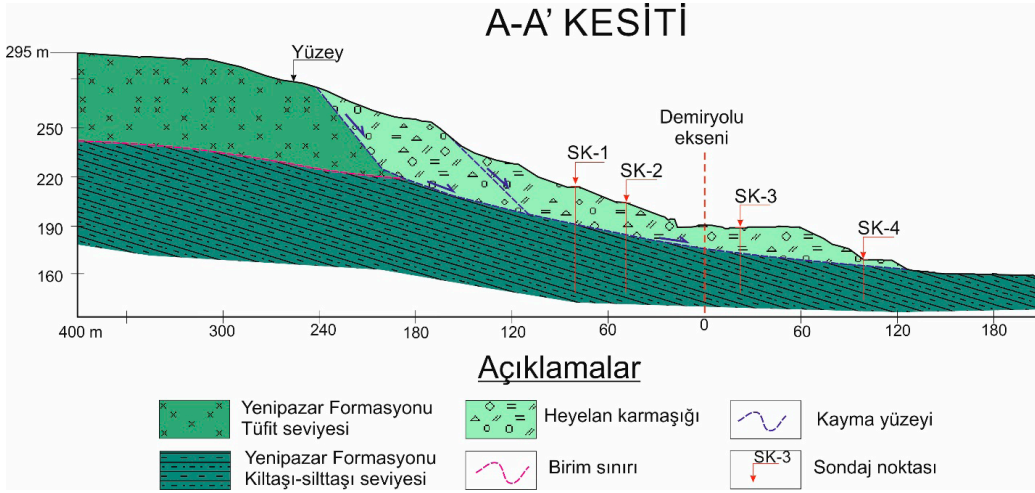
**Şekil 4.** Eski heyelan bölgesi (Google earth) a) Proje çalışmaları sırasında tespit edilen heyelan (2003) b) Tespit edilemeyen heyelanlar (2013)**Figure 4.** Ancient landslide area (Google earth) a) Landslide established during project study (2003), b) Unestablished landslides (2013)

HEYELAN KÜTLESİNİN DURAYLILIĞI

Güzergah yarma çalışmaları sırasında güvenli ve ekonomik şev geometri tasarımı için ayrıntılı mühendislik jeolojisi çalışması büyük önem taşımaktadır. Şev duraylılık çalışmaları sırasında sadece güzergah etüdünün yapılması, kütle içerisinde gelişebilecek duraysızlıkların ya da geniş alanlara yayılmış eski heyelanların varlığının atlanmasına sebebiyet vermektedir. Özellikle limit denge koşullarında bulunan kütlelerde imalat ile birlikte

olumsuz yönde oluşabilecek böylesi bir durum, zaman ve maliyet yükünü arttırmaktadır.

Sondaj verileri, topografik veriler, sahadan derlenen gözlemsel veriler ve aletsel ölçümler (inklinometre ölçüm değerleri) derlenmiş ve söz konusu heyelan bölgesi için kritik hat demiryolunda da ondülasyonların gözlemlendiği A-A' (Bknz. Şekil 1) olarak belirlenmiştir. Belirlenen kesit hattına birim sınırları ve kayma yüzeyleri işlenerek şev modeli oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Km: 198+380 için oluşturulan kayma modeli
Figure 5. Slip model occurred for Km: 198+380

KAYA KÜTLE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bir kaya şevinin tasarımı için kaya kütlesi içerisindeki süreksizliklerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerinin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü duraylılık, süreksizliklerin konumuna ve bazı jeomekanik ve jeoteknik özelliklerine bağlıdır (Hoek ve Bray, 1981). Bu amaçla kaya malzemesinde belirlenen süreksizliklerin iyi tanımlanması gerekmektedir.

A-A' kayma modeli oluşturma aşamasında ayrılan iki farklı temel kaya birimlerin kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi amacı ile süreksizliklerin ISRM (1978)'ya göre sınıflandırılması yapılmış, birim hacim ağırlık, tek eksenli basma direnci, elastisite modülü, değerleri presiyometre deneyi sonuçları ve laboratuvar sonuçları ile kıyaslanarak belirlenmiştir ardından seçilen değerler ile GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi), mi (Kaya materyali

için Hoek-Brown sabiti) ve D (Örselenme katsayısı) değerleri Rocklab (V. 1,031) kullanılarak limit denge analizinde kullanılacak olan içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri belirlenmiştir.

