
Araştırma Makalesi / Research Article

Alüvyon Özelliklerinin Homojen Dolgu Barajların Stabilitesine ve Kazı Derinliklerine Etkisinin Araştırılması

Uğur Şafak ÇAVUŞ*

*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
(ORCID:0000-0003-4804-8735)*

Öz

Bu çalışma da, sert ve yumuşak alüvyon temeller üzerine oturan 30m yükseklikteki homojen kil dolgu bir barajın, memba ve mansap şevlerinin stabilitesine, şev eğimlerine ve temel kazılarının derinliğine alüvyon özelliklerinin etkisi araştırılmıştır. Analiz sonuçları baraj güvenliği ve kazı-dolgu maliyetleri açılarından değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde, alüvyonun sertliği azaldıkça, kayma yüzeylerinin alüvyona kadar nüfuz ettiği ve minimum güvenli kayma yüzeylerinin daha derin ve büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu tür alüvyonlarda baraj altında kazılarının daha derin yapılmasının daha sağlıklı olacağı ve ayrıca dolgu şevlerinin de daha yatık yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Alüvyonun sertliği arttıkça şev kayma yüzeyleri sıkı kalarak alüvyon zemine nüfuz etmemekte, alüvyon temelin yüzeyine yakın ve baraj dolgusunun içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, sert alüvyon temeller üzerine oturan baraj dolgularında temelde az bir alüvyon kazısı yapmanın yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, baraj dolgusunun memba mansap şev güvenliğinin, yumuşak alüvyon zeminlerde olduğunun tersine, sıkı alüvyon zeminler üzerine oturan homojen kil dolgu barajlarda daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: 1. Homojen kil dolgu baraj, 2. alüvyon, 3. nümerik sızma analizi, 4. şev stabilitesi.

Investigating Effects of Alluvium Properties on the Stability and Excavation Depths of Homogeneous Embankment Dams

Abstract

In this study, effects of alluvium properties on the upstream and downstream slope gradients, stability and depths of foundation excavation of a 30m high homogeneous embankment dam located on the two different alluvium types as soft and stiff is analyzed. Analyses results are evaluated in terms of safety of the dam and excavation-embankment fill costs. As a result of this study, it was determined that slide surfaces of the embankment slopes become larger, cause smaller safety factors and penetrate into the alluvium when alluvium is softer. Therefore, it is concluded that foundation excavation depth should be more and embankment slopes should be designed gentler for soft alluvium conditions. When alluvium is denser, then, slope sliding surfaces become shallower, stay in the embankment and do not penetrate into dense alluvium. Therefore, in such case, it is concluded that less excavation of alluvium foundation will be sufficient for homogeneous embankment dams located on dense alluvium. In addition it was found that upstream and downstream slope safety values of homogeneous embankment dams become larger in case of hard alluvium conditions when compared with those in case of soft alluvium soils.

Keywords: 1. Homogeneous embankment dam, 2. alluvium, 3. numerical seepage analyses, 4. limit equilibrium methods, 5. slope stability.

1. Giriş

Homojen kil dolgu barajlar 30 m yüksekliklere kadar inşa edilen ve doğrudan alüvyon zeminler üzerine oturtulabilen baraj tiplerindedir [1-3]. Bu barajların memba şev stabilitesinde en kritik durum, rezervuarın tamamen dolu olması veya aniden boşaltılması halleridir. Mansap şevi için ise en kritik durum rezervuarın tamamen dolu olması hali olmaktadır [4]. Bu barajlar inşa edilebilmeleri açısından

