BETON KARAKTERİSTİKLERİNİN BETON AĞIRLIK BARAJLARIN LİNEER OLMAYAN DİNAMİK DAVRANIŞINA ETKİSİ

Yusuf CALAYIR[1], Muhammet KARATON[2]

[1] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ*
[2] *Yardımcı Doçent, İnşaat Müh. Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ*
Email: ycalayir@firat.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada, baraj-rezervuar-temel dinamik etkileşimi dikkate alınarak Koyna ağırlık barajının beton karakteristiklerinin, sismik hasara etkisi incelenmiştir. Beton malzemesi için şekil değiştirme yumuşamasını dikkate alan anizotropik hasar modeli seçilmiştir. Problemin sonlu eleman formülasyonu için Euler yaklaşımı kullanılmıştır. Sıvı ve temel ortamları lineer elastik olarak modellenmiştir. Dalga yayılma etkisini hesaba katmak üzere; rezervuar ve temel sonlu eleman modellerinde ağların kesildiği arka yüzeylere sırasıyla Sommerfeld ve Unified sınır şartları uygulanmıştır. Dinamik etki olarak, 11 Aralık 1967 Koyna depreminin ivme kayıtları seçilmiştir. Söz konusu barajın farklı beton sınıfları için elde edilen lineer olmayan deprem çözümleri, birbirleri ile karşılaştırılarak beton karakteristiklerinin ağırlık barajın lineer olmayan davranışına etkisi değerlendirilmiştir. Tepki büyüklükleri olarak; yer değiştirme ve hasar yayılışı seçilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Baraj-rezervuar-temel etkileşimi, Anizotropik hasar, Dinamik analiz.

1. GİRİŞ

Barajlar, arkalarındaki büyük su kütlesi ve kendi ağırlığı yanında, buz ve deprem gibi etkilere de maruz kalabilen yapılardır. Bu yapıların projelendirilmesinde göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden biri barajın bulunduğu bölgeye bağlı olarak ortaya çıkan deprem etkileridir. Deprem yükü altında baraj betonunun çekme dayanımını aşan çekme gerilmeleri meydana gelebilir. Buna bağlı olarak, baraj gövdesinde önemli hasarlar oluşabilir ve barajın stabilitesinin kaybolmasına neden olabilecek düzeylere ulaşabilir. Bu sebeple, baraj betonu malzeme karakteristiklerinin barajın dinamik davranışına etkisinin incelenmesi maliyet-performans karşılaştırmasında önem arz etmektedir. Bu bağlamda, Koyna beton ağırlık barajının farklı beton dayanımları için lineer olmayan deprem çözümleri elde edilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılarak beton karakteristiklerinin lineer olmayan davranışa etkisi değerlendirilmiştir.

Betonun çatlak davranışının modellenmesinde global (ayrık çatlak) ve lokal (yayılı çatlak ve hasar mekaniği) çatlak modelleri kullanılmaktadır (Valliappan vd., 1996; Karaton ve Calayır, 2004; Calayır ve Karaton, 2005). Ayrık çatlak yaklaşımında, çatlaklar sürekli ortam içerisinde süreksiz bir bölge tanımlanarak modellenmektedir. Yayılı çatlak yaklaşımı ise betonun davranışını temsil eden bünye denklemlerinin değiştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Hasar mekaniği lokal bir yaklaşım olup yayılı çatlak modeliyle aynı felsefeye dayanmaktadır. Hasar mekaniği, makro ölçülerde mikro-çatlaklardan dolayı malzeme dayanımındaki ortalama azalım miktarının belirlenmesini sağlamaktadır. Çekme gerilmeleri altında beton gibi gevrek malzemelerde hasar, eşdeğer bir elastik dayanım azalımı olarak göz önüne alınabilir. Malzemedeki bu dayanım azalımı lineer olmayan davranışı yansıtmaktadır. Hasar mekaniği modellerini kullanarak bir çok araştırmacı beton ağırlık ve kemer barajların lineer olmayan dinamik davranışını incelemişlerdir (Ghrib ve Tinawi, 1995; Cervera vd., 1996; Valliappan vd., 1996; Karaton ve Calayır, 2004; Calayır ve Karaton, 2005).

Barajlar sıvı-yapı-zemin etkileşimine maruz yapı grubuna girmektedir. Deprem gibi dinamik bir etki altında yapı, sıvı ve zemin birbirinin dinamik davranışını önemli ölçüde etkiler. Malzeme parametrelerinin uygun seçilmesi halinde zemin ortamı, yapı ortamı gibi katı ortam elemanlarıyla modellenebilir. Dolayısıyla, sıvı-yapı-zemin etkileşimi sonuç itibariyle sıvı-katı etkileşim problemi olarak değerlendirilebilir. Euler, Lagrange ve Kütle Ekleme yaklaşımlarından biriyle sıvı-katı etkileşim problemi modellenebilir (Olson ve Bathe, 1983; Wilson ve Khalvalti, 1983).

