

BARAJ-REZERVUAR SİSTEMLERİNİN LAGRANGE YAKLAŞIMI KULLANILARAK İKİ VE ÜÇ BOYUTLU DİNAMİK ANALİZİ

TWO AND THREE DIMENSIONAL DYNAMIC ANALYSES OF DAM- RESERVOIR SYSTEMS USING THE LAGRANGIAN APPROACH

Yusuf Calayır¹, A. Aydın Dumanoglu² ve Alemdar Bayraktar³

SUMMARY

In this study, behaviors of the three dimensional 8-node and 27-node fluid elements for the dynamic analyses of dam-reservoir systems are investigated. Also, the solutions of two dimensional fluid elements are obtained for the purpose of comparison.

ÖZET

Bu çalışmada, üç boyutlu 8 ve 27 düğüm noktalı sıvı elemanların baraj-rezervuar sistemlerinin dinamik analizindeki davranışları incelenmektedir. Ayrıca, iki boyutlu sıvı eleman çözümleri de elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

GİRİŞ

Barajlar, arkalarında çok miktarda su biriktiren rezervuara sahip olmaları nedeniyle sıvı-yapı etkileşimine maruz yapı grubuna girmektedirler. Bu tür yapılarda, deprem gibi dinamik bir etki altında yapı, sıvının; sıvı da yapının davranışını önemli ölçüde etkiler. Sonuçta, sıvı ortamında hidrodinamik basınçlar (hidrostatik basınç fazlası); yapı ortamında ise hidrodinamik basınçlardan dolayı ilave yükler oluşmaktadır. Bu nedenle, barajların dinamik analizinde rezervuar etkisi dikkate alınmalıdır.

Yapı sistemlerinin Lagrange yaklaşımı kullanılarak sonlu eleman formülasyonu standart bir şekil kazanmıştır. Aynı durum, sıvı sistemleri için söylenemez. Literatürde, değişik özellik gösteren sıvı sonlu elemanlara rastlamak mümkündür [1-3]. Bu çalışmada, Wilson ve Khalvati [2] tarafından geliştirilen sıvı sonlu elemanlar kullanılmaktadır. Sıvı sistemlerinin sonlu eleman formülasyonu Kaynak [2,4] te detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Bu çalışmada, bu sıvı elemanların özelliklerinden kısaca söz edilecektir. Sıvı lineer-elastik, rotasyonsuz ve viskoz olmayan bir ortam olarak kabul edilmektedir. Sıvının rotasyonsuzluğu ceza (penalty) metodlara [5] benzer şekilde hesaba katılmaktadır. Sıvı bünye denklemlerine rotasyonlar ve bu rotasyonlarla ilgili uygun kısıtlama parametreleri yerleştirilmektedir [4,6]. Kısıtlama parametrelerinin büyük değerli seçilmesi sıvının rotasyonsuz hale yaklaşmasına neden

¹ Arş. Gör. Dr., Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

² Prof. Dr., K.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

³ Arş. Gör., K.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü. Trabzon.

olmaktadır. Formülasyon ayrıca sıvı yüzey salınım hareketini de içermektedir. Sıvı sonlu eleman matrisleri indirgenmiş integrasyon mertebeleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada, rotasyon kısıtlama parametrelerinin üç boyutlu baraj-rezervuar sistemlerinin dinamik çözümleri üzerindeki etkisi incelenmektedir. Bulunan sonuçlar birbirleriyle ve iki boyutlu sıvı eleman çözümleriyle karşılaştırılmaktadır. Analiz sonuçlarından, baraj menba yüzeyi yatay yerdeğiştirmeleri ve hidrodinamik basınçlar değerlendirilmektedir.

SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama için, Pine Flat beton ağırlık barajı seçilmiştir [4,7]. Bir çok araştırmacının çalışmalarına konu olan bu baraj, Kaliforniya eyaletinin Fresno kentine yakın Kings nehri üzerinde inşa edilmiştir. Analizde dikkate alınan baraj kesiti Şekil 1'de verilmektedir. Baraj malzemesi lineer-elastik, homojen ve izotropdur. Baraj betonunun elastisite modülü 34.475×10^9 N/m², birim hacim ağırlığı 24350 N/m³ ve Poisson oranı 0.2 olarak alınmıştır [4]. Aynı şekilde, rezervuardaki suyun birim hacim ağırlığı 9810 N/m³ ve hacimsel elastisite modülü 207×10^7 N/m² (β) olarak seçilmiştir. Baraj-rezervuar sisteminin dinamik çözümleri Taft depreminin S69E yatay bileşeni [7] dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Üç boyutlu 8 ve 27 düğüm noktalı sıvı sonlu elemanların baraj-rezervuar sistemlerinin dinamik analizindeki davranışlarının belirlenmesi bu çalışmanın amacıdır. Rotasyon kısıtlama parametrelerinin ve buna bağlı olarak ağ kalınlığının çözümler üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Ayrıca, iki boyutlu çözümler de elde edilerek; iki ve üç boyutlu analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. İki boyutlu 4 ve 9 düğüm noktalı sıvı elemanların baraj-rezervuar sistemlerinin dinamik analizindeki başarıları [4] çalışmasında gösterilmiştir. Baraj-rezervuar sisteminin iki ve üç boyutlu çözümleri rezervuarda kullanılan sıvı sonlu eleman ismiyle belirtilmektedir. İki ve üç boyutlu sistem hareket denklemleri direkt (adım adım) integrasyonla çözülmüştür. Üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri, iki boyutlu 4 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleriyle; üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri ise, iki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu seçimde, elemanların formülasyonunda kullanılan enterpolasyon fonksiyonlarının aynı olmasına dikkat edilmiştir. İki boyutlu 4 ve üç boyutlu 8 düğüm noktalı elemanların geometri ve yerdeğiştirmelerinin belirlenmesinde lineer enterpolasyon fonksiyonları ; diğer iki eleman da ise parabolik enterpolasyon fonksiyonları kullanılmıştır.

8 Düğüm Noktalı Sıvı Eleman Çözümleri

Baraj-rezervuar sisteminin üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri, Şekil 2'de verilen sonlu eleman modeli kullanılarak elde edilmiştir. Modelde rezervuar uzunluğu yüksekliğinin üç misli alınmıştır. Baraj ve rezervuar 8 düğüm noktalı elemanlara bölünmüştür. Karşılaştırma amacıyla bulunan iki boyutlu 4 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinde ise, bu modelin iki boyutlu hali kullanılmıştır. Bu durumda, baraj ve rezervuar 4 düğüm noktalı sonlu eleman ağına bölünmüş olmaktadır. Üç boyutlu ağda kalınlık boyunca iki tane eleman dikkate alınmaktadır. Ağın kalınlık doğrultusundaki kenar dış yüzeylerinde z eksenine yönündeki yerdeğiştirmelere müsaade

edilmemektedir. Bu aynı zamanda üç boyutlu 8 düğüm noktalı elemanlarla iki boyutlu analizi gerçekleştirmektedir.

Başlangıçta, rotasyon kısıtlama parametrelerinin dinamik çözümler üzerindeki etkisi incelenmektedir. Üç boyutlu halde 3 tane rotasyonel şekildeğiştirme bağıntısı ve her bir bağıntı ile ilgili birer tane olmak üzere 3 tane rotasyon kısıtlama parametresi vardır. Bu parametreler α_x , α_y ve α_z sembolleriyle gösterilmektedir. Alt indis, ilgili parametrenin hangi eksen etrafındaki rotasyona ait olduğunu belirler. Çözümlerde rotasyon kısıtlama parametrelerinin değerleri birbirine eşit alınmaktadır. Ağ kalınlığı 1 m alınarak, rotasyon kısıtlama parametrelerinin sıvı hacimsel elastisite modülünün 1 ve 1000 misli olması durumları için elde edilen baraj tabanından itibaren 99.44 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basınçlarının zamanla değişimleri Şekil 3 ve 4 te verilmiştir. Her iki eğrinin davranışı benzer olmaktadır. Aynı sonuç, iki boyutlu 4 ve 9 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri için de geçerlidir. İki boyutlu sıvı eleman formülasyonu bir tane rotasyonel şekildeğiştirme bağıntısı içermektedir. Bu rotasyon ile ilgili kısıtlama parametresinin değişimi çözümleri etkilememektedir. Buradan şu sonuca varılabilir: Sistem hareket denklemlerinin direkt integrasyonla çözülmesi halinde, rotasyon kısıtlama parametrelerinin değişimi iki boyutlu sıvı eleman çözümleri ile üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerini etkilememektedir.

Ayrıca, ağ kalınlığının çözümleri etkileyip etkilemediğini görmek amacıyla söz konusu kalınlığın 20 m olması hali için de çözümler elde edilmiştir. Kalınlığın çözümleri etkilemediği görülmüştür.

Üç boyutlu 8 ve iki boyutlu 4 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinin karşılaştırılması, baraj menba yüzeyi yatay yerdeğiştirme ve hidrodinamik basınç zarfları çizilerek yapılmıştır. İlgili zarflar sırasıyla Şekil 5 ve 6 da verilmiştir. Bu zarflarda;

2D/L4 : İki boyutlu 4 düğüm noktalı sıvı eleman

3D/L8 : Üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman

çözümlerini temsil etmektedir. Söz konusu çözümlerde ağ kalınlığı 1 m ve rotasyon kısıtlama parametrelerinin değeri sıvı hacimsel elastisite modülünün 1000 misli alınmıştır. Zarflarda görüldüğü gibi, 4 ve 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri hemen hemen aynı değerleri vermektedir.

