

Beton Ağırlık Barajında Deprem Durumunda Oluşan Kuvvetlerin Baraj Güvenliğine Etkileri

Mücahit Opan

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

Özet

Bu çalışmanın amacı, beton ağırlık barajında deprem durumunda oluşan deplasman ile güvenlik sayıları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi üzerinedir. Bunun için taban genişliği b yüksekliği H olan bir beton ağırlık barajı seçilerek, b/H oranı ve deprem ivmesinin $0,1g-0,4g$ değerleri arasında değişmesi durumuna göre, devrilmeye ve kaymaya karşı güvenlik sayıları Pseudo Analiz yardımı ile belirlenmiştir. Barajın b/H oranına ve deprem ivmelerine bağlı olarak deplasman miktarları ve güvenlik sayıları arasındaki ilişkiye ait grafikler elde edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, deprem durumunda oluşan kuvvetlerin beton ağırlık barajında baraj güvenliği açısından güvenlik sayılarını depremsiz duruma göre azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton Ağırlık Barajı, Deprem, Pseudo Analiz, Yapısal Analiz, Deplasman, Güvenlik Sayıları.

1.Giriş

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler son yıllarda beton barajların deprem güvenliğindeki ilerlemiş yapısal analiz tekniklerinin uygulamasına imkan tanınmasına rağmen, bir çok belirsizlikler ağır depremler esnasında barajların davranışını rahmin etmekte kalmıştır. Bunlar arasında beton baraj gövdesindeki çatlak oluşumu ve yayılma süreçleri, temellerin doğrusal olmayan davranışı ve suyun baraj üzerindeki etkileri bulunmaktadır [1, 2 ve 3]. Statik-dinamik yaklaşımlar ve doğrusal veya doğrusal olmayan sonlu eleman modeller barajların güvenlik değerlendirmesi için statik analiz çalışmalarındaki statik metotlar ile birlikte kullanılmaktadır [4, 5 ve 6]. Deprem ile ilgili birçok belirsizliklere rağmen, etkileri barajların sismik tasarımında ve sismik güvenlik değerlendirmesinde çok önemlidir. Süreç maksimum güvenilir depremin (MCE), maksimum tasarım depreminin (MDE) ve güvenlik değerlendirme depreminin tanımlanması ile yapılmaktadır. Daha fazla ulaşılabilir sismik kayıtlar ile, ağır depremlerde $0.5g$ ile $1.0g$ arasında veya daha yüksek bulunan çok kısa süreli yerin pik ivmelenmesinin (PGA) ve sürdürülebilir etkili sismik ivmelenmenin etkilerinin anlamak ilerlemiştir. Sismik aktivitenin çok önemli bir dolaylı neticesi, beton gövdedeki veya temel seviyesindeki çatlaklara etkileyen basınç artışından dolayı boşluk suyu kuvvetleri üzerindeki etkisidir. Bu barajın güvenliğinde çok önemli etkisi olabilen sismik tasarım için stabilite analizinde hesaplanmalıdır. Beton ağırlık barajı için devrilmeye ve kaymaya karşı güvenlik sayılarının basınç küçültme sayısı ve etkili deprem ivmesi üzerine değişimi üzerine yapılan çalışmada, b/H oranı normalize edilmiştir. Burada, deprem ivmesi ve basınç küçültme sayısı arttıkça güvenlik sayıları küçüldüğü görülmüştür [7].

Bu çalışmanın amacı, beton ağırlık barajında deprem durumunda tepe ve topuk noktalarında oluşan deplasman miktarları ile güvenlik sayıları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi üzerinedir. Bunun için taban genişliği b yüksekliği H olan bir beton ağırlık barajı seçilerek, b/H oranı ve deprem ivmesinin $0,1g-0,4g$ değerleri arasında değişmesi durumuna göre, devrilmeye ve kaymaya karşı güvenlik sayıları Pseudo Analiz yardımı ile belirlenmiştir. Barajın b/H oranına

ve deprem ivmelerine bağlı olarak güvenlik sayıları arasındaki ilişkiye ait grafikler elde edilecek ve buradan güvenlik sayıları arasındaki ilişkiler irdelenecektir.