Bu çalışmada, baraj-rezervuar-temel dinamik etkileşimi dikkate alınarak beton ağırlık barajların lineer olmayan deprem analizi yapılmıştır. Baraj ortamının sonlu eleman modellemesinde şekil değiştirme yumuşamasını dikkate alan anizotropik hasar modeli kullanılmıştır. Rezervuar ve temel ortamları ise lineer elastik olarak kabul edilmiştir. Katı-sıvı etkileşimi için Euler yaklaşımı dikkate alınmıştır. Dalga yayılma etkisini hesaba katmak üzere; rezervuar ve temel ortamlarına ait sonlu eleman ağlarının kesildiği arka yüzeylere sırasıyla Sommerfeld şartı (El-Aidi ve Hall, 1989) ve Unified sınır şartı (White vd., 1977) uygulanmıştır.

2. BETON İÇİN ANİZOTROPİK HASAR MODELİ

Malzeme içerisindeki mikro-çatlaklar gerilmeleri ileten net taşıma alanlarını azaltmaktadır. Bu azalıma bağlı olarak malzemedeki hasar ifade edilmektedir. Anizotropik hasar yaklaşımı kullanılarak iki boyutlu problemler için Cauchy ve efektif gerilme bileşenleri arasındaki ilişki lokal koordinatlarda,

$$\left\{\tilde{\sigma}^{+}\right\}=\left[\Psi\right]\ \left\{\tilde{\sigma}\right\} \tag{1}$$

bağıntısı ile tanımlanabilir. Burada $\{\tilde{\sigma}\}$ ve $\left\{\tilde{\sigma}^{+}\right\}$ sırasıyla, Cauchy ve efektif gerilme vektörlerini, $[\Psi]$ hasar matrisini göstermektedir. Simetrik olmayan efektif gerilme vektörü uygun bir dönüşümle simetrik hale getirilebilir ve Cauchy gerilme vektörü ile

$$\left\{\tilde{\sigma}^{*}\right\}=\left[\Psi^{*}\right]\ \left\{\tilde{\sigma}\right\} \tag{2}$$

şeklinde ilişkilendirilebilir. Burada $\left\{\tilde{\sigma}^{*}\right\}$ simetrik efektif gerilme vektörünü ve $\left[\Psi^{*}\right]$ ise, bu vektör ile ilgili hasar matrisini belirtmektedir. Anizotropik hasara uygun bir bünye denklemi elde etmek için, hasarlı malzemenin ve hayali hasar görmemiş eşdeğer malzemenin komplementer elastik enerjilerinin eşit olduğu kabul edilebilir (Valliappan vd., 1996). Bu durumda eşdeğer hasarsız malzeme için lokal koordinatlardaki bünye ilişkisi

$$\{\tilde{\sigma}\}=\left[\tilde{D}^{*}\right]\ \{\tilde{\varepsilon}\} \tag{3}$$

eşitliği ile tanımlanabilir. $\left[\tilde{D}\right]$ hasarsız malzemenin bünye matrisini belirtmek üzere, hasarlı haldeki bünye matrisi $\left[\tilde{D}^{*}\right]$,

$$\left[\tilde{D}^{*}\right]=\left[\Psi^{*}\right]^{-1}\left[\tilde{D}\right]\left[\Psi^{*}\right]^{-T} \tag{4}$$

bağıntısıyla verilebilir.

3. SIVI-KATI SİSTEMİNİN EULER FORMÜLASYONU

Lineer sıkışabilir, viskoz olmayan ve rotasyonsuz bir sıvının küçük yer değiştirmeler altındaki iki boyutlu hareketi için

$$P_{,xx} + P_{,yy} = \frac{1}{C^2} \ddot{P} \tag{5}$$

eşitliği yazılabilir (Dumanoğlu vd., 2003). Burada P hidrodinamik basıncı; $P_{,xx}$, $P_{,yy}$ ve $\ddot{P}$ büyüklükleri ise sırasıyla, hidrodinamik basıncın x koordinatına, y koordinatına ve zamana göre iki kez kısmi türevlerini belirtmektedir. ρ sıvının kütle yoğunluğunu ve β sıvı hacimsel elastisite modülünü belirtmek üzere; $C = \sqrt{\beta / \rho}$ olup, sıvıdaki basınç dalgası hızını temsil etmektedir. Dinamik dış etkiye maruz sıvı-katı sisteminin ortak hareket denklemleri,

$$[M_s]\{\ddot{U}_s\} + [C_s]\{\dot{U}_s\} + \{F_s^{int}\} + [K_{sf}]\{P\} = \{F_s\} \tag{6}$$

$$[M_{fs}]\{\ddot{U}_s\} + [M_f^P]\{\ddot{P}\} + [C_f^P]\{\dot{P}\} + [K_f^P]\{P\} = \{F_{fg}\} \tag{7}$$

