

ANKARA - AKPINAR MAHALLESİNDE MEYDANA GELEN HEYELANIN LİMİT DENGİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMLERİYLE MODELENMESİ

MODELLING OF THE LANDSLIDE OCCURED IN ANKARA - AKPINAR DISTRICT WITH LIMIT EQUILIBRIUM AND FINITE ELEMENT METHODS

Mehmet Can ETİZ¹, B. Sadık BAKIR²

ÖZET

Bu araştırmada, Ankara İli Akpınar Mahallesi'nde 2011 yılı Haziran ayında meydana gelen şiddetli yağış sonrasında tetiklenen heyelan vaka çalışması olarak incelenmiştir. Söz konusu şev, tahmin yeteneklerini karşılaştırmak amacıyla iki boyutlu limit denge yöntemine ilaveten iki ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak statik yükleme koşulları altında modellenmiştir. Ayrıca, şev topuğundaki destekli temel kazısının şev duraylılığına olan etkisi araştırılmıştır. Olası depremlerin şev üzerindeki etkileri, iki boyutlu modeller üzerinde limit denge ve sonlu elemanlar metotları kullanılarak yarı-statik ve zaman tanım alanı yöntemleri ile araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Heyelan Hızı, Sel Durumu, Zaman Tanım Alanında Deprem Hesap Yöntemi, Limit Denge ve Sonlu Elemanlar Yöntemleri, Şev Duraylılığı.

ABSTRACT

In this research, the landslide, which was triggered following the heavy rainfall occurred in June 2011 in the Akpınar District of Ankara has been investigated as a case study. The slope has been modeled using two-dimensional limit equilibrium method as well as with two and three-dimensional finite element method under static loading conditions to compare the predictive capabilities of the methods mentioned. Besides, the effect of a supported vertical cut due to a foundation excavation at the toe of the slope has been investigated. Potential effects due to probable seismic events on the slope were searched by the two-dimensional limit equilibrium and finite element models through pseudo-static and time history analyses.

Keywords: Landslide Velocity, Flood Condition, Earthquake Time-History Analysis, Limit Equilibrium and Finite Element Methods, Slope Stability.

¹Teknik Uzman, İller Bankası, mcedenizli@gmail.com (Sorumlu yazar)

²Profesör Doktor, ODTÜ, bakir@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bu bildiride Ankara-Akpınar Mahallesinde heyelan belirtileri görülen bir şevin limit denge yöntemi, iki boyutlu ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan modellerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırmaktadır. 2011 yılı Haziran ayı içerisinde Ankara’da meydana gelen yoğun yağışlar sonrasında söz konusu şev üzerinde heyelan belirtileri ortaya çıkmış ve bir bina şev istikametinde 4 ila 5 derece civarında eğilmiş, bölgedeki diğer binalarda da bazı hafif yapısal hasarlar gözlenmiştir. Heyelan oluşumunu araştırmak amacıyla geoteknik konusunda uzman mühendisler ve akademisyenler tarafından bir dizi çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmada, sahadaki inklinometre kuyularından elde edilen veriler kullanılarak hız-zaman grafikleri oluşturulmuş ve söz konusu şev iki ve üç boyutlu modeller kullanılarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde geri analiz yöntemiyle denge parametreleri araştırılmıştır. Şevin topuğunda yer alan bir temel kazısının ve 2011 yılı Haziran ayı içerisinde meydana gelen yoğun yağışların heyelanın duraylılığına olan etkileri iki boyutlu limit denge ve sonlu elemanlar yöntemleriyle incelenmiş, ayrıca, sahanın marjinal denge durumu üç boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, vaka şevi üzerinde deprem aktivitesine bağlı olarak ortaya çıkabilecek olası etkiler deprem senaryoları üzerinden incelenmiştir. Bu amaçla, drenajlı ve drenajsız parametre setleri ayrı ayrı kullanılarak iki boyutlu modeller üzerinde limit denge ve sonlu elemanlar yöntemleriyle zaman tanım alanında ve yarı-statik katsayı yaklaşımıyla analizler yapılmıştır.

2. VAKA TANIMI VE GEÇMİŞİ, MODEL KURULUMU, STATİK VE DİNAMİK ANALİZLER

2.1. Heyelan Alanı ve Daha Önce Yapılan Çalışmalar

16 Haziran 2011’de Ankara’da meydana gelen şiddetli yağış yerel sel baskınlarına neden olmuş, şehirdeki yerleşim birimleri ve ulaşım sistemleri yer yer çeşitli şekillerde zarar görmüştür. Vaka şevi üzerinde yer alan çok katlı konut binalarında bazı hasarlar ortaya çıkmıştır. Bu hasarların ağır yağışı müteakip şev zemininin yüzeyde suya doygun hale gelmesinden kaynaklandığı öngörülmüştür. Söz konusu şev üzerinde yer alan binalardan Güneş Apartmanının temeli şev yönünde 4 ila 5 derece kadar yatmış, söz konusu bina için daha sonra yıkım kararı alınmıştır. Ayrıca şev üzerinde yer yer çekme çatlakları oluşmuş ve şev yüzeyinde bazı kesimlerde deplasmanlar meydana gelmiştir.

Yağış öncesinde şev topuğunun bir bölümünde bir iş merkezi inşaatının ankrajlarla desteklenen betonarme duvardan oluşan 44 m genişlikteki dik temel kazısı devam etmekteydi. Şev eğimine dik doğrultuda konumlanan ve yüksekliği 18 m civarına ulaşmış olan duvarın yüzeyinde yağış sonrasında çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca, yine şev topuğunda ve söz konusu kazı sahasının bitişiğinde kalıcı ankrajlarla desteklenen bir akaryakıt istasyonu bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Şevin topuğundan taç kısmına doğru bir görünüm (Temmuz 2019).

