

**SİLİNDİRİK SIVI DEPOLAMA TANKLARINDA
SİSMİK İZOLASYON UYGULAMASI**

Ahmet Sait MERMER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Ahmet Sait MERMER tarafından hazırlanan SİLİNDİRİK SIVI DEPOLAMA TANKLARINDA SİSMİK İZOLASYON UYGULAMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Prof. Dr. Abdussamet ARSLAN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

Üye:Danışman Prof. Dr. Abdussamet ARSLAN

Üye:Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

Üye:Doç. Dr. Uğurhan AKYÜZ

Üye:Yrd. Doç Dr. Özgür ANIL

Tarih : 14.09.2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet Sait MERMER

**SİLİNDİRİK SIVI DEPOLAMA TANKLARINDA
SİSMİK İZOLASYON UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ahmet Sait MERMER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006**

ÖZET

Bu çalışma silindirik sıvı depolama tanklarının sismik izolasyon uygulamasını içerir. Bütün mühendislik yapılarında olduğu gibi depremin etkilerini azaltmak ve zararlarını ortadan kaldırmaya yönelik bir çok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışma sıvı etkisinde olan bir tankın impulsif ve salınım etkilerine karşı tankta meydana gelecek hasarları önlemekte kullanılacak sismik izolasyon uygulamalarını karşılaştırmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup çalışmanın amacı ve sıvı depolama tankları hakkında genel bilgileri içermektedir. İkinci bölümde sismik izolasyonla ilgili yapılan çalışmalar aktarıldı. Aktif ve pasif kontrol hakkında bilgi verildi. Model önerileri üzerinde duruldu. Üçüncü bölümde sıvı depolama tankları ve maruz kaldığı etkilerden bahisle sıvı-zemin, sıvı-tank etkileşimleri göz önüne getirildi. Önceden yapılan çalışmalardan bahsedildi. Dinamik modellemelerde kullanılan ve sıvı-yapı-zemin etkileşimini çözümleme yollarından sonlu elemanlar metodu kısaca ele alındı. Dördüncü bölümde sıvı depolama tanklarının dinamik analizi ile ilgili temeller ve dinamik analiz çözüm esasları verildi. Zemine tam ankre edilmiş örnek bir modelin dinamik analizi yapıldı. Yapılan kabuller aktarıldı. Beşinci bölümde yapısal analiz programı SAP2000 kullanılarak önerilen modellerin

sismik İzolasyon uygulaması çerçevesinde çözümü yapıldı. Bu çözümde 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi İzmit Meteoroloji Müdürlüğünden alınan veriler, 1940 El Centro deprem verileri ile 1994 Northridge deprem verileri kullanılmıştır. Altıncı ve son bölümde sonuçlar irdelendi.

Bilim Kodu :911.1.144
Anahtar Kelimeler :Silindirik sıvı depolama tankı, sismik izolasyon, dinamik analiz, Zaman tanım alanında analiz,
Sayfa Adedi :146
Tez Yöneticisi :Prof. Dr. Abdussamet ARSLAN

**AN EXAMPLES FOR BASE ISOLATION FOR LIQUID STORAGE TANKS
(M.Sc. Thesis)**

Ahmet Sait MERMER

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2006**

ABSTRACT

This study encompasses the seismic isolation of cylindrical liquid storage tanks. Many studies are being conducted to diminish the impacts of earthquakes and to eliminate their harmful effects as is the case in all engineering constructions.

This study aims to compare the seismic isolation practices to be used in the prevention of the harms in the tank against the impulsive and sloshing effects of a tank subject to the liquid effect.

It consists of six chapters. The introductory first chapter includes general information about the purpose of the study and liquid storage tanks. In the second chapter, studies concerning seismic isolations are dealt with. Information is provided in relation to active and passive control. Model suggestions are emphasized. In the third chapter, in relation to liquid storage tanks and the effects to which they are exposed, liquid-tank interactions are considered. Also, previous studies are mentioned. The method of finite element analysis, a way of analysing the liquid-construction-base interaction, used in the dynamic models is briefly described. In the fourth chapter, the essentials regarding the dynamic analysis of the liquid storage tanks and the solution bases of dynamic analysis are covered. The dynamic analysis of an exemplary model anchored fully to the base is done. The related axioms are presented. In

the fifth chapter, the solution of the models suggested via using the structural analysis programme SAP2000 in the framework of seismic isolation practices is provided. In this solution the August 17, 1999 Kocaeli Earthquake İzmit Meteorology data, 1940 El Centro Earthquake data and 1994 Northridge data are used. In the sixth and last chapter, the conclusions are examined.

Science Code	: 911.1.144
Key Words	:Cylindrical liquid storage tanks, dynamic analysis, seismic isolation, time history analysis
Page Number	:146
Adviser	:Prof Dr. Abdussamet ARSLAN

TEŞEKKÜR

Sıvı depolama tankları insanlık ihtiyaçlarının karşılanmasında önemi büyüktür. Bu alanda bugüne kadar bir çok çalışma yapılmıştır.

Türkiye’de özellikle 1999 depreminden sonra bu konu bir kez daha önem kazanmıştır. Bu çalışmada depremde hasar gören tankların nasıl etkilendiği ve sismik izolasyon konusunda dinamik analiz yapılarak nelerin yapılabileceğini inceleme fırsatı buldum. İnşaat Mühendisliği çalışma alanlarında sıvı ve yapının birlikte çalışıldığı bir sistem üzerine çalışıldı.

Çalışmalarım boyunca değerli teşvik, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok kıymetli Hocam Prof. Dr. Abdussamet ARSLAN ‘a, yine çalışmalarına değerli katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen ODTÜ İnşaat Mühendisliği bölümünden Doç. Dr. Uğurhan AKYÜZ ‘e, Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden Yrd. Doç Dr. Kurtuluş SOYLUK hocama , kıymetli arkadaşım Araş. Gör. Emin Kara’ya ve tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma, özellikle tezi hazırlamamda bana sürekli destek veren ve manevi desteğini hep hissettiğim eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xxvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxvii
1. GİRİŞ.....	1
2. SİSMİK İZOLASYON	6
2.1. Pasif Kontrol Yöntemleri	8
2.1.1. Titreşim izolatörleri	8
2.1.2. Sönüm apareyleri	12
2.2. Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri.....	15
2.3. Hibrid Sistemler	21
3. SİLİNDİRİK SIVI DEPOLAMA TANKLARI.....	23
3.1. Geçmişte Yapılan Çalışmalar	27
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi	28
3.3. Silindirik Sıvı Tanklarda Sismik İzolasyon Uygulamaları	28
4. SİLİNDİRİK TANKLARIN DİNAMİK ANALİZİ	33
4.1. Dinamik Analiz Temelleri.....	33
4.2. Geliştirilen Modeller ve Analiz Yaklaşımları	34

4.3. Silindirik Depolama Tanklarında Dinamik Analiz Uygulamaları	37
4.4. Sayısal Örnek	46
4.5. Sismik Yalıtım Uygulaması İçin Dinamik Çözüm Yaklaşımları.....	49
5. YAPISAL ANALİZ PROGRAMI İLE ÇÖZÜMLEME	52
5.1. SAP 2000' in Bazı Özellikleri.....	52
5.2. Sap2000 Paket Programında Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatakların Çözüm Yöntemi.....	54
5.3. Sap2000 Paket Programında Modellerin Kurulması ve Çözümleme Sonuçları	56
5.3.1. El Centro deprem ivmesine göre yapılan çözüm.....	66
5.3.2.Marmara depreminin İzmit Meteoroloji ivme değerleri kullanılarak yapılan çözümü	81
5.3.3. Northridge depremi ivme değerleri kullanılarak yapılan çözüm.....	96
5.4. El Centro, Northridge ve Marmara Depremi İzmit Verileri İle Yapılan Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	110
5.4.1. Taban kesme kuvveti- yer değiştirme ilişkisinin değerlendirilmesi	117
6. SONUÇ.....	137
KAYNAKLAR	140
ÖZGEÇMİŞ	146

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1.H/R oranına göre basitleştirilmiş dinamik model parametrelerinin tavsiye edilen değerleri	44
Çizelge 4.2.Model analiz sonuçlarının kıyası (1 kg =9,81 N)	45
Çizelge 5.1.Kullanılan kauçuk malzemeler	57
Çizelge 5.2.El Centro deprem verilerinin çözümünde kullanılan tank sistemi modelleri	58
Çizelge 5.3.Northridge deprem verilerinin çözümünde kullanılan tank sistemi modelleri	58
Çizelge 5.4.Marmara depremi İzmit Meteoroloji deprem verileri kullanılarak yapılan tank sistemi modelleri	59
Çizelge 5.5.Modellerin incelenmesinde dikkate alınan kriterler	66
Çizelge 5.6.X doğrultusunda görelî yer değiştirme, kesme kuvveti ve moment değerleri.....	115
Çizelge 5.7.Elcentro verileri ile yapılan çözümlerde modellerin incelenen kriterlere göre değerleri.....	116
Çizelge 5.8.Northridge verileri ile yapılan çözümlerde modellerin incelenen kriterlere göre değerleri.....	116
Çizelge 5.9.İzmit Meteoroloji verileri ile yapılan çözümlerde modellerin incelenen kriterlere göre değerleri	116

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Karma sitem olarak geliştirilmiş ve uygulanan sıvılaştırılmış doğal gaz tank kesiti.....	2
Şekil 2.1. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sisteminin kesiti.....	9
Şekil 2.2. Sürtünmeli sarkaç sisteminin kesiti.....	11
Şekil 2.3. Üçgen plakalı metalik enerji yutucu cihazların yapı üzerindeki montaj şekli.....	13
Şekil 2.4. Viskoz - sıvı sönüm cihazı kesiti	14
Şekil 2.5. Citicorp binası ve ayarlı kütle sönümleyicisi.....	14
Şekil 2.6. Sistemin eğitiminde kullanılan şema ve örnekleyici YSA'nın şeması.....	18
Şekil 2.7. AVS sistemi ve şematik gösterimi.....	19
Şekil 2.8. Aktif kütle sönümleyici sistemin şematik şekli.....	20
Şekil 3.1. Hausner'e göre sıvı derinliği boyunca impuls ve salınım basıncının değişimi a) İmpuls basıncı b) Salınım basıncı.....	27
Şekil 3.2. Esnek duvarlı depolar için Haroun-Hausner modeli.....	30
Şekil 3.3. Zemine oturan tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank için sistem önerisi.....	31
Şekil 3.4. Zemine oturan, tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank için matematik model önerisi.....	31
Şekil 3.5. Zemine oturan tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank detayı	32
Şekil 3.6. Zemine oturan, tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank için matematik model önerisi.....	32
Şekil 4.1. Sıvı salınımı ihmal edilmiş impuls etkisinin eşdeğer sistemi	35
Şekil 4.2. Salınım basıncının eşdeğeri (duvarlar üzerinde).....	36
Şekil 4.3. Salınım basıncının taban ve duvarlar üzerinde eşdeğeri.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenen sıvı dolu tankın eşdeğeri	37
Şekil 4.5. Tankta görülen fil ayağı benzeri burkulma.	38
Şekil 4.6. İmpulsif ve salınım kütlelerinin toplam sıvı kütesine oranı.....	42
Şekil 4.7. %2 ve % 0,5 sönüm değerleri için elastik davranış spektrumu	43
Şekil 4.8. İmpulsif ve salınım yükseklik faktörlerinin toplam sıvı yüksekliğine oranı	44
Şekil 4.9. Vibrasyon testi için deneysel düzenek	46
Şekil 4.10. Radyal hareketlerin modlarının şeması	47
Şekil 4.11. İmpulsif ve salınım katsayıları abağı	48
Şekil 4.12. Sismik izolatör uygulaması a)Rijit mesnetlenmiş yapı b)Taban İzolasyonlu yapı	50
Şekil 5.1. Histerik davranışa sahip yüksek sönümlü kauçuk yatakların üç boyutlu kesme şekil değiştirme özellikleri.....	53
Şekil 5.2. 18 Mayıs 1940 El-Centro depremi kuzey-güney ivme-zaman grafiği	61
Şekil 5.3. 18 Mayıs 1940 El-Centro depremi doğu-batı ivme-zaman grafiği	61
Şekil 5.4. 17 Ocak 1994 Northridge depremi kuzey-güney ivme-zaman grafiği	62
Şekil 5.5. 17 Ocak 1994 Northridge depremi doğu-batı ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 5.6. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde İzmit Meteoroloji Müdürlüğü kuzey- güney ivme-zaman grafiği.....	63
Şekil 5.7. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde İzmit Meteoroloji Müdürlüğünden alınan doğu batı ivme-zaman grafiği.....	63
Şekil 5.8. SAP2000 yapısal analiz programında ankastre mesnetli model	64
Şekil 5.9. SAP2000 Yapısal analiz programında kauçuk yatak(izolatör) ve sönümleyici (damper) kullanılarak tasarlanan model tank	64

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. SAP2000 Yapısal analiz programında kauçuk yatak(izolatör) ve sönümleyici (damper) kullanılarak tasarlanan model tank kesiti.....	65
Şekil 5.11. Sap2000 Yapısal analiz programında kauçuk izolator (yatak) ve sönümleyici kullanılarak tasarlanan model tank tabanı	65
Şekil 5.12. El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	67
Şekil 5.13. El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	67
Şekil 5.14. El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği.....	68
Şekil 5.15. El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği.....	68
Şekil 5.16. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği.....	69
Şekil 5.17. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği.....	69
Şekil 5.18. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği.....	70
Şekil 5.19. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği.....	70
Şekil 5.20. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği	71
Şekil 5.21. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözüm y doğrultusunda maks taban kesme kuvveti - zaman grafiği.....	71
Şekil 5.22. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	72

Şekil	Sayfa
Şekil 5.23. El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	72
Şekil 5.24. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği.....	73
Şekil 5.25. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği.....	73
Şekil 5.26. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	74
Şekil 5.27. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği.....	74
Şekil 5.28. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği	75
Şekil 5.29. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği	75
Şekil 5.30. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	76
Şekil 5.31. El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	76
Şekil 5.32. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	77
Şekil 5.33. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	77
Şekil 5.34. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	78

Şekil	Sayfa
Şekil 5.35. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği	78
Şekil 5.36. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	79
Şekil 5.37. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	79
Şekil 5.38. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	80
Şekil 5.39. El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	80
Şekil 5.40. İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	82
Şekil 5.41. İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	82
Şekil 5.42. İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği.....	83
Şekil 5.43. İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği.....	83
Şekil 5.44. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	84
Şekil 5.45. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	84
Şekil 5.46. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	85

Şekil	Sayfa
Şekil 5.47. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği	85
Şekil 5.48. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	86
Şekil 5.49. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	86
Şekil 5.50. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	87
Şekil 5.51. İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	87
Şekil 5.52. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	88
Şekil 5.53. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	88
Şekil 5.54. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	89
Şekil 5.55. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği	89
Şekil 5.56. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	90
Şekil 5.57. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	90

Şekil	Sayfa
Şekil 5.58. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	91
Şekil 5.59. İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	91
Şekil 5.60. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	92
Şekil 5.61. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	92
Şekil 5.62. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	93
Şekil 5.63. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği	93
Şekil 5.64. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	94
Şekil 5.65. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	94
Şekil 5.66. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	95
Şekil 5.67. İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment –zaman	95
Şekil 5.68. Northridge verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	96
Şekil 5.69. Northridge verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	96

Şekil	Sayfa
Şekil 5.70. Northridge deprem verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği.....	97
Şekil 5.71. Northridge deprem verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği.....	97
Şekil 5.72. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	98
Şekil 5.73. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	98
Şekil 5.74. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	99
Şekil 5.75. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği	99
Şekil 5.76. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	100
Şekil 5.77. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	100
Şekil 5.78. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	101
Şekil 5.79. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	101
Şekil 5.80. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	102
Şekil 5.81. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	102

Şekil	Sayfa
Şekil 5.82. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	103
Şekil 5.83. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği	103
Şekil 5.84. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	104
Şekil 5.85. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	104
Şekil 5.86. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	105
Şekil 5.87. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	105
Şekil 5.88. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	106
Şekil 5.89. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği	106
Şekil 5.90. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği	107
Şekil 5.91. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği	107
Şekil 5.92. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	108

Şekil	Sayfa
Şekil 5.93. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği.....	108
Şekil 5.94. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	109
Şekil 5.95. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği	109
Şekil 5.96. Analizde kullanılan tank modellerinde x doğrultusunda oluşan maksimum taban kesme kuvvetleri	110
Şekil 5.97. Analizde kullanılan tank modellerinde y doğrultusunda oluşan maksimum taban kesme kuvvetleri	111
Şekil 5.98. Tank modelinde x doğrultusunda oluşan maksimum taban momenti.....	111
Şekil 5.99. Tank modelinde y doğrultusunda oluşan maksimum taban momenti.....	112
Şekil 5.100. Kauçuk malzeme kullanılan tank modellerinde x doğrultusundaki maksimum momentler.....	112
Şekil 5.101. Kauçuk malzeme kullanılan tank modellerinde y doğrultusundaki maksimum momentler.....	113
Şekil 5.102. Tank modelinde en üst noktada x doğrultusunda oluşan ivmelenme	114
Şekil 5.103. Tank modelinde kütle katılım oranları da dikkate alınan aktif modlar.....	114
Şekil 5.104. El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	118
Şekil 5.105. El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $T = 2,6$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	118

Şekil	Sayfa
Şekil 5.106. El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	119
Şekil 5.107. El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,44$ sn’de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	119
Şekil 5.108. İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	120
Şekil 5.109. İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,32$ sn’de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	120
Şekil 5.110. İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	121
Şekil 5.111. İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 7,725$ sn’de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	121
Şekil 5.112. Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	122
Şekil 5.113. Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 19,3$ sn’de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	122
Şekil 5.114. Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	123
Şekil 5.115. Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 11,44$ sn’de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	123
Şekil 5.116. El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	124

Şekil	Sayfa
Şekil 5.117. El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,58$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	124
Şekil 5.118. El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	125
Şekil 5.119. El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,42$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	125
Şekil 5.120. İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	126
Şekil 5.121. İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,255$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	126
Şekil 5.122. İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	127
Şekil 5.123. İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 35,88$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	127
Şekil 5.124. Northridge verileri ile orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	128
Şekil 5.125. Northridge deprem verileri ile orta sert kauçuk kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 14,58$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	128
Şekil 5.126. Northridge verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	129
Şekil 5.127. Northridge deprem verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,06$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	129

Şekil	Sayfa
Şekil 5.128. El Centro verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	130
Şekil 5.129. El Centro verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,5$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	130
Şekil 5.130. El Centro verileri ile sert kauçuk yatak ve sönülmeyi kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	131
Şekil 5.131. El Centro verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,4$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	131
Şekil 5.132. İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	132
Şekil 5.133. İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,235$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	132
Şekil 5.134. İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	133
Şekil 5.135. İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 35,855$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	133
Şekil 5.136. Northridge verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	134
Şekil 5.137. Northridge deprem verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 11,4$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	134
Şekil 5.138. Northridge verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği	135

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.139. Northridge deprem verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t =$ 10,16 sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu	135
--	-----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ve birlikte kullanılan sönümleyiciler	10
Resim 2.2. Sürtünmeli sarkaç sisteminin uygulaması (San Francisco, ABD)	11
Resim 2.3. Pall tarafından geliştirilen sürtünmeli sönüm cihazı uygulaması	13
Resim 2.4. Ayarlı sıvı sönümleyici uygulaması.....	15
Resim 2.5. Aktif kütle sönümleyici sistem uygulaması.	20
Resim 2.6. Shinsuku kulesi – 1993 V şekilli hibrid kütle sönümleyici uygulaması.	22
Resim 3.1. Tüpraş'ta deprem etkisiyle çıkan yangın nedeniyle hasar görmüş nafta yakıt tankları.....	25
Resim 3.2. Tüpraş'ta deprem sonrası hasar görmüş nafta yakıt tankları.....	26
Resim 3.3. Deprem sonrası deforme olmuş tank.....	26
Resim 3.4. Yunanistan'daki sıvılaştırılmış doğalgaz tankı yapım aşamasında.....	29
Resim 4.1. Tankta görülen fil ayağı benzeri burkulma.	38
Resim 4.2. Tankın üst kısmında sıvı salınımından kaynaklanan hasar	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
m_f	Esnek duvarlı depoda impulsif kütle toplamı
m_{if}	Duvarla birlikte rijit hareket eden kütle
m_f	Salınım yapan impulsif kütle
m_o	Salınım kütlesi
h_i	Eşdeğer impulsif yüksekliği.
h_c	Eşdeğer salınım yüksekliği.
ω_i	İmpulsif doğal periyodu.
ω_c	Salınım doğal periyodu.
ζ_i	İmpulsif sönüm oranı.
ζ_c	Salınım sönüm oranı.
H/R	Doluluk oranı.
H	Tankın içindeki doluluk oranı.
R	Yarı çap.
m_{on}	Matematiksel modelde kütle.
h_{on}	Mekanik modelde yay kütle yüksekliği.
k_n	n.inci yay katsayısı.
s_a	İvme spektrumu.
a_m	Akselogram.
ρ	Sıvının yoğunluğu.
E	Tank materyalinin elastisitesi.
C_i	İmpulsif katsayısı.
C_c	Salınım katsayısı.
T_{imp}	İmpulsif doğal peryotlar.
T_{con}	Salınım doğal peryodu.
M	Devrilme momenti.

Simgeler**Açıklama**

M'	Tankın tabanının hemen altındaki moment.
d	Sıvı yüzeyindeki yükselme miktarı.
q	Temel kesme kuvveti.
α	Akma kuvvetleri
α_n	Son akma rijitliğinin elastik rijitliğe oranı
z_n	Histerik değişken
K_N	Doğrusal etkili rijitlik matrisi
r	Yük vektörleri
u	Zemine göre oluşan görelî yer değıştirme
$\dot{u}$	Zemine göre oluşan görelî hız
$\ddot{u}$	Zemine göre oluşan görelî ivme
C	Sönüm matrisi
M	Diyagonal kütle matrisi
Ω^2	Yapısal frekansı veren diyagonal matris
$[I]$	Birim matris
Λ	Diyagonal modal sönüm matrisidir
$q(t)$	Modal yük vektörleridir
$a(t)$	Modal yer değıştirme vektörüdür
Φ	Mod şekilleri matrisi

Kısaltmalar**Açıklama**

SAP2000	Structural Analysis Program
YSA	Yapay Sinir Ağları
AVS	Active Variable Stiffness System
LNG	Liquefied Natural Gas

1. GİRİŞ

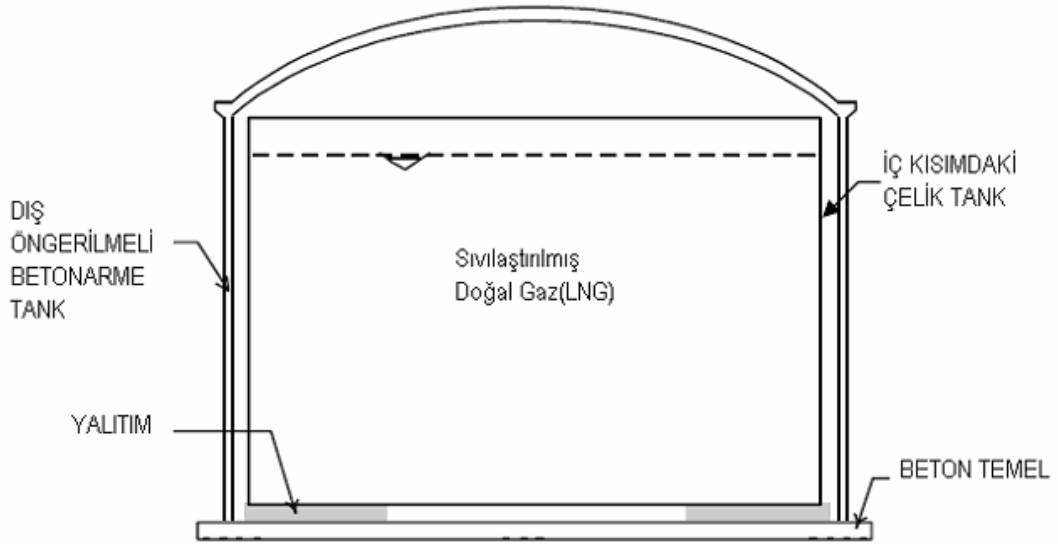
İnsanoğlu varlığından buyana kendi ihtiyacı olan malzemeleri biriktirme ve depolama gereğini duymaktadır. Su, gıda, kimyasal maddeler, doğal gaz vb. ihtiyaç malzemeleri, kendisi ve çevresindeki insanların faydalanması amacıyla depolanmaktadır. Sosyal hayatın ve endüstrinin gelişimi ile birlikte depolama gereksinimi daha da artmıştır. Depolama ihtiyaçları savaş yıllarında daha zaruri hale gelmiştir.

Depolamada kullanılan yapı teknolojileri I. Dünya savaşı sırasında çelik ve betonarme alanlarında uygulama alanı bulmaya başlamış ve bunlara ilaveten öngerilmeli betonarme depolarda inşaa edilmiştir. Bunun yanında sökölme ve yeniden montajı kolay olması sebebiyle çelik tanklar özellikle kimyasal madde ve petrol ürünlerini depolamada uygulama alanı bulmuştur. Son yıllarda petrokimya tesislerinde meydana gelebilecek ve çevresel felaketlere sebebiyet verebilecek olan sıvı tanklarda karma sistemlerde geliştirilmiş ve uygulanır olmuştur [1]. Sıvı doğalgaz depolarında iç cidarı silindirik çelik malzeme, dışarısında ise öngerilmeli betonarme silindirik kabuk yer alan sıvı depolama tankları yapılabilmektedir (Şekil 1.1).

Sıvı depolama tankları insanlığın bir çok gereksinimine cevap verirken özellikle 3deprem etkileri nedeniyle çeşitli formlarda hasar görmektedir. Kuvvetli yer hareketleri olarak bilinen depremler genel adı ile yapılara kinetik enerji vermektedir. Bu enerjinin yapıya iletilmesinin önlenmesi yapıların hasar görmesini engelleyeceğinden hem insan hayatı açısından hem de ülke ekonomileri açısından büyük öneme sahiptir.

Topraklarının ve nüfusunun büyük bir kısmı etkin deprem kuşağında bulunan ülkemizde kayıtlara göre 1902 yılı ile 2006 yılları arasında büyüklüğü 4,5 ile 7,4 arasında değişen 140 ‘ın üzerinde yıkıcı deprem olmuştur [2]. Bu depremler sonucunda büyük can ve mal kaybı meydana gelmiş, ülkemiz maddi ve manevi büyük zararlar görmüştür. Marmara Bölgesi’nde 1999 yılında olan iki büyük deprem

sonrasında da depremler devam etmektedir. Bu da inşa edilen veya edilecek olan yapıların mutlaka depreme dayanıklı olması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 1.1.Karma sitem olarak geliştirilmiş ve uygulanan sıvılaştırılmış doğalgaz tank kesiti

Ülkemizde 1999 yılında derin izler bırakan Kocaeli depreminde 17.000 kişi hayatını kaybederken bölgedeki endüstriyel tesislerde de ciddi maddi kayıplar söz konusu olmuştur. Özellikle Tüpraş rafinerilerinde meydana gelen yangın sıvı depolama tanklarının dizayn ve projelendirmelerinin yanı sıra depreme karşı izolasyonlarının sağlanması konusunda da çalışmalar yapılması gerekliliğini göstermektedir .

Depremlerin oluşumu farklı Mühendislik disiplinleri ve anlayışlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Bunlar depremden dolayı oluşan hasarın yerini tespit ve büyüklüğünü kontrol ederek, depremin yapıya etkisini en aza indirmeyi tasarlayan klasik deprem mühendisliği anlayışının yanı sıra yapıların kinetik deprem enerjisinin yapıya ulaştığı yerde durdurulmasını esas alan anlayışlardır. Diğer bir tarifile akıllı yapılar olarak bilinen ve yapısal kontrol sistemlerini içeren yapılar olarak ta anılan anlayışın temel ilkesi yapıya gelecek sismik etkilere karşı sismik emniyeti sağlamak için yapı titreşimlerini

kontrol altına almaktır. Temel yalıtım uygulamalarını içeren yaklaşımların yanı sıra akıllı binalarda rüzgar yüküne karşıda başarılı sonuçlar alınmaktadır.

Yapının kendisinin deprem esnasında zeminle temasını keserek kaldırılması sonucu depremden üst yapının etkilenmesinin önlenmesi düşüncesi temel yalıtım fikrinin oluşmasında dayanak noktası olmuştur [3].

Genel olarak bir yapıya gelebilecek deprem etkilerini azaltmak için yapının hakim periyodunu uzatmak ya da yapının sönümünü arttırarak görelî yer değıştirmelerini küçültmek gerekmektedir. Bu amaçla gelişmiş ülkelerde yaklaşık 70 yıldır aktif ve pasif kontrol yöntemleri olarak adlandırılan yapı kontrol sistemleri başarıyla uygulanmaktadır. Özellikle Japonya gibi büyük depremlerin sıkça olduğu ülkelerde uygulanmakta olan yapı kontrol sistemleri, yapılarda istenilen deprem güvenliğini büyük ölçüde sağlamaktadır.

Mevcut yapılara uygulanabilen kontrol sistemlerinin yanı sıra projelendirme safhasında detaylandırılmış olan çalışmalarda yapılmıştır. Sismik temel izolasyonlu yapıların tarihsel gelişimi 1891 yılında Japonya’da geliştirilen paralel kademeler halinde dizilmiş dairesel ahşap kütükler üzerine oturan bir yapı öngörüsü ile yapılmıştır. Daha sonra 1907 ‘de ABD’de çelik küreler üzerine oturtulma, 1909 ‘da İngiltere’de yapı ile temel yüzeyi arasına talk konularak yatay harekete izin veren yöntem ve 1929 yılında Yeni Zelanda’da Robert Montalk tarafından deprem şokunu azaltmak üzere yapı ile temel arasına tabaka halinde absorb edici malzeme konulması şeklinde yapılan çalışma görölmektedir. Ancak bunların hiç birisi gerçek yapılarda uygulanmamıştır.

Sismik izolatörün modern anlamında ilk kauçuk mesnet uygulaması Makedonya’nın Üsküp şehrinde üç katlı betonarme bir okul binasında kullanılmıştır [4]. Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Ancak kauçuk içerisinde kurşun elemanlar kullanılmamasından dolayı düşeyde istenen rijitlik sağlanamamıştır. İlk kurşun elemanlar içeren izolatörler 1970’ lerde Yeni Zelanda’da geliştirilmiştir.

Sismik izolatörlerin taban izolasyonu ve kauçuk özelliklerinin gelişimi değişik araştırmalara konu olmuştur [5,6]. Ayrıca , kauçuk mesnetlerin stabilitesi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir[7,8]. Taban İzolasyonlu yapılar üzerinde zemin-yapı etkileşiminin dinamik davranışları pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [9-12]. 3 boyutlu taban izolasyonlu yapıların lineer olmayan dinamik analizleri gerçekleştirilerek bu amaçla kullanılan 3_d Basis isimli birde bilgisayar programı üretilmiştir [13]. İki doğrultuda yer hareketine maruz taban izolasyonlu yapıların davranışları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır[14]. Üst yapı ve Taban izolasyonunda , rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki farktan dolayı meydana gelen eksantristeyi dikkate alan çalışmalarda yapılmıştır [14,15].

Sıvı depolama tankları konusunda mesnetlenme şartlarına bağlı olarak zemine yakın alt kısımlarındaki hasarlar ve içindeki sıvı hareketinden kaynaklanan üst kısımdaki hasarların önlenmesi için modelleme yapmak ve matematiksel modeller geliştirmek çalışmaların temel konusu olmuştur [Bkz.Bölüm 3].

Bunun yanı sıra sınıflandırması bir sonraki bölümde yapılacak olan yapısal kontrol sistemleri ile ilgili izolasyon teknikleri kullanılarak tankların izolasyonu ile birlikte izolasyon malzemelerinin lineer ve lineer olmayan davranışı güncel çalışma alanları arasında yer almaktadır.

Sıvı tanklarının depremlerde hasar görmelerinin başlıca nedenlerinden biri rezonans olgusudur. Büyük kapasiteli silindirik çelik sıvı tanklarının titreşim periyotları genellikle 0,10s ile 0,50s arasında değişmektedir. Bu periyot aralığı aynı zamanda kuvvetli yer hareketlerinin maksimum enerjiyi içerdiği periyot aralığına denk gelmektedir [16]. Çelik sıvı tanklarının depremde hasar görmelerinin bir başka nedeni de, büyük miktarlardaki sismik enerjiyi sönümleyecek bir süneklik mekanizmasına sahip olmamalarıdır. Bu sorunlarının çözümü için değişik yaklaşımlar araştırılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı büyük boyutlu silindirik sıvı depolama tanklarının deprem etkileri dikkate alındığında karşılaştığı sorunlar ile bunların modellenmesi,

matematiksel modellerinin çıkartılması ve bir sismik izolasyon uygulaması önerimi yapılarak lineer olmayan sismik izolasyon uygulamalarını ve kıyaslamalarını içermektedir. Bunun için geliştirilen model ve çözüm örnekleri SAP2000 yapısal analiz programında çözülerek irdelenmiştir.

Çalışma ilk bölümü bu bölüm olup giriş bölümüdür. İkinci bölümde yapısal kontrol sistemleri hakkında bilgiler verilirken dünyadaki ve Türkiyede'ki uygulamalarından örnekler verilmektedir. Üçüncü bölümde silindirik sıvı depolar hakkında genel bilgiler ile sismik izolasyon uygulama örnekleri verilmektedir. Dördüncü bölümde dinamik analiz ve önerilen modelin özellikleri verilmektedir. Beşinci bölümde sistemin 1940 El Centro depremi , 1994 Nortridge depremi ve 1999 Kocaeli depremi İzmit Meteoroloji Müdürlüğü deprem dataları kullanılarak SAP2000 yapısal analiz programı ile çözümü ve sonuçların mukayesesi yapılmaktadır. Altıncı ve son bölümde sonuç değerlendirilmesi yapılmaktadır.

2. SİSMİK İZOLASYON

Depremlerde yapıların hasar görmelerini önlemek için, taşıyıcı sistemin gücüne dayanan sistem ilkeleri yerine, yapıların üstü ve temel tabanına bazı aletler ve ekipmanlar yerleştirilerek, onların deprem esnasında kontrol sistemleri ve ekipmanlar sayesinde yüksek sönüme sahip olmalarını sağlamak yoluna gidilmektedir [17]. Bunun içinde üstyapı ve temeli içene alan farklı uygulamalar ve yöntemler önerilmektedir. Böylece yapıların dinamik hareketleri pasif, aktif yada hem pasif hem de aktif olarak kullanılan hibrid sistemlerle kontrol altına alınacaktır. Bu gruptaki çalışmalar üç ana grupta toplanmaktadır.

- Pasif kontrol yöntemleri
 - Titreşim izolatörleri (tabanda, yapını belirli kısımlarında)
 - Sönüm apareyleri
- Aktif kontrol yöntemleri
- Hibrid kontrol yöntemleri

Günümüzde depremlerin meydana getirdiği etkiler insan hayatını ve sosyal hayatı olumsuz yönde etkilemektedir. Depremlerin meydana gelmesi engellenemeyeceğinden dolayı depremlerin zararlarını azaltma yöntemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [18].

Bu düşünce, geçmişten günümüze kadar insanoğlunun kafasında şekillenmiştir. Binaların depreme dayanıklı tasarlanmasında iki ana yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlardan birincisi klasik deprem tasarımı olarak bilinir, ikincisi ise yapısal sismik emniyeti sağlamak için yapı titreşimlerini kontrol altına alan ve temel yalıtım uygulamalarını içeren yapı kontrol sistemleridir [19].

Kontrol sistem teorisi yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren büyük - gelişmelere tanık olmuştur. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak mühendislik çalışmalarında bilgisayarlar yardımıyla daha kompleks çözümler yapılabilmesi sonucu yapı üzerine uygulamalara farklı bir yaklaşım getirmiştir.

Temelde, kontrol problemi dinamik bir sistemin davranışını istenen kriterlere uygun olarak değiştirebilecek yapısal ve bilgisayar girdileri oluşturmak şeklinde algılanabilir. Ancak günümüzde kontrolü düşünülen sistemlerin daha kompleks bir yapıda olmaları, veri ölçülerindeki hatalar ve sistemin dinamiği konusundaki belirsizlikler, kontrol sistem tasarımını çözümü zor bir problem haline getirmektedir. Bu noktada yüksek kapasitede veri işleyen bilgisayarlar devreye girmektedir. Ekonomik yön dikkate alındığında kurulacak olan sistem maliyeti çok yüksek olmaktadır. Çok fazla uygulama alanı bulamayan bu tasarımının teknolojik gelişmelere paralel olarak daha fazla uygulama sahası bulacağı kesindir.

Temel yalıtım sistemlerinin çalışma alanlarından olan ve yapı temeli altına yerleştirilen metalik mafsallar, neopren yataklar(yastıklar), helezoni yaylar, sürtünmeli pandülleri ile yapının üst yapısında düşey bağlantı elemanları arasına çaprazlar şeklinde yerleştirilen sürtünmeli veya viskoelastik malzemeli sönüm apareyleri genelde “pasif kontrol” sınıfına girerler [19]. Dışardan, dinamik etkileri karşılamak için herhangi bir kuvvet oluşumu söz konusu olmamaktadır. Çünkü bu apareyler deprem esnasında yapıya aktif olarak, dışarıdan herhangi bir kuvvet etkimesini sağlamak yerine, binanın doğal titreşim periyodunu büyütmek veya yapının titreşimlerini sönümlemek gibi pasif bir yarar sağlarlar.

Deprem dalgalarının sonucu olarak oluşan hareketlerinin yapıda oluşturacağı yatay ötelenmelerin aksi istikametinde kuvvetler uygulayan, binanın komple çözümünü saniyenin 1/10 dan daha kısa sürelerde çözümleyen ve tamamen aksi yönde kuvvetler uygulayarak yapının yatay ötelenme yapmasına neredeyse imkan bırakmayan sistemler kullanılmasında aktif bir uygulama söz konusu olmaktadır. Bu tür sistemler dışardan fazla miktarda enerji gerektiren sistemler olarak da ifade edilir.

Hibrid sistemlerde aktif ve pasif kontrol sistemleri birlikte uygulanmaya başlamış olup her iki sistemin avantajlı yönlerini bu tür sistemlerde görmek mümkündür.

2.1. Pasif Kontrol Yöntemleri

Pasif kontrol yöntemleri titreşim izolatörleri ve sönüm apareyleri olarak iki grupta değerlendirilebilir.

2.1.1. Titreşim izolatörleri

Pasif kontrol yöntemleri, deprem etkileri dışında herhangi bir ilave enerjiye gereksinim duymadan çalışmaktadırlar. Bu sistemler taban izolasyon sistemleri ve enerji yutan sistemler olarak iki grupta incelenebilir. Taban izolasyon sistemleri, deprem nedeniyle oluşan kinetik enerjinin izole edilerek depremden dolayı üst yapıda oluşabilecek zararları önlemektedir. Taban izolasyonu kullanılarak inşa edilmiş bir yapı oturduğu zeminin periyodundan farklı bir periyotta salınmaktadır. Yapının periyodu taban izolasyonu sayesinde istenilen miktarda uzatılmaktadır. bu sayede de yapıya gelen kuvvetler azalmaktadır. Taban izolasyonu için kullanılan kauçuk sistemler

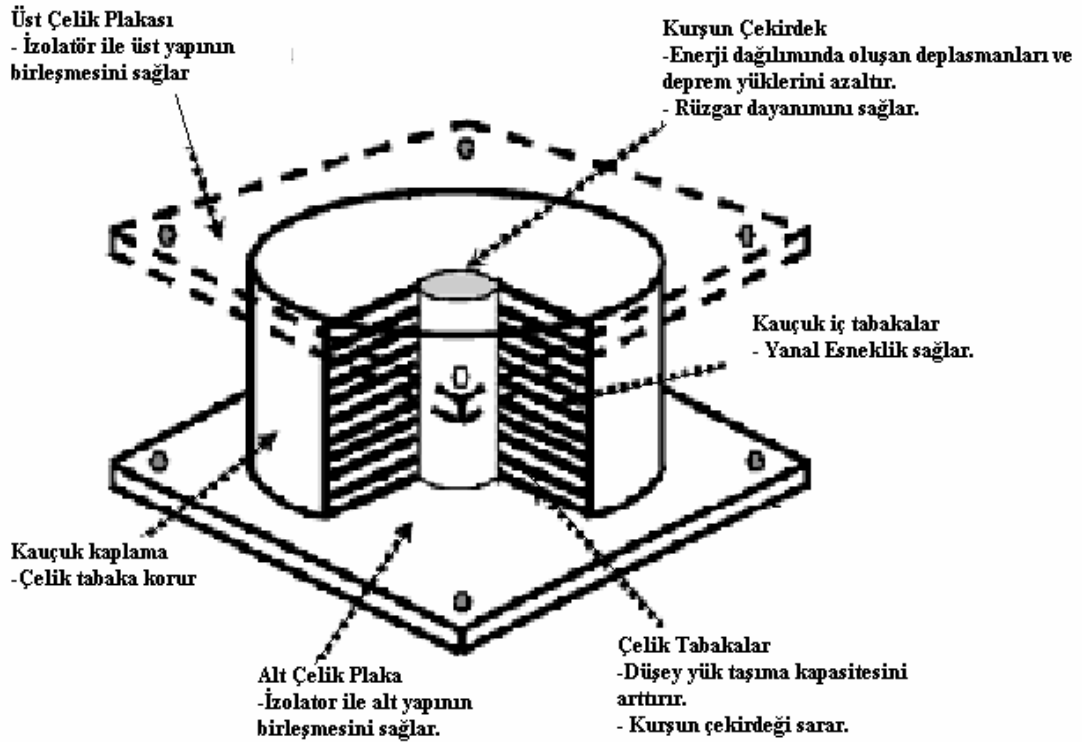
1. Doğal kauçuk yataklar
2. Katmanlı kauçuk yataklar
3. Kurşunlu kauçuk yataklar
4. Yüksek sönümlü kauçuk yataklar

sistemlerdir. Bu sistemlerden gelişmiş ve güncel kullanıma sahip olanlar yüksek sönümlü kauçuk yataklardır.

Taban izolasyon sistemlerinden kauçuk izolatörler, yapı olarak ilk defa Üsküp’de bir ilkokul binasında doğal kauçuk izolatörler kullanılmış ve taban izolasyonu teknolojisine yeni yaklaşımlar getirilmiştir [20]. Burada mesnet sistemi olarak kullanılan doğal kauçuklar arasında tabakalı halde çelik levhalar bulunmadığından mesnetler yanlara doğru şişmiş ve bu nedenle de düşey yönde istenilen rijitlik elde edilememiştir. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğine eşit olduğundan deprem esnasında yapı yatay yönde salınırken düşey yönde de sıçrayabilmektedir. Sonuçta mesnetleri tabakalandırmak suretiyle düşey

rijitlik büyük oranda arttırılmış ve söz konusu sıçrama problemi önlenmiştir. İlk kez A.B.D.' de 1973 yılında ulusal araştırma merkezinde bu sistem geliştirilmiştir. Tabakalandırma işleminde, birkaç milimetre kalınlığında rulo biçiminde üretilen kauçuk, daire biçiminde kesilerek ve aralarına birkaç milimetre kalınlığında çelik levhalar konularak yapılmaktadır [21-22].

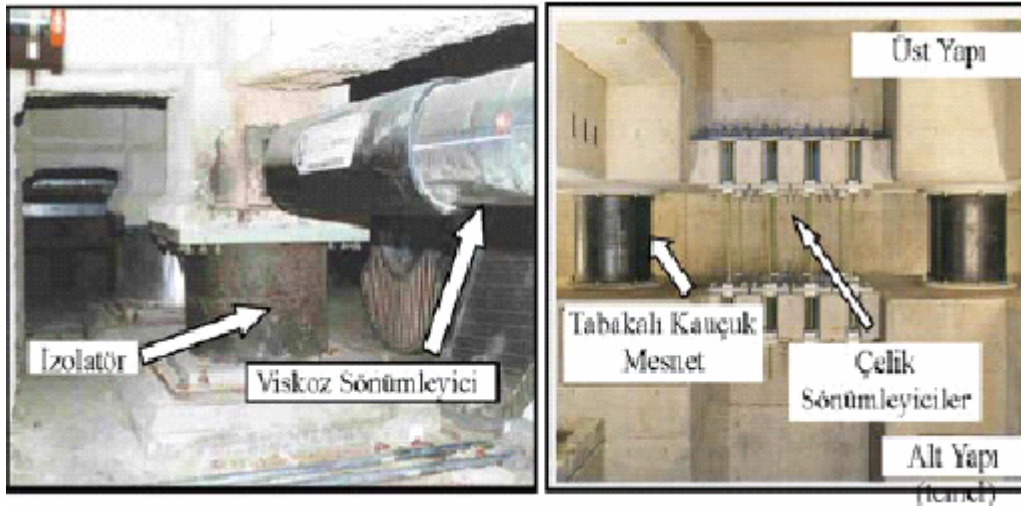
Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sistemi ise, tabakalı kauçuk mesnet sistemine benzemektedir (Şekil 2.1). Ancak kauçuk içindeki kurşun çekirdek, mesnete ilave bir sönüm sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Kurşun çekirdekli izolatörlerde, enerji yutabilme kapasitesinin fazla olması nedeniyle yer değiştirme kapasitesi de azalmaktadır. Ayrıca kurşun çekirdeğin kullanılması ile de deprem hareketinden dolayı oluşabilecek tekrarlı yüklemelerin malzemede yorulmaya sebep olması engellenmektedir



Şekil 2.1. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sisteminin kesiti

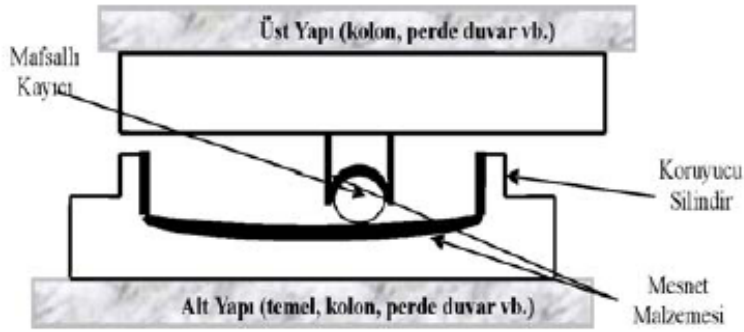
İlk defa 1970'lerin sonlarında Yeni Zelanda'da uygulanan kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sistemi, Japonya'da ve Amerika'da birçok yapıda kullanım alanı

bulmuştur[23]. Kauçuk yataklar kullanılarak yapılan yalıtımın sorunlarından biri aşırı yer değiştirme nedeniyle yapının tekrar aynı yere gelmesinde sıkıntı yaşanmaktadır. Bu sıkıntının da giderilmesi için kauçuk izolatörler, damperler (viskoz sönümleyicilerle), çelik sönümleyiciler yada sürtünmeli sarkaç sistemlerle karma olarak kullanılmaktadır (Resim 2.1) [24]. Taban izolatörlerinin birçoğu daha önce inşa edilmiş yapılara da uygulanmaktadır. Bu nedenle özellikle tarihi yapıların korunumu amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra deprem yada benzeri sebeplerden dolayı hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendirilmesi amacıyla da kullanılabilen izolatörlerle daha güvenilir bir uygulama yapılabilmektedir.



Resim 2.1.Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ve birlikte kullanılan sönümleyiciler

Sürtünmeli sarkaç sistem, daha önce verilen sistemlere göre çok daha yeni bir izolasyon sistemidir. Bu tür sarkaç sistemin uygulandığı yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sarkaç sistemi kayıcı olup silindirik iç bükey yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sürtünmeli sarkaç sisteminin kesiti.

Sürtünmeli sarkaç sistemler, diğer izolasyon sistemlerine benzer şekilde yapının değişik kat seviyelerine uygulanabildiği gibi köprülerde de uygulanmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemlerin temel mantığı ileri bölümde anlatılacak olan hibrid sistemlere de uygunluk göstermektedir. Yapıların üzerinde aktif kontrol elemanları ile desteklenen sistemlerde şayet sistem belli titreşime ayarlanmışsa, aktif sistemin çalışmasından önce yada olumsuz koşullarda aktif sistemin çalıştırılmaması halinde kütle sönümleyici pasif sürtünmeli sarkaç olarak çalışır. Resim 2.2 deki sistemde koruyucu silindir tarafından sağlanan yer değiştirme kontrolü, yapının etkiler karşısında güvenli yerde kalmasını sağlamaktadır.



Resim 2.2. Sürtünmeli sarkaç sisteminin uygulaması (San Francisco, ABD) .

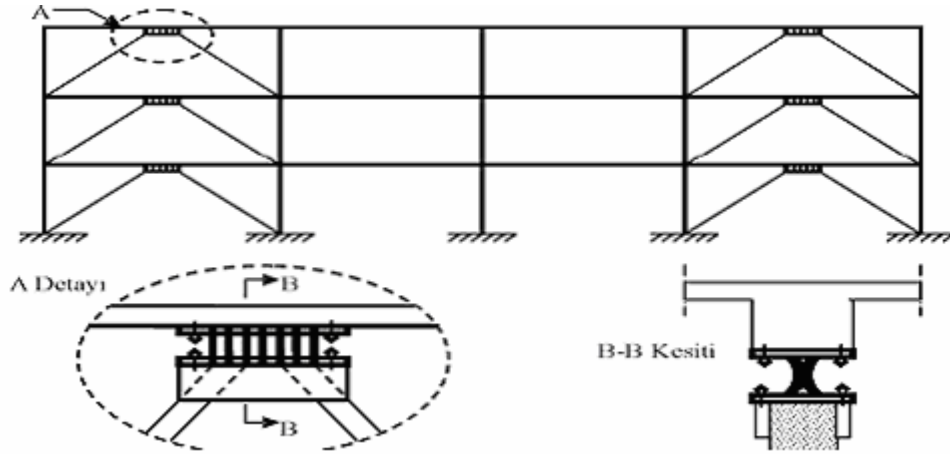
2.1.2. Sönüm apareyleri

Deprem, rüzgar vb. dinamik yüklere dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen pasif kontrol yöntemlerinin bir diğeri de enerji sönümleyen sistemlerdir. Bu sistemlerin temel prensibi yapılarda sözü edilen etkiler oluştuğunda meydana gelen yıkıcı enerjiyi ilave elemanlarla söndürmektir. Sistemler genel olarak yapının sönümünü artırmakta ve görelî yer değıştirmesini azaltmaktadır. Bu amaç için sürtünme esaslı, hidrolik sistemlerden ve ilave kütlelerin farklı periyotlu hareketlerinden yararlanılmaktadır. Enerji yutarak sönümleyen sistemler, metalik sönümleyiciler, sürtünmeli sönümleyiciler, viskoz-elastik sönümleyiciler, viskoz-sıvı sönümleyiciler, ayarlı kütle sönümleyiciler ve ayarlı sıvı sönümleyiciler olarak sınıflandırılabilir.

Metalik sönümleyiciler yapılarda oluşacak yıkıcı enerjiyi söndürmek için genellikle yumuşak çelik plakalardan üretilmiş sistemlerdir. Bu sistemi oluşturmak için çelik plakalar birbirlerine paralel şekilde bağlanmaktadır. Daha sonra bu plakalar V şeklindeki çelik çubuklar arasına yerleştirilmektedir (Şekil 2.3). Bununla ilgili Şekil bir sonraki sayfada verilmiştir.

Sürtünmeli sönümleyiciler ise yapı çerçevesine yerleştirilen sürtünme esaslı ya da hidrolik olarak çalışan cihazlardan oluşmaktadır. En bilinen örneğı 1982 ve 1987'de Pall tarafından önerilen sürtünme esaslı sistemlerdir (Resim 2.3). Resim bir sonraki sayfada verilmiştir.

Bu cihazların yerleştirilmesi kolay ancak bakımları zordur. Metal yüzeyler arasında korozyon sorunları ve kayma yüzeyindeki normal yük, güvenli bir şekilde kontrol edilemez. Ayrıca yıllar sonra metal yüzeyler arasında gevşeme olabilmektedir. Bu nedenle özellikle sürtünme esaslı metalik enerji yutucu sistemler yapılarda duvar ve benzeri kalıcı kaplamalarla kapatılmazlar. Böylece istenildiğı zaman sistemlerin bakımı kolaylıkla yapılabilir ve gerekirse sistemler yenileri ile değıştirilebilir.

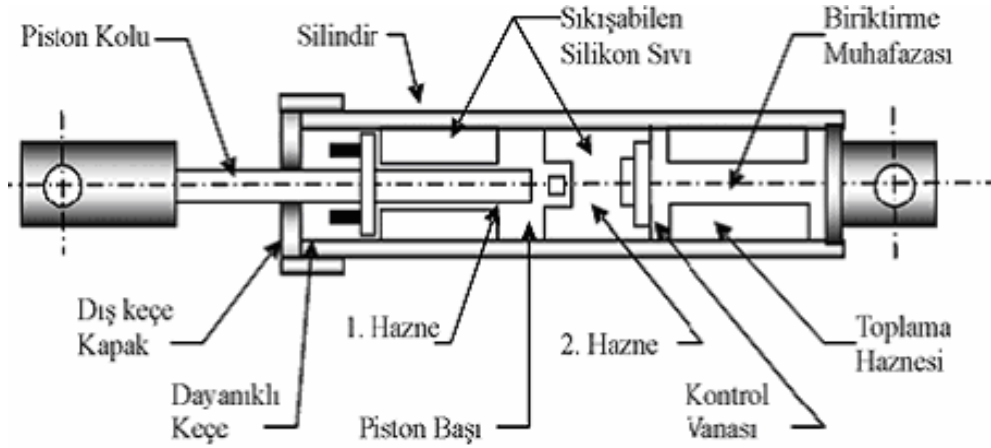


Şekil 2.3.Üçgen plakalı metalik enerji yutucu cihazların yapı üzerindeki montaj şekli.



Resim 2.3.Pall tarafından geliştirilen sürtülmeli sönüm cihazı uygulaması .

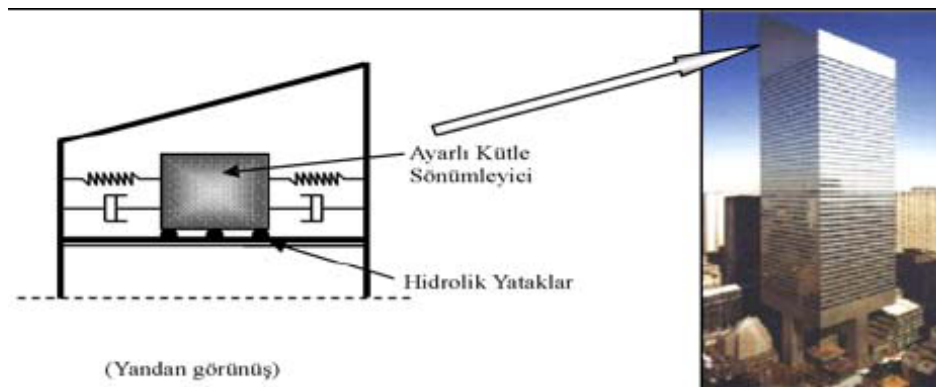
Viskoz sıvı sönümleyiciler ise viskozitesi yüksek bir sıvının bir kanaldan geçişi ilkesi ile çalışmaktadır. Constantinou tarafından 1992 yılında önerilen bu modern sismik izolasyon sistemi, sıkışabilir silikon yağı ile doldurulmuş metal bir silindir ve bu silindir içinde hareket edebilen, ortasında bir boşluk bulunan paslanmaz çelik bir piston ve akümülatörden oluşmaktadır. Akümülatörün çalışmasına bağlı olarak kontrol vanaları açılıp kapanır. Bu durumda silindir içerisindeki pistonun hareketi nedeniyle sıvının akışı sağlanır. Böylece sıvının sıkışmasından yay hareketine benzer kuvvetler oluşur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Viskoz - sıvı sönüm cihazı kesiti

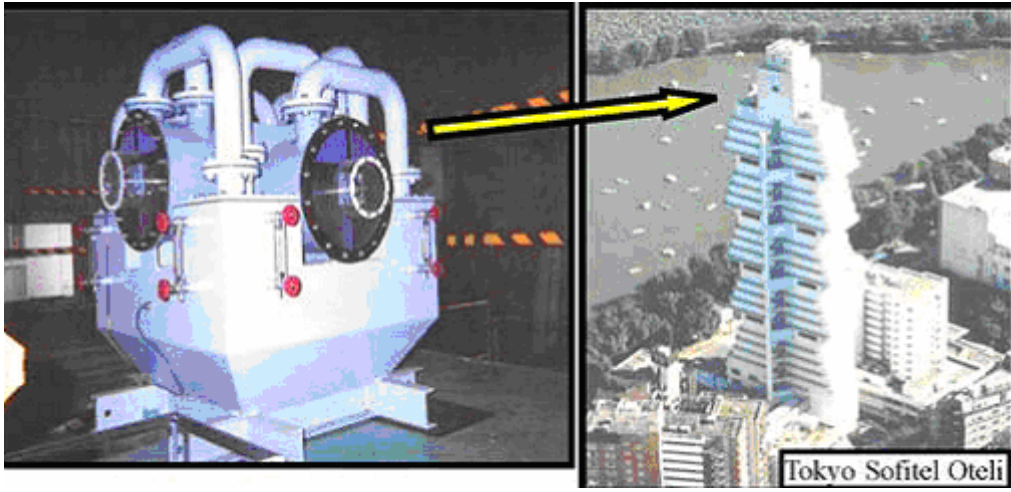
Cihazlar hidrolik çalışma esaslarına göre sınıflandırılmıştır. Bu sistemlerin uygulanması ile katlarda yer değiştirme %30- 70 arasında azalmaktadır.