bağıntıları ile verilebilir. Burada $[M_s]$ ve $[C_s]$ sırasıyla katı ortamına ait kütle ve sönüm matrislerini; $\{\ddot{U}_s\}$, $\{\dot{U}_s\}$, $\{F_s^{int}\}$ ve $\{F_s\}$ büyüklükleri de aynı ortama ait bağıl ivme, bağıl hız, içsel kuvvet ve dış kuvvet vektörlerini göstermektedir. $\{P\}$ hidrodinamik basınç vektörünü; $\{\dot{P}\}$ ve $\{\ddot{P}\}$ büyüklükleri ise, bu vektörün zamana göre bir ve iki kez kısmi türevlerini belirtmektedir. $[K_f^P]$, $[C_f^P]$ ve $[M_f^P]$ büyüklükleri sırasıyla; $\{P\}$, $\{\dot{P}\}$ ve $\{\ddot{P}\}$ vektörlerinin katsayı matrisleridir. $\{F_{fg}\}$ ise, sıvı-katı ara yüzeyindeki rijit ivmelenmeden ötürü ortaya çıkan sıvı yük vektörünü temsil etmektedir. $[R]$, katı ortamında oluşan ivmelerden sıvı yük vektörünü ve sıvı ortamında oluşan basınçlardan katı düğüm noktası ilave kuvvetlerini belirlemede kullanılan sıvı-katı ara yüzeyi ile ilgili bir matris olmak üzere; $[M_{fs}]$ ve $[K_{sf}]$ büyüklükleri,

$$[M_{fs}] = \rho [R] \tag{8}$$

$$[K_{sf}] = -[R]^T \tag{9}$$

şeklinde tanımlanabilir. Dalga yayılma etkisini hesaba katmak üzere; rezervuar ve temel ortamlarına ait sonlu eleman ağılarının kesildiği arka yüzeylere sırasıyla Sommerfeld şartı (El-Aidi ve Hall, 1989) ve Unified sınır şartı (White vd., 1977) uygulanmıştır. Dalga yayılma şartından dolayı katı ortamın sönüm matrisi ve dış yük vektörü değişime uğramaktadır. Sıvı ortamı dalga yayılma şartından dolayı da sıvı ortamı $[C_f^P]$ matrisi ile $\{F_{fg}\}$ vektörüne ilave terimler gelmekte ve bu büyüklükler değişmektedir. Geliştirilmiş *HHT-*α integrasyon yöntemi (Miranda vd., 1989) kullanılarak, sıvı-katı sisteminin lineer olmayan denklem takımları adım adım integrasyon işlemiyle çözülmüştür. (6) ve (7) denklemlerinin *HHT-*α integrasyon yöntemi algoritmasına uygun formları

$$\left[M_s\right]\left\{\ddot{U}_s\right\}_{i+1}+(1+\alpha)\left[C_s\right]_{i+1}\left\{\dot{U}_s\right\}_{i+1}-\alpha\left[C_s\right]_i\left\{\dot{U}_s\right\}_i+(1+\alpha)\left\{F_s^{int}\right\}_{i+1}-\alpha\left\{F_s^{int}\right\}_{i+1}$$
$$+(1+\alpha)\left[K_{sf}\right]\left\{P\right\}_{i+1}-\alpha\left[K_{sf}\right]\left\{P\right\}_i=(1+\alpha)\left\{F_s\right\}_{i+1}-\alpha\left\{F_s\right\}_{i+1} \quad (10)$$

$$(1+\alpha)\left[M_{fs}\right]\left\{\ddot{U}_s\right\}_{i+1}-\alpha\left[M_{fs}\right]_i\left\{\ddot{U}_s\right\}_i+\left[M_f^P\right]\left\{\ddot{P}\right\}_{i+1}+(1+\alpha)\left[C_f^P\right]\left\{\dot{P}\right\}_{i+1}-\alpha\left[C_f^P\right]\left\{\dot{P}\right\}_i$$
$$+(1+\alpha)\left[K_f^P\right]\left\{P\right\}_{i+1}-\alpha\left[K_f^P\right]\left\{P\right\}_i=(1+\alpha)\left\{F_{fg}\right\}_{i+1}-\alpha\left\{F_{fg}\right\}_i \quad (11)$$

olarak elde edilebilir. Burada i zaman adımını göstermekte ve α nümerik dağılım kontrol parametresini ifade etmektedir. Şartsız stabiliteyi ve ikinci mertebeden doğruluğu sağlamak için α parametresi ile Newmark katsayıları olan β ve γ parametreleri,

$$\alpha\in\left[-\frac{1}{3},\ 0\right],\qquad \beta=\frac{1}{4}(1-\alpha)^2,\qquad \gamma=\frac{1}{2}-\alpha$$

