

DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ ŞEVLERİN GÜVENLİK KATSAYISI DEĞİŞİMİNİN DEĞİŞİK GEOMETRİLER AÇISINDAN İNCELENMESİ

ANALYSIS OF THE VARIATION IN SAFETY FACTOR OF SLOPES UNDER EARTHQUAKE EFFECTS CONSIDERING DIFFERENT GEOMETRIES

Betül ÇAĞDAŞ¹, Baran TOPRAK²

ÖZET

Ülkemiz deprem kuşağı bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle, şev stabilitesi hesap ve tasarımlarında dinamik analizlerin yapılması son derece önemli bir yere sahiptir. Deprem etkisi altındaki bu şevlere dinamik analiz yapılırken şevin konumu, geometrisi, yerel zemin sınıfı ve max. yer ivmesi gibi birçok etken dikkate alınmalıdır. Şevde, kayan kütle hareketinin başlamadan tespit edilmesi ve önlemlerin alınması ise ciddi önem arz etmektedir. Bu açıdan şev stabilitesinde birçok yöntem ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan topuğa yük koyma, topuk bölgesine ek yükler koyarak kaydırıcı kuvvetlerin önüne geçmek ve etkisini azaltmaktadır. Özellikle topuk hasarında üst bölgede kayma dayanımının azalmasıyla topuk bölgesine ek yüklerin hızlı ve güvenli bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntem çoğunlukla kontrol ve önleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Böylece topuk bölgesinde destek sağlayarak zemin kayma mukavemetini arttırmaktadır. Bu çalışmada ise farklı geometriye sahip topuk hasarlı ve topuk dolgulu tasarlanan şevlerin statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Elde edilen tasarımların deprem etkisi altındaki analizleri Geo5 geoteknik programında yapılmıştır. Çalışmadaki tasarımların şeve olan etkisinin incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen güvenlik katsayıları karşılaştırılarak şevde oluşan değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev Stabilitesi, Deprem, Güvenlik Katsayısı, FEM, Geo5.

ABSTRACT

Our country is located in earthquake zone. Therefore, dynamic analyses have a very important place in slope stability calculations and designs. When performing dynamic analyses on these slopes under earthquake effect, many factors such as slope location, geometry, local soil class and max. ground acceleration should be taken into consideration. It is extremely important to detect and take precautions before the sliding mass movement on the slope. Therefore, there are many methods in slope stability calculation and design. One of these methods, toe loading, prevents and reduces the effect of sliding forces by placing additional loads on the toe area. Especially in toe damage, additional loads must be

¹ Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, cagdasbetul08@gmail.com (Sorumlu yazar)

² Dr. Öğrt. Üyesi, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, baran@kku.edu.tr



placed quickly and safely in the toe area due to the reduced in shear strength in the upper area. This method is usually used as a control and prevention method. In this study, static and dynamic analyses of slopes designed with different geometry, including toe damage and toe loaded, were conducted. The analyses of the obtained designs under earthquake effects were performed in Geo5 geotechnical program. Finite element analysis method was used to investigate the effect of the designs on the slope. Analysis results obtained from the factors of safety were compared and the change in the slope was investigated.

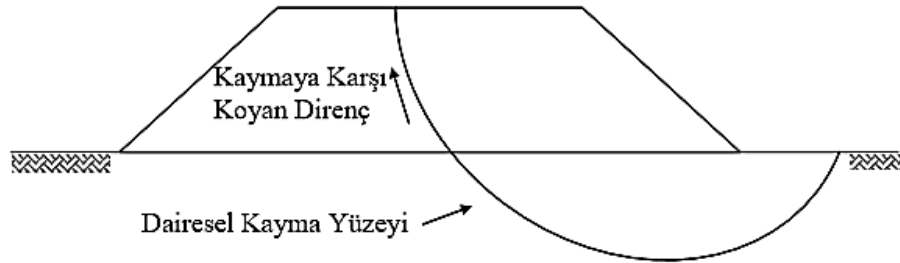
Keywords: Slope Stability, Earthquake, Factor of Safety, FEM, Geo5.