27 Düğüm Noktalı Sıvı Eleman Çözümleri

Baraj-rezervuar sisteminin üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri için Şekil 7 de verilen sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Ağın kalınlığı doğrultusunda sadece 1 tane eleman vardır ve bu doğrultudaki kenar dış yüzeylerde z doğrultusundaki yerdeğiştirmelere müsaade edilmemektedir. Bu şart, üç boyutlu 27 düğüm noktalı sonlu elemanlarla iki boyutlu analizi gerçekleştirmeyi sağlamaktadır. Sonuçları karşılaştırmak amacıyla bulunan iki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinde ise, üç boyutlu modelin iki boyutlu hali kullanılmaktadır. Tek fark, iki boyutlu modelin baraj ağı 9 yerine 8 düğüm noktalı elemanlara bölünmüştür.

Başlangıçta, rotasyon kısıtlama parametrelerinin çözümler üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Ağ kalınlığı 1m alınarak, rotasyon kısıtlama parametrelerinin sıvı hacimsel elastisite modülünün 1, 100 ve 1000 misli olması durumları için çözümler bulunmaktadır. Baraj tabanından itibaren 99.05 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi rotasyon kısıtlama parametrelerinin verilen değerleri için sırasıyla Şekil 8, 9 ve 10 da görülmektedir. Söz konusu parametrelerin

değeri büyüdükçe, eğrilerin davranışı birbirinden daha çok farklı olmaktadır. Baraj menba yüzeyi yatay yerdeğiştirme ve hidrodinamik basınç zarfları Şekil 11 ve 12 de verilmiştir. İki boyutlu sıvı eleman çözümlerini de içeren bu zarflarda;

2D/L9 : İki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı eleman çözümü ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1000\beta$)

3D/L27-BİR : Üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümü ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1\beta$)

3D/L27-YÜZ : Üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümü ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 100\beta$)

3D/L27-BİN : Üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümü ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1000\beta$) durumlarını temsil etmektedir. Rotasyon kısıtlama parametrelerinin değeri büyüdükçe, iki boyutlu çözümlerle olan fark genelde büyümektedir. Bu sonuçlar, üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinin, ilgili parametrelerin değişiminden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir.

Ağ kalınlığının çözümler üzerindeki etkisi, rotasyon kısıtlama parametreleri belirli bir değerde sabit tutularak ve ağ kalınlığı değiştirilerek incelenmiştir. Ağ kalınlığının 20 m ve her üç rotasyon kısıtlama parametresinin değeri sıvı hacimsel elastisite modülünün 1000 misli olması durumu için 99.05 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi Şekil 13 te görülmektedir. Ağ kalınlığının 1m olduğu ve diğer özelliklerin değişmediği ilgili çözüm ise Şekil 10 da daha önce verildi. Bu iki eğri karşılaştırıldığında; ağ kalınlığının da çözümleri etkilediği açıkça farkedilmektedir. Şekil 14 ve 15 te ağ kalınlığının 20 m olması hali için rotasyon kısıtlama parametrelerinin çeşitli değerleri kullanılarak elde edilen baraj menba yüzeyi yatay yerdeğiştirme ve hidrodinamik basınç zarfları verilmiştir. Rotasyon kısıtlama parametrelerinin değeri küçüldükçe, çözümler genelde iki boyutlu sıvı eleman çözümlerine yaklaşmaktadır. Buradaki hidrodinamik basınç zarfları, ağ kalınlığının 1m alındığı çözümlere göre daha düzgün değişmektedir. Rotasyon kısıtlama parametrelerinin değerine bağlı olarak, ağ kalınlığının çözümler üzerinde farklı etki göstermesi, 27 düğüm noktalı sıvı elemanın rotasyonel etkilenmesinin boyutla kendisini göstermesi şeklinde yorumlanabilir.