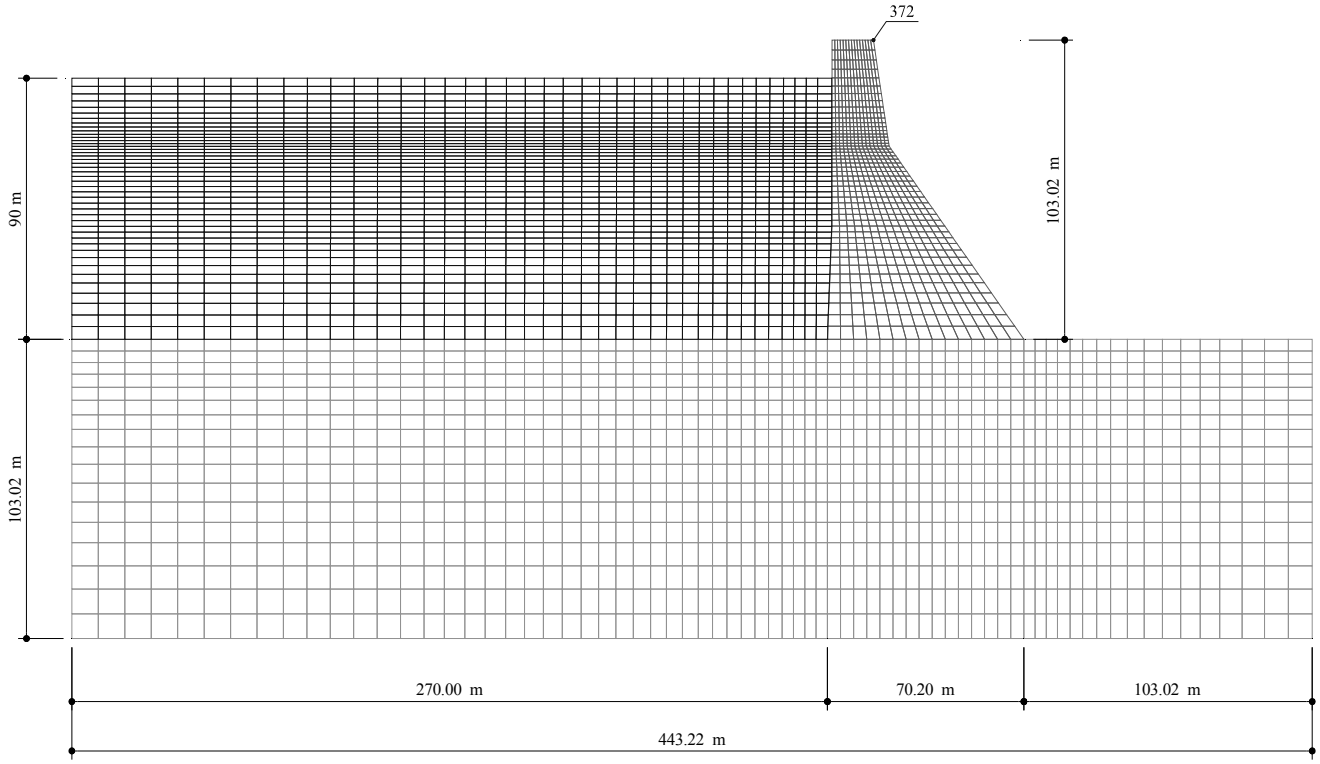
şeklinde seçilmelidir. Bu çalışmada α parametresi -0.10 olarak alınmıştır.

4. SAYISAL UYGULAMA

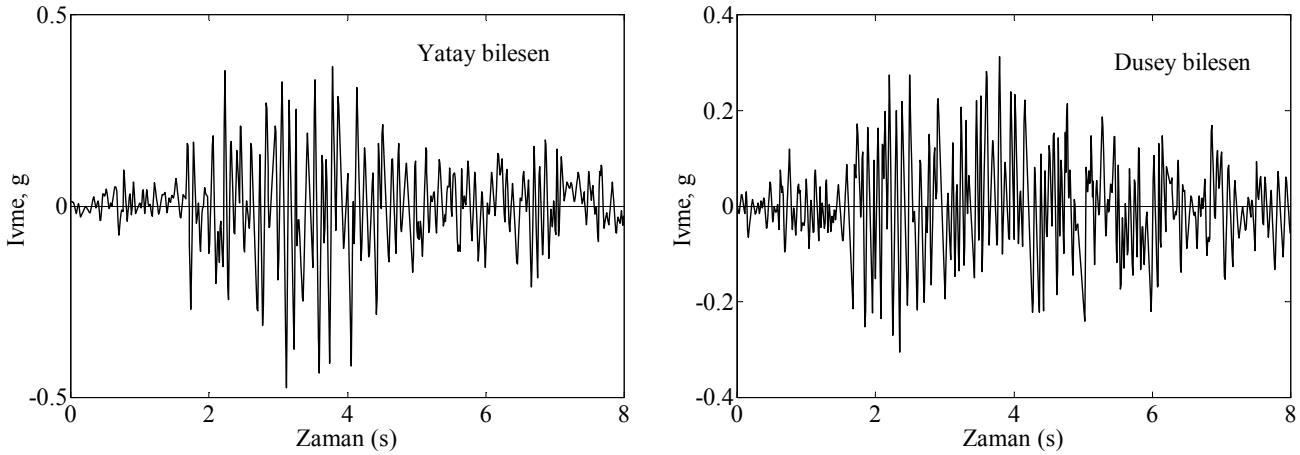
Bu çalışmada, baraj-rezervuar-temel dinamik etkileşimi dikkate alınarak Koyna ağırlık barajının beton karakteristiklerinin, sismik hasara etkisi incelenmiştir. Sayısal uygulama için Hindistan'daki Koyna beton ağırlık barajı kullanılmış ve çözümler Euler yaklaşımına dayalı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Rezervuar ve temel ortamları lineer elastik olarak modellenmiştir. Baraj-rezervuar-temel sisteminin sonlu eleman modeli Şekil 1' de verilmiştir. Rezervuar uzunluğu, yüksekliğinin üç katı seçilmiştir. Temel yüksekliği baraj yüksekliğine eşit alınmış, temelin uzunluğu memba doğrultusunda barajın memba topuğundan itibaren rezervuar uzunluğu kadar, mansap doğrultusunda ise barajın mansap topuğundan itibaren baraj yüksekliği kadar alınmıştır. Rezervuar ve temel sonlu eleman modellerinde ağların kesildiği arka yüzeylere sırasıyla Sommerfeld ve Unified sınır şartları uygulanmıştır. Dinamik etki olarak, 11 Aralık 1967 Koyna depreminin yatay ve düşey ivme bileşenleri seçilmiş (Şekil 2) ve baraj-rezervuar-temel sistemine sırasıyla, akış ve düşey doğrultularda etki ettirilmiştir. Yazarlar tarafından geliştirilen ve katı-sıvı sisteminin lineer ve lineer olmayan dinamik analizlerini yapabilen bir bilgisayar programı kullanılarak çözümler elde edilmiştir. Program FORTRAN 90 dilinde kodlanmıştır.