1. GİRİŞ

Bir zemin kütlelerinin yatay bir düzlemlerle veya mevcut arazi yüzeyi ile yaptığı farklı açılara 'Şev' denilmektedir. İnsan eliyle yapılan şevlere yarma veya dolgu denilirken doğal şevler ise yamaç olarak isimlendirilmektedir. Doğal şevlerin kayma ve göçme gibi hareketlerine heyelan denilirken yapay şevlerdeki kayma ve göçme hareketine direnç göstermesine ise şevin stabilitesi denilmektedir (Tunç, 2002).

Şevlerdeki duraysızlıklar ise yağış, erozyon ve deprem gibi doğal nedenlerden kaynaklanırken tünel, kanal ve baraj gibi yapay nedenlerden kaynaklı şev duraysızlıkları meydana gelmektedir. Şev duraysızlıklarında meydana gelen bu hareketler konum ve şekil değişikliğine neden olduğu için büyük oranda can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle ortam ve zemin özelliklerinin doğru ve başarılı bir şekilde tespit edilerek uygun geometriye sahip tasarımların mühendisler tarafından yapılması büyük önem arz etmektedir (Yıldırım ve Gökaşan, 2013).

Şevde kayan kütlelerin yerini ve konumunu koruyabilmesi koşuluna duraylılık denilirken bu koşulun yitirilmesine ise duraysızlık denilmektedir. Şevi oluşturan kendi ağırlığı ve dışarıdan etkileyen dinamik kuvvetlerin sonucunda şevde kayma gerilmelerinin mevcut gerilme kapasitesini aşması durumunda şev duraysızlığı meydana gelmektedir (Erol, 2009). Şekil 1'de dairesel kayma yüzeyine sahip şevde duraysızlık gösteren kütlelerin kaymaya karşı direnç gösteren kuvvetleri verilmiştir.



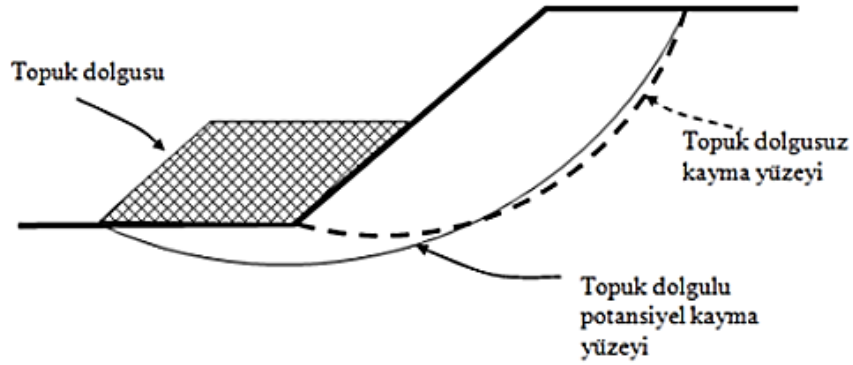
Şekil 1. Şevlerde dairesel kayma yüzeyi (Öser, 2010)

Kayma duraysızlığında, kayan kütle çok hızlı ve ani bir şekilde dairesel bir düzlem üzerinde kayarak şev geometrisinin bozulmasına neden olmaktadır. Oluşan bu duraysızlıklar da yarma şevlerinde zemin kütlelerinin ulaşım yapısının üzerine çökmesine ve dolgu şevlerinde



ise ulaşım yapısının yıkılması aniden olmaktadır. Dairesel kaymalar da farklı şekillerde oluşmaktadır. Kayma düzlemi üzerindeki kayma gerilmelerinin, kayan kütle için kayma direncinden daha yüksek olması durumunda kayma hareketi başlar ve ani bir kayma meydana gelerek zemin kütlelerinde göçme oluşmaktadır.