Çalışma prensiplerine göre yapıda yatay kontrolü sağlayan sistemlerin yanı sıra ayarlı kütle sönümleyiciler ve ayarlı sıvı sönümleyiciler özellikle yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapının kütle merkezinin deprem esnasında yer değiştirmesine paralel olarak kütle merkezini başlangıç şartlarına getirmeyi amaçlayan bu sistemler belirli katlarda yada yer değiştirmenin maksimum olduğu en üst katta yerleştirilen katı yada sıvı kütlelerden oluşmaktadır. Yapı periyodunu ayarlayan bu sistemlere örnek olarak Manhattan şehrinde bulunan Citicorp binası verilebilir. (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Citicorp binası ve ayarlı kütle sönümleyicisi

Ayarlı sıvı sönümleyiciler ise ilk olarak gemilerde titreşimi kontrol etmek için uygulamaya konulmuştur. Ayarlı sıvı sönümleyicisinin temel prensibi ayarlı kütle sönümleyicilerde olduğu gibi, yapının kinetik enerjisinin yutulmasına dayanmaktadır. Ayarlı sıvı sönümleyicilerin kule, köprü v.b. yapılara uygulanışı söz konusudur[25]. Ayarlı sıvı sönümleyicilerin kullanımı ile ilgili uygulamada bir örnek Resim 2.4’de verilmektedir.



Resim 2.4. Ayarlı sıvı sönümleyici uygulaması

Bu sistemde sıvı içine yerleştirildiği tankın tersi yönde hareket ederek u şeklinde borularda bulunan ve sıkışan hava basıncının dengelenmesi ve kontrolü ile yapının periyodunu ayarlayabilmektedir.

2.2. Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri

Son yıllarda özellikle 1990’larda Japonya’da geliştirilen ve akıllı binalar olarak bilinen bir kontrol metodu olan aktif kontrol sistemleri, pasif yapı kontrol sistemlerine alternatif bir sistem olarak sunulmuştur.

Aktif yapısal kontrol sistemleri; binanın hız, ivme ve deplasman gibi davranışlarını kontrol altına alabilmek için dışarıdan verilen bir enerji kullanır ve pasif yapısal kontrol sistemlerinden çok daha etkilidir. Bu sistemlerde herhangi bir bozulma olsa bile sistem en azından pasif yapısal kontrol sistemi olarak çalışmaya devam eder.

Yapı üzerine yerleştirilmiş olan algılayıcı aletler deprem sırasında yapı davranışının kontrolü için gerekli kuvvetleri ölçerek bilgisayar sistemine bildirir. Bilgisayar sistemi deprem kuvvetlerini kontrol altına alacak olan dengeleyici kuvvetleri hesaplayarak bu kuvvetleri uygular.

Başarılı bir tasarım için en önemli ön koşullardan biri sistemin dinamiği konusunda sahip olunan ön bilgidir. Bu ön bilgi ya sistemin yapısal modelinin matematiksel olarak çıkarılmasıyla ya da sistemin çeşitli girdi sinyallerine karşı gösterdiği özelliklerin deneysel olarak belirlenmesiyle oluşturulabilir. Daha sonraki aşamada ise mühendisinin görevi bu ön bilgileri kullanarak istenen çıktı özelliklerini sağlayacak bir kontrol sistemini tasarlamaktadır. Ancak kontrol edilecek prosesin kompleksitesi ölçüm hataları, prosesin yapısal özelliklerindeki belirsizlikler sistemin kesin ve doğru bir dinamik modelinin çıkarılmasını zorlaştırır.

Sistemin içinde çalıştığı ortamda meydana gelen dinamik değişiklikler ya da aniden değişebilecek çıktı gereksinimleri kapalı döngü (closed-loop) kontrol sisteminin dinamiğini büyük ölçüde değiştirebilir. Günümüzde yaygın kullanılan konvansiyonel kontrol tekniklerinin, kompleks dinamik sistemlerin bu tür değişebilen dinamik koşullar altında verimli çalışabilmelerini sağlamaları zordur. Bu da günümüzde kontrol edilecek sistem hakkında daha az ön bilgi gerektiren, değişen sistem dinamiğine karşı performansı belli sınırlar içinde tutabilen kontrol metotlarının tasarımı konusunda geniş çaplı araştırmaların başlamasına neden olmuştur. Bu konuda örnek vermek gerekirse, uyarlamalı kontrol (adaptive control), robust kontrol ve öğrenime dayalı (learning control) sistemlerde, geçtiğimiz 30 sene içerisinde büyük gelişme kaydedilmiş ve sayıları az da olsa endüstride bazı uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

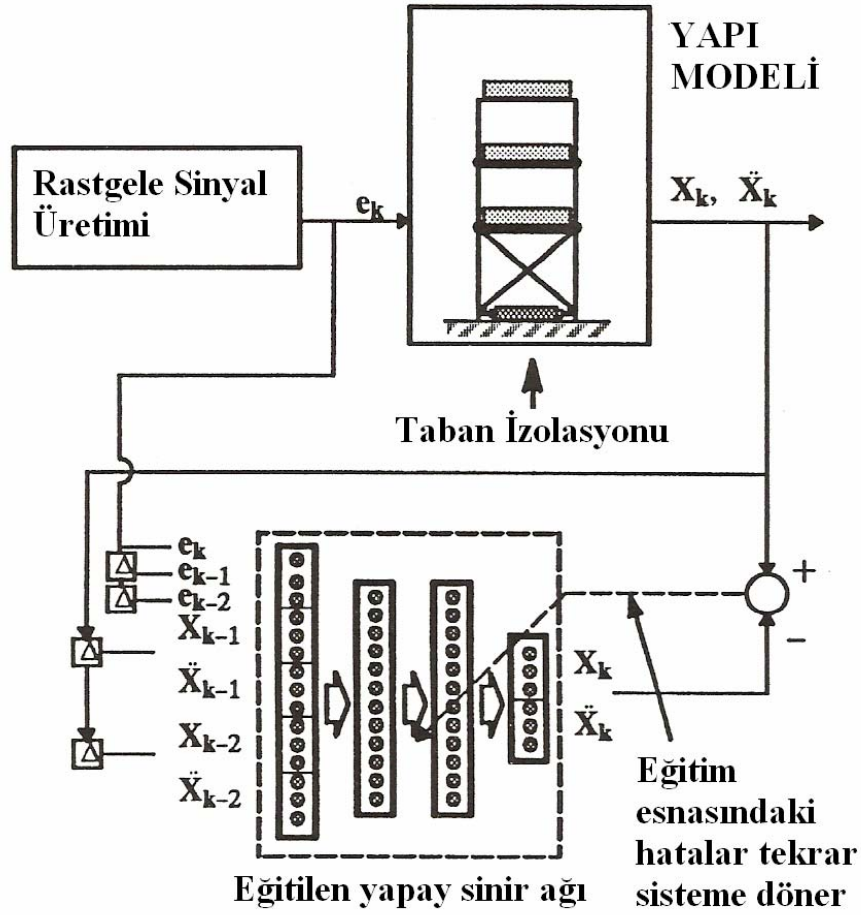
Bu yöntemlerle beraber son yıllarda birçok araştırmaya konu olan yeni bir yaklaşım da akılcı kontrol (intelligent control) sistemleridir. Bu yaklaşım yapay zeka (artificial intelligence) ve uzman sistem (expert system) yöntemlerinin kontrol sistem tasarımı entegrasyonu olarak da düşünülebilir. Ancak bütün bu farklı yaklaşımlardaki temel amaç, sistem dinamiği hakkında minimum bilgiyle sistemdeki

bütünsel işlevselliği arttırabilmektir.

Akılcı kontrol denen yaklaşımda, bilinen klasik kontrol tekniklerinden farklı bir uygulama söz konusudur.

Mesela sistemin belli giriş sinyallerine karşı nasıl davrandığı bir kural tabanında (rule base) saklanır ve daha sonra istenen bir davranış için bu kural tabanından yararlanılarak gerekli kontrol sinyali oluşturulur . Bu tür sistemlerdeki bir başka özellik ise, kontrolde kullanılan verilerin daha kapsamlı oluşudur. Sonuçta, ortaya çıkan kontrol sistemi birçok algılayıcı ünitenin verilerinin bir arada değerlendirilmesi ile gerçekleşebilir. Bu akılcı kontrol yelpazesi altında yer alan yöntemlerde temelde ulaşılmak istenen seviye, kendi kendine karar verebilen çok değişik ortam koşullarına adaptasyon gösterebilen yani kısaca akıllı bir sistem oluşturabilmektedir. Bu tür sistemlerde kullanılan yapay zeka yöntemlerinin istenen seviyede bir işlevselliğin gerçekleşmesinde ne kadar başarılı olabileceği de ileriki günler gösterecektir.

Yapay zeka ve uzman sistemlere dayalı kontrol metotları üzerinde araştırmalar sürerken, geçtiğimiz son 15 yıl içerisinde çok değişik alanlarda uygulamaları görülen ve yapay sinir ağları (YSA) diye adlandırılan yeni bir alan, kompleks sistemlerin kontrolünde ümit vadeden bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapay sinir ağlarının mühendisliğe uygulamaları, YSA'nın insan beyninin mimarisinden esinlenerek oluşturulmasından dolayı bu alandaki çalışmalar YSA'nın güçlü özellikleri göz önüne alınarak hızla gelişmektedir. YSA lineer olmayan çözümlerde yapabilmekte ve öğrenebilmektedir (Şekil 2.6). Eğitilen bir yapay sinir ağı modeli aşağıdaki sayfada verilmiştir. Çalışmalar, insan beynine göre YSA'nın çok ham olduğunu, fakat insan beyni ile temel donanımı aynı olan YSA'nın bilgi iletiminde bazı güçlü karakteristiklerin verilmesiyle matematiksel modellemede işe yarayacağı noktasında birleşmektedirler [26-31].

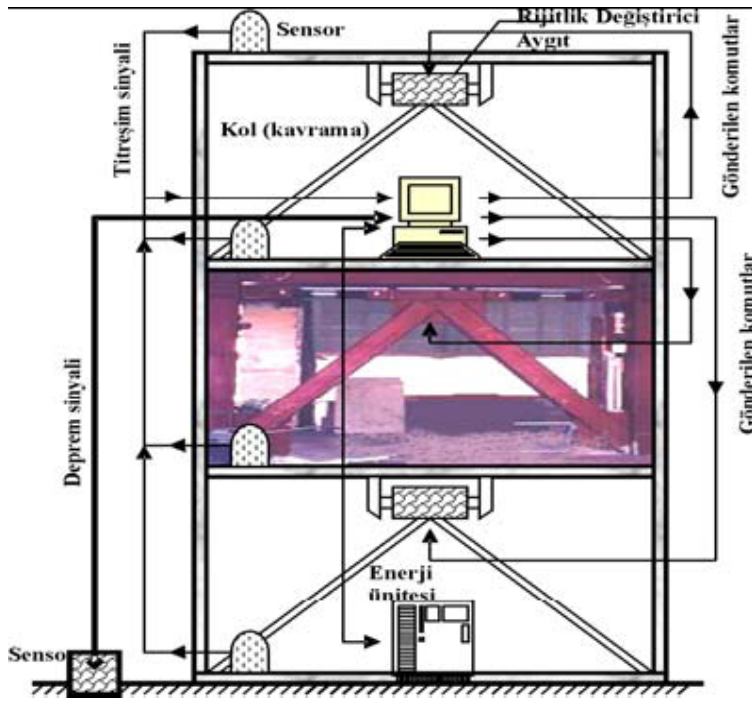


Şekil 2.6.Sistemin eğitiminde kullanılan şema ve örnekleyici YSA nın şeması

Aktif ve Yarı Aktif Kontrol Sistemi Uygulamaları

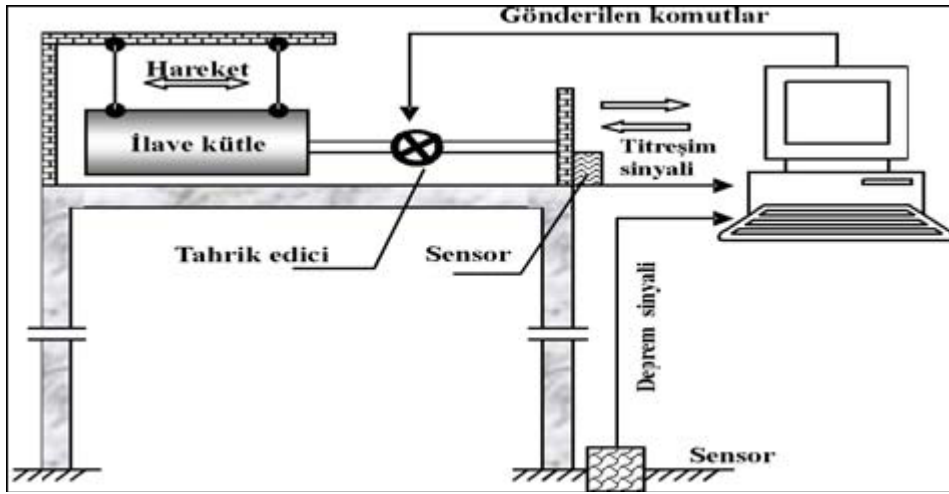
Aktif yapı kontrolünde en yaygın kullanılan sistemler aktif rijitlik değiştirebilen sistemler ve aktif kütle sönümleyicilerdir. Aktif rijitlik değiştirebilen sistemler (AVS:Active variable stiffness) yüksek binalara uygulanabilmektedir. AVS her kata yerleştirilir (Şekil 2.7). Böylece, yüksek yapının karmaşık salınımları bile kontrol edilebilmektedir. AVS ilk defa 1990'da Nishi-Chofu'da Rahman denilen çelik çerçeve sistemi ile inşaa edilmiş olan bir yapıda uygulanmıştır [32]. Rijitlik değiştiren sistemde, 'brace' ismi verilen kollarla (kavramalar) desteklenen yapıda, kollar arasına ve kat kirişlerine paralel olarak rijitlik değiştirici hidrolik aletler yerleştirilmektedir. Sistemde, deprem hareketi sensorlar tarafından anında algılanır.

Kontrol bilgisayarı gerekli dönüştürmeleri yaparak geri dönüşü yapar . Rijitlik değiştiren aletlerin açık ve kapalı durumda olmaları ile kolların etkinliği değiştirilmekte ve yapının rezonans durumuna gelmemesi sağlanmaktadır. Yukarıdaki tüm bu işlemlerin yapılması için gerekli zaman saniyenin 5/100'ünden daha az bir zamandır.



Şekil 2.7. AVS sistemi ve şematik gösterimi.

Aktif Kütle Sönümleyici Sistemler ise şiddetli rüzgar ve depremlerin sebep olduğu titreşimlere karşı, bina içine yerleştirilen ilave kütleler ile, titreşime karşı hareket ederek titreşimin etkisini azaltabilen bir kontrol sistemidir. Japonya'da uygulaması yapılan bu sistemin çok hassas ve güvenilirliği yüksek bilgisayar sistemleri ile kontrol edildiğinden, depreme karşı korunmada eşsiz bir kontrol sistemidir. Çok yüksek yapılar, kuleler, bacalar ve rüzgardan kolay etkilenen dar yapılar ile planda düzensizliği önlenemeyen burulmalı yapılarda burulma titreşimlerini azaltmak için bu sistem tercih edilmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Aktif kütle sönümleyici sistemin şematik şekli.

Bu sistemde; yapının orta katlarına, en üst katına (çatıya) ve zemin dâhil birçok bölgeye yerleştirilen ve titreşimleri anında algılayan cihazlar (sensorlar), yapının bünyesindeki ve zemindeki sarsıntı ve titreşimleri anında algılayarak kontrol bilgisayarına gönderirler. Kontrol bilgisayarı, gelen her bir sinyali inceler, analiz eder ve kontrol kuvvetini üretecek olan tahrik ediciye gönderir. Kontrol kuvvetini üreten tahrik edici verenler, bilgisayar tarafından verilen sinyallere göre ilave kütleyi harekete geçirir (Resim 2.5).



Resim 2.5. Aktif kütle sönümleyici sistem uygulaması.

Yarı aktif kontrol metotları da literatürde yer almaktadır. Titreşim kontrolü için

viskoz sönümleme katsayısı değişen yarı aktif kontrol sistemi bir binanın bodrum katına uygulamışlardır. Son yıllarda, hareketlendiricilerin deprem kaynaklı titreşimleri önlemek için kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yüksek binaların rüzgar ve deprem sırasındaki titreşimlerini azaltmak için aktif-pasif elemanlardan oluşan karma ayarlı kütle sönümleyici geliştirmişlerdir. Bina yapılarında belirsizlikler olduğundan ve sistem parametreleri sabit olmadığından, binaların aktif titreşim kontrolü için güçlü kontrol yöntemleri önerilmiştir .

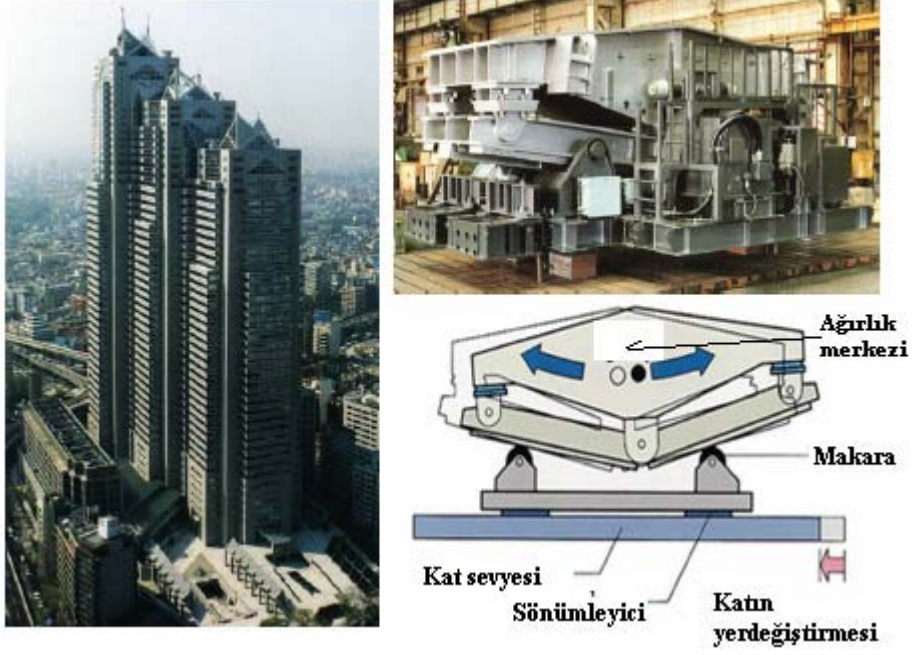
2.3. Hibrid Sistemler

Deprem vb. dinamik etkilerin karşılanması için geliştirilen sistemler arasında hibrid sistemlerde son zamanlarda yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hibrid sistemlerde iki sınıfa ayrılabilir. Bunlar

- Hibrid kütle sönümleyiciler
- Hibrid taban izolasyonlarıdır.

Hibrid sistemler aktif ve pasif kontrol elemanlarının paralel olarak kullanılması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Pasif kontrol elemanları büyük boyutlu etkileri sönümleyen yapının geri dönüşü ve ilk halini almasındaki son düzenlemeleri ise aktif kontrol üniteleri ve elemanları sağlamaktadır. Özellikle korunması gereken hasas cihazların bulunduğu yapılarda hibrid sistemler içerisinde aktif kontrol elemanları yer değiştirme ve ivmelenmenin minimumda tutulmasına yardımcı olmaktadır. Daha çok köprülerde kullanılan bu sistem gökdelenlerde ve hasas binalarda uygulamaları vardır.

Aktif kontrol apareylerinin kullanılamaması durumunda sistemler pasif yapısal kontrol yapmaktadır. Hibrid sistemlerde aktif kontrol sistemlerinden daha az enerji gereksinimi vardır.[33-34]



Resim 2.6.Shinsuku kulesi – 1993 V şekilli hibrid kütle sönümleyici uygulaması.

3. SİLİNDİRİK SIVI DEPOLAMA TANKLARI

Tanklar zemindeki durumlarına göre yeraltı, yerüstü ve ayaklı tanklar olarak sınıflandırılabilir [35]. Silindirik sıvı depolama tankları yerüstü yapıları grubuna girmektedir.

Sıvı depolama tankları hidrolik ve yapısal düşüncelerin beraber değerlendirilmesi gerektiği yapılardır. Dolayısıyla hidrolik etkiler ve yapısal etkilere optimum düzeyde cevap verebilir olmaları gereklidir. Sıvı sistemlerin yapılarla etkileşimi farklı mühendislik alanlarında inceleme konusu olmuştur. Sıvı-yapı etkileşimi tanklar içinde yapısal açıdan önem arz etmektedir. Çünkü yapısal açıdan yeterli olan bir tank hidrolik açıdan yeterli olmayabilir. Hidrolik açıdan yeterli bir tankda yapısal açıdan yetersiz olabilir.

Tanka etkiyen statik ve dinamik yüklerin belirlenmesi, bu yüklere göre matematik modellemesinin yapılarak yapısal çözümlemelerinin hazırlanması, boyutlandırılması, detaylandırılması ve hazırlanan projeye göre inşa edilmesi yapı mühendisliğinin alanıdır. Projelendirme yapılırken ve uygulanırken tankın oturduğu zemin ve konumu ile tankın sınıfı belirlenmektedir. Büyük kapasiteli silindirik tanklar çeşitli sıvıların ihtiyaç miktarınca depolanmasına fırsat verecek büyüklükte projelendirilmektedir. Bu anlamda tanka etkiyen dış ve iç kuvvetlerle deprem vb. yüklerden kaynaklanan etkiler kapasitenin de büyüklüğü gözönünde bulundurularak hesaba katılmaktadır.

Sıvı-yapı etkileşiminden kaynaklanan iki tür etki, silindirik sıvı depolarda matematiksel modellemelerin oluşturulmasında etkili olmuştur. Bunlar ilerdeki bölümlerde detaylı olarak anlatılacak olan impulsif ve salınım etkileridir. Bunlar hidrodinamik etkilerin oluşum sebeplerindendir. Zemin-yapı etkileşiminde tankın oturduğu yerin karakteristiklerinin önemi büyüktür.

Silindirik sıvı depolama tanklarının araştırma konusu olan problemlerinin başlıcaları tank- sıvı , tank-zemin etkileşiminin yanında salınım ve impuls etkileridir. Bunlarla

ilgili çalışmalar başlangıçta analitik yöntemlerle yapılan çalışmalar olurken bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak sayısal yöntemlere dayanan çalışmalarda yapılmıştır. Bilgisayarların kapasiteleri artıp sayısal işlemleri daha iyi yapabilir duruma gelmesi, ileri fonksiyonel ifadelerin hızlı bir şekilde çözdürülebilmesi sayısal yöntemlere dayanan modellemelerin oluşturulmasını kolaylaştırmıştır.

Silindirik çelik sıvı tanklarında gözlenen başlıca deprem hasarları aşağıda sıralanmıştır [36].

- Devirme momentinin yarattığı eksenel basınç gerilmelerinin tank duvarının alt kısmında oluşturduğu elastik-plastik burkulma.
- Eksenel basınç gerilmelerinden dolayı tank duvarının elastik burkulması.
- Tankın üst kısmında düşük basınç sebebiyle oluşan elastik burkulma
- Tank tavanının göçmesi
- Yere sabitlenmemiş tanklarda alt levha ile tank duvar arasındaki bağlantının kırılması
- Temelde farklı oturmalar
- Tanka bağlı boruların çatlaması veya kırılması
- Tankın kayması

Silindirik tanklar sıvı depolama için kullanılırken su deposu olarak kullanılmasının yanı sıra petrol veya LNG gibi tehlikeli sıvıları depolamak için de kullanılmaktadır ve bu depoların önemli bir bölümü deprem bölgelerinde yer almaktadır. Bu yapılarda deprem sonucu ortaya çıkan yangınların kontrol edilmesi güç olmakta ve çevredeki diğer yapıların da hasar görmesine ve önemli ekonomik kayba neden olmaktadır.

Buna ek olarak, yakıt sızıntıları ve zehirli kimyasal bulutları büyük ölçüde çevre felaketlerine yol açmaktadır (Niigata, 1964, Miyagi-Ken-Oki,1978 ve Kocaeli, 1999). Kocaeli depreminde Tüpraş rafinerisinde bulunan yüzen-çatılı (floating roof) Nafta yakıt tanklarından birinde çıkan yangın, çevredeki diğer tanklara da yayılmış ve yaklaşık 500 milyon dolarlık ekonomik kayba neden olmuştur.[37] Tüpraş rafinerisinde bulunan Nafta yakıt tanklarında oluşan hasarlar Resim 3.1’de görülmektedir.



Resim 3.1.Tüpraş’ta deprem etkisiyle çıkan yangın nedeniyle hasar görmüş nafta yakıt tankları



Resim 3.2.Tüpraş'ta deprem sonrası hasar görmüş nafta yakıt tankları

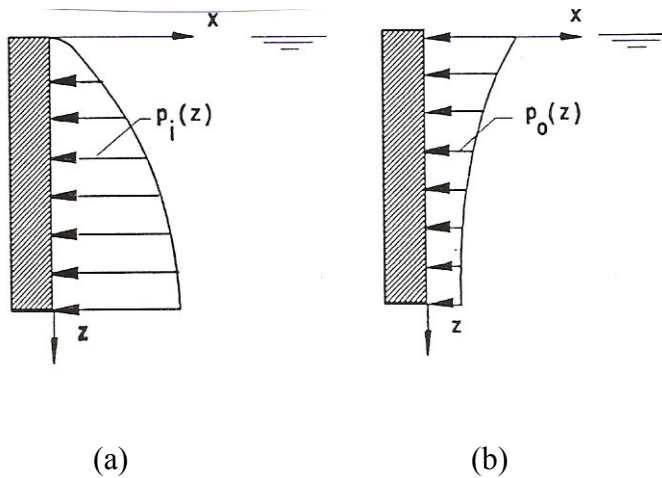


Resim 3.3.Deprem sonrası deforme olmuş tank.

3.1. Geçmişte Yapılan Çalışmalar

Teknik literatürde sıvı depolama tanklarının statik ve betonarme hesaplarıyla, ön gerilmeli beton ve çelik tankların hesap ve inşa tekniklerini içeren bir çok çalışma mevcuttur. İlk çalışmalar [38,39] 18 yüzyılın ikinci yarısında yapılmıştır. Araştırma yapan kişilerin başlıcaları Guthrie, Rayleigh ve Nikolai gelmektedir [40-43]. Rayleigh 1883 'de yapmış olduğu çalışmada silindirik bir tankta sıvı titreşimlerini incelemiştir. Özellikle akaryakıt tanklarının uygulama şekli olarak dairesel geometride yapılması silindirik sıvı depolama tanklarının incelenmesi yönünde büyük bir etkiye sahip olmuştur.

Salınım ve impulsif etkiler sonucu oluşan hidrodinamik basınçlarla ilgili olarak da ilk çalışmalar, Westergaard'ın 1931 de yayınlanan çalışmasıdır.[44] Bundan sonra çeşitli kabul değişiklikleri yapılarak hidrodinamik basıncın tespiti için çalışmalar yapılmıştır[45-47]. Housner yöntemi olarak bilinen ve mühendislikte bir çok uygulama bulmuş yöntem, diğer araştırmacıların uyguladığı yöntemde dikkate aldığı impulsif etkilerin yanında salınım etkilerini dikkate almıştır [48]. Housner'e göre sıvı derinliği boyunca impuls ve salınım basıncının değişimi Şekil 3.1'de verilmektedir. Bu çalışmalardan sonra her iki basıncı dikkate alan Veletsos'un hidrodinamik basınçlarla ilgili çalışmaları mevcuttur [49]



Şekil 3.1. Housner'e göre sıvı derinliği boyunca impuls ve salınım basıncının değişimi a) İmpuls basıncı b) Salınım basıncı

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bu çalışmaların birçoğunda Euler ve Lagrange yaklaşımları kullanılmıştır. Yapı-zemin-sıvı etkileşimlerinde sayısal yöntemler uygulanırken iki temel yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi 1980 li yıllardan sonra kullanılmaya başlanan sınır elemanları yöntemidir [50-52]. İkincisi ise sonlu elemanlar metodudur.

Sonlu elemanlar yöntemi yapı-sıvı, yapı-zemin etkileşimlerini dikkate alan yaklaşımlarda, Westergard'ın kütle ekleme ile Euler ve Lagrange yaklaşımları olmak üzere üç şekilde uygulanmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi 1970 den sonra sıvı depolama tanklarının, nükleer santrallerin ve sıvıyla etkileşim halindeki diğer yapıların dinamik hesabında kullanılagelmektedir [53-59].

Yapısal analizde bilinmeyenler yer değiştirmelerdir. Sıvıda ise bilinmeyen düğüm noktalarında basınçlardır. Euler yaklaşımı sonlu elemanlar modelini bu basınç girdilerine göre sağlamakta ve yapı-sıvı sisteminde uyumsuzluğa sebep olmaktadır. Lagrange yaklaşımı ise bunu sonlu eleman düğüm noktalarının yer değiştirmesi cinsinden ifade eden terimleri dikkate almaktadır [60].

3.3. Silindirik Sıvı Tanklarda Sismik İzolasyon Uygulamaları

Sıvı depolama tanklarında sismik izolasyon sistemi uygulamaları çeşitli sismik sönülmeyiler kullanılarak yapılmaktadır. Bunların başında da yüksek sönümlü kauçuk yataklar ve sürtünme pandüllü yataklar gelmektedir [61]. Sismik izolasyonun tanklarda kullanılması durumunda tankın titreşim periyodu uzamakta ve dolayısıyla da rezonans aralığından uzaklaşmaktadır. Bu sistemin diğer bir avantajı da enerji sönümü için bir mekanizma sunmasıdır.

Yakın zaman içerisinde sıvı doğalgaz depolama tankı projesi için Bomhard and Stempniewski 1993'te bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada sıvılaştırılmış doğalgaz depoları çift cidarlı düşünülmüştür.

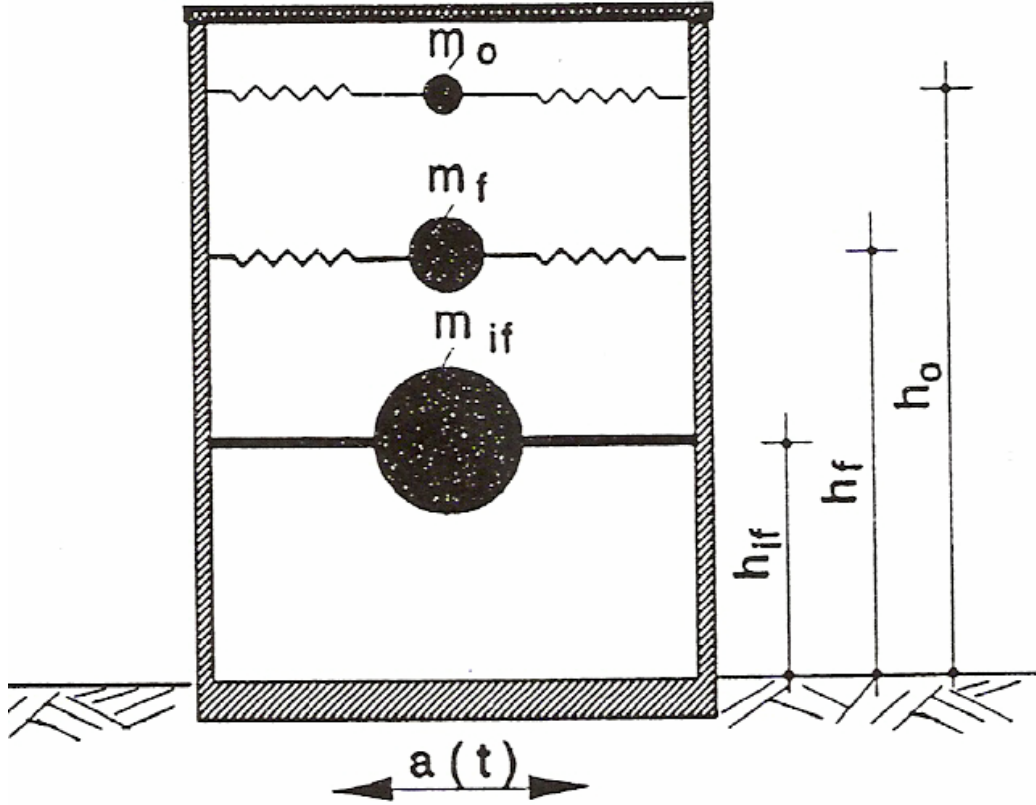
Sıvı doğalgaz tanklarının kapasiteleri 150.000 m^3 e ulaşmaktadır. Yakın zamanda Güney Kore ve Yunanistan'da uygulanan sıvılaştırılmış doğalgaz depolama tankları projeleri mevcuttur. Güney Kore'de uygulanan ilk projede 100.000 m^3 kapasitesinde tasarlanmış ve projelendirilmiştir [62]. İçte çelik malzemeden silindirik tankın dışına öngermeli betonarme tank, iki uygulamada sırasıyla 30 ve 68 m. yüksekliklerinde uygulanmıştır. Zayıf zemin durumundan dolayı kazık temel kullanılmıştır. Tabanında 60 cm çaplı ve 22,8 cm yükseklikli yüksek sönümlü kauçuk kullanılmıştır. Projelendirme periyodu 3 sn olarak belirlenmiştir. %2 lik bir depreme karşı koyacak seviyede dizayn yapılmıştır. Yunanistan'daki projede 65.000 m^3 lük 2 tank yapılmıştır. İç tank nikel-çelik malzemeden dış tank ise öngermeli betondan yapılmıştır. Çapı 65,7 m ve yüksekliği 22,5 m. dir. Burada bir izolasyonlu bir de izolasyonsuz tank yapılmıştır. İçteki ince cidarlı çelik termal etkileri azaltacak şekilde dizayn edilmiştir.



Resim 3.4. Yunanistan'daki sıvılaştırılmış doğalgaz tankı yapım aşamasında

Silindirik sıvı depolama tanklarında sismik izolasyon uygulamaları tank-zemin ilişkisi içerisinde dikkate alınmaktadır. Burada tabanın kısmen zeminden ayrılması veya zemine tam ankrajına göre modeller önerilmiştir. Housner duvarların esnek olması durumu için önerdiği matematiksel model Şekil 3.2 de verilmiştir. Buna göre sıvının zemine yakın olan bölümünde bir kısmı tankla aynı hareketi yapmakta ve bu sıvı kütlesi rijit bağlı olarak gösterilmektedir. [63-64,68-69] İmpulsif ve salınım

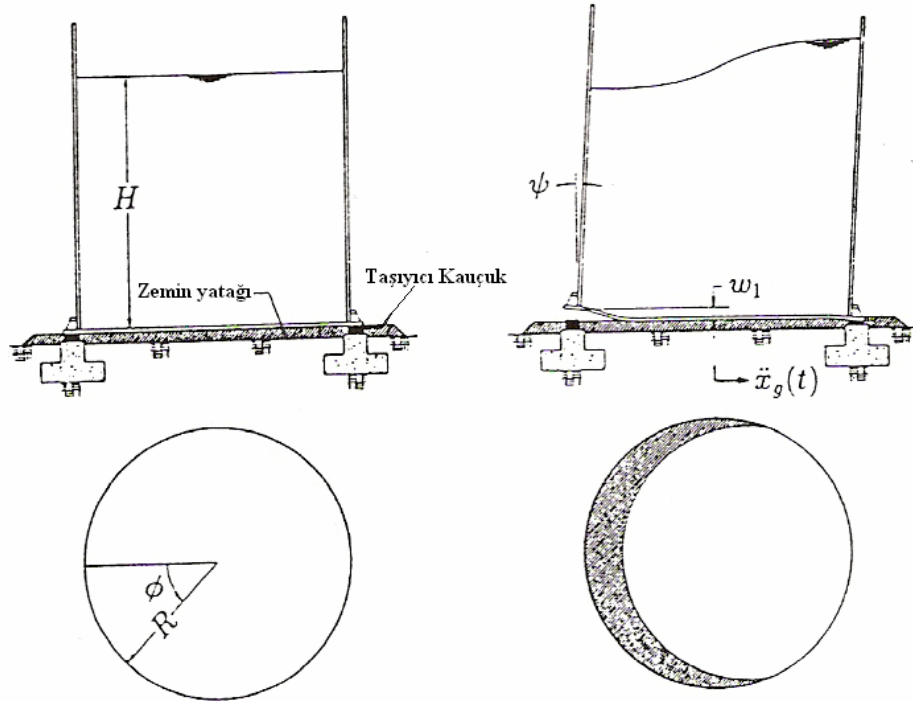
kütleleri ve bunlara karşılık gelen yükseklikler şekilde gösterilmiştir. $m_f = m_{if} + m_o$ toplam impulsif kütlenin hesabında kullanılmıştır. m_o ise salınım etkilerinden dolayı oluşmuş olan sıvı kütlesini göstermektedir.



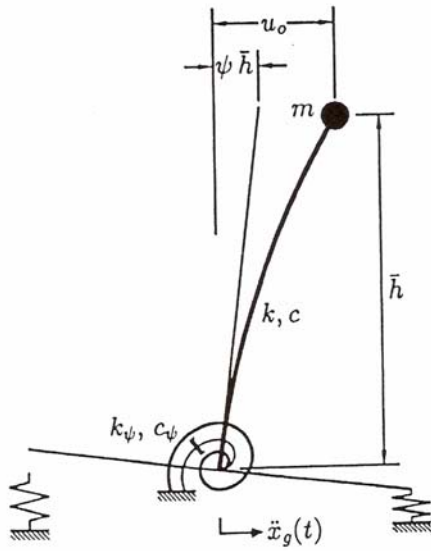
Şekil 3.2.Esnek duvarlı depolar için Haroun-Hausner modeli

Sıvı –yapı etkileşiminde Malhotra nın modelinde zemin etkileşimiyle beraber düşünülmüştür. Bu yaklaşımda taban tam ankastre olarak düşünülmektedir.

Bir sonraki bölümde aktarılabacak olan dinamik analiz modelinde de dikkate alınacak olan sistem önerisi ve matematik modeli Şekil 3.3’de verilmektedir. Malhotra bu çalışmasında salınım etkilerini dikkate almamıştır. Matematiksel modelde taban kalkmaları göz önünde bulundurularak çevre kenarlar yay modeli ile tanımlanmaktadır. Kütle sadece impulsif olarak tek serbestlik dereceli sisteme uygun önerimde bulunulmuştur.



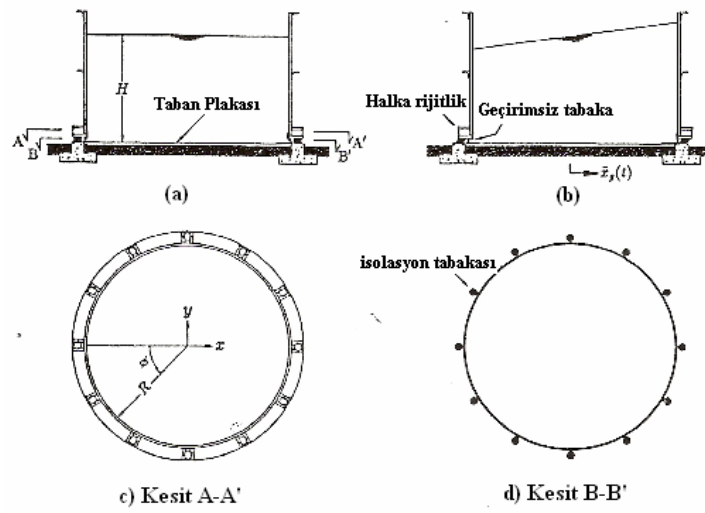
Şekil 3.3. Zemine oturan tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank için sistem önerisi



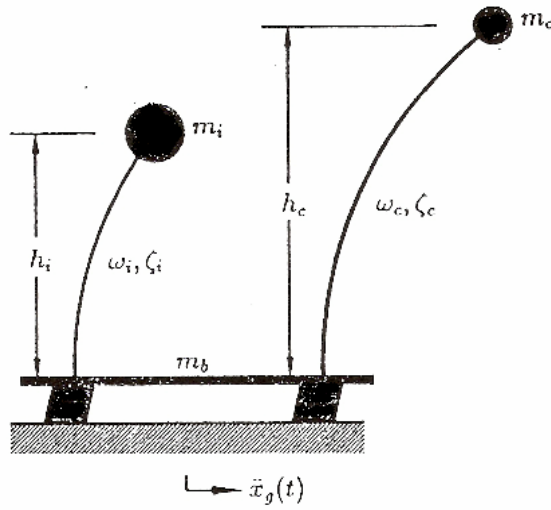
Şekil 3.4. Zemine oturan, tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank için matematik model önerisi

Malhotra'nın salınım etkilerini de dikkate alan modeli ise Şekil 3.4 de verilmektedir. Bu şekillerdeki m_i ve m_c impulsif ve salınım kütleleri, h_i ve h_c

kütlelerin tek serbestlik dereceli sistemde eşdeğer yükseklikleri , ω_i ve ω_c doğal frekansları, ζ_i ve ζ_c impulsif ve salınım sönüm oranları Housner'in [74] yada Veletsos vd.nin [49] çalışmalarından alınabilir.



Şekil 3.5. Zemine oturan tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank detayı



Şekil 3.6. Zemine oturan, tam ankastre olmayan silindirik sıvı tank için matematik model önerisi

4. SİLİNDİRİK TANKLARIN DİNAMİK ANALİZİ

4.1. Dinamik Analiz Temelleri

Silindirik sıvı depolama tanklarının dinamik özelliklerini belirlemeyle ilgili ilk araştırmalar, 1850 li yıllara dayanmaktadır. Bir önceki bölümde teknik literatür çalışmalarında da yer verilen L. Rayleigh 1883 de yapmış olduğu çalışma silindirik bir depo içerisindeki sıvının titreşimini incelemiştir. Bu incelemeyi takiben silindirik depolarla ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Bu araştırmalar özellikle akaryakıt depoları ile ilgili yaygın kullanım dolayısıyla günümüze kadar hızla devam etmiştir. Silindirik depolar üzerine yapılan araştırmalarda incelen konular başlıca şunlardan oluşmaktadır[64].

- Depo-Sıvı etkileşimini dikkate alınması
 - Depo- Zemin etkileşiminin dikkate alınması
 - Depoda meydana gelebilecek salınım hareketinin dikkate alınması
 - Depo tabanının kısmen zeminden ayrılması ve yatay eksen etrafında salınım hareketinin dikkate alınması
 - Depoların burkulmasının dikkate alınması
 - Dinamik özelliklerin deneysel olarak belirlenmesi
- Bunun yanı sıra teknolojilerdeki gelişmelere bağlı olarak
- Depoların sismik yalıtım uygulamaları da ilave edilecektir.

Sıvı ile dolu olan bir tank hidrolik ve yapısal çözümlerin optimum değerleri için hesaplanıp, modellenir. Normal betonarme yapılar için zor olan deprem hesabı hazne-sıvı ve hazne –zemin etkileşimi olan tanklar için daha kompleksir.

Bu bölümde rijit zemine tam ankrajlı sıvı depolama tanklarına ilişkin hesap yöntemi ve bir uygulama örneği verilmektedir. Pratik uygulamaları kolaylaştıran çizelge ve grafikler bir örnekte kullanılacaktır.

Silindirik sıvı depolama tanklarının dinamik analizi konusunda yapılan çalışmalar diğer yapılara göre daha karmaşıktır. Dinamik analizi yapılacak olan tankın sıvı-yapı sıvı-zemin etkileşimi modelleri yapıldıktan sonra bunların tek serbestlik dereceli sistemlerle kıyaslamaları yapılmaktadır.

Taban sismik izolasyonlu yapılar üzerinde zemin yapı etkileşiminin dinamik davranışları pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [65,66].

4.2. Geliştirilen Modeller ve Analiz Yaklaşımları

Sıvı depolama tanklarının dinamik analizi konusunda iki sınıf depoyu birbirinden ayırt etmek gerekmektedir:

Doluluk oranı $h/R < 1,5$ olan sığ depolar.

Doluluk oranı $h/R > 1,5$ olan derin depolar.

Burada;

h : tankın içindeki sıvı yüksekliğidir.

R : tankın yarı çapıdır.

Tanktaki sıvı kütlesi tam dolu durum için rijit kütle gibi davranır. Newmark 'a göre dalga oluşumu %2 derinlik miktarı boş olan depoda dikkate alınacaktır [67].

Bu çalışmalardaki kabul tanktaki sıvının sıkışmaz olduğudur. Wastergaard sıvının sıkışabilir kabul edilmesindeki hata payını %4 oranı olarak vermiştir.

Diğer kabul ise tankın temel zeminine ankastre olarak oturduğudur. Jacobsen'e göre tanktaki hız alanı doğrudan zeminle ilgilidir. Fakat zamanın basınç üzerindeki etkilerini gözönüne almadığı için salınım ve impuls etkilerini hesaba almaz. Bu yüzden kullanışlı değildir.

Hunt ve Priestley yöntemi impuls etkisi ve salınım etkisini dikkate alır. Ancak zemin ivmesinin sonuçlarda fazla bilinmeyen olarak yer alması sakıncasını teşkil etmektedir.

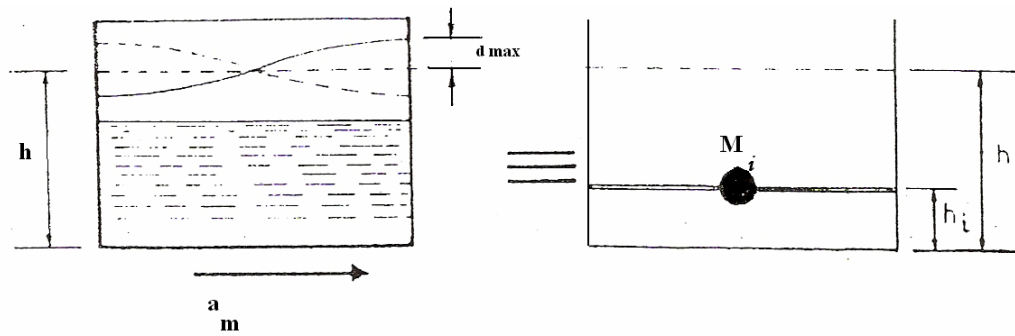
Housner tarafından yapılan çalışmalarda rijit silindirik tanklar için salınım ve impuls etkilerini birbirinden ayrılarak verilmiştir.

Sıvıların ivmelenmesinin sonucu olan sıvı tepkisi impulsif tepki olarak ele alınmakta, sıvının dinamik hareket sonucu oluşan çalkalanma, yani salınım yapması salınım etkisi olarak ele alınıp modellenmektedir.

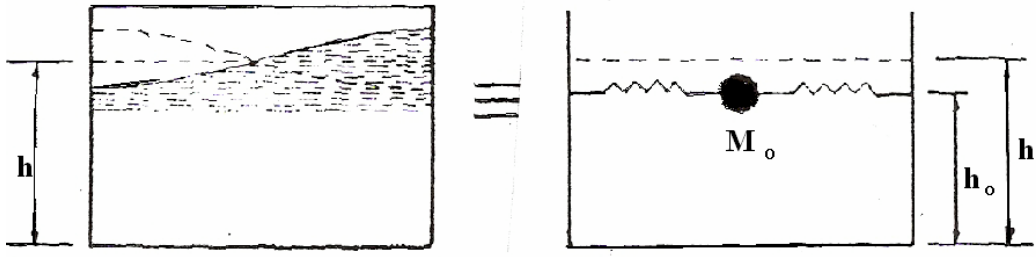
Hunt ve Priestley ile Housner'e ait olan her iki hesap yöntemi tankın h/R doluluk oranının her değeri için uygulanabilir. Bu yöntemler $h/R < 1,5$ doluluk oranına sahip tanklar için birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

Housner 'in hesap yöntemi modeli şu şekildedir:

Eşdeğer mekanik model; eşdeğer sıvı kütlelerinin uygulandığı yatay etkiye eşit etki meydana getiren h_i yüksekliğinde depoya rijit olarak bağlı, m_i kütlelerini dikkate almak suretiyle elde edilmiştir. Sıvı salınımı ihmal edildiğinde impuls etkisinin eşdeğer sistemi Şekil 4.1 de verilmektedir. Salınım etkileri ise, aktif kütle adı verilen, sıvı kütlelerinin diğer bir kısmının deprem etkisi altında salınım hareketi yapmasından ileri gelmektedir



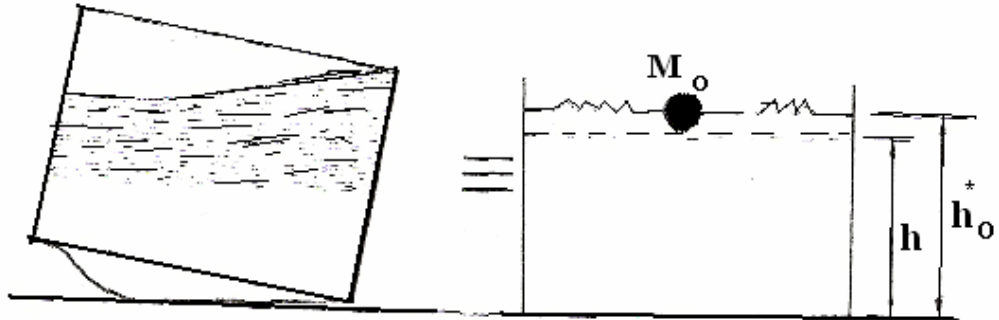
Şekil 4.1. Sıvı salınımı ihmal edilmiş impuls etkisinin eşdeğer sistemi



Şekil 4.2.Salınım basıncının eşdeğeri (duvarlar üzerinde)

Modelin mekanik eşdeğeri h_{on} ya da h_{on}^* seviyelerinde k_n yay katsayılarıyla tutulmuş n tane m_{on} kütlelerini dikkate almak suretiyle elde edilmektedir. Yatay salınımlar aktif sıvı kütlelerinin oluşturduğu titreşim etkilerine eşit bir etki meydana getirirler.

Eğilme momentinin hesabı için dikkate alınan etkiler duvarlar üzerindeki etkilerdir. Bu durumda m_{on} kütleleri h_{on}^* seviyesinde etkirler. (Şekil 4.3)



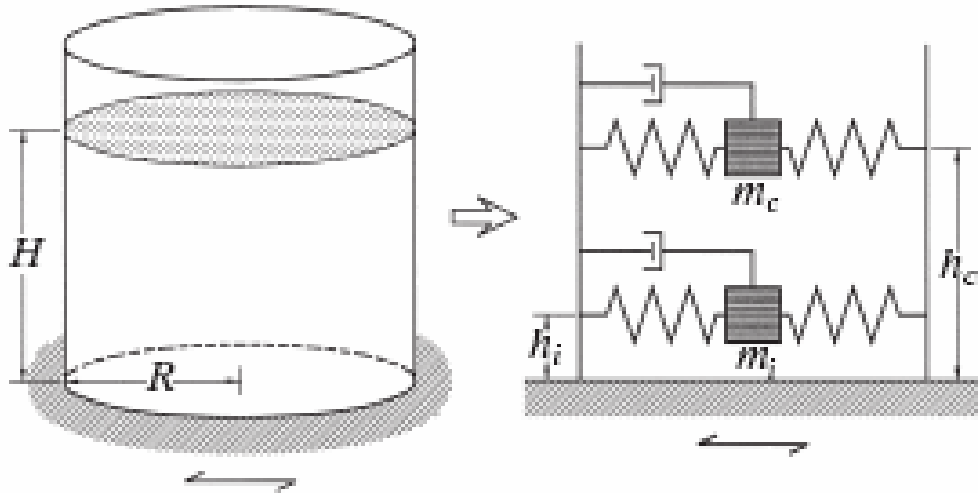
Şekil 4.3.Salınım basıncının taban ve duvarlar üzerinde eşdeğeri

Housner hesap yönteminin diğer hesap yöntemleriyle karşılaştırıldığında gerçekçi olduğu görülmektedir.

Hunt ve Priestley ile Housner'e göre salınım basınçlarının karşılaştırılması ancak a_m akselogramı ve S_a ivme spektrumu yardımıyla yapılabilir. Bununla beraber Housner'e göre ϵ_0 ; doluluk oranı $h/R < 1,5$ olan depolarda salınım basınçlarının ça-

buk azaldığı görülmektedir. Buna karşılık, doluluk oranı küçük betonarme ya da çelik dairesel tanklarda bu azalma çok yavaş olduğundan Housner'in yaklaşık yöntemi kullanılabilir.

Malhotra ve çalışma arkadaşlarının model önerisi ise impulsif ve salınım etkilerini dikkate alan Şekil 4.4 verilen modeldir. İmpulsif etkiler aktif salınım etkilerine benzer şekilde yay modellemesi yapılarak çözüm yoluna gidilmiştir[68,69].



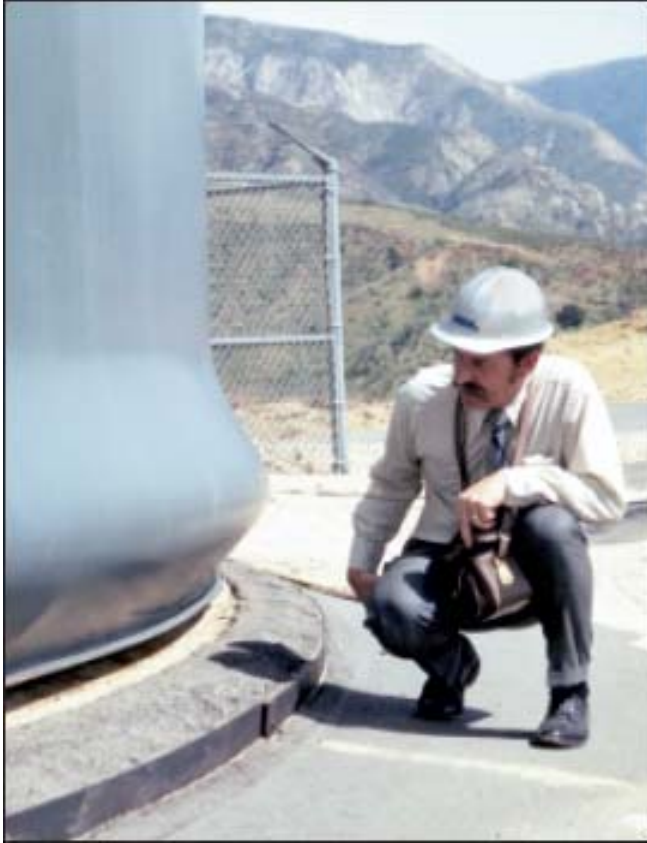
Şekil 4.4. Tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenen sıvı dolu tankın eşdeğeri

Malhotra tarafından da nümerik olarak çalışılan dinamik davranışın [70] sadece impulsif ve konvektif kütlelerin 1. mod davranışlarını göz önünde bulundurularak yeterli doğrulukta tahmin edilebileceği deneysel olarak da gösterilmiştir [71].