Beton malzemesi için şekil değiştirme yumuşamasını dikkate alan ve ikinci bölümde temel prensipleri verilen enerji tabanlı anizotropik hasar modeli kullanılmıştır. Baraj betonu için dikkate alınan beton sınıfları ve onlara ait malzeme özellikleri Tablo 1' de verilmiştir. Burada f_c, f_t, G_f ve E_b betonunun sırasıyla, tek eksenli basınç dayanımını, tek eksenli çekme dayanımını, kırılma enerjisini ve elastisite modülünü belirtmektedir. Tüm beton sınıfları için Poisson oranı 0.15 ve birim hacim kütlesi 2.548 t/m^3 olarak alınmıştır. Temel ortamının elastisite modülü 62144.650 MPa (C30 betonu elastisite modülünün iki katı) ve Poisson oranı ise 0.15 alınmıştır. Dinamik analizlerde temel ortamı kütlesiz olarak hesaba katılmıştır. Rezervuar ortamındaki sıkışabilir suyun basınç dalgası hızı 1438.75 m/s olarak alınmıştır. Sistemdeki sönümün rijitlik orantılı olduğu kabulü yapılmıştır. Hasar görmemiş baraj-temel sisteminin birinci periyodunda 0.05' lik sönüm oranı sağlanacak şekilde sönüm katsayısı belirlenmiştir. Bu amaçla, baraj-temel sisteminin önce modal analizi yapılmış ve beton sınıfına bağlı olarak sistemin periyot ve modları belirlenmiştir. Baraj-temel sisteminin birinci periyodu C20, C25 ve C30 beton sınıfları için sırasıyla 0.1833 s, 0.1775s ve 0.1730 s olarak hesaplanmıştır. Sönüm kuvvetlerinin baraj-temel sisteminin teğet rijitlik matrisiyle orantılı olduğu varsayılmıştır. İntegrasyon zaman adımı, beton malzeme modeli yumuşama bölgesinin lineer olmayan davranışa etkisini yansıtacak şekilde 0.001 s gibi küçük bir değerde seçilmiştir. Sonuçları değerlendirmede yer değiştirme ve hasar büyüklükleri kullanılmıştır. Baraj-rezervuar-

temel sisteminin lineer olmayan dinamik analizinde sistemin ağırlık kuvvetleri etkisindeki statik çözümleri başlangıç şartı olarak hesaba katılmıştır.



Şekil 1. Baraj-temel-rezervuar sistemi sonlu eleman modeli.