TEMEL KAYA ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanında Yenipazar Formasyonuna ait kumtaşı, silttaşı, kıltaşı ve tüfit birimleri temel kaya olarak tanımlanmaktadır. Kaya kütle özellikleri değerlendirildiğinde bu birimler tüfit ve kumtaşı, silttaşı, kıltaşı olarak 2 farklı litolojide değerlendirilmiş ve kaya kütle özellikleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

İlk aşamada presiyometre deneylerinden elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Deneyler sırasında Louis Menard GA tipi presiyometre ile 60 mm'lik N tipi probe kullanılmıştır. Deneylerde her birim için deformasyon modülü (Ep) ile limit (Pl) ve net limit (Pln) basınçlarının derinlik boyunca değişimi belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Presiyometre deneyinden hesaplanan jeoteknik değerler (Yüksel Proje, 2013)

Table 2. Geotechnical values measured Presiyometre tests.

		En Yüksek	En Düşük	Ortalama
Yenipazar Formasyonu Tüfit Seviyesi	Presiyometre limit basıncı (Pln, kg/cm ²)	43,3	43,7	43,5
	Birim hacim ağırlık (g, kN/m ³)	20	24	22
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (σ_{ci} , MPa)	4,6	23,8	14,2
	Elastisite Modülü (E, GPa)	0,6	4,6	2,6
Yenipazar Formasyonu Kumtaşı-Silttaşı-Kıltaşı Seviyesi	Presiyometre limit basıncı (Pln)	39,9	43,2	41,55
	Birim hacim ağırlık (g, kN/m ³)	21,3	27	24,15
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (σ_{ci} , MPa)	2,2	45,2	23,7
	Elastisite Modülü (E, GPa)	0,7	38,9	19,8

İkinci aşamada ise 21 adet sondaj çalışmalarında elde edilen silindirik karot numuneleri üzerinde, ISRM (2007) standartları kullanılarak laboratuvar

deneyle ilgili kaya malzemelerine ait birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç direnci, elastisite modülü, değerleri belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Heyelan bölgesinde yapılan sondajlara ait deney sonuçları.

Table 3. Test results of drilling at landslide area.

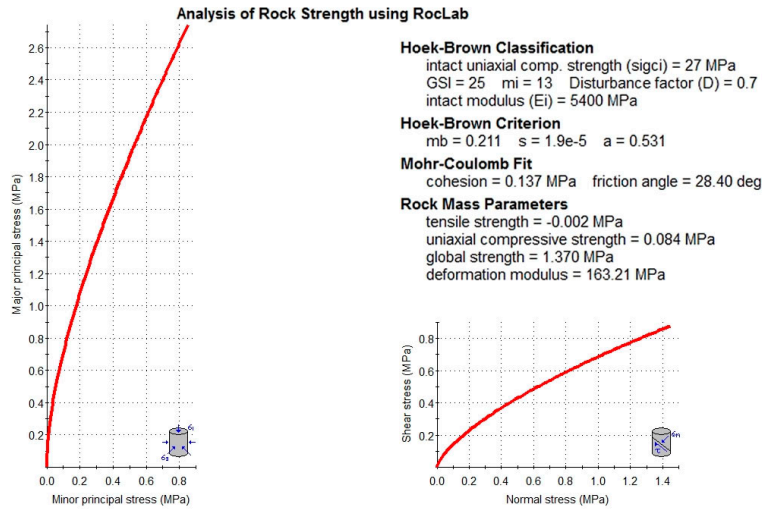
		Örnek sayısı	Ortalama	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Standart sapma
Yenipazar Formasyonu Tüfit Seviyesi	Birim hacim ağırlık (g, kN/m ³)	31	23,36	25,04	21,61	0,84
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (o _{ci} : MPa)	30	27	50,00	11,30	7,93
	Elastisite Modülü (E. GPa)	13	5,400	10,50	3,05	3,99
Yenipazar Formasyonu Kumtaşı-Silttaşı-Kiltaşı Seviyesi	Birim hacim ağırlık (g, kN/m ³)	37	24,92	26,62	18,10	1,96
	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (o _{ci} : MPa)	24	22,08	65,30	12,78	14,41
	Elastisite Modülü (E. GPa)	16	4,601	5,30	2,00	1,23