*Sorumlu yazar: ugurcavus@isparta.edu.tr

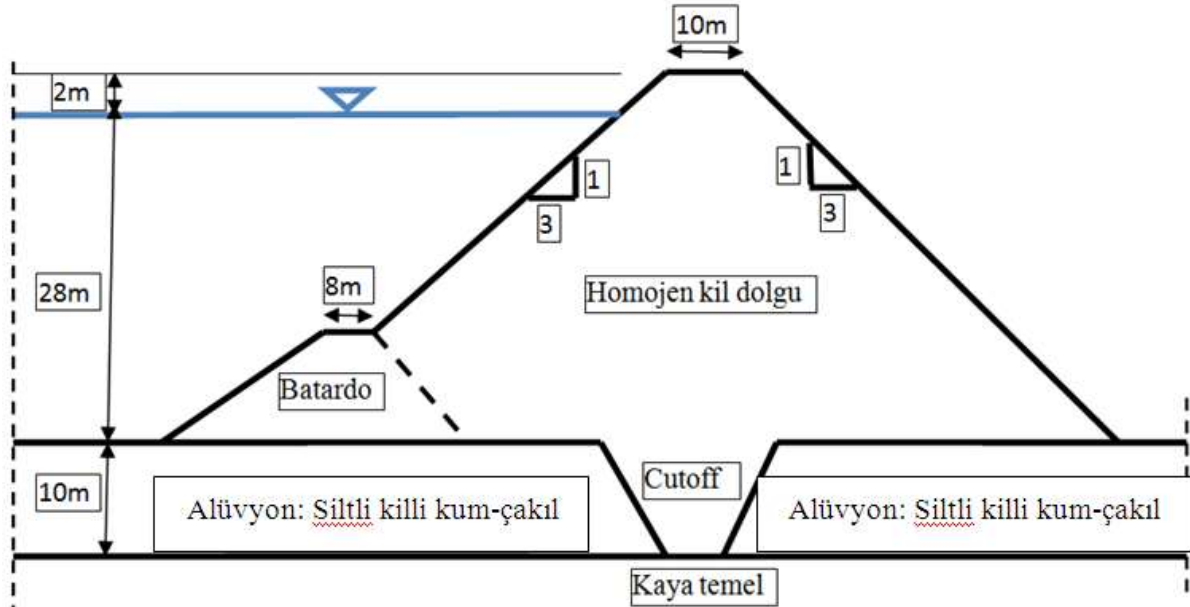
Geliş Tarihi:04.02.2020, Kabul Tarihi: 11.01.2021

ayrıca sağlam zemin veya kaya temel istemezler. Her türlü zemine veya kaya temeller üzerine inşa edilebilirler çünkü yükseklikleri maksimum 30m civarında olup fazla değildir. Ayrıca dolgu şevleri stabilite güvenliği için genelde yatıktır (3 yatay 1 düşey veya 2.5 yatay 1 düşey gibi tasarlanırlar) [3-5]. Şevlerin yatık olması ve genelde 30m'nin üzerinde tasarlanmaması nedenleriyle, temele aktarılan yüklerin baraj temelinde oluşturduğu gerilmeler düşük olmaktadır. Homojen kil dolgu barajlarda, dolgu şevlerinin eğimini ve temel sıyırma kazıları derinliğini, barajın ve rezervuarının yüksekliği, dolgu malzemesinin mukavemet özellikleri ve filtre tasarımı ile ayrıca barajın üzerine oturacağı alüvyonun sıklık derecesi ve mukavemet özellikleri etkili olmaktadır.

Bu çalışmada 10 m kalınlıktaki alüvyon temel üzerine oturan 30 m yükseklikteki homojen kil dolgu bir barajın, dolgu şev eğimlerine ve temel sıyırma kazılarının derinliğine, alüvyonun mukavemet özelliklerinin etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada 10 m kalınlıkta bir alüvyon temel üzerine oturan maksimum seviyede su ile dolu ve membansap şev eğimleri 3 yatay 1 düşey olan, 30 m yükseklikteki homojen kil barajın gövde kesiti analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile sızma analizleri yapılmış ve daha sonra limit denge şev stabilitesi analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bu amaçla, sert ve yumuşak olmak üzere iki farklı alüvyon temel özelliği ve bunlara dayalı alüvyon temelin yoğunlukları ve mukavemet parametreleri dikkate alınmıştır. Baraj rezervuarının tamamen dolu olması durumuna karşılık gelen nümerik sızma analizleri SLIDE programı ile yapılmıştır [6]. Analiz tipleri, senaryoları ve baraj dolgusu ile alüvyonun malzeme özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Nümerik modelleme neticesinde, baraj dolgusu içerisinde sızmaya bağlı olarak oluşacak boşluk suyu basınç değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu boşluk suyu basınçları, SLIDE şev stabilitesi analiz programında, kayma yüzeylerine etki ettirilerek, her bir kayma yüzeyinin güvenlik faktörleri hesaplanmıştır. Ayrıca, kritik kayma yüzeyi ve geometrisi bulunmuştur. Böylece, baraj şevlerinin tasarımına ve kayma güvenliğine alüvyonun sert veya yumuşak olmasının etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, kayma yüzeylerinin gövde içerisinde veya alüvyon temelde gelişme ve derinliklerine bağlı olarak, alüvyon özelliklerinin kazı derinliklerine olan etkileri kazı-dolgu maliyetleri açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Homojen kil dolgu baraj tip kesiti ve geometrisi

