

ASINKRONİZE DÜŞEY YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ BARAJ-REZERVUAR-TEMEL SİSTEMİNİN DEPREM ANALİZİ

EARTHQUAKE ANALYSIS OF DAM-RESERVOIR-FOUNDATION SYSTEM SUBJECTED TO ASYNCHRONOUS VERTICAL GROUND MOTION

Alemdar BAYRAKTAR¹, A. Aydın DUMANOĞLU² ve Yusuf CALAYIR³

SUMMARY

In this study, the response of dam-reservoir-foundation system subjected to asynchronous vertical ground motion is investigated using Lagrangian approach. Firstly, ground displacements shape vectors and eigenvalues of a selected dam-reservoir-foundation system are obtained. Secondly, total displacements and stresses are calculated using the vertical component of the 1992 Erzincan earthquake for which velocities of propagation are assumed to be of 1000 m/s, 2000 m/s and infinite. Results obtained are compared to each other as well as to those of the asynchronous horizontal ground motion.

ÖZET

Bu çalışmada, baraj-rezervuar-temel sisteminin asinkronize düşey yer hareketi etkisindeki davranışı Lagrange yaklaşımı kullanılarak araştırılmaktadır. Önce, örnek olarak seçilmiş bir baraj-rezervuar-temel sisteminin zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörleri ve özdeğerleri elde edilmektedir. Daha sonra, 1992 Erzincan depreminin düşey bileşeni kullanılarak, 1000 m/s, 2000 m/s ve sonsuz dalga yayılma hızları için toplam yerdeğiştirmeler ve gerilmeler hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve asinkronize yatay yer hareketi sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır.

GİRİŞ

Baraj-rezervuar-temel sistemlerinin etkileşim analizlerinde dinamik etki olarak genellikle, depremden dolayı oluşan yer hareketi göz önüne alınmaktadır. Bu yer hareketi, üniform ve asinkronize (sonlu hızla yayılan) yer hareketi olmak üzere iki kısımda sınıflandırılabilir. Üniform yer hareketinde, deprem dalgasının sonsuz hızla yayıldığı ve yapı-zemin etkileşim yüzeyi boyunca tüm mesnet noktalarına aynı anda ulaştığı kabul edilmektedir. Bu yer hareketi dikkate alınarak yapılan dinamik analizler "klasik dinamik analiz" olarak isimlendirilmektedir. İki farklı mesnet noktasında dalga genliği değişmeyip, sadece sonlu yayılma hızının neden olduğu varış zaman farkı dikkate alındığında ise bu mesnet noktalarının hareketi asinkronize hareket olarak ifade edilmektedir. Bu tip yer hareketi dikkate alınarak yapılan analizler de "asinkronize dinamik analiz" olarak adlandırılmaktadır [1]. Deprem dalgasının sonlu hızla yayılması yapıda

¹ Araş. Gör., K.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon, TÜRKİYE.

² Prof. Dr., K.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon, TÜRKİYE.

³ Araş. Gör., F.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE.

dinamik (rölatif) yerdeğiştirmelere ek olarak, zahiri-statik (quasi-static) yerdeğiştirmeler de meydana getirir. Dinamik yerdeğiştirmelere atalet kuvvetleri neden olurken, zahiri-statik yerdeğiştirmelere yapı-zemin etkileşim yüzeyindeki noktaların (düğüm noktaları) birbirlerine göre rölatif hareketleri neden olmaktadır.

Üniform yatay yer hareketine maruz baraj-rezervuar ve baraj-rezervuar-temel sistemlerinin davranışları kütle ekleme [2-3], Euler [4-6] ve Lagrange [7-9] yaklaşımları kullanılarak bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Aynı şekilde, asinkronize yatay yer hareketi dikkate alınarak, özellikle son zamanlarda, baraj-rezervuar ve baraj-rezervuar-temel sistemlerinin deprem analizleri de yapılmıştır [10-11]. Bu çalışmalarda, asinkronize yatay yer hareketinin üniform yatay yer hareketine göre sonuçları önemli derecede etkilediği vurgulanmaktadır.