Tüfit kaya kütlelerinin yapısı bloklu/örselenmiş ile parçalanmış arasında yer almaktadır. Eklem yüzeylerinin özelliği ise “kötü” sınıfta yer almaktadır. Buna göre, yapılan değerlendirmede ise kaya kütlelerinin GSI değeri 20-30 aralığında yer almakta ve ortalama 25 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, kaya malzemesi sabiti olan “mi” değeri ise tüfitler için 13±5 olarak verilmektedir. Bu bölgede bulunan tüfitler için ortalama değer olan 13 seçilmiştir.

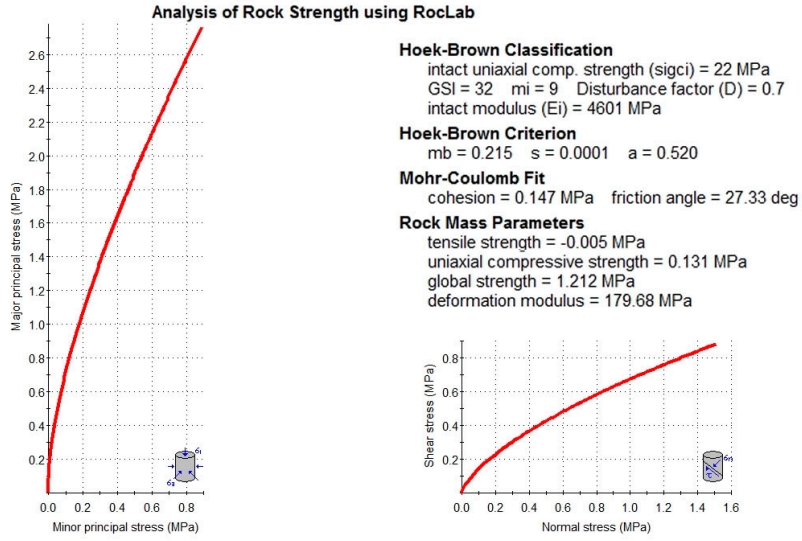
Kumtaşı-silttaşı-kiltaşı kaya kütlelerinin yapısı bloklu/örselenmiş, eklem yüzeylerinin özelliği ise “zayıf” sınıfta yer almaktadır. Buna göre, yapılan

değerlendirmede ise kaya kütlelerinin GSI değeri 28 ila 38 aralığında yer almakta ve ortalama 32 olarak tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, kaya malzemesi sabiti (mi) değeri ise kumtaşı, silttaşı, kiltaşı birimini temsil etmesi açısından 9 olarak alınmıştır.

Her iki biriminde özellikleri değerlendirilmiş, kayma modeli uyarınca şev yüksekliği 50 metre, şev kazıları sırasında mekanize kazı yapılacağı düşünüldükçe de Örselenme faktörü D=0,7 alınmıştır. Bu veriler RockLab bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve birimlere ait normal gerilme – kesme dayanımı grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 6, 7).



Şekil 6. Tüfit birimi için jeomekanik parametreler
Figure 6. Geomechanical parameters for tuffite unit.



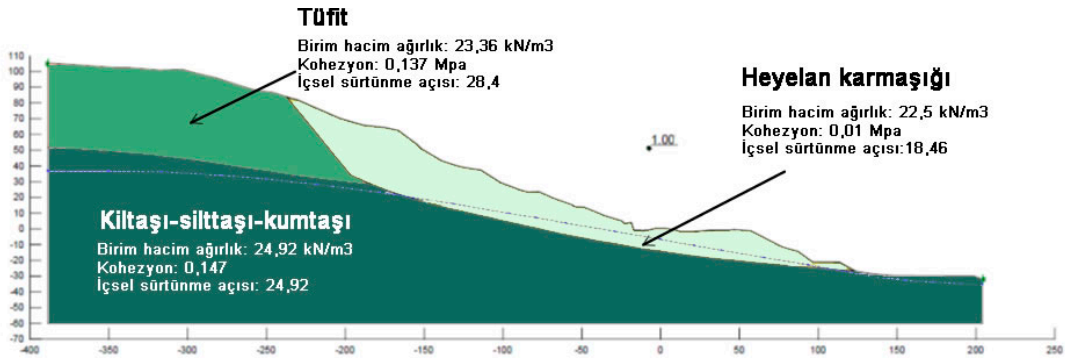
Şekil 7. Kumtaşı-silttaşı-kiltaşı birimi için jeomekanik parametreler
Figure 7. Geomechanical parameters for Claystone-siltstone unit.

