T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇLÜ SARKAÇ İZOLATÖRLE YALITILMIŞ SIVI DEPOLAMA TANKLARININ DEPREM DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZGE YALÇIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2016

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇLÜ SARKAÇ İZOLATÖRLE YALITILMIŞ SIVI DEPOLAMA TANKLARININ DEPREM DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZGE YALÇIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT AKBAŞ
II. DANIŞMAN
DOÇ . DR. EREN UÇKAN

GEBZE
2016

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

INVESTIGATION OF SEISMIC BEHAVIOR OF LIQUID STORAGE TANKS WITH TRIPLE PENDULUM ISOLATORS

ÖZGE YALÇIN

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE DEPRATMENT OF EARTHQUAKE AND STRUCTURE ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. BULENT AKBAŞ

II. SUPERVISOR

ASSOC. PROF. DR. EREN UÇKAN

GEBZE

2016

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/01/2016 tarih ve 2016/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 10/02/2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Özge YALÇIN'ın tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof.Dr. Bülent AKBAŞ

ÜYE : Y.Doç.Dr. Ercan Şerif KAYA

ÜYE : Y.Doç.Dr. Ferit ÇAKIR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışma üçlü sarkaç izolatörle yalıtılmış sıvı tanklarının deprem davranışlarının incelenmesini içerir. Bu çalışma sıvı etkisinde olan geniş ve narin olmak üzere iki farklı tank çeşidinin impulsif ve salınım etkilerine karşı tankta meydana gelecek hasarları önlemek için sismik izolasyonun tanklar üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup çalışmanın amacı hakkında genel bilgi verir. İkinci bölüm sıvı depolama tanklarının analiz yöntemi ve deprem davranışları hakkında bilgi verir. Üçüncü bölüm sismik izolasyon hakkında ve sismik izolasyonun yapılar üzerindeki etkisini içermektedir. Dördüncü bölüm sıvı depolama tanklarının dinamik analizi, modelleri ve analiz yaklaşımlarını içermektedir. Beşinci bölüm geniş ve narin tank modellerinin yalıtımlı ve yalıtımsız olarak 3 farklı deprem etkisindeki davranışı SAP2000 analiz programında zaman tanım alanında analiz ile ayrıntılı olarak incelenmiştir. Altıncı bölümde geniş ve narin tank analizlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yalıtılmış Sıvı Depolama Tankları, TPF İzolatör, İzolatörlerin Tanklar Üzerindeki Etkisi.

SUMMARY

This work involves the analysis of seismic isolation liquid storage tank. In this study, aims to research effect on the seismic isolation tanks for the effect of large slender fluid tanks including two difference kind of impulsive and tank against vibration occurs to prevent future damage. This study consists of six chapters. The introduction of the first chapter provides general information about the purpose of the study. The second part of the liquid storage tank analysis provides information about the seismic behavior. The third section contains the effect on the seismic isolation of structures on or seismic isolation. Forth section contains dynamic analysis of the liquid storage tank the model and analysis approach. The fifth chapter contains large insulated tank and insulation three different models of behavior SAP2000 earthquakes were examined in detail by time history analysis. The results of broad and slender tanks is the sixth chapter analysis were compared.observed.

Key Words: Seismic Behavior of Seismically İsolated Liquid Storage Tanks TPF (Triple Pendulum Isolator.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof. Dr. Bülent AKBAŞ'a,

Bütün çalışmam boyunca yanımda olan, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan eş danışmanım Assoc. Prof. Dr. Eren Uçkan'a,

Ayrıca çalışmam boyunca bilgilerini benimle paylaşan Arş. Gör. Önder Umut'a içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. SIVI DEPOLAMA TANKLARI	3
2.1. Sıvı Depolama Tanklarının Dinamik Analiz Yöntemi	3
2.2. Sıvı Depolama Tanklarının Deprem Davranışları	5
2.3. Sıvı Depolama Tanklarında Sismik İzolasyon	7
3. SİSMİK İZOLAYON	9
3.1. Üçlü Sarkaç İzolatörler (Triple Friction pendulum)	9
3.2. Üçlü Sarkaç İzolatörlerin Yapılar Üzerindeki Etkisi	10
4. SIVI DEPOLAMA TANKLARININ DİNAMİK ANALİZİ	11
4.1. Dinamik Analiz Temelleri	11
4.2. Geliştirilen Modeller ve Analiz Yaklaşımları	11
5. SAP2000 ANALİZ PROGRAMI İLE YAPISAL ÇÖZÜMLEME	15
5.1. Spektral Değerlerin Belirlenmesi	15
5.1.1. Spektral Değerlerin Hesaplanması	15
5.1.2. Spektral İvme-Periyot Grafiklerinin Sönüm Oranlarına Göre Modifiye Edilmesi	16
5.2. Tank Model Özellikleri	18
5.2.1. Geniş Tank Model Özellikleri	18
5.2.2. Narin Tank Model Özellikleri	19
5.3. Üçlü Sarkaç İzolatör Özellikleri	19

5.3.1. İzolatörün Geometrik Özellikleri 20
5.3.2. İzolatörün Sürtünme Özellikleri 21
5.3.3. Tasarım Deplasmanının Hesabı 21
5.3.4. İzolatörün Dönme Atalet Özellikleri 23
5.3.5. İzolatörün Kütle Özellikleri 23
5.3.6. İzolatörün Yön Özellikleri 24
5.4. Analizde Kullanılan Deprem Kayıtları 27
5.4.1. Kocaeli Deprem Kaydının Tanıtılması 27
5.4.2. Oroville Deprem Kaydının Tanıtılması 28
5.4.3. Helena-Montana Deprem Kaydının Tanıtılması 28
5.5. Zaman Tanım Alanında Analiz Özellikleri 30
5.6. Tankların Deplasman Karşılaştırmaları 33
5.6.1. Geniş Tank Analiz Sonuçları 33
5.6.2. Narin Tank Analiz Sonuçları 39
5.6.3. Geniş Tank Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması 45
5.6.4. Narin Tank Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması 46
6. SONUÇLAR ve YORUMLAR 47

