

Beton Barajların Sismik Performans Tayini için Basitleştirilmiş Bir Yaklaşım

Uğur Akpınar, Barış Binici

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Tel: (0312) 210 2457

E-Posta: ugur.akpinar@metu.edu.tr, binici@metu.edu.tr

Öz

Yeni barajların tasarımı ve mevcut barajların performans değerlendirmesi aşamalarında zaman tanım alanında nonlinear analizler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu analizler deprem seçimi, modelleme, analiz süresi, sonuçların kesinliği ve değerlendirilmesi açılarından pek çok sıkıntılar içermektedir. Bu yönetime alternatif basitleştirilmiş nonlinear yöntemlerin geliştirilmesi baraj deprem mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bina analizlerinde kullanılan statik nonlinear itme analizlerine benzer bir yaklaşım barajların performans tayininde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem sonucunda elde edilen hasar seviyeleri üç farklı yükseklikteki beton baraj için zaman tanım alanında elde edilen neticeler ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin mühendislik yaklaşıklığı içerisinde kabul edilebilir sonuçlar ortaya koyabildiğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Deprem, Baraj, Çatlak, Nonlinear analiz.

Giriş

Barajların kayma ve devrilme tahkiklerinin yapılması, rezervuar ve deprem etkilerinin eşdeğer kuvvetlerle temsil edilerek azami gerilme ve basınç değerlerinin belirlenmesi, bu değerlerin beton çekme ve zemin taşıma gücüyle karşılaştırılması günümüzde halen kullanılan hesap yöntemleridir. Bununla birlikte, programlama ve bilgisayar kullanımının yaygınlaşması birçok alanda olduğu gibi mühendislik çalışmalarında da etkisini göstermiş, özellikle sonlu elemanlar ve zaman tanım alanı yöntemindeki gelişmeler beton barajların statik ve dinamik yükler altındaki davranışının anlaşılmasında önemli rol oynamıştır.

Her ne kadar zaman tanım alanı hesap yöntemi baraj mühendisliği çalışmalarında önemli bir araç olarak kullanılsa da, yöntemin rezervuarı dolu barajlar için uygulanması noktasında halen zorluklarla karşılaşmaktadır. Suyun sıkıştırılabilir özelliği, temel alüvyon sönümü ve yapı rezervuar ilişkisinin frekans bağımlı olması, gerçek çözümün ancak frekans tanım alanında alınabileceği sonucunu doğurmaktadır. Beton barajlar gibi temel modun etkin olduğu yapılarda, statik itme analizi alternatif bir çözüm olarak öne çıkabilmektedir. Bu çalışmada, beton barajlar için statik itme analizi ile doğrusal olmayan davranışın belirlenmesi hususu araştırılarak, elde edilen sonuçların kesinliği doğrusal olmayan zaman tanım alanı çözümü ile elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

Bulgular, nonlinear statik analizlerin baraj hasarlarını tahmin etmek için kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Statik Nonlinear Analiz Yöntemi

Statik nonlinear analiz yöntemi, beton baraj yapılarının performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan mevcut yöntemlerde karşılaşılan sıkıntıları aşmaya yönelik geliştirilen alternatif bir baraj performans değerlendirme yöntemidir. Bu yöntem sayesinde zaman tanım alanı çözümlerinde ihtiyaç duyulan deprem ivme zaman kayıtlarına olan bağımlılıktan kurtulmak ve yalnızca deprem spektrumu yardımı ile yapının performansının belirlenebilmesi mümkün olacaktır. Buna ilave olarak, nonlinear zaman tanım analizi için gereken yüksek işlem gücü ve uzun hesaplama süreleri bu yöntemin kolaylıkla kullanımını kısıtlamaktadır. Beton barajlar için basitleştirilmiş nonlinear analiz yöntemi genel olarak 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla,

- Modal analiz ve yapının eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme çevrilmesi,
- Baraj üzerine etki edecek atalet ve hidrodinamik yük dağılımının bulunması,
- Yapının statik itme analizi ile kapasite eğrisinin bulunması,
- Tek derecelik eşdeğer sistem yardımı ile deplasman isteminin belirlenmesi,
- Deplasman istemi değerinde çatlakların tahkiki.

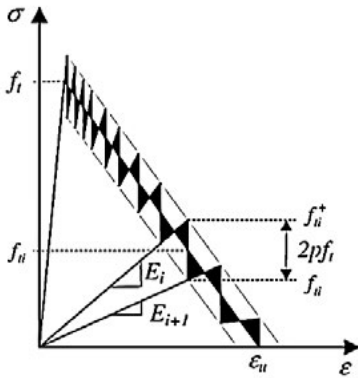
Yukarıda anlatılan yöntem sonucunda belirlenen deplasman istemlerine karşılık gelen hasarlar, statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak belirlenir. Bununla birlikte, düşük çekme dayanımı olan beton barajlar gibi yapıların statik itme analizleri mevcut analiz yöntemleri ile çözümsüz kalmaktadır. Bu nedenle mevcut çalışmada geleneksel yöntemler ile karşılaşılan sorunların aşılmasına imkân verebilecek Artımsal Linear Analiz (ALA) yönteminin kullanılacaktır.