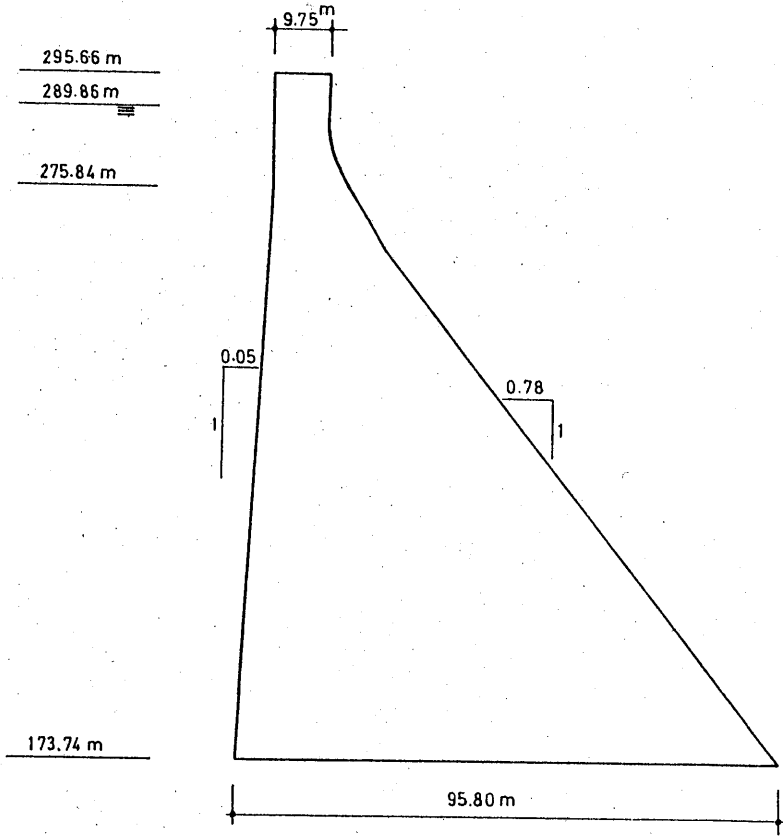
SONUÇLAR

Bu çalışmada, üç boyutlu 8 ve 27 düğüm noktalı sıvı elemanların baraj-rezervuar sistemlerinin dinamik analizlerindeki başarıları araştırılmıştır. Sıvı rotasyonsuzluğunu sağlamak için formülasyona dahil edilen rotasyon kısıtlama parametrelerinin çözümler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, iki boyutlu sıvı eleman çözümleri de elde edilerek bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sistem hareket denklemlerinin direkt (adım adım) integrasyonla çözülmesi halinde, üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri rotasyon kısıtlama parametrelerinin değişiminden etkilenmemekte ve iki boyutlu çözümlerle uygunluk arz etmektedir. Buna karşılık, üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümleri söz konusu parametrelerin değişiminden ve buna bağlı olarak ağ kalınlığının değişiminden önemli ölçüde etkilenmektedir. Rotasyon kısıtlama parametrelerinin değeri büyüdükçe, iki boyutlu çözümlerle olan fark genelde büyümektedir.

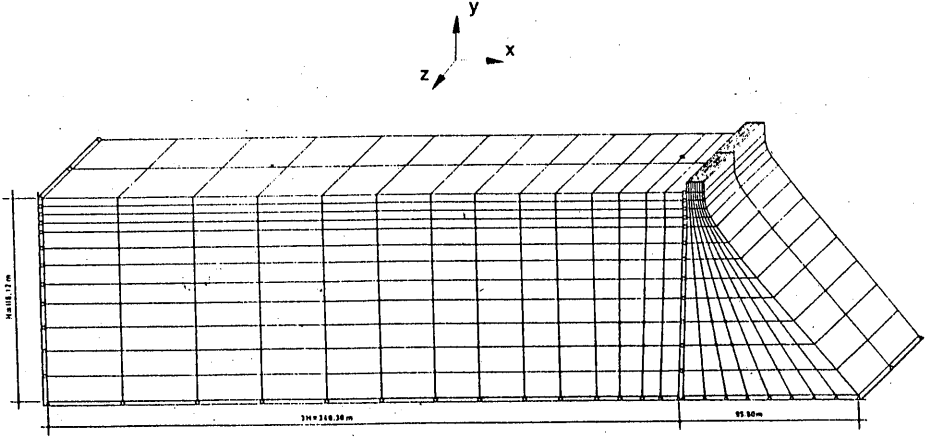
KAYNAKLAR

1. Akkaş, N., Akay, H.U., Yılmaz, Ç. (1979) "Genel Amaçlı Sonlu Eleman Programlarının Katı-Sıvı Etkileşim Problemlerinde Uygulanabilirliği", Comput. Struct., Vol. 10, pp. 773-783, (İngilizce).
2. Wilson, E.L., Khalvati, M. (1983) "Sıvı-Katı Sistemlerinin Dinamik Analizi İçin Sonlu Elemanlar", Int. J. Num. Meth. Engng., Vol. 19, pp. 1657-1668, (İngilizce).

