Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **17** (2017) 025601 (638-645) AKU J. Sci. Eng. **17** (2017) 025601 (638-645)
DOI: 10.5578/fmbd.57310

Araştırma Makalesi/Research Article

Geomembran Kaplamalı Kaya Dolgu Bir Barajın Sismik Şev Deformasyonu Tahmini

Uğur Şafak Çavuş
Süleyman Demirel üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye
e-posta: ugurcavus@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.06.2016 ; Kabul Tarihi: 06.06.2017

Özet

Depremler dolayısıyla dolgu barajların kretlerinin fazla oturması veya şev kaymalarının meydana gelmesi neticesinde yıkılması mansapta büyük kayıplar ve tahribat oluşturur. Baraj yıkılmasa dahi, hasarların giderilmesi oldukça maliyetli ve zahmetli olmaktadır. Bu sebeple, barajların yapıldığı bölgenin deprem potansiyeline göre şev stabilitesinin sağlanması kret ve şev kalıcı deformasyonlarının analiz edilerek tahmin edilmesi deformasyon miktarları dikkate alınarak tasarımının yapılması önem arz etmektedir. Örneğin deprem neticesinde kret oturmalarını dikkate alacak şekilde hava payı oluşturulmalıdır. Aksi halde depolanan suyun baraj üzerinden aşma ve yıkılma riski oluşur. Önyüzü geomembran kaplı dolgu barajlarda ise deprem neticesinde oluşan kalıcı aşırı şev ve kret deformasyonları geomembran da hasar oluşturabilir. Böyle bir durum barajın içerisinde sızma kuvvetleri ve mansap şevi stabilitesinin bozulması gibi sonuçlara yol açar. Ülkemizde ve dünyada son yıllarda dolgu barajlarda geçirimsizlik perdesi olarak geomembranın kullanılması çok yeni olup, halen özellikle büyük rezervuarlı yüksek baraj tasarımı yaygın değildir. Bu çalışmada aktif Dinar ve Tatarlı fayları etki alanı içerisinde kalan önyüzü geomembran ile kaplı kaya dolgu bir baraj olan Yıprak barajının sismik kalıcı şev deformasyonları yarı ampirik metotlarla analiz edilerek barajın emniyeti açısından sonuçları tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler
Dolgu baraj; geçirimsiz geomembran kaplama; deprem; şev kalıcı deformasyonu

Estimation of Seismic Permanent Deformation of a Geomembrane Faced Rockfill Dam

Abstract

If any dam fails because of excessive settlements of crest of embankment dams or slope failures due to earthquakes, heavy damages and louses of life may occur at the downstream. Even if the dam does not fail, rehabilitation of the damages is not easy and cheap. Therefore, depending on the earthquake severity risk of a region, providing slope safety of a dam and also designing the slopes and crest level by analyzing and evaluating the permanent crest and slope deformations are very important. For instance, freeboard of an dam crest should tolerate (not less than) the permanent deformations due to an earthquake. Otherwise, reservoir water may overtop the dam and cause a failure. In addition, excessive permanent slope and crest deformations of a geomembrane faced embankment dam due to an earthquake may cause damages on the geomembrane. In that case, excessive seepage forces may occur in the dam and downstream slope safety may diminish. Application of geomembranes as seepage barriers on the embankment dams is quite new in Turkey and in the world. A large dam designed with a geomembrane seepage barrier has not still been common in the world. In this study, permanent slope deformations of Yiprak rockfill dam which is an geomembrane faced embankment and under the effect of active Dinar and Tatarlı faults are determined by the way of semi empirical methods. Then, safety of the dam is evaluated.

Keywords
Embankment dam; geomembrane seepage barrier; earthquake; permanent slope deformation

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dolgu barajların deprem titreşimleri altındaki kalıcı deformasyonlarının analizi kolay değildir. Deformasyonu etkileyen dolgu parametrelerinin çeşitliliği ve arazi verilerinin güvenilirlik sorunu, dünyada deprem sonrası baraj deformasyon ölçümlerinin ve ivme ölçümlerinin eksikliği bu işlemi daha da zorlaştırmaktadır. Deprem dolayısıyla oluşan zemin titreşimlerinin büyüklüğü, periyodu ve süresi ile baraj da ki ivmeler her baraj yerinde aktif faylara olan uzaklığa, baraj temel şartlarına, barajın dolgu özelliklerine, baraj yüksekliğine, inşaat metoduna ve rezervuar su seviyesine göre değişmektedir (USBR, 1989).