ALA Yöntemi ile Statik İtme Analizi

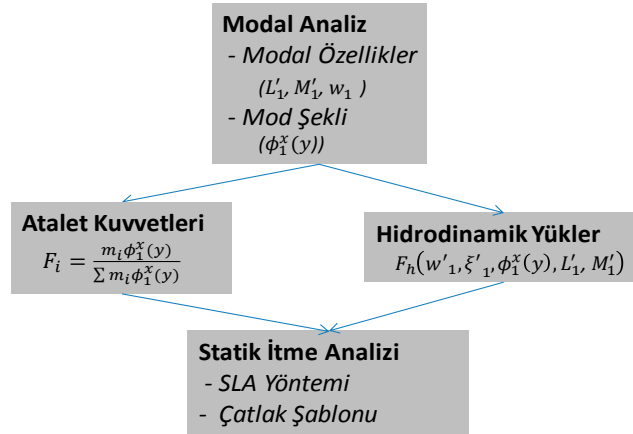
Geleneksel iteratif çözüm yöntemlerinin en önemli dezavantajları doğrusal olmayan sistemlerin gerilme-birim şekil değiştirme ilişkilerinde karşılaşılan negatif rijitlik ve buna bağlı olarak yaşanan matematiksel çözüm sorunlarıdır. ALA metodu doğrusal olmayan sonlu eleman analizlerinde sık kullanılan iteratif çözüm yöntemlerine alternatif, hasarın adım adım arttırılması fikrine dayanan bir analiz yöntemidir. Yöntem doğrusal olmayan davranışı birbiri ardına tekrarlanan doğrusal analizler yardımı ile bulur. Bu amaçla sonlu elemanlar modelinin her bir integrasyon noktasına yonteme has bir doğrusal olmayan gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi tanımlanır.

ALA metodunda önemli nokta, bir doğrusal analiz adımında hangi integrasyon noktasının hasar alacağına doğru bir şekilde belirlenebilmesidir. Bu amaçla uygulanan yük altında, integrasyon noktaları üzerindeki asal gerilmeler doğrusal analiz yardımı ile hesaplanır. Her bir integrasyon noktasının dayanım kapasitesi o noktalarda bulunan asal gerilme değerlerine bölünerek azami oran (λ) değerleri ve değerler yardımı ile kritik integrasyon noktası belirlenir. Belirlenen kritik oran bir sonraki elastik analizde uygulanacak yük değerinin ölçeklendirilmesinde kullanılır. Kritik integrasyon noktası ise hasar alan nokta olarak seçilerek gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi doğrultusunda elastik modülü ve dayanım kapasitesi azaltılacak, bir sonraki adıma

geçilir. ALA yönteminde geleneksel yöntemlerde karşılaşılan problemler, testere-dişi denilen bir gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi yardımı ile aşılmıştır. Testere-dişi modeli gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin akma noktasından sonra başlayan ve yumuşama eğrisi üzerinde değişim gösteren, kapasitenin adım adım düşürülerek yumuşama eğrisinin takip edildiği bir yöntem izlemektedir. ALA yönteminde her bir hasar adımında, hasar alan integrasyon noktasının Şekil 1’de verilen testere-diş eğrisine göre dayanımı ve elastik modülü azaltılacaktır. Bu yöntem sayesinde elastik modülü değerinin her durumda pozitif olması ve dolayısıyla stabilitenin korunması mümkün olmaktadır.



Şekil 1 Testere-dişi eğrisi.



Şekil 2 Hesaplama algoritması.

Yöntem doğrusal elastik çözüme olanak veren bir sonlu elemanlar programına ihtiyaç duyar ve bu amaçla birim şekil değiştirme ilişkisi kullanarak çözüm yapabilen bir sonlu elemanlar programı geliştirilmiştir. Beton malzeme modeli için toplam gerilme sabit çatlama yaklaşımını takip eden bir model programlanmıştır. Betonun çatlama davranışının ortotropik malzeme davranışına yakın olduğu düşünülerek bu çalışmada kullanılan sonlu elemanlar modeli ortotropik davranış dikkate alınarak geliştirilmiştir. Bu bağlamda bir integrasyon noktasında çatlak oluşumundan sonra ilk oluşan çatlığa dik yönde ikinci çatlaklar oluşabilmekte ve bu doğrultuya ait bir diğer gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi oluşturulmaktadır.

ALA yöntemi ile doğrusal olmayan sonlu elemanlar çözümü belirli bir prosedürün izlenmesini gerektirmektedir (Şekil 2). Eğer sisteme uygulanacak ilk yükler olan hidrostatik ve yapının kendi ağırlığına yük A, ikinci yükler olan atalet kuvveti ve hidrodinamik kuvvetlere yük B olarak adlandırılırsa, ALA metodu aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanabilir (Rots, 2008).