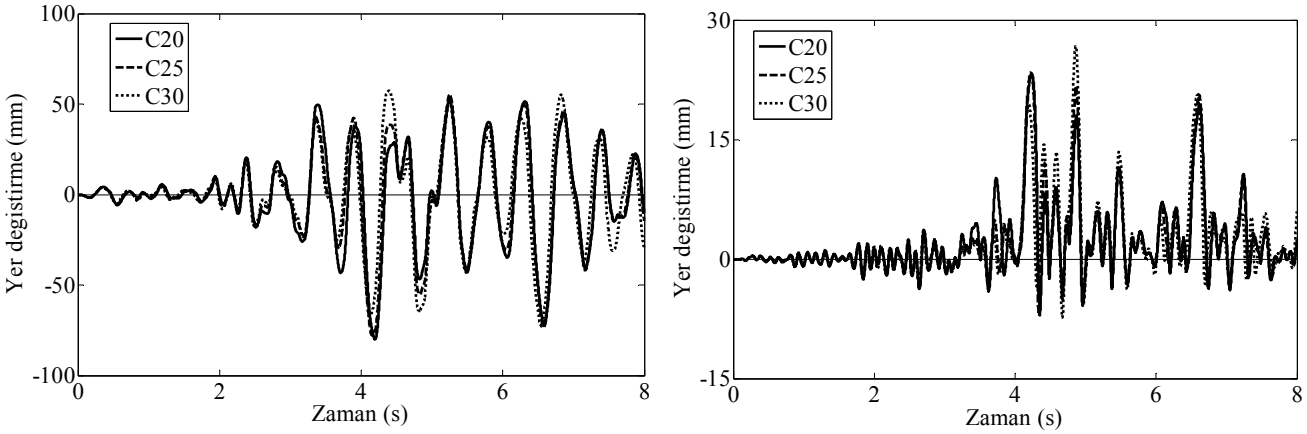


Şekil 2. Koyna depremi ivme bileşenleri.

Tablo 1 Beton sınıfları ve ilgili malzeme özellikleri (CEB-FIB,1996)

Beton sınıfı	f_c (MPa)	f_t (MPa)	G_f (kN/m)	E_b (MPa)
C20	20.0	2.210	0.281	27144.176
C25	25.0	2.565	0.328	29240.177
C30	30.0	2.896	0.373	31072.325

C20, C25 ve C30 betonları için baraj kretinde bulunan 372 nolu düğüm noktasının yatay (akış doğrultusu) ve düşey yer değiştirmelerinin zamanla değişimleri Şekil 3' de görülmektedir. Deprem ivme genliklerinin küçük olduğu ilk anlarda yaklaşık olarak aynı olan yer değiştirme çözümleri, deprem ivme genliklerinin büyümesi ile birbirinden ayrılmakta ve oluşan hasarın yayılımına bağlı olarak bariz farklılıklar göstermektedir. Baraj betonunun C20, C25 ve C30 olması durumlarında 372 nolu düğüm noktasındaki yatay yer değiştirmelerin mutlak maksimum değerleri sırasıyla 74.5, 72.7 ve 67.8 mm olarak; düşey yer değiştirmelerin mutlak maksimum değerleri ise sırasıyla 19.6, 26.8 ve 38.3 mm olarak elde edilmiştir. Bu değerler dikkate alındığında baraj betonu malzeme dayanımının artışı yatay yer değiştirme değerlerini küçük oranlarda azalttığı, buna karşılık düşey yer değiştirme değerlerini ise büyük oranlarda arttırdığı görülmektedir.