Deprem dolayısıyla dolgu barajların kalıcı deformasyonlarının tahmini ilk olarak Newmark (1965) ve Seed (1966) tarafından yapılmıştır. Newmark (1965), dolgu şevinin deformasyon analizinde, kayma bloğunu, bir bütün kütle halinde katı cisim gibi kabul etmiştir. Seed (1966) ve daha sonra gelen araştırmacılar ise, barajın temelinden krete kadar olan ivme büyütmelerinin hesabında baraj dolgusunu esnek düşünmüşler ve barajın maksimum kret ivmesini ve ayrıca potansiyel kayma yüzeyinin yüksekliğe bağlı değişen ivmelerini hesaplayarak korelasyonlar geliştirmişlerdir. Hesaplanan ivme değerlerine ve fay hattına olan uzaklığa göre kalıcı baraj deformasyonlarını analiz etmişlerdir (Seed ve Martin, 1966, Makdisi ve Seed 1978, Lin ve Whitman 1986, Elgamal vd. 1990; Bray & Rathje 1998; Bray ve Travasarou 2007).

Ampirik veya yarı ampirik korelasyonların haricinde sonlu elemanlar veya sonlu farklar yöntemi kullanılarak dolgu barajların deprem sırasında gövdesinde ve kretinde oluşan deformasyonların lineer olmayan dinamik analizlerle hesaplandığı daha karmaşık metotlarda mevcuttur. Ancak sonlu elemanlar veya farklar metotları ile yapılan analizlerde baraj dolgusunun elastik ve plastik malzeme özelliklerinin doğru olarak belirlenmesinin gerektiği ifade edilmektedir (Bray, 2007).
Kaya dolgu veya kum çakıl dolgunun, elastik ve kayma modüllerini, kayma birim deformasyonunu, poisson oranını ve dolgu birim hacim ağırlığını laboratuar ortamında doğru olarak belirlemek kolay değildir. Büyük ölçekli arazi veya laboratuar testleri yapmak gerekmektedir. Bu işlemler hem zor hem vakit alıcıdır. Ayrıca dolgu malzemesi özellikleri, serilen tabaka kalınlıklarına, su içeriklerine ve kompaksiyon derecesine ve maksimum dane çapına göre değişebilmektedir. Bu sebeple bu tür analizlerde dolgu parametreleri çoğunlukla literatürden seçildiğinden analiz neticeleri hatasız olamamaktadır. Pratikte ise, mühendislerce bu karmaşık metotları kullanma pek tercih edilmemektedir. Bu sebeplerle ampirik veya yarı ampirik metotlar nispeten daha kolay olmasından dolayı sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Yıprak barajının olası maksimum depreme göre dinamik deformasyonları yarı ampirik yöntemle hesaplanmıştır. Ayrıca bulunan deformasyon miktarlarının, barajın emniyeti açısından önemi tartışılarak alınması gereken önlemler sunulmuştur.

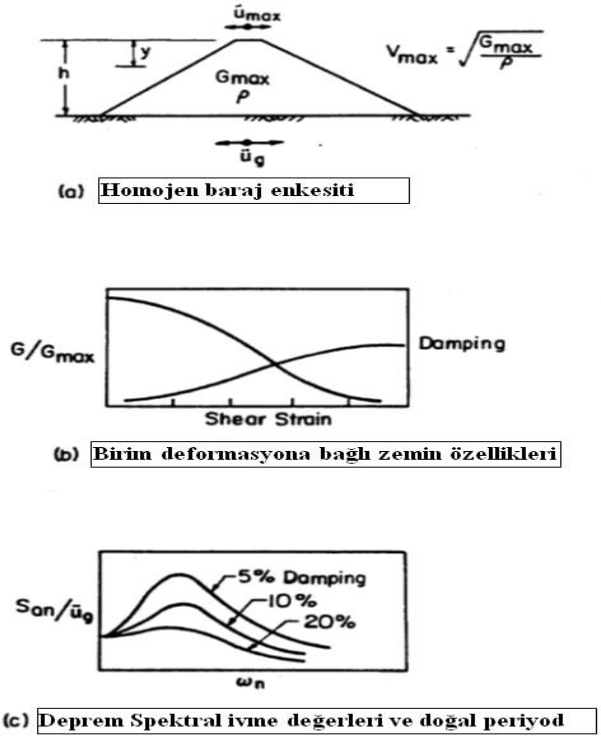
Analiz için, Yıprak barajının seçilmesinin birkaç önemli nedeni vardır ki bunlar şöyle sıralanabilir: i) Barajın dünyada inşa edilen geomembran kaplı barajlar içerisinde oldukça yüksek bir baraj olması ii)Kaya dolgu olması iii)Geçirimsizliğin memba şevinde geomembran kaplanarak sağlanmış olması iv) Dünyada ki geomembran kaplamalı diğer baraj ve göletlerle mukayese edildiğinde depoladığı su hacminin oldukça fazla olmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yarı ampirik metotla dolgu barajlarda kayma yüzeyi maksimum ivmeleri ve sismik kalıcı deformasyon analizi