Vaka şevine dair geoteknik veriler şu şekilde özetlenebilir: Şevin eğimi ortalama 20° civarında olup, zemin yapısı yüzeyden artan derinlikle birlikte, sırasıyla, rezidüel zemin, grovak ve şist birimlerden oluşmaktadır. Sondaj kuyularında yapılan ölçümler itibarıyla yeraltı suyunun yüzeyden derinliği 1,5 m ile 18 m arasında değişmektedir. Sondaj lokasyonlarının uydu görüntüsü Şekil 2’de sunulmuştur (görüntünün alındığı tarihte iş merkezi kazısına henüz başlanmamıştır). Şekilde yer alan sondaj kuyularının tamamında inklinometreler yerleştirilmiştir.



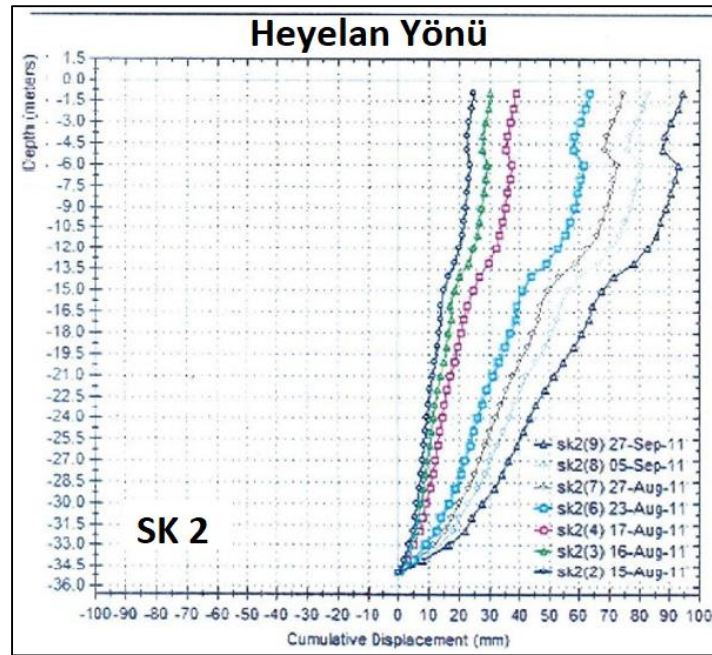
Şekil 2. Kiper (2011) tarafından yapılan sondaj lokasyonları (Çokça ve diğerleri,2011).

Vaka konusu şev ile ilgili olarak geçmişte yapılmış çalışmalar özetlenecek olursa, 1987 tarihli İller Bankası Jeolojik Araştırma Raporunda sahanın mevcut haliyle yerleşime uygun olmadığı, yerleşime açılması durumunda ek önlemler alınması gerektiği belirtilmiştir (Tanverdi ve Ekici, 1987). Heyelan belirtilerinin ortaya çıkmasını müteakip heyelandan etkilenen konutların sakinleri tarafından İnşaat ve Jeoloji Mühendisleri Odalarından ve

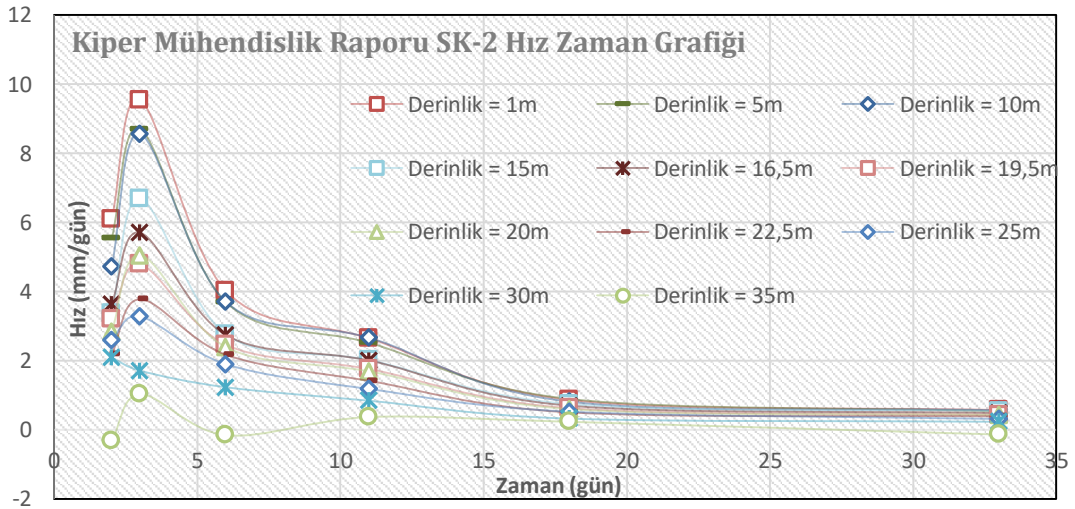
AFAD'dan görüş istenmiş, Çankaya Belediyesince detaylı jeolojik/geoteknik araştırmalar yaptırılmış, uzman akademisyenlerden görüş alınmış ve öneriler doğrultusunda ek çalışmalar yaptırılmıştır.