HEYELAN KARMAŞIĞI ÖZELLİKLERİ

Bölgede gerçekleştirilen saha çalışmaları ve aletsel ölçüm verileri sonucunda oluşturulan kayma modelinde kayma yüzeyi boyunca mobilize olmuş zemin parametreleri limit denge durumunda olasılıklı geri analiz yöntemiyle belirlenmiştir. Geri analiz yöntemi, kaymış ve kaymakta olan şevlerin analitik modelini geliştirmek için gerekli bir yöntemdir. Çünkü şevler için, şu andaki durum kadar gelecekteki mukavemeti de önem taşımaktadır.

Geri analizlerde tam dairesel olmayan kayma

koşullarında iyi sonuçlar verdiği bilinen “Janbu Metodu” kullanılmıştır (Şekil 8). Diğer yöntemlere benzer olmakla birlikte Janbu yönteminin farklılığı herhangi bir yenilme yüzeyine uygulanabilmesidir (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005). Janbu yöntemi dilimler arası kuvvetlerin yatay olduğu varsayımına dayanır (Duncan ve Wright, 2005). Stabilitate analizleri kapsamında, araştırma çalışmaları sonucu tespit edilen heyelan geometrisi geri analiz yöntemi ile incelenerek kayma yüzeyi boyunca zemin parametreleri belirlenmiştir.



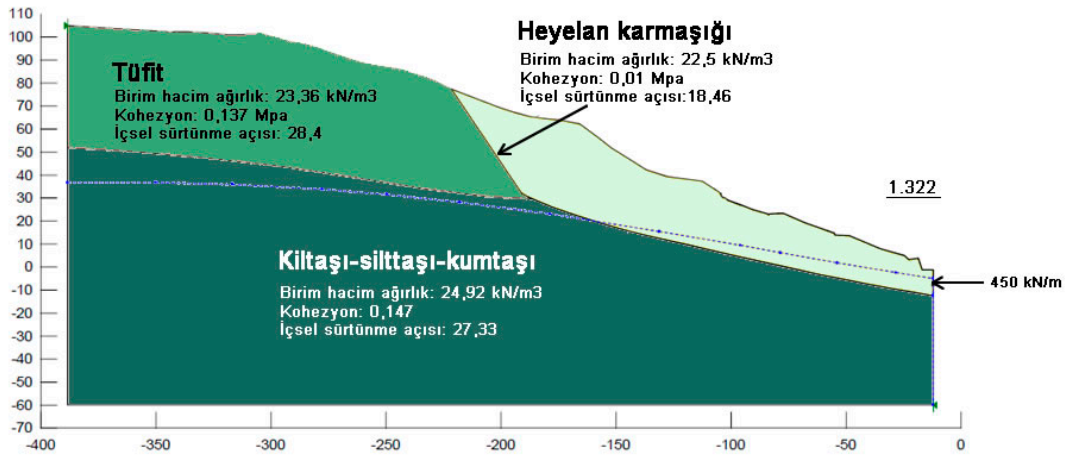
Şekil 8. A-A' kesitinde kayan kütle için yapılan geri analiz
Figure 8. Reverse analyze made for sliding mass at A-A' section