Kaydırıcı kuvvetlerin etkisini azaltmak ve bu durumu engellemek için ise yapılacak ilk iş şevin topuk bölgesine ek yükler koymaktır. Topuk bölgesindeki bu yükler şevde meydana gelen kayma direncini azaltır ve hareketi durdurmaktadır. Daha sonra kayan kütle kısmen ya da tamamen alınır ve başka bir yere taşınmaktadır. Kayan kütle bulunduğu alanda karayolu, demiryolu vs. varsa ya onarılır kullanıma devam edilir ya da başka bir yol açılmaktadır. Tüm bu yöntemler için maliyet, zaman ve etkili çalışma analizleri yapılmalıdır. Şev stabilitesi yöntemi olarak kullanılan topuğa yük koyma yöntemi, topuk bölgesine eklenen kaydırıcı yüklerin azaltılıp tutucu yüklerin kuvvetinin artırılmasıyla şev stabil hale gelmektedir. Şekil 2'de şevin topuk bölgesinde tabii durumdaki ve topuğa ek yüklerin yüklenerek meydana geldiği kayma yüzeyleri verilmiştir.



Şekil 2. Şev topuğuna dolgu yapılması (Huvaj, 2017)

Topuğa yük koyma, özellikle heyelan önlemede en çok kullanılan yöntemdir. Topuğa yük koymada en sık kullanılan yöntem ise topuk bölgesine kuru taş duvar yapmaktır. Fakat yapıların iyi boyutlandırıldığı, yeterli derinliğe indirildiği ve uygun granülometride malzeme seçimleri ile yapılmalıdır. Ayrıca kayma yüzeyi derinliği, yüzey ve yeraltı su durumu ve miktarının da iyi bilinmesi projelendirme için ilk koşuldur. Aksi halde kaydırıcı kuvvetlerin etkisiyle kayma ve yıkımlara neden olmaktadır (Öz, 2007).

Bu çalışmada, şevlerde özellikle topuk bölgesinde meydana gelen hasarın kayma direncini arttırmak için çeşitli tasarımlar yapılarak güvenlik katsayıları elde edilmiştir. GEO5 geoteknik analiz programı yardımıyla oluşturulan şevlerde 30°, 45° ve 60° olmak üzere 3 farklı şev eğimi, Çankırı ve Samsun bölgelerinden alınan eşdeğer deprem yüklerinin etkisiyle oluşan şev tasarımlarına topuk hasarı ve topuk dolgusu modelleri ile analizleri yapılmıştır. Tasarımlardan elde edilen analiz sonuçları neticesinde güvenlik katsayı değişimleri incelenmiştir.



2. METOT VE MATERYAL

Çalışma kapsamında kullanılan GEO5 geoteknik analiz programı, içerisinde birçok çeşitli modül yer almaktadır. Problemi tanımlanan çalışmada ilk olarak "FEM" modülü seçilmiştir. Modülde istenilen geometrideki tasarım yapılarak analizi yapılmıştır ve Fs güvenlik katsayı değerleri elde edilmiştir. Zeminin malzeme modeli, birim ağırlık, içsel sürtünme açısı, zemin kohezyonu ve doymun birim ağırlık değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Dolgu zemin malzemesi olarak, ana zeminin aynı özelliklerine sahip zemin değerleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Zemin değerleri

Düşük veya Orta Plastisiteli Kil (CL, CI), Sert kıvam	
Malzeme modeli:	Mohr-Coulomb
Birim ağırlık:	γ : 21,00 Kn/m ³
İçsel sürtünme açısı:	ϕ : 19,00 °
Zemin kohezyonu:	c : 12,00 kPa
Doymun birim ağırlık:	γ_{sat} : 22,00 Kn/ m ³

Yapılan çalışmada GEO5 geoteknik analiz programı üzerinde yapılan, çeşitli parametreleri içeren 27 farklı tasarım gerçekleştirilmiştir. Şev yükseklikleri ve derinlikleri 3 farklı şev eğiminde de aynıdır. Sırasıyla yükseklik ve derinlik uzunlukları ise 10 m ve 15 m olarak belirlenmiştir. Fakat şevin geometri sınırları, şev eğiminin izdüşüm uzunluğundan kaynaklı 3 farklı şev eğiminde de farklıdır. Şev izdüşüm uzunlukları 30°, 45° ve 60° 'de sırasıyla 17.32 m, 10 m ve 5.77 m olarak tasarlanmıştır. Nedeni ise aynı yüksekliğe sahip şevlerin eğimlerinden kaynaklı izdüşüm uzunluklarının değişkenlik göstermesidir.