- Yük A sisteme uygulanarak her bir integrasyon noktası için gerilme değerleri, σ_A hesaplanır.
- Yük A kaldırılıp, sisteme Yük B uygulanarak gerilme değerleri, σ_B hesaplanır.
- Her bir integrasyon noktası için toplam asal gerilmeleri veren $\sigma_A + \lambda \sigma_B$ değerlerinin çekme dayanımına eşit olduğu λ katsayıları hesaplanır.
- Sonlu elemanlar modelinin her bir noktası için hesaplanan λ değerleri kıyaslanarak kritik λ değeri bulunur. Bununla birlikte sisteme birden fazla yük uygulanması durumunda λ 'nın hesaplanması özel bir prosedürün kullanımını gerektirir.

- İntegrasyon noktaları için hesaplanan λ değerleri ve A, B yükleri kullanılarak $A+\lambda B$ kombinasyonu altında oluşacak asal gerilmelerin doğrultuları bulunur ve bu doğrultulardaki gerilmeler yalnızca B yükü uygulanarak hesaplanır.
- İntegrasyon noktalarındaki asal gerilmeler çekme ve basınçta olmalarına göre kategorize edilirler. Çekme gerilmesi altında olan noktaların λ değerleri karşılaştırılarak λ_{\min} değeri bulunur.
- Benzer şekilde λ_{\max} değeri basınç altında bulunan λ değerleri arasından seçilir.
- $\lambda_{\max} < \lambda_{\min}$ olması durumunda, kritik değer λ_{crc} , λ_{\min} olarak seçilir. Aksi durumda ise λ_{crc} değiştirilmeden hasar λ_{\max} olarak bulunan noktaya uygulanır.

Hidrodinamik ve Atalet Kuvvetleri

Beton ağırlık barajların sismik davranışlarının belirlenmesinde barajın ön yüzeyinde oluşan hidrodinamik basınç değerleri önemli bir rol oynamaktadır. Her ne kadar memba yüzeyi dik ve sıkıştırılmaz su varsayımlarıyla hidrodinamik basınç basitleştirilmiş ekli kütleler ile bulunabilse de (Westergaard, 1933), bu çözümlerin yeterince tutarlı olmayabileceği görülmüştür. Yakın zamanda yapılan bazı çalışmalar sonucunda, suyun sıkıştırılabilir özelliğinin dikkate alınmaması durumunda, bu özelliğin dâhil edilmesi durumuna göre barajın zemininde oluşan gerilmelerde önemli farklar olduğu görülmüştür. Ayrıca bu davranış farkının baraj yüksekliği ile arttığı belirlenmiştir (Akpınar, 2014).

Rezervuar-yapı etkileşimi, uygun sınır koşullarını kullanarak ve doğrusal sıkıştırılabilir su kabulü ile dalga yayılımı denklemi yardımıyla çözülebilir. Su basıncı p , sesin su içerisindeki hızı C ile gösterilirse, iki boyutlu dalga denklemi zaman alanında aşağıdaki şekilde temsil edilebilir.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1)$$

Eşitlik 1 uygun sınır koşulları yardımı ile iteratif bir yaklaşımla (Fenves ve Chopra, 1984) çözülebileceği gibi bu çalışmada benimsenen basitleştirilmiş bir yöntem kullanarak da çözülebilir (Bouaanani, 2010). Yapının tek dereceli eşdeğer sisteminden yararlanılarak yapılan çözüm sonucunda aşağıdaki eşitliğe ulaşmak mümkündür.

$$f(y) = \frac{L'_1}{M'_1} \frac{S_a(w'_1, \xi'_1)}{g} [\mu_d(y) \phi_1^x(y) + g \operatorname{Re}[p'_1(0, y, w'_1)]] \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2)$$

Bir deprem kaydı için, sönüm oranı ξ'_1 olacak şekilde hazırlanan deprem spektrumu ile dolu baraja etki eden $S_a(w'_1, \xi'_1)$ değeri belirlenebilir. Bulunan spektral ivme ve modal parametrelere yardımı ile $f(y)$, hidrodinamik kuvvet memba yüzü boyunca yüksekliğin fonksiyonu olarak hesaplanması mümkündür. Bu hidrodinamik kuvvet dağılımı dolu barajın SLA yöntemi ile yapılacak statik itme analizlerinde kullanılmıştır.