İnclinometre Verilerinden Oluşturulan Hız-Zaman Grafikleri

Çokça ve diğerleri (2011) tarafından açıklandığı üzere, sahadaki inclinometrelerden alınan veriler değerlendirildiğinde heyelanın hızı Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırmasına göre “çok yavaş” ve “yavaş” olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada inclinometre verileri kullanılarak her inclinometre lokasyonu için hız-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Örnek teşkil etmesi bakımından Kiper (2011) çalışmasında yer alan SK-2 inclinometre kuyusuna ilişkin deplasman ve hız-zaman grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla verilmektedir.



Şekil 3. SK-2 inclinometre kuyusundan alınan heyelan istikametindeki deplasman okumaları (Kiper, 2011).



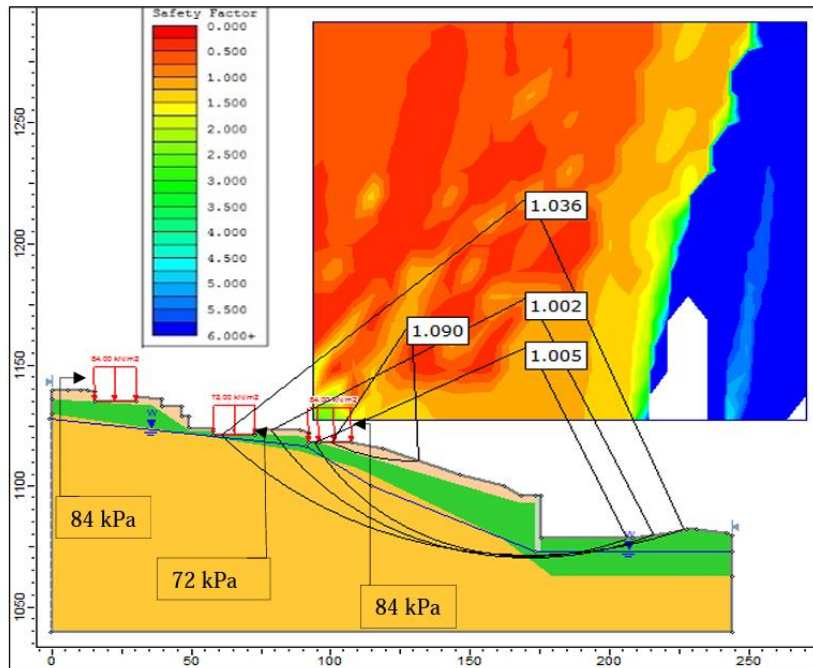
Şekil 4. SK-2 inclinometre kayıtları esas alınarak oluşturulan hız-zaman grafiği.

2.2. Model Kurulumu

Yoğun yağış sonrasında şev üzerinde oluşan marjinal denge durumunu modellemek amacıyla bir dizi geri analizler yapılmıştır. Geri analiz yapılarak hesaplanacak olan mukavemet parametreleri ile ilgili olarak Abramson ve diğerleri (2001), çözümün, dengeyi sağlayan çeşitli kümelerin kombinasyonları yoluyla sağlanabileceğini belirtmektedir. Ayrıca, parametrelerin değerleri, laboratuvar veya saha test verileriyle tutarlı olmalıdır. Dolayısıyla, şev yüzeyi altında sığ ve derin seviyelerden alınan numuneler üzerinde yapılan direk kesme deneylerinden elde edilen sonuçlar geri analizlerde mukavemet parametrelerinin başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır. Limit denge yöntemi kullanılarak yapılan geri analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmektedir. Çözümlemelerde Rocscience SLIDE, RS2 ve RS3 yazılımları kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan kesit ve hesaplanan güvenlik sayılarını içeren sonuçlar Şekil 5’te sunulmuştur. Şekilde görüleceği üzere, geri analizlerde kullanılan kesitte yer alan üç binadan şev üzerine aktarılan kuvvetler sürşarj olarak modellenmiş olup, bunlardan en sağda yer alan, heyelanda şev istikametinde yatan ve daha sonra yıkılmasına karar verilen Güneş Apartmanıdır.

Tablo 1. Geri analizler sonucunda zemin tabakaları için belirlenen rezidüel mukavemet parametre setleri.

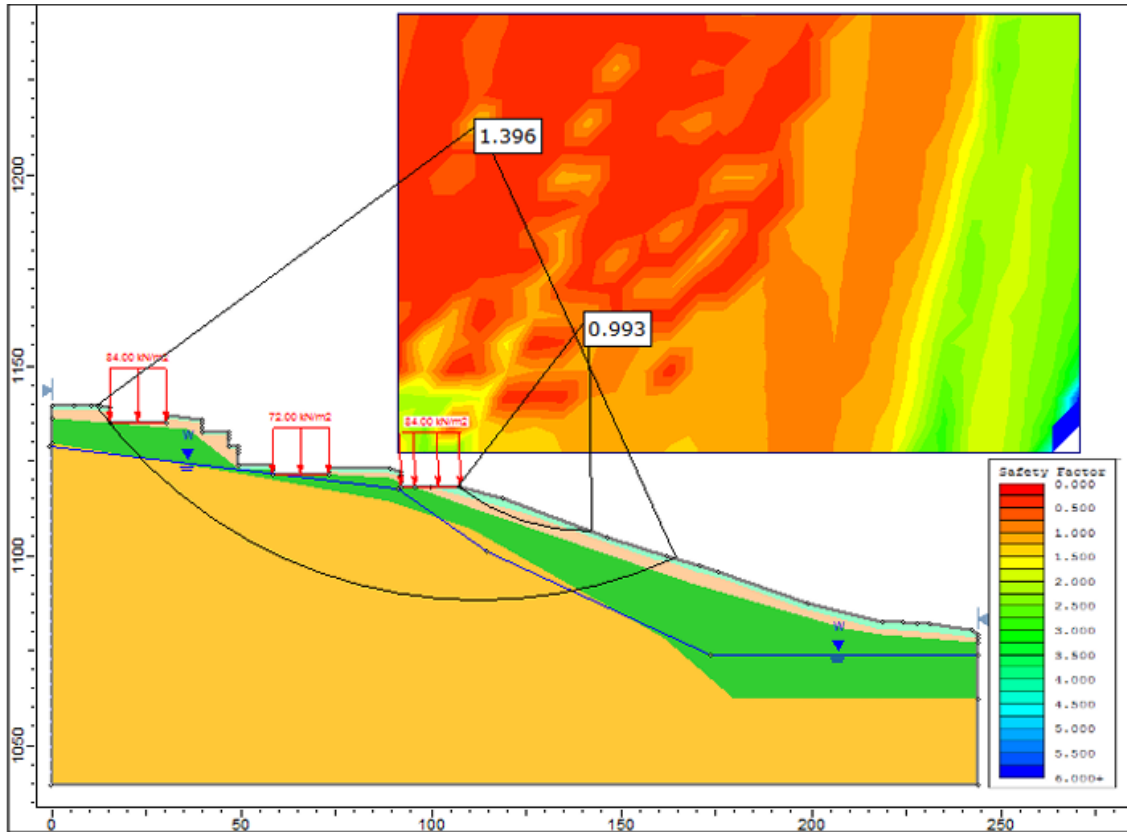
Tabaka	Drenajlı Kohezyon- c' (kPa)	Drenajlı İçsel Sürtünme Açısı ($^{\circ}$)
Dolgu	2	17
Grovak	7	19
Fillit	1	22



