DSİ Teknik Bülteni
Sayı: 123, Ocak 2017

TOPUK EROZYONU VE KAZILARIN YAMAÇLARDA HEYELAN OLUŞUMUNA ETKİSİNİN ÖRNEKLERLE İNCELENMESİ

Halil KUMSAR
Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli
hkumsar@pau.edu.tr

Ömer AYDAN
Department of Civil Eng. and Architecture, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa, Japan
aydan@tec.u-ryukyu.ac.jp

İbrahim ÇOBANOĞLU
Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli
icobanoglu@pau.edu.tr

Sefer B. ÇELİK
Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli
scelik@pau.edu.tr

Tamer KORALAY
Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı, Denizli
tkoralay@pau.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 25.11.2016, Makalenin kabul tarihi: 11.01.2017)

ÖZ
Mühendislik proje uygulamalarında yapılan yamaç ve şev kazıları, yağışlı mevsimlerde akarsuyun akış hızındaki artışın etkisiyle yamaç topuklarında meydana gelen erozyonlar yamaca etkiyen tutucu kuvvetlerde azalmaya neden olur. Belirli bir aşamadan sonra itici kuvvetlerin tutucu kuvvetlere oranı (güvenlik katsayısı) 1 olduğunda yamaçta kayma başlar.
Bu çalışmada, birinci yazar tarafından geliştirilen SLOPAC bilgisayar programı kullanılarak yukarıda değinilen etkiler altında çatlaklı kaya ve taneli zeminlerden oluşan yamaç ve şevlerin duraylılığı (stabilitesi) Denizli ilinde yer alan Gökpınar barajı sol sahil heyelanı ve Kınıklı Hamam Deresi heyelanı örnekleri ile incelenmiştir. Gökpınar barajı heyelanında baraj göl seviyesindeki yükselme sonucu baraj gölü içinde bir kaymanın meydana geldiği ve devamında aynı yamacın göl seviyesi dışında ikinci bir dairesel kaymanın geliştiği belirlenmiştir. Kınıklı Hamam deresi heyelanında ise kama türü ve dairesel kaymalar sonucunda heyelanın topuk kısmında akma türü kütle hareketinin meydana geldiği, bu heyelanın oluşmasında, taş ocağı işletmesinde yapılan patlatma, dik şev kazısı ve yeraltı suyunun etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Erozyon, Denizli, Gökpınar barajı, Kınıklı Hamam Deresi

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF TOE EROSION AND EXCAVATION ON LANDSLIDE DEVELOPMENT IN SLOPES WITH CASE STUDIES

ABSTRACT
Excavation at toe of cut and natural slopes in engineering projects, and toe erosion of slopes due to high velocity of water flow cause decrease in the resisting forces acting on a slope. Slope failure starts when the rate of resisting forces to disturbing forces (factor of safety) becomes one.
In this study, stability assessment of slope failures within jointed and cracked rock mass and coarse and fine grained soils, that were located in Gökpınar dam left abutment area and Kınıklı Hamam stream in

Denizli basin, were investigated by using SLOPAC computer program developed by the first author. It was assessed that, a slope failure took place inside the Gökpınar dam lake when water level of the lake increased, and then a second slope failure occurred in the same slope above the lake level. In Kınıklı Hamam stream landslide, wedge and circular type slope failures occurred and the sliding mass flowed at the toe of the slope due to high water content. The primary factors initiated the slope failure were determined as explosions in the rock quarry, steep angle slope excavation and groundwater flow within the slope.

Keywords: Landslide, Erosion, Denizli, Gökpınar dam, Kınıklı Hamam stream

1 GİRİŞ

Yağışların etkisiyle akışa geçen yüzey suları gözenekli yumuşak zeminlerde yüzey ve topuk erozyonuna neden olur. Yeraltına süzülen sular ise taneli zeminler arasındaki gözenekler, çatlaklı ve boşluklu kayalar içerisinde boşluk suyu basıncının oluşmasına, zeminlerin içsel dayanımlarında ve kayaların süreksizlik yüzeylerindeki sürtünme açılarında azalmalara neden olmaktadır. Sonuç olarak kayaç yamaç kütlesinin ağırlığı artar, içsel direnci azalır ve farklı türlerde kütle hareketleri meydana gelir. Kayan kütle, yamacın topuğundan geçen akışlı veya mevsimsel akışlı dere yatağında birikir. İçyapısı bozulmuş ve örselenmiş olan heyelan malzemesi yağışlı mevsimlerde akışa geçen yağmur suları ile akarsu düzlüklerindeki deltalara kadar taşınır. Bu çalışma kapsamında Denizli ilinde yer alan Gökpınar Barajı sol sahil heyelanı ve Kınıklı Hamam Deresi heyelanı örnekleri incelenmiştir.