Tablo 1. Analiz senaryoları

Senaryo	Analizler	
Alüvyon temel: Yumuşak	Nümerik sızma (dolu hazne hali)	Nümerik sızma (dolu hazne hali)
Alüvyon temel: Sert	Memba şev stabilitesi	Mansap şev stabilitesi

Tablo 2. Baraj gövde dolgusu ve alüvyon temel malzeme özellikleri

Malzeme	Baraj kil dolgu	Alüvyon (yumuşak)	Alüvyon (sert)
Kohezyon, c (kN/m ²)	15	10	30
İçsel sürtünme açısı, ϕ (derece)	20	23	37
Yoğunluk, γ (kN/m ³)	20	16.5	19
Permabilite, k (cm/s)	1×10^{-7}	1×10^{-3}	5×10^{-3}

2.1. Nümerik sızma ve şev stabilite analizleri

Baraj rezervuarının dolu olması hali için dolgunun memba mansap şev stabilite analizleri iki farklı alüvyon temel özelliği dikkate alınarak yapılmıştır. Bunun için öncelikle, Darcy akım sızma formülü kullanılarak, sonlu elemanlar ile modellenen baraj gövdesindeki rezervuar suyunun sızma bölgesine ait Laplace denklem çözümleri, nümerik olarak yapılmış ve baraj gövdesi ve alüvyon temel içerisindeki boşluk suyu basınçları elde edilmiştir (1). Homojen kil dolgu barajlarda gözlemlenen şev kaymaları dairesel yakındır. Barajın memba ve mansap şevlerin stabilitesi dairesel kayma yüzeyleri teşkil edilerek pratikte çok kullanılan Bishop metodu ile analiz edilmiştir. Memba ve mansap şevlerinin güvenlik değerleri yumuşak ve sert alüvyon şartlarına bağlı olarak, SLIDE programı ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. (2) [7].

$$k_{wx} \frac{\partial^2 h_w}{\partial x^2} + k_{wy} \frac{\partial^2 h_w}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

Burada, k_{wx} ve k_{wy} yatay ve düşey dolgu ve alüvyonun permabilite değerleridir. Çözüm yaptığımız baraj homojen kil dolgu olduğu için analizlerde düşey ve yatay permabilite eşit olarak alınmıştır. h_w ise toplam su yüksekliği olup, SLIDE programı ile baraj gövde dolgusu ve alüvyona ait sızma durumundaki boşluk suyu basınçları hesaplanmıştır.

