

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEĞİŞEREK YAYILAN YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ
BARAJ-REZERVUAR-ZEMİN SİSTEMLERİNİN
STOKASTİK DİNAMİK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Müh. Yasemin BAYRAM

**MAYIS 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEĞİŞEREK YAYILAN YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ
BARAJ-REZERVUAR-ZEMİN SİSTEMLERİNİN
STOKASTİK DİNAMİK ANALİZİ**

İnş. Müh. Yasemin BAYRAM

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor (İnşaat Mühendisliği)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :05 /05/2008
Tezin Savunma Tarihi :16 /05/2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÖKALP
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Metin HÜSEM
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan KAPLAN**

Enstitü Müdür V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Deprem gibi ülkemizin de etkisi altında bulunduğu önemli bir olayın tahmin edilmesi gerçeğe uygun bir şekilde karakterize edilerek yapı sistemlerinin hesabına yansıtılması, yapı emniyeti ve ekonomisi açısından çok büyük bir önem göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışmadan elde edilen bilgilerin baraj gibi önemli yapıların dinamik hesabında ve projelendirme aşamasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

“Değişerek Yayılan Yer Hareketi Etkisindeki Baraj-Rezervuar-Zemin Etkileşim Sistemlerinin Stokastik Dinamik Analizi” adlı konuyu bana önererek yöneticiliğimi üstlenen, fikirleriyle bana yol gösteren çok saygıdeğer hocam Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yoğun çalışmalarını sırasında değerli zamanlarını ayırarak tezimi değerlendiren hocalarım Sayın Prof. Dr. Hasan KAPLAN'a, Prof. Dr. Metin HÜSEM'e, Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE'ye, Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÖKALP'e çok teşekkür ederim.

Doktora öğrenimime başlamama vesile olan Yrd. Doç. Dr. Süleyman ADANUR'a, çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK'a, Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU'na, Yrd. Doç. Dr. Şevket ATEŞ'e, Araş. Gör. Hasan Basri BAŞAĞA'ya teşekkür ederim.

Bugüne kadar bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, çalışmamı destekleyerek yanımda olduklarını hissettiren tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyerek bana her türlü imkan ve desteği sağlayan başta annem ve babam olmak üzere kardeşlerim Gülsem'in BİLİCİ, Ayşe BİLİCİ ve Ömer Faruk BİLİCİ'ye müteşekkir olduğumu belirtmek isterim. Çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen eşim Şefik BAYRAM' a da teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ülkemiz için faydalı olmasını temenni ederim.

1. Bilici, Y., Bayraktar, A., Soyuluk, K., Haciefendioğlu, K., Ateş, Ş., Adanur, S., Stochastic Dynamic Response of Dam-Reservoir-Foundation Systems to Spatially Varying Earthquake Ground Motions, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2008 accepted (SCI).
2. Bilici, Y., Bayraktar, A., Adanur, S., Comparison of Uniform and Spatially Varying Ground Motion Effects on the Stochastic Response of Fluid-Structure Interaction Systems by using Lagrangian Approach, Structural Engineering and Mechanics, 2008 under review.
3. Bilici, Y., Bayraktar, A., Adanur, S., Site-response effects on the transient stochastic seismic response of concrete dam-reservoir-foundation systems by the Lagrangian approach, Natural Hazards and Earth System Science, 2008 under review.
4. Bayraktar, A., Bilici, Y., The effect of the spatially varying earthquake ground motion on random hydrodynamic pressures, Probabilistic Engineering Mechanics, 2008 under review.
5. Bayraktar, A., Bilici, Y., The effect of spatially varying earthquake ground motions on the stochastic dynamic response of concrete dams, 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), Oct. 12-17, 2008, Beijing/China, S13-037, Accepted.
6. Bayraktar, A., Bilici, Y., Türker, T., Akköse, M., Malzeme Özelliklerinin Silindire Sıkıştırılmış Beton (SSB) Barajların Sismik Performansına Etkisi, Birinci Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi, 2007, Ankara.
7. Bayraktar, A., Kartal, M.E., Bilici, Y., Ateş, Ş., Akköse, M., Rezervuar Su Yüksekliği Değişiminin Kürtün Barajının Lineer Olmayan Deprem Davranışına Etkisi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 2007, İstanbul.
8. Bayraktar, A., Türker, T., Bilici, Y., Ateş, Ş., Yakın ve Uzak Fay Etkisindeki Baraj-Rezervuar-Temel Sistemlerinin Lineer ve Lineer Olmayan Deprem Davranışlarına Rezervuar Uzunluğunun Etkisi, Birinci Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi, 28-30 Mayıs 2007, Ankara.
9. Bilici, Y., Bayraktar, A., Pehlivan, M., 2-21 Ağustos 2005 Tarihlerinde Trabzon'da Meydana Gelen Taşkınların Mühendislik Yapıları Üzerindeki Etkileri, Birinci Ulusal Taşkın Sempozyumu ve Sergisi, 10-12 Mayıs 2006, Ankara.
10. Bilici, Y., Bayraktar, A., Başağa, H.B., Taşkın Koruma Amaçlı Yapılan İstinat Duvarlarının Güvenilirliğine Duvar Arkası Dolgu Malzemesi Etkisinin Monte Carlo Yöntemiyle Belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi, 7-8 Eylül 2006, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Yasemin BAYRAM
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	XX
SEMBOLLER DİZİNİ	XXI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Baraj-Rezervuar-Zemin Etkileşim Sistemi ile İlgili Çalışmalar	2
1.2.1. Deterministik Dinamik Analiz ile İlgili Çalışmalar	2
1.2.1.1. Üniform Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	3
1.2.1.2. Üniform Olmayan Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	13
1.2.2. Stokastik Dinamik Analiz ile İlgili Çalışmalar	16
1.2.2.1. Üniform Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	16
1.2.2.2. Üniform Olmayan Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	19
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	20
1.4. Sıvı Sistemlerinin Lagrange Yaklaşımına Dayalı Sonlu Eleman Formülasyonu.....	21
1.5. Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşim Sistemlerinin Sonlu Eleman Formülasyonu	30
1.6. Stokastik Dinamik Analiz Formülasyonu	35
1.6.1. Dinamik Davranış Bileşeni	37
1.6.2. Zahiri-Statik Davranış Bileşeni	38
1.6.3. Zahiri-Statik ve Dinamik Davranış Bileşenleri Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu.....	39
1.6.4. Toplam Davranış Bileşeninin Varyansı	39
1.6.5. Ortalama Maksimum Değer	40
1.6.6. Stasyonere Olmayan Davranış	41
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	43
2.1. Yer Hareketi Modeli.....	43

2.1.1.	Tutarlılık Fonksiyonu.....	47
2.2.	Geliştirilen Bilgisayar Programı.....	53
2.3.	Geliştirilen Bilgisayar Programının Kontrol Edilmesi.....	53
2.3.1.	Rijit Sıvı Tankının Modal Analizi.....	53
2.3.2.	Sıvı-Yapı Etkileşim Sisteminin Modal Analizi.....	56
2.4.	Seçilen Barajın Yapısal Özellikleri.....	57
2.4.1.	Baraj-Rezervuar-Zemin Etkileşim Sisteminin Sonlu Eleman Modeli.....	58
2.4.2.	Modların Yapı Davranışına Olan Katkısının Belirlenmesi.....	59
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	61
3.1.	Barajın Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olması Durumunda Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkilerinin İncelenmesi.....	61
3.1.1.	Stasyoner Davranış.....	62
3.1.1.1.	Dalga Yayılma Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması.....	62
3.1.1.2.	Dalga Yayılma Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	72
3.1.1.3.	Tutarsızlık Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması.....	75
3.1.1.4.	Tutarsızlık Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	85
3.1.1.5.	Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması.....	88
3.1.1.6.	Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	97
3.1.2.	Stasyoner Olmayan Davranış.....	100
3.1.2.1.	Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkileri İçin Yerdeğiştirme, Gerilme, Hidrodinamik Basınç ve Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	100
3.2.	Barajın Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olmaması Durumunda Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkilerinin İncelenmesi.....	108
3.2.1.	Stasyoner Davranış.....	109
3.2.1.1.	Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması.....	109
3.2.1.2.	Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	119
3.2.1.3.	Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Ayrı Ayrı Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması.....	124

3.2.1.4. Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Ayrı Ayrı Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	133
3.2.1.5. Bölgeler Arası Dalga Yayılma Hızının Değişimi Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Değerlerinin Karşılaştırılması.....	141
3.2.1.6. Bölgeler Arası Dalga Yayılma Hızının Değişimi Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	148
3.2.2. Stasyon Olmayan Davranış	153
3.2.2.1. Farklı Zemin Etkileri İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların ve Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması	153
3.2.2.2. Farklı Zemin Etkileri İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	155
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	160
5. KAYNAKLAR.....	164
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bu çalışmada, değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin etkileşim sistemlerinin Lagrange yaklaşımına dayalı stokastik dinamik davranışının incelenmesi amaçlanmaktadır. Barajların geniş tabanlı yapılar olması sebebiyle, analizlerinde yer hareketinin farklı noktadaki değişiminden kaynaklanan, dalga yayılma etkisinin yanı sıra, korelasyon ve zemin etkilerinin de dikkate alınmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Baraj-rezervuar-zemin sistemlerinin değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki stokastik dinamik davranışını incelemek amacıyla Lagrange yaklaşımına dayalı değişken düğüm noktalı iki boyutlu izoparametrik sıvı sonlu eleman formülasyonu FORTRAN programlama dilinde kodlanmış ve kodlanan bu alt program yapı sistemlerinin değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki stokastik dinamik analizini yapan SVEM programına dahil edilmiş ve SVEMF olarak adlandırılmıştır. Baraj-rezervuar-zemin sistemlerinin değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki stokastik dinamik davranışlarının belirlendiği bu doktora tezi dört ana bölümden oluşmaktadır.

İlk bölüm, konuyla ilgili yapılan literatür araştırmasını ve sıvı-yapı-zemin etkileşim sistemlerinin Lagrange yaklaşımına dayalı stokastik dinamik analiz formülasyonunu içermektedir. İkinci bölümde, değişerek yayılan yer hareketinde kullanılan yer hareketi modeli ile ilgili bilgi verilmekte ve geliştirilen bilgisayar programı tanıtılmaktadır. Ayrıca programın kontrolü için bir rijit sıvı tankı ve bir sıvı-yapı etkileşim sistemi sonlu eleman yöntemiyle modellenerek modal analizleri yapılmış ve frekanslar karşılaştırılmıştır. Üçüncü bölümde değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sisteminin stokastik analizinden elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçların ortalama maksimum değerleri ve varyansları irdelenmektedir.

Çalışmanın son bölümünde elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak değerlendirilerek, baraj-rezervuar-zemin sistemlerinin stokastik dinamik analizlerinde değişerek yayılan yer hareketi etkisinin dikkate alınması gerekliliği vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Lagrange Yaklaşımı, Sonlu Eleman Yöntemi, Baraj-Rezervuar-Zemin Etkileşimi, Değişerek Yayılan Yer Hareketi, Stokastik Dinamik Analiz

SUMMARY

Stochastic Dynamic Analysis of Dam-Reservoir-Foundation Systems to Spatially Varying Ground Motion

In this study, it is aimed to perform the stochastic dynamic analysis of dam-reservoir-foundation systems to spatially varying earthquake ground motion by using Lagrangian approach. Since significant variation of earthquake ground motion exists over the base dimensions of large structures such as dams, spatially varying effects of the ground motion including wave passage effects, incoherence effects and site response effects should be taken into account in the analysis of dams. For that reason, variable number-nodes two dimensional isoparametric fluid finite elements are programmed in FORTRAN language and incorporated into a general-purpose computer program for stochastic dynamic analysis of structure systems to spatially varying earthquake ground motion, SVEM, and named as SVEMF. This Ph.D. thesis in which stochastic dynamic responses of dam-reservoir-foundation systems to spatially varying earthquake ground motion are determined consists of four main chapters.

The first chapter includes literature researches and formulations of stochastic dynamic analysis of fluid-structure-soil interaction systems by Lagrangian approach. In the second chapter, developed computer program is introduced and modal analysis of a rigid fluid tank and fluid-structure interaction system. The systems are modelled by finite element method to verify the developed program. In addition to, the finite element model of the dam-reservoir-foundation system and earthquake ground motion which was chosen is given in this section. In third chapter, the mean of maximum response values and variances obtained from the stochastic analysis of dam-reservoir-foundation system to spatially varying ground motion are discussed in detail. The conclusions of the research and recommendations for the future works are given in the fourth chapter.

As a result, it is focused that spatially varying earthquake ground motion should be taken into account in the stochastic dynamic analysis of dam-reservoir-foundation systems.

Key Words: Lagrangian Approach, Finite Element Method, Dam-Reservoir-Foundation Interaction System, Spatially Varying Earthquake Ground Motion, Stochastic Dynamic Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı sonlu eleman	26
Şekil 2. Bir boyutlu 3 düğüm noktalı sıvı yüzey elemanı.....	26
Şekil 3. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı	45
Şekil 4. 1971 San Fernando depremi ivme kaydına ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu	45
Şekil 5. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu	47
Şekil 6. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu	47
Şekil 7. Harichandran ve Vanmarcke (1986) modeli (Model 1) tutarsızlık etkisinin açısıl frekansa bağlı olarak değişimi.....	49
Şekil 8. Luco ve Wong (1986) modeli (Model 2a) tutarsızlık etkisinin açısıl frekansa bağlı olarak değişimi	49
Şekil 9. Luco ve Wong (1986) modeli (Model 2b) tutarsızlık etkisinin açısıl frekansa bağlı olarak değişimi.....	50
Şekil 10. Zemin etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi.....	51
Şekil 11. Test için kullanılan sıvı tankı	54
Şekil 12. Test için kullanılan sıvı tankına ait iki boyutlu 9 düğüm noktalı sonlu eleman modeli	54
Şekil 13. Sıvı-yapı etkileşim sistemi sonlu eleman modeli	56
Şekil 14. Sarıyar Barajının fotoğrafı ve enkesiti.....	58
Şekil 15. Baraj-rezervuar-zemin etkileşim sisteminin sonlu eleman modeli.....	59
Şekil 16. Kret noktası yatay yerdeğiştirmesinin mod sayısı ile değişimi	60
Şekil 17. Dalga yayılma etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli	61

Şekil 18.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yerdeğiştirmeler	64
Şekil 19.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yerdeğiştirmeler	64
Şekil 20.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler	64
Şekil 21.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	65
Şekil 22.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	65
Şekil 23.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	65
Şekil 24.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	66
Şekil 25.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler	66
Şekil 26.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	66
Şekil 27.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	67
Şekil 28.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	67
Şekil 29.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	67
Şekil 30.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar	68
Şekil 31.	Dalga yayılma etkisi için barajın Memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar	68
Şekil 32.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	68
Şekil 33.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	69
Şekil 34.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	69

Şekil 35.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	69
Şekil 36.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	70
Şekil 37.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler	70
Şekil 38.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	70
Şekil 39.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	71
Şekil 40.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	71
Şekil 41.	Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	71
Şekil 42.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)	73
Şekil 43.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s).....	73
Şekil 44.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s).....	74
Şekil 45.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s).....	74
Şekil 46.	Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)	74
Şekil 47.	Farklı tutarsızlık modellerine maruz baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli	75
Şekil 48.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeler	77
Şekil 49.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay yerdeğiştirmeler	78
Şekil 50.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay yerdeğiştirmeler	78
Şekil 51.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	78

Şekil 52.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	79
Şekil 53.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	79
Şekil 54.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	79
Şekil 55.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler.....	80
Şekil 56.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler	80
Şekil 57.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	80
Şekil 58.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	81
Şekil 59.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	81
Şekil 60.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar	81
Şekil 61.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar	82
Şekil 62.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	82
Şekil 63.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	82
Şekil 64.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	83
Şekil 65.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	83
Şekil 66.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	83
Şekil 67.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler.....	84
Şekil 68.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler	84

Şekil 69.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	84
Şekil 70.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	85
Şekil 71.	Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	85
Şekil 72.	Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	87
Şekil 73.	Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	87
Şekil 74.	Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	87
Şekil 75.	Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilmesi bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	88
Şekil 76.	Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	88
Şekil 77.	Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli	89
Şekil 78.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yerdeğiştirmeler.....	92
Şekil 79.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yerdeğiştirmeler.....	93
Şekil 80.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler.....	93
Şekil 81.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler.....	93
Şekil 82.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler.....	94
Şekil 83.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler.....	94

Şekil 84.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler	94
Şekil 85.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler	95
Şekil 86.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	95
Şekil 87.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	95
Şekil 88.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	96
Şekil 89.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri.....	96
Şekil 90.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar	96
Şekil 91.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar	97
Şekil 92.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	97
Şekil 93.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1)	98
Şekil 94.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1)	99
Şekil 95.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1)	99
Şekil 96.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1)	99
Şekil 97.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	100
Şekil 98.	Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler.....	102

Şekil 99. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler.....	102
Şekil 100. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	102
Şekil 101. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri.....	103
Şekil 102. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	103
Şekil 103. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmelerin normalleştirilmiş varyansları.....	103
Şekil 104. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları.....	104
Şekil 105. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları.....	104
Şekil 106. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmelerinin normalleştirilmiş varyansları.....	104
Şekil 107. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçların normalleştirilmiş varyansları.....	105
Şekil 108. $t=1s$ 'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam yerdeğiştirmeler.....	105
Şekil 109. $t=1s$ 'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam yatay gerilmeler.....	105
Şekil 110. $t=1s$ 'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam düşey gerilmeler.....	106
Şekil 111. $t=1s$ 'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam kayma gerilmeleri.....	106
Şekil 112. $t=1s$ 'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam hidrodinamik basınçlar.....	106
Şekil 113. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan davranış için toplam yerdeğiştirme varyans bileşenleri	107
Şekil 114. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan davranış için toplam yatay gerilme varyans bileşenleri.....	107
Şekil 115. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan davranış için toplam düşey gerilmelerin varyans bileşenleri.....	107

Şekil 116. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyonere olmayan davranış için toplam kayma gerilmeleri varyans bileşenleri	108
Şekil 117. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyonere olmayan davranış için toplam hidrodinamik basınç varyans bileşenleri.....	108
Şekil 118. Homojen ve homojen olmayan zemin ortamında yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli.....	109
Şekil 119. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeler	111
Şekil 120. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay yerdeğiştirmeler	112
Şekil 121. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay yerdeğiştirmeler	112
Şekil 122. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	112
Şekil 123. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	113
Şekil 124. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	113
Şekil 125. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	113
Şekil 126. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler.....	114
Şekil 127. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler	114
Şekil 128. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	114
Şekil 129. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	115
Şekil 130. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	115
Şekil 131. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar	115
Şekil 132. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar	116

Şekil 133. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	116
Şekil 134. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	116
Şekil 135. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	117
Şekil 136. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	117
Şekil 137. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	117
Şekil 138. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler	118
Şekil 139. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	118
Şekil 140. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	118
Şekil 141. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	119
Şekil 142. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	119
Şekil 143. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	120
Şekil 144. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	121
Şekil 145. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	121
Şekil 146. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	121
Şekil 147. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	122

Şekil 148. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	122
Şekil 149. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	122
Şekil 150. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	123
Şekil 151. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	123
Şekil 152. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	123
Şekil 153. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay yerdeğıştirmeler	125
Şekil 154. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay yerdeğıştirmeler	125
Şekil 155. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay yerdeğıştirmeler	126
Şekil 156. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	126
Şekil 157. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	126
Şekil 158. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	127
Şekil 159. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	127
Şekil 160. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler.....	127
Şekil 161. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler	128
Şekil 162. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	128

Şekil 163. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	128
Şekil 164. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	129
Şekil 165. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar	129
Şekil 166. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar	129
Şekil 167. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	130
Şekil 168. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	130
Şekil 169. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	130
Şekil 170. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	131
Şekil 171. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	131
Şekil 172. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler	131
Şekil 173. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	132
Şekil 174. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	132
Şekil 175. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	132
Şekil 176. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	133
Şekil 177. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları.....	134
Şekil 178. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları.....	135
Şekil 179. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s).....	135

Şekil 180. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	135
Şekil 181. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları	136
Şekil 182. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları	136
Şekil 183. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s).....	136
Şekil 184. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	137
Şekil 185. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları	137
Şekil 186. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları	137
Şekil 187. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s).....	138
Şekil 188. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1).....	138
Şekil 189. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları	138
Şekil 190. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları	139
Şekil 191. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s).....	139
Şekil 192. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	139
Şekil 193. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları.....	140
Şekil 194. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları.....	140
Şekil 195. Dalga yayılma etkisi için için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)	140

Şekil 196. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1).....	141
Şekil 197. Homojen olmayan zemin ortamında değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli	142
Şekil 198. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yerdeğiştirmeler	143
Şekil 199. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yerdeğiştirmeler	144
Şekil 200. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler	144
Şekil 201. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler	144
Şekil 202. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler	145
Şekil 203. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	145
Şekil 204. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler.....	145
Şekil 205. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler	146
Şekil 206. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	146
Şekil 207. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri	146
Şekil 208. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri	147
Şekil 209. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	147
Şekil 210. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar	147
Şekil 211. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar	148
Şekil 212. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	148

Şekil 213. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s).....	150
Şekil 214. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s).....	150
Şekil 215. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s).....	150
Şekil 216. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)	151
Şekil 217. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s).....	151
Şekil 218. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)	151
Şekil 219. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s).....	152
Şekil 220. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)	152
Şekil 221. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s)	152
Şekil 222. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s).....	153
Şekil 223. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler	154
Şekil 224. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler	154
Şekil 225. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler.....	154
Şekil 226. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri	155
Şekil 227. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar	155
Şekil 228. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmelerin normalleştirilmiş varyansları.....	156
Şekil 229. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları.....	157

Şekil 230. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları	157
Şekil 231. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmelerinin normalleştirilmiş varyansları.....	157
Şekil 232. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçların normalleştirilmiş varyansları	158
Şekil 233. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan toplam yerdeğiştirme varyans bileşenleri.....	158
Şekil 234. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan toplam yatay gerilme varyans bileşenleri.....	158
Şekil 235. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan toplam düşey gerilmelerin varyans bileşenleri	159
Şekil 236. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan toplam kayma gerilmeleri varyans bileşenleri.....	159
Şekil 237. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan toplam hidrodinamik basınç varyans bileşenleri	159

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. İki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı sonlu eleman için şekil fonksiyonları.....	27
Tablo 2. 3 düğüm noktalı bir boyutlu yüzey elemanı şekil fonksiyonları.....	27
Tablo 3. 9 düğüm noktalı eleman tipleri için normal ve indirgenmiş integrasyon dereceleri (Bathe, 1996).....	30
Tablo 4. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri (Der Kiureghian ve Neuenhofer, 1991)	44
Tablo 5. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan Φ değerleri.....	46
Tablo 6. Çeşitli zemin türleri için S_0 değerleri.....	46
Tablo 7. Zemin etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi	52
Tablo 8. Sıvı tankının frekansları.....	55
Tablo 9. Sıvı-yapı etkileşim sisteminin modal analizinden elde edilen frekanslar	57
Tablo 10. Baraj-rezervuar-zemin etkileşim sisteminin modal analizinden elde edilen frekanslar.....	60

SEMBOLLER DİZİNİ

BZSD	Bilinen Zemin Serbestlik Dereceleri
DSD	Diğer Serbestlik Dereceleri
g	Yerçekimi ivmesi
n	Serbestlik derecesi sayısı
p	Yer hareket ivmesinin maksimum büyüklük faktörü
q	Sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
Re	Gerçel kısım
T	Sıvı sisteminin kinetik enerjisi
t	Zaman
w	Sıvının düzleme dik doğrultudaki dönmesi
x	Rastgele değişken
$[A]$	Zahiri-statik davranış kuvvetleri ile ilgili matris
$[C]$	Sönüm matrisi
$Cov(z^{qs}, z^d)$	Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans
$[C_f]$	Sıvı sisteminin elastisite matrisi
$[C_{rr}]$	Dinamik serbestlik dereceleri ile ilgili sönüm matrisi
$\{e_f\}$	Sıvı sisteminin şekil değiştirme vektörü
$\{F\}$	Dış kuvvet vektörü
$\{F_{eff}\}$	Dinamik Serbestlik Derecelerini etkileyen etkili kuvvet vektörü
$\{F_f\}$	Sıvı sistemin zamana bağlı dış yük vektörü
$H_j(\omega)$	j . mod için frekans davranış fonksiyonu
$H_j(\omega, t)$	j . mod için zamana bağlı frekans davranış fonksiyonu
$[K]$	Rijitlik matrisi
$[K_f]$	Sıvı sistemin rijitlik matrisi
$[K_f^*]$	Serbest yüzey rijitliklerini içeren sıvı sistemi rijitlik matrisi

$[K_{rr}]$	Dinamik serbestlik dereceleri ile ilgili rijitlik matrisi
$[M]$	Kütle matrisi
$[M_f]$	Sıvı sistemin kütle matrisi
$[M_{rr}]$	Dinamik serbestlik dereceleri ile ilgili kütle matrisi
$[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$, $[K_{rg}]$	BZSD'nin birim hareketinden dolayı DSD'de meydana gelen etkiler matrisi
$[M_{gg}]$, $[C_{gg}]$, $[K_{gg}]$	BZSD'nin birim hareketinden dolayı BZSD'de meydana gelen etkiler matrisi
P_f	Sıvı basıncı
P_w	Rotasyonel gerilme
$\{P_i(t)\}$	Ortak sistemin i. genelleştirilmiş kuvvet vektörü
Q_{fi}	Sıvı sistemin i. genelleştirilmiş kuvveti
q_{fi}	Sıvı sistemin i. genelleştirilmiş koordinatı
$\{r\}$	Zemin yerdeğiştirmelerinin Şekil vektörü
$[R_{rg}]$	r vektörlerinin oluşturduğu matris
$[R_z(\tau)]$	z(t) tepki işleminin özilişki fonksiyonu
$[R_z^{qs}(\tau)]$	z(t) tepki işleminin zahiri-statik bileşeninin özilişki fonksiyonu
$[R_z^d(\tau)]$	z(t) tepki işleminin dinamik bileşeninin özilişki fonksiyonu
$[R_z^{qs d}(\tau)]$	z(t) davranışının zahiri-statik ve dinamik bileşeninin çapraz ilişki fonksiyonu
$S_{ij}(\omega)$	i ve j noktalarındaki yerdeğiştirmelere ait karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu
S_0	Spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değerı
$[S_f]$	Sıvı elemanın serbest yüzey rijitlik matrisi
$S_{\ddot{v}_g}(\omega)$	Yer hareket ivmesinin spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gm}}(\omega)$	l ve m' deki yer hareket ivmelerinin çapraz spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z(\omega)]$	z(t) davranışının spektral yoğunluk fonksiyonu

$[S_z^{qs}(\omega)]$	z(t) davranışının zahiri-statik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^d(\omega)]$	z(t) davranışının dinamik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{qs d}(\omega)]$	z(t) davranışının zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu
v_{fy}	y doğrultusundaki sıvı yerdeğiştirmesi
v_{fs}	Sıvı serbest yüzeyi düşey yerdeğiştirmesi
v_{fz}	z doğrultusundaki sıvı yerdeğiştirmesi
$\{v_f\}$	Sıvı sisteminin düğüm noktası yerdeğiştirme vektörü
\dot{v}_{fy}	y doğrultusundaki sıvı hız bileşeni
\dot{v}_{fz}	z doğrultusundaki sıvı hız bileşeni
$\{\dot{v}_f\}$	Sıvı sistemin düğüm noktası hız vektörü
$\{\ddot{v}_f\}$	Sıvı sistemin düğüm noktası ivme vektörü
$\{v\}$	Toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}\}$	Toplam hız vektörü
$\{\ddot{v}\}$	Toplam ivme vektörü
v_{app}	Görünen dalga yayılma hızı
$\{v_{dg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_{dg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{\ddot{v}_{dg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{v_{dr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_{dr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{\ddot{v}_{dr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{v_g\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_g\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
$\{\ddot{v}_g\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{v_r\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_r\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü

$\{\ddot{\mathbf{v}}_r\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_{sg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_{sg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_{sg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_{sr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_{sr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_{sr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
ω	Dairesel doğal açısal frekans
ω_f	Filtreye ait doğal açısal frekans
ω_g	Zemine ait doğal açısal frekans
$\{\mathbf{Y}\}$	Modal koordinat vektörü
$z(t)$	Yapı davranışı
$z^{qs}(t)$	$z(t)$ davranışının zahiri-statik bileşeni
$z^d(t)$	$z(t)$ davranışının dinamik bileşeni
α	Kısıtlama parametresi
β	Sıvının hacimsel elstisite modülü
$[\Gamma]$	Modal katkı faktörü
$\{\Phi\}$	Modal vektör
$\gamma_{lm}(\omega)$	Tutarlılık fonksiyonu
δ	Tepkinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunun dağılımını ölçen parametre
ε_v	Hacimsel şekil değiştirme
ξ	Sönüm oranı
ξ_f	Filtreye ait sönüm oranı
ξ_g	Zemine ait sönüm oranı
μ	Ortalama maksimum değer
ν_e	Sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısı
ν_0	Oluşma frekansı
π_e	Toplam şekil değiştirme enerjisi

π_s	Yüzey potansiyel enerjisi
π_t	Toplam potansiyel enerji
ρ_f	Sıvının kütle yoğunluğu
σ	Ortalama maksimum değerin standart sapması
σ_z	$z(t)$ işleminin standart sapması
$\sigma_{\dot{z}}$	$z(t)$ işleminin türevinin standart sapması
σ_z^2	$z(t)$ davranışının varyansı
σ_z^{2qs}	$z(t)$ davranışının zahiri-statik bileşeninin varyansı
σ_z^{2d}	$z(t)$ davranışının dinamik bileşeninin varyansı
$\{\sigma_f\}$	Sıvının gerilme vektörü
τ	Zaman artımı
$\{\Psi\}$	Özvektörlerin neden olduğu eleman kuvvetleri
*	Kompleks eşlenik

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Su, insanlık tarihi boyunca en temel gereksinim olmuştur. Nüfusun artmasıyla birlikte ihtiyaçların da artması, insanoğlunu hayatın devamı için gerekli olan su ile ilgili farklı arayışlara itmiştir. Bu arayışta, suyun fazla olduğu dönemde depolanarak az olduğu dönemde kullanmak, enerjisinden faydalanmak ve taşkın gibi suyun meydana getirdiği doğal afetlerde zararı en az düzeye indirmek için baraj yapılarının inşası fikri ortaya çıkmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda dünyada ve ülkemizde birçok baraj inşa edilmiş ve halen inşa edilmektedir.

Barajların sismik değerlendirilmeleri; deprem tasarım kriterlerinin belirlenmesi, tasarım depreminin geliştirilmesi ve deprem anındaki yer hareketinin karakterize edilmesi, analiz yönteminin belirlenmesi, yapısal modelin geliştirilmesi, yapının depreme karşı vereceği tepkinin tahmin edilmesi, sonuçların derlenmesi ve yorumlanması aşamalarından meydana gelmektedir. Böylelikle barajların sismik analizinde iki temel problemin dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, olması beklenen deprem hareketinin tanımlanması, ikincisi ise bu verilere göre barajın davranışının tahmin edilmesidir. Barajın davranışının belirlenmesi için deterministik ve stokastik olmak üzere iki temel yaklaşım vardır.

Bir yapının önceden belirlenmiş bir yüke göre analizi, deterministik analiz olarak adlandırılır. Deterministik analizde, problemlerin tüm dinamik parametrelerinin, başlangıç koşullarının ve zorlayıcı etkilerin tamamen bilindiği kabul edilir. Belirsizliklerin az olduğu ya da problemin esasını oluşturmadığı durumlarda, deterministik analiz yapılabilir.

Eğer yük önceden tamamen belirlenemiyor fakat istatistiksel olarak ifade edilebiliyorsa bu yüke rasgele yük adı verilir. Rasgele yüklerin dikkate alındığı analizler, stokastik analiz olarak ifade edilir. Belirsizlikler, yapının kendi özelliklerinden (yapıyı oluşturan malzemenin dayanımı ile proje aşamasında kabul edilen malzemenin dayanımı arasındaki farklılıklar) ve yapının maruz kalacağı olası dinamik yükten kaynaklanan belirsizlikler olmak üzere iki şekilde tanımlanabilmektedir.

Yapılara etkiyen dinamik yükler üniform ve üniform olmayan yükler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Üniform yer hareketi durumunda, dalgalar sonsuz hızla yayılmakta ve özelliklerinde bir değişim olmadan mesnet noktalarına varmaktadırlar. Oysa yer kabuğunun karmaşık yapısı nedeniyle yapı sistemlerinin dinamik analizinde kullanılacak yer hareketi, kabul edildiği gibi üniform olmamaktadır. Yer hareketi modelinde, dalga yayılma etkisinin yanında tutarsızlık ve zemin etkisi de dikkate alınmalıdır. Bu etkileri içeren yer hareketi, üniform olmayan veya değişerek yayılan yer hareketi olarak adlandırılmaktadır.

Değişerek yayılan yer hareketinin yapı sistemlerinin dinamik davranışları üzerindeki etkisi, yapı-zemin etkileşim yüzeyine bağlıdır. Bina gibi temel uzunluğu kısa olan yapılarda bu durum çok önemli olmayıp baraj, köprü vb. uzun açıklıklı yapılarda değişerek yayılan yer hareketi etkisinin dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

1.2. Baraj-Rezervuar-Zemin Etkileşim Sistemi ile İlgili Çalışmalar

Baraj-rezervuar etkileşim problemleri ile ilgili çalışmalar, 1933 yılında Westergard'ın (1933) katı ile hareket eden sıvının davranışının bir parabolle belirlenmesini önermesi ile başlamıştır. Westergaard'ın bu çalışmasında, barajın rijit, sonsuz uzun ve düşey memba yüzeyli olduğu; rezervuarın memba doğrultusunda sonsuza uzandığı, suyun lineer sıkışabilir olduğu ve sıvı yüzey dalgalarının oluşmadığı kabulleri yapılmaktadır. Birçok araştırmacı barajın rezervuarı ile birlikte davranışını tespit edebilmek için, barajın memba yüzeyine hidrodinamik basınçları yansıtacak ek kütleler ilave etmek suretiyle deterministik bir yöntem olan bu kütle ilavesi yaklaşımı ile baraj davranışını incelemiştirlerdir. (Priscu vd., 1985; Bayraktar, 1991; Mays ve Roehm, 1991; Singhal, 1991; Calayır ve Dumanoglu, 1993a).

1.2.1. Deterministik Dinamik Analiz ile İlgili Çalışmalar

Barajlar konusunda üniform ve üniform olmayan yer hareketi dikkate alınarak deterministik yaklaşımla yapılmış çalışmalar bu kısımda sunulmaktadır.

1.2.1.1. Üniform Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Zangar (1952; 1953), dolgu barajlarla ilgili yaptığı çalışmalarda hidrodinamik etkilerin özellikle dik şevli barajlarda dikkate alınması gerektiğini vurgulamış, yatık şevli dolgu barajlarda önemli olmadığını ifade etmiştir.

Scott ve Abdel-Ghaffar (1978), yer hareketinin dolgu barajlar üzerindeki etkisini gözleyebilmek için, sarsma tablası ile zorlanmış titreşim etkisinde deneysel çalışma yapmışlardır. Bu deneysel çalışmada, barajın mod şekilleri ve davranışı belirlenmiştir.

Leger ve Boughoufalah (1989), baraj-temel sistemlerinin lineer olmayan davranışlarını belirleyebilmek için dört farklı temel sistemi üzerinde çalışmışlardır. Bunlar standart rijit temel, kütsüz temel, indirgenmiş temel kayası modeli, serbest alan baraj-temel etkileşim yüzeyi modelidir. Bu analizlerde temel ve beton arasındaki elastisite modülü ile temelin sönüm oranı sabit tutulmuştur. Çalışmalar sonucunda standart rijit temelin kabul edilemez önemli büyütme gerektirmesi sebebiyle kullanılamaz olduğu, indirgenmiş ve serbest alan temel modellerinin ise uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Kütsüz temel modeli, indirgenmiş ve serbest alan temel modeli kadar kesin sonuçlar vermese de temel karakteristikleri iyi tanımlanıp matematik modeli iyi belirlenirse pratikte uygulanabilir sonuçlar verebileceği belirtilmiştir.

Bougacha ve Tassoulas (1991a; 1991b), beton ağırlık barajların dinamik analizinde rezervuar tabanındaki sürüntü malzemesini göz önünde bulunduran sonlu eleman tekniği geliştirmişlerdir. Sürüntü malzemesi iki farklı ortam olarak modellenmiştir. Sonuçlarda, tamamıyla doymuş sürüntü malzemesinin barajda oluşan maksimum ivmeyi ve hidrodinamik kuvveti önemli derecede azalttığı gözlenmiştir.

Calayır (1994), üniform yer hareketini dikkate alarak baraj-rezervuar-temel sisteminin dinamik davranışını incelemiştir. Çalışma sonucunda rezervuar ve temelin dikkate alınmasıyla barajın davranışının önemli derecede etkilendiği görülmüştür.

Galli vd. (1994), beton ağırlık barajların lineer olmayan sismik davranışını modellemek için ayrık çatlak yaklaşımını kullanmışlardır. Ayrık çatlak yaklaşımında, mikro çatlaklık, betonun şekil değiştirme-yumuşama davranışı ve agrega kenetlenmesi dikkate alınmıştır. Rezervuar iki bölgeye ayrılarak analizlere dahil edilmiştir. Birinci bölge, yakın bölge olarak adlandırılıp sınır elemanlar ile modellenmiş, uzak bölge olarak adlandırılan ikinci bölge ise, sabit derinlikli yarı sonsuz kanal şeklinde tanımlanarak yakın bölgenin memba sınırlarına eklenmiştir. Baraj-zemin etkileşim sisteminde temelin rijit

olduğu kabul edilmiştir. Kullanılan sonlu eleman modelinde kaba bir ağın çatlakların oluşumunun incelemesinde uygun olmadığı belirtilmiştir.

Calayır vd. (1996), çalışmalarında Euler ve Lagrange yöntemlerini kullanarak rezervuarlarıyla birlikte beton ağırlık barajların dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Öncelikle modal davranış üzerinde sıvının sıkışabilirliğinin değişiminin etkileri araştırılmıştır. Parametrik çalışmalarda sıvının hacimsel elastisite modülünün değerinin artması üzerinde yoğunlaşmış ve farklı değerlerle elde edilen sonuçlar, sıvının sıkıştırılmayacağı esasına dayanan Euler yöntemiyle belirlenen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Guan ve Moore (1997), çok tabakalı zemin üzerine oturan dolgu barajların dinamik analizini, frekans tanım alanında yapmak için hibrit sayısal yöntemi önermişlerdir. Rezervuardaki sıvının viskoz olduğu kabul edilmiştir. Rezervuardan baraja etkileyen yükler barajın memba yüzüne kütle ilavesi yaklaşımı ile frekans tanım alanında eklenerek, temel tabakaları arasındaki etkileşim direnci için geçiş elemanları kullanılmış ve baraj yapısı sonlu elemanlar ile modellenmiştir. Ara yüzey fonksiyonu, iç kuvvetler dengesini ve iç yüzeylerdeki düğüm noktalarının yer değiştirmesi arasındaki uyumu korumak için etkileşim fonksiyonu kullanılarak tanımlanmıştır. 1940 El-Centro depreminin S90W bileşeni kullanılarak baraj-rezervuar ve baraj-temel etkileşim problemi incelenmiş ve sayısal işlemlerde deprem hareketinin yatay ve düşey bileşenleri dikkate alınarak rezervuarın tam dolu ve boş olması durumları için spektral davranışları belirlenmiştir.

Hatami (1997), barajın deprem etkisindeki analizinde rezervuarın tabanındaki emme etkisini göstermek için bir model sunmuştur. Dalga yansıma katsayısı yaklaşımına dayalı bu model, yarı sonsuz elastik bir zemin üzerinde sabit kalınlıktaki viskolelastik malzemedan oluşan sediment tabakasında dalga denkleminin çözümüne dayanmaktadır.

Aviles ve Li (1998), suyun sıkışabilirlik etkisi ve viskozitesini dikkate alarak rijit barajların düşey olmayan memba yüzündeki hidrodinamik basınçlar için analitik-sayısal çözüm geliştirmişlerdir.

Ghaemian ve Ghobarah (1998), çalışmalarında baraj davranışını yerdeğiştirmeler, rezervuar davranışını basınçlar cinsinden dikkate alabilecek bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen bu yöntemin sonuçları, beton ağırlık barajların var olan sonlu eleman yöntemi çözümleri ile karşılaştırıldığında daha kesin sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Hamdan (1999), çalışmasında hareketin kinematik olarak tanımlanmasında Lagrange yaklaşımını esas alarak, sıvının sonlu eleman denklemi ve teorisini birlikte

sunmuştur. Sıvı-yapı etkileşim sisteminin analizi için 3 boyutlu sonlu elemanlar ve 2 boyutlu simetrik olmayan elemanlar kullanılmıştır. Sıvı-yapı etkileşim yüzeyinde yapıya sıvının sızmasını önleyecek ve kaymaya karşı sınır şartlarını modelleyecek uygun rijitlikler kullanılarak sınır şartları elde edilmiştir. Elde edilen denklemler ASA_NL adlı genel amaçlı bilgisayar programına ilave edilmiştir. Dalgaların yayılmasında ve sıvı-yapı etkileşim problemlerinde test edilerek geçerliliği kanıtlanmıştır. Ayrıca, sıvı tanklarına ve baraj-rezervuar sistemlerine uygulanması gösterilmiştir.

Ohmachi ve Jalali (1999), çalışmalarında kemer barajların lineer tepkisinde düşey yer hareketi ve yakın noktaların yönlendirme etkilerini incelemişlerdir. Araştırılan yönlendirmede, barajın memba ve mansap yüzündeki bütün elemanlarda gerilme değişiklikleri incelenmiş, membada akışın tersine düşey yer hareketi kayıtları dikkate alındığında özel köşe noktalarındaki gerilmelerde ciddi artış ve eksilişler tespit edilmiştir. Ayrıca, gerilme açısından önemli olan en kritik açı bulunmuştur.

Yazdchi vd. (1999a; 1999b), çalışmalarında beton ağırlık barajların sismik davranışını sürekli hasar mekaniği kavramı ve hibrit FE-BE yöntemini kullanarak belirlemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemi yakın alanların modellenmesinde, sınır elemanlar yöntemi ise kısmi sonsuz uzak alanların modellenmesinde kullanılarak, hesaplamalar farklı temel rijitlikleri için yapılmış ve barajın sismik analizinde temelin önemi vurgulanmıştır.

Ghaemian ve Ghobarah (1999), baraj-rezervuar etkileşiminin etkisini dikkate alarak beton ağırlık barajların lineer olmayan sismik hasar davranışını gösteren bir çalışma hazırlamışlardır. Analizlerde, yayılı çatlak analiz modeli kullanılmıştır. Baraj-rezervuar etkileşim modeli üzerinde analiz sonuçlarıyla belirlenen çatlakların, 1990 Manjil (İran) depreminde barajda oluşan hasara paralel olan sonuçlar olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda baraj-rezervuar etkileşiminin uygun modellenmesinin önemi vurgulanmıştır.

Zhang vd. (1999), zaman tanım alanında baraj-temel modeli örnek gösterilerek zemin-yapı etkileşiminin dinamik analizi için yeni bir sayısal yöntem hazırlamışlardır. Bu yöntemde zemin lineer elastik kabul edilerek sınır-sonlu eleman yöntemi ile modellenmiştir. Yapı, 8 ile 21 düğüm noktalı 3 boyutlu izoparametrik eğrisel elemanlarla temsil edilmiştir. Bu amaçla bir program geliştirilmiş ve sismik dalgalar (P, S ve yüzey dalgaları) ile dışarıdan uygulanan yükler hesaplara ilave edilmiştir. Yapılan sayısal çalışmalar sonucunda, önerilen yöntemin deprem mühendisliğinde düşük frekanslar içeren problemler için son derece uygun olduğu belirtilmiştir.

Zhao vd. (2000), beton ağırlık barajların sismik davranışını belirlemede rezervuardaki sediment etkisini dikkate alarak sonlu ve sonsuz eleman çifti ile uygulama yapmışlardır. Çalışma sonucunda, sonlu ve sonsuz eleman çiftlerinin bu tür uygulamalar için uygun olduğu, rezervuardaki sediment etkisinin barajın sismik davranışı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sediment etkisinin SV düşey dalgaları için önemsiz olabileceği, ancak P düşey dalgaları için tehlikeli olacağı vurgulanmıştır.

Nasserzare vd. (2000), kemer barajların doğal modlarını ve doğal frekanslarını belirleyebilmek için bir yöntem geliştirmişler ve rezervuarın tam dolu olduğu kabul edilerek baraj üzerindeki hidrodinamik etkiler incelenmiştir. Baraj-rezervuar etkileşiminde, baraj konsol giriş gibi kabul edilmiş, rezervuar iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısım baraja yakın alan, ikinci kısım ise uzak alan olarak sınır elemanlar ile temsil edilmiştir.

Ghanat vd. (2000), Çin'de bulunan Longyangxia barajı üzerinde baraj-rezervuar-zemin etkileşimini dikkate alan deneysel bir çalışma yapmışlardır. Baraj üzerine uygun yerlere yerleştirilen ivme ölçerlerden ve aletlerden mod şekilleri, frekanslar ve modal sönüm oranları belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda; rezervuardaki suyun barajda titreşim etkisi uyandırabilecek kapasitede olduğu, barajın dinamik karakteristiklerinin (mod şekli, frekans, modal sönüm oranı) bu şekilde deneylerle elde edilebileceği, akustik yankılama tekniği ile rezervuarın sınırlarındaki tepkilerin tespit edilebileceği, suyun düşük olduğu seviyelerde bile suyun sıkışabilirliği ve rezervuarın topoğrafyasının baraj için önemli olduğu vurgulanmış, ölçülen ve hesaplanan sonuçlar arasında iyi bir uyum sağlandığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, deprem hareketinin beklenildiği gibi üniform olmayan karakterinin de tespit edilebilmesi için çalışmanın geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Weber ve Bachmann (2000)'nin çalışmalarında kemer barajların deprem analizinde barajın rezervuar ve temel ile ilişkisinin ve etkileşim noktalarında lineer olmayan davranışların da dikkate alınmasının çok önemli olduğu vurgulanarak, etkileşim problemlerinde genellikle frekans alanında hesaplama yapıyorken bu tür lineer olmayan problemlerde zaman alanında çözüm yapılmasının zorunlu olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma için C++ bilgisayar dilinde, CODA isimli yeni bir program kodlanmıştır. Çalışma sonucunda, gerçekçi bir deprem analizi için etkileşim problemlerinin ve derzlerin lineer olmayan davranışlarının önemli olduğu ve programa bu etkilerin ilave edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Bejar ve Asce (2000), elastik zemine oturan beton ağırlık barajlar üzerinde, rezervuardaki suyun oluşturduğu kuvveti değerlendirmek amacıyla zaman tanım alanında deprem analizi yapmışlardır. Sıvı-yapı-zemin etkileşim sisteminin modellenmesinde rezervuarın, tabanda rijit bir yüzeye sahip olduğu kabulü ile suyun barajın memba yüzeyinde oluşturduğu hidrodinamik basıncın dalgaların yayılmasını engellediği için doğru temsil edilmediği belirtilmiştir. Bu durum dalga yayılımı katsayısı (α) ile ifade edilerek, yüksek frekanslı spektrum bölgesinde, bu katsayının sıfıra yaklaşması durumu rijit temel ($\alpha=1$) ile karşılaştırıldığında daha güçlü bir spektral davranış büyütmesine sebep olduğu, ancak genel sonuçlara ulaşabilmek için araştırmanın biraz daha genişletilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Guanglun vd. (2000), lineer olmayan çatlak bandı teorisine dayanan sayısal yöntemle beton ağırlık barajlarda oluşabilecek kırılma davranışını incelemiştir. Çalışmada baraj, betondaki çatlak bandı büyüklüğüne uygun sonlu elemanlarla ağlara bölünmüştür. 1967'de meydana gelen Koyna depremine ait ivme kayıtları kullanılarak baraj kesiti üzerinde oluşabilecek çatlaklar tahmin edilmiştir. Çalışmada çatlak bandının belirlenmesinde uygun sonlu eleman ağının tespitinin gerçek davranışı ne kadar yansıtılabileceği üzerinde durulmuştur.

Camara (2000)'nin çalışmasında, barajı sonlu elemanlar ile temel ve rezervuarı sınır elemanlar yöntemi ile modellemiştir. Vadi üniform olmayan bir kesit şeklinde 3 boyutlu olarak, aynı şekilde rezervuarda üniform olmayan kesit ve sonsuz olarak alınmıştır. Baraj ince kabuk eleman ile temsil edilerek üçgen elemanlar ile modellenmiştir. 1971 San Fernando depremi altında Pacoima Barajı'nın davranışı incelenmiş ve sonuçta, kemer barajların yüksek şiddetli depremlerde lineer olmayan bir davranış sergileyeceği kabulünün yapılabileceği belirtilmiştir.

Prolux vd. (2001), tarafından yapıların titreşim özelliklerini değerlendirmek için en güvenilir yöntem olarak bilinen tam ölçekli dinamik testler ile baraj-rezervuar-temel sistemlerinde oluşan karışık etkileşim olaylarının dikkate alınarak geliştirildiği yeni analiz teknikleri ortaya koyulmaktadır. İsviçre'de 180m yüksekliğinde Emosson kemer barajının dinamik tepkisinde su seviyesindeki değişimin etkilerinin deneysel olarak değerlendirilerek tekrarlanan titreşim testleri, yıl boyunca rezervuarda oluşan 4 farklı durum için yapılmıştır. Baraj yatay yönde harmonik yüklemeye maruzken, farklı bölgelerde ivme ve hidrodinamik basınç frekansları elde edilerek, rezervuarın seviyesine bağlı olarak rezonans frekanslarının

değişimi araştırılmıştır. Ayrıca, baraj-rezervuar-temel sisteminin 3 boyutlu sonlu eleman yöntemi ile sayısal çözümlemesi de yapılmıştır.

Paultre vd. (2002), tarafından Kanada'nın kuzey doğusunda Quebec'te yer alan 84m yüksekliğinde bir beton ağırlık baraj üzerinde aşırı zorlanmış titreşim testlerinin uygulanması sunulmuştur. Rezervuardaki buz etkisi dikkate alınarak baraj ve rezervuarın farklı noktalarından ivme ve hidrodinamik basınç değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlarla baraj-rezervuar-temel sisteminin dinamik davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Leclerc vd. (2003), çalışmalarında beton ağırlık barajların statik ve sismik stabiliteilerinin değerlendirilmesi için CADAM adlı bilgisayar programı geliştirmişlerdir. CADAM programı kiriş teoremini esas alarak rijit denge denklemleri ile çatlak uzunluğu, güvenlik faktörleri ve gerilme analizini öncelikle ağırlık barajların yapısal stabilitesini değerlendirmek için hazırlanmıştır. Ayrıca, programın stabilitenin araştırılması ve geliştirilmesinde de kullanılabileceği belirtilmiştir. Dünyada barajların güvenlik parametrelerini belirlemede çok sayıda modelleme yöntemleri olduğu ifade edilmiştir. Çatlakların başlangıcını ve ilerlemesini, depremden sonra alttan kaldırma basıncını, sismik ve statik analizlerde drenler ve çatlakların etkisini izin verilebilen gerilme ve sınır durumlarında Monte Carlo güvenlik değerlendirme yöntemleri kullanılarak belirlemişlerdir.

Lotfi (2003), Lagrange ve Euler yaklaşımı ile baraj-rezervuar etkileşimini incelemiştir. Çalışma sönüm etkileri ihmal edilerek MAP-76 programı ile hazırlanmıştır. Maksimum çekme ve basınç gerilmeleri dağılımlarının direkt analiz ve modal analizde benzerlik gösterdiği tespit edilerek, elde edilen gerilme değerlerinin modal yaklaşımda % 7-7.9 arasında daha düşük olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda önerilen modal yaklaşımın beton ağırlık barajların sismik analizinde etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Akköse vd. (2003)'nin çalışmalarında kemer barajların lineer ve lineer olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Baraja etkiyen hidrodinamik kuvvetler, Lagrange yaklaşımı ile belirlenerek sıvının sıkışabilir hareketini ve yüzey hareketlerini temsil eden elemanlar (8 düğüm noktalı Lagrange sıvı elemanı) yardımıyla NONSAP programına ilave edilmiştir. Çalışma sonunda sıvı-yapı etkileşiminin barajın tepkisi üzerindeki etkisi esnek ve rijit temeller kıyaslanarak tespit edilmiştir. Bu etkinin esnek temellerde daha büyük olduğu vurgulanmıştır.

Küçükarslan (2003), baraj-rezervuar etkileşimini rezervuarın tabanındaki etkileri de dikkate alarak zaman tanım alanında incelemiştir. Barajı oluşturan beton malzemesinin

elastik halini korumasına rağmen, suyun kavitasyonu ve derzlerin açılması gibi lineer olmayan durumların olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, depreme karşı gerçekçi bir analiz yapabilmek için yapının sıvı ile etkileşiminin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Bu anlamda rezervuardaki suyun yapıya etkittirilmesinin gelişimi verilmiştir. Lineer analiz için frekans tanım alanında hesap daha basitken, yapının lineer olmayan etkilerini belirlemek için zaman tanım alanında çalışmanın gerekli olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada deprem yer ivmesi etkisinde baraj-rezervuar etkileşiminde baraj sonlu eleman ile modellenirken, rezervuar için sınır eleman yöntemi kullanılarak uzak alanların temsilinde Sommerfeld'in sınır koşulları uygulanmıştır. Tabandaki emilim için sediment etkileri basit ve tek boyutlu elemanlar ile hesaplara dahil edilmiştir.

Pandey ve Chadha (2003), bilinen en uzun rezervuara sahip Koyna barajının 5 büyüklüğünden daha büyük depremlere maruz kalmakta olduğu belirtilerek, Kuzey Doğu-Güney Batı ve Kuzey Batı-Güney Doğu doğrultularında oluşan bu depremlerden dolayı, rezervuarda oluşan kuvvetlerin Koyna Barajı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Çetin ve Mengi (2003), rezervuardaki suyun ve dalgaların etkisini dikkate alarak yayılan dalga hareketi için sınır koşullarını geliştirmişlerdir. Sınır ve sonlu elemanlar analizi için uygun sıkışabilir viskoz olmayan sıvı tabakaları boyunca yatay yönde dalgaların yayılma etkisini dikkate almışlardır. Önerilen yaklaşımda yayılan dalgaların spektral özellikleri de dikkate alınmıştır. Formülasyon Fourier aralığında verilerek yüzey dalgaları hesaba katılmıştır.

Bouaanani vd. (2003), depremin etkin olduğu bölgelerde baraj-rezervuar etkileşim sisteminde rezervuarda oluşan hidrodinamik kuvvetlerin barajda meydana getirdiği etkileri incelemişlerdir. Bu çalışmada, ağırlık barajlarında depremden dolayı oluşan hidrodinamik kuvvetlerin güvenilir bir şekilde tespit edilebilmesi için kapalı form denklemleri geliştirilmiştir. Çalışmada baraj, rezervuar ve temel lineer bir davranış gösterdiği kabul edilerek 2 boyutlu modelleme yapılmıştır. Rezervuar düzenli dikdörtgen sınır elemanlarla temsil edilmiştir. Sıvının sıkıştırılabilir, viskoz olmayan, rotasyonsuz olduğu kabul edilerek, sınırlanmış küçük genişliklerde olduğu kabulü yapılmıştır. Yer hareketi yatay ve harmonik olarak dikkate alınmıştır.

Lotfi ve Espandar (2004)'ün çalışmalarında beton kemer barajların sismik analizi üzerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden ayrık çatlak (DC) modeli, ortogonal olmayan yayılı çatlak yaklaşımına (NOSC) ilave edilmiştir. DC-NOSC yöntemi geliştirilerek özel bir sonlu elemanlar modeli ortaya çıkarılarak DC-NOSC modelinin DC

ve NOSC ile karşılaştırıldığında daha tutarlı, özenli ve gerçekçi bir yaklaşım olduğu tespit edilmiştir.

Küçükarslan (2004a; 2004b), barajı sonlu eleman yöntemiyle, sonsuz olan rezervuar ve temeli ise sınır elemanlar yöntemiyle modelleyerek baraj-temel-rezervuar etkileşiminin dinamik analizini zaman tanım alanında incelemiştir. Denklemlere rezervuarın tabanındaki emilim etkisi de ilave edilmiştir. Sonsuz sıvı alanının uzak noktaları Sharan'ın sınır şartları ile temsil edilmiştir. Rijit ve elastik barajlar üzerinde yapılan sayısal örnekler sonucunda baraj ve rezervuarın modellenmesinde sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasından ziyade sonlu eleman yöntemi-sınır elemanlar yönteminin birlikte kullanılmasının daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Singh vd. (2005), 26 Ocak 2001'de Bhuj'de (Hindistan) meydana gelen 7.6 büyüklüğündeki depreme maruz kalan 6 adet dolgu barajın davranışlarını incelemiştir. Bu depremde yaşanan sıkıntıların çoğunun temelde doymuş alüvyon tabakada meydana gelen sıvılaşma olduğu belirtilmiştir. Analizlerde uygun drene edilmemiş zemin dayanım parametreleri tahmin edilerek, basit kayma bloğu yöntemi kullanılmıştır. Her bir baraj için tahmin edilen yerdeğiştirmeler ve ölçümle elde edilen yatay ve düşey yerdeğiştirmeler karşılaştırılmıştır.

Küçükarslan vd. (2005), rezervuarın tabanındaki etkileri de içerecek şekilde baraj-rezervuar etkileşiminin deprem yükü etkisindeki davranışını incelemiştir. Rezervuarın uzak noktaları Sommerfeld'in sınır koşulları ile temsil edilmiştir. Sayısal uygulama sonucunda rezervuarın tabanındaki sedimentin etkisi hidrodinamik basınç ve yerdeğiştirme değerleri ile açıklanmıştır.

Calayır ve Karaton (2005a; 2005b), çalışmalarında beton ağırlık barajların deprem davranışını, baraj-rezervuar etkileşim etkilerini dikkate alarak araştırmışlardır. Dinamik hareket denge denklemlerini HHT- α zaman integrasyon algoritmasını geliştirerek çözmüşlerdir. 1967 Koyna depremi kayıtları kullanılarak iki boyutlu Koyna Barajı üzerinde analiz yapılmıştır. Westergard ve Lagrange yaklaşımları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmalar yapılırken baraj-rezervuar etkileşiminin lineer ve lineer olmayan analizi için Fortran90 dilinde program hazırlanmıştır. Analiz sonucunda eğimin değiştiği yüzeylerde ve bu yüzeye yakın noktalarda, ayrıca temelde gerilme yığılımlarının olduğu kısımlarda çatlak oluşma meyili tespit edilmiştir. Ayrıca sönüm oranının barajda oluşabilecek çatlak hasarlarında, önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Mejia vd. (2005), sonlu farklar yöntemini kullanarak lineer olmayan dinamik analiz için dolgu barajların sismik tehlikelere karşı güçlendirilmeleri amacıyla yapılan hesaplamaları içeren bir çalışma hazırlamışlardır. Çalışma sonucunda baraj üzerinde depremde dolayı oluşabilecek deformasyonlar belirlenmiştir.

Javanmardi vd. (2005), çalışmalarında barajın alt yüzünde depremde dolayı oluşan çatlakları incelemiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlardan suyun depremde oluşan çatlaklardan girerek doygunluk uzunluğunu arttırdığı belirlenmiştir. Doymunluk mesafesi ve çatlak yollarında suyun kaldırma kuvveti çatlakın açılmasıyla azalmış ve kapanmasıyla artmıştır.

Li vd. (2005), çalışmalarında Çin'de inşa edilen dünyanın en geniş ve en çok su depolayan yapısı olan Three Gorges barajının 3 boyutlu modelini oluşturmuşlardır. Deneysel ve sayısal çalışma sonunda baraj bloğunun 7 büyüklüğündeki depreme karşı yüksek bir dayanıma sahip olduğu ve sismik tasarımda gerekli olan kriterler açısından memnuniyet verici sonuçlar ortaya çıktığı belirtilmiştir. Çalışmada temel rijit, rezervuar boş kabul edilmiştir. Deneysel çalışma titreşim tablası üzerinde, sayısal çalışma ise sonlu eleman yöntemi ile yapılmıştır. Deneysel çalışma ile elde edilemeyen bazı sonuçlara sayısal işlemlerle ulaşılmıştır.

Gogoi ve Maity (2006), çalışmalarında beton ağırlık barajların sismik olarak dayanımının belirlenmesi açısından rezervuardan gelecek olan hidrodinamik basınçların gerçek bir şekilde belirlenmesinin önemli olduğunu belirterek, bu etkinin belirlenmesinin rezervuar etkilerini içeren sınır şartlarının, fiziksel karakteristiklerinin belirlenmesine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Rezervuardaki sediment malzemesinin de ayrıca barajın memba yüzeyindeki hidrodinamik basıncı etkilediğini ifade ederek, hesaplara bu durumu karakterize eden parametre yansıma katsayısı eklenmiştir. Yansıma katsayısının, sediment tabakasının kalınlığına, malzemenin özelliğine ve titreşim frekansına bağlı olduğu belirtilmiştir.

Bougacha ve Tassoulas (2006), bu çalışmalarında, baraj-rezervuar-sediment-temel kayasını dikkate alarak 2 boyutlu sonlu elemanlar modeli ile sismik titreşim analizi yapmışlardır. Su sıkışabilir, temel kayası viskoelastik katı olarak dikkate alınırken, sediment tabakası poroelastik ortamda Biot teorisine dayanan doymun gözenekli katı olarak modellenmiştir. Barajın yatay ve düşey yer hareketi karşısındaki hareketlerinin gösteriminde sedimentin porozitesi ve kalınlık etkileri gözönüne alınmıştır. Çalışma sonucunda tam doymun sediment tabakasının küçük bir etkisi olduğu görülmüştür. Kısmi

doğru sediment tabakası için, porozitedeki artış ile birlikte karakteristik frekanslarda azalma olduğu ifade edilmiştir.

Idelsohn vd. (2006), sıvı-yapı etkileşim sisteminde sıvının hareketini göstermek için elemanlara bölme işlemi yapmaksızın sonlu eleman yöntemine şekil fonksiyonları ilave edilmiştir. Geliştirilen yöntemin etkileşim sistemlerinde ve serbest yüzey problemlerinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Birk ve Ruge (2006), baraj-rezervuar etkileşim problemini rezervuarı kısmi sonsuz bir kanal şeklinde dikkate alarak modellemiştir ve zaman tanım alanında direkt çözüm yapmışlardır. Dalga yayılma yönünü de dikkate alan analitik çözümlerde yayılma sönümü kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılabilirliğini arttırmak için sıvı alanının kutupsal koordinatlarla tanımlanması ya da genel ölçekli sınır şartlarının tanımlanması gerektiği belirtilmiştir.

Parrinello ve Borino (2007), çalışmalarında Higdom tarafından önerilen çok düzenli asimptotik sınır şartlarını sonlu eleman yöntemi ile Lagrange sıvı elemanına ilave etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar iyi bilinen Sommerfeld şartları ile karşılaştırılmış ve memnuniyet verici sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Coşkun (2007), baraj rezervuar etkileşim sisteminin analizi için rezervuar alanını sıkıştırılmayan, viskoz olmayan ve sınırlandırılmamış olarak dikkate alarak sonlu elemanlar yöntemi ile modellemiştir. Bu yöntemin yakın alanlarda kısmi analitik yaklaşımlarla elde edilen sonuçlara oldukça yakın değerler verdiği ve geometrik olarak avantaj sağladığı belirtilmektedir. Ayrıca baraj-rezervuar etkileşim yüzeyine çok yakın olarak kesilen rezervuar alanı sınırlandırıldığı zaman kesin sonuçlar da elde edilebileceği ifade edilmektedir. Yöntemde sayısal çözümde daha basit integrasyonlar kullanılmaktadır. Yakın alan geometrisi üniform ise kesilen sınırlar baraja daha yakın alınabilir. Bu durumda da gerçek çözümden elde edilen sonuçlar kadar güvenli değerler elde edildiği vurgulanmıştır.

Sani ve Lotfi (2007) çalışmalarında kemer barajların dinamik analizinde 3 boyutlu kısmi sonsuz sınır elemanlar kullanılmıştır. Rezervuar iki parçaya bölünerek, birinci bölge genellikle düzensiz şekilde sıvı sonsuz elemanlar ile ikinci bölge ise üniform bir kanal olarak hesaplara dahil edilmiştir. Önerilen yöntemde işlemler düzenlenmiş olup, bilgisayar hesaplamalarında tasarruf sağlayabilmektedir. Çalışma sonucunda önerilen yöntemin kesin sonuçlar verebileceği vurgulanmıştır.

1.2.1.2. Üniform Olmayan Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Altınışik ve Severn (1980) ile Altınışik (1981), asinkronize yer hareketi etkisinin barajların dinamik analizinde dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalarda, toplam davranışın belirlenebilmesi için mesnet noktalarının birbirine göre rölatif hareketlerinden oluşan zahiri–statik yer değiştirme ve gerilmelerin hesaba katılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Dumanoğlu ve Severn (1984) ile Dumanoğlu vd. (1984), değişik hızlarla yayılan asinkronize yer hareketine maruz asma köprülerin, toprak, beton ağırlık ve kemer barajların dinamik davranışlarını incelemiştir. Deprem dalgası yayılma hızının azalmasıyla yapıda oluşan yer değiştirme ve gerilmelerde genel olarak bir artışın olduğu gözlenmiştir. Yapının tabanına etkileyen yer hareketinin değişik hızlarda yayılmasının analizlerde ele alınmasının gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Dakulas ve Hashmi (1992), farklı açılardan gelen SH dalgalarının toprak dolgu barajlardaki durumunu incelemek için, baraj 2 boyutlu 3 köşeli kesme kirişi olarak dikkate alınırken, kanyon(vadi) dikdörtgen ve elastik kaya olarak kabul edilmiştir. Çalışmada dalgaların geliş açısının, empedans direnci oranının ve vadinin darlığının etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar sonunda büyütme ivmesinin, esnek yapıya sahip zeminlere inşa edilen barajlarda rijit zeminli vadilere inşa edilenden daha küçük olduğu görülmüştür. Bundan dolayı yayılma sönümü etkisinin çok önemli olabileceği vurgulanmıştır. Dalgaların geliş açısı dikkate alındığında 30~35° arasında en büyük tepkinin olduğu belirlenmiştir.

Maeso ve Dominguez (1993), düşey yönde harmonik olarak gelen P ya da S dalgalarının etkisini rezervuarın boş olması durumunda baraj-temel etkileşim sistemi üzerinde incelemiştir.

Dominguez ve Maeso (1993), yapmış oldukları çalışmada baraj 3 boyutlu sonlu elemanlar ile modellenerek, yapının lineer viskoelastik bir davranış gösterdiği belirtilmiştir. Çalışmada sıvı sıkışabilir kabul edilerek sıvı-yapı-zemin etkileşiminde yayılan dalga etkisi de hesaplara katılmıştır. Rezervuarın dolu olması durumunda P ya da S dalgalarına karşı kemer barajların tepkisi incelenerek, yayılan dalga etkilerinin sonuçları ortaya koyulmuştur.

Maugeri vd. (1993), yayılan deprem dalgalarının dolgu barajların dinamik davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Dolgu baraj kesik iki boyutlu elastik

kama olarak temsil edilmiştir. Baraj gövdesinin homojen olmayan elastik modül ve yoğunluklu izotropik lineer viskoelastik malzemedan oluştuğu ifade edilmiştir. Yayılan sismik dalgaların, dolgu barajlara boyuna doğrultuda etkidiği düşünülmüştür. Uzun barajlarda uygulanan tek boyutlu kama analizinde depremden dolayı oluşan yerdeğiştirmeler, iki boyutlu kama analizinden daha büyük olduğu vurgulanmıştır.

Bayraktar vd. (1996), baraj-rezervuar-temel sisteminin asinkronize dinamik analizini Lagrange yaklaşımını kullanarak incelemiştir. Lagrange yaklaşımına dayalı iki boyutlu değişik düğüm noktalı sonlu katı ve sıvı elemanlar Mulsap programına dahil edilmiştir. 1992 yılında Erzincan'da meydana gelen depremin doğu-batı bileşeni esas alınarak Sarıyar barajı analiz edilmiştir. Deprem dalgası için değişik hızlar ve sonsuz hız dikkate alınarak farklı dinamik analizler yapılmıştır. Çalışma sonunda çeşitli hızlarla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yayılma hızının artmasıyla gerilmelerin arttığı tespit edilmiştir.

Abouseeda ve Dakoulas (1996), çalışmalarında, P ve SV dalgalarının baraj-temel etkileşimindeki etkilerini incelemiştir. Yer hareketinin mekansal değişikliğinin ve temel esnekliğinin etkileri vurgulanarak, hibrit sayısal denklemleri, sonlu eleman yöntemi ve uzak noktalarda sınır elemanlar yöntemiyle birleştirilerek kullanılmıştır. Geliştirilen hibrit yöntemin, karmaşık geometri ve heterojen malzemeye sahip yapıların zaman tanım alanında yapılan lineer olmayan analizlerinde kesin çözüm elde etmekte kullanılabileceği ve çok etkili olduğu ifade edilmiştir.

Dominguez (1997), dolgu ve beton barajların sismik analizi ve depreme karşı güvenliklerinin belirlenmesinde birçok parametrenin dikkate alınması gereken mühendislik problemlerinden olduğunu ifade etmiştir. Sonlu elemanlar ve sınır elemanlar yöntemini kullanarak deprem sırasında oluşan yayılan dalga etkilerinin barajda oluşturduğu bütün etkileri iyi bir şekilde gösterdiğini belirtmiştir.

Bayraktar ve Dumanoglu (1998), asinkronize yer hareketinin etkisini dikkate alarak baraj üzerinde oluşan hidrodinamik basınçları incelemiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak Lagrange yaklaşımı ile sistem modellenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda deprem dalgasının hızı azaldıkça oluşan hidrodinamik basıncın büyüklüğünün de azalmakta olduğu belirlenmiştir.

Abousedda ve Dakoulas (1998), SV dalgalarına karşı barajların elastik olmayan davranışını araştırmak için sınır elemanlar ve sonlu elemanlar yöntemi çiftini kullanmışlardır. Baraj gövdesi heterojen bir malzemedan oluşan basit lineer olmayan

histeristik modeller ve sonlu elemanlar yöntemiyle modellenirken, elastik yarım yüzey sınır elemanlar ile temsil edilmiştir. Hesaplamalarda temelin esnekliği ve malzemenin lineer olmayan etkileri üzerinde çalışılmıştır. Yöntemin karmaşık zemin-yapı etkileşim sistemlerinin lineer olmayan analizinin yapılmasında uygun olabileceği ve hesaplamalar yönüyle etkili olacağı belirtilmiştir.

Szczesiak vd. (1999), kemer barajlarda baraj-zemin etkileşimini dikkate alarak üniform olmayan yer hareketi için analizler yapmışlardır. Kemer barajların analizinde üniform olmayan yer hareketinin önemini vurgulamışlardır.

Maeso vd. (2001), çalışmalarında yayılan deprem dalgalarının kemer barajlar üzerindeki sismik etkisini incelemişlerdir. Deprem dalgalarının baraj ile rezervuar arasındaki etkileşim yüzeyi boyunca farklı etkilerinin olduğu ve bu etkinin barajın büyüklüğüne, sismik dalgaının uzunluğuna ve yayılma açısına bağlı olduğu belirtilmiştir. Baraj-rezervuar-temel 3 boyutlu sınır elemanlarla temsil edilmiştir. Rezervuarın boş ve dolu olduğu kabul edilerek SH, SV ve P dalgalarının baraj sahasına farklı açılarla gelmesine göre birkaç durum incelenmiştir. Çalışma sonunda temel kayasının esnekliğinin ve titreşimin yayılmasının kemer barajların sismik davranışını belirlemede çok önemli olduğu belirtilmiştir. Bu etkiler rezervuarın boş ve dolu olması durumları için tespit edilmiştir. Ayrıca dalgaların geliş açısının dikkate alınan dalga çeşitleri için de önemli olacağı belirtilmiştir.

Maeso ve Dominguez (2002), çalışmalarında, deprem sırasında kemer barajların dinamik tepkisini yer hareketindeki mekansal değişim etkilerini dikkate alarak incelemişlerdir. Birkaç farklı vadi ve rezervuarın geometrileri dikkate alınarak, 3 boyutlu sınır elemanlar yöntemi ile baraj-rezervuar-temel sistemi modellenmiştir. Çalışma sonunda çok defa ihmal edilen 3 boyutlu etkileşimin önemi vurgulanmıştır.

Maeso vd. (2004), çalışmalarında kemer barajların sismik davranışını sediment etkisini de dikkate alarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada 3 boyutlu sınır elemanlar yöntemi kullanılarak rezervuardaki su sıkışabilir sıvı, baraj ve sınırsız olan temel kayası viskoelastik katı ve tabandaki sediment iki fazlı poroelastik malzeme olarak tanımlanmıştır. Bu alanların birbirleriyle dinamik etkileşimleri, yerel topoğrafya ve yayılan dalga etkileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Sonuç olarak sedimentin sıkışabilirliği ve geçirgenliğinin barajın sismik tepkisi üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Tabandaki sediment etkileri, rezervuarın tam dolu olması durumunda basitleştirilmiş

modeller kullanılarak sedimentin olmaması, yarı veya tam doygun olması durumları için incelenmiştir.

Alves (2005), çalışmasında, yer hareketinin üniform olarak alınmasının bir kabul olduğunu belirterek, 1971 San Fernando ve 1994 Northridge depremlerinin Pacoima barajı üzerindeki ivme kayıtları incelendiğinde yer hareketinin üniform olmadığı tespit edilmiştir. Üniform olmayan deprem hareketi sonlu eleman modeline ilave edilmiştir. Üniform yer hareketi dikkate alınarak yapılan analizde sistemin rijit cisim hareketi yaptığı, üniform olmayan dalga hareketi esas alındığında ise barajın özellikle şevlere saplanan kısımlarında deformasyonlar olduğu belirlenmiştir.

Aznarez vd. (2006), baraj-rezervuar sistemlerinin ve limanların sıvı-yapı etkileşimine örnek olan önemli problemlerden olduğunu ifade etmişlerdir. Bu gibi problemlerde sediment malzemesinin geniş yapıların dinamik davranışında önemli rol oynadığı belirtilmiştir. Bu çalışmada yapılar 3 boyutlu sınır elemanlar ile modellenerek, etkileşim noktaları özenle hesaba katılmıştır. Bu modelde sıvı ve diğer basınç dalgası yayılma etkileri, viskoelastik katı ortamlar, sıvı ile dolu poroelastik bölgeler gösterilmiştir. Çalışma sonunda tam doygun sedimentin, sistemin davranışında küçük bir etkisi olduğu, kısmen doygun sediment tabakasının ise önemli değişikliklere sebep olabileceği belirtilmiştir.

1.2.2. Stokastik Dinamik Analiz ile İlgili Çalışmalar

Bu bölümde yapıların dinamik analizinde deprem hesabının stokastik yöntemlerle ele alındığı çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

1.2.2.1. Üniform Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Araujo ve Awruch (1998), çalışmalarında beton ağırlık barajların stokastik sismik davranışını Monte Carlo Yöntemini kullanarak değişken değerler olarak belirlemişlerdir. Baraj-rezervuar-temel denklem sisteminin çözümünde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Gazetas vd. (2003), Kanai-Tajimi spektrumunu kullanarak sabit olmayan güçlü titreşimlerin toprak barajların lineer olmayan tepkilerini istatistiksel olarak tahmin

edebilmek için basit ve lineer olmayan kısmi orantılı titreşim yöntemi geliştirmeye çalışmışlardır.

Bayraktar ve Hançer (2003), sıvı-yapı etkileşim sistemlerinin Lagrange yaklaşımı ile stokastik dinamik analizini yapmışlardır. Sıvı iki boyutlu izoparametrik elemanlarla temsil edilmiş ve Fortran dilinde kodlanmış olan STOCAL programına ilave edilmiştir. Çalışma sonunda deterministik ve stokastik yöntemlerle elde edilen yerdeğişirmeler ve hidrodinamik basınçlar karşılaştırılmıştır.

Di Paola ve Zingales (2003), deprem sırasında barajda oluşabilecek hidrodinamik basınçları stokastik olarak belirlemişlerdir. Çalışmada baraj-rezervuar etkileşimi incelenirken deprem hareketi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Rezervuarın rijit bir duvara dayandığı ve sıvının yayılabileceği kabul edilmiştir.

Zingales (2003), baraj-rezervuar sistemlerinde hidrodinamik basınçları stokastik dinamik analiz yaparak belirlemiştir. Analizde rezervuarın sonsuz ve sıvının sıkışabilir olduğu kabul edilmiştir. Sayısal örnekler sonucunda deprem hareketinin frekansı ile depremden dolayı oluşan hidrodinamik basınç arasında yakın ilişki olduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda rezervuarın tabanındaki emilim etkileri ve rezervuarın dayandığı duvarın esnek olması gibi durumların stokastik analizlerle değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Bayraktar ve Hançer (2004), çalışmalarında Lagrange yaklaşımını kullanarak sıvı sıkışabilirliğinin sıvı-yapı etkileşim sistemlerinin üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Analizler için iki boyutlu sıvı-yapı etkileşim sistemi dikkate alınmıştır. Lagrange yaklaşımı kullanılarak elde edilen davranışlar Westergaard yaklaşımı kullanılarak elde edilen davranışlarla karşılaştırılmıştır.

Bayraktar ve Hançer (2005), çalışmalarında sıvı-yapı etkileşim sistemlerinin Lagrange yaklaşımına dayalı stokastik dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sayısal örnek olarak bir sıvı tankı ve sıvı-yapı etkileşim sistemi üzerinde inceleme yapmışlardır. Modal analiz sonuçlarını analitik ve sayısal çözümlerle; ortalama maksimum yer değiştirme ve hidrodinamik basınçları mutlak maksimum yer değiştirme ve hidrodinamik basınçlarla karşılaştırmışlardır.

Bayraktar vd. (2005a), tarafından baraj-rezervuar etkileşim sistemlerinin dinamik davranışı deterministik ve stokastik analiz yapılarak karşılaştırılmıştır. Lagrange yaklaşımına dayalı hesap yapılarak sıvının hareketi yerdeğişirmeler cinsinden ifade edilmiştir. 2 boyutlu 4 düğüm noktalı sıvı elemanın STOCAL adlı programa ilave edilerek

yapılan analizler sonucunda hesaplanan yerdeğiştirme ve hidrodinamik basınçlar deterministik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bayraktar vd. (2005b), bu çalışmalarında farklı deprem oluşma mekanizmalarını kullanarak Lagrange yaklaşımı ile baraj-rezervuar-temel sistemlerinin stokastik dinamik analizini incelemişlerdir. Sıvının sonlu eleman denklemlerine yüzeydeki dalga etkisi ve dalganın yayılma etkileri de ilave edilmiştir. Beton ağırlık baraj seçilerek 3 farklı deprem oluşma mekanizması kullanılmıştır. Bu 3 farklı temel modeline göre yerdeğiştirmeler, gerilmeler ve hidrodinamik basınçlar karşılaştırılmıştır.