Şekil 1 - Denizli ilinde Gökpınar barajı ve Kınıklı Hamam deresi heyelan alalarının uydu görüntüsü (Google Earth, 2016)

2 GÖKPINAR BARAJI SOL SAHİL HEYELANI

Gökpınar Barajı, Denizli ilinin sulama ve içme suyunun karşılanması amacı ile DSİ tarafından inşa edilmiştir. Baraj 43 m yüksekliğinde olup, kil çekirdekli toprak dolgu türü bir barajdır. Baraj yerinin jeolojik yapısı altta marn ve üstte çakıltaşı, dere yatağı boyunca da alüvyon birimlerinden oluşur. Barajın sol sahili boyunca maksimum su seviyesinin üzerinde baraja gelen sanayi atıklarını içeren kirli suların baraj gölü suyuna karışmaması için kanal inşa edilmiştir. Kanal kazısı, marn birimi içinde yapılmış ve kazıdan çıkarılan marn, baraj gölü yamacına dökülmüş, üzeri istifli kaya blokları (riprap) ile kaplanarak yamaç yüzeyi desteklenmiştir. 2011 yılı Haziran ayına kadar devam eden yoğun yağışlar sonrası (Şekil 3) baraj rezervuarı 41 m olan maksimum su seviyesine kadar dolmuştur. Gökpınar barajının sol sahilinde 22 Haziran 2011 tarihinde heyelan meydana gelmiştir. Heyelan sonucunda by-pass kanalı tamamen hasar görmüş ve baraj gölü içine ötelenmiştir (Şekil 2).

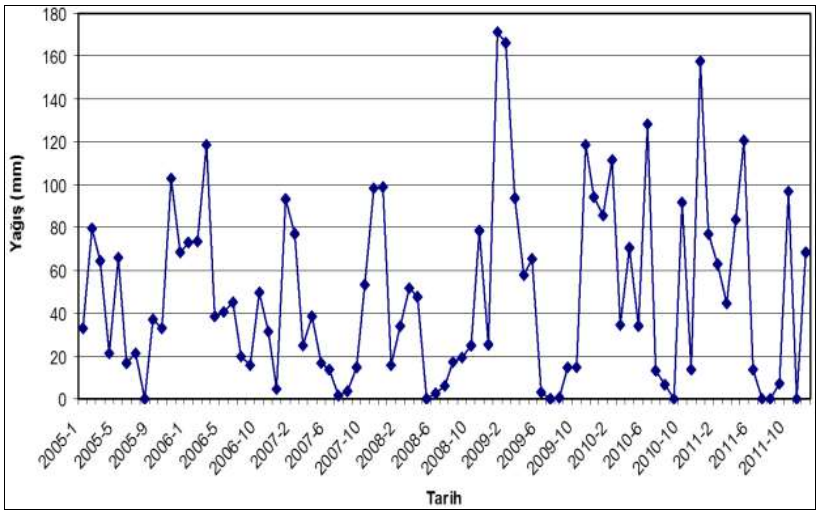
Gökpınar barajı heyelanının oluşum mekanizması incelendiğinde baraj gölü içinde ve dışında iki ayrı heyelanın meydana geldiği belirlenmiştir. Bu heyelanlardan biri göl içerisinde diğeri ise göl seviyesi üzerinde meydana gelmiştir (Kumsar vd, 2012).

Heyelan sahasındaki kütle hareketlerinin oluşum mekanizmasının incelenmesi için göl seviyesi üzerinde su ile temas etmeyen marn ve suya doygun marn biriminin farklı su içeriklerinde fiziksel ve mekanik özellikleri örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Suya doygun marn biriminin makaslama dayanımını belirlemek için, araziden alınan su içeriği düşük marn örnekleri kapilarite ile suya doygun hale getirilmiş ve örnekler dağılma sürecine geçmeden makaslama deneyleri yapılmıştır.