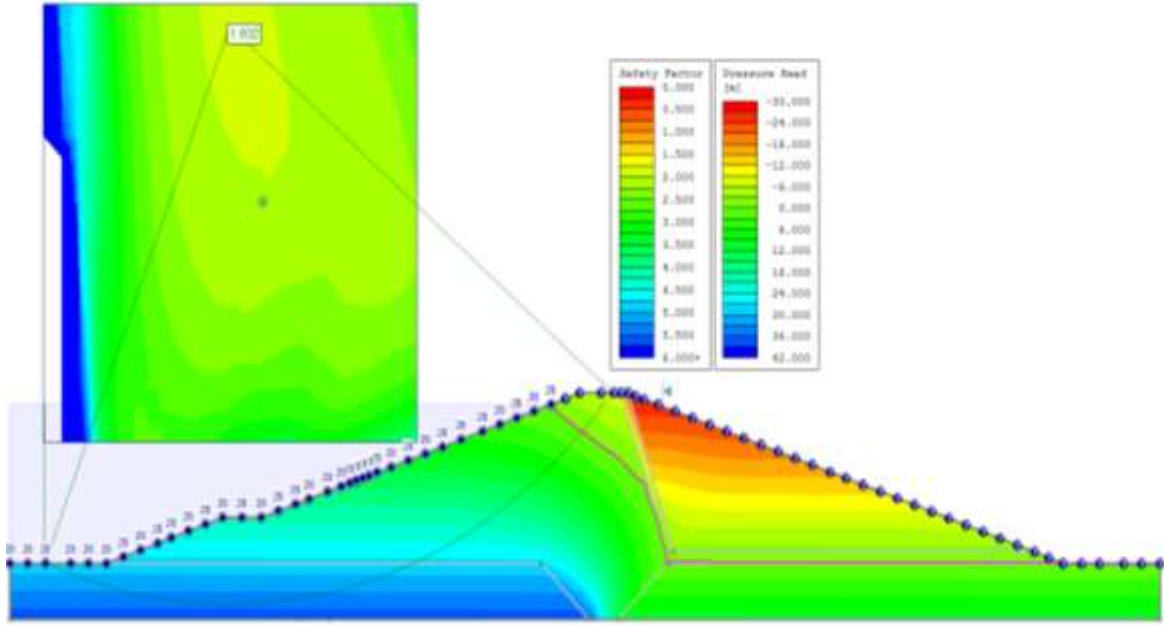
$$FS = \frac{\left\{ c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi \left[\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{FS} \right] \right\}}{\sum W \sin \alpha} \quad (2)$$

Burada;

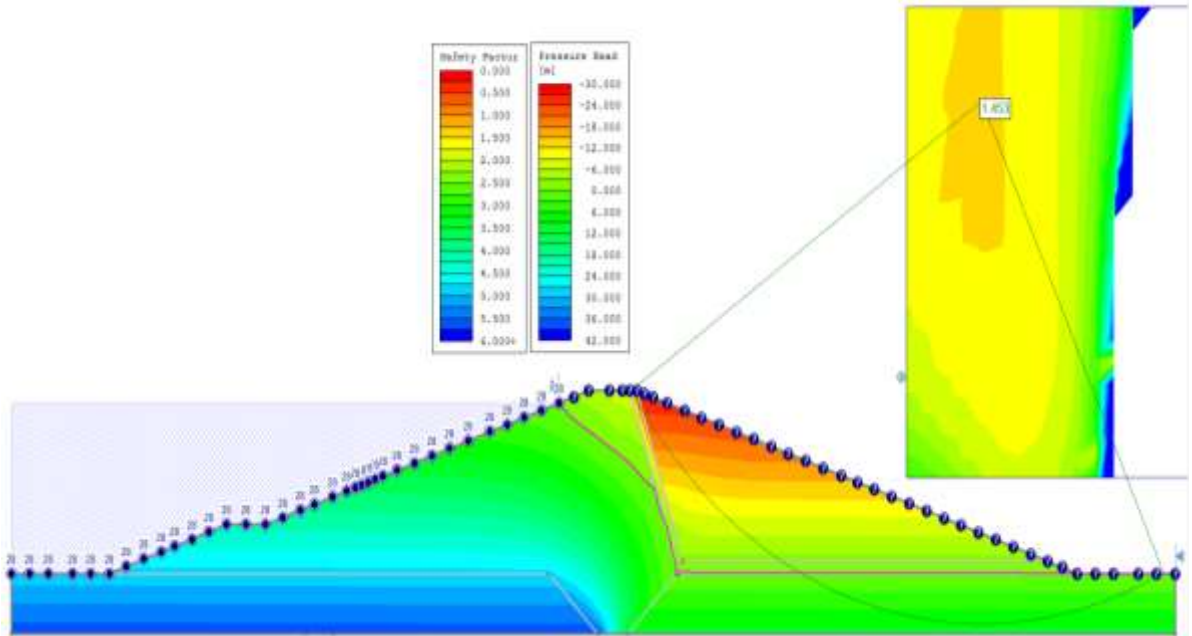
c : zemin kohezyon değeri; ϕ : zemin içsel sürtünme açısı; β : kayma yüzeyi dilimlerinin genişliği; α : Her bir kayma diliminin yatayla yaptığı açı; W : Dilimlerin ağırlığı; FS ise Güvenlik faktörüdür. Denklemin her iki tarafında FS olduğu için çözümde iterasyon yapmak gerekir.