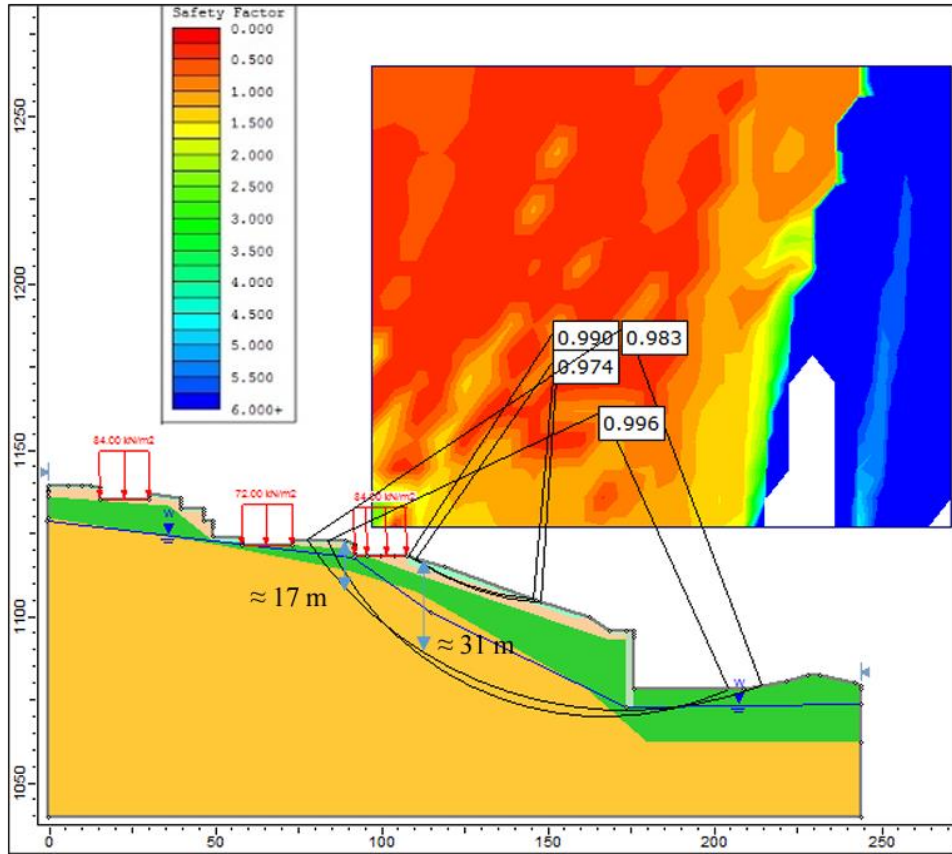
Şekil 5. Geri analizde kullanılan kesit ve elde edilen sonuçlar.