Bir dolgu şevinin kalıcı deformasyonunu yarı ampirik metotlar ile hesaplanmasında en önemli hususlardan birisi, baraj dolgusunun kretindeki maksimum ivmeyi hesaplamaktır. Maksimum kret ivmesinin hesaplanmasında sonlu elemanlar dinamik analizi kullanılabileceği gibi, yarı ampirik metotlarda kullanılan kesme dilimi yöntemi ile de baraj dolgusu modellenerek, ana kayadaki deprem

ivmesinin dolgu kret seviyesine olan artışları hesaplanabilmektedir. Ana kayadan barajın kretine kadar olan ivme artışlarında, dolgunun plastik birim deformasyonlarına bağlı zemin özellikleri dikkate alınmaktadır (Şekil 1). Bu amaçla, geliştirilen korelasyonlar ile hesaplanan maksimum kret ivmesinden, potansiyel kayma kütlesinin maksimum ortalama ivmesi bulunabilmektedir.



Şekil 1. Yaklaşık metotla Maksimum kret ivmesi ve Doğal periyodun hesabı (Makdisi ve Seed, 1978)

Burada; V_{max}: Dolgu kayma dalgası hızı, G: Kayma modülü, ρ: Dolgu yoğunluğu, Sa_n: Spectral ivme (ana kaya yer ivmesinin, $ü_g$, dolgu kretindeki büyüme miktarını ifade eder) ve ω_n:Doğal periyottur. Bir baraj kesitinde kesme dilim yöntemi kullanılarak kret ivmelerinin hesabında zamana bağlı olarak baraj yüksekliği boyunca ivmelerin değişimi denklem 1 e göre ifade edilmektedir (Makdisi ve Seed, 1978):

$$ü(y,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\,J_0\left(\frac{\beta_n y}{h}\right)\omega_n V_n(t)}{\beta_n\, J_1(\beta_n)} \qquad (1)$$

Burada:

$J_0\left(\frac{\beta_n y}{h}\right)$: Sıfırıncı dereceden Bessel fonksiyonu

$J_1(\beta_n)$: Birinci mertebeden Bessel fonksiyonu

$\omega_n = \frac{\beta_n V_s}{h}$; Doğal frekans ($V_s=G/\rho$)

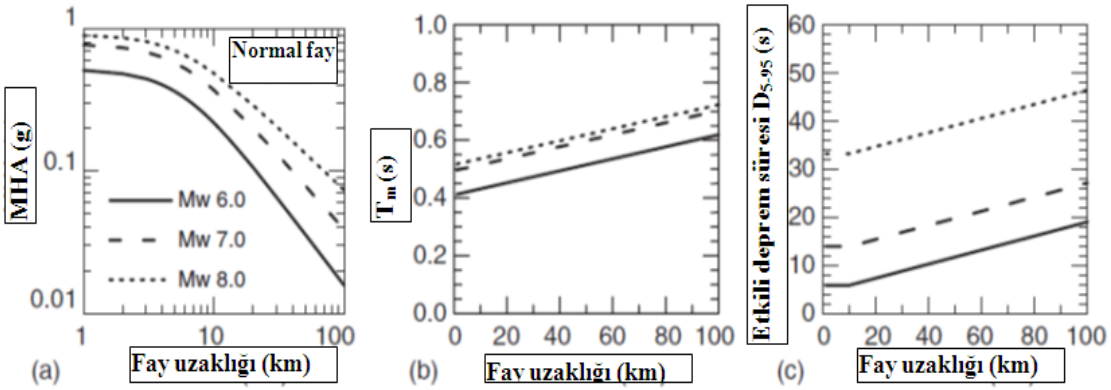
β_n: Frekans denklemi $J_0[\omega h\,(\rho/G)^{0.5}]$'nin sıfır değeri

$V_n(t)$: Hız olup Duhammel integralinden; $(V_n(t) = \int_0^t ü_g\, e^{-\lambda_n \omega_n (t-\tau)} \sin[\omega_n (t-\tau)]\,dt)$ ile bulunur.