Şekil 2 ve 4, Şekil 3 ve 5 beraber değerlendirildiğinde barajın memba ve mansap şev stabilitesi güvenlik değerleri yumuşak alüvyon temel durumunda daha düşük olmakta ve kayma yüzeyleri daha geniş olarak gelişerek alüvyona kadar dalmaktadır. Sert (mukavemeti yüksek) alüvyon durumunda ise kayma yüzeyleri sadece gövde içerisinde kalmakta olup alüvyon temele penetrasyonları olmamaktadır. Bu nedenle özellikle deprem durumunda gerekli emniyeti sağlamak için yumuşak alüvyonda temel altı sıyırma kazılarını cutoff un memba ve mansabında daha fazla yapmak baraj şev güvenliği açısından uygun olacaktır. Şekil 2 ve 3 ile Şekil 4 ile 5 beraber değerlendirildiğinde ise, her iki farklı alüvyon şartı

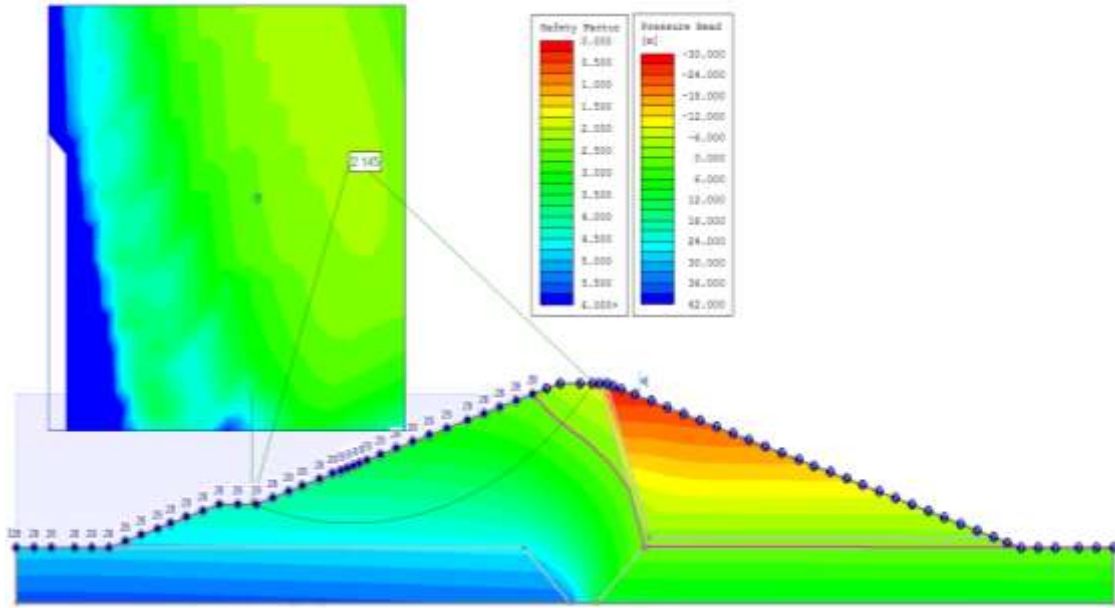
için, dolu hazne halindeki sızma durumunda, barajın memba şevleri rezervuar suyunun basınç etkisi ile mansap şevine göre daha güvenli olmaktadır.