2.3. Statik Analizler

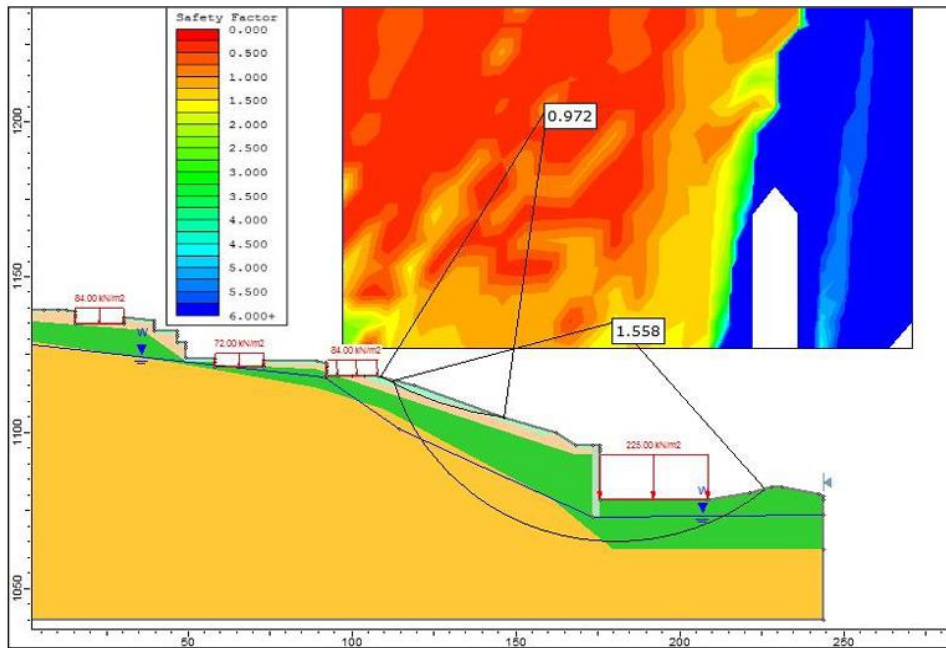
Statik durumda yağışın (sel durumunun) şev üzerindeki etkileri, şev zemininde yeraltı suyu seviyesinin bir metre yükselmesi ve şev yüzeyinde bir metre kalınlığındaki zeminin suya doymun hale gelmesi şeklinde modellenmiştir. Şev yüzeyindeki doymun durum için Bishop ve Morgenstern (1960) tarafından boşluk suyu basıncının toplam düşey zemin basıncına oranı olarak tanımlanan boşluk suyu oranı (R_u parametresi), Fredlund ve Barbour (1986) tarafından önerildiği şekilde saha koşulları dikkate alınarak 0,35 olarak seçilmiştir. Sonrasında ise, şevin topuğunda yapılan iş merkezi kazısının şev duraylılığına olan etkisi (i) kazının olmadığı (şevin doğal durumu), (ii) kazının tamamlanmış olduğu ve (iii) iş merkezi binasının tamamlanmış olarak şev topuğuna yüklenmiş olduğu durumlar modellenerek duraylılık analizleri ile incelenmiştir. Limit denge yöntemi kullanılarak yapılan analizlerin sonuçları Şekil 6, 7 ve 8’de; sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan statik analizlerin sonuçları ise Şekil 9, 10 ve 11’de sunulmaktadır.



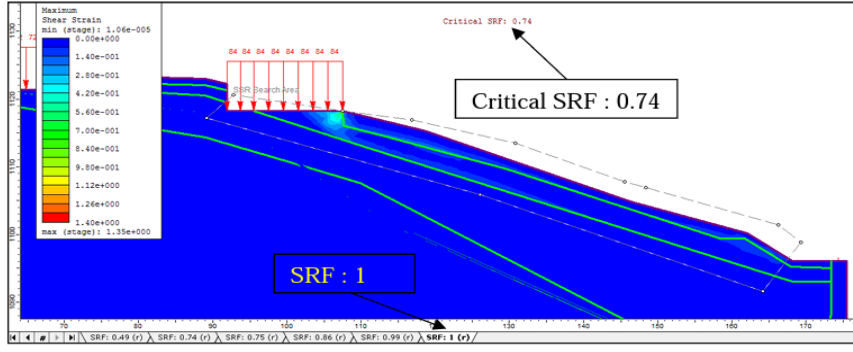
Şekil 6. Şevin topuğunda iş merkezi temel kazısı olmadığı durum (şevin doğal hali) için yağışın şev duraylılığı üzerindeki etkisinin limit denge yöntemiyle araştırılması.



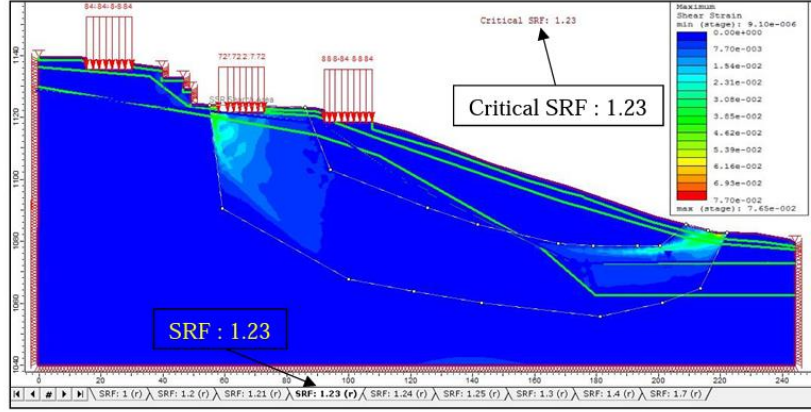
Şekil 7. İş merkezi temel kazısı tamamlanmış durumda yağışın şev duraylılığı üzerindeki etkisinin limit denge yöntemiyle araştırılması.



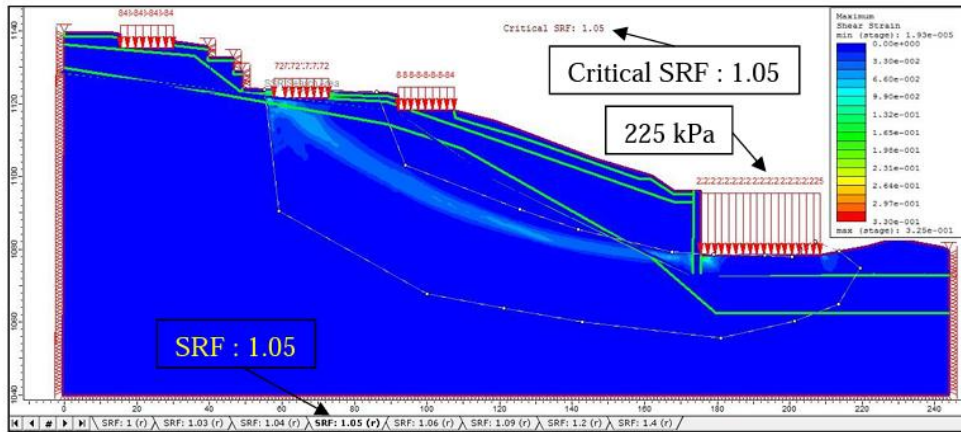
Şekil 8. İş merkezi inşaatı tamamlanmış durumda yağışın şev duraylılığı üzerindeki etkisinin limit denge yöntemiyle araştırılması.