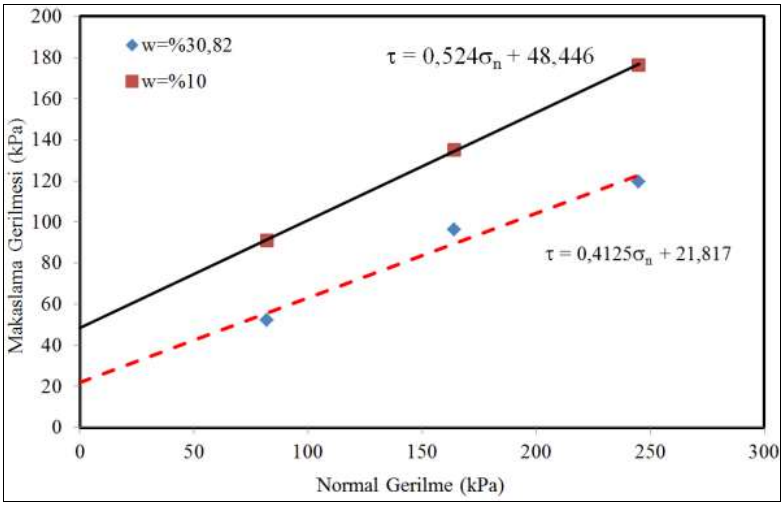
Şekil 2 - Gökpınar barajı sol sahil heyelan alanının uydu görüntüsü ve heyelan kütlesinin görünümü

Yapılan deneyler sonucunda, göl seviyesi üzerindeki marn biriminin su içeriği (w) %10,40, doğal birim hacim ağırlığı (□n) 16.1 kN/m3, kohezyonu (c) 50 kPa ve içsel sürtünme açısı (□) 27o olarak belirlenmiştir. Suda bekletilen marn örneklerinde su içeriği (w) %30,82, doğal birim hacim ağırlığı (□n) 17,5 kN/m3, kohezyon (c) 27 kPa ve içsel sürtünme açısı (□) 21o olarak elde edilmiştir (Şekil 4).



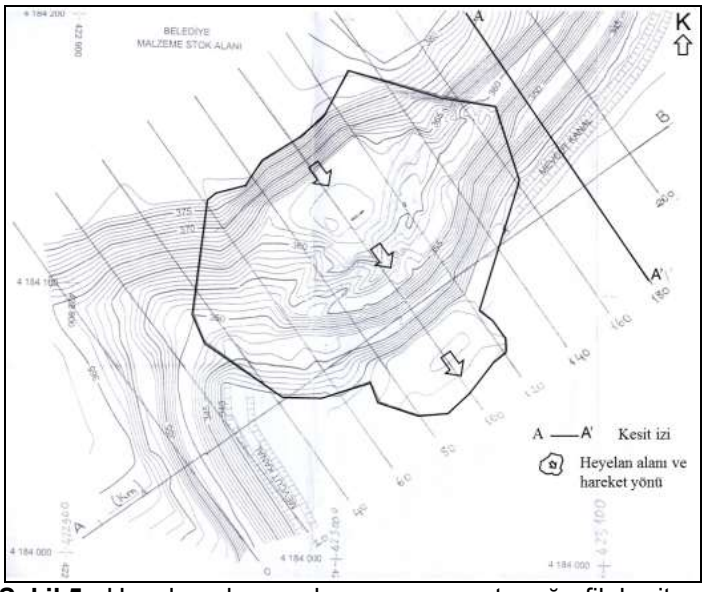
Şekil 3 - 2005-2011 yılları arasında Denizli ili merkezinde aylık yağış ortalamasının dağılımı

Marn biriminin suda dağılma özelliğinden dolayı makaslama dayanımında önemli azalmalar meydana gelmektedir. Arazi gözlemleri ve jeolojik birimimin jeomekanik özellikleri değerlendirilerek heyelan mekanizması incelenmiştir. Kayan kütlenin duraylılık analizi için Şekil 5'de kayma öncesi topoğrafyayı yansıtan alandan topoğrafik kesit alınmış ve bu kesit üzerinde kayma yüzeyleri tanımlanmıştır (Şekil 6).