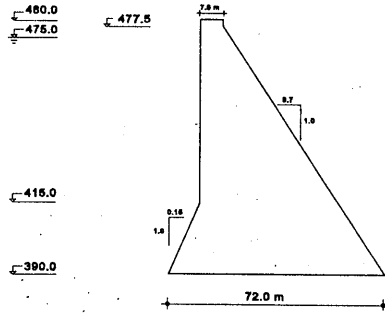
Depremden dolayı oluşan yer hareketinin düşey bileşeninin geleneksel yapılar üzerindeki etkisi, yatay bileşenle karşılaştırıldığında genellikle önemsiz olduğu düşünülmektedir. Bunun asıl nedeni; düşey yer hareketinden dolayı meydana gelen gerilmeler, statik yüklerden dolayı meydana gelen gerilmelerin küçük bir parçası olmasından kaynaklanmaktadır. Barajlar için aynı durumun geçerli olup olmadığı, Chakrabarti ve Chopra [12] tarafından baraj-rezervuar etkileşimi dikkate alınarak araştırılmıştır. Bu çalışmada, üniform düşey yer hareketi etkisindeki farklı yükseklikli beton ağırlık barajların davranışları baraj betonu için değişik elastisite modülleri kullanılarak incelenmiştir. Yazarlar, özellikle düşük yükseklikli barajlar için, düşey yer hareketinden dolayı elde edilen sonuçların yatay yer hareketi sonuçlarından daha büyük olduğunu vurgulamaktadırlar.

Yapılan literatür araştırmasından, baraj-rezervuar-temel etkileşim sistemlerinin asinkronize düşey yer hareketi etkisi altındaki Lagrange yaklaşımına dayalı deprem analizlerine rastlanmamıştır. Bunu için bu çalışmada, Lagrange yaklaşımı kullanılarak baraj-rezervuar-temel sistemlerinin asinkronize düşey yer hareketi etkisindeki davranışının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu bildiriye sayfa sınırlaması nedeniyle baraj-rezervuar-temel sisteminin Lagrange yaklaşımına dayalı asinkronize dinamik analiz formülasyonundan bahsedilememektedir. Fakat, bu formülasyon Kaynak [11]'de ayrıntılı olarak verilmektedir. Uygulama amacıyla beton ağırlık bir baraj seçilmekte ve bu barajın asinkronize düşey yer hareketine karşı davranışı çeşitli sonlu yayılma hızları için elde edilmektedir. Bulunan sonuçlar birbirleriyle ve asinkronize yatay yer hareketi sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır.

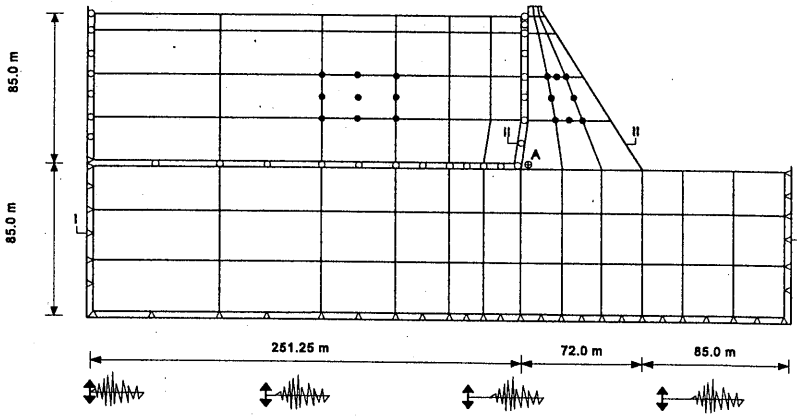
SAYISAL UYGULAMA

Sonlu Eleman Modeli

Asinkronize düşey yer hareketinin beton ağırlık barajlar üzerindeki etkisini görmek için 1956 yılında Sakarya nehri üzerinde inşa edilmiş olan Sarıyar barajı seçilmifitir. Bu barajın boyutları ve analizlerde kullanılacak olan sonlu eleman modeli Şekil 1' de verilmektedir. Sistemin sonlu eleman modelinde rezervuar uzunluğu yüksekliğinin üç katı alınmakta ve sabit derinlikte olduğu kabul edilmektedir. Barajın temel derinliği ise rezervuar yüksekliği kadar alınmaktadır. Baraj gövdesi ve temelinde 51 adet 8 düğüm noktalı katı, rezervuarda ise 24 adet 9 düğüm noktalı sıvı izoparametrik sonlu eleman kullanılmaktadır. Baraj betonu ve temel zemininin elastik özellikleri aynı olup, birim hacim ağırlık 24000 N/m³, elastisite modülü 35x10⁹ N/m² ve poisson oranı ise 0.15 seçilmektedir. Rezervuardaki suyun birim hacim ağırlığı 9810 N/m³, yoğunluğu 1000 kg/m³ ve hacimsel elastisite modülü 207x10⁷ N/m² olarak alınmaktadır.