Chaudhuri ve Chakraborty (2006), çok serbestlik dereceli yapıların farklı durumlar altında güvenilirlik analizleri için genel bir çalışma yöntemi belirlemeyi hedeflemişlerdir. Yapının davranışı için güç spektral yoğunluk fonksiyonu belirlenmiştir. Sayısal örnekte kullanılan beton ağırlık baraj 8 düğüm noktalı eleman ile sonlu elemanlara ayrılarak yapılan analiz sonucunda elde edilen sonuçlar deterministik analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sivakumar Babu vd. (2007), probabilistik yaklaşımda tasarım parametrelerindeki belirsizlikler matematiksel bir çatı altında alınarak değerlendirilmeleri gerektiği belirtilmiştir. Probabilistik yaklaşımın en önemli avantajı, tasarım parametreleri arasındaki belirsizlik ile güvenilirlik/yıkılma olasılığı arasındaki bağlantıyı kurması olduğu ifade edilmiştir. Baraj güvenliğine ekonomik açıdan bakıldığında, barajlar ihmal edilebilir küçük yıkılma olasılıkları ile inşa edilebilecekleri ifade edilmiş, USACE'nin (1997) barajların ve diğeri geoteknik yapıların tasarımları için 3 ile 5 arasında değışen güvenilirlik katsayısı değerine karşılık 10^{-4} ile 10^{-6} arasında değışen yıkılma olasılığını dikkate almayı önerdiğini vurgulamışlardır.

Akköse vd. (2007), çalışmalarında kaya dolgu barajların stokastik sismik davranışını sonlu eleman yöntemi ile incelemişlerdir. Örnek olarak Elazığ'da inşa edilen Keban Barajı seçilmiştir. Etkileşim sisteminde rezervuar etkisi ihmal edilmiş, zemin etkisi dikkate alınmıştır. Erzincan depremi etkisindeki Keban Barajı'nın deterministik dinamik analizi de gerçekleştirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Stokastik analiz sonuçları deterministik analiz sonuçlarından daha küçük çıkmıştır.

De Sortis ve Paoliani (2007), çalışmalarında İtalya da inşa edilmiş olan payandalı beton ağırlık barajı dikkate alarak analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada istatistiksel yaklaşımın önemi vurgulanmıştır. Ayrıca yapısal tanımlama tekniğı

açıklanmış, yapının gelecekteki davranışını belirlemede bu tekniğin faydaları üzerinde durulmuştur.

1.2.2.2. Üniform Olmayan Yer Hareketi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Ramadan ve Novak (1993), değişerek yayılan yer hareketini kullanarak uzun ağırlık barajların davranışını incelemiştir. Dalga yayılma etkisinin yanında farklı tutarsızlık etkilerini de dikkate alan bir formülasyon geliştirmiştir.

Chen ve Harichandran (1995a), Santa Felicia toprak barajının değişerek yayılan yer hareketi etkisi altında stokastik analizini gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, değişerek yayılan yer hareketi modelinin yer değiştirmeleri azalttığını ve barajın tabanında maksimum kayma gerilmelerini arttırdığını göstermiştir.

Chen ve Harichandran (1995b), orta büyüklükteki bir toprak barajın değişerek yayılan yer hareketi etkisi altındaki davranışını belirleyebilmek için gerçekleştirdikleri analizde, barajın tabanına yakın kısımlarda değişerek yayılan yer hareketi modelinin büyük bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Baraj üç boyutlu sonlu eleman yöntemi kullanılarak modellenmiş ve lineer rastgele titreşim analizi yapılmıştır. Tabandaki farklı tutarsızlık fonksiyonları için ayrı ayrı gerilme davranışları incelenmiştir.

Harichandran ve Chen (1996), değişerek yayılan yer hareketi için toprak barajların analizini gerçekleştirmiştir. Bu analizler değişerek yayılan yer hareketi modelinin toprak barajların stabilitesinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir.

Chen ve Harichandran (1996), değişerek yayılan yer hareketi için baraj boyunca meydana gelen davranışları belirleyebilmek amacıyla basitleştirilmiş bir yöntem sunmuşlardır.

Chen ve Harichandran (2001), değişerek yayılan yer hareketi etkisi altında Güney Kaliforniya'da bulunan Santa Felicia toprak barajının analizini gerçekleştirmiştir. Deprem dalgalarının hem tutarsızlık hem de dalga etkisini dikkate alan bir model kullanmışlardır. Baraj için homojen olmayan üç boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Maksimum kayma gerilmesinin spektral momentleri rastgele titreşim teorisi kullanılarak hesaplanmıştır. Barajın tabanına yakın bölgedeki malzemelerin gerilme davranışlarının değişerek yayılan yer hareketi sebebiyle önemli derecede artabileceği gösterilmiştir.

Hacıfendioğlu (2004)'nin hazırlamış olduğu doktora tezinde değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki toprak dolgu barajların lineer olmayan stokastik davranışı incelenmiştir. Dolgu barajların homojen ve elastik olmayan malzemelerden inşa edilmeleri sebebiyle malzemenin lineer olmayan özelliği göz önüne alınmış ve stokastik analizlerinde yer hareketinin farklı noktalardaki değişiminden kaynaklanan, dalga yayılma etkisinin yanında tutarsızlık ve zemin etkisi de dikkate alınmıştır. Çalışma sonunda yer hareketinin değişiminin toprak dolgu baraj gibi geniş tabanlı yapı sistemlerinin lineer olmayan stokastik analizinde dikkate alınması gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Hacıfendioğlu (2006), çalışmasında yer hareketinin stasyoner (durağan) olmaması durumunda değişerek yayılan yer hareketine maruz toprak dolgu ve kaya dolgu barajların lineer olmayan stokastik davranışlarını incelemiştir. Stasyoner olmama kabulünün toprak ve kaya dolgu barajlar için önemli olmadığı vurgulanmıştır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Barajlar, rezervuarları ve temelleriyle birlikte göz önüne alındıklarında sıvı-yapı-zemin etkileşimine maruz yapı grubuna girmektedirler. Bu tür büyük yapıların projelendirilmelerinde ya da güvenilirliklerinin belirlenmesinde statik ve dinamik analizler yapılmalıdır. Gerçekçi bir dinamik analizin yapılabilmesi çok fazla belirsizlik içeren deprem gibi en önemli dinamik yükün yapıya uygulanmasının deprem hareketini karakterize edecek şekilde modellenmesi ile mümkün olabilecektir. Yapılacak analizde depremin oluş zamanı, yeri ve büyüklüğü ve kaydı önceden bilinemeyeceğinden dolayı bu belirsizliklerin dikkate alınabileceği stokastik yöntemin kullanılmasının gerçekçi bir yaklaşım olacağı açıktır.

Baraj-rezervuar-temel sistemi bir bütün olarak ele alındığında deprem dalgasının bu sistemin bir noktasından diğer bir noktasına varırken zemin etkisinin ve dalga yayılma etkisinin değişiminin yani üniform olmayan yer hareketinin hesaba katılması da gerekmektedir. Yapılan literatür araştırmasından, baraj-rezervuar-temel etkileşim sisteminin üniform olmayan yer hareketi için Lagrange yaklaşımı ile stokastik analizi konusunda yeterince çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu tez çalışmasında, üniform olmayan yer hareketine maruz kalan beton ağırlık barajların baraj-rezervuar-temel etkileşimi dikkate alınarak stokastik dinamik analizi Lagrange yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir.

1.4. Sıvı Sistemlerinin Lagrange Yaklaşımına Dayalı Sonlu Eleman Formülasyonu

Sıvı-yapı etkileşim sistemlerini modellemek için yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar; yapıda yer değiştirmeleri, sıvıda basınçları değişken kabul eden Euler yaklaşımı ile hem yapıda hem sıvıda yer değiştirmeleri değişken kabul eden Lagrange yaklaşımıdır. Sıvı ve yapının davranışını yer değiştirmeler cinsinden ifade eden Lagrange yaklaşımı ile problemlerin çözümünde ara yüzey denklemlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu da bu yöntemi oldukça kullanılabilir yapmaktadır. Böylece sıvı-yapı sisteminin ara yüzeyindeki sonlu eleman düğüm noktalarında uygunluk ve denge denklemleri otomatik olarak sağlanmaktadır (Wilson ve Khalvati, 1983). Yapı elemanları için var olan program kütüphanelerinin yerdeğiştirmelere dayalı sıvı elemanları içerecek şekilde ortak hale getirilmesi veya söz konusu eleman, program kütüphanelerinden sıvı elemanları elde etmek ve genel amaçlı yapı analiz programlarına uyarlamak kolay olmaktadır. Lagrange yaklaşımına dayalı olarak hazırlanan sıvı-yapı sistemlerinin analizleri için oluşturulan matrisler, simetrik ve bant genişlikleri nispeten küçük olduğundan, mevcut denklem çözüm yöntemleri ile verimli bir şekilde kullanılabilmektedir (Olson ve Bathe, 1983).

Lagrange yaklaşımına dayalı sıvı sonlu elemanın geliştirilmesi, standart bir katı elemanın elastisite matrisinin uygun bir şekilde değiştirilerek dikkate alınması fikri ile ortaya çıkmıştır. Birçok araştırmacı sıvıyı sıfır kayma modüllü bir katı olarak çalışmalar hazırlamışlardır (Akkaş vd., 1979; Bathe ve Hahn, 1979). Akkaş vd. (1979) kayma modülü sıfır olan sıvı eleman ile yaptıkları modal analizde çok sayıda sıfır enerji modu elde etmişlerdir.

Wilson ve Khalvati (1983) tarafından önerilen sıvı eleman kullanılarak sıvı, sıvı-yapı ve baraj-rezervuar sistemlerinin davranışı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. (Greeves, 1990; Calayır ve Dumanoglu, 1994; Bayraktar, 1995; Bayraktar vd., 1996, 2005a, 2005b; Akköse, 2003; Köseoğlu, 2007).

Burada lineer elastik, rotasyonsuz ve viskoz olmayan sıvının küçük yer değiştirmeler yapması durumu için temel bağıntılar Wilson ve Khalvati (1983), Calayır (1994) ve Bayraktar (1995) tarafından verilen formülasyona dayalı olarak sunulacaktır.

Lagrange yaklaşımına göre rotasyonsuz ve viskoz olmayan lineer elastik bir sıvının küçük yerdeğiştirmeler yapması durumunda basınç ile hacimsel şekil değiştirme arasında,

$$P_f = \beta \varepsilon_v \quad (1)$$

bağıntısı tanımlanmıştır (Wilson ve Khalvati, 1983). Bu ifadede; P_f basıncı (ortalama gerilmeye eşit), β sıvının hacimsel elastisite modülünü ve ε_v hacimsel şekildeğiştirmeyi göstermektedir. Hacimsel şekildeğiştirme iki boyutlu kartezyen koordinatlarda şekildeğiştirme bileşenleri yardımıyla,

$$\varepsilon_v = \varepsilon_y + \varepsilon_z \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Hacimsel şekildeğiştirme, yerdeğiştirme bileşenleri kullanılarak,

$$\varepsilon_v = \frac{\partial v_{fy}}{\partial y} + \frac{\partial v_{fz}}{\partial z} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada v_{fy} ve v_{fz} sırasıyla y ve z eksenleri doğrultusundaki yerdeğiştirme bileşenlerini göstermektedir.

Sıvının rotasyonsuzluğu için ceza metodu kullanılmaktadır (Zienkiewicz ve Taylor, 1989; Bathe, 1996). Sıvının iki boyutlu haldeki düzleme dik eksen etrafındaki dönme rijitliğini belirleyen rotasyon bağıntısı,

$$w = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{fy}}{\partial z} - \frac{\partial v_{fz}}{\partial y} \right) \quad (4)$$

ifadesi ile tanımlanabilir. Bu rotasyonla ilgili gerilmeler,

$$P_w = \alpha w \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada P_w rotasyonel gerilmeyi, α ise kısıtlama parametresini göstermektedir. Sıvının matris formundaki iki boyutlu gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları (1) ve (5) denklemlerinden,

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{P}_f \\ \mathbf{P}_w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}_v \\ \mathbf{w} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

veya

$$\boldsymbol{\sigma}_f = \mathbf{C}_f \mathbf{e}_f \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (7)'de $\boldsymbol{\sigma}_f$ ve \mathbf{e}_f , sıvının gerilme ve şekildeğiştirme vektörlerini; \mathbf{C}_f ise elastisite matrisini göstermektedir.

Sonlu eleman hareket denklemleri enerji prensiplerinden yararlanılarak belirleneceğinden sıvı sistemlerin davranışları ile ilgili enerji bağıntılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bir sıvı sistemin potansiyel enerjisi iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, sistemin toplam şekildeğiştirme enerjisidir. Sıvı sistemin toplam şekildeğiştirme enerjisi,

$$\pi_e = \frac{1}{2} \int \mathbf{e}_f^T \mathbf{C}_f \mathbf{e}_f dV \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; \mathbf{e}_f

$$\{\mathbf{e}_f\} = \begin{Bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}_v \\ \mathbf{w} \end{Bmatrix} \quad (9)$$

ile verilen sıvı sistemin şekildeğiştirme vektörüdür.

Sıvı sistemlerin önemli davranışlarından biri de, hacimde bir değişim olmadan yerdeğiştirme yapabilmeleridir (Greeves, 1991). Rezervuar ve su depoları için bu hareket yerdeğiştirmelerin düşey olduğu yüzey dalgaları şeklindedir. Sıvı yüzey dalgalarının etkisini ve salınım davranışını, sıvının potansiyel enerjisi yardımıyla tanımlamak mümkündür. Buna göre sıvı sistemin potansiyel enerjisinin bu ikinci bileşeni,

$$\pi_s = \frac{1}{2} \int \mathbf{v}_{sf}^T \rho_f \mathbf{g} \mathbf{v}_{fs} dA \quad (10)$$

bağıntısıyla verilebilir. Burada, ρ_f sıvının kütle yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini, \mathbf{v}_{fs} ise sıvı serbest yüzeyi düşey yerdeğiştirmesini göstermektedir. Bu durumda sistemin toplam potansiyel enerjisi,

$$\pi_t = \pi_e + \pi_s \quad (11)$$

olarak elde edilir. Sıvının dinamik davranışı incelendiği için kinetik enerji bağıntısına da ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece sıvı sistemin davranışı ile ilgili gerekli enerji bağıntıları tamamlanmış olur. Bir sıvı sistemin kinetik enerjisi,

$$T = \frac{1}{2} \int \dot{\mathbf{v}}_f^T \rho_f \dot{\mathbf{v}}_f dV \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; $\dot{\mathbf{v}}_f$,

$$\dot{\mathbf{v}}_f = \begin{Bmatrix} \dot{v}_{fy} \\ \dot{v}_{fz} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

ile verilen genel eksen takımındaki hız vektörüdür.

Yukarıda verilen enerji bağıntılarından sistemin hareket denklemlerine geçiş yapmak için Lagrange denkleminde faydalanılır (Clough ve Penzien 1993).

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_{fi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_{fi}} + \frac{\partial \pi_t}{\partial q_{fi}} = Q_{fi} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

Bu ifadede q_{fi} ve Q_{fi} sırasıyla i . genelleştirilmiş koordinatı ve kuvveti göstermektedir. Sonlu elemanlar yönteminde genelleştirilmiş koordinat olarak ortam değişkeninin sonlu eleman düğüm noktalarındaki değerleri alınmaktadır. Örneğin, yerdeğiştirmeye dayalı Lagrange yaklaşımında söz konusu koordinatlar düğüm noktası yerdeğiştirme bileşenleridir. Buna göre (14) denklemi,

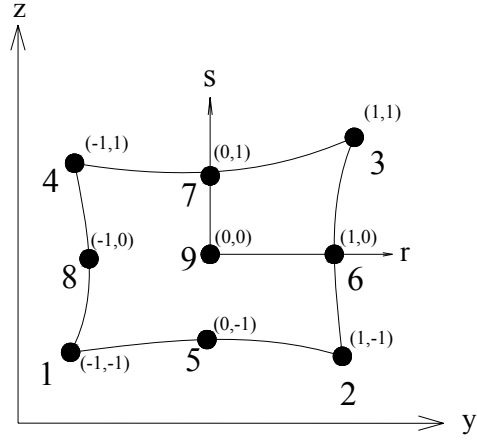
$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{v}_{fi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial v_{fi}} + \frac{\partial \pi_t}{\partial v_{fi}} = Q_{fi} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (15)$$

şeklini alır.

Sıvı sisteminin sonlu eleman matrisleri izoparametrik sonlu eleman formülasyonundan elde edilmektedir. İzoparametrik formülasyonda genel ve doğal eksen takımı olmak üzere iki eksen takımı kullanılmaktadır. Genel eksen takımı (y-z) kartezyen eksen takımından, doğal eksen takımı ise (r-s) boyutsuz eksen takımından oluşmaktadır. Sonlu eleman düğüm noktası koordinatları genel eksen takımında,

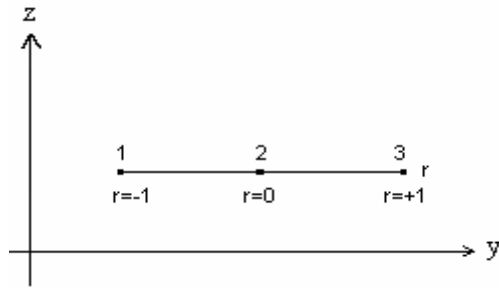
$$\begin{aligned} y^e &= \sum_{i=1}^q h_i y_i^e \\ z^e &= \sum_{i=1}^q h_i z_i^e \end{aligned} \quad (16)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada; y^e , z^e sonlu elemanın herhangi bir noktasındaki koordinatları; y_i^e , z_i^e ise q düğüm noktalı elemanın i. düğüm noktası koordinatlarını göstermektedir. h_i interpolasyon fonksiyonları olup, her bir değişkeni -1 ile +1 arasında değişen (r-s) doğal eksen takımında tanımlanmaktadır. Şekil 1' de, iki boyutlu 9-düğüm noktalı bir sıvı eleman görülmektedir. İzoparametrik sonlu eleman formülasyonunun en önemli özelliği, eleman koordinat ve yerdeğiştirmelerinin aynı interpolasyon fonksiyonları kullanılarak elde edilmesidir. Buna göre sonlu elemanın herhangi bir noktasındaki yerdeğiştirmeler, (16) denklemindeki interpolasyon fonksiyonları yardımıyla elemanın düğüm noktası yerdeğiştirmeleri cinsinden ifade edilebilmektedir.



Şekil 1. İki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı sonlu eleman

İki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı elemanda yüzey elemanı olarak Şekil 2' de doğal koordinatlarda tanımlanan bir boyutlu 3 düğüm noktalı eleman kullanılmaktadır.



Şekil 2. Bir boyutlu 3 düğüm noktalı sıvı yüzey elemanı

9 düğüm noktalı eleman için interpolasyon fonksiyonları Tablo 1 (Bathe, 1996), 3 düğüm noktalı bir boyutlu yüzey elemanı için interpolasyon fonksiyonları da Tablo 2' de verilmektedir.

Tablo 1. İki boyutlu 9 düğüm noktalı sıvı sonlu eleman için şekil fonksiyonları

<i>İki boyutlu 9 düğüm noktalı eleman için şekil fonksiyonları</i>	
$h_1 = \frac{1}{4}(1+r)(1+s) - \frac{1}{2}h_5 - \frac{1}{2}h_8 - \frac{1}{4}h_9$	$h_5 = \frac{1}{2}(1-r^2)(1+s) - \frac{1}{2}h_9$
$h_2 = \frac{1}{4}(1-r)(1+s) - \frac{1}{2}h_5 - \frac{1}{2}h_6 - \frac{1}{4}h_9$	$h_6 = \frac{1}{2}(1-s^2)(1-r) - \frac{1}{2}h_9$
$h_3 = \frac{1}{4}(1-r)(1-s) - \frac{1}{2}h_6 - \frac{1}{2}h_7 - \frac{1}{4}h_9$	$h_7 = \frac{1}{2}(1-r^2)(1-s) - \frac{1}{2}h_9$
$h_4 = \frac{1}{4}(1+r)(1-s) - \frac{1}{2}h_7 - \frac{1}{2}h_8 - \frac{1}{4}h_9$	$h_8 = \frac{1}{2}(1-s^2)(1+r) - \frac{1}{2}h_9$
	$h_9 = (1-r^2)(1-s^2)$

Tablo 2. 3 düğüm noktalı bir boyutlu yüzey elemanı şekil fonksiyonları

<i>Bir boyutlu 3 düğüm noktalı yüzey elemanı şekil fonksiyonları</i>		
$h_1 = \frac{1}{2}(1-r) - \frac{1}{2}h_3$	$h_2 = \frac{1}{2}(1+r) - \frac{1}{2}h_3$	$h_3 = (1-r^2)$

Sıvı elemanın herhangi bir noktasındaki yerdeğiştirmenin y ve z eksenleri doğrultusundaki bileşenleri (v_{fy} , v_{fz}), interpolasyon fonksiyonları yardımıyla,

$$\begin{aligned} v_{fy} &= \sum_{i=1}^q h_i v_{fyi}^e \\ v_{fz} &= \sum_{i=1}^q h_i v_{fzi}^e \end{aligned} \quad (17)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada; v_{fyi}^e , v_{fzi}^e q düğüm noktalı elemanın y ve z eksenleri doğrultusundaki düğüm noktası yerdeğiştirmelerini göstermektedir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sıvı elemanın iki boyutlu şekildeğiştirme-yerdeğiştirme bağıntısı,

$$\mathbf{e}_f^e = \mathbf{B}_f^e \mathbf{v}_f^e \quad (18)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; \mathbf{B}_f^e , sıvı elemanın şekildeğiştirme–yerdeğiştirme matrisi olup, interpolasyon fonksiyonlarının genel eksen takımındaki türevlerinden oluşmaktadır. \mathbf{v}_f^e eleman düğüm noktası yerdeğiştirme vektörünü, \mathbf{e}_f^e ise \mathbf{v}_f^e 'ye karşılık gelen şekildeğiştirme vektörünü göstermektedir. (18) denklemi ile verilen şekildeğiştirme–yerdeğiştirme bağıntısı kullanılarak (8) denklemindeki sıvı sistemin toplam şekildeğiştirme enerjisi,

$$\pi_e = \frac{1}{2} \mathbf{v}_f^T \mathbf{K}_f \mathbf{v}_f \quad (19)$$

şeklinde yazılabilir. Burada \mathbf{v}_f sıvı sisteminin düğüm noktası yerdeğiştirme vektörünü, \mathbf{K}_f aynı sistemin rijitlik matrisini göstermektedir. Yüzey potansiyel enerjisi, denklem (10), sıvı yüzeyindeki düğüm noktalarının düşey yerdeğiştirmeleri cinsinden aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\pi_s = \frac{1}{2} \mathbf{v}_{fs}^T \mathbf{S}_f \mathbf{v}_{fs} \quad (20)$$

Bu ifadede \mathbf{v}_{fs} sıvı serbest yüzey düğüm noktası düşey yerdeğiştirme vektörünü, \mathbf{S}_f ise sıvı serbest yüzey rijitlik matrisini göstermektedir. Sistemin kinetik enerjisi, denklem (12), aynı şekilde,

$$T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{v}}_f^T \mathbf{M}_f \dot{\mathbf{v}}_f \quad (21)$$

formunda yazılabilir. Burada \mathbf{M}_f ve $\dot{\mathbf{v}}_f$ sırasıyla kütle matrisini ve düğüm noktası hız vektörünü göstermektedir.

Sıvı sisteminin hareket denklemi, denklem (19-21)'nin Lagrange denkleminde, denklem (14), kullanılmasıyla elde edilmektedir. Gerekli işlemlerden sonra

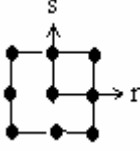
$$\mathbf{M}_f \ddot{\mathbf{v}}_f + \mathbf{K}_f \mathbf{v}_f + \mathbf{S}_f \mathbf{v}_{fs} = \mathbf{F}_f \quad (22)$$

veya

$$\mathbf{M}_f \ddot{\mathbf{v}}_f + \mathbf{K}_f^* \mathbf{v}_f = \mathbf{F}_f \quad (23)$$

bağıntısı elde edilir. Burada \mathbf{K}_f^* sıvı serbest yüzey rijitliklerini de içeren sıvı sistemi rijitlik matrisini ve \mathbf{F}_f zamana bağlı düğüm noktası yük vektörünü temsil etmektedir. Sonlu eleman matrislerini sayısal elde edilişlerinde Wilson ve Khalvati (1983) tarafından önerilen indirgenmiş integrasyon mertebeleri kullanılmaktadır. Tablo 3'de 9 düğüm noktalı eleman için normal ve indirgenmiş integrasyon dereceleri verilmektedir. Sıvı sisteminde indirgenmiş integrasyon kullanımı sonuç itibariyle gerçek çözüme daha hızlı yaklaşımı sağlamaktadır (Wilson ve Khalvati, 1983).

Tablo 3. 9 düğüm noktalı eleman tipi için normal ve indirgenmiş integrasyon dereceleri (Bathe, 1996)

Eleman	Normal İntegrasyon Derecesi	İndirgenmiş İntegrasyon Derecesi
	3x3	2x2

1.5. Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşim Sistemlerinin Sonlu Eleman Formülasyonu

Sıvı-yapı sisteminin ortak hareket denklemleri her iki sisteme ait denklemlerin ara yüzey şartı dikkate alınarak birleştirilmesinden elde edilmektedir. Bu sebeple, ortak sistemin ara yüzey şartını belirlemek gerekir.

Sıvının viskoz olmadığı kabul edildiğinden ortak sistemin ara yüzeyinde, ara yüzeye normal yerdeğiştirmeleri sürekli, teğet yerdeğiştirmeler süreksiz olmaktadır. Ortak sistemin ara yüzeyinde, yapı kısmının pozitif yüzeye ve sıvı kısmının negatif yüzeye sahip olduğu kabul edilirse ara yüzey şartı,

$$v_n^- = v_n^+ \quad (24)$$

şeklinde yazılabilir (Akkaş vd., 1979). Burada, v_n ara yüzeye normal yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Bu şart, sıvı-yapı ara yüzeyinde ara yüzeye normal doğrultuda karşılıklı düğüm noktaları arasında kısa ve yeteri derecede rijit çubuk elemanlar yerleştirilerek (Akkaş vd., 1979) veya ortak sistemin ara yüzeyinde düğüm noktalarında ceza metodu (Bathe, 1996) kullanılarak ta sağlatılabilir.

Ara yüzey şartları dikkate alınarak, n serbeslik dereceli sıvı-yapı sistemlerinin yer hareketi altındaki sönümlü hale ait ortak hareket denklemi,

$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{v}}\} + [\mathbf{C}]\{\dot{\mathbf{v}}\} + [\mathbf{K}]\{\mathbf{v}\} = \{\mathbf{F}\} \quad (25)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[\mathbf{M}]$, $[\mathbf{C}]$, $[\mathbf{K}]$ sırasıyla ortak sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; $\{\ddot{\mathbf{v}}\}$, $\{\dot{\mathbf{v}}\}$, $\{\mathbf{v}\}$ ise sırasıyla toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini, $\{\mathbf{F}\}$ ise dış yük vektörünü göstermektedir. Sıvı-yapı sisteminin hareket denklemi, (25), simetrik sistem matrislerine sahip olduğundan herhangi bir yapı sisteminin hareket denklemi ile aynı formdadır. Bu nedenle, yapı analizi için kullanılan çözüm yöntemleri sıvı-yapı sistemi için de kullanılabilir. Sıvı-yapı etkileşiminde Lagrange yaklaşımının tercih edilmesinin en önemli sebebi budur (Oskouei ve Dumanoglu, 2001; Parrinello ve Borino, 2007; Akköse, 2003; Akköse ve Dumanoglu, 1998; Bayraktar, 1995; Bayraktar vd., 2005a; 2005b).

Hareket denkleminde deprem durumunda sisteme direkt olarak uygulanan dış kuvvet olmadığından $\{\mathbf{F}\}$ sıfır vektörüdür. Dış kuvvet vektörü yerine, yapı-zemin etkileşim yüzeyi boyunca mevcut serbestlik dereceleri ile ilgili yerdeğiştirme, hız ve ivmeler bilinmektedir. Yapı-zemin etkileşim yüzeyi boyunca olan serbestlik derecelerinin hız ve yerdeğiştirmeleri, ivmenin sayısal integrasyonu ile elde edilmektedir. Sistemin serbestlik derecelerini bilinen ve bilinmeyen olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Denklem (25)'de ki bilinen ve bilinmeyen serbestlik derecelerini birbirinden ayırmak için, bilinen serbestlik dereceleri $\{\mathbf{v}_g\}$, bilinmeyen serbestlik dereceleri ise $\{\mathbf{v}_r\}$ vektörleri ile gösterilmektedir. Bu ifadelerdeki g alt indisi Bilinen Zemin Serbestlik Derecelerini (BZSD), r alt indisi ise sistemin diğer serbestliklerine karşılık gelen Diğer Serbestlik Derecelerini (DSD) göstermektedir. Denklem (26), DSD ve BZSD cinsinden alt kısımlara bölünerek,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{rr} & \mathbf{M}_{rg} \\ \mathbf{M}_{gr} & \mathbf{M}_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{v}}_r \\ \ddot{\mathbf{v}}_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{rr} & \mathbf{C}_{rg} \\ \mathbf{C}_{gr} & \mathbf{C}_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{v}}_r \\ \dot{\mathbf{v}}_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{rr} & \mathbf{K}_{rg} \\ \mathbf{K}_{gr} & \mathbf{K}_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{v}_r \\ \mathbf{v}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (26)$$

formunda yazılabilir (Dumanoglu ve Severn, 1984). Burada $[\mathbf{M}_{rr}]$, $[\mathbf{C}_{rr}]$ ve $[\mathbf{K}_{rr}]$ DSD ile ilgili sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini göstermektedir. $[\mathbf{M}_{gr}]$, $[\mathbf{C}_{gr}]$ ve $[\mathbf{K}_{gr}]$ ise sırasıyla $[\mathbf{M}_{rg}]$, $[\mathbf{C}_{rg}]$ ve $[\mathbf{K}_{rg}]$ ifadelerinin transpozelerine karşılık gelmektedir. $\{\ddot{\mathbf{v}}_r\}$, $\{\dot{\mathbf{v}}_r\}$ ve $\{\mathbf{v}_r\}$ sırasıyla DSD'nin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörleri; $\{\ddot{\mathbf{v}}_g\}$, $\{\dot{\mathbf{v}}_g\}$ ve $\{\mathbf{v}_g\}$ ise BZSD' nin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini

göstermektedir. Denklem (26)'dan DSD denklemlerine karşılık gelen ilk satır çıkartılıp bilinenler sağ tarafa atılırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_r\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_r\} + [K_{rr}]\{v_r\} = -[M_{rg}]\{\ddot{v}_g\} - [C_{rg}]\{\dot{v}_g\} - [K_{rg}]\{v_g\} \quad (27)$$

ifadesi elde edilir (Gazis, 1985; Bayraktar, 1995). Denklem (27)'in sağ tarafında deprem etkisi; ivme, hız ve yerdeğiştirmeler cinsinden ifade edilmektedir. Söz konusu denklemi daha basit hale getirebilmek için, toplam yerdeğiştirme, v_r , iki bileşenin toplamı olarak yazılabilir. Bu bileşenlerden birisi, BZSD' nin farklı hareketinden, diğeri ise atalet kuvvetlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Atalet kuvvetleri düğüm noktaları ivme ve kütlelerinin çarpımından ibaret olduğu için, ikinci yerdeğiştirme bileşeni dinamik olarak tanımlanıp v_d ile gösterilmektedir. Birinci yerdeğiştirme bileşeni üniform yer hareketi durumunda rijit cisim hareketi olarak oluştuğundan ve yapıda iç etki meydana getirmediğinden hareket denklemlerinden çıkarılmaktadır. Fakat değışerek yayılan yer hareketi durumunda farklı serbestlik derecelerinde farklı yerdeğiştirmeler gözlenecek ve bundan dolayı iç kuvvetler oluşacaktır. Bu yerdeğiştirmelerin hesaplanmasında kütlelerin etkisi dikkate alınmadığından, söz konusu yerdeğiştirmeler zahiri-statik olarak isimlendirilmekte ve v_s ile gösterilmektedir. Bu durumda (26) nolu denklemdeki yerdeğiştirme vektörleri,

$$\begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_{dr} \\ v_{dg} \end{Bmatrix} \quad (28)$$

şeklinde yazılabilir. Burada v_{dg} sıfır, v_{sg} ise v_g 'ye eşittir. v_{sr} ve v_{dr} ise sırasıyla zahiri-statik ve dinamik yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Denklem (28), denklem (27)'de yerine yazılırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = \{F_{eff}\} \quad (29)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade de $\{F_{eff}\}$ DSD'ni etkileyen etkili kuvvet vektörünü göstermekte ve

$$\{F_{\text{eff}}\} = -[M_{\text{rr}} \quad M_{\text{rg}}] \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{\text{sr}} \\ \ddot{v}_{\text{sg}} \end{Bmatrix} - [C_{\text{rr}} \quad C_{\text{rg}}] \begin{Bmatrix} \dot{v}_{\text{sr}} \\ \dot{v}_{\text{sg}} \end{Bmatrix} - [K_{\text{rr}} \quad K_{\text{rg}}] \begin{Bmatrix} v_{\text{sr}} \\ v_{\text{sg}} \end{Bmatrix} \quad (30)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Bayraktar, 1995; Soyluk, 2001). Dinamik denge denklemleri statik denge denklemlerini içerdiğinden, (30) denklemi önemli derecede basitleştirilebilir. Eğer denklem (30)'dan zamana bağlı terimler çıkartılırsa, sadece denklem (30)'un son terimi kalmakta ve bu terimde sifıra eşit olmaktadır. Böylece (30) denklemi,

$$\{F_{\text{eff}}\} = -[M_{\text{rr}} \quad M_{\text{rg}}] \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{\text{sr}} \\ \ddot{v}_{\text{sg}} \end{Bmatrix} - [C_{\text{rr}} \quad C_{\text{rg}}] \begin{Bmatrix} \dot{v}_{\text{sr}} \\ \dot{v}_{\text{sg}} \end{Bmatrix} \quad (31)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisi rijitlik matrisi ile orantılı ise denklem (31)'in sönümle ilgili terimleri sıfır olmaktadır (Clough ve Penzien, 1993). Sönümün rijitlikle orantılı olmaması durumunda bile sönüm kuvvetleri, rijitlik kuvvetleri ile karşılaştırıldığında çok küçük kalmakta ve ihmal edilebilmektedir. Bu durumda denklem (31) yeniden düzenlenirse,

$$\{F_{\text{eff}}\} = -[M_{\text{rr}} \quad M_{\text{rg}}] \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{\text{sr}} \\ \ddot{v}_{\text{sg}} \end{Bmatrix} \quad (32)$$

ifadesi elde edilmektedir. Denklem (32)'deki \ddot{v}_{sg} , BZSD'ne uygulanan ivmeleri gösterdiğinden bilinmekte; \ddot{v}_{sr} ise bilinmemektedir. Daha önce belirtildiği gibi, denklem (30)'un son terimi sifıra eşit olduğundan,

$$[K_{\text{rr}}] \{v_{\text{sr}}\} = -[K_{\text{rg}}] \{v_{\text{sg}}\} \quad (33)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeden $\{v_{\text{sr}}\}$,

$$\{v_{sr}\} = -[K_{rr}]^{-1}[K_{rg}]\{v_{sg}\} = -[R_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (34)$$

olarak belirlenebilir (Clough ve Penzien, 1993). Burada $[R_{rg}]$, $[K_{rr}]^{-1}$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin çarpımını göstermektedir. Denklem (34)'nin türevi, denklem (32)'de yerine konulursa,

$$\{F_{eff}\} = [M_{rr}R_{rg} - M_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (35)$$

şeklinde elde edilir. Birçok durumda $[M_{rg}]$ matrisinin sıfırdan farklı terimleri çok azdır. Dolayısıyla, depremden dolayı meydana gelen etkili kuvvet vektörüne katkısı çok az olacağından ihmal edilebilir (Clough ve Penzien, 1993). Özellikle diyagonal kütle matrisler için $[M_{rg}]$ matrisi sıfır olmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan sonra denklem (29) tekrar düzenlenirse,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = [M_{rr}][R_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (36)$$

şeklinde yazılabilir (Clough ve Penzien, 1993).

Değişerek yayılan yer hareket durumunda DSD'nin $\{v_{dr}\}$ dinamik yerdeğiştirme bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan (36) ifadesi, klasik dinamik analiz için de geçerlidir. Şöyle ki, BZSD'nin tümünde aynı ivme kullanıldığında $\{\ddot{v}_{sg}\}$ tekil bir terim olup, $\{R_{rg}\}$ ise sıfır ve birlerden oluşan bir vektördür. Söz konusu vektör klasik dinamik analizde doğrultu vektörü olarak adlandırılır. Değişerek yayılan yer hareket durumunda ise $\{R_{rg}\}$, $\{r\}$ vektörlerinden oluşan bir matristir. $\{r\}$ vektörü, zahiri-statik etki katsayı vektörü veya zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörü olarak isimlendirilir. $\{r\}$ vektörleri, BZSD'nin birine yatay veya düşey yönde birim yerdeğiştirme verilip diğer tüm BZSD tutulmak suretiyle yapının almış olduğu şekli gösterir. Yer hareketinin etkidiği her mesnet noktası için $\{r\}$ vektörleri hesaplanabilir.

$\{r\}$ vektörleri, sistem rijitlik matrisindeki $[K_{rr}]^{-1}$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin çarpımından direkt olarak hesaplanabilir. Fakat $[K_{rr}]$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin elde

edilebilmesi için sistem rijitlik matrisini alt matrislere bölen programları gerektirmektedir. Bunun yerine, $\{r\}$ vektörü tanımından hareketle, sistem rijitlik matrisini alt kısımlara bölmekten kaçınılabilir. Bu işlem için ceza yöntemi (Bathe, 1996) kullanılmaktadır. Şöyle ki, sistem rijitlik matrisinde $\{r\}$ vektörünün kullanılacağı BZSD'ne karşılık gelen diyagonal terime büyük bir rijitlik eklenmekte ve bu rijitliğe eşit bir yük söz konusu serbestlik derecesine uygulanarak statik analizi yapılmaktadır (Bayraktar, 1995; Leger vd., 1990). Böylece, BZSD'deki yerdeğiştirme seçilen rijitliğin artırılmasıyla birim değere yaklaşmaktadır. Her bir BZSD veya bölge için hesaplanan $\{r\}$ vektörlerinin sistemin her düğüm noktasındaki toplamı yer hareketi yönünde birim olmalıdır.

Yayılan yer hareketi durumunda toplam yerdeğiştirme zahiri-statik ve dinamik bileşen cinsinden

$$v_r = v_{dr} + v_{sr} \quad (37)$$

şeklinde hesaplanabilir.

1.6. Stokastik Dinamik Analiz Formülasyonu

Bir rasgele değişkene ait kayıtların tamamı rasgele işlem olarak tanımlanır. Rasgele bir olayı temsil eden tek bir zaman süreci, örnek fonksiyon olarak adlandırılır (Bendat ve Piersol, 1971). Rasgele işlemin özilişki (ototutarsızlık) fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir (Yang, 1986; Peebles, 1987).

$$[R_z(\tau)] = E[\{z(t)\}\{z(t+\tau)\}^T] \quad (38)$$

Burada $z(t)$, herhangi bir yapı davranışını göstermektedir. $z(t)$ davranışı, zahiri-statik ve dinamik bileşenlere ayrılırsa,

$$z(t) = z^{qs}(t) + z^d(t) \quad (39)$$

ifadesi bulunur. (39) denkleminde, $z^{qs}(t)$ ve $z^d(t)$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenlerini göstermektedir. (39) ifadesi (38) denkleminde yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} \left[R_z(\tau) \right] &= E \left[\left\{ \left\{ z^{qs}(t) + \left\{ z^q(t) \right\} \right\} \left\{ z^{qs}(t+\tau) \right\}^T + \left\{ z^q(t+\tau) \right\}^T \right\} \right] \\ &= \left[R_z^{qs}(\tau) \right] + \left[R_z^d(\tau) \right] + \left[R_z^{qs d}(\tau) \right] + \left[R_z^d qs(\tau) \right] \end{aligned} \quad (40)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\left[R_z^{qs}(\tau) \right]$ ve $\left[R_z^d(\tau) \right]$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenlerinin özilişki fonksiyonunu gösterirken, $\left[R_z^{qs d}(\tau) \right]$ ve $\left[R_z^d qs(\tau) \right]$ zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenleri arasındaki çapraz ilişki (cross correlation) fonksiyonlarıdır. Durağan işlemler için;

$$\left[R_z^d qs(\tau) \right] = \left[R_z^{qs d}(-\tau) \right] \quad (41)$$

ifadesi yazılabilmektedir (Hawwari, 1992). (40) denkleminin Fourier Dönüşümü alınırsa $z(t)$ davranışının spektral yoğunluk fonksiyonu, denklem (42)'deki gibi elde edilir (Harichandran ve Wang, 1988).

$$\left[S_z(\omega) \right] = \left[S_z^{qs}(\omega) \right] + \left[S_z^d(\omega) \right] + \left[S_z^{qs d}(\omega) \right] + \left[S_z^d qs(\omega) \right] \quad (42)$$

Burada, $\left[S_z^{qs}(\omega) \right]$ ve $\left[S_z^d(\omega) \right]$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenlerinin spektral yoğunluk fonksiyonunu gösterirken, $\left[S_z^{qs d}(\omega) \right]$ ve $\left[S_z^d qs(\omega) \right]$ zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenleri arasındaki çapraz spektral yoğunluk fonksiyonlarıdır. Zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenleri arasındaki çapraz spektral yoğunluk fonksiyonu için,

$$\left[S_z^d qs(\omega) \right] = \left[S_z^{*qs d}(\omega) \right] \quad (43)$$

eşitliği yazılabilir (Harichandran ve Wang, 1988). Burada, * kompleks eşleniği göstermektedir.

1.6.1. Dinamik Davranış Bileşeni

Değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki yapı davranışının dinamik bileşeni,

$$\{z^d(t)\} = [\Psi]\{Y\} \quad (44)$$

ifadesi ile belirlenebilir. Yerdeğiştirme için, $[\Psi] = [\Phi]$ şeklinde tanımlanırken, eleman uç kuvvetleri için $[\Psi] = [K]^*[\Phi]$, özvektörlerin neden olduğu eleman kuvvetlerini göstermektedir. Herhangi bir yapının dinamik davranış bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu, $S_{z_i}^d(\omega)$ skaler formda aşağıdaki gibi yazılabilir (Harichandran ve Wang, 1988).

$$S_{z_i}^d(\omega) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} \Psi_{ik} \Gamma_{lj} \Gamma_{mk} H_j(-\omega) H_k(\omega) S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega) \quad (45)$$

Bu ifadede n dikkate alınan mod sayısını, r yer hareketi ivmesinin etkilediği mesnet serbestlik derecesi sayısını, Γ_{lj} modal katkı faktörünün l. elemanını, Ψ_{ij} j.modun neden olduğu z_i davranış kuvvetini, $\left[S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega) \right]$ l ve m mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin çapraz spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

Yukarıdaki ifadede kullanılan frekans davranış fonksiyonu,

$$H_j(\omega) = \frac{1}{\omega_i^2 - \omega^2 + 2i\xi_j\omega_j\omega} \quad (46)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, ξ_j , j.moda ait sönüm oranını göstermektedir.

$z^d(t)$ 'nin varyansı, $-\infty$ 'dan ∞ 'a kadar ω 'ye bağlı olarak $S_z^d(\omega)$ 'nin integrale edilmesiyle aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Harichandran ve Wang, 1988; Lee ve Penzien, 1983).

$$\sigma_{z_i}^{2d} = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega \quad (47)$$

1.6.2. Zahiri-Statik Davranış Bileşeni

Zahiri-statik davranış bileşeni,

$$z^{qs}(t) = \sum_1 A_i v_{gi}(t) \quad (48)$$

şeklinde yazılabilir (Harichandran ve Wang, 1988). (56) denklemi matris formunda yazılırsa,

$$\{z^{qs}(t)\} = [A]\{v_g(t)\} \quad (49)$$

denklemi elde edilmektedir. Yerdeğiştirme için, $[A] = -[R_{rg}] = -[K_{rr}]^{-1}[K_{rg}]$ statik yerdeğiştirmeleri ifade ederken, eleman uç kuvvetleri için $[A]$, mesnet noktalarının birim hareketlerinin kuvvetlerini göstermektedir.

Zahiri-statik davranış bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu, $[S_z^{qs}(\omega)]$ skaler formda,

$$S_{z_i}^{qs}(\omega) = \frac{1}{\omega^4} \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} S_{\dot{v}_{gl}\dot{v}_{gm}}(\omega) \quad (50)$$

şeklinde yazılmaktadır (Sweidan, 1990). Burada A_{il} , 1 mesnet serbestlik derecesinin birim hareketinin neden olduğu z_i davranış kuvvetini göstermektedir.

$z^{qs}(t)$ 'nin varyansı, $-\infty$ 'dan ∞ 'a kadar ω 'ye bağlı olarak $S_z^{qs}(\omega)$ 'nin integrale edilmesiyle hesaplanabilir (Harichandran ve Wang, 1988; Lee ve Penzien, 1983).

$$\sigma_{z_i}^{2qs}(\omega) = \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^4} S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gm}}(\omega) d\omega \quad (51)$$

1.6.3. Zahiri-Statik ve Dinamik Davranış Bileşenleri Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu

Zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenleri arasındaki kovaryans fonksiyonu, $[S_z^{qs \ d}(\omega)]$ skaler formda yazılırsa,

$$S_{z_i}^{qs \ d}(\omega) = -\frac{1}{\omega^2} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gm}}(\omega) \quad (52)$$

ifadesi elde edilir (Sweidan, 1990).

Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans fonksiyonu, $-\infty$ 'dan ∞ 'a kadar ω 'ye bağlı olarak $S_{z_i}^{qs \ d}(\omega)$ 'nin integrale edilmesi suretiyle aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Harichandran ve Wang, 1988; Lee ve Penzien, 1980).

$$Cov(z_i^{qs}, z_i^d) = \text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs \ d}(\omega) d\omega \right] = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} \left(- \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^2} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gm}}(\omega) d\omega \right) \quad (53)$$

1.6.4. Toplam Davranış Bileşeninin Varyansı

i. toplam davranış bileşeninin varyansı,

$$\sigma_{z_i}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs}(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega + 2 \text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs \ d}(\omega) d\omega \right] \quad (54)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma_{z_i}^{2qs} + \sigma_{z_i}^{2d} + 2\text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d) \quad (55)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada, Re gerçel kısmı gösterirken, $\sigma_{z_i}^{2qs}$ ve $\sigma_{z_i}^{2d}$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenlerinin varyansını göstermektedir. $\text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d)$ ise, zahiri-statik ve dinamik davranış bileşenleri arasındaki kovaryansı göstermektedir (Harichandran ve Wang, 1988; Harichandran, 1992).

1.6.5. Ortalama Maksimum Değer

Stokastik analizde ortalama maksimum değer, μ , maksimum büyüklük faktörüne ve $z(t)$ işleminin standart sapmasına (σ_z) bağlı olarak ifade edilmektedir (Dumanoğlu ve Severn, 1990).

$$\mu = p\sigma_z \quad (56)$$

Standart sapma varyansın karekökü alınmak suretiyle,

$$\sigma = q\sigma_z \quad (57)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Button vd., 1981). Burada p ve q değerleri sırasıyla yer hareket ivmesinin ve sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörleridir (Der Kiureghian, 1980; Wung ve Der Kiureghian, 1989).

$$p = \sqrt{(2 \ln v_e T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{(2 \ln v_e T)}} \quad (58)$$

$$q = \frac{1.2}{\sqrt{(2 \ln v_e T)}} - \frac{5.4}{13 + (2 \ln v_e T)^{3.2}} \quad (59)$$

Burada,

$$v_e = (1.9\xi^{0.15} - 0.73)v_0 \quad (60)$$

sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısıdır. Yukarıdaki ifadede T hareket süresini, ξ modal sönüm oranını, v_0 oluşma frekansını göstermektedir. v_0 değerini

$$v_0 = \frac{1}{\pi} \frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_z(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} S_z(\omega) d\omega} \right)^{1/2} \quad (61)$$

ifadesi ile tanımlamak mümkündür. Bu denklemden $S_z(\omega)$, $z(t)$ işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu, σ_z ve $\sigma_{\dot{z}}$ ise sırasıyla $z(t)$ işleminin ve türevinin standart sapmasını göstermektedir (Lee ve Penzien 1980; Dumanoglu ve Severn, 1990).

1.6.6. Stasyonere Olmayan Davranış

Önceki bölümlerde kullanılan teorik formülasyon stasyonere işlemler için geçerli olmaktadır. Ancak, istatistiksel özelliklerin zamanla değiştiği deprem hareketleri stasyonere (durağan) olmayan işlemler sınıfına aittir.

Stasyonere olmayan işlem için yer hareket ivmesi (Hawwari, 1992),

$$\ddot{v}(t) = e(t) * z(t) \quad (62)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada $z(t)$ stasyonere işlem için yer hareket ivmesini gösterirken, $e(t)$ deterministik bir çarpım faktörünü göstermektedir.

j. mod için genelleştirilmiş yerdeğiştirme tepkisi,

$$Y_j(t) = \int_0^t h_j(t - \tau) e(\tau) z(\tau) d\tau \quad (63)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada $h_j(t)$ j. mod için impuls tepki fonksiyonunu göstermektedir. Frekans alanında analiz için zamana bağlı frekans davranış fonksiyonu ise,

$$H_j(\omega, t) = \int_0^t h_j(t-\tau) e(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau \quad (64)$$

şeklinde yazılmaktadır. t anındaki stasyoner olmayan yapı davranışını elde etmek için, stasyoner işlem için elde edilen ifadelerde normal frekans davranış fonksiyonu $H_j(\omega)$ yerine $H_j(\omega, t)$ fonksiyonunun yazılması gerekmektedir. Ancak, buradaki temel zorluk $H_j(\omega)$ için kapalı bir ifade yazabilirken, rasgele bir $e(t)$ fonksiyonu için $H_j(\omega, t)$ ifadesinin her zaman kapalı formda yazılamamasından kaynaklanmaktadır (Sweidan, 1990).

Bununla birlikte eğer $e(t)$ birim Heaviside fonksiyonu (Hawwari, 1992) olarak dikkate alınırsa, $H_j(\omega, t)$ için kapalı bir ifade yazılabilmektedir. Öyle ki,

$$e(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (65)$$

Bu ifade $t=0$ anında stasyoner bir yoğunlukla aniden başlayan ve stasyoner hareketle aynı olmayan bir harekete karşılık gelmektedir.

Heaviside fonksiyonu için $H_j(\omega, t)$ ifadesi,

$$H_j(\omega, t) = H_j(\omega) \left[1 - e^{-\xi_j \omega_j t} e^{-i\omega t} \left(\cos \omega_{jd} t + \frac{(\xi_j \omega_j + i\omega)}{\omega_{jd}} \sin \omega_{jd} t \right) \right] \quad (66)$$

şeklinde yazılmaktadır (Lin, 1963). Burada $\omega_{jd} = \omega_j \sqrt{1 - \xi_j^2}$ şeklinde ifade edilirken, $H_j(\omega)$ (46) nolu denklemde tanımlandığı gibidir (Harichandran vd., 1996; Clough ve Penzien, 1993).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yer Hareketi Modeli

Stokastik analizde, yapı sisteminin mesnetlerine etkiyen yer hareketi, mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmesinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Oliveira vd., 1991; Abrahamson vd., 1991; Schneider vd. 1992; Abrahamson, 1993; Heredia-Zavoni ve Vanmarcke, 1994).

$$S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gm}}(\omega) = \gamma_{lm}(\omega) \sqrt{S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gl}}(\omega) * S_{\ddot{v}_{gm}\ddot{v}_{gm}}(\omega)} \quad (67)$$

Burada, $\gamma_{lm}(\omega)$ tutarsızlık fonksiyonu, $S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gm}}(\omega)$ l ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmelerine ait karşıt spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. Zeminin homojen olması durumunda ($S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gl}}(\omega) = S_{\ddot{v}_{gm}\ddot{v}_{gm}}(\omega) = S_{\ddot{v}_g}(\omega)$) yukarıdaki ifade,

$$S_{\ddot{v}_{gl}\ddot{v}_{gm}}(\omega) = \gamma_{lm}(\omega) S_{\ddot{v}_g}(\omega) \quad (68)$$

şekline dönüşebilir. Bu çalışmada Clough ve Penzien (1993) tarafından düzeltilerek elde edilen Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır ve

$$S_{\ddot{v}_g}(\omega) = S_0 |H_g(\omega)|^2 |H_f(\omega)|^2 \quad (69)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Burada,

$$|H_g(\omega)|^2 = \frac{\omega_g^4 + 4\xi_g^2 \omega_g^2 \omega^2}{(\omega_g^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_g^2 \omega_g^2 \omega^2} \quad (70)$$

ve

$$|H_f(\omega)|^2 = \frac{\omega^4}{(\omega_f^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_f^2\omega_f^2\omega^2} \quad (71)$$

zemine ait filtre fonksiyonlarını gösterirken, ω_g ve ξ_g sırasıyla zemine ait doğal frekansı ve sönüm oranını, ω_f ve ξ_f ikinci filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını; S_0 beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonunun genlik değerini göstermektedir (Hindy, 1980; Allam ve Datta, 2000).

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından sert, orta ve yumuşak zemin durumları için filtre parametreleri olarak önerilen değerler Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri (Der Kiureghian ve Neuenhofer, 1991)

Zemin Cinsi	ω_g (rad/s)	ξ_g	ω_f (rad/s)	ξ_f
Sert	15.0	0.6	1.5	0.6
Orta	10.0	0.4	1.0	0.6
Yumuşak	5.0	0.2	0.5	0.6

Bu çalışmada yapılan analiz sonuçlarına bağlı olarak yumuşak, orta ve sert zemin cinsleri seçilmiş olup, Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından önerilen yer ivmesi spektral yoğunluk fonksiyonu parametreleri kullanılmaktadır.

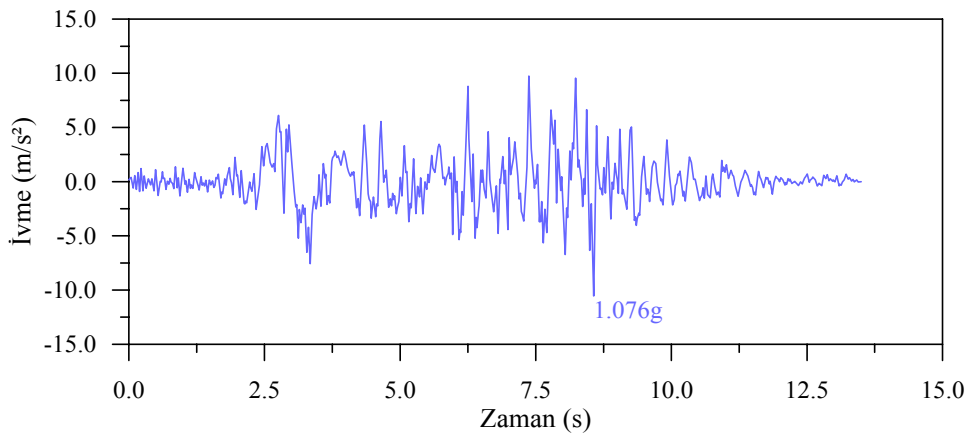
S_0 değeri ise,

$$S_0 = \frac{\sigma_{\ddot{v}_g}^2}{\int_0^{\infty} |H_g(\omega)|^2 |H_f(\omega)|^2 d\omega} = \frac{\sigma_{\ddot{v}_g}^2}{\Phi} \quad (72)$$

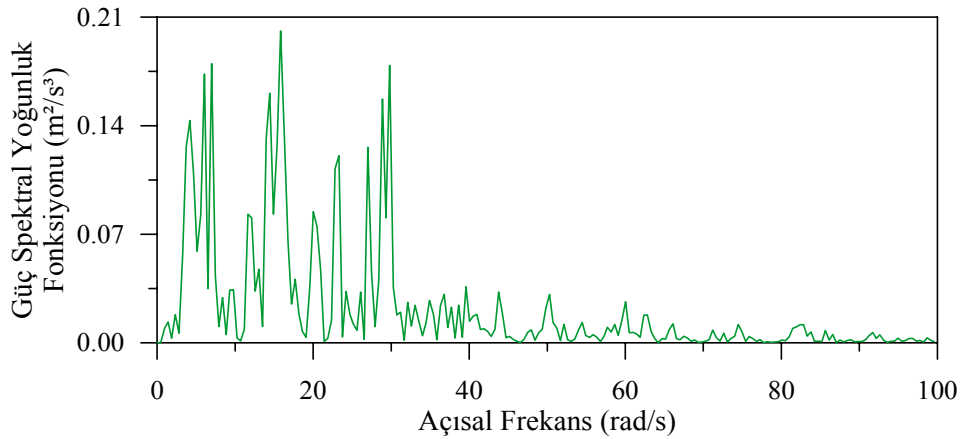
ifadesi ile elde edilebilmektedir (Datta ve Mashaly, 1986). Burada $\sigma_{\ddot{v}_g}^2$ yer hareket ivmesinin varyansını göstermektedir.

(72) denklemi yardımı ile S_0 değerinin belirlenebilmesi için, her bir zemin cinsi için yer hareket ivmesinin spektral yoğunluk fonksiyonu depremin enerjisine eşitlenmektedir. Analizlerde 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı

kullanılacaktır (URL-1, 2008). İvme kaydı baraj-rezervuar-zemin sisteminde memba-mansap doğrultusunda uygulanmaktadır. Sert zeminde kaydedilen San Fernando depreminin maksimum ivmesi 1.076g'dir. San Fernando depreminin ivme kaydı Şekil 3'te, güç spektral yoğunluk fonksiyonu da Şekil 4'te verilmektedir. STOCAL-II (Wung ve Der Kiureghian, 1989) bilgisayar programı kullanılmak suretiyle yer hareket ivmesine ait varyans ifadesi San Fernando depremi için Şekil 4'teki güç spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılarak $\sigma_{\ddot{v}_g}^2 = \lambda_0 = 2.2617 \text{ m}^2/\text{s}^4$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı



Şekil 4. 1971 San Fernando depremi ivme kaydına ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından üç zemin türü için verilen filtre parametreleri kullanılmak sureti ile (72) denkleminde gösterilen Φ değerleri her bir zemin türü için hesaplanarak Tablo 5’te verilmektedir.

Tablo 5. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan Φ değerleri

Zemin Cinsi	Φ (1/s)
Sert	47.109
Orta	31.703
Yumuşak	22.581

San Fernando depremi için bulunan varyans değeri (72) denkleminde gösterildiği gibi, her bir zemin türü için elde edilen Φ değerlerine bölünerek S_0 değerleri elde edilmektedir. Bu S_0 değerleri Tablo 6’da verilmektedir.

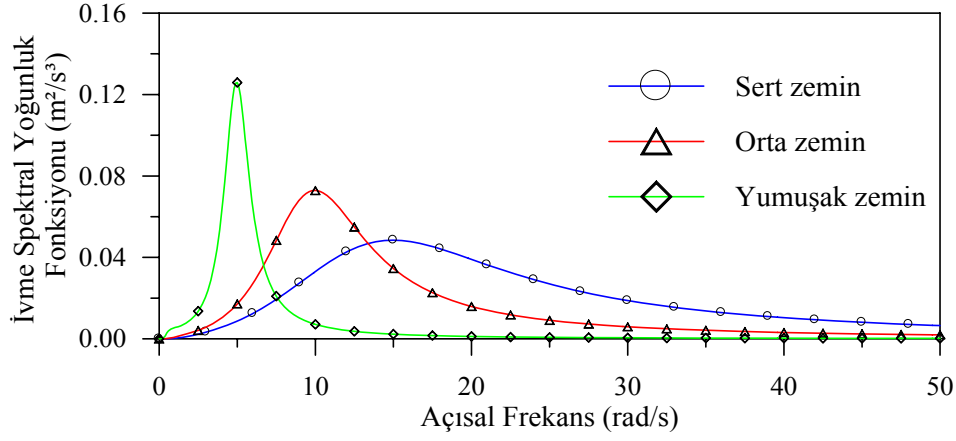
Tablo 6. Çeşitli zemin türleri için S_0 değerleri

Zemin Cinsi	S_0 (m^2/s^3)
Sert	0.04801
Orta	0.07134
Yumuşak	0.10016

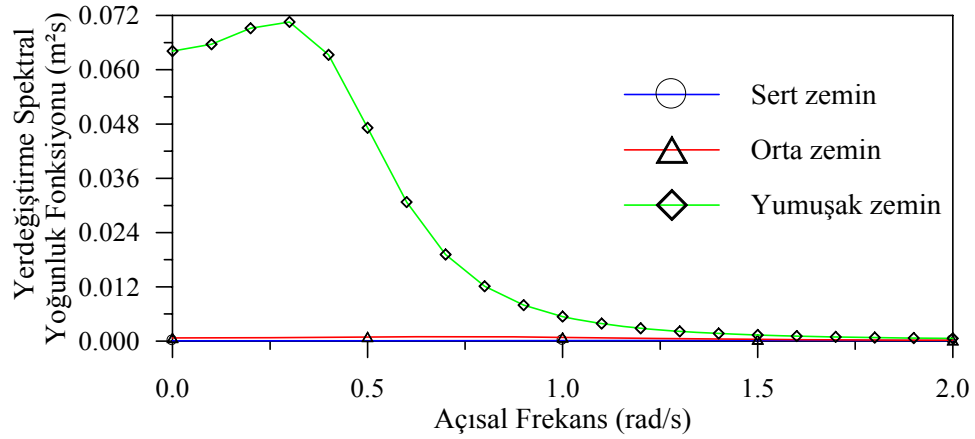
(69) denklemi ile gösterilen Clough ve Penzien (1993) tarafından geliştirilen yer hareketi modeli için ivme spektral yoğunluk fonksiyonları çeşitli zemin türleri için Şekil 5’de gösterilmektedir. Aynı yer hareketi modeli için Şekil 6’da gösterilen yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu ise, Şekil 5’te görülen ivme spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak hesaplanmaktadır (Zerva, 1992).

Bununla birlikte (80) denklemi ile tanımlanan ve Şekil 5’te görülen yer hareketi yerdeğiştirme varyans değerleri (yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonunun alanı) her bir zemin cinsi durumunda farklı olmaktadır. Bu farklılığın nedeni, ivme değerlerinin yerdeğiştirme değerlerinin türevi olması ile açıklanabilir. Aşağıda yer değiştirme spektral yoğunluk fonksiyonunun değeri, ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun değerine bağlı olarak verilmektedir.

$$S_{\ddot{v}_{ce}} = \frac{S_{\ddot{v}_g}}{\omega^4} \quad (73)$$



Şekil 5. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 6. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu

2.1.1. Tutarlılık Fonksiyonu

Tutarlılık fonksiyonu, $\gamma_{im}(\omega)$ değişerek yayılan yer hareketinin karakterize edilmesinde önemli bir bileşen olup, farklı yerlerde kaydedilen ivmeler arasındaki tutarsızlığı tanımlar (Santa-Cruz vd., 2000). Tutarsızlık fonksiyonu boyutsuz olup, karmaşık bir ifadedir ve frekans alanında,

$$\gamma_{lm}(\omega) = |\gamma_{lm}(\omega)|^t \gamma_{lm}(\omega)^d \gamma_{lm}(\omega)^z = |\gamma_{lm}(\omega)|^t \exp\left[i\left(\theta_{lm}(\omega)^d + \theta_{lm}(\omega)^z\right)\right] \quad (74)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir (Der Kiureghian, 1996). $0 \leq |\gamma_{lm}(\omega)| \leq 1$ aralığında kalmakta olup, $\ddot{v}_l(t)$ ve $\ddot{v}_m(t)$ işlemleri arasındaki istatistiksel bağımlılığı ifade etmektedir. $\gamma_{lm}(\omega) = 1$ iki işlem arasındaki bağımlılığın lineer olduğunu ifade ederken, $\gamma_{lm}(\omega) = 0$ iki işlem arasındaki istatistiksel bağımsızlığı vurgulamaktadır. Bu denklemde $\gamma_{lm}(\omega)$ terimlerinin üsleri şeklinde gösterilen t, d, z harfleri sırasıyla tutarsızlık etkisini, dalga yayılma etkisini ve zemin etkisini ifade etmektedir.

(74) denkleminde $\gamma_{lm}(\omega)^t$ mesnetlere etkileyen yer hareketleri arasındaki tutarsızlık etkisini ifade etmektedir. Tutarsızlık etkisi, deprem hareketinin düzgün olmayan faylar boyunca çok değişik kaymalar sonucunda meydana gelmesi ve ortaya çıkan yerdeğiştirme dalgalarının rasgele sayılabilecek sayısız yansıma ve kırılmadan geçmesi ile açıklanmaktadır. Bu çalışmada literatürde daha çok kullanılan iki tutarsızlık modeli dikkate alınmaktadır. Tayvan'daki SMART-1 deprem kayıtlarının analizi ile Harichandran ve Vanmarcke (1986) tarafından belirlenen tutarsızlık modeli (Model 1) ile Luco ve Wong (1986) tarafından kayma dalgalarının rasgele ortamdaki yayılmaları dikkate alınmak suretiyle belirlenen tutarsızlık modelidir (Model 2).

Harichandran ve Vanmarcke (1986) tarafından geliştirilen tutarsızlık modeli,

$$|\gamma_{lm}(\omega)|^t = A e^{\frac{-2d_{lm}(1-A+\alpha A)}{\alpha\theta(\omega)}} + (1-A) e^{\frac{-2d_{lm}(1-A+\alpha A)}{\theta(\omega)}} \quad (75)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Burada;

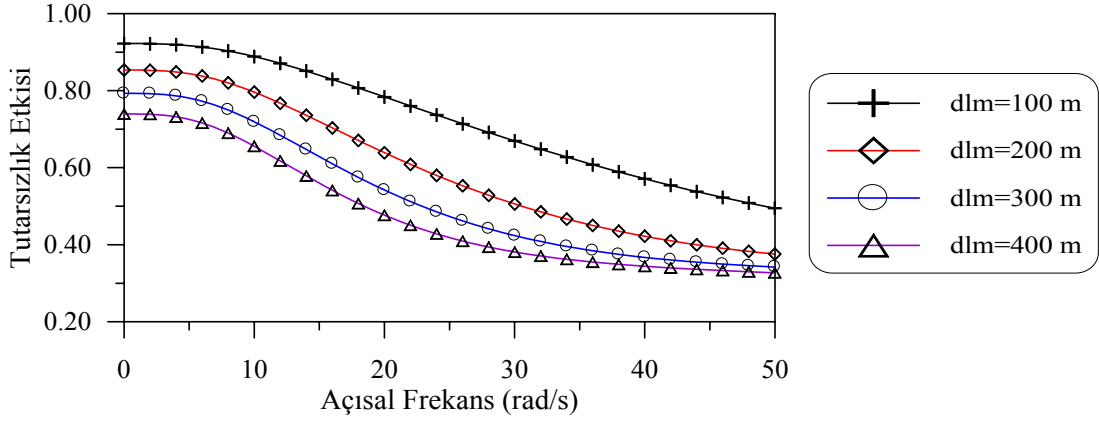
$$\theta(\omega) = k \left[1 + \left(\frac{\omega}{2\pi f_0} \right)^b \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (76)$$

ifadesi ile verilirken, d_{lm} mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklığı göstermektedir. A, α , k, f_0 ve b ampirik sabitlerdir. Bu çalışmada Harichandran vd. (1996) tarafından önerilen değerler ($A=0.636$, $\alpha=0.0186$, $k=31200$, $f_0=1.51$ Hz ve $b=2.95$) kullanılmıştır.

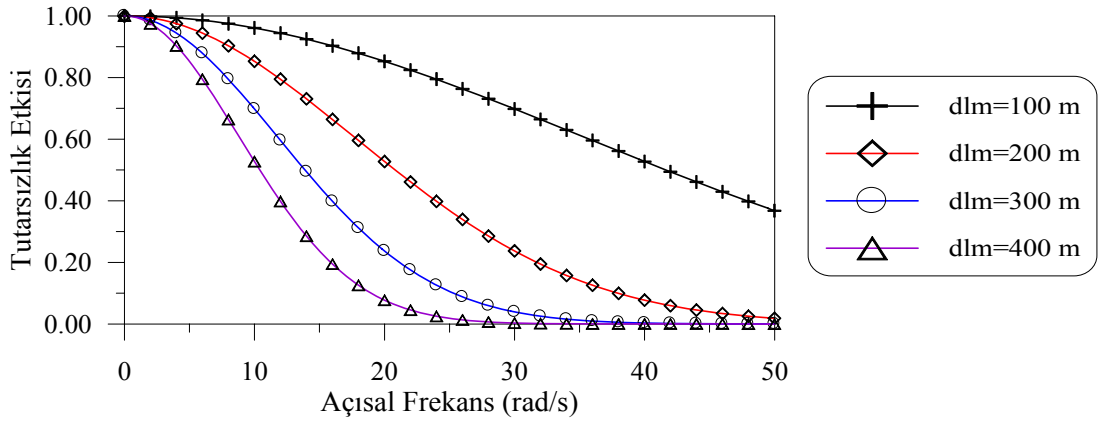
Luco ve Wong (1986) tarafından geliştirilen tutarsızlık modeli ise,

$$|\gamma_{lm}(\omega)|^t = \exp(-(\alpha d_{lm} \omega / v_s)^2) \quad (77)$$

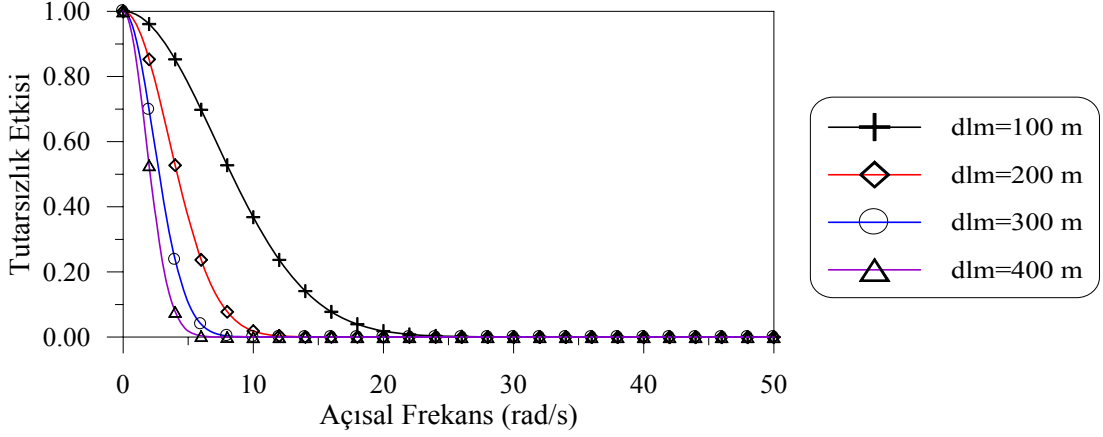
şeklinde ifade edilmektedir. Burada α boyutsuz bir tutarsızlık parametresini, d_{lm} mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklığı, v_s kayma dalgası hızını göstermektedir. Bu çalışmada Luco ve Wong (1986) ve Luco ve Mita (1987) tarafından önerilen α/v_s oranı düşük tutarsızlık azalması etkisini gösterebilmek için 2×10^{-4} s/m değeri, yüksek tutarsızlık azalması etkisini gösterebilmek içinde 1×10^{-3} s/m değeri kullanılmıştır. Düşük ve yüksek tutarsızlık etkileri Model 2a ve Model 2b olarak gösterilmiştir. Şekil 7-9'da baraj mesnetleri arasındaki mesafeler için elde edilen tutarsızlık etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil 7. Harichandran ve Vanmarcke (1986) modeli (Model 1) tutarsızlık etkisinin açısal frekansa bağlı olarak değişimi



Şekil 8. Luco ve Wong (1986) modeli (Model 2a) tutarsızlık etkisinin açısal frekansa bağlı olarak değişimi



Şekil 9. Luco ve Wong (1986) modeli (Model 2b) tutarsızlık etkisinin açısal frekansa bağlı olarak değişimi

Şekil 7-9'dan da görüleceği gibi düşük frekanslarda Model 2 için tam tutarsızlık gözlenirken, Model 1 için frekansın sıfır değeri için dahi, kısmi tutarsızlık söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte Model 1 durumunda, Model 2'ye oranla daha yavaş sifıra yaklaşmaktadır. Şekilden görüleceği üzere tutarsızlık etkisi frekansın ve mesafenin artması ile birlikte azalmaktadır. Ayrıca üstel olarak ifade edilen (77) denkleminde $\alpha=0$ yazılarak üniform yer hareketine karşılık gelen durumda tutarsızlık etkisinin tüm frekans ve mesafeler için $|\gamma_{lm}(\omega)^t| = 1$ olduğu görülmektedir.

(74) denkleminde üstel olarak gösterilen ikinci terim aşağıda ifade edildiği gibi yer hareketinin yayılma etkisini içermektedir. Dalga yayılma etkisi deprem hareketinin bir mesnetten diğerine ulaşınca kadar geçen zaman farkından doğmaktadır (Zerva, 1991; 1999).

$$\theta_{lm}(\omega)^d = -\frac{\omega d_{lm}^L}{v_{app}} \quad (78)$$

Burada v_{app} görünen dalga yayılma hızını gösterirken, d_{lm}^L dalga yayılma doğrultusunda mesnetler arasındaki yatay izdüşüm uzaklığını göstermektedir. Bu çalışmada yer hareketi dalga yayılma hızı farklı analiz durumları için farklı analiz durumları $v_{app}=1000, 1500, 2000, 3000$ m/s ve sonsuz hız değerleri kullanılmaktadır.

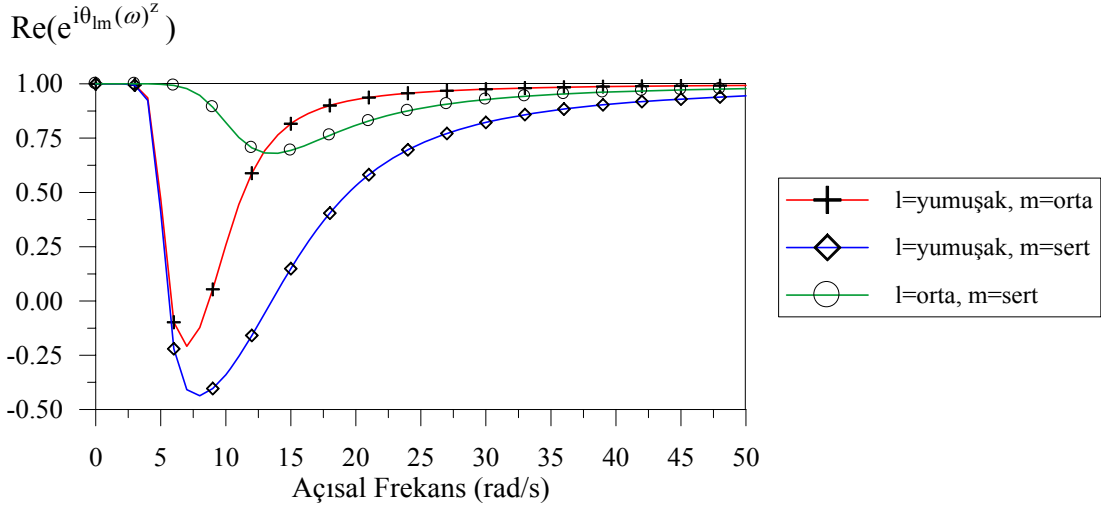
(74) denkleminde gösterilen son terim ise yerel zemin etkisini ifade etmektedir. Zemin etkisi farklı mesnet noktalarındaki yerel zemin şartlarının farklılığından

kaynaklanmaktadır ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Der Kiureghian ve Keshishian, 1996; Der Kiureghian vd., 1997).

$$\theta_{lm}(\omega)^s = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[H_l(\omega)H_m(-\omega)]}{\text{Re}[H_l(\omega)H_m(-\omega)]} \quad (79)$$

Burada, $H_l(\omega)$ ve $H_m(-\omega)$ l ve m mesnet noktalarındaki frekans davranış fonksiyonlarını, Im ve Re sırasıyla fonksiyonun sanal ve reel kısımlarını göstermektedir.

Şekil 10 ve Tablo 7'de l ve m mesnet noktalarındaki zemin cinsleri için yumuşak-orta, yumuşak-sert, orta-sert zemin cinsleri dikkate alınarak (79) denklemi ile gösterilen zemin etkisinin reel kısmının frekansa bağlı olarak değişimi gözlenmektedir.



Şekil 10. Zemin etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi

Zemine ait parametre değerleri için Tablo 4'te verilen ω_g ve ξ_g değerleri kullanılmıştır. Burada yumuşak-sert zemin cinsi durumunda zemin etkisi en etkili olurken, orta-sert zemin cinsi durumunda zemin etkisinin en az olduğu dikkati çekmektedir. Başka bir ifade ile zemin özellikleri arasındaki farklılık arttıkça zemin etkisi daha önemli olmaktadır. Ayrıca zemin cinsinin aynı olması durumunda zemin etkisi sıfır olacaktır.