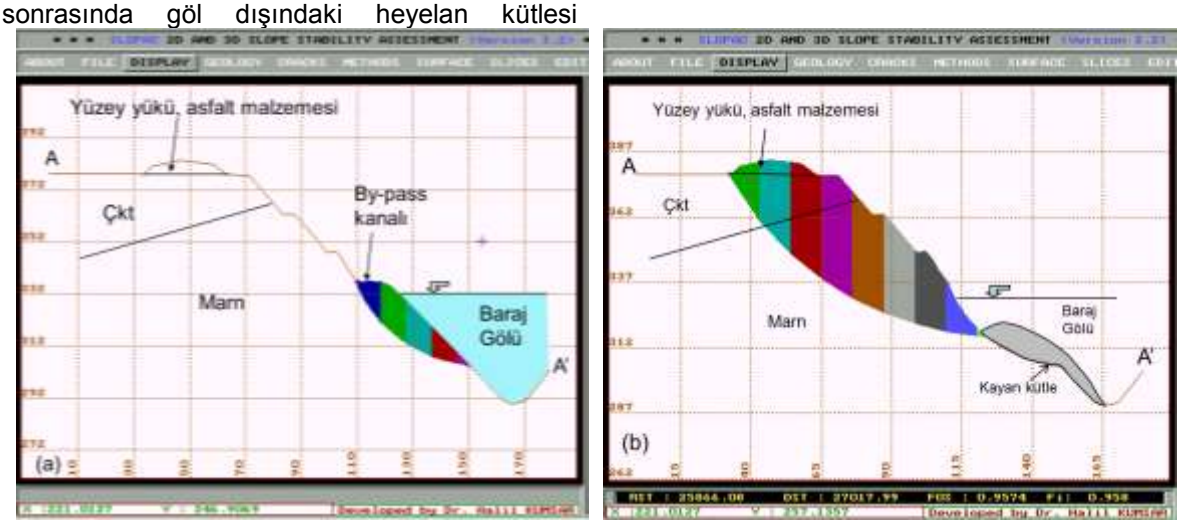
Şekil 4 - Marn biriminin farklı su içeriklerinde makaslama dayanımının değişimi

Üzeri riprap malzeme ile kaplanmış suya doygun marn biriminden oluşan ve göl seviyesi altında kalan yamacın duraylılık analizinin incelenmesi için su içeriği (w) %30,82 olan marn örneklerinin makaslama dayanım parametreleri (c = 27 kPa ve $\phi = 21^o$) ve göl seviyesi üzerindeki büyük heyelan kütlesinin duraylılık analizi için de su içeriği (w) %10,40 olan marn örneklerinin makaslama dayanım parametreleri (c = 50 kPa ve $\phi = 27^o$) hesaplamalarda kullanılmıştır.



Şekil 5 - Heyelan alanının kayma sonrası topoğrafik haritası

Kumsar (1993) tarafından yazılan SLOPAC şev duraylılığı analiz programı kullanılarak üç ayrı limit denge yöntemine göre yapılan duraylılık analizlerinde, göl seviyesi altındaki heyelan kütlesindeki dairesel kaymanın yükselen göl seviyesi ile marn biriminin ıslanması ve makaslama dayanımının azalması etkisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Bu kayma sonrasında göl dışındaki heyelan kütlesi topuğunun zayıfladığı ve güvenlik katsayısının 1,008 ile 1,025'e kadar düştüğü görülmektedir (Çizelge 1). Ancak büyük heyelanın topuğundaki 2 dilimin içinde bulunduğu marn biriminin su içeriğinin artması ve makaslama dayanımının azalması sonucu büyük heyelan kütlesi de duraysızlaşmış ve kaymıştır. Bu iki heyelanın hareketi birbirine bağlı olarak gelişmiştir.



Şekil 6 - Baraj gölü içindeki (a) ve baraj gölü seviyesi üzerindeki (b) kayma kütlelerinin düşey dilimlere ayrılmış topoğrafik kesit üzerinde tanımlanması.

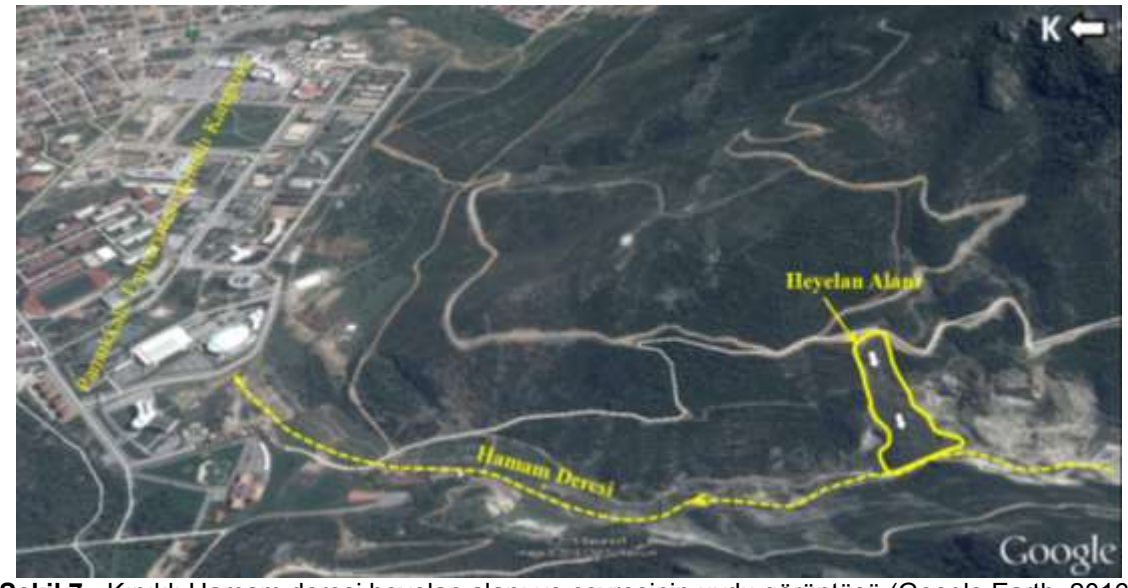
Çizelge 1 - Gökpınar barajı sol sahil heyelanlarının duraylılık analizleri