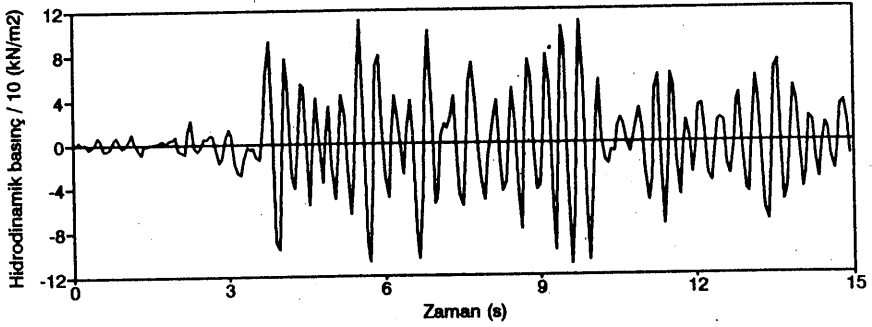
3. Hamdi, M.A., Ousset, Y., Verchery, G. (1978) "Ortak Çalışan Sıvı-Yapı Sistemlerinin Titreşim Analizleri İçin Bir Yerdeğiştirme Metodu", Int. J. Num. Meth. Engng., Vol. 13, pp. 139-150, (İngilizce).
4. Calayır, Y. (1994), Beton Ağırlık Barajların Euler Ve Lagrange Yaklaşımları Kullanılarak Dinamik Analizi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
5. Zienkiewicz, O.C. (1977), Sonlu Eleman Metodu, Third Edition, McGraw-Hill, London, (İngilizce).
6. Calayır, Y., Bayraktar, A., Dumanoglu, A.A. (1993) "Baraj-Rezervuar Sistemlerinin Lineer Teoriye Göre Dinamik Analizi", 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, Cilt 1, ss. 178-187, İstanbul.
7. Fenves, G., Chopra, A.K. (1984), EAGD-84: Beton Ağırlık Barajların Deprem Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı, Earthquake Engineering Research Center Report No. UCB/EERC-84/11, University of California, Berkeley, California.



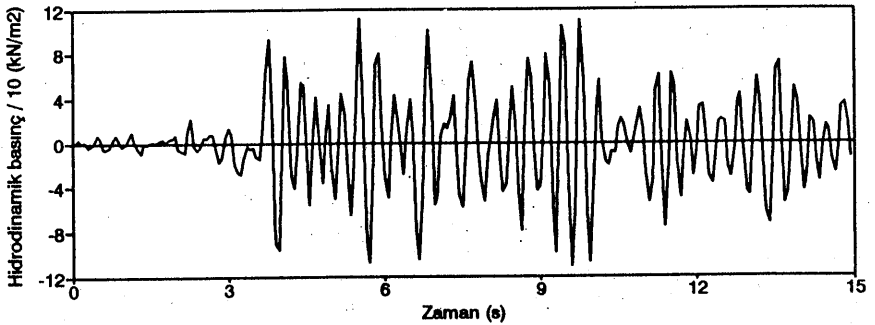
Şekil 1. Pine Flåt barajının boyutları [7].



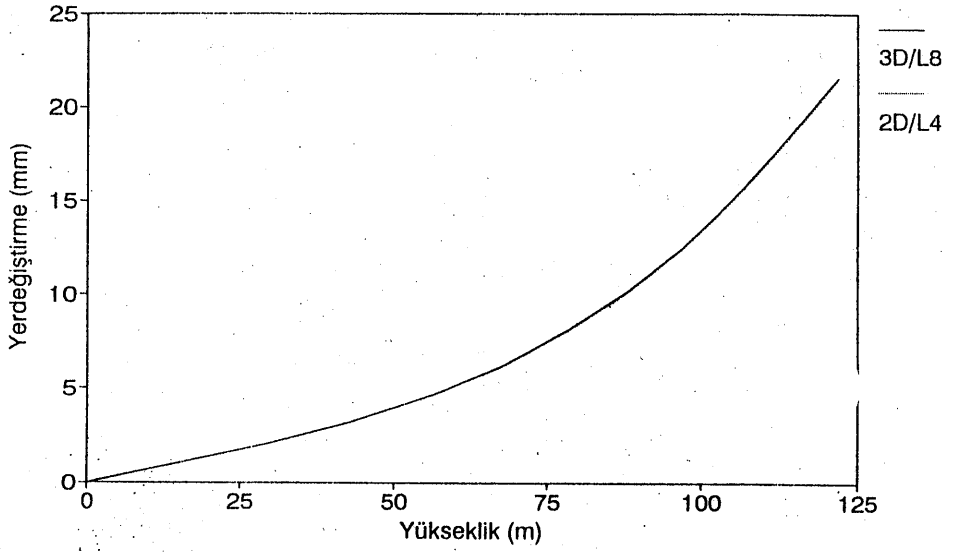
Şekil 2. Baraj-rezervuar sisteminin üç boyutlu sonlu eleman modeli (8 düğüm noktalı eleman ağı).