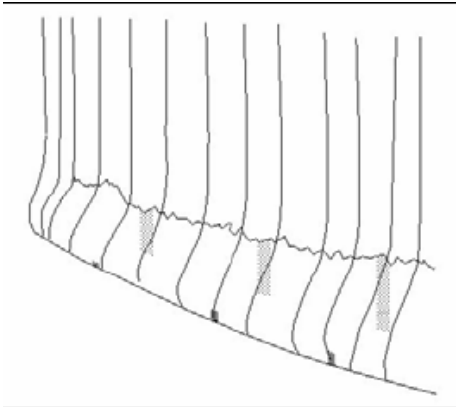
4.3. Silindirik Depolama Tanklarında Dinamik Analiz Uygulamaları

Büyük kapasiteli zemine oturan silindirik tanklar çeşitli sıvıları depolamakta kullanılmaktadır (içme suyu, yangın suyu, petrol ürünleri, kimyasallar ve sıvılaştırılmış doğal gaz). Güçlü yer hareketleri esnasında tankların tatmin edici randımanı sağlaması modern yapılarda çok önemlidir. Yetersiz dizayn ve detaylandırma ile yapılmış tanklar geçmiş depremlerde büyük zararlar görmüşlerdir.

Modele esas elik depolama tanklarının deprem zararları değişik formlarda olabilir. Büyük aksenal basınç gerilmeleri, tank duvarlarının kirişe benzer eğilmeden dolayı “fil ayağı” benzeri burkulmalara sebep olabilir [72,73]



Resim 4.1.Tankta görülen fil ayağı benzeri burkulma.



şekil 4.5.Tankta görülen fil ayağı benzeri burkulma.



Resim 4.2.Tankın üst kısmında sıvı salınımından kaynaklanan hasar .

Salınım dalgaları çatıda ve tank duvarlarının üzerinde hasara sebep olmaktadır (Resim 4.2). Zayıf detaylandırılmış, yüksek gerilmelere maruz kalan ve yanlış şekilde temele ankrajlanan tank duvarları patlatmaktadır. Temel makaslaması tankın kayma sürtünmesinin üzerinde etki yapmasıyla hasar oluşturmaktadır.

Temelin kalkması, ankrajlı veya kısmen ankrajlı tanklarda, dikey yer değiştirmeler ve noktasal gerilmeler yüzünden plaka-taban kırılmalarına sebep olur. Zeminin düzensiz oturması ise boru bağlantılarının hasarına sebep olur.

Tanklarla ilgili önceki çalışmalar rijit zemin üzerine oturan rijit tankların içindeki sıvıların karakteristiklerini ele almaktaydı [50]. Bu çalışmalar göstermiştir ki, uzun peryotlu salınımdan dolayı hareketlenen bir parça sıvıdan geride kalan kısım, duvarla beraber hareket etmektedir. İmpulsif sıvı olarak bilinen kısım devrilme momenti ve temel kesme kuvvetine çoğunlukla etkide bulunmaktadır. Bunların zeminle aynı hızlanmayı yaptığı tespit edilmiştir. Salınım yapan sıvı serbest yüzeyi dalgalarının yüksekliğinde etkilidir.

Tank duvarlarının esnekliği yerin pik ivmelenmesinin birkaç kat büyük değerinde impulsif etkilere sebep olabilmektedir [51]. Bu değişim impulsif tesirleri önemli derecede değiştirmektedir. Konvektif yada diğer adıyla salınım etkileri pratikte tank duvarı ve zeminin esnekliğinden, uzun periyotlu salınımlardan dolayı etkilenmemektedir.

Tanklar üzerindeki çalışmalar, deprem etkilerini dikkate alırken tabanlarına tam ankrajlı kabul edildi. Pratikte bu fizibl ya da ekonomik değildir. Kısmen ankre edilmiş ve ankre edilmemiş rijit zemine oturan tanklarda taban kaldırma etkisi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar göstermiştir ki taban kaldırma kuvvetleri iç hidrodinamik kuvvetleri azaltır, fakat tank duvarlarındaki basınç gerilmesini önemli ölçüde artırır.

Daha sonraki çalışmalar gösterdi ki, direk esnek toprak zemine oturan tankların taban kalkması, tanklardaki eksenel basınç gerilmelerin yükselmesine neden olmamaktadır, fakat zemin sızıntılarına ve plağın sınır çizgisinde büyük plastik dönmelere neden olabilmektedir. Esnek zemine oturan ankrajsız tanklar bu yüzden fil ayağı benzeri burkulmaya daha az meyillidir, fakat daha çok beklenmeyen zemin oturmaları ve plak-kabuk (duvar) birleşim yerinde metalin yorulmasından dolayı oluşan yırtılma ve patlamalara meyillidir.

Tank-sıvı etkileşiminin dikkate alındığı modellerde impulsif ve salınım titreşim modları tek serbestlik dereceli sistemlere genelleştirilebilir(Bkz.Şekil 4.4). Pratikte modeli yukarıdaki gibi uygulanan sistemlerde ilk birkaç titreşim modunun dikkate alınmasının analiz için yeteceği düşünülmektedir. Bir depremde tek serbestlik dereceli birçok parça birleştirilip süperpoze edilerek dikkate alınabilir.

Tanklardan çoğu $(0,3 < \frac{H}{R} < 3)$ (h tanktaki su yüksekliği ve r tankın yarıçapı olmak üzere) oranları arasında kalan değerlerde yapılmaktadır. İlk impulsif ve ilk salınım modlarındaki kütleler tanktaki toplam kütlenin % 85-98'i oranında hesaba dahil edilmektedir. Sıvı titreşiminden kalan kütle, derin tanklarda $(H/r > 1,5)$ ilk impulsif

moda eklenir, sığ tanklarda ($H/r \leq 1,5$) ise ilk salınım moduna eklenir.

Sonuçlar göstermiştir ki ilk impulsif ve ilk salınım modlarının kullanılması hesaplar için yeterli olmaktadır. Bazı model uygulamalarında bütün sıvıyı bu modlarda hesaba katmak özel değerler içinde yeterli olur. Uygulayacağımız modifikasyon, Veletsos vd. nin uyguladığı sistemden farklı olarak bazı değişiklikler ve kabuller içerir.

- Tank – sıvı sisteminin sadece ilk impulsif ve ilk salınım modları kullanılacaktır
- En yüksek impulsif mod kütlesi ile ilk impulsif mod kütlesi, en yüksek salınım mod kütlesi ile ilk salınım model kütlesi birleştirilir. Yüksek modlarda devrilme momenti hesabında impulsif ve salınım yükseklikleri ayarlanmalıdır.
- Çeşitli duvar kalınlıkları için çelik tanklarda uygulanan impulsif periyod formüllerinin beton tanklarda da uygulanabilmesine müsaade eden genellemeler yapılmalıdır.
- İmpulsif ve salınım karşılıkları karekök değerlerinden çok sayısal değerleri alınarak birleştirilir[74].

Model Özellikleri

İmpulsif ve salınım doğal periyotları:

$$T_{imp} = C_i \frac{H\sqrt{\rho}}{\sqrt{h/rx\sqrt{E}}} \quad (4.1)$$

$$T_{con} = C_c \sqrt{r} \quad (4.2)$$

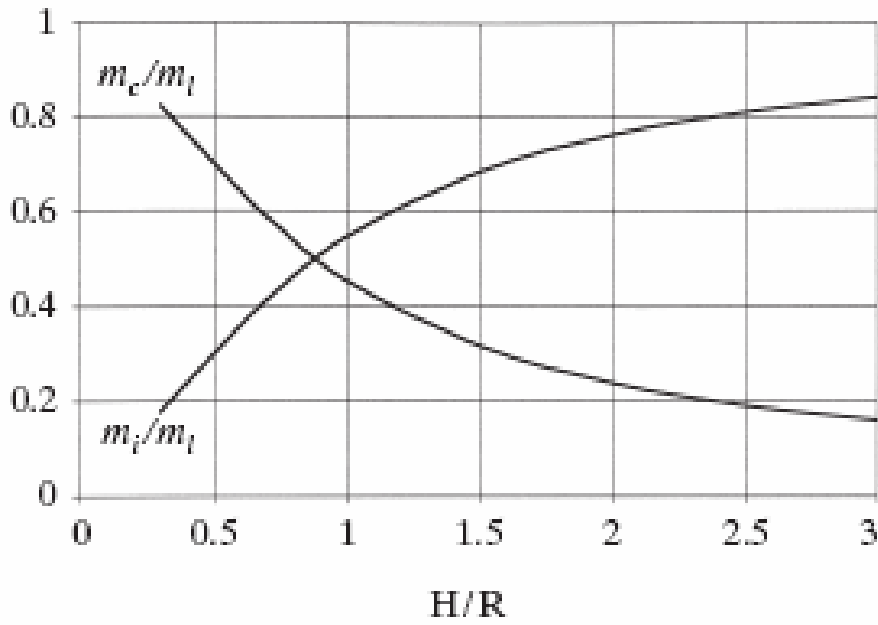
h : eşdeğer üniform kalınlık (tank duvarının)

ρ : sıvının kütle yoğunluğu.

E : tank materyalinin elastisitesi

C_i ; boyutsuzdur C_c ise $s/\sqrt{m}$ ile ifade edilir.

İmpulsif ve salınım kütleler (m_i ve m_e) Şekil 4.6 veya Çizelge 4. 1 de toplam sıvı kütlelerinin (m_l) kesirli ifadelerinden alınabilir.



Şekil 4.6.İmpulsif ve salınım kütlelerinin toplam sıvı kütlelerine oranı

Toplam taban kesme kuvveti:

$$Q = (m_i + m_w + m_r) * S_e(T_{imp}) + m_c S_e(T_{con}) \quad (4.3)$$

verilebilir.

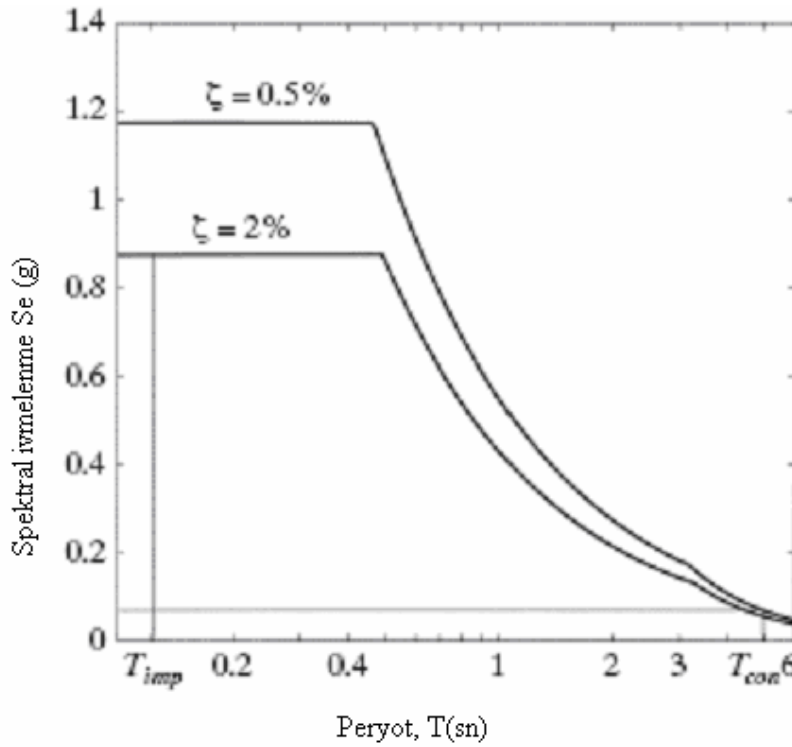
m_w = tank duvarlarının kütlesi

m_r = tank çatısının tavanının kütlesi

$S_e(T_{imp})$ impulsif dalga ivmesi (çelik ve ön gerilmeli beton için elastik davranış

spektrumu % 2 indirilmiş, beton tanklar için % 0,5 indirilmiş elastik davranış spektrum değerleri alınabilir)

$S_e(T_{con})$ salınım dalga hızı (% 0,5 elastik davranış inmiş elastik davranış spektrum değerleri alınabilir) (Şekil 4.7)



Şekil 4.7.%2 ve % 0,5 sönüm değerleri için elastik davranış spektrumu

Tabandaki devrilme momenti, basit kiriş teorisi kombinasyonudur. Tank duvarlarının altında eksenel gerilmeye neden olur. Net devrilme momenti temel plakası üzerindeki

$$M = (m_i h_i + m_w h_w + m_r h_r) * S_e(T_{imp}) + m_c \cdot h_c \cdot S_e(T_{con}) \quad (4.4)$$

h_i ve h_c : impulsif ve salınım hidrodinamik duvar basıncı merkezsel yüksekliği

h_w ve h_r : tank duvarlarının ve çatısının ağırlık merkezi yükseklikleri,

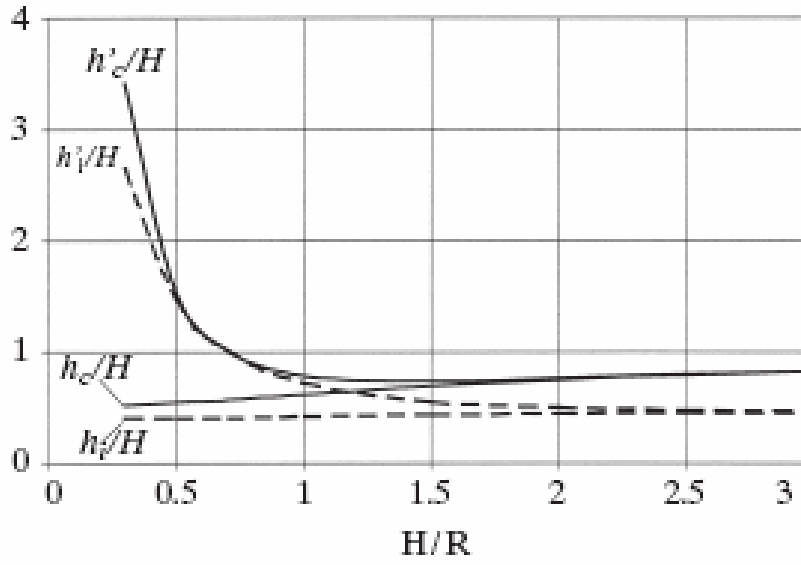
Temel plakası altındaki devrilme momentleri M tank duvarlarının hidrodinamik

basınçlarına bağlı olmasının yanında taban plakasına da bağlıdır.

Tankın tabanının hemen altındaki M' momenti

$$M' = (m_i h_i' + m_w h_w + m_r h_r) * S_e(T_{imp}) + m_c h_c' * S_e(T_{con}) \quad (4.5)$$

alınabilir. h_i' ve h_c' değerlerine Çizelge 4.1 den veya Şekil 4.8 den alınabilir.



Şekil 4.8.İmpulsif ve salınım yükseklik faktörlerinin toplam sıvı yüksekliğine oranı

Çizelge 4.1.H/R oranına göre basitleştirilmiş dinamik model parametrelerinin tavsiye edilen değerleri

H/r	C_i	$C_c [s/\sqrt{m}]$	m_i/m_l	m_c/m_l	h_i/H	h_c/H	h_i'/H	h_c'/H
0.3	9.28	2.09	0.176	0.824	0.400	0.521	2.640	3.414
0.5	7.74	1.74	0.300	0.700	0.400	0.543	1.460	1.517
0.7	6.97	1.60	0.414	0.586	0.401	0.571	1.009	1.011
1.0	6.36	1.52	0.548	0.452	0.419	0.616	0.721	0.785
1.5	6.06	1.48	0.686	0.314	0.439	0.690	0.555	0.734
2.0	6.21	1.48	0.763	0.237	0.448	0.751	0.500	0.764
2.5	6.56	1.48	0.810	0.190	0.452	0.794	0.480	0.796
3.0	7.03	1.48	0.842	0.158	0.453	0.825	0.472	0.825

Tank direkt zemine oturursa M, tank duvarı, temel ankrajı ve zemin hesabında kullanılacaktır. Radye temele oturursa M tank duvarları ve ankrajlarda kullanılacak, M' ise zemine bağlı dizaynda kullanılabilecektir.

Sıvı yüzeyindeki yükselme miktarı

$$d = R \frac{S_e(T_{con})}{g} \quad (4.6)$$

ile hesaplanacaktır. Burada g yerçekimi ivmesidir.

Detaylı modele ait analizden gelen değerlerle sunulan prosedürden elde edilen sonuçların kıyaslanabilmesi için üç tank kıyaslanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.2 verilmiştir. Üç model analiz sonuçları karekök ve sayısal yollarla hesaplanmıştır. Net impuls ve salınım tepki değerleri karekök kuralına göre hesaplandıktan sonra nümerik ilave tepkiler eklenerek hesaplanmıştır. Temel kesme kuvveti ilk modların karelerinin toplamının karekökü olarak

$$Q = \sqrt{(Q_i^1)^2 + (Q_i^2)^2 + (Q_i^3)^2} + \sqrt{(Q_c^1)^2 + (Q_c^2)^2 + (Q_c^3)^2} \quad (4.7)$$

hesaplanır. Burada Q_i^1 ve Q_c^1 ayrı ayrı ilk impulsif ve ilk salınım modlarıdır. Tepki spektrumunu olarak Şekil 4.7 deki grafik kullanılmaktadır.

Çizelge 4.2. Model analiz sonuçlarının kıyası (1 kg =9,81 N)

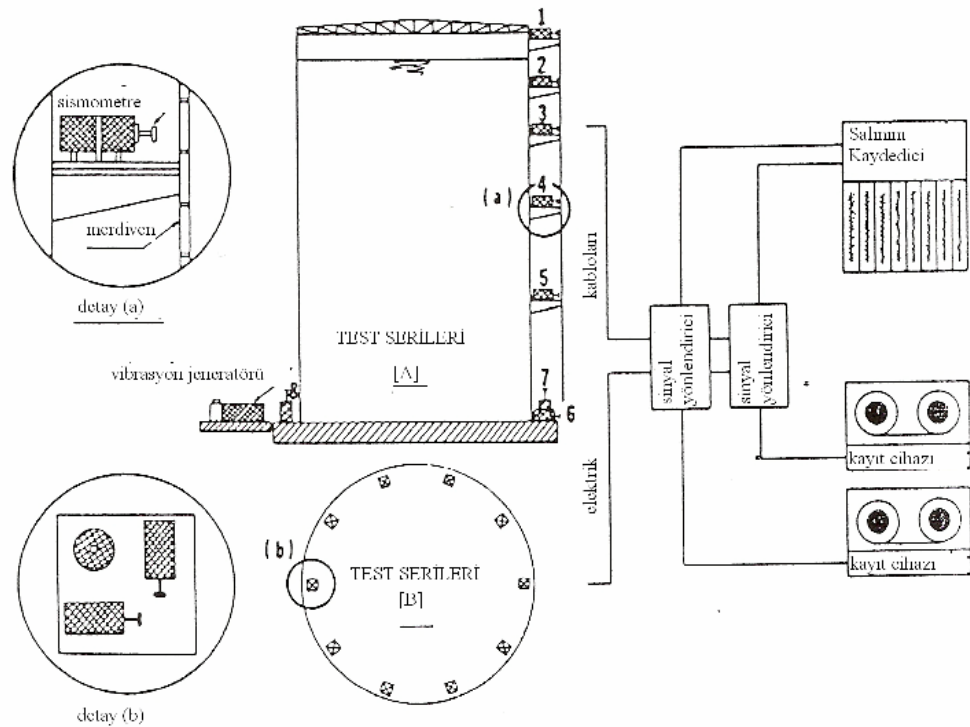
r [m]	H [m]	h/r	Q [MN]	M [MNm]	M' [MNm]	D [cm]
15	7.5	0.001	15.7 (14.9)	49.3 (44.6)	167 (164)	57 (51)
15	15	0.001	53.6 (52.4)	346 (334)	577 (557)	75 (66)
7.5	15	0.001	18.3 (16.5)	127 (123)	140 (136)	79 (67)

Tablodaki değerler karşılaştırıldığında önerilen modelleme için sonuçların %2-10 detay modellerinden yüksek olduğu görülmektedir. d yüksekliği %12-18 detay analizinden büyük değerler çıkmaktadır.

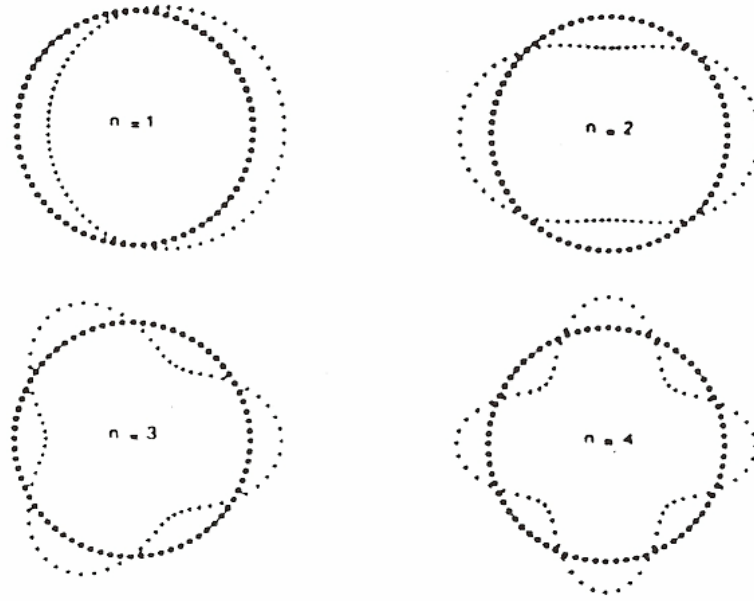
4.4. Sayısal Örnek

Yukarıda verilen detaylar doğrultusunda SAP2000 programına girilecek modelimiz aşağıdaki karakteristiklere sahip olacaktır.

Yarıçapı 10 m., toplam yüksekliği 9,6 m olan çelik tank, 2 cm kalınlığında sac üzerine oturacaktır. Tavanda 2 cm' lik sac malzemedan kapatılmış olacaktır. Radyal doğrultuda 2 m'lik her çap büyümesinde rijitliği sağlayacak şekilde 2 cm'lik lamalarla tavan ve tabanda takviyeler yapılmıştır. Tank her yönde harekete müsait olacaktır. Yatayda hareket kabiliyeti olacak olan tank radyal olarak 10 noktadan visko-elastik sönümleme yapacak olan sönüm elemanları ile yatayda engellenecektir. 10 noktanın seçilmesinde Housner'in titreşim testlerinde deneysel noktalara konan ölçüm aletlerinin yerleri dikkate alınmıştır [74](Şekil 4.9). Yüksek sönümlü kauçuk kullanılarak yapılacak yalıtımda tavan ve tankın zemini de sac malzemedan yapılacaktır. Dolayısıyla sürtünme etkisi ortaya çıkacaktır.[75]



Şekil 4.9. Vibrasyon testi için deneysel düzenek



Şekil 4.10. Radyal hareketlerin modlarının şeması

Tankın 8 m yüksekliğe kadar su ile dolu olduğu kabul edilecektir. ($H/r=0,8$) Dolayısıyla tanktaki toplam sıvı ağırlığı $m_f=2,51 \cdot 10^3$ t. olur. Tankın yüksekliği 4 parçaya bölünmüştür. Tabandan 2 parça 1 cm. kalınlıkta , üstte kalan 2 parça ise 0,8 cm alınmıştır. Ancak modelde deformasyonları rahat görebilmek maksadı ile tank yüksekliğini 10 adet sonlu elemana bölünmüştür. Tank duvarlarının toplam ağırlığı $m_w=43 \cdot 10^3$ t ve ağırlık merkezinin yüksekliği $h_w=4,53$ m. dir. Tankın çatısı $m_f=25$ t. ağırlık merkezi ise $h_f=9,6$ m. alınacaktır. %2 ila %0,5 indirilmiş elastik davranış spektrumu değerleri Şekil 4.7 den alınacaktır.

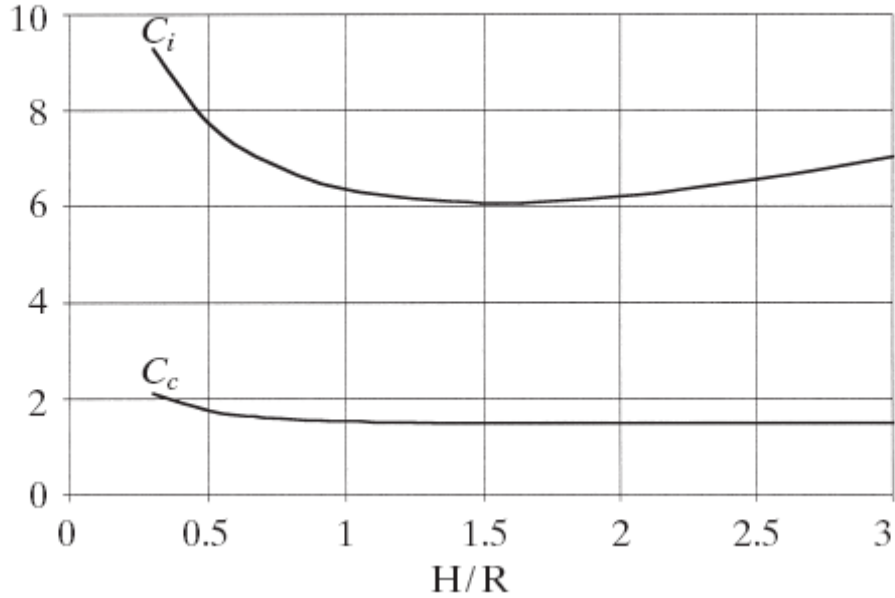
Seçilen duvar kalınlıklarının eşdeğer duvar kalınlıkları ağırlıklı ortalama metodu ile hesaplanırsa

$$h = \frac{0,01 \cdot 2,4 \cdot 6,8 + 0,01 \cdot 2,4 \cdot 4,4 + 0,008 \cdot 2,4 \cdot 2 + 0,008 \cdot 0,8 \cdot 0,4}{2,4 \cdot 6,8 + 2,4 \cdot 4,4 + 2,4 \cdot 2 + 0,8 \cdot 0,4} = 0,00968 \text{ m}$$

Çelik elastisite modülü $E=2 \cdot 10^{11}$ N/m² (1kg=9,81 N)

Su yoğunluğu $\rho=1000$ kg/m³

$H/r=0,8$ için $C_i=6,77$ ve $C_c=1,57$ $s/\sqrt{m}$ Çizelge 4.1 den veya Şekil 4.10 dan alınacaktır.



Şekil 4.11.İmpulsif ve salınım katsayıları abağı

$$T_{\text{imp}} = 6,77 * \frac{8 * \sqrt{1000}}{\sqrt{\frac{0,00968}{10} * \sqrt{2 * 10^{11}}}} = 0,123 \text{ s.}$$

$$T_{\text{con}} = 1,57 * \sqrt{10} = 4,96 \text{ s.}$$

$H/r=0,8$ için $m_i/m_l=0,459$ ve $m_c/m_l=0,541$ Çizelge 4.1 den

$$m_i = 0,459 * 2,51 * 10^6 = 1,15 * 10^6 \text{ kg}$$

$$m_c = 0,541 * 2,51 * 10^6 = 1,36 * 10^6 \text{ kg}$$

Çizelge 4.1 kullanılarak $h_i/H=0,404$, $h_c/H=0,583$ $h_i'/H=0,891$, $h_c'/H=0,954$ oranları bulunur.

Böylece $h_i=3,23$ m. $h_c=4,66$ m $h_i'=7,13$ m ve $h_c'=7,63$ m.

Şekil 4.7 kullanılarak $T_{imp} = 0,123$ s için %2 indirilmiş elastik davranış spektrum eğrisinden $S_e(T_{imp}) = 0,874$ g, salınım için ise $T_{con} = 4,96$ s için %0,5 lik grafikten $S_e(T_{con}) = 0,07$ g sismik davranış değerleri hesaplanır.

Eş. 4.3'den

$$Q = (1,15 + 0,043 + 0,025) * 10^6 * 0,874 * 9,81 + 1,36 * 10^6 * 0,07 * 9,81 = 11 \text{ MN} \quad (1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N})$$

Eş. 4.4'den

$$M = (1,15 * 3,23 + 0,043 * 4,53 + 0,025 * 9,6) * 10^6 * 0,874 * 9,81 + 1,36 * 10^6 * 4,66 = 40 \text{ MNm}$$

Tabanın altındaki

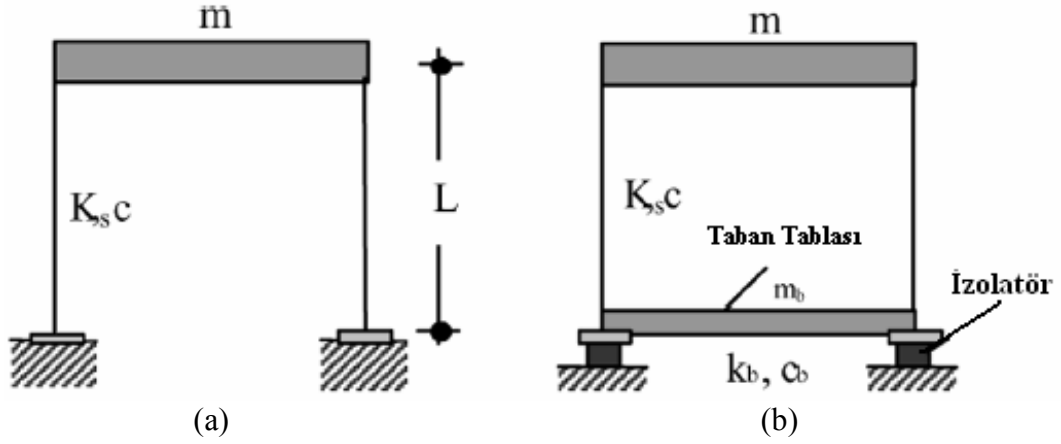
$$M' = (1,15 * 7,13 + 0,043 * 4,53 + 0,025 * 9,6) * 10^6 * 0,874 * 9,81 + 1,36 * 10^6 * 7,63 * 0,07 * 9,81 = 81 \text{ MNm}$$

Salınım etkisinden kaynaklanan sıvı yüzeyinin yaptığı düşey yer değiştirme

$$d = 10 * 0,07 = 0,7 \text{ m. olur.}$$

4.5. Sismik Yalıtım Uygulaması İçin Dinamik Çözüm Yaklaşımları

Tek serbestlik dereceli sistemlerin sismik yalıtımı için dikkate alınan yapı modeli Şekil 4.12 de verilmektedir. Sismik yalıtımı yapılan sistemin izolatörleri arasında rijitliği olan bir tabaka oluşturulmalıdır. Sistemlerin doğru analizi için izolatörler birbirlerine belirli bir rijitlikte bağlanmalıdır. Sismik izolasyon uygulanan sistemlerin modları izolatör konmamış sistemlerden bir fazladır. Çünkü izolatör konan sistemde yapının moduna ilaveten alta konan izolatörde yer değiştirme yapmaktadır. Bu yer değiştirmeler yapının toplam yer değiştirmesinden düşülmelidir[77].



Şekil 4.12. Sismik izolatör uygulaması a) Rijit mesnetlenmiş yapı b) Taban İzolasyonlu yapı

Tank uygulamamızda yüksek sönümlü kauçuk yataklar kullanılacak olduğundan dinamik analiz yaklaşımı konusunda dikkate alınan yaklaşım önem kazanmaktadır. Tank periyodu yüksek sönümlü kauçuk malzeme kullanılması halinde artacaktır. Ayrıca çözülecek sistemde kullanılan kauçuk malzemeler doğrusal olmayan özellik gösterir. Bu özellikler lineer yaklaşımdan farklı bir modal çözümü gerektirmektedir. Doğrusal olmayan davranış gösteren sistemlerin dinamik analizi için bazı dinamik modelleme yaklaşımları kullanılmıştır[76]. Sap2000 yapısal analiz programında dinamik analiz uygulaması Wilson tarafından geliştirilen “Hızlı Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi” kullanılarak yapılmıştır.

Dinamik analiz yöntemlerinden hangisinin işlemlerde kullanılacağını tespit etmek doğrusal olmayan analiz için önem arz etmektedir. Sap2000 yapısal analiz programı dinamik analiz için davranış spektrumu ve zaman tanım alanında analiz yapabilmektedir.

Sismik kuvvet veya deplasmanın pik değerini tahmin etmek için kullanılan en güvenli tarafta kalan yöntem, modal davranış büyüklüklerinin mutlak değerlerinin toplamını kullanmaktır. Bu yaklaşım, bütün modlar için maksimum mod değerlerinin aynı anda oluştuğunu kabul eder.

Davranış spektrumu yöntemi ise kuvvet ve deplasmanların maksimum pik

değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan yaklaşık bir yöntemdir ve oldukça önemli sınırlamaları vardır. Bu yöntem, güvenilirlik derecesi düşük bir tarzda sadece tahmin edilebilen sönüm özelliklerine sahip lineer elastik analizle sınırlandırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan doğrusal olmayan (nonlinear) spektrumların çok küçük bir teorik arka planı vardır ve karmaşık üç boyutlu yapıların analizinde kullanılmamalıdır. Bu gibi yapılarda, gerçek doğrusal olmayan(nonlinear) zaman tanım alanı (time history) davranışının kullanılması zorunludur [78].

5. YAPISAL ANALİZ PROGRAMI İLE ÇÖZÜMLEME

Sıvı depolama tankında impulsif ve salınım etkileri dikkate alınan modele yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyicilerin davranışı ve etkinliğini ortaya koymak amacıyla çeşitli modeller oluşturulmuş ve bu modeller SAP 2000 Nonlinear 9.0.3 versiyon paket programında çözümlenmiştir. Yüksek sönümlü kauçuk yataklar ve sönümleyicilerin programa girişi ile ilgili karakteristikler ve değerler aşağıda açıklanmaktadır

5.1. SAP 2000' in Bazı Özellikleri

Yapı dinamiği ve deprem mühendisliğinin temel çözüm yollarından sonlu elemanlar metodunu kullanan SAP2000 programı görsel olarak grafik ortamda ve veri tabanı dosyalarını dışardan alıma ve verme özelliği sayesinde dışardan belli formatlar da veri olarak çözüm yapmaktadır.

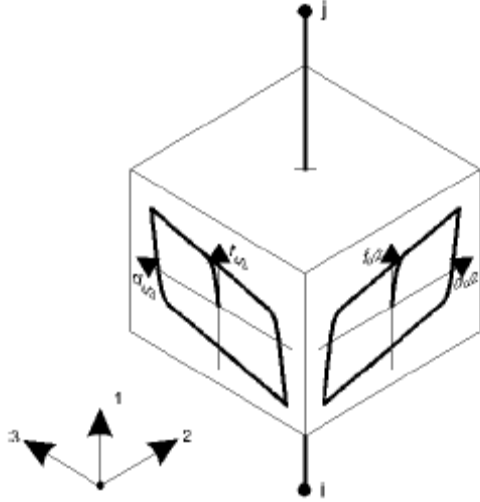
Genelinde yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan statik ve dinamik analizlerini yapabilmektedir. Zemin – yapı etkileşimlerini dikkate alan programda Mod Birleştirme (Response Spectrum) yönetime göre analizin yanı sıra Zaman Tanım alanında (Time History) doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yapılabilmekte ve taban izolatörleri yani kauçuk yataklar ile lineer olmayan analiz yapabilmektedir. Viskoz sönümleyicileri de link elemanları olarak tanımlama imkanı vermektedir.

Üç boyutlu görsellikte çalışmaya fırsat veren program betonarme elemanlarda donatı hesabı, çelik çubuk elemanlarında profil seçimi ve optimizasyonu imkanı vermektedir.

Sap 2000 paket programında yüksek sönümlü kauçuk yataklar ve sönümleyiciler nllink elemanlar (lineer olmayan elemanlar) olarak tanımlanmıştır. Nllink elemanlar, viscoelastik sönümleyiciler, yalnızca çekme ve yalnızca basınca çalışan elemanlar (gap ve hook), tek eksenli plastik malzemeler, lineer olmayan yatak elemanları ve sürtünme pandülü olarak çalışan elemanlardan oluşmaktadır. Yüksek sönümlü

kauçuk yataklar, doğrusal olmayan özellik gösteren link elemanı çeşididir.

Sap 2000 paket programında, yüksek sönümlü kauçuk yatakların histerik davranışa sahip olduğu gösterilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1.Histerik davranışa sahip yüksek sönümlü kauçuk yatakların üç boyutlu kesme şekil değiştirme özellikleri

Yüksek sönümlü kauçuk yataklarda, kesme serbestlik derecesinin doğrusal olmadığı kabul edilirse kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi şu şekilde olacaktır:

$$f_{u2} = \text{oran2} \cdot k_2 \cdot d_{u2} + (1 - \text{oran2}) \cdot \text{akma2} \cdot z_2 \quad (5.1)$$

$$f_{u3} = \text{oran3} \cdot k_3 \cdot d_{u3} + (1 - \text{oran3}) \cdot \text{akma3} \cdot z_3 \quad (5.2)$$

Burada;

k_2 ve k_3 : elastik yay sabitleri,

akma2 ve akma3 : akma kuvvetleri,

oran2 ve oran3 : son akma rijitliğinin elastik rijitliğe (k_2 ve k_3) oranı

z_2 ve z_3 : histerik değişkenlerdir.

5.2. Sap2000 Paket Programında Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatakların Çözüm Yöntemi

Sap2000 paket programında, yüksek sönümlü kauçuk yatakların zaman tanım aralığında doğrusal olmayan çözümü için Wilson tarafından geliştirilen “Hızlı Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi” kullanılmıştır. Bu yöntem sınırlı sayıda tanımlanmış doğrusal elemanlar ile yapı sistemlerinin çözümünde kullanılır. Sap2000 paket programı Nllink adı verilen elemanları doğrusal olmayan olarak tanımlar.[70] Dinamik denge bilindiği üzere;

$$K_L u(t) + C \dot{u}(t) + M \ddot{u}(t) + r_N(t) = r(t) \quad (5.3)$$

gibidir. Burada;

K_L : Nllink elemanlar dışındaki elemanların rijitlik matrisi,

C: sönüm matrisi, M: diyagonal kütle matrisi,

r_N : Nllink elemanların doğrusal olmayan serbestlik derecesine bağlı olarak oluşan kuvvet vektörleri,

u , $\dot{u}$, $\ddot{u}$: zemine göre oluşan görelî yer değiştirme, hız ve ivmeler ve r : yük vektörleridir.

Bu çözümlemede, doğrusal olmayan elemanların her bir serbestlik derecesi için bir doğrusal etkili rijitlik tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan serbestlik derecesindeki etkili rijitlik isteğe bağlı olarak değişebilir, ancak genelde maksimum doğrusal olmayan rijitlik ile sıfır arasında değişir. Bu durumda genel denge bağıntılarını yeniden yazılırsa;

$$Ku(t) + C\dot{u}(t) + M\ddot{u}(t) = r(t) - [r_N(t) - K_N u(t)] \quad (5.4)$$

$$K = K_L + K_N \quad (5.5)$$

olur. Burada;

K_L : Nlink elemanların dışındaki tüm doğrusal elemanların doğrusal serbestlik derecelerindeki rijitlikleri ve

K_N : tüm doğrusal olmayan serbestlik dereceleri için doğrusal etkili rijitlik matrisidir.

Bu çözümleme sırasında Ritz-vektör yöntemi kullanılır. Standart teknikler kullanılarak denge bağıntıları modal formda yazılırsa:

$$\Omega^2 a(t) + \Lambda \dot{a}(t) + [I] \ddot{a}(t) = q(t) - q_N(t) \quad (5.6)$$

şeklindedir. Burada,

Ω^2 : yapısal frekansı veren diyagonal matristir ve,

$$\Omega^2 = \Phi^T K \Phi \quad (5.7)$$

olarak tariflidir.

Λ : Diyagonal modal sönüm matrisidir ve,

$$\Lambda = \Phi^T C \Phi \quad (5.8)$$

olarak tariflidir.

$[I]$: Birim matristir ve,

$$[I] = \Phi^T M \Phi \quad (5.9)$$

olarak tariflidir.

$q(t)$: Modal yük vektörleridir ve,

$$q(t) = \Phi^T r(t) \quad (5.10)$$

olarak tanımlıdır.

$q_N(t)$: Doğrusal olmayan elemanlar için modal kuvvet vektörleridir ve;

$$q_N(t) = \Phi^T [r_N(t) - K_N u(t)] \quad (5.11)$$

olarak tanımlıdır.

$a(t)$: Modal yer değiştirme vektörüdür ve,

$$u(t) = \Phi a(t) \quad (5.12)$$

olarak tariflidir.

Φ : Mod şekilleri matrisidir ve çözümleme sırasında doğrusal olmayan modal bağıntılar her adımda çözülür. Program, bağıntının sağ tarafındaki ifadeleri her adım aralığı için doğrusal değiştirdiğini kabul eder. Bu bağıntılar her iterasyonda kapalı form integrasyonu ile çözülür. İterasyon işlemine, çözüme yakınsama sağlanana kadar devam edilir. Eğer yakınsama sağlanamaz ise, program zaman adımlarını alt adımlara bölerek yakınsamayı sağlamaya çalışır.

5.3. Sap2000 Paket Programında Modellerin Kurulması ve Çözümleme Sonuçları

Çalışmada, üç farklı mekanik özelliğe sahip kauçuk yatak kullanılmıştır. Bunlar düşük rijitlikli yumuşak kauçuk, orta dereceli rijitlikli orta sert kauçuk ve yüksek rijitliğe sahip sert kauçuk yataklardır. Ayrıca, her üç kauçuk yatakla birlikte üç

modelde de bu kauçuk yataklar ile radyal doğrultuda sönümleyiciler birlikte kullanılmışlardır. Kauçuk yatakların ve sönümleyicinin karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir [68,77].

Kauçuk yataklarda ;

Çizelge 5.1.Kullanılan kauçuk malzemeler

Malzeme Özelliği	Düşey Rijitlik (T/m)	Başlangıç Rijitliği (T/m)	Etkili Rijitlik (T/m)	Akma Kuvveti (T)	Son Rijitliğin İlk Rijitliğe oranı	Kalınlık (m)	Kütle (t)
Yumuşak	178.550	178,60	26,78	2,27	0,20	0,18	0,017
Orta Sert	140.000	794,00	110,00	7,94	0,04	0,18	0,017
Sert	280.000	1.270,00	190,00	12,70	0,055	0,18	0,017

Yatay sönümleme apareyleri için aşağıdaki değerler kullanılarak analize başlanmıştır.

Doğrusal özellikler:

Doğrusal olmayan özellikler:

Efektif rijitlik =0 t/m

Rijitlik = $1,786 \cdot 10^7$ t/m

Efektif sönüm=0 k-sec/in

Sönüm= 837300 ton-s/m

Sönüm üssü=0,5

Uzunluk:1 m.

:0,05 H yüksekliği.

olan değerlerle modele başlanılmıştır. Çözümde kullanılan tank modelleri El Centro, Northridge ve Marmara depremi için İzmit Meteoroloji verilerine göre Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 de verilmiştir.

Çizelge 5.2.El Centro deprem verilerinin çözümünde kullanılan tank sistemi modelleri

Model	Kullanılan Tank Sistemi
ELC 1	El Centro Deprem Verileri Uygulanan Ankastre Mesnetli Tanımlanmış Tank Sistemi
ELC 2	El Centro Deprem Verileri Uygulanan Yumuşak Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
ELC 3	El Centro Deprem Verileri Uygulanan Yumuşak Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
ELC 4	El Centro Deprem Verileri Uygulanan Orta Sert Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
ELC 5	El Centro Deprem Verileri Uygulanan Orta Sert Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
ELC 6	El Centro Deprem Verileri Uygulanan Sert Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
ELC 7	El Centro Deprem Verileri Uygulanan Sert Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi

Çizelge 5.3.Northridge deprem verilerinin çözümünde kullanılan tank sistemi modelleri

Model	Kullanılan Tank Sistemi
NRT 1	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Ankastre Mesnetli Tanımlanmış Tank Sistemi
NRT 2	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Yumuşak Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
NRT 3	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Yumuşak Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
NRT 4	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Orta Sert Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
NRT 5	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Orta Sert Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
NRT 6	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Sert Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
NRT 7	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Sert Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi

Çizelge 5.4.Marmara depremi İzmit Meteoroloji deprem verileri kullanılarak yapılan tank sistemi modelleri

Model	Kullanılan Tank Sistemi
İZMT 1	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Ankastre Mesnetli Tanımlanmış Tank Sistemi
İZMT 1	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Yumuşak Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
İZMT 3	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Yumuşak Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
İZMT 4	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Orta Sert Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
İZMT 5	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Orta Sert Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
İZMT 6	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Sert Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi
İZMT 7	Northridge Deprem Verileri Uygulanan Sert Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kombinasyonu Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Tank Sistemi

Çözümde, dinamik analiz bölümünde de anlatıldığı şekilde zaman tanım aralığında modellerin analizleri yapılmıştır. Tank sistemlerinin zaman-tanım aralığında doğrusal olmayan dinamik çözümlemesi yapılarak, birbirleriyle karşılaştırmaları yapılmıştır. Tank sistemlerine 18 Mayıs 1940 El-Centro depremi, 17 Ocak 1994 Northridge depremi kayıtları ve 1999 yılında İzmit Meteoroloji Müdürlüğünde bulunan cihazlardan alınan Marmara deprem verileri ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu verilerin doğu-batı ve kuzey-güney ivme-zaman değişimleri Şekil 5.2-5.7’de gösterilmiştir. 3 farklı deprem verisi ankastre mesnetli, yumuşak, orta sert ve sert kauçuk yataklar kullanılarak ve ayrıca her bir tip kauçuk yatak çeşidi için silindirik tankın yan yüzünden radyal doğrultuda sönümleyici kullanılarak çözülmüştür. Tank modeli dinamik analiz bölümünde verilen sayısal örnek temel alınarak modellenmiştir. El Centro, Northridge ve İzmit Meteoroloji İstasyonundan elde edilen deprem ivme değerlerinin Kuzey- Güney bileşenleri X doğrultusunda, Doğu-Batı ivme değerleri Y doğrultusunda uygulanmıştır. El Centro ve Northridge deprem verileri 0,02 sn aralıkla 1500 adımda toplam 30 sn ‘lik zaman-tanım aralığında

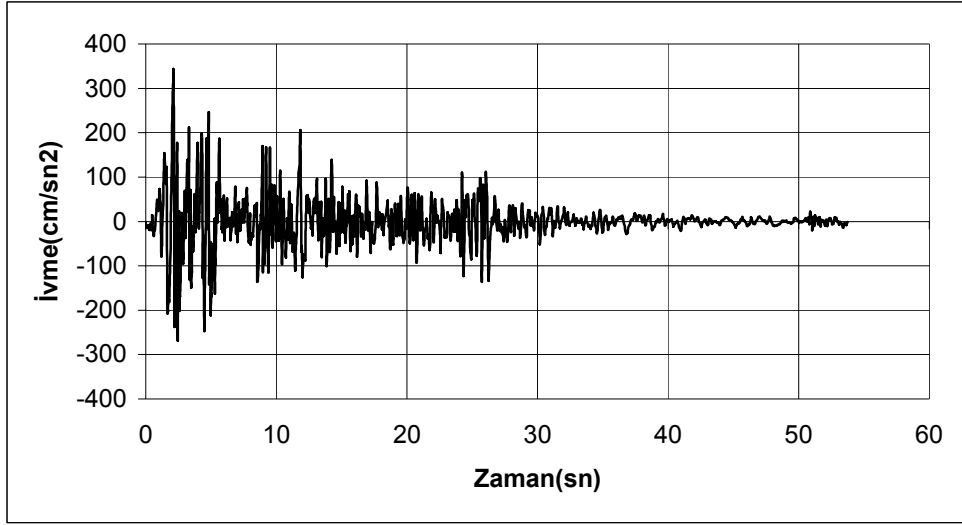
özlmtr. İzmİt Meteoroloji Müdürlüğünden alınan İvme değerleri İse 0,005 sn aralıkla 8000 adımda toplam 40 sn. İik zaman - tanım aralığında çözülmüştür. Bundan sonraki sayfalardaki İvme-zaman grafikleri incelendiğinde grafiklerin snmlerinin arttığı kısımlar dikkate alınmamıştır. Burada sürüler göz önüne alınırken SAP2000 yapısal analiz programının çözüm boyutunu küçültmek İçin deprem İvme etkisinin azaldığı süreç dikkate alınmamıştır.

17 Ağustos 1999 da Kocaeli de meydana gelen depremin İzmİt Meteoroloji İstasyonundaki cihazdan alınan kayıt verileri Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesinden alınmıştır. 1940 El Centro depreminin kayıtları (<http://peer.berkeley.edu/research/motions/>) İle 17 Ocak 1994 Northridge depreminin kayıtları İse Pasific Engineering'in peer strong motion database record (alhambra - fremont school)dan alınmıştır. Tank- zemin etkİleşİmi ve temel detaylandırmalarında kayıtların alındığı zemin özelliklerinin detaylandırma İle ilgili çalışmalarda kullanılması uygulamalar İçin daha doğru yaklaşımlar sağlayacaktır.

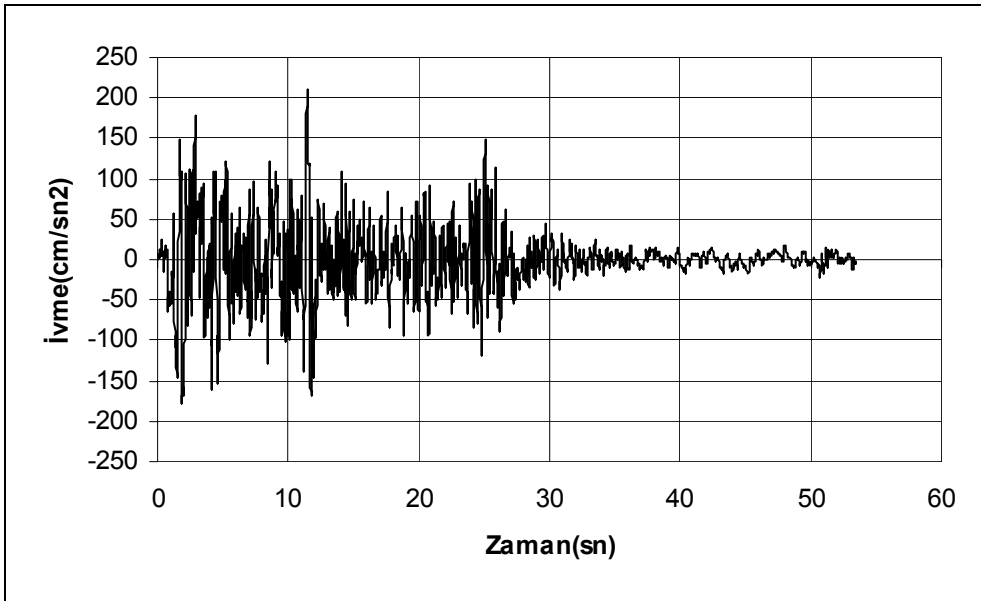
Depremlerin Z doğrultusundaki düşey bileşenleri küçük olduğu İçin çözümlemede dikkate alınmamıştır.

Çözümlerde zeminle –yapı etkİleşİmi İrdelenmemİ olup zeminle ilgili çözümler sistemde dikkate alınmamıştır. Zemin ve temel tasarımı İçin gereken moment değerleri zemin modülü girilerek tekrar değerlendirilmelidir.

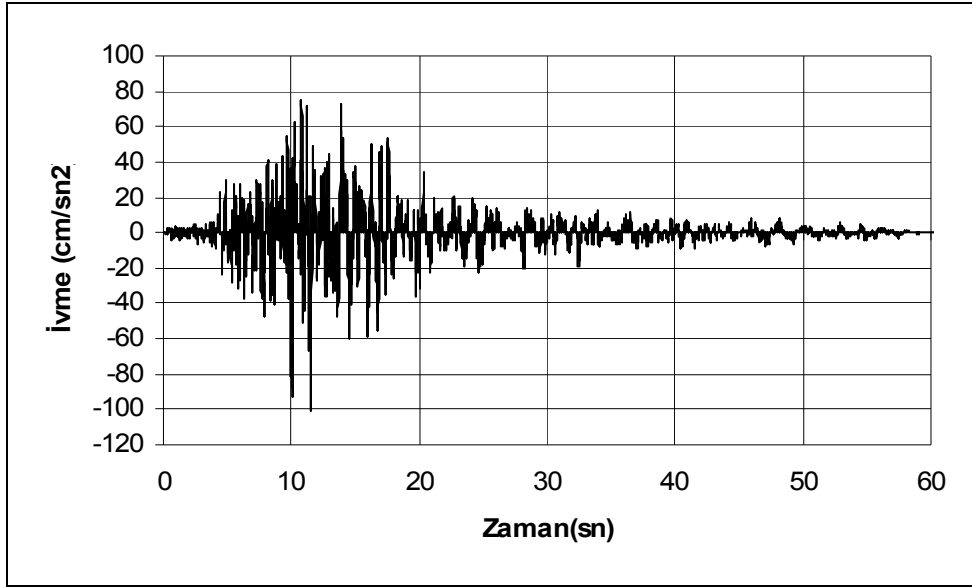
Tank modeli İçerisine tek serbestlik dereceli sistem modeli oluşturulurken İmpulsif ve salınım(konvektif) kütleler tek serbestlik dereceli sistem öngörüsüyle yapıya rijit diyafram olarak bağlanmış olup bu bağlantı detayı ayrıca İrdelenmemİtır.