Limit Denge Yöntemi	F (Baraj gölü içindeki topuk heyelanı c = 27 kPa, ϕ = 21^o)	F (Baraj göl seviyesi dışındaki heyelan, c = 50 kPa, ϕ = 27^o)	F (Baraj göl seviyesi dışındaki heyelan, topuktaki 2 dilim için c = 27 kPa, ϕ = 21^o)
Bishop, 1955	0,902	1,015	0,99
Aydan vd., 1992	0,904	1,015	0,99
Kumsar, 1993	0,9	1,008	0,96

3 KINIKLI HAMAM DERESİ HEYELANI

Kınıklı Hamam deresi, Denizli graben alanının güneyini sınırlayan Babadağ fayının doğu ucunda Pamukkale Üniversitesi Kınıklı kampüs alanının güney sınırında yer alır (Şekil 7). Hamam deresi güneybatıdan kuzey doğuya doğru mevsimsel akışı olan bir vadi içerisinde yer alır. Büyük Menderes Masifinin parçası olan mermer ve şist birimleri ve bu birimlerin aşınması, taşınması ve birikmesi sonucu oluşan yamaç molozu ve alüvyon birimlerinden oluşur (Şekil 8). Vadi içindeki yamaçlarda yer alan mermer birimleri 2000 yılına kadar kırmataş ve mıcır ocağı olarak delme patlatma yöntemiyle işletilmiştir. Pamukkale Üniversitesi kampüsü ve Kınıklı kasabası yerleşim alanlarının mıcır ocaklarına yakın olmasından dolayı, bu vadi içindeki taş ocağı işletme ruhsatları 2000 yılında iptal edilmiş ve bu alanlarda yapılan kırmataş ve mıcır üretimi durdurulmuştur.

Taşocağı işletmesi sırasında mermer bloklarının ana kayadan koparılması patlatma ve taş kırma makinaları ile gerçekleştirilmiştir. Hamam deresinin sol sahil yamacında mermer, şist ve yamaç molozu birimlerinden oluşan kesimde 1998 tarihinde büyük bir heyelan meydana gelmiş ve Hamam deresini kapatmıştır (Kumsar vd, 1999). Bu heyelan alanı incelendiğinde, heyelanın yamaç molozu birimi içinde geliştiği ve üç farklı türde kütle hareketinden oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 9). Bunlar, yamaç topuğunda kama türü kayma, yamaç gerisinde dairesel kayma ve sonrasında heyelan alanının topuk kesiminde akma türü kütle hareketleridir.



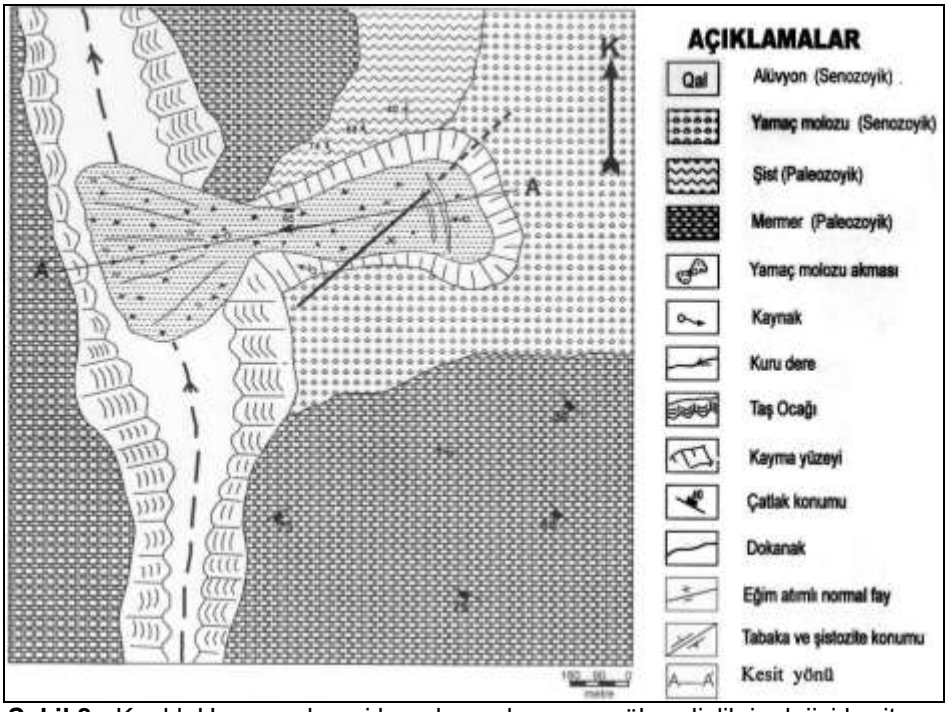
Şekil 7 - Kınıklı Hamam deresi heyelan alanı ve çevresinin uydu görüntüsü (Google Earth, 2016)