a) Sarıyar barajının boyutları [13]

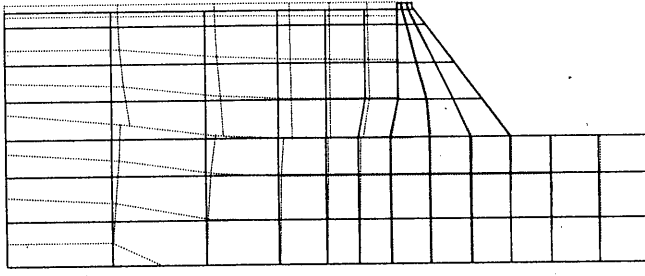


b) Sonlu eleman modeli

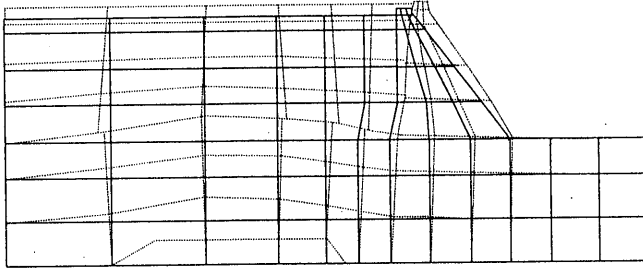
Şekil 1 Sarıyar barajının boyutları ve baraj-rezervuar-temel sisteminin sonlu eleman modeli

Zemin Yerdeğiştirmelerinin Şekil Vektörleri (r Vektörleri)

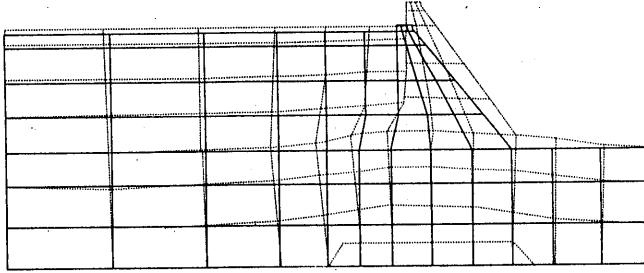
Bu vektörlerin hesaplanmasında ceza (penalty) metodu [14] kullanılmaktadır. Şöyleki, sistem rijitlik matrisinde r vektörünün hesaplanacağı zemin serbestlik derecesine karşılık gelen diyagonal terime büyük bir rijitlik eklenmekte ve bu rijitliğe eşit bir yük bu serbestlik derecesine uygulanarak statik analiz yapılmaktadır. Böylece zemin serbestlik derecesindeki yerdeğiştirme, seçilen rijitliğin artırılmasıyla birim değere yaklaşmaktadır. Asinkronize dinamik analiz için baraj-rezervuar-temel sisteminin tabanı dört bölgeye ayrılmıştır (Şekil 1b). Şekil 1b de ortak sistemin tabanında gösterilen kayıtların başlangıçları her bir bölgenin başlangıç ve bitişini göstermektedir. Baraj-rezervuar-temel sisteminin zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörleri, her bir bölgedeki mesnet noktalarına birim düşey yerdeğiştirme verilip, diğer bölgelerdeki mesnet noktaları tutulmak suretiyle elde edilmiştir. Bunlar Şekil 2' de noktalı çizgi ile gösterilmektedir. Şekil 2' deki r_1 , r_2 , r_3 ve r_4 vektörleri; 1., 2., 3. ve 4. bölgeler için elde edilen zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörlerini



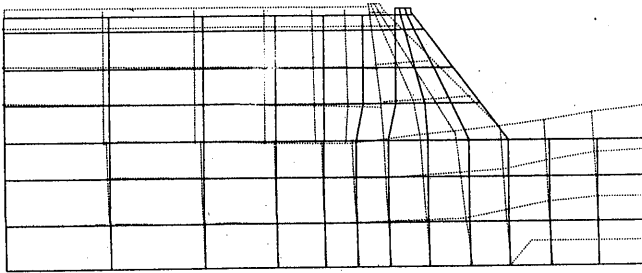
r_1 vektörü



r_2 vektörü



r_3 vektörü



r_4 vektörü

Şekil 2 Baraj-rezervuar-temel sisteminin zemin yerdeğıştirmelerinin şekil (r) vektörleri