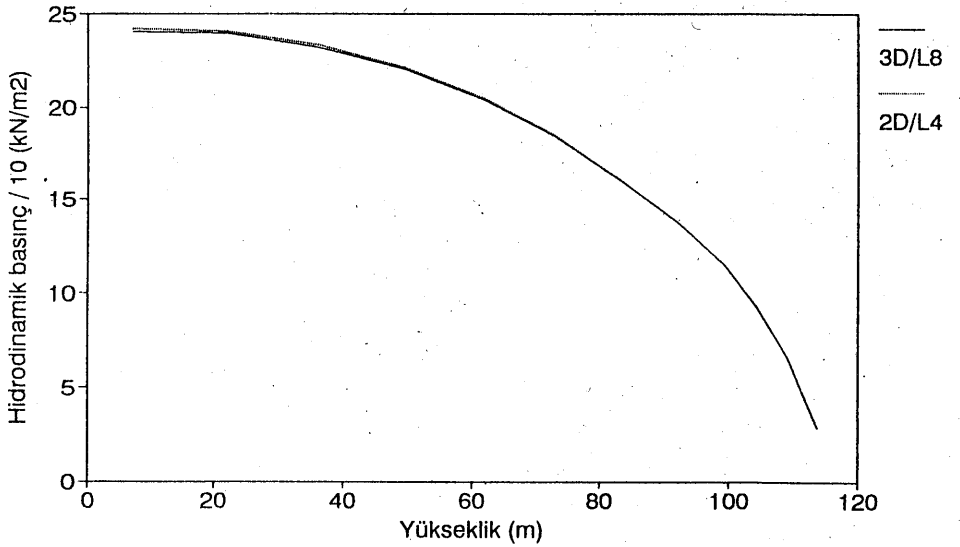
Şekil 3. Üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj tabanından itibaren 99.44 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1\beta$).



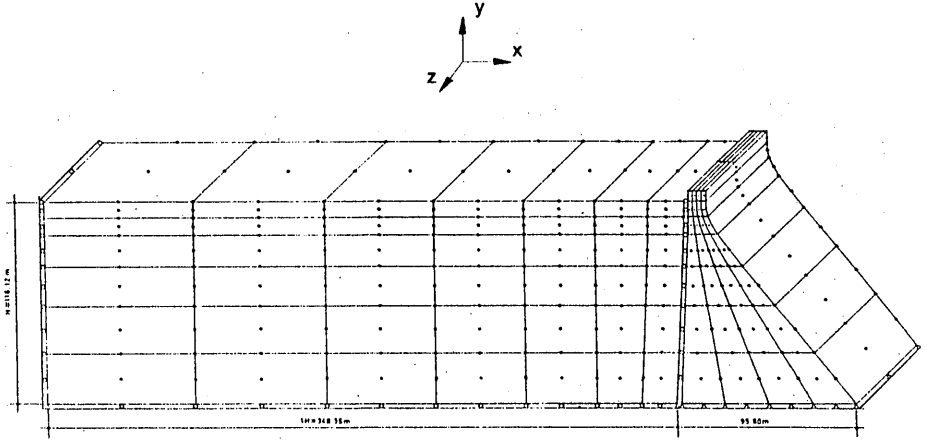
Şekil 4. Üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj tabanından itibaren 99.44 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1000\beta$).



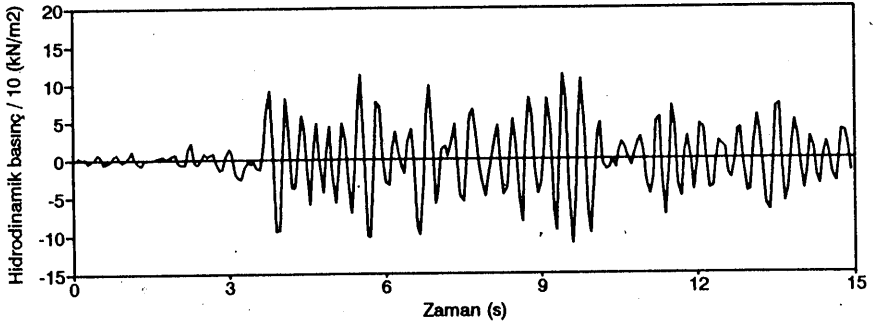
Şekil 5. İki boyutlu 4 ve üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj menba yüzeyi yatay yerdeğiştirme zarfları.