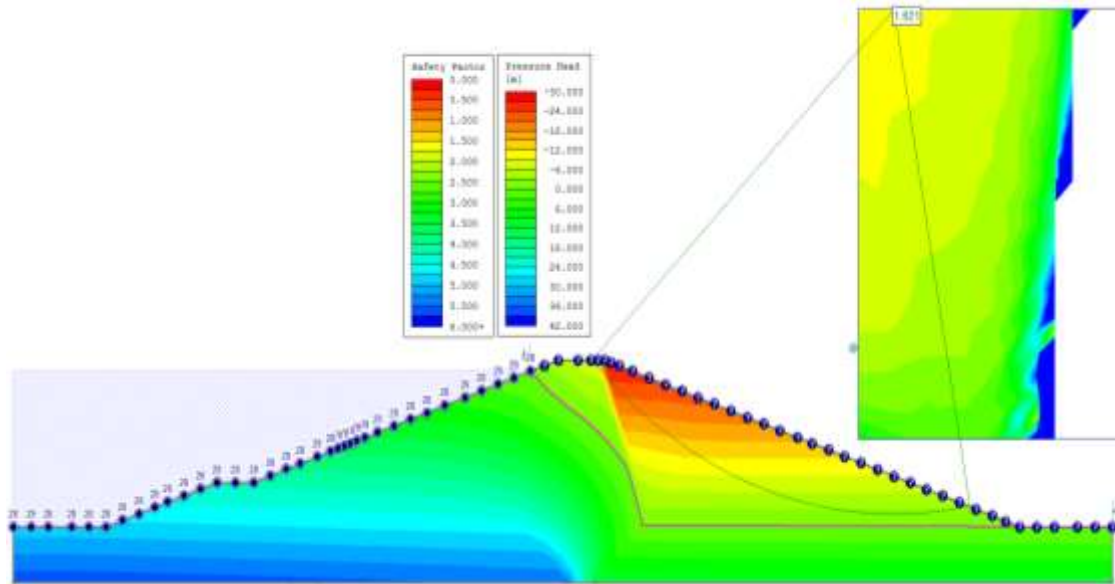
Şekil 2. Yumuşak alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve memba şevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri



Şekil 3. Yumuşak alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve mansap şevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri



Şekil 4. Sert alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve mamba sevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri



Şekil 5. Sert alüvyon temel durumunda rezervuar dolu iken nümerik sızma analizi, boşluk suyu basınçları ve mansap sevi stabilitesi en kritik kayma yüzeyi ve güvenlik değeri

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma neticesinde, alüvyonun sertlik derecesi düştükçe, alüvyon yumuşak oldukça, kayma yüzeylerinin alüvyona kadar nüfuz ettiği ve minimum güvenli kayma yüzeylerinin daha derin ve büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu tür alüvyonlarda baraj altında yapılacak temel kazılarının daha derin yapılmasının daha sağlıklı olacağı ve ayrıca dolgu şevlerinin de daha yatık yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Yapılacak kazı derinliği proje özellikleri ve proje yerine, topoğrafya ve alüvyon karakteristiklerine göre her projede aynı değildir. Fakat alüvyondan geçen kritik olan ve dolgu şevlerinin güvenliğini en düşük veren kayma yüzeyinin derinliğine yakın bir derinlikte yapılması uygun olacaktır. Yumuşak alüvyon temel söz konusu olduğunda, eğer baraj dolgusu altındaki alüvyon derinliği ve alüvyon genişliği fazla değilse, yumuşak temel alüvyonunun tamamen kazılarak kaldırılması ve baraj dolgusunun doğrudan ana kaya üzerine oturtulması baraj dolgusunun oturmasını azaltacağından ayrıca tavsiye edilir. Ayrıca, bu sayede, baraj dolgusunun şev stabilize güvenliği artacaktır. Kazı maliyetleri de fazla olmayacaktır. Sığ derinlikteki siltli kumlu suya doymuş gevşek bir