Şekil 9. Şevin topuğunda iş merkezi temel kazısı olmadığı durum (şevin doğal hali) için yağışın kesitte sığ seviyelerdeki şev duraylılığı üzerindeki etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılması.



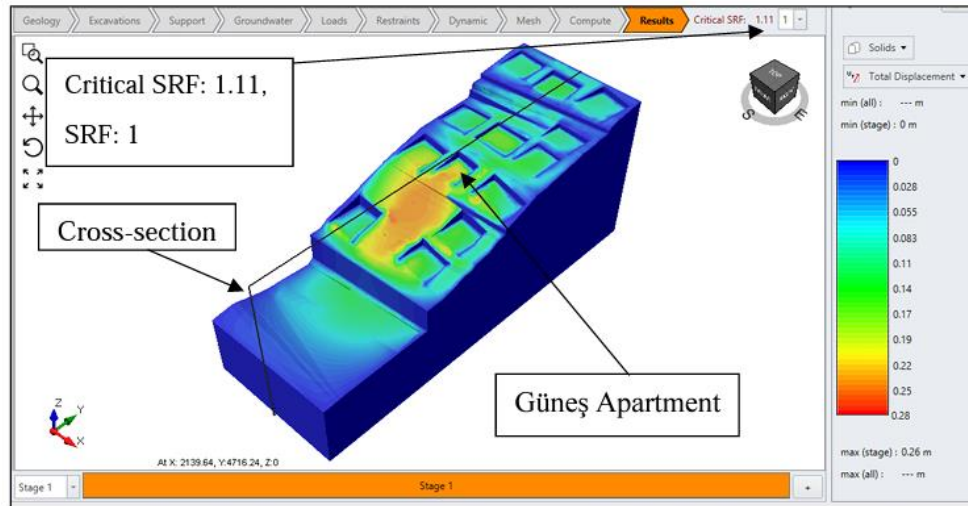
Şekil 10. Şevin topuğunda iş merkezi temel kazısı olmadığı durum (şevin doğal hali) hali için yağışın kesitte derin tabakalardaki şev duraylılığı üzerindeki etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılması.



Şekil 11. İş merkezi inşaatı tamamlanmış durumda yağışın şev duraylılığı üzerindeki etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılması.

Yukarıdaki şekillerden görüleceği üzere, yağışın etkilerine bağlı olarak şev kesitinde sığ ve derin seviyelerde duraylılık sorunları ortaya çıkmaktadır; ancak, şev topuğunda yer alan iş merkezi binasının tamamlanması şevin derin kayma duraylılığına olumlu yönde önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, beklendiği şekilde, sonlu elemanlar modelleriyle yapılan analizlerden elde edilen güvenlik katsayıları limit denge modelleri kullanılarak hesaplananlara kıyasla yaklaşık %10 daha küçüktür.

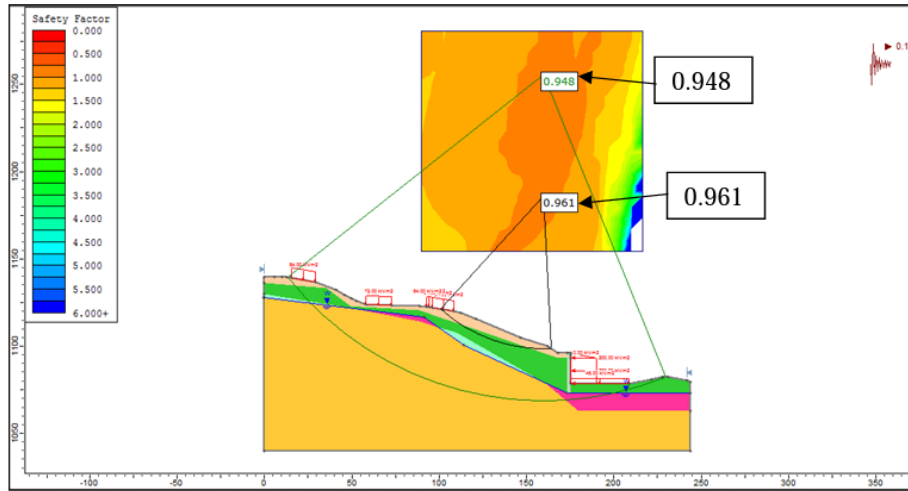
Üç boyutlu model kurulumu için burada iki boyutlu modellerde kullanılan kesitin yanı sıra Çokça ve diğerleri (2011) tarafından kullanılan bir diğer kesit alınarak öncelikle üç boyutlu bir yüzey ve bir kütle oluşturulmuş, daha sonra bu kütle üzerinde sahanın marjinal denge durumu modellenmiştir (Şekil 12). Üç boyutlu modelle yapılan analiz sonucunda güvenlik faktörü iki boyutlu analizlere göre, beklendiği gibi, bir miktar yüksek çıkmakla birlikte Güneş Apartmanının yer aldığı zayıf bölge net bir şekilde görülmektedir.