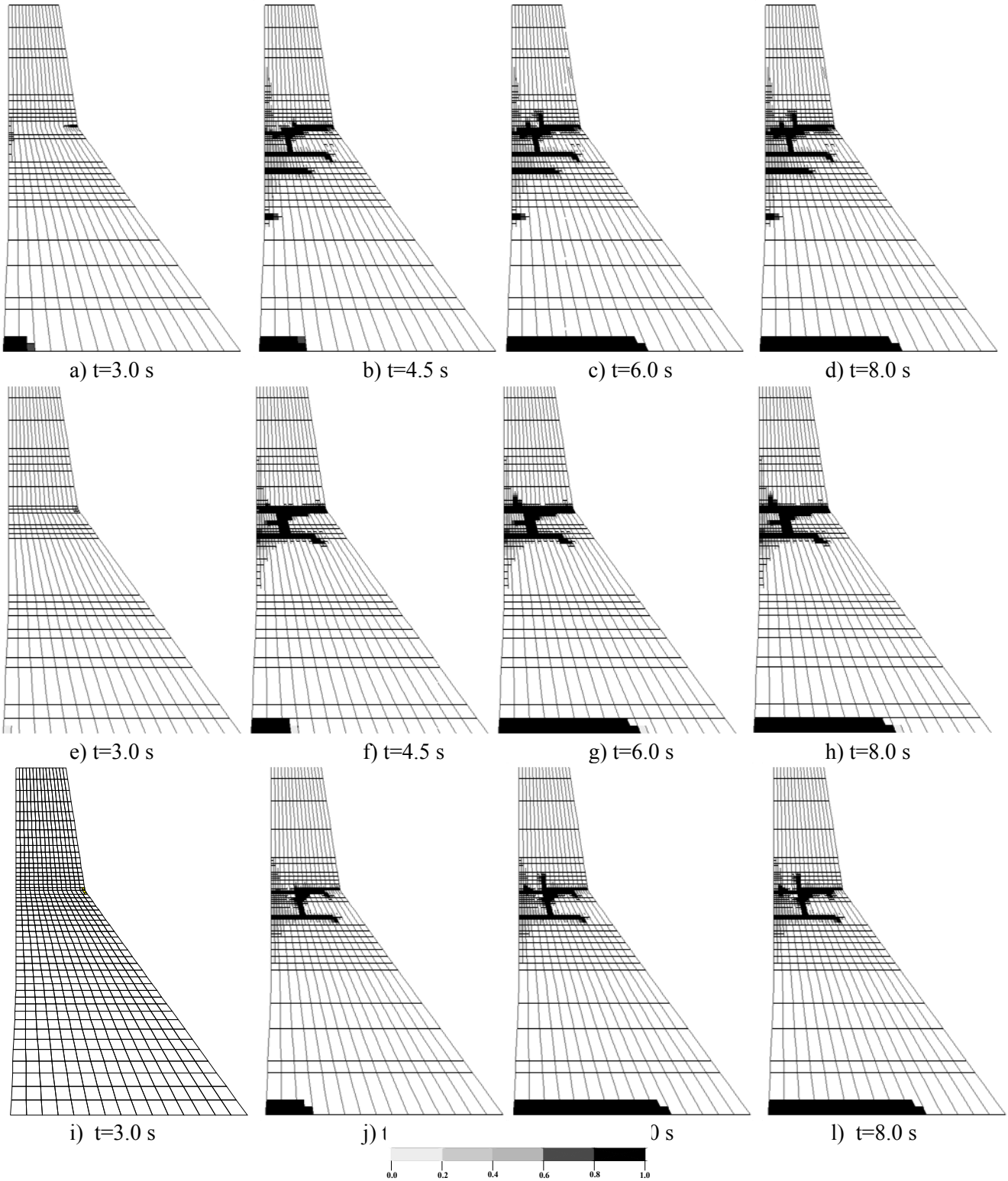


a) yatay b) düşey

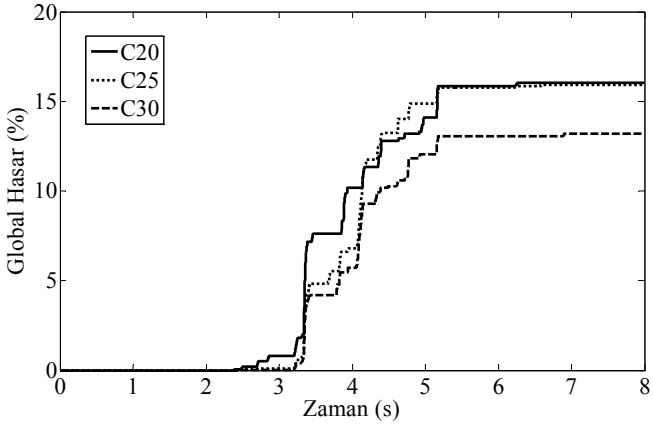
Şekil 3. Baraj betonunun C20, C25 ve C30 olması durumları için baraj kreti 372 nolu düğüm noktası yatay ve düşey yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.

Baraj gövdesinde oluşan kümülatif hasarlar dört farklı an (3.0 s, 4.5 s, 6.0 s ve 8.0 s) için çizilmiş olup; C20, C25 ve C30 betonları için sırasıyla Şekil 4.a-d, Şekil 4.e-h ve Şekil 4.i-l' de verilmiştir. Bir sonlu eleman integrasyon noktasında hasarın şiddeti siyah rengin değişik tonları kullanılarak temsil edilmiştir. Hasarın şiddeti koyu tondan açık tona doğru azalım göstermektedir ve hasarın oluştuğu eleman integrasyon noktasına ait bölgesel alan, ilgili tonla taranmaktadır. Çatlağın ortaya çıkmadığı herhangi bir eleman integrasyon noktasında tarama yapılmamaktadır. Barajda ilk hasar, gerilme yığılmalarının oluştuğu ve çekme gerilmelerinin en büyük değere ulaştığı baraj mansap yüzeyinde eğimin değiştiği yerde meydana gelmiş olup; C20, C25 ve C30 betonları için sırasıyla 2.460 s, 2.469 s ve 2.469 s anlarında ortaya çıkmıştır. Söz konusu anları izleyen zaman adımlarında barajın titreşim hareketine bağlı olarak, bu hasar genişleyerek baraj gövdesinin içine doğru yayılmaktadır. Aynı zamanda, barajın boyun bölgesi memba yüzeyinde de hasarlar meydana gelmekte ve mansap yüzeyine doğru yayılarak mansap yüzeyindeki hasarlarla birleşmektedir. Bunların yanı sıra, baraj memba topuğunda membadan mansaba doğru ilerleyen düzgün bir hasar bandı da ortaya çıkmaktadır. Baraj beton dayanımının artışına bağlı olarak, memba yüzeyindeki hasar bölgesinde daralma oluşurken, baraj tabanındaki hasar bandının uzunluğunda ise azalma olduğu gözlenmektedir.