Benzer şekilde toplam itme kuvvetlerinin bir diğeri olan atalet kuvveti, spektral ivme $S_a(w'_1, \xi'_1)$ değeri yardımı ile bulunacaktır. Bu çalışmada, yapının temel mod şekli ve kütle dağılımını dikkate alan aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

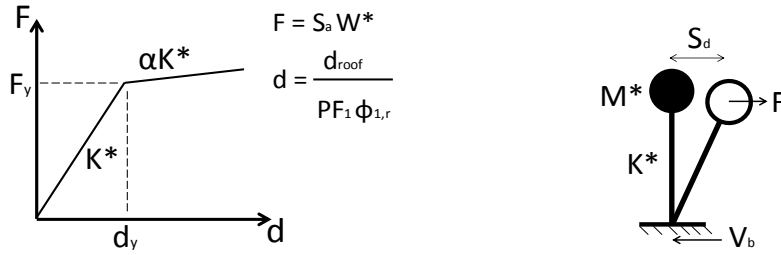
$$F_i = \frac{m_i \phi_1^x(y)}{\sum m_i \phi_1^x(y)} \quad (3)$$

Doğrusal Olmayan Deplasman İstemi Yöntemleri

Doğrusal olmayan statik prosedürlerde benimsenen genel prensip, çok dereceli sistemlerin eşdeğer tek dereceli sistemlere çevrilmesi ve kapasite eğrisi ve deprem spektrumlarından faydalanarak, deplasman istemlerinin belirlenmesidir. Çalışmada yaygın olarak kullanılan statik prosedürler olan katsayı (FEMA356, FEMA440) ve kapasite spektrum yöntemlerine (ATC-40, FEMA440) ek olarak tek serbestlik dereceli doğrusal olmayan dinamik analiz yaklaşımına da yer verilmiştir. Aşağıda kullanılan yöntemler kısaca özetlenmiştir.

Tek Serbestlik Dereceli Sistem Dinamik Analizi (TSDS)

Birinci mod katılım oranları yüksek olan yapıların, temel moda göre yapılan eş değer tek dereceli sistemler olarak temsil edilmesi mümkündür. Eşdeğer tek dereceli sistemin özellikleri, çok dereceli sistem ile yapılan mod analizine göre belirlenmektedir. Bununla birlikte analizde kullanılacak doğrusal olmayan kuvvet-deplasman eğrisi için, itme analizi ile elde edilen kapasite eğrisinden faydalanılacaktır. Şekil 3'te eşdeğer tek dereceli sistem özellikleri görülmektedir.



Şekil 3 Eşdeğer tek dereceli sistem.

Fema-356 Katsayı Metodu (Fema-356 KM)

Fema-356 katsayı metodu ile elastik olmayan deplasman, istatistiksel çalışmalar sonucu elde edilen belirli katsayılar yardımı ile belirlenmektedir.

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e}{4\pi^2} g \quad (4)$$

Denklemden, C_0 yapının tepe deplasmanı ile tek dereceli eşdeğer sistemin deplasmanını ilişkilendiren katsayıyı, C_1 elastik davranış ile elastik olmayan deplasmanları ilişkilendiren katsayıyı, C_2 rijitlik ve mukavemet kaybına bağlı histeresis şeklin deplasman üzerindeki etkisini temsil eden katsayıyı, C_3 ikinci mertebe etkilere bağlı deplasmanları temsil eden katsayıyı temsil etmektedir.

Fema-440 Katsayı Metodu (Fema-440 KM)

Yöntem, mevcut Fema-356 katsayı yönteminde kullanılan katsayılarının güncelleştirilmesi ile elde edilmiştir.

$$\delta = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e}{4\pi^2} g \quad (5)$$

Denklemden, C_0 Fema-356 yöntemi ile aynıdır ancak C_1 ve C_2 katsayıları için ise yeni hesap yöntemi sunulmuş, C_3 katsayısına ise yer verilmemiştir.

ATC-40 Kapasite Spektrumu Metodu (ATC-40 KSM)

Yöntem, eşdeğer periyot ve sönüm oranlarının iteratif bir şekilde hesaplandığı bir prosedür kullanmaktadır. Grafiksel ve analitik yöntemler içeren 3 farklı prosedürün önerildiği yöntemde temel prensip yapının kapasitesi deprem istemiyle karşılaştırılması ve hedef deplasmanın belirlenmesidir. Yöntem ilk olarak tahmini deplasman değeri belirlenmesi ile başlar. Daha sonra süneklik oranı μ ve eşdeğer sönüm oranı katsayısı κ yardımı ile eşdeğer sönüm oranı ζ hesaplanır. Hesaplanan eşdeğer sönüm oranına göre belirlenen ivme ve spektral deplasman eğrisi ile kapasite eğrisi yardımıyla hedef deplasman belirlenir. Hedef deplasmanın tahmin edilen deplasman değeri arasında göreceli hata oranı istenen seviyede olmaması durumunda prosedür tekrar edilir.

Fema-440 Kapasite Spektrumu Yöntemi (Fema-440 KSM)

ATC-40 kapasite spektrum yöntemine geliştirmeler getiren Fema-440 güncelleştirmesi temel olarak yöntemde kullanılan efektif periyot ve efektif sönüm oranı değerlerinin hesaplanmasında önerilen yeni formülleri içermektedir.