alüvyonun kazılarak atılması ise, ayrıca deprem etkisiyle olası sıvılaşma riskini kaldıracaktır. Bu durumda alüvyon kazısı dolayısıyla ve bunun yerine yapılan ilave baraj dolgusu nedeniyle bir miktar maliyet artışı olsa dahi, stabilite güvenlik değerlerindeki iyileşme dolayısıyla, baraj dolgusunun şevlerini daha dik yapmak mümkün olabilecektir. Bu ise, dolgu miktarında azalma ve maliyette düşmeye neden olacaktır. Böylece, alüvyon kazısından oluşacak maliyet artışları kısmen telafi edilebilecektir.

Alüvyonun sertliği ve sıklığı arttıkça ve kayma mukavemet değerleri yükseldikçe, şev kayma yüzeyleri sığ kalarak alüvyon zemine nüfuz etmemekte, temel zemininin yüzeyine yakın ve baraj dolgusunun içerisinde kalmaktadır. Bu nedenle, sıkı ve sert alüvyon temeller üzerine oturan baraj dolgularında temelde az bir alüvyon sıyırma kazısı yapmak yeterli olacaktır. Ayrıca analiz sonuçları göstermiştir ki; baraj dolgusunun memba mansap şev güvenliği de yumuşak alüvyon zeminlerde olduğunun aksine daha fazla olmaktadır. Özellikle memba dolgu şevleri mansap şevlerine göre, membada etki eden rezervuar su basıncının olumlu etkisi sebebiyle daha güvenli değerlere ulaşmaktadır. Netice olarak sıkı- sert alüvyon zeminler üzerine oturan dolgu barajlarda, dolgu şevleri daha stabil olmaktadır. Bu nedenle daha dik şev tasarımı yapmak mümkündür.

4. Sonuç

Yumuşak alüvyon zeminler üzerine inşa edilecek dolgu barajlarda, temel sıyırma kazılarını daha fazla yapmak şev stabilite güvenlik değerlerini artıracığından daha uygundur. Eğer alüvyon derinliği fazla değilse, alüvyonun tamamen kazılarak atılması ve baraj dolgusunun doğrudan ana kaya üzerine oturtulması daha uygundur. Çünkü alüvyona kadar giren derin kayma yüzeylerinin oluşması söz konusu olmayacaktır. İlave olarak baraj dolgusu oturmaları azalacaktır. Ayrıca suya doymun siltli kumlu gevşek alüvyonlarda, deprem etkisiyle sıvılaşma riski de ortadan kalkacaktır. Bununla beraber, kazı ve dolgu miktarları da kısmen artacaktır. Bu sebeple, sıkı alüvyon zeminlere göre, yumuşak alüvyonun tamamen kazılarak kaldırılıp kaldırılmaması kararı, proje yeri özelliklerine, maliyetlere, şev stabilite değerlerinde iyileşme miktarlarına ve proje risklerine bağlı olarak proje yeri özelliklerine göre değerlendirilmelidir.

Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Ağırlioğlu N. 2007. Baraj planlama ve Tasarımı. Cilt 1, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 1-262.
- [2] United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987. Design of Small Dams. Third edition, A water Resources Technical Publication, 1-827.
- [3] US Bureau of Reclamation, 2012. Embankment Dams-Embankment Dam Design. Design standards, 13: 100.
- [4] French Committee on Large Dams, 2002. Small Dams Guidelines for Design, Construction and Monitoring. Coordination: Gérard Degoutte. Translation: Links, Le Bourget du Lac (France) and Robert Chadwick (UK), 1-173.
- [5] Devlet Su işleri, DSİ, 2000. Baraj Projesi Yapımı Teknik Şartnamesi. <http://www.dsi.gov.tr/docs/proje-teknik-sartnameler/baraj-projesi-yapim-teknik-sartnamesi> (Erişim tarihi: 21.02.2014).
- [6] Rocscience 2011. Slide 6.009-2D limit equilibrium slope stability analysis.
- [7] Bishop A.W. 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. Geotechnique, 5: 7-17.