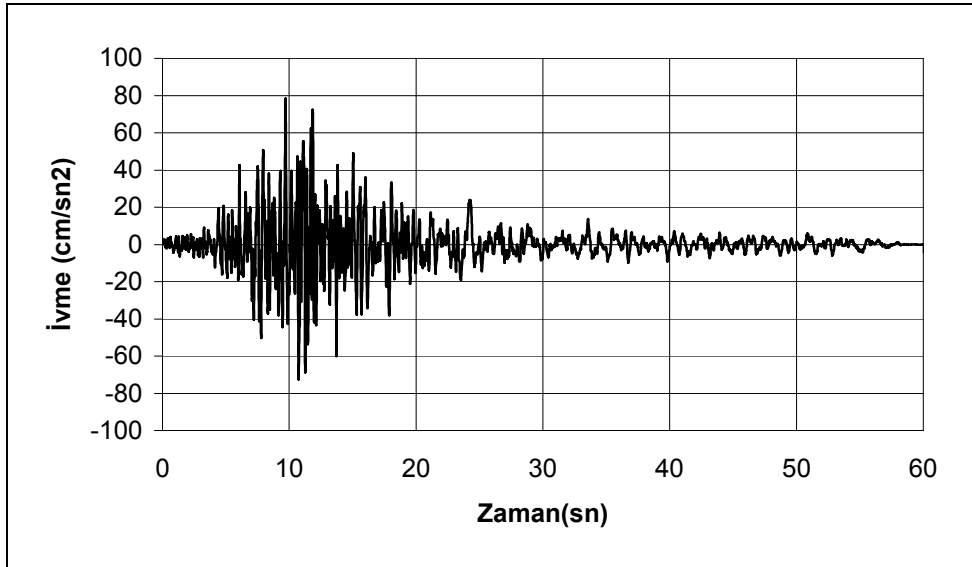
Şekil 5.2.18 Mayıs 1940 El-Centro depremi kuzey-güney ivme-zaman grafiği



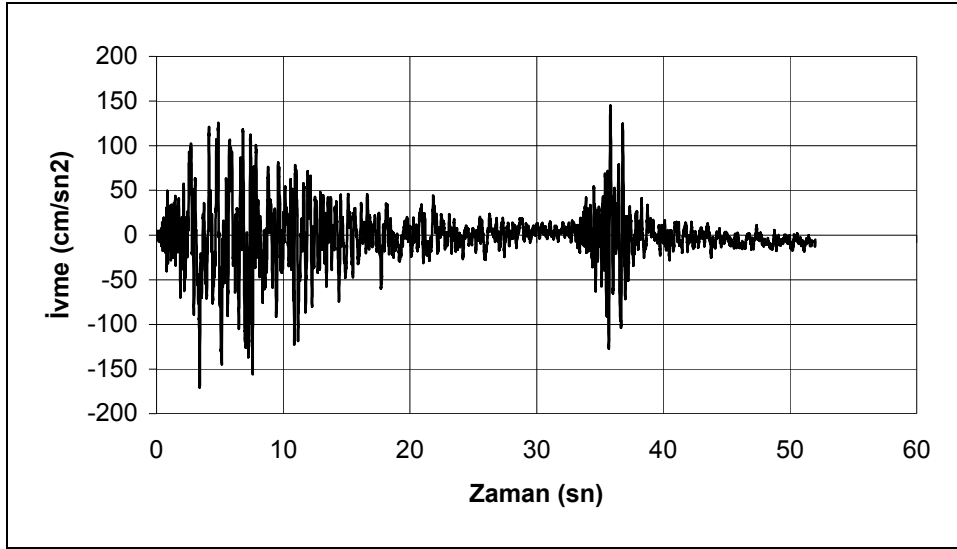
Şekil 5.3.18 Mayıs 1940 El-Centro depremi doğu-batı ivme-zaman grafiği



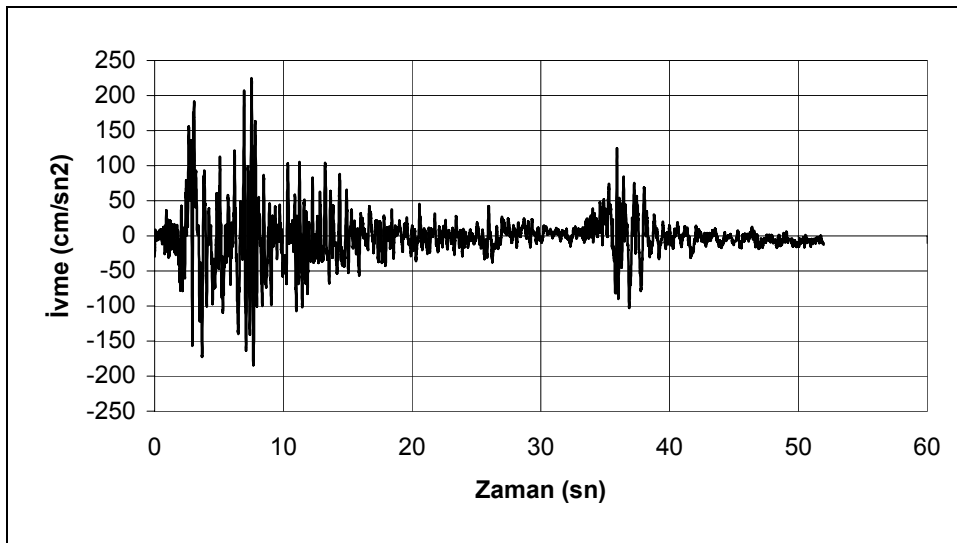
Şekil 5.4.17 Ocak 1994 Northridge depremi kuzey-güney ivme-zaman grafiği



Şekil 5.5.17 Ocak 1994 Northridge depremi doğu-batı ivme-zaman grafiği

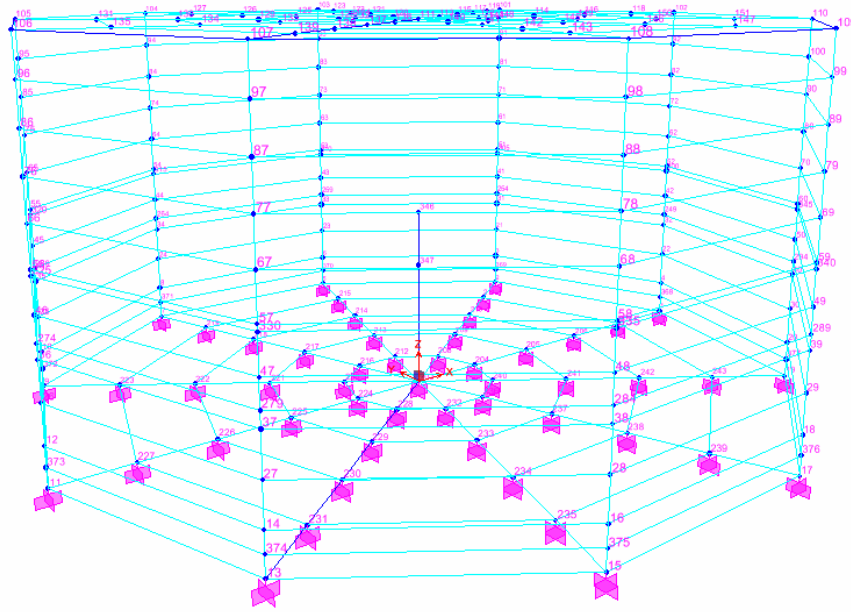


Şekil 5.6.17 Ağustos 1999 Marmara depreminde İzmit Meteoroloji Müdürlüğü kuzey- güney ivme-zaman grafiği

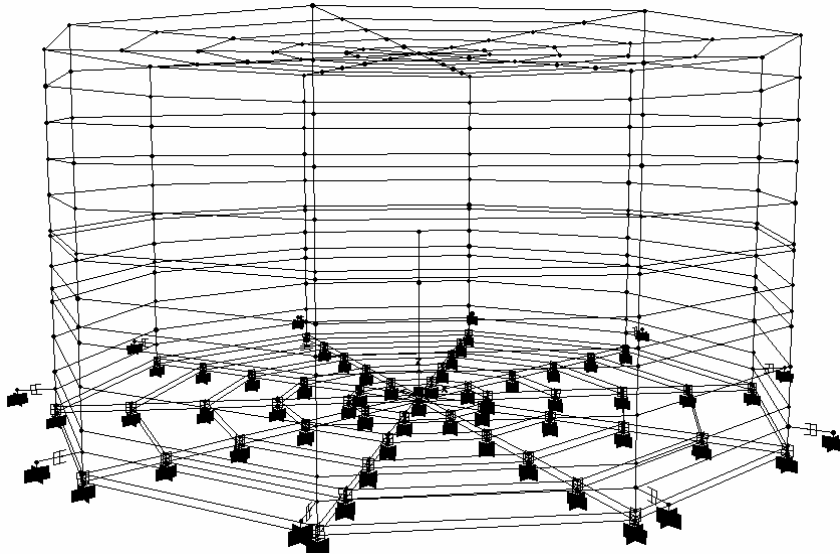


Şekil 5.7.17 Ağustos 1999 Marmara depreminde İzmit Meteoroloji Müdürlüğünden alınan doğu batı ivme-zaman grafiği

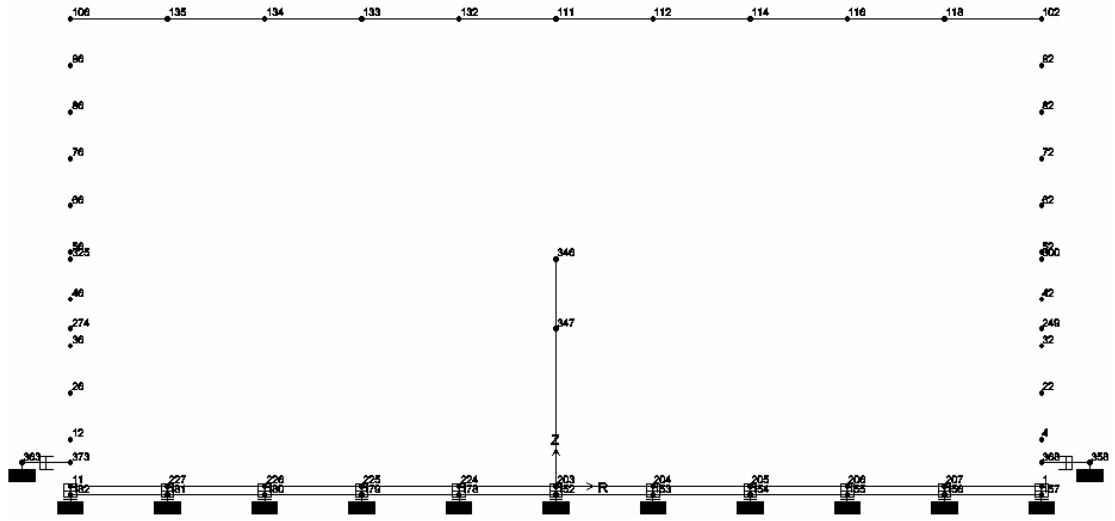
Sap2000 yapısal analiz programında modellenen tankın ankastre mesnetli ve Kauçuk izolatör ve sönümleyici birlikte uygulandığında oluşan şekiller aşağıda verilmektedir.



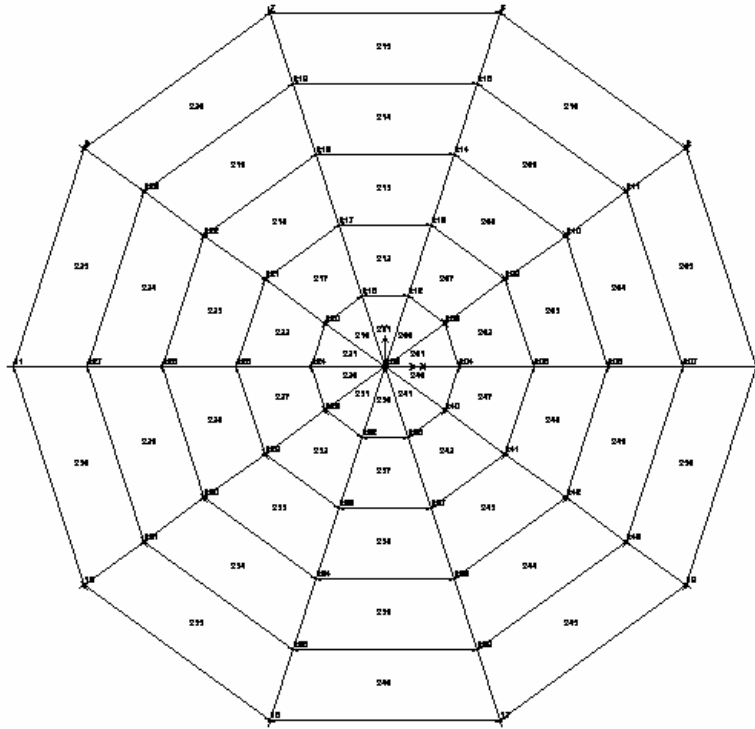
Şekil 5.8.SAP2000 yapısal analiz programında ankastre mesnetli model



Şekil 5.9.SAP2000 Yapısal analiz programında kauçuk yatak(izolatör) ve sönümleyici (damper) kullanılarak tasarlanan model tank



Şekil 5.10.SAP2000 Yapısal analiz programında kauçuk yatak(izolator) ve sönümleyici (damper) kullanılarak tasarlanan model tank kesiti



Şekil 5.11.Sap2000 Yapısal analiz programında kauçuk izolator (yatak) ve sönümleyici kullanılarak tasarlanan model tank tabanı

Çizelge 5.5.Modellerin incelenmesinde dikkate alınan kriterler

İncelenen Kriter	Kriter Başlığı
Tankın X Eksenini Yönünde Maksimum Taban Kesme Kuvveti	A
Tankın Y Eksenini Yönünde Maksimum Taban Kesme Kuvveti	B
Tankın X Eksenini Yönünde Maksimum Taban Momenti	C
Tankın Y Eksenini Yönünde Maksimum Taban Momenti	D
Tank Tabanında Kullanılan Kauçuk Yatakların X Yönünde Deplasmanı	E
Tank Tabanında Kullanılan Kauçuk Yatakların Y Yönünde Deplasmanı	F
Tankın Tavanının X yönündeki Göreli İvmesi	G
Tankın Tavanının Y yönündeki Göreli İvmesi	H
Tankın Tavanının X yönündeki Maksimum İvmesi	I
Tankın Tavanının Y yönündeki Maksimum İvmesi	J
Tankın Aktif Modal Periyodu	K

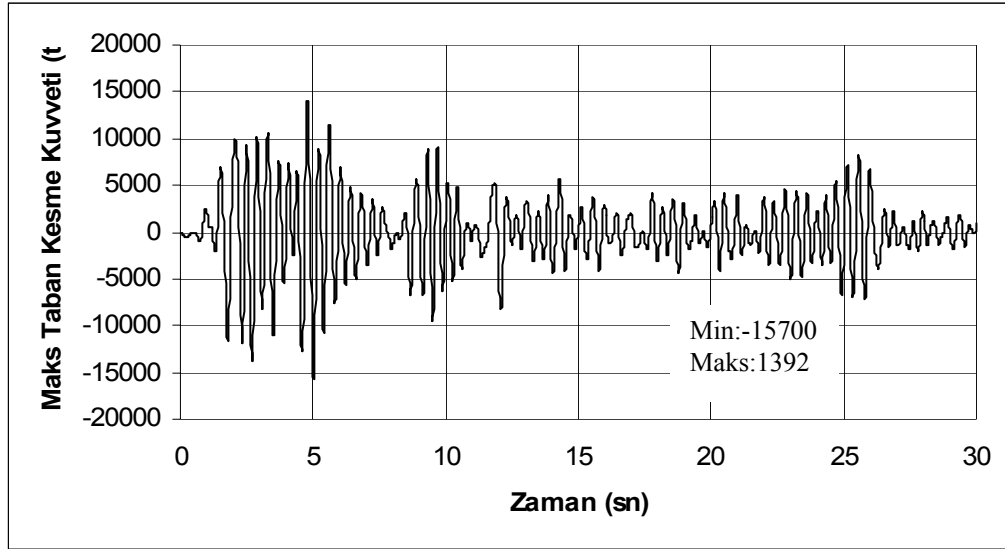
5.3.1. El Centro deprem ivmesine göre yapılan çözüm

Şekilde modellenmesi görülen 10 m yarıçaplı, 9,6 m yüksekliği olan ve $H=8$ m. yüksekliğe kadar su ile dolu olarak dinamik analiz bölümünde özellikleri verilen tank zaman tanım alanında El Centro depremi verileri kullanılarak çözülmüş ve sonuçta elde edilen maksimum taban kesme kuvveti ve moment grafikleri aşağıda verilmiştir.

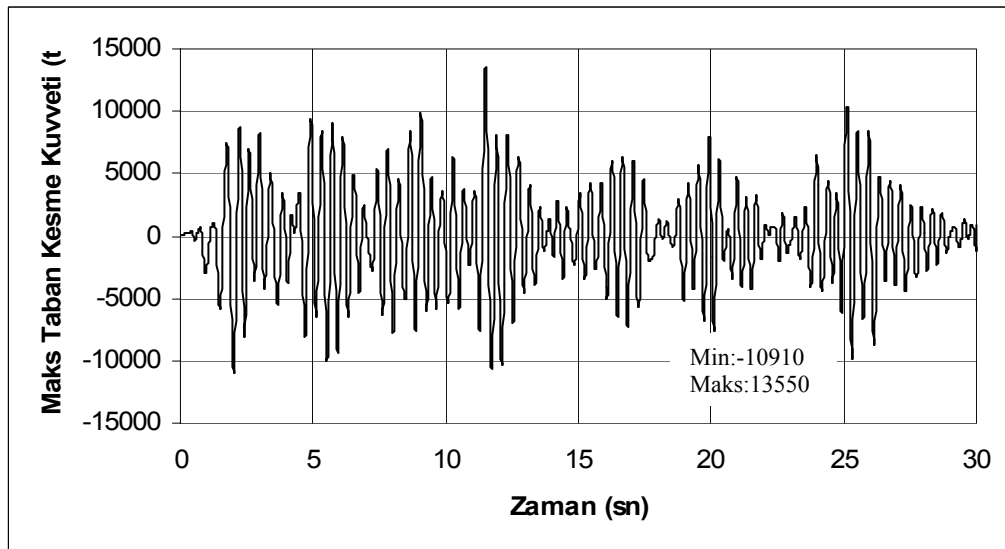
Tanklar genelde zemine serbest olarak oturtulmaktadır. Ancak modelleme yaparken zemine rijit oturduğu varsayılan tank modeli, sadece kauçuk yataklar ve sönümleyicilerin etkilerini dikkate alacak olan çözüm için öncelikle ankastre mesnetli olarak çözülmüştür.

Daha sonra mesnetlerin düğüm noktalarına yerleştirilen yüksek sönümlü kauçuk yataklar kullanılarak çözüm yapılmıştır. Kauçuk yataklı bu modele ek olarak diğer bir model de ise tankların zemine yakın bölümlerindeki burkulmaları ve tankın kauçuk yatakların yatay deplasmanlarını sönümlemek suretiyle engelleyerek ilk konumlarına dönmelerini kolaylaştıracak şekilde hareket etmesine yardımcı olacağı tasarlanan sümleyiciler dikkate alınarak 0,05 h. seviyesinden radyal doğrultuda 10 noktadan viskos sönümleyici kullanılarak çözüm yapılmıştır.

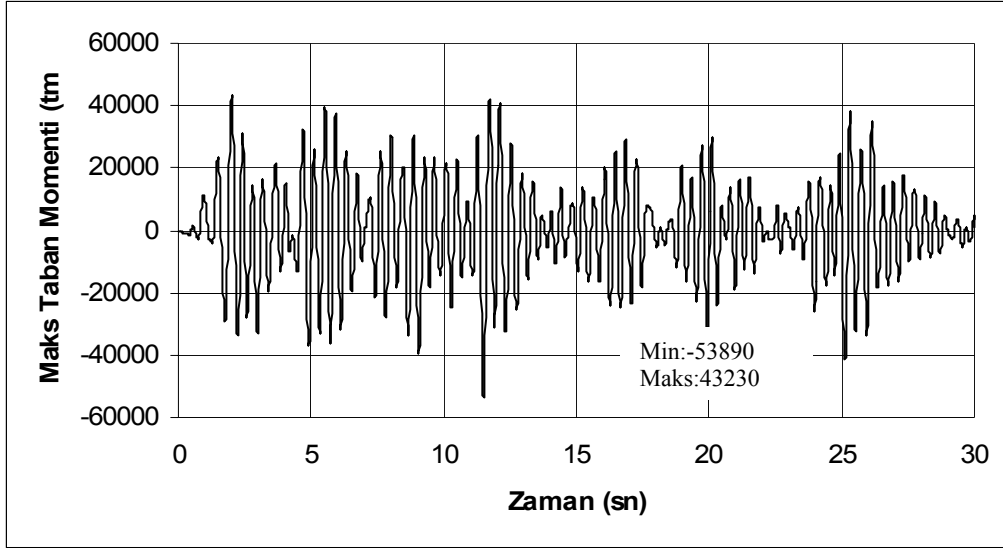
Yapılan çözüm sonucu elde edilen taban kesme kuvvetleri ve momentlerin zamanla değişim grafikleri aşağıda verilmiştir.



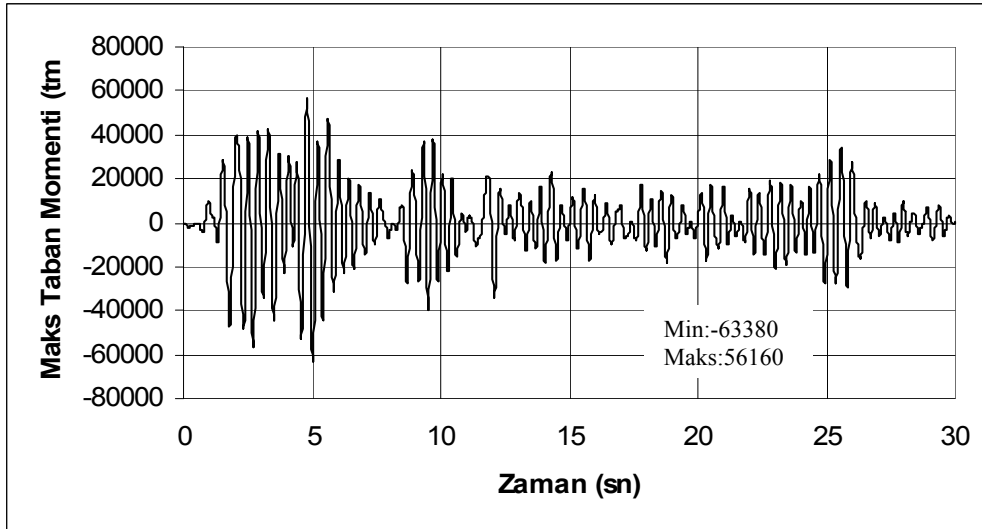
Şekil 5.12.El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği



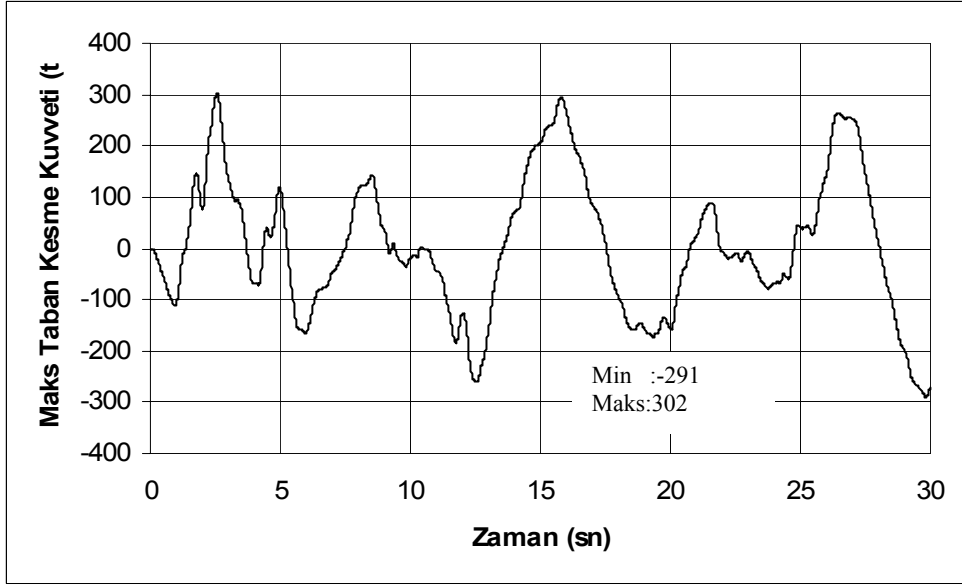
Şekil 5.13.El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği



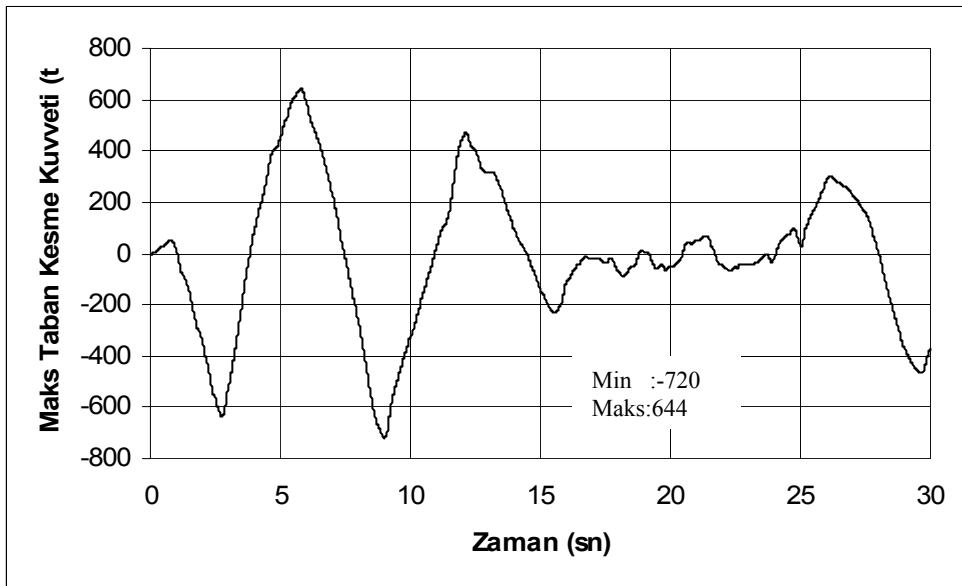
Şekil 5.14.El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



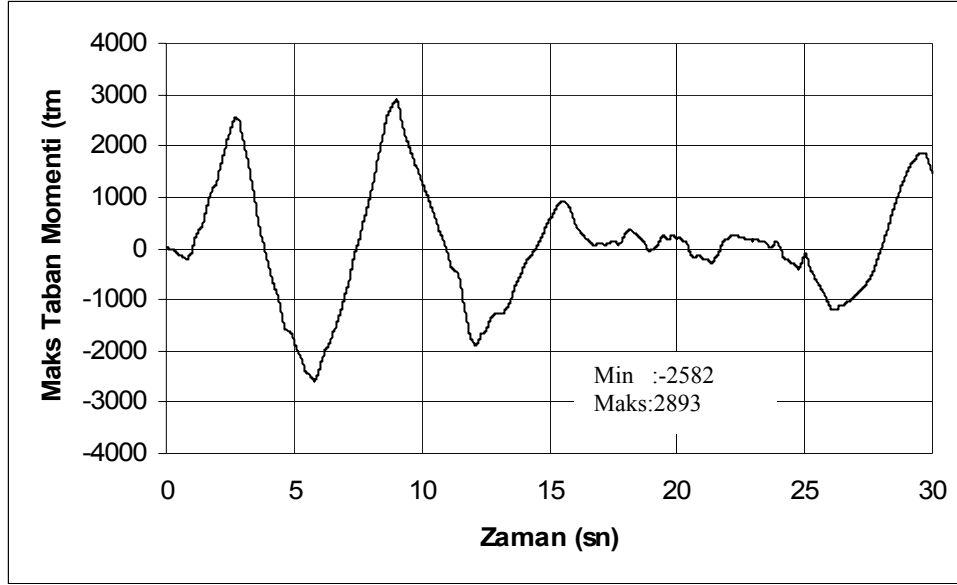
Şekil 5.15.El Centro verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



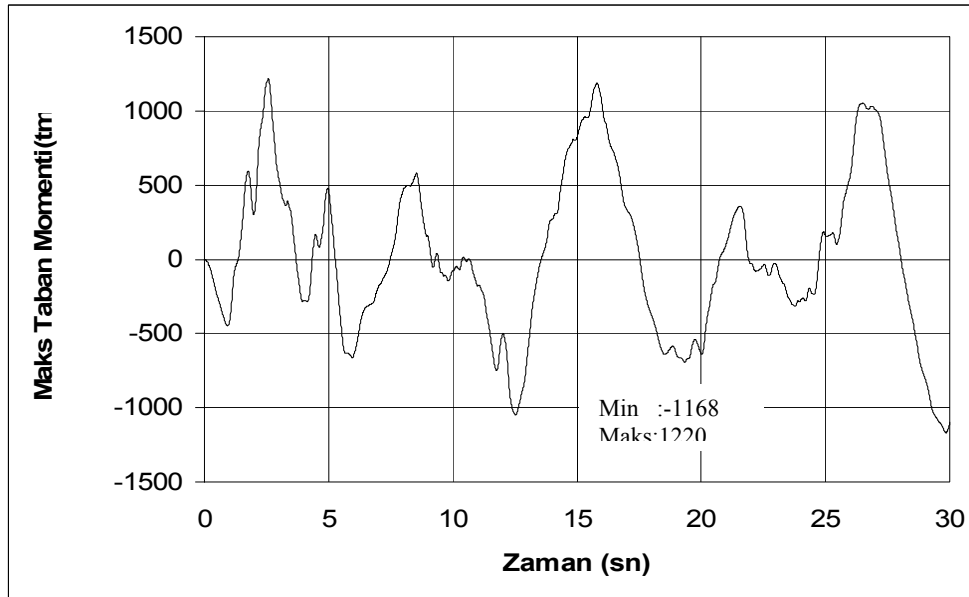
Şekil 5.16.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



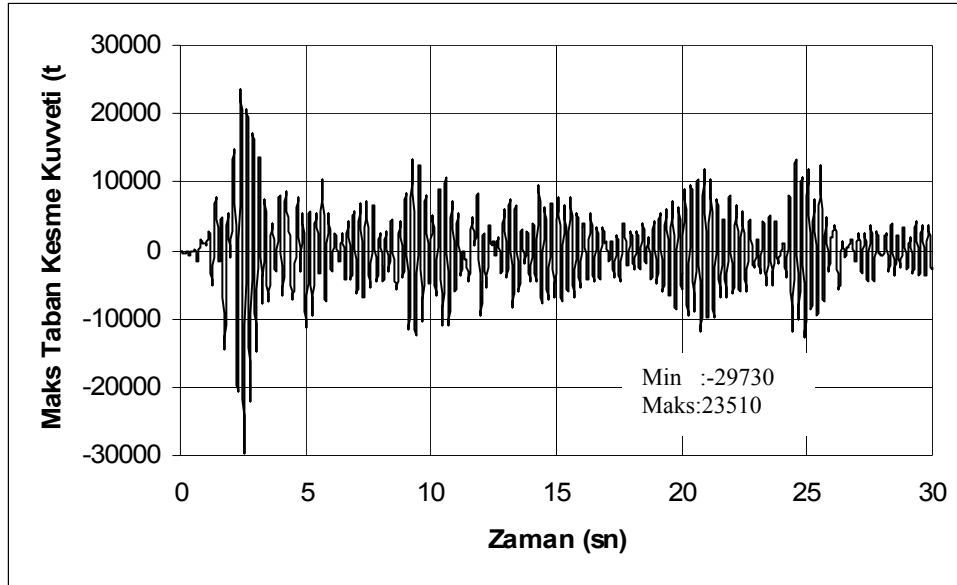
Şekil 5.17.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



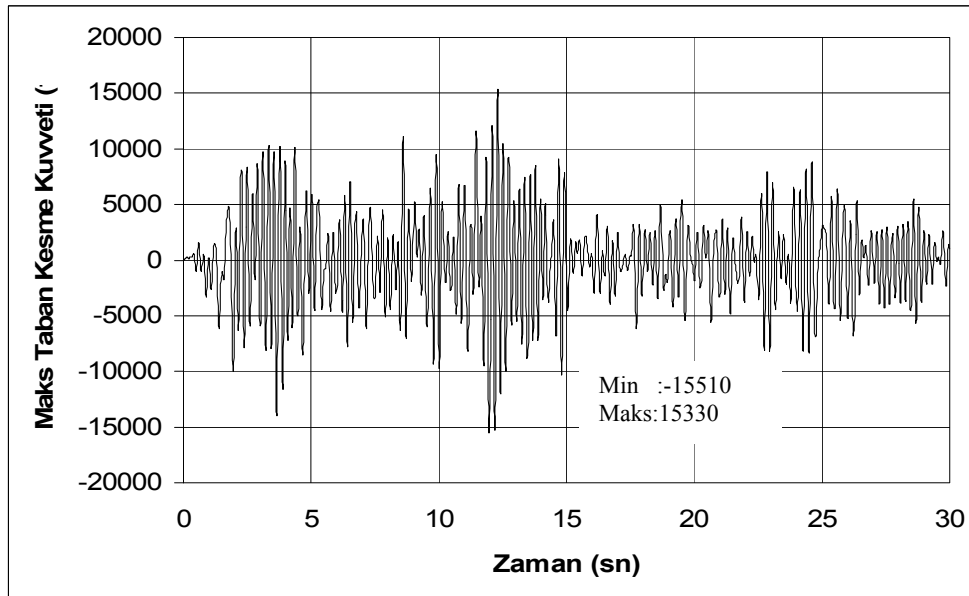
Şekil 5.18.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



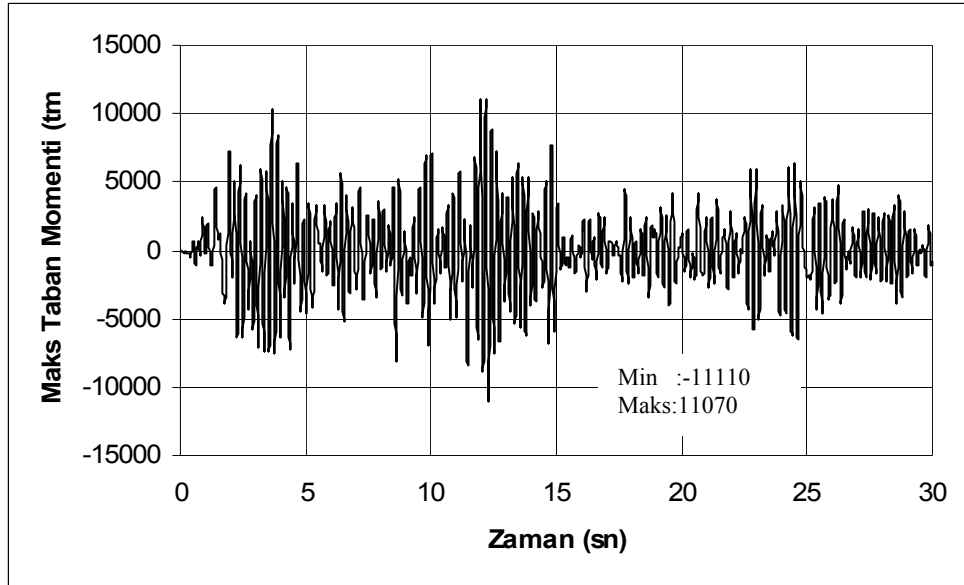
Şekil 5.19.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



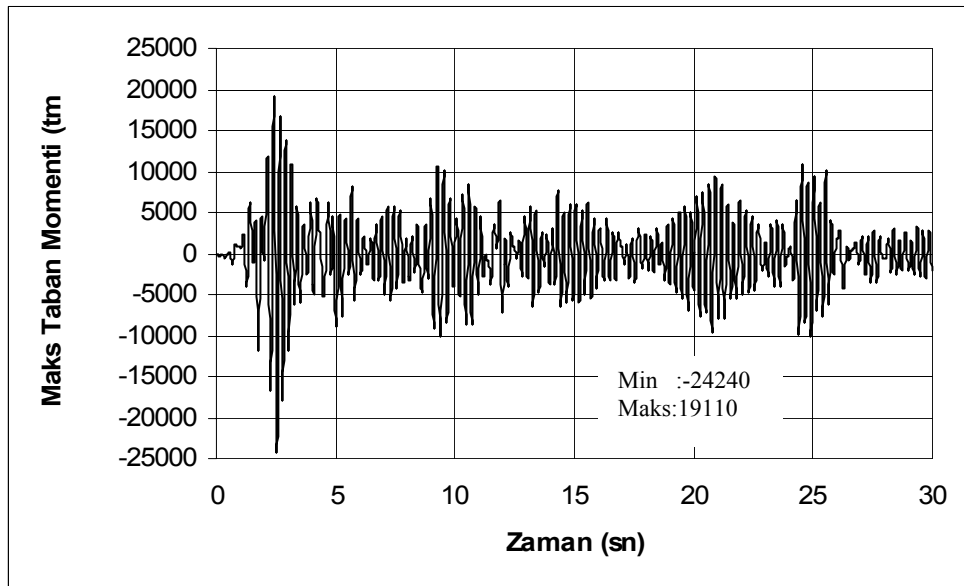
Şekil 5.20.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



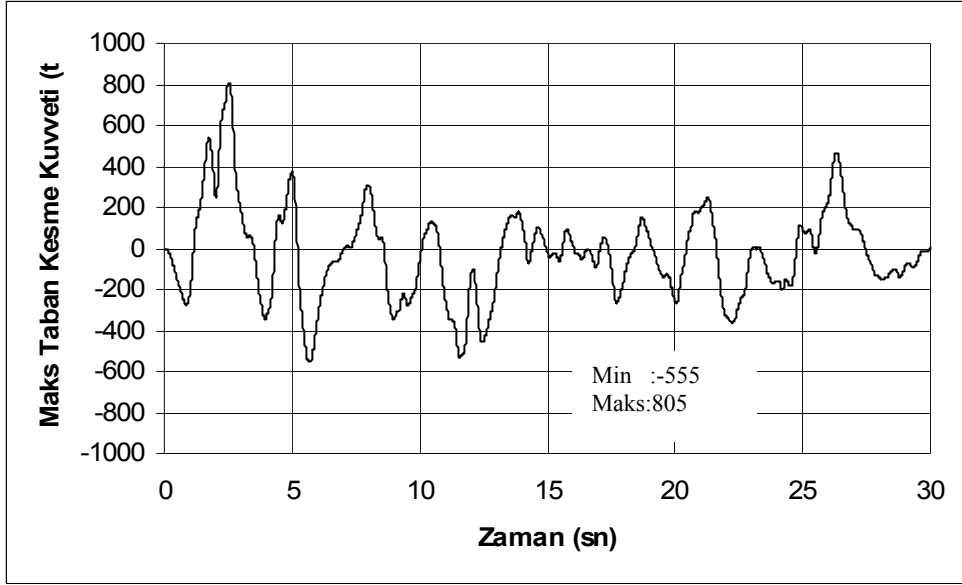
Şekil 5.21.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözüm y doğrultusunda maks taban kesme kuvveti -zaman grafiği



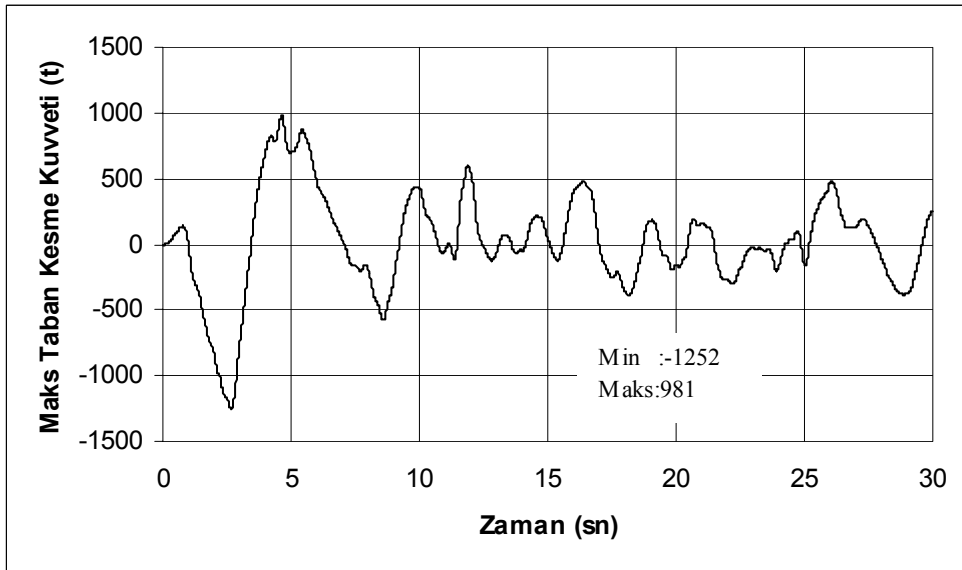
Şekil 5.22.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



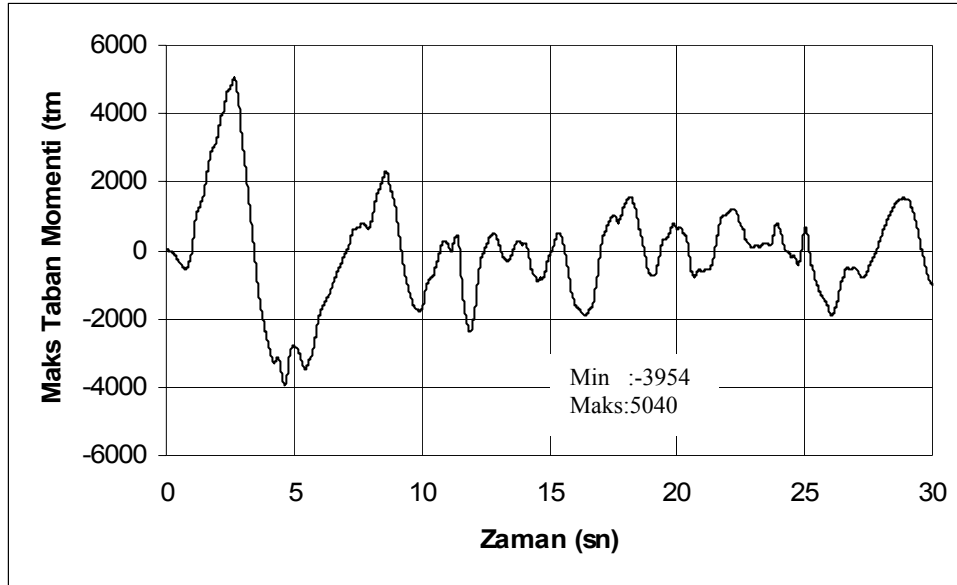
Şekil 5.23.El Centro verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



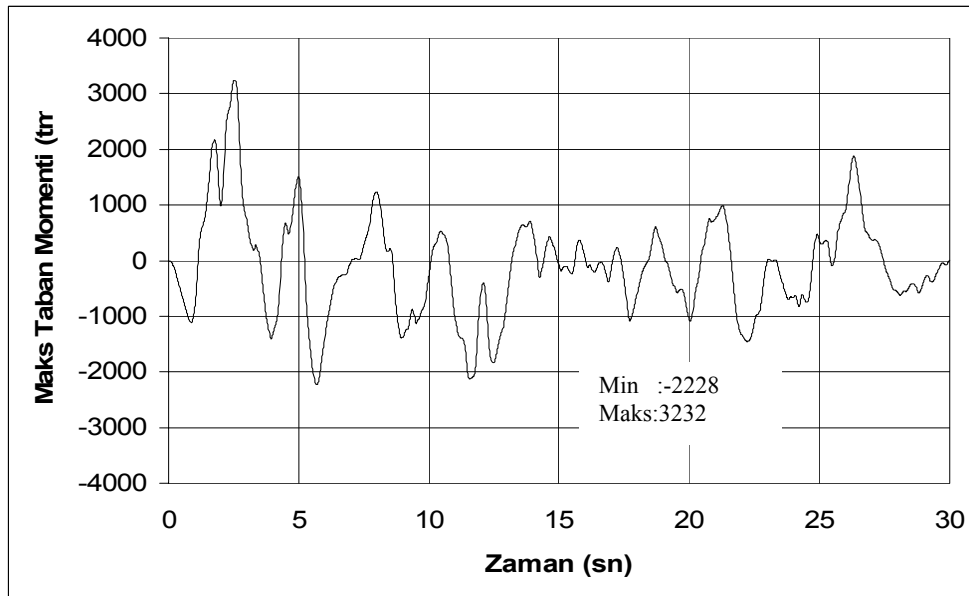
Şekil 5.24.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



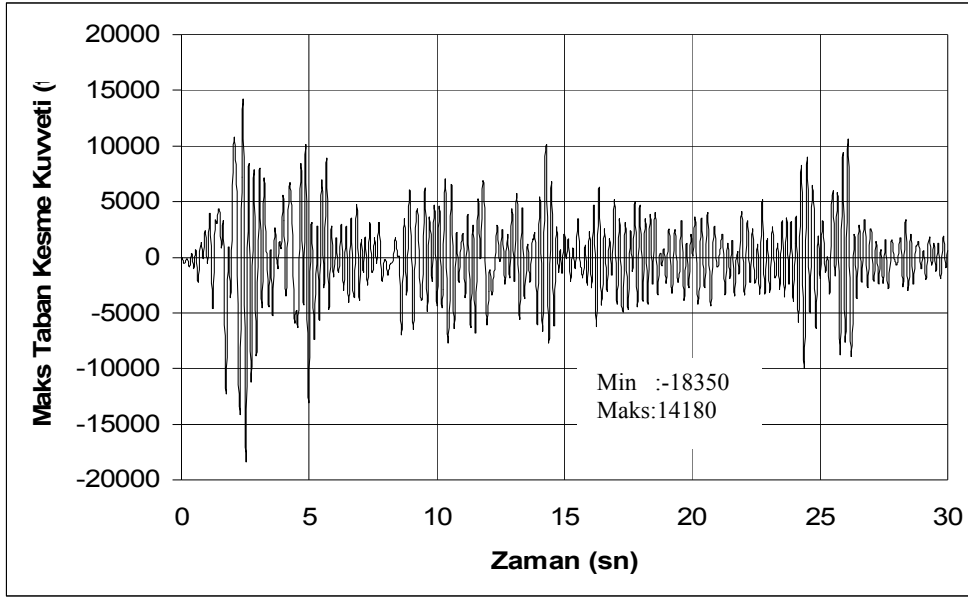
Şekil 5.25.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



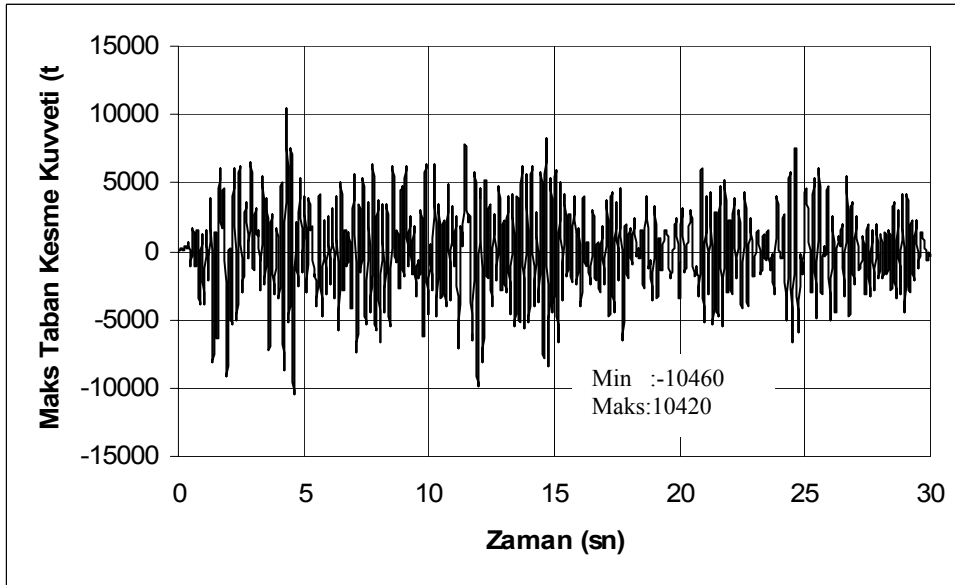
Şekil 5.26.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



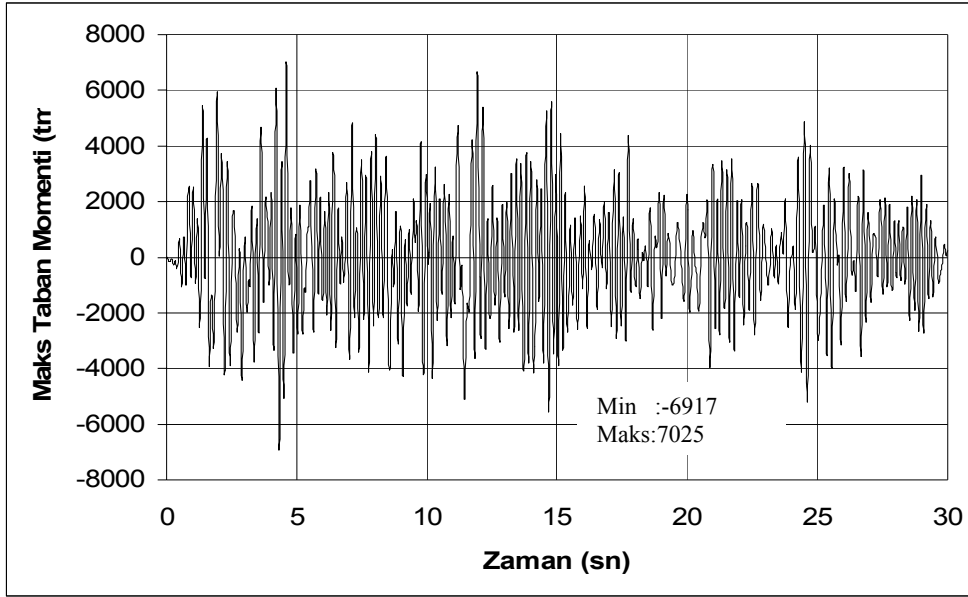
Şekil 5.27.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



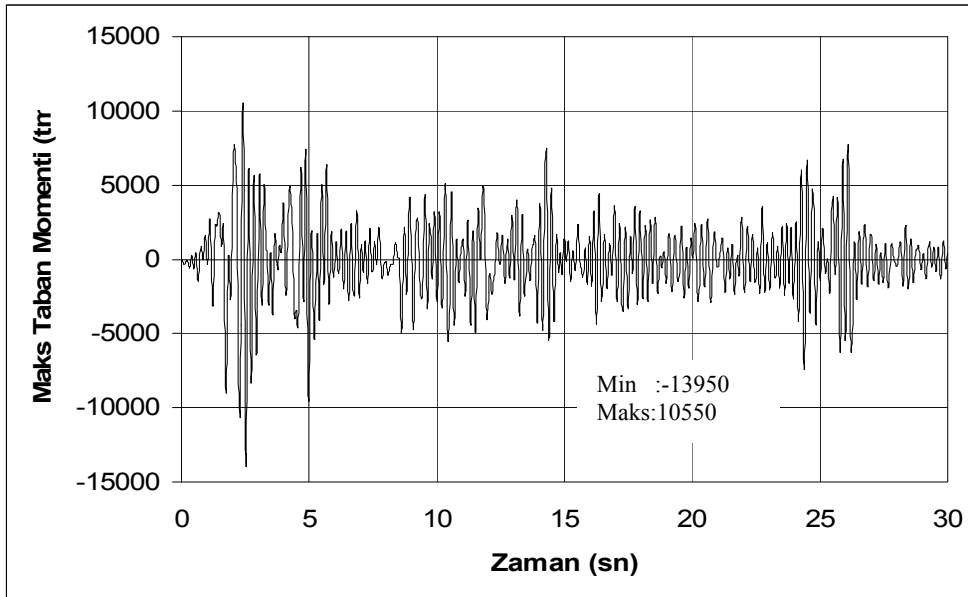
Şekil 5.28.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



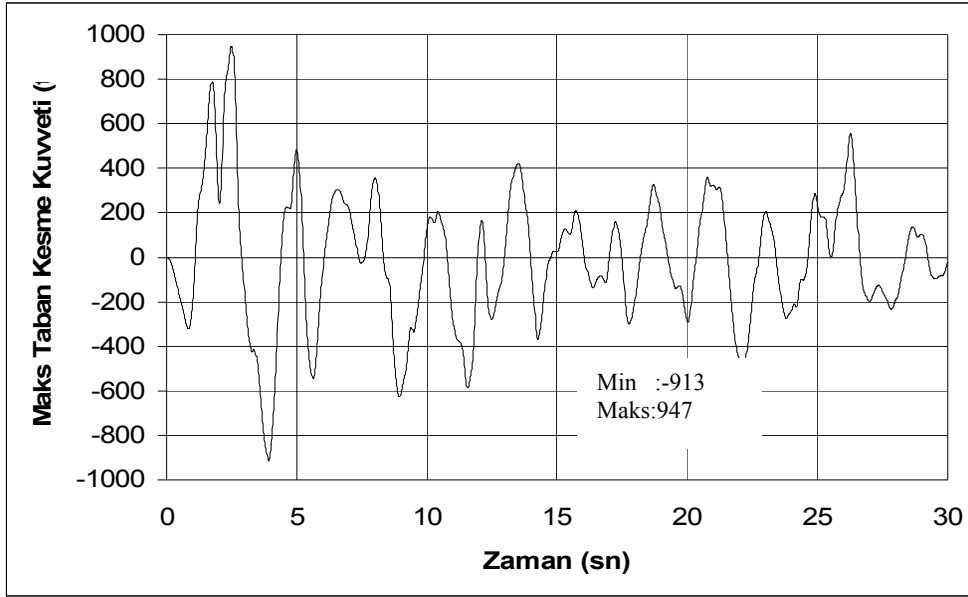
Şekil 5.29.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



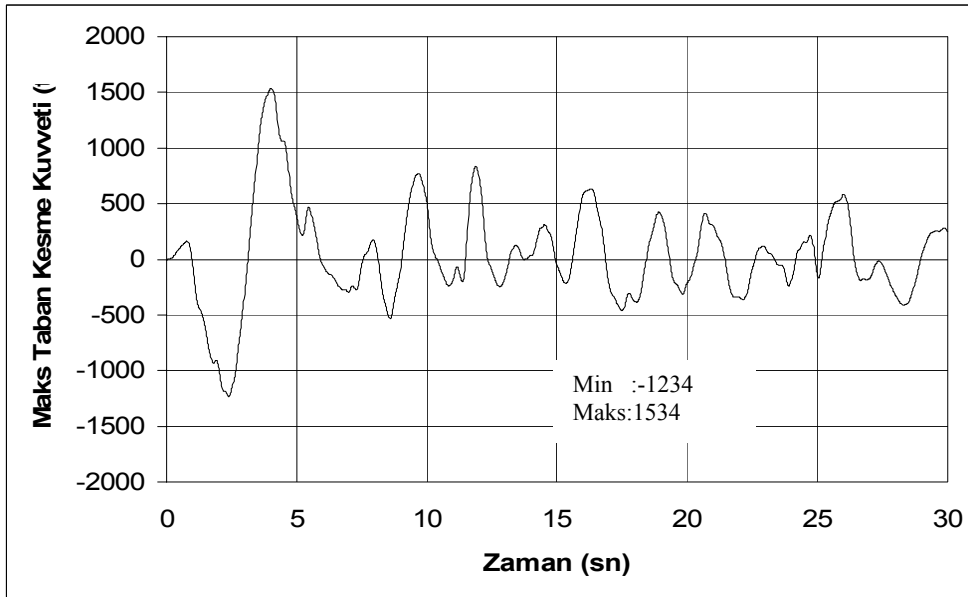
Şekil 5.30.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



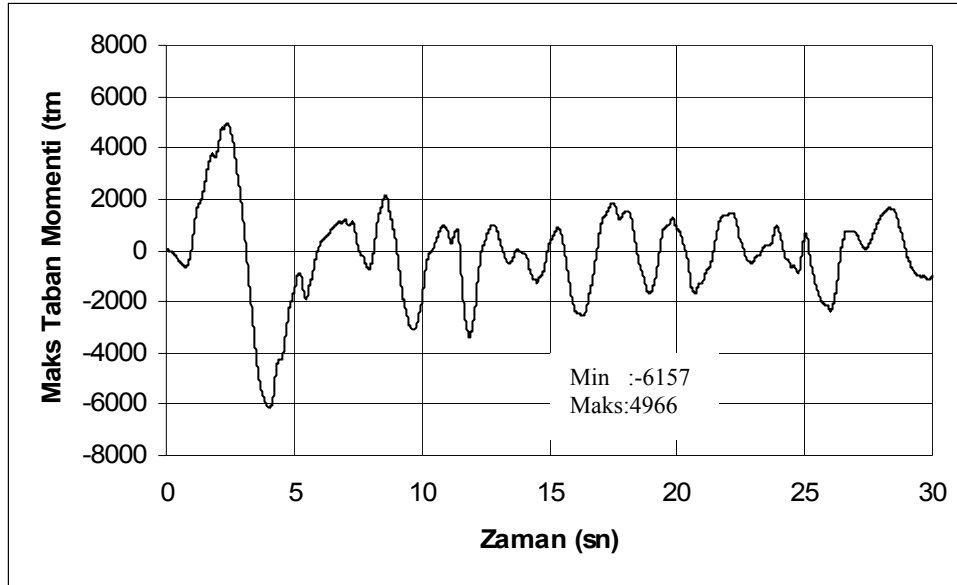
Şekil 5.31.El Centro verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



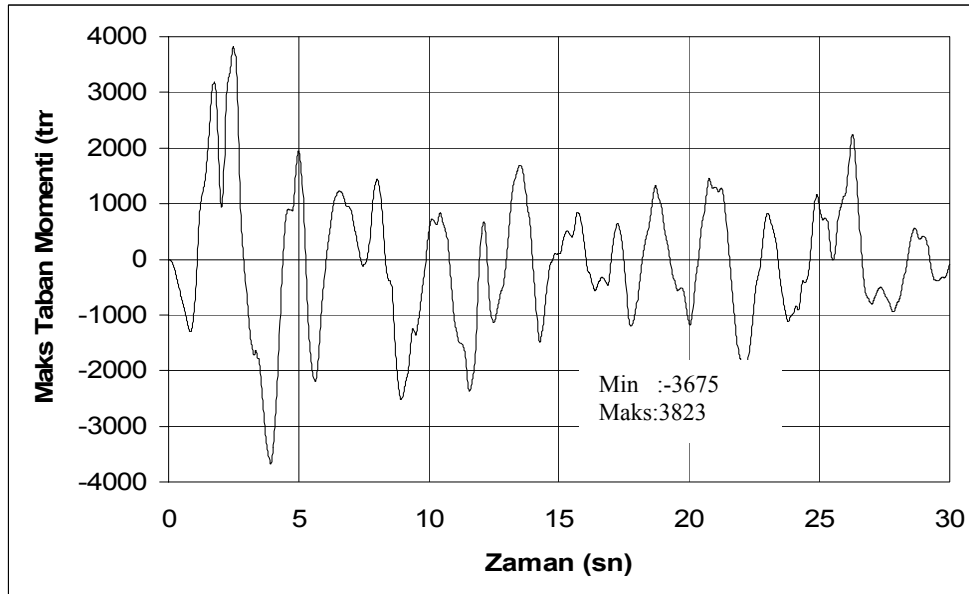
Şekil 5.32.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