KAYNAKLAR 48
ÖZGEÇMİŞ 49

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
S_s	:	Kısa periyot için spektral ivme
S_1	:	1 sn periyodu için spektral ivme
F_a	:	Kısa periyot için zemin katsayısı
F_v	:	1 sn periyodu için spektral ivme
S_{ms}	:	İlgili zemin sınıfı için (kısa periyot) spektral ivme
S_{m1}	:	İlgili zemin sınıfı için (1 sn periyot) spektral ivme
S_{ds}	:	%5 sönümlü kısa periyotlu spektral ivme deplasmanı
S_{d1}	:	%5 sönümlü 1 sn periyotlu spektral ivme deplasmanı
η	:	Sönüm Katsayısı
H	:	Tank yüksekliği
H’	:	Sıvı yüksekliği
R	:	Tank Yarıçapı
E	:	Elastisite modülü
g		Yerçekimi ivmesi
ρ		Sıvı özgül ağırlığı
t		Tank duvar kalınlığı
m_l		Sıvı kütlesi
m_w		Tank Kütlesi
m_r		Tank Çatı Kütlesi
T_{imp}		İmpulsif periyot
T_{con}		Konvektif periyot
Q		Taban kesme kuvveti
d		Yatay deplasman
K_{eff}		Etkili rijitlik

C_i	İmpulsif Dinamik Model Katsayı
C_c	Konvektif Dinamik Model Katsayı
Φ	İzolatör rijit kayıcı iç ölçüsü
h	İzolatörün rijit kayıcının yükseklik ölçüsü
T_{eff}	Etkili periyot
ASCE	American Society of Civil Engineers
API	American Petroleum Institute
FNA	Fast Nonlineer Analysis
GTE	Gebze Teknik Üniversitesi
R3	Dönme Deplasmanı
TFP	Triple Friction Pendulum
U1	Düşey Deplasman
U2	Yatay Deplasman

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Sıvı dolu tankın matematik modeli.	3
2.2:	İmpulsif ve konvektif katsayılar.	4
2.3:	Tüpraşta deprem etkisiyle oluşan yangın sonucu hasar görmüş nafta yakıt tankları.	6
2.4:	Deprem sonrası deforme olmuş tank.	6
2.5:	Deprem sonrası sıvı çalkantısı nedeniyle tank duvarında oluşan hasar.	7
2.6:	Tanklarda izolatör yerleşimi.	8
3.1:	Üçlü sarkaç izolatör.	9
3.2:	Üçlü sarkaç izolatör elemanları.	10
3.3:	Üçlü sarkaç izolatör hareket mekanizması.	10
4.1:	Sıvı salınımı ihmal edilmiş impuls etkinin eşdeğer sistemi.	13
4.2:	Tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenen sıvı dolu tankın eşdeğeri.	14
5.1:	50 yılda aşılma olasılığı %50 olan %5 sönümlü spektrum.	16
5.2:	50 yılda aşılma olasılığı %50 olan %2 sönümlü spektrum.	17
5.3:	50 yılda aşılma olasılığı %50 olan %0.5 sönümlü spektrum.	17
5.4:	Geniş tank analiz modeli.	18
5.5:	Narin tank analiz modeli.	19
5.6:	İzolatörün boyut özellikleri.	20
5.7:	İzolatörün kuvvet-yer değiştirme döngüsü.	20
5.8:	İzolatörün kütle özelliklerinin tanıtılması.	24
5.9:	İzolatörün yön özelliklerinin tanıtılması (U1).	25
5.10:	İzolatörün yön özelliklerinin tanıtılması (U2).	26
5.11:	İzolatörün yön özelliklerinin tanıtılması (R3).	27
5.12:	Kocaeli deprem kaydının tanıtılması.	27
5.13:	Oroville deprem kaydının tanıtılması.	28
5.14:	Helena-Montana deprem kaydının tanıtılması.	29
5.15:	İzolatörsüz ve izolatörlü sistemin analiz modeli.	29
5.16:	Analiz yük durumları.	30

5.17: FNA Analiz adımları 30
5.18: FNA Analiz adımları modal analiz. 31
5.19: FNA Analiz adımları Kocaeli deprem kaydı. 31
5.20: FNA Analiz adımları Oroville deprem kaydı. 32
5.21: FNA Analiz adımları Helena-Montana deprem kaydı. 32
5.22: İzolatörsüz geniş tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 33
5.23: İzolatörlü geniş tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 33
5.24: İzolatörlü geniş tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 34
5.25: İzolatörlü geniş tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 34
5.26: İzolatörsüz geniş tankta Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 35
5.27: İzolatörlü geniş tankta Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 35
5.28: İzolatörlü geniş tankta Helena Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 36
5.29: İzolatörlü geniş tankta Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 36
5.30: İzolatörsüz geniş tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 37
5.31: İzolatörlü geniş tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 37
5.32: İzolatörlü geniş tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 38
5.33: İzolatörlü geniş tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 38
5.34: İzolatörsüz narin tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 39
5.35: İzolatörlü narin tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 39

5.36: İzolatörlü narin tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 40
5.37: İzolatörlü narin tankta Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 40
5.38: İzolatörsüz narin tankta Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 41
5