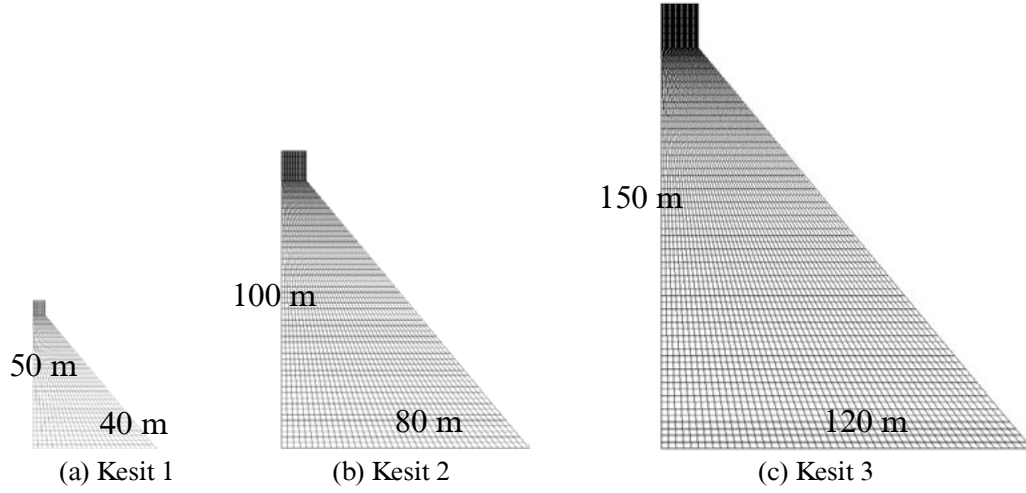
Yöntemin Uygulanması ve Değerlendirilmesi

Yöntemi zaman tanım alanında elde edilen neticeler ile kıyaslamak için, 50 m, 100 m ve 150 m yüksekliklerinde üç temsili beton ağırlık baraj seçilmiştir. Tüm kesitlerin memba eğimleri dik, mansap eğimleri 0.8 olarak belirlenmiş, kret uzunlukları 50, 100 ve 150 m'lik barajlar için sırasıyla 4, 8 ve 12 m olarak belirlenmiştir. Barajların sonlu eleman modelleri Şekil 4'de sunulmaktadır. Dolu barajların zaman tanım alanı hesap yöntemi ile çözümünde kullanılan su ve sınır elemanları ile rezervuarın oluşturduğu hidrodinamik yükler başarılı şekilde hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte analiz zaman tanım alanında yapılması nedeniyle suyun sıkıştırılmaz olduğu kabulü yapılmaktadır.

Betonun basınç dayanımına bağlı olarak dinamik çekme dayanımı için USACE (1995) tarafından SSB beton için alınması önerilen değerler ve dayanım azaltma faktörlerinden yararlanılmıştır. Analizlerde betonun malzeme parametreleri, elastisite modülü 23.75 GPa, Poisson oranı 0.2, öz kütlesi 2400 kg/m³, gerilme mukavemeti 1.6 MPa, kırılma enerjisi ise 200 N/m şeklindedir. Analizler sabit kesme azalım faktörü, $\beta = 0.2$ ile yapılmıştır.

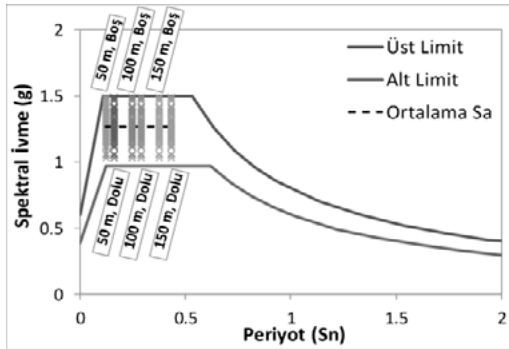
Zaman tanım alanı analizleri için 37 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Baraj kesitlerinde hasarın (çatlakların) belirli seviyelerde tutulabilmesi için hedef spektral ivme değerlerine göre deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi planlanmıştır. ATC-40'da önerilen tasarım spektrumu kullanılarak, sismik katsayı C_a 'nın 0.3 ile 0.4 arasında değiştiği varsayıldığında elde edilen spektrumlar elde edilmiş ve Şekil 5'de sunulmuştur. Bu değerlerle elde edilen tasarım spektrumları, bu çalışmada alt ve üst limit değerler olarak kabul edilmiştir. Seçilen baraj kesitlerinin temel periyotları 0.1 sn

ile 0.4 sn arasında değişmektedir ve tasarım spektrumunda bu periyotlar için spektral ivme değerleri yaklaşık olarak 1.0 g ile 1.5 g aralığına karşılık gelmektedir ve deprem kayıtları yapılara gelecek spektral ivmelerin 1.0 g ile 1.5 g arasında olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Spektral ivme katsayılarının ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 1.27 ve 0.13 olarak belirlenmiştir.

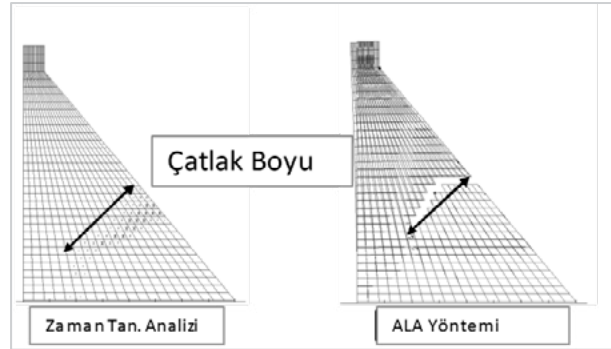


Şekil 4 İncelenen baraj kesitleri.