Deprem dolayısıyla ana kayadaki ivme büyümelerin, yapıdaki sismik yüklerin ve yer değiştirmelerinin analizinde, Bray vd. (1998)'nin yöntemi, Makdisi ve Seed (1978)'in yöntemine göre, daha kapsamlı sonuçlar vermektedir (Bray, 2007). Fakat Bray'ın yönteminde, ilk olarak ana kayadaki maksimum yer ivmesinin (MHA) tahmin edilmesi gerekmektedir. MHA nın belirlenmesi için ise, ortalama deprem periyodunun (T_m) ve deprem süresinin($D_{5\text{-}95}$), depremin tasarım moment büyüklüğüne ve faya olan uzaklık durumuna bağlı olarak %5-95 aşılma olasılıkla tahmini gerekmektedir (Şekil 2).

MHA ya bağlı olarak barajın potansiyel bir kayma yüzeyinin üzerindeki maksimum yatay eşdeğer ivmesi (MHEA) ve potansiyel kayma yüzeyinin sismik yatay deformasyon miktarı Şekil 3 ve 4 korelasyonları kullanılarak, tahmin edilir (Bray, 2007).

Şekil 3 ve 4 de verilen k_y, potansiyel kayma yüzeyinin güvenlik faktörünü 1.0 yapabilen (limit kayma durumuna karşılık gelen) yatay ivmenin yerçekimi ivmesine olan oranıdır (k_y=a/g; burada a:ivme, g:yerçekimi ivmesi). k_y, özelikle gerek kuvvetler dengesini gerekse moment dengesini sağlayan Morgenstren-Price (1965), Spencer (1978) veya genelleştirilmiş Janbu (1968), yöntemlerinden birisi ile yarı statik şev stabilitesi analizlerinden elde edilebilir (Bray, 2007).



Şekil 2. Depremlerin kaya ortamlardaki basitleştirilmiş davranışı (a) Normal doğrultu atımlı faylar için deprem moment büyüklüğüne bağlı olarak anakaya MHA değerleri (ters atımlı faylarda MHA, Mw≥6.4 için 1.3 ile çarpılmalıdır. Mw=6.0 için 1.64 ile çarpılmalı, 6<Mw<6.4 için ise 1.3 ile 1.64 arasında lineer interpolasyon yapılmalıdır (Abrahamson ve Silva, 1997), (b) Frekans değeri-T_m (Rathje vd., 2004) ve (c) Deprem süresi-D_{5-95} (Abrahamson ve Silva, 1997)

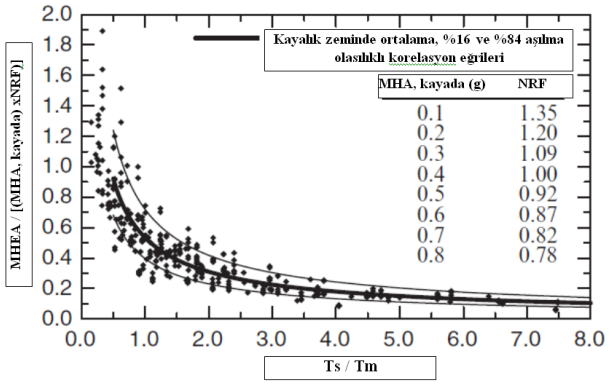
Şekil 3'deki T_s kayma kütlesinin başlangıç ana periyodu olup, dinamik davranışın bir boyutlu Kabul edilebileceği oldukça geniş trapez kesitli dolgular veya büyük dairesel kayma yüzeyleri için denklem 2 den hesaplanabilir.

$$T_s=4H/V_s \quad (2)$$

Nispeten dar kesitli üçgenimsi dolgulardaki dar kayma yüzeyleri için ise denklem 3 kullanılabilir (Bray, 2007).

$$T_s=2.6H/V_s \quad (3)$$

Burada H: Dolgu yüksekliği ve V_s: Dolgunun kayma dalgası hız değeridir.



Şekil 3. Kayma kütlesinin normalize edilmiş maksimum yatay eşdeğer ivme ile ana periyot ilişkisi (Bray ve Rathje, 1998)

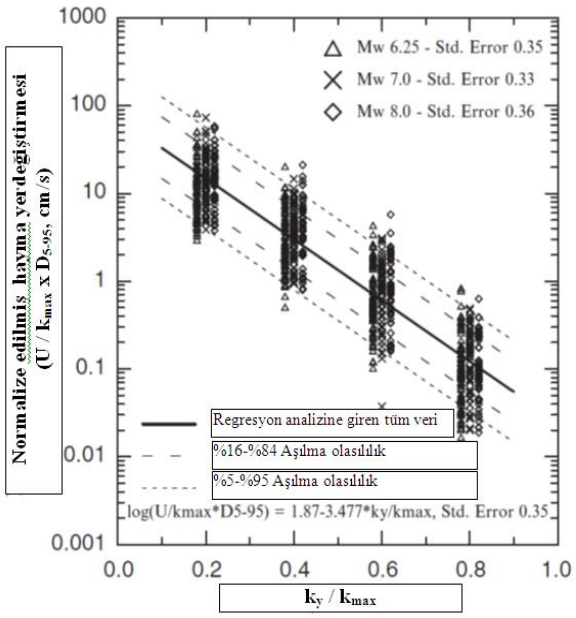
Dolgu kayma dalgası hız ölçümleri eğer mevcut değilse denklem 4 kullanılarak kayma dalgası hesaplanır:

$$V_s=(G/\rho)^{0.5} \quad (4)$$

Burada G, kayma modülü olup denklem 5 den bulunur:

$$G=1000(K_2)_{max}(\sigma_m)^{0.5} \quad (5)$$

Burada σ_m: düşey ve yatay asal gerilmeler ortalaması, $(K_2)_{max}$: Zemin modülü katsayısı olup, sıkı çakıl dolgular için 80-180 arasında değişir (Seed vd., 1986).

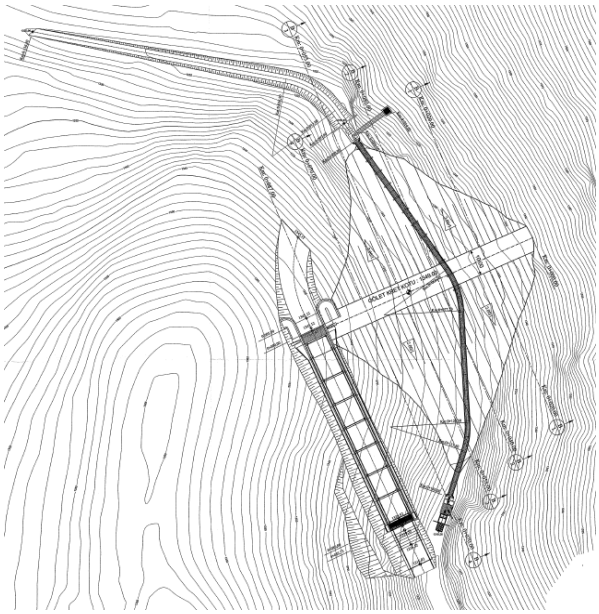


Şekil 4. Kayma kütlesinin kayma yer değiştirmesi (Bray ve Rathje, 1998)

2.2. Yıprak Barajı karakteristik Değerleri

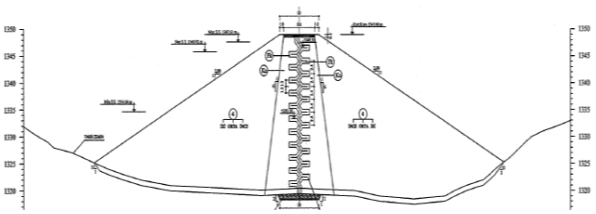
Yiprak barajı Afyonkarahisar ilimizin Dinar ilçesinin 48 km uzağında 177 ha tarım arazisini sulamak

amacıyla inşa edilmiş kaya dolgu bir barajdır (Şekil 5). Barajın memba ve mansap şevleri 1 düşey 2 yatay olarak tasarlanmıştır. Barajın temel kayasından olan maksimum yüksekliği 31.5 m dir (Şekil 6). Barajın kret genişliği 10 m olup kret uzunluğu ise 87 m dir. Baraj dolgu hacmi 67 000 m^3 olup rezervuar su hacmi 875000 m^3 dür. Dolusavak yapısı akarsuyun akış yönü dikkate alındığında sağ sahilde, derivasyon dipsavak yapısı ise sol sahilde yer almaktadır (Şekil 5).



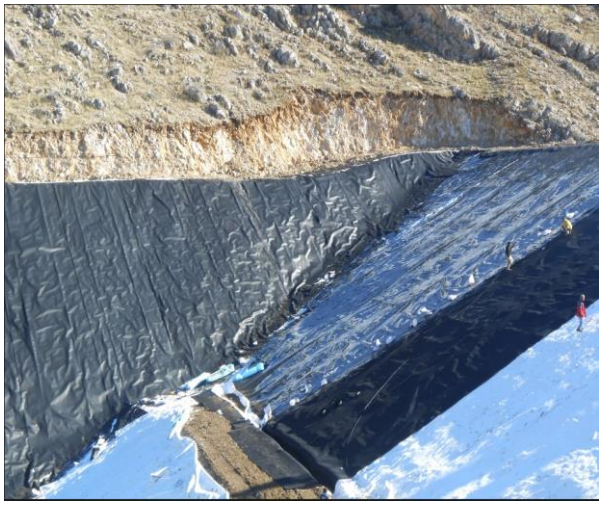
Şekil 5. Yıprak barajı planı (DSİ, 2011).