2. Depremde baraja gelen kuvvetler

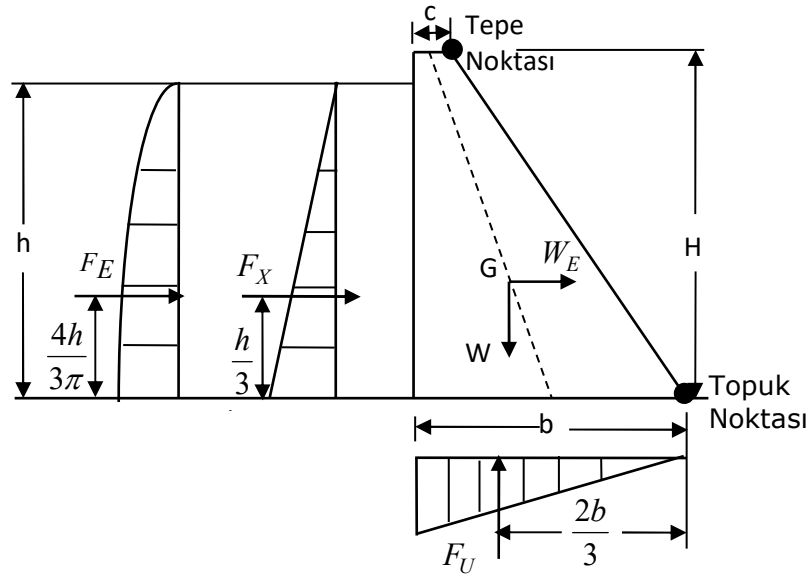
Şekil 1’ de depremde bir beton baraja gelen yükler gösterilmiştir. Burada, F_E : Yatay olarak gelen hidrodinamik yükü, F_X : Yatay olarak gelen hidrostatik yükü, F_U :Düşey olarak boşluk suyu basınç yükünü, W : beton barajın ağırlığını ve W_E : depremin yatay olarak beton baraj kütlesi ile oluşan yükünü ifade etmektedir. Ayrıca, b , c , h ve H beton baraja ait parametreleri göstermektedir.

Yatay olarak gelen hidrostatik kuvvet,

$$F_X = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 \quad (1)$$

yatay olarak hidrodinamik kuvveti,

$$F_E = 0.555 \alpha \gamma_w h^2 \quad (2)$$



Şekil 1. Depremde beton ağırlık barajına gelen yükler

düşey olarak boşluk suyu basınç kuvveti,

$$F_U = \frac{1}{2} m \gamma_w h b (1 + \alpha) \quad (3)$$

beton ağırlık barajın ağırlığı,

$$W = \frac{1}{2} \gamma_c b h \quad (4)$$

ve beton ağırlık barajının ağırlığından dolayı oluşan deprem kuvveti

$$W_E = \frac{1}{2} \alpha \gamma_c b h \quad (5)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada γ_w ve γ_c : sırasıyla beton ve suyun özgül ağırlığını, m : Boşluk suyu basınç kuvveti için basınç azaltma katsayısını ($0 \leq m \leq 1$), α :deprem ivmesini ve α : deprem ivmesine bağlı bir katsayısını göstermektedir.

3. Pseudo analiz

Barajlarda pseudo analizi barajın stabilitesine dayanmaktadır. Bir beton ağırlık barajın stabilitesi, barajın topuk noktasına göre alınan barajı devirmeye çalışan momentlerin, buna karşı koyan momentlerden küçük olması ile sağlanmaktadır. Yani,

$$W \cdot \frac{2b}{3} \geq F_X \cdot \frac{h}{3} + F_E \cdot \frac{4h}{3\pi} + F_U \cdot \frac{2b}{3} + W_E \cdot \frac{h}{3} \quad (6)$$

şeklindedir. Denklem 1 düzenlendiğinde,

$$\left[(2 + \alpha) \frac{\gamma_c}{\gamma_w} - 2m(1 + \alpha) \right] \frac{b^2}{h^2} \geq (1 + 1.41\alpha) \quad (7)$$