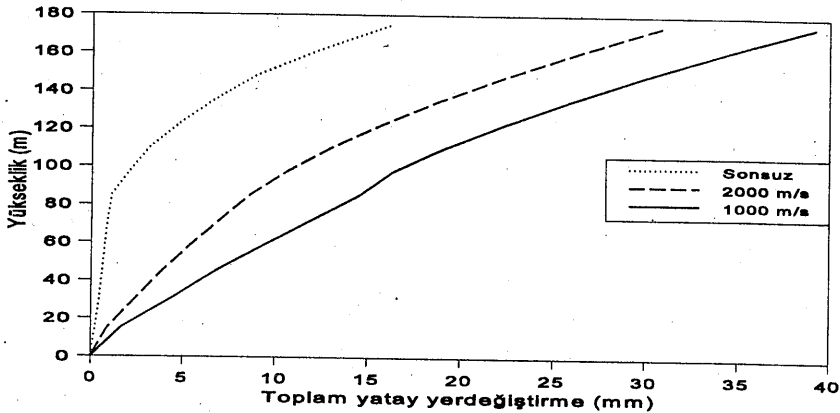
göstermektedir. Bu vektörler toplandığında sistemin her düğüm noktasında düşey doğrultuda birim yerdeğiştirme oluşmaktadır.

Özdeğerler

Sıvı sistemlerinin Lagrange yaklaşımına dayalı modal analizlerinde sıfır-enerji mod gibi bazı sayısal problemler ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, yerdeğiştirmelere rotasyonsuzluk kısıtlaması getirilmesiyle birlikte, sıvı eleman matrislerinin hesaplanmasında indirgenmiş integrasyon mertebesi kullanılarak bütün gereksiz sıfır enerji modları yok edilmiştir. Sıvı sonlu eleman matrislerinin hesaplanmasında 2x2 indirgenmiş [15], katı eleman matrislerinin hesaplanmasında ise 3x3 normal integrasyon mertebeleri kullanılmıştır. Rotasyon kısıtlama parametresi, hacimsel elastisite modülünün 100 katı alınmaktadır [8]. Baraj-rezervuar-temel sisteminin modal analizinde ilk 30 mod dikkate alınmıştır. Bunlardan ilk 11 mod düşük frekanslı yüzey salınım modlarına karşılık gelmektedir. Bu modların frekans değerleri 0,04395-0,1783 Hz arasında değişmektedir. Ortak sistemin 1. yanal eğilme moduna ait frekans (12.mod) 3.387 Hz' dir.

Yerdeğiştirmeler

Yerdeğiştirmelerin hesaplanmasında yer hareketi olarak 13 Mart 1992 Erzincan depreminin düşey ivme bileşeni seçilmektedir. Bu bileşenin eksen düzeltilmesi en küçük kareler metodu [16] kullanılarak yapılmıştır. Baraj-rezervuar-temel sisteminin asinkronize dinamik analizi için 0.05' lik sönüm oranı alınmaktadır. Deprem dalgasının yayılma hızı 1000 m/s, 2000 m/s ve sonsuz olarak seçilmektedir. Zahiri-statik (quasi-static), dinamik ve toplam yerdeğiştirmelerin hesabında 0.002 saniyelik zaman aralığı kullanılmıştır. Sonsuz hız durumunda ortak sistemin tüm düğüm noktalarında 156.74 mm' lik zahiri-statik düşey yerdeğiştirme elde edilmiştir. Bu değer, 1992 Erzincan depremi düşey bileşeninin integrasyonu sonucu elde edilen maksimum yerdeğiştirmeye, 156.7 mm, çok yakın çıkmaktadır. Her üç yayılma hızı kullanılarak baraj temelinden itibaren, baraj memba yüzeyi boyunca elde edilen toplam yatay yerdeğiştirmeler Şekil 3' te verilmektedir. Bu yerdeğiştirme eğrileri, düğüm noktalarında elde edilen mutlak maksimum toplam yatay



Şekil 3 Baraj menba yüzeyi boyunca (baraj temelinden itibaren) maksimum toplam yatay yerdeğiştirmelerin değişimi

yerdeğiştirmeler kullanılarak çizilmiştir. Şekil 3' ten görüldüğü gibi deprem dalgası yayılma hızı azaldıkça baraj memba yüzeyindeki toplam yatay yerdeğiştirmeler artmaktadır. 1000 m/s, 2000 m/s ve sonsuz dalga yayılma hızları için baraj kretinde meydana gelen toplam yatay yerdeğiştirmeler sırasıyla, 39.242 mm, 31.122 mm ve 16.281 mm' dir. Sonsuz hız durumuna göre baraj kreti toplam yatay yerdeğiştirmesinde, 2000 m/s ve 1000 m/s dalga yayılma hızları için sırasıyla yaklaşık olarak %191 ve %241' lik artışlar meydana gelmektedir.