Yıprak barajının jeolojik yapısı oldukça geçirimli birimlerden teşekkül etmiştir. Baraj aks yerinde ve baraj rezervuarında jeolojik formasyonu oluşturan birimler, kireç taşı, konsolide killi marndır. Hem aks yerinin ve rezervuarın geçirimli olması hem de kaya gövde dolgusunda geçirimsizliği temin edecek kil çekirdek malzemesinin baraj aksından uzak olması sebepleriyle, rezervuardan barajın temeline ve gövde içerisinden mansaba sızarak deşarj olmaması ve barajın emniyetini riske atmaması için, bütün rezervuar ve baraj memba yüzü geomembranla kaplanmıştır (Şekil 7).



Şekil 6. Maksimum baraj enkesiti (DSİ, 2011).

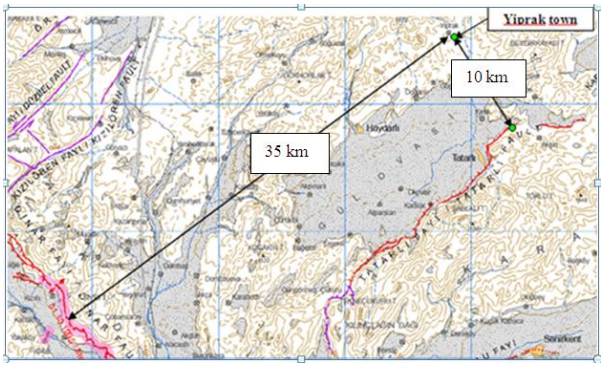
Ayrıca bölgenin deprem açısından oldukça riskli olmasından dolayı memba yüzündeki geomembran sızma bariyerinin herhangi bir hasar görme riskine karşılık gövde dolgusu çekirdeğinde ikinci geomembran bariyer yerleştirilmiştir (Şekil 6).



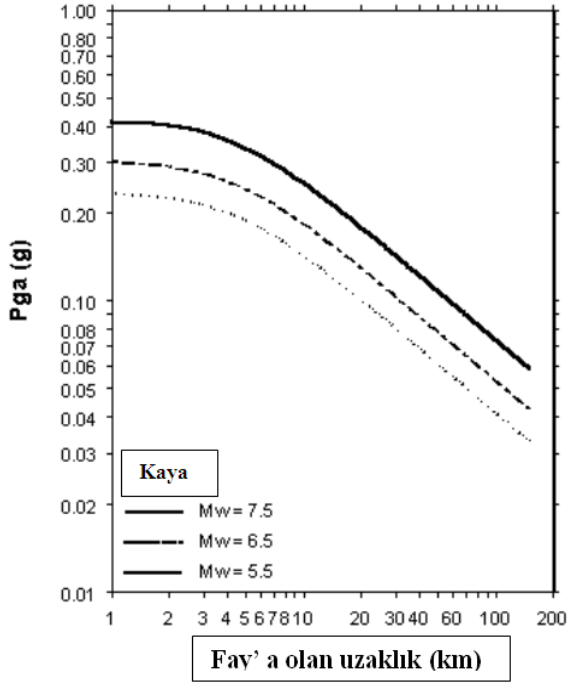
Şekil 7. Yıprak memba şevinin geomembranla kaplanması işlemi.

2.3. Bölgenin sismik yapısı

Yıprak barajı, ülkemizin kuvvetli depremlerinin olduğu 1. Derece deprem riski olan bir bölgesinde yer almaktadır. Baraj yeri 35 km uzaklıkta bulunan aktif Dinar fayı ile yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan aktif Tatarlı faylarının tehdidi altındadır (Şekil 8). Bu çalışma da baraj yeri deprem açısından oldukça riskli olan bir bölgede olmasından maksimum tasarım depremi (MDE), bölge için olası maksimum deprem büyüklüğüne (MCE) eşit alınmıştır. Her iki fay MCE= 7 büyüklüğünde deprem oluşumuna neden olabilecek kapasitededir. Tatarlı fayının baraj yerine daha yakın olması dolayısıyla bu fayın uzaklığı dikkate alındığında MCE=7 için Polat ve Gülkan'ın (2002), ivme azalım ilişkisi kullanıldığında baraj aks yerinde ana kayada ki maksimum ivme değeri 0.23g olarak elde edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. Yıprak baraj yerini etkileyen aktif faylar (MTA, 2016).