Basitleştirilmiş nonlineer analiz yöntemi ile hedeflenen, beton baraj yapılarının doğrusal olmayan davranışlarının zaman tanım alanı hesap yöntemi gerektirmeden doğru bir biçimde tahmin edilmesidir. Bu bağlamda her bir deprem kaydı için 50 m, 100 m ve 150 m baraj kesitleri ile dolu ve boş rezervuar durumları için doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri yapılmış, yapılarda oluşan hasarlar belirlenmiştir. Hasar belirlenmesi ve karşılaştırması çatlak boylarının ölçümü ile yapılmıştır (Şekil 6). Her bir deprem kaydı ve baraj kesiti için yapılan analizlerdeki çatlak boyları belirlenmiş, basitleştirilmiş yöntem ile elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır.



Şekil 5 Spektral ivme aralığı.

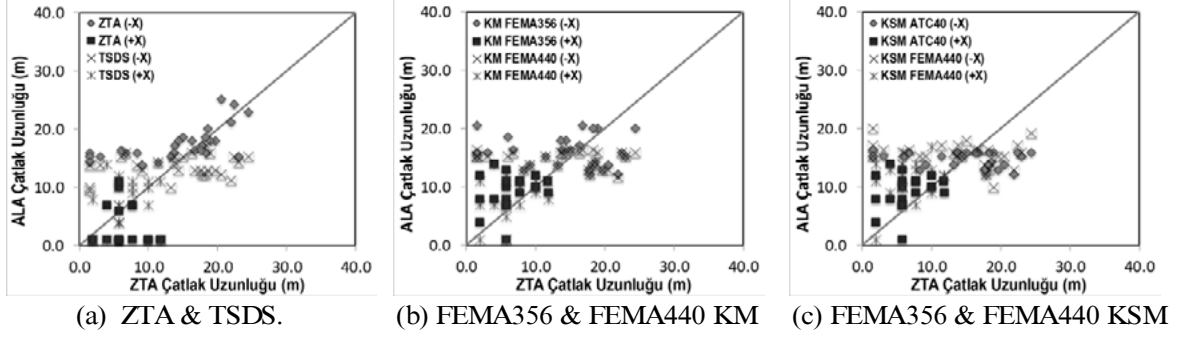


Şekil 6 Çatlak boyu karşılaştırması.

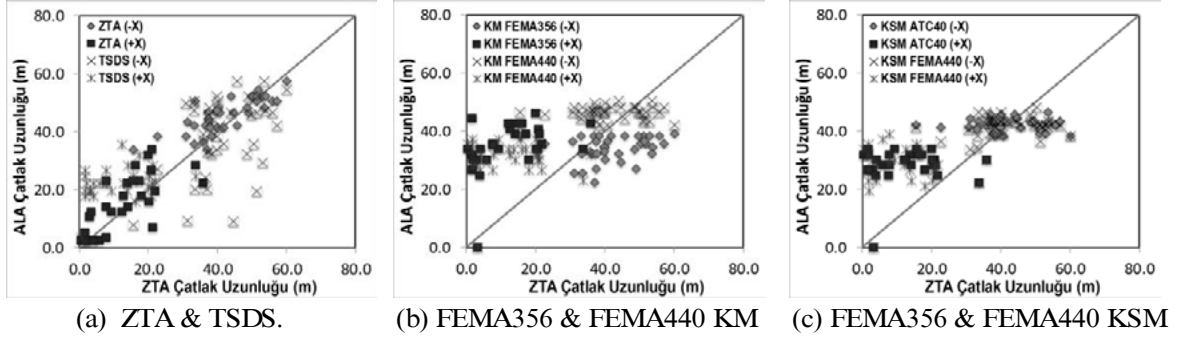
Hasarın karşılaştırılmasında kullanılacak hedef deplasman değerleri için iki yöntem benimsenmiştir. İlk olarak zaman tanım alanı (ZTA) çözümü ile memba ve mansap yönlerinde karşılaşılan en yüksek deplasmanlar belirlenmiş, bu değerler statik itme analizinde deplasman istemi olarak kullanılmıştır. Daha sonra ise yapının eşdeğer tek dereceli modelinden yararlanarak doğrusal olmayan deplasman istemi yöntemleri (TSDS, Fema356 KM, Fema440 KM, Fema356 KSM, Fema440 KSM) yardımıyla hedef deplasman değerleri saptanmış, karşılık gelen hasar miktarları karşılaştırılmıştır.