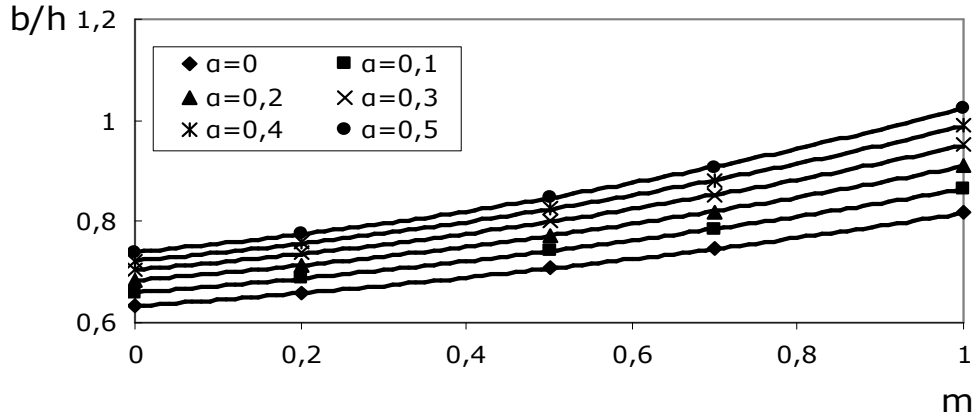
elde edilmekte ve buradan,

$$\frac{b}{h} \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\frac{(1 + 1.41\alpha)}{\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\gamma_c}{\gamma_w} - (1 + \alpha)m} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

şeklini almaktadır. Stabilitayı sağlamak sonucu temel genişliği/baraj yüksekliği oranı elde edilmiştir. Burada eşitsizliği eşitliğe çevirmek için bu oran,

$$\frac{b}{h} = \left[\frac{(1 + 1.41\alpha)}{\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) \frac{\gamma_c}{\gamma_w} - (1 + \alpha)m} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan, Şekil 2' de verilen b/h 'ın m ve α 'ya göre değişimi elde edilmektedir. Burada $\frac{\gamma_c}{\gamma_w} = 2.5$ olarak alınmıştır.



Şekil 2. b/h 'ın m ve α 'ya göre değişimi [7]

Pseudo analizi sonucu barajlar için çeşitli emniyet sayıları elde edilmektedir. Bunlar devrilmeye ve kaymaya karşı elde edilen emniyet sayıları şeklindedir.

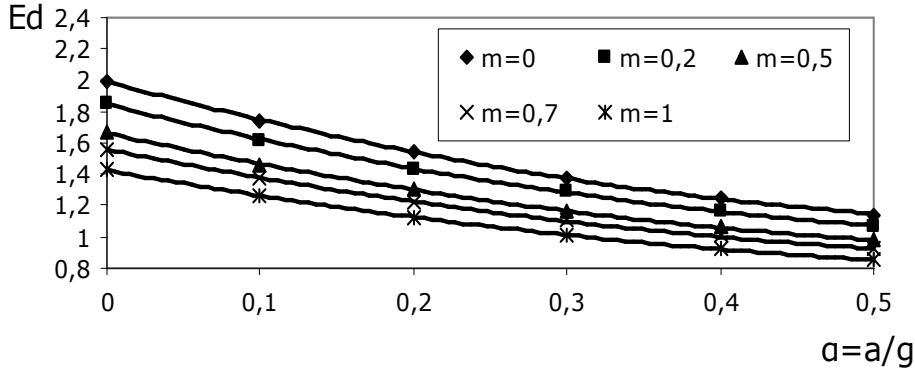
Bir barajın devrilmeye karşı emniyet sayısı, karşı koyan momentlerin, devirmeye çalışan momentlerine oranı sonucu elde edilmektedir. Buna göre, devrilmeye karşı emniyet sayısı,

$$\varepsilon_d = \frac{W \cdot \frac{2b}{3}}{F_X \cdot \frac{h}{3} + F_U \cdot \frac{2b}{3} + F_E \cdot \frac{4h}{3\pi} + W_E \cdot \frac{h}{3}} \quad (10)$$

şeklinde elde edilir. Bu denklem,

$$\varepsilon_d = \frac{2 \cdot \frac{\gamma_C}{\gamma_W} \left(\frac{b}{h}\right)^2}{(1 + 1.41\alpha) + \left[2m(1 + \alpha) + \alpha \cdot \frac{\gamma_C}{\gamma_W} \right] \left(\frac{b}{h}\right)^2} \quad (11)$$

şeklinde düzenlenebilir. $\frac{\gamma_C}{\gamma_W} = 2.5$ olarak alınıp, m ve α ya göre $\frac{b}{h}$ elde edilerek, Şekil 3'de gösterildiği gibi, ε_d 'nin m ve α ya bağlı olarak değişimi bulunmuştur. Burada, m ve α artıkcça ε_d azalmaktadır.