Şekil 9. Deprem büyüklüğü M = 5., 6.5 ve 7.5 için kaya bölgelerde deprem kaynağına olan uzaklığa bağlı pik ivme değerleri (Gülkan ve Kalkan, 2002).

3. Bulgular

Yıprak barajı kret ve potansiyel şev kayma yüzeyi maksimum ivme analizi ve sismik deformasyon miktarının tahmini

Yıprak baraj aks yeri ana kaya temel yüzeyindeki maksimum deprem ivme değeri, M_w= 7.0 moment büyüklüğü için ve Tatarlı fayının aks yerine 10 km uzaklığına bağlı olarak Şekil 9 da verilen korelasyondan 0.23g olarak tahmin edilmiştir. Şevin güvenlik faktörünü 1 yapacak kritik ivme, k_y yiprak barajının rezervuarı dolu olması durumunda şev stabilitesi programı (SLIDE) kullanılarak 0.345g bulunmuştur (Şekil 10). Şekil 10 dan görüldüğü üzere kritik kayma yüzeyi krete yakın üst bölgede küçük bir alanda çıkmıştır. Bunun nedeni, geomembran üzerindeki su basıncının kayma yüzeylerinin güvenlik değerine olumlu etkisidir. Geomembran üzerine etki eden ve dolgu içine sızamayan su basıncı kaymaya karşı direnci artırmaktadır. Kayma yüzeyi küçük bir dairede çıkmasına rağmen şayet böyle bir kayma olursa geomembran kaplamayı bozacağından baraj dolgusu içerisine rezervuardan su sızmasına ve barajın yıkılmasına sebep olacaktır. Bu nedenle küçük de olsa bu kayma yüzeyi bu tip barajlar için kritiktir. SLIDE programında yapılan stabilite analizlerinde Bishop yöntemi kullanılmıştır. Analizlerde geomembranın etkisi dikkate alınmamıştır. Çünkü, geomembran kaplama çok ince olup, ağırlığının stabiliteye etkisi, baraj dolgusunun ağırlığının ve su basınçlarının etkisinin yanında ihmal edilecek düzeyde küçüktür.

Şekil 2 kullanılarak, ana kayada depremin MHA değeri 0.4, ortalama periyodu, T_m = 0.5 s ve depremin süresi, $D_{5\text{-}95}$= 12 s olarak bulunmuştur.

Yiprak baraj dolgusunun ortalama kayma modülü, denklem 5 kullanılarak, G= 1247077 kN/m^2 ve denklem 4 den de kayma dalga hızı, V_s= 746 m/s olarak bulunmuştur. Denklem 5 in hesabında barajın kaya dolgu için K_{2max} = 90 alınmıştır. Denklem 5 deki dolgunun, düşey ve yatay asal gerilmeler ortalaması (σ_m) ise, baraj yüksekliği boyunca değişkendir. Bu sebeple, barajın orta noktasındaki (h=31.5/2=15.75m) σ_m gerilmesi, baraj dolgusunun temelden krete kadar olan σ_m gerilmelerinin ortalamasını temsil edeceği kabul edilmiştir. Buna göre, kaya dolgunun sıkışmış birim hacim ağırlığı 22 kN/m^2 ve içsel sürtünme açısı ise 42^0 olarak alındığında denklem 6 dan 192 olarak hesaplanmıştır:

$$\sigma_m=(\sigma_1+2\sigma_3)/3 \qquad (6)$$

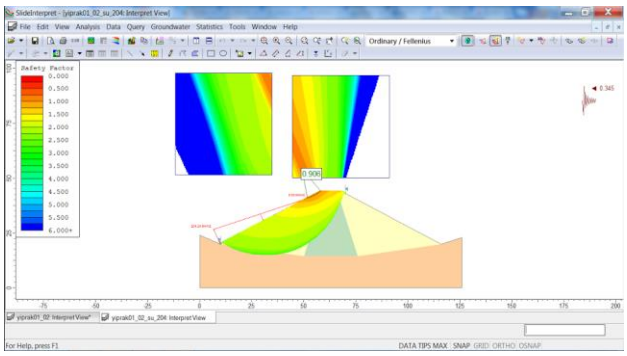
Burada;

σ_1= γxh =22x15.75=346.5 kN/m^{2}olup, σ_3 ise denklem 7 den hesaplanmıştır:

$\sigma_3=(1-\sin 42)\ \sigma_1$ (7)

Dolgu ana frekansı ise denklem 2 den T_s=0.17 sn olarak bulunmuştur.