Arazide yapılan incelemede, heyelan alanının taç kısmında debisi 0.14 lt/sn olan su kaynağı gözlenmiştir. Bu kaynak suyu yamaç içinde gözenek suyu basıncında artışa ve killi yamaç molozu biriminin ve süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımlarında azalmaya neden olmuştur.

Arazide yapılan incelemelerde heyelanın geliştiği yamaçta mermer ve şist birimleri içinde 2 adet süreksizlik yüzeylerinin varlığı

belirlenmiştir. J1 ve J2 olarak numaralandırılan bu süreksizlik yüzeylerinin doğrultu ve eğimleri sırasıyla 208º/35º ve 84º/65º olarak ölçülmüştür. Arazi ölçümlerinde süreksizlik yüzeylerinin ortalama sürtünme açısı (□) 25º olarak belirlenmiştir. Yapılan kinematik analizde (Şekil 10), kama bloğunun arakesit doğrusu şev yüzeyi ile kesişir ise kayma gerçekleşebilecektir. Kama yüzeyi üzerindeki kütlenin duraylılık analizleri Kovari vd (1975) ve Kumsar vd (2000) tarafından önerilen yöntemlere göre, statik ve kuru durumda güvenlik katsayısı 1.27 olarak hesaplanmıştır.

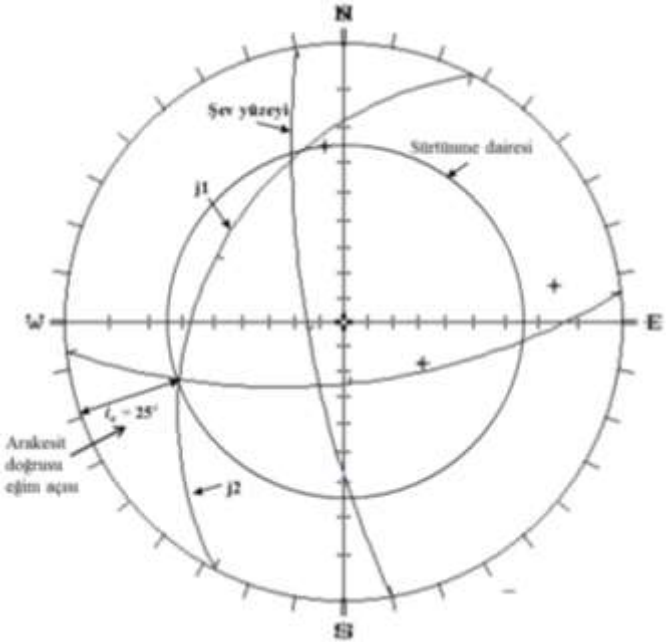
Kama yüzeyi üzerindeki yamaç molozu kütlesinin kayması, aynı yamacın doğusunda daha üst kotlardaki gözenek suyu içeren killi yamaç molozu biriminin topuğunun zayıflamasına ve aynı birim içinde dairesel kaymanın gelişmesine neden olmuştur. Dairesel kayma kütlesinin duraylılık analizi için killi yamaç molozu biriminden örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınarak birimin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yamaç molozu biriminin birim hacim ağırlığı (γ_n) 19 kN/m^3, doruk kohezyonu (c_p) 29 kPa ve doruk içsel sürtünme açısı (ϕ_p) 10,8º, artık kohezyonu (c_r) 16 kPa ve artık içsel sürtünme açısı (ϕ_p) 9,9º olarak belirlenmiştir (Şekil 11). Heyelan öncesi topoğrafyada kayma doğrultusunda alınan topoğrafik kesit üzerinde dairesel ve kama türü kayma kütleleri tanımlanmış ve Şekil 12'de verilmiştir.