Gerilmeler

Gerilmeler, zahiri-statik ve dinamik yerdeğiştirmelerin toplamından oluşan toplam yerdeğiştirmeler kullanılarak 0.01s zaman aralığına göre Gauss integrasyon noktalarında hesaplanmaktadır. Ortak sistemin baraj memba topuğu Gauss integrasyon noktasında (A) 1000 m/s, 2000 m/s ve sonsuz dalga yayılma hızları için hesaplanan mutlak maksimum yatay (σ_{yy}), düşey (σ_{zz}) ve kayma (σ_{yz}) gerilmeleri Tablo 1' de verilmektedir. Tablo 1' den görüldüğü gibi sonlu yayılma hızının azalması gerilmeleri artırmaktadır.

Tablo1 Baraj memba topuğu Gauss integrasyon noktasında (A) hesaplanan gerilmeler

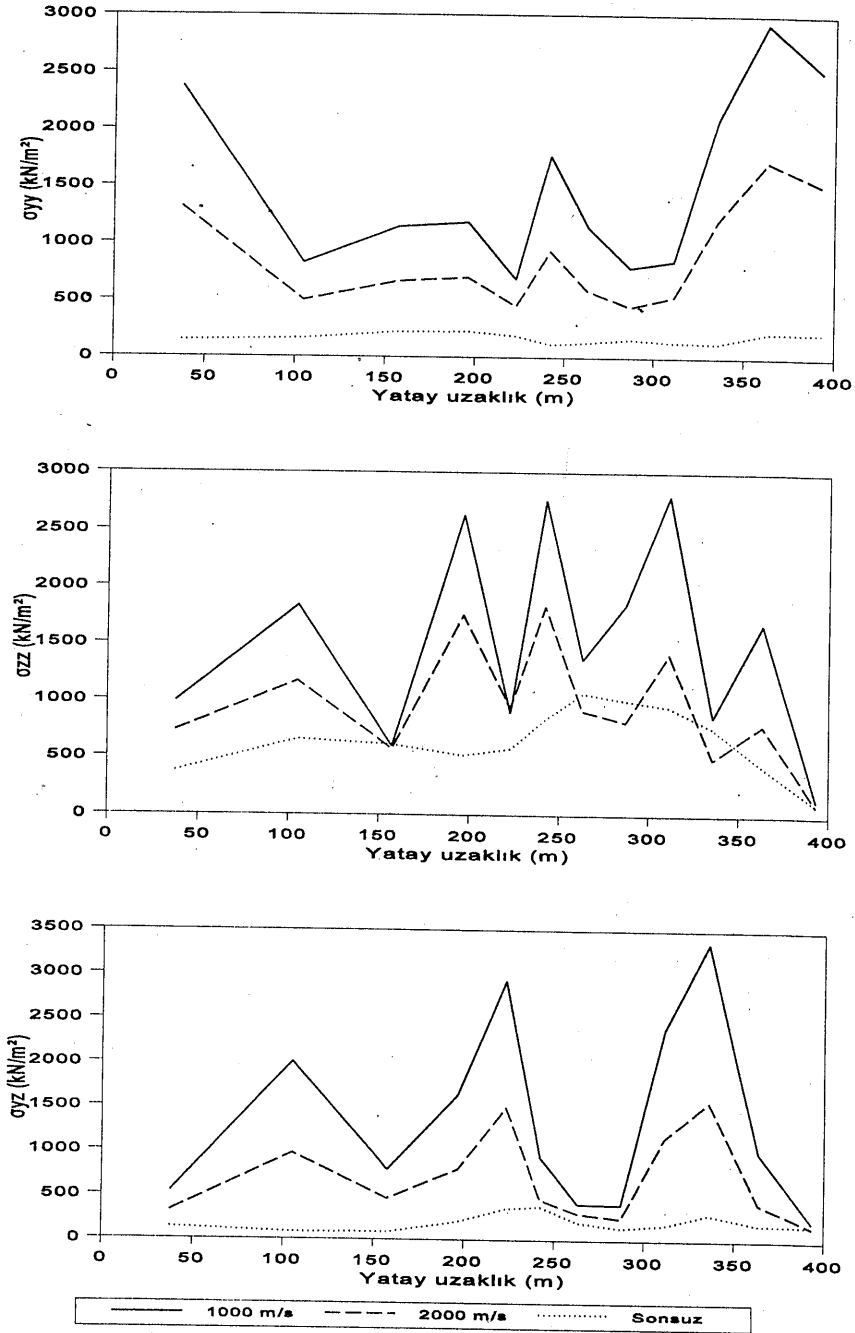
Hızlar (m/s)	Gerilmeler (kN/m ²)		
	σ_{yy}	σ_{zz}	σ_{yz}
1000	1622.2	3031.0	1512.8
2000	1313.0	2935.3	1087.1
Sonsuz	808.97	2550.7	1040.5