Bu değerler dikkate alındığında Şekil 3'deki korelasyondan, Kayma kütlesinin normalize edilmiş maksimum yatay eşdeğer ivmesi, MHEA=0.552g elde edilir. Buna gore kayma kütlesinin maksimum ivme katsayısı, k_{max}=MHEA/g = 0.552 dir. Hesaplanan k_y ve k_{max} değerlerine bağlı olarak kayma kütlesinin ve Yiprak baraj şevinin deprem dolayısıyla kalıcı deformasyon miktarı, Şekil 4 deki korelasyondan, U=0.75x0.552x12=4.97 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 10. Yıprak barajı ky değeri için stabilite analiz sonuçları

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada önyüzü geomembran sızma bariyeri ile kaplı Yiprak barajı kaya dolgu şevlerinin kalıcı deformasyon analizi yapılmış olup, Hesaplanan kalıcı deformasyon miktarı 4.97 cm olarak oldukça düşük bulunmuştur. Bu deformasyon, şev ve baraj emniyeti açısından tehlike oluşturmayacaktır. 4.97 cm'lik deformasyon ayrıca esnek geomembran üzerinde de herhangi bir hasar oluşturmaz.

Deformasyonun küçük olmasının önemli bir nedeni k_y değerinin oldukça yüksek olarak elde edilmesidir. Bunun sebebi ise, baraj rezervuarı dolu iken memba şevine doğrudan etkiyen su basıncı şev kayma yüzeylerine etki eden normal kuvvetleri artırdığından kayma yüzeyi üzerinde gelişen kayma mukavemetini de artırmaktadır. Sonuçta, kayma kütlelerinin kritik kayma durumuna erişebilmesi için (güvenlik değerlerinin 1 olması için) gerekli olan depremin yatay ivme katsayısı oldukça büyük olmakta ve yüksek k_y/k_{max} oranı ise, Şekil 4'deki korelasyondan görüldüğü üzere düşük deformasyon değerlerine yol açmaktadır.

Ayrıca, Yıprak barajının, kaya dolgu olarak inşa edilmesi ayrıca deformasyon miktarlarının küçük olmasında etkilidir.

Sonuç olarak, dolgu barajların memba şevlerinin geomembran, beton veya asphalt gibi malzemeler ile kaplanarak geçirimsizliğin sağlanması, rezervuar su basınçlarının kayma mukavemetlerini artırmasına neden olmakta, bu ise barajın gerek statik ve sismik şev güvenilirliğini artırdığı gözlemlenmektedir. Ancak geomembran kaplamanın inşaatının dikkatli yapılması ve kaplamanın yırtılmasına izin verilmeyecek şekilde korunması önemlidir. Aksi halde su sızmaları, dolgunun stabilitesine ve barajın güvenliğine olumsuz yönde etkisi olacaktır.

Kaynaklar

Newmark N.M., 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique, London* 15(2): 139–160.

Seed H.B. and Martin G.R., 1966. The seismic coefficient in earth dam design. *Journal of the Soil Mechanical and Foundation Division, ASCE* 92 No. SM 3: pp 25–58.

Makdisi F. and Seed H., 1978. Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake induced deformations. *Journal of Geotechnical Engineering,* 104(7): 849–867

Abrahamson N.A. and Silva W.J., 1997. Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes. *Seismological Research Letters* 68(1): 94–127.

Bray J.D. and Rathje E.R., 1998. Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ACE 124(3): 242–253.

Bray J.D. and Travasarou T., 2007. Simplified procedure for estimating earthquake-induced deviatoric slope displacements. *Journal of*

Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 133(4):381–392.

Lin J.S. and Whitman R., 1986. Earthquake induced displacements of sliding blocks. *Journal of Geotechnical Engineering* 112(1): 44–59.

Elgamal A.W., Scott R., Succarieh M. and Yan L., 1990. La Villita dam response during five earthquakes including permanent deformations. *Journal of Geotechnical Engineering* 10(116): 1443–1462.

Bray, J.D., 2007. Simplified seismic slope displacement procedures. *Earthquake Geotechnical Engineering, Springer*, 327–353.

DSİ (2011) Yıprak barajı planlama raporu, *DSİ 18. Bölge Müdürlüğü*, Isparta.

MTA (2016), Afyonkarahisar- Dinar diri fay haritası, http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari (01.02.2016).

Polat G. and Erol K., 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology,* 6**:** 397–409.

Morgenstern, N.R. and Price, V.E., 1965. The analysis of stability of general slip surface. *Geotechnique*, Vol. 15. No.1, pp. 79-93.

Janbu, N., 1968. Slope stability computations. Soil Mechanics and Foundation Engineering Report, *Technical University of Norway, Trondheim*, pp. 47-86.

Spencer, E., 1978. Earth slopes subject to lateral acceleration. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 104(GT12), pp. 1489-1500.