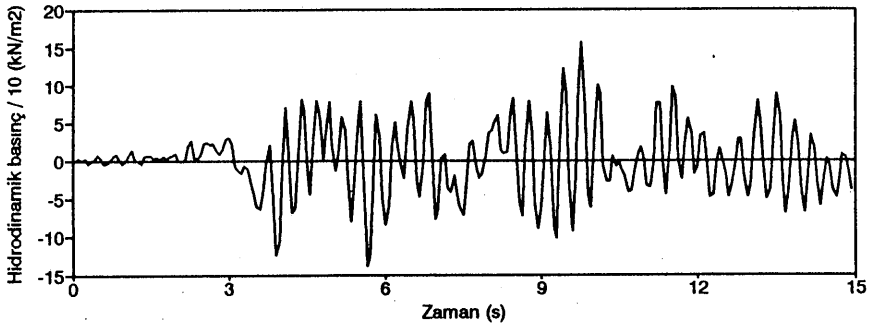
Şekil 6. İki boyutlu 4 ve üç boyutlu 8 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj menba yüzeyi hidrodinamik basınç zarfları.



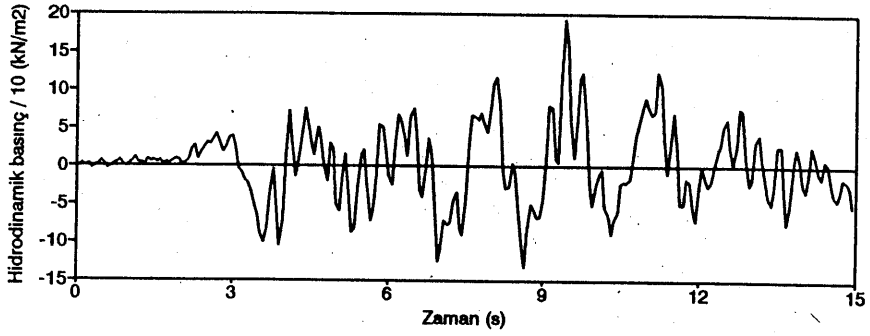
Şekil 7. Baraj-rezervuar sisteminin üç boyutlu sonlu eleman modeli (27 düğüm noktalı eleman ağı).



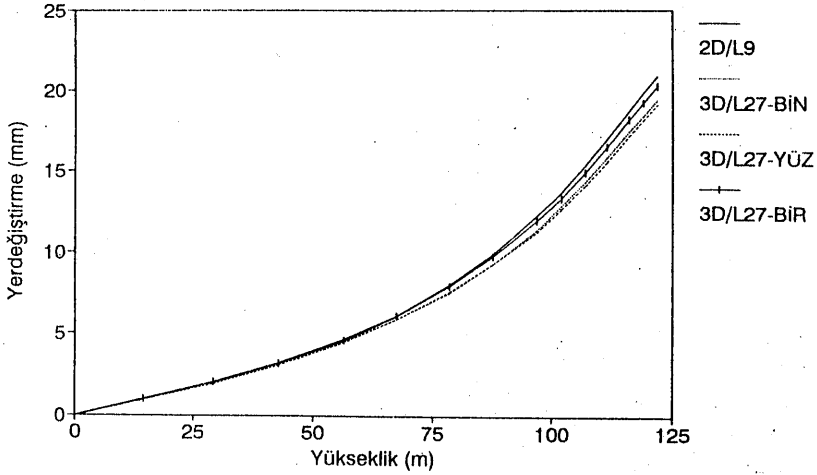
Şekil 8. Üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj tabanından itibaren 99.05 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1\beta$; ağı kalınlığı 1m).



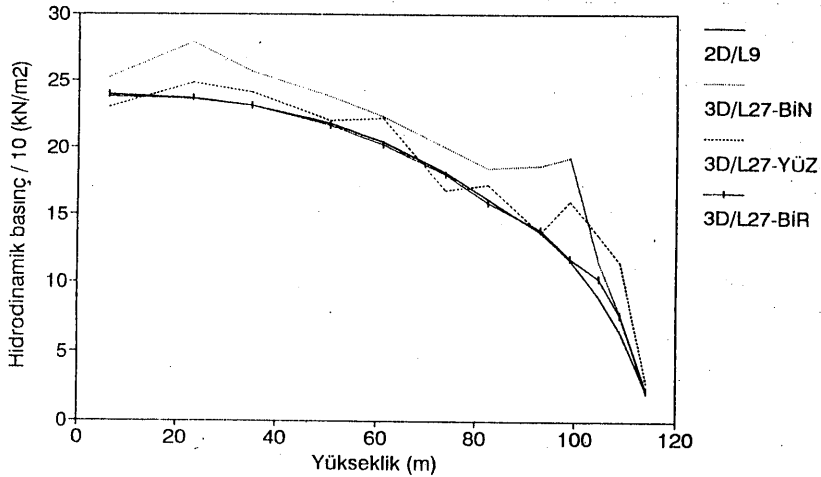
Şekil 9. Üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj tabanından itibaren 99.05 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 100\beta$; ağı kalınlığı 1m).