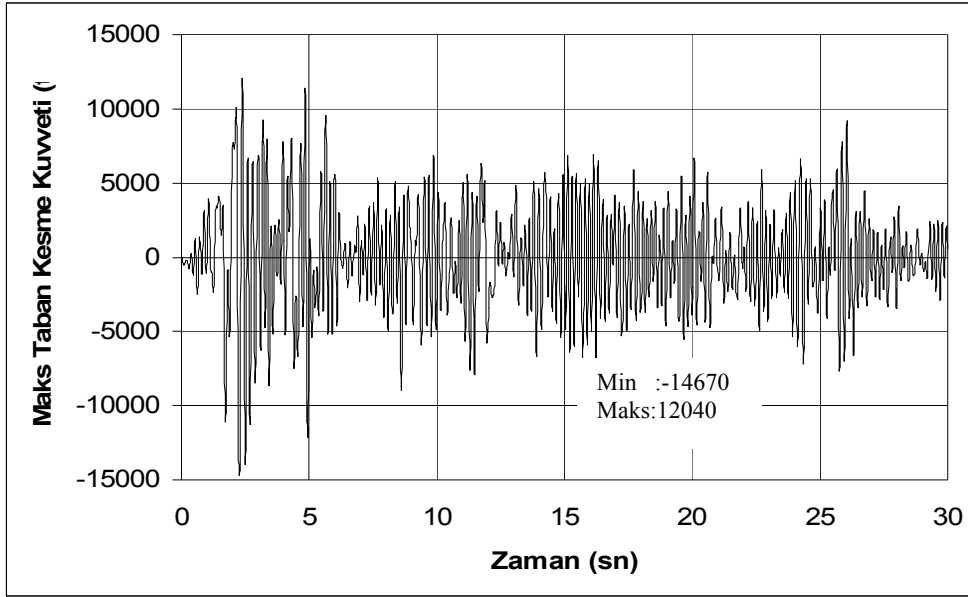
Şekil 5.33.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



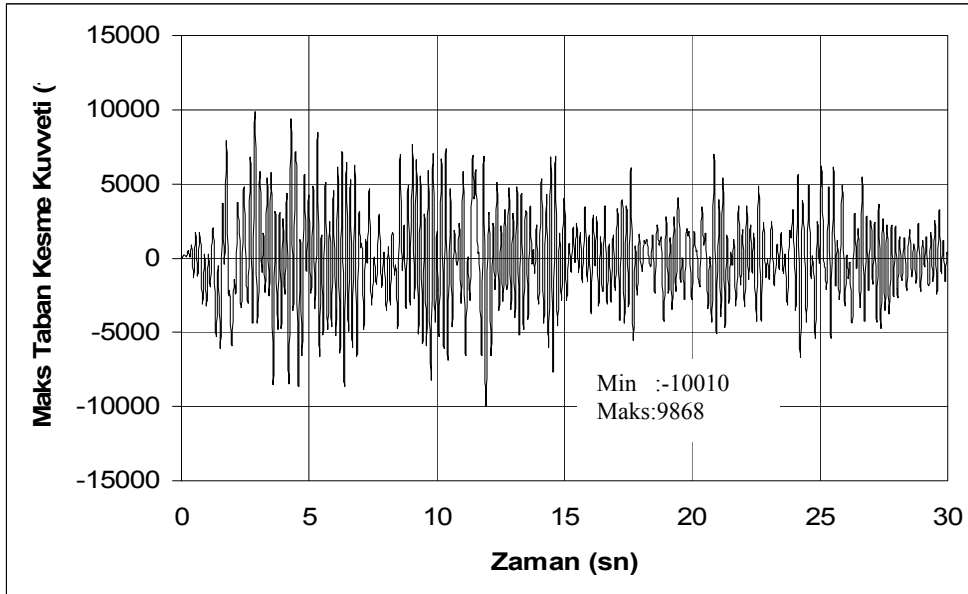
Şekil 5.34.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



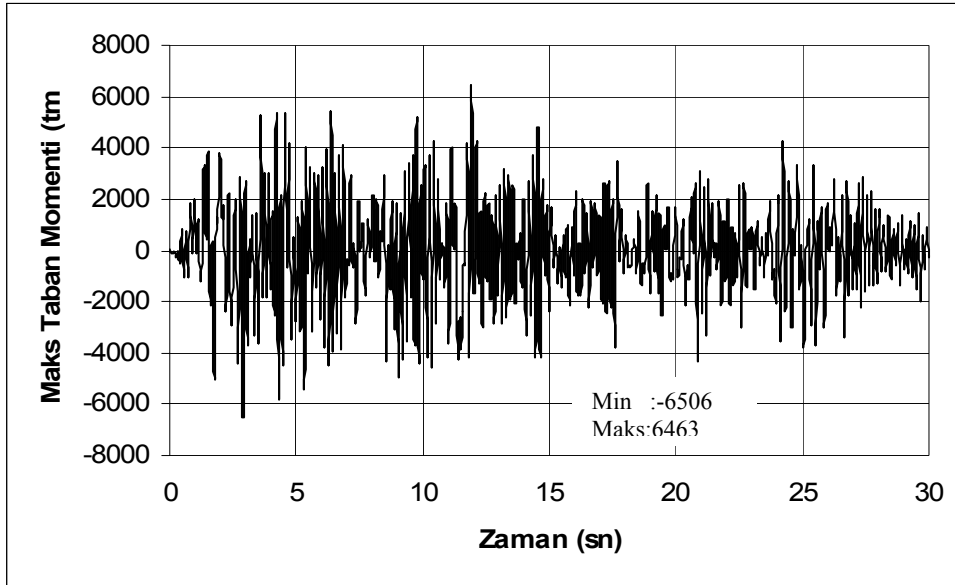
Şekil 5.35.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



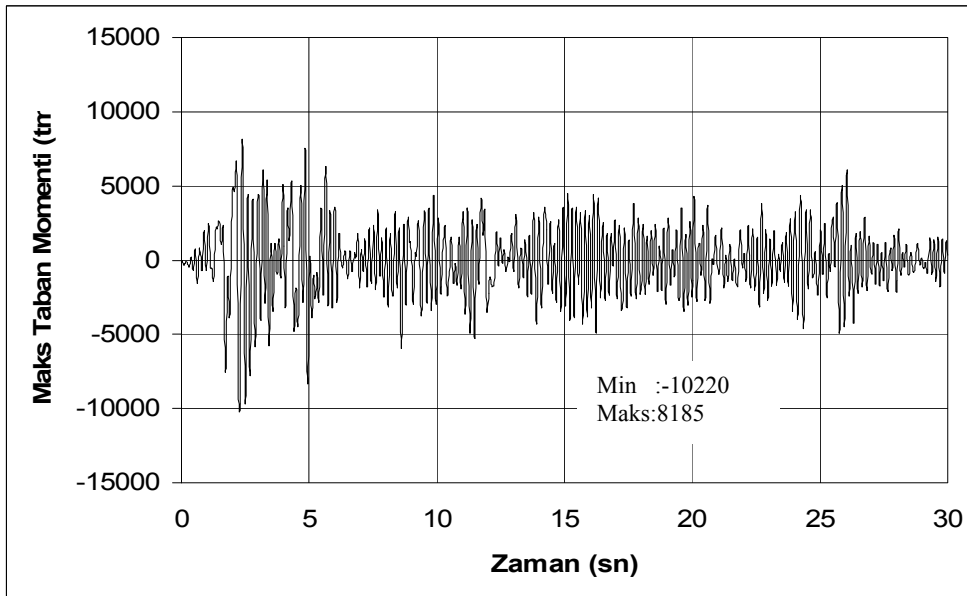
Şekil 5.36.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



Şekil 5.37.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



Şekil 5.38.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



Şekil 5.39.El Centro verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği

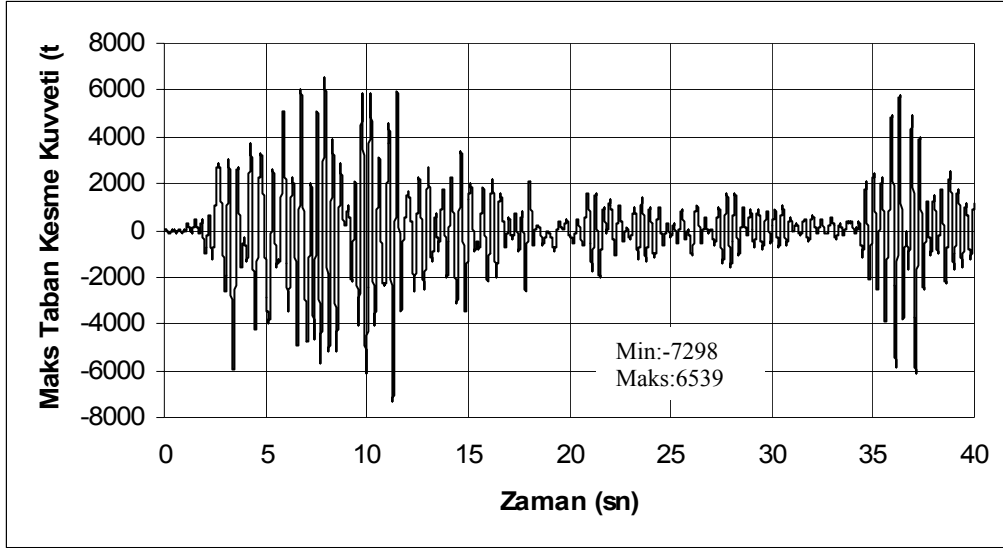
5.3.2.Marmara depreminin İzmit Meteoroloji ivme değerleri kullanılarak yapılan çözümü

Sıvı depolama tankı modellerinin; ankastre mesnetli çözümü yanında diğer üç tip mekanik özelliğe sahip kauçuk yatak kullanılarak ve bunun yanısıra yine tankın 0,05h seviyesinde radyal doğrultuda uygulanan sönümleyici uygulaması Bölüm 5.3.1 de El Centro depreminde verilen esaslar çerçevesinde Marmara depreminin İzmit Meteoroloji Müdürlüğünden alınan ivme değerleri kullanılarak çözülmüştür.

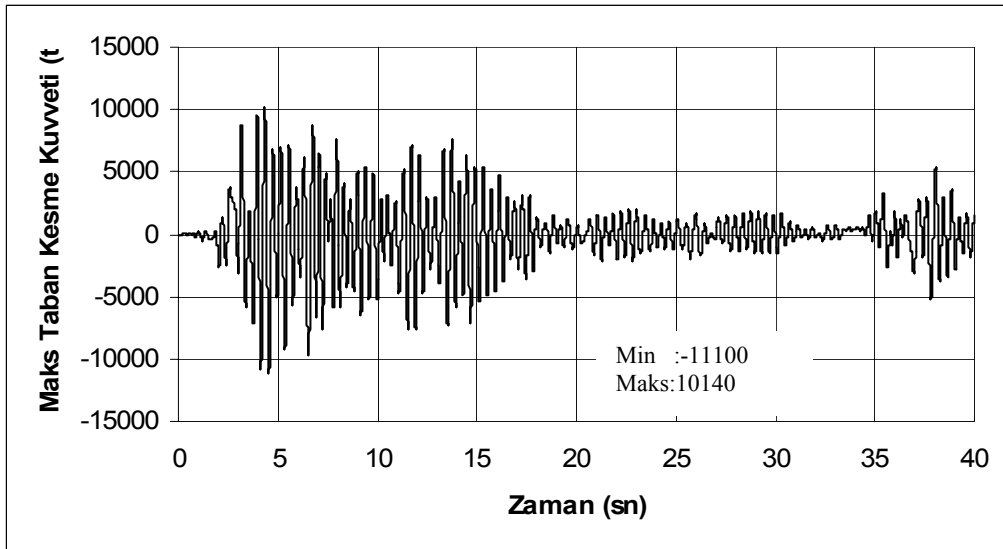
Ankastre mesnetli sistem çözümünde, dinamik analiz bölümünde davranış spektrumunu uygulanan tank önerisinde anlatıldığı şekilde zaman tanım alanında yapılan analizde modal kütlelerin %85 - %98 inin kullanılması öngörülmektedir. İmpulsif ve salınım kütleleri göz önüne alınarak sistem mod sayısı 5 alınmıştır. Çözümde aktif modal kütle oranlarının mod sayısı için yeterli olduğu görülmüştür.

Tankın altına yerleştirilen yataklar kendi içinde deplasman yapmasından dolayı görelî yer değiştirmeler ve ivmelenmeler dikkate alınmalıdır. Yatakların kendisi yapacağı deplasmandan sonra tank modelimizde deplasman yapacaktır. Bu deplasmanlar zemine ankastre oturan tank modeli ile karşılaştırılacaktır. Tankın zemine ankastre oturması halindeki deplasmanının azalma oranı önem arz eder. Sıvı depolama tankı bu deplasmanı yarlardan kullanılacak sönümleyiciler sayesinde eski başlangıç şartlarına dönmesinin kolaylaşması gerekmektedir.Bu çözümler neticesinde kıyaslamalarda bunlarda gözlenecektir.

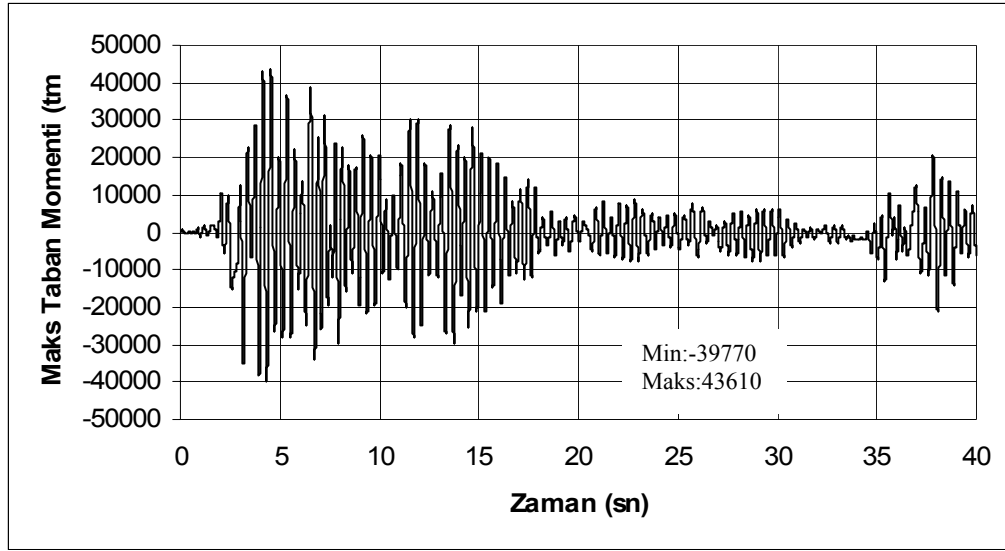
Çözüm sonuçları ve taban kesme ve momentin zamanla değişimini gösteren grafikler aşağıda verilmiştir.



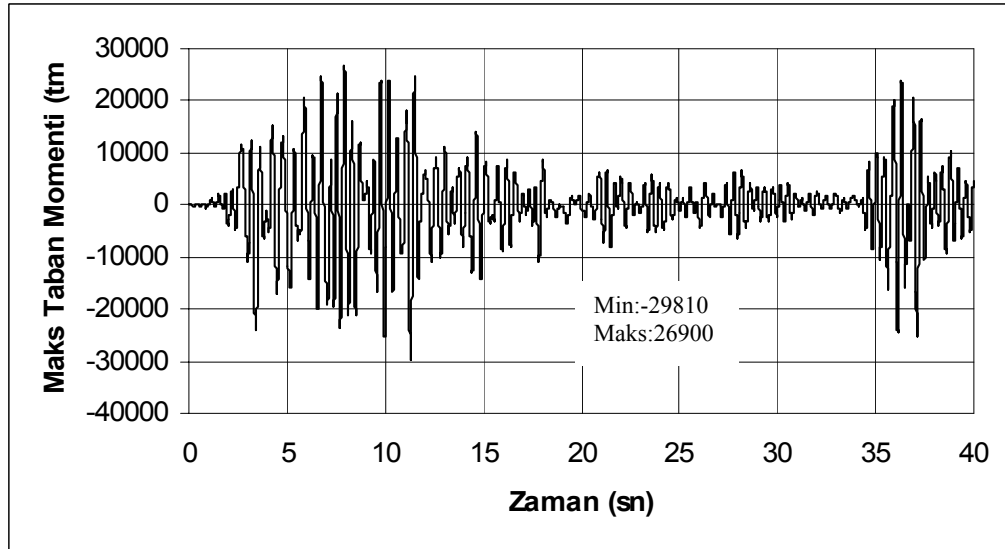
Şekil 5.40.İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği



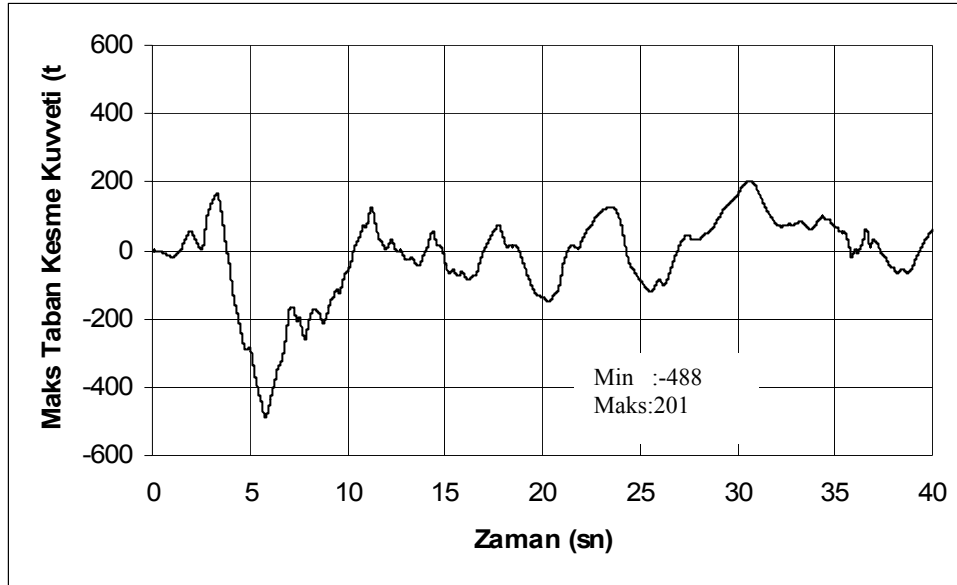
Şekil 5.41.İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği



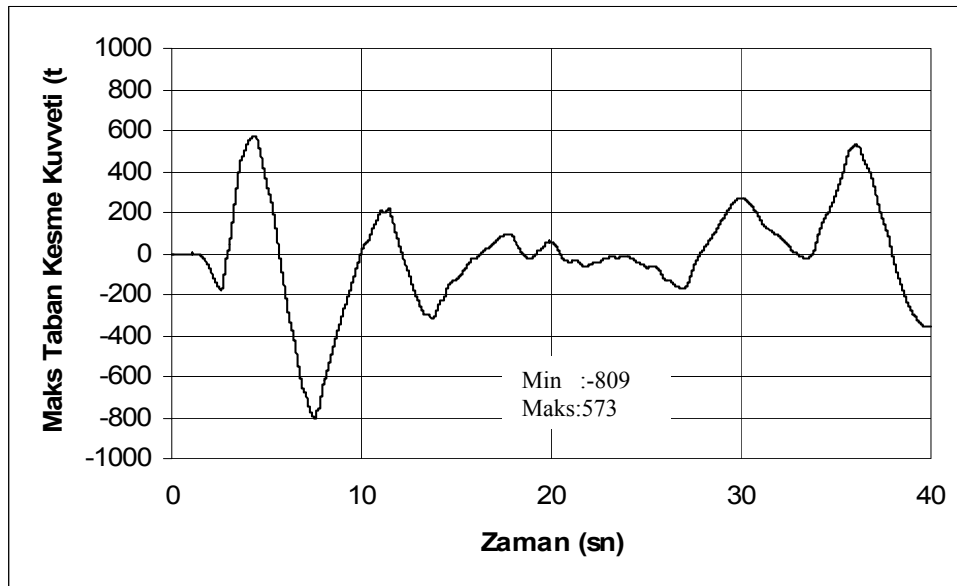
Şekil 5.42.İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



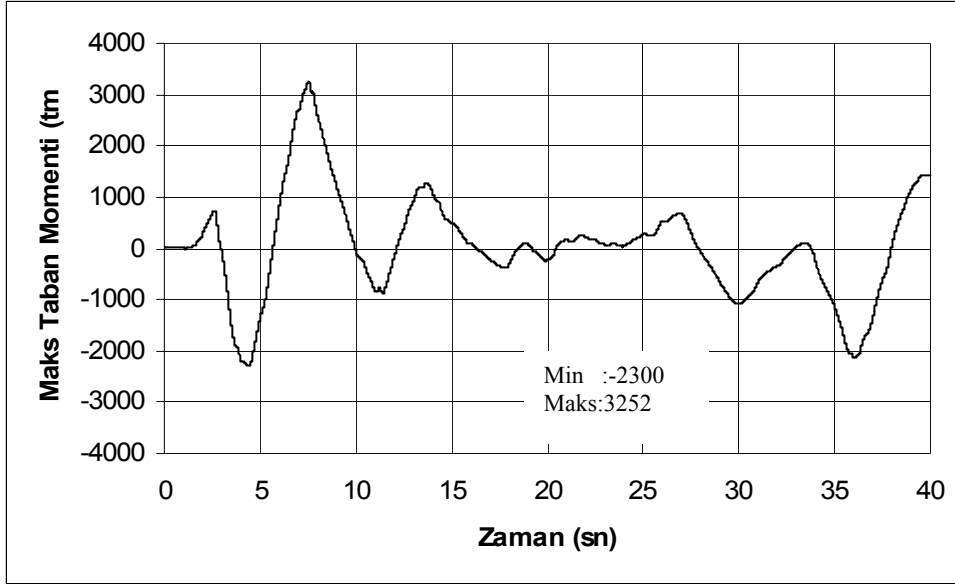
Şekil 5.43.İzmit Meteoroloji verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



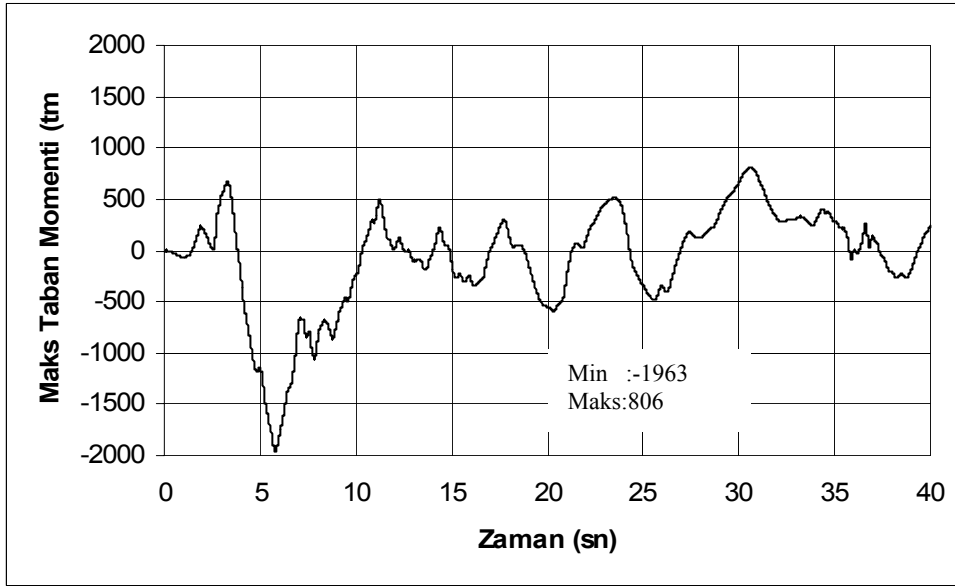
Şekil 5.44.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



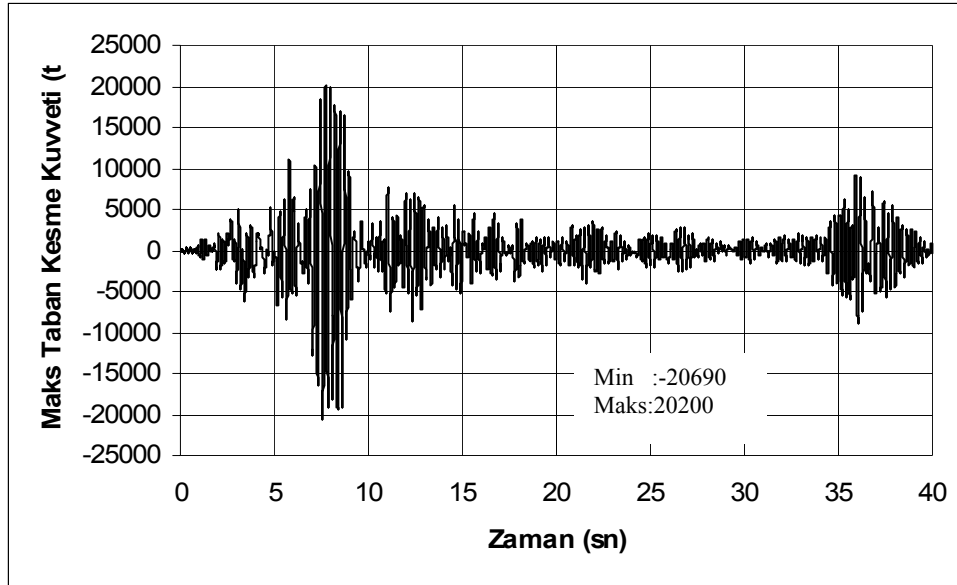
Şekil 5.45.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



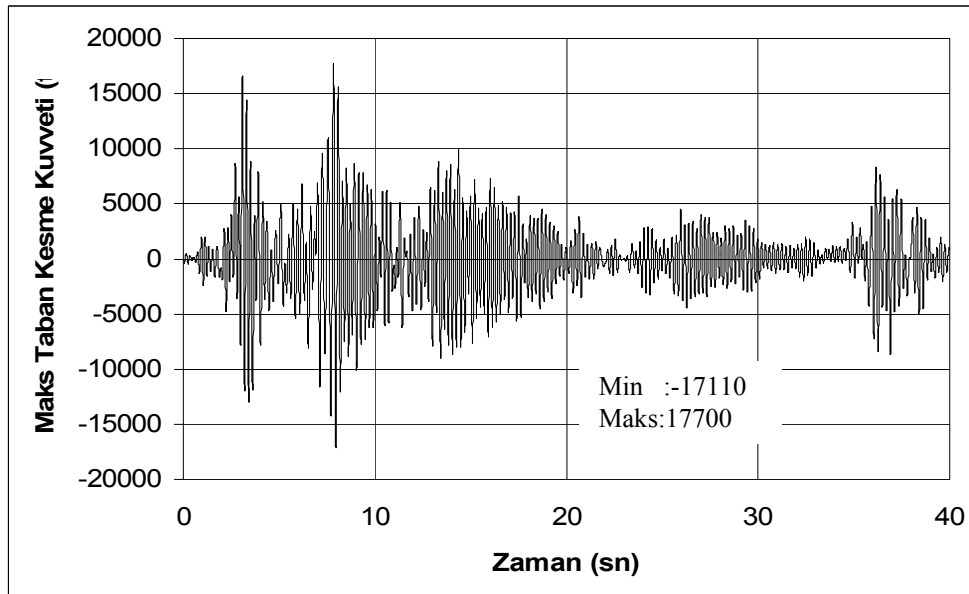
Şekil 5.46.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



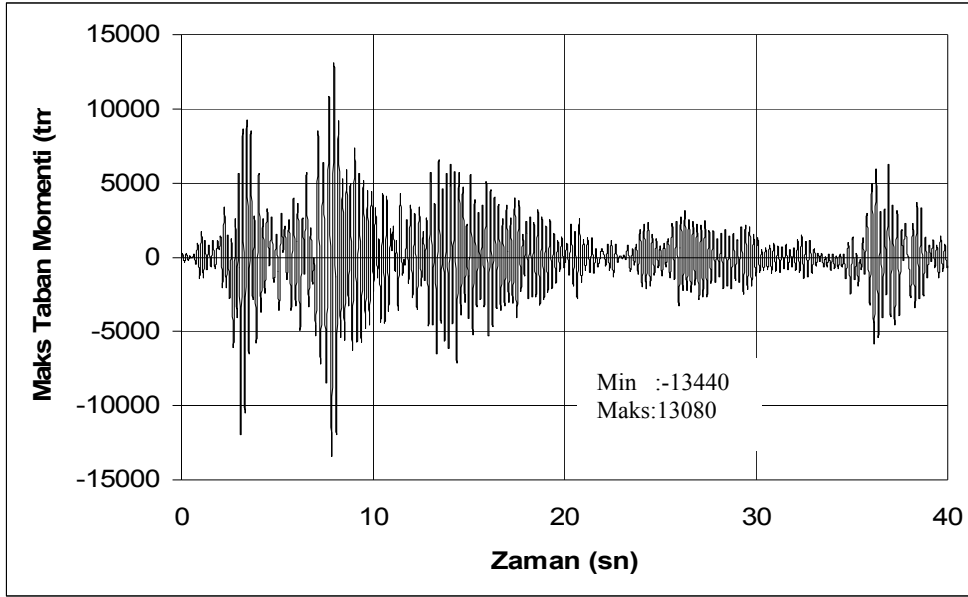
Şekil 5.47.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



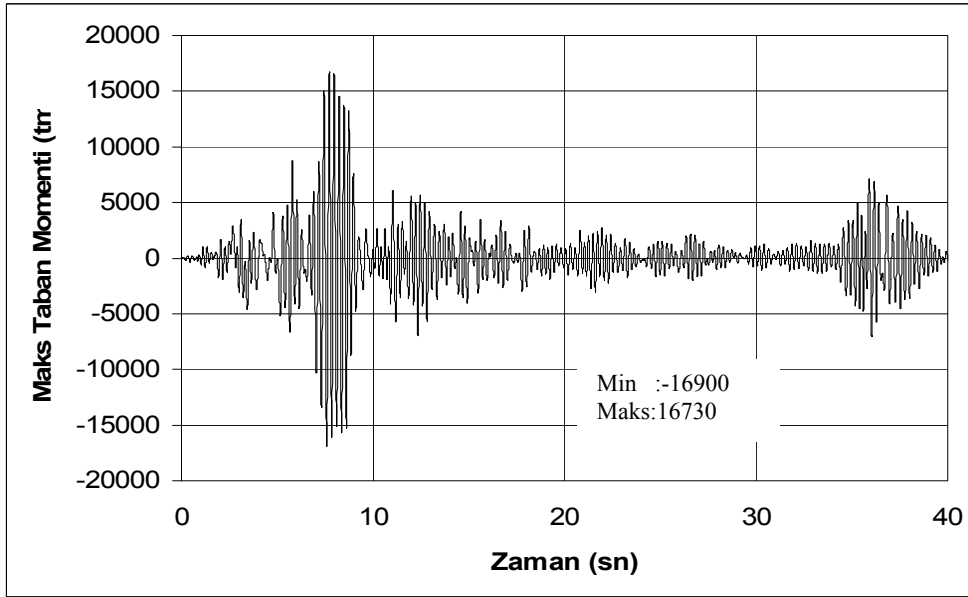
Şekil 5.48.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



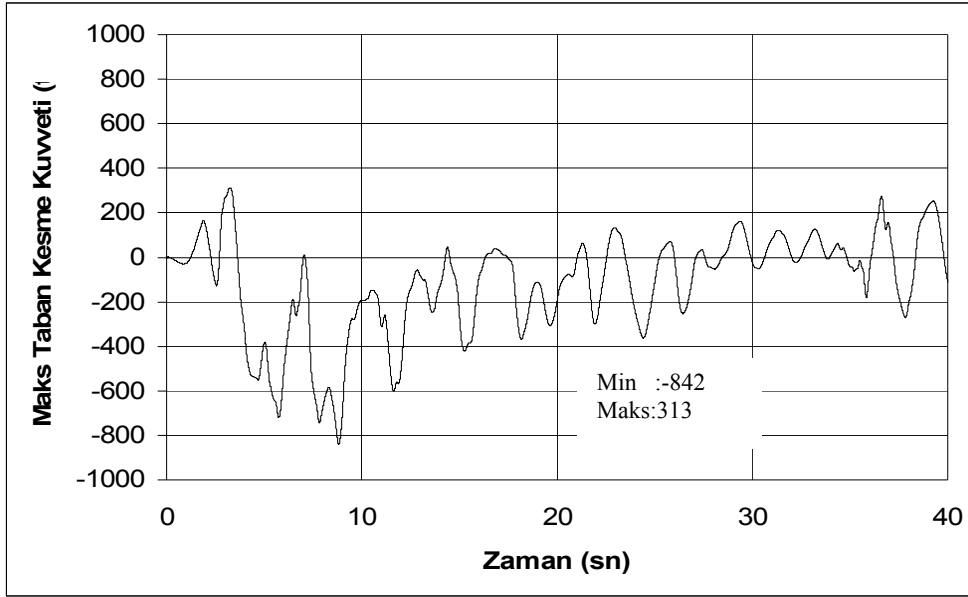
Şekil 5.49.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



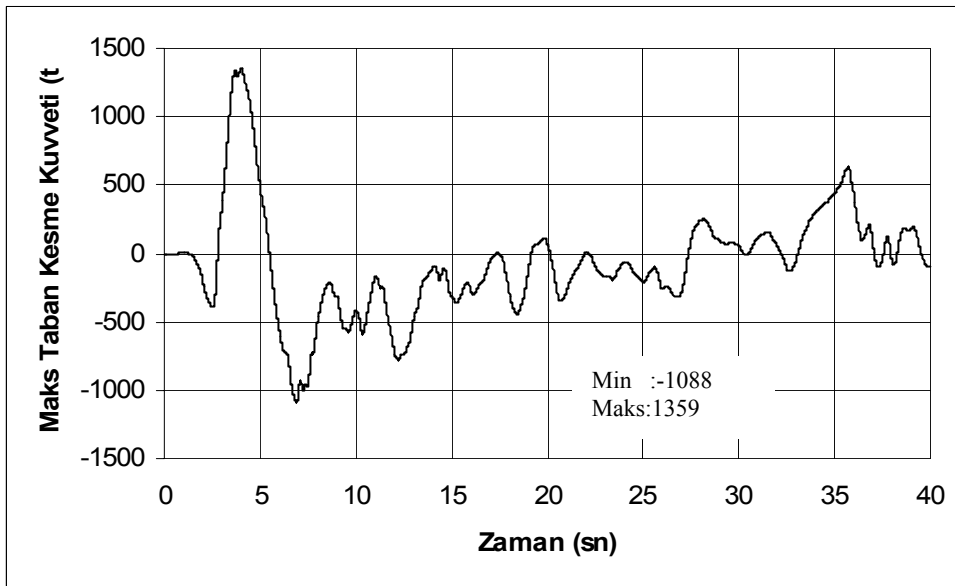
Şekil 5.50.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



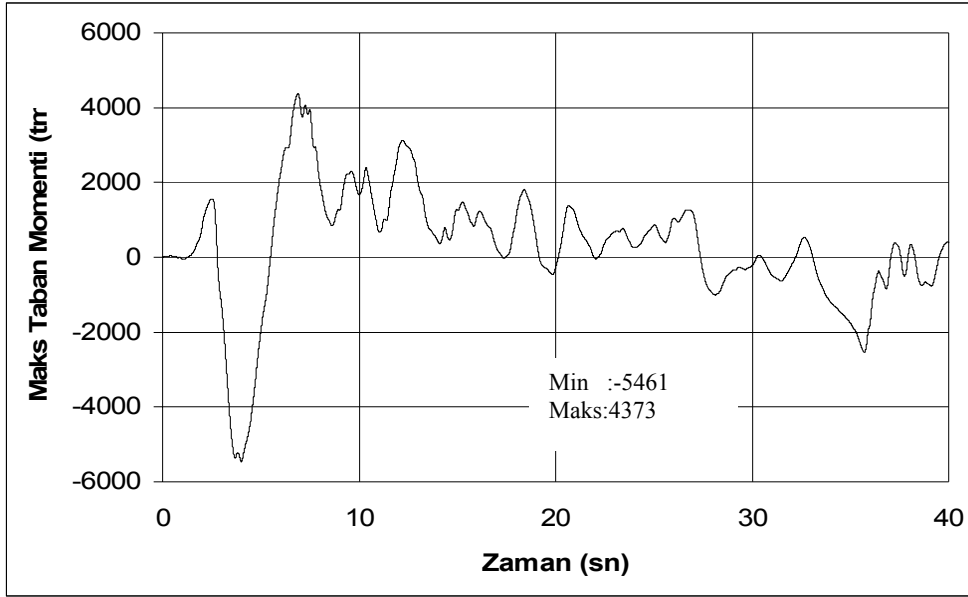
Şekil 5.51.İzmit Meteoroloji verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



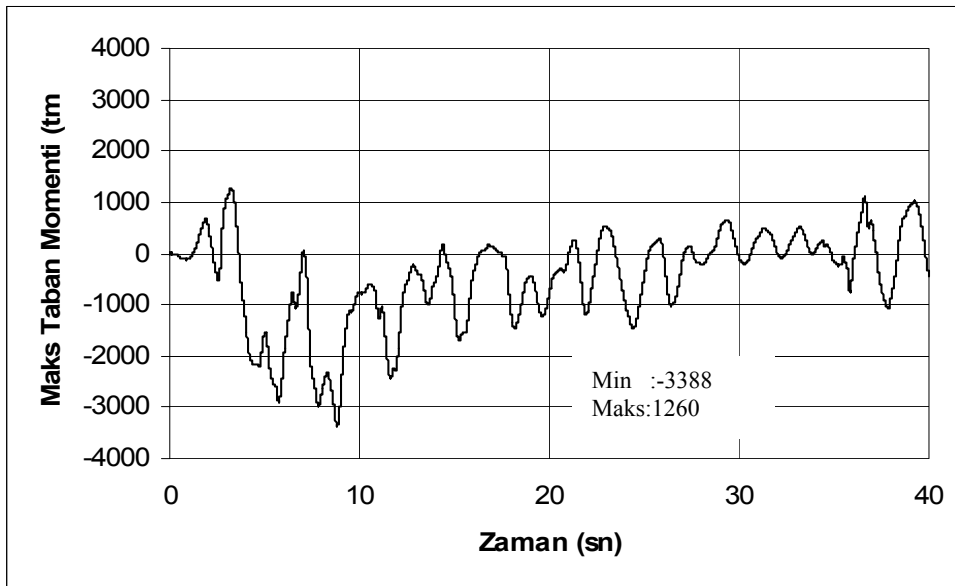
Şekil 5.52.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



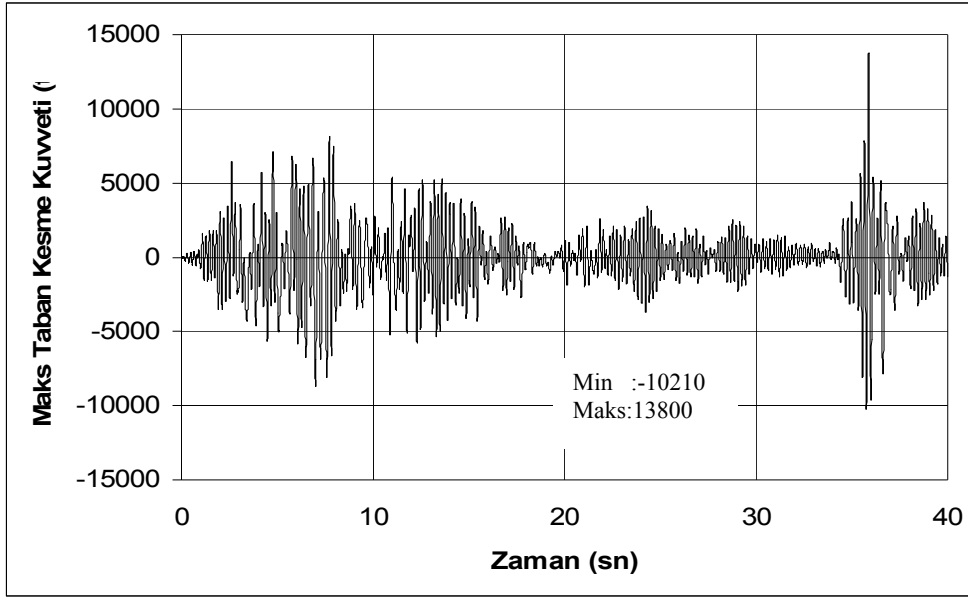
Şekil 5.53.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



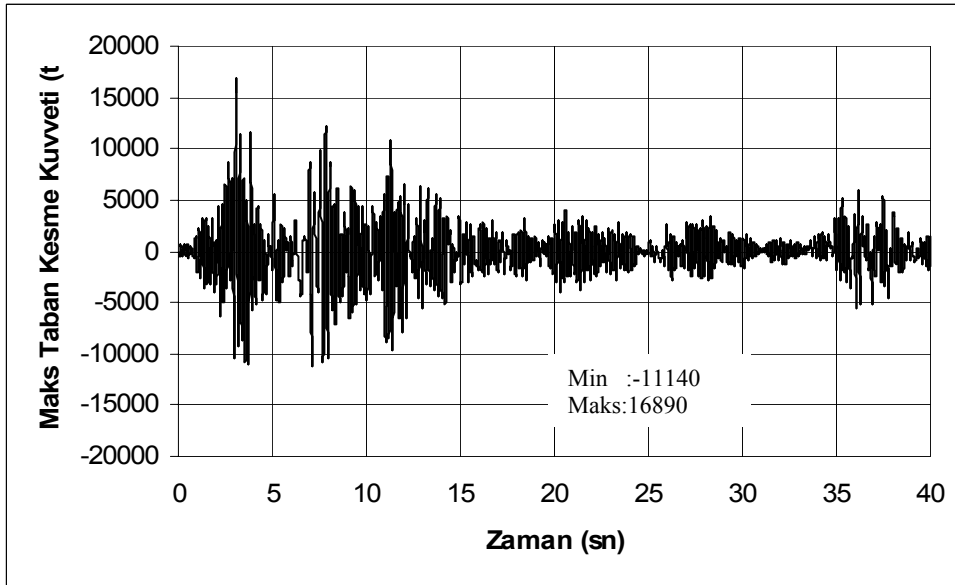
Şekil 5.54.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



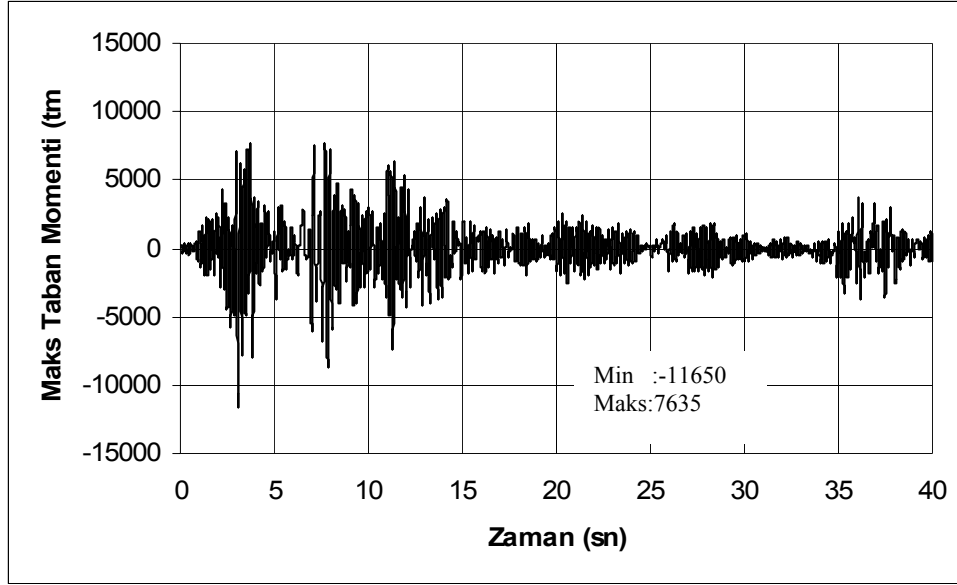
Şekil 5.55.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



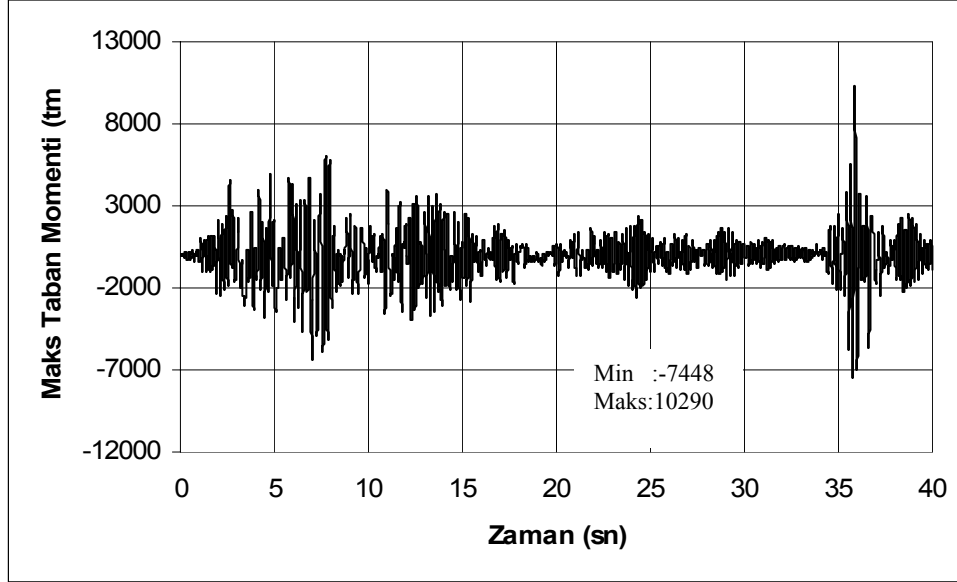
Şekil 5.56.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



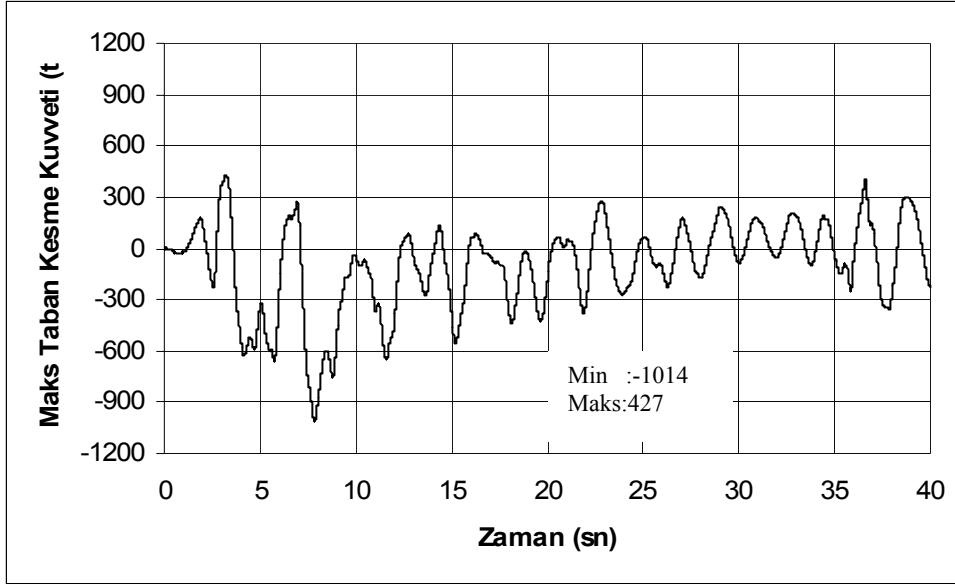
Şekil 5.57.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



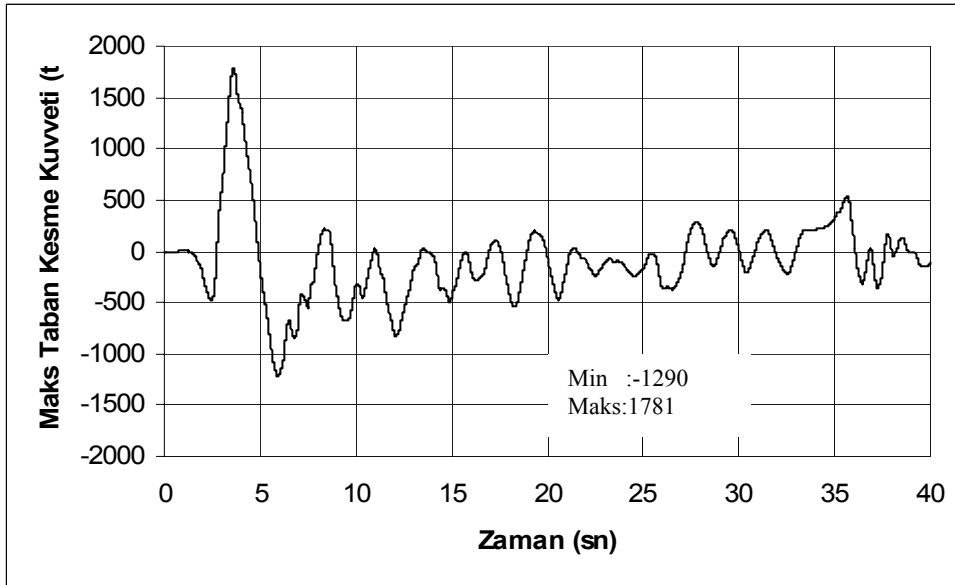
Şekil 5.58.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



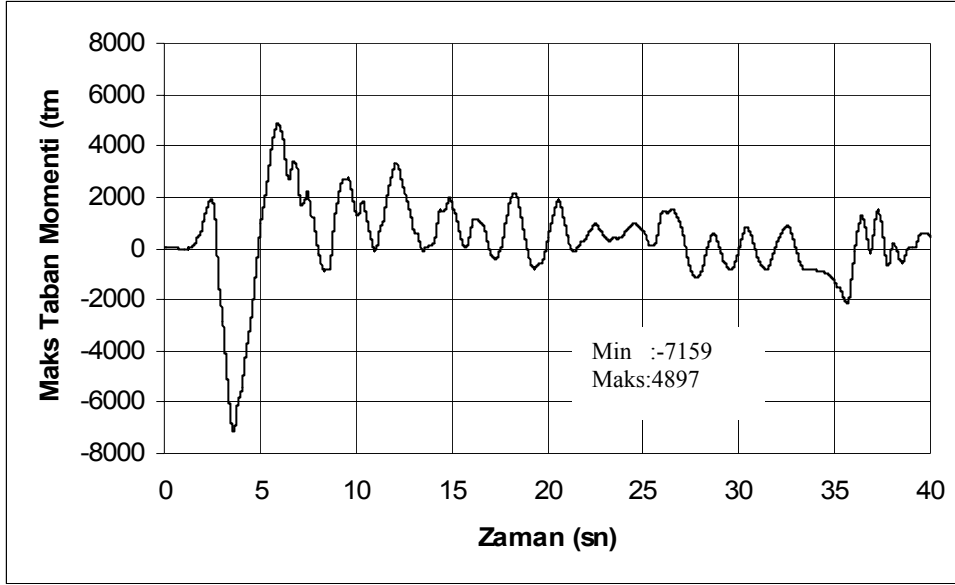
Şekil 5.59.İzmit Meteoroloji verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



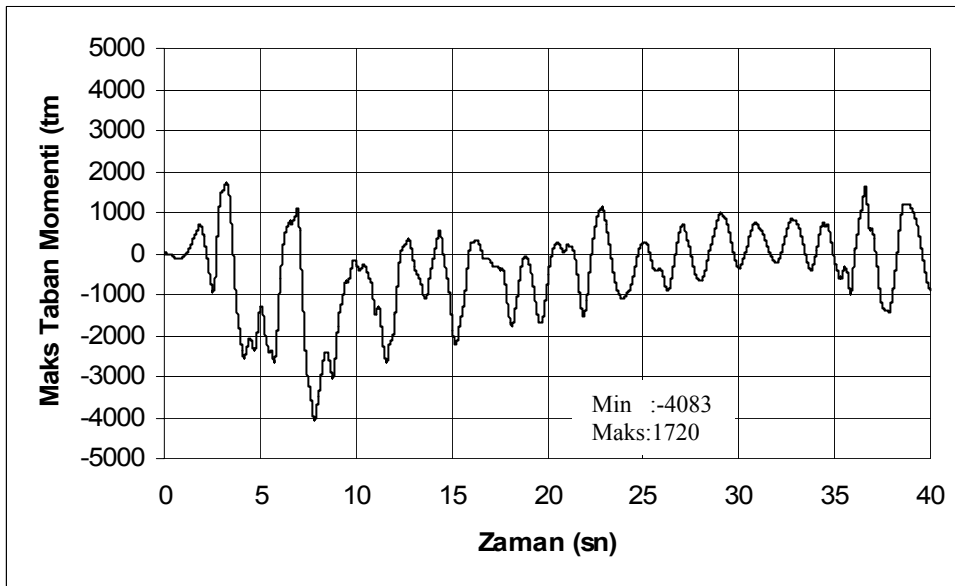
Şekil 5.60.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



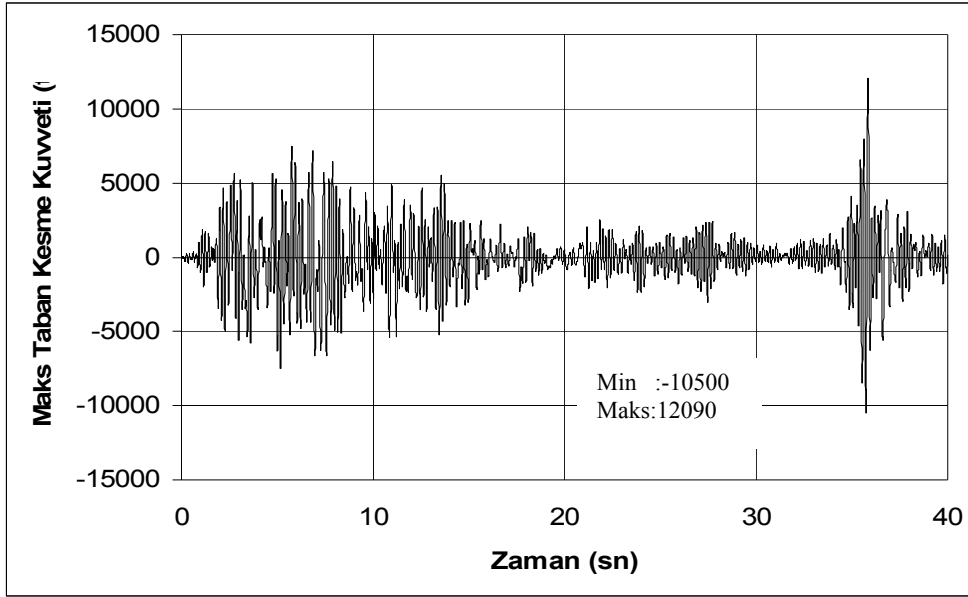
Şekil 5.61.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



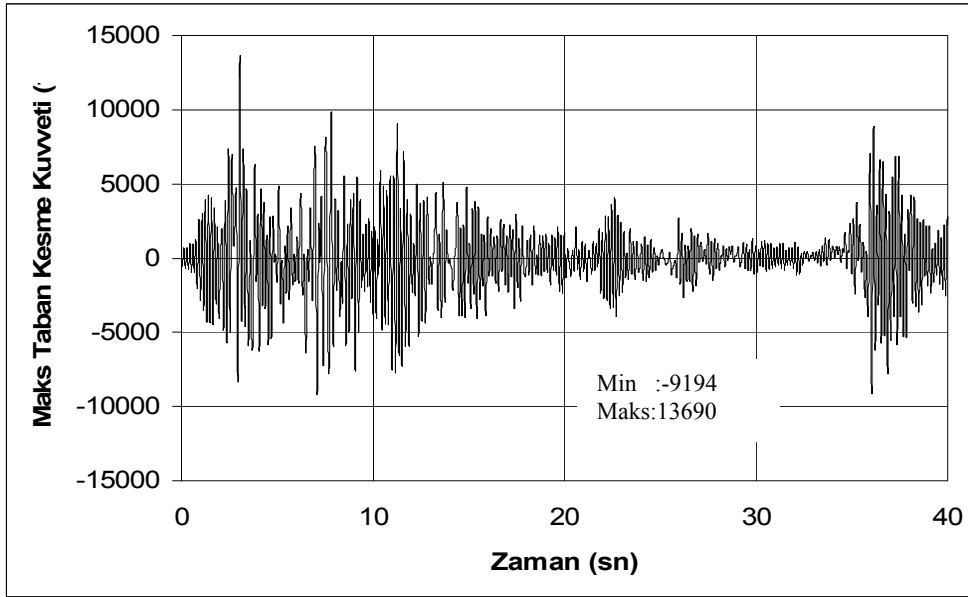
Şekil 5.62.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