Tasarlanan şev geometrileri üzerine Samsun ve Çankırı bölgelerinden alınan deprem verileri etki ettirilmiştir. Bu değerler, <https://tdth.afad.gov.tr> sitesindeki Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından alınan deprem verileri sayesinde GEO5 Geoteknik Analiz Programına aktarılmıştır. Bu değerler, TBDY-2018 Deprem Yönetmeliği'nde 16.13.11 maddesinin (b) şikkında, deprem durumunda kaymaya karşı güvenlik sayısının hesaplanmasında yatay ve düşey eylemsizlik kuvvetlerinin etkisi sırasıyla; Yatay ve Düşey eşdeğer deprem katsayısı $k_h = 0.2S_{DS}$ ve $k_v = \mp 0.5k_h$ olarak alınmıştır (TBDY-2018).

Tablo 2 ve Tablo 3'te sırasıyla Çankırı ve Samsun bölgelerine ait şevlerdeki yatay ve düşey eylemsizlik kuvvetlerin etkisini bulmak için deprem etkisinin hesaplanmasında gerekli veriler sıralanmıştır.



Tablo 2. Çankırı deprem verileri

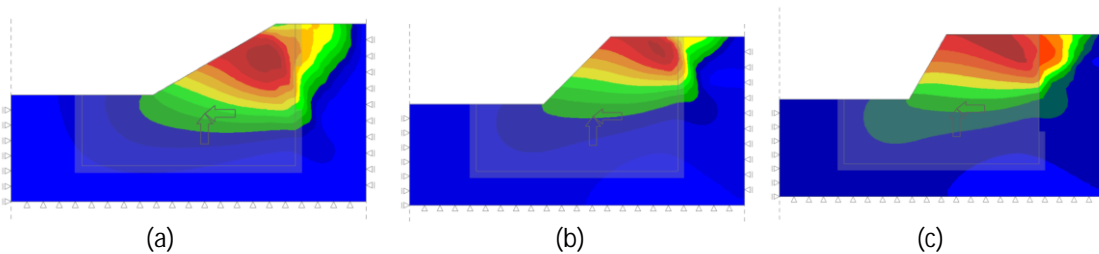
Enlem			Boylam		
40.7171604			32.8219733		
S_s	S_1	S_{DS}	S_{D1}	PGA	PGV
0.973	0.300	1.168	0.450	0.401	26.290
ÇANKIRI					

Tablo 3. Samsun deprem verileri

Enlem			Boylam		
41.2814508			35.525411		
S_s	S_1	S_{DS}	S_{D1}	PGA	PGV
0.783	0.260	0.940	0.390	0.330	22.784
SAMSUN					

Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen Enlem, Boylam, Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s), 1.0 Saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1), Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}), 1.0 Saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}), En büyük yer ivme katsayısı (PGA) ve En büyük yer hızı (PGV) değerleri verilmiştir.

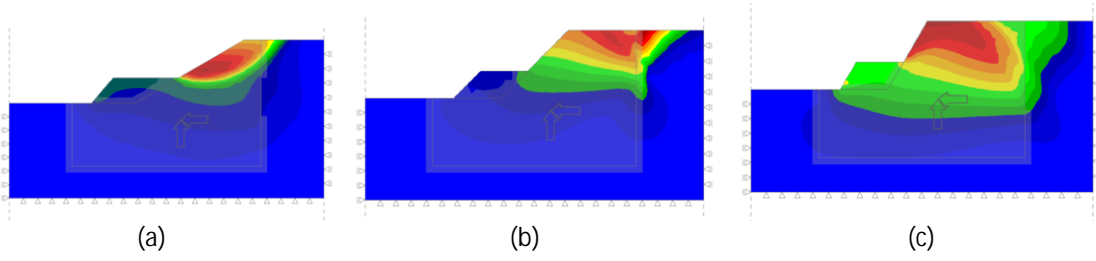
GEO5 Geoteknik Analiz Programı ile oluşturulan tasarımların; 30°, 45° ve 60° Çankırı bölgesi deprem etkili referans şev geometrileri, 30°, 45° ve 60° Çankırı bölgesi deprem etkili ve topuk dolgulu şev geometrileri ve 30°, 45° ve 60° Çankırı bölgesi deprem etkili ve topuk hasarlı şev geometrileri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te her biri ayrı olarak modellenerek FEM modülünde analizleri yapılmıştır.