Tablo 7. Zemin etkisinin frekansa bağılı olarak değişimi

Frekans (rad/s)	l=yumuşak m=orta	l=yumuşak m=sert	l=orta m=sert
	$\text{Re}(e^{i\theta_m(\omega)^2})$		
1	1,00000000	1,00000000	1,00000000
2	0,99999691	0,99999567	0,99999995
3	0,99973391	0,99964241	0,99999326
4	0,99491330	0,99353269	0,99991696
5	0,93495526	0,92304352	0,99948115
6	0,47058823	0,41036470	0,99774941
7	-0,09828719	-0,22096238	0,99227789
8	-0,20907471	-0,40903679	0,97787023
9	-0,12276229	-0,43655099	0,94646642
10	0,05296623	-0,40377922	0,89218563
11	0,25766267	-0,33949998	0,82136998
12	0,44352869	-0,25550323	0,75318872
13	0,58815316	-0,15908088	0,70488668
14	0,69211225	-0,05623766	0,68172481
15	0,76492745	0,04770889	0,67987684
16	0,81613664	0,14834045	0,69253184
17	0,85280036	0,24243807	0,71340845
18	0,87965434	0,32807122	0,73787906
19	0,89978802	0,40444359	0,76296230
20	0,91522000	0,47160050	0,78694840
21	0,92728870	0,53011800	0,80899020
22	0,93689880	0,58084520	0,82877300
23	0,94467500	0,62472460	0,84628500
24	0,95105800	0,66268200	0,86166900
25	0,95636330	0,69556900	0,87513620
26	0,96082400	0,72413800	0,88691400
27	0,96461140	0,74903860	0,89722340
28	0,96785700	0,77082300	0,90626500
29	0,97066130	0,78995790	0,91421670
30	0,97310200	0,80683300	0,92123200
32	0,97879540	0,84691510	0,93787590
34	0,98161610	0,86708350	0,94622550
36	0,98389450	0,88349220	0,95299790
38	0,98576360	0,8970139	0,95856060
40	0,98731760	0,90828620	0,96318310
42	0,98862450	0,91778150	0,96706490
44	0,98973500	0,92585570	0,97035600
46	0,99068710	0,93278010	0,97317080
48	0,99151020	0,93876440	0,97559730
50	0,99222700	0,94397200	0,97770400

2.2. Geliştirilen Bilgisayar Programı

Yapı sistemlerinin değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki stokastik dinamik analizi SVEM (Dumanoğlu ve Soyluk, 2002) programıyla yapılabilmektedir. Bu çalışmada, sıvı-yapı sistemlerinin değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki stokastik dinamik analizini yapabilmek amacıyla Wilson ve Khalvati (1983) tarafından önerilen Lagrange yaklaşımına dayalı değişken düğüm noktalı iki boyutlu izoparametrik sıvı sonlu eleman formülasyonu FORTRAN programlama dilinde kodlanmıştır. Kodlanan bu alt program değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki lineer yapı sistemlerinin stokastik analizini gerçekleştiren SVEM (Dumanoğlu ve Soyluk, 2002) programına eklenerek SVEMF olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada, geliştirilen SVEMF programı ile değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin etkileşim sistemlerinin Lagrange yaklaşımına dayalı stokastik dinamik analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

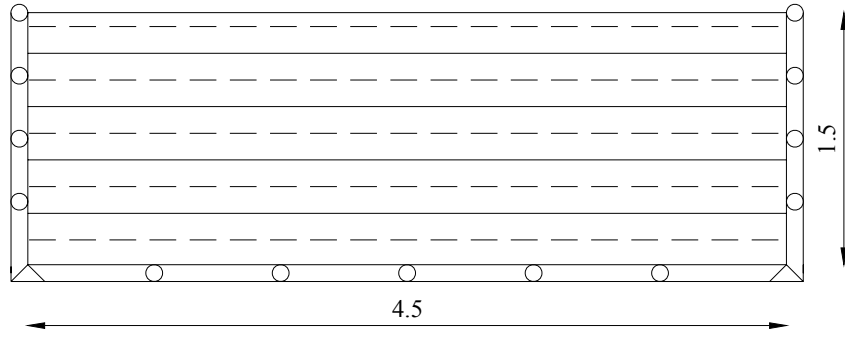
2.3. Geliştirilen Bilgisayar Programının Kontrol Edilmesi

Bu bölümde geliştirilen SVEMF programının test edilmesi için bir rijit sıvı tankı ve örnek bir sıvı-yapı modeli kullanılarak modal analiz yapılmıştır.

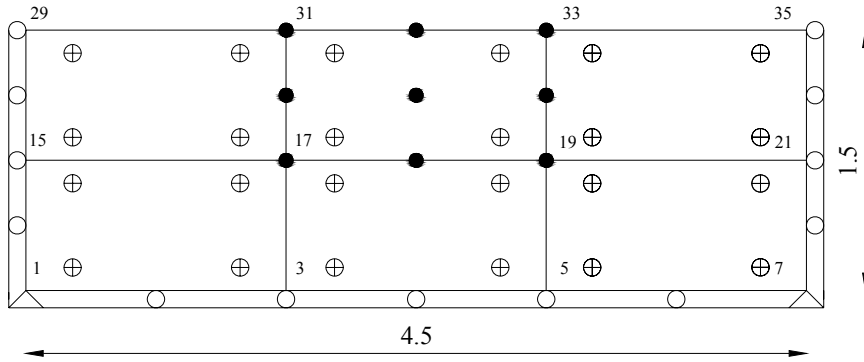
2.3.1. Rijit Sıvı Tankının Modal Analizi

Geliştirilen SVEMF programının geçerliliğini ve doğruluğunu test etmek için öncelikle iki boyutlu 9-düğüm noktalı sıvı sonlu eleman kullanılarak, bir sıvı tankının modal analizi gerçekleştirilmektedir. Analizlerde, sıvı elemanın kütle yoğunluğu 1000 kg/m^3 , hacimsel elastisite modülü $207 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ve yerçekimi ivmesi $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak alınmıştır.

İki boyutlu 9 düğüm noktalı Lagrange sıvı sonlu elemanın testi için Şekil 11'de verilen sıvı tankı kullanılmıştır. Bu tankın sonlu eleman ağı da Şekil 12'de verilmektedir. Sıvı tankının sonlu eleman ağında 35 adet düğüm noktası ve 70 adet serbestlik derecesi vardır. Serbest yüzeyli ve rijit duvarlı kabul edilen bu sıvı tankının sınır şartlarından dolayı 7 adet tutulu serbestlik derecesi, 63 adet aktif serbestlik derecesi bulunmaktadır.



Şekil 11. Test için kullanılan sıvı tankı



Şekil 12. Test için kullanılan sıvı tankına ait iki boyutlu 9 düğüm noktalı sonlu eleman modeli

Sıvı elemanların modal davranışı büyük önem göstermektedir. Lagrange sıvı elemanlar üzerinde yapılan çalışmalarda çoğunlukla modal davranış ön planda incelenmiştir (Olson ve Bathe, 1983; Wilson ve Khalvati, 1983; Akkaş vd., 1979; Hamdi vd., 1978; Greeves, 1991; Calayır ve Dumanoglu, 1993a,b; Parrinello ve Borino, 2007; Köseoğlu, 2007; Akköse, 2003). Sıvı rotasyonsuzluğunun ceza yöntemiyle veya benzer şekillerde göz önüne alındığı formülasyonlarda rotasyon kısıtlama parametresinin değişimi frekans dağılımını etkilemektedir (Wilson ve Khalvati, 1983; Hamdi vd., 1978; Calayır ve Dumanoglu, 1993a, b). (y-z) eksen takımında düşünülen iki boyutlu sıvı eleman için sadece w_x rotasyonu söz konusudur. Bu rotasyonla ilgili kısıtlama parametresi α_x dir. Bir sıvı sisteminin modal analizi yüzey salınım, hacim değişim ve rotasyonla ilgili modları vermektedir. Rotasyon kısıtlama parametresinin frekans dağılımı üzerindeki etkisini incelemek üzere Şekil 11’de verilen sıvı tankının söz konusu parametrenin değişik değerleri için modal analizi yapılmaktadır. Çözümler Şekil 12’de verilen 9 düğüm noktalı

sonlu eleman modeli kullanılarak elde edilmiştir. SVEMF programından elde edilen sonuçlar, STOCALF (Bayraktar vd, 2005) programından elde edilen sonuçlarla birlikte karşılaştırılmak üzere Tablo 8’de verilmektedir. Tablo 8’den görüleceği gibi STOCALF ve SVEMF programlarından elde edilen frekanslar birbirine eşittir.

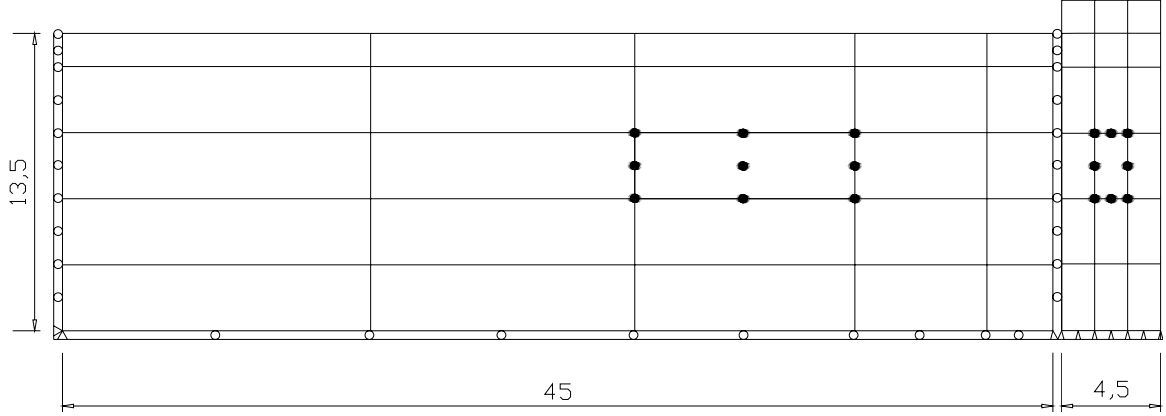
Tablo 8. Sıvı tankının frekansları

Mod numarası	Frekanslar (Hz)			
	STOCALF (Bayraktar vd., 2005)	SVEMF		
	$\alpha_x = 100\beta$	$\alpha_x = 100\beta$	$\alpha_x = 10\beta$	$\alpha_x = 1\beta$
1	0.296	0.296	0.296	0.296
2	0.364	0.364	0.364	0.364
3	0.522	0.522	0.522	0.522
4	0.544	0.544	0.544	0.544
5	0.596	0.596	0.596	0.596
6	236.9	236.9	234.5	93.0
7	285.0	285.0	284.4	230.4
8	387.3	387.3	298.0	238.6
9	529.2	529.2	386.3	243.5

Sıvı tankının 1, 2, 3 ve 4. hacim değişim modlarına ait frekanslar analitik çözümden (Olson ve Bathe, 1983) sırasıyla 239.8, 288.2, 399.7 ve 536.2 Hz olarak hesaplanmaktadır. Buradaki çözümden ilgili modlara 6., 7., 8. ve 9. modlar karşılık gelmekte ve bunlara ait frekanslar sırasıyla 236.9, 285.0, 387.3 ve 529.2 Hz olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi hacim değişim modlarının frekansları analitik çözümlere yakın olmaktadır. Bu durum ile sonuçların doğruluğu teyit edilmektedir. İlk 5 moda ait frekanslar, yüzey salınımlarını temsil etmektedir. Yüzey salınım frekanslarının yapı davranışı üzerindeki etkisi oldukça az olmaktadır.

2.3.2. Sıvı-Yapı Etkileşim Sisteminin Modal Analizi

Geliştirilen SVEMF programının sıvı-yapı etkileşim sistemlerinde kontrolü için Şekil 13'te verilen sıvı-yapı sistemi seçilmiştir.



Şekil 13. Sıvı-yapı etkileşim sistemi sonlu eleman modeli

Yapı yüksekliği, $H=15$ m olup, rezervuar uzunluğu $3H=45$ m olarak belirlenmiştir. Rezervuarda 9 düğüm noktalı sıvı, yapıda 8 düğüm noktalı katı izoparametrik sonlu elemanlar kullanılmıştır. Hem sıvı hem de yapı ortamının her düğüm noktasında yatay ve düşey ötelenmelerden oluşan iki serbestlik derecesi mevcuttur. Eleman matrisleri yapı için 3×3 normal, sıvı için 2×2 indirgenmiş integrasyon dereceleri kullanılarak elde edilmektedir (Bathe, 1996). Sıvı-yapı ara yüzeyinde iki ortamın yatay yerdeğiştirmelerinin sürekliliği kısıtlama denklemleri ile sağlanmıştır. Hesaplamalarda düzlem şekildeğiştirme koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Rezervuardaki sıvı için hacimsel elastisite modülü ve kütle yoğunluğu sırasıyla 207×10^7 N/m², 1000 kg/m³ olarak alınmıştır. Kısıtlama parametresi 100 olarak alınmıştır.

Sıvı-yapı etkileşim sisteminin STOCALF ve SVEMF programlarıyla yapılan analizler sonucu elde edilen frekanslar Tablo 9'da verilmektedir. Lagrange yaklaşımı kullanılarak yapılan bu analizde elde edilen ilk 9 frekans yüzey salınımlarıyla ilgilidir ve yapının davranışında herhangi bir etkileri yoktur. Tablo 9'dan görüleceği gibi 10. frekans ilk hacim değişim frekansıdır. STOCALF ve SVEMF programlarından elde edilen frekanslar birbirine oldukça yakındır.

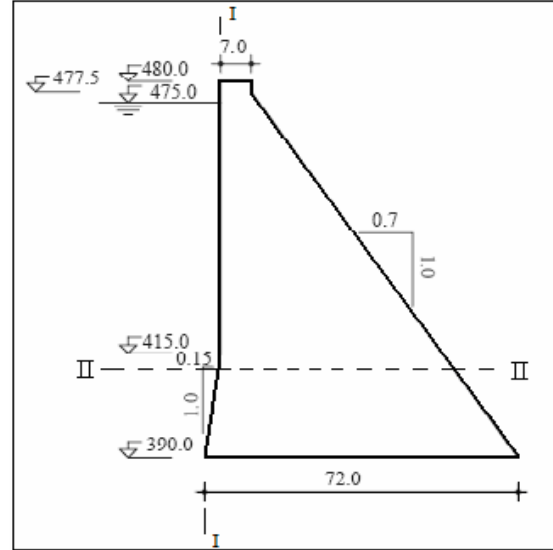
Tablo 9. Sıvı-yapı etkileşim sisteminin modal analizinden elde edilen frekanslar

Mod numarası	Frekanslar (Hz)	
	STOCALF (Bayraktar vd., 2004)	SVEMF
1	0,01	0,06
2	0,08	0,11
3	0,13	0,13
4	0,16	0,17
5	0,17	0,18
6	0,20	0,20
7	0,23	0,21
8	0,26	0,24
9	0,30	0,29
10	6,46	5,37
11	8,02	6,87
12	11,00	9,68
13	12,12	12,12
14	12,96	12,30
15	15,20	15,00
16	16,22	16,17
17	17,43	17,42
18	18,27	18,27
19	18,48	18,44
20	19,72	19,68

2.4. Seçilen Barajın Yapısal Özellikleri

Baraj-rezervuar-zemin etkileşim sistemlerinin depreme göre stokastik dinamik davranışlarını belirlemek için örnek baraj olarak Ankara'nın 120 km kuzeydoğusunda, Sakarya nehri üzerinde inşa edilen ve 1956 yılında işletmeye açılmış olan Sarıyar Barajı seçilmiştir. Türkiye'nin büyük barajlarından biri olan Sarıyar Barajı taşkından koruma, sulama ve enerji üretim amaçlı projelendirilmiştir. Arkasında normal çalışma seviyesinde 1900.00 hm³ hacim ve 83.83 km²'lik bir gölalanı oluşmaktadır. Su toplama havzası Türkiye yüzölçümünün yaklaşık 1/19'u kadardır. Böylece toplanmış sudan 400 milyon kWh enerji üretilmektedir ve Sakarya nehrinin barajdan Karadeniz'e kadar 360 km'lik nehir rejimi düzenlenerek bu bölgeler sel tehlikesinden korunmaktadır.

Temeli metamorfik kayaç, silt ve kuartz olan Sarıyar Barajı'nın temelden yüksekliği 108 m, talvegden yüksekliği 90 m, kret uzunluğu 257 m'dir (DSİ, 1991). Barajın fotoğrafı ve en büyük enkesiti Şekil 14' te gösterilmektedir.



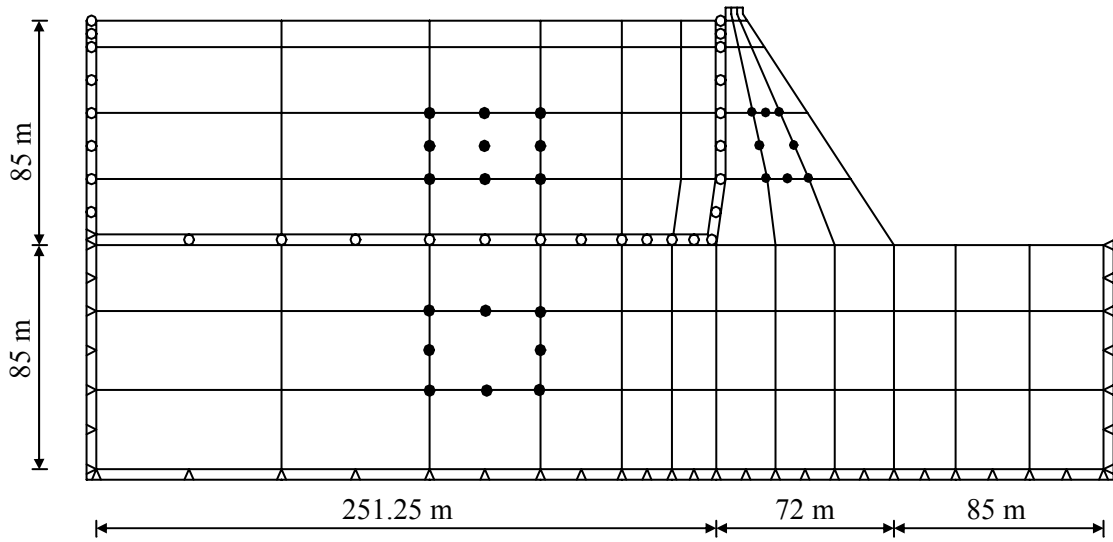
Şekil 14. Sarıyar Barajının fotoğrafı ve enkesiti

2.4.1. Baraj-Rezervuar-Zemin Etkileşim Sisteminin Sonlu Eleman Modeli

Sarıyar Barajı'nın Lagrange yaklaşımına dayalı değişerek yayılan yer hareketi etkisinde stokastik dinamik davranışı, memba-mansap doğrultusundaki en büyük enkesit seçilerek incelenmiştir. Baraj-rezervuar-temel etkileşim sisteminin sonlu eleman modeli Şekil 15'te görülmektedir.

Sonlu eleman modelinde rezervuarda 9 düğüm noktalı 24 adet sıvı, barajda 8 düğüm noktalı 15 adet katı, zeminde 8 düğüm noktalı 36 adet katı eleman kullanılmıştır. Rezervuar uzunluğu, rezervuar yüksekliğinin (H) üç katı alınmıştır (Singhal, 1991). Hem sıvı hem de yapı ortamının her düğüm noktasında yatay ve düşey yerdeğiştirmelerden oluşan iki serbestlik derecesi mevcuttur. Eleman matrisleri katı için 3x3 normal, sıvı için 2x2 indirgenmiş integrasyon dereceleri kullanılarak elde edilmektedir (Bathe, 1982). Sıvı-yapı ara yüzeyindeki iki ortamın yatay yerdeğiştirmelerinin sürekliliği kısıtlama denklemleri ile sağlanmıştır. Hesaplamalarda düzlem şekildeğiştirme koşulları göz önünde bulundurulmuştur.

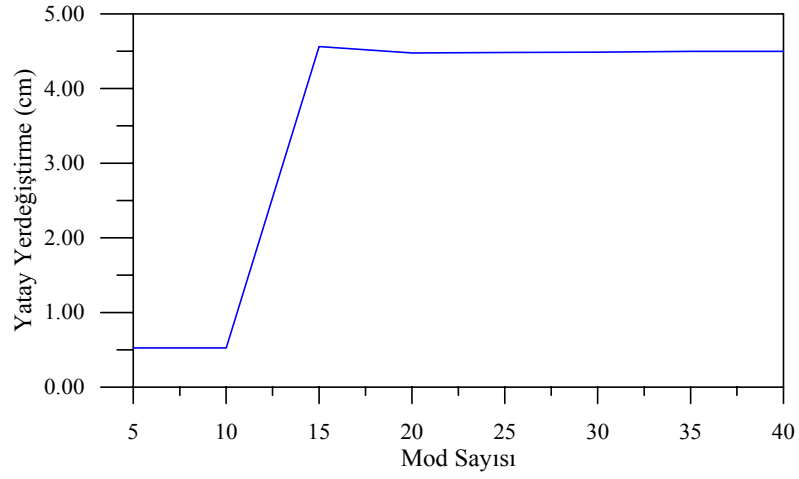
Analizlerde baraj betonu lineer elastik, homojen ve izotrop kabul edilmiştir. Baraj inşaatlarında kullanılan beton malzemesinin C30 olduğu dikkate alınarak TS500'den alınan bilgilerle betonun elastisite modülü, birim hacim ağırlığı ve poisson oranı sırasıyla $33 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, 24500 N/m^3 ve 0.20 olarak belirlenmiştir. Zemin için aynı değerler $25 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, 26500 N/m^3 ve 0.30 olarak alınmıştır. Rezervuardaki sıvı için hacimsel elastisite modülü ve kütle yoğunluğu sırasıyla $207 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, 1000 kg/m^3 seçilmiştir. Kısıtlama parametresi hacimsel elastisite modülünün 100 katı olarak alınmıştır (Wilson ve Khalvati, 1983; Calayır ve Dumanoglu, 1993b).



Şekil 15. Baraj-rezervuar-zemin etkileşim sisteminin sonlu eleman modeli

2.4.2. Modların Yapı Davranışına Olan Katkısının Belirlenmesi

Genel olarak bina sistemlerinin deprem analizi için ilk üç mod, kablolu köprüler ve asma köprüler için 15 mod yeterli olmaktadır (Soyluk, 2001; Adanur, 2003). Rezervuar etkisinin ihmal edildiği toprak dolgu barajlar için de 15 mod alınması yeterli olmaktadır (Hacıfendioğlu, 2004). Baraj-rezervuar-zemin sisteminin analizlerinde dikkate alınacak mod sayısını belirlemek için farklı mod sayıları seçilerek yapılan analizler sonucunda Şekil 18'den de görüleceği gibi ilk 20 moddan sonra kret yatay yerdeğiştirmeleri değişmemeye başlamıştır. Bu nedenle analizlerde Tablo 10'da verilen ilk 20 mod dikkate alınmıştır.



Şekil 16. Kret noktası yatay yerdeğiştirmesinin mod sayısı ile değişimi

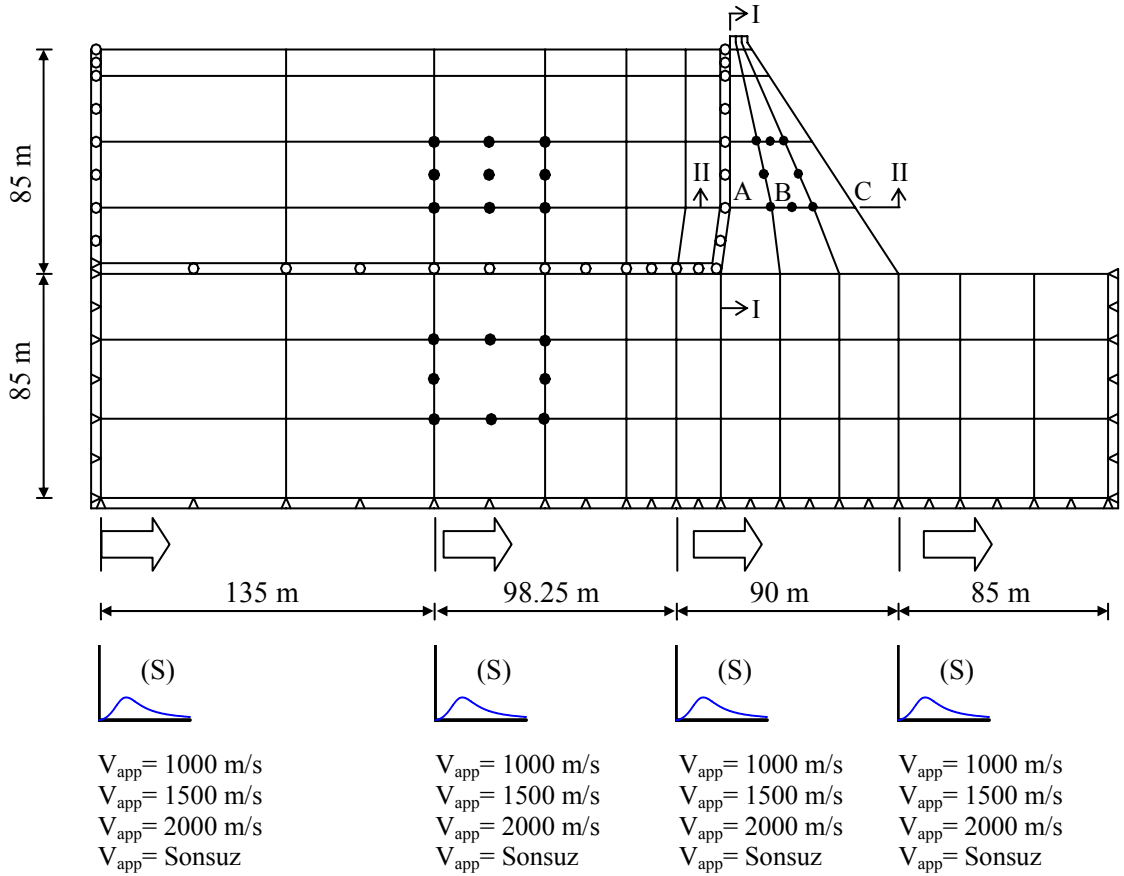
Tablo 10. Baraj-rezervuar-zemin etkileşim sisteminin modal analizinden elde edilen frekanslar

Mod sayısı	Frekanslar (Hz)	
	STOCALF (Bayraktar vd., 2004)	SVEMF
1	0,06	0,07
2	0,14	0,15
3	0,15	0,15
4	0,20	0,20
5	0,21	0,21
6	0,24	0,24
7	0,26	0,26
8	0,26	0,26
9	0,31	0,31
10	0,31	0,32
11	0,35	0,35
12	3,01	3,00
13	3,94	3,93
14	4,66	4,65
15	6,46	6,46
16	8,33	8,33
17	8,80	8,80
18	9,28	9,28
19	9,58	9,58
20	10,93	10,93

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Barajın Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olması Durumunda Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde beton ağırlık barajın inşa edildiği zeminin homojen olduğu kabul edilerek yer hareketinin farklı hızlarda yayılması ve tutarsızlık durumları için analizler yapılacaktır. Barajın mesnetlendiği zeminin homojen olması durumunda (74) denklemindeki zemin etkilerinin ihmal edilip yalnızca dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin dikkate alınması, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} \neq 1$ şeklinde olmaktadır. Farklı dalga yayılma hızlarının uygulandığı beton ağırlık barajın bölgelere ayrılmış sonlu eleman modeli Şekil 17’de gösterilmektedir.



Şekil 17. Dalga yayılma etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli

Analizlerde beton ağırlık barajların sert (S) zeminlerde inşa edilmeleri gerektiği göz önünde bulundurulduğundan barajın da sert zemin üzerine oturduğu kabul edilerek, sert zeminde kaydedilen 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı dikkate alınmaktadır. Bu depreme ait grafikler ve hesaplanan değerler Bölüm 2.1.'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1.1. Stasyoner Davranış

Deprem hareketi gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rastgele işlemler tüm hareket süresi boyunca stasyoner değildir. Ancak, en büyük yapı tepkilerinin olduğu saniyeler boyunca stasyonerlik kabulü yapılabilmektedir (Yang, 1986; Peebles, 1987). Bu bölümde istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olduğu stasyonerlik kabulü yapılarak çözümler elde edilmiştir.

3.1.1.1. Dalga Yayılma Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması

Barajın mesnetlendiği zeminin homojen ve sert olması durumunda (74) denklemindeki tutarsızlık ve zemin etkileri ihmal edilip, yalnızca dalga yayılma etkisinin dikkate alınması, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} = 1$ şeklinde olmaktadır.

Barajın I-I ve II-II kesitleri (Şekil 17) boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçlar karşılaştırılmaktadır. Beton ağırlık barajların sert zeminlerde inşa edilmesi uygun olduğundan analizlerde dalga yayılma hızı olarak 1000, 1500, 2000 m/s ve sonsuz hız değerleri kullanılmaktadır. Sonsuz hız durumu üniform yer hareketine karşılık gelmektedir.

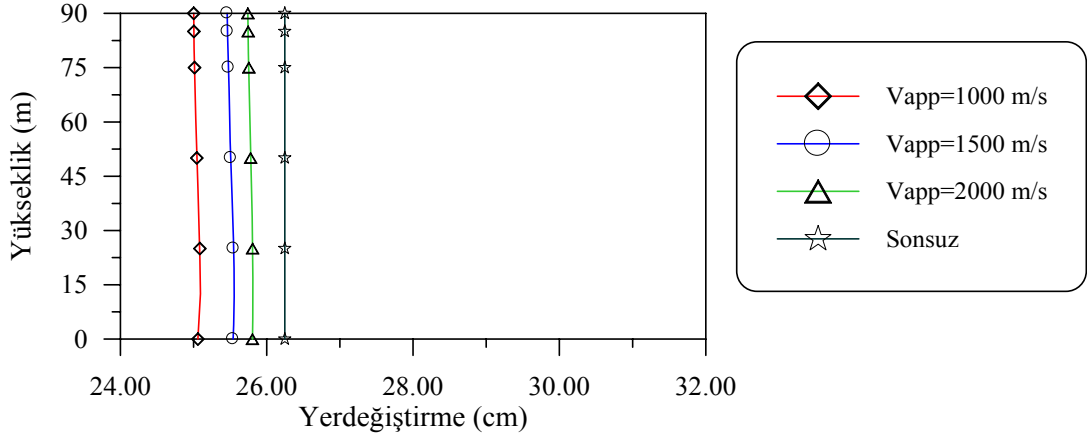
Şekil 18-20'de barajın I-I kesit boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirmeler görülmektedir. Zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirme değerleri, deprem dalgası yayılma hızı arttıkça artmakta olduğu gözlenirken, en büyük yer değiştirme değerinin sonsuz hıza karşılık gelen üniform yer hareketi için meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 21-29'da barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay gerilme, düşey gerilme ile kayma gerilme

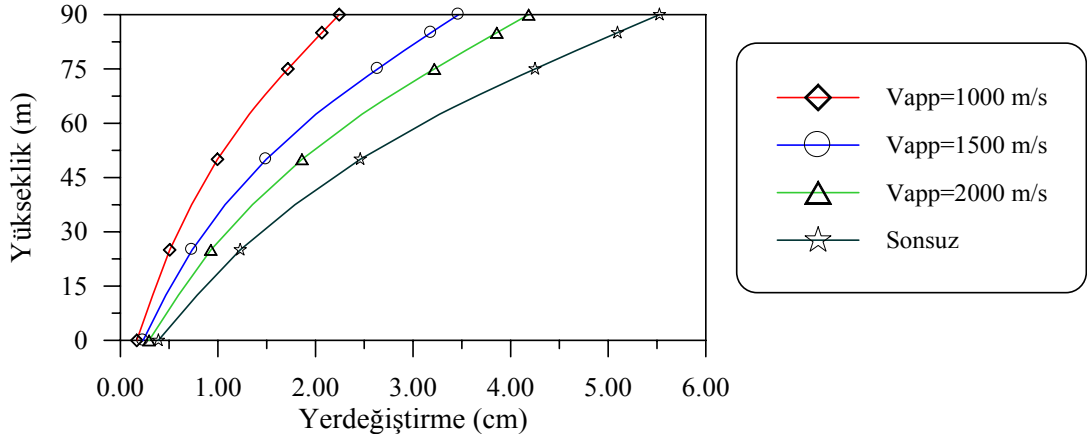
değerlerinin değişimlerinin grafikleri görülmektedir. Şekil 21, 23 ve 27, 29'dan deprem dalgası yayılma hızı arttıkça zahiri-statik ve toplam yatay gerilme ile kayma gerilme değerlerinin azaldığı, Şekil 22 ve 28'den ise dinamik gerilme değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Şekil 24-26'da verilen düşey gerilme değerlerinin ise deprem dalgası yayılma hızı arttıkça zahiri-statik gerilme değerlerinin azaldığı, dinamik gerilme ve toplam gerilme değerlerinin arttığı gözlenmektedir.

Şekil 30-32'de barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam hidrodinamik basınç değerleri görülmektedir. Hidrodinamik basınç değerlerinin zahir-statik bileşenlerinin hızın artmasıyla azaldığı, dinamik bileşenlerinin ve toplam değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Dalga hızının zahiri-statik hidrodinamik basınçlar üzerindeki etkisi çok az olmaktadır. Toplam davranış değerlendirildiğinde sonsuz hız için elde edilen değerlerin baraj yüksekliği boyunca maksimum olduğu görülmektedir.

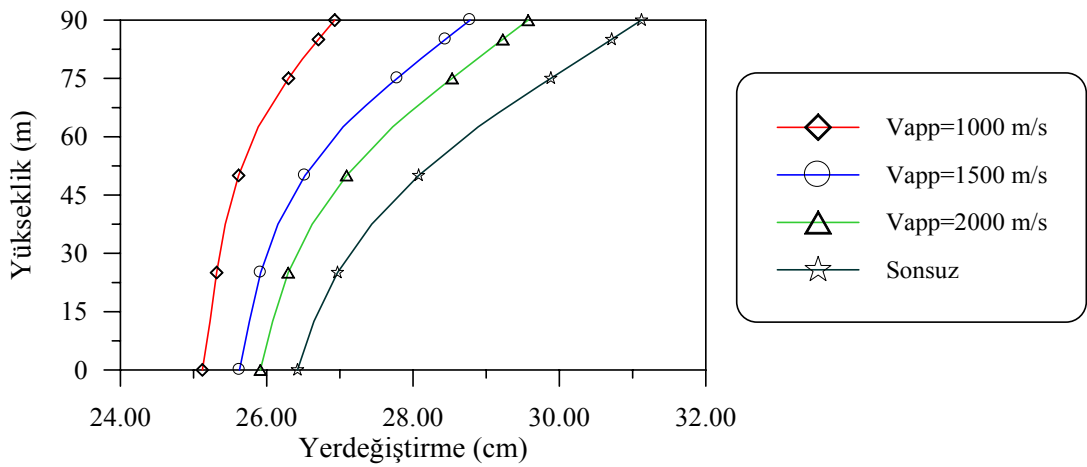
Şekil 33-41'de barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay, düşey ve kayma gerilmelerinin değişimleri çizilmektedir. Şekil 33-35'den de görüleceği gibi yatay gerilmeler değerlendirildiğinde, dalga yayılma hızının artmasıyla zahiri-statik ve toplam yatay gerilmeler azalırken, dinamik yatay gerilmeler artmaktadır ve toplam maksimum değerler genellikle B noktasında 1000 m/s'lik hız için meydana gelmektedir. Düşey gerilmelerde ise hızın artmasıyla zahiri-statik düşey gerilmeler azalmakta, dinamik ve toplam gerilmeler ise artmaktadır. Tüm bileşenler için düşey gerilme değerleri B noktasında minimum olurken A noktasında maksimum değerleri almaktadır. Dalga yayılma hızının değişiminde hızın artması II-II kesitinde zahiri-statik, dinamik ve toplam kayma değerlerinin de artmasına neden olmaktadır. B noktasında tüm hızlar için kayma gerilmeleri oldukça yakın değer alırken, barajın mansap yüzünde C noktasında sonsuz hız için maksimum değer oluşmaktadır.



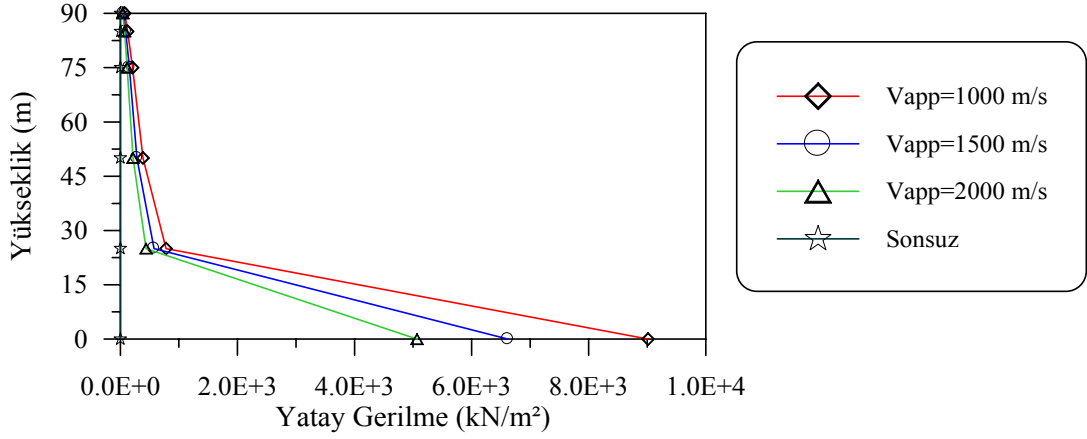
Şekil 18. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yerdeğiştirmeler



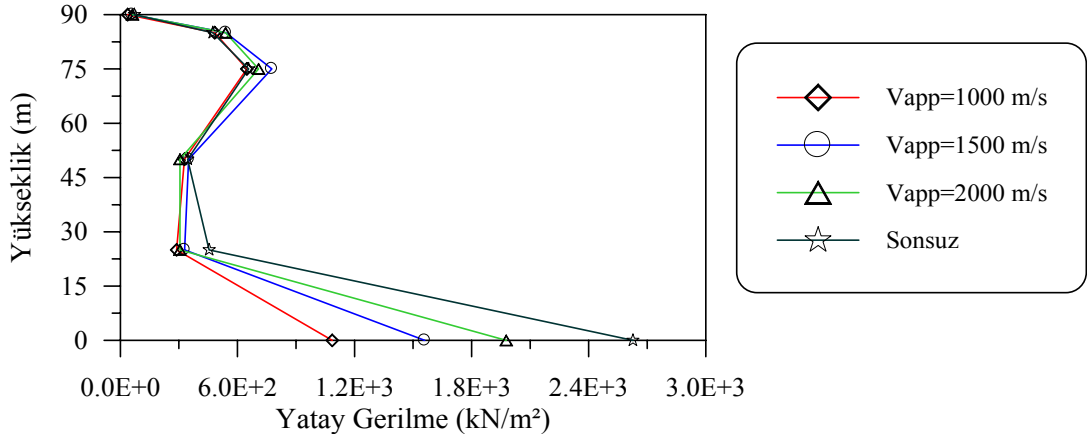
Şekil 19. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yerdeğiştirmeler



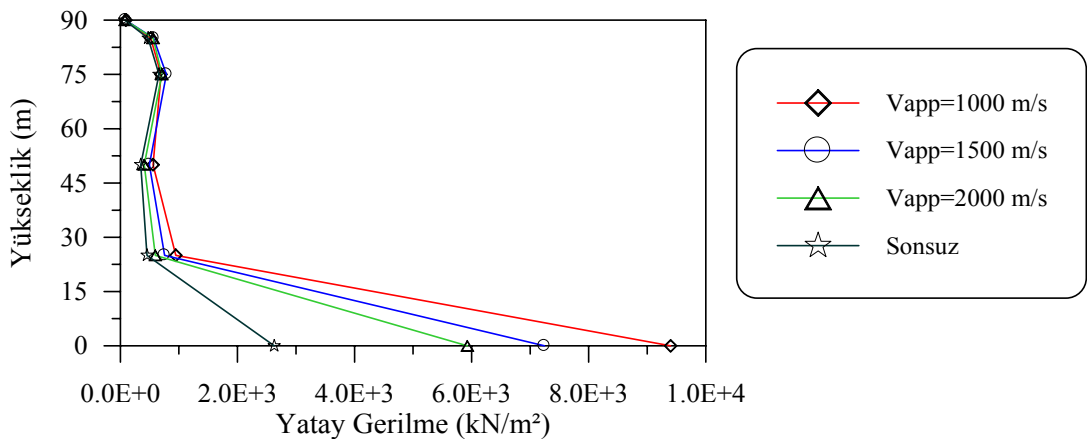
Şekil 20. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler



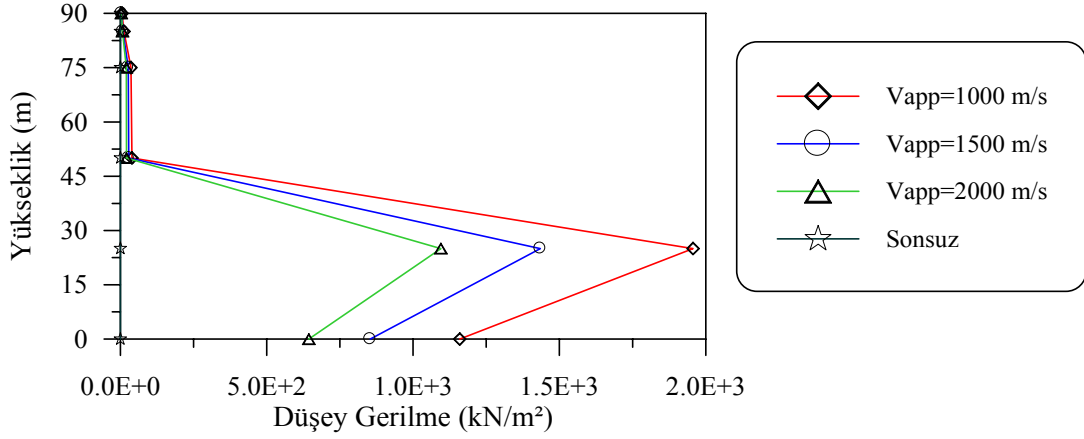
Şekil 21. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



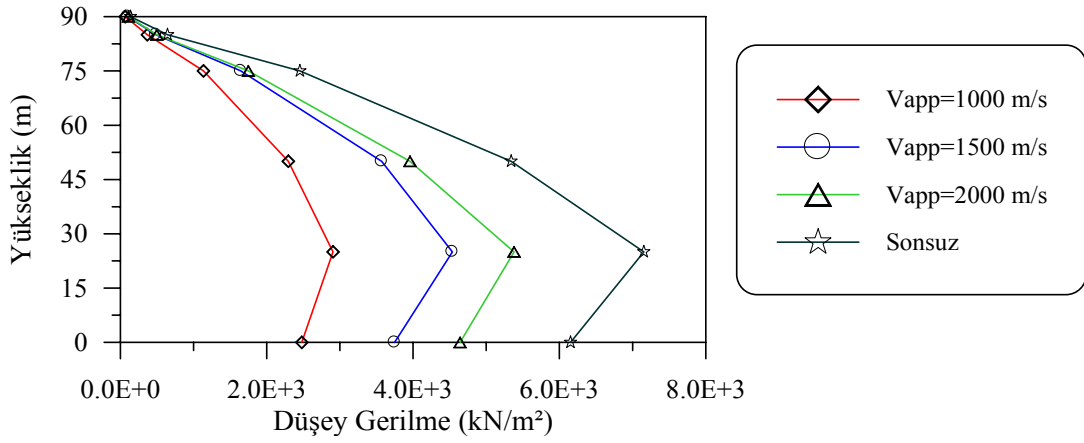
Şekil 22. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



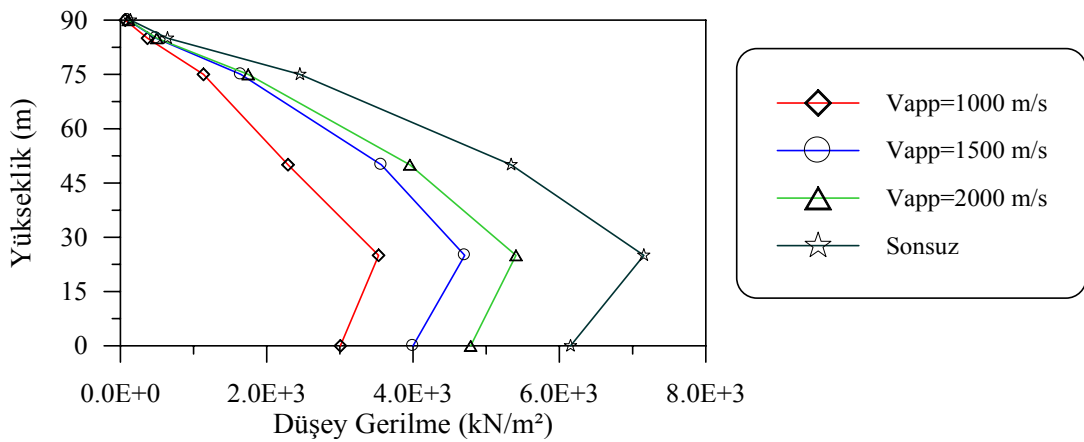
Şekil 23. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



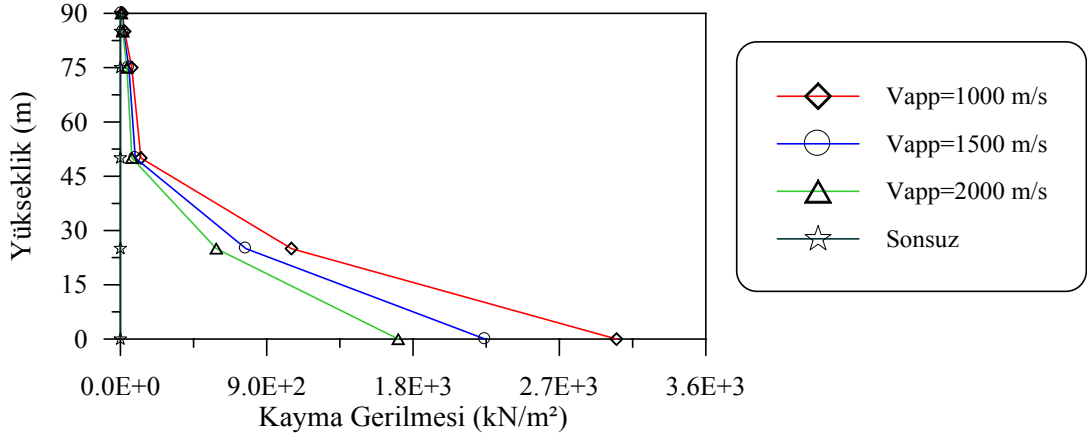
Şekil 24. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



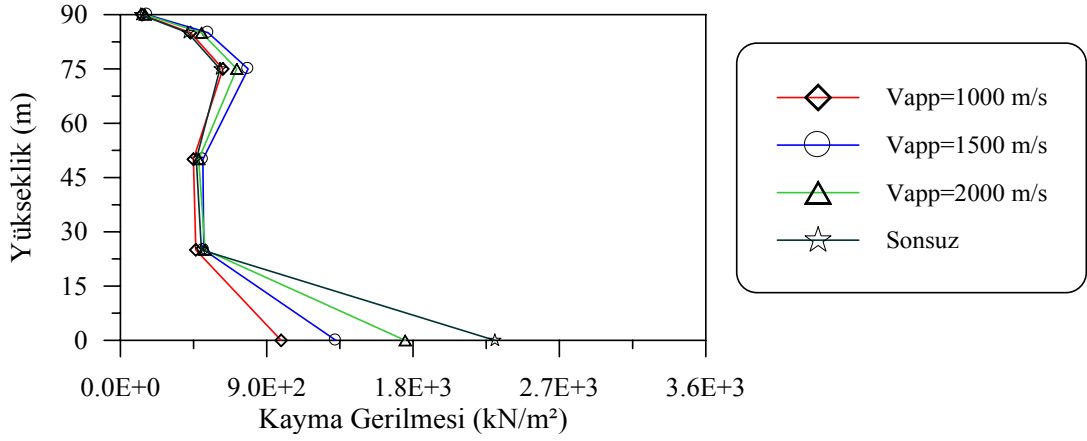
Şekil 25. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



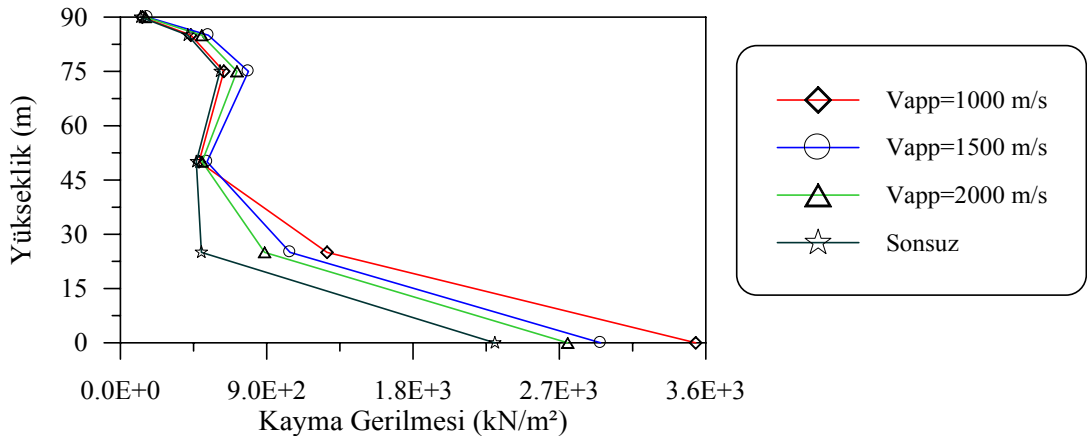
Şekil 26. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



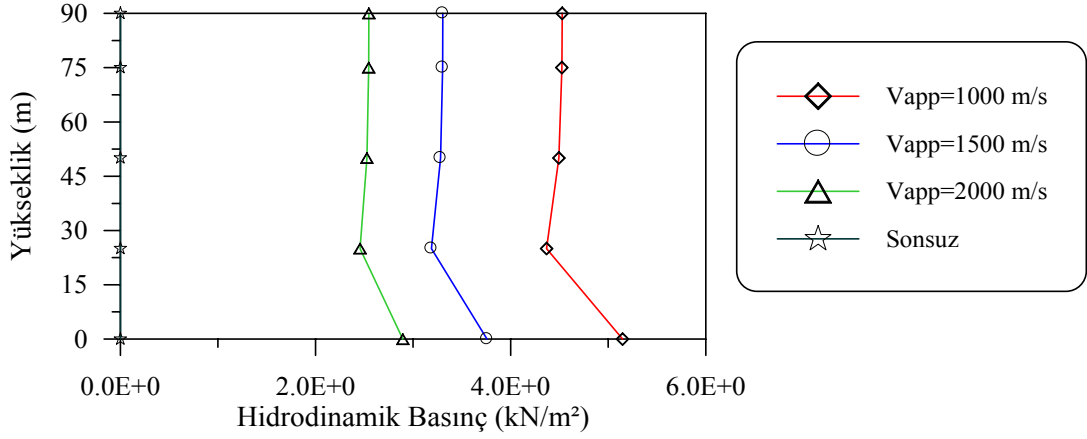
Şekil 27. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



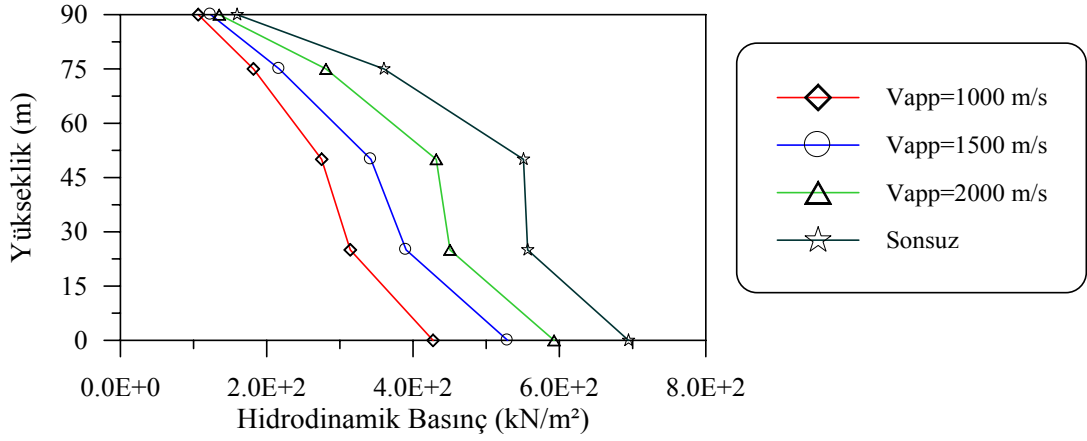
Şekil 28. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



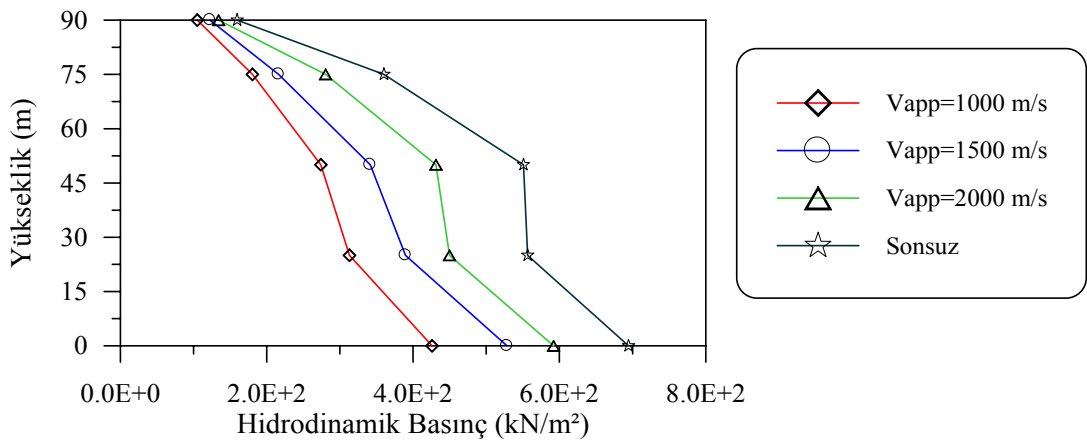
Şekil 29. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



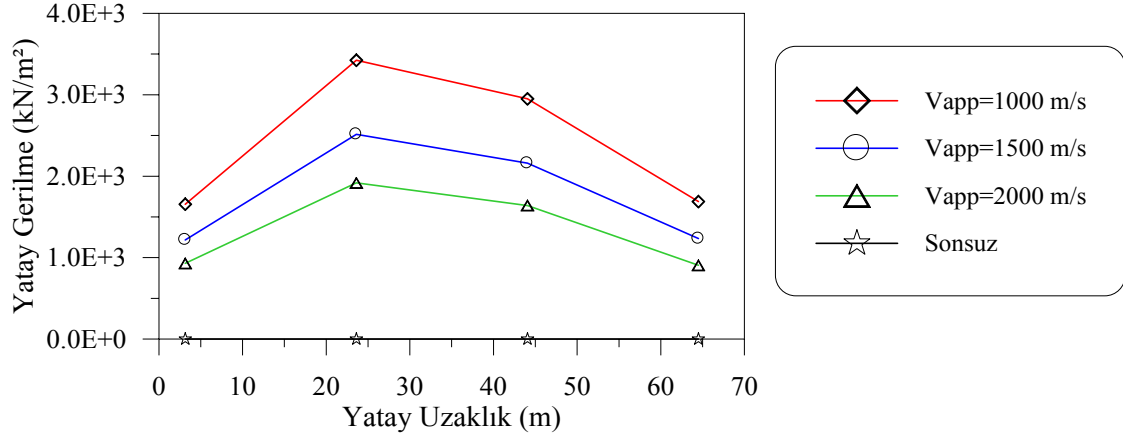
Şekil 30. Dalga yayılma etkisi için barajın memba boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar



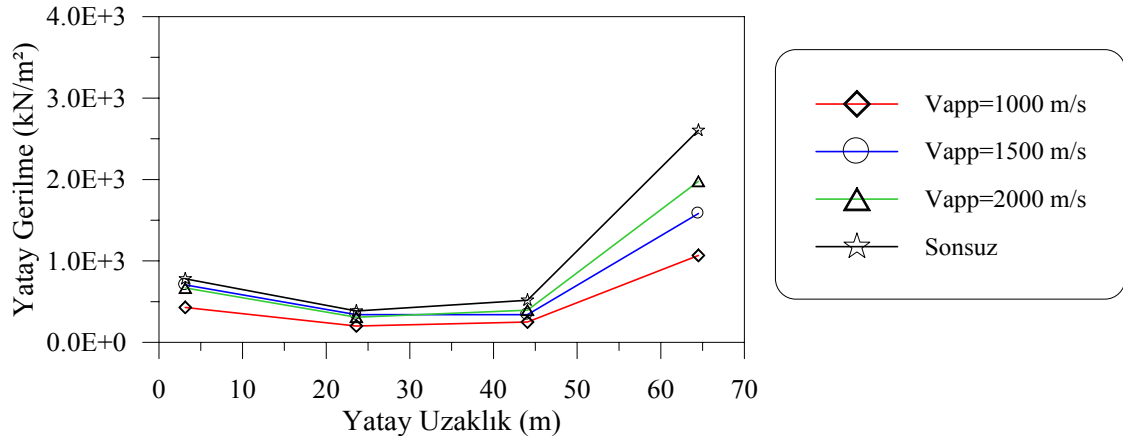
Şekil 31. Dalga yayılma etkisi için barajın Memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar



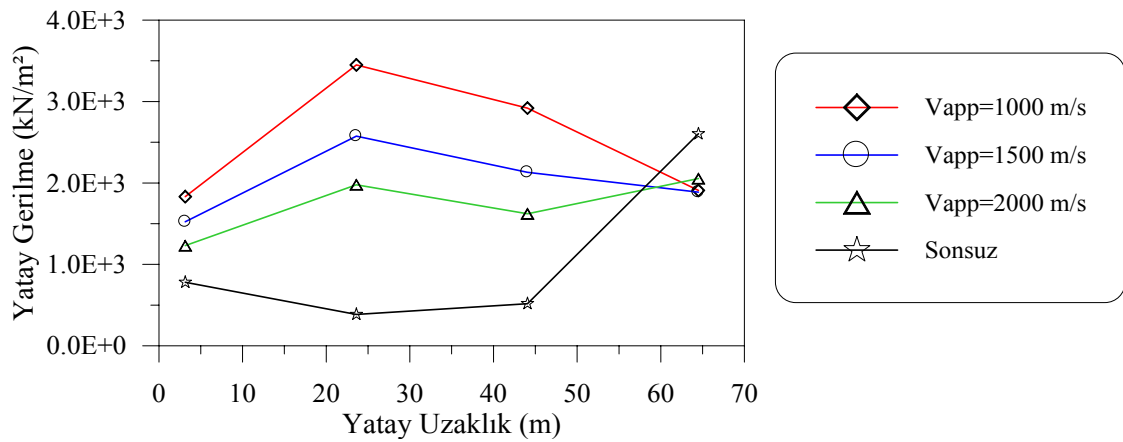
Şekil 32. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar



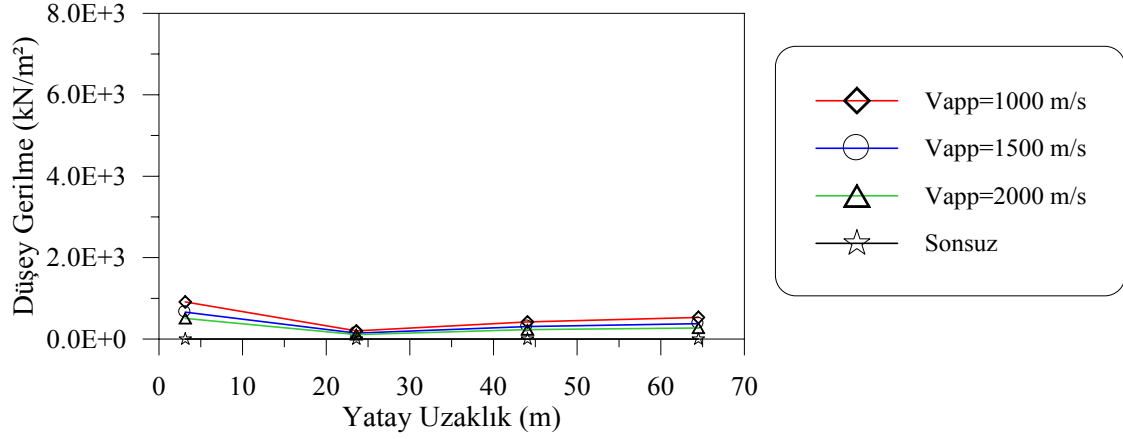
Şekil 33. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



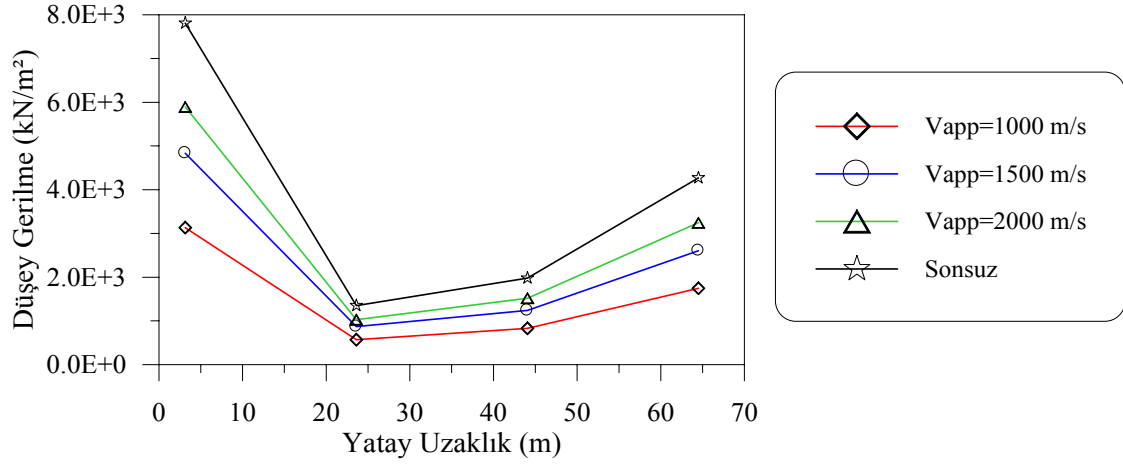
Şekil 34. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



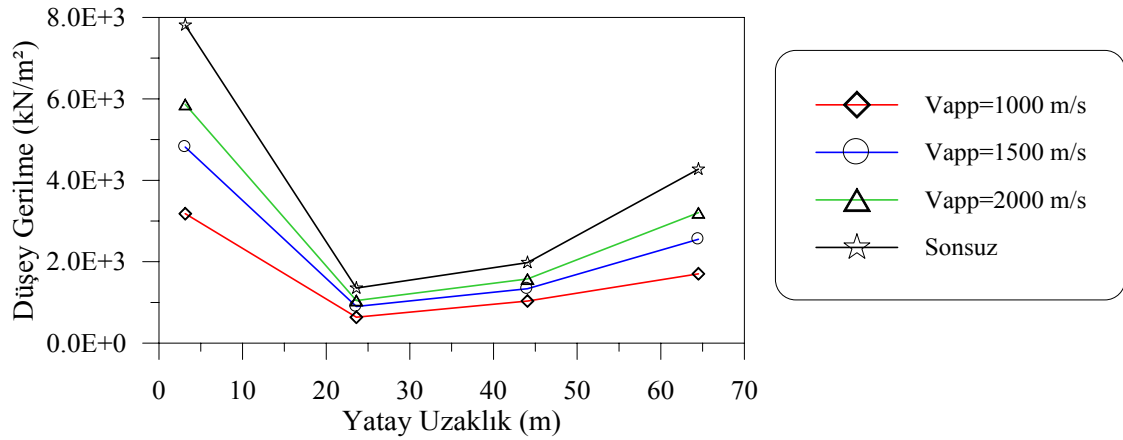
Şekil 35. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



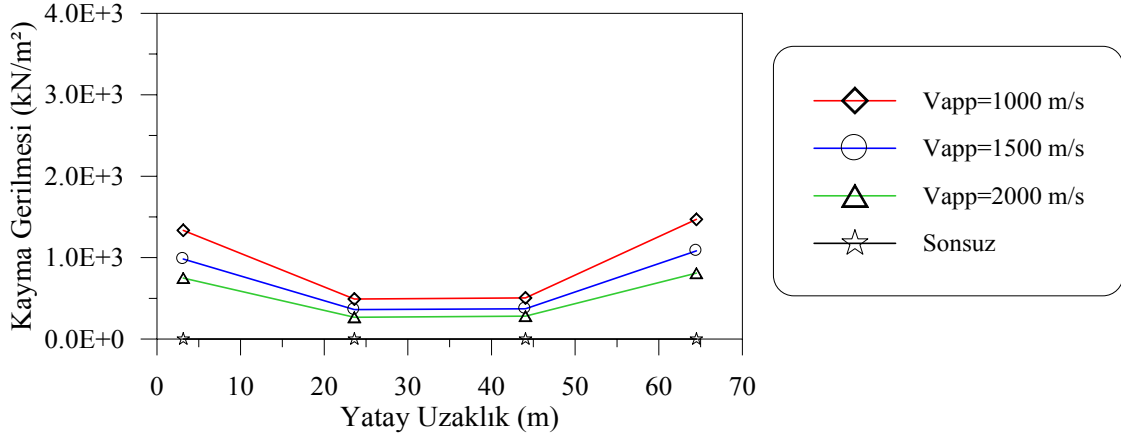
Şekil 36. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



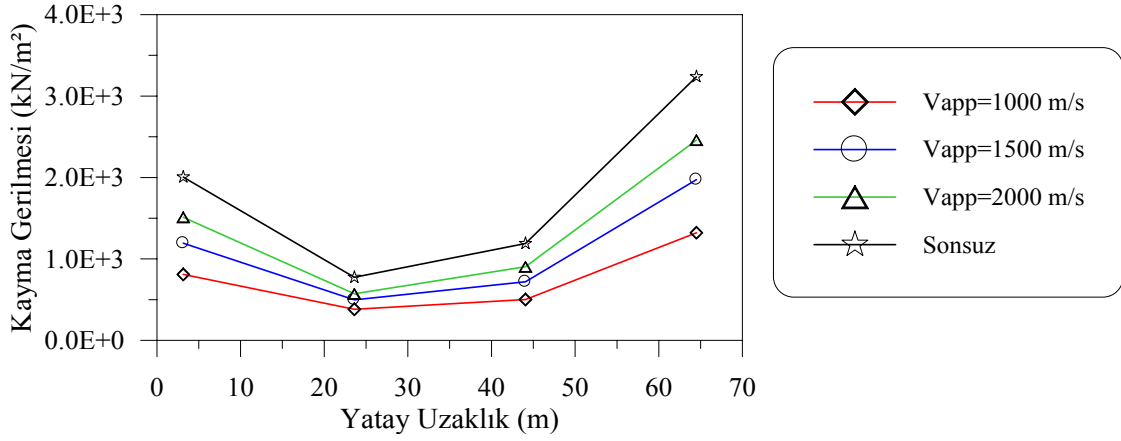
Şekil 37. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



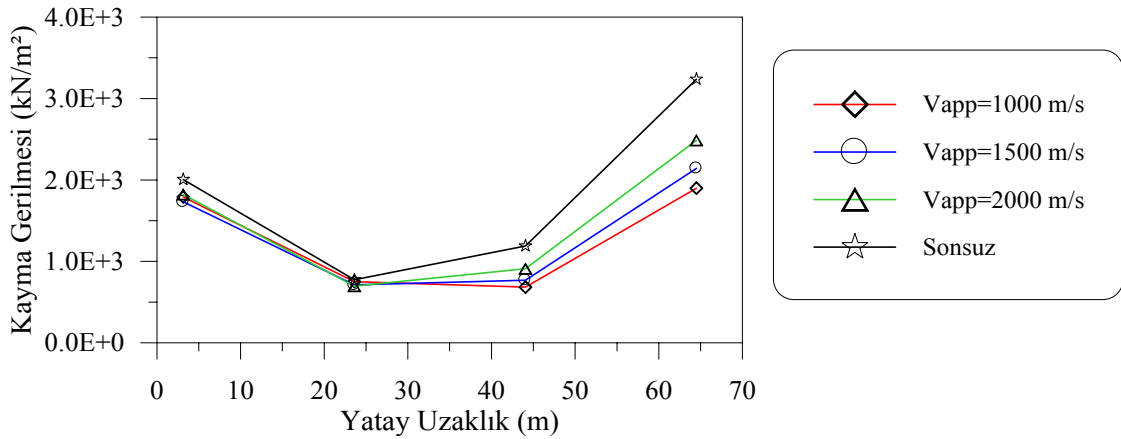
Şekil 38. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



Şekil 39. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



Şekil 40. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



Şekil 41. Dalga yayılma etkisi için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri

3.1.1.2. Dalga Yayılma Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yer değiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç değerlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları verilmektedir. Varyans değeri spektral yoğunluk fonksiyonunun alanına eşit olup, spektral yoğunluk fonksiyonun integralinin alınması suretiyle bulunmaktadır. Toplam yerdeğiştirme ve gerilmelerin varyans değerleri; (51) denklemi ile ifade edilen zahiri-statik davranış bileşeninin varyansı, (47) denklemi ile ifade edilen dinamik davranış bileşeninin varyansı ve (53) denklemi ile verilen zahiri statik ve dinamik davranış bileşenleri arasındaki kovaryans terimlerinin toplamından oluşmaktadır. Normalleştirme işlemi, varyans değerlerinin maksimum toplam varyans değerine bölünmesi suretiyle gerçeleştirilmektedir. Normalleştirilmiş varyans değerleri yaklaşık olarak normalleştirilmiş ortalama maksimum değerlere eşit olmaktadır.

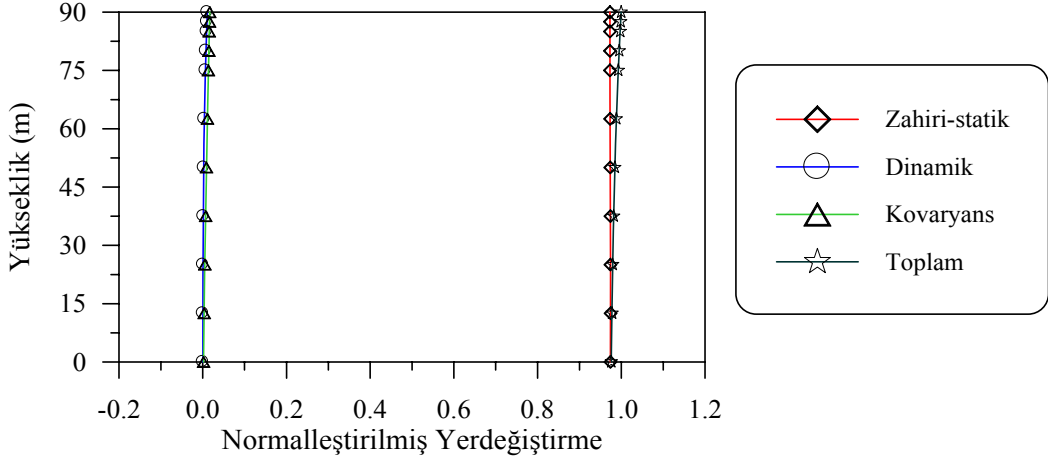
şekil 42-46'da sadece dalga yayılma etkisi durumunda barajın memba yüzü boyunca elde edilen yatay yerdeğiştirme; yatay, düşey ve kayma gerilmeleri ile hidrodinamik basınç değerlerine ait varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Beton ağırlık barajda dalga yayılma etkisi durumunda toplam yerdeğiştirme davranışına en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlarken, dinamik ve kovaryans bileşenin katkısı çok küçük olmaktadır. Yer değiştirmenin maksimum olduğu barajın kret noktasında toplam davranışa zahiri-statik bileşenin katkısı %97.29 olurken, dinamik bileşenin katkısı %1.07, kovaryans bileşenin katkısı ise %1.64'tür.

şekil 43-45'de sadece dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca elde edilen yatay gerilme, düşey gerilme ve kayma gerilmelerine ait varyans dağılımları sunulmaktadır. Dalga yayılma etkisi durumunda yatay ve toplam gerilmelere en büyük katkıyı zahiri- statik bileşen sağlarken, dinamik ve kovaryans bileşenlerin katkıları daha az olmaktadır. şekil 43'te normalleştirilmiş yatay gerilme değerlerine ilişkin verilen grafikte yatay gerilmenin maksimum olduğu noktada zahiri-statik bileşenin katkısı %83.28 olurken, dinamik bileşenin katkısı %8.93 ve kovaryans bileşenin katkısı %7.79 olmaktadır.

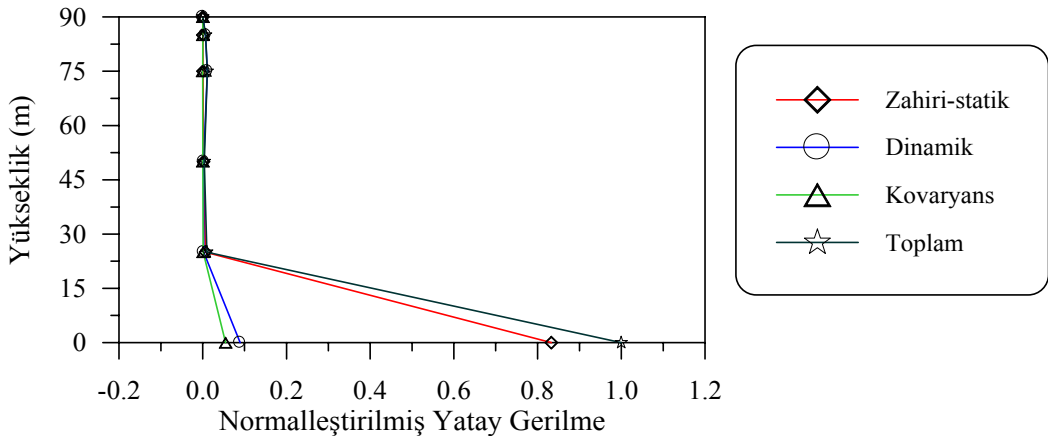
şekil 44'te barajın memba yüzünde elde edilen düşey gerilmelere ait varyans dağılımları verilmektedir. Toplam düşey gerilmeye en büyük katkı dinamik bileşen tarafından sağlanmaktadır. Barajın memba yüzünde düşey gerilmenin maksimum olduğu noktada zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin toplam davranışa katkıları sırasıyla %7.00, %99.00 ve %-6.00 olmaktadır.

Şekil 45'te sadece dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca elde edilen normalleştirilmiş kayma gerilmelerine ait varyans değerleri gösterilmektedir. Barajın memba yüzünde elde edilen kayma gerilmesinin maksimum olduğu noktada zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin toplam davranışa katkıları, dalga yayılma etkisi durumunda sırayla %48.53, %37.84 ve %13.63 olmaktadır.

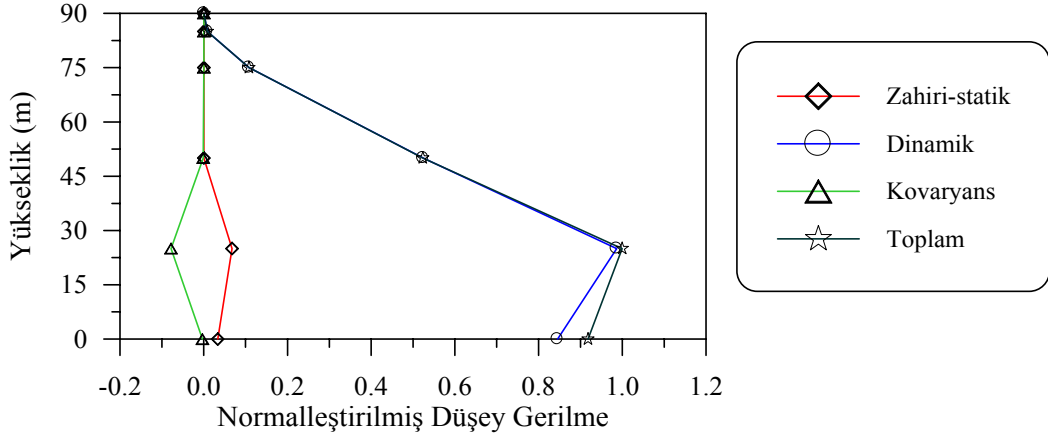
Şekil 46'da ise barajın memba yüzeyinde oluşan hidrodinamik basınçlara ait varyans dağılımları sunulmaktadır. Burada zahiri-statik bileşenin katkısı sıfıra yakın çıkarken dinamik bileşenin katkısı %100.24, kovaryans bileşenin katkısı ise %-0.24 olmaktadır. Böylelikle hidrodinamik basınçlarda ve düşey gerilmelerde dinamik bileşenin hakim bileşen olduğu görülmektedir.



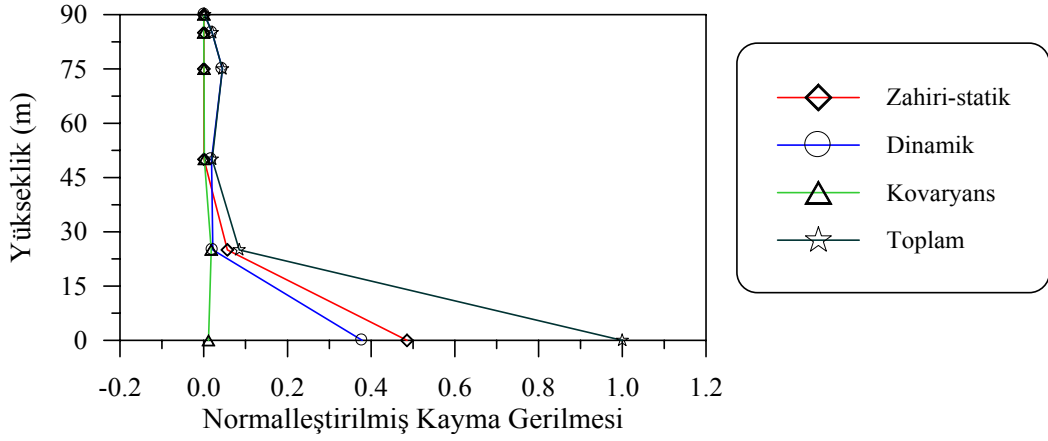
Şekil 42. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



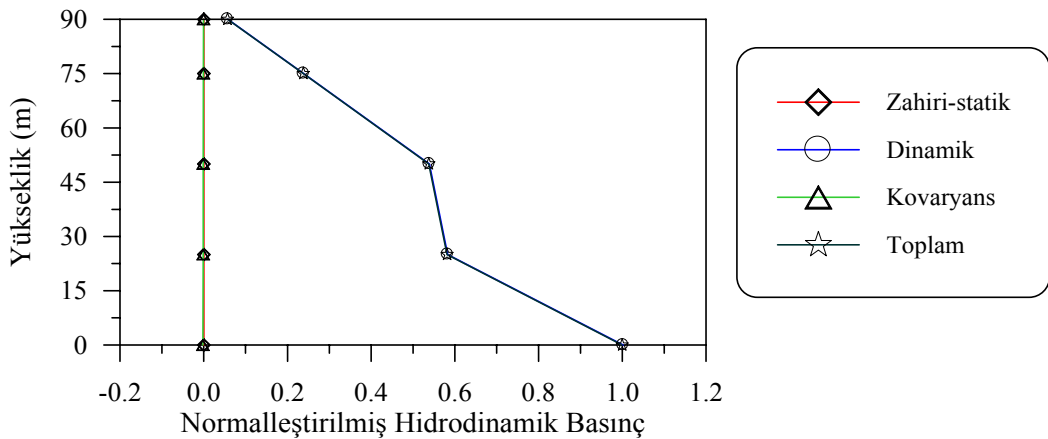
Şekil 43. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



Şekil 44. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



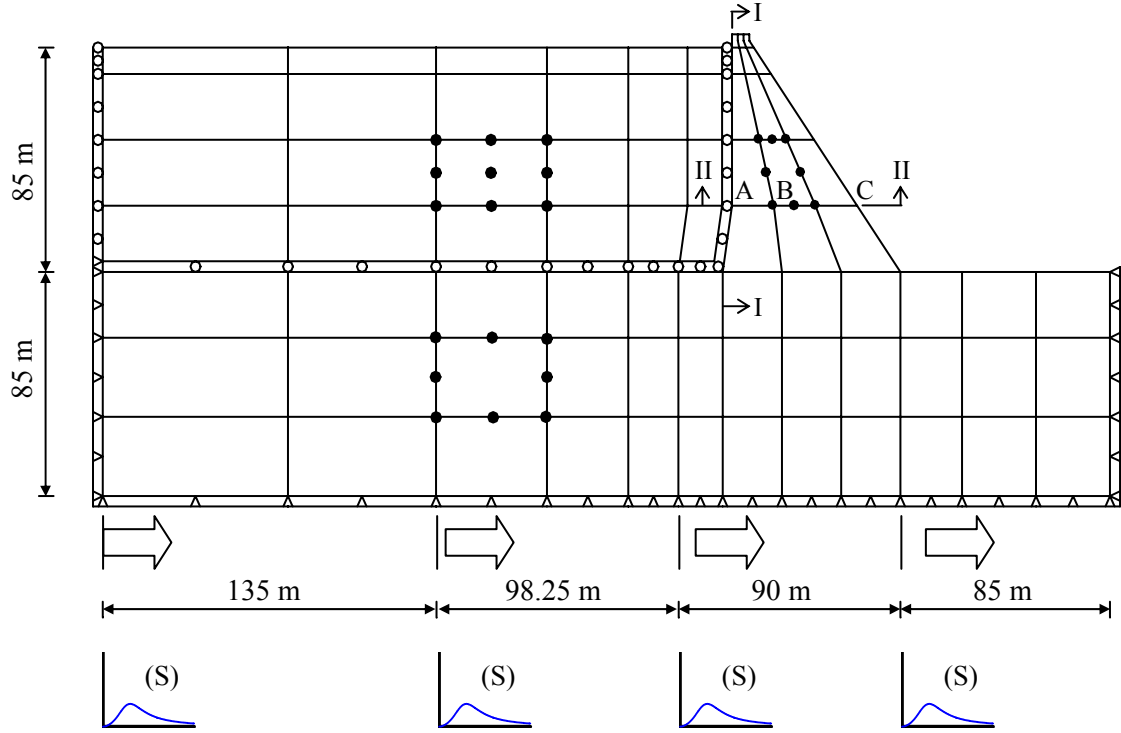
Şekil 45. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



Şekil 46. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)

3.1.1.3. Tutarsızlık Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması

Bu bölümde tutarsızlık modellerinin değişiminin barajın davranışı üzerindeki etkileri incelenecektir. Farklı tutarsızlık modellerinin uygulandığı baraj-rezervuar-zemin sisteminin bölgelere ayrılmış sonlu eleman modeli Şekil 47’de gösterilmektedir.



Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli (Model 1)
Luco ve Wong (1986) tutarsızlık modeli (Model 2a, Model 2b)

Şekil 47. Farklı tutarsızlık modellerine maruz baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli

Beton ağırlık barajın mesnetlendiği zeminin homojen sert (S) olması durumunda (74) denkleminde dalga yayılma ve zemin etkilerinin ihmal edilip yalnızca tutarsızlık etkisinin, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} \neq 1$ şeklinde dikkate alınarak değişerek yayılan yer hareketi altında stokastik dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli Model 1, Luco ve Wong (1986) tutarsızlık modeli $\alpha/v_s=2.10^{-4}$ için Model 2a, $\alpha/v_s=1.10^{-3}$ için ise Model 2b olarak isimlendirilmiştir. Analizlerde 1971 San Fernando depremi

Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı dikkate alınmaktadır. Ayrıca tutarsızlık etkisinin incelenbilmesi için elde edilen sonuçlar üniform yer hareketi sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

Şekil 48-50'de sırasıyla barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirmeler gösterilmektedir. Şekil 48'den görüleceği üzere baraj için elde edilen zahiri-statik yerdeğiştirmelerin üniform yer hareketi ve Model 2a ile Model 1 ve Model 2b modellerinde birbirine yakın değerler aldıkları gözlenmektedir. Model 1 ile Model 2a kullanılarak elde edilen dinamik yerdeğiştirmeler ise oldukça yakın çıkmaktadır. Toplam davranış değerlendirildiğinde üniform yer hareketi durumunda toplam yatay yerdeğiştirme en büyük olurken, bunu sırasıyla Model 2a, Model 1 ve Model 2b izlemektedir.

Şekil 51-53'te barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay gerilmeler verilmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere, zahiri-statik ve toplam yatay gerilmeler için en büyük değerler Model 1 durumunda oluşurken, Model 2b'de bu sonuçlara yakın değerler almaktadır. Model 2a ve üniform yer hareketi ile bulunan toplam yatay gerilmelerin birbirine yakın değerler aldıkları gözlenmektedir. Dinamik yatay gerilmeler için üniform yer hareketi durumunda maksimum değerler oluşmakta, Model 1 ve Model 2a oldukça yakın değerler almakta, Model 2b'de ise en küçük değerler oluşmaktadır.

Şekil 54-56'da barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam düşey gerilme grafikleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde zahiri-statik ve toplam düşey gerilme için Model 1 ile elde edilen sonuçlar diğerlerine göre daha büyük olmaktadır. Dinamik düşey gerilme değerlerinde ise üniform yer hareketi etkisindeki barajda en büyük değerler oluşurken, bu değerleri yine Model 1 izlemektedir.

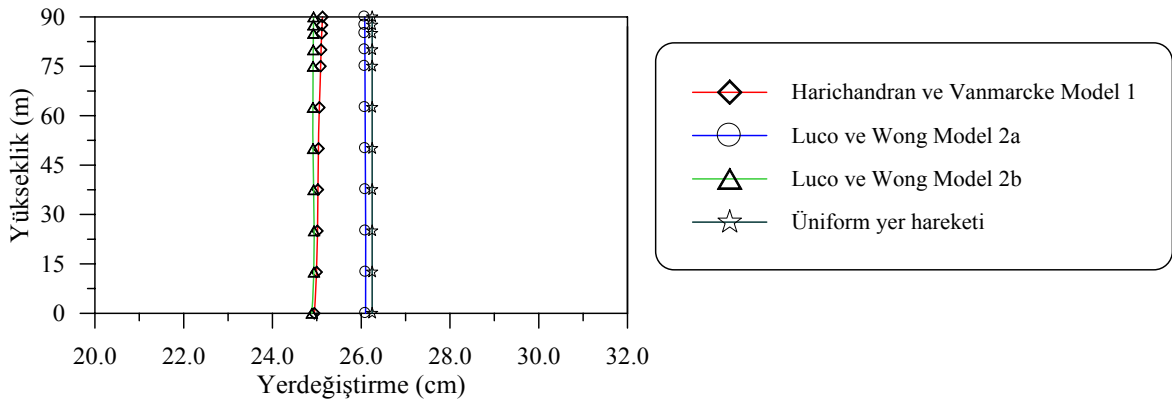
Şekil 57-59'da barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam kayma gerilme değerleri gösterilmektedir. Model 1 ile elde edilen kayma gerilme değerlerine bakıldığında, zahiri-statik ve toplam kayma gerilme değerlerinin maksimum değerler aldığı görülürken, dinamik kayma gerilme değerlerinde ise üniform yer hareketinden daha küçük olmaktadır.

Barajın memba yüzü boyunca elde edilen zahiri-statik, dinamik ve toplam hidrodinamik basınç değerleri Şekil 60-62'de verilmektedir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi üniform yer hareketi altında elde edilen toplam basınç değerleri en büyük olurken, bu

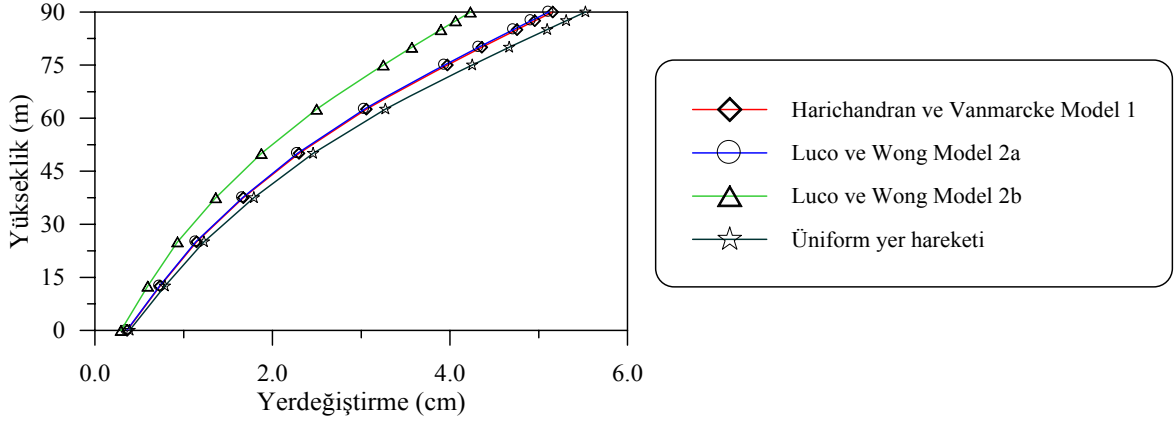
değerleri birbirine oldukça yakın sonuçlar veren Model 1 ile Model 2a, ardından da Model 2b izlemektedir.

Şekil 63-71’de barajın II-II kesiti boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay, düşey ve kayma gerilme değerleri gösterilmektedir. Analizlerden elde edilen gerilme değerlerine bakıldığında, zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay, düşey ve kayma gerilme değerlerinin genellikle Model 1 için maksimum değerler aldığı görülmektedir. Maksimum zahiri-statik ve toplam yatay gerilmelerinin B noktasında, dinamik gerilmelerin ise C noktasında olduğu gözlenmektedir. Düşey gerilme değerlerinin A noktasında maksimum olduğu görülürken B noktasında minimum değerlerde oluşmaktadır. Kayma gerilmeleri için maksimum değerler barajın ön yüzü olan C noktasında oluşmaktadır. Her üç gerilme bileşeni için (yatay, düşey ve kayma gerilmesi) en büyük değerleri Model 1 kullanılarak elde edilmektedir.

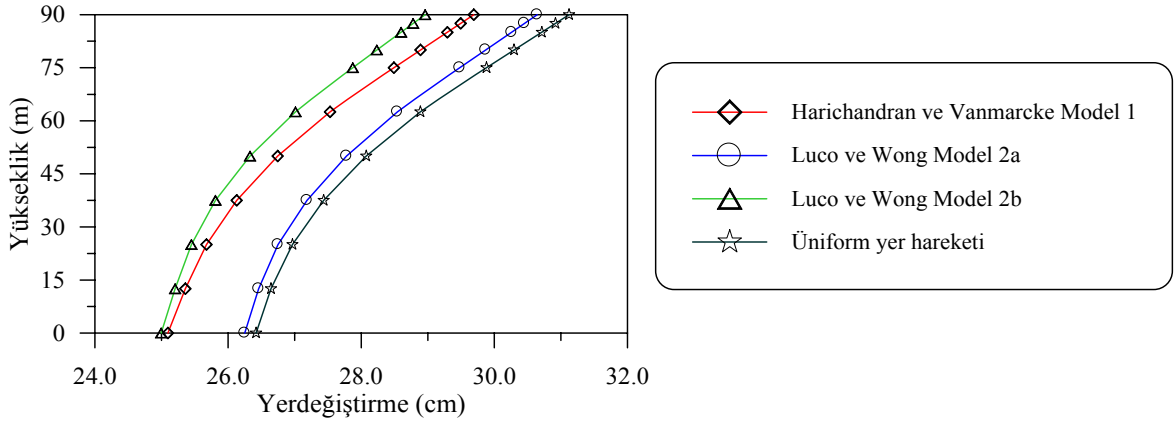
Böylece, Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modelinin (Model 1) en etkili model olduğu gözlenmekle birlikte bu modelin ardından en etkili modelin Model 2b olarak adlandırılan Luco ve Wong (1986) tutarsızlık modelinin olduğu görülmektedir.



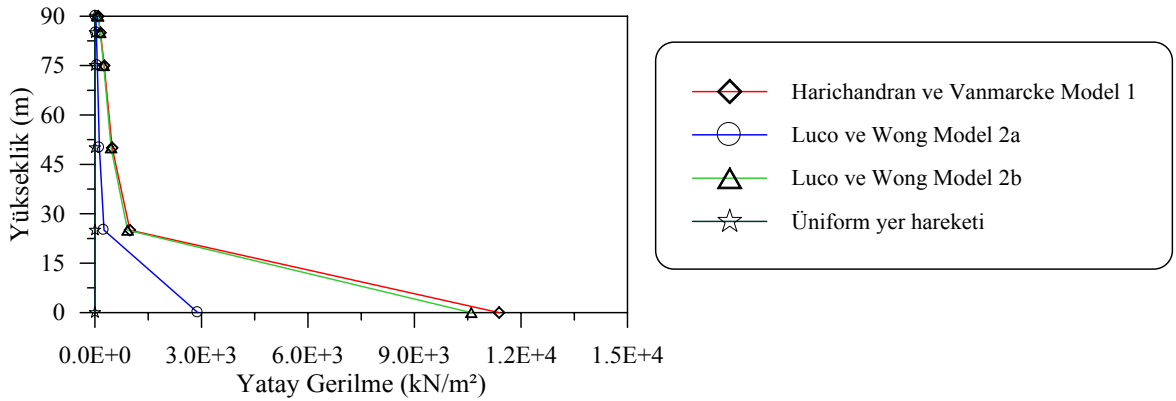
Şekil 48. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeler



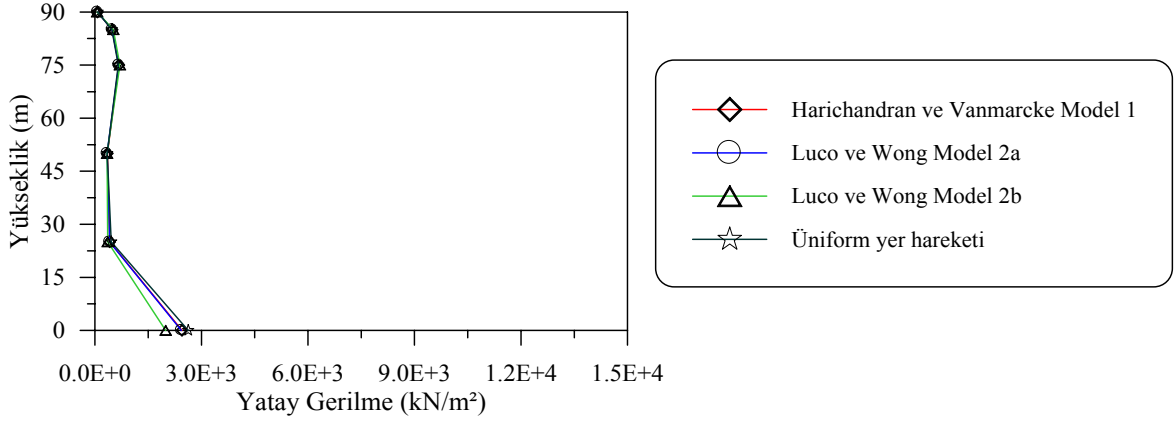
Şekil 49. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay yerdeğiştirmeler



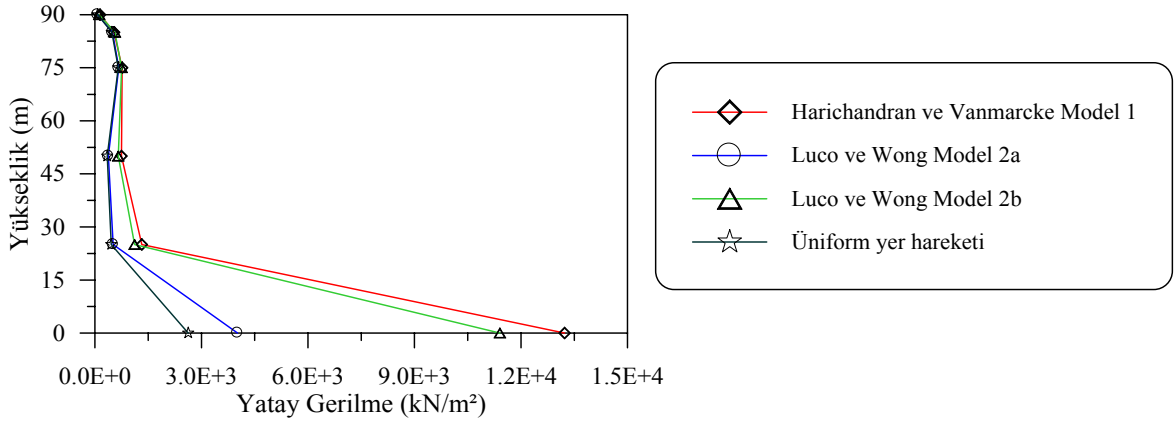
Şekil 50. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay yerdeğiştirmeler



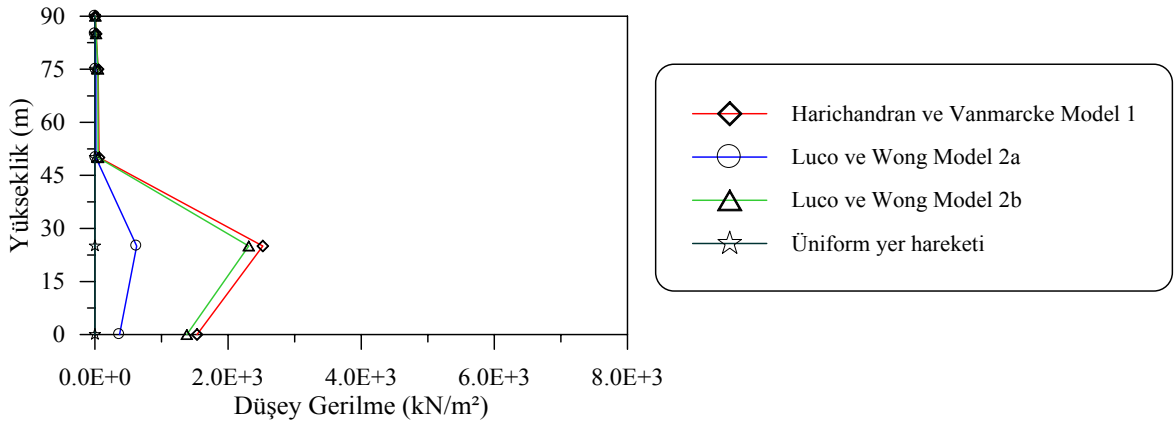
Şekil 51. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



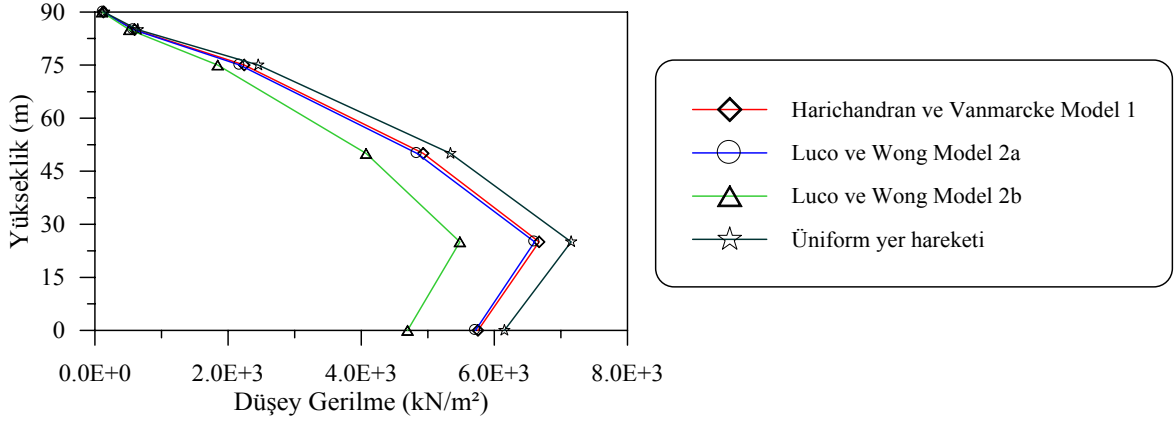
Şekil 52. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



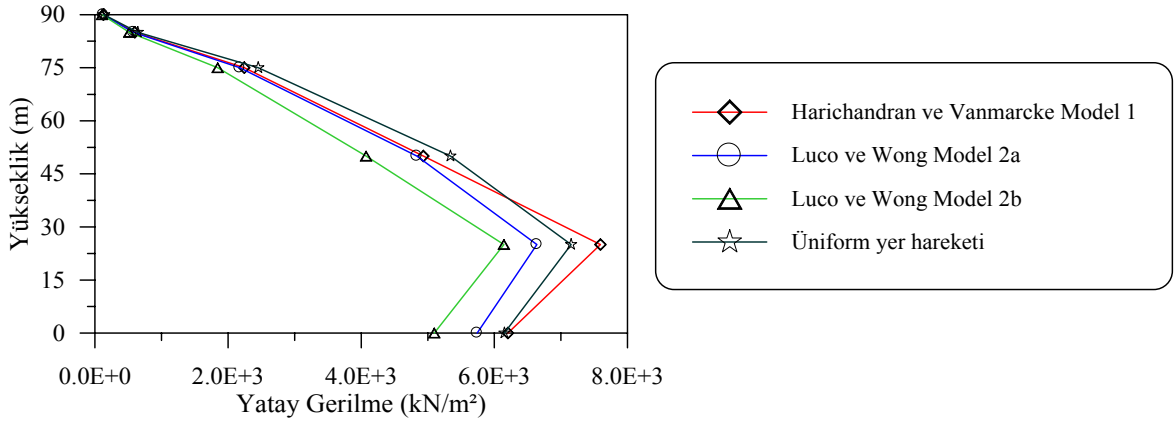
Şekil 53. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



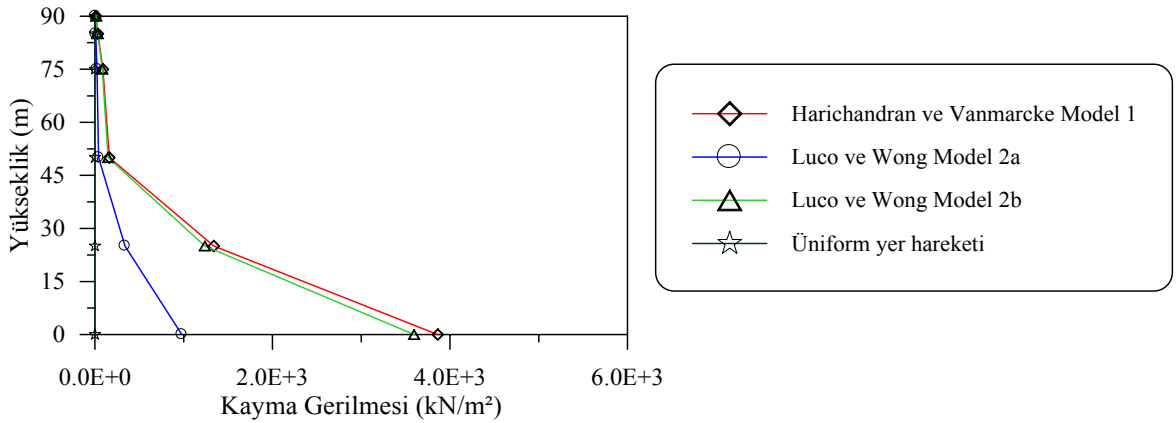
Şekil 54. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



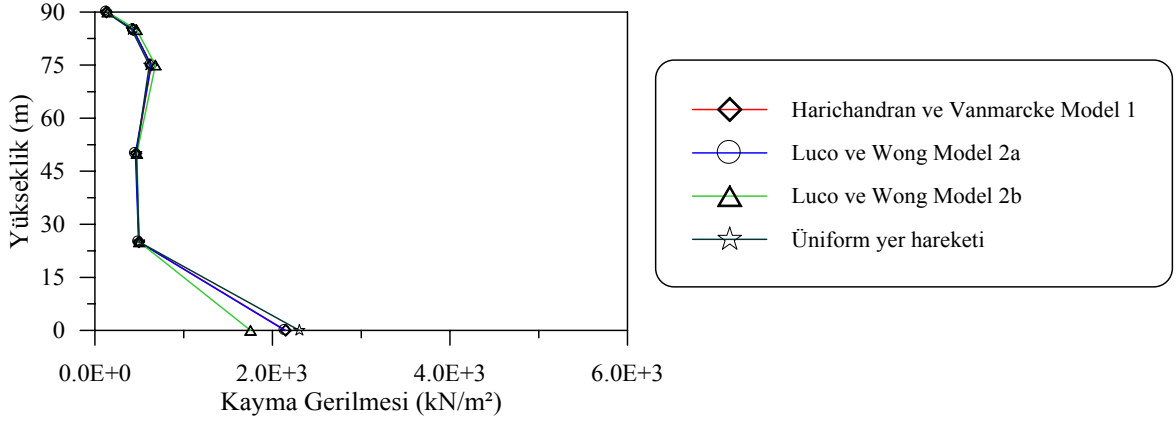
Şekil 55. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



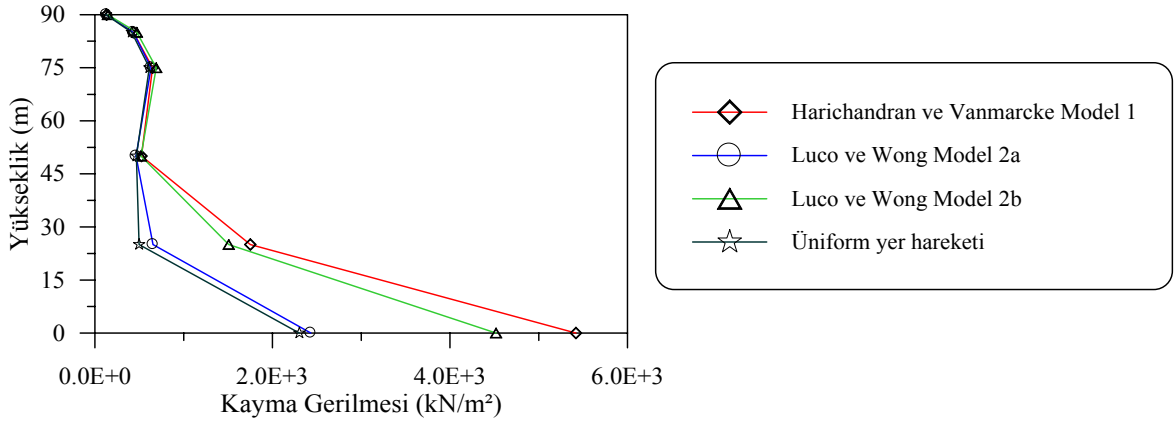
Şekil 56. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



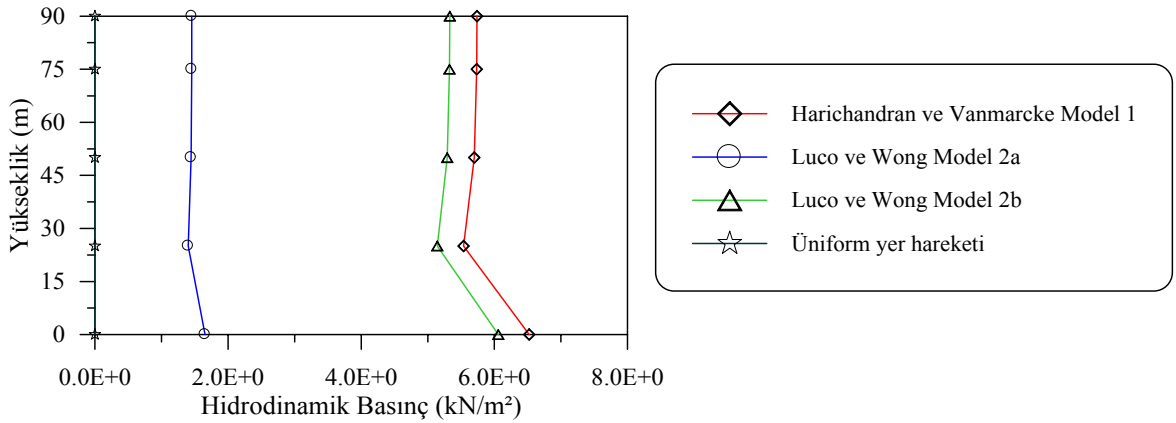
Şekil 57. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



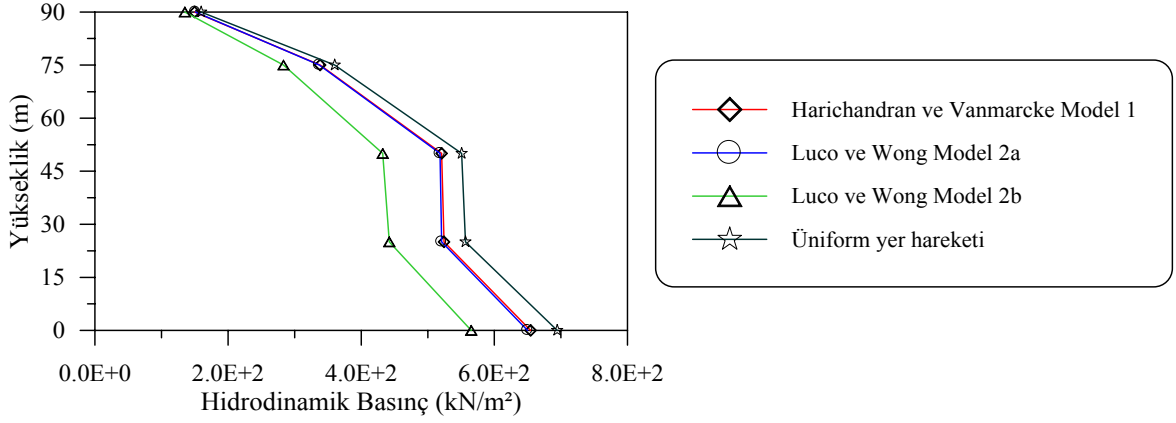
Şekil 58. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



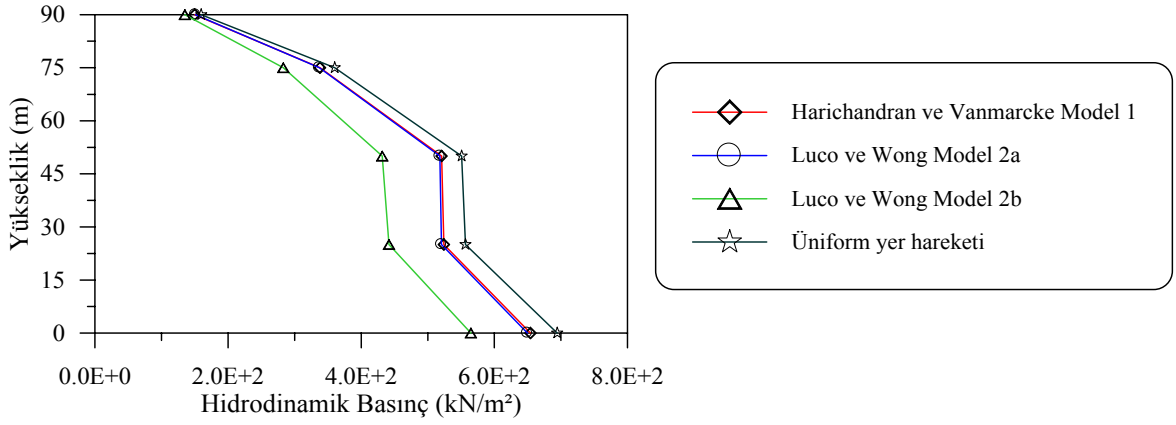
Şekil 59. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



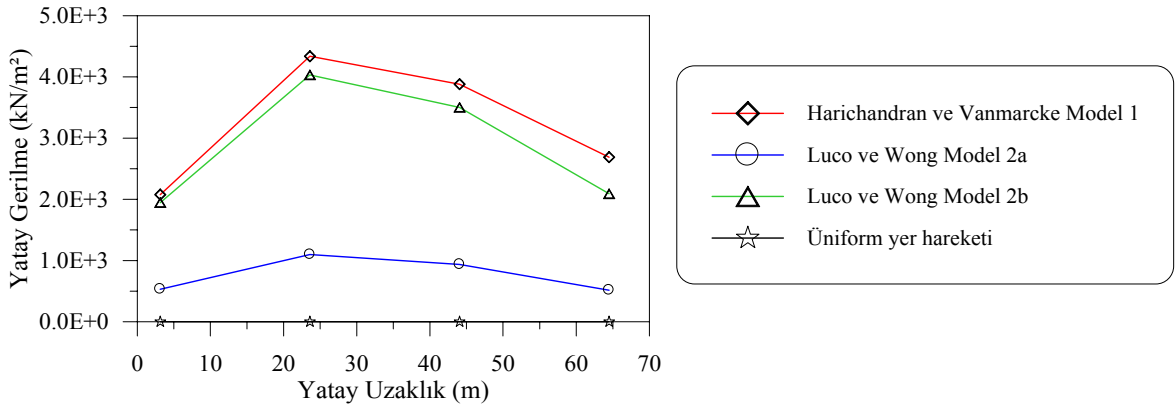
Şekil 60. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar



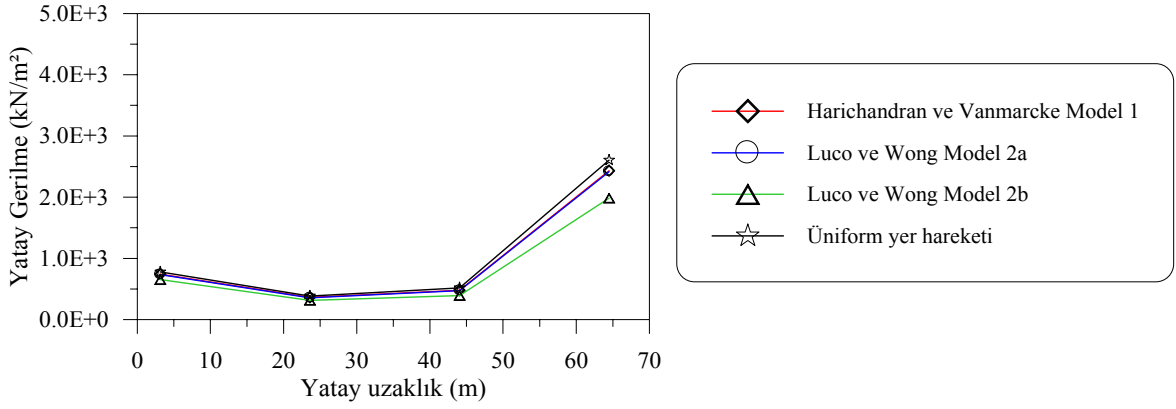
Şekil 61. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar



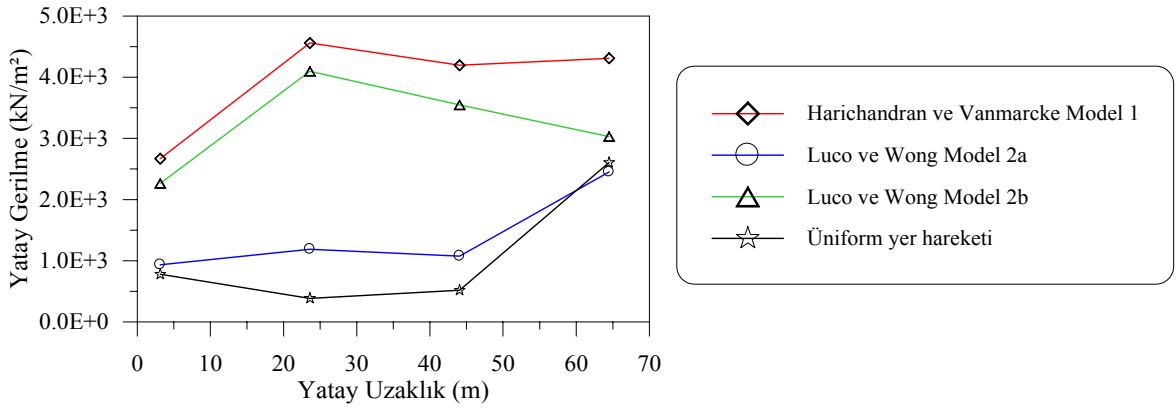
Şekil 62. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar



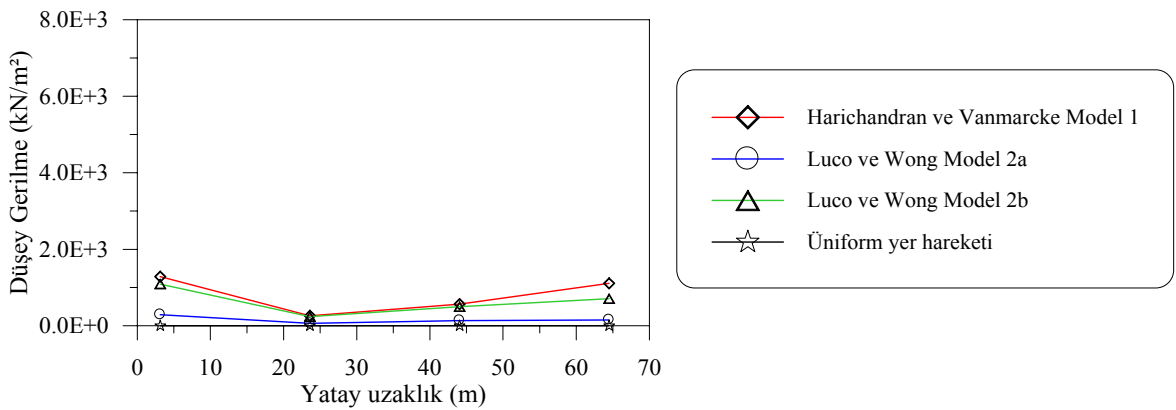
Şekil 63. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



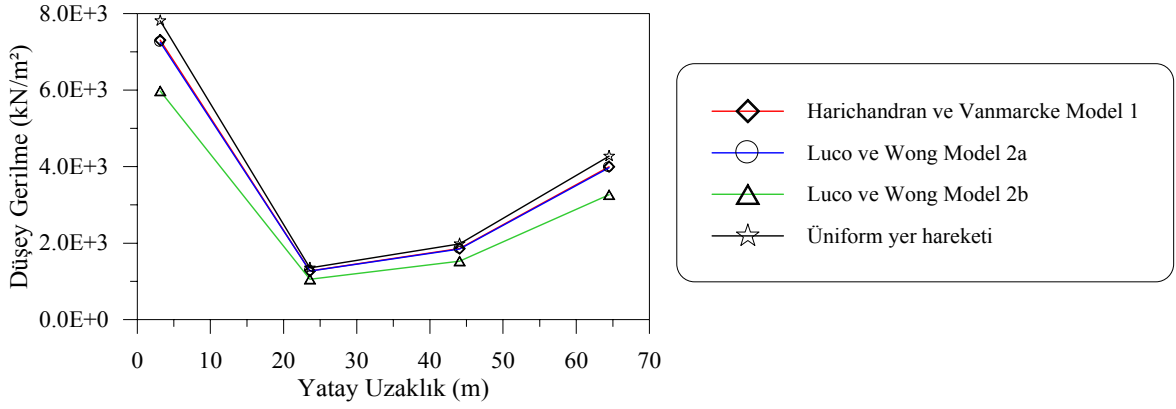
Şekil 64. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



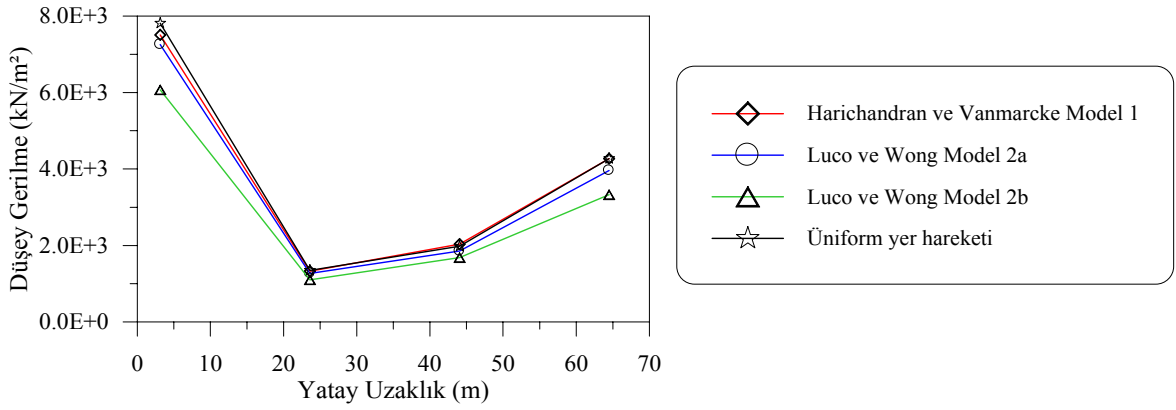
Şekil 65. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



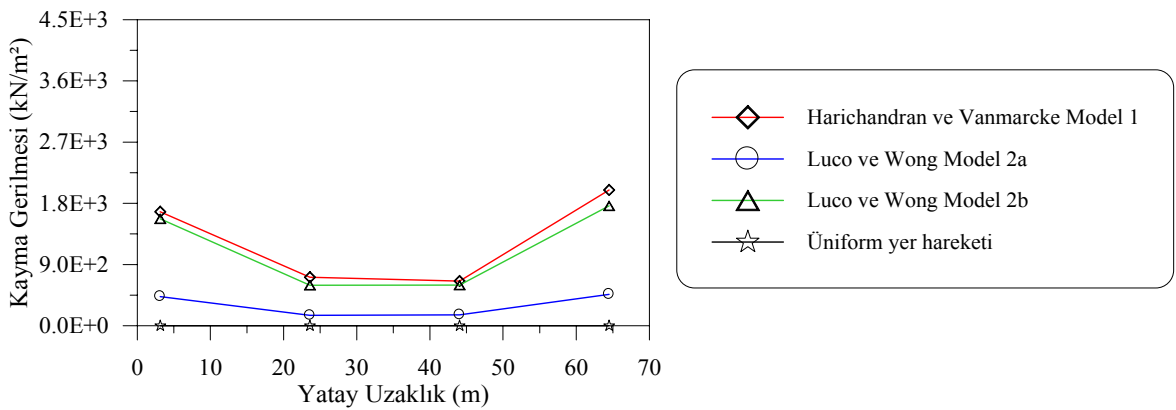
Şekil 66. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



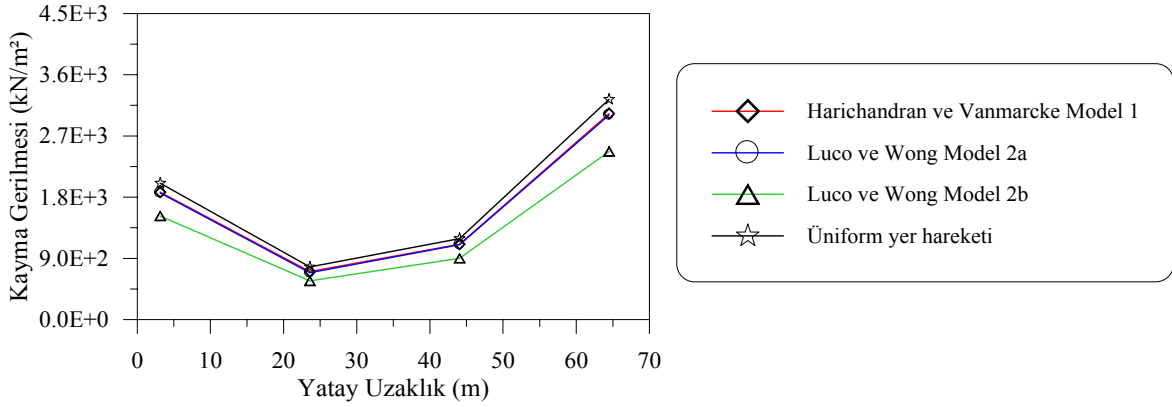
Şekil 67. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



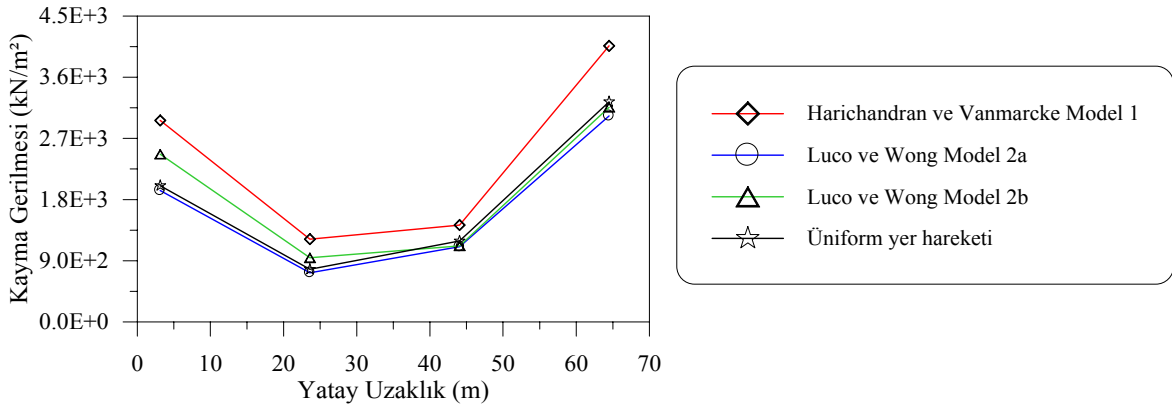
Şekil 68. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



Şekil 69. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



Şekil 70. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



Şekil 71. Farklı tutarsızlık modelleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri

3.1.1.4. Tutarsızlık Etkisi İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda sadece tutarsızlık etkisi dikkate alınarak barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yer değiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç değerlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları verilmektedir. Analizlerde Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli (Model 1) kullanılmıştır.

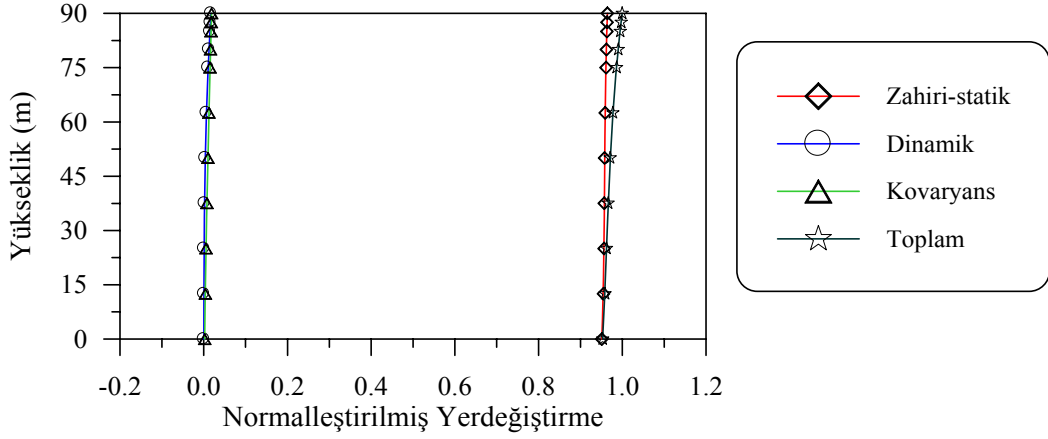
Şekil 72-76'da barajın memba yüzü boyunca elde edilen yatay yerdeğiştirme; yatay, düşey ve kayma gerilmeleri ile hidrodinamik basınç değerlerine ait varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Yalnızca tutarsızlık etkisi durumunda yatay yerdeğiştirme için toplam davranışa en büyük katkıyı zahiri statik bileşen sağlamaktadır. Şekil 72'den görüldüğü gibi yatay yerdeğiştirmenin maksimum olduğu barajın kret noktasında toplam

davranışa zahiri-statik bileşenin katkısı %96.44 olurken, dinamik bileşenin katkısı %1.73, kovaryans bileşenin katkısı ise %1.83'dir.

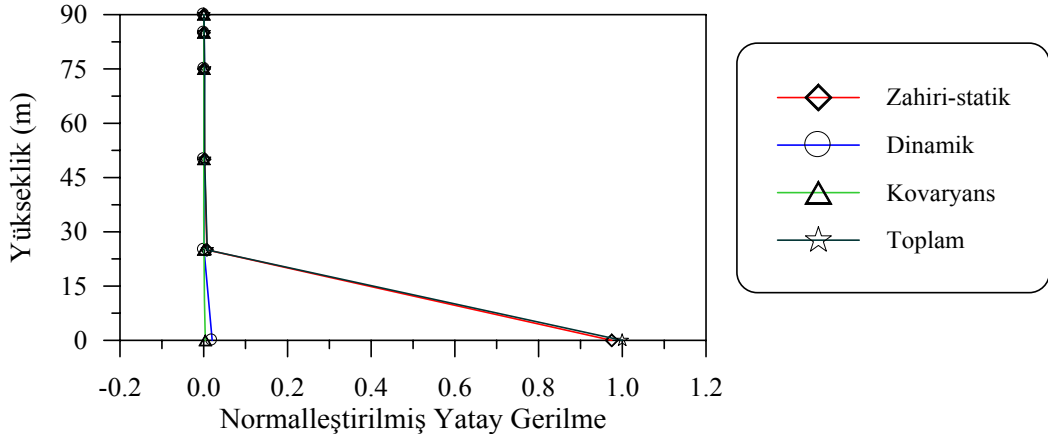
Şekil 72-75'de sadece tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca elde edilen yatay gerilme, düşey gerilme ve kayma gerilmelerine ait varyans dağılımları verilmektedir. Tutarsızlık etkisi durumunda genellikle toplam davranışa en büyük katkıyı yatay gerilme ve kayma gerilmeleri için zahiri- statik bileşen sağlarken, dinamik ve kovaryans bileşenlerin katkıları çok düşük olmaktadır. Yatay gerilmenin maksimum olduğu noktada zahiri-statik bileşenin katkısı %97.52 olurken, dinamik bileşenin katkısı %2.00 ve kovaryans bileşenin katkısı %0.48 olmaktadır. Şekil 74'te barajın memba yüzünde elde edilen düşey gerilmelere ait varyans dağılımları verilmektedir. Düşey gerilmeler için sadece tutarsızlık etkisi altında zahiri-statik bileşenin katkısı %27.50 olurken, dinamik bileşenin katkısı %73.40 ve kovaryans bileşenin katkısı %-0.90 olmaktadır.

Şekil 75'te sadece tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca elde edilen kayma gerilmelerine ait varyans dağılımları gösterilmektedir. Bu kesitte elde edilen kayma gerilmesinin maksimum olduğu taban noktasında zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin toplam davranışa katkıları, sadece tutarsızlık etkisi durumunda sırayla %86.30, %12.45 ve %1.25 olmaktadır.

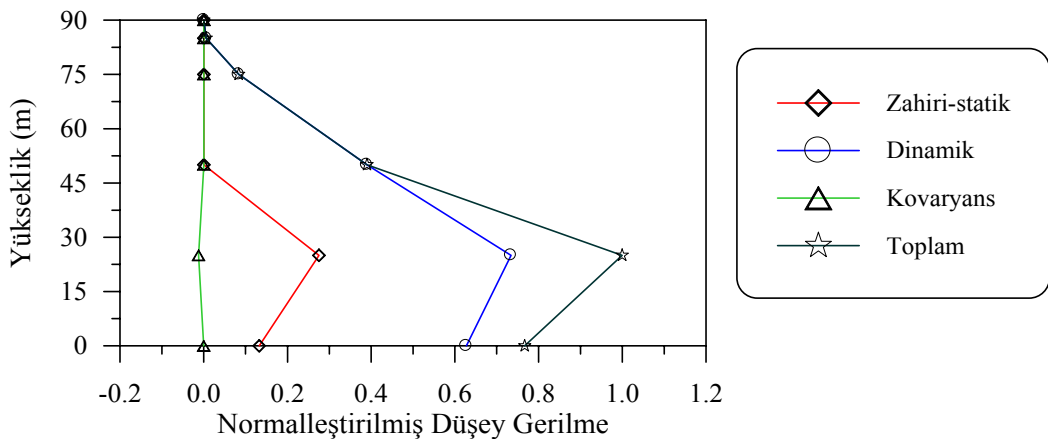
Şekil 76'da yalnızca tutarsızlık etkisi dikkate alındığında hidrodinamik basınç değerlerine ait varyans değerleri değerlendirildiğinde dinamik bileşenin toplam davranışa katkısının en büyük olduğu görülmektedir. Varyans değerleri zahiri-statik bileşen için %0.02, dinamik bileşen için %100.08 ve kovaryans bileşeni için ise %-0.10 olmaktadır.



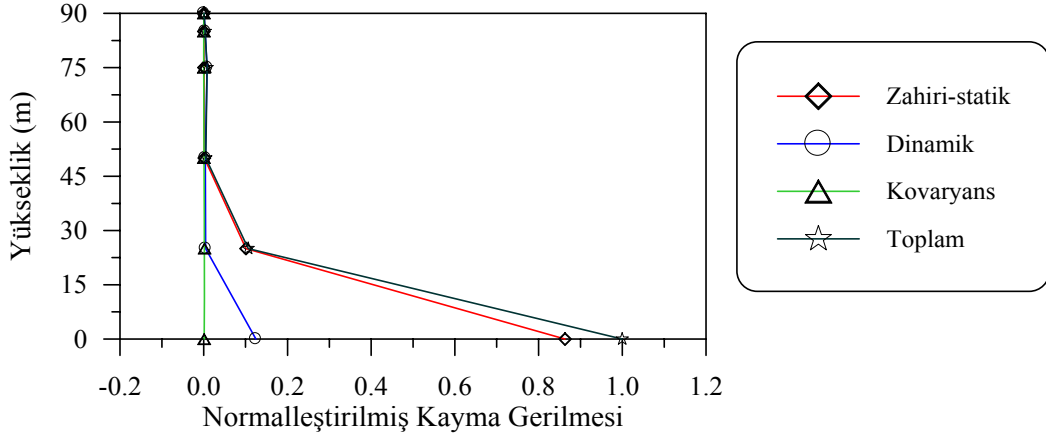
Şekil 72. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



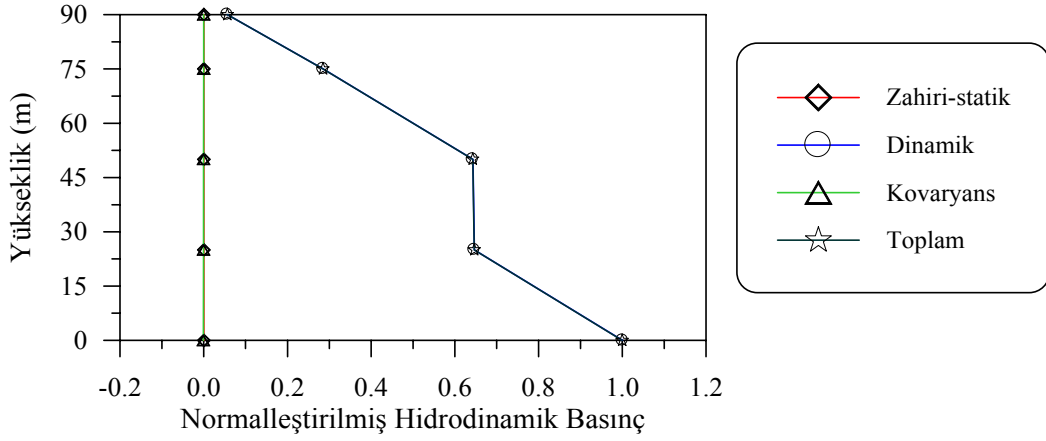
Şekil 73. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 74. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 75. Tutarlılık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilmesi bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarlılık modeli-Model 1)



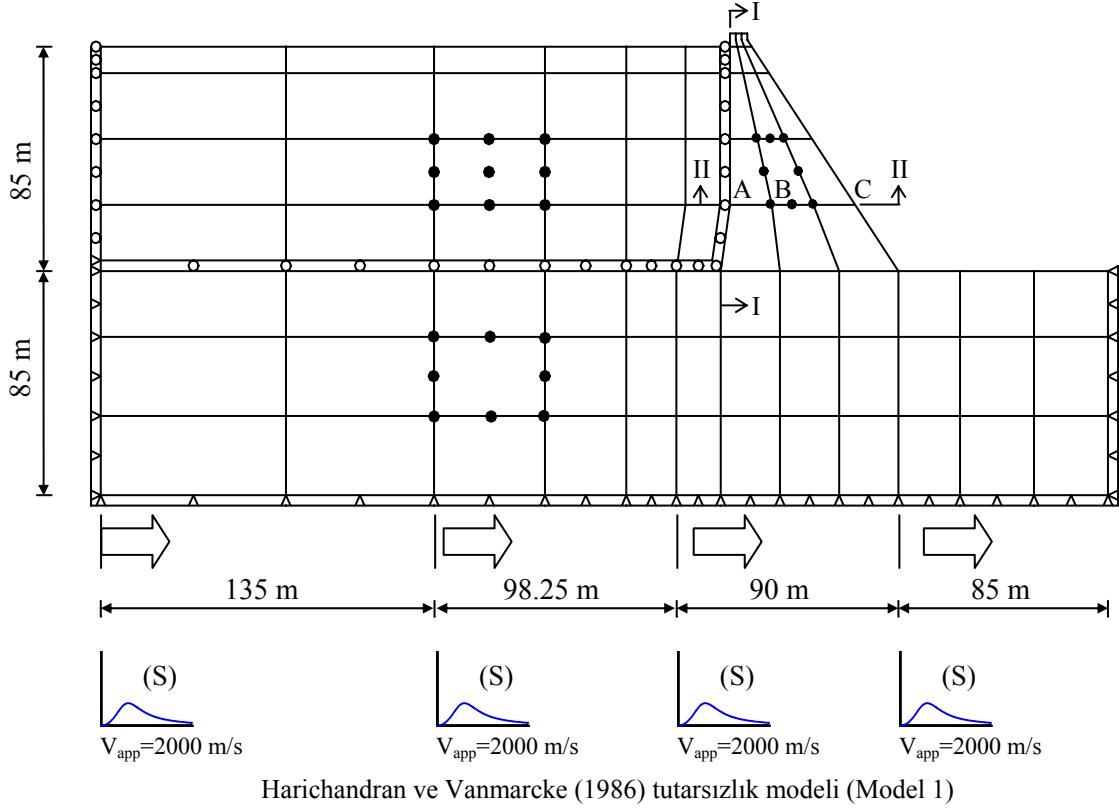
Şekil 76. Tutarlılık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarlılık modeli- Model 1)

3.1.1.5. Dalga Yayılma ve Tutarlılık Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması

Bu bölümde, barajın mesnetlendiği zeminin homojen sert olması durumunda dalga yayılma ve tutarlılık etkileri birlikte dikkate alınarak stokastik dinamik analizler gerçekleştirilmektedir. Şekil 77'de dalga yayılma ve tutarlılık etkilerine maruz baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli gösterilmektedir.

Dalga yayılma ve tutarlılık etkilerinin dikkate alındığı genel durumdan elde edilen analiz sonuçları, üniform yer hareketi, sadece dalga yayılma ve sadece tutarlılık

etkilerinin dikkate alındığı durumlar için yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmaktadır. Bu özel durumlar aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.



Şekil 77. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli

1.Durum: Yer hareketinin sonsuz hızla yayıldığı ve barajın mesnetlendiği yerlerde aynı deprem hareketine maruz kaldığı kabul edilmekte, dalga yayılma ve tutarsızlık etkileri dikkate alınmamaktadır. Bu durum üniform yer hareketine karşılık gelmekte ve (74) denkleminde $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} = 1$ olmaktadır.

2.Durum: Burada tutarsızlık ve zemin etkileri dikkate alınmamakta, yalnızca dalga yayılma etkisi dikkate alınmaktadır. Bu analizde sert zeminde dalga yayılma hızı $v_{app}=2000\text{m/s}$ olarak seçilmiştir. (74) denkleminde bu durum $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} = 1$ olmaktadır.

3.Durum: Bu analizde dalga yayılma ve zemin etkileri ihmal edilmekte yalnızca tutarsızlık etkisi dikkate alınmaktadır. Burada tutarsızlık modeli olarak Harichandran ve

Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli (Model 1) kullanılmıştır. (74) denkleminde bu durum $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} \neq 1$ olmaktadır.

4.Durum: Bu durumda tutarsızlık ve dalga yayılma etkileri birlikte dikkate alınmakta, zeminin, tüm bölgelerde homojen sert olduğu, dolayısıyla zemin etkilerinin ihmal edildiği kabul edilmektedir. Bu analizde dalga yayılma hızı $v_{app}=2000$ m/s seçilmekte ve Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli (Model 1) dikkate alınmaktadır. (74) denkleminde bu durum $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} \neq 1$ olarak temsil edilmektedir.

Barajın memba yüzü boyunca yer hareketinin yukarıda belirtilen dört durumu dikkate alınarak elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirmeler Şekil 78-80'de verilmektedir. Zahiri-statik yer değiştirmeler incelendiğinde üniform yer hareketi (1.Durum) için elde edilen yatay değiştirmeler en büyük olurken, genel durumda (4.Durum) elde edilen yatay yer değiştirmeler en küçük olmaktadır. Sadece tutarsızlık etkisi (3.Durum) dikkate alınarak elde edilen zahiri-statik yatay yer değiştirmeler, sadece dalga yayılma etkisi (2.Durum) dikkate alınarak elde edilenlerden daha küçük değerler almaktadır.

Dinamik yatay yerdeğiştirmeler de ise sadece üniform yer hareketi (1.Durum) dikkate alınarak elde edilen yer değiştirmeler yine en büyük olurken, bunları sırasıyla, tutarsızlık etkisi ve oldukça yakın sonuçlar veren dalga yayılma etkisi ile genel durumda elde edilen yer değiştirmeler izlemektedir.

Kret noktasında elde edilen toplam yer değiştirmeler dikkate alındığında genel durumda (4.Durum) belirlenen yatay yerdeğiştirmenin, sadece dalga yayılma etkisi (2.Durum), sadece tutarsızlık etkisi (3.Durum) ve üniform yer hareketi (1. Durum) dikkate alınarak elde edilenlerden %3.5, %3.9 ve %8.9 küçük olduğu görölmektedir.

Şekil 81-83'te barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay gerilme değerleri verilmektedir. Zahiri-statik ve toplam gerilmeler incelendiğinde, en büyük gerilme değerinin genel durumda elde edildiği görölmektedir. Dinamik gerilmelere bakıldığında ise en büyük gerilme değerinin üniform yer hareketi durumunda meydana geldiği görölrken, bundan sonraki en büyük değerin sadece tutarsızlık etkisi durumunda olduğu görölmektedir. Toplam yatay gerilmeler incelendiğinde ise genel durumda elde edilen yatay gerilme değerleri en büyük olurken, bu sonuçlara oldukça yakın olan tutarsızlık etkisi ile elde edilen sonuçlar ikinci sırada, dalga

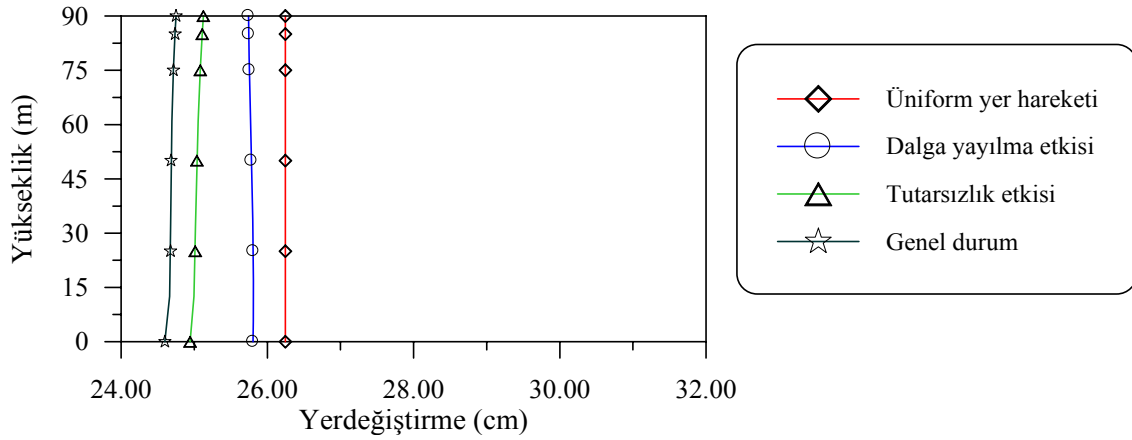
yayıma etkisi ile elde edilen sonuçlar üçüncü sırada ve üniform yer hareketi durumunda elde edilen sonuçlar en küçük değerlerde oluşmaktadır. Sadece dalga yayılma etkisi, sadece tutarsızlık etkisi ve genel durum dikkate alınarak barajın taban kısmında elde edilen toplam gerilme değerleri, üniform yer hareketi ile elde edilen gerilme değerine oranla sırayla %225, %500 ve %530 daha büyük olmaktadır.

Şekil 84-86'da barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam düşey gerilme değerleri verilmektedir. Zahiri-statik gerilmeler göz önüne alındığında genel durumda elde edilen gerilme değerlerinin en büyük olduğu gözlenmektedir. Üniform yer hareketi durumunda, zahiri-statik düşey gerilme değerleri sıfır olmaktadır. Dinamik düşey gerilmeler üniform yer hareketi durumunda en büyük olurken, genel durum ve sadece dalga yayılma etkisi dikkate alındığı durumlarda elde edilen gerilme değerleri birbirine yakın olmakla birlikte en küçük değerleri almaktadırlar. Sadece tutarsızlık etkisi dikkate alındığı durumda ise elde edilen dinamik gerilme değerleri genel durum ve üniform yer hareketi durumu ile elde edilen değerlerin arasında kalmaktadır. Toplam düşey gerilmelerde ise tabana doğru yaklaştıkça sadece tutarsızlık etkisi ile elde edilen gerilmeler en büyük olmaktadır. Sadece dalga yayılma etkisi durumunda ise düşey gerilme değerleri en küçük olmaktadır. Sadece dalga yayılma etkisi, genel durum ve üniform yer hareketi dikkate alınarak barajın 25.00 m yüksekliğinde elde edilen gerilme değerleri tutarsızlık etkisi kullanılarak elde edilen gerilme değerlerine oranla sırayla %25, %29 ve %17 daha küçük olmaktadır.

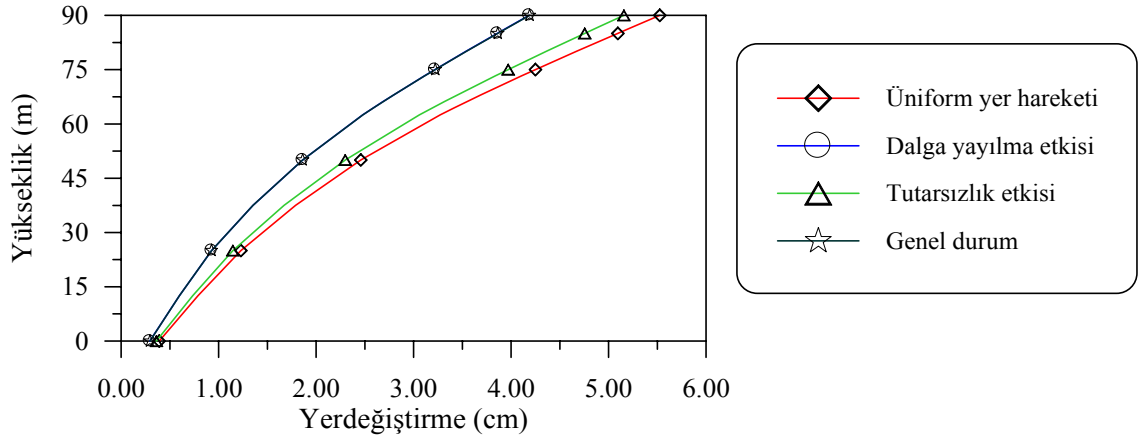
Barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum kayma gerilme değerleri Şekil 87-89'da verilmektedir. Memba yüzü boyunca elde edilen zahiri-statik kayma gerilmesi değerleri genel durumda en büyük olurken, bunları sırayla sadece tutarsızlık etkisinde, sadece dalga yayılma etkisinde ve üniform yer hareketi etkisinde elde edilen gerilmeler izlemektedir. Dinamik kayma gerilmesi değerlerine bakıldığında ise genelde en büyük gerilme değerleri üniform yer hareketi, en küçük gerilme değerleri ise dalga yayılma etkisi durumunda meydana gelmektedir. Toplam kayma gerilmeleri incelendiğinde ise tabana doğru yaklaştıkça genel durumunda elde edilen gerilme değerleri en büyük olurken, bunları sadece tutarsızlık etkisi durumu, sadece dalga yayılma etkisi durumu ve üniform yer hareketi durumunda elde edilen gerilme değerleri izlemektedir. Barajın tabanına yakın noktalarda üniform yer hareketi için elde edilen kayma gerilmesi değeri genel durum ve sadece tutarsızlık etkisine oranla %135, sadece dalga yayılma etkisi için hesaplanan kayma gerilmesi değerine göre ise %16 daha küçük çıkmaktadır.

Şekil 90-92’de barajın memba yüzeyi boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam hidrodinamik basınçlar gösterilmektedir. Zahiri-statik hidrodinamik basınç değerleri, genel durumda en büyük olurken, bunları sırasıyla, sadece tutarsızlık etkisi, sadece dalga yayılma etkisi ve sıfır değerinde sonuç veren üniform yer hareketi durumlarında elde edilen hidrodinamik basınç değerleri izlemektedir. Dinamik ve toplam hidrodinamik basınçlarda ise üniform yer hareketi için elde edilen değerler en büyük olurken, birbirine oldukça yakın sonuçlar veren genel durum ve sadece dalga yayılma etkisi için elde edilen değerler en küçük olmaktadır. Sadece tutarsızlık etkisi dikkate alınarak yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler ise üniform ve genel durum değerleri arasında kalmaktadır.

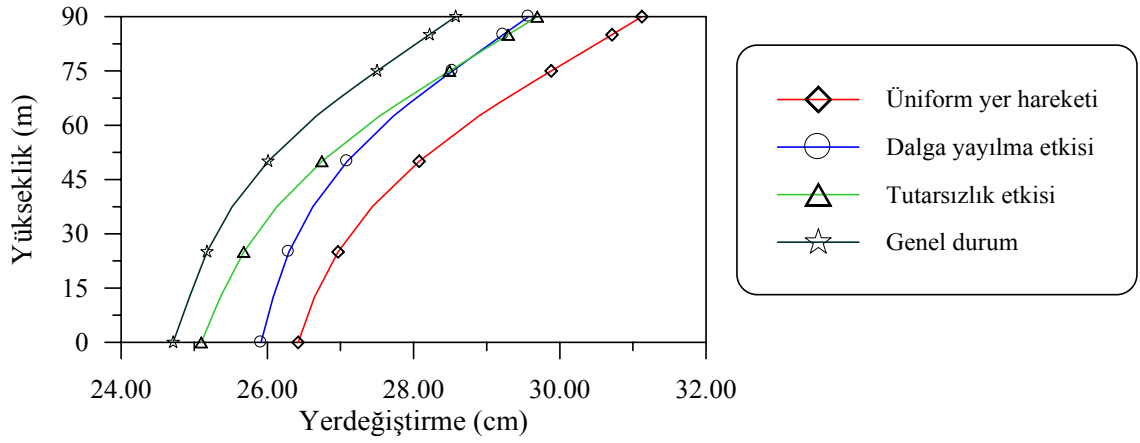
Hidrodinamik basınç değerinin en büyük olduğu tabandaki değerler dikkate alındığında sadece dalga yayılma etkisi, sadece tutarsızlık etkisi ve üniform yer hareketi için elde edilen hidrodinamik basınç değerinin genel durum için elde edilen basınç değerine oranla sırayla %0.8, %11 ve %18 daha büyük olduğu gözlenmektedir.