Analiz Sonuçları

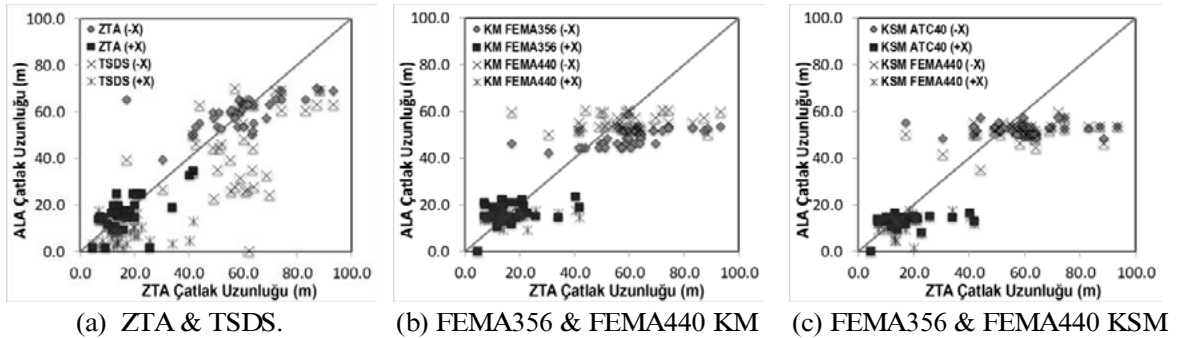
Analiz sonuçları 50 m, 100 m ve 150 m baraj kesitleri için boş ve dolu olma durumlarına göre aşağıdaki şekillerde (Şekil 7-12) sunulmuşlardır. Her bir şekilde 37 adet deprem ile yapılan zaman tanım alanı analizleri ve basitleştirilmiş yöntem ile bulunan çalak boyları, +X ve -X ile belirtilen barajın memba ve mansap yönleri için verilmiştir.



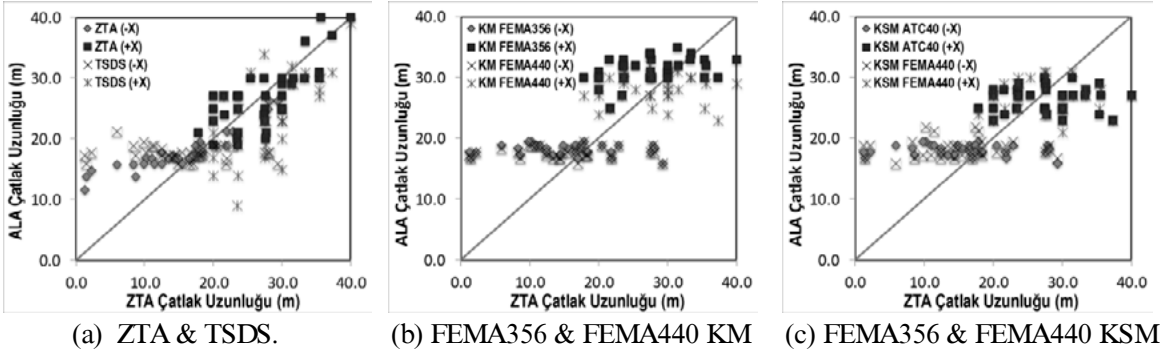
Şekil 7 Çatlak uzunluğu karşılaştırması, 50 m boş baraj kesiti.



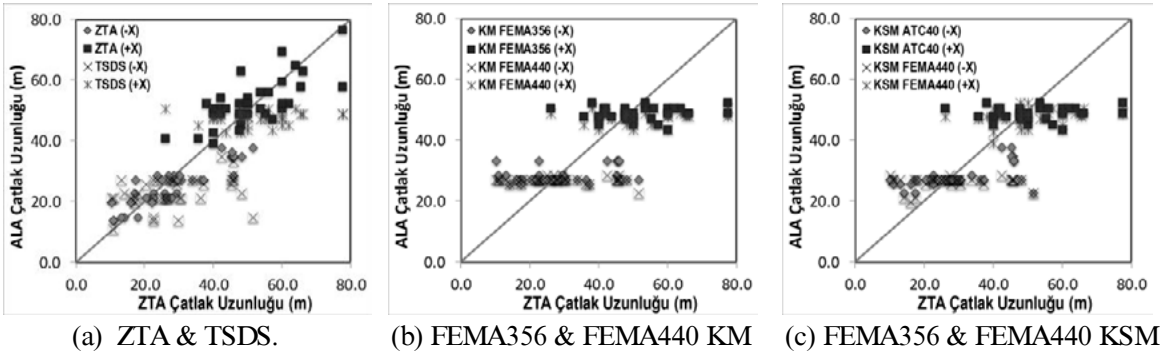
Şekil 8 Çatlak uzunluğu karşılaştırması, 100 m boş baraj kesiti.