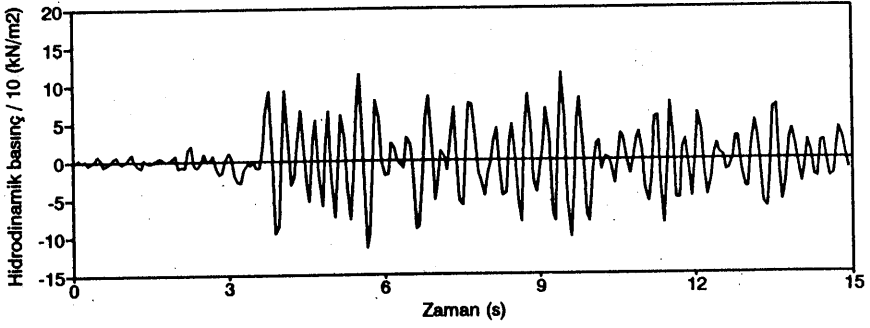
Şekil 10. Üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj tabanından itibaren 99.05 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1000\beta$; ağ kalınlığı 1m).



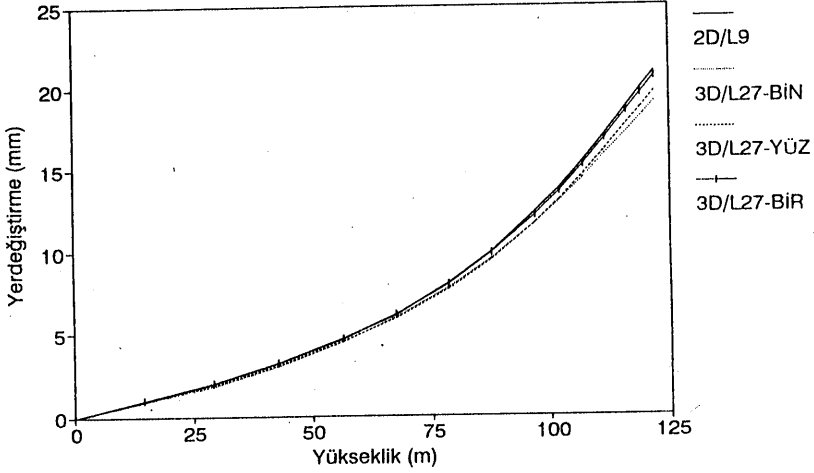
Şekil 11. İki boyutlu 9 ve üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj menba yüzeyi yatay yerdeğiştirme zarfları (üç boyutlu ağ kalınlığı 1 m).



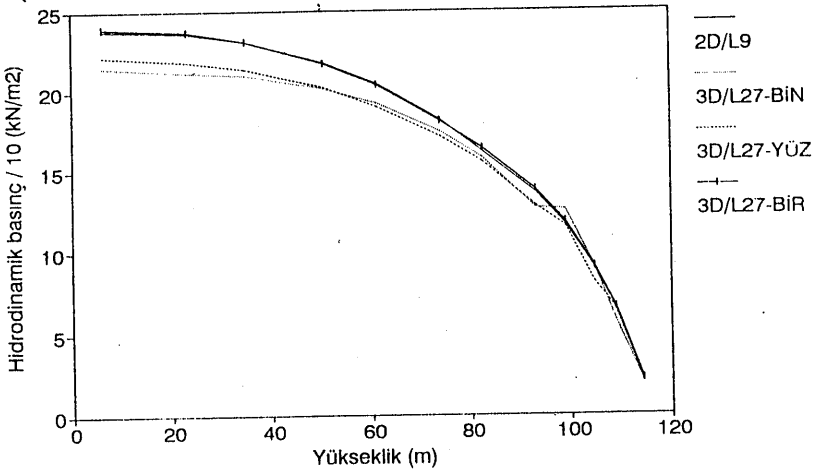
Şekil 12. İki boyutlu 9 ve üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj menba yüzeyi hidrodinamik basınç zarfları (üç boyutlu ağ kalınlığı 1 m).



Şekil 13. Üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj tabanından itibaren 99.05 m yüksekliğindeki baraj menba yüzeyi hidrodinamik basıncının zamanla değişimi ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = 1000\beta$; ağ kalınlığı 20 m).



Şekil 14. İki boyutlu 9 ve üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj menba yüzeyi yatay yerdeğiştirme zarfları (üç boyutlu ağ kalınlığı 20 m).



Şekil 15. İki boyutlu 9 ve üç boyutlu 27 düğüm noktalı sıvı eleman çözümlerinden elde edilen baraj menba yüzeyi hidrodinamik basınç zarfları (üç boyutlu ağ kalınlığı 20 m).