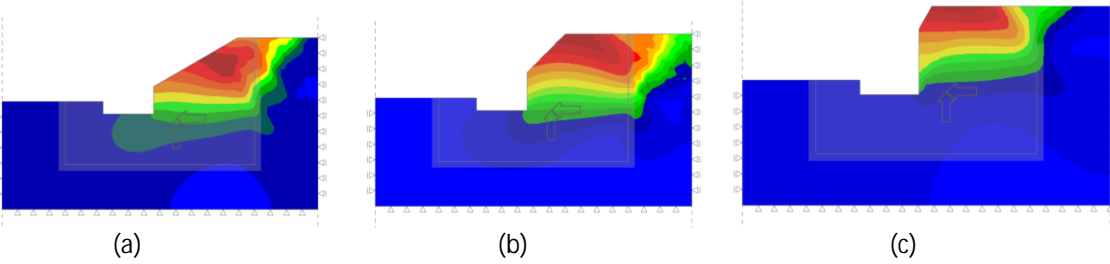
Şekil 3. Sırasıyla 30°, 45° ve 60° Çankırı bölgesi deprem etkili referans şev geometrileri (a), (b), (c)



Deprem Etkisi Altındaki Şevlerin Güvenlik Katsayısı Değişiminin Değişik Geometriler Açısından İncelenmesi



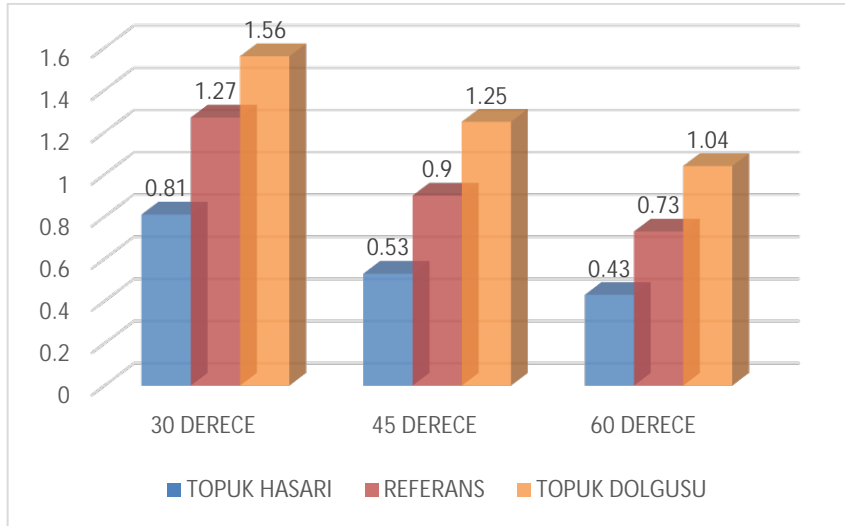
Şekil 4. Sırasıyla 30°, 45° ve 60° Çankırı bölgesi deprem etkili ve topuk dolgulu şev geometrileri (a), (b), (c)



Şekil 5. Sırasıyla 30°, 45° ve 60° Çankırı bölgesi deprem etkili ve topuk hasarlı şev geometrileri (a), (b), (c)

2.1. Referans Şev Analizleri

30°, 45° ve 60° şev eğimine sahip tasarımlarda deprem etkisine maruz kalmadan sırasıyla topuk hasarı, referans ve topuk dolgusuna sahip şev modellerinin analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 6).