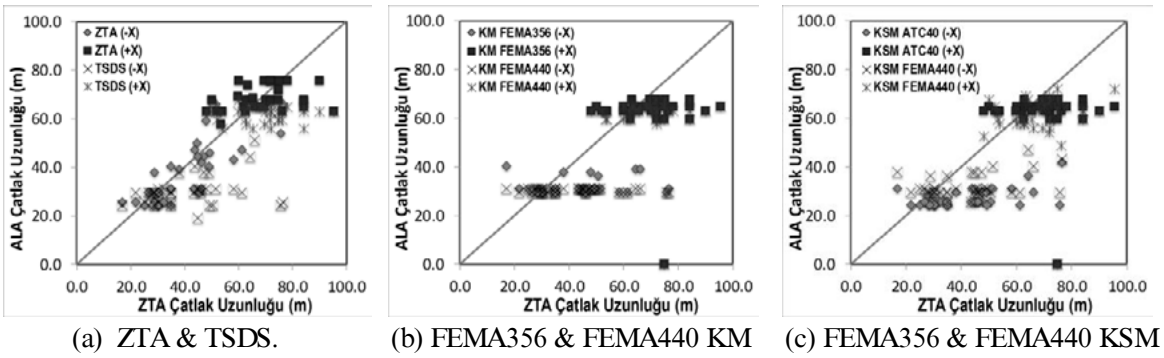
Şekil 9 Çatlak uzunluğu karşılaştırması, 150 m boş baraj kesiti.



Şekil 10 Çatlak uzunluğu karşılaştırması, 50 m dolu baraj kesiti.



Şekil 11 Çatlak uzunluğu karşılaştırması, 100 m dolu baraj kesiti.



Şekil 12 Çatlak uzunluğu karşılaştırması, 150 m dolu baraj kesiti.

Görüldüğü üzere sonuçlar farklı yöntemler için oldukça fazla saçılım gösterebilmektedir. Fema 440 katsayı ve Fema 440 kapasite spektrumu metotları, basitleştirilmiş analiz yöntemi ile çatlak uzunluğu belirlemede kesinliği ile ön plana çıkan yöntemler arasındadır. Barajda beklenen çatlak uzunluklarının 20 metreden uzun seviyelere çıktığı baraj kesitlerinde TSDS'nin de kabul edilebilir sonuçlar verdiği söylenebilir. Kısaca, önerilen yöntem beklenen çatlak uzunluklarının tespitinde mertebe olarak fikir verebilecek kabiliyette olup, yöntemin detaylı ve uzun zaman tanım alanı analizlerin kullanılmasının mümkün olmadığı durumlarda kullanılabileceğini göstermektedir.

Sonuçlar

Beton barajların sismik performans tayini için geliştirilen statik itme analizi ve deprem istemi yardımı ile hesaplanan basitleştirilmiş yöntem sonuçları, nonlinear zaman tanım alanı sonuçları ile kıyaslanmıştır. Barajların memba ve mansap yönlerinde oluşan çatlak uzunlukları kullanılarak yapılan karşılaştırmada, basitleştirilmiş yöntem için gerekli olan deplasman istemler literatürde sık kullanılan metotlar yardımı ile hesaplanmıştır.

Yapılan karşılaştırmada ALA ile belirlenen kapasite eğrisi ile zaman tanım alanından alınan deplasman değerinin kullanılması durumunda, barajın her iki yönünde de çatlak uzunlukları başarılı şekilde tahmin edilmektedir. Bununla birlikte Fema 440 katsayı ve Fema 440 kapasite spektrumu metotları, basitleştirilmiş analiz yöntemi ile çatlak uzunluğu belirlemede öne çıkmıştır. Grafiklerden görüldüğü üzere, baraj performans belirlemede her zaman daha kritik bir durum olan dolu baraj durumunda basitleştirilmiş yöntem ile belirlenen çatlak uzunluklarının doğruluğu artmıştır. Bu bağlamda önerilene basitleştirilmiş analiz yönteminin beton barajların performanslarının belirlemede kullanılabilirlikte yeterlilikte olduğu söylenebilmektedir.

Kaynaklar

Rots, J.G. Belletti, B. and Invernizzi, S. (2008) Robust modeling of RC structures with an “event-by-event” strategy, *Eng Fract Mech*, Vol. 75, pp. 590-614.

Westergaard, H.M. (1933) Water pressures on dams during earthquakes, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 98, pp. 418–433.

Akpınar, U. Binici, B. and Arıcı, Y. (2014) Earthquake stresses and effective damping in concrete gravity dams, *Earthquakes and Structures*, Vol. 6, No. 3.

Fenves, G. and Chopra, A. K. (1984) EAGD-84: A computer program for earthquake response analysis of concrete gravity dams, Report No. UCB/EERC-734, Earthquake Engineering Research Center, University of California.

Bouaanani, N. and Perrault, C. (2010) Practical formulas for frequency domain analysis of earthquake-induced dam-reservoir interaction, *J. Eng. Mech.*, 136(1), 107–119.

FEMA 356 (2000) Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

FEMA 440 (2005) Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

Applied Technology Council (1996) Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Vol. 1, Report No. SSC 96-01 (ATC-40).

USACE (1995) Seismic design provisions for roller compacted concrete dams, No. EP-1110-2-12, United States Army Corps of Engineers.