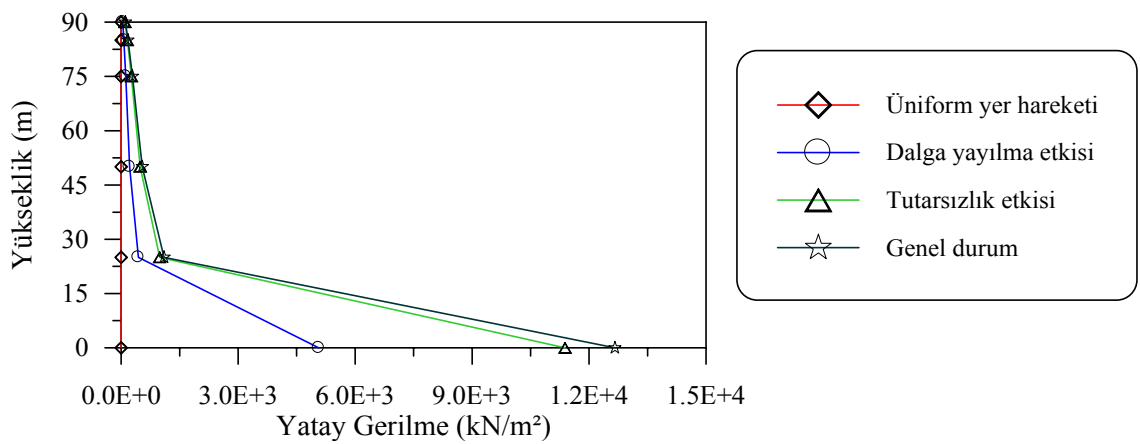
Şekil 78. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yerdeğiştirmeler



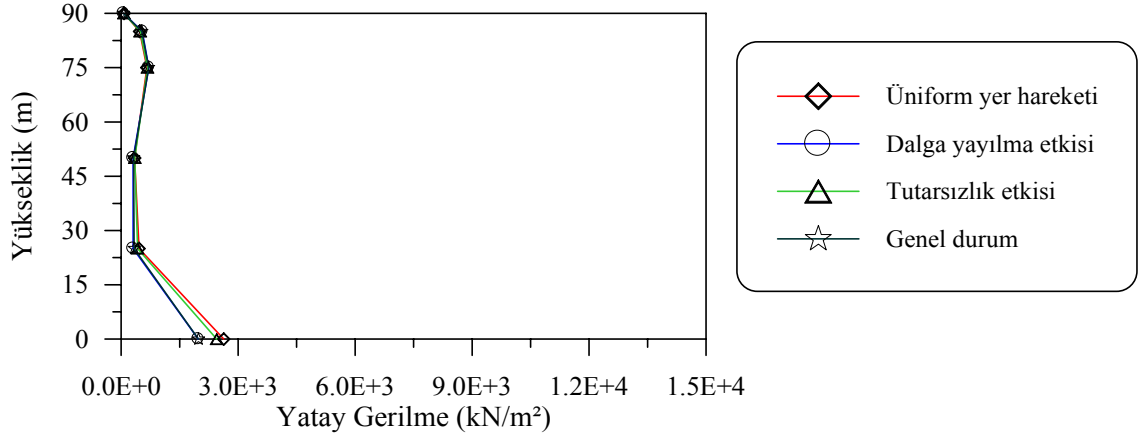
Şekil 79. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yerdeğiştirmeler



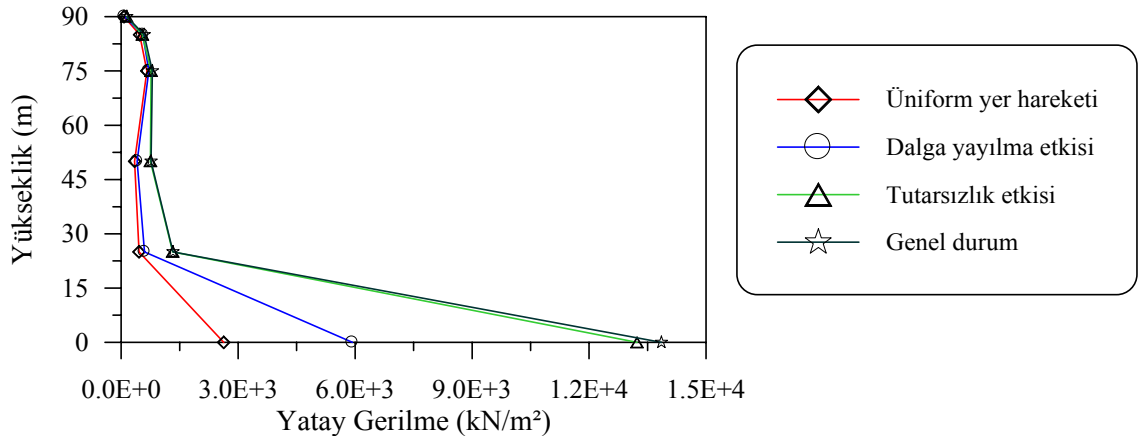
Şekil 80. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler



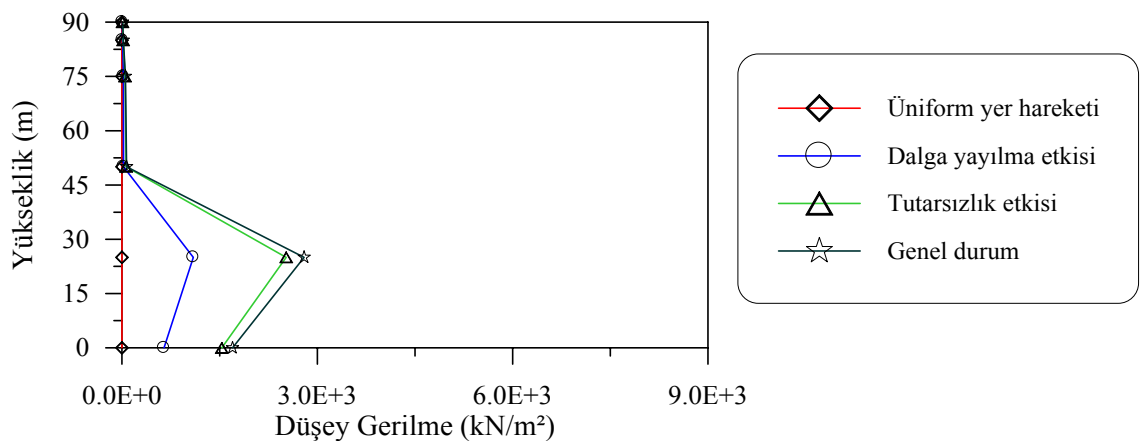
Şekil 81. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



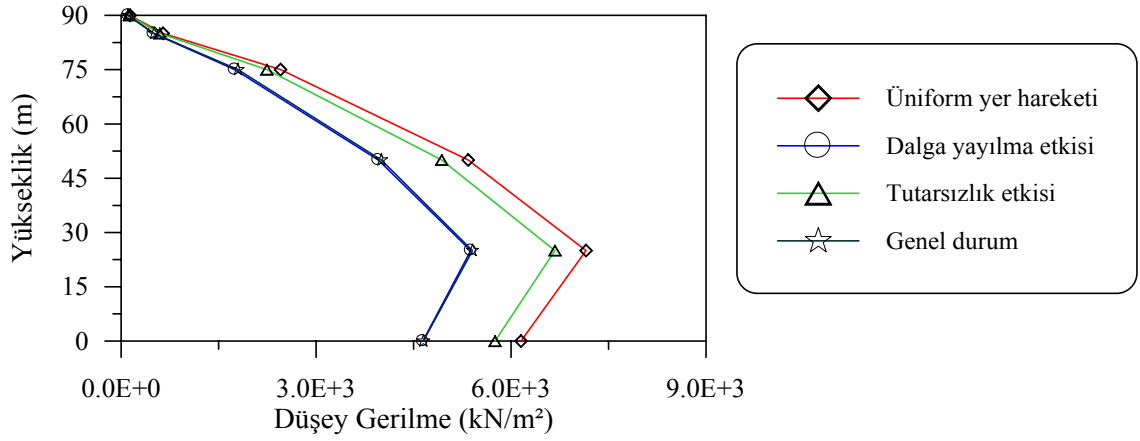
Şekil 82. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



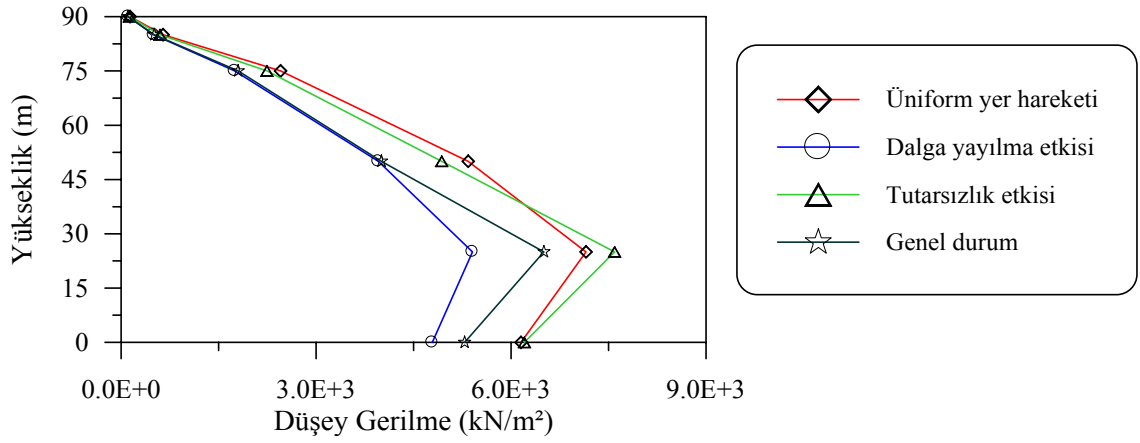
Şekil 83. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



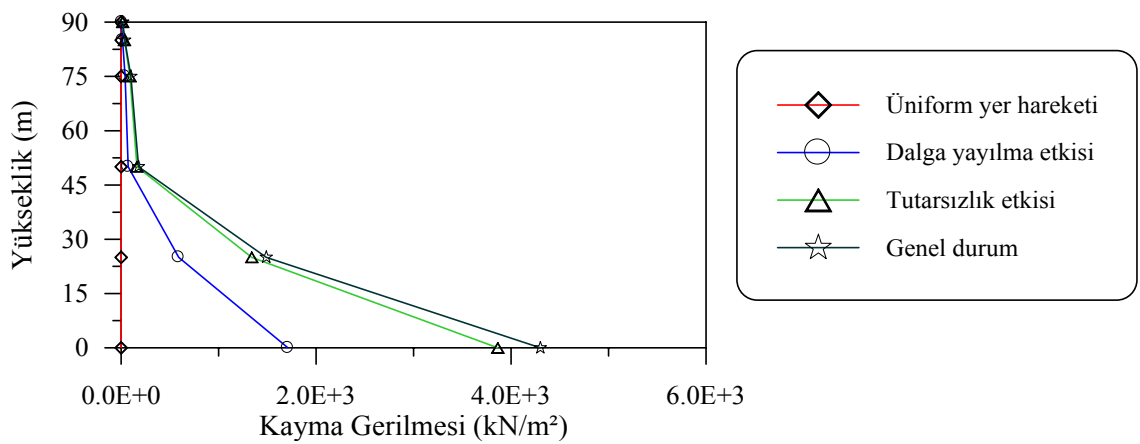
Şekil 84. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



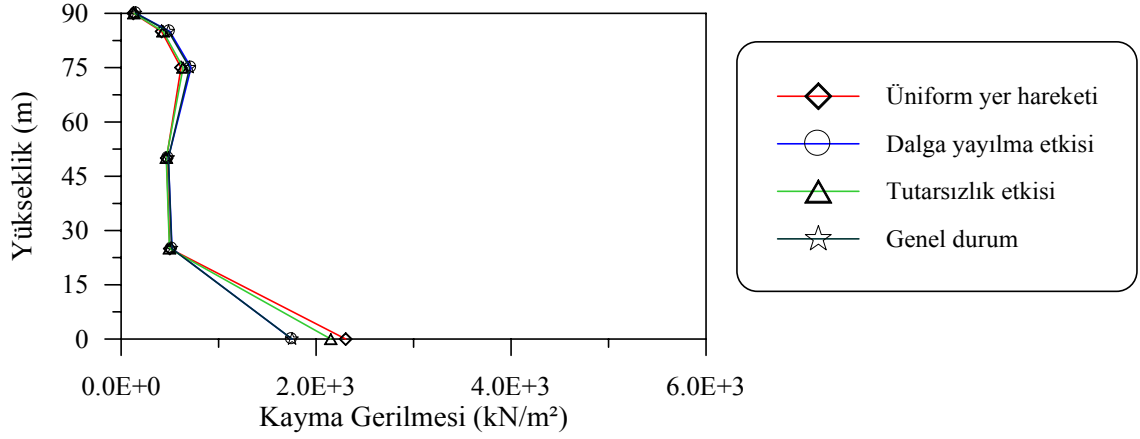
Şekil 85. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



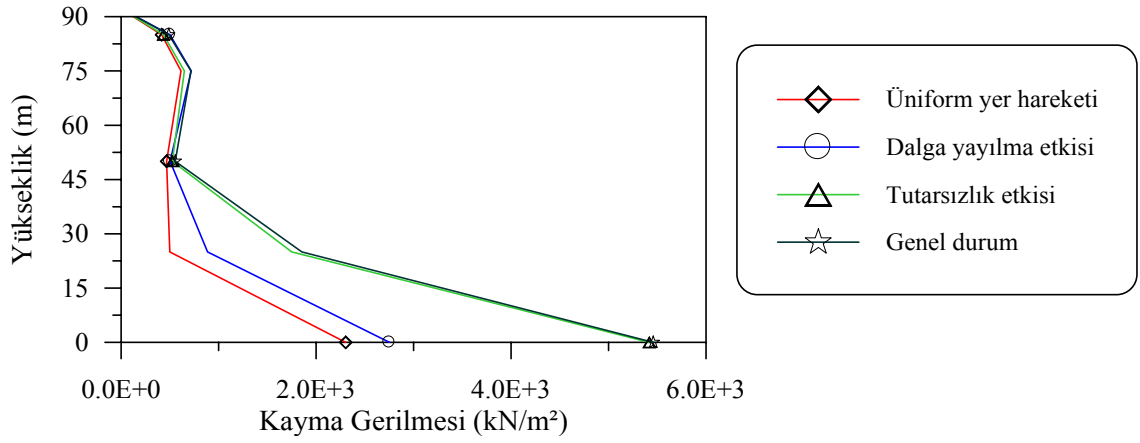
Şekil 86. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



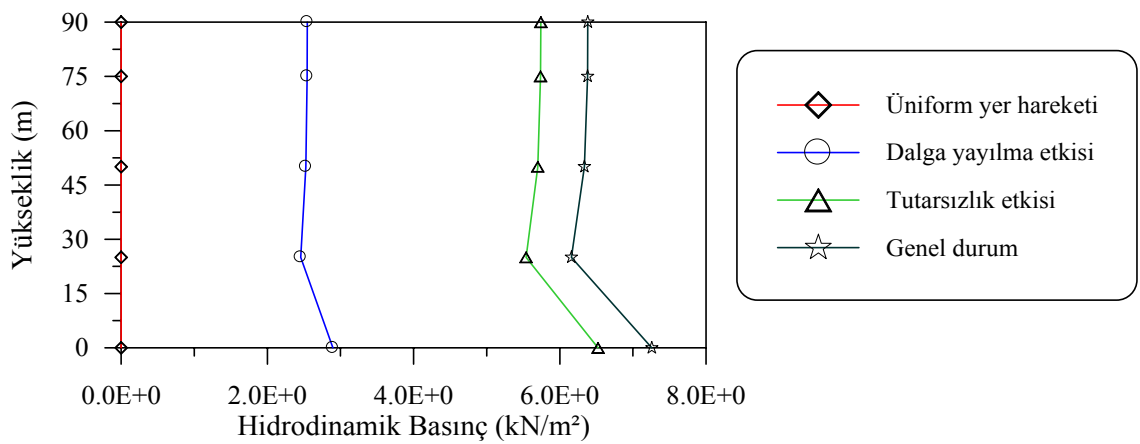
Şekil 87. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



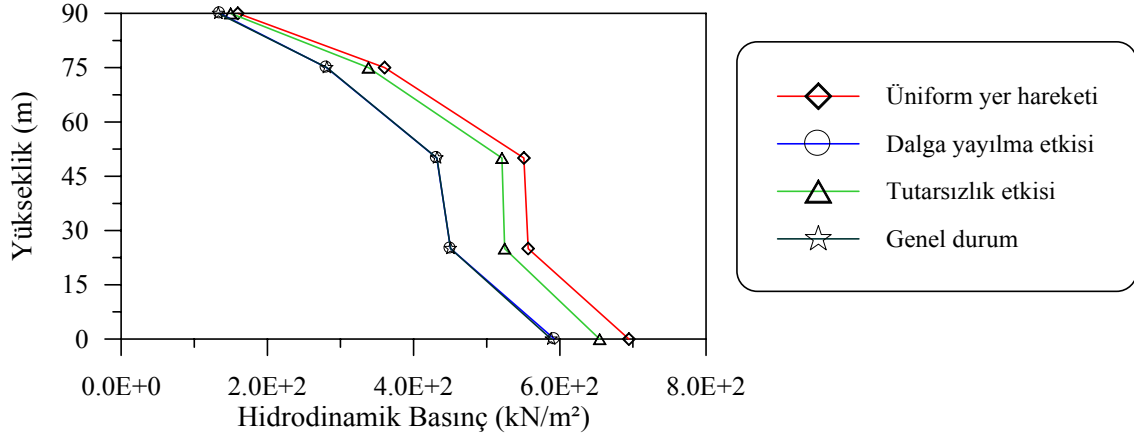
Şekil 88. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



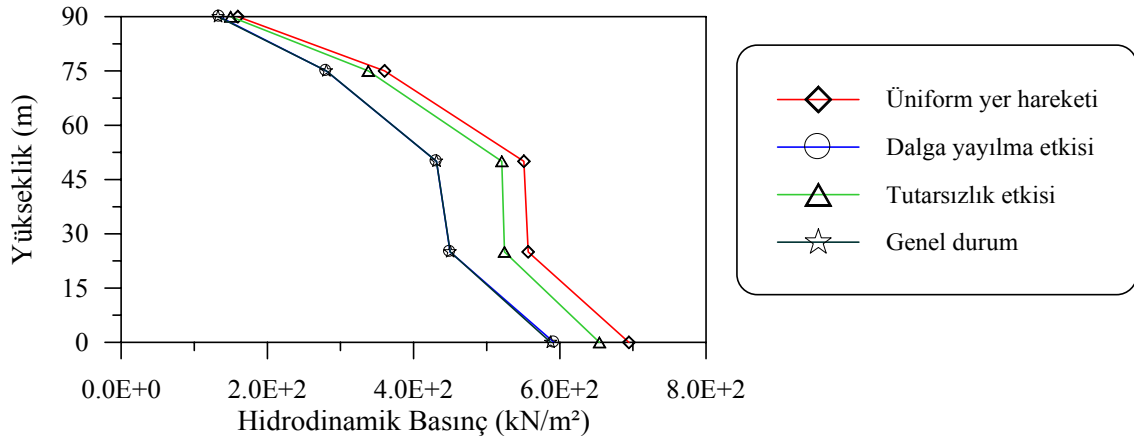
Şekil 89. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



Şekil 90. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar



Şekil 91. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar



Şekil 92. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar

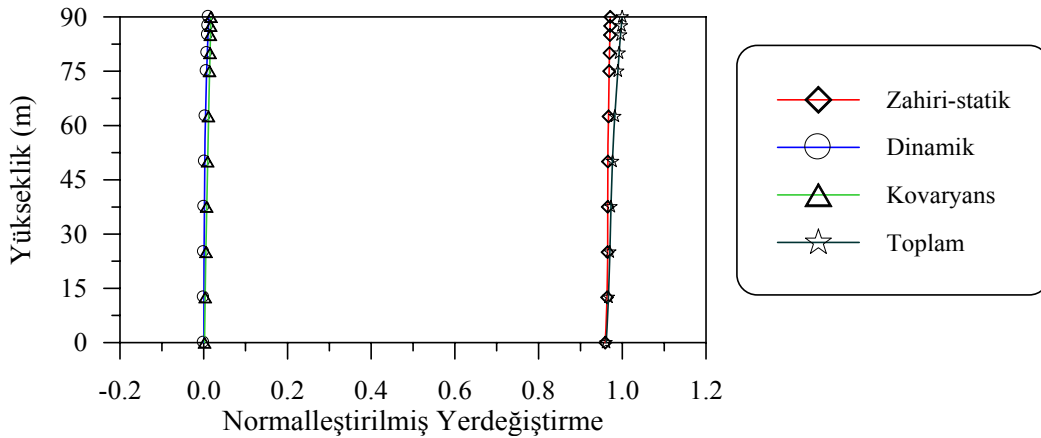
3.1.1.6. Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda genel durumda barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yer değiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç değerlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları verilmektedir. Yapıda oluşan toplam yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçlara ait varyans dağılımları Şekil 93-97'de verilmektedir. Yerdeğiştirmenin maksimum olduğu barajın kret noktasında toplam davranışa zahiri-statik bileşenin katkısı %97.16 olurken, dinamik bileşenin katkısı %1.16, kovaryans bileşenin katkısı ise %1.68'dir.

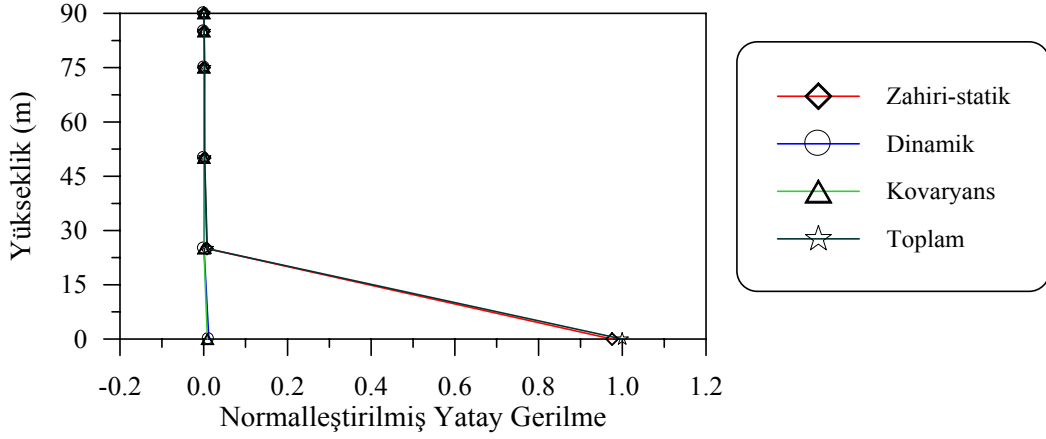
Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyanslarının hesabında toplam davranışa en büyük katkıyı yine zahiri-statik bileşen sağlarken, dinamik ve kovaryans bileşenin katkısı çok küçük olmaktadır. Barajın tabanında maksimum yatay gerilmelerin olduğu kısımda toplam davranışa zahiri-statik bileşenin katkısı %98.00 olurken, dinamik bileşen ile kovaryans bileşenin katkısı %1.00 olmaktadır. Düşey gerilmelerin en büyük değerleri ise tabandan itibaren 25.00 m’de oluşmaktadır. Burada dinamik bileşenin toplam davranışa katkısı %65.00 iken, zahiri-statik ve kovaryans bileşenin katkısı ise sırasıyla %40.00 ve %-5.00’ dir. En büyük kayma gerilmeleri de barajın taban kısmında oluşmaktadır. Bu kısımda da zahiri-statik bileşenin toplam davranışa katkısı %88.95 iken, dinamik bileşenin katkısı %7.83, kovaryans bileşenin katkısı ise %3.22’ dir.

Barajın memba yüzeyi boyunca oluşan hidrodinamik basınçlar incelendiğinde toplam davranışa en büyük katkıyı dinamik bileşenin sağladığı görülmektedir. Dinamik bileşenin katkısı %100.27 olurken, zahiri-statik bileşenin katkısı %0.03, kovaryans bileşenin katkısı ise %-0.30 olmaktadır.

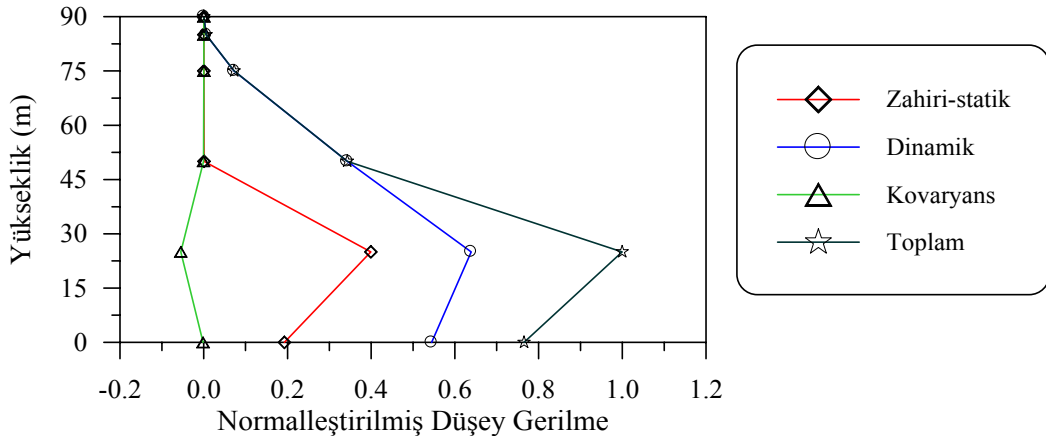
Böylece zeminin homojen olması durumunda yapılan tüm analizlerde genel olarak toplam yerdeğiştirme, yatay gerilme ve kayma gerilmesi değerlerinde hakim bileşen zahiri-statik bileşen olurken, düşey gerilmelerde ve hidrodinamik basınçlarda ise dinamik bileşen olmaktadır.



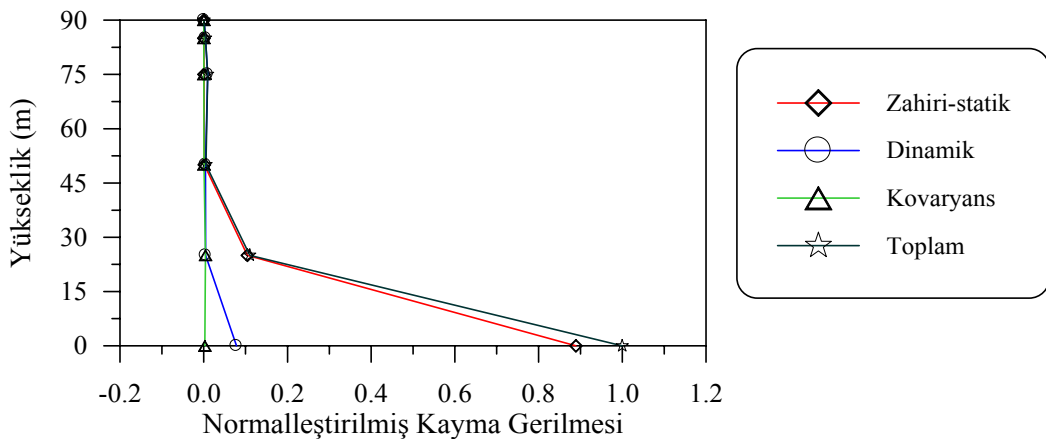
Şekil 93. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



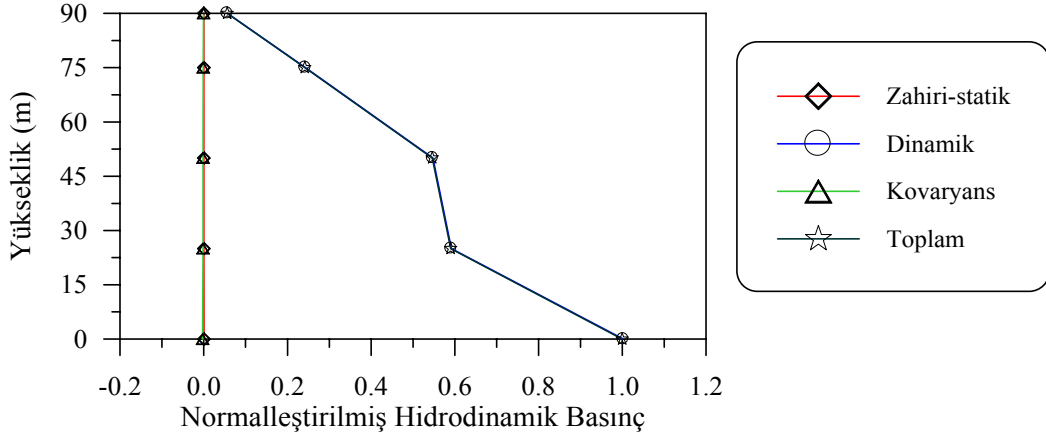
Şekil 94. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları (v_{app}=2000 m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 95. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları (v_{app}=2000 m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 96. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları (v_{app}=2000 m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 97. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1)

3.1.2. Stasyoner Olmayan Davranış

3.1.2.1. Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkileri İçin Yerdeğiştirme, Gerilme, Hidrodinamik Basınç ve Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde istatistiksel özelliklerin zamana bağımlı olduğu stasyoner işlem üzerinde durulmaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi deprem hareketi gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rastgele işlemler, stasyoner olmayan işlem sınıfına girmektedirler. Stasyoner olmayan işlem için, stasyoner işlemde (46) denklemi ile gösterilen frekans davranış fonksiyonu yerine, (66) denklemi ile gösterilen zamana bağlı $H_j(\omega, t)$ ifadesi yazılmaktadır.

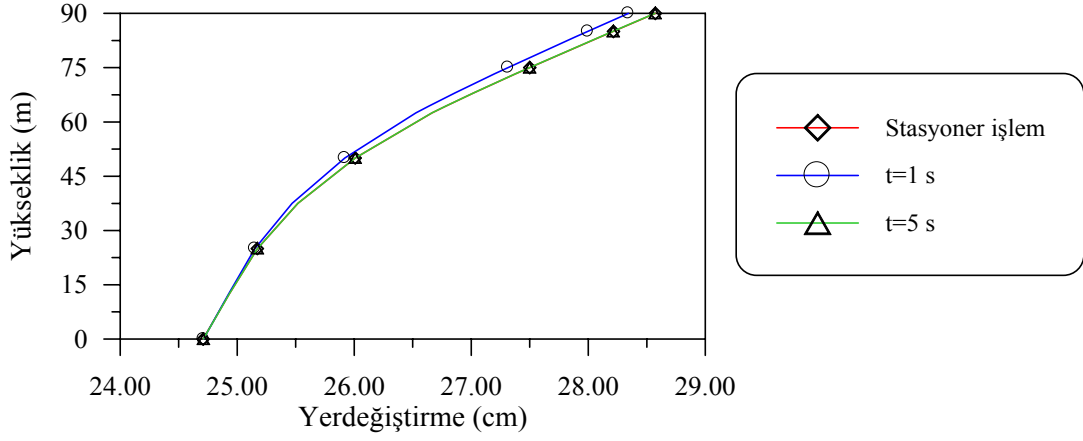
Tepki bileşenlerinin stasyoner davranışa yaklaşıp yaklaşmadığını belirlemek amacıyla 1. ve 5. saniyelerde seçilmiştir. Dalga yayılma hızı $v_{app}=2000$ m/s, tutarsızlık modeli olarak Harichandran ve Vanmarcke 1986 tutarsızlık modeli (Model 1) ve zemin cinsi olarak sert (S) zemin kullanılmıştır. Stasyoner olmayan işlem için yapılan analizlerde barajın memba yüzeyi boyunca hesaplanan toplam yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçlara ait değerler Şekil 98-102'de karşılaştırılmaktadır. Varyans değerleri ise Şekil 103-107'de karşılaştırılmaktadır. Şekil 103-107'de verilen varyans grafiklerindeki varyans değerleri, 1. ve 5. saniyelerde tespit edilen stasyoner olmayan varyans değerlerinin stasyoner işlem için tespit edilen maksimum varyans değerine bölünmesi suretiyle elde edilmektedir.

Şekil 98'deki toplam yatay yerdeğiştirme değerleri ile Şekil 103'te ki varyans değerlerinde stasyoner işlem, $t=5s$ için stasyoner değerlere oldukça yakın çıkarken $t=1s$ için biraz farklı çıkmaktadır. Bu durum düşey gerilmeler ve hidrodinamik basınçlar içinde aynı oluşmaktadır. Yatay gerilme ve kayma değerlerine ilişkin Şekil 99 ve Şekil 101 ile varyans değerleri ile ilgili Şekil 104 ve Şekil 106 incelendiğinde ise stasyoner işlem, $t=1s$ ve $t=5s$ için elde edilen değerlerin üst üste çakıştığı görülmektedir. Barajın kret noktasında hesaplanan toplam stasyoner yerdeğiştirme değerine (28.57cm) $t=1s$ için (28.34cm) %99.20 yaklaşılırken, $t=5s$ 'de %100 yaklaşmaktadır. Düşey gerilmenin maksimum olduğu 25.00m'de stasyoner işlem için oluşan gerilme değerine $t=1s$ 'de %95 yaklaşılırken, $t=5s$ 'de % 100'e yakın bir değer ile yaklaşmaktadır. Hidrodinamik basınçlarda ise $t=1s$ 'de %94.06 yaklaşılırken, $t=5s$ 'de % 99.80 yaklaşmaktadır.

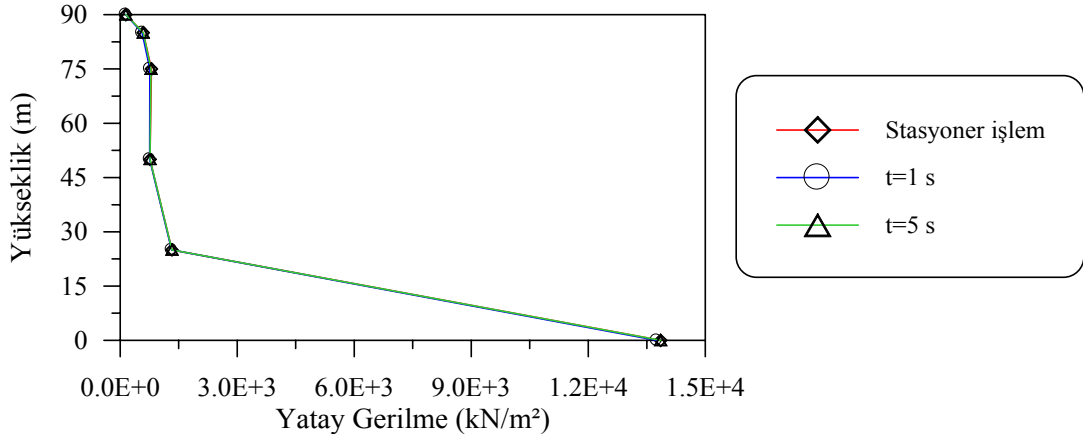
Stasyoner işlem sonucunda elde edilen gerilme değerleri incelendiğinde stasyoner olmayan işlem için elde edilen değerlerden çok farklı olmadığı görülmüştür. Bu nedenle stasyoner işlemin analizlerde dikkate alınması tercihe bırakılabilmektedir.

Şekil 108-112'de barajın memba yüzeyinde oluşan $t=1$ saniyedeki stasyoner olmayan yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçlar karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işlemi stasyoner olmayan işlem için üniform yer hareketi, tutarsızlık etkisi, dalga yayılma etkisi ve genel durumda hesaplanan değerler arasında yapılmaktadır. Şekillerden de görüldüğü gibi elde edilen değişimler, stasyoner işlem için elde edilen değişimlerle aynı olmaktadır. Dolayısıyla yer hareketinin özel halleri için stasyoner işlem durumunda elde edilen sonuçlar, stasyoner olmayan işlem için de geçerli olmaktadır.

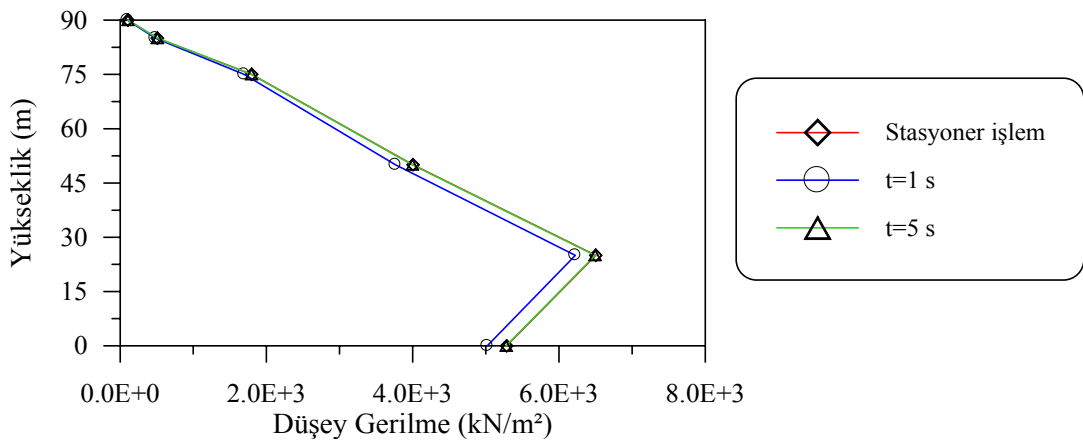
Şekil 113-117'de $t=1s$ 'de stasyoner olmayan işlem için barajın memba yüzü boyunca elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç değerlerine ait zahiri-statik, dinamik, kovaryans bileşenlerinin normalleştirilmiş varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Burada elde edilen değişim stasyoner işlem için elde edilen değişimle paralellik göstermektedir.



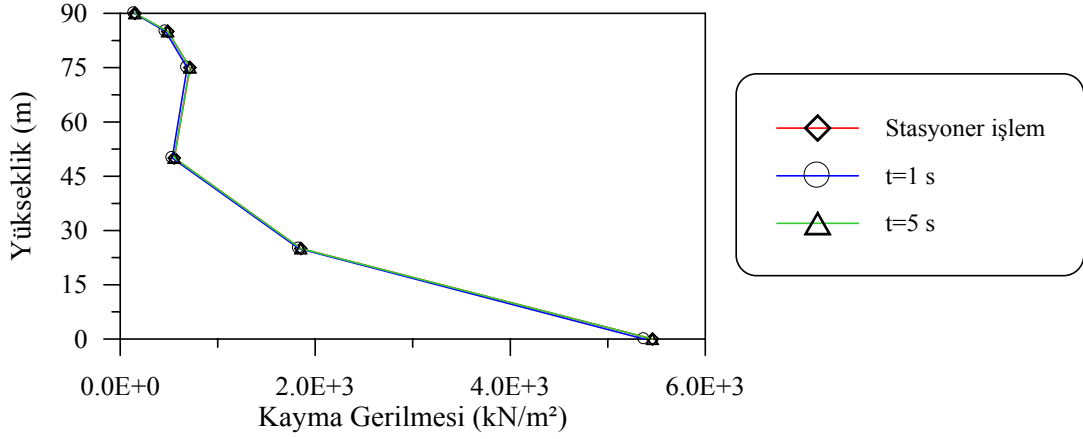
Şekil 98. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğistirmeler



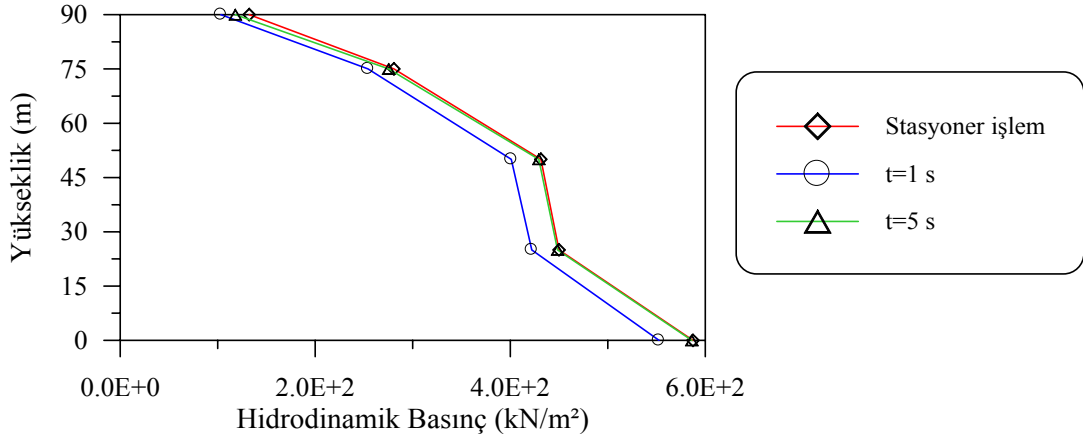
Şekil 99. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



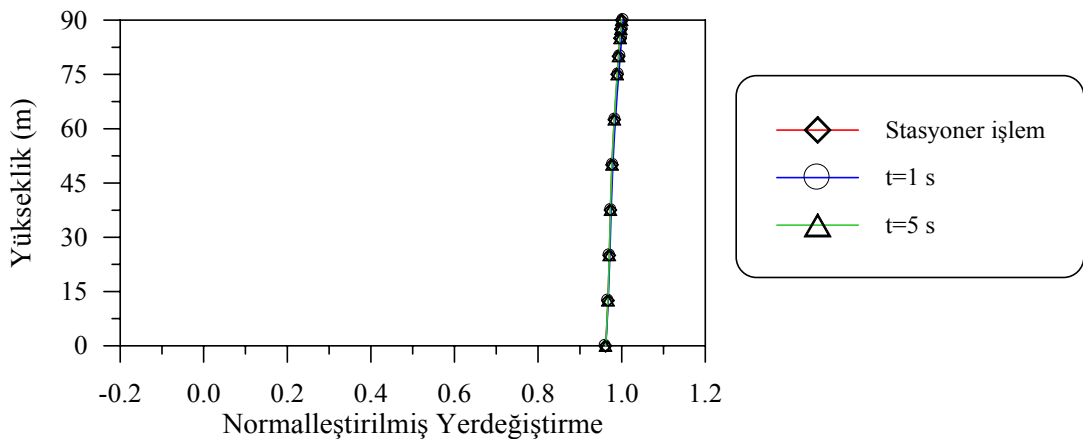
Şekil 100. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



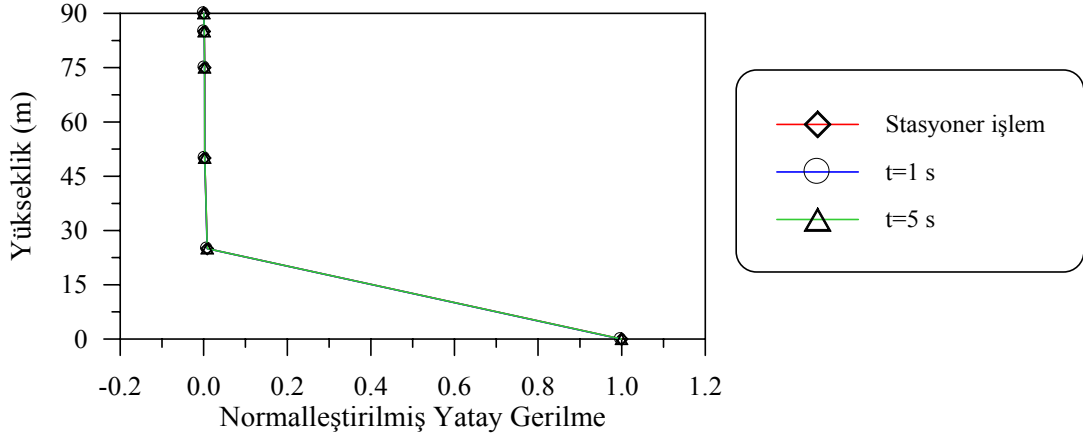
Şekil 101. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



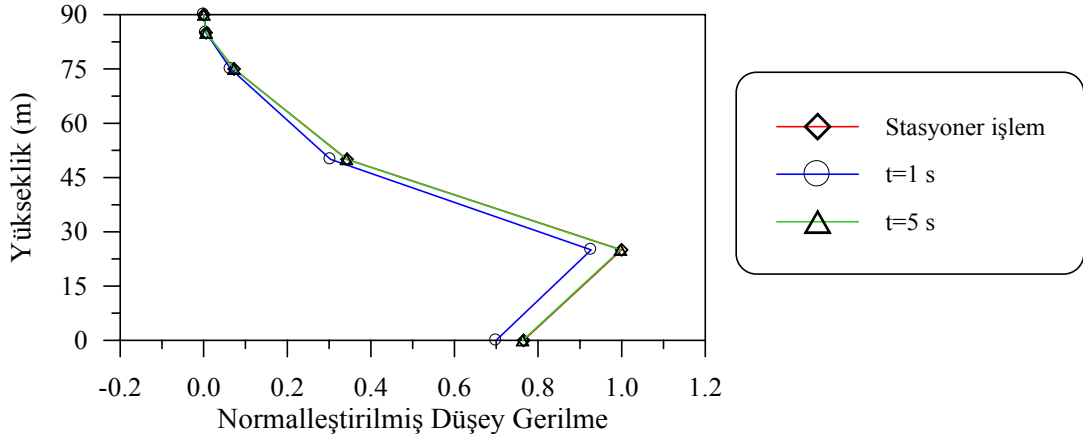
Şekil 102. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar



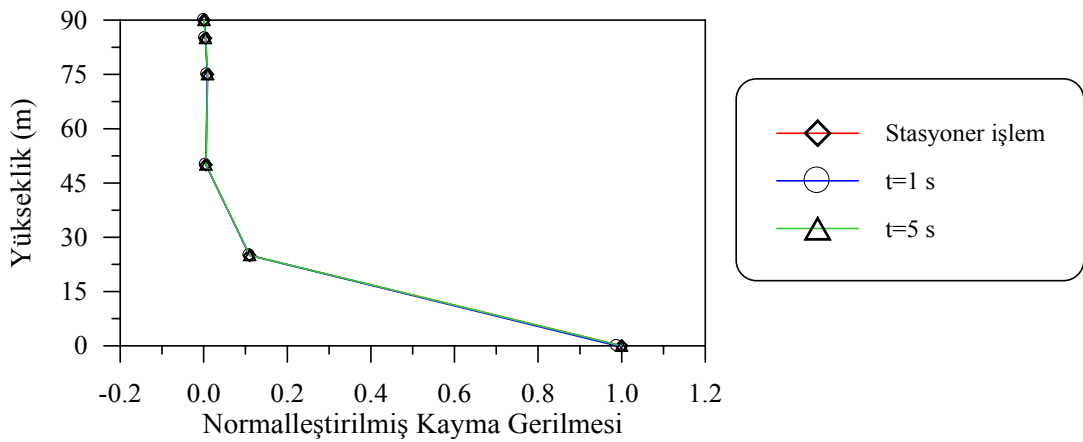
Şekil 103. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmelerin normalleştirilmiş varyansları



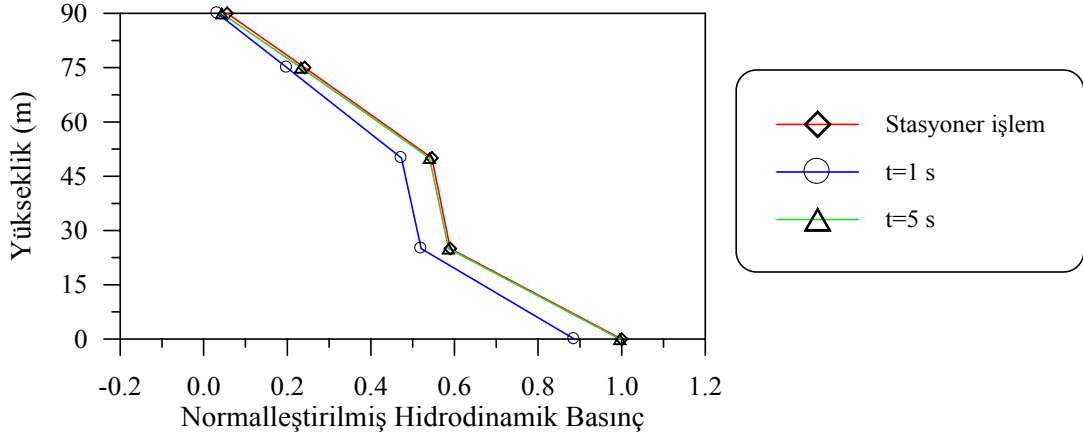
Şekil 104. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları



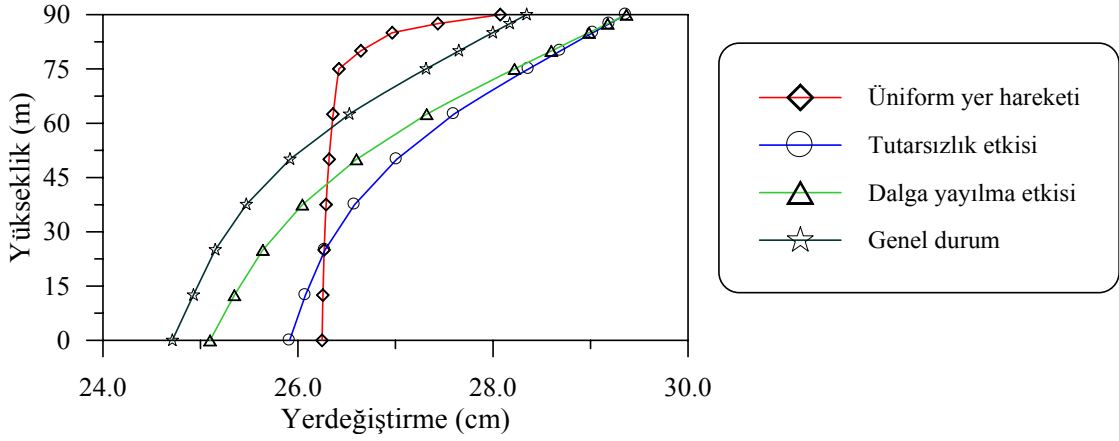
Şekil 105. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları



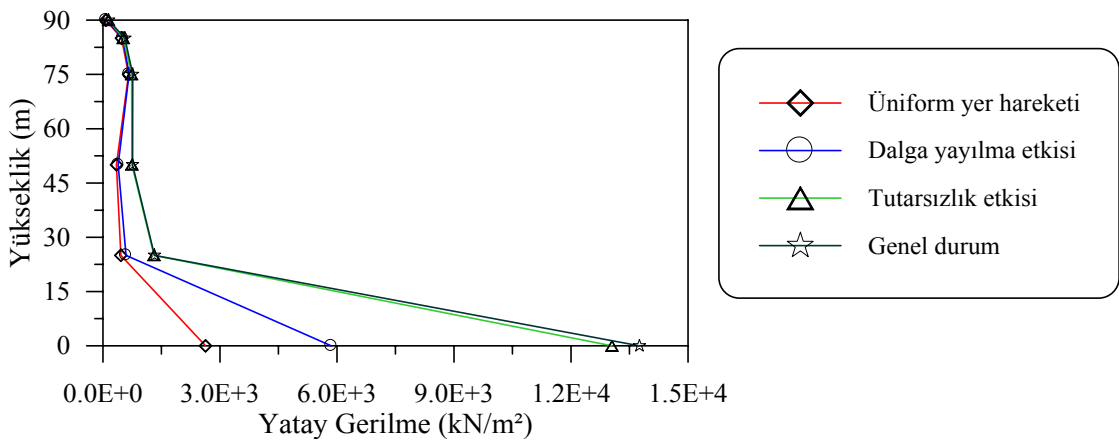
Şekil 106. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmelerinin normalleştirilmiş varyansları



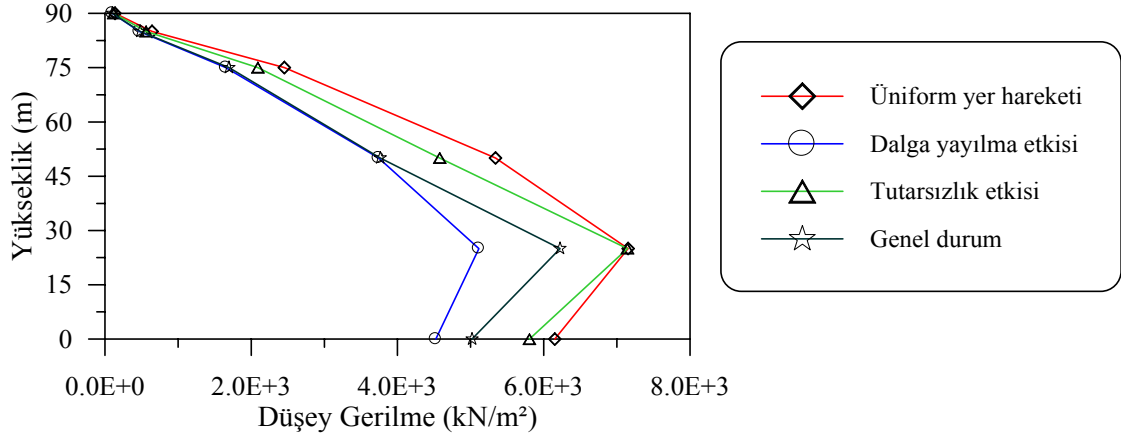
Şekil 107. Barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçların normalleştirilmiş varyansları



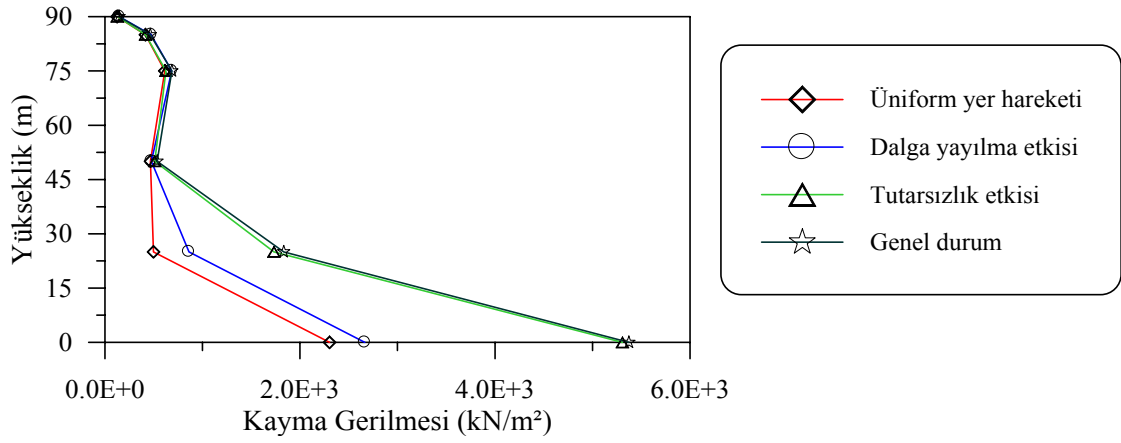
Şekil 108. t=1s'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam yerdeğştirmeler



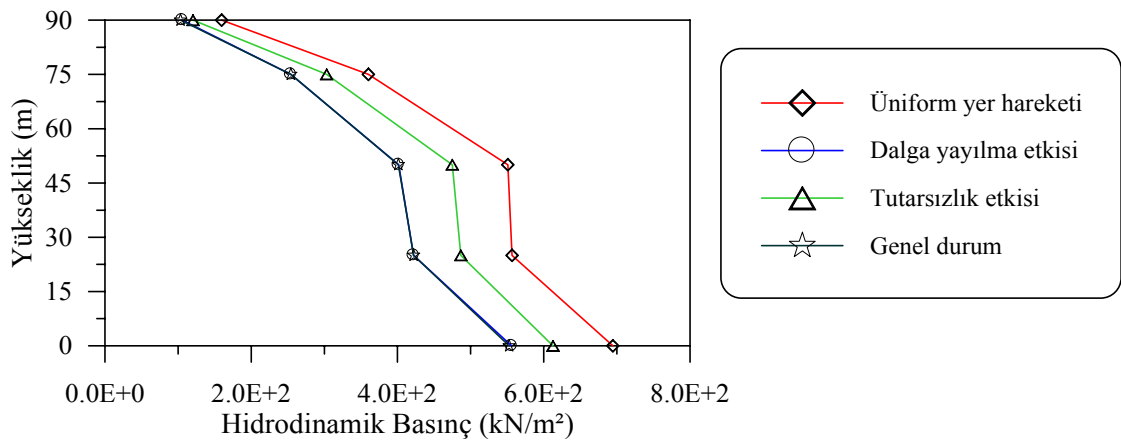
Şekil 109. t=1s'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam yatay gerilmeler



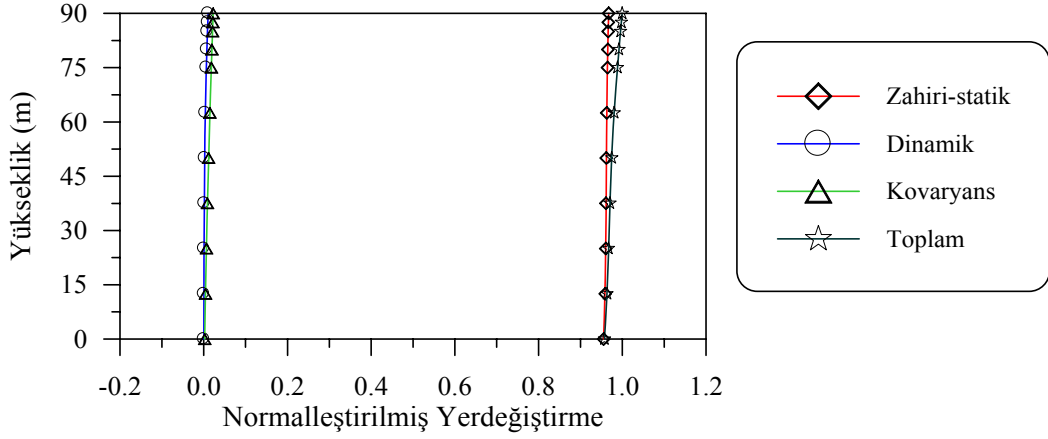
Şekil 110. t=1s'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam düşey gerilmeler



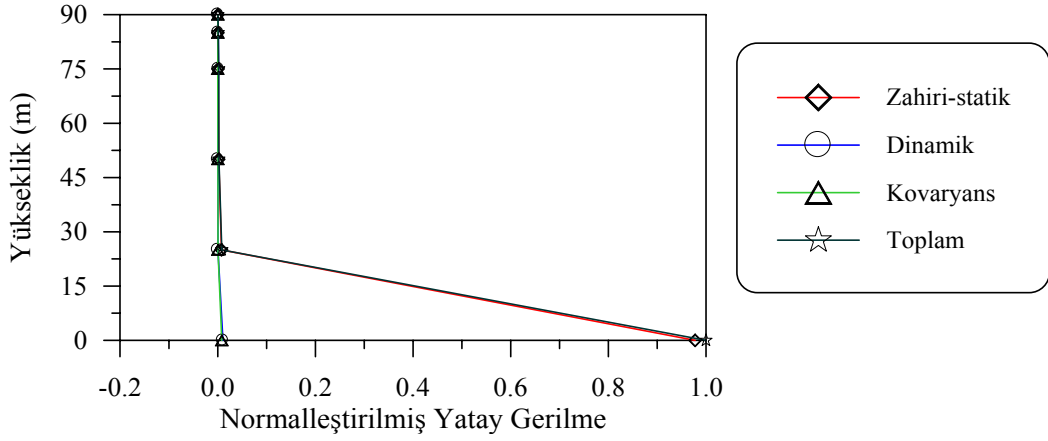
Şekil 111. t=1s'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam kayma gerilmeleri



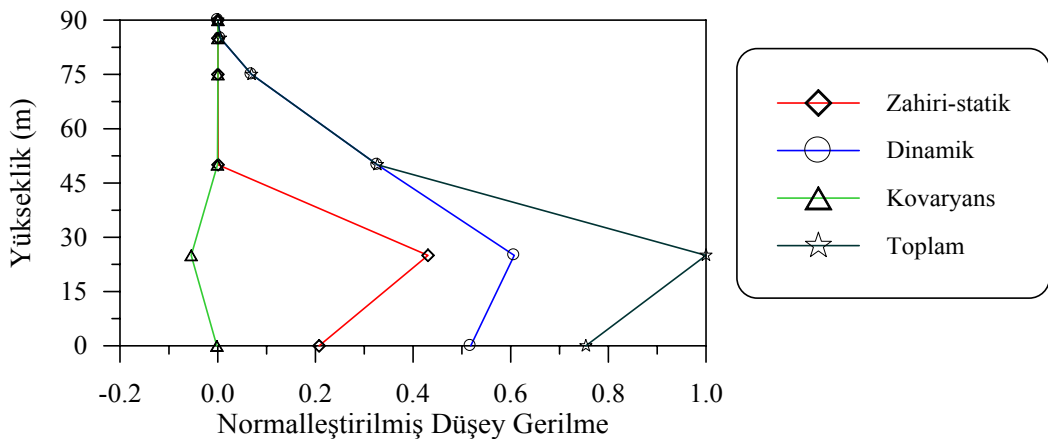
Şekil 112. t=1s'deki stasyoner olmayan davranış için hesaplanan toplam hidrodinamik basınçlar



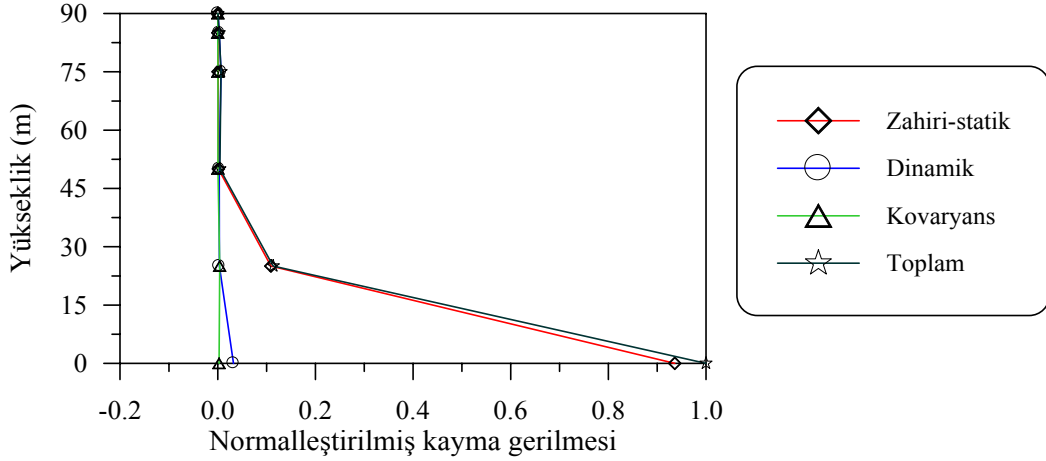
Şekil 113. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan davranış için toplam yerdeğiştirme varyans bileşenleri



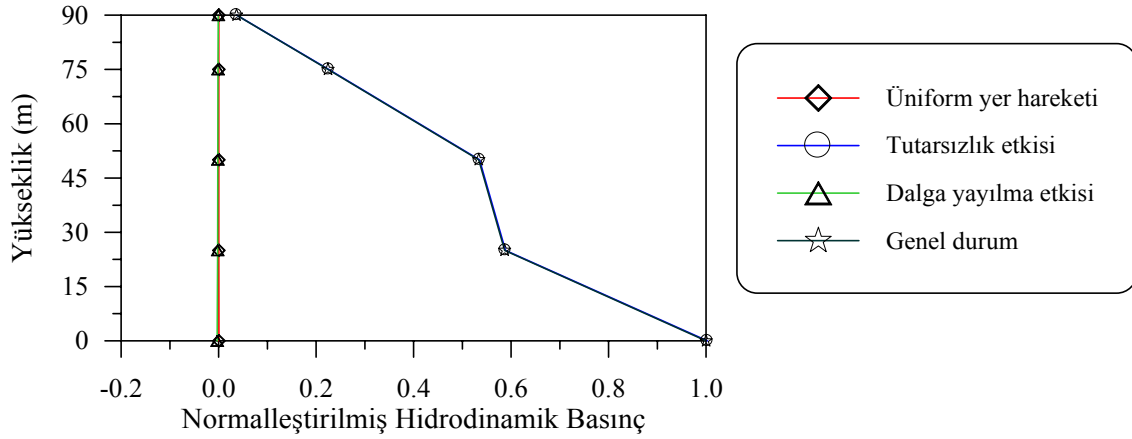
Şekil 114. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan davranış için toplam yatay gerilme varyans bileşenleri



Şekil 115. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan davranış için toplam düşey gerilmelerin varyans bileşenleri



Şekil 116. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyonere olmayan davranış için toplam kayma gerilmeleri varyans bileşenleri

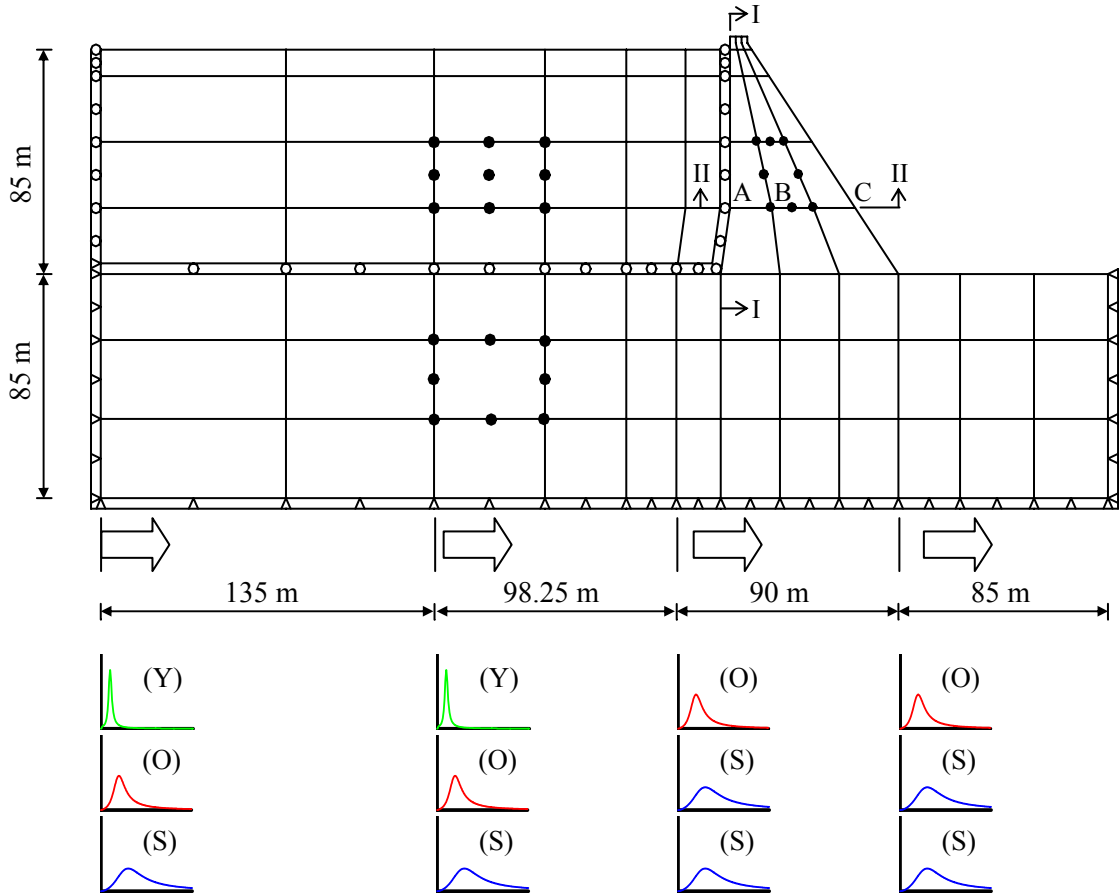


Şekil 117. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyonere olmayan davranış için toplam hidrodinamik basınç varyans bileşenleri

3.2. Barajın Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olmaması Durumunda Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde barajın mesnetlendiği zeminin homojen olmaması durumunda dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkileri birlikte dikkate alınarak değişerek yayılan yer hareketi etkisinde stokastik dinamik analizleri yapılmıştır. Homojen olmayan zemin durumunda (74) denklemi, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} \neq 1$ olmaktadır. Zemin etkisinin incelenmesi amacıyla Şekil 118'de verilen iki farklı homojen olmayan zemin durumu dikkate alınmıştır. Analizlerde birinci durumda rezervuarın altında kalan zeminin yumuşak zemin (Y), barajın altında kalan

zeminin ise orta (O) zemin olduğu dikkate alınmıştır (YYOO). İkinci durumda ise rezervuarın altında kalan zeminin orta (O), barajın altında kalanın ise sert (S) zemin olduğu kabul edilmiştir (OOSS). Üçüncü durum olan homojen zemin durumu olarak da tüm bölgelerin sert (S) zemin türünde olduğu kabul edilmiştir (SSSS).



Şekil 118. Homojen ve homojen olmayan zemin ortamında yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli

3.2.1. Stasyonel Davranış

3.2.1.1. Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması

Bu bölümde dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkileri birlikte dikkate alındığı genel durum için barajın I-I ve II-II kesitleri boyunca hesap edilen ortalama maksimum

zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçların değişimi incelenmektedir.

Homojen ve homojen olmayan zemin türleri için yapılan bu analizlerde dalga yayılma hızı olarak $v_{app}=2000$ m/s, tutarsızlık modeli olarak Harichandran ve Vanmarcke (1986) modeli (Model 1) seçilmiştir. Bu analizlerden elde edilen değerler üniform yayılan yer hareketi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

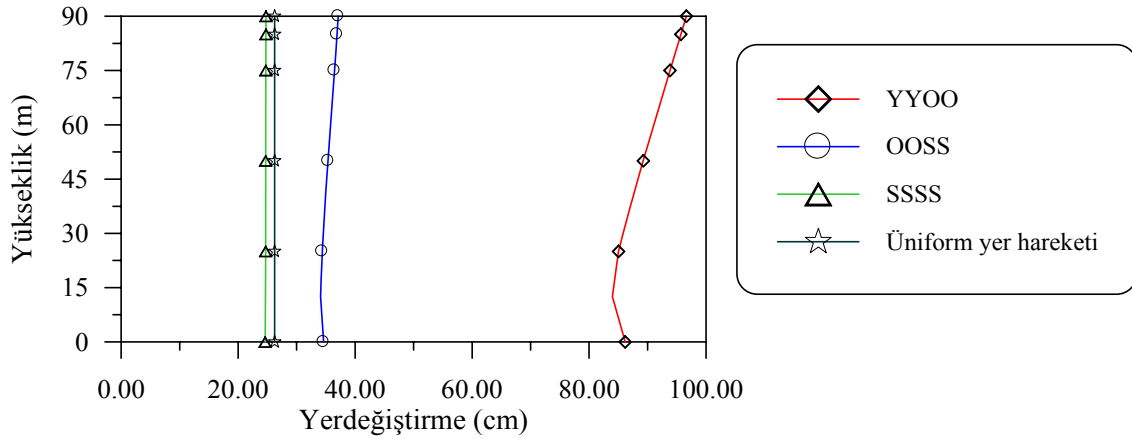
şekil 119-121'de genel durumda, farklı zemin türleri için barajın memba yüzü boyunca elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirmeler verilmektedir. Barajın kret noktasında YYOO zemin türü için elde edilen zahiri-statik ve toplam yerdeğiştirmeler en büyük olurken, OOSS zemin durumunda elde edilenler YYOO zemin durumundakinden daha küçük, SSSS homojen zemin ortamında elde edilenler ise en küçük olmaktadır. Dinamik yerdeğiştirmeler de ise bu durumun tam tersi olarak en büyük yerdeğiştirme üniform yer hareketi için, sonrasında sırasıyla SSSS homojen zemin türü, OOSS zemin türü ve YYOO zemin türü izlemektedir.

şekil 122-130'da yatay, düşey ve kayma gerilmelerinin zemin türüne bağlı olarak oluşan değişimlerin grafikleri verilmektedir. Zahiri-statik ve toplam bileşenlerde YYOO zemin türü için en büyük değerler elde edilmiştir. En büyük değerler yatay gerilme ve kayma gerilme için barajın tabanında, düşey gerilme için 25m de oluşmuştur. YYOO sonuçlarını OOSS zemin türü, SSSS homojen zemin türü ve üniform yer hareketi izlemektedir. Dinamik bileşenlerde ise üniform yer hareketi durumunda en büyük değerler elde edilirken, homojen SSSS zemin türü ikinci sırada, OOSS ve YYOO zemin türleri üçüncü ve dördüncü sıralarda yer almaktadır.

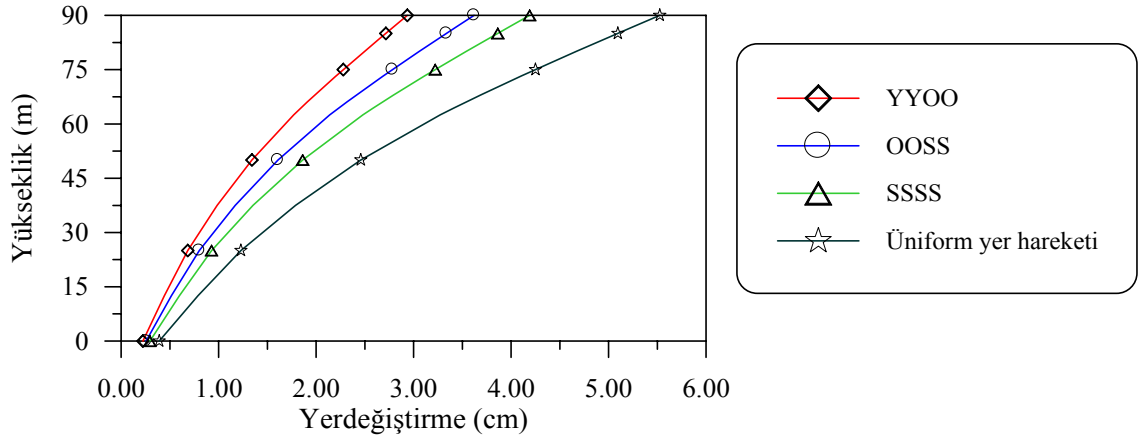
şekil 131-133'te ise barajın memba yüzeyi boyunca oluşan hidrodinamik basınçların değişimi verilmektedir. Üniform yer hareketi durumunda zahiri-statik bileşen için hidrodinamik basınçların etkisi diğer gerilme değerlerinde olduğu gibi sıfır olmakta, en büyük basınç değerleri homojen olmayan zemin şartlarında oluşmaktadır. Burada YYOO en büyük değeri alırken, OOSS zemin türü, YYOO zemin türünden sonra yer almaktadır. En küçük değerler ise homojen zemin durumu olan SSSS zemin türünde oluşmaktadır. Dinamik ve toplam değerler incelendiğinde homojen zemin şartlarında yapılan üniform yer hareketi için en büyük değerler oluşmaktadır. Bunları yine homojen zemin türü olan SSSS zemin türü ve ardından OOSS zemin türü ile YYOO zemin türü izlemektedir.

Şekil 134-142’de barajın II-II kesiti boyunca elde edilen yatay, düşey ve kayma gerilmelerinin grafikleri verilmektedir. Genel olarak zahiri-statik bileşen ve toplam davranış değerlendirildiğinde YYOO zemin türünde en büyük gerilmeler oluşurken, OOSS zemin türünde YYOO zemin türünden daha küçük gerilmeler oluşmaktadır. YYOO zemin türünde elde edilen değerleri homojen zemin durumu olan SSSS zemin türü ve en küçük değerleri alan üniform yer hareketi izlemektedir. Dinamik davranış için üniform yer hareketi durumunda en büyük değerler oluşmaktadır. Üniform yer hareketi için elde edilen bu değerleri homojen zemin olan sert zemin (SSSS) türü ardından OOSS zemin türü değerleri izlemektedir. En küçük değerler YYOO zemin türü için elde edilmektedir.

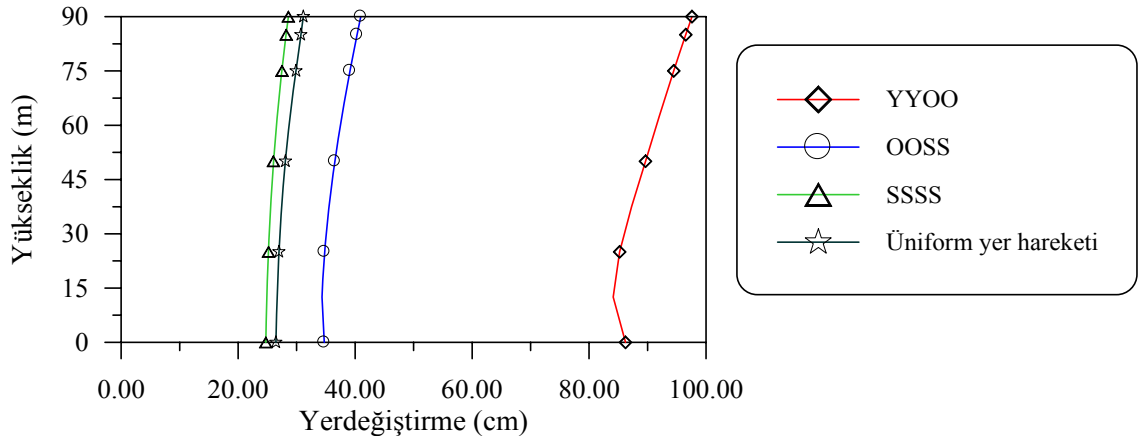
Zahiri-statik ve toplam yatay gerilmelerin maksimum değerlerinin B noktasında dinamik bileşen için barajın mansap yüzü olan C noktasında meydana geldiği Şekil 134-136’dan görülmektedir. Düşey gerilmeler için maksimum değerlerin zahiri-statik ve toplam bileşen için C noktasında, dinamik bileşen için A noktasında, minimum değerlerin ise bütün bileşenler için B noktasında meydana geldiği görülmektedir. Kayma gerilmeleri için ise barajın mansap yüzü olan C noktasında en büyük değerlerin olduğu görülmektedir.



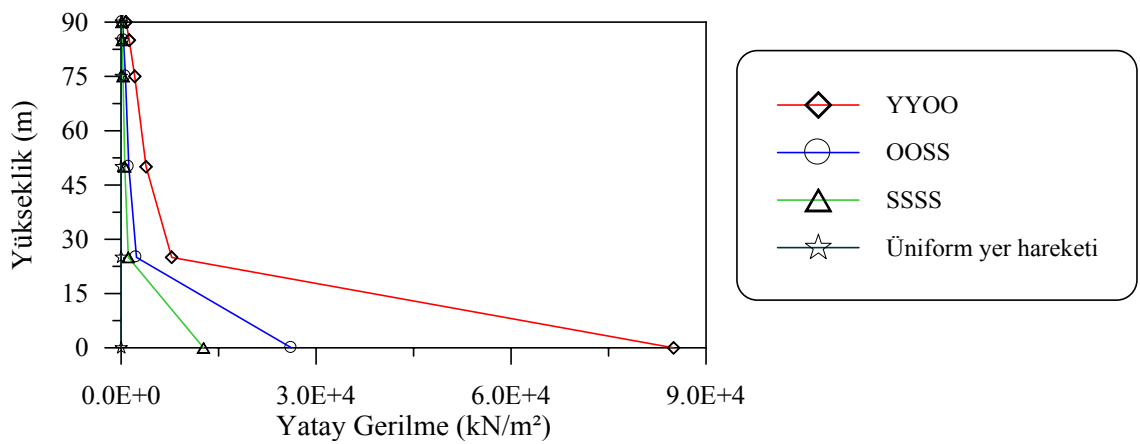
Şekil 119. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeler



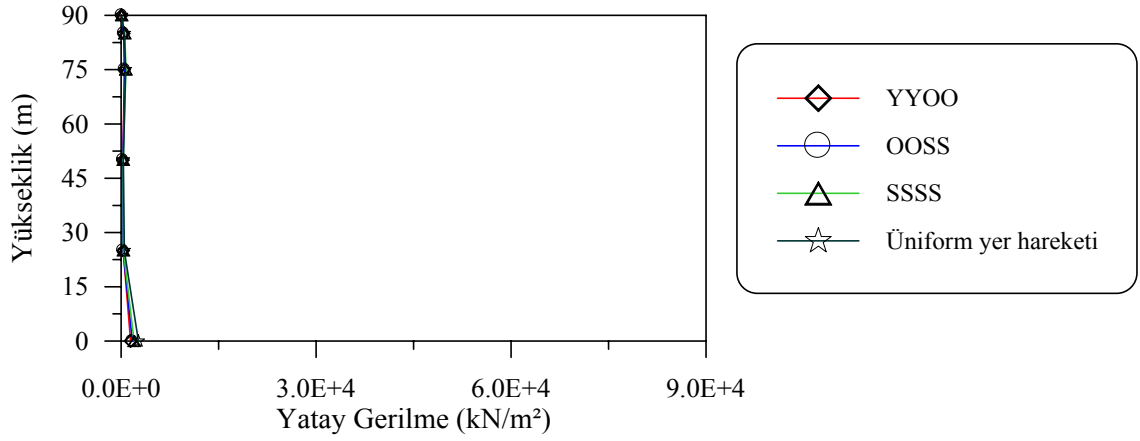
Şekil 120. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay yerdeğiştirmeler



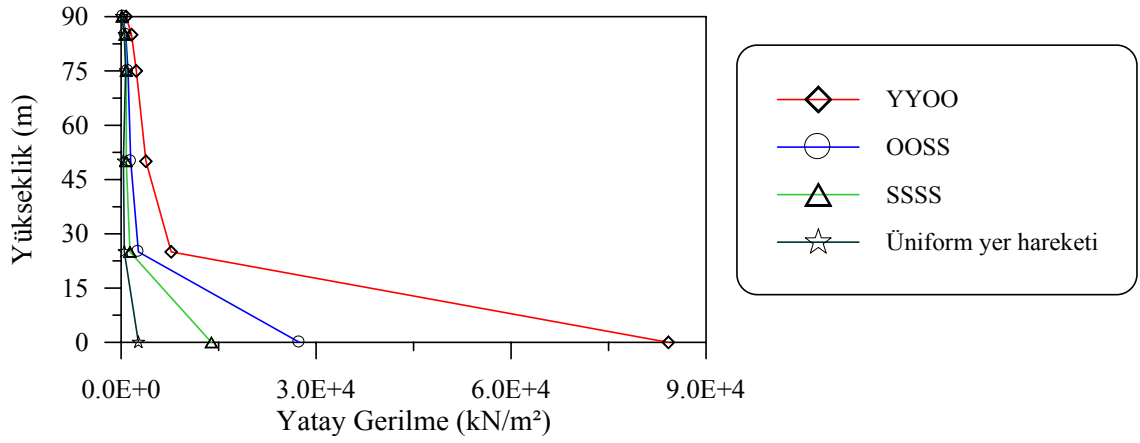
Şekil 121. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay yerdeğiştirmeler



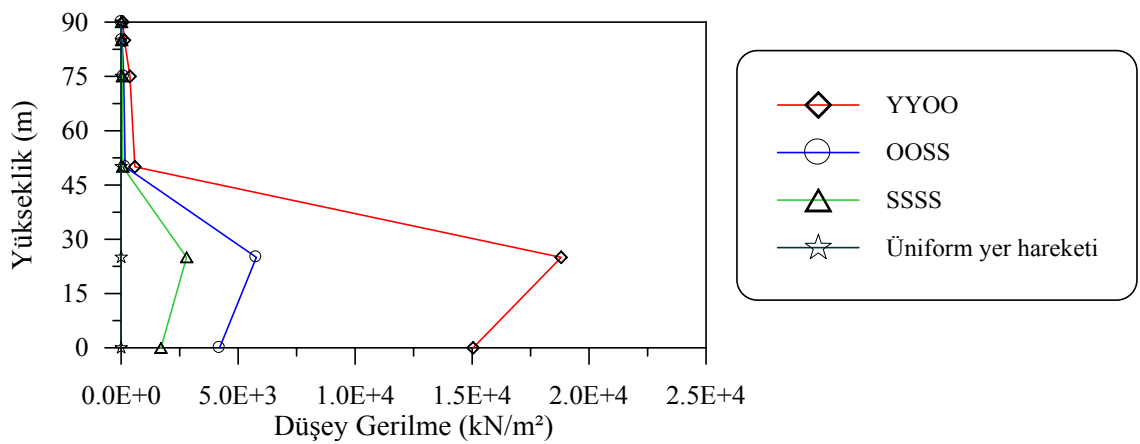
Şekil 122. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



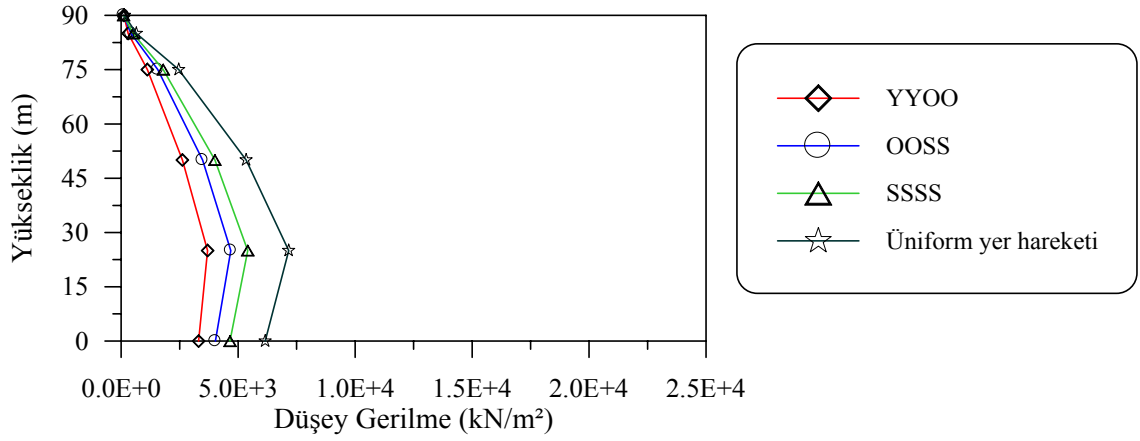
Şekil 123. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



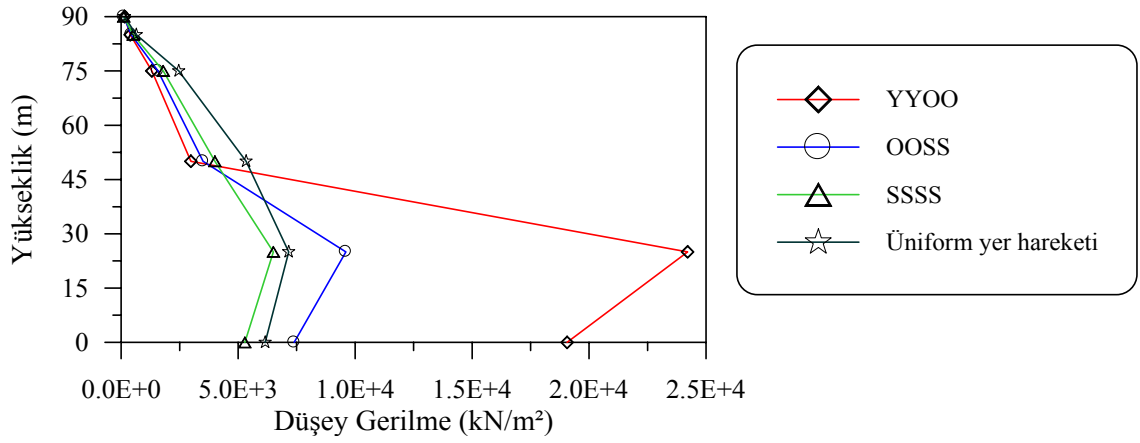
Şekil 124. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



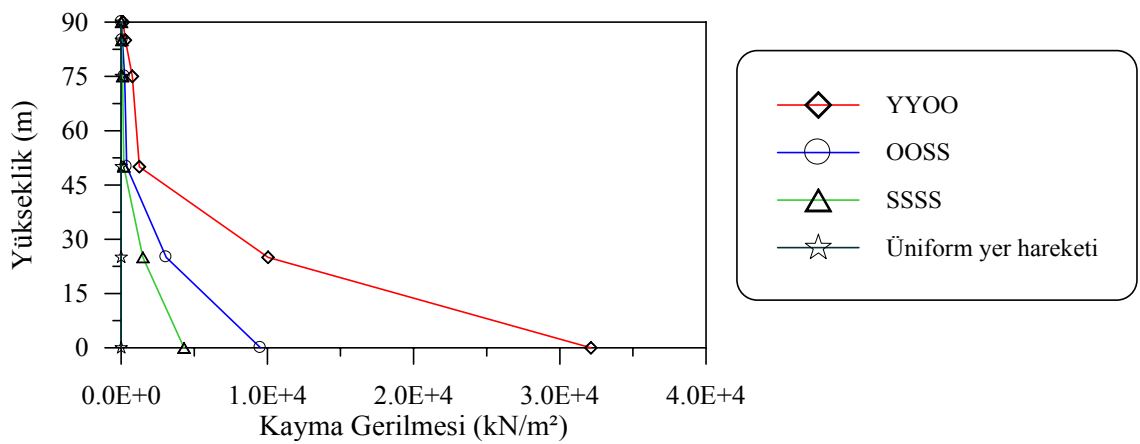
Şekil 125. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



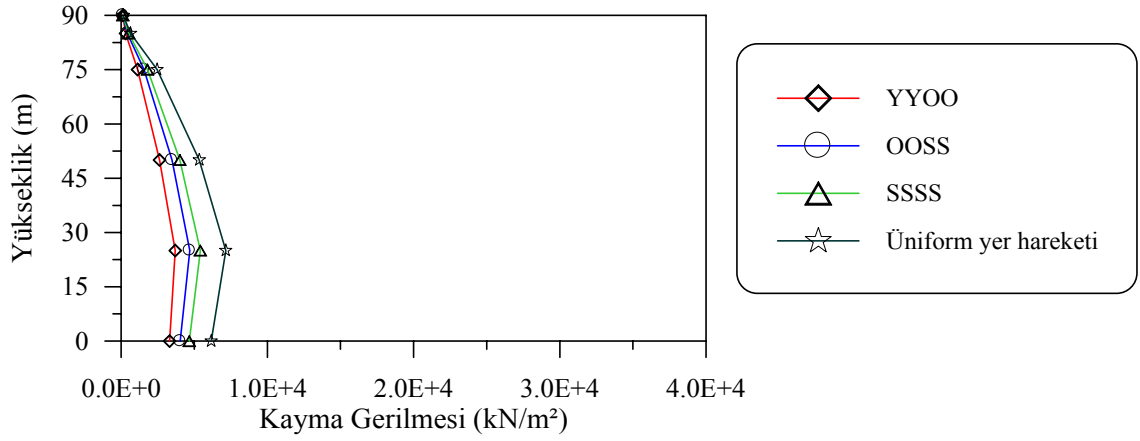
Şekil 126. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



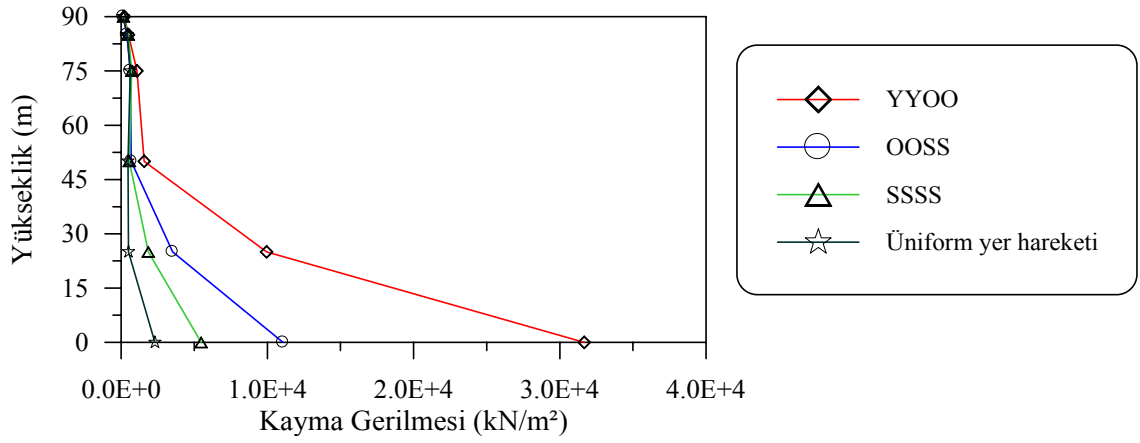
Şekil 127. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



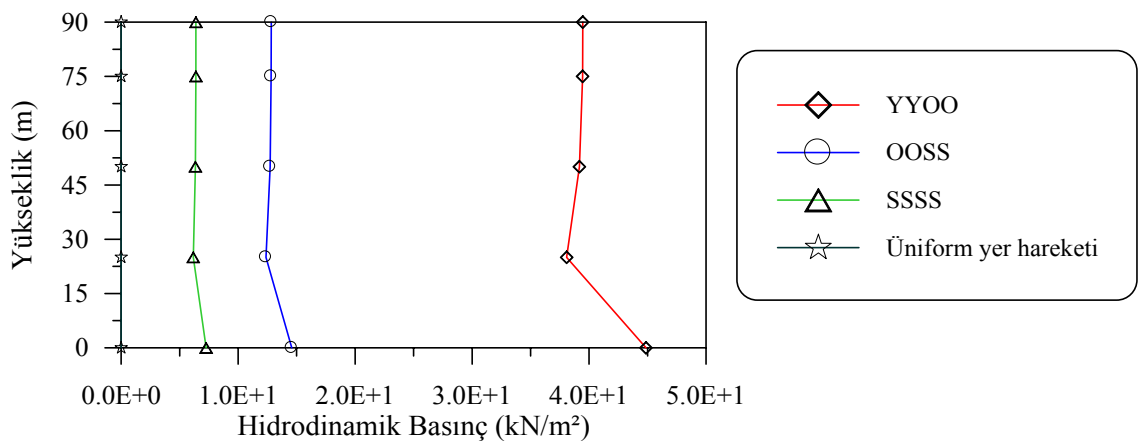
Şekil 128. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



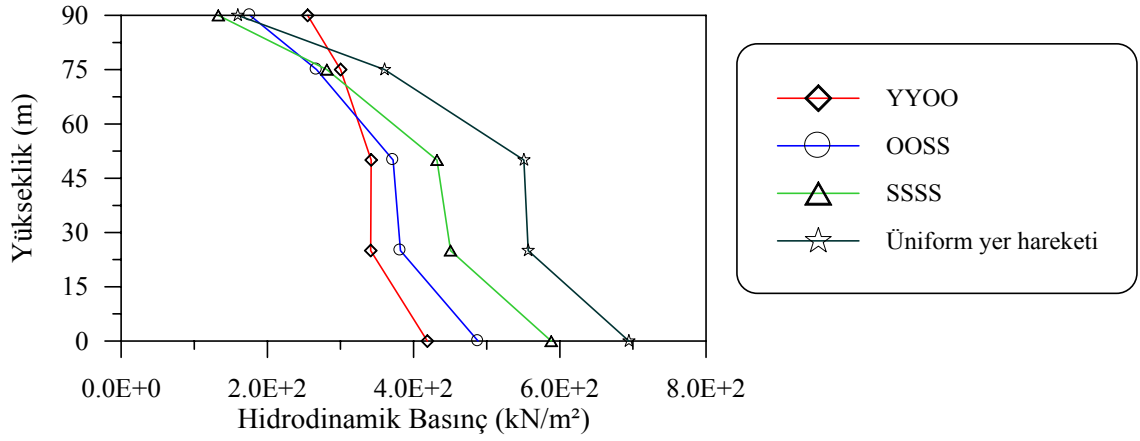
Şekil 129. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



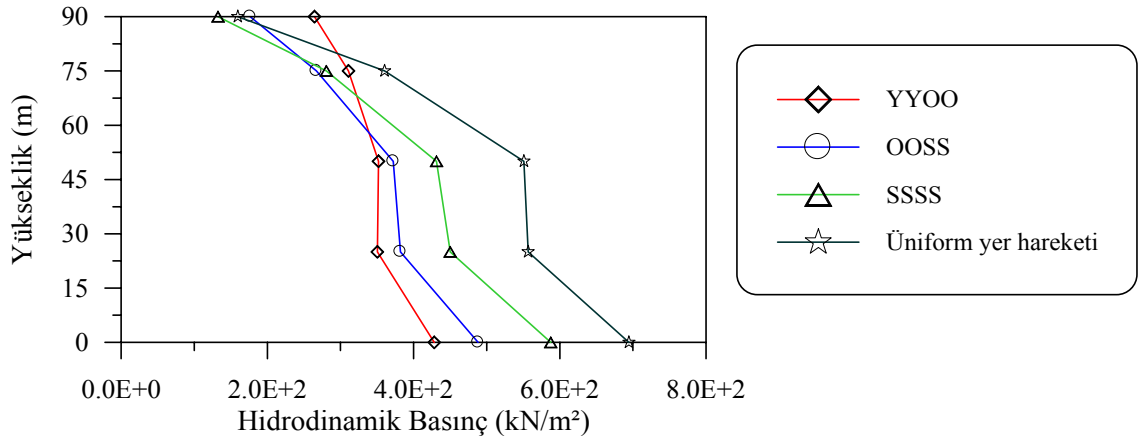
Şekil 130. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



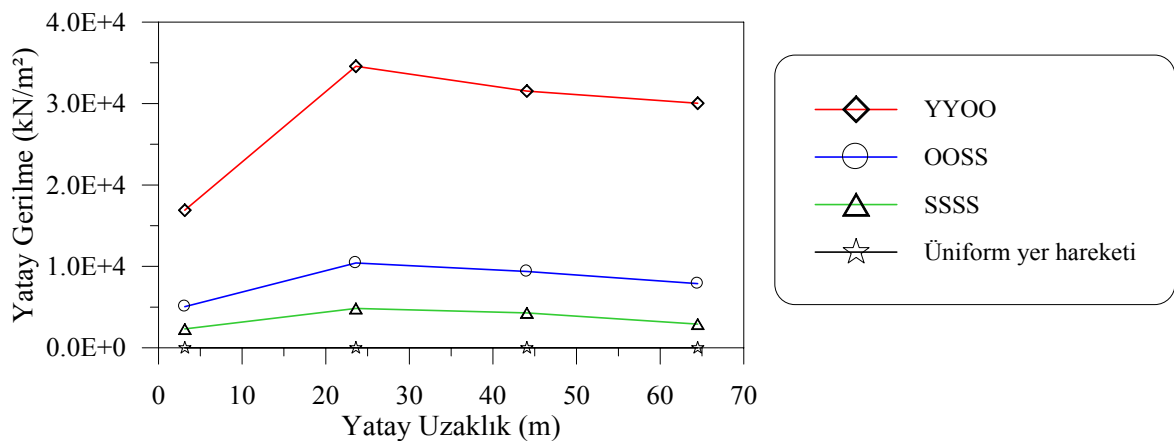
Şekil 131. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar



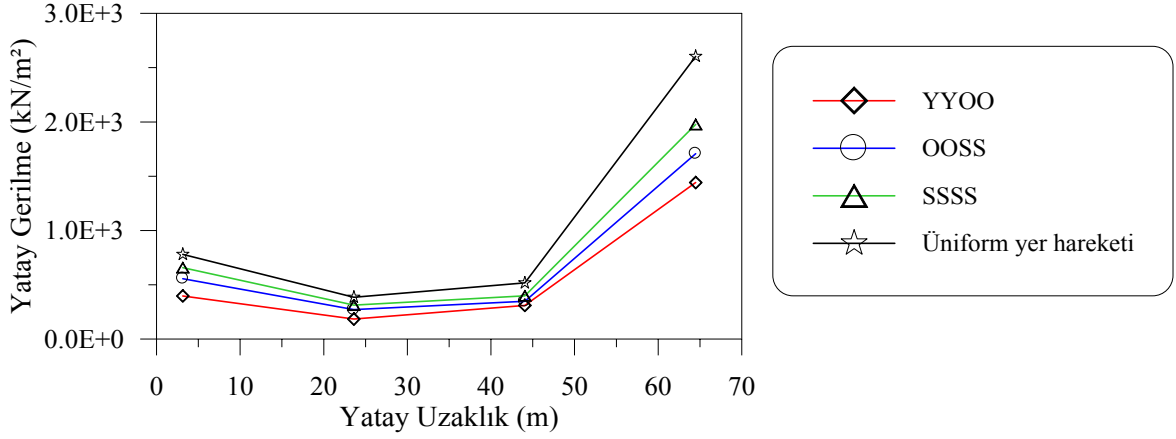
Şekil 132. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar



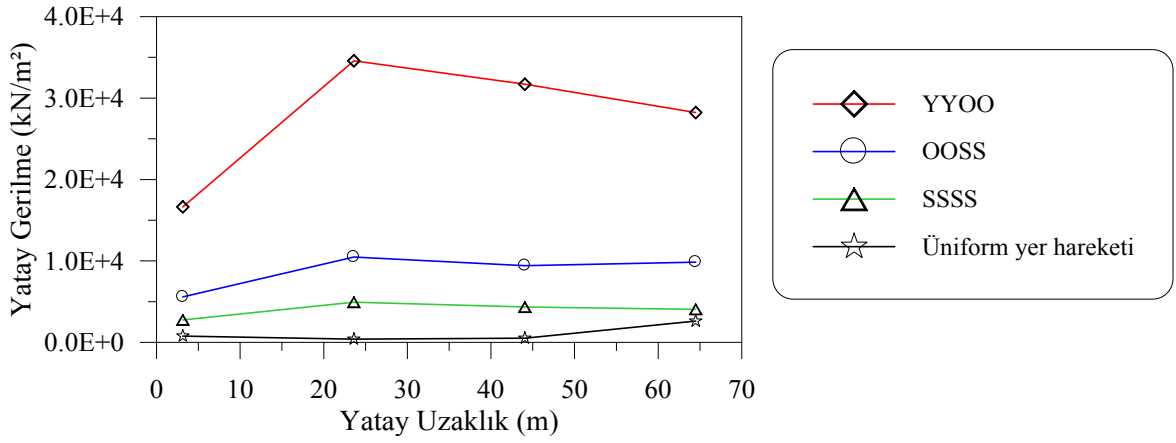
Şekil 133. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar



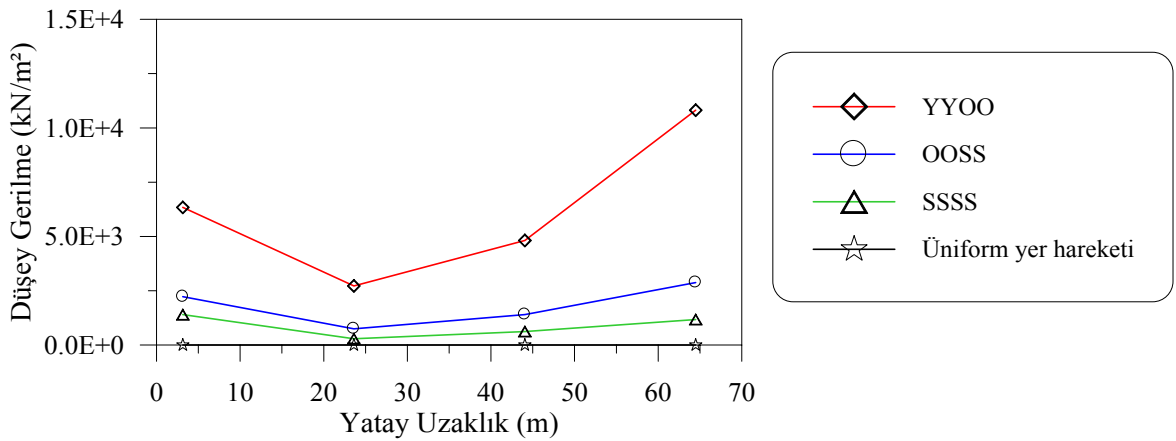
Şekil 134. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



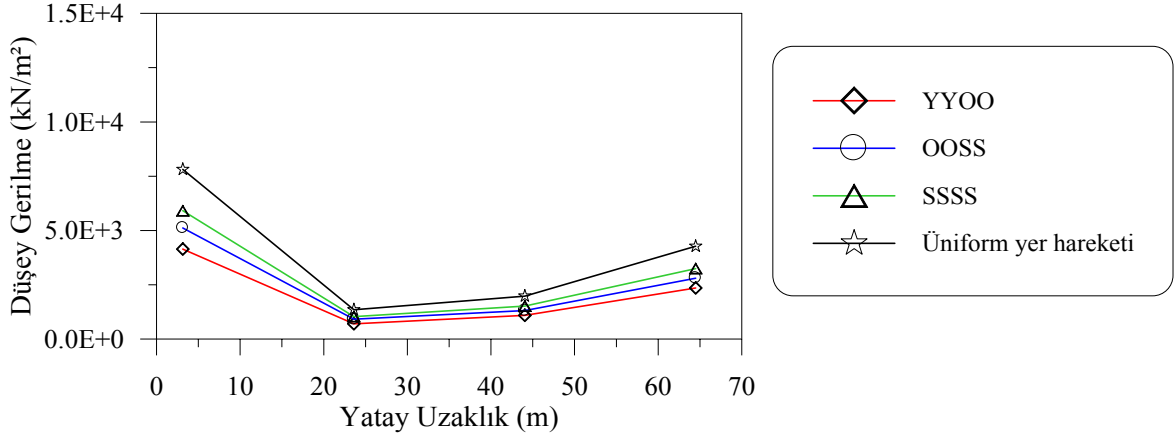
Şekil 135. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



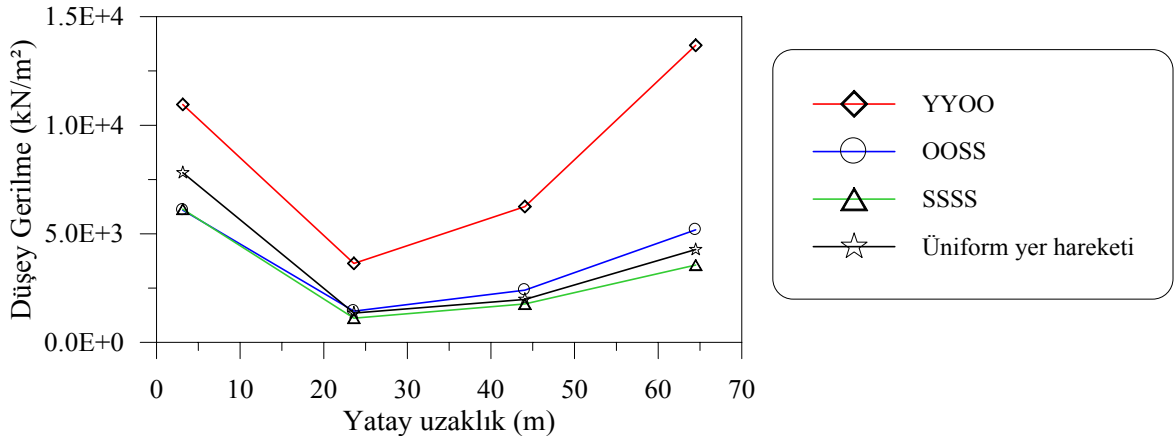
Şekil 136. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



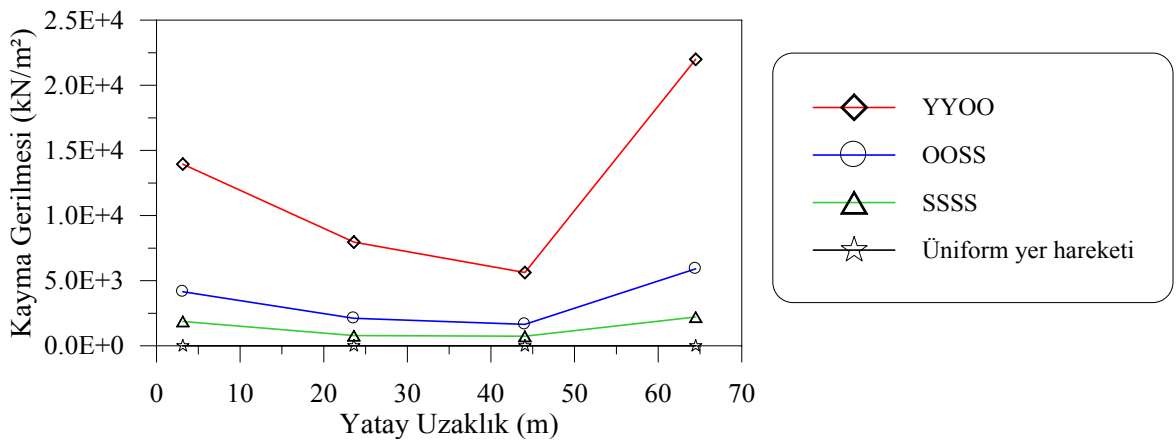
Şekil 137. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



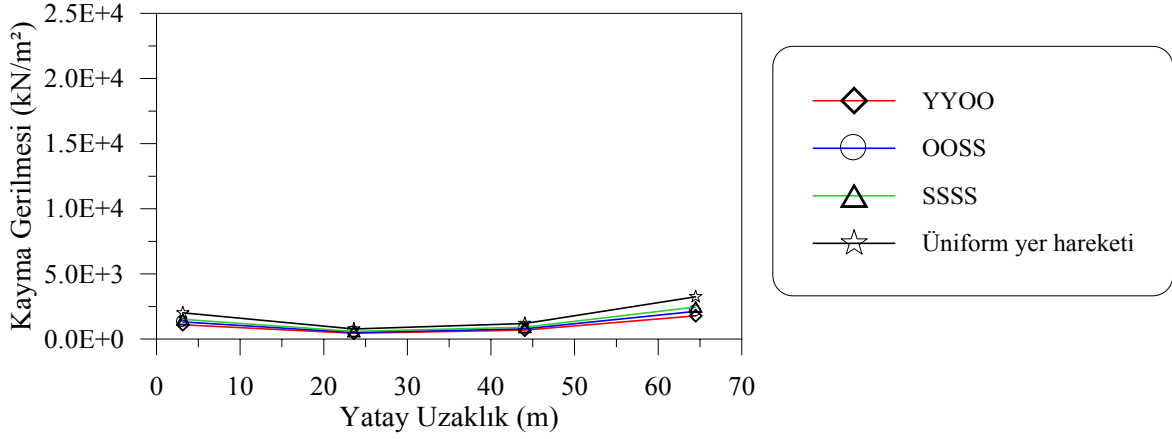
Şekil 138. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



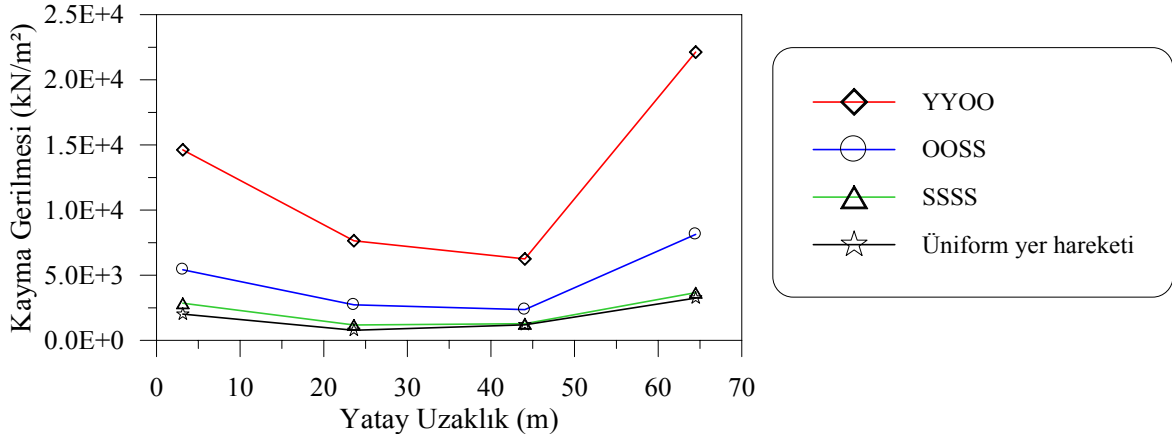
Şekil 139. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



Şekil 140. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



Şekil 141. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



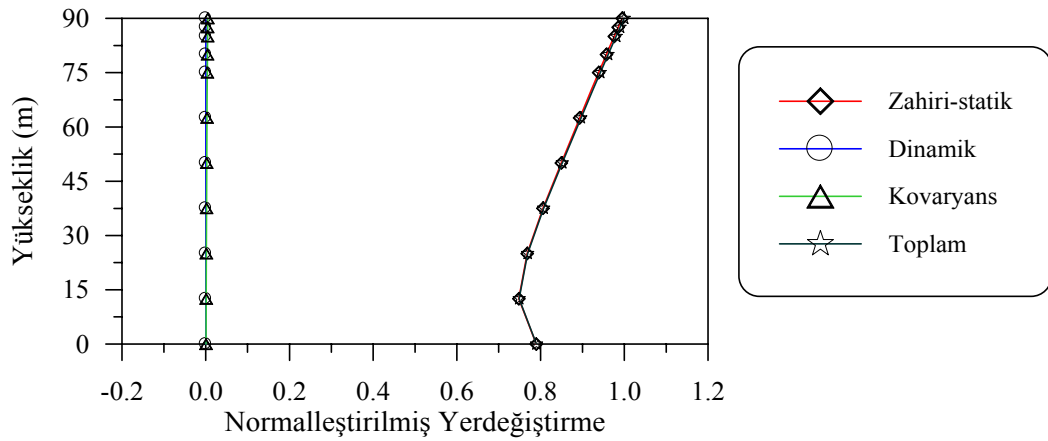
Şekil 142. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri

3.2.1.2. Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Birlikte Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

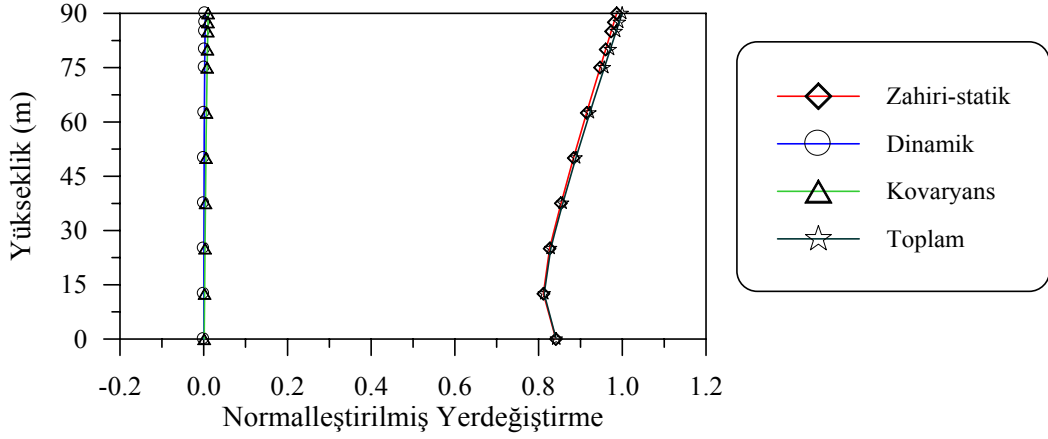
Şekil 143 ve 144'de genel durumda ($v_{app}=2000\text{m/s}$ dalga yayılma hızı ve Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli) YYOO ve OOSS zemin durumları için barajın memba yüzeyinde I-I kesiti boyunca meydana gelen yatay yerdeğiştirmelerin normalleştirilmiş varyans değerleri verilmektedir. Her iki zemin durumu için yerdeğiştirmelere en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlarken, dinamik ve kovaryans bileşenlerin etkisi çok az olmaktadır. YYOO zemin türü için zahiri-statik bileşenin katkısı %99.49 olurken, OOSS için %98.35 olmaktadır. Dinamik bileşenin etkisi sıfıra yakınken, kovaryans etkisi sırasıyla %0.48 ve %1.11 değerlerini almaktadır.

Şekil 145-150'de barajın I-I kesiti boyunca oluşan yatay, düşey ve kayma gerilmesi değerlerinin varyans grafikleri yer almaktadır. Tüm gerilme değerlerinde zahiri-statik bileşen %100'e yakın bir etkiye sahiptir. Dinamik ve kovaryans bileşenlerin toplam davranışa katkısı oldukça küçüktür. Sadece OOSS zemin durumu için düşey gerilmeye (Şekil 148) zahiri-statik bileşenin katkısı %63.24, dinamik bileşenin katkısı %33.39 kovaryans bileşeninin katkısı %3.37'dir.

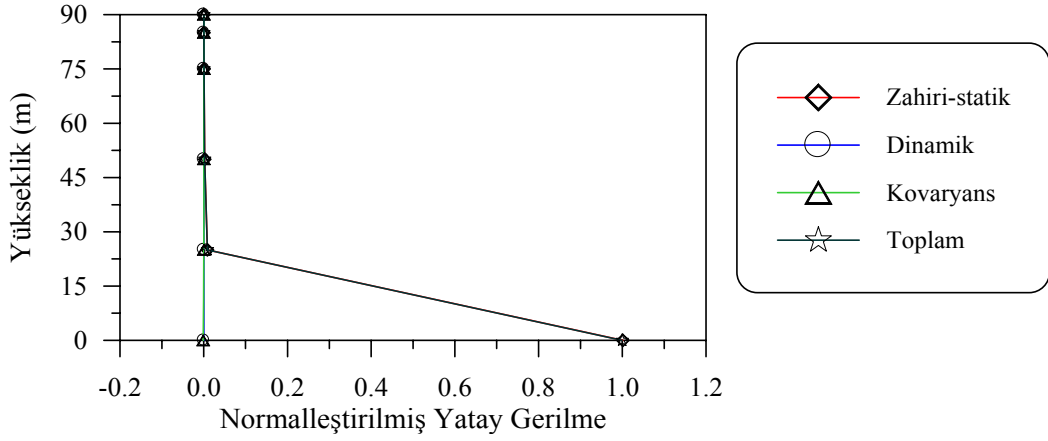
Şekil 151-152'de ise hidrodinamik basınçların varyans değerleri verilmektedir. YOOO zemin türü için zahiri-statik bileşenin katkısı %2.01, dinamik bileşenin katkısı %95.80 kovaryans bileşenin katkısı ise %2.19 olmaktadır. Aynı değerler OOSS zemin türü için sırasıyla %0.07, %99.76 ve %0.17 olmaktadır. Görüldüğü gibi zeminin sertliği arttıkça dinamik bileşenin toplam davranış üzerindeki hakimiyeti artmaktadır.



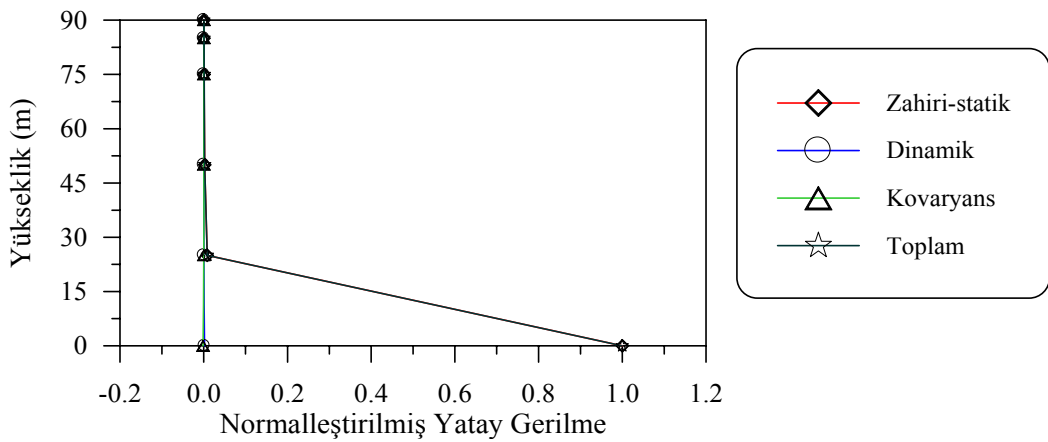
Şekil 143. YOOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



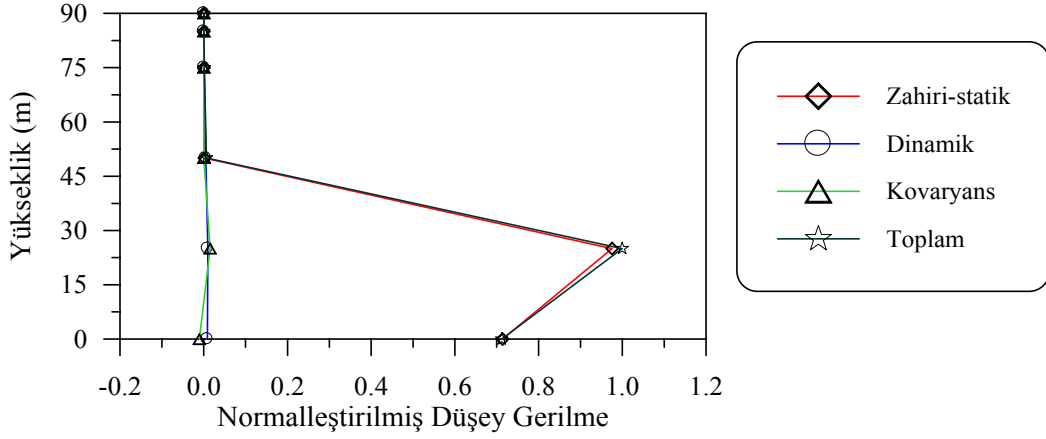
Şekil 144. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



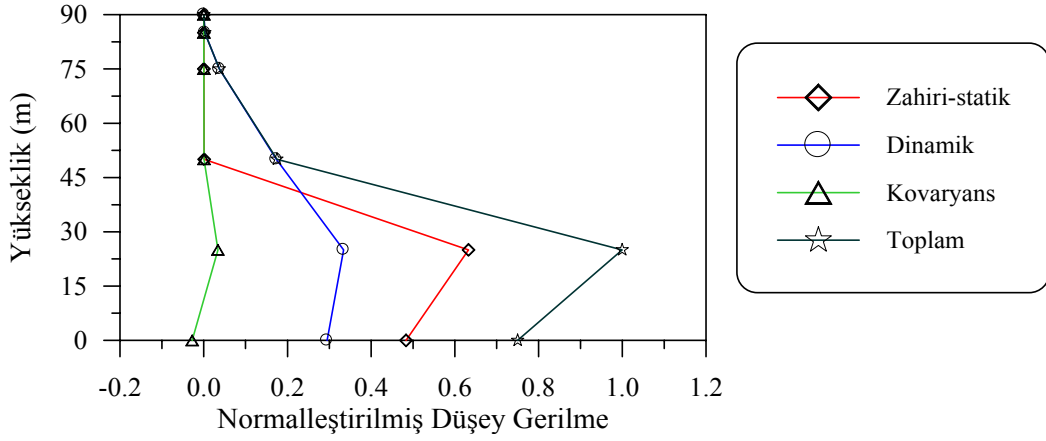
Şekil 145. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



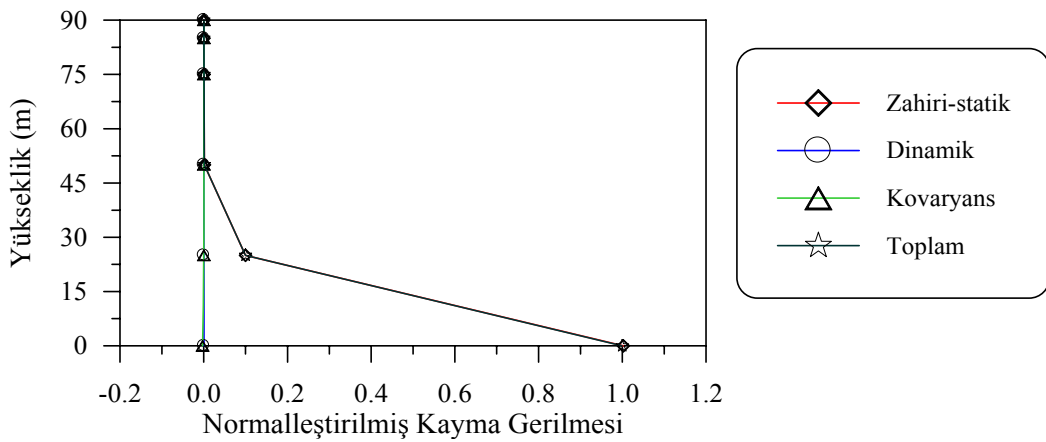
Şekil 146. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



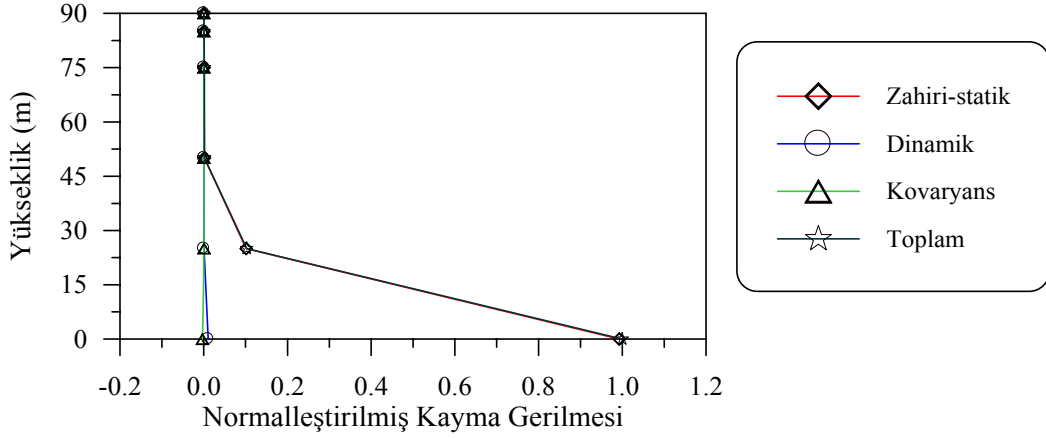
Şekil 147. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



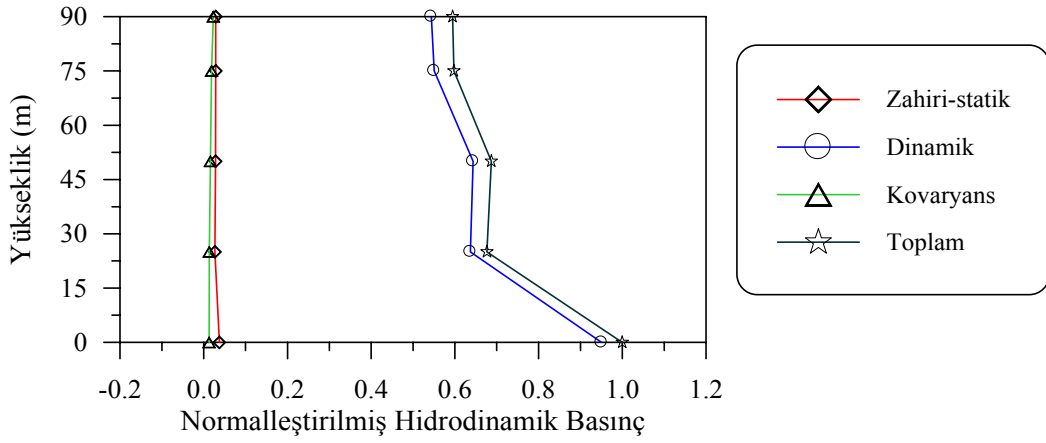
Şekil 148. OOSS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



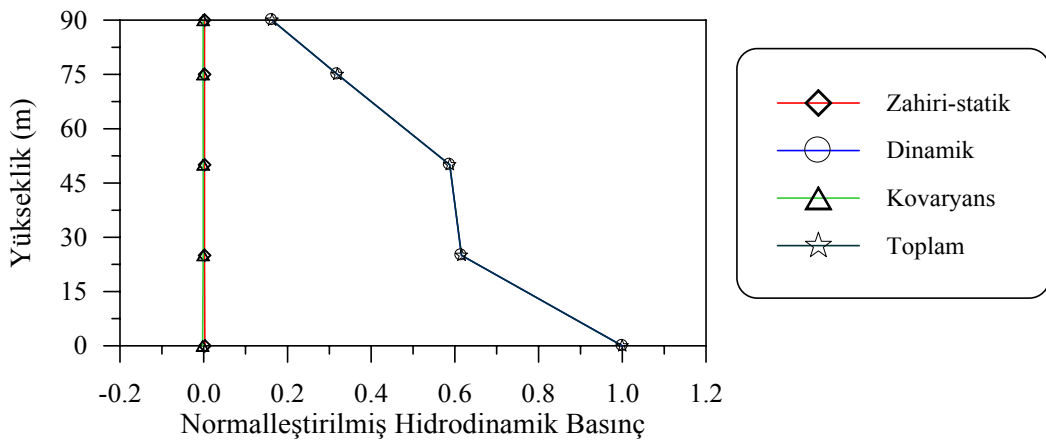
Şekil 149. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 150. OOS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 151. YYOO için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



Şekil 152. OOS için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)

3.2.1.3. Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Ayrı Ayrı Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Karşılaştırılması

Bu bölümde, (74) denklemi ile tutarsızlık fonksiyonu içerisinde dikkate alınan zemin etkilerinin baraj-rezervuar-zemin sisteminin değişerek yayılan yer hareketi etkisi altında stokastik dinamik analizine etkisi incelenmektedir. Bu sebeple aşağıda verilen 3 durum dikkate alınmıştır.

1. Durum: Burada tutarsızlık ve zemin etkileri dikkate alınmayarak, yalnızca dalga yayılma etkisi dikkate alınmaktadır. Bu analiz türünde sert zeminde dalga yayılma hızı $v_{app}=2000$ m/s olarak seçilmiştir. (74) denkleminde bu durum $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} = 1$ olarak açıklanmaktadır.

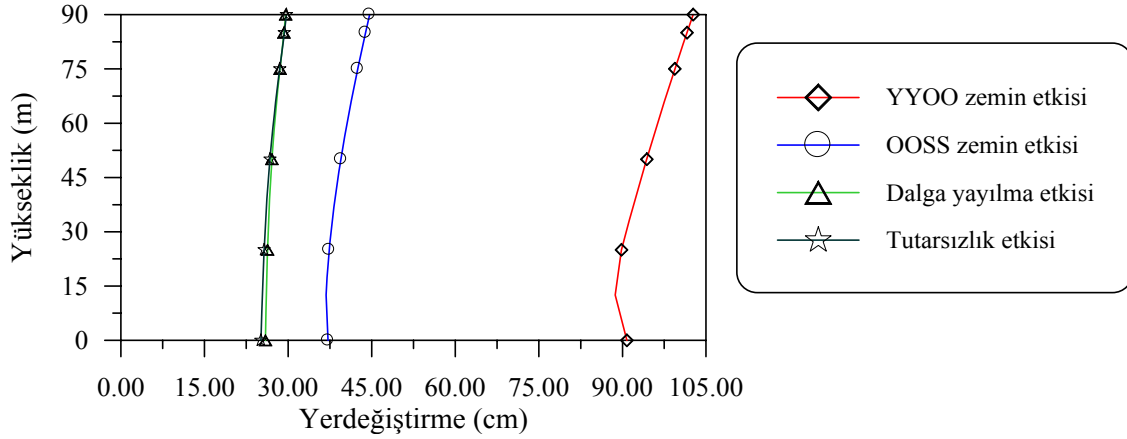
2.Durum: Bu analizde dalga yayılma ve zemin etkileri ihmal edilmekte yalnızca tutarsızlık etkisi dikkate alınmaktadır. Tutarsızlık modeli olarak Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli kullanılmıştır. (74) denkleminde bu durum $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} \neq 1$ olmaktadır.

3.Durum: Bu durumda tutarsızlık ve dalga yayılma etkileri ihmal edilmekte yalnızca zemin etkileri dikkate alınmaktadır. Barajın oturduğu zemin şartlarındaki değişimin barajın davranışı üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için zemin cinsi YYOO ve OOSS olarak dikkate alınmıştır. $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{dalga yayılma etkisi}} = 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{zemin etkisi}} \neq 1$, $\gamma_{lm}(\omega)^{\text{tutarsızlık etkisi}} = 1$ olmaktadır.

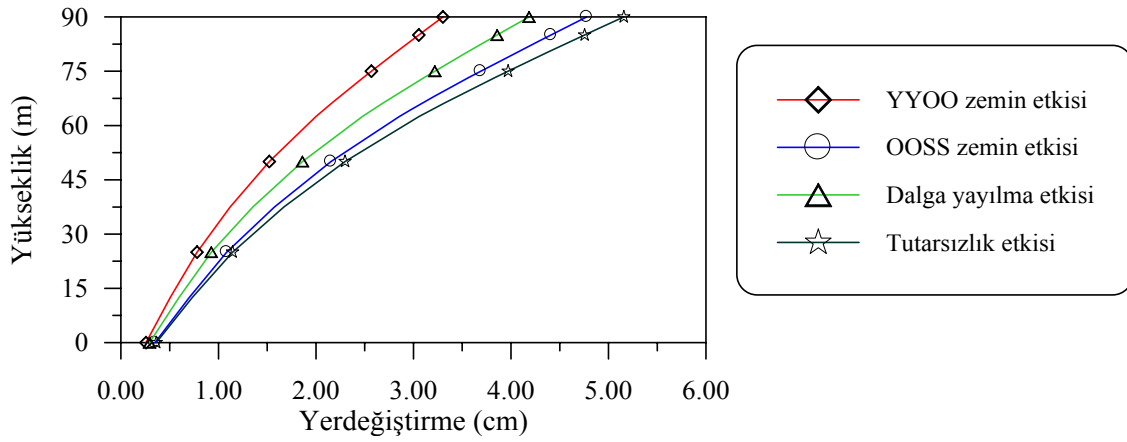
Şekil 153-176'da yukarıda bahsedilen özel durumlar için barajın I-I ve II-II kesitleri boyunca elde edilen zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirme, gerilme ile hidrodinamik basınç değerleri karşılaştırılmaktadır. Şekil 153-164'de verilen yatay yerdeğiştirme, yatay gerilme, düşey gerilme ve kayma gerilmelerine ilişkin grafikler incelendiğinde YYOO zemin etkisinin zahiri-statik ve toplam davranışta maksimum değerler aldığı, dinamik bileşende minimum değerde olduğu görülmektedir. Hidrodinamik basınçların gösterildiği Şekil 165-167'e göre de en büyük dinamik ve toplam değerlerin tutarsızlık etkisi durumunda oluşurken, en büyük zahiri-statik değerler YYOO zemin etkisi durumunda oluşmaktadır.

Şekil 168-176'da barajın II-II kesiti boyunca elde edilen zahiri-statik, dinamik ve toplam gerilmeler verilmektedir. Zahiri-statik bileşen ile toplam değerlerin maksimumu

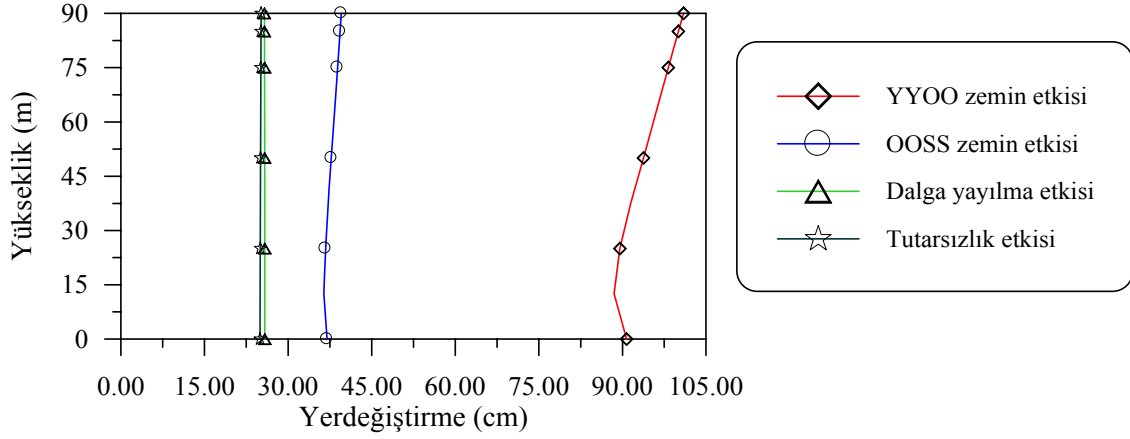
YYOO zemin türü için oluşurken, dinamik bileşenler için minimum değerler bu zemin türünde oluşmaktadır. Yalnızca tutarsızlık etkisi dikkate alındığında dinamik gerilmeler en büyük değerleri almaktadır.



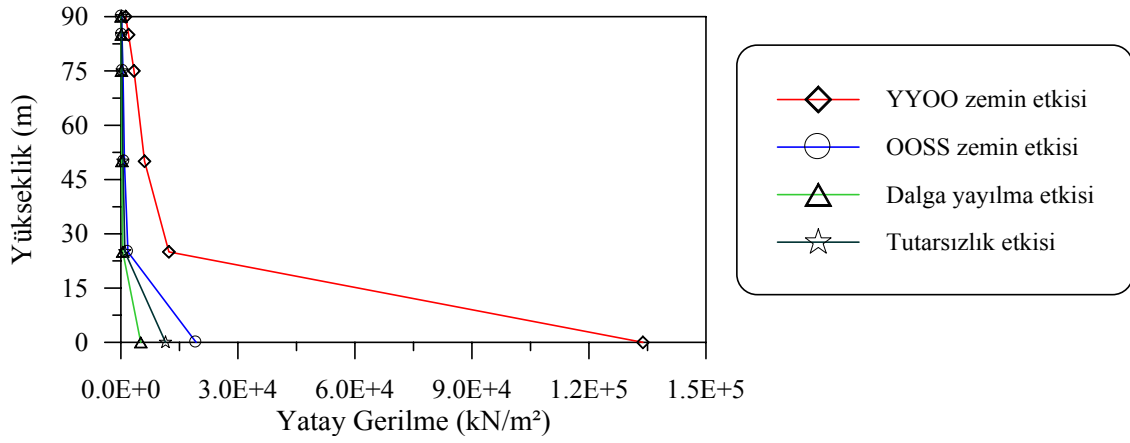
Şekil 153. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay yerdeğıştirmeler



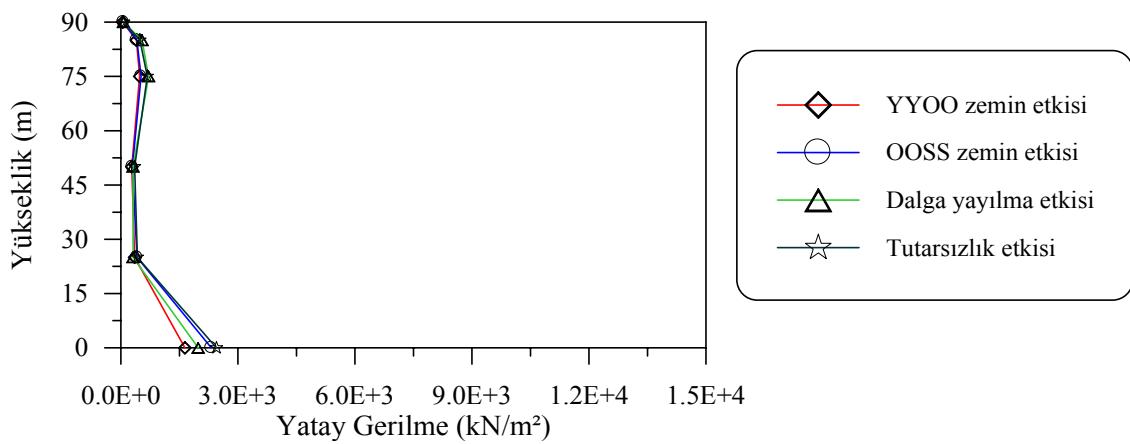
Şekil 154. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay yerdeğıştirmeler



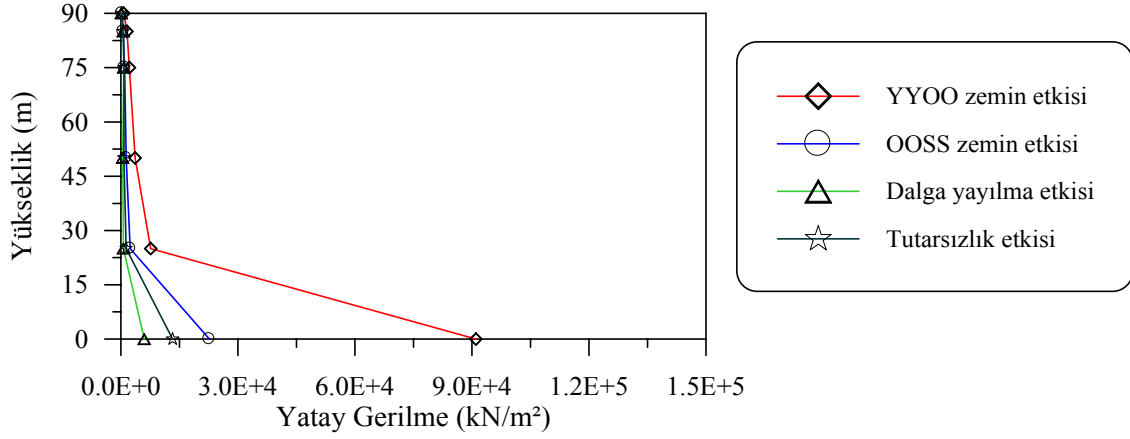
Şekil 155. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay yerdeğiştirmeler



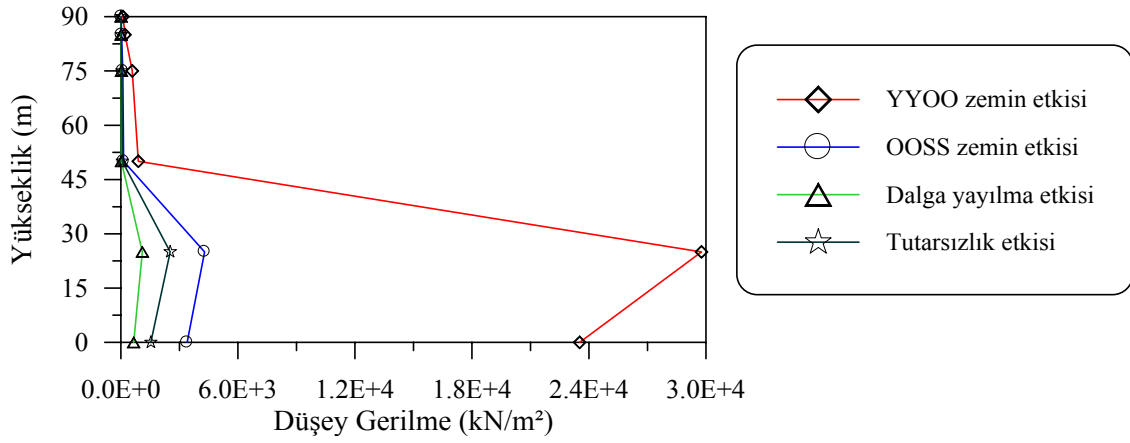
Şekil 156. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



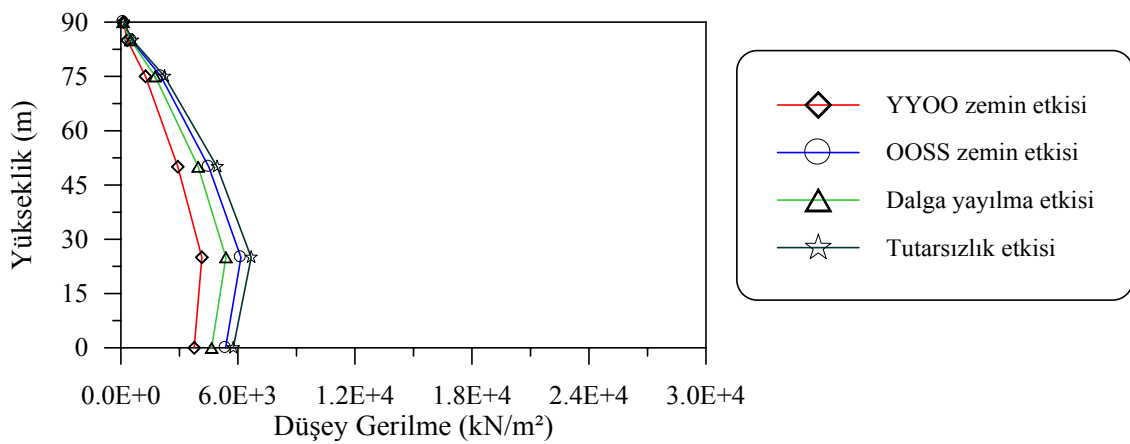
Şekil 157. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



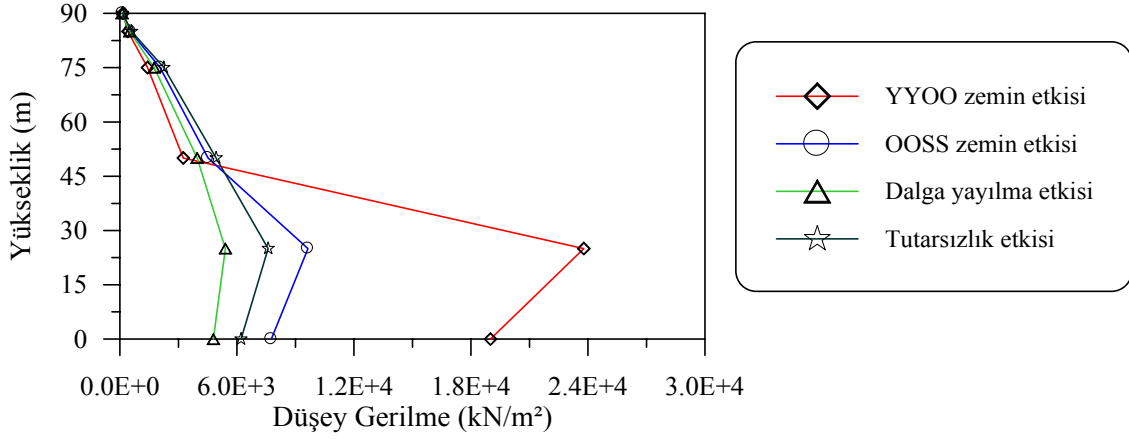
Şekil 158. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



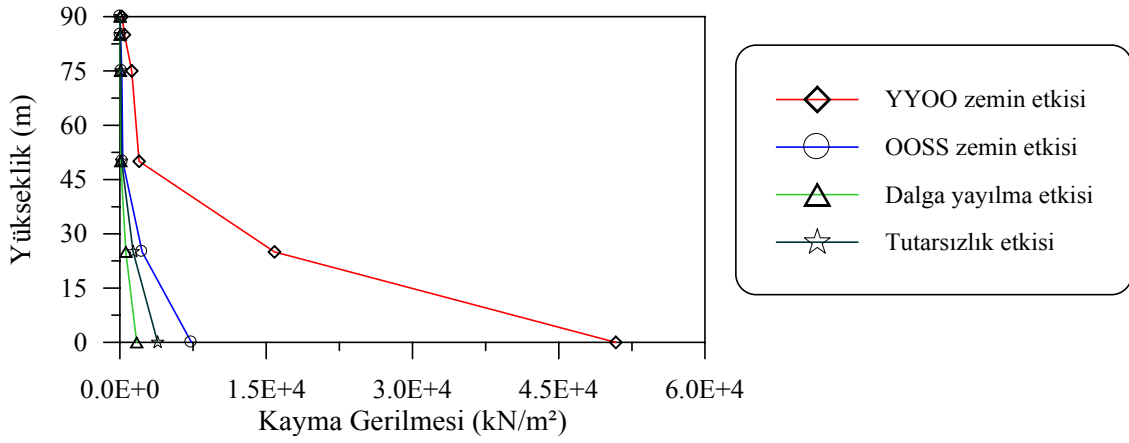
Şekil 159. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



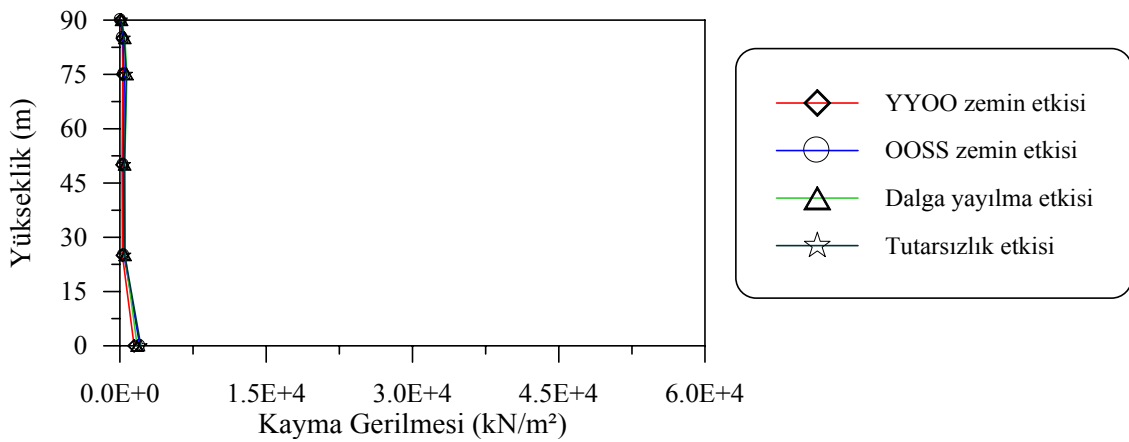
Şekil 160. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



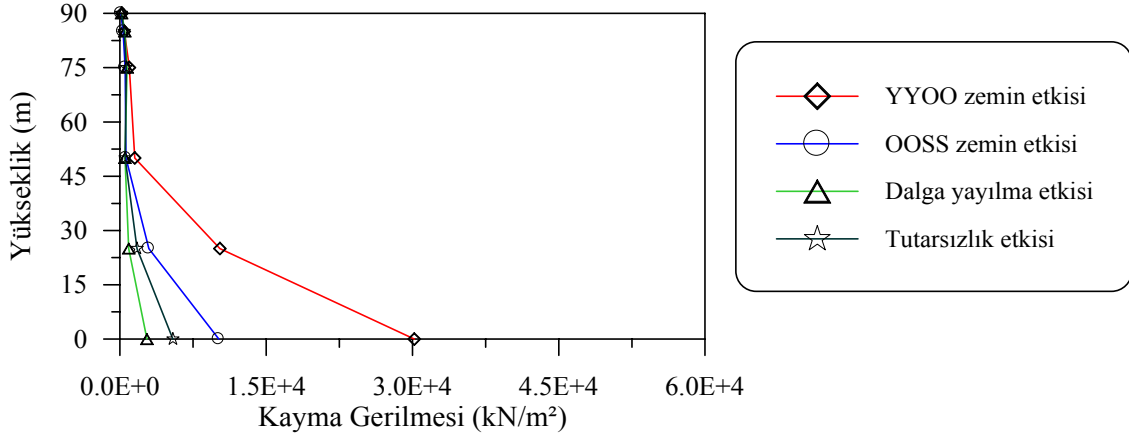
Şekil 161. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



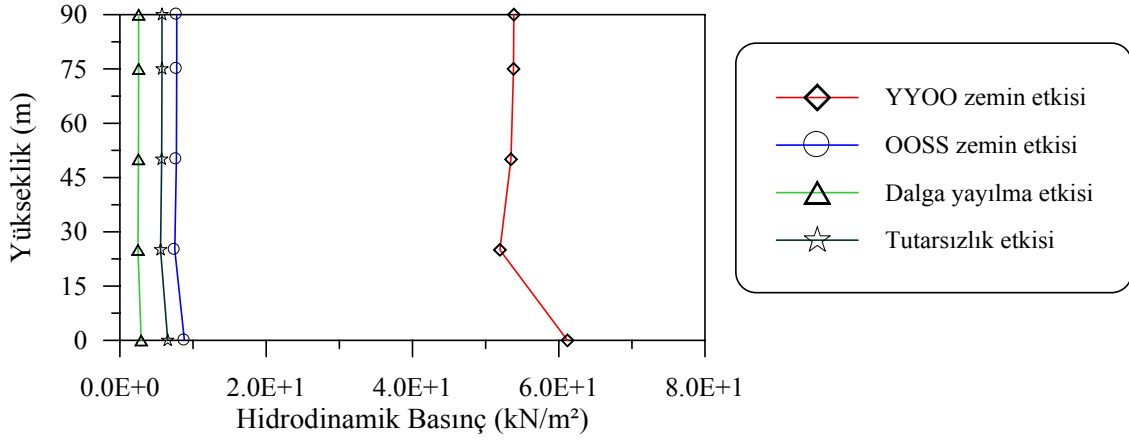
Şekil 162. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



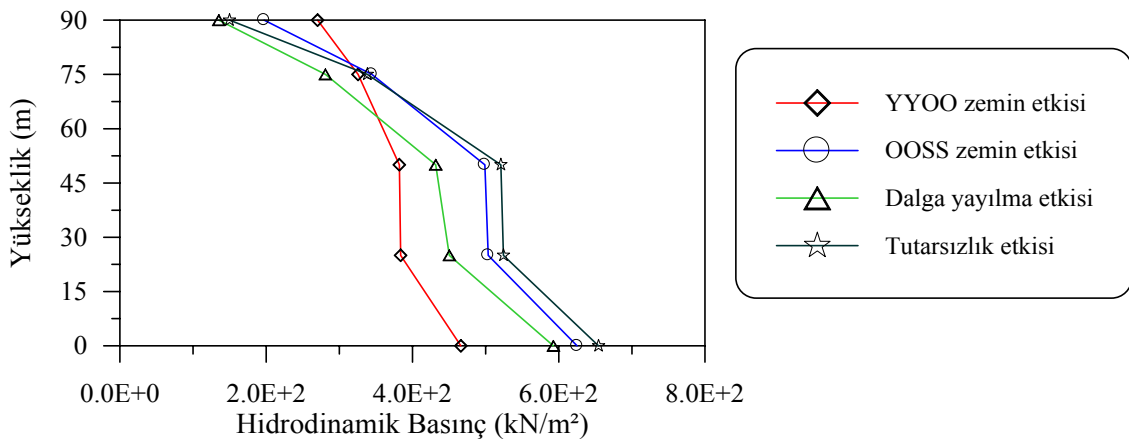
Şekil 163. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



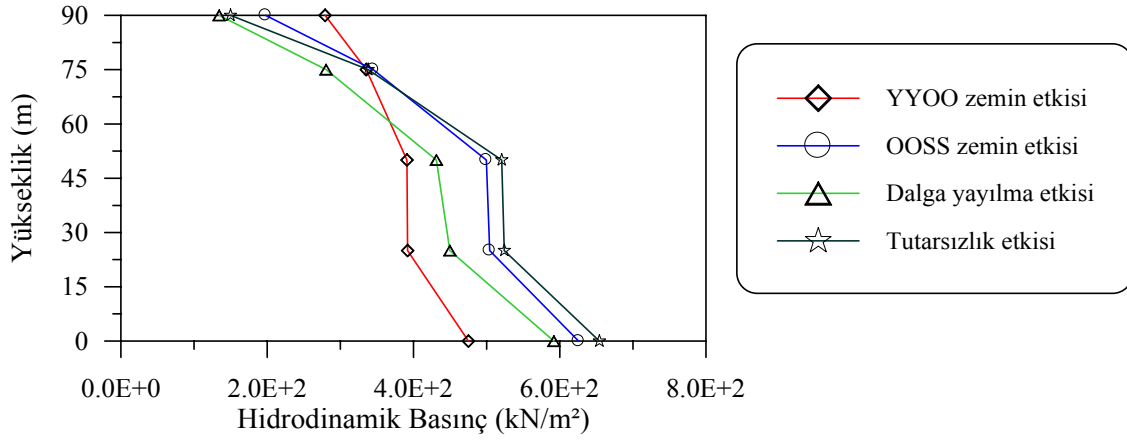
Şekil 164. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



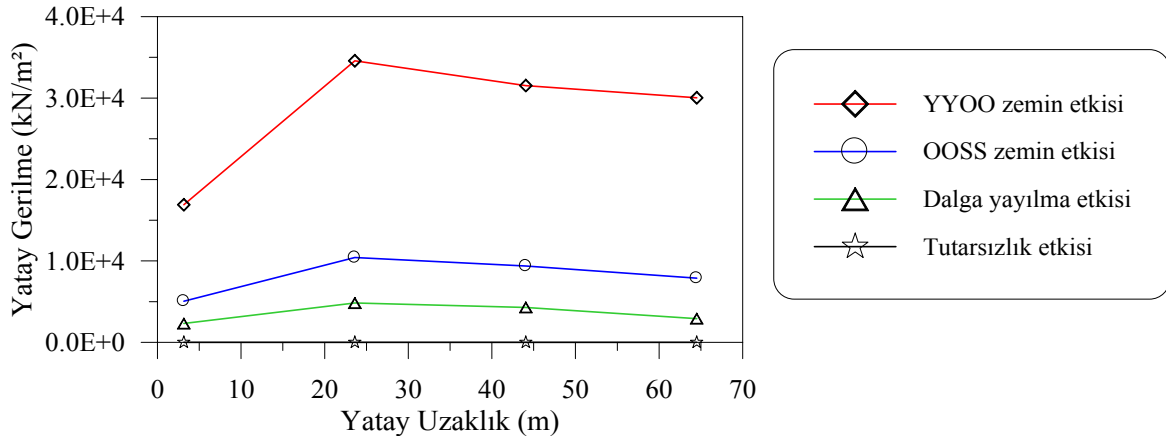
Şekil 165. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar



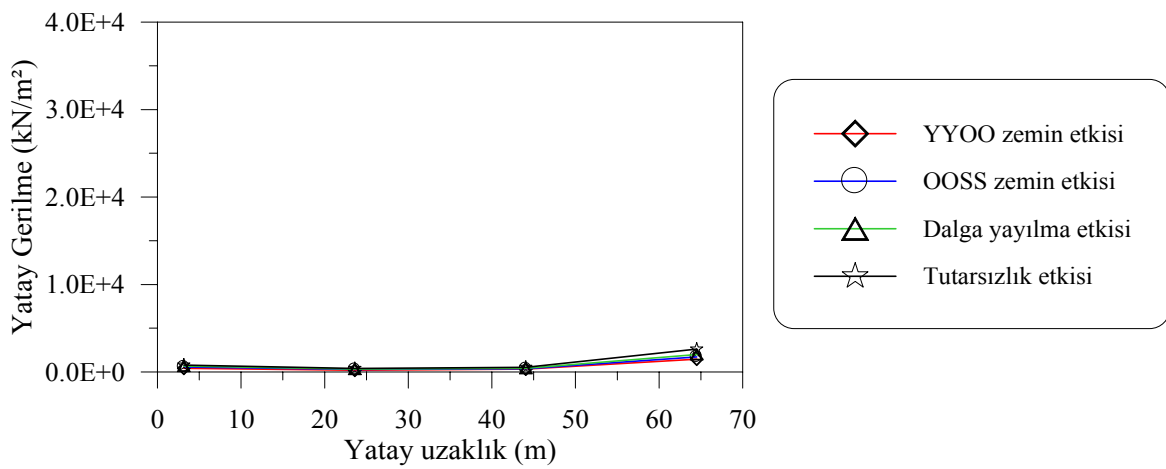
Şekil 166. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar



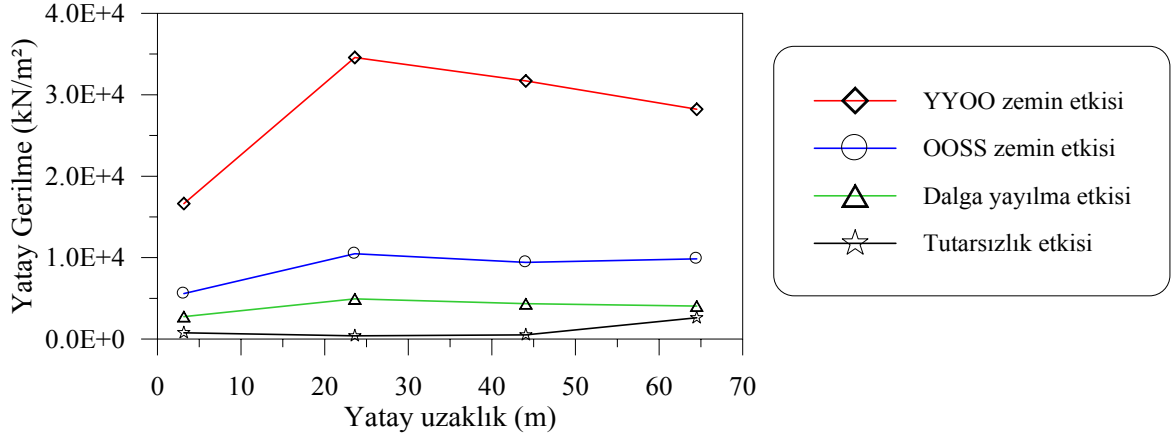
Şekil 167. Farklı zemin özellikleri için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar



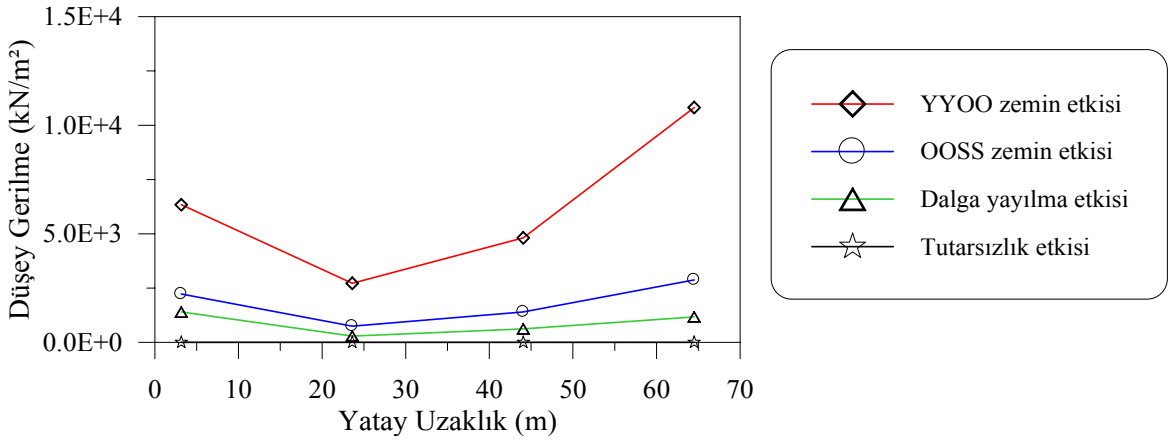
Şekil 168. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



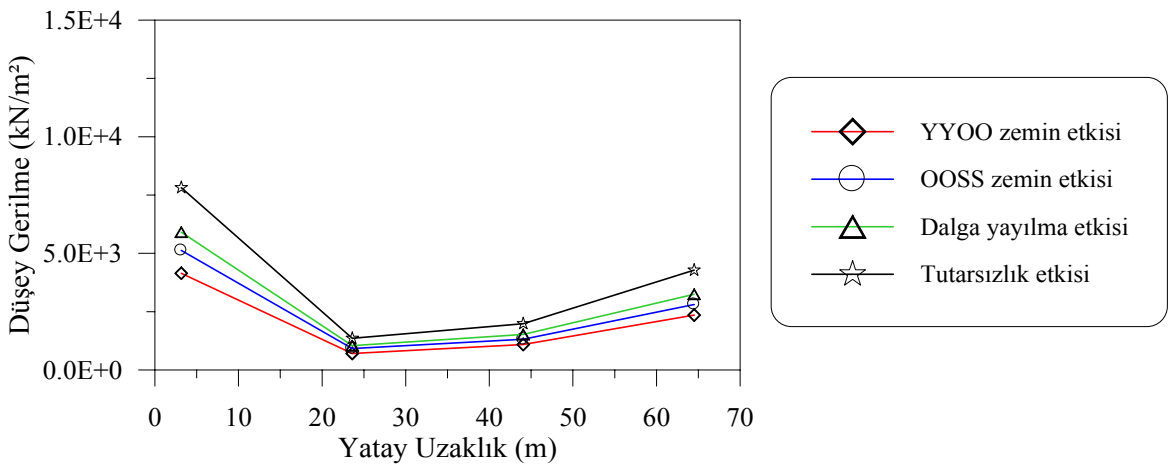
Şekil 169. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



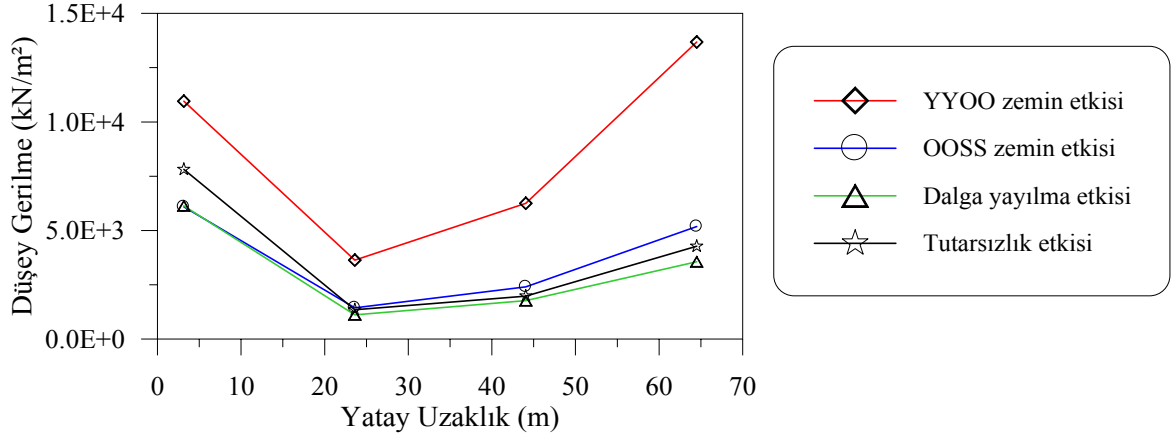
Şekil 170. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



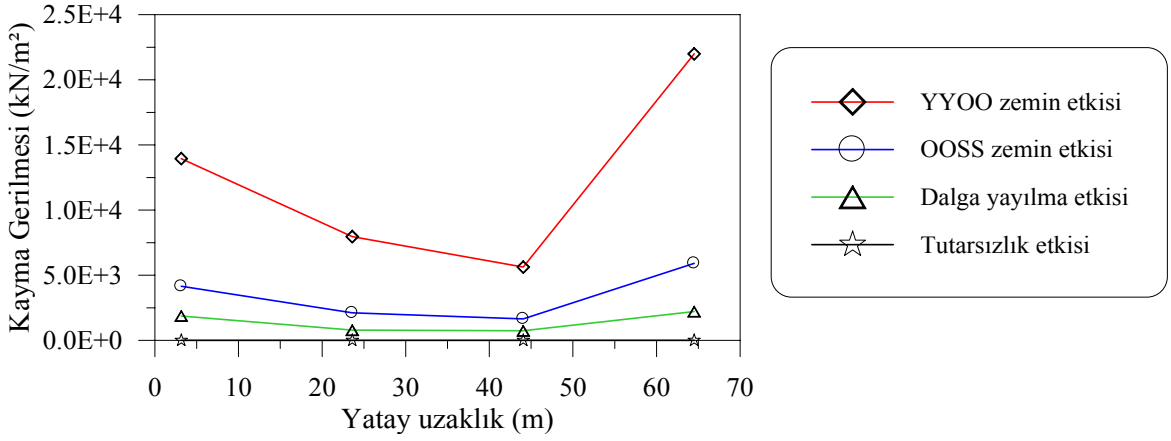
Şekil 171. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



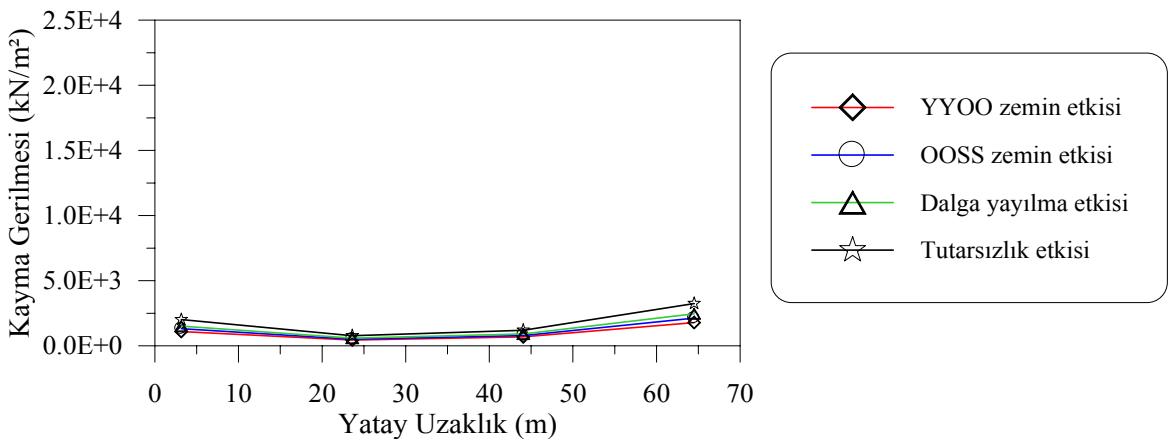
Şekil 172. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



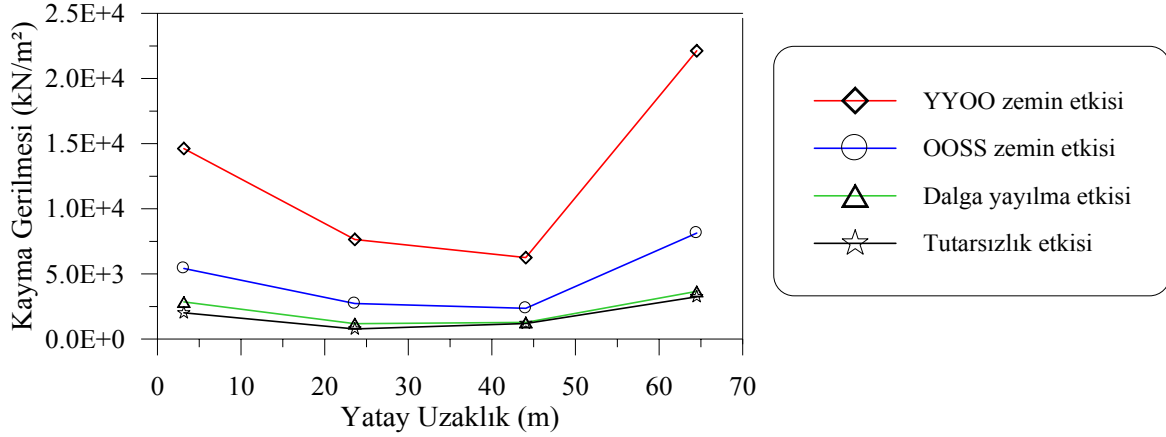
Şekil 173. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



Şekil 174. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



Şekil 175. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



Şekil 176. Farklı zemin özellikleri için barajın II-II kesiti boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri

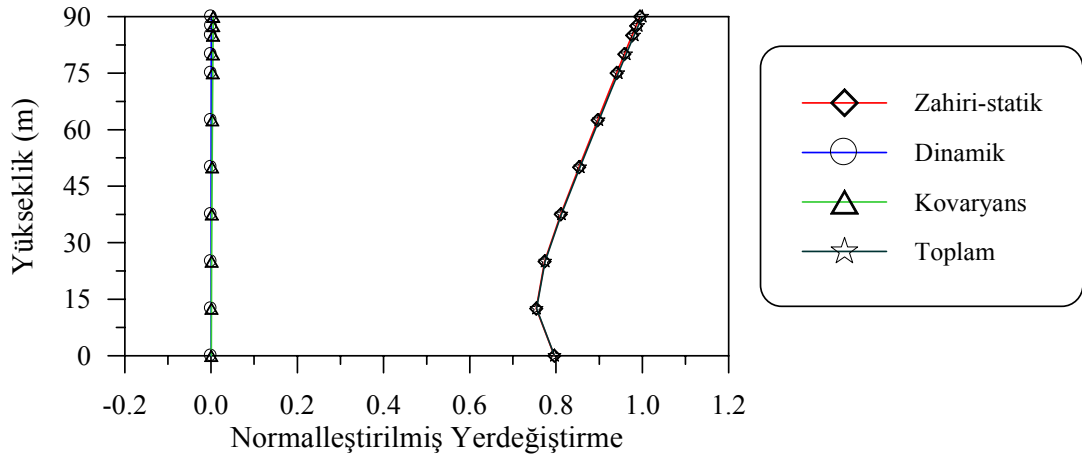
3.2.1.4. Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkileri Ayırık Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda Bölüm 3.2.1.3'te açıklanan durumlarda barajın Memba yüzü boyunca hesaplanan yer değiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç değerlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları verilmektedir. Barajın memba yüzeyi boyunca oluşan yerdeğiştirmelere ilişkin normalleştirilmiş varyans değerleri Şekil 177-180'de verilmektedir. Sadece dalga yayılma etkisi ve sadece tutarsızlık etkisi için çizilen grafiklerde zahiri-statik bileşenin katkısı barajın tabanından kret noktasına kadar hemen hemen sabit kalmakta ve değerleri dalga yayılma etkisi için %97.29, sadece tutarsızlık etkisi için %96.44 olmaktadır. Farklı zemin türleri için yapılan analizler sonucunda ise YYOO zemin türünde barajın tabanında zahiri-statik bileşenin katkısı %79.57 iken, kret noktasında %99.49, OOSS zemin türü için aynı değerler %84.40 ve %98.36 olarak oluşmaktadır.

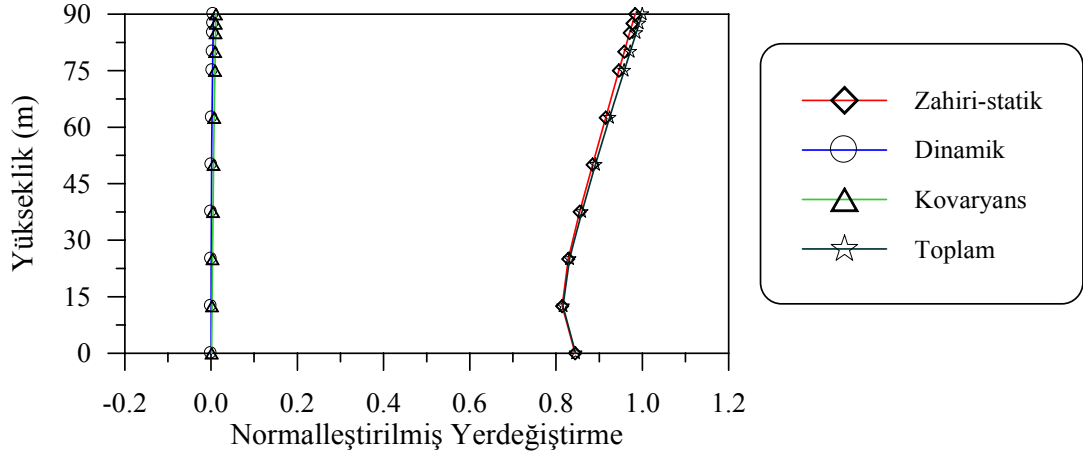
Şekil 181-184'te yatay gerilme değerlerinin normalleştirilmiş varyans değerlerinin grafikleri verilmektedir. Toplam davranışa en büyük katkıyı sağlayan zahiri-statik bileşenin farklı zemin türleri için katkısı %100'e yakın bir değer alırken sadece dalga yayılma etkisinde barajın tabanında oluşan değer %83.00, sadece tutarsızlık etkisi için %97.00 olmaktadır. Şekil 185-188'de verilen düşey gerilme değerlerinin normalleştirilmiş varyans değerleri incelendiğinde ise tüm bileşenlerin toplam davranışa katkılarının farklı olduğu görülmektedir. YYOO zemin türünde zahiri-statik bileşenin katkısı %96.69,

dinamik bileşenin katkısı %1.31, kovaryans bileşenin katkısı ise %2.00 olmaktadır. Bu değerler OOS zemin türü için sırasıyla %63.24, %33.39, %3.37, yalnızca dalga yayılma etkisi için %6.74, %98.66, %-5.39, yalnızca tutarsızlık etkisi için ise %27.49, %73.39 ve %-0.88 olmaktadır. Şekil 189-192'de verilen kayma gerilmesi değerlerinin normalleştirilmiş varyans değerleri incelendiğinde ise farklı zemin türleri için benzer grafiklerin elde edildiği, sadece dalga yayılma etkisi ve sadece tutarsızlık etkisi grafiklerinin de birbirine benzediği görülmektedir. Farklı zemin etkileri için zahiri-statik bileşenin katkısı %100.00 değerine yaklaşmaktadır. Sadece dalga yayılma etkisi için zahiri-statik bileşenin toplam davranışa katkısı % 48.53, dinamik bileşenin katkısı %37.84 iken kovaryans bileşenin katkısı %13.63 olmaktadır. Bu değerler sadece tutarsızlık etkisi için sırasıyla %86.30, %12.45 ve 1.25 olmaktadır.

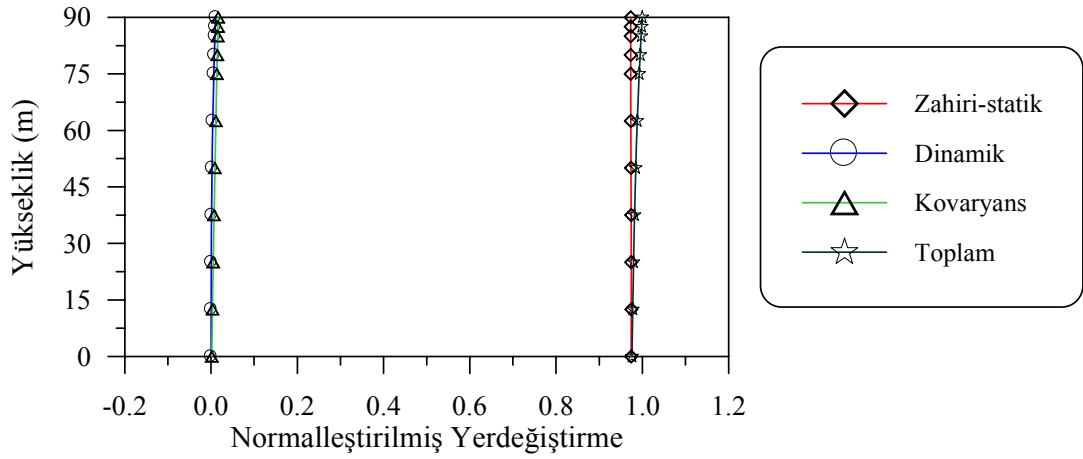
Şekil 193-196'da hidrodinamik basınçlar ile ilgili varyans değişimlerinin grafikleri verilmektedir. Bu grafiklere göre bütün durumlarda hakim bileşenin dinamik bileşen olduğu görülmektedir.



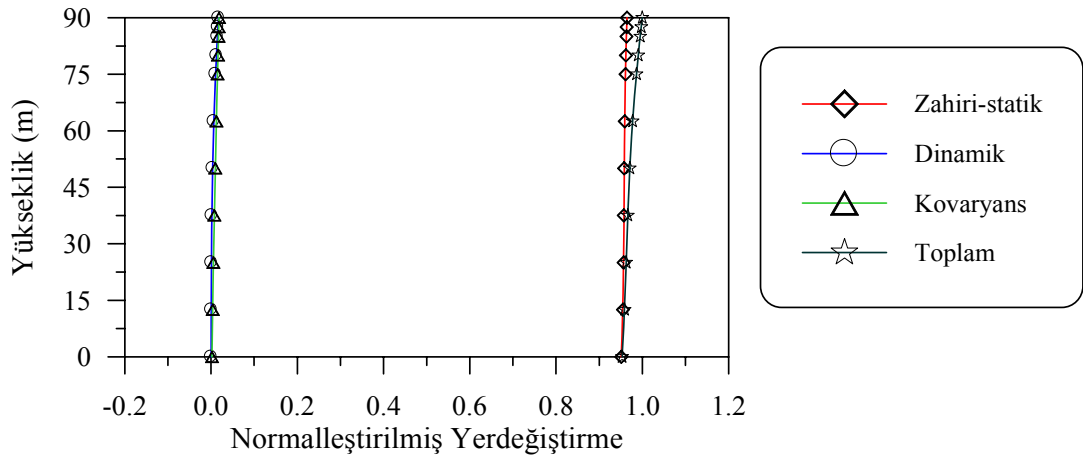
Şekil 177. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları



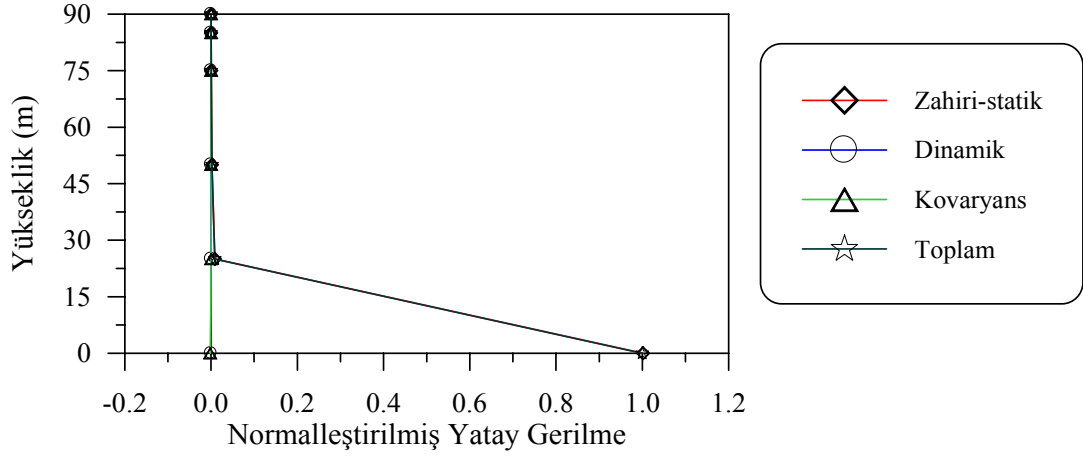
Şekil 178. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları



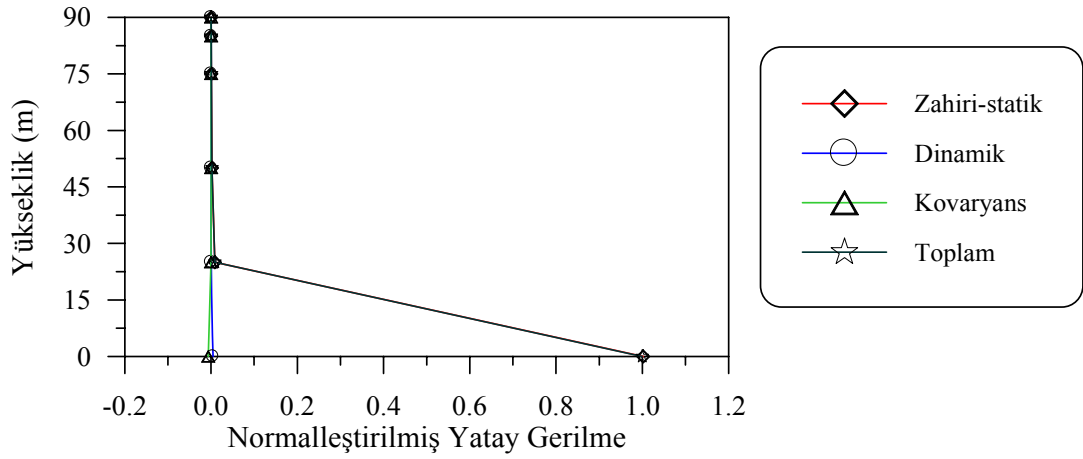
Şekil 179. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



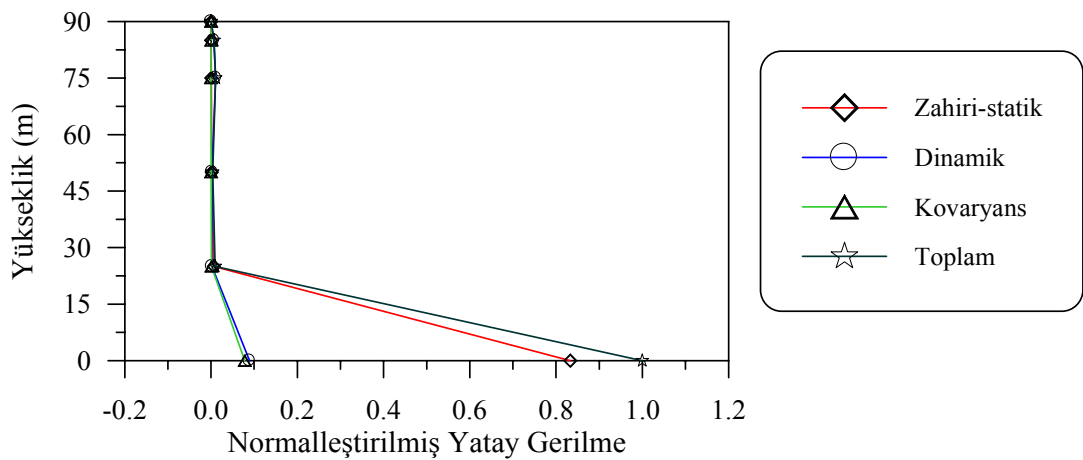
Şekil 180. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli- Model 1)



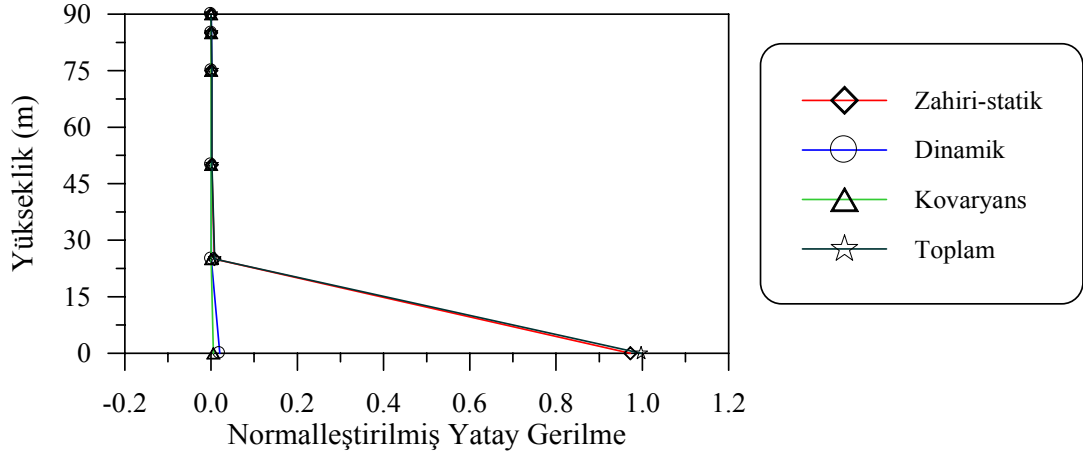
Şekil 181. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları



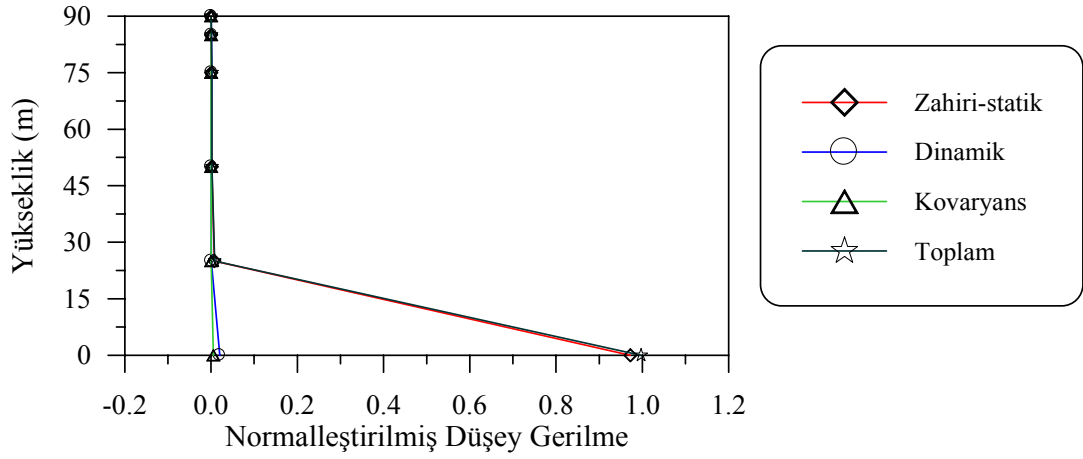
Şekil 182. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları



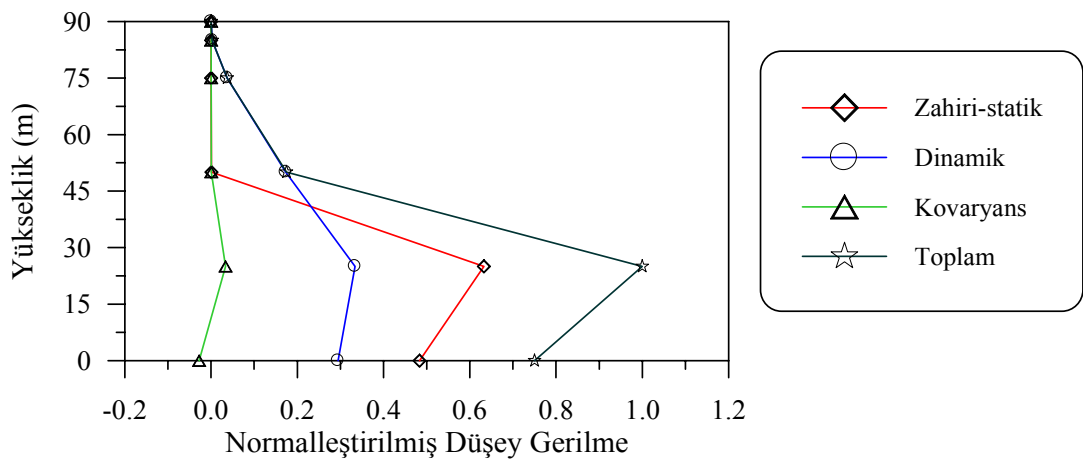
Şekil 183. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



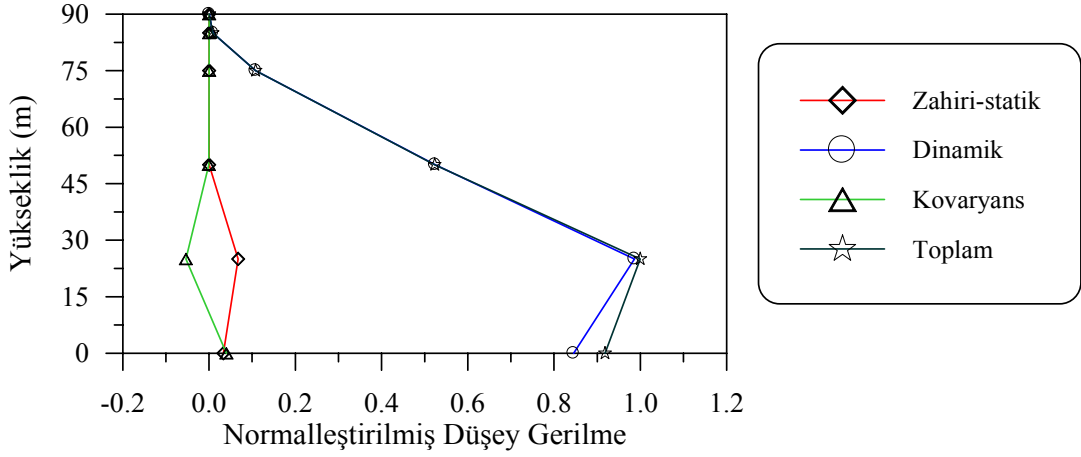
Şekil 184. Tutarlılık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



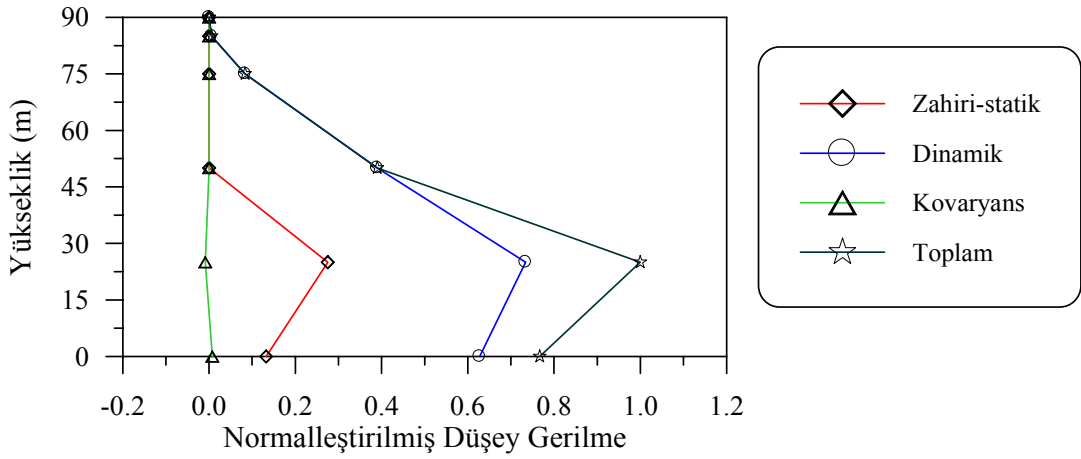
Şekil 185. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları



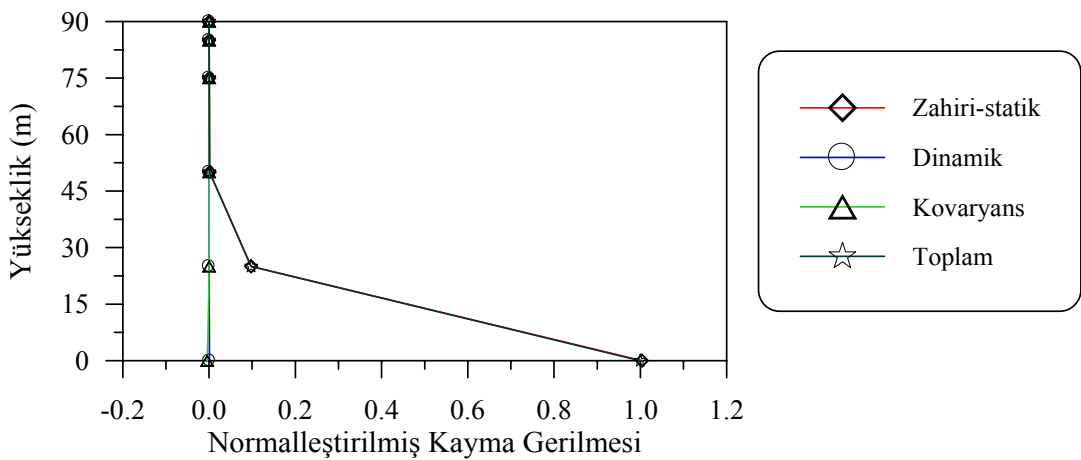
Şekil 186. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları



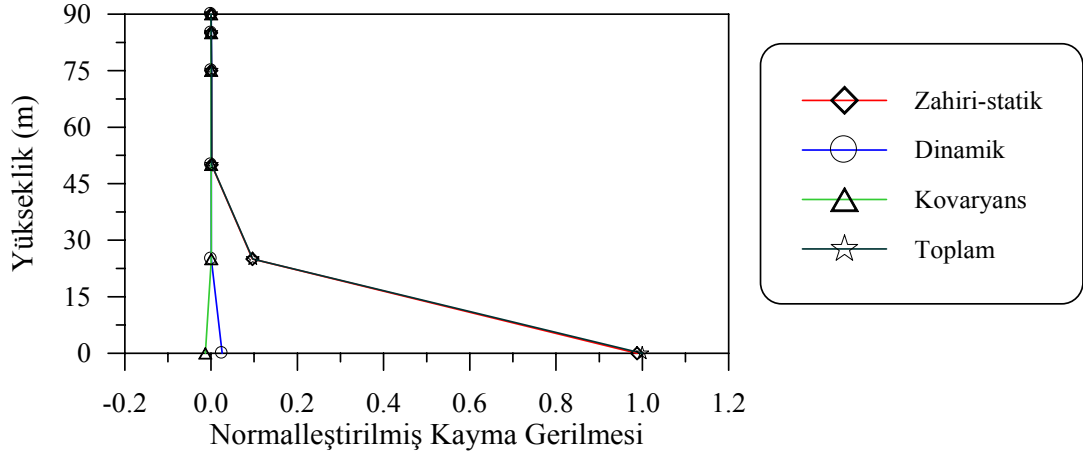
Şekil 187. Dalg yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



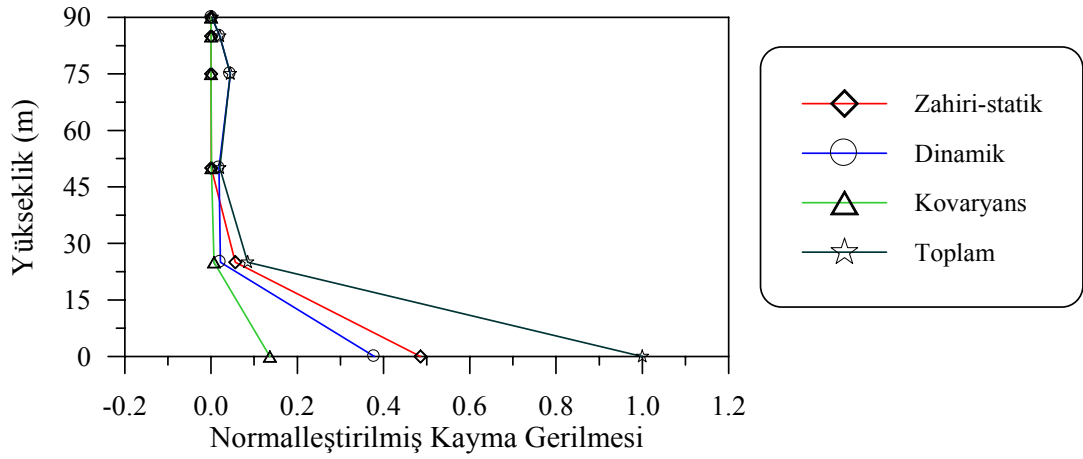
Şekil 188. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



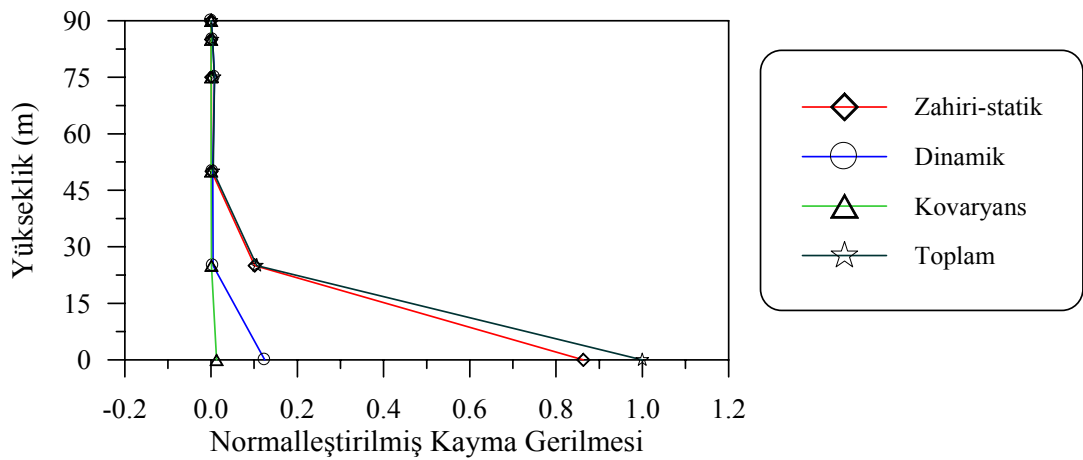
Şekil 189. YOOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları



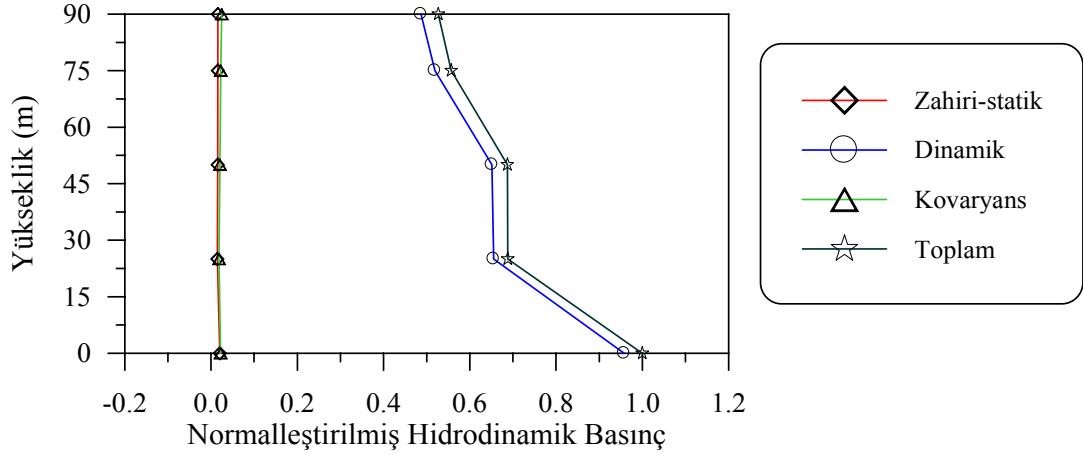
Şekil 190. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları



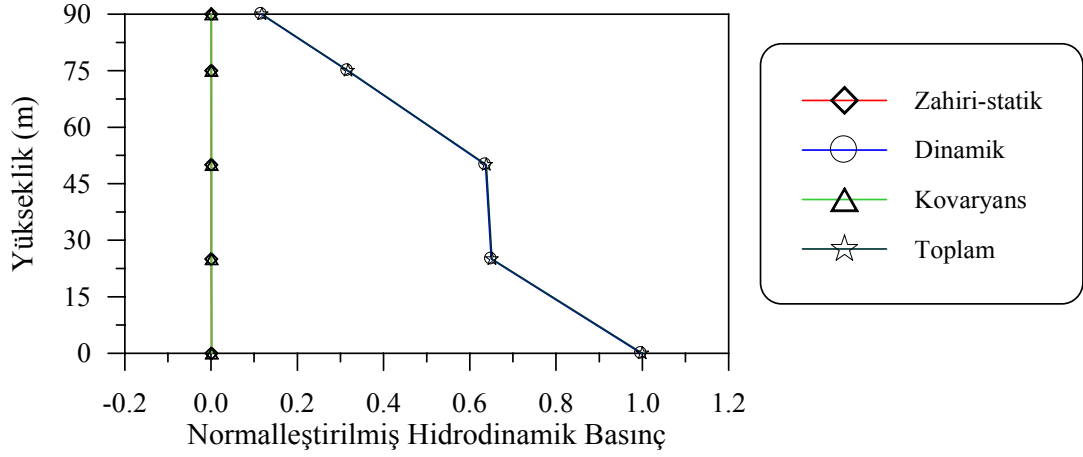
Şekil 191. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



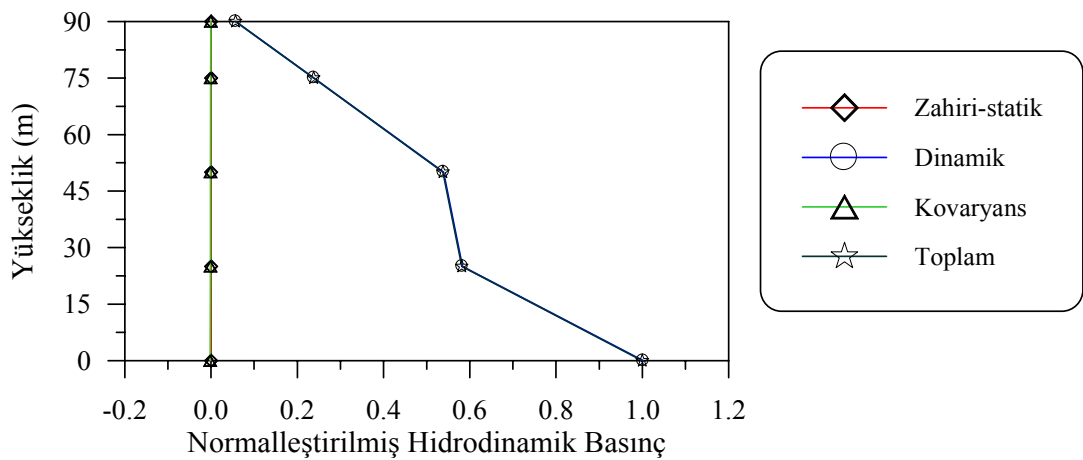
Şekil 192. Tutarsızlık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli-Model 1)



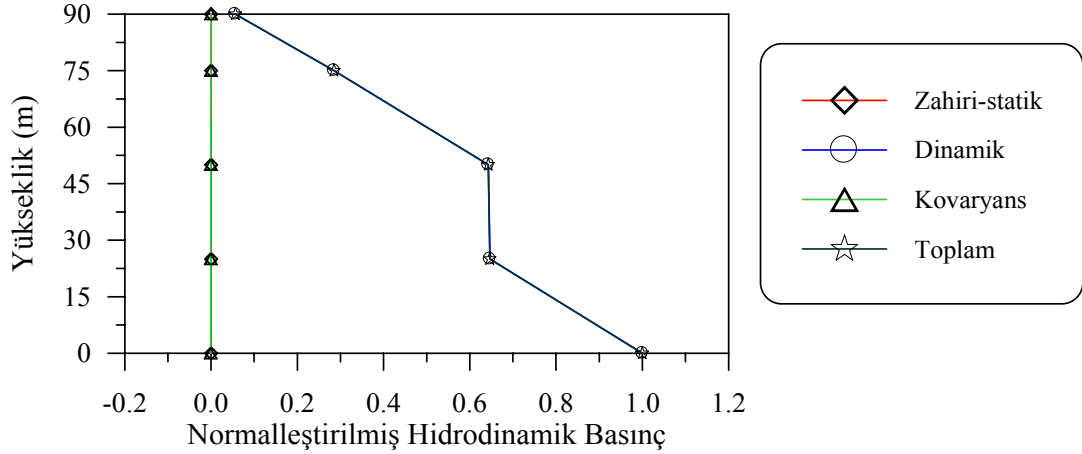
Şekil 193. YYOO zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları



Şekil 194. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları



Şekil 195. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=2000$ m/s)



Şekil 196. Tutarlılık etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları (Harichandran ve Vanmarcke tutarlılık modeli-Model 1)

3.2.1.5. Bölgeler Arası Dalga Yayılma Hızının Değişimi Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Değerlerinin Karşılaştırılması

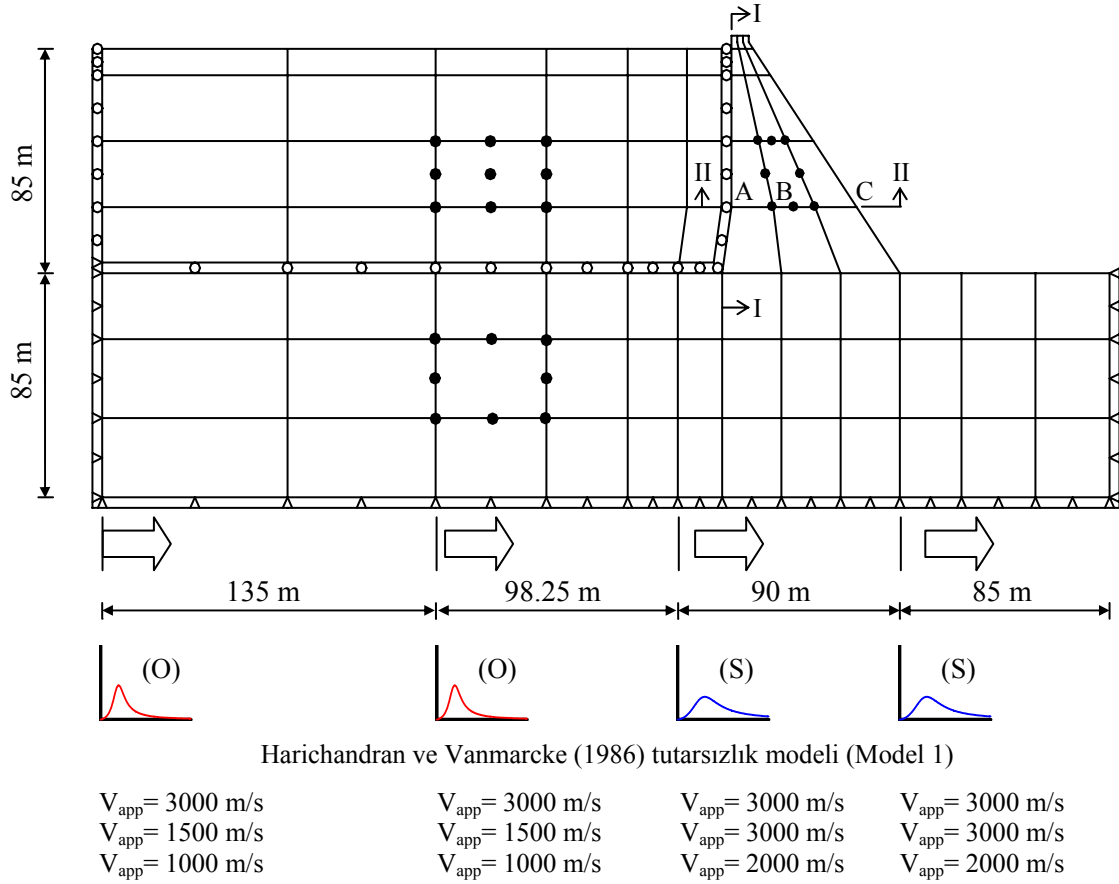
Bu bölümde bölgeler arası zemin şartlarındaki değişime bağlı olarak yer hareketi yayılma hızındaki değişim dikkate alınmak suretiyle Harichandran ve Vanmarcke (1989) tutarlılık modeli (Model 1) için stasyonier durumda Şekil 197'de verilen baraj-rezervuar-zemin sisteminin I-I kesiti boyunca elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçlar için bulunan ortalama maksimum değerler incelenmektedir.

Barajın oturduğu zemin şartlarındaki değişim için OOSS zemin durumu dikkate alınmaktadır. Bu zemin cinsi durumunda yer hareketi yayılma hızları olarak aşağıda verilen değerler kullanılmaktadır.

- $v_{app}=3000$ m/s (Tüm bölgelerde sabit yayılma hızı),
- $v_{app}=1500$ m/s (orta zemin), $v_{app}=3000$ m/s (sert zemin),
- $v_{app}=1000$ m/s (orta zemin), $v_{app}=2000$ m/s (sert zemin),

Farklı dalga yayılma hızları kullanılarak yapılan analizler sonucunda barajın memba yüzeyi boyunca elde edilen sonuçlara ilişkin grafikler Şekil 198-212'de görülmektedir. Şekil 197-200'de verilen zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirme grafiklerine bakıldığında farklı hızlarla yayılan dalga için yapılan analiz sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Şekil 200'deki toplam yerdeğiştirme grafiğine göre farklı hızlarda yayılan deprem dalgası için elde edilen

sonucun sabit hızla yayılan dalga hareketine göre %2 gibi az farklı bir yerdeğiştirmeye sebep olduğu görülmektedir.



Şekil 197. Homojen olmayan zemin ortamında değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-zemin sisteminin sonlu eleman modeli

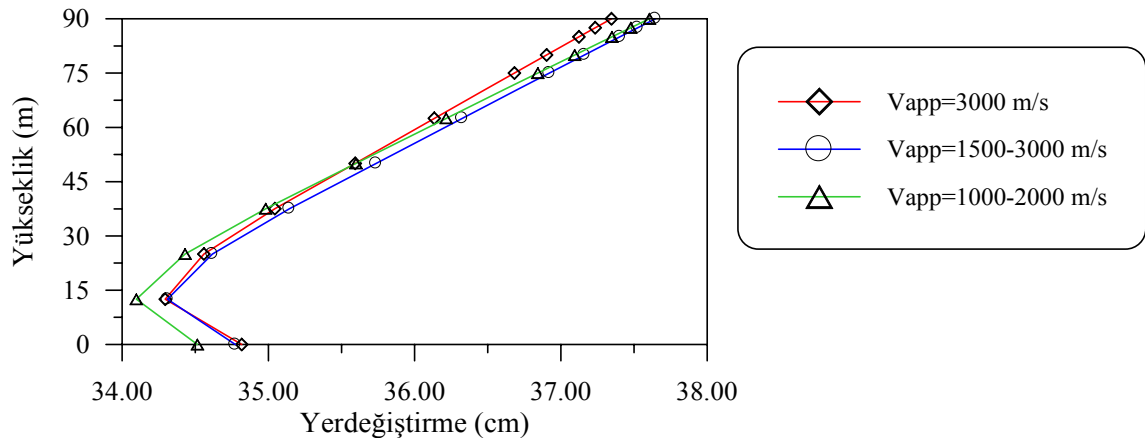
Şekil 201-203'te verilen yatay gerilmelere ilişkin grafikler incelendiğinde ise barajın tabanında en büyük zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay gerilmelerin farklı hızlarla yayılan deprem hareketi sonucunda oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte tüm durumlar için elde edilen yatay gerilme değerleri birbirine oldukça yakın çıkmaktadır.

Şekil 204-206'da zahiri-statik, dinamik ve toplam düşey gerilme değerlerine ilişkin grafikler verilmektedir. Farklı hızlarla yayılan deprem hareketi için elde edilen sonuçların sabit hızla yayılan deprem hareketine göre daha büyük sonuçlar verdiği görülmektedir. Toplam düşey gerilme grafiğinden de anlaşılacağı gibi farklı hızlar için elde edilen düşey gerilme değeri sabit hızla elde edilene göre %5 daha büyük değerde çıkmaktadır. Dinamik değerlerde ise %12 daha büyük değerler elde edilmektedir.

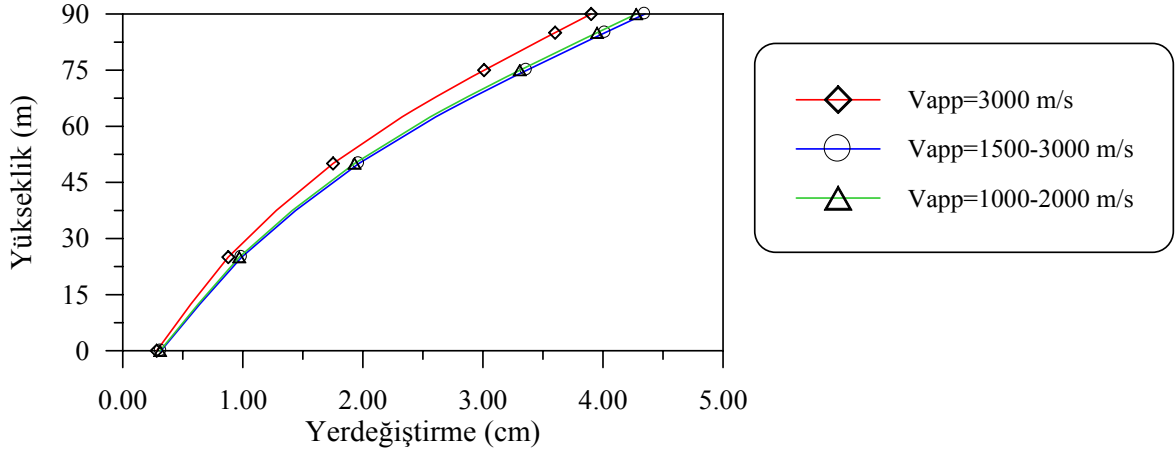
Şekil 207-209'da zahiri-statik, dinamik ve toplam kayma gerilmelerine ilişkin grafikler verilmektedir. Kayma gerilmelerinde de yatay gerilmelerle benzer sonuçlar elde edilmektedir. Farklı hızlar için elde edilen kayma gerilme değerleri sabit hızla elde edilene oldukça yakın değerlerde çıkmaktadırlar. Zahiri-statik ve toplamda %2'lik bir büyüklük oranı oluşurken dinamik değerlerde bu oran %12 mertebesindedir.

Şekil 210-212'de verilen hidrodinamik basınçların değişimlerine ilişkin grafiklere göre de farklı hızlar için elde edilen en büyük zahiri-statik hidrodinamik basınç değeri sabit hızla elde edilene göre %18 daha büyük değerde çıkmaktadır. Toplam değerler dikkate alındığında ise %18 daha büyük değerde oluşmaktadır.

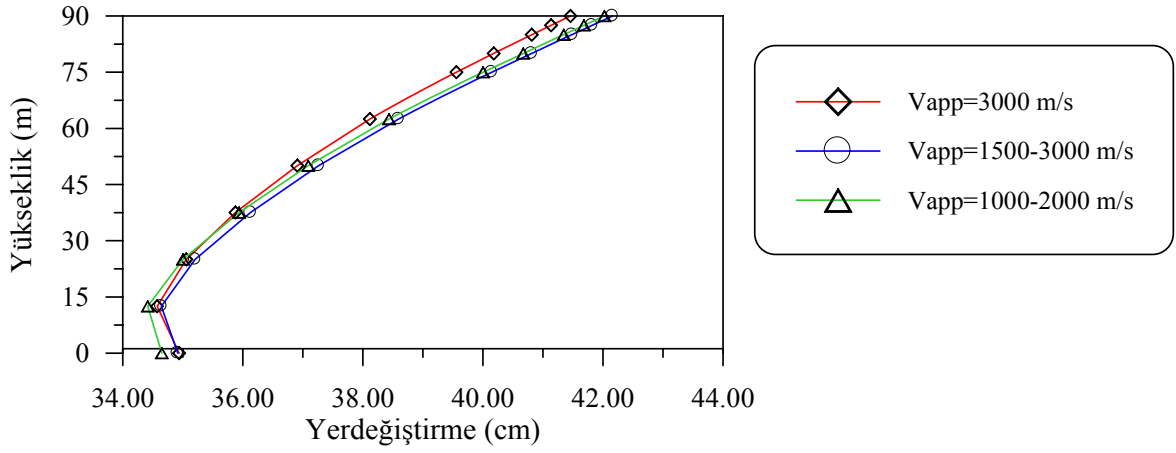
Böylece bölgeler arası farklı hızlar ile yayılan deprem dalgasının barajın stokastik dinamik analizi üzerinde etkisi, yapılacak analizlere göre tercihe bırakılabilir. Ancak, genellikle maksimum değerler farklı hız ile yayılan deprem dalgasının dikkate alındığı analizlerde oluşmuştur.



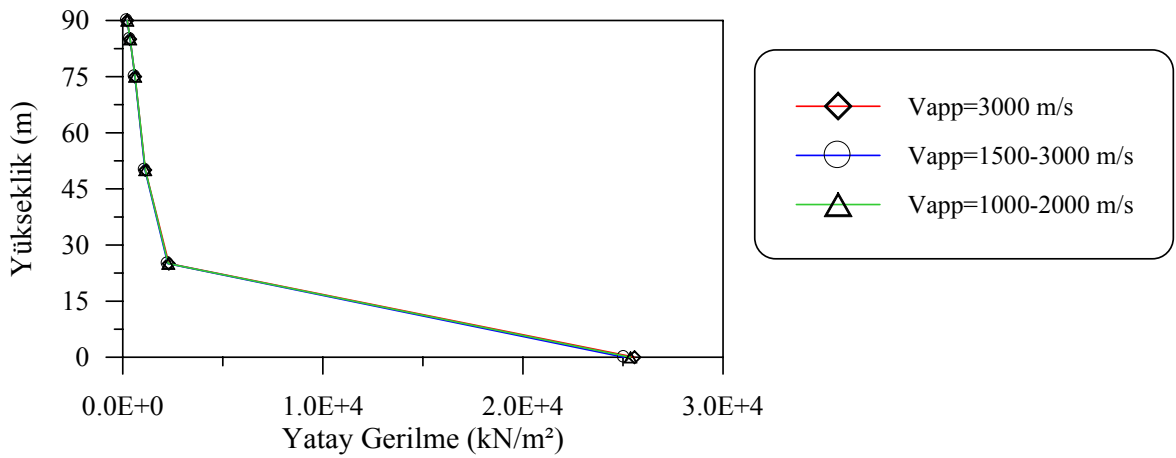
Şekil 198. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yerdeğiştirmeler



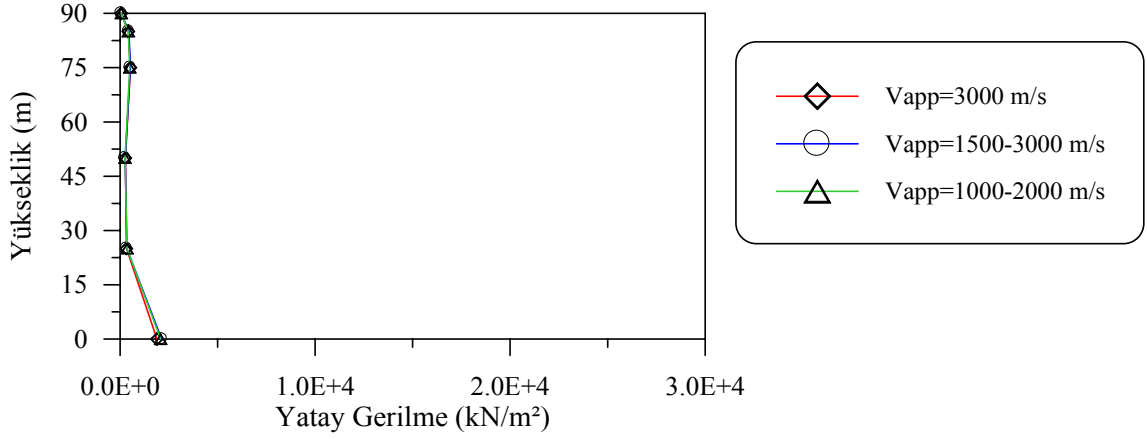
Şekil 199. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yerdeğiştirmeler



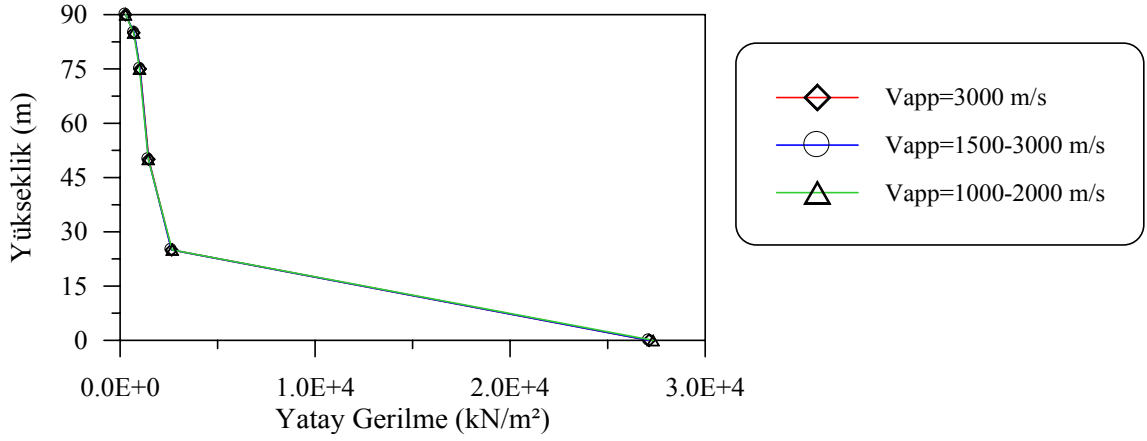
Şekil 200. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler



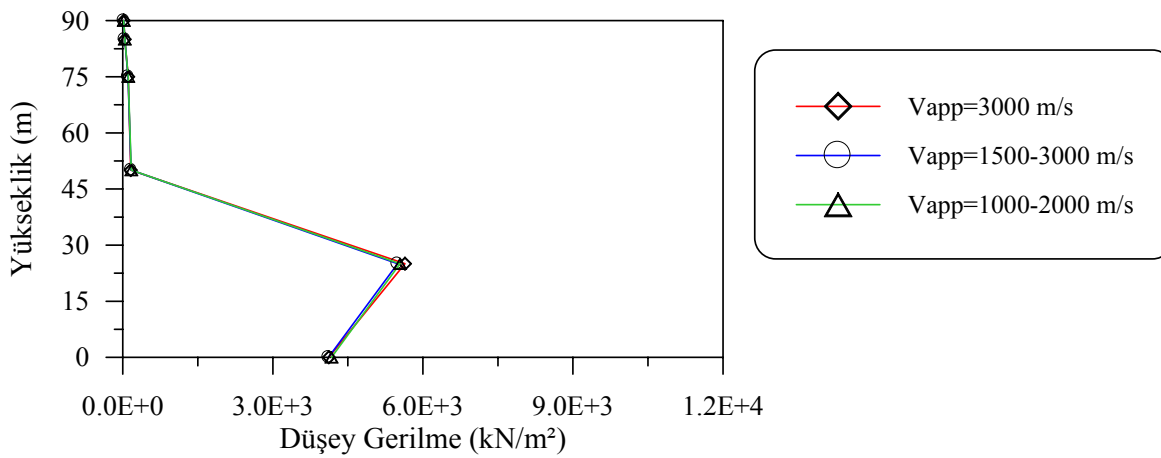
Şekil 201. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik yatay gerilmeler



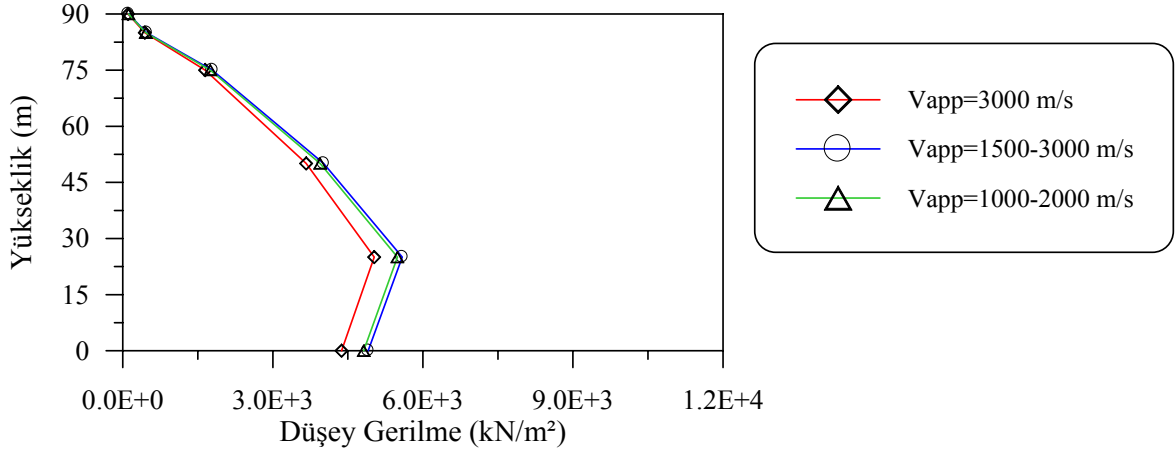
Şekil 202. Dalganın yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik yatay gerilmeler



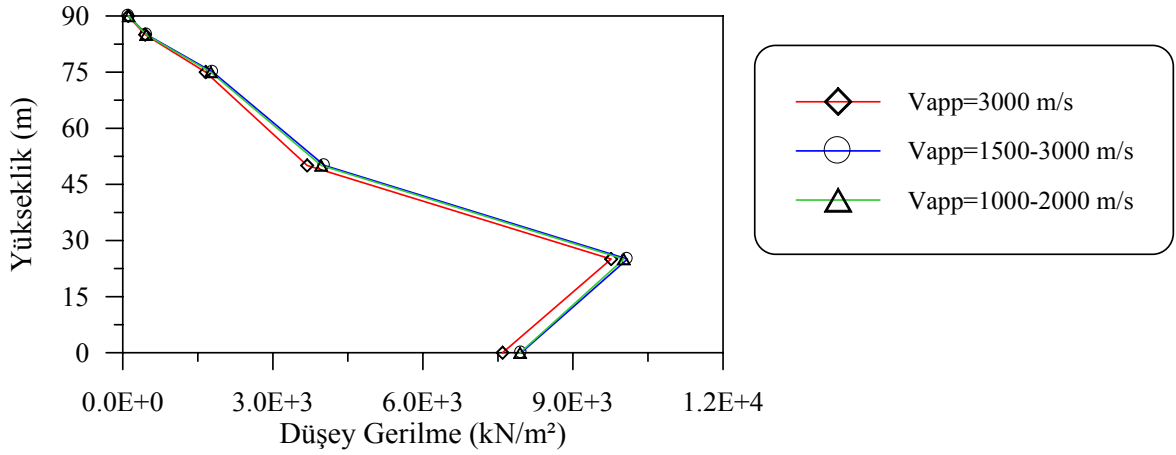
Şekil 203. Dalganın yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



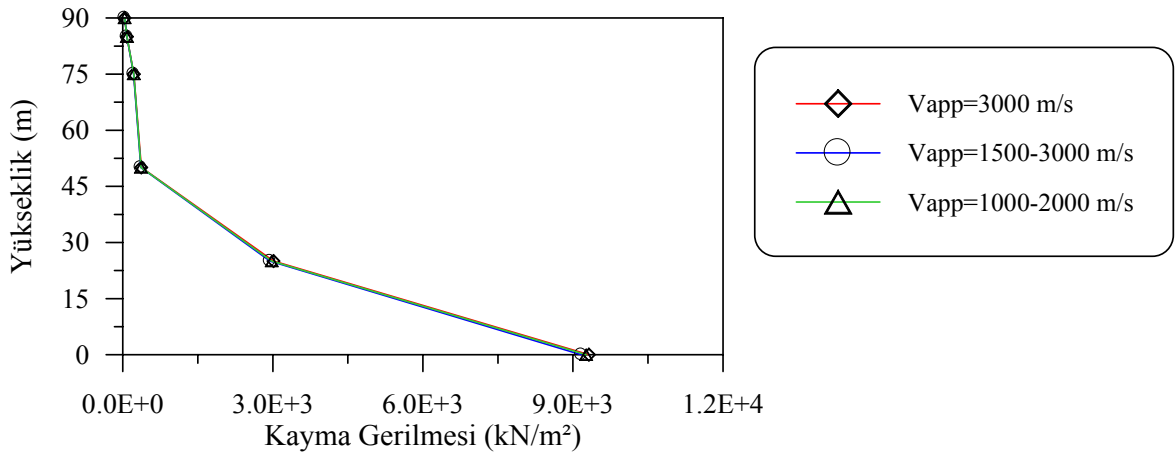
Şekil 204. Dalganın yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik düşey gerilmeler



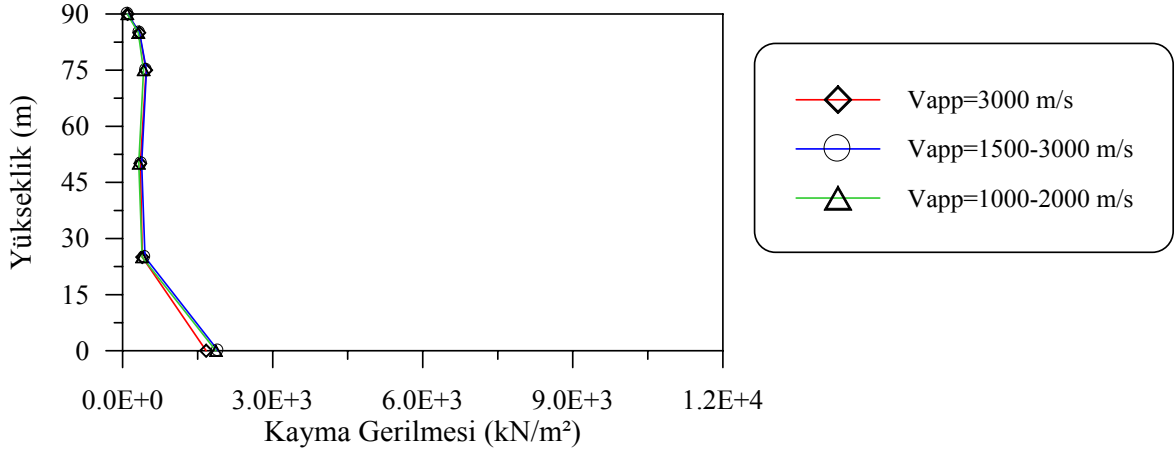
Şekil 205. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik düşey gerilmeler



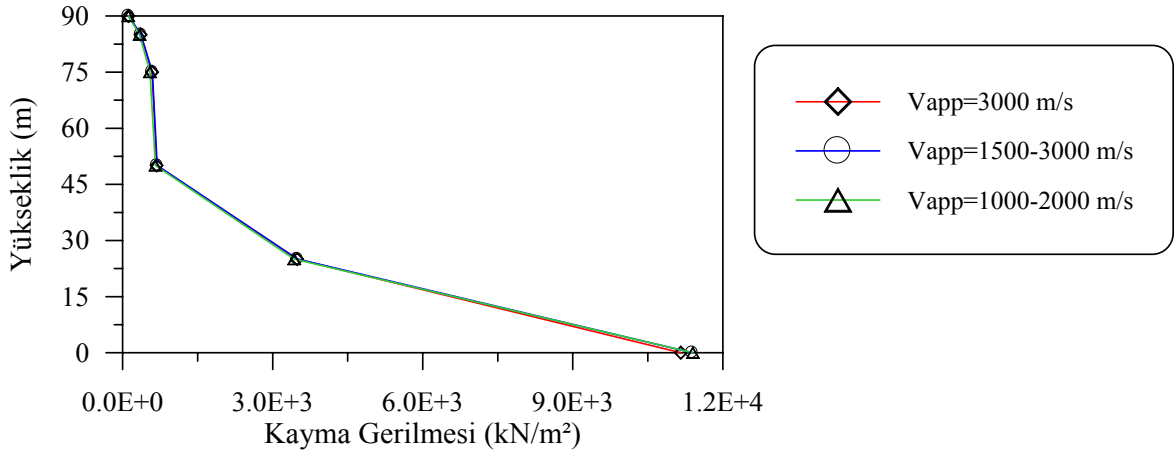
Şekil 206. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



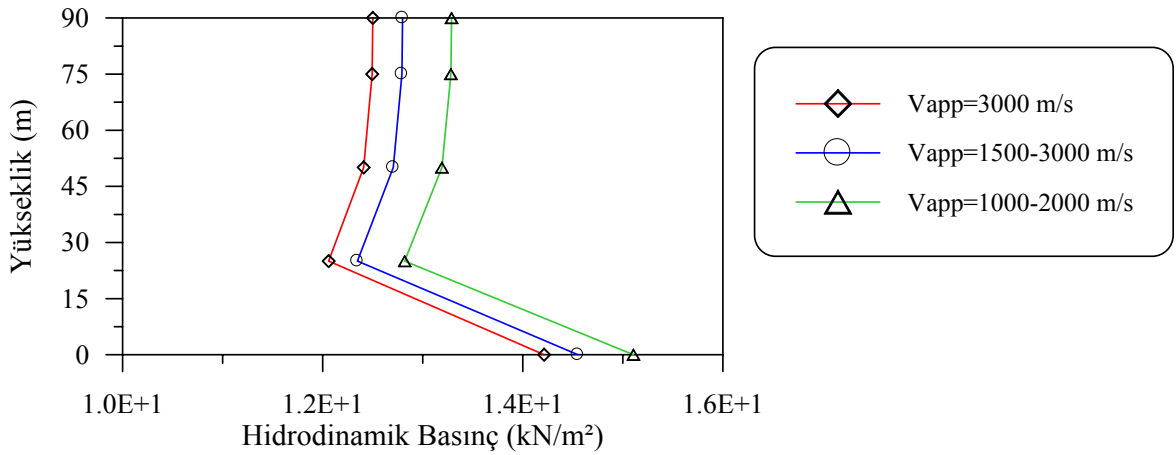
Şekil 207. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik kayma gerilmeleri



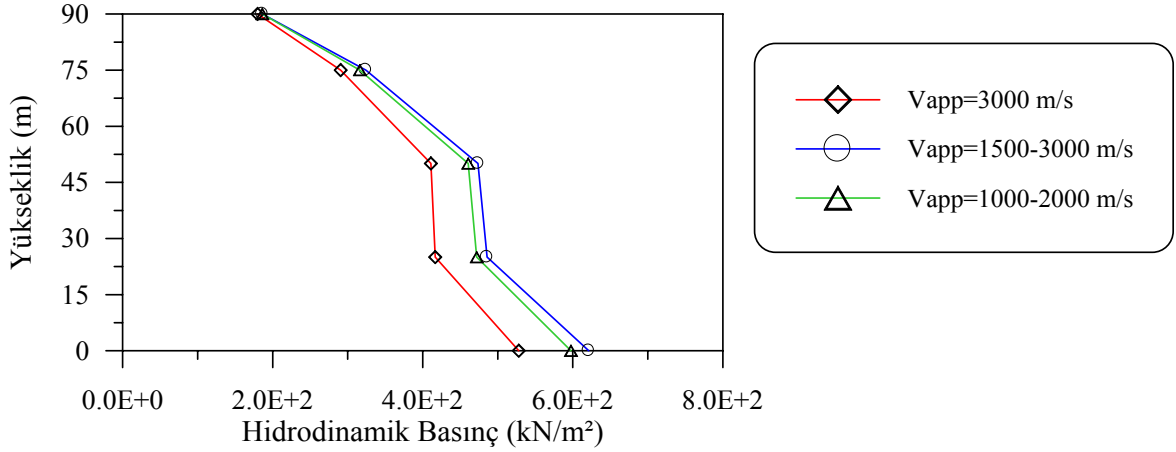
Şekil 208. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik kayma gerilmeleri



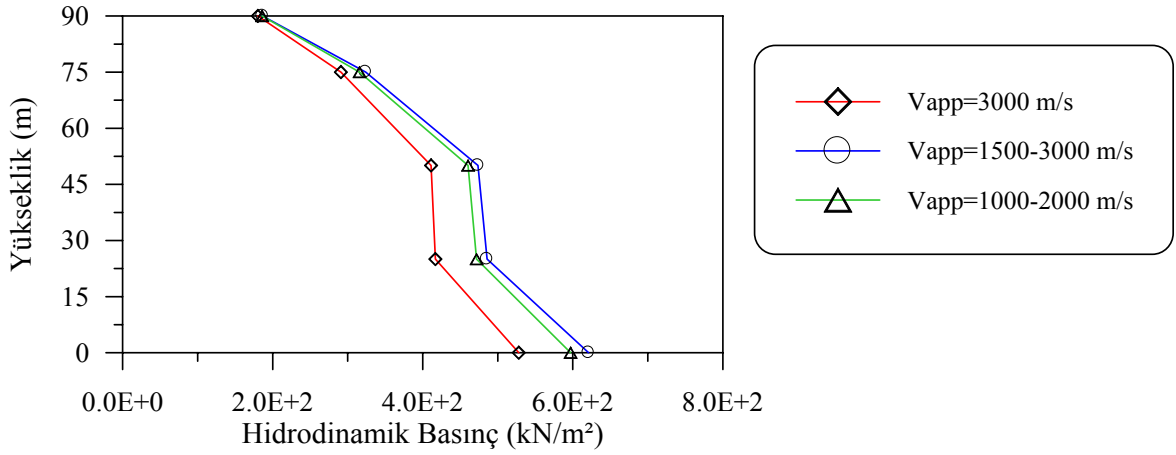
Şekil 209. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



Şekil 210. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum zahiri-statik hidrodinamik basınçlar



Şekil 211. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum dinamik hidrodinamik basınçlar



Şekil 212. Dalga yayılma etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar

3.2.1.6. Bölgeler Arası Dalga Yayılma Hızının Değişimi Dikkate Alındığında Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda barajın memba yüzü boyunca farklı hızlarla yayılan deprem hareketi sonucunda elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçların normleştirilmiş varyans değerleri sunulmaktadır. Normleştirme işlemi varyans değerlerinin en büyük toplam varyans değerine bölünmesi suretiyle elde edilmektedir.

Şekil 213-214'te dalga yayılma hızının sabit olması ve zemin cinsine göre değişmesi durumlarında barajın memba yüzü boyunca elde edilen yerdeğiştirme bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Toplam davranış üzerinde zahiri-statik bileşenin hakim olduğu

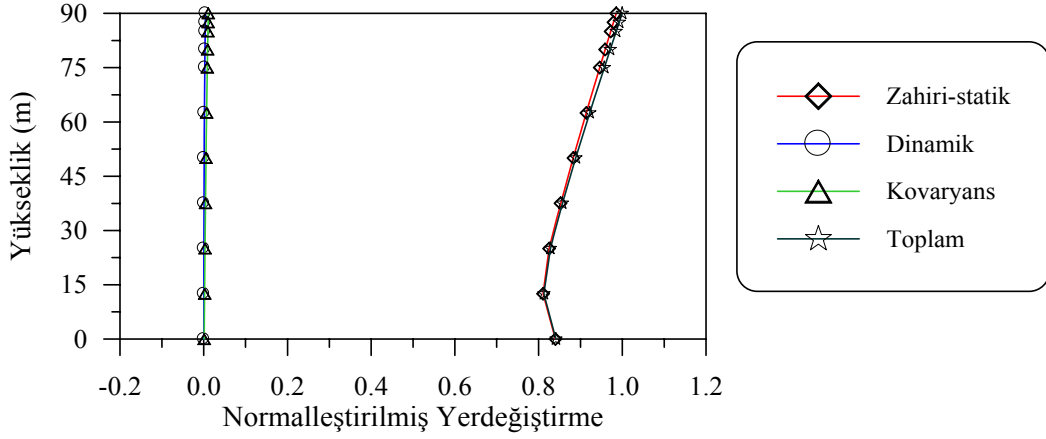
görülmektedir. En büyük yatay yerdeğiştirmenin elde edildiği barajın kret noktasında dalga yayılma hızının sabit olması durumunda zahiri-statik bileşenin katkısı %98.56, dinamik bileşenin katkısı %0.40 iken, kovaryans bileşenin katkısı %1.04 olmaktadır. Aynı değerler değişen dalga yayılma hızı için %98.45, %0.48 ve %1.07 olmaktadır.

Şekil 215-216'da yatay gerilmelerin varyans değişimlerinin grafikleri verilmektedir. Dalga yayılma hızının sabit olması durumunda yatay gerilme değerinin maksimum olduğu baraj tabanında zahiri-statik bileşenin katkısı %100.04, dinamik bileşenin katkısı %0.20 ve kovaryans bileşenin katkısı %-0.24 olmaktadır. Bu oranlar farklı dalga yayılma hızı için ise %99.89, %0.24 ve %-0.13'tür. Görüldüğü gibi her iki durumda da zahiri-statik bileşenin katkısı çok büyüktür.

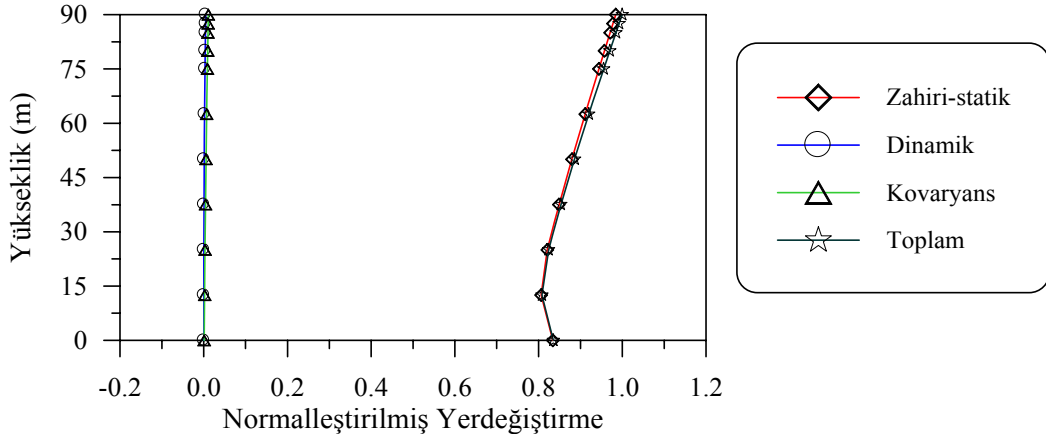
Şekil 217-218'de düşey gerilme değerlerinin varyansları verilmektedir. En büyük düşey gerilmenin elde edildiği 25 m' de dalga yayılma hızının sabit olması durumunda zahiri-statik bileşenin katkısı %78.47, dinamik bileşenin katkısı %19.76 ve kovaryans bileşenin katkısı %1.77 olmaktadır. Dalga yayılma hızının değişken olması durumunda ise %75.79, %22.99 ve %1.22'dir.

Şekil 219-220'de kayma gerilmesi değerlerinin varyansları verilmektedir. En büyük kayma gerilmesinin elde edildiği baraj tabanında dalga yayılma hızının sabit olması durumunda zahiri-statik bileşenin katkısı %99.17, dinamik bileşenin katkısı %1.27 ve kovaryans bileşenin katkısı %-0.44 olmaktadır. Dalga yayılma hızının değişken olması durumunda ise %98.66, %1.57 ve %-0.23'dür. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi her iki durumda da zahiri-statik bileşen hakim olmaktadır.

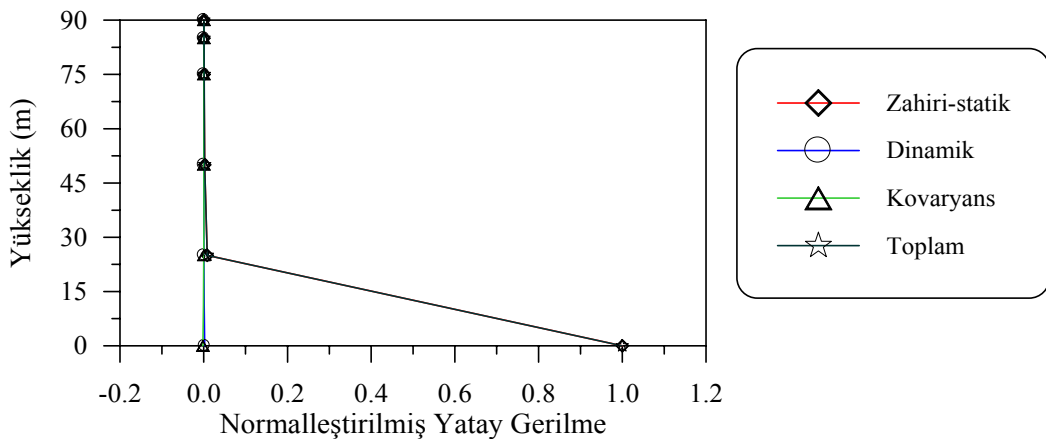
Şekil 221-222'de hidrodinamik basınçların varyans değerlerinin değişimlerine ilişkin grafikler verilmektedir. Burada da önceki bölümlerdeki gibi toplam davranışa en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. Barajın tabanında en büyük hidrodinamik basınçların oluştüğü noktada dalga yayılma hızının sabit olması durumunda zahiri-statik bileşenin etkisi %0.20, dinamik bileşenin etkisi %99.97, kovaryans etkisi ise %-0.17'dir. Aynı oranlar farklı dalga yayılma hızları için %0.16, %100.16 ve %-0.32 olmaktadır.



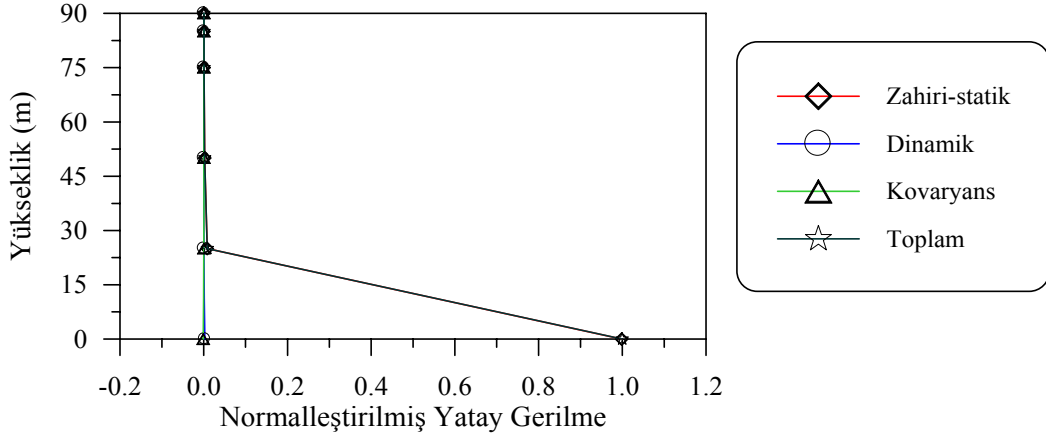
Şekil 213. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s)



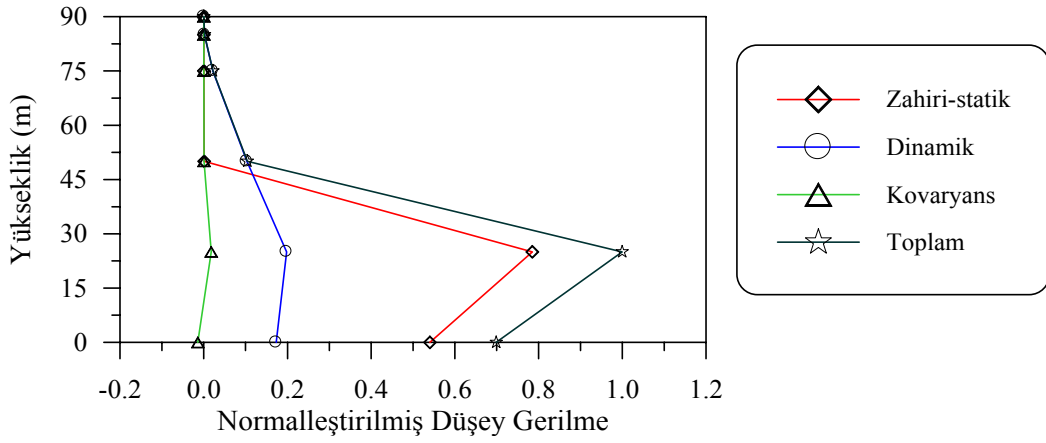
Şekil 214. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yerdeğiştirme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)



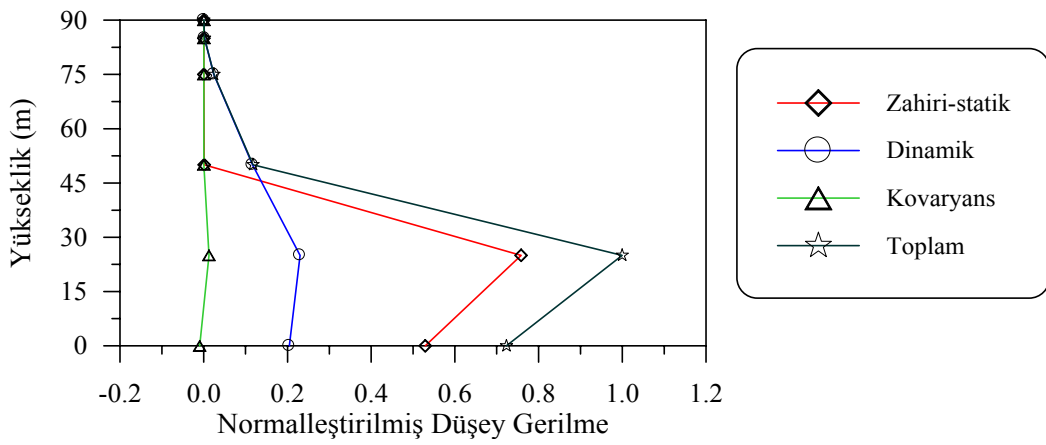
Şekil 215. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s)



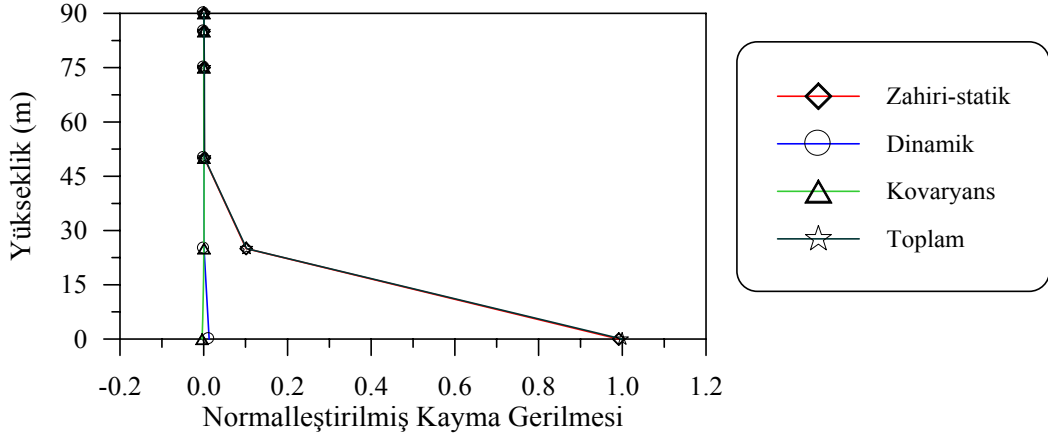
Şekil 216. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan yatay gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)



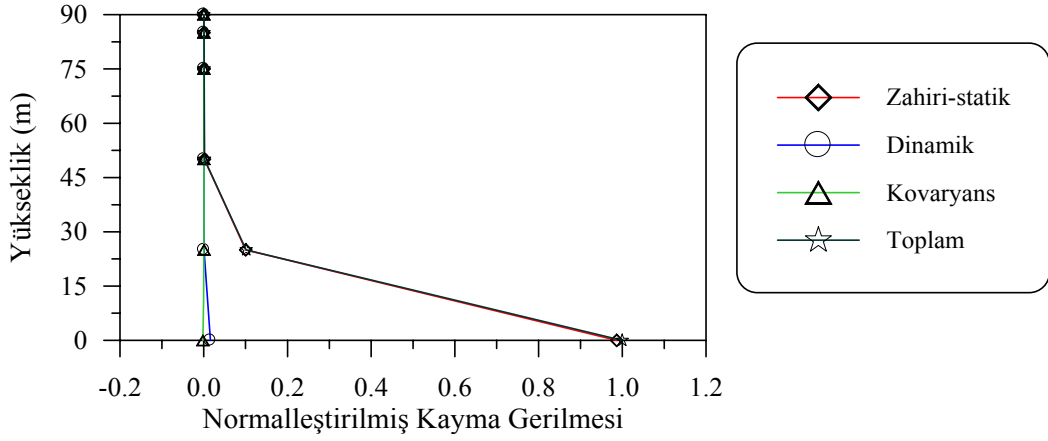
Şekil 217. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s)



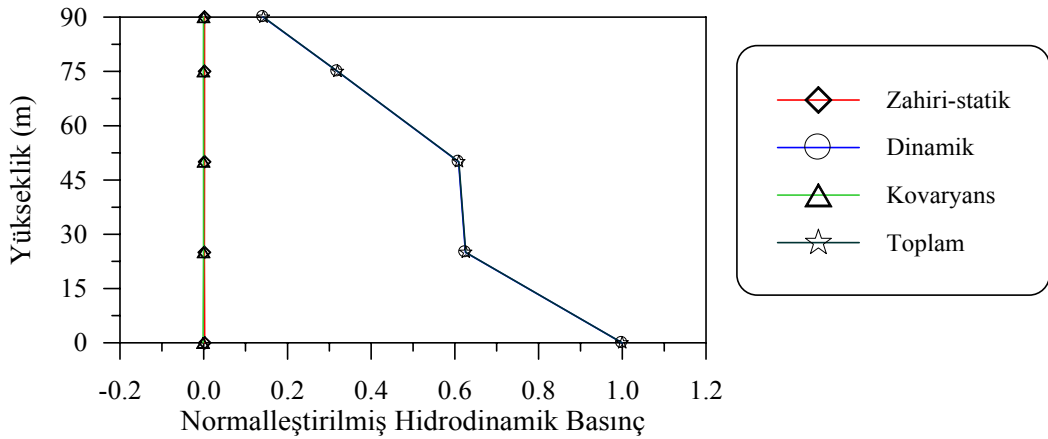
Şekil 218. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan düşey gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)



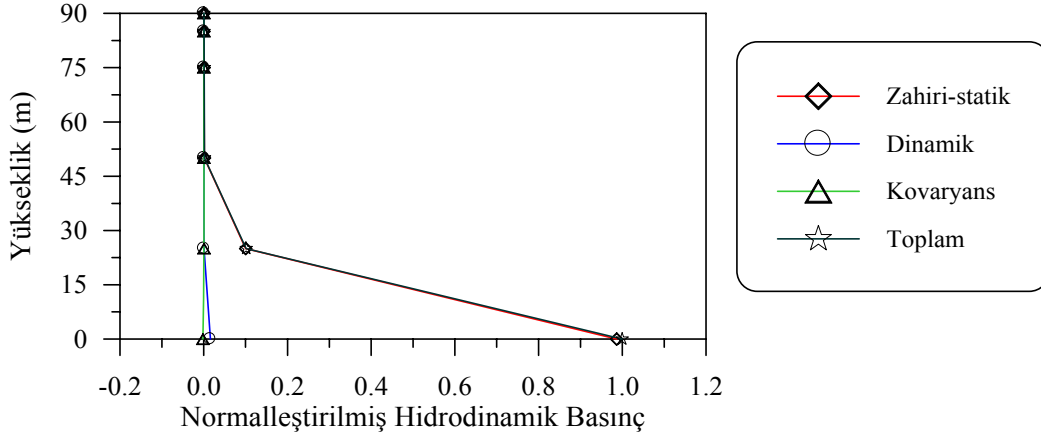
Şekil 219. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s)



Şekil 220. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan kayma gerilme bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)



Şekil 221. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=3000$ m/s)



Şekil 222. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan hidrodinamik basınç bileşenlerinin varyansları ($v_{app}=1000-2000$ m/s)

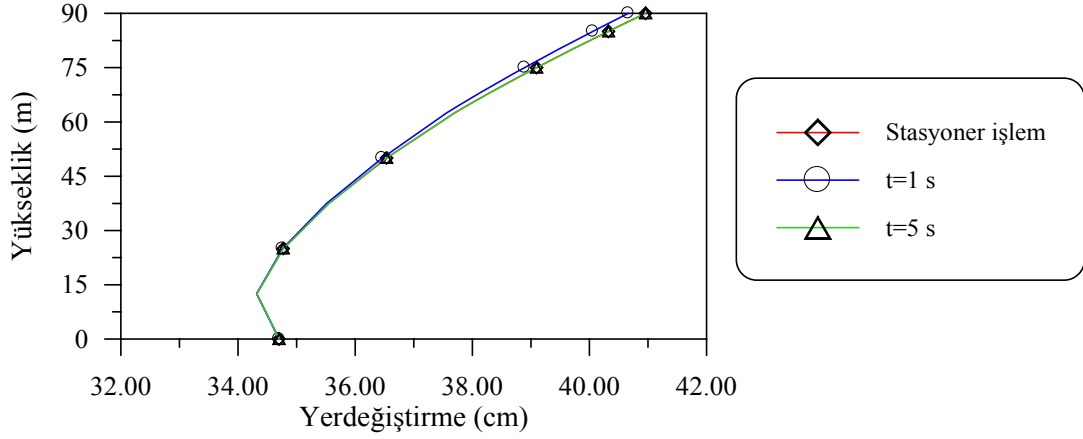
3.2.2. Stasyoner Olmayan Davranış

3.2.2.1. Farklı Zemin Etkileri İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların ve Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

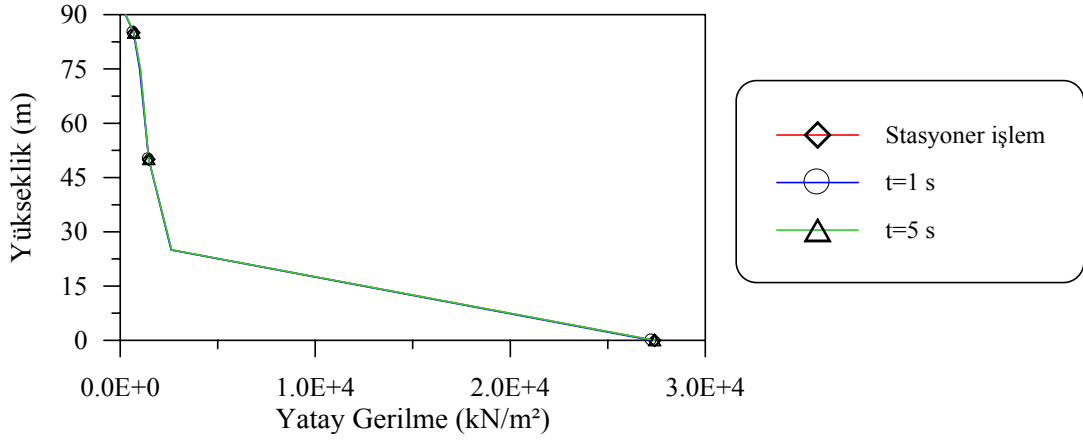
Yer hareketinin belirli anlarında tepki bileşenlerinin stasyoner davranışa yakınlaşıp yaklaşmadığını belirlemek amacıyla 1. ve 5. s'lerde tespit edilen stasyoner olmayan tepki değerleri stasyoner davranış için bulunan sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Bu amaçla barajın mesnetlendiği zemin şartlarının OOSS homojen olmayan zemin olarak dikkate alınmaktadır. Analizlerde dalga yayılma hızı ($v_{app}=2000$ m/s) ve tutarsızlık etkisi (Harichandran ve Vanmarcke (1986)) de dikkate almaktadır. Yapılan analizlerden, barajın I-I kesiti boyunca hesaplanan toplam yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçlara ait değerler Şekil 223-227'de karşılaştırılmaktadır.

Yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç değerlerini gösteren grafikler ile varyans değerlerini gösteren grafikler incelendiklerinde değişimlerinin benzer olduğu görülmektedir.

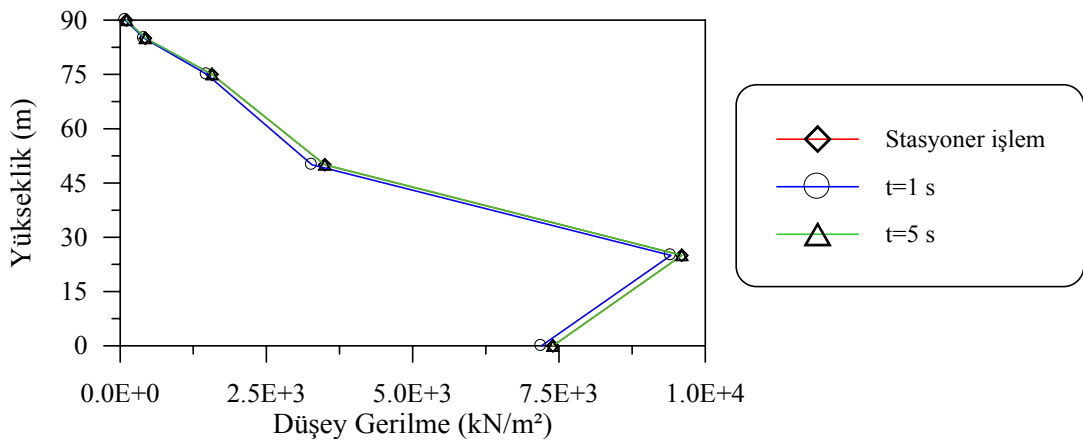
Şekil 223-226'da toplam yatay yerdeğiştirme, yatay gerilme düşey gerilme ve kayma değerlerine ilişkin grafikler stasyoner işlem, $t=1s$ ve $t=5s$ için çizilmektedir. Bu durumlar için çizilen grafiklerin üst üste çakıştığı görülmektedir. Şekil 227'de verilen hidrodinamik basınçlara ilişkin grafiklerde ise stasyoner işlemin $t=5s$ ile çakıştığı, $t=1$ saniyeden daha büyük olduğu görülmektedir.



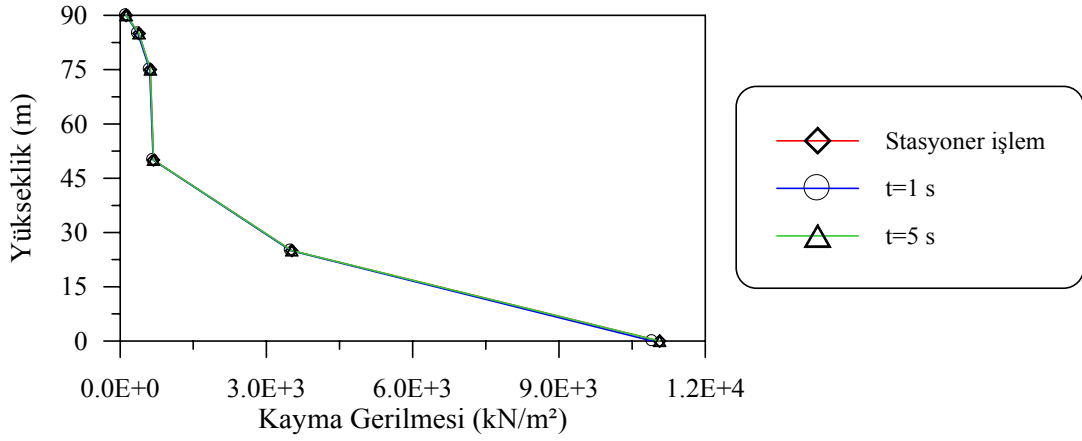
Şekil 223. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmeler



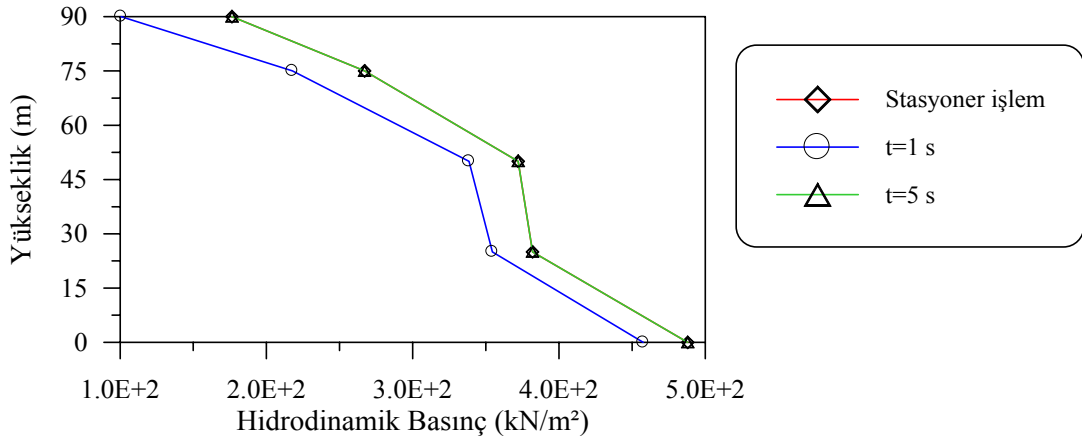
Şekil 224. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmeler



Şekil 225. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmeler



Şekil 226. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmeleri



Şekil 227. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçlar

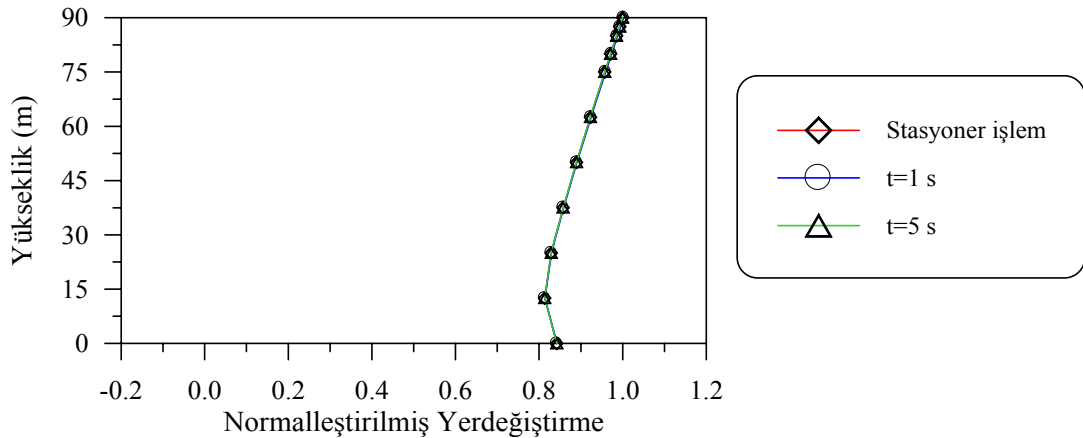
3.2.2.2. Farklı Zemin Etkileri İçin Yerdeğiştirme, Gerilme ve Hidrodinamik Basınçların Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde OOSS zemin türünde yapılan analizler sonucu elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınçların varyans değerlerinin grafikleri Şekil 228-232'de verilmektedir. Normalleştirme işlemi varyans değerleri, stasyoner işlem için tespit edilen maksimum varyans değerine bölünmek suretiyle gerçekleştirilmektedir. Şekil 233-237'de verilen varyans grafikleri, 1. ve 5. saniyelerde hesaplanan stasyoner olmayan varyans değerlerinin stasyoner işlem için tespit edilen maksimum varyans değerine bölünmek suretiyle bulunmuştur.

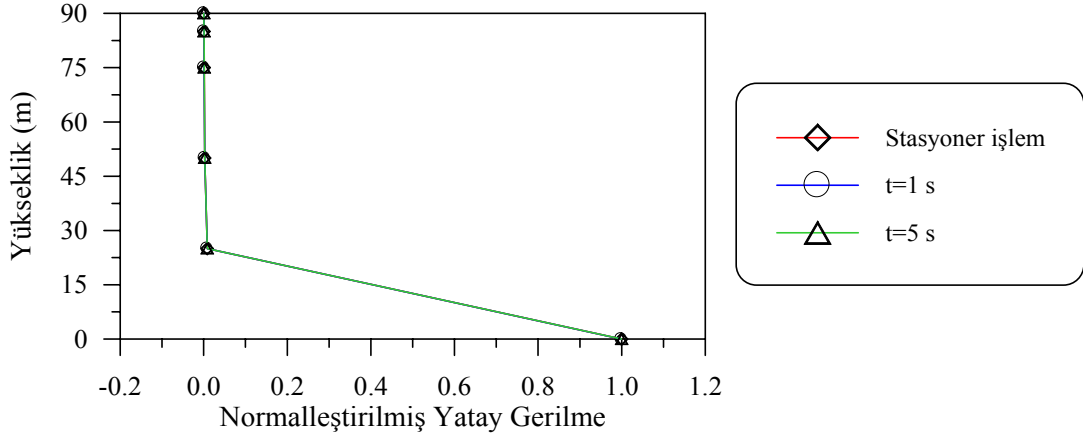
Şekil 228-232’de barajın memba yüzeyinde stasyoner ve stasyoner olmayan işlemler için elde edilen toplam yerdeğiştirmeler, gerilmeler ve hidrodinamik basınçlar karşılaştırılmaktadır. Stasyoner işlem ile $t=5s$ için elde edilen varyans değerleri oldukça yakın çıkarken, bu değerleri $t=1s$ için yapılan analiz sonuçları izlemektedir.

Şekil 233-237’de $t=1s$ ’de stasyoner olmayan işlem için barajın memba yüzü boyunca elde edilen yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç değerlerine ait zahiri-statik, dinamik, kovaryans bileşenlerinin normalleştirilmiş varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Burada elde edilen değişim stasyoner işlem için elde edilen değişimle paralellik göstermektedir.

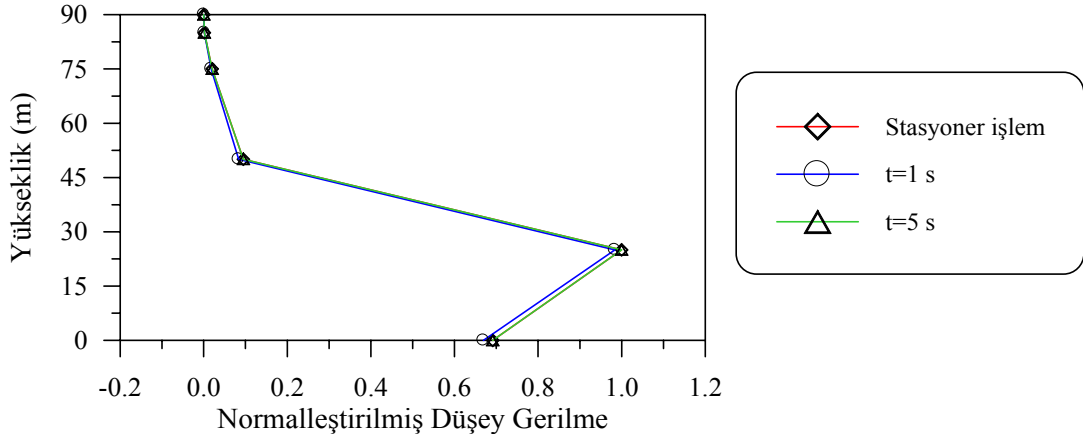
Barajın memba yüzü boyunca elde edilen normalleştirilmiş yerdeğiştirmelere ilişkin Şekil 233’den de görüleceği gibi zahiri-statik bileşenin toplam davranışa katkısı %98.65 değerle en büyük olmaktadır. Şekil 234’te verilen yatay gerilme içinde hakim bileşen %100.11 değer ile zahiri-statik bileşen olmaktadır. Düşey gerilme değerleri için zahiri-statik bileşenin katkısı %82.33, dinamik bileşenin katkısı %15.47, kovaryans bileşenin katkısı ise %2.20’dir. Kayma gerilmelerinde ise zahiri-statik bileşen, dinamik ve kovaryans bileşenin etkileri sırasıyla %99.58, %0.89 ve %0.47 olmaktadır. Aynı değerler Şekil 237’de grafiği çizilen hidrodinamik basınçlar için sırasıyla %0.26, %99.94 ve %0.20 olmaktadır.



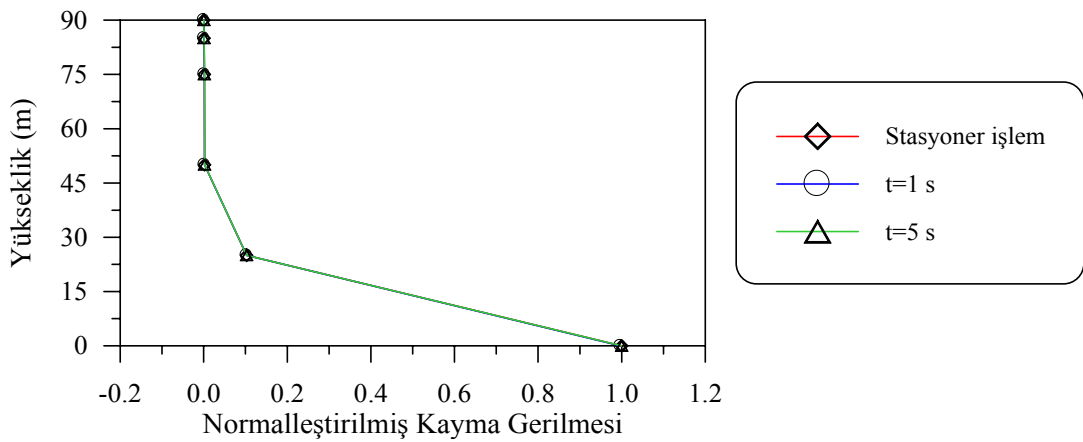
Şekil 228. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yerdeğiştirmelerin normalleştirilmiş varyansları



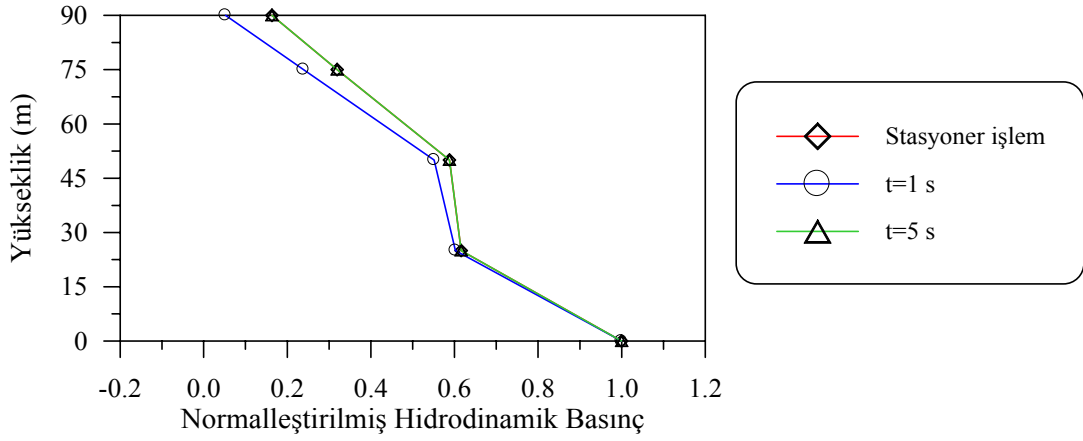
Şekil 229. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam yatay gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları



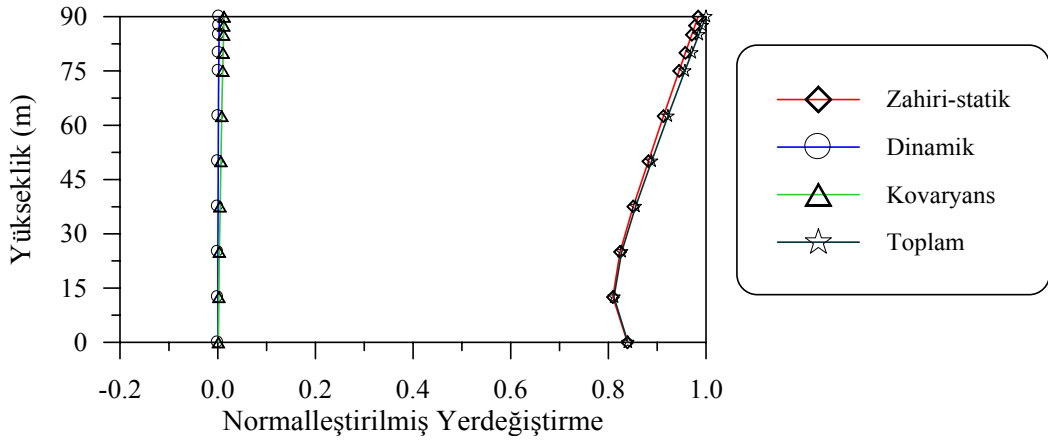
Şekil 230. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam düşey gerilmelerin normalleştirilmiş varyansları



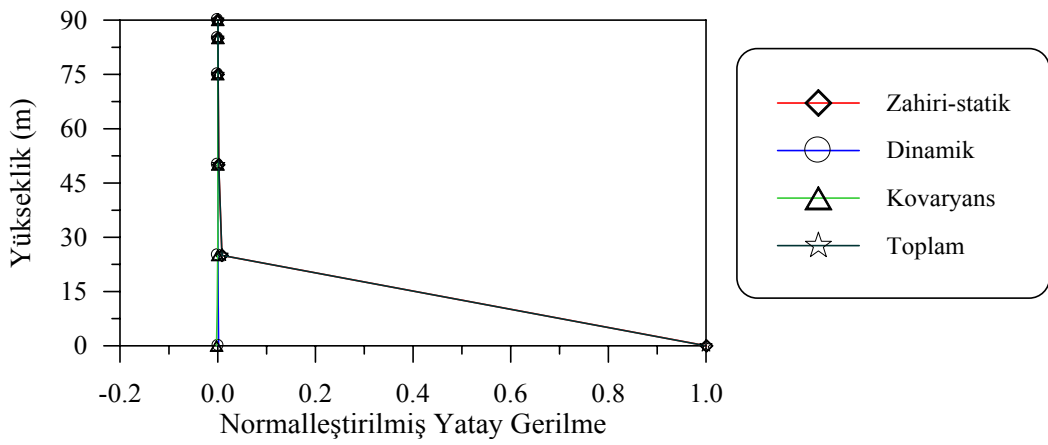
Şekil 231. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam kayma gerilmelerinin normalleştirilmiş varyansları



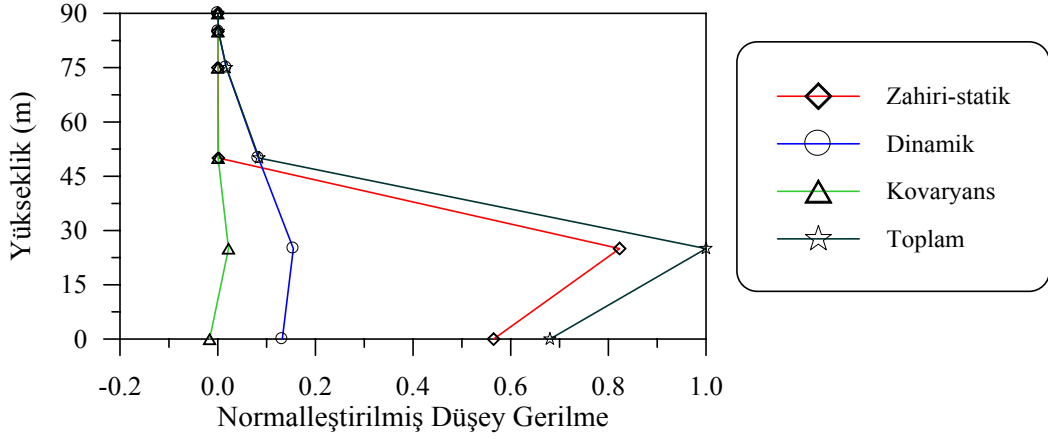
Şekil 232. OOSS zemin etkisi için barajın memba yüzü boyunca hesaplanan ortalama maksimum toplam hidrodinamik basınçların normalleştirilmiş varyansları



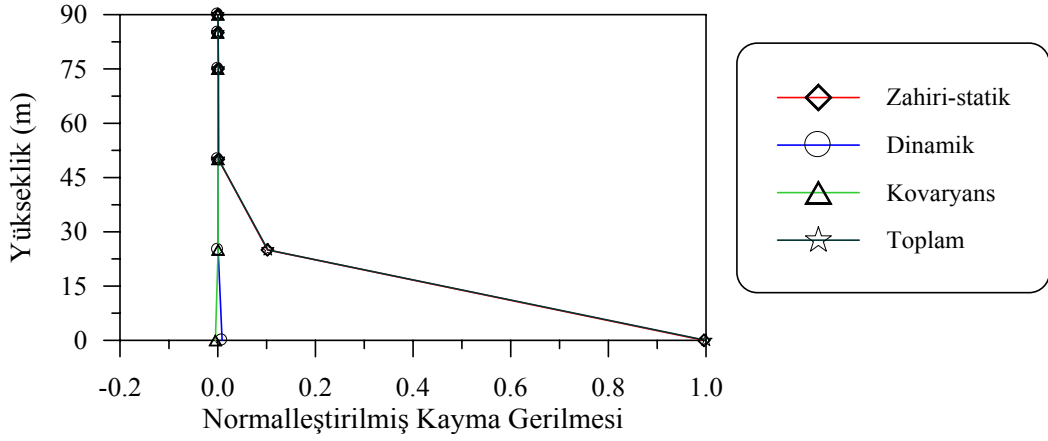
Şekil 233. t=1s'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan toplam yerdeğiştirme varyans bileşenleri



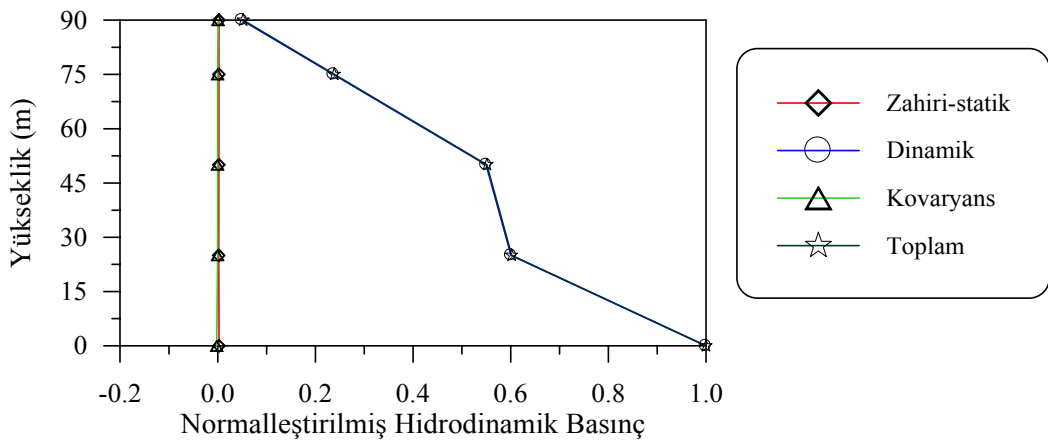
Şekil 234. t=1s'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyoner olmayan toplam yatay gerilme varyans bileşenleri



Şekil 235. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyonery olmayan toplam düşey gerilmelerin varyans bileşenleri



Şekil 236. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyonery olmayan toplam kayma gerilmeleri varyans bileşenleri



Şekil 237. $t=1s$ 'deki barajın memba yüzü boyunca hesaplanan stasyonery olmayan toplam hidrodinamik basınç varyans bileşenleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu doktora tezi çalışmasında, baraj-rezervuar-zemin sisteminin değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki davranışının belirlemesi amaçlanmıştır. Barajlar, membalarında milyonlarca metreküp su biriktiren yapılar olduklarından dolayı sıvı-yapı-zemin etkileşimine maruz kalan önemli yapılar olmakta ve yine rezervuarlarıyla birlikte düşünüldüklerinde uzun yapılar grubuna dahil olmaktadır. Bu nedenle dinamik analizde en etkili kuvvet olan deprem etkisinin baraj-rezervuar-zemin sistemine uygulanmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Zemin içerisinde yayılan deprem dalgası gerçekte, üniform (sonsuz hız ile yayılan) bir davranış sergilememektedir. Deprem dalgaları yayıldıkları zeminin türüne bağlı olarak farklı sonlu hızlarda yayılmaktadırlar. Sonlu hız ile yayılan bir deprem dalgasının frekans içeriği ve genliği yayıldıkları ortamın özelliklerine bağlı olarak değişmekte ve farklı noktalara farklı zamanlarda ulaşmaktadır. Bu durum yapıda atalet kuvvetlerinden dolayı oluşan dinamik yerdeğiştirmelere ek olarak yapı-zemin etkileşim yüzeyi boyunca mesnet noktalarının birbirlerine göre farklı rölatif hareketlerinden kaynaklanan zahiri-statik yerdeğiştirmeleri de oluşturmaktadır. Ayrıca ne zaman ve hangi büyüklükte oluşacağı bilinmeyen deprem etkisinin bu belirsizliklerini de içerecek istatistiksel bir ifadeyle hesaplara dahil edilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, baraj-rezervuar-zemin etkileşim sistemlerinin değişerek yayılan yer hareketi altında Lagrange yaklaşımına dayalı stokastik dinamik analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Wilson ve Khalvati (1983) tarafından önerilen Lagrange yaklaşımına dayalı değişken düğüm noktalı iki boyutlu izoparametrik sıvı sonlu eleman formülasyonu FORTRAN dilinde kodlanarak yapı sistemlerinin değişerek yayılan yer hareketi etkisinde stokastik dinamik analizini yapan SVEM programına dahil edilmiş ve SVEMF olarak adlandırılmıştır. Geliştirilen programın doğruluğunu göstermek için ilk olarak dikdörtgen bir rijit sıvı tankı daha sonra örnek bir sıvı-yapı etkileşim sistemi seçilerek modal analizler yapılmıştır.

Geliştirilen bu program kullanılarak Ankara'nın kuzeydoğusunda inşa edilmiş olan Sarıyar beton ağırlık barajının değişerek yayılan yer hareketi altındaki stokastik dinamik analizi baraj-rezervuar-zemin etkileşimi dikkate alınarak yapılmıştır. Yer hareketi olarak sert zeminde kaydedilmiş olan 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni

ivme kaydı kullanılmıştır. Analizler stasyonere ve stasyonere olmayan davranışlar ayrı ayrı dikkate alınarak homojen ve homojen olmayan zemin türleri için gerçekleştirilmiştir. Dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkileri ayrı ayrı ve birlikte dikkate alınarak çözümler elde edilmiştir.

Geniş sıvı-yapı-zemin etkileşimi grubuna giren barajların stokastik dinamik analizini gerçekleştirmek amacıyla hazırlanan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

- 1) Rijit sıvı tankının SVEMF programı ile yapılan modal analizi sonucu elde edilen frekanslar ile STOCALF programıyla yapılan analizden elde edilen frekanslar birbirlerine oldukça yakındır.
- 2) Seçilen örnek sıvı-yapı etkileşim sisteminin SVEMF ve STOCALF programlarından elde edilen frekansları birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Bu durum geliştirilen SVEMF programının doğruluğunun göstergelerinden biridir.
- 3) Baraj-rezervuar-zemin etkileşim sisteminin yapılan stokastik dinamik analizlerinde genellikle en büyük yatay yerdeğiştirmeler barajın kret noktasında, en büyük gerilmeler ve hidrodinamik basınçlar ise tabana yakın kısımlarında oluşmaktadır.
- 4) Sadece dalga yayılma etkisi dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde, dalga yayılma hızı arttıkça barajın memba yüzü boyunca elde edilen yerdeğiştirmeler artmakta, zahiri-statik ve toplam yatay gerilme ile kayma gerilmesi değerlerinin azaldığı, dinamik gerilme değerlerinin arttığı görülmüştür. Düşey gerilme değerlerinde ise deprem dalgası yayılma hızının artmasıyla, zahiri-statik gerilme değerlerinin azaldığı, dinamik ve toplam değerlerin arttığı belirlenmiştir. Hidrodinamik basınçlarda hızın artmasıyla zahiri-statik basınç değerleri azalırken, dinamik ve toplam değerler artmaktadır.
- 5) Sadece dalga yayılma etkisi için çizilen normalleştirilmiş yerdeğiştirme, gerilme ve hidrodinamik basınç grafikleri incelendiğinde yerdeğiştirme, yatay gerilme ve kayma gerilmesinde zahiri-statik bileşen etkin olurken, düşey gerilme ve hidrodinamik basınçlar için dinamik bileşen etkin bileşen olmaktadır. Üniorm yer hareketi durumunda, zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerinin toplam davranışa herhangi bir katkıları bulunmamaktadır.
- 6) Sadece tutarsızlık etkisi dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerde yer değiştirme, yatay, düşey ve kayma gerilmelerinin tüm bileşenleri için genellikle en büyük değerler Harichandran ve Vanmarcke (1986) (Model 1) tutarsızlık modeli için

yapılan analizler ile elde edilmiştir. Luco ve Wong (1986) (Model 2a) ve (Model 2b) tutarsızlık modeli ile elde edilen değerler Harichandran ve Vanmarcke (1986) modeli ile hesaplanan değerlerden daha küçük çıkmaktadır. Tutarsızlık modellerinden elde edilen toplam yerdeğiştirme ve gerilme değerleri üniform yer hareketi sonuçlarından genelde daha büyük olurken, hidrodinamik basınçlar daha küçük olmaktadır.

- 7) Sadece tutarsızlık etkisi dikkate alındığında elde edilen varyans değerleri ile sadece dalga yayılma etkisi dikkate alınarak yapılan analiz sonuçları paralellik göstermektedir. Her iki durumda da yerdeğiştirme, yatay gerilme ve kayma gerilmesi için hakim bileşen zahiri-statik bileşen olurken, düşey gerilme ve hidrodinamik basınçlar için dinamik bileşen etkin rol oynamaktadır.
- 8) Sadece tutarsızlık etkisi ve sadece dalga yayılma etkisinin dikkate alındığı analizler ile her iki etkinin de dikkate alındığı genel durum ve üniform yer hareketi analizleri sonuçları karşılaştırıldığında, üniform yer hareketi durumunda toplam yerdeğiştirme değerleri en büyük, genel durumda ise en küçük olmaktadır. Yatay gerilmeler ve kayma gerilmeleri için genel durumda en büyük değerler oluşurken, üniform yer hareketi durumunda en küçük değerler oluşmaktadır. Toplam düşey gerilmelerde ise üniform yer hareketi için en büyük, sadece dalga yayılma etkisi ve genel durum için en küçük değerler meydana gelmektedir. Hidrodinamik basınçlar için de en büyük basınçlar üniform yer hareketi için en küçük basınç değerleri genel durumda ve dalga yayılma etkisi için oluşmaktadır.
- 9) Zemin şartlarının homojen ya da homojen olmaması durumlarında yer hareketinin belirli zaman değerleri için stasyoner olmayan durumda elde edilen yapı tepkileri stasyoner işlem için elde edilen değerlerle oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla analizlerde yer hareketinin zamanla değişimini içeren stasyoner olmayan işlemin dikkate alınması tercihe bırakılabileceği düşünülmektedir.
- 10) Üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve genel durum gibi değişen yer hareketinin özel durumları dikkate alınmak suretiyle stasyoner olmayan davranış için elde edilen değişim, stasyoner işlem için bulunan değişimle genel olarak aynı olmaktadır.
- 11) Zemin şartlarındaki farklılıkların oluşması ile elde edilen tepki bileşenlerine zahiri-statik bileşenin önemli katkısı olmaktadır.

- 12) Genel durumda zemin şartlarındaki değişimin dikkate alınmasıyla elde edilen yerdeğiştirme ve gerilmeler homojen zemin ortamı için bulunan değerlere oranla genellikle önemli artışlar göstermektedir.
- 13) Değişerek yayılan yer hareketinin karakterize edilmesinde kullanılan dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkilerinde her birinin sonuçlar üzerinde önemli etkileri olmakla birlikte zemin etkisinin diğer etkilere oranla daha büyük olduğu görölmektedir.
- 14) Deprem dalgası yayılma hızının bölgelerdeki zemin cinsine göre değişmesi durumunda zahiri-statik bileşenlerin toplam davranışa olan katkısında önemli bir farklılık oluşmamaktadır. Farklı hızlarda yayılan yer hareketi için elde edilen toplam yerdeğiştirme değerlerinde sabit hız ile yayılan yer hareketine oranla daha büyük değerler oluşmaktadır. Yatay gerilme ve kayma gerilmesi değerleri yakın çıkarken, düşey gerilme ve hidrodinamik basınçlar için farklı hız ile yayılan yer hareketi durumunda daha büyük tepki değerleri oluşmaktadır.
- 15) Değişerek yayılan yer hareketinin karakterize edilmesinde zemin türünün, dalga yayılma etkisinin ve tutarsızlık etkisinin yapının davranışı üzerinde etkili olduğu görölmektedir. Dolayısıyla rezervuarlarıyla birlikte oldukça uzun bir yapı olan barajların analizlerinde değişerek yayılan yer hareketinin değişiminin dikkate alınması gerekmektedir.
- 16) Bu çalışmada analizler malzeme ve geometri bakımından lineer kabul edilerek gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalar malzeme ve geometri bakımından lineer olmama durumu dikkate alınarak üç boyutlu baraj-rezervuar-zemin sistemleri üzerinde yansıtan sınırlar dikkate alınarak gerçekleştirilebilir.
- 17) Bu çalışmada deprem hareketinin stokastikliği dikkate alınmıştır. Malzeme bakımından stokastiklik dikkate alınarak baraj-rezervuar-zemin sisteminin analizleri gerçekleştirilebilir.

5. KAYNAKLAR

- Abouseeda, H. ve Dakoulas, P., 1996. Response of Earth Dams to P and SV Waves using Coupled FE-BE Formulation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 11, 1177-1194.
- Abouseeda, H. ve Dakoulas, P., 1998. Non-Linear Dynamic Earth Dam-Foundation Interaction Using a BE-FE Method, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 9, 917-936.
- Abrahamson, N.A., Schneider, J.F. ve Step, J.C., 1991. Empirical Spatial Coherency Functions for Application to Soil-Structure Interaction Analysis, Earthquake Spectra, 7, 1, 1-27.
- Abrahamson, N.A., 1993. Spatial Variation of Multiple Support Inputs, Proc. of the First U.S. Seminar, Seismic Evaluation and Retrofit of Steel Bridges, 1-34, San Francisco.
- Adanur, S., 2003. Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Asma Köprülerin Geometrik Olarak Lineer Olmayan Deterministik ve Stokastik Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akkaş, N., Akay, H.U. ve Yılmaz, Ç., 1979. Applicability of General Purpose Finite Elements Programs in Solid-Fluid Interaction Problems, Computers and Structures, 10, 773-783.
- Akköse, M., 2003. Lagrange Yaklaşımı ile Kemer Baraj-Su-Zemin Sistemlerinin Malzeme Bakımından Lineer ve Lineer Olmayan Dinamik Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akköse, M. ve Dumanoglu, A.A., 1998. Rezervuar-Kemer Baraj-Zemin Sistemlerinin Lineer Olmayan Üç Boyutlu Dinamik Analizi, III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, Bildiriler Kitabı, 57-64, İstanbul.
- Akköse, M., Dumanoglu, A.A. ve Tuna, M.E., 2003. Investigation of Hydrodynamic Effects on Linear and Nonlinear Earthquake Responses of Arch Dams by the Lagrangian Approach, Turkish Journal of Engineering Environmental Science, 28, 25 - 40.
- Akköse, M., Adanur, S., Bayraktar, A. ve Dumanoglu, A.A., 2007. Stochastic Seismic Response of Keban Dam by the Finite Element Method, Applied Mathematics and Computation, 184, 2, 704-714.
- Allam, S.M. ve Datta, T.K., 2000. Analysis of Cable Stayed Bridges Under Multi Component Random Ground Motion by Response Spectrum Method, Engineering Structures, 22, 1367-1377.

- Altınışık, D., 1981. Yaygın Temelli Yapıların Dinamik Analizleri, Deprem Araştırma Bülteni, 34, 45-64.
- Altınışık, D. ve Severn, R.T., 1980. Natural Frequencies and response Characteristics of Gravity Dams, Conference on Design of Dams to Resist Earthquake, ICE, R.23, 167-174, London.
- Alves, S.W., 2005. Nonlinear Analysis of Pacoima Dam with Spatially Non uniform Ground Motion, PhD Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Araujo, J. M. ve Awruch, A.M., 1998. Probabilistic Finite Element Analysis of Concrete Gravity Dams, Advances in Engineering Software, 29, 97-104.
- Aviles, J. ve Li, X., 1998. Analytical- Numerical Solution for Hydrodynamic Pressures on Dams with Sloping Face Considering Compressibility and Viscosity of Water, Computers and Structures, 66, 4, 481-488.
- Aznarez, J.J., Maeso, O. ve Dominguez, J., 2006. BE Analysis of Bottom Sediments in Dynamic Fluid-Structure Interaction Problems, Engineering Analysis with Boundary Elements, 30, 124-136.
- Bathe, K.J., 1996. Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Bathe, K-J. ve Hann, W.F., 1979. On Transient Analysis of Fluid-Structure Systems, Computers and Structures, 10, 383-391.
- 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.
- Bayraktar, A., 1995. Asinkronize Yer Hareketi Etkisindeki Baraj-Rezervuar-Temel Sistemlerinin Dinamik Davranışı, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bayraktar, A. ve Dumanoğlu, A. A., 1998. The Effect of the Asynchronous Ground Motion on Hydrodynamic Pressures, Computers and Structures, 68, 1-3, 271-282.
- Bayraktar, A. ve Hançer, E., Sıvı Yapı Etkileşim Sistemlerinin Lagrange Yaklaşımına Dayalı Stokastik Dinamik Analizi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, Bildiri No: AT-005.
- Bayraktar, A. ve Hançer, E., 2004. Fluid Compressibility Effects on the Stochastic Dynamic Response of Fluid-Structure Systems, The 14th International Offshore and Polar Engineering Conference, Toulon, France , 426-432.

- Bayraktar, A. ve Hançer, E., 2005. Stochastic Analysis of Fluid-Structure Interaction Systems by Lagrangian Approach, Structural Engineering and Mechanics, 20, 4, 389-403.
- Bayraktar, A., Dumanoğlu, A.A. ve Calayır, Y., 1996. Asynchronous Dynamic Analysis of Dam-Reservoir-Foundation Systems by the Lagrangian Approach, Computers and Structures, 58, 5, 925-935.
- Bayraktar, A., Hançer, E. ve Dumanoğlu, A.A., 2005 a. Comparison of Stochastic and Deterministic Dynamic Responses of Gravity Dam-Reservoir Systems Using Fluid Finite Elements, Finite Elements in Analysis and Design, 41, 1365–1376.
- Bayraktar, A., Hançer, E. ve Akköse, M., 2005 b. Influence of Base-Rock Characteristics on the Stochastic Dynamic Response of Dam-Reservoir-Foundation Systems, Engineering and Structures, 27, 10, 1498-1508.
- Bejar, L.A. ve Asce, M., 2000. Reservoir-Bottom Effects On Hydrodynamic Loads for Concrete Gravity Dams Subjected To Earthquakes, US Army Engineer Research and Development Center Waterways Experiment Station.
- Bendat, S.J. ve Piersol, A.G., 1971. Random Data: Analysis and Measurement Procedures, First Edition, John Willey and Sons, Inc., New York.
- Birk, C., ve Ruge, P., 2006. Representation of Radiation Damping in a Dam–Reservoir Interaction Analysis Based on a Rational Stiffness Approximation, Computers and Structures, 85, 1152–1163.
- Bouaanani, N., Paultre, P. ve Proulx, J., 2003. A Closed-Form Formulation for Earthquake-Induced Hydrodynamic Pressure on Gravity Dams, Journal of Sound and Vibration, 261, 573-582.
- Bougacha, S. ve Tassoulas, J.L., 1991 a. Seismic Response of Gravity Dams I: Modelling of Sediments, Journal of Engineering Mechanics, 117, 8, 1826-1837.
- Bougacha, S. ve Tassoulas, J.L., 1991 b. Seismic Response of Gravity Dams II: Effects of Sediments, Journal of Engineering Mechanics, 117, 8, 1839-1849.
- Bougacha, S. ve Tassoulas, J.L., 2006. Dam–Water–Sediment–Rock Systems: Seismic Analysis, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 680–693.
- Button, M.R., Der Kiureghian, A. ve Wilson, E.L., 1981. STOCAL-User Information Manual. Report No. UCB-SESM/81-2, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Calayır, Y., 1994. Beton Ağırlık Barajların Euler ve Lagrange Yaklaşımları Kullanılarak Dinamik Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Calayır, Y. ve Dumanoglu, A.A., 1993 a. Baraj-Rezervuar Sistemlerinin Lineer Teoriye Göre Dinamik Analizi, 2.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 178-187.
- Calayır, Y. ve Dumanoglu, A.A., 1993 b. Static and Dynamic Analysis of Fluid and Fluid-Structure Systems by Lagrangian Method, Computers and Structures, 49, 4, 625-632.
- Calayır, Y. ve Dumanoglu, A.A., 1994. Sıvı Sıkışabilirliğinin Baraj-Rezervuar Sistemlerinin Modal Davranışına Etkisi, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV. Sempozyumu, İstanbul, 151-160.
- Calayır, Y. ve Karaton, M., 2005 a. Seismic Fracture Analysis of Concrete Gravity Dams including Dam-Reservoir Interaction, Computers and Structures, 83, 19-20, 1595-1606.
- Calayır, Y. ve Karaton, M., 2005 b. A Continuum Damage Concrete Model for Earthquake Analysis of Concrete Gravity Dam-Reservoir Systems, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 11, 857-869.
- Calayır, Y., Dumanoglu, A.A., ve Bayraktar, A., 1996. Earthquake Analysis of Gravity Dam-Reservoir Systems using the Eulerian and Lagrangian Approaches, Computers and Structures, 59, 5, 877-890.
- Camara, R.J., 2000. A Method for Coupled Arch Dam-Foundation-Reservoir Seismic Behaviour Analysis, Earthquake Engineering Structural Dynamics, 29, 441-460.
- Chaudhuri, A. ve Chakraborty, S., 2006. Reliability of Linear Structures with Parameter Uncertainty under Non-Stationary Earthquake, Structural Safety, 28, 231-246.
- Chen, M.-T. ve Harichandran, R.S., 1995 a. Effect of Spatially Varying Ground Motion on Earth Dam Response, Engineering Mechanics: Proceedings of 10 Conference, University of Colorado at Boulder, May 21-24, Boulder, Colorado.
- Chen, M.-T. ve Harichandran, R.S., 1995 b. Response of an Earth Dam to Spatially Varying Earthquake Ground Motion, Report No. MSU-ENGR-007-95, Division of Engineering Research, Michigan State University, East Lansing, Michigan.
- Chen, M.-T. ve Harichandran, R.S., 1996. Simplified Response Analysis of Earth Dam to Spatially Varying Earthquake Ground Motion, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering Proceedings, Pergamon, Elsevier Science Ltd., Disc 1, Paper No. 527.
- Chen, M.-T. ve Harichandran, R.S., 2001. Response of an Earth Dam to Spatially Varying Earthquake Ground Motion, Journal of Engineering Mechanics, 127, 9, 932-939.
- Clough, R.W. ve Penzien, J., 1993. Dynamics of Structures, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore.

- Coşkun, S. B. 2007. An Exact Truncation Boundary Condition for Incompressible Fluid Domains in Dam-Reservoir Interaction Analysis, Engineering Structures, 29, 635–639.
- Çetin, M. ve Mengi, Y., 2003. Transmitting Boundary Conditions Suitable For Analysis of Dam-Reservoir Interaction and Wave Load Problems, Applied Mathematical Modelling, 27, 451-470.
- Dakulas, P. ve Hashmi, H., 1992. Wave Passage Effects on the Response of Earth Dams, Soils and Foundations, 97-110.
- Datta, T. K. ve Mashaly, E. A., 1986. Pipeline Response to Random Ground Motion by Discrete Model, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 14, 559-572.
- De Sortis, A. ve Paoliani, P., 2007. Statistical Analysis and Structural Identification in Concrete Dam Monitoring, Engineering Structures, 29, 1, 110-120.
- Der Kiureghian, A., 1980. Structural Response to Stationary Excitation, Journal of the Engineering Mechanics Division, 106, 1195-1213.
- Der Kiureghian, A. ve Keshishian, P., 1996. Effect of Site Response on Spatial Variability of Ground Motion, 11th World Conference on Earthquake Engineering, Oxford, Disc 2, Paper No.705.
- Der Kiureghian, A., Keshishian, P. ve Hakobian, A., 1997. Multiple Support Response Spectrum Analysis of Bridges Including the Site-Response Effects and MSRS Code, Report No. UCB/EERC-97/02, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering University of California, Berkeley, CA.
- Der Kiureghian, A. ve Neuenhofer, A.A., 1991. Response Spectrum Method for Multiple-Support Seismic Excitations, Report No. UCB/EERC-91/08, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Di Paola M. ve Zingales M., 2003. Stochastic Seismic Analysis of Hydrodynamic Pressure in Dam Reservoir Systems, Earthquake Engineering Structural Dynamics, 32, 165–172.
- Dominguez, J., 1997. Earth and Concrete Dams Advances in Earthquake Engineering, Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures, 661-694.
- Dominguez, J. ve Maeso, O., 1993. Earthquake Analysis of Arch Dams II- Dam-Water-Foundation Interaction, Journal of Engineering Mechanics, 513-530.
- DSİ, 1991. Türkiye'deki Barajlar, Ankara.
- Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1984. Dynamic Response of Dams and Other Structures to Differential Ground Motions, Proc. Instn. Civ. Engrs., 2, 77, 333-352.

- Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1990. Stochastic Response of Suspension Bridges to Earthquake Forces, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19, 133-152.
- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 2002. SVEM: A Stochastic Structural Analysis Program for the Spatially Varying Earthquake Motions, Turkish Earthquake Foundation, TDV/KT 023-76, İstanbul.
- Dumanoğlu, A.A., Severn, R.T. ve Taylor, C.A., 1984. Effect of Asynchronous Input on the Response of Dams, Proceedings of Eight World Conference on Earthquake Engineering, 6, 127-133.
- Galli, M., Feltrin, G. ve Bachmann, H., 1994. Application of Linear Fracture Mechanics to The Seismic Assessment of Concrete Gravity Dams, Fracture Mechanics of Concrete Structures, II, 1407-1420.
- Gazetas, G., DebChaudhury, A. ve Gasparini, D.A., 2003. Stochastic Estimation of The Nonlinear Response of Earth Dams To Strong Earthquakes, International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1, 1, 39-46.
- Gazis, G.D., 1985. Dynamic Response of Structures to Multiple Support Seismic Excitations-A Random Vibration Time History Analysis, Doktora Tezi, University of Illinois at Chicago.
- Ghaemian, M. ve Ghobarah, A., 1998. Staggered Solution Schemes for Dam-Reservoir Interaction, Journal of Fluids and Structures, 12, 933-948.
- Ghaemian, M. ve Ghobarah, A., 1999. Nonlinear Seismic Response of Concrete Gravity Dams with Dam-Reservoir Interaction, Engineering Structures, 21, 306-315.
- Ghanat, Y., Hall, R. L. ve Redpath B. B., 2000. Measurements of Dynamic Response of Arch Dams Including Interaction Effects, 12WCE2000.
- Gogoi, I. ve Maity, D., 2006. A Non-Reflecting Boundary Condition for the Finite Element Modelling of Infinite Reservoir with Layered Sediment, Advances in Water Resources, 29, 1515–1527.
- Greeves, E.J., 1990. The Investigation and Calibration of a Novel Lagrangian Fluid Finite Element with Particular Reference to Dynamic Fluid-Structure Interaction, Report No.UBCE-EE-90-05, Department of Civil Engineering, University of Bristol, Bristol.
- Greeves, E.J., 1991. The Modelling and Analysis of Linear and Nonlinear Fluid-Structure Systems with Particular Reference to Concrete Dams, Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Bristol, Bristol.
- Guan, F. ve Moore, I. D., 1997. New Techniques for Modelling Reservoir-Dam and Foundation-Dam Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 16, 285-293.

- Guanglun, W., Pekau, O.A., Chuhan, Z. ve Shaomin, W., 2000. Seismic Fracture Analysis of Concrete Gravity Dams Based on Nonlinear Fracture Mechanics, Engineering Fracture Mechanics, 65, 1 (2000) 67-87.
- Hacıfendioğlu, K., 2004. Değişerek Yayılan Yer Hareketi Etkisindeki Toprak Dolgu Barajların Lineer Olmayan Stokastik Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Hacıfendioğlu, K., 2006. Transient Stochastic Analysis of Nonlinear Response of Earth and Rock-fill Dams to Spatially Varying Ground Motion, Structural Engineering and Mechanics, 22, 6, 647-664.
- Hamdan, F.H., 1999. Near-Field Fluid-Structure Interaction using Lagrangian Fluid Finite Elements, Computers and Structures, 71, 123-141.
- Hamdi, M.A., Ousset, Y. ve Vercehery, G.A., 1978. Displacement Method for the Analysis of Vibrations of Coupled Fluid- Structure Interaction Systems, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 13, 139-150.
- Harichandran, R.S., 1992. Random Vibration Under Propagating Excitation: Closed Form Solutions, Journal of Engineering Mechanics, 118, 3, 575-586.
- Harichandran, R.S. ve Vanmarcke, E. H., 1986. Stochastic Variation of Earthquake Ground Motion in Space and Time, Journal of Engineering Mechanics, 112, 2, 154-174.
- Harichandran, R.S. ve Chen, M.-T., 1996. Reliability of an Earth Dam Excited by Spatially Varying Earthquake Ground Motion, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering Proceedings, Pergamon, Elsevier Science Ltd., Disc 3, Paper No. 1987.
- Harichandran, R.S. ve Wang, W. 1988. Response of One- and Two-Span Beams to Spatially Varying Seismic Excitation. In: Report to the National Science Foundation MSU-ENGR-88-002. Michigan (MI): Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, Michigan State University.
- Harichandran, R.S., Hawwari, A. ve Sweidan, B.N., 1996. Response of Long Span Bridges to Spatially Varying Ground Motion, Journal of Structural Engineering, 122, 5, 476-484.
- Hatami, K., 1997. Effect of Reservoir Bottom on Earthquake Response of Concrete Dams, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 16, 407-415.
- Hawwari, A.R., 1992. Suspension Bridge Response to Spatially Varying Ground Motion, Doktora Tezi, Michigan State University, Michigan.
- Heredia-Zavoni, E. ve Vanmarcke, E. H., 1994. Seismic Random Vibration Analysis of Multisupport-Structural Systems, Journal of Engineering Mechanics, 120, 5, 1107-1127.

- Hindy, A., 1980. Pipeline Response to Random Ground Motion, Journal of the Engineering Mechanics Division, 106, 339-360.
- Idelsohn, S.R., Onate, E., Del Pin, F, ve Calvo, N., 2006. Fluid–Structure Interaction using the Particle Finite Element Method, Computer Methods Applied Mechanics and Engineering, 195, 2100–2123.
- Javanmardi, F., Léger, P. ve Tinawi, R., 2005. Seismic Structural Stability of Concrete Gravity Dams Considering Transient Uplift Pressures in Cracks, Engineering Structures, 27, 616-628.
- Köseoğlu, E, 2007. Sıvı-Yapı Etkileşim Sistemlerinin Lagrange Yaklaşımıyla Stokastik Dinamik Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Küçükarslan, S., 2004a. Dynamic Analysis of Dam-Reservoir-Foundation Interaction in Time Domain, Computational Mechanics, 28, 274-281.
- Küçükarslan, S., 2004b. Time Domain Dynamic Analysis of Dam-Foundation-Reservoir Interaction Including the Reservoir Bottom Absorption, International Journal Numerical Analytical Methods in Geomechanics, 28, 963-980.
- Küçükarslan, S., 2003. Dam-Reservoir Interaction Including the Reservoir Bottom Effects in Time Domain, 16th Asce Engineering Mechanics Conference, University of Washington, Seattle.
- Küçükarslan, S., Coşkun, S.B. ve Taşkın, B., 2005. Transient Analysis of Dam–Reservoir Interaction Including the Reservoir Bottom Effects, Journal of Fluids and Structures, 20, 1073-1084.
- Leclerc, M., Leger, P. ve Tinawi, R., 2003. Computer Aided Stability Analysis of Gravity Dams, Advances in Engineering Software, 34, 403–420.
- Lee, M.C. ve Penzien, J., 1983. Stochastic Analysis of Structures and Piping Systems Subjected to Stationary Multiple Support Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1, 91-110.
- Lee, M.C. ve Penzien, J., 1980. Stochastic Seismic Analysis of Nuclear Power Plant Structures and Piping Systems Subjected to Multiple Support Excitations, Report No, UCB/SEMM-80/19, Earthquake Engineering Research Centre, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Leger P. ve Boughoufalah M., 1989. Earthquake Input Mechanism for Time-Domain Analysis of Dam-Foundation Systems, Engineering Structures, 11, 1, 37-46.
- Leger, P., Ide, I.M., ve Paultre, P., 1990. Multiple-Support Seismic Analysis of Large Structures, Computers and Structures, 36, 6, 1153-1158.

- Li, Q.S., Li, Z.N., Li, G.Q., Meng, J.F. ve Tang J., 2005. Experimental and Numerical Seismic Investigations of the Three Gorges Dam, Engineering Structures, 27, 4, 501-513.
- Lin, Y.K., 1963. Nonstationary Response of Continuous Structures to Random Loading, Journal of the Acoustical Society of America, 35, 2, 222-227.
- Lotfi, V., 2003. Seismic Analysis of Concrete Gravity Dams by Decoupled Modal Approach in Time Domain, Amirkabir University, Tehran, Iran, Electronic Journal of Structural Engineering, 3.
- Lotfi, V. ve Espandar, R., 2004. Seismic Analysis of Concrete Arch Dams by Combined Discrete Crack and Non-Orthogonal Smeared Crack Technique, Engineering Structures, 26, 27-37.
- Luco, J.E. ve Mita, A., 1987. Response of Circular Foundation to Spatially Random Ground Motion, Journal of Engineering Mechanics, 113, 2, 1-16.
- Luco, J.E. ve Wong, H.L., 1986. Response of a Rigid Foundation to a Spatially Random Ground Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 14, 891-908.
- Maeso, O. ve Dominguez, J., 1993. Earthquake Analysis of Arch Dams I- Dam-Foundation Interaction, Journal of Engineering Mechanics, 496-512.
- Maeso O. ve Dominguez J., 2002. Effect of Space Distribution of Excitation on Seismic Response of Arch Dams, Journal of Engineering Mechanics, 759-768.
- Maeso, O., Aznarez, J.J. ve Dominguez, J., 2001. Effects of Space Distribution of Excitation on Seismic Response of Arch Dams, Journal of Engineering Mechanics, 128, 7, 759-768.
- Maeso, O., Aznarez, J.J. ve Dominguez J., 2004. Three Dimensional Models of Reservoir Sediments and Effects on the Seismic Response of Arch Dams, Earthquake Engineering Structural Dynamics, 33, 1103-1123.
- Maugeri, M., Motta, E. ve Zeng X., 1963. Effect of Travelling Seismic Waves on the Dynamic Response of Earth Dams, Soil Dynamics Earthquake Engineering, 12, 61-72.
- Mays, J.R. ve Roehm, L.H., 1991. Hydrodynamic Pressure in a Dam-Reservoir System, Computers and Structures, 40, 2, 281-291.
- Mejia, L. H., Sun, J.I. ve Leung, K.K., 2005. Seismic Upgrade of Hydraulic Fill Dam by Buttressing, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 7-10, 571-579.
- Nasserzare, J., Lei Y. ve Eskandari-Shiri S., 2000. Computation of Natural Frequencies and Mode Shapes of Arch Dams as an Inverse Problem, Advances in Engineering Software, 31, 827-836.

- Ohmachi, T., Jalali A., 1999. Fundamental Study on Near-Field Effects on Earthquake Response of Arch Dams, Earthquake Engineering and Engineering Seismology, 1, 1-11.
- Oliveira, C.S., Hao, H. ve Penzien, J., 1991. Ground Motion Modelling for Multiple-Input Structural Analysis, Structural Safety, 10, 79-93.
- Olson, L.G. ve Bathe, K.J., 1983. A Study of Displacement-Based Fluid Finite Elements for Calculating Frequencies of Fluid and Fluid-Structure Systems, Nuclear Engineering and Design, 76, 137-151.
- Oskouei, V. ve Dumanoğlu, A.A., 2001. Nonlinear Dynamic Response of Concrete Gravity Dams: Cavitation Effect, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, 99-112.
- Pandey, A. P. ve Chadha, R. K., 2003. Surface Loading and Triggered Earthquakes in the Koyna–Warna Region, Western India, Physics of The Earth and Planetary Interiors, 13, 207-223.
- Parrinello, F., ve Borino, G., 2007. Lagrangian Finite Element Modelling of Dam-Fluid Interaction: Accurate Absorbing Boundary Conditions, Computers and Structures, 85, 932-943.
- Paultre, P., Proulx, J. ve Carbonneay, C., 2002. An Experimental Evaluation of Ice Cover Effects on the Dynamic Behaviour of a Concrete Gravity Dam, Earthquake Engineering Structural Dynamics, 31, 2067-2082.
- Peebles, P. Z., 1987. Probability Random Variables and Random Signal Principals, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Priscu, R., Popovici A., Stemiatu, D. ve Stere, C., 1985. Earthquake Engineering for Large Dams, Second Edition, Editura Academia, Bucuresti.
- Proulx J., Paultre P., Rheault J. ve Robert Y., 2001. An Experimental Investigation of Water Level Effects on the Dynamic Behaviour of a Large Arch Dam, Earthquake Engineering Structural Dynamics, 30, 1147–1166.
- Ramadan, O. ve Novak, M., 1993. Simulation of Spatially Incoherent Random Ground Motion, Journal of Engineering Mechanics, 19, 5, 997-1015.
- Sani, A.A., ve Lotfi, V., 2007. Linear Dynamic Analysis of Arch Dams Utilizing Modified Efficient Fluid Hyper-Element, Engineering Structures, 29, 2654–2661.
- Santa-Cruz, S., Heredia-Zavoni, E. ve Harichandran, R.S., 2000. Low Frequency Behavior of Coherency for Strong Ground Motions in Mexico City and Japan, Proc. of the 12WCEE, New Zealand, 5469-5474.

- Schneider, J.F., Step, J.C. ve Abrahamson, N.A., 1992. The Spatial Variation of Earthquake Ground Motion and Effects of Local Site Conditions, Advances in Civil Engineering, Proc. 10thWCEE, Madrid, 967-972.
- Scott, R. F. ve Abdel-Ghaffar, A.M., 1978. Forced Vibration Tests of Earth Dam, Water Power and Dam Construction, 41-45.
- Singh, R., Roy, D. ve Jain, S. K., 2005. Analysis of Earth Dams Affected by the 2001 Bhuj Earthquake, Engineering Geology, 80, 282– 291.
- Singhal, A. C., 1991. Comparison of Computer Codes for Seismic Analysis of Dams, Computers and Structures, 38, 1, 107-112.
- Sivakumar Babu, G.L., Srivastava, A. ve Sahana, V., 2007. Analysis of Stability of Earthen Dams in Kachchh Region, Gujarat, India, Engineering Geology Journal, Ref. ENGE0 2682.
- Soyluk, K., 2001. Değişerek Yayılan Yer Hareketi Etkisindeki Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sweidan, B.N., 1990. Stochastic Response of Deck Arch Bridges to Correlated Support Excitations, Doktora Tezi, Michigan State University, Michigan.
- Szczesiak, T., Weber, B., ve Bachmann, H., 1999. Non-uniform Earthquake Input for Arch Dam-Foundation Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 487-493.
- URL-1, <http://peer.berkeley.edu/smcat/data/ath/SFERN/PCD.AT2,11.01.2008>.
- Weber, B. ve Bachmann H., 2000. A New Computer Program for the Seismic Analysis of Arch Dams Including Joint Nonlinearity and Fluid-Structure Interaction, 12WCE2000.
- Westergard, H.M., 1933. Water Pressures on Dams during Earthquakes, Transactions, ASCE, 98, 1835, 418-433.
- Wilson, E.L., ve Khalvati, M., 1983. Finite Elements for the Dynamic Analysis of Fluid-Solid Systems, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 19, 1657-1668.
- Wung, C.D. ve Der Kiureghian, A., 1989. STOCAL-II: Computer Assisted Learning System for Stochastic Dynamic Analysis of Structures, Part I Theory and Development, Report No UCB/SEMM-89/10, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Yang, C.Y., 1986. Random Vibration of Structures, First Edition, John Wiley, Inc., NewYork.

- Yazdchi, M., Khalili N. ve Valliappan, S., 1999a. Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis via Coupled Finite Element-Boundary Element Method, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 499–517.
- Yazdchi, M., Khalili, N. ve Valliappan, S., 1999b. Non-Linear Seismic Behaviour of Concrete Gravity Dams Using Coupled Finite Element-Boundary Element Technique, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 44, 101-130.
- Zangar, C.N., 1952. Hydrodynamic Pressures on Dams due to Earthquake Effects, Engineering Monograph 11, Bureau of Reclamation, Washington D.C.
- Zangar, C.N., 1953. Hydrodynamic Pressures on Dams due to Horizontal Earthquakes, Proceedings of Society of Experimental Stress Analysis, 10, 93-102.
- Zerva, A., 1991. Effect of Spatial Variability and Propagation of Seismic Ground Motion on the Response of Multiply Supported Structures, Probabilistic Engineering Mechanics, 6, 212-221.
- Zerva, A., 1992. Seismic Loads Predicted by Spatial Variability Models, Structural Safety, 11, 27-35.
- Zerva, A., 1999. Differential Response Spectra for the Seismic Response of Lifelines, Proc. of the Fourth European Conference on Structural Dynamics, Prague, Volume 2, 1153-1158.
- Zhang, X., Wegner, J.B. ve Haddow J.B., 1999. Three-Dimensional Dynamic Soil-Structure Interaction Analysis in the Time Domain, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 28, 12, 1501-1524.
- Zhao, C., Xu, T.P. ve Valliappan S., 2000. Seismic Response of Concrete Gravity Dams Including Water-Dam-Sediment-Foundation Interaction, Computers and Structures, 54, 705-715.
- Zienkiewicz, O.C. ve Taylor, R.C., 1989. The Finite Element Method, Volume 1, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, London.
- Zingales, M., Seismically Induced Non-Stationary Hydrodynamic Pressure in a Dam-Reservoir System, Probabilistic Engineering Mechanics, 18, (2003) 151-163.

ÖZGEÇMİŞ

Yasemin BAYRAM, 1977 yılında Trabzon'un Çaykara ilçesinde doğdu. İlköğrenimini 1983-1991 yılları arasında, lise öğrenimini 1991-1994 yılları arasında Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 1994 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1998 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl DSİ 224. Şube Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. 2000 yılında DSİ 22. Bölge Müdürlüğü'ne atandı. 2003 yılında yüksek lisanssız doktora programına başvurmuş olup, doktora giriş sınavını kazanarak doktora eğitimine başladı. İngilizce bilen Yasemin Bayram evli olup, halen DSİ 22. Bölge Müdürlüğü'ndeki görevini yürütmektedir.