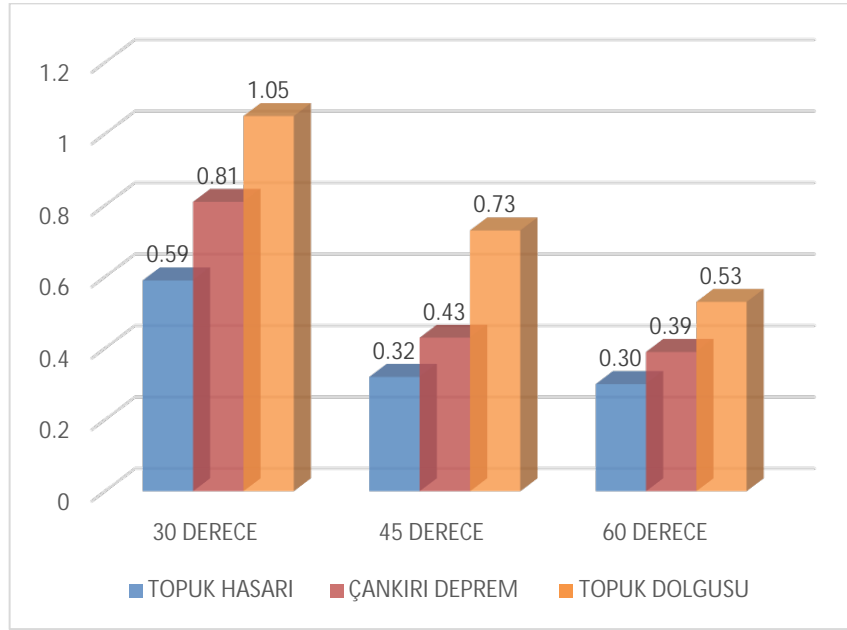


Şekil 6. Referans şev analiz sonuçları

2.2. Çankırı Şev Analizleri

30°, 45° ve 60° şev eğimine sahip tasarımlardaki Çankırı eşdeğer deprem yüküne etkimiş sırasıyla topuk hasarı, Çankırı deprem normal şev ve topuk dolgusuna sahip şev modellerinin analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 7).

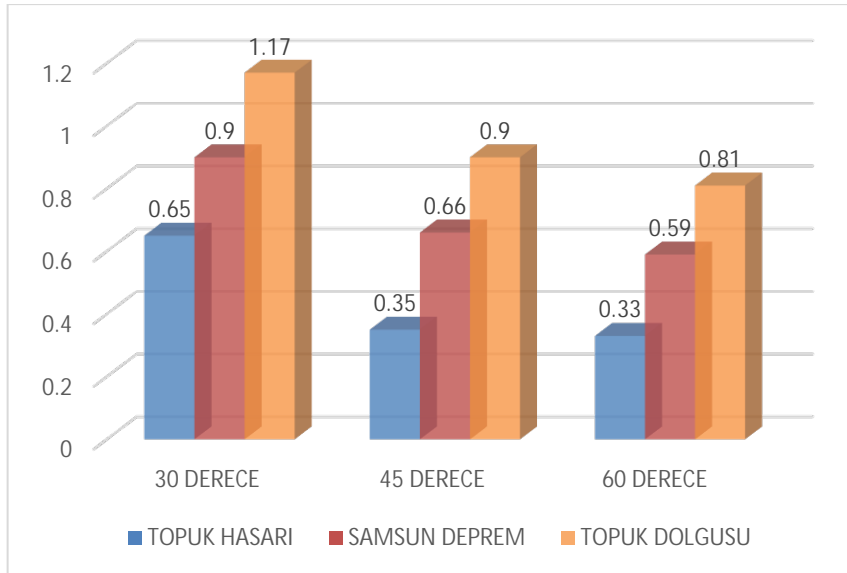




Şekil 7. Çankırı eşdeğer deprem veri analizi

2.3. Samsun Şev Analizleri

30°, 45° ve 60° şev eğimine sahip tasarımlardaki Samsun eşdeğer deprem yüküne etkimiş sırasıyla topuk hasarı, Samsun deprem normal şev ve topuk dolgusuna sahip şev modellerinin analiz sonuçları verilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Samsun eşdeğer deprem veri analizi