Gerilmelerin yatay uzaklıkla değişimini görmek için baraj-rezervuar-temel sisteminde I-I ve II-II kesitleri alınmaktadır (Şekil 1b). I-I ve II-II kesitlerindeki gerilmelerin değişimleri Şekil 4 ve 5' te verilmektedir. Bu Őekiller eleman orta noktasındaki mutlak maksimum gerilmeler dikkate alınarak çizilmiştir.

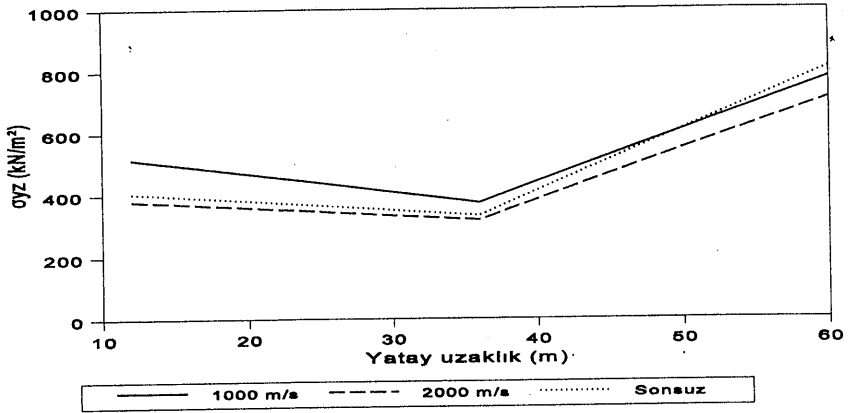
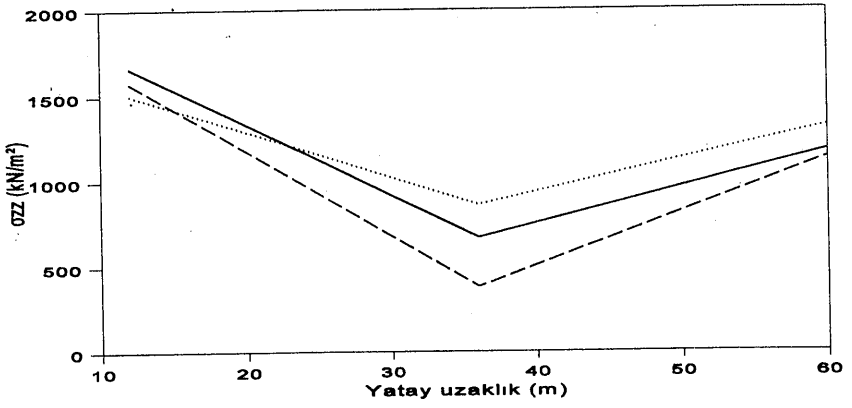
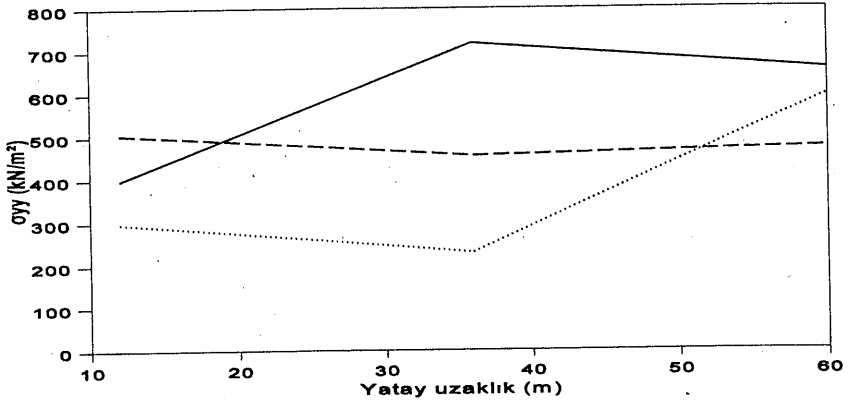
Asinkronize düşey ve yatay yer hareketinden dolayı meydana gelen gerilmeleri karşılaştırmak amacıyla, yatay yer hareketi olarak 1992 Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni seçilmiştir. Deprem dalgasının yayılma hızı 1000 m/s alınarak, II-II kesitinde asinkronize yatay ve düşey yer hareketinden dolayı meydana gelen gerilmelerin uzaklıkla değişimi Şekil 6' da verilmektedir. Asinkronize düşey yer hareketi durumunda, yatay ve kayma gerilmeleri tüm baraj tabanı boyunca daha küçük olurken, düşey gerilmeler baraj tabanı ortasına yakın kısımda daha büyük olmaktadır.

SONUÇLAR

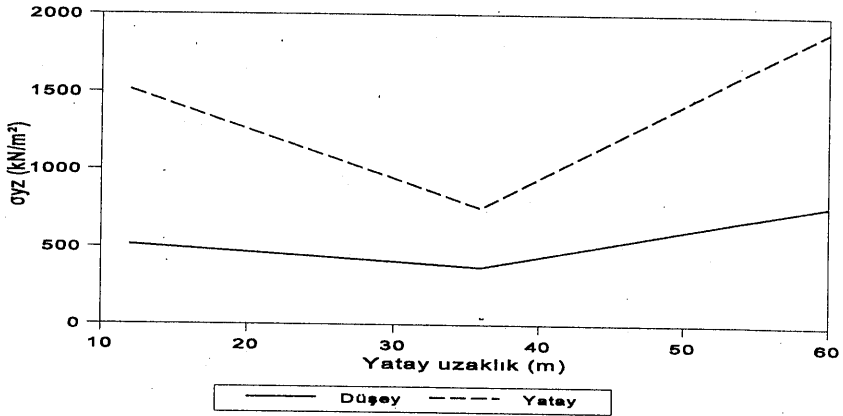
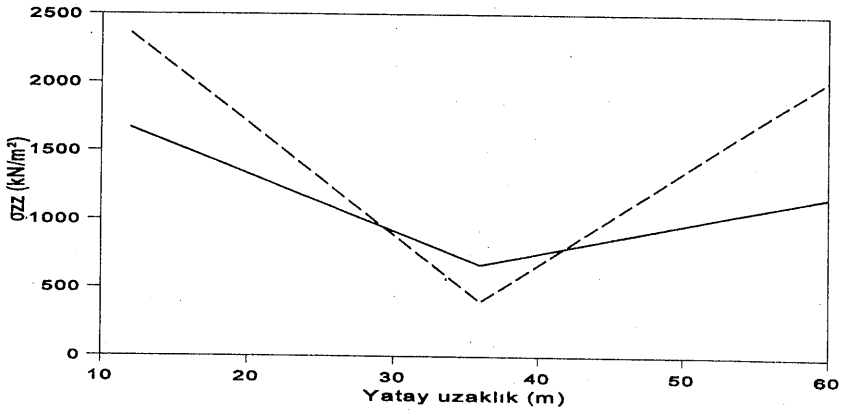
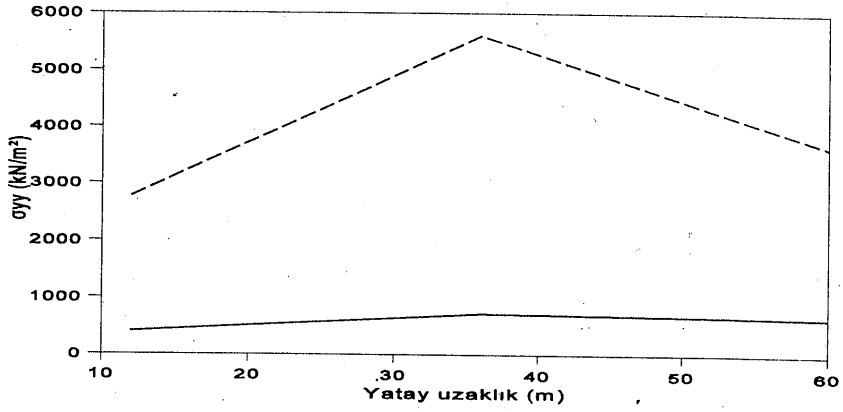
Asinkronize (sonlu hızla yayılan) düşey yer hareketi, üniform (sonsuz hızla yayılan) düşey yer hareketi ile karşılaştırıldığında baraj-rezervuar-temel sisteminin davranışını önemli derecede etkilediğı görülmüştür. Deprem dalgasının sonlu hızla yayılması baraj memba yüzeyi yatay yerdeğiştirmelerini ve gerilmeleri artırmaktadır. Asinkronize yatay yer hareketi kullanılarak elde edilen gerilmeler, asinkronize düşey yer hareketi sonucu elde edilen gerilmelerden genel olarak daha büyük olmaktadır.



Şekil 4 Baraj-rezervuar-temel sisteminin I-I kesitindeki gerilmelerin değişimi



Şekil 5 Baraj-rezervuar-temel sisteminin II-II kesitindeki gerilmelerin değişimi



Şekil 6 Dalga yayılma hızı 1000 m/s alınarak baraj-rezervuar-temel sisteminin II-II kesitinde yatay ve düşey yer hareketinden dolayı meydana gelen gerilmelerin değişimi

KAYNAKLAR

1. Dumanoglu, A.A. (1988) "Asinkronize Dinamik Analiz", İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı I. Sempozyumu Bildiriler Kitabı, ss. 95-106, İstanbul.
2. Westergaard, H.M. (1931) "Depremler Sırasında Barajlar Üzerindeki Su Basınçları", Transactions, ASCE, Vol. 98, No. 1835, pp. 418-433, (İngilizce).
3. Singhal, A.C. (1991) "Barajların Deprem Analizleri İçin Bilgisayar Kodlarının Karşılaştırılması", Computers and Structures, Vol. 98, No. 1, pp. 107-112, (İngilizce).
4. Chopra, A.K. ve Chakrabarti, P.(1981) "Beton Ağırlık Barajların Baraj-Su-Temel Etkileşimini İçeren Deprem Analizi", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 9, pp. 363-383, (İngilizce).
5. Hall, J.F. ve Chopra, A.K.(1982) "Beton Ağırlık ve Toprak Barajların Hidrodinamik Etkileri İçeren İki Boyutlu Dinamik Analizi", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 10, pp. 305-332, (İngilizce).
6. Greeves, E.J. ve Dumanoglu, A.A.(1989), Euler Yaklaşımı Kullanılarak Sıvı-Yapı Etkileşimi İçin Etkili Bir Bilgisayar Analizinin SAP IV ile Gerçekleştirilmesi, Report No. UBCE-EE-89-10, Department of Civil Engineering, University of Bristol, Bristol, (İngilizce).
7. Calayır, Y., Bayraktar, A. ve Dumanoglu, A.A. (1993) "Baraj-Rezervuar Sistemlerinin Lineer Teoriye Göre Dinamik Analizi", 2.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı, ss. 178-187, İstanbul.
8. Calayır, Y. ve Dumanoglu, A.A.(1993) "Sıvı ve Sıvı-Yapı Sistemlerinin Lagrange Metoduyla Statik ve Dinamik Analizi", Computers and Structures, Vol. 49, No. 4, pp. 625-632, (İngilizce).
9. Calayır, Y.(1994), Beton Ağırlık Barajların Euler ve Lagrange Yaklaşımları Kullanılarak Dinamik Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
10. Bayraktar, A., Muvafık, M. ve Dumanoglu, A.A. (1993) "Beton Ağırlık Barajların Asinkronize Dinamik Analizi", İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler I. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Cilt 1, ss. 161-170, Gazimağusa, KKTC.
11. Bayraktar, A. ve Dumanoglu, A.A.(1994) "Baraj-Rezervuar-Temel Sistemlerinin Asinkronize Dinamik Analizi", İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV. Sempozyumu, basılacak, İstanbul.
12. Chakrabarti, P. ve Chopra, A.K.(1973) "Düsey Deprem Bileşenine Karşı Ağırlık Barajların Davranışı ve Hidrodinamik Basınçlar", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 1, pp. 325-335, (İngilizce).
13. Bayraktar, A.(1991), Beton Ağırlık Barajlarda Baraj-Su-Zemin Etkileşiminin Statik ve Dinamik Analizde Değerlendirilişi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
14. Bathe, K-J.(1982), Mühendislik Analizinde Sonlu Eleman İşlemleri, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, (İngilizce).
15. Wilson, E.L. ve Khalvati, M.(1983) "Sıvı-Katı Sistemlerinin Dinamik Analizi İçin Sonlu Elemanlar", International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 19, pp. 1657-1668, (İngilizce).
16. Kreyszig, E.(1988), İleri Mühendislik Matematiği, Sixth Edition, John Wiley and Sons, New York, (İngilizce).