C20, C25 ve C30 betonları için barajın Global Kümülatif Hasar İndeksinin (GKHİ) zamanla değişimi Şekil 5' de görülmektedir. Yaklaşık olarak 2.4 s anına kadar benzer olan çözümler, bu andan sonra meydana gelen hasarların etkisiyle önemli ölçüde farklar göstermektedir. Özellikle, global hasardaki artışlar 3.3-5.2 s zaman aralığında meydana gelmektedir. Baraj betonu malzemesinin C20, C25 ve C30 olması durumlarında elde edilen GKHİ' nin maksimum değerleri ise sırasıyla %16.04, % 15.91 ve % 13.19 olarak elde edilmiş olup, bu değerler karşılaştırıldığında beton basınç dayanımındaki artışa bağlı olarak GKHİ değeri küçülmektedir.



Şekil 4. Değişik anlarda (t=3.0 s, t=4.5 s, t=6.0 s ve t=8.0 s) baraj gövdesinde oluşan hasar bölgeleri; a-d) C20 betonu, e-h) C25 betonu ve i-l) C30 betonu.



Şekil 5 Global kümülatif hasar indeksinin zamanla değişimi.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, baraj-rezervuar-temel dinamik etkileşimi dikkate alınarak Koyna ağırlık barajının beton karakteristiklerinin, sismik hasara etkisi incelenmiştir. Beton malzemesi için şekil değiştirme yumuşamasını dikkate alan anizotropik hasar modeli seçilmiştir. Problemin sonlu eleman formülasyonu için Euler yaklaşımı kullanılmıştır. Sıvı ve temel ortamları lineer elastik olarak modellenmiştir. Söz konusu barajın 11 Aralık 1967 Koyna depremi yer hareketi etkisinde farklı beton sınıfları için elde edilen lineer olmayan deprem çözümleri birbirleri ile karşılaştırılarak, beton karakteristiklerinin ağırlık barajın lineer olmayan davranışına etkisi değerlendirilmiştir.

Seçilen baraj ve yer hareketi için baraj betonu malzeme dayanımındaki artışın yatay yer değiştirme değerlerini küçük oranlarda azalttığı, buna karşılık düşey yer değiştirme değerlerinde ise büyük oranlarda artışlar meydana getirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, baraj beton dayanımının artışına bağlı olarak, memba yüzeyindeki hasar bölgesinde daralma oluşurken, baraj tabanındaki hasar bandının uzunluğunda ise azalma olduğu gözlenmiştir. Global Kümülatif Hasar İndeksinin beton basınç dayanımındaki artışa bağlı olarak küçüldüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak; baraj geometrisi ve malzeme özellikleri ile deprem yer hareketi barajın davranışını etkilediğinden, bu çalışmadan elde edilen bulgular her baraj ve yer hareketi için genelleştirilemez. Bununla birlikte, beton dayanımının ihmal edilemeyecek ölçüde çözümleri etkilediği söylenebilir.

KAYNAKLAR

Calayır Y., Karaton, M., 2005. "A Continuum Damage Concrete Model for Earthquake Analysis of Concrete Gravity Dam-Reservoir Systems", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol.25, pp.857-869.

CEB-FIP Model Code (1990). CEB-FIP Model Code for concrete structures, Euro-International Committe for Concrete, Bulletin no: 213/214, Lausanne, May 1993.

Cervera, M., Oliver, J., Manzoli, O., 1996. "A rate-dependent isotropic damage model for the seismic analysis of concrete dams", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.25(9), pp.987-1010.

Dumanoğlu, A.A., Calayır, Y., Karaton, M., 2003. Beton Ağırlıklı Barajların Rezervuar ve Temel Etkileşimleri Dikkate Alınarak Euler Yaklaşımıyla Deprem Analizi. Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor No: TDV/TR 047-82, İstanbul, 101 s.

El-Aidi, B., Hall, J.F., 1989. "Non-linear earthquake response of concrete gravity dams Part 1 : Modelling", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.18 (6), pp. 837-851

Ghrib, F., Tinawi, R., 1995. "An Application of Damage Mechanics for Seismic Analysis of Concrete Gravity Dams", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.24, pp.157-173.

Karaton M., Calayır, Y., 2004. "A Continuum Damage Concrete Model for Earthquake Analysis of Arch Dams", 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, ACE 2004, İstanbul, pp.1299-1308.

Miranda, I., Ferencz, R.M., Hughes, T.J.R., 1989. "An Improved Implicit-Explicit Time Integration Method for Structural Dynamics", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18, pp. 643-653.

Olson, L.G., Bathe, K.J., 1983. "A Study of Displacement-Based Fluid Finite Elements For Calculating Frequencies of Fluid and Fluid-Structures Systems", Nuclear Engineering Design, 76, pp.137-151.

Valliappan, S., Yazdchi, M. and Kahalili, N., 1996. "Earthquake Analysis of Gravity Dams Based on Damage Mechanics Concept", International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, vol.20, pp.755-751.

White, W., Valliappan, S., Lee, I. K., 1977. "Unified Boundary for Finite Dynamic Models", Journal of the Engineering Mechanics Division, EM5 13279, pp.949-964.

Wilson, E. L. and Khalvalti, M., 1983. "Finite Element for the Dynamic Analysis of Fluid-Solid Systems", Int. J. Num. Methods Eng., vol.19, pp.1657-1668.