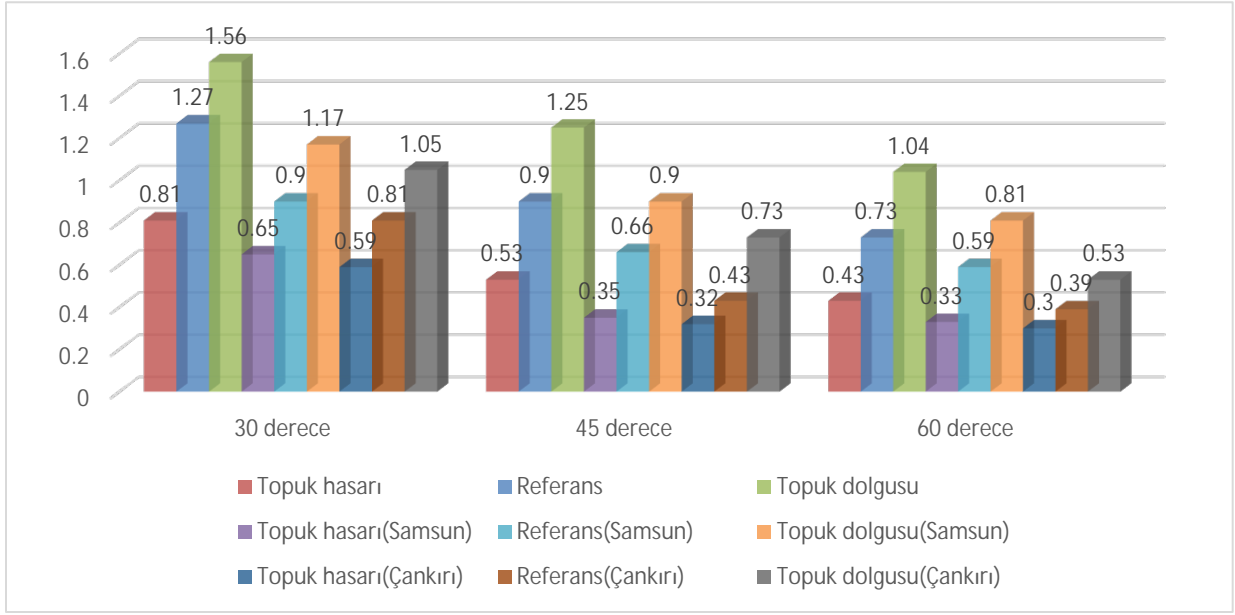


3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Samsun ve Çankırı bölgelerinden alınan deprem verilerinin etki ettirildiği şevlerdeki topuk bölgesinde oluşan topuk hasarı ve topuğa yük koyma işlemleri sonucu şev üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şev eğimi; 30° , 45° ve 60° olmak üzere 3 farklı geometriye sahip şev tasarımları, GEO5 Geoteknik Analiz Programında yapılmıştır. 4 m topuk hasarı ve 4 m topuğa yük koyma şeklinde tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak farklı parametrelere sahip toplam 27 analiz sonucu F_s değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 9'da verilen çizelgede, 30° , 45° ve 60° şev eğimine sahip Referans sonuçları, Samsun ve Çankırı bölgelerine ait şevlerdeki yatay ve düşey eylemsizlik kuvvetlerin etkisi altında oluşturulan topuk hasarlı ve topuk dolgulu şevlerin güvenlik katsayı değişimi verilmiştir. Aşağıda çalışmadan elde edilen analiz sonuçları görülmektedir:

- Referans güvenlik katsayısı (F_s) değerlerine göre, 4 m topuk hasarına sahip 30° , 45° ve 60° şev eğimli tasarımların hepsinde güvenlik katsayısı (F_s) değerlerinde bir azalma görülmüştür.
- Şev topuğunda meydana gelen hasarın şevde kaymayı destekleyici kuvvetleri arttırarak kayma dayanımının azalmasıyla güvenlik katsayısı (F_s) değerinde bir azalma meydana getirmektedir.
- Referans güvenlik katsayısı (F_s) değerlerine göre, 4 m topuğa yük koymaya sahip 30° , 45° ve 60° şev eğimli tasarımların hepsinde güvenlik katsayısı (F_s) değerlerinde bir artış görülmüştür.
- Şev topuğunda oluşturulan ek yükler şevde kaydıran kuvvetleri azaltarak kayma dayanımını arttırmasıyla güvenlik katsayısı (F_s) değerinde bir artış meydana getirir.
- Şev eğimi 30° olan tasarımdan, 60° olan tasarıma geçildiğinde her üç eğimde de F_s değerlerinde bir azalma gözlenmiştir.
- Şev eğiminin artması hareket eden kütlelerin kayma dayanımını azaltarak güvenlik katsayısını (F_s) düşürmektedir. Böylece şev geometrisinin ve eğiminin şevin stabilitesi üzerinde önemli bir etki oluşturduğu görülmektedir.
- Referans, topuk hasarı ve topuğa yük konulan şevlerdeki güvenlik katsayısı (F_s) değerlerine göre, Samsun ve Çankırı bölgelerinden alınan deprem verilerinin etkilediği 30° , 45° ve 60° şev eğimli tasarımların hepsinde güvenlik katsayısı (F_s) değerlerinde bir azalma gözlenmiştir.
- Statik durumda güvenli olan şevlerin deprem kuvvetlerinin etkisi altındaki davranışları çok farklı olmaktadır. Deprem kuvvetlerinin neden olduğu kayma gerilmelerinden kaynaklanan güvenlik katsayısı (F_s) değerinde azalma meydana getirmektedir.





Şekil 9. Referans, Samsun ve Çankırı deprem etkilerinin topuk hasarı ve topuk dolgusu üzerindeki etkisi

Sonuç olarak, çalışma kapsamında oluşturulan tasarımlarda topuk hasarında ve topuğa yük koymada şev eğimi ve deprem etkisi durumuna bağlı olarak değişimleri verilmiştir. Şev eğiminin artması F_s güvenlik katsayısını kayma dayanımını düşürmesine bağlı olarak azaltmaktadır. Aynı şekilde, dinamik kuvvetlerin etkisiyle statik durumdaki şev geometrisinde stabilite kaybına neden olmasının sonucu olarak F_s güvenlik katsayısında azalma meydana gelmektedir. Şev topuğundaki hasar F_s güvenlik katsayısını azaltırken topuğa ek yüklerin eklenmesi, F_s güvenlik katsayısını arttırmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın büyük bir parçasını oluşturan Fine Firması tarafından sağlanan GEO5 Geoteknik Yazılım Hesap Program Paketini çalışmam için bana temin eden Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Kurumu Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Brand, E.W. VE Premchitt, J. (1989), "Comparison of the Predicted and Observed Performance of the Muar Test Embankment", Int. Symp. On Trial Embankments on Malaysian Marine Clays, Kuala Lumpur.
- Çağdaş, B., (2024), "Şevlerde Topuğa Yük Koyma ve Topuk Hasarının Değişik Yeraltı Su Düzeylerinde Şev Stabilitésine Etkisi", Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çağdaş, B. ve Toprak, B., (2023), "The Effect of Toe Loading and Toe Damage on Slope Stability at Different Water Levels", Proceedings of 3rd International Civil Engineering and Architecture Congress (ICEARC'23).



Deprem Etkisi Altındaki Şevlerin Güvenlik Katsayısı Değişiminin Değişik Geometriler Açısından İncelenmesi

- Erol, O., (2009), "Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği", Ankara: İller Bankası Genel Müdürlüğü Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, 7/1-7/20.
- Huvaj, N., (2017), "Şev stabilitesi", İnşaat Mühendisleri Odası. İstanbul.
- Öser, C., (2010), "Yumuşak Zeminler Üzerindeki Toprak Dolguların Limit Denge ve Performansa Dayalı Tasarımı", İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programı, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öz, E., (2007), "Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları", İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Tunç, A., (2002), "Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları Kitabı", Atlas Yayın Dağıtım.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018.
- Yıldırım, M. ve Gökaşan E., (2013), "Mühendisler için Jeoloji Bilgileri", Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama
kN	Kilonewton
k_h	Eşdeğer yatay deprem katsayısı
k_v	Eşdeğer düşey deprem katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1.0 Saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 Saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
γ	Birim ağırlık
ϕ_{ef}	İçsel sürtünme açısı
c_{ef}	Zemin kohezyonu
γ_{sat}	Doymun birim ağırlık