Şekil 3. ε_d 'nin m ve α ya bağlı olarak değişimi [7]

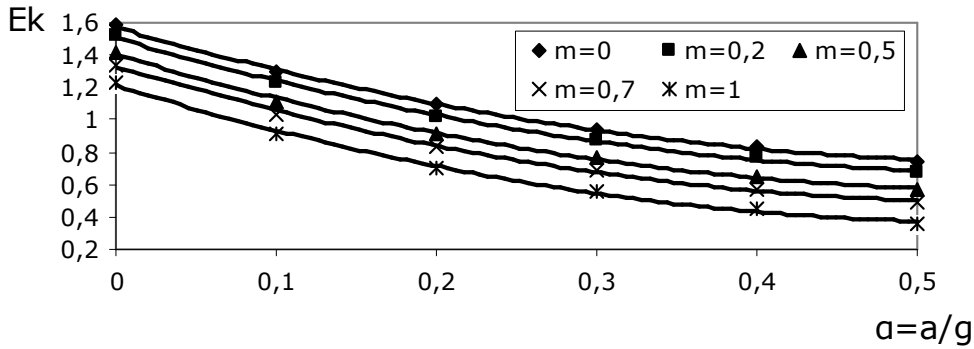
Barajın kaymaya karşı emniyet sayısı, karşı koyan kuvvetleri kaydırmaya çalışan kuvvetlere oranı ile elde edilmektedir. Buna göre kaymaya karşı emniyet sayısı,

$$\varepsilon_k = \frac{(W - F_U)k}{F_X + F_E + W_E} \quad (12)$$

Şeklinde elde edilmektedir. Bu denklem düzenlendiğinde,

$$\varepsilon_k = \frac{\left[\frac{\gamma_C}{\gamma_W} - m(1 + \alpha) \right] k \cdot \frac{b}{h}}{(1 + 1,11\alpha) + \frac{\gamma_C}{\gamma_W} \cdot \alpha \cdot \frac{b}{h}} \quad (13)$$

şeklini almaktadır. $\frac{\gamma_C}{\gamma_W} = 2,5$ ve $k = 1,0$ olarak alınıp, m ve α ya göre $\frac{b}{h}$ elde edilerek, Şekil 4'de gösterildiği gibi, ε_k 'nin m ve α ya bağlı olarak değişimi hesaplanmıştır. Burada, m ve α arttıkça ε_k azalmaktadır.



Şekil 4. ε_k 'nin m ve α ya bağlı olarak değişimi [7]

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, beton ağırlık barajında deprem durumunda oluşan devrilmeye ve kaymaya karşı güvenlik sayıları ile tepe ve topuk noktasındaki deplasmanlar belirlenmiştir. Güvenlik sayılarının belirlenmesi için Pseudo Analiz yapılmıştır. Bu güvenlik sayılarının m ve α 'ya göre değişimleri incelendiğinde, m ve α artıkça güvenlik sayıları küçüldüğü görülmüştür. Ayrıca b/H oranı büyükçe güvenlik sayılarının büyüdüğü görülmektedir. Sonuç olarak, m ve α değerleri artıkça, güvenlik sayılarının azaldığı ve b/H oranı büyüdükçe deplasmanları azaldığı ve güvenlik sayılarının arttığı söylenebilir.

İleriki çalışmalarda, bu araştırma genişletilerek beton ağırlık barajında deprem durumunda çatlak oluşumunun ve yayılmasının dikkate alındığı analizler ve çalışmalar yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Ghrib F., Le'ger P., Tinawi R., Lupien R., Veilleux M. (1997) Seismic safety evaluation of gravity dams. Int. J Hydropower Dams, 4(2)-126-138
- [2] Chopra A. K. (1998) Earthquake response analysis of concrete dams, Jansen R.B.(editor)-Advanced dam engineering for design, construction and rehabilitation, New York, Van Nostrand Reinhold, pp. 416-465
- [3] Kreuzer H. (2000) The use of risk analysis to support dam safety decisions and management, Proceedings ICOLD 20th Congress, Beijing, China, Gr. Q. 76-pp.769-834.
- [4] Hall J. F. (1998) The dynamic and earthquake behavior of concrete dams: review of experimental behavior and observational evidence, Soil Dynamics Earthquake Engineering, 7(2)-pp.58-117
- [5] Tinawi R., Le'ger P., Leclerc M., Cipolla G. (2000) Seismic safety of gravity dams from shake table experiments to numerical analysis. ASCE J. Structural Engineering, 126(4)-pp.518-529.
- [6] Leclerc M., Le'ger P., Tinawi R. (2003) Computer aided stability analysis of gravity dams, Advances in Engineering Software, 34-pp.403-420.
- [7] Opan M. and Temiz T. (2007) Safety Factors for The Seismic Design of Concrete Gravity Dams, International Earthquake Symposium-2007, Kocaeli, Turkey.