

TOPRAK DOLGU BARAJLARDA BİLGİSAYAR İLE ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ

M.Salih KIRKGÖZ

Mustafa NALÇACI ve Mehmet ARDIÇLIOĞLU

Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET: Şev stabilitesi; toprak dolgu barajlarda, inşaat esnasında ve sonunda, hazne dolu halde iken veya ani boşalma durumlarında önemli olmaktadır. Bu durumlarda şev stabilite analizinin güvenilir ve hızlı bir şekilde yapılarak şevin güvenli olup olmadığının tesbit edilmesi gerekir. Bu çalışmada, toprak dolgu barajlarda şev stabilitesi analizi için Bishop dilim yöntemi kullanılarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Program yardımı ile boşluk suyu basıncı, kohezyon ve kayma mukavemeti açısının kayma güvenlik sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

COMPUTER AIDED SLOPE STABILITY ANALYSIS OF EARTH-FILL DAMS

ABSTRACT: The slope stability of earth-fill dams is very important during and immediately after the construction and also for the cases of full reservoir and during rapid drawdown. In such circumstances the stability analysis of the embankment must be carried out using a method which is reliable and fast enough. In this study, using the Bishop's method, a computer program is prepared for the slope stability analysis. With the aid of present program, the effect of pore water pressure, cohesion, and angle of friction on the factor of safety for the downstream slope stability is investigated.

1. GİRİŞ

Şev stabilitesi inşaat mühendisliğinin çeşitli uygulamaları sırasında karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Bir dolgunun gövde stabilitesi onun kaymaya karşı göstereceği dirençle ölçülür, çünkü yıkılma, bir yüzey boyunca kayma suretiyle meydana gelir. Kayma gerilmeleri, sızma suyu ve deprem gibi dış yüklerle, toprağın kendi ağırlığı ve şev bünyesinde oluşan iç kuvvetlerden doğar. Dış ve iç kuvvetler aynı zamanda herhangi bir muhtemel kayma yüzeyine normal doğrultuda basınç gerilmeleri uygularlar. Kayma göçmesine karşı bir dolgu baraj temelini ve şevinin stabilitesi; inşaat esnasında ve hemen inşaat sonu, rezervuar dolu ve düzenli sızma olması ve rezervuar su seviyesinin ani olarak alçalması başta olmak üzere çeşitli kritik şartlar altında incelenmelidir [1].

Şev stabilitesi analizi için çeşitli yöntemler mevcuttur [2]. Bu çalışmada, toprak dolgu barajlarda şev stabilitesi analizi için Bishop dilim yöntemine göre bir bilgisayar programı hazırlanmış ve program yardımı ile baraj dolgusunda kaymaya karşı güvenlik sayısının boşluk suyu basıncı, kohezyon ve içsel sürtünme açısı ile nasıl değiştiği incelenmiştir.

2. BISHOP DİLİM YÖNTEMİ

Bu yöntem, suya doymuş killerde toplam gerilmeler ile yapılan stabilite analizi yanında her tür zeminde efektif gerilmeler kullanılarak yapılan analizler için de uygun sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, Bishop yöntemi, doğal yamaçların uzun ve kısa süreli dengesi için olduğu kadar, dolgu barajların şev stabilite analizinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Bishop yöntemine göre dairesel bir yüzey üzerinde kayma eğilimi gösteren kütle Şekil 1'deki gibi düşey düzlemlerle ayrılan dilimlere bölünür. Şekilde görülen b genişliğinde ve h ortalama yüksekliğindeki bir dilime etkiyen kuvvetler: Dilim ağırlığı ($W = \gamma bh$), dilim tabanına etkiyen normal kuvvet ($N = \sigma l$), kayma direnci ($S = \tau l$), dilim kenarlarına etkiyen toplam normal kuvvetler (X_n, X_{n+1}) ve Dilim kenarlarına etkiyen kayma kuvvetleri (E_n, E_{n+1}) dir.