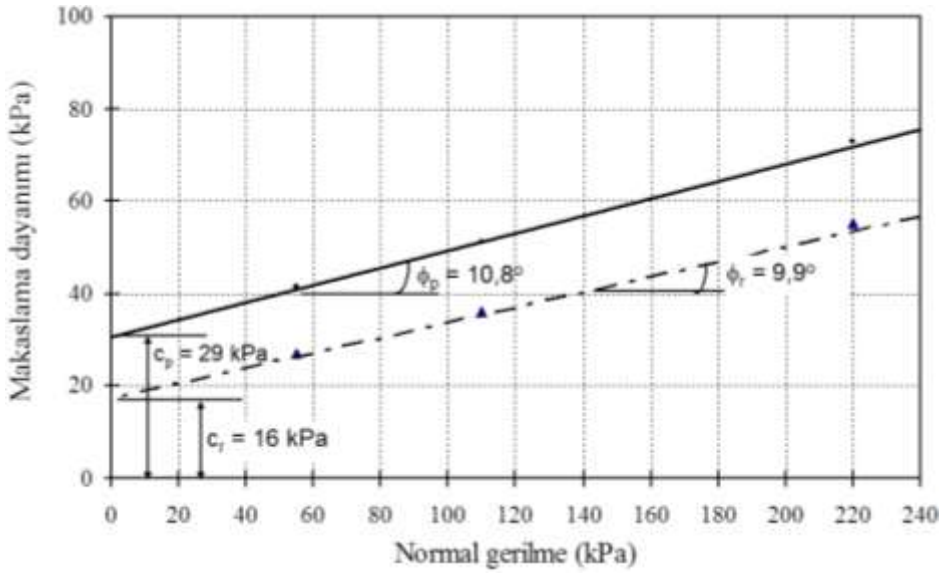
Şekil 8 - Kınıklı Hamam deresi heyelan sahasının mühendislik jeolojisi haritası.



Şekil 9 - Kınıklı Hamam deresi heyelan alanının görünümü

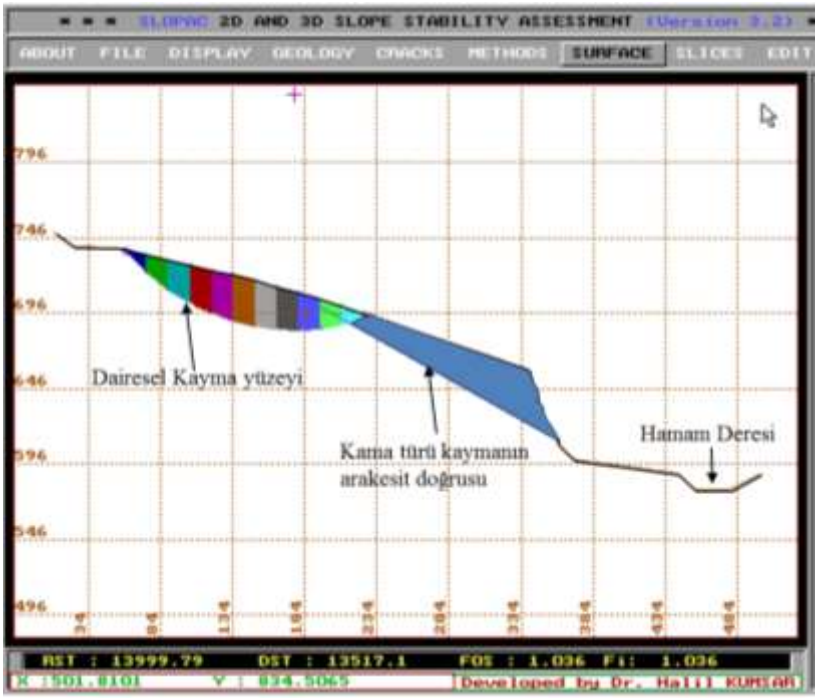


Şekil 10 - Kama türü kütle hareketinin kinematik analizi



Şekil 11 - Killi yamaç molozu biriminin makaslama dayanım grafiği

Dairesel kayma yüzeyi üzerindeki kütle düşey dilimlere ayrılmış ve duraylılık analizleri topuktaki kama türü kayma öncesi ve sonrası olmak üzere iki ayrı durum için limit denge yöntemleri ile yapılmıştır. Çizelge 2'den de görüldüğü gibi, topuktaki kama türü kayma olmadan dairesel kayma meydana gelmemektedir ve güvenlik katsayısı 1,287 ile 1,303 arasında değişmektedir. Kama yüzeyi üzerindeki yamaç molozunun kayması soncunda ise, dairesel kayma kütlesinin topuğu açılmakta ve güvenlik katsayısı 1,047'ye kadar düşmüştür. Yamaç molozu birimi içerisine 0,14 lt/sn debide boşalan yeraltı suyunun gözenek suyu basıncında artışa neden olması sonucu, güvenlik katsayısı 1'in altına düşmüş ve dairesel kayma gelişmiştir. Heyelan kütlesinin topuk kısmında da akma meydana gelmiştir.