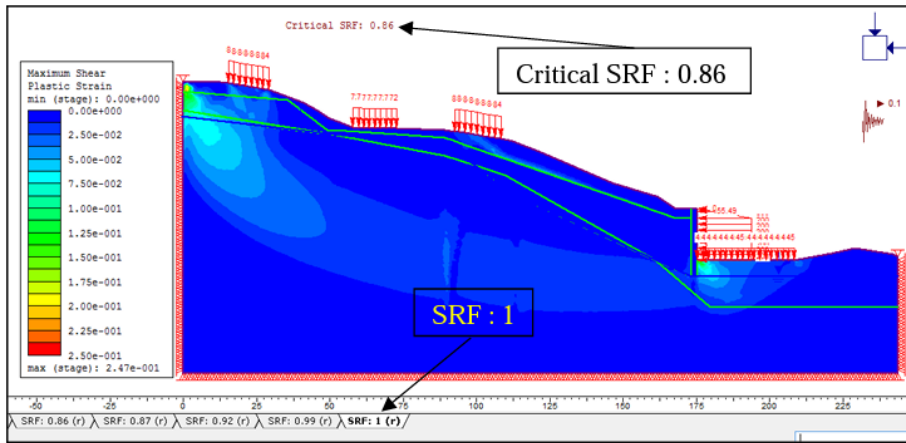
Şekil 12. İş merkezi kazısı tamamlanmış durumda sahanın marjinal denge durumunun üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle araştırılması.

2.4. Dinamik Analizler

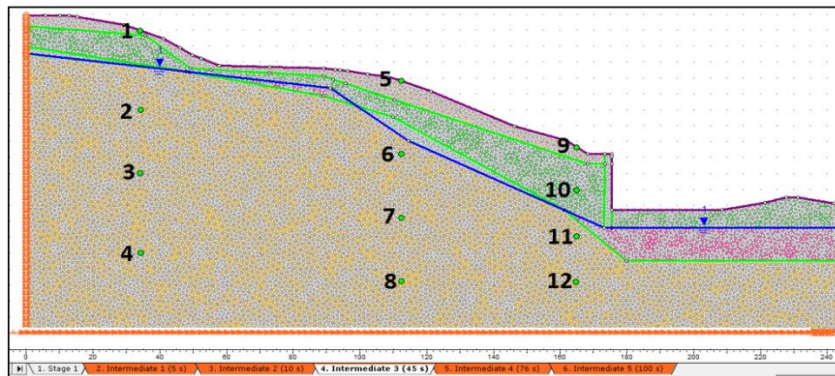
Meydana gelebilecek muhtemel depremlerin şev üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla Kalecik 2016 depreminin ($M_w = 4,2$) doğu-batı kaydı kullanılmış olup, en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri 0,05g, 0,075g ve 0,1g olacak şekilde ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Dinamik analizler, iki boyutlu modeller kullanılarak limit denge ve sonlu elemanlar yöntemleriyle yapılmıştır. Limit denge yönteminde yarı-statik yatay ivme katsayısı yöntemi, sonlu elemanlar yönteminde ise hem limit denge hem zaman tanım alanı yöntemleri kullanılmıştır. Çözümlemeler, ayrıca, drenajlı ve drenajsız zemin parametre setleri kullanılarak yapılmıştır. Burada, uzun dönem parametre setleri kullanılarak yatay ivme katsayısı $PGA = 0,1g$ için yapılan analizlerin sonuçları Şekil 13 ve 14'te; yine uzun dönem parametreleri kullanılarak $PGA = 0,075g$ için zaman tanım alanında yapılacak analiz için oluşturulan model ve sorgu noktaları Şekil 15'te sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlardan bir örnek ise Şekil 16'da verilmiştir.



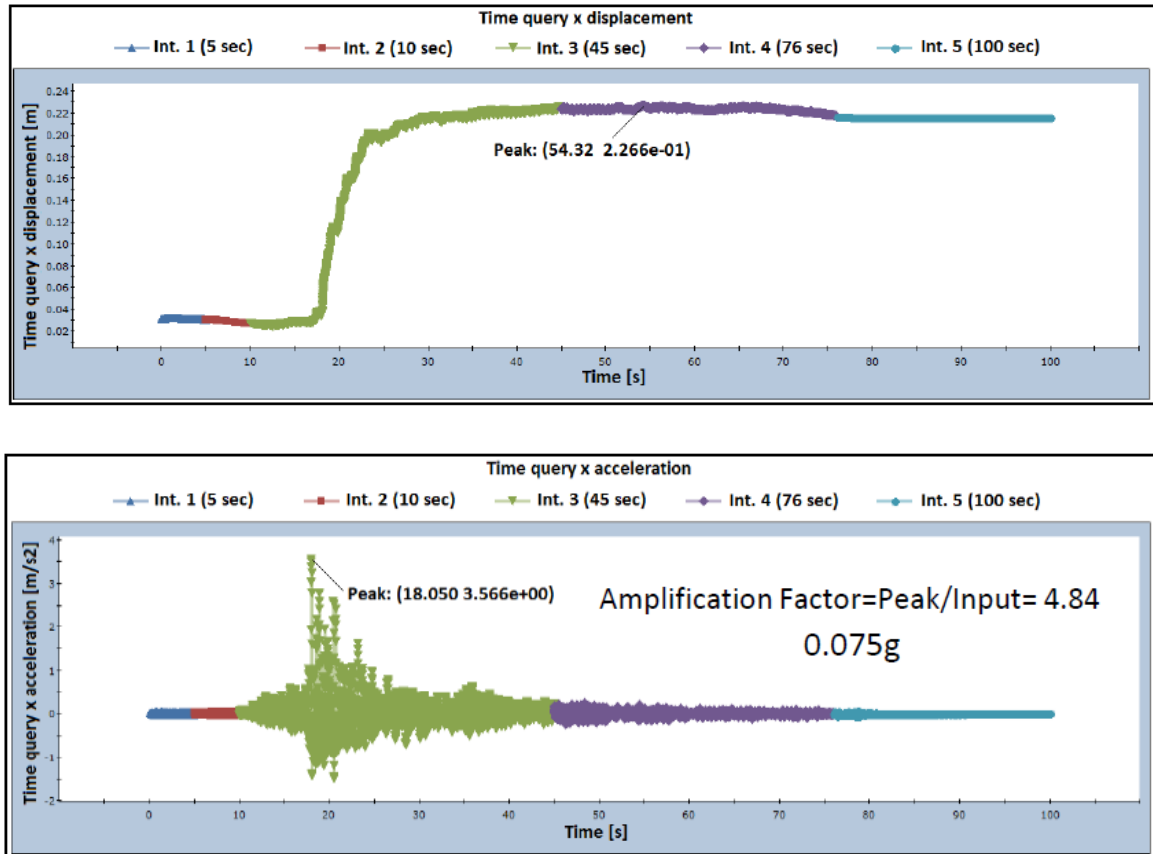
Şekil 13. Uzun dönem parametreleri kullanılarak limit denge yöntemiyle yatay ivme katsayısı 0,1g için yapılan analizin sonuçları.