DESTEK KUVVETİNİN BELİRLENMESİ

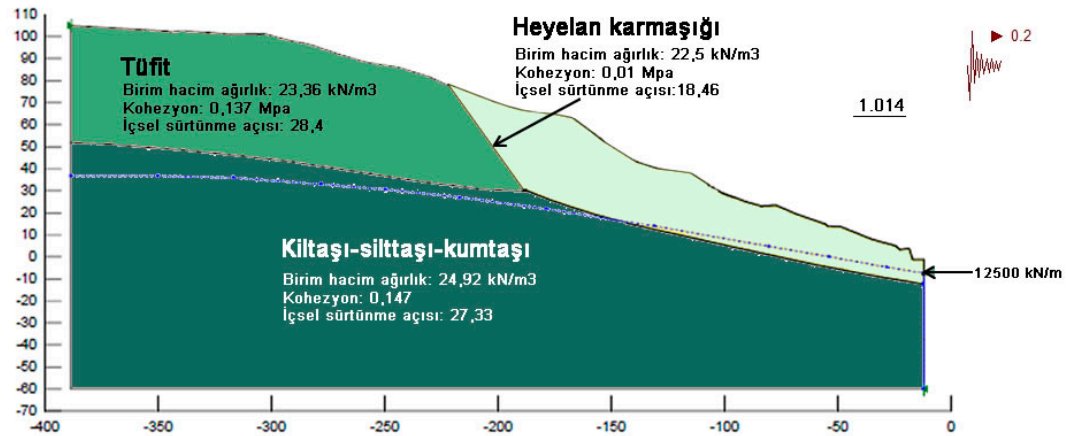
Kritik kesit olarak belirlenen A-A' hattı için oluşturulan kayma modelinde, stabilitenin sağlanması amacı ile gereken bileşke dayanma kuvveti limit denge analizi yapan Slide (V. 6) programında Mohr-Coulomb kırılma kriteri kullanılarak Janbu yöntemi ile belirlenmiştir.

Şevnin stabilitesi için güvenlik katsayısı daima "1"den büyük olmalıdır ve geçici şev çalışmalarında en az "1,3", uzun süreli şevlerde ise en az "1,5" olmalıdır (Hoek, 2000). Bu değerler, büyük

mühendislik projeleri için kullanılan değerlerdir ve maden açık ocak işletmelerindeki şevlerde, can ve mal kaybı tehlikesinin yüksek olması durumunda, daima "1,5" den fazla olmalıdır (Arıoğlu ve Tokgöz, 2005). Öncelikle 1.3 güvenlik sayısı için depremsiz durum irdelenmiştir. Bu durumda gerekli olan bileşke dayanma kuvveti 450 kN/m olarak hesaplanmıştır (Şekil 9). İkinci aşamada ise 1. Derece deprem bölgesi olan çalışma sahasında 0,2 g deprem ivmesi altında gereken dayanma kuvveti hesaplanmıştır. 1 den büyük güvenlik sayısı için 12500 kN/m olarak hesaplanmıştır (Şekil 10).



Şekil 9. Depremsiz durumda heyelan ıslahı için gerekli olan dayanma kuvveti
Figure 9. Failure strength needing reclaim landslide at static condition.



Şekil 10. Depremlı durumda (0,2 g) heyelan ıslahı için gerekli olan dayanma kuvveti
Figure 10. Failure strength needing reclaim landslide at earthquake condition (0,2 g)

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ankara İstanbul Hızlı Tren Projesi kapsamında, limit denge koşulunda olan paleo heyelan kütlelerinde, güzergah yarma çalışması ile tetiklenen heyelanın değerlendirilmesi amacı ile yüzey gözlem ve aletsel çalışmalar ile kütlelerin boyutu belirlenmiş ardından limit denge analizi yapan “Slide” programı kullanılmıştır. Limit denge analizlerinde her bir birim için süreksizlikler ve bu süreksizliklerin bazı jeoteknik özellikleri yerine, aynı özellikleri karşılayan GSI, mi ve D değerleri ile kaya kütle parametreleri tanımlanmış, Mohr-Coulomb parametreleri dikkate alınarak Janbu yöntemine göre analizler yapılmıştır.

Tetiklenen kütlelerin araştırılması amacı ile yüzey ve aletsel ölçümler yapılmıştır. Heyelan kütleleri içerisinde farklı büyüklükte ve iç içe geçmiş 3 farklı kütle tespit edilmiştir. Kritik kesit hattında oluşturulan kayma modelinde dairesel olmayan kayma yüzeyi belirlenmiştir. Yavaş akma (krip) şeklinde hareket eden heyelan kütlelerinin taç bölgesinde düzlemsele yakın, topuğuna doğru rotasyonel hareketlerin egemen olduğu ve hareketin hızının ise topuk bölgesinde nispeten daha yavaş olduğu anlaşılmıştır. Hızlı tren güzergahını da içine alan heyelan kütlelerinin stabilitesinin sağlanması için

gerekli olan bileşke dayanma kuvveti depremsiz ve depremliler için belirlenmiştir.

Hesaplanan bileşke dayanma kuvvetinin depremsiz durumda düşük olması (450 kN/m) sistemin krip davranmasını ve hareketin geç fark edilmesini açıklamaktadır. Bununla birlikte depremlilerde bileşke dayanma kuvvetinin oldukça yüksek olması (12500 kN/m) kaya kütlelerinin çok zayıf niteliği, bölgedeki yeraltı su seviyesinin yüksekliği ve çalışma alanının 1. derece deprem bölgesi olması ile ilişkilendirilebilir.

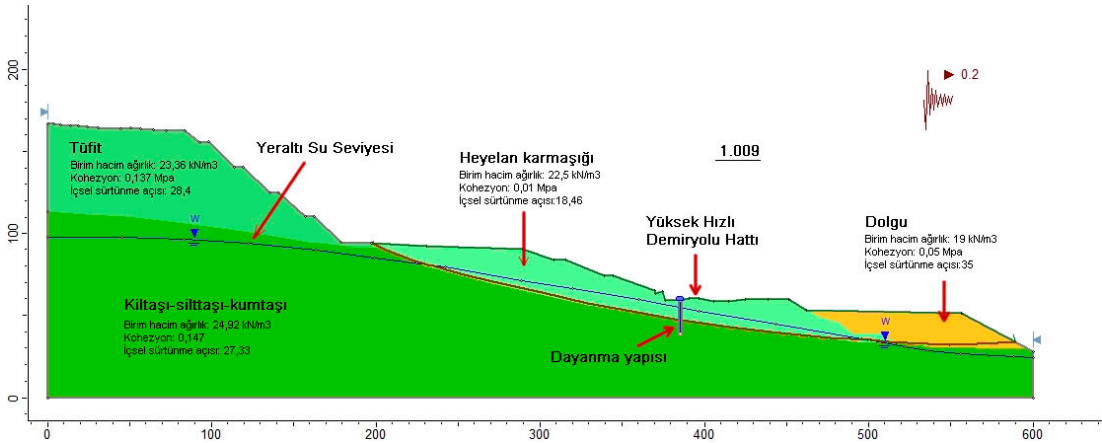
Kritik kesitte stabilitenin sağlanması amacı ile uygulanabilecek çözümler irdelendiğinde, ilk akla gelen çözüm olan yük hafifletme kısa depremsiz durum için en hızlı ve ekonomik çözüm olacaktır. Ancak bu durum depremlilerde yeterli güvenlik sayısı değerini vermemektedir (Tablo 4).

Heyelan kütlelerinin rotasyonel hareketi de dikkate alınarak boşaltılan yükün topuk kısmında dolgu olarak kullanılması durumunda da depremliler uzun dönem sonuçları GS=1 den daha düşük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla kritik kesitte şev stabilitesi için uygulanabilecek en uygun çözüm yöntemi birleşik (yük boşaltma, topuk dolgusu ve destek yapısı) çözümden geçmektedir (Şekil 11).

Tablo 4. Stabilitenin sağlanması için öngörülen çözümlerin limit denge analiz sonuçları

Table 4. Limit equilibrium analysis of solutions envisaged to ensure stability

Destek Tipi	Güvenlik Sayısı (GS)	
	Depremsiz	Depremliler (0.2 g)
Yük hafifletme	1,578	0,729
Yük hafifletme + topuk dolgusu	2,443	0,901
Yük hafifletme + topuk dolgusu + dayanma yapısı	2,582	1,009



Şekil 11. Stabilitenin sağlanması için gerekli olan yük hafifletme, topuk dolgusu ve dayanma yapısı çözümlerinin depremlilerde analizi

Figure 11. Earthquake situation analysis of relieving load, toe embankment and failure structure systems due for ensure stability.

KATKI BELİRTME

Yazarlar çalışmalar sırasında desteklerinden dolayı TCDD yetkililerine teşekkür eder. Çalışma alanı konusunda görüşlerinden faydalandıkları Prof. Dr. Mete İncecik, Prof. Dr. Okan Tüysüz ve Prof. Dr. Candan Gökçeoğlu'na teşekkür eder. Makalenin son halini almasında yardımlarını esirgemeyen hakemler Prof. Dr. Fikri Bulut'a ve Doç. Dr. Namık Aysal'a teşekkür eder. Çalışma alanındaki raporlardan yararlandıkları Yüksel Proje çalışanlarına teşekkür eder.

SUMMARY

Twenty-eight tunnels with a total length of 39 km were excavated along the route of Ankara-İstanbul High Speed Train Project and the slope trimmings between these tunnels have been completed. The mass movement, represented by tension cracks on the surface, occurred on the 500 m length slope between the tunnels 16 and 17 (the south of the Vezirhan, Bilecik) excavated within the scope of the project. In this study, it is aimed to identify the total failure strength that must be generated in order to stop the mass movement.

During the study, the geological units were distinguished in the field, the movement boundaries were defined by following tension cracks. In order to determine the depth and velocity of the generated mass movement, 14 inclinometer wells with the depths of approximately 51 m were digged

and the measurements have been taken every other day during 45 days. A slip model was created by using inclinometer measurements, stratigraphic units encountered during drilling and topographic data. Firstly, the geomechanical properties of the rock materials were specified, then the mass properties were identified by RMR, Q and GSI systems. The mass parameters for landslide materials were determined by using the reverse analysis method at the limit equilibrium conditions on the created model. At the final stage, with the purpose of providing the stability on the model, the required failure strength both in static and earthquake (0.2 g) situations were calculated by using Janbu method in Slide V.6 software that runs according to principles of limit equilibrium analysis.

It was determined that the landslide mass developed in the weathered parts of the sandstone, siltstone and tuffite levels of the Yenipazar Formation covers an area with a length of approximately 500 m and a width of 280 m. It was identified that the elevation difference between the cap and toe of mass movement is 110 meter, its depth varies between 10.2 and 49.80 meters and it moves with a 1.5-2 mm/day acceleration. As a result of the analysis, it is concluded that 450 kN/m strength in the static situation and 12500 kN/m strength in the situation of 0.2 g earthquake acceleration are required and in order to supply these strengths the stripping-filling and failure structure systems must be evaluated together.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Arioğlu E., Tokgöz N. 2005.** “Çözümlü Problemlerle Şev Stabilite Analizi, Evrim Yayınevi, İstanbul, 417 s., 2005.
- Duncan J. M., VVright S. G., 2005.** “Zemin Şevlerinin Duraylılığı.” Çeviren: Kamil Kayabalı, Gazi Kitabevi, Ankara, 299 s., 2005.
- HOEK, E. ve BRAY, J., 1981,** Rock Slope Engineering. IMM, Londra-İngiltere.
- HOEK, E. ve MARINOS, P., 2000.** Predicting Tunnel Squeezing. Tunnels and Tunnelling Int., Part I-II.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1977.** ISRM suggested methods: rock characterization, testing and monitoring. Pergamon Press, London, 211 p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1985.** Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts, 2 (22) 53-60.
- Jiao, Y., wang, Z., Wang, X., Adoko, A. C., Yang, Z., 2013.** Stability assessment of an ancient landslide crossed by two coal mine tunnels, Engineering Geology 159 (2013) 36–44
- Ulusay, R., Hudson, J. A., 2007.** The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006.
- Rocscience, 2002.** Roclab v1.0 rock mass strength analysis using the generalized Hoek-Brown failure criterion. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Üzeler, V., Tokgözoğlu, K., Kuruoğlu, Ö., 2014.** Ankara – İstanbul Hızlı Tren Hattı Km: 195+000 – 195+500 Heyelanının Stabilizasyonu, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi 16 - 17 Ekim 2014, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2014.
- Yılmaz G., Özsoy E. A. 2003.** Bozüyük, Yediler Yerleşim Alanı Kaymasının Stabilite Analizi. Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C.XVIII, S.2, 11 s.
- Yılmazer, İ., Ertunç, A., 1993.** Doğal Yamaçlarda Yapay Yamaç Yüksekliğinin Ayarlanması, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, Jeoloji Eğitiminde 60. Yıl Özel Sayısı, C. 8, S.1-2-3.
- Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., 2013.** Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi Tünel 16-17 arası Heyelan Islahı, Ankara.