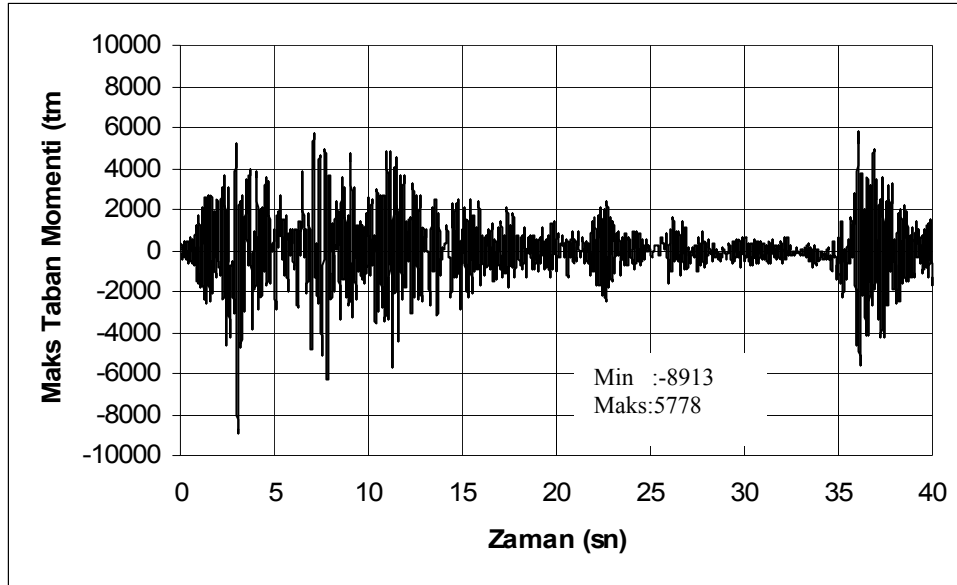
Şekil 5.63.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



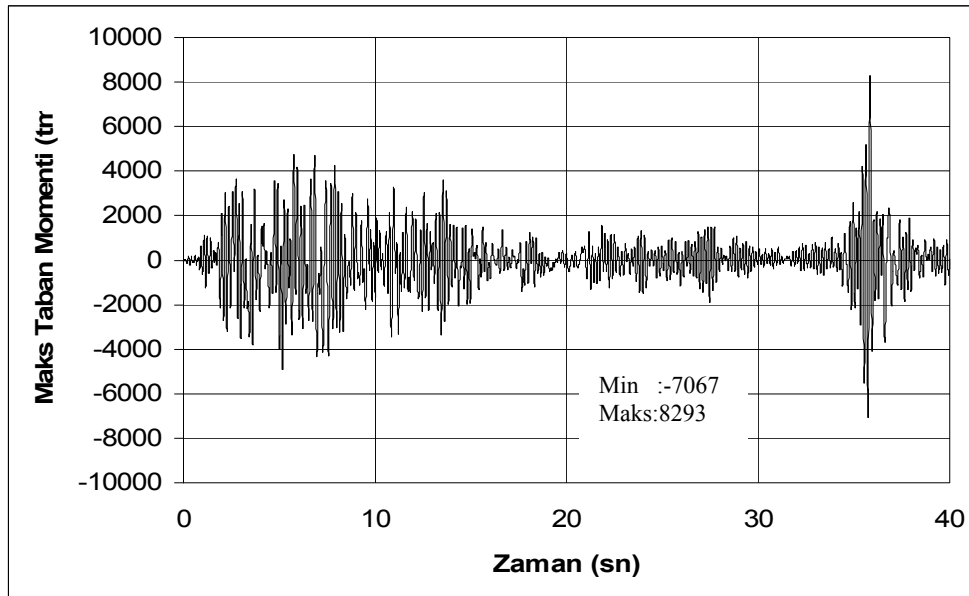
Şekil 5.64.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



Şekil 5.65.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



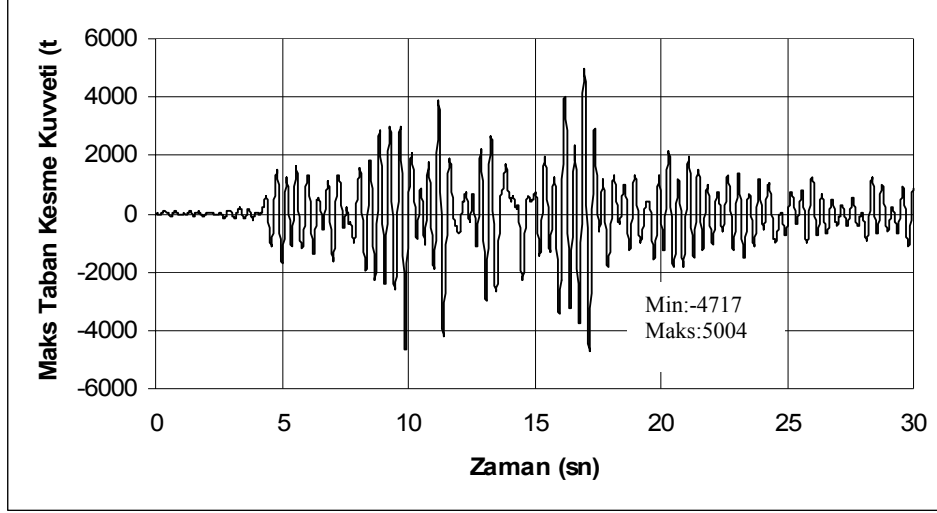
Şekil 5.66.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



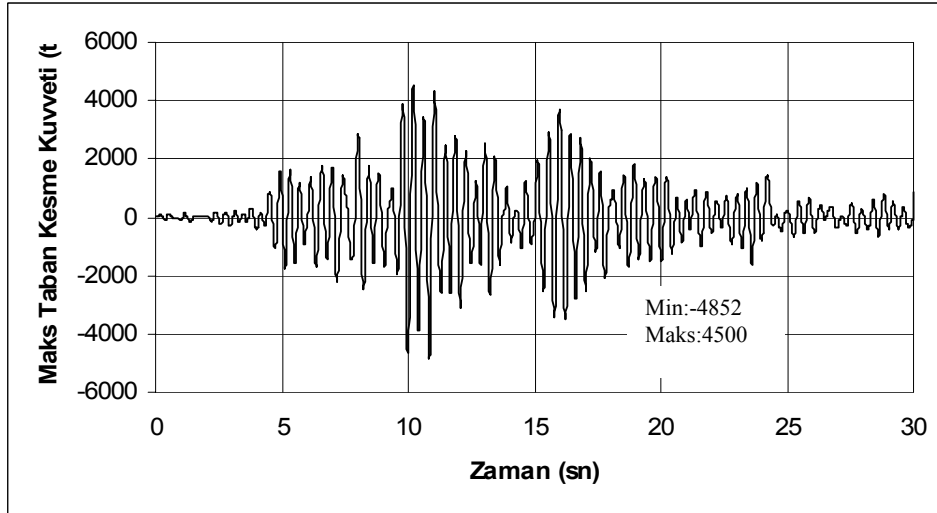
Şekil 5.67.İzmit Meteoroloji verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman

5.3.3. Northridge depremi ivme değerleri kullanılarak yapılan çözüm

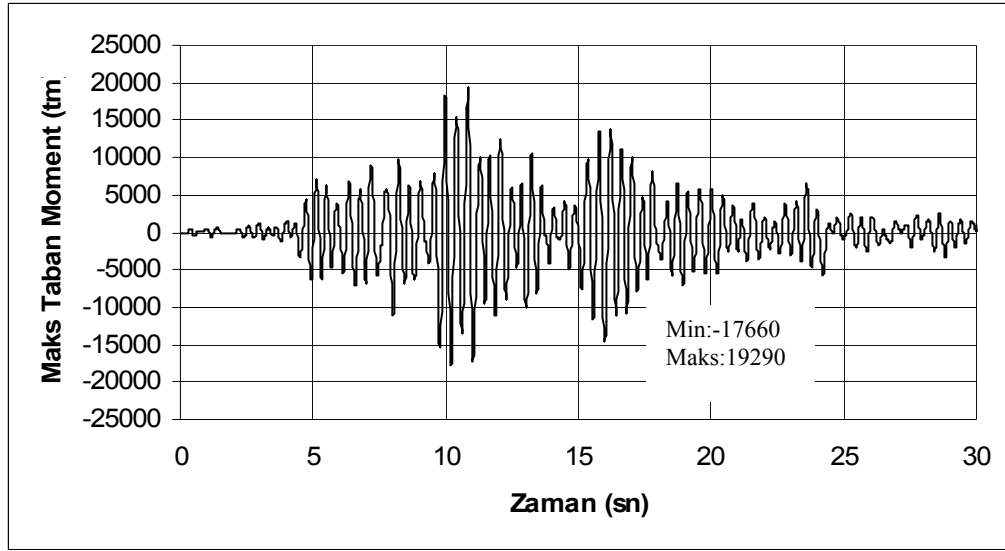
Sıvı depolama tankı modellerinin; Bölüm 5.3.1 ve Bölüm 5.3.2. deki esaslar çerçevesinde Northridge ivme değerleri kullanılarak çözülmüştür.



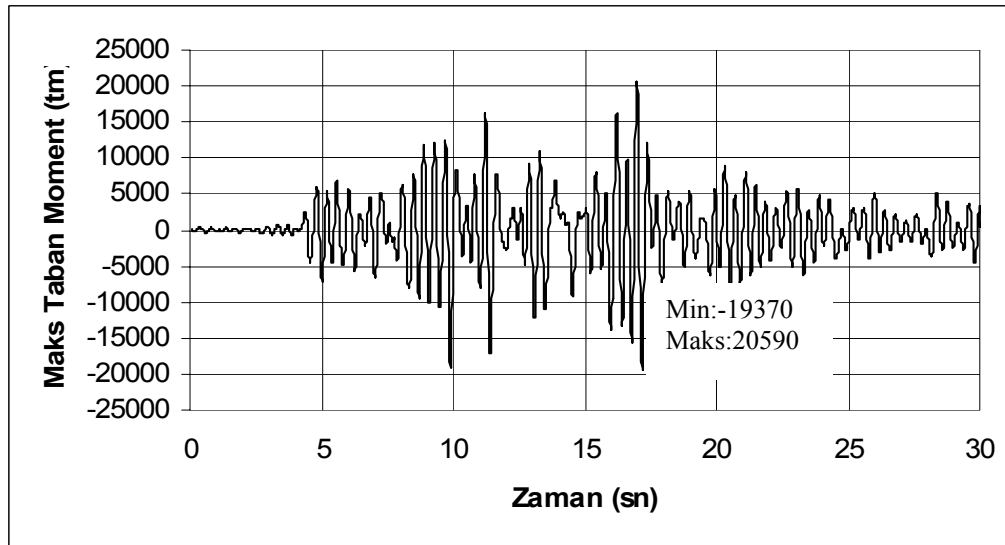
Şekil 5.68.Northridge verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği



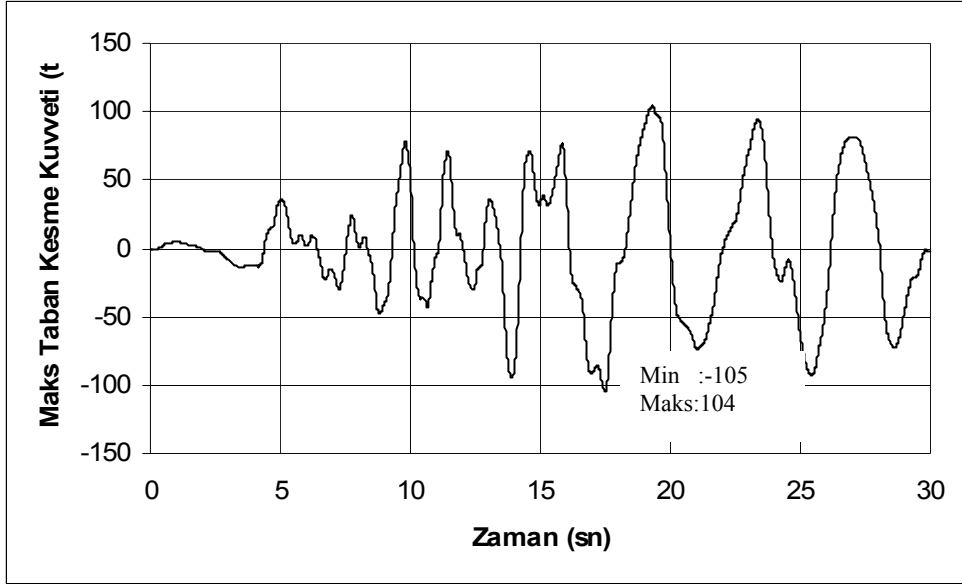
Şekil 5.69.Northridge verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda taban kesme kuvveti -zaman grafiği



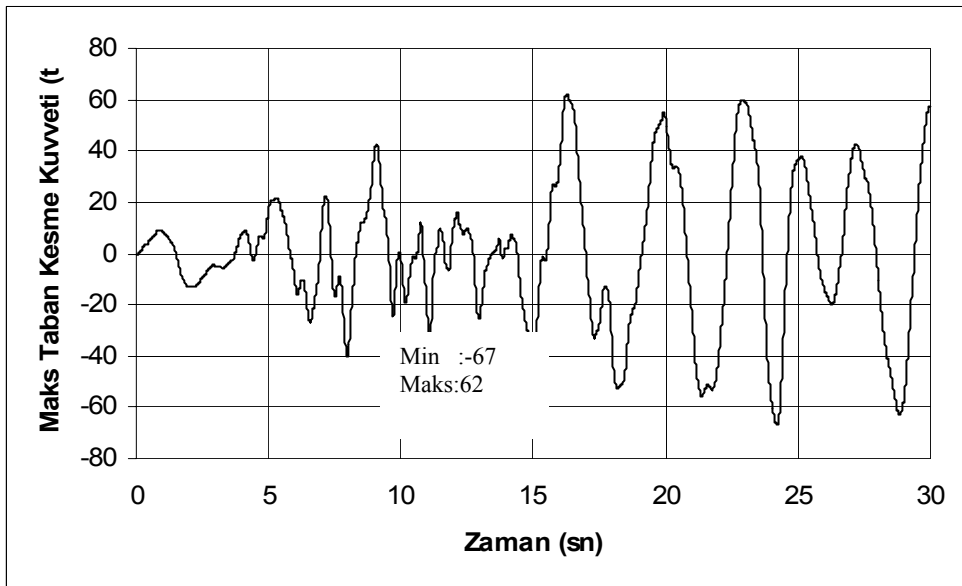
Şekil 5.70. Northridge deprem verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



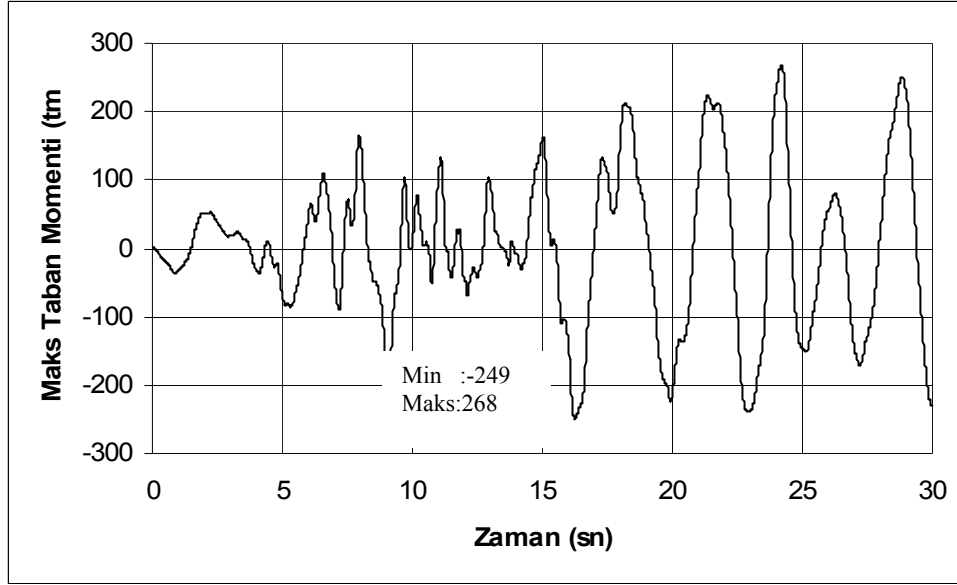
Şekil 5.71. Northridge deprem verileriyle ankastre mesnetli sistem çözümü y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



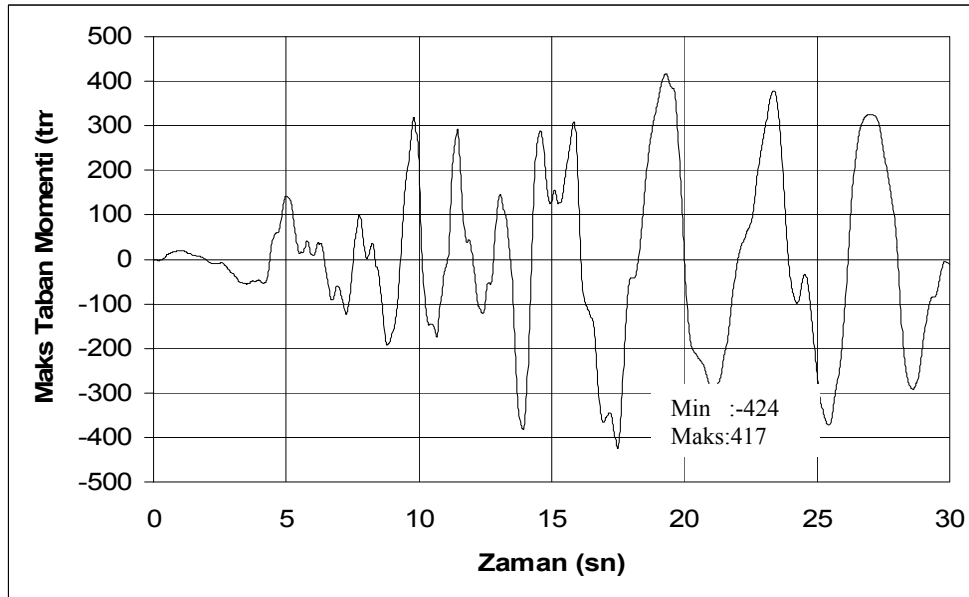
Şekil 5.72.Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



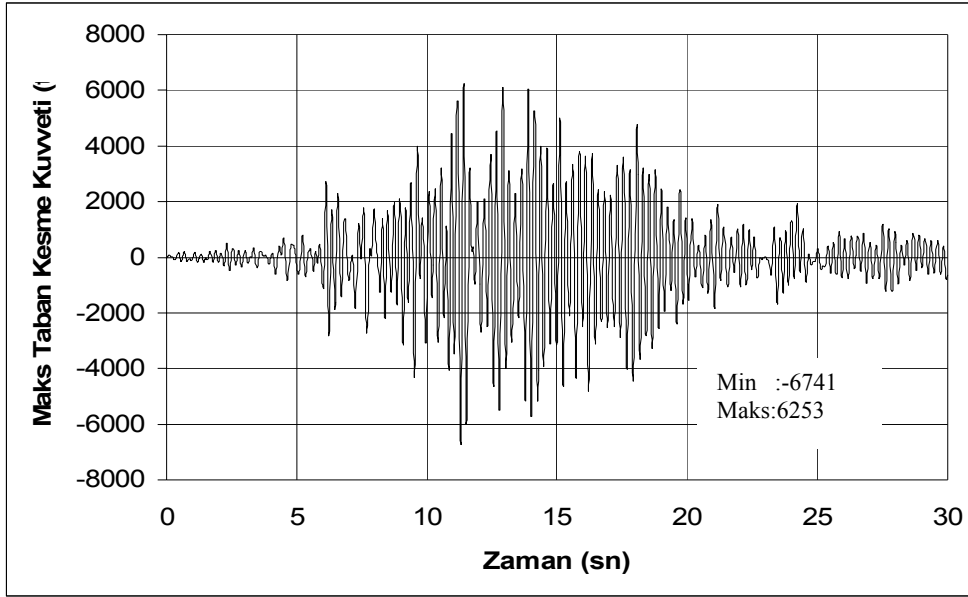
Şekil 5.73.Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



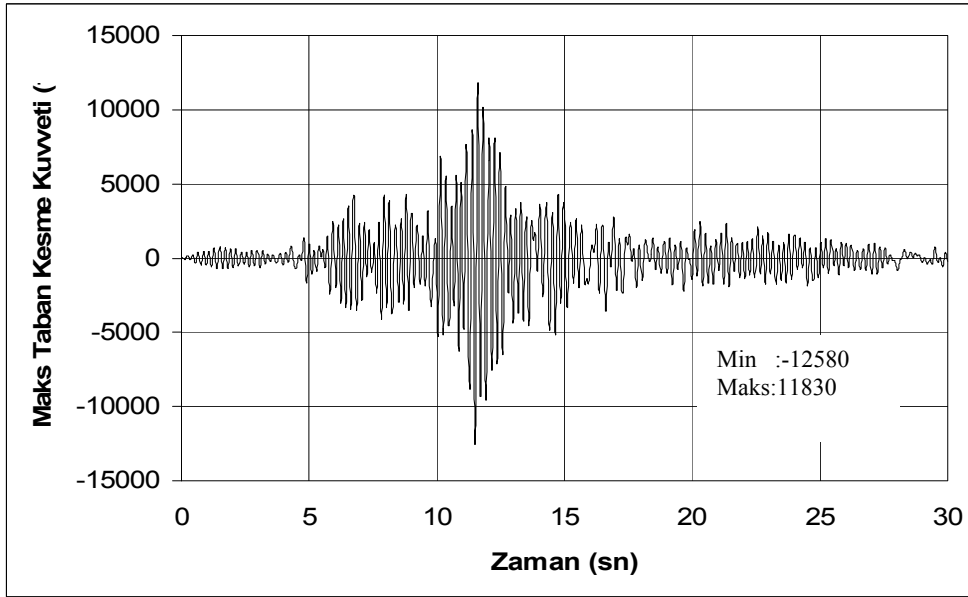
Şekil 5.74.Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



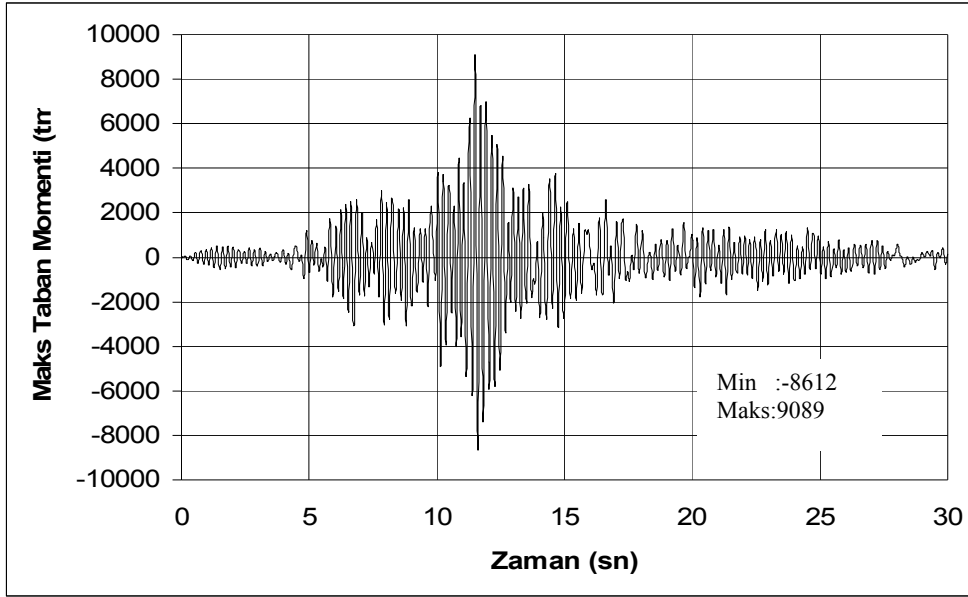
Şekil 5.75.Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



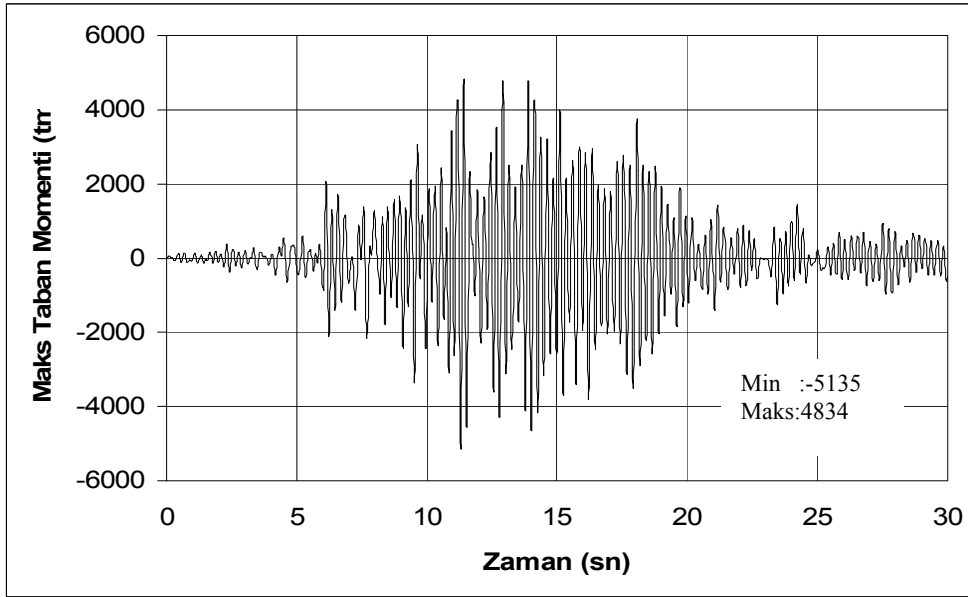
Şekil 5.76. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



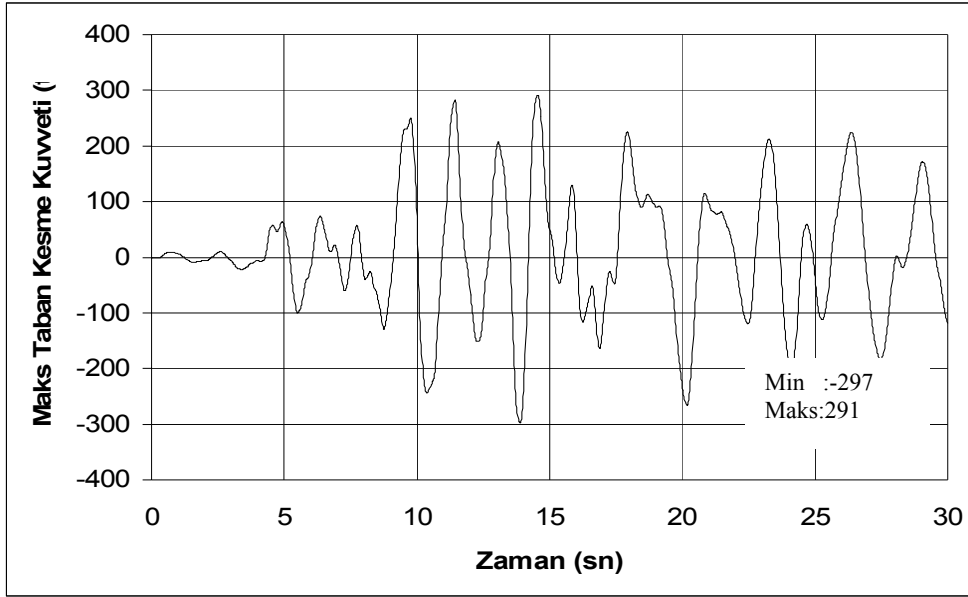
Şekil 5.77. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



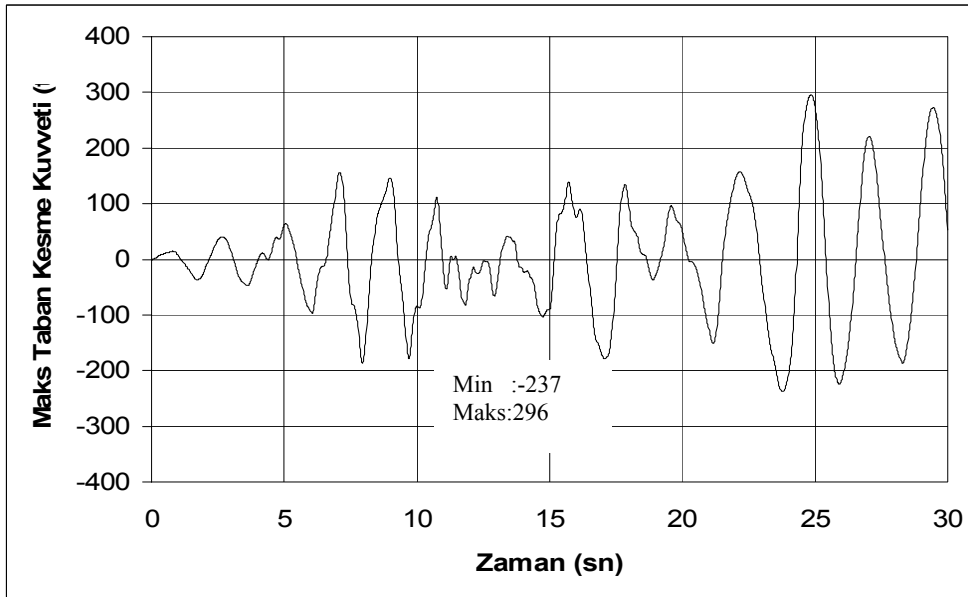
Şekil 5.78. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



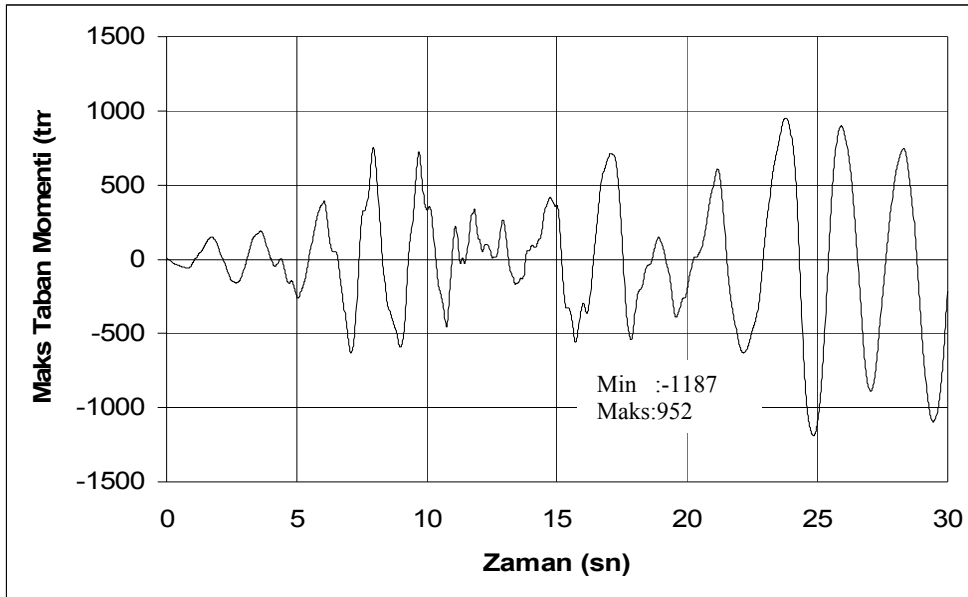
Şekil 5.79. Northridge deprem verileriyle yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



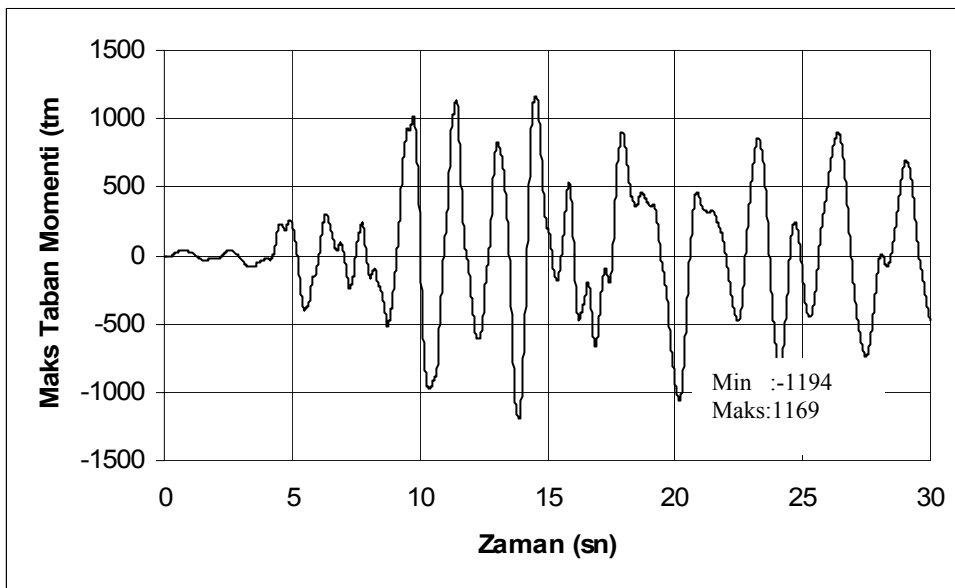
Şekil 5.80.Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



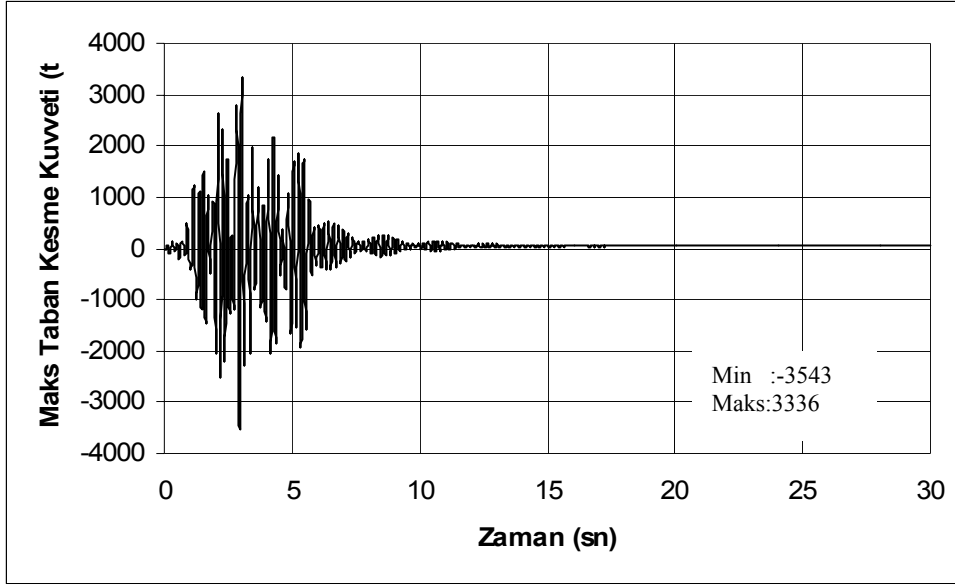
Şekil 5.81.Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



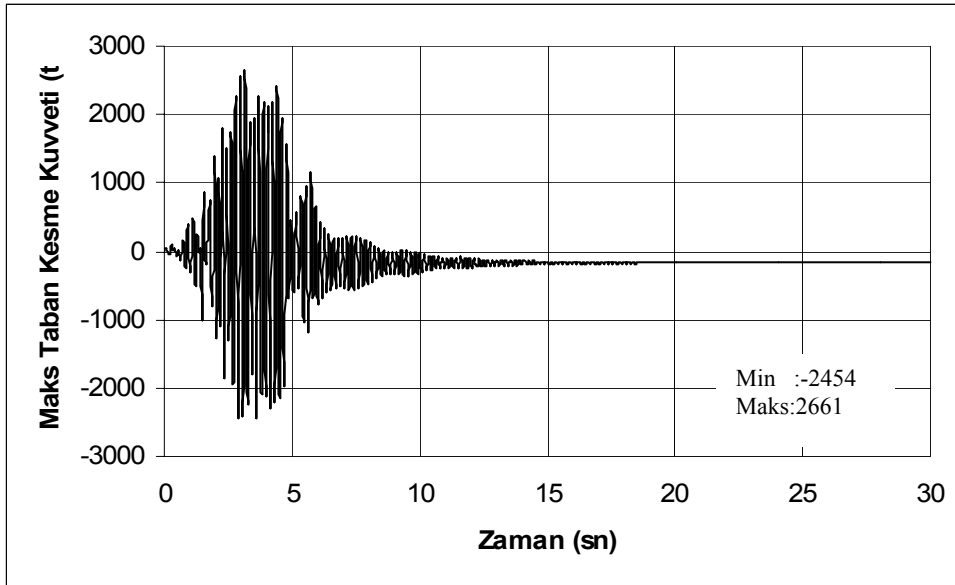
Şekil 5.82.Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



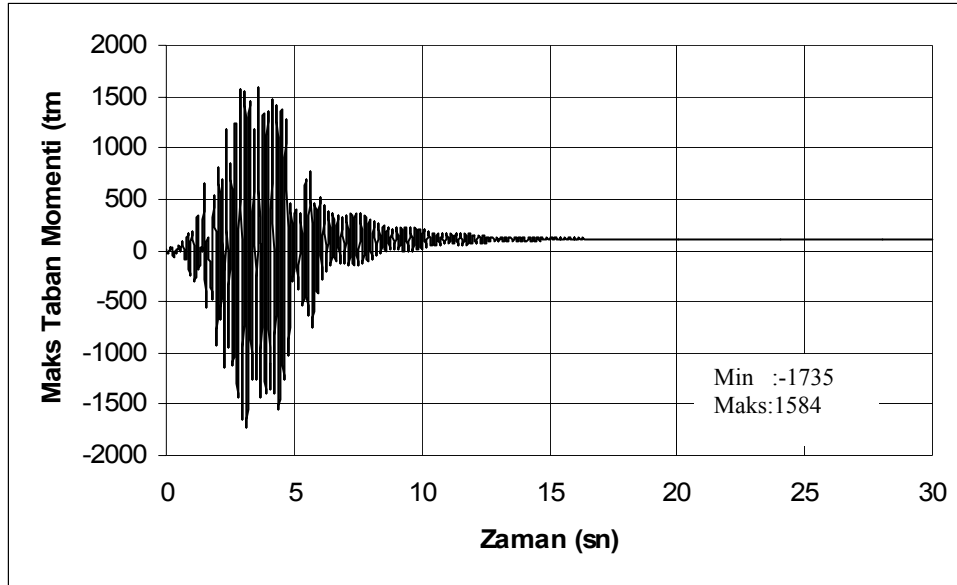
Şekil 5.83.Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



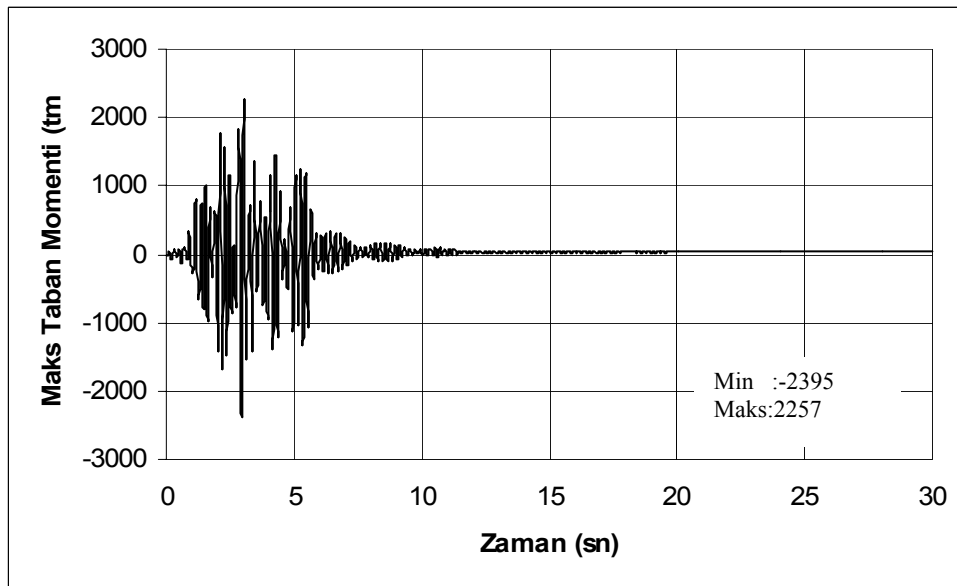
Şekil 5.84.Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



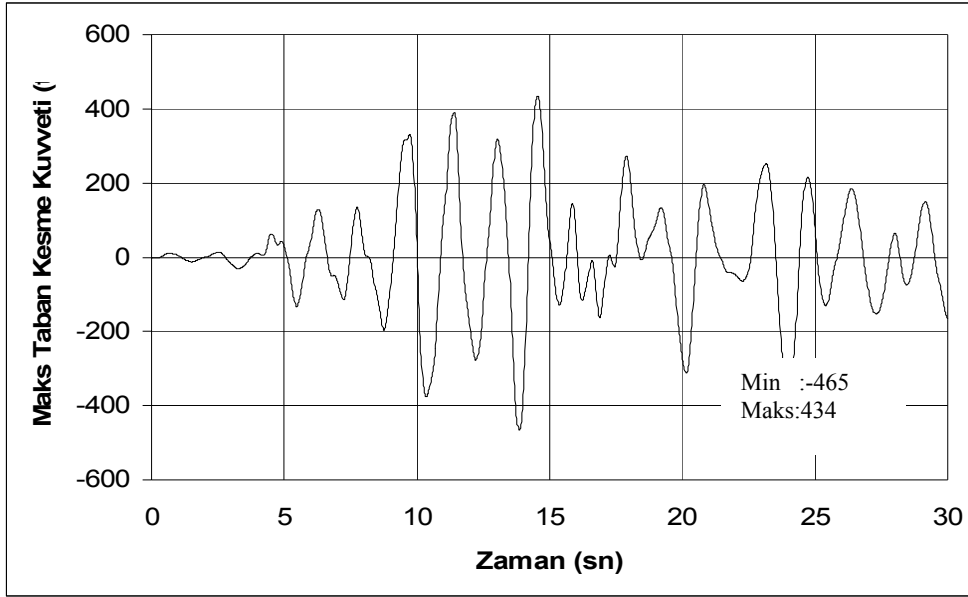
Şekil 5.85.Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



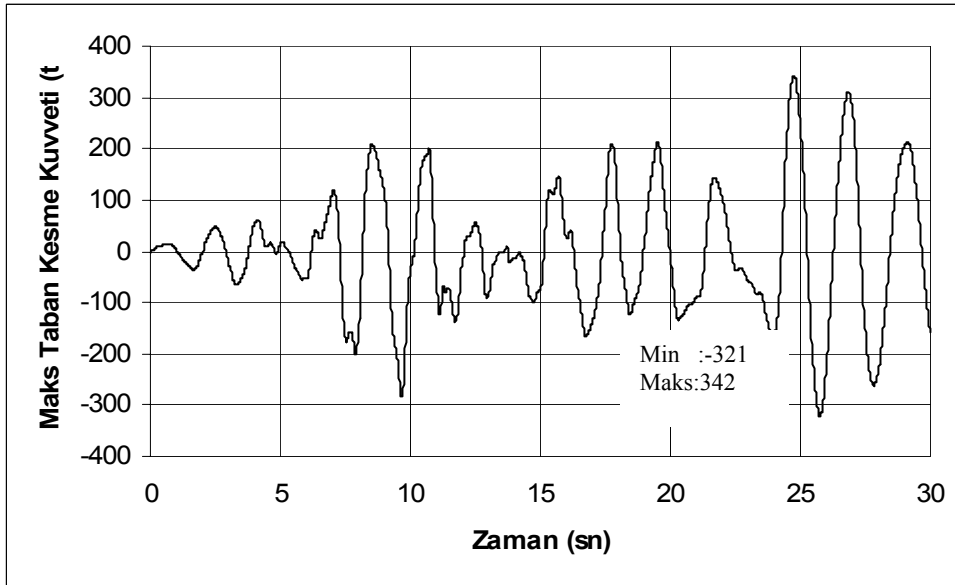
Şekil 5.86. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



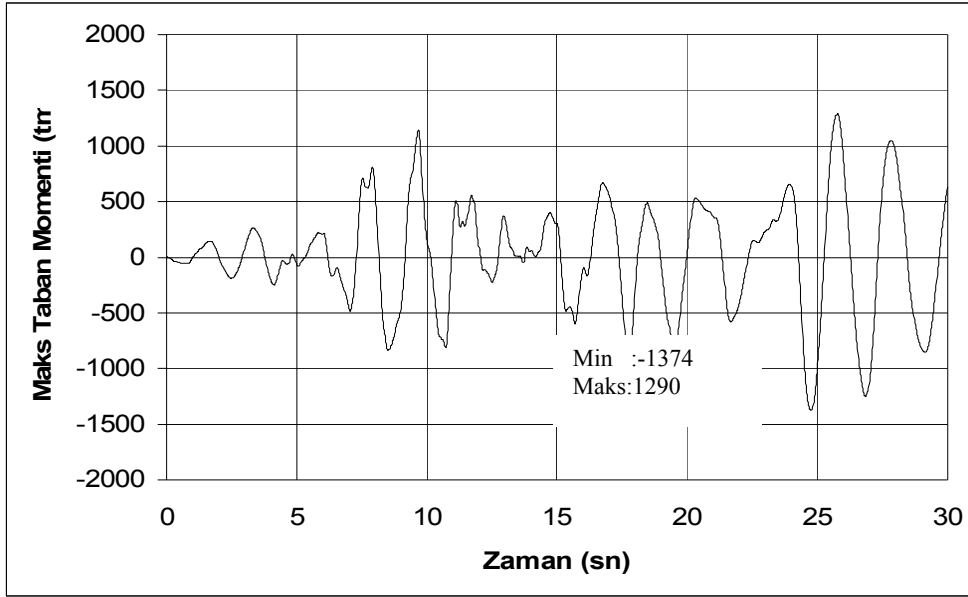
Şekil 5.87. Northridge deprem verileriyle orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



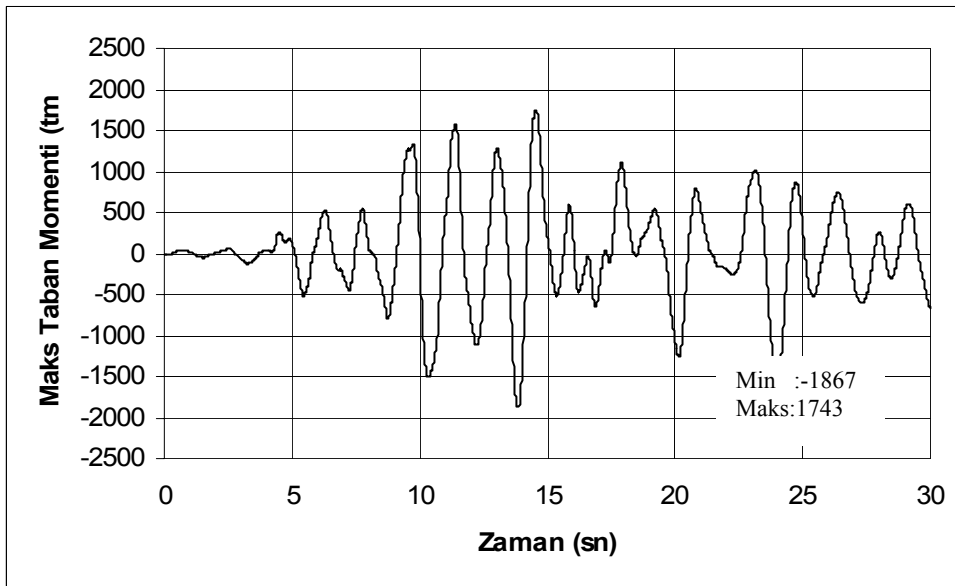
Şekil 5.88.Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



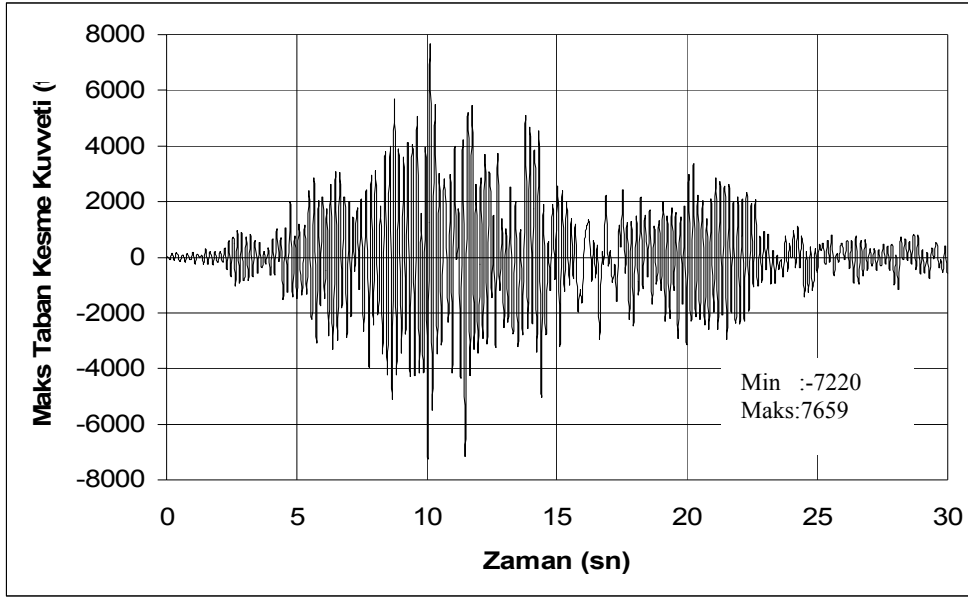
Şekil 5.89.Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti - zaman grafiği



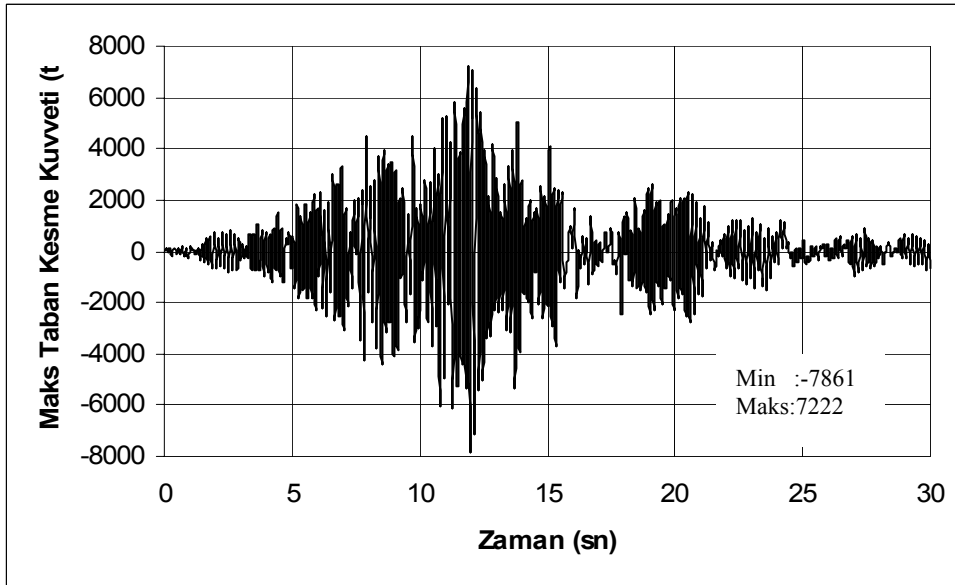
Şekil 5.90. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment - zaman grafiği



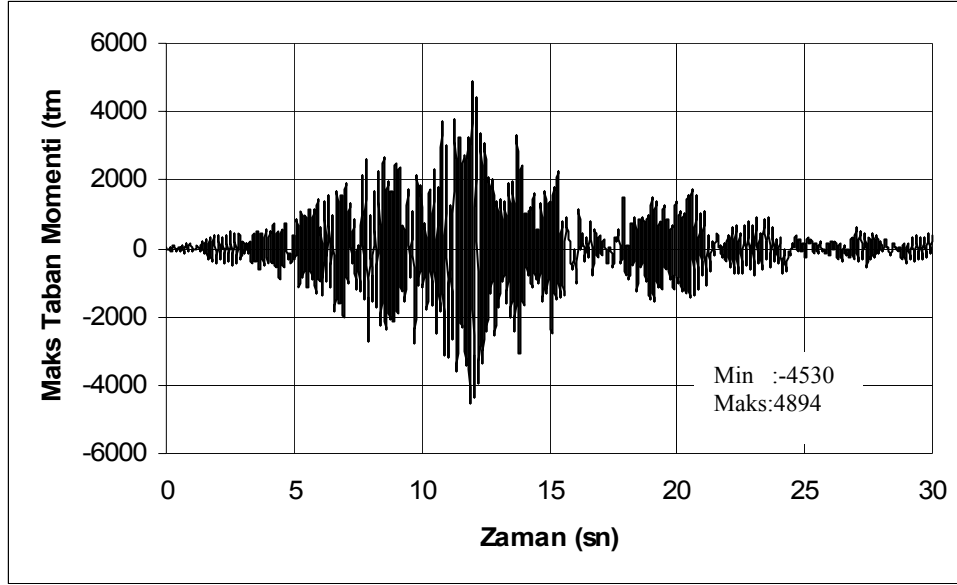
Şekil 5.91. Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment-zaman grafiği



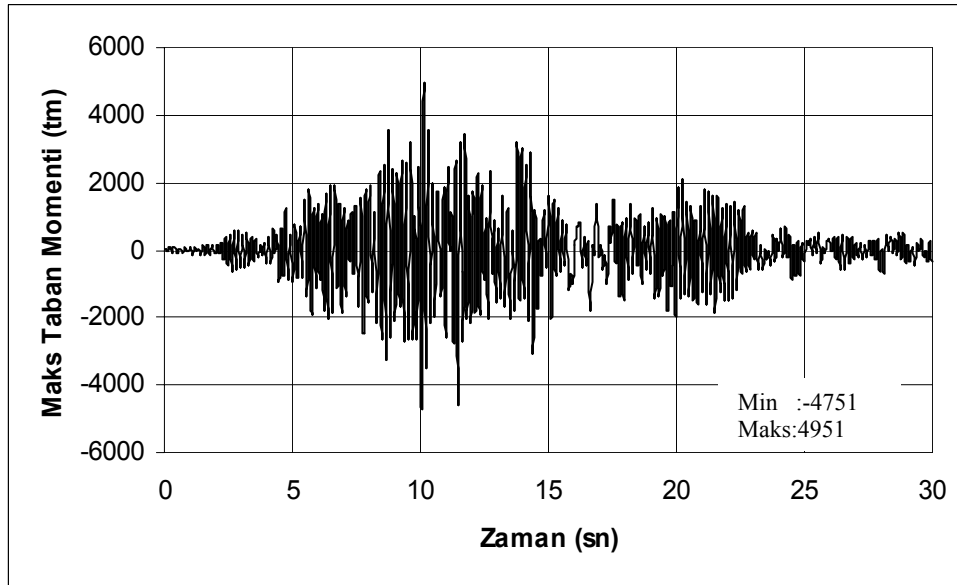
Şekil 5.92.Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



Şekil 5.93.Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum taban kesme kuvveti -zaman grafiği



Şekil 5.94.Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm x doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği



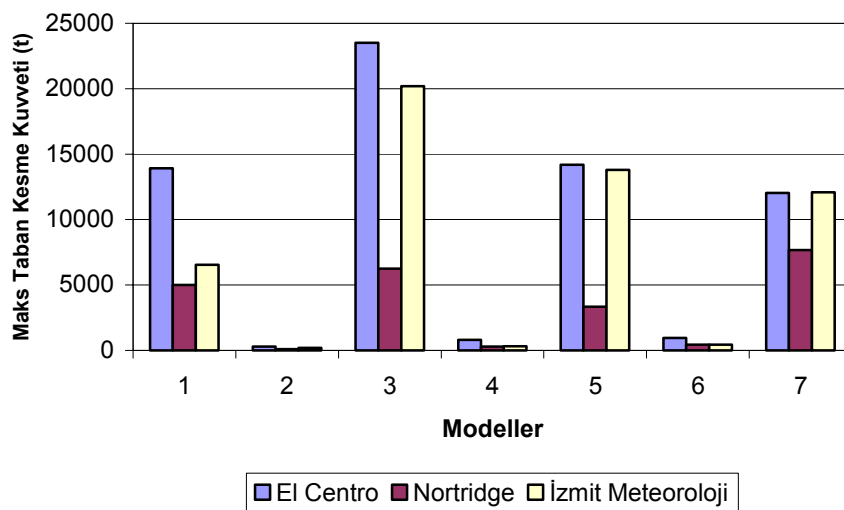
Şekil 5.95.Northridge deprem verileriyle yüksek sönümlü kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözüm y doğrultusunda maksimum moment -zaman grafiği

5.4. El Centro, Northridge ve Marmara Depremi İzmit Verileri ile Yapılan Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

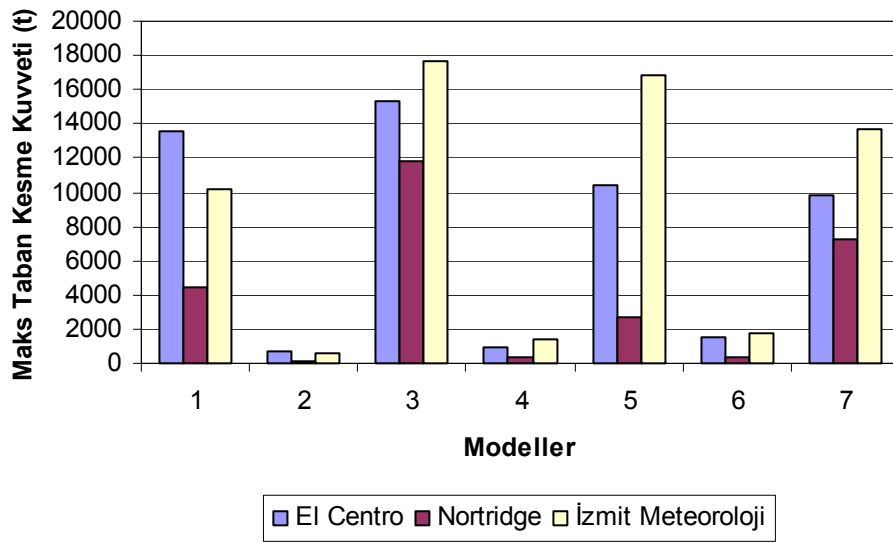
Her üç deprem ivme değerleri kullanılarak yapılan zaman tanım alanındaki çözümde model sırasıyla;

- Ankastre mesnetli
- Yumuşak kauçuk kullanılarak
- Yumuşak kauçuk ve sönümleyici kullanılarak
- Orta sert kauçuk kullanılarak
- Orta sert kauçuk ve sönümleyici kullanılarak
- Sert Kauçuk kullanılarak
- Sert kauçuk ve sönümleyici kullanılarak

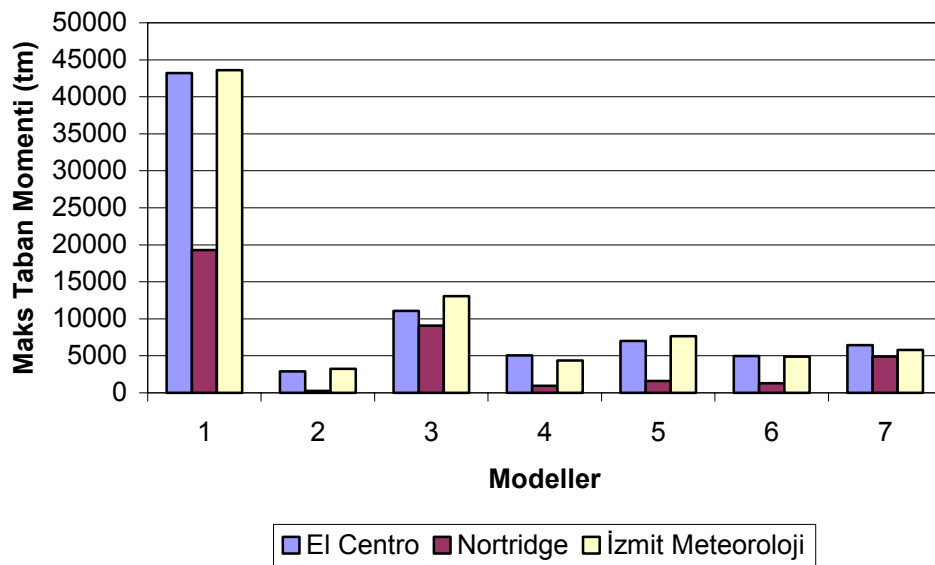
7 model şeklinde çözülmüştür. Bazı şekillerde kauçuk yatak kullanılarak yapılan 6 çözüm kendi aralarında değerlendirilirken özet çizelgeler alt bölümde verilmiştir. Tank modellerinden elde edilen ve tank modelleri numaralandırmasına göre yapılan çözümler değerlendirilerek sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



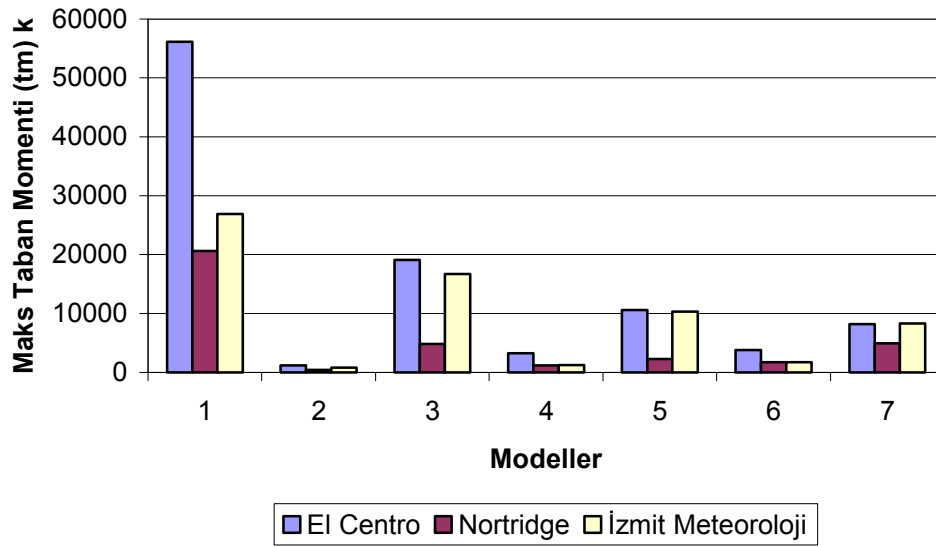
Şekil 5.96. Analizde kullanılan tank modellerinde x doğrultusunda oluşan maksimum taban kesme kuvvetleri



Şekil 5.97. Analizde kullanılan tank modellerinde y doğrultusunda oluşan maksimum taban kesme kuvvetleri

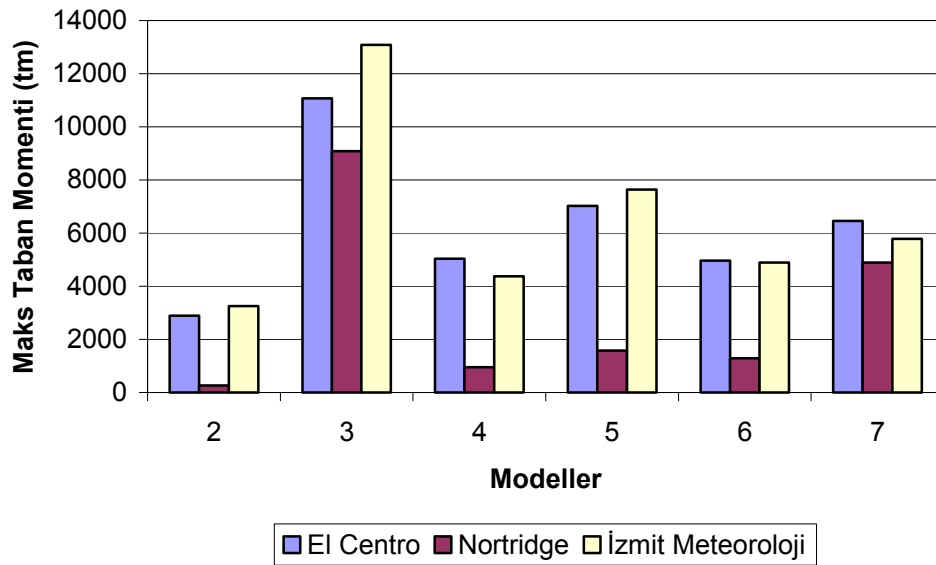


Şekil 5.98. Tank modelinde x doğrultusunda oluşan maksimum taban momenti

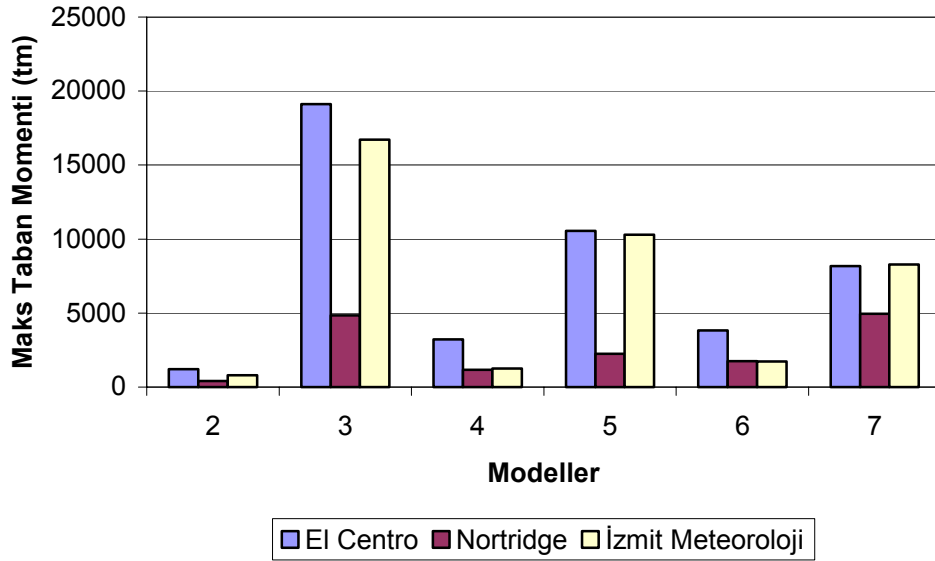


Şekil 5.99.Tank modelinde y doğrultusunda oluşan maksimum taban momenti

Maksimum momentler kauçuk malzeme kullanılarak yapılan çözümlerde kendi aralarında değerlendirilirse;

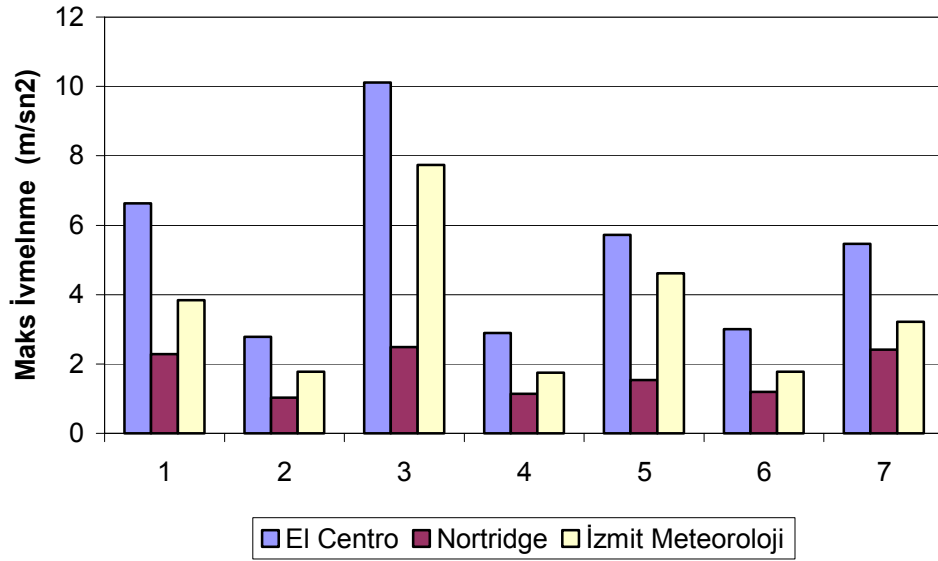


Şekil 5.100.Kauçuk malzeme kullanılan tank modellerinde x doğrultusundaki maksimum momentler



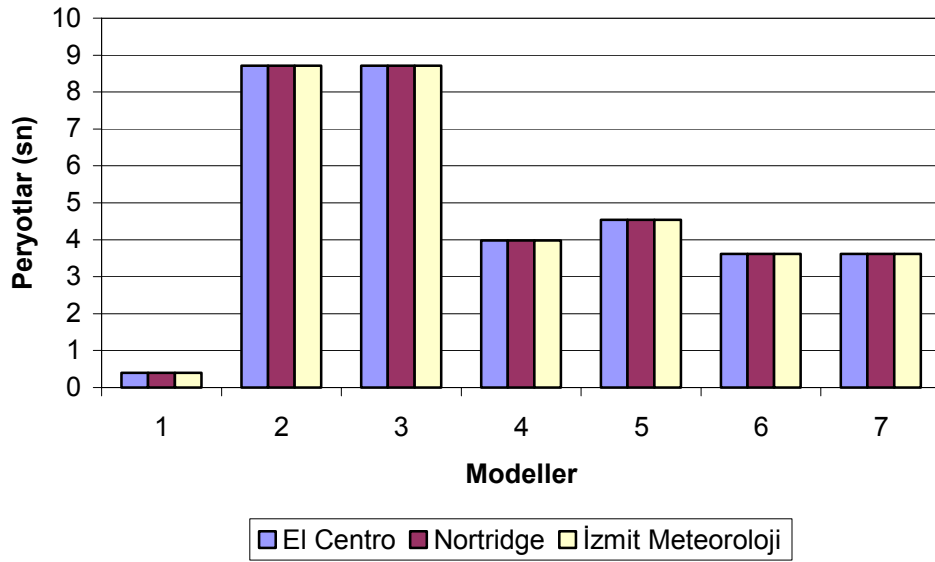
Şekil 5.101.Kauçuk malzeme kullanılan tank modellerinde y doğrultusundaki maksimum momentler

Tankların özellikle burulmasında ve taban yakın noktalarda deformasyona sebep olan etkilere en önemlisi, moment değerlerinin gözlenmesi ile daha iyi sonuçta ulaşmakta ve kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümlerde moment değerlerinin %80-95 oranında azaldığı görülmektedir. Burada yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan 2 numaralı çözümde en az moment oluştuğu görülmektedir. 6, 7 numaralı sert kauçuk malzeme kullanılan sistemde moment değerlerinin 2 nolu modele göre %100 e yakın arttığı görülmektedir. Önceki bölümde anlatılan çalışmalarda tank tavanına yakın bölgelerde sıvı salınımı dolayısıyla oluşan deformasyonlar tankın üst bölgelerinde olduğundan yer değiştirmenin yanısıra üst noktadaki ivmelenme tankın içindeki sıvının ivmelenmesine neden olacağından ivmelenme değerleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Tankın en üst seviyesinde oluşan ivmelenme değerleri aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 5.102.Tank modelinde en üst noktada x doğrultusunda oluşan ivmelenme

Şekilden görüleceği üzere kauçuk malzemesinin sertleşmesiyle orantılı olarak tavandaki ivmelenme azalmaktadır.



Şekil 5.103.Tank modelinde kütle katılım oranları da dikkate alınan aktif modlar

Tank modelinin kütle katılım oranları dikkate alınarak tespit edilen ve %90'nın üzerinde kütle katılım oranı bulunan 1 numaralı modellerdeki 3. modların periyodu

0,39 sn den yumuşak kauçuk yatak kullanılan 2 ve 3 numaralı çözümlerde %90 nın üzerinde kütle katılım oranında olan 1. modlarının periyodu 8,71 sn ye, orta sertlikte yine %90 nın üzerinde kütle katılım oranına sahip oldukları 1. modları kullanılan 4 ve 5 nolu modellerde sırasıyla 3,9 ve 4,5 sn. ye, sert kauçuk malzeme kullanılan ve kütle katılı oranı %90 nın üzerinde gerçekleşen 1. modların kullanıldığı 6 ve 7 numaralı modeller sistemlerin çözümünde ise 3,62 sn civarlarına çıkmıştır. Buda tank sistemini depremin yıkıcı etki yapan ve rezonans hali olarak bilinen etkisinin görüldüğü periyot aralığından uzaklaşmak demektir. Çözümler sonucu elde edilen sonuçlar maksimum değerleri dikkate alınarak ankastre mesnetli çözümle kıyaslanmak üzere aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.6.X doğrultusunda görelî yer değıştirme, kesme kuvveti ve moment değeri

Malzeme Özelliği/Deprem Verisi	Kriter	El Centro	Northridge	İzmit	Maksimum
Yumuşak Kauçuk	A (m)	0,0071	0,0027	0,0115	0,0115
	C (t)	302	104	201	302
	E (tm)	2.893	268	3.252	3.252
Yumuşak Kauçuk ve Sönümleyici	A (m)	-0,0231	-0,0064	-0,0244	-0,0244
	C (t)	23.510	6.253	20.197	23.510
	E (tm)	11.070	9.089	13.082	13.082
Orta Sert Kauçuk	A (m)	0,0095	0,0074	0,0165	0,0165
	C (t)	805	291	313	805
	E (tm)	5.040	952	4.373	5.040
Orta Sert Kauçuk ve Sönümleyici	A (m)	-0,0101	-0,0021	-0,0146	-0,0146
	C (t)	14.179	3.336	13.797	14.179
	E (tm)	7.025	1.584	7.635	7.635
Sert Kauçuk	A (m)	0,0192	0,0115	0,0190	0,0192
	C (t)	947	434	427	947
	E (tm)	4.966	1.290	4.897	4.966
Sert Kauçuk ve Sönümleyici	A (m)	-0,0069	-0,0044	-0,0094	-0,0094
	C (t)	12.040	7.659	12.086	12.086
	E (tm)	6.462	4.894	5.778	6.462
Ankastre Mesnet	A (m)	0,0279	0,0085	0,0131	0,0279
	C (t)	13.920	5.004	6.539	13.920
	E (tm)	43.228	19.295	43.608	43.608

Çizelge 5.7.Elcentro verileri ile yapılan çözümlerde modellerin incelenen kriterlere göre değerleri

Model\İncelenen Kriter	B(m)	D (t)	F(t m)	G (m)	H (m)	I (m/sn2)	J (m/sn2)	K(sn)
1	0,0190	13.546	56.164	0,0044	0,0020	6,63	5,12	0,393899
2	0,0000	643	1.220	0,0052	-0,0012	2,78	1,84	8,712299
3	-0,0002	15.325	19.114	-0,0412	-0,0019	10,11	5,70	8,712308
4	0,0007	981	3.232	0,0070	-0,0017	2,89	1,88	3,983089
5	0,0000	10.421	10.553	-0,0197	-0,0011	5,72	4,04	4,54385
6	0,0000	1.534	3.823	0,0142	-0,0018	3,00	2,04	3,620052
7	-0,0002	9.868	8.185	-0,0125	-0,0008	5,46	3,23	3,620056

Çizelge 5.8.Northridge verileri ile yapılan çözümlerde modellerin incelenen kriterlere göre değerleri

Model\İncelenen Kriter	B(m)	D (t)	F(t m)	G (m)	H (m)	I (m/sn2)	J (m/sn2)	K(sn)
1	0,0085	4.500	20.594	0,0013	0,0009	2,29	1,69	0,393899
2	0,0027	62	417	0,0020	-0,0001	1,03	0,73	8,712299
3	-0,0064	11.829	4.834	-0,0098	-0,0015	2,49	4,99	8,712308
4	0,0074	296	1.169	0,0053	-0,0004	1,14	0,81	3,983089
5	-0,0021	2.661	2.257	-0,0034	-0,0002	1,54	1,14	4,54385
6	0,0115	342	1.743	0,0084	-0,0005	1,20	0,85	3,620052
7	-0,0044	7.222	4.951	-0,0067	-0,0006	2,41	2,83	3,620056

Çizelge 5.9.İzmit Meteoroloji verileri ile yapılan çözümlerde modellerin incelenen kriterlere göre değerleri

Model\İncelenen Kriter	B(m)	D (t)	F(t m)	G (m)	H (m)	I (m/sn2)	J (m/sn2)	K(sn)
1	0,0131	10.136	26.901	0,0021	0,0021	3,84	4,56	0,393899
2	0,0115	573	806	0,0084	-0,0013	1,78	1,96	8,712299
3	-0,0244	17.687	16.725	-0,0370	-0,0024	7,74	5,75	8,712308
4	0,0165	1.359	1.260	0,0122	-0,0014	1,75	2,09	3,983089
5	-0,0146	16.887	10.294	-0,0192	-0,0012	4,61	4,95	4,54385
6	0,0190	1.781	1.720	0,0141	-0,0016	1,78	2,26	3,620052
7	-0,0094	13.686	8.293	-0,0130	-0,0007	3,22	3,41	3,620056

Her üç deprem verisinden alınan sonuçlara göre maksimum taban kesme kuvvetleri yüksek sönümlü kauçuk malzeme kullanılarak yapılan çözümde %90-95 oranında azalmıştır.

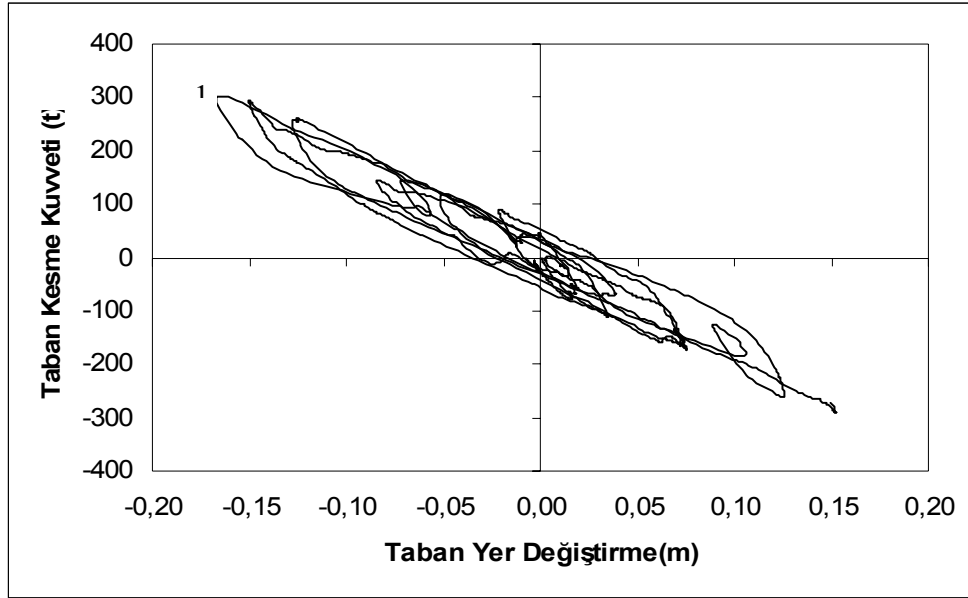
Sönümleyici kullanılan sistemde taban kesme kuvvetleri, sistemin radyal doğrultularda tutulmasından dolayı rijitleşmesi nedeniyle artmıştır. Taban kalkması ve taban burulmasında önemli yeri olan moment ise % 85-95 oranında azalmıştır. Tankın alt tarafına doğru olan cidarında deformasyonların ve burkulmanın çok azalması veya olmaması anlamına gelecektir. Tank modellerinin zemin ve duvarlarındaki gerilmeler yönünden irdeleme yapılmamıştır.

Sönümleyici kullanılması aynı zamanda sistemin zeminde yatay doğrultuda sönümlenmesi ve fazla hareket etmemesi demek olduğu için tankın tekrar geri salınımı kolay olmaktadır.

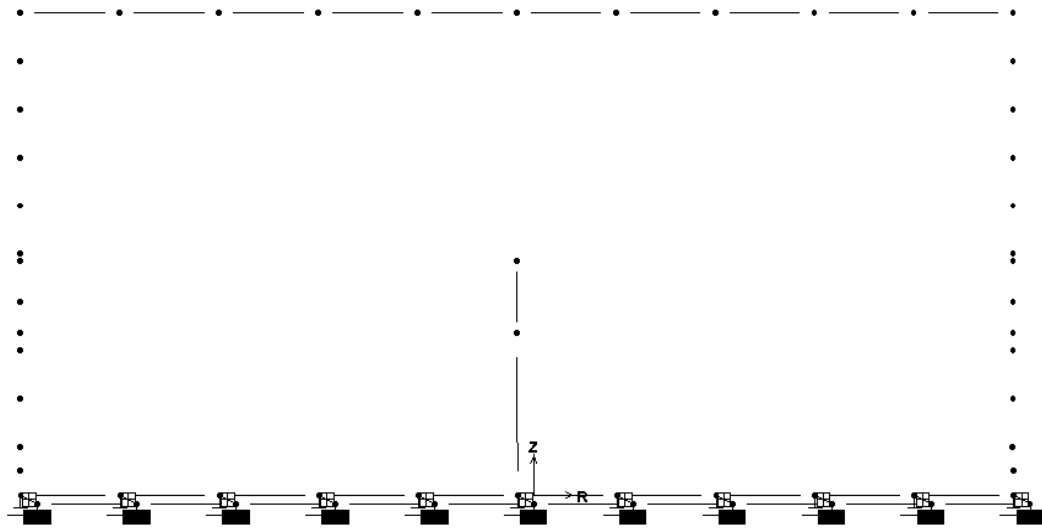
Tanklarda kinetik enerji , hidrodinamik yükler aynı model içerisinde bulunduğundan kinetik enerjinin hem düşey doğrultuda tanka iletilmesi önlenmiş hem de hidrostatik basınç oluşturacak su kütlelerinin oluşumuna sebep olacak ivmelenme azalmıştır. Her iki deprem verisine ait tankın tavan seviyesindeki ivmelenmeleri incelendiğinde ankastre mesnetli modellerden %60-65 arasında azalma olduğu görülecektir. Tankın kendisinin bu şekilde ivmelenmesi salınım etkilerini de artıracaktır. Sönümleyici konulması ile bu oran % 130 lara kadar çıkmaktadır. Göreli deformasyona bakıldığında zemindeki kauçuk malzeme pozitif x doğrultusunda deplasman yaparken sönümleyicinin etkisi ile tankın üst seviyesi negatif x yönünde deplasman yapmaktadır. Bu deplasman tankın ankastre olması halinde pozitif yönde yapacağı deplasmanın %20-30 ları seviyesinde gerçekleşmektedir. İzolatörlerle birlikte sönümleyici kullanılan tanklarda periyot artmasına rağmen uygulanan sistem neticesinde tabandaki moment değerleri %40 lar seviyesine gerilemiştir.

5.4.1. Taban kesme kuvveti- yer değiştirme ilişkisinin değerlendirilmesi

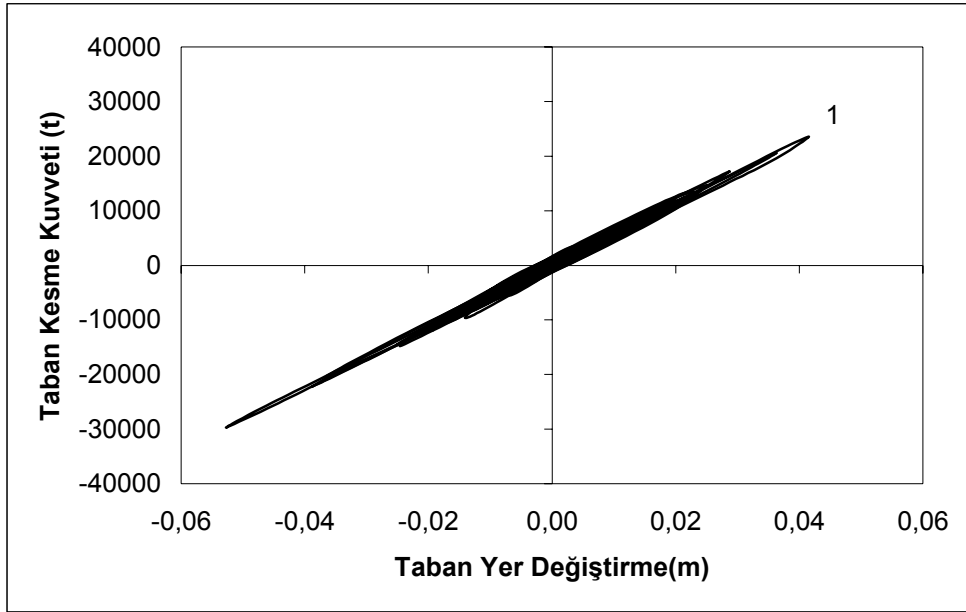
Üç deprem verisine göre yapılan çözümlerde x doğrultusundaki taban kesme kuvveti ile yer değiştirmeler arasında değişim aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Bu grafiklerdeki seçilen maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen maksimum taban kesme kuvvetlerinin olduğu noktalar dikkate alınarak bunlardaki deformasyonlar ayrıca gösterilmiştir.



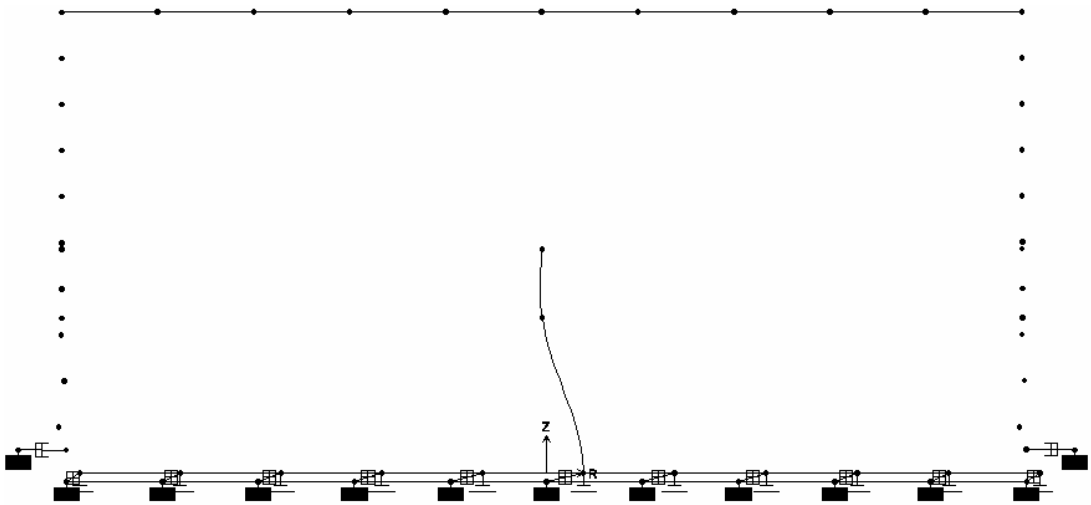
Şekil 5.104.El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



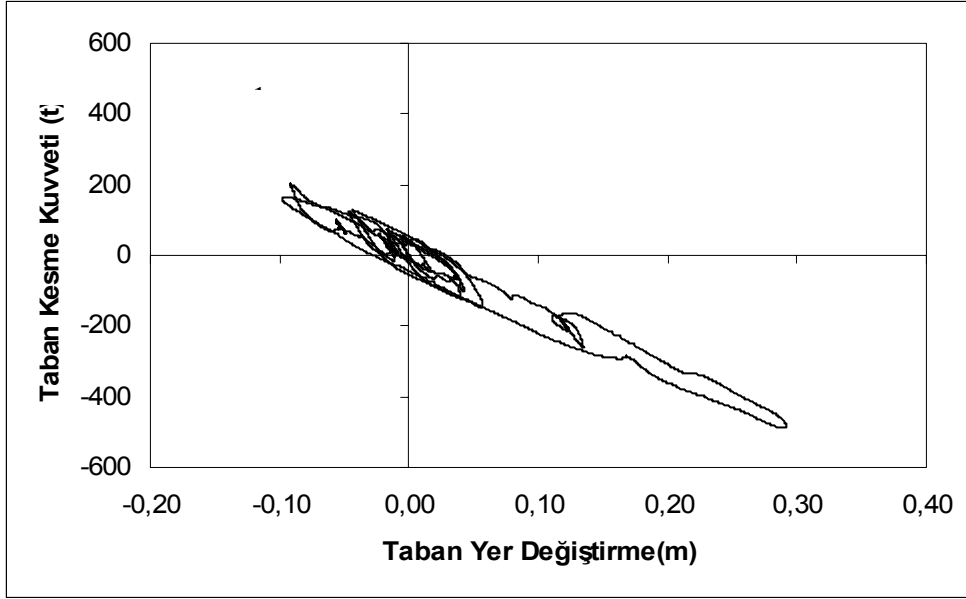
Şekil 5.105.El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $T = 2,6$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



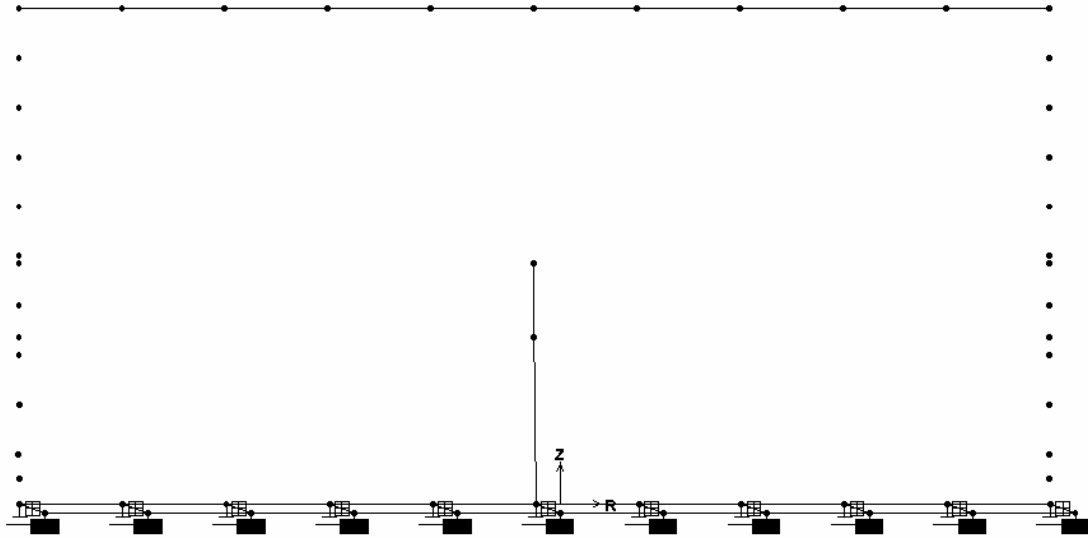
Şekil 5.106.El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



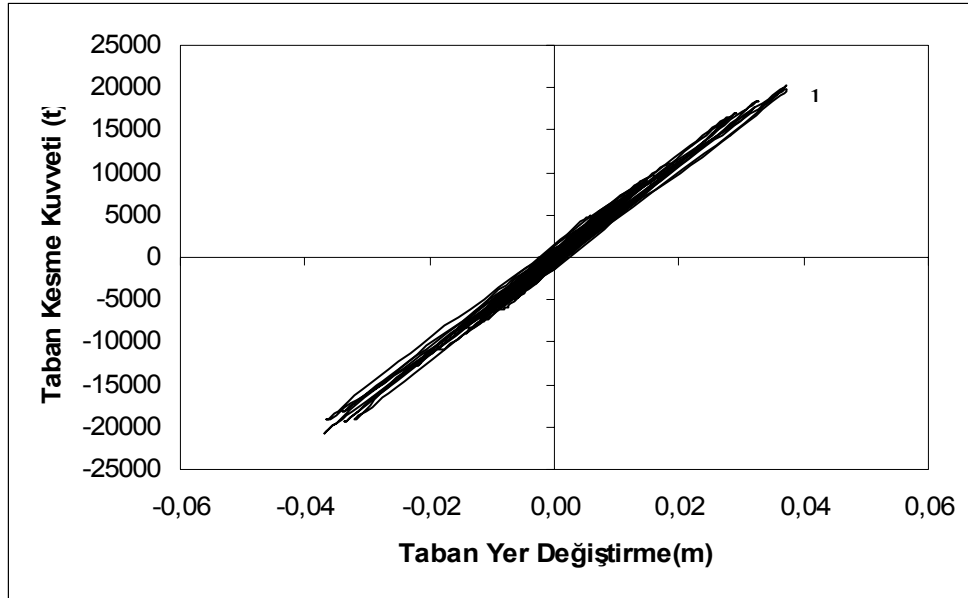
Şekil 5.107.El Centro verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,44$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



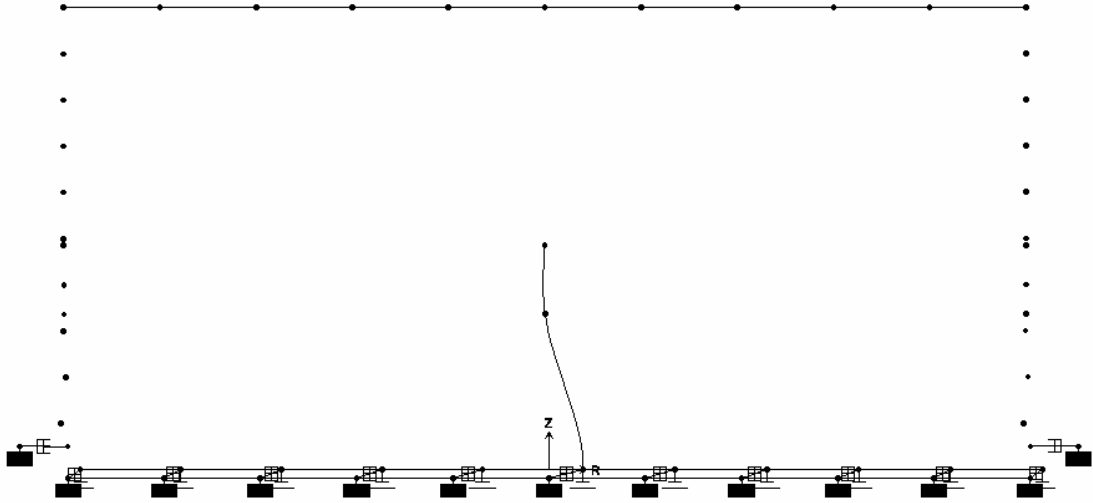
Şekil 5.108.İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



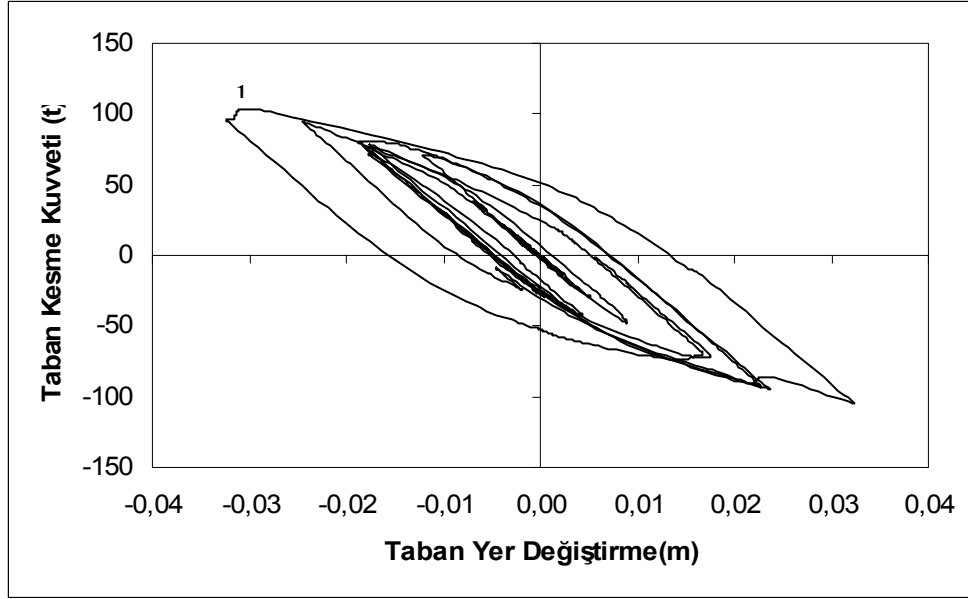
Şekil 5.109.İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,32$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



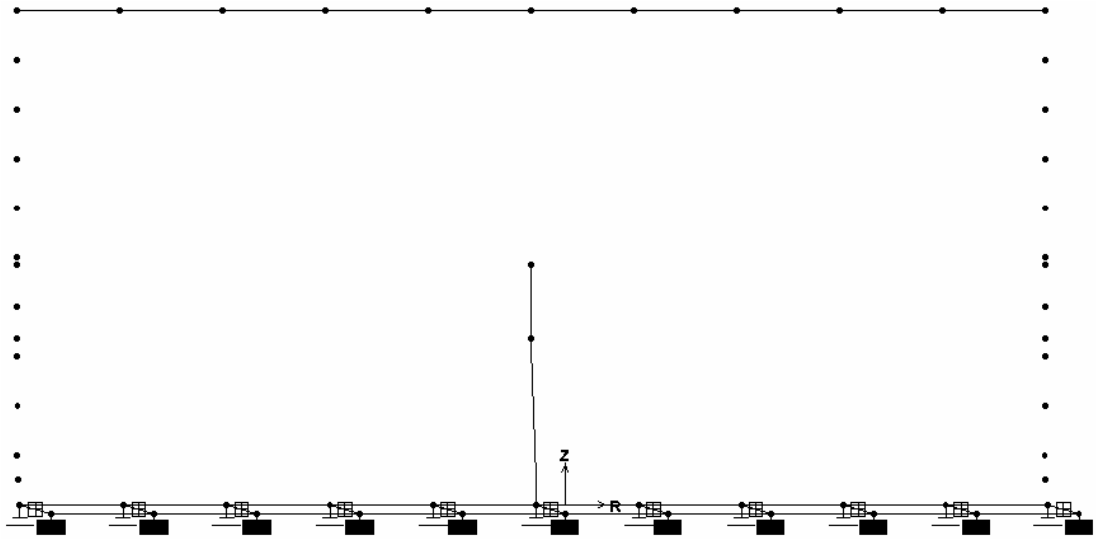
Şekil 5.110.İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



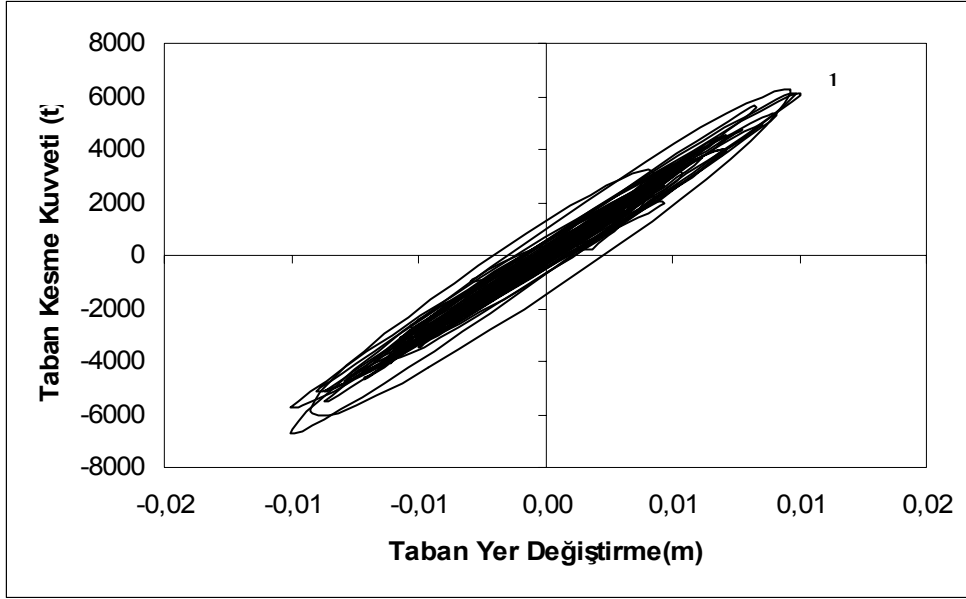
Şekil 5.111.İzmit Meteoroloji verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 7,725$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



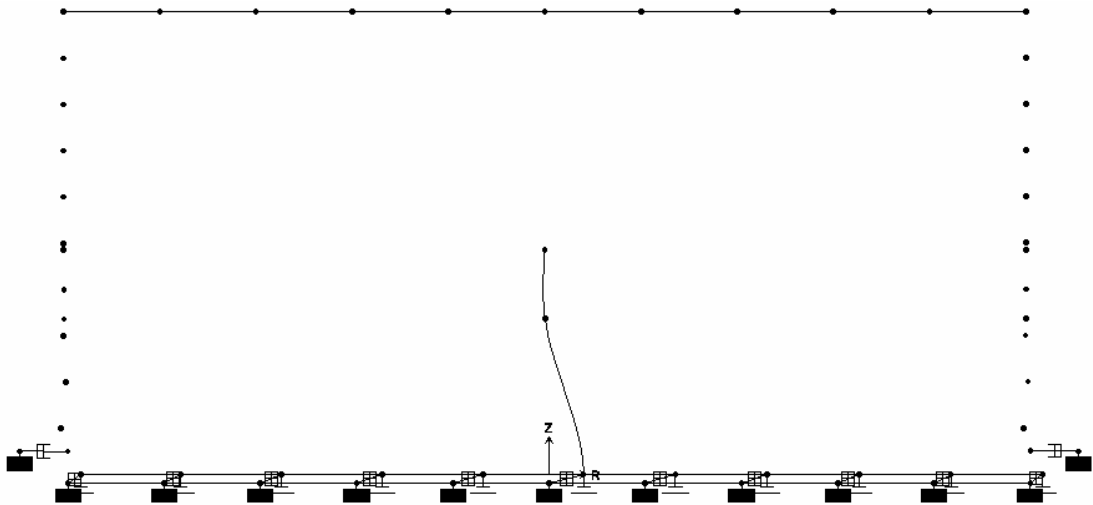
Şekil 5.112.Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



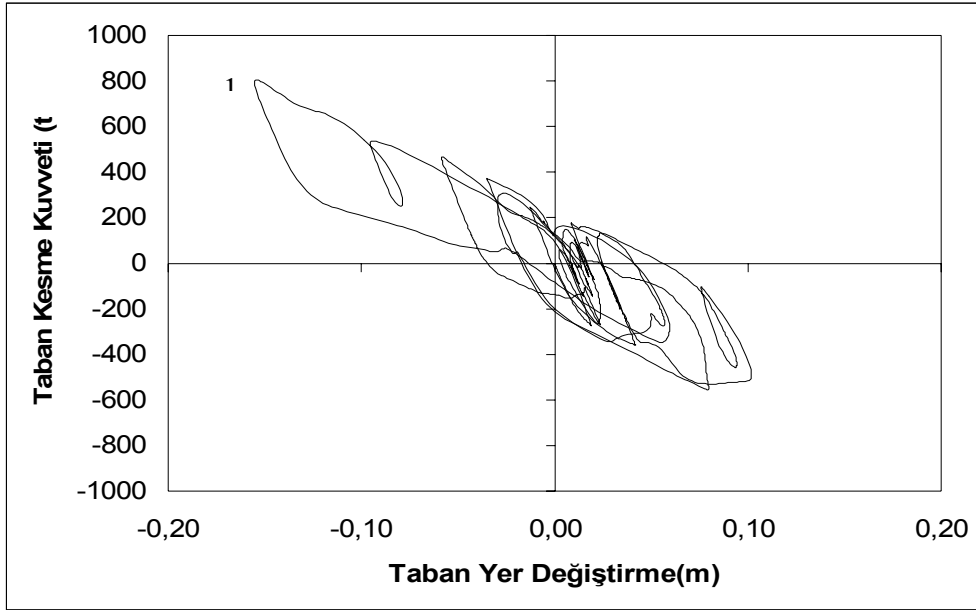
Şekil 5.113.Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 19,3$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



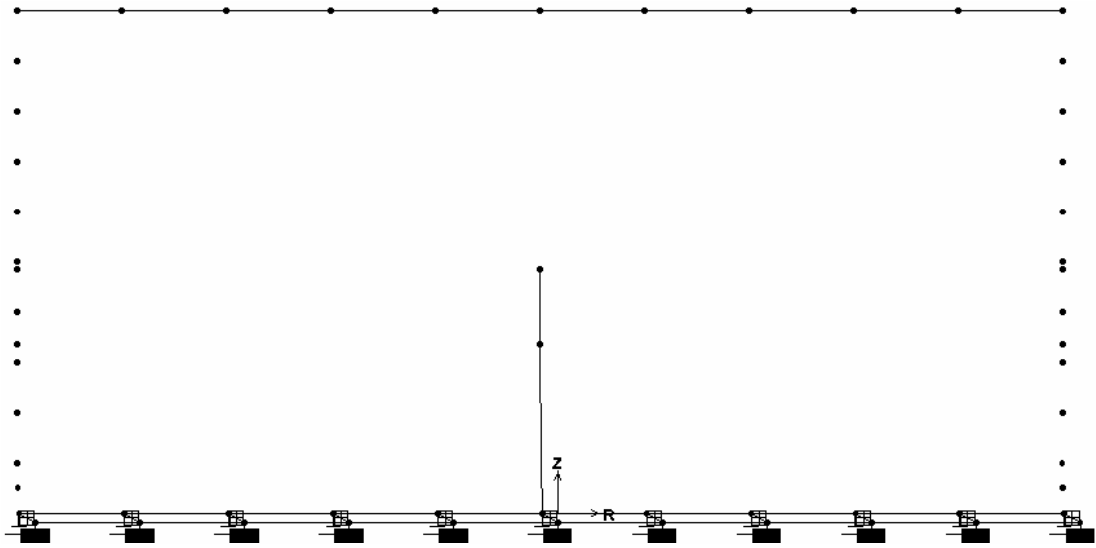
Şekil 5.114.Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



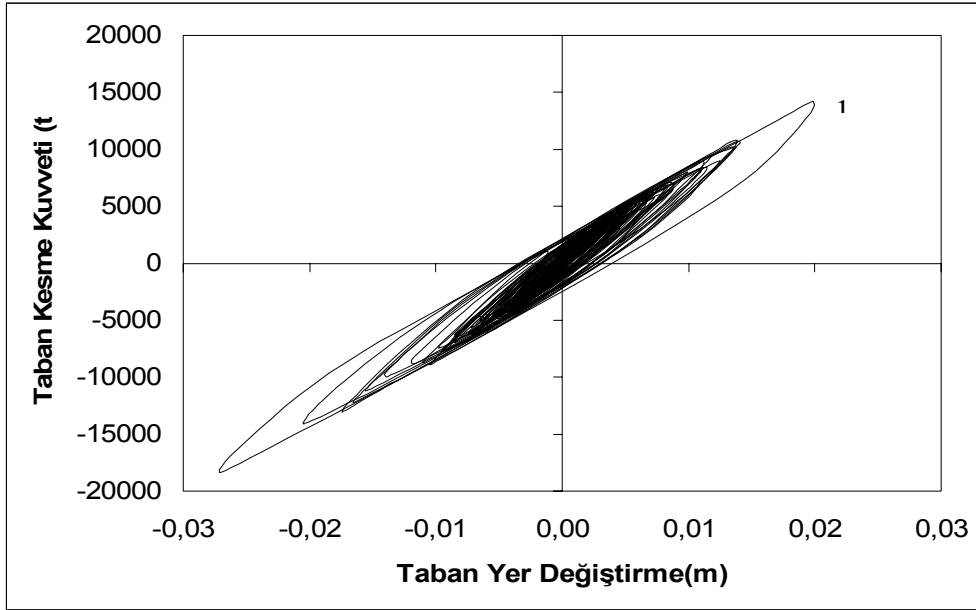
Şekil 5.115.Northridge verileri ile yumuşak kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 11,44$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



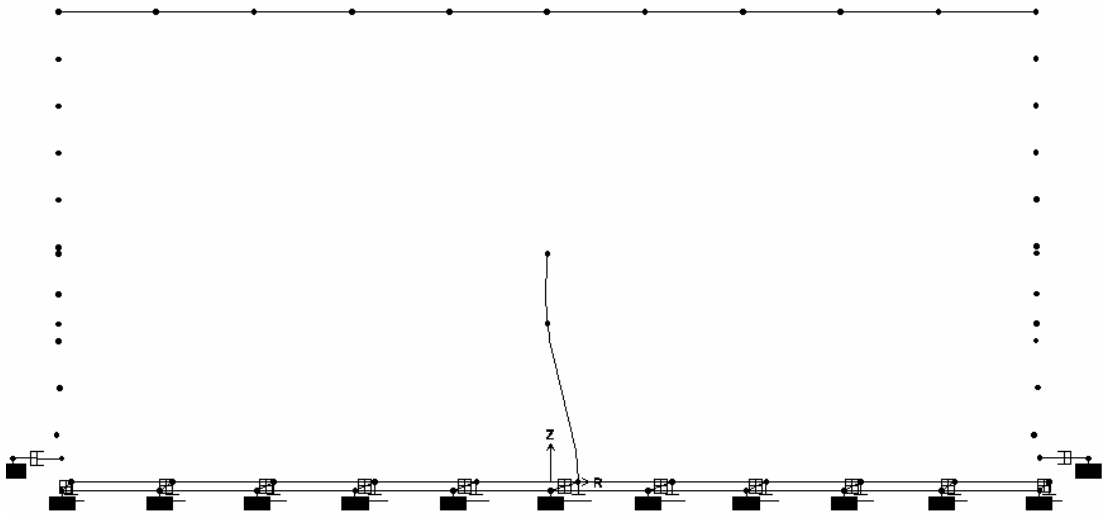
Şekil 5.116.El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



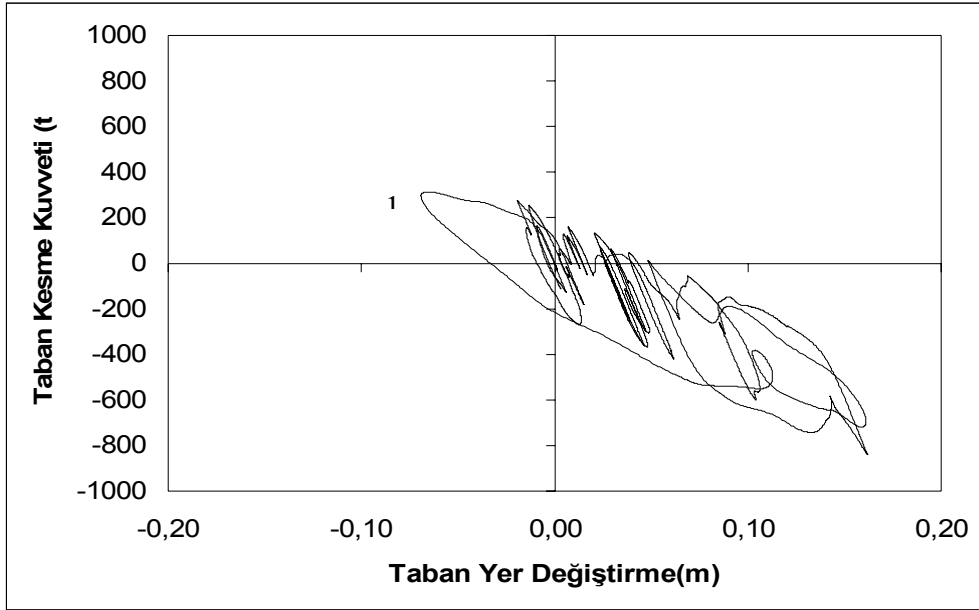
Şekil 5.117.El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,58$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