Şekil 14. Uzun dönem parametreleri kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle yatay ivme katsayısı 0,1g için yapılan analizin sonuçları.



Şekil 15. Zaman tanım alanında deprem hesap yöntemine ait modelin 12 sorgu noktası.



Şekil 16. Uzun dönem parametreleri kullanılarak PGA = 0,075g ile zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizin 5 numaralı sorgu noktasında hesaplanan kalıcı deplasman ve ivme değerleri.

Yarı-statik yöntemle yapılan analizlerde, drenajsız parametre setleri yatay ivme katsayısı artışına karşı daha çok hassasiyet göstermiştir. Beklendiği üzere sonlu elemanlar yöntemi, limit denge yöntemine nazaran daha güvenli sonuçlar vermiştir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi için, sorgu noktalarındaki kalıcı deplasman ve büyütme (amplifikasyon) faktörleri karşılaştırıldığında, en büyük deplasman ve büyütme faktörü değerleri, beklediği üzere şev yüzeyinde ortaya çıkmaktadır. Drenajlı mukavemet parametre setlerinin kullanıldığı analizlerde, drenajsız parametre setlerinin kullanıldığı modellere kıyasla daha büyük kalıcı deplasmanlar ve daha küçük büyütme faktörleri elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR

Sonuç olarak, şev kesitinde sığ ve derin seviyelerde heyelan yüzeylerinin ağır yağışlar sonucunda tetiklendiği, şev topuğunda yer alan temel kazısının derin seviyede yer alan heyelanın tetiklenmesinde önemli bir rol oynadığı anlaşılmıştır. Ancak iş merkezi inşaatının tamamlanmasıyla şev topuğuna uygulanacak sürşarj etkisi, derin kayma yüzeylerinde duraylılığın sağlanmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan, karşılaştırma yapılan hemen hemen her durumda sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan çözümlemeler, beklediği şekilde, yaklaşık %10 civarında daha düşük güvenlik katsayıları vermiştir. Ayrıca, yarı-statik yöntemle yapılan sismik analizlerde, yatay ivme katsayılarının

artmasına karşı gözlenen hassasiyet bakımından drenajsız parametre setleri daha güvenli sonuçlar vermiştir. Zaman tanım alanında yapılan sismik analizlerde ise, kalıcı deplasmanların yüksekliği bakımından uzun dönem parametre setleri daha güvenli sonuçlar vermiştir.

KAYNAKLAR

- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., and Boyce, G. (2001). Slope Stability and Stabilization Methods (2nd ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Bishop, A., and Morgenstern, N. (1960, 12). Stability Coefficients for Earth Slopes. *Géotechnique*, 10(4), 129-153.
- Cruden, D., and Varnes, D. (1996). Landslides: Investigation and Mitigation. Chapter 3- Landslide types and processes. In D. Cruden, D. Varnes, R. Schuster, and A. Turner (Eds.), Special Report, 247 – National Research Council, Transportation Research Board. Washington: National Academy Press.
- Çokça, E., Huvaj Sarıhan, N., ve Özkan, M. (2011). Bülent Kiper Mühendisliğin hazırladığı "Dikmen- Akpınar Heyelanı'na ilişkin Jeolojik-Jeoteknik Etüd Raporu " hakkında değerlendirme raporu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ)- İnşaat Mühendisliği (İM) Bölümü, Ankara.
- Fredlund, D., and Barbour, S. (1986). The Prediction of Pore-Pressures for Slope Stability Analyses. Slope Stability Seminar, the University of Saskatchewan (p. 33). Saskatoon: University of Saskatchewan.
- Kiper, B. (2011). Dikmen- Akpınar Heyelanı'na ilişkin Jeolojik-Jeoteknik Etüd Raporu. Bülent Kiper Jeoteknik Mühendislik Ltd. Şti., Ankara
- Tanverdi, A., and Ekici, Ş. (1987). Ankara Dikmen-Balgat Arası ile İmrahor-İncesu Vadisi Çevresinin Planlanmasına Esas Etüd Raporu ve Mühendislik Jeolojisi Haritası. İlbank A.Ş., Ankara.