Şekil 12 - Kınıklı Hamam deresi heyelanının oluşum mekanizması

Çizelge 2 - Kınıklı Hamamderesi heyelanındaki dairesel kaymanın duraylılık analizleri

Limit Denge Yöntemi	F (Topukta kama türü kayma öncesi) (c = 29 kPa, $\phi = 10,8^o$)	F (Topukta kama türü kayma sonrası) (c = 19 kPa, $\phi = 9,9^o$)
Bishop, 1955	1,287	1,047
Aydan vd., 1992	1,303	1,055
Kumsar, 1993	1,288	1,048

4 SONUÇLAR

Gökpınar barajı sol sahil heyelan sahasının yamaç topuğunda baraj gölü içinde ve baraj gölü seviyesi üzerinde olmak üzere iki dairesel kayma meydana gelmiştir. Yamaç topuğunda meydana gelen dairesel kaymada marn biriminin su ile ıslanması sonucunda makaslama dayanımının azalması etkili olmuştur. Yamaç topuğundaki marn biriminin baraj gölü içine kayması sonucu, yamacın geri kalan kesiminde yer alan marn ve üst seviyelerdeki çakıltaşı biriminin topuğu açılmış ve ikinci dairesel kayma meydana gelmiştir. Meydana gelen dairesel kaymalar sonucunda da sol sahil yamacında maksimum su seviyesi üzerinde inşa edilmiş by-pass kanalı parçalanmış ve baraj gölüne doğru ötelenmiştir. Heyelan kütlesinin bir kısmı da baraj gölalanı içinde kalmış ve barajın ekonomik ömrünü olumsuz etkilemiştir.

Kınıklı Hamam deresi heyelanında ise vadi içinde ruhsatlı olarak çalıştırılmakta olan kırmataş ve mıcır ocağı işletmeleri sırasında yapılan patlatmalar, yamaç içinde çıkan kaynak suyu ve yamaç topuğunda yapılan kazılar etkili olmuştur. Hamam deresi sol sahilinde meydana gelen heyelan kütlesi kama türü, dairesel kaymalar ve sonrasında gelişen akma türü kütle hareketlerinden oluşur. Bu heyelan sonucunda Hamam deresi vadisi heyelan malzemesi ile kapanmış, ani yağışların olduğu dönemlerde de, taşkın suları dere boyunca heyelan malzemesini taşınmakta ve erozyon artışına neden olmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada lojistik katkılarından dolayı DSİ 212 Şube Müdürlüğüne, Doğan İnşaat Kuruluşuna yazarlar teşekkür eder.

5 KAYNAKLAR

Aydan, Ö., Shimizu, Y. and Kawamoto, T., (1992). "The stability of slopes against combined shearing and sliding failures and their stabilization." Asian Regional Symposium on Rock Slopes, Oxford & IBH Publ., New Delhi, pp 1105-1117.

Bishop, A. W. (1955). "The use of slip circle in the stability analysis of slopes." Geotechnique,vol 5,pp 7-17.

Google Earth, 2016. https://maps.google.com/

Kovari, K., Fritz, P. 1975. "Stability analysis of rock slopes for plane and wedge failure with the aid of a programmable pocket calculator." 16th US Rock Mech. Symp., Minneapolis, USA, 25-33.

Kumsar, H. (1993). Mine Slope Stability Assessment by Using Inter-slice Force Transmission, PhD Thesis, Nottingham University, UK., 251 p.

Kumsar, H., Aydan, Ö. and Ulusay, R. (2000). "Dynamic and static stability of rock slopes against wedge failures." Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol.33, No.1, 31-51.

Kumsar, H., Aydan, Ö., Çobanoğlu, İ., Çelik, S.B. ve Akgün, M. (2012). Denizli-Gökpınar Barajının Sol Sahilinde Meydana Gelen Kütle Hareketlerinin Oluşum Nedenlerinin İncelenmesi, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-6 Nisan 2012, Ankara, S. 482-483.

Kumsar, H., Aydan, Ö., Ulusay, R. ve Çobanoğlu, İ. (1999). Kınıklı (Denizli) güneyindeki kama türü kaymanın oluşum nedenlerinin incelenmesi, Heyelan'99 Türkiye 3. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Adana, s 19.