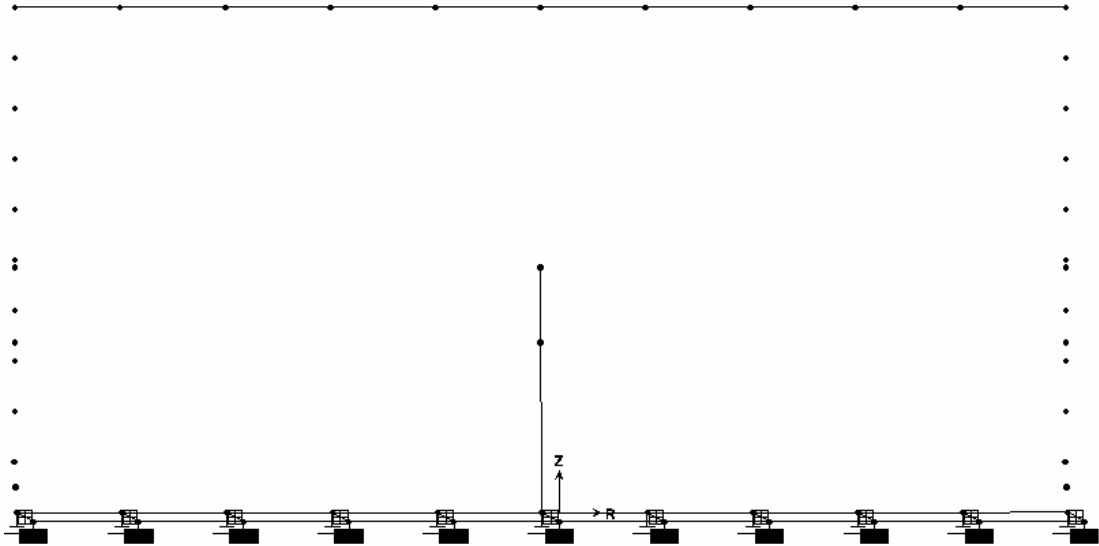
Şekil 5.118.El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



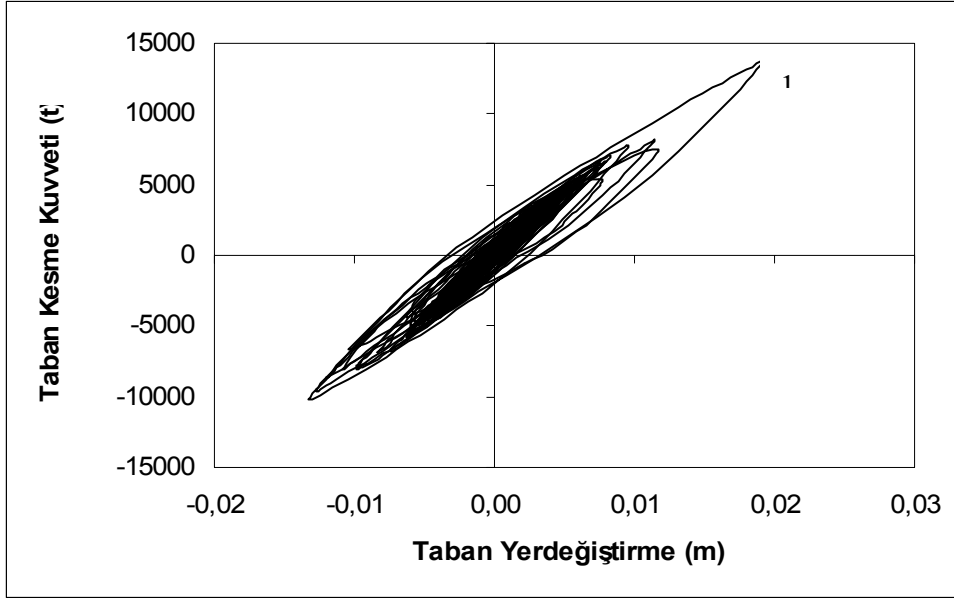
Şekil 5.119.El Centro verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,42$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



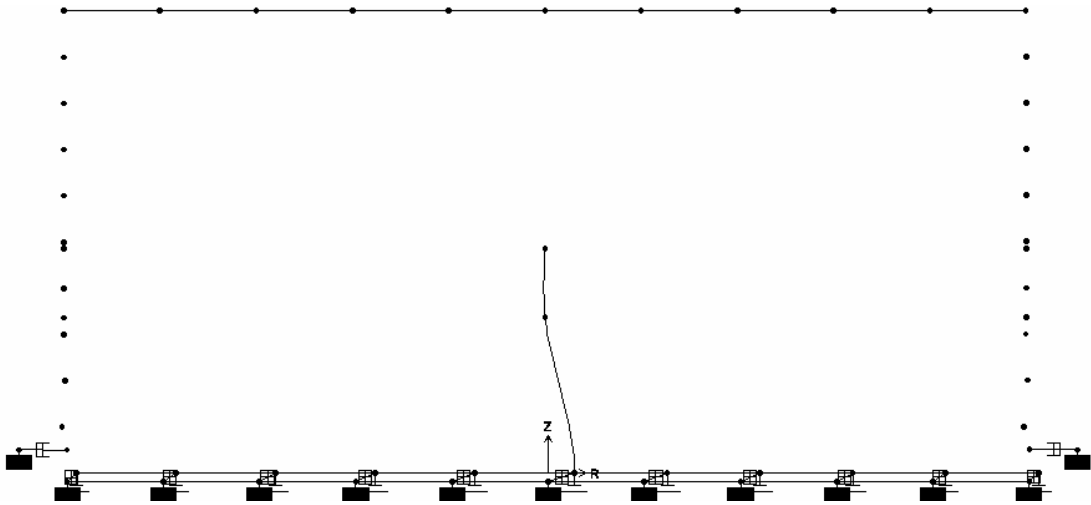
Şekil 5.120.İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



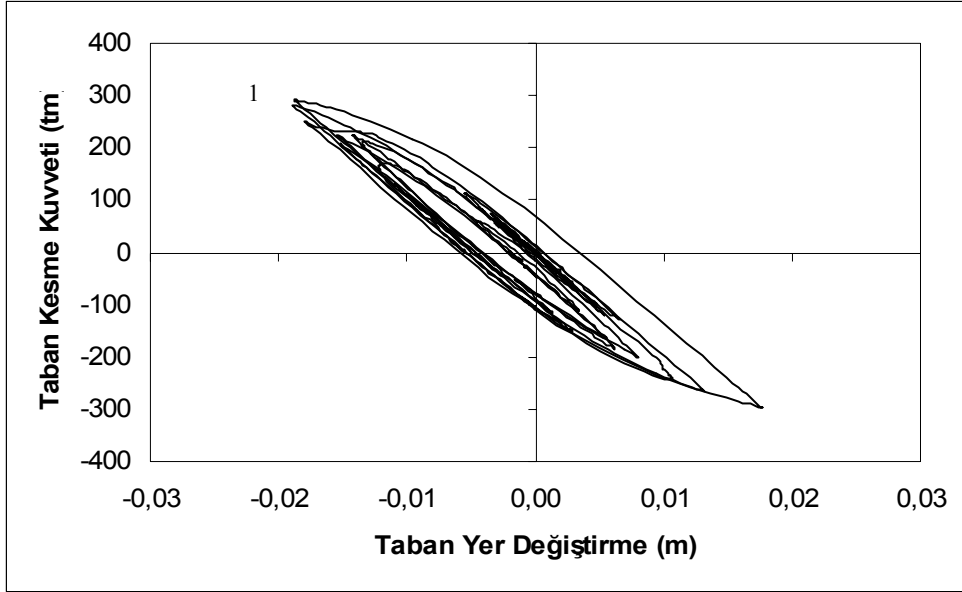
Şekil 5.121.İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,255$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



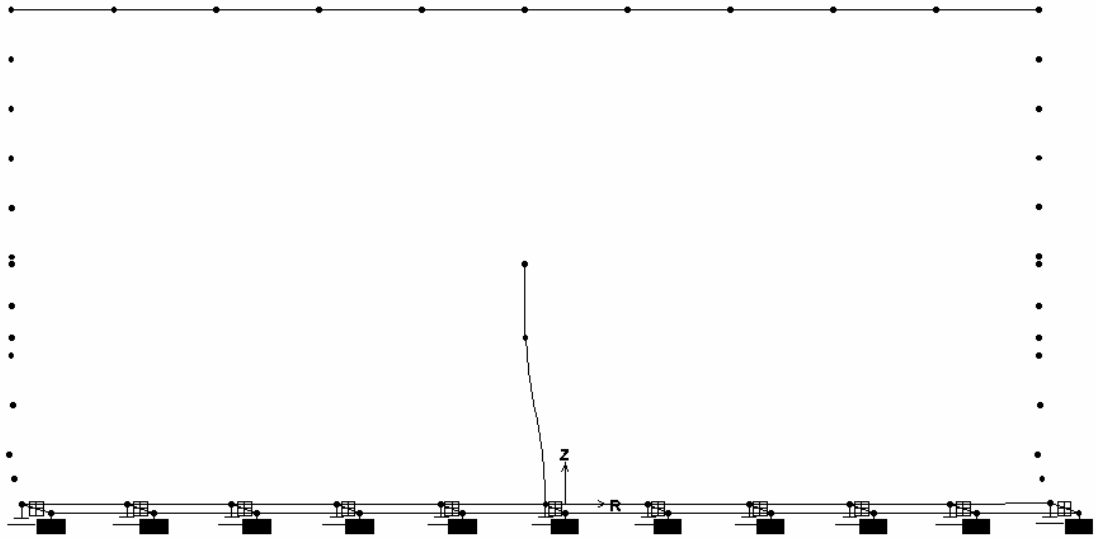
Şekil 5.122.İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyiciyle yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



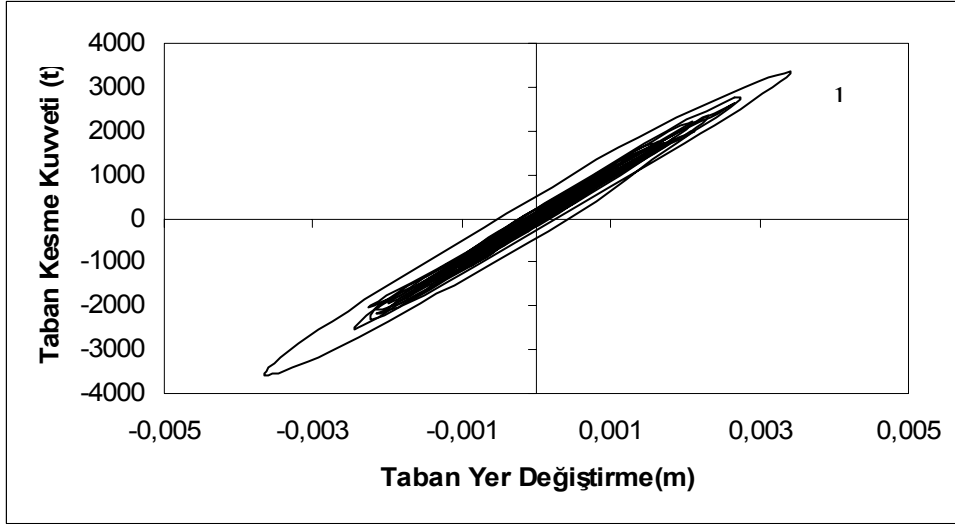
Şekil 5.123.İzmit Meteoroloji verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 35,88$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



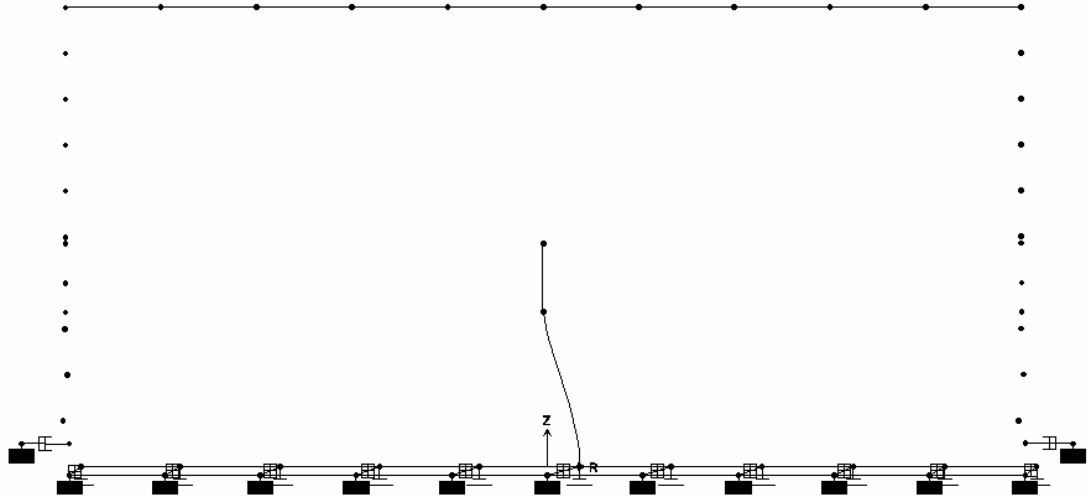
Şekil 5.124. Northridge verileri ile orta sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



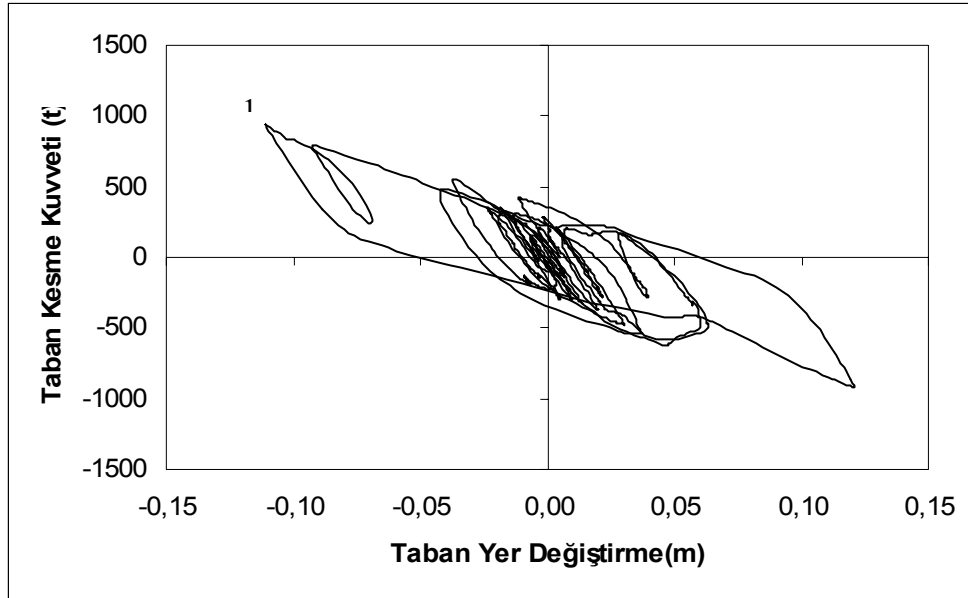
Şekil 5.125. Northridge deprem verileri ile orta sert kauçuk kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 14,58$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



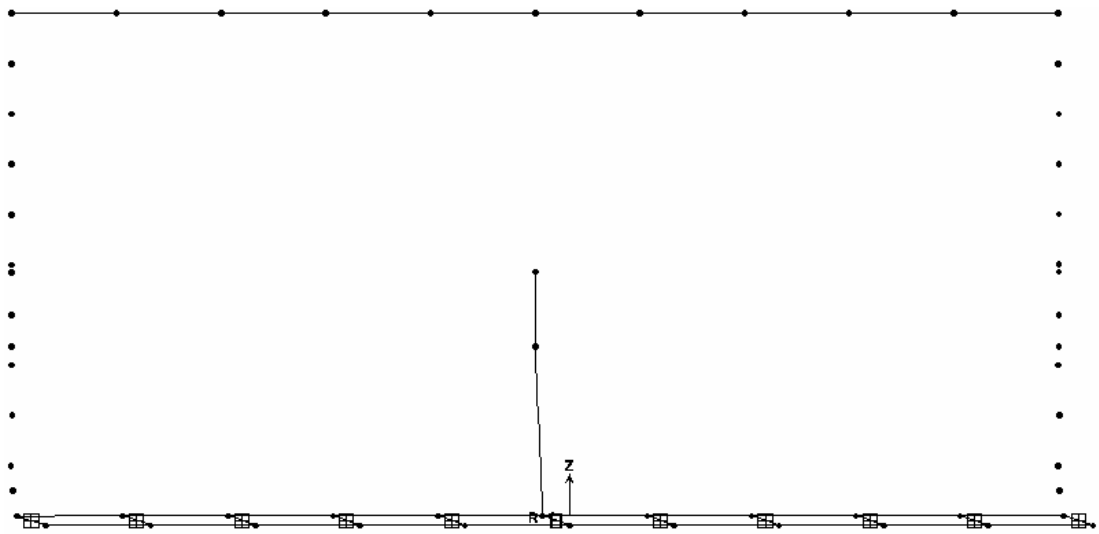
Şekil 5.126.Northridge verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



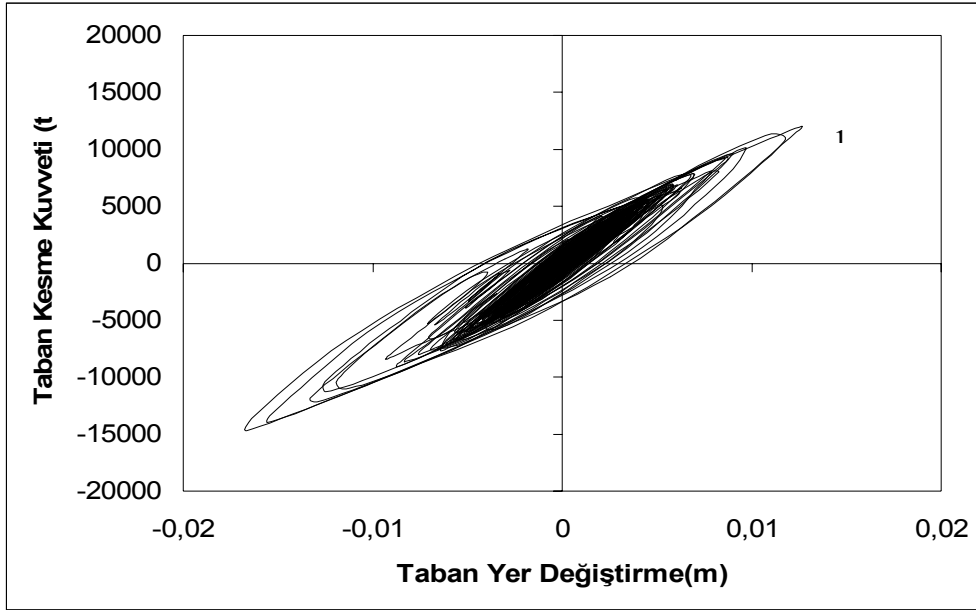
Şekil 5.127.Northridge deprem verileri ile orta sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,06$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



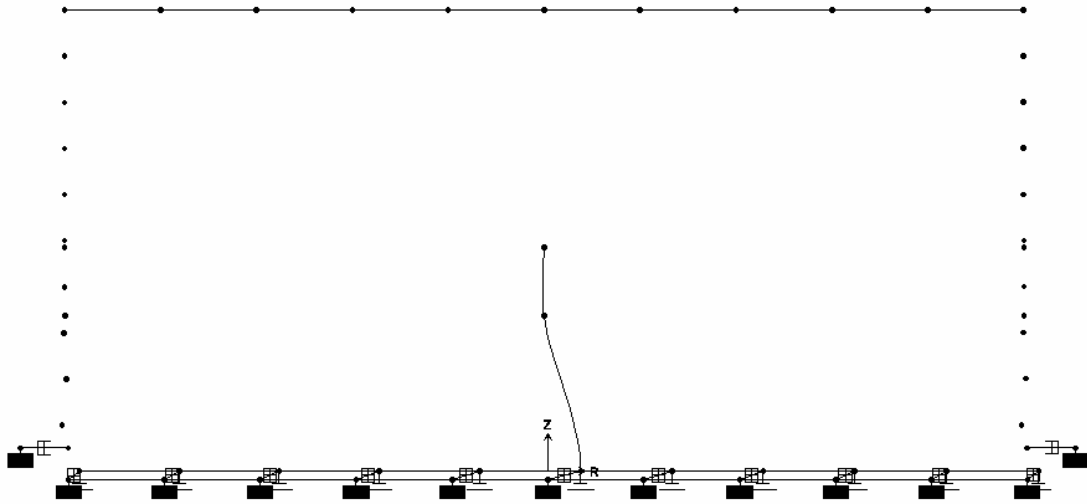
Şekil 5.128.El Centro verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



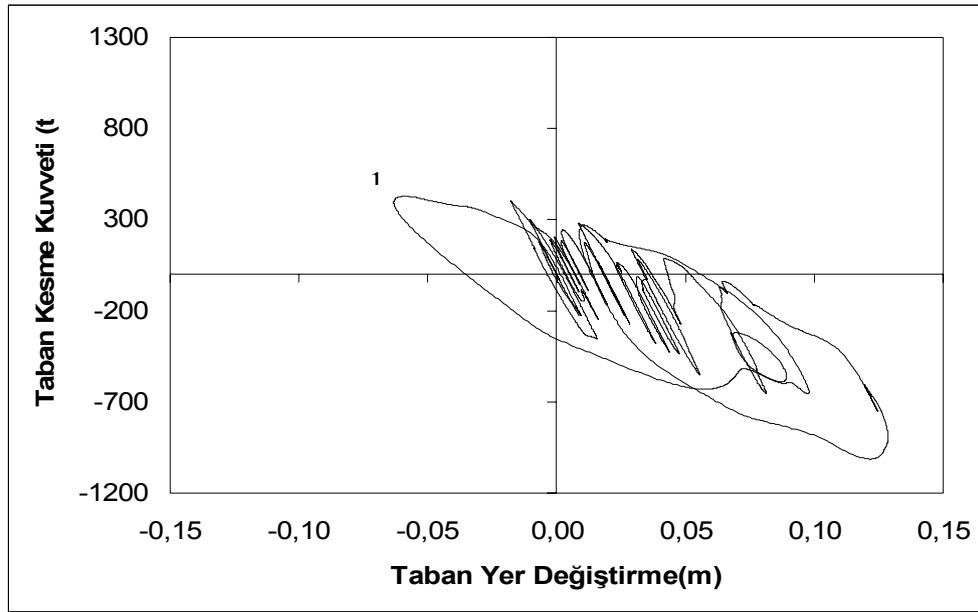
Şekil 5.129.El Centro verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,5$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



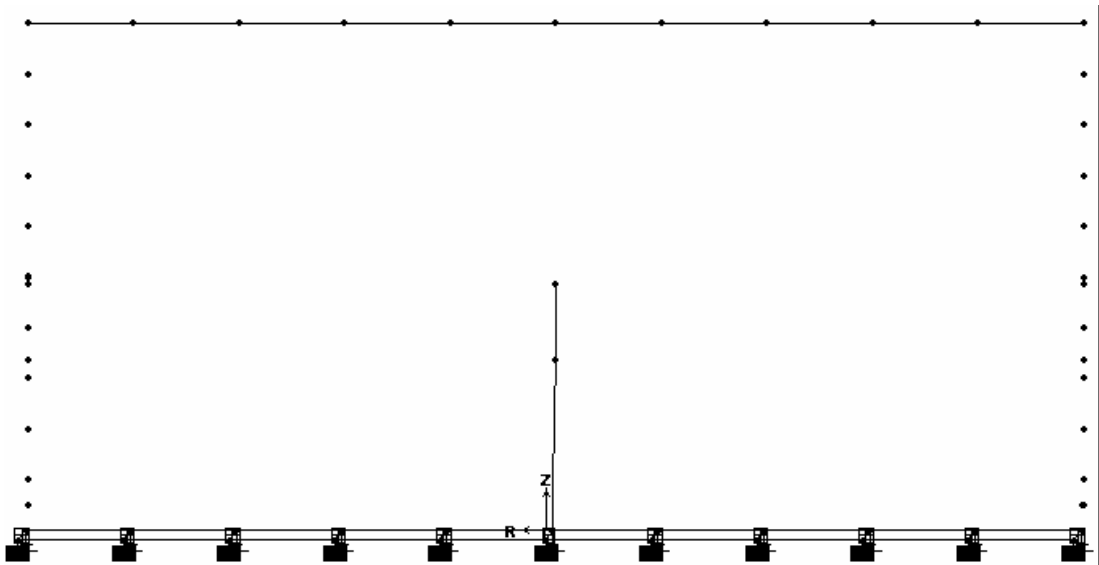
Şekil 5.130.El Centro verileri ile sert kauçuk yatak ve sönülmeyi kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



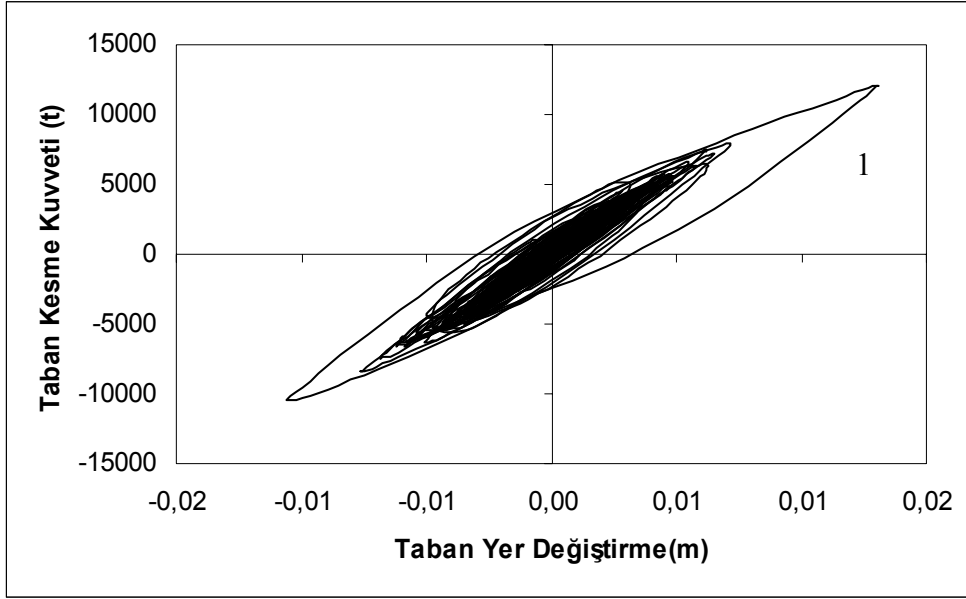
Şekil 5.131.El Centro verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 2,4$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



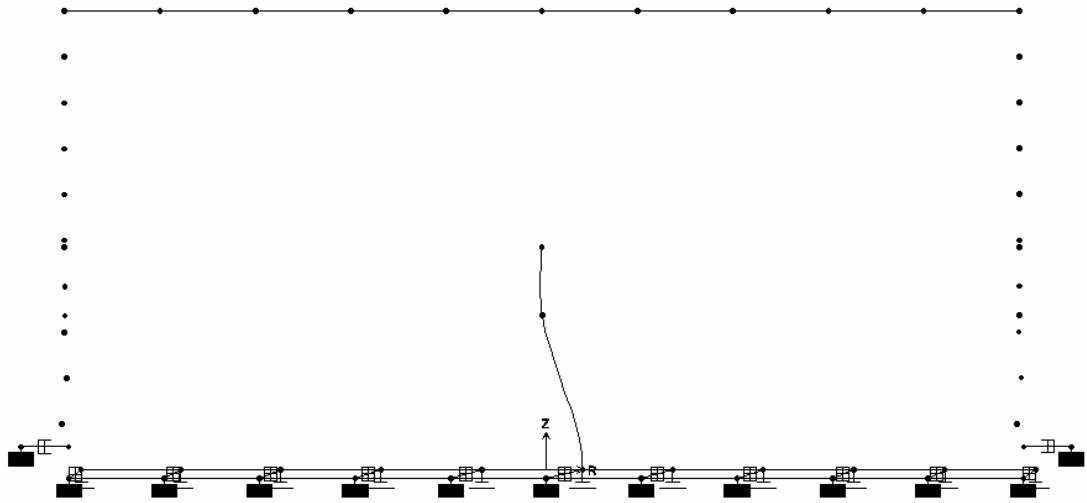
Şekil 5.132.İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



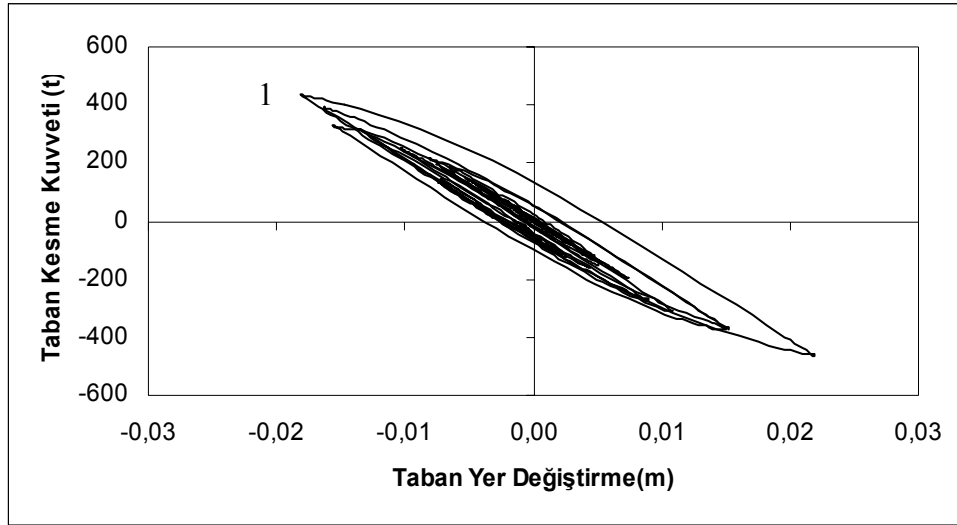
Şekil 5.133.İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 3,235$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



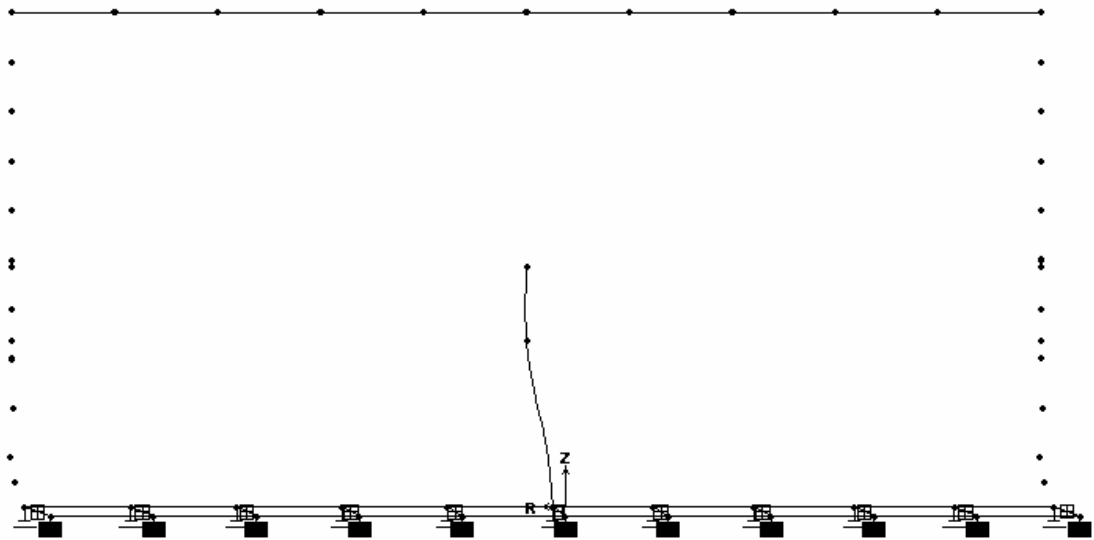
Şekil 5.134.İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



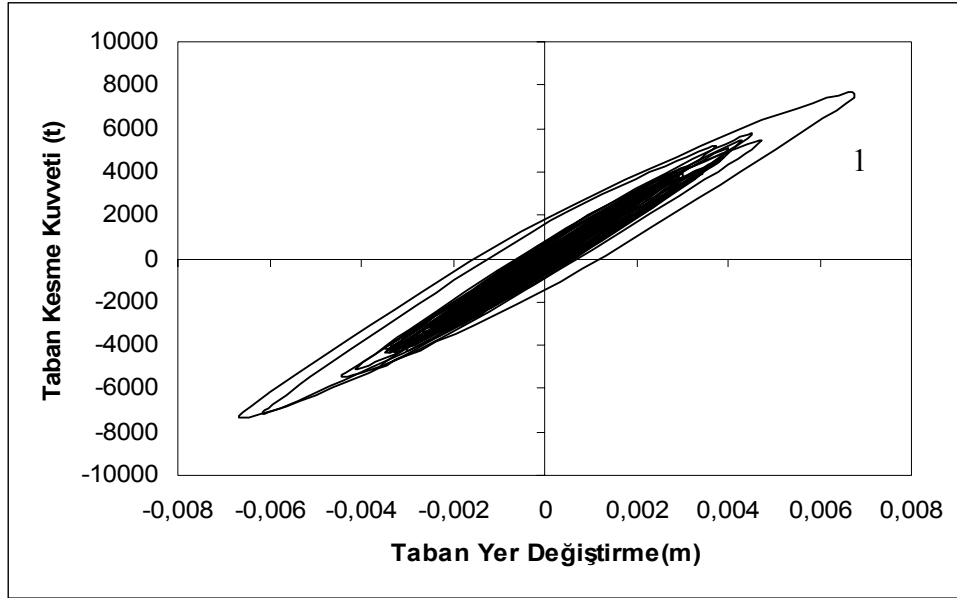
Şekil 5.135.İzmit Meteoroloji verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 35,855$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



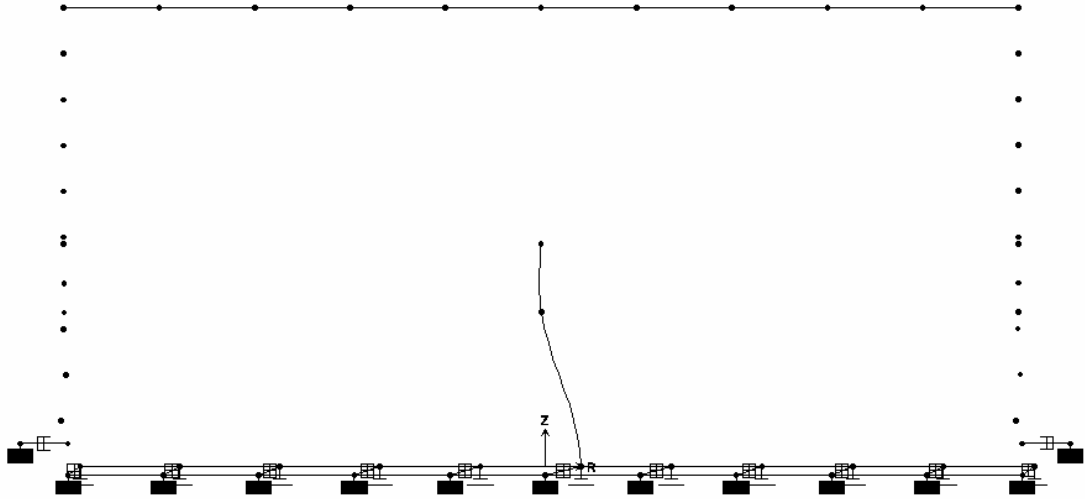
Şekil 5.136. Northridge verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



Şekil 5.137. Northridge deprem verileri ile sert kauçuk yatak kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 11,4$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu



Şekil 5.138.Northridge verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak yapılan çözümde x doğrultusunda taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği



Şekil 5.139.Northridge deprem verileri ile sert kauçuk yatak ve sönümleyici kullanılarak zaman tanım alanında yapılan çözümde modelin $t = 10,16$ sn'de 1 numaralı noktadaki deformasyonu

Taban kesme kuvvetleri ile taban yer değiştirme grafiklerine göre, bu diyagramlarda eğri içerisinde kalan alan sistemin enerji yutma kapasitesini göstermektedir. Ankastre mesnetli tank sistemleri için temel seviyesinde yer değiştirme öngörülmediğinden burada enerji yutumu söz konusu değildir.

Kauçuk yatak kullanılarak yapılan zmlerde El Centro Northridge ve İzmit Meteoroloji verilerine göre yapılan üzümlerde enerji yutumunun olduğu, bununla beraber sönümleyicinin kullanıldığı sistemlerde taban kısmı yalnızca kauçuk malzeme kullanılan sistemlere göre yanlardan daha fazla tutulduğu için enerji yutumu da azalmıştır. grafik alanı buna göre daralmıştır.

Taban yer değiştirme değerleri incelendiğinde 3,5,7 numaralı modellerde yer değiştirmelerin daha sınırlı olduğu grlmektedir. Buna karşın taban seviyesine yakın yerden sönümleyicilerle tutulan sistemlerin Kauçuk yatak kullanılan sistemlerden %100 e yakın daha fazla kesme kuvvetine maruz kaldığı grlmektedir.

Kauçuk yataklı sistemler kendi içinde değerlendirildiğinde ise yumuşak kauçuk yatak kullanılan sistemlerin kapalı döngüsünün daha dar bir alanda meydana geldiği, sert kauçuk yatak kullanılan zmde ise taban kesme kuvveti ve yer değiştirme kapalı döngüsünün daha geniş bir alanda olduğu ve enerji yutma kapasitesinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Buda zemin durumu ve sıvı çeşidine göre yüksek sönüme sahip sert kauçuk yatakların uygulamasında ve projelendirmesinde esneklik sağlayacağı şüphesizdir.

6. SONUÇ

Silindirik sıvı depolama tanklarının sismik izolasyon uygulaması yapılarak tanklar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Tankların dinamik analizinde yaklaşım yöntemleri ve bir örnekle Sap2000 yapısal analiz programında bu örnek sisteme ait çözümler yapıp irdelenmiştir.

Tank ankastre zemine oturan model olarak dikkate alınmış olup zemin ve yapı etkileşimi irdelenmemiştir. Ayrıca tank tek serbestlik dereceli sisteme modellendiğinden impulsif ve salınım kütleleri toplaştırılmış kütle olarak tank eksenine yerleştirilmiştir. Burada impulsif ve salınım kütleleri rijit diyafram tarifi yapılarak tanka bağlanmıştır. Tanka bağlantı yapılan düğüm noktalarının değerlendirmesi irdelenmemiştir.

Zemine oturan ve ankastre olarak tasarlanan tankların kauçuk yatak kullanılan çözümünde; ankastre mesnetli olarak idealize edilen çözümdeki 0,39 sn'lik periyot seviyelerinden 3,6 sn ve üzerine çıktığı ve depremler için hasar veren periyot aralığında uzaklaştığı görülür. Yumuşak kauçuk kullanılan sistemlerde periyot 8,7 sn civarlarında olmaktadır ki bu da hasara sebep olan periyot aralığında oldukça uzaklaştığını göstermektedir. Ayrıca zemin ivmelenme etkilerinin tank sistemine iletilmesini engellemiştir.

Kauçuk yatak kullanılan sistemlerde taban kesme kuvvetleri yumuşak kauçuk yatak kullanılması halinde %95 oranında, orta sert kauçuk malzeme kullanılması halinde %92 ve sert kauçuk malzeme kullanılması halinde % 90 azalma göstermektedir. Momentler irdelendiğinde yumuşak kauçuk yatak kullanılan sistemde % 92 azalmıştır. Orta sert kauçuk kullanıldığında taban momenti %88 azalmıştır. Sert kauçuk malzeme kullanıldığında ise taban momenti

Sönümleyici kullanılan tüm sistemlerde El Centro ve İzmit Meteoroloji verilerinin uygulandığı sistemlerde moment ve kesme kuvvetlerinde belirli bir oranda azalma

olduğu tespit edilir.

Tavan kısmındaki maksimum ivmelenmeler %25-50 oranında azalmıştır. Enerji sönümle noktasında her üç tip kauçuk yatak kullanılması halinde de bu sistemlerin sönümleyici kullanılan sisteme göre daha fazla enerji sönümleme kapasitesine sahip oldukları görülmüştür.

Ancak kauçuk sistemlerde sistemin eski haline gelmesinde zorluk olması sonucu radyal doğrultularda sönümleyici kullanılarak tabandaki burkulmalar önlenilecektir.

Sönümleyici kullanılan sistemlerde, yüksek rijitlikli kauçuk sistemlere göre tank yapısı daha rijitleştirildiği için taban kesme kuvvetleri artmış, ancak taban momentleri %60 oranında azalmıştır. Buda tankın içerisindeki sıvının tabanda eğilmelerden doğacak burulmaları azaltacaktır. Bu sistemlerde tavanın ivmelenmesi %25-50 oranında azalmıştır. Periyotlar ankastre mesnetli çözümün yumuşak kauçuk kullanılan sistemde 23 katı, orta sertlikteki kauçuk kullanılan sistemde 11 katı ve sert kauçuk kullanılan sistemde 8-9 katına çıkmıştır. Taban izolasyonlu sistemden periyodun büyük olduğu görülmüştür.

Sonuçlar göstermiştir ki; Northridge, El Centro ve İzmit depremi gibi depremlerde zemin özelliğine ve tank içersine konulacak sıvının özelliğine bağlı olarak kauçuk yatak sistemleri ve sönümleyiciler birlikte kullanılarak tank sistemleri deprem etkilerinden korunabilecektir.

Ülkemizin %98 inin deprem kuşağında bir ülke olmasının yanı sıra özellikle petrol ürünlerinin depolandığı tesislerin deprem kuşakları üzerinde olması sismik izolasyon uygulaması çalışmalarının yapılmasını zaruri kılmaktadır. Depremlerde en fazla zarar gören ve ülkemizde de 1999 yılındaki Marmara depreminde hasar gören ve yanan tankların başlıca hasar nedenlerinde birisi sıvı- yapı etkileşimi nedeniyle hasar görmeleri olduğundan sismik izolasyon sistemlerinin hayata geçirilmesi hem ülke ekonomileri, hem insanlık hemde çevre açısından çok önemlidir. Çünkü depremler

sonucu nasıl tehlikelerin insanları beklediği konusunda Marmara depremi ülkemiz için örnek oluşturmaktadır. Yapısal kontrol sistemleri ülkemiz yapı mevzuatlarına da girmelidir. Tankların ekonomisinin yapı güvenliğini düşünerek yapılması daha zaruridir. Bu konuda ileride daha fazla çalışmaların yapılmasına ihtiyaç şüphesizdir.

KAYNAKLAR

1. Bomhard, H., and Stempniewski, L., "LNG Tanks for seismically highly affected sites", *Intl. Post-SMiRT Conference Seminar on Isolation, Energy Dissipation and Control of Vibrations of Structures*, Capri, Italy, 115 (1993).
2. İnternet¹: <http://sismo.deprem.gov.tr/VERITABANI/hasar.php>, "Hasar yapan depremler", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı AİGM Sismoloji Şube Müdürlüğü, (2006)
3. Ristic, D., "Controlar structural behaviour and passive structural control", *Lectures for The International Post Graduate Studies*, Üsküp, 34-37 (1993).
4. Jangid, R., Datta, T., "Seismic behaviour of base isolated buildings: a state of art review", *Proc. Instn Civil Engineers Structures and Buildings*, 110: 186-203 (1985).
5. Roeder, C., W., Stanton, F., J. "Elastomeric bearings: state of art", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 109: 2853-2871 (1983).
6. Kadir, A., "Rubber properties important in the design of bearings", *International Conference on Natural Rubber for Earthquake Protection of Building and Vibration Isolation*, Kuala Lumpur, 211-227 (1982).
7. Simo, J. C., Kelly J. M., "Finite Element Analysis of the Stability of Multi-layer Elastomeric Bearings", *Engineering Structures*, 6(3): 162-174 (1984).
8. Stanton, J., F., Scroggins, G., Taylor, "Stability of laminated elastomeric bearings", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 116: 1351-1371(1990).
9. Siddiqui, F. M. A., Constantinou, M. C., "Simplified analysis method for multistorey base-isolated structures on viscoelastic halfspace", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18: 163-177 (1989).
10. Malangone, P., Ferraioli, M. A., "Model procedure for seismic analysis of nonlinear base-isolated multistorey structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 17: 397-412 (1998).
11. Constantinou, M. C., Kneifati M. C., "Dynamic of soil-base-isolated-structure systems", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 114:211-221(1988)
12. Constantinou, M. C., "A simplified analysis procedure for base-isolated structures on flexible foundation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15: 963-983 (1987).

¹ * Hasar yapan deprem sayılarını almak üzere referanslarda kullanılmıştır.

13. Nagarajaiah, S., Reinhorn, A. M., Constantinou, M. C., “Nonlinear dynamic analysis of 3D base-isolated structures”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 117(7): 2035-2054 (1991).
14. Jangid, R., S., Datta T., K. “Nonlinear response torsionally coupled base isolated structure”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 120:1-22 (1994).
15. Dumanoglu, A., Ateş, Ş.,”Dynamic response analysis of 3D-base isolated asymmetric building structures”, *European Association of Earthquake Engineering Task Group 8, Asymmetric and Irregular Structures*, İTÜ, İstanbul, 1: 181-194 (1999).
16. Tajirian, F. , “Base isolation design for civil components and civil structures”, *Proceedings, Structural Engineers World Congress*, San Francisco, California, 1-11 (1998)
17. Tezcan S., “Binaların pasif ve aktif kontrolü”, Bir Mimarın Seyir Defteri, *Türkiye Deprem Vakfı Yayınları*, İstanbul, 106-117(1998)
18. Elmas,M.,ve Karabörk,T., “Kaucuk yatak kullanarak temeli yalıtılmış çok katlı yapıların dinamik analizi”,*İnş. Müh. Gel. IV. Uluslararası Kong.*,Gazimagusa, KKTC,277-285 (2000)
19. Rojahn,C., (editor), “Base isolation and passive dissipation”, *Proceedings of a Seminar , Applied Technology Council* , USA, 331-362 (1986)
20. Kelly, J. M., “Aseismic base isolation: review and bibliography”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5(4): 202-216 (1986)
21. Kelly, J., M., “Base isolation: linear theory and desing”, *Earthquake Spectra*, 6(2): 223-244 (1990)
22. Fujino, Y., Sun, L. and Pacheco, B. M., “Tuned liquid damper (TLD) for suppressing horizontal motion of structures”, *Journal of Engineering Mechanics*, 118(10):2017-2030 (1993).
23. Pınarbaşı,S.,Akyüz, U., “Sismik izolasyon ve elastomerik yastık deneyleri”, *İMO Teknik Dergi*, 3581-3598 (2005)
24. Yozgat E, Hüsem M.,”Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen yapı kontrol sistemleri”, *İMO İzmir Şubesi Bülteni*, 22-28 (2005)
25. Kajima Corporation, “Minimizing tremors by changing building stiffness avs active variable stiffness system, seismic response control series”, *Technical Pamphlet* , 91-65E,12-19 (1991),
26. Ghaboussi,J., “Structural control using neural network”, *ASCE, Speciality Conference on Probabilistik Mechanics and Structural and Geotechnical Reliability*, Denver Colorado, 244-251 (1992) .

27. Ghaboussi, J. and Joghataie, A. "Active control of structures using neural networks", *ASCE, Journal of Engineering Mechanics*, 121(4):555-567 (1995)
28. Arslan, A. ve İnce, R., " Geriye yayılma yapay sinir ağı kullanılarak betonarme kolonların tasarımı", *Doğa Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*, 19:127-135 (1995)
29. Wu,X., Ghaboussi,J. Ve Garrett,J.H. , "Use of neural networks in detection of structural damage", *J. of comp.& struc.*,42:649-660 (1992)
30. Kelly, J., M., "Base isolation: linear theory and design", *Earthquake Spectra*, 6(2): 223-244 (1990).
31. Datta, T.K."A state-of-the-art review on active control of Structures", *22nd ISET Annual Lecture, ISET Journal of Earthquake Technology*, 40(1): 1-17 (2003)
32. Yoshida, K., Fujio, T., "Semi-active base isolation for a building structure", *International Journal of Computer Applications in Technology*, 13(1-2):52-58 (2000).
33. Fukushima, I., Kobori, T., Sakamoto, M.,Koshika, N., Nishimura, I., Sasaki, K., "Vibration control of a tall building using active-passive composite tuned mass damper", *Proceedings of the 1996 Third International Conference on Motion and Vibration Control*, Chiba, 1-6 (1996).
34. Nishimura, H., Ohkubo, Y., Nonami, K., "Active isolation control for multi-degree-of-freedom structural system", *Proceedings of the 1996 Third International Conference on Motion and Vibration Control*, Chiba, Japan, 82-87 (1996).
35. Adeli, H., Kim, H., "Hybrid control of smart structures", *6th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Bogaziçi University, Istanbul, Turkey, keynote lecture 1-8 (2004)
36. Muslu, Y. , "Su temini ve çevre sağlığı" , *İ. T. Ü. Matbaası,Gümüşsuyu* İstanbul, 261-285 (1978)
37. Mestanzade, N., Yazıcı, G., "Silindirik deniz depolarının sismik izolasyonla incelenmesi", *Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu*, 187-197 (2004)
38. Jacobsen , L. S. ve Ayre, R. S. , "Hydrodynamic experiments with rijit cylindrical tanks subjected to transient motions", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41:313-346 (1951)
39. Rammerstorfer, F. G., Scharf , K. ve Fischer, F.D. , "Storage tanks under earthquake loading", *Journal of Applied Mechanics Reviews*, 43(11): 261-282 (1990).

40. Guthrie, F., "On stationary liquid waves", *Philosophical Magazine*, 50(4):290-337 (1875).
41. Rayleigh, L., "On waves", *Philosophical Magazine*, 1: 257-279 (1876)
42. Rayleigh, L., "On the vibrations of a cylindrical vessel containing liquid", *Philosophical Magazine*, 15:385-389 (1883)
43. Nikolai, E.L., "On the vibrations of a thin-walled cylinder", *Zhurnal Russkogo Fiziko-khimicheskogo Obshchestva*, 11:1 (1909)
44. Westergaard, H.M., "Water pressure on dams during earthquakes", *transactions of the ASCE*, 98:418-433 (1933)
45. Chopra, A.K., "Hydrodynamics pressure on dams during earthquakes", *ASCE Proc. Jou. Of Eng. Mech.*, 93:205-223 (1967)
46. Hoskins, L. M. ve Jacobsen, L.S., "Water pressure in a tank caused by simulated earthquake", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 24: 1-32 (1934)
47. Werner, P.V. ve Sundquist, K.J., "On hydrodynamic Earthquake effects", *Transactions American Geophysical Union*, 30:636-657 (1949)
48. Hausner, G.W., "Dynamic pressures on accelerated fluid containers", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 47(1):15-35 (1957)
49. Veletsos, A.S., "Seismic response and design of liquid storage tanks", *Guide. For The Design Of Oil And Gas Pipeline System*, ASCE, NY, 255-370 (1984)
50. Hanna, Y.G., ve Humar, J.L., "Boundary element analysis of fluid domain", *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 108:436-449 (1982)
51. Welf, D.H., Wolf, J.P., Bachmann, H., "Hydrodynamic stiffness matrix based on boundary elements for time-domain dam-reservoir-soil analysis", *Eart. Eng. & Str. Dyn.*, 16:417-432 (1988)
52. Humar, J.L. ve Jablonski, A.M., "Boundary element reservoir model for seismic analysis of gravity dams", *Eart. Eng. & Str. Dyn.*, 16:1129-1156 (1988)
53. Edwards, N.W., "A procedure for dynamic, analysis of thin walled liquid storage tanks subjected to lateral ground motions", Ph D Thesis, *University of Michigan*, Ann Arbor. 153 (1969)
54. Karadeniz, H., "The Theoretical and experimental Dynamic Analysis of Thin Shells of Revolution", Ph D Thesis, *University of Bristol*, England, 1-176 (1976)
55. Balendra, T. and Nash, S.L., "Earthquake analysis of cylindrical liquid storage tank with a dome by finite element method", Research report, *Department of civil engineering, University of Massachusetts. Amherst, USA*, 1-8 (1978)

56. Liu, W.K., "Finite element procedures for fluid-structure interaction and application to liquid storage tanks", *Nuc.Eng & Des.*, 65:221-238 (1981)
57. Balendra, T., Ang, K.K., Paramasivas, P. ve Lee, L.S., "Seismic design of flexible cylindrical liquid storage tanks", *Eart. Eng. & Str. Dyn.*, 10: 477-496 (1982)
58. Barton, D.C., ve Parker, J.V., "Finite element analysis of the seismic response of anchored and unanchored liquid storage tanks", *Eart. Eng. & Str. Dyn.*, 15: 299-322 (1987).
59. Cho, J.R., Songs, J.M. ve Lee, J.K., Finite element techniques for the free vibration and seismic analysis of liquid storage tanks, *Fin. Elem. in Analy. and Des.*, 37:467-485 (2001)
60. Calayır, Y., "Beton ağırlık barajların euler ve lagrange yaklaşımları kullanılarak dinamik analizi", Doktora tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi FBE*, Trabzon, 30-42, 178-192 (1994)
61. Wang, Y.P., Teng M. C. and Chung K.W., "Seismic isolation of rigid cylindrical tanks using friction pendulum bearings", *Earthquake Engineering And Structural Dynamics Earthquake Engng Struct. Dyn.* 30(7) :1083-1099 (2001).
62. Koh, H.M., "Progress of applications, new projects, r&d and development of design rules for base isolation and passive energy dissipation of civil buildings, bridges and nuclear and non-nuclear plants in Korea", *Proc. Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Seismic Vibrations of Structures*, Sicily, Italy, 113-124. (1997),.
63. Haroun, M. A., Housner, G. W., "Seismic Design of liquid-storage tank", *Journal of Technical Councils ASCE* 107(1):191-207 (1981)
64. Doğangün, A., "Dikdörtgen kesitli su depolarının sonlu elemanlar yöntemiyle depo-sıvı-zemin etkileşimi dikkate alınarak analitik yöntemlerle karşılaştırmalı deprem hesabı", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi FBE*, Trabzon, 1-209 (1995)
65. Ateş, Ş., ve Dumanoglu A.A., "Kauçuk mesnetli binaların dinamik analizi", *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 48-52 (2003)
66. Karabörk, T., "Titreşim kontrol sistemleri ve yüksek sönümlü kauçuk yatak uygulamaları", Doktora Tezi, *Sakarya Üniv. FBE*, Sakarya, 1-187 (2001)
67. Kim, N.S. and Lee, D.G., "Pseudo-dynamic test for evaluation of earthquake performance of base-isolated liquid storage tanks", *Engineering Structures*, 17(3):198-208 (1995).
68. Malhotra, P.K., "Method for seismic base isolation of liquid storage tanks", *J. of Str. Eng., ASCE*, 123(1):113-116 (1997)

69. Malhotra, P.K. , “New method for seismic base isolation of liquid storage tanks”, ***Eart. Eng. & Str. Dyn.***, 26:839-847 (1997)
70. Newmark, N.M. ve Rosenblueth, E., *Fundamentals of Earthquake Engineering*, ***Prentice-Hall***, New York, 249-255 (1971)
71. Malhotra, P., “Practical nonlinear seismic analysis of tanks”, ***Earthquake Spectra***, 16(2): 473-492 (2000)
72. Malhotra, P.K., Wenk, T. Wieland, M. “Simple procedure for seismic analysis of liquid-storage tanks”, ***Structural Engineering International*** 10(3): 197-201 (2000).
73. Bolt, B. et al., "The Chile Earthquake of March 3, 1985", ***Earthquake Spectra***, 2(5): 373-409 (1986).
74. Housner, G.W. and Haroun, M.A. “Vibration tests of full scale liquid storage tanks”, ***Proc. and US National Conference on Earthquake Engineering***, Stanford, California, 137-145 (1979).
75. Chopra, A.K., “Earthquake dynamics of base- isolated buildings”, *Dynamics of Structures*, second edition , ***Prentice-Hall***, New York, 731-750 (2002)
76. Wilson, E.L., “Yapıların üç boyutlu statik ve dinamik analizi” ***Computers and Structures, Inc. Berkeley***, California, USA, 25-72 (2001)
77. Naeim, F., Kelly, J.M., “Design of seismic isolated structures”, ***Computer Applications***, New York , 221 (1999)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MERMER, Ahmet Sait
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 19.08.1975 Konya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 251 36 37
 Faks : 0 (312) 302 28 90
 e-mail : asmermer@meteor.gov.tr

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	Selçuk Üniv.İnşaat Müh. Bölümü	1997
Lise	Kabataş Erkek L.Matematik	1992

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

1997- 1998	Sistaş Şirketler Grubu	Saha Mühendisi
1998-1999	Ilgın/Konya Mes. Yük. Ok.	Öğretim Görevlisi
1999-	Meteoroloji Genel Müd.	İnşaat Mühendisi /Birim Sorumlusu

Yabancı Dil İngilizce