Şevin kaymaya karşı "Güvenlik Sayısı", kayma mukavemetinin zemini limit denge durumunda tutan kayma gerilmesine oranı olarak tanımlanır.

$$F = \tau_f / \tau \quad (1)$$

Şekil 1'de görülen ABCD şevinin AB yayı üzerinde kaymaya karşı dengede olabilmesi için şev kütlelerine etkiyen kuvvetlerin 0 dönme merkezine göre momentlerinin dengede olması gerekir, yani

$$\sum S r = \sum W x = \sum W r \sin \alpha$$

TOPRAK DOLGU BARAJLARIN BİLGİSAYAR İLE ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ

$$\Sigma \tau l = \Sigma W \sin \alpha \quad (2)$$

(1) ve (2) denklemlerinden güvenlik sayısı

$$F = \frac{\Sigma \tau_f l}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. Efektif gerilmeler cinsinden kayma gerilmesi

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (4)$$

olup c' efektif gerilmelere göre kohezyon, σ' efektif normal gerilme ve ϕ' efektif gerilmelere göre kayma mukavemeti açısıdır. (4) ifadesinin (3) de kullanılması ile güvenlik sayısı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$F = \frac{\Sigma (c' l + N' \tan \phi')}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (5)$$

Bishop çözümünde dilimlerin düşey kenarlarına etkiyen kuvvetlerin bileşkesinin yatay olduğu kabul edilmektedir [4]. Buna göre

$$X_n - X_{n+1} = 0 \quad (6)$$

olacaktır. (6) eşitliği göz önüne alınarak Şekil 1'deki kuvvetlerin düşey dengesinden N' elde edilebilir.

$$W = (N' + ul) \cos \alpha + \frac{c' l + N' \tan \emptyset'}{F} \sin \alpha$$

$$N' = (W - \frac{c' l}{F} \sin \alpha - ul \cos \alpha) / (\cos \alpha + \frac{\tan \emptyset'}{F} \sin \alpha) \quad (7)$$

$l = b / \cos \alpha = b \sec \alpha$ yazılarak (7) denkleminin (5) de kullanılması ile

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [c' b (1 + \frac{\tan \alpha \tan \emptyset'}{F}) + (W - c' b \tan \alpha - ub) \tan \emptyset'] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \emptyset'}{F}}$$

Bu ifadede parantezler içindeki $\tan \alpha$ yı içeren terimler diğerleri yanında ihmal edildiğinde güvenlik sayısı aşağıdaki şekli alır.

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [c' b + (W - ub) \tan \emptyset'] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \emptyset'}{F}} \quad (8)$$

Boşluk suyu basıncını toplam zemin ağırlığının fonksiyonu olarak ifade etmek kolaylık sağlamaktadır.

$$u = r_u W/b$$

Bu değer (8) denkleminde kullanılması ile

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum [c' b + (1 - r_u) W \tan \emptyset'] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \emptyset'}{F}} \quad (9)$$

(9) denkleminde F'nin çözümü deneme yanılma yöntemini gerektirir. Çözüm için tablo ve yardımcı grafikler kaynak [5]'de verilmiştir.

3. BOŞLUK SUYU BASINCININ TESBİTİ

(9) denkleminde yeralan boşluk suyu basıncının belirlenebilmesi için baraj dolgusunda

doygun sızma yüzeyinin bilinmesi gerekmektedir. Baraj dolgusundaki sızma suyunun analizi için çeşitli yöntemler verilmiştir [6]. Zonlu toprak dolgudaki sızma, sonlu elemanlar yöntemi ile Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu [7] tarafından incelenmiştir.

Şekil 2'de görülen homojen bir dolgudaki sızma hattı Pavlovski-Dachler'e göre aşağıdaki gibidir [8].

$$y^2 = (h - h_1)^2 - \frac{2h_2}{m_L} x \quad (10)$$

(10) denklemindeki büyüklükler Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 3'de görüldüğü gibi homojen dolguda topuk drenajı bulunması durumunda Pavlovski-Dachler sızma hattı denklemini

$$y = (h - h_1)(1 - x/x_0)^{1/2} \quad (11)$$

şeklindedir.

(10) denklemindeki h_1 ve h_2 değerleri Şekil 4a'daki grafikten elde edilebilir. Şekilden görüldüğü gibi $x_0/m_L h$ ve $m_L (1.12+1.93/m_w)$ eğrilerinin kesişme noktasının apsisi h_1/h , ordinatı h_2/h değerlerini vermektedir. Diğer taraftan (11) denklemindeki h_1' değeri de Şekil 4b den bulunabilir.

4. BULGULAR

Toprak dolgu barajların şev stabilite analizi için Bishop dilim yöntemini esas alan bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve elde edilen bulgular Şekil 5-9'da sunulmuştur.

Şekil 5'de homojen bir dolgunun inşaat sonu mansap şevi stabilite analizi bulguları görülmektedir. Hesaplarda $r_u = 0$, $c' = 0.10 \text{ kg/cm}^2$, $\phi' = 33.8^\circ$ ve $\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ (doygun halde 2.1 t/m^3) olarak alınmıştır. Şekil 5'de minimum güvenlik sayısının $F = 2.130$ olduğu görülmektedir.

Şekil 6'da aynı şevin dolu-hazne ve drenajsız düzenli sızma hali için stabilite analizi verilmiştir. Sızma hattı Pavlovski-Dachler yöntemine göre bulunmuştur. Burada sızmanın etkisi ile güvenlik sayısında büyük ölçüde azalma, $F = 1.410$, ve kritik kayma yüzeyinde büyüme gözlenmektedir.

Şekil 7'de görüldüğü gibi dolguda topuk drenajı olması durumunda kritik kayma yüzeyi Şekil 6 ile aynı kalmasına karşın güvenlik sayısı $F = 1.943$ değerine yükselmektedir.

Şekil 8'de dolu-hazne ve örtü-drenajlı düzenli sızma halinde analiz bulguları verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bu drenaj durumunda sızma suyunun stabiliteye etkisi tamamen ortadan kalkmakta ve kritik stabilite şartları Şekil 5 ile aynı olmaktadır.

Şekil 9'da dolgunun inşaat sonu mansap şevinde aynı merkezli bir kayma dairesi için güvenlik sayısının farklı r_u ve c' de ϕ' ile nasıl değiştiği görülmektedir. ϕ' olarak 1.72, 10, 20 ve 33.8° değerleri kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi güvenlik sayısı boşluk suyu basıncı ve kayma mukavemeti açısından büyük ölçüde etkilenmektedir.

5. SONUÇLAR

Dolgu barajlarda şev stabilitesi analizi için Bishop dilim yöntemine göre bir bilgisayar programı hazırlanmış ve çeşitli durumlar için kritik kayma dairesinin yeri ve güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Boşluk suyu basıncının şev stabilitesini büyük ölçüde olumsuz etkilediği ancak uygun drenaj uygulamaları ile bu olumsuz etkinin azaltılmasının hatta tamamen giderilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre, kayma mukavemeti açısının büyümesi her durumda stabiliteyi artırmaktadır.

6. KAYNAKLAR

1. Bishop, A.W. and Bjerrum, L., "The Relevance of the Triaxial Test in the Solution of Stability Problems", *Research Conference on Strength of Cohesive Soils, ASCE, 1960.*
2. Nalçacı, M., "Toprak Dolgu Barajlarda Şev Stabilitesinin Bilgisayar ile Analizi", *Y. Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1990.*
3. Mirata, T., "Yamaç Dengesi Hesapları ve Gerekli Zemin Özelliklerinin Bulunması", *Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, D.S.İ., 18/1-36, Adana, 1985.*
4. Bishop, A.W., "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope", *Geotechnique, 5(1), 7-17, 1955.*
5. Kumbasar, V. ve Kip, F., "Zemin Mekaniği Problemleri", *Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1984.*
6. Cedergren, H.R., "Seepage, Drainage and Flow Nets", *John Wiley & Sons, 1977.*
7. Kırkgöz, M.S. ve Ardiclioğlu, M., "Toprak Dolgu Barajlarda Sızmanın Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi", *Ç.Ü. Müh-Mim. Fakültesi Dergisi, 5(1), 47-61, 1990.*
8. Özbek, T., "Su Yapıları", *Gazi Üniversitesi Yayın No:12, Ankara, 1987.*