

KAHRAMANMARAŞ KISAKÜREK HEYELANININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF KAHRAMANMARAŞ KISAKÜREK LANDSLIDE

Akın ÖNALP¹, Ahmet Can MERT², Aytaç YEDİKARDEŞ³

ÖZET

Kahramanmaraş kent merkezi Ağcalı Mahallesinde E-W doğrultusunda geliştiği bilinen kitle hareketi, topuk bölgesinde yapılmış kanal kazısı etkisi ile 2020’de hız kazanmıştır. Bu kitle hareketi iki ayrı kamu kuruluşunca değerlendirilmiştir. Heyelanın uzun eksenine dik olarak ve eteğine yakın bölgede 2021 yılında açılmış Kısakürek Bulvarı’nda yapılmış yol dolgusunun harekete nasıl bir katkı yaptığı da göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada yamaca yapılmış müdahalelerin duraylılığa nasıl bir etki yaptığı, hareketi kontrol altına almak için seçilen uygulamalar ve analizleri ele alınmaktadır. Heyelanın gerçekleştiği kritik kesitlerde iki boyutlu sonlu elemanlar ve limit denge çözümleriyle yamacın ötelenmesi ve duraylılığı irdelenmiştir. Hareketlerin gelişmesi, yapılmış inklinometre okumaları ile de değerlendirilmiştir. Sayısal analiz modellerinin statik ve şev duraylılığı analizlerine ilave olarak deprem kayıtları kullanılarak dinamik yüklerin etkisi göz önüne alınmıştır. Bu süreci izleyerek meydana gelen Şubat 2023 depremi sonrasında yamaçta yapılan gözlemlerle ilgili değerlendirme de yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Dinamik Heyelan Analizi, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Şev Duraylılığı, Önlemler*

ABSTRACT

The mass movement, developed in the Ağcalı District in the center of Kahramanmaraş in the E-W direction, gained momentum in 2020 with the effect of the canal excavation in the heel side. The landslide was evaluated by two separate public institutions. It has also been considered how the road filling made on Kısakürek Boulevard contributed to the movement, which was opened in 2021, perpendicular to the long axis of the landslide and in the area close to its skirt. In this study, the effect of interventions on the slope stability, the applications and analyses chosen to control the movement are discussed. The mass movement were examined with two-dimensional finite elements and limit equilibrium solutions in the critical sections of the landslide. The development of movements was also evaluated with inclinometer readings. In addition to the static and slope stability analyses, the effect of dynamic loads was taken into account by using earthquake records. After the February 2023 earthquake that followed this process, an evaluation was made about the observations made on the slope.

Keywords: *Dynamic Landslide Analysis, Finite Element Method, Slope Stability, control of movements*

1. SUNUŞ

Topoğrafyası ve beklenmedik yerlerde beliren yüksek su seviyeleri yanında, yapılan yetersiz zemin değerlendirmeleri Türkiye’de kitle hareketlerinin başlıca nedenleridir. Kayda geçmemiş fayların olumsuz

¹ Prof.Dr., Sakarya Üniversitesi, onalpakin@gmail.com

² Dr.Öğr.Üyesi, Bahçeşehir Üniversitesi, ahmetcan.mert@bau.edu.tr (Sorumlu yazar)

³ Jeoloji Müh., Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, aytacyedikardes@hotmail.com

etkileri de yadsınamaz. Kahramanmaraş'ın Onikişubat İlçesi'nde gelişen ve üzerinden geçmekte olan bulvar nedeniyle Kısakürek heyelanı olarak adlandırılan kitle hareketi bu etkenlere ilginç bir örnek olduğu gibi, 2023 depremleri sonrasında değerlendirilmesi ile öğretici olacaktır. Kısakürek heyelanının varlığı uzun süredir bilinmekte olup, alan 2011 yılında yaptırılmış etütte Önlemler Alan (ÖA 5.1.3-Önlem Alınabilecek Nitelikte Şişme- Oturma-Taşıma Gücü Dayanım Açısından Sorunlu Alanlar) olarak belirlenmiştir. Ancak, heyelan riskine değinilmemesi dikkat çekmiştir. Şekil 1' den heyelan bölgesi, bunun etkisi ile bulvarda oluşmuş dalgalanmalar ve kanalda oluşmuş hasar görülebilmektedir. Şekil 2 ise topuk bölgesinde desteksiz kazıyla inşa edilmiş kanalın 2022 görüntüsünü vermektedir.



Şekil 1. Heyelan Alanı ve inklinometre konumları

Bu bilgi mevcut iken yörede yapılaşma gerçekleşmiş, hareket halindeki kitlenin topuk bölgesinden bir yol geçirilmiş (2000) ayrıca heyelanın eteğinde (topukta) sulama kanalı açılması için önlem alınmadan kazı yapılmıştır (2014). Hareketler belirgin hale gelince 2021' den başlayarak bunların önlenmesine yönelik ayrıntılı çalışmaların yapılmasına başlanmıştır.



Şekil-2 Topukta Hareket

Bu bildiri yapılmış çalışmalar, analizler ve alınması gereken/alınmış önlemleri irdeleyerek uygulamaları aydınlatma amacı ile hazırlanmıştır.

2. ARAZİNİN YAPISI

Arazinin jeolojik yapısı ve içinde bulunduğu Maraş Fay Zonu içinde diriliği kanıtlanmamış fayların varlığı bilinmektedir. Yapılan sondajlarda kesilen Döngel Formasyonu "...çoğunlukla beyazımsı açık gri, kül renkli, karasal çökel özellikleri sunan, çakıltaşı-kumtaşı ile seyrek çamurtaşından oluştuğu.." olarak tanımlanmıştır. Bu açıklama ortamın kaya olduğu izlenimini veriyorsa da sondajlarda çoğunlukla zemin kesilmiştir.

Heyelan bölgesinde farklı zaman ve kuruluşlarca toplam 16 sondaj yapılmış ve alınan numunelerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Buradan, ortamın kıltaşı ve bunun ayrışma ürünleri olduğu bilgisi gelmiştir.

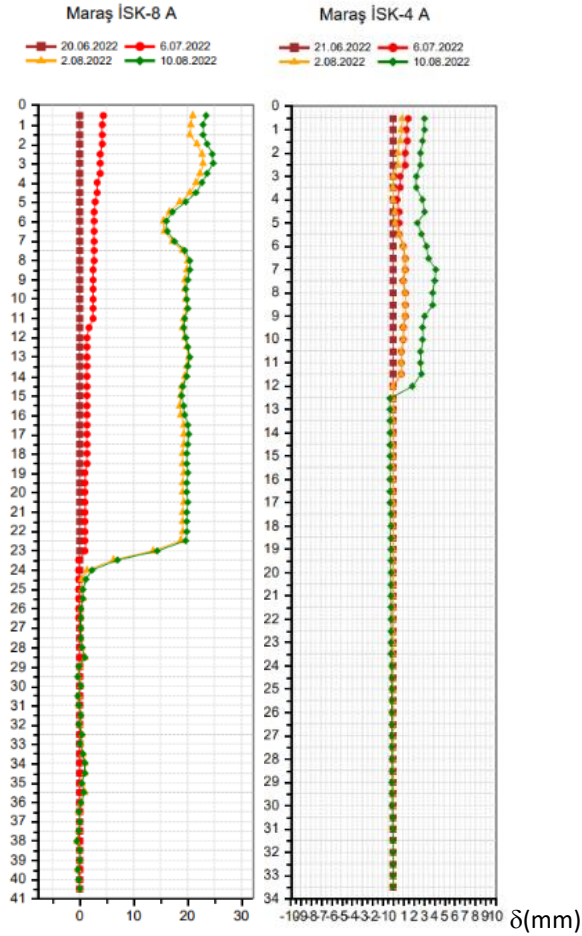
Yer Altı Su Seviyesi ölçümleri çelişkilidir. Bazı sondajlarda yüzeye 20 cm' ye kadar yaklaşmışken toprak bölgesinde 5 m' de gösterilmiştir.

3. ZEMİNİN ÖZELLİĞİ

Laboratuvar deneyleri ortamın yer yer çakıllı, ancak kil olduğunu göstermektedir. Doğal su muhtevalarına bakıldığında karakteristik Sıvılık İndislerinin (I_L) üst 15-20 m' de sifra yakın ve altında olduğunu göstermişken, kimi derinliklerde likit limitin beklenmedik yükseklikte olduğu fark edilmiştir. Zemin özellikleri, laboratuvarda gerçekleştirilen sınıflama deneyleri, 3 adet üç eksenli (UU) ve 7 adet kesme kutusu deneyleri ile ölçülmüştür. Bu sırada inklinometre ölçümleri yapıldığından (Şekil 3), hareketlerin Tablo 1' de boyalı gösterilen 6.20 ve 20.50 m' deki çok yüksek plastisiteli tabakalarda oluştuğu tespit edilebilmiştir. Hareketler 50 gün süre ile ölçüldüğünden 23.5 m' de kitle hareket hızının yaklaşık 0.5 mm/ gün ile ISSMGE kriterine göre ÇOK YAVAŞ (1.6 m/ yıl) kategorisine girdiği, bu nedenle hareketler sırasında yapılara müdahale edilebileceği, kimi kalıcı yapıların ise hasar görmeyebileceği bulgusuna varılmaktadır. Bu nedenle, hasar görmüş sulama kanalının kazıklı perde uygulaması, bulvarın ise kazıklı perdeyle desteklenmesi söz konusu olmuştur.

Tablo 1. Zeminin Özellikleri

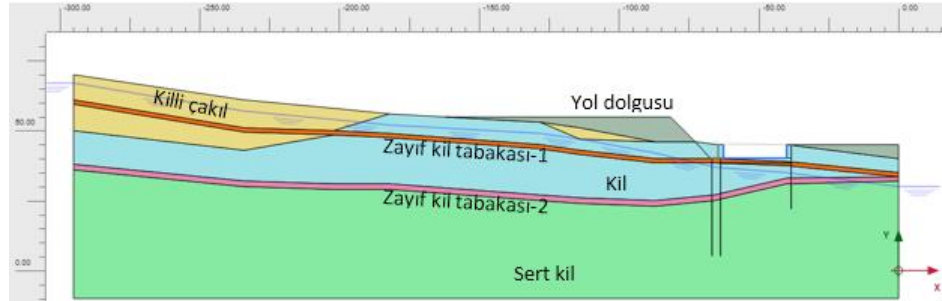
z(m)	SK	REN K	w_L	w_p	I_p	w_n %	I_L	INC E	KİL CF %	SINIF TS1500	SINIF EN14688- 2018	e	S_r (%)	ρ_n kN/m ³	C_u kPa	E_u M Pa	c kPa	ϕ (°)	C_r	ϕ_r
5.00	2	kk	70	19	51	25	0.12	68	49	CH	grCIH	0.89	82	17.64			15	14	9	10
6.20	4	K	149	24	125	23	-0.01	45	42	CH	SiV	0.86	82	17.77			28	15	20	6
6.50	AÇ	KY	61	30	31	26	-0.13	99		CH	CIH	0.91	83	17.58			151	13	24	10
7.00	4	KC	49	17	32	13	-0.13	30		GC	sicIgr	0.40	89	21.13	104	12				
8.50	3	G	29	12	16	13	0.06	18		GC	sasicIgr	0.46	84	20.40			23	28	12	30
11.50	2	K	71	21	50	42	0.43	68	47	CH	grSiV	1.23	98	17.32			21	9	12	9
17.00	3	KY	64	29	35	27	-0.05	99	29	CH	SiH	0.73	95	19.08	257	23				
19.50	4	kk	48	32	16	33	0.02	99		MI	SiM	0.83	100	19.07	301	32				
19.60	2	KY	46	22	24	26	0.16	76	15	CI	saCIH	0.94	87	17.65			89	10	76	7
20.50	3	kk	100	27	73	49	0.30	84		CH	CIH	1.34	91	16.40			8	12		
24.00	3	kk	47	25	22	19	0.27	81		CI	CIM	0.75	88	17.55						



Şekil 3. İki kuyudan inklinometre ölçümleri

4. HEYELAN ANALİZİ

Bölgedeki hareketin incelenmesi amacıyla sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ve limit denge yöntemleri (LEM) ile Plaxis 2D/V22 yazılımı kullanılarak şev duraylılığı hesaplamaları yapılmıştır. Arazinin mevcut durumdaki duraylılığı ile kanal kazısı ve bulvar inşaatı sonrası durumlar ayrı olarak modellenmiştir. Zemin araştırmalarından edinilen bulgulardan hareketle, bölgede meydana gelen heyelanın olası kayma yüzeyleri, yaklaşık 6 ve 20m derinlikten geçen iki zayıf tabaka ile profile aktarılmıştır (Şekil 4).

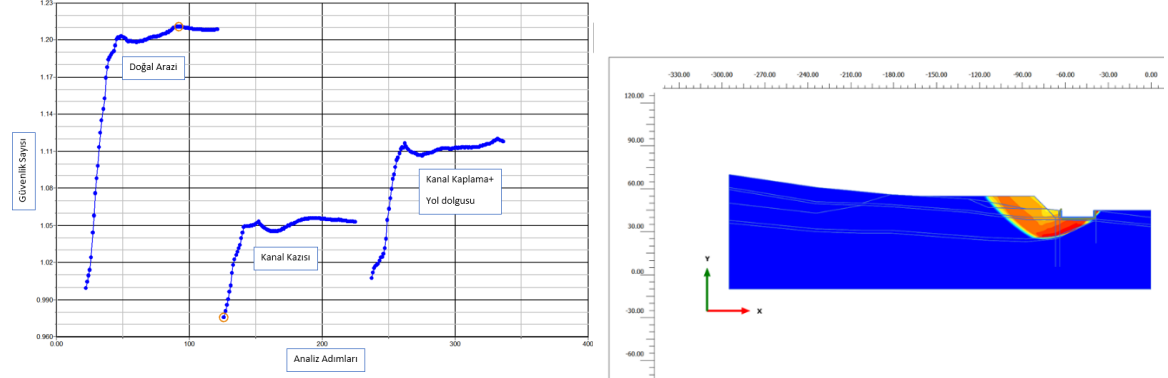


Şekil 4. Sayısal modelde kullanılan zemin profili

Hesaplarda kullanılan zemin özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Modelde kullanılan yapım aşamaları aşağıda sıralanmıştır:

1. Doğal durum (*initial phase*)
2. İmalat öncesi durum ve duraylılık analizi
3. Kanal kazısı ve duraylılık analizi
4. Bulvar inşaatı ve duraylılık analizi

FEM analizleri sonucu tüm durumlar için güvenlik sayısının değişimi ve mevcut kanal kaplamalı durumdaki kritik kayma yüzeyi Şekil 5' te verilmiştir.



Şekil-5 Tüm aşamalar için güvenlik sayısının değişimi ve kanal kaplamalı durumda kritik kayma yüzeyi
Tüm analizler FEM ile c-f azaltma yöntemi (Brinkgreve v.d., 2010)); LEM ile ise dairesel ve blok kayma yüzeyleri için Bishop (1955) ve Genelleştirilmiş Limit Denge (Fredlund ve Krahn, 1977; Fredlund v.d., 1981) yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm aşamalar için özet sonuç tablosu Tablo 3' te sunulmuştur.

Tablo 2. Sayısal analizde kullanılan zemin özellikleri

	ZEMİN MODELİ	Zayıf Kil-1	Kil	Zayıf Kil-2	Sert Kil	Killi Çakıl	Yol Dolgusu
		Pekleşen	Pekleşen	Pekleşen	Pekleşen	Pekleşen	Pekleşen
ρ_n	kN/m ³	17	19	18	20	21	21
ρ_d	kN/m ³	19	21	20	21	22	22
E_{50}^{ref}	kPa	5000	10000	5000	25000	15000	20000
E_{oed}^{ref}	kPa	5000	10000	5000	25000	15000	20000
E_{ur}^{ref}	kPa	15000	30000	15000	75000	45000	60000
c'	kPa	5	10	4	25	5	10
ϕ'	°	10	12	8	30	25	30
ψ'	°	0	0	0	0	5	3

Tablo 3. Statik şev duraylılığı analiz sonuçları

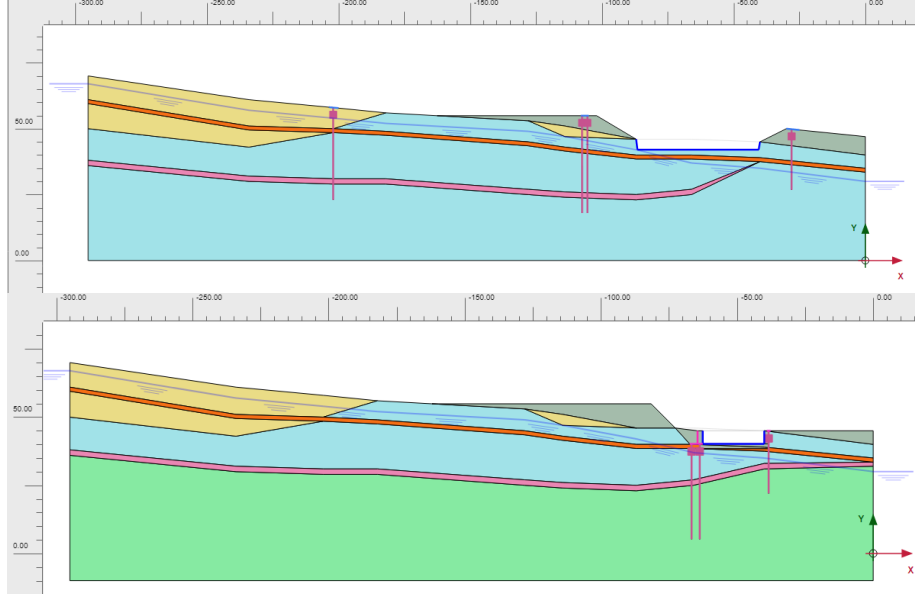
YÖNTEM	Güvenlik Sayısı		
	Doğal durum	Kazı sonrası	Dolgu sonrası
FEM, Güvenlik analizi	1.209	1.053	1.118
LEM, GLE Dairesel	1.635	-	-
LEM, Bishop Blok	-	1.049	-
LEM, GLE Blok	1.592	-	1.105

Burada ilginç bulgu, kanal kazısının güvenliği azalttığı yol dolgusunun ise duraylılığa katkı sağladığının görülmesidir.

5. KONTROL ÖNLEMLERİ

İnceleme alanındaki hareketlerin önlenmesi amacıyla farklı çözümler önerilmiştir. Bu bildiri kapsamında, sulama kanalı boyunca bulvarın 3 sıra kazıkla desteklenmesi ve kanal çevresinin yeni kanal kaplaması ve konsol duvarlı kazıklı desteklerle önlenmesi seçenekleri için yapılan analizler sunulmuştur. Kazıklar, 23-35 m arası değişen boylarda ve 1.2 m çaplı 1.4 m yatay aralıklı olarak tasarlanmıştır. Kanalın heyelan hareketinden ilk etkilenecek bulvar tarafındaki kısmı için çift sıra, diğer tarafı için tek sıra kazık önerilmiştir. Ayrıca, bulvarın

tepesinde tek sıra olmak üzere toplam 3 sıralı ilk çözüm önerisi için geometri Şekil 6a' da verilmektedir. İkinci çözüm önerisi ise, ötelenmelerden edinilen kayma yüzeyi ve sondajlardan edinilen sağlam tabaka derinliklerine göre, heyelan hareketlerini ilk karşılamak üzere 120cm çaplı 35m uzunlukta çift sıra kazık, kanal karşısında ise 120cm çaplı 23m boyunda tek sıra kazık imalatı şeklinde planlanmıştır. Çift sıra kazıklar bunlara rijitlik sağlayacak konsol duvar altında inşa edilmek üzere projelendirilmiştir. Heyelan kazıkları uygulamasının ardından, kırılan ve çatlayan mevcut kanal kesiti tekrar imal edilmiştir. Analizlerde, maksimum ötelenmenin bulunduğu inklinometre ölçüm konumuna karşılık gelen kritik kesit geometrisi kullanılmıştır (Şekil 6b). Heyelan bölgesinin orta bölümüne pasif kazık uygulamasının duraylılığa önemli bir katkı yapmayacağı görülmüştür.



Şekil-6 a) 3 sıra kazıklı, b) konsol duvar ve 2 sıra kazıklı heyelan önleme önerileri

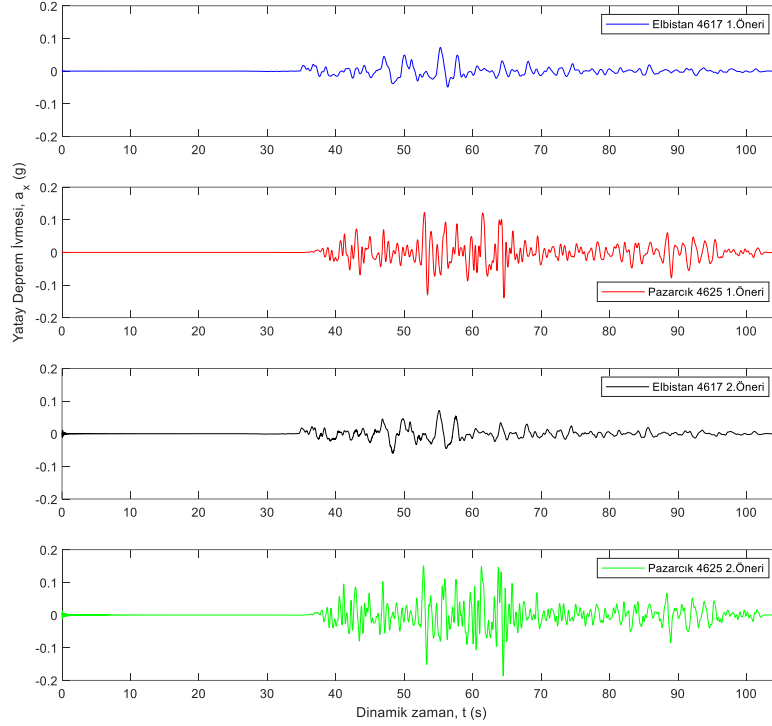
Kanal etrafındaki desteklerin imalatı öncesi ve sonrası analizlerden edinilen sonuçlara göre önerilen heyelan önleme çözümleriyle güvenlik artmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Heyelan önleme önerileri şev duraylılığı sonuçları

Önerilen Çözüm	İmalat Öncesi Güvenlik Sayısı	İmalat Sonrası Güvenlik Sayısı
3 Sıra Kazıklı	1.118	1.187
Konsol+2 Sıra Kazıklı	1.243	1.421

6. DEPREMDE DAVRANIŞ

2022 yılı sonuna doğru başlanmış olan heyelan kontrol önlemleri üzerindeki çalışmalar raporlanmış ve sulama kanalının restorasyonu için önerilen imalat yapılmış, bulvarın tutulması için bir girişim ise yapılmamıştır. Çalışmaları izleyerek 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Elbistan ($M_w= 7.6$) ve Pazarcık ($M_w= 7.7$) depremleri öncesi kanal etrafında ve kanal kaplamasındaki proje tamamlanmıştır. Gerçekleşen depremler sonrasında yapılan gözlemlerden edinilen bilgilere göre, heyelan hareketinde artış olmadığı, alınan kontrollerde ve kanal kaplamasında belirgin yapısal hasar ve ötelenmenin gerçekleşmediği anlaşılmıştır. Sunulan çalışmanın son kısmında, meydana gelen bu depremlerin söz konusu bölgeye yakın deprem istasyonlarındaki en büyük maksimum yer ivmesine (PGA) sahip kayıtları ile zaman tanım alanında (*time history*) hesap yapılmıştır. İki deprem için AFAD veri tabanından, Onikişubat Mahallesi içerisinde ve en yüksek PGA'nın kayıtları ile dinamik analizler gerçekleştirilmiştir (<https://tadas.afad.gov.tr>). Heyelan analizlerinde kullanılan sayısal modellerin tabanından etki ettirilen deprem kayıtları uygulanması ile, kanal kaplaması ve çevresindeki kazıklardan seçilen düğüm noktalarındaki etkiler incelenmiştir. Dinamik analizler sonunda en yüksek etkilerin, kanalın sol tarafındaki kazıklarda meydana geldiği belirlendiğinden, bu nokta için analiz sonunda iki deprem kaydı ve her bir heyelan kontrol önerisi için yatay deprem ivmelerinin etkisi incelenmiştir (Şekil 7). Analiz sonucunda yatay ivmeler 0.2 g değerini aşmamıştır.



Şekil 7. Heyelan kontrol önerileri sayısal modelleri için Elbistan ve Pazarçık deprem kayıtları yatay ivme sonuçları

7. SONUÇ

Dengede olarak nitelendirilebilecek kitle, topuk bölgesinden geçirilen sulama kanalı etkisi ile duraysız hale gelmiştir.

Bu inşaat sırasında sırasında topuk bölgesinden geçirilen ulaşım yolu dolgusunun duraysızlığa katkı yapmadığı hesaplanmıştır.

Kazıklı perde uygulamasının en etkin olduğu kesim topuk bölgesidir.

Deprem, çok yavaş hareket halindeki kil ağırlıklı kitleye olumsuz bir etki yapmadığı da bulgular arasındadır.

Bu nedenle birçok kuruluşta deprem bölgelerinde ≥ 0.4 g gibi yüksek ivme değerlerinin abartılı olabileceği görüşü ağırlık kazanmıştır.

SİMGELER VE KISALTMALAR

a_x	Yatay deprem ivmesi
c, c', c_r	Doruk (toplam ve efektif), kalıntı (rezidüel) kohezyon
c_u	Drenajsız kayma direnci
δ	Yatay ötelenme (hareket)
e	boşluk oranı
E_{50}, E_{oed}	Sekant (kiriş), ödometrik modülü
E_{ur}, E_u	Yükleme-boşaltma, drenajsız deformasyon modülü
ϕ, ϕ', ϕ_r	Doruk (toplam ve efektif), kalıntı (rezidüel) kayma direnci açısı
I_p, I_L	Plastisite, sıvılık indisi
M_w	Moment büyüklüğü (magnitüt)

ψ'	Efektif kabarma açısı
ρ_d, ρ_n	Doğun, doğal birim hacim ağırlık
S_r	Doğunluk derecesi
w_n	Doğal su muhtevası
w_L, w_P	Likit, plastik limit
FEM	Sonlu Elemanlar Yöntemi
GLE	Genelleştirilmiş Limit Denge Yöntemi
ISSMGE	Uluslararası Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Birliği
LEM	Limit Denge Yöntemi
PGA	Maksimum Yer İvmesi
UU	Konsolidasyonsuz Drenajsız Üç Eksenli Hücre Kesme Deneyi

KAYNAKLAR

- Bishop, A. W. (1955). "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes", *Geotechnique*, Vol. 5, pp. 7-17.
- Brinkgreve, R.B.J., Engin, E., Swolfs, W. (2010). PLAXIS 2D, Finite element code for soil and rock analyses, users manual. PLAXIS B.V., The Netherlands.
- Fredlund, D. G. ve Krahn, J. (1977). "Comparison of slope stability methods of analysis". *Canadian Geotechnical Journal*, 14, pp. 429-439.
- Fredlund, D. G., Krahn, J., Pufahl, D.E. (1981). The relationship between limit equilibrium slope stability methods. *Proceedings, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Sweden, Vol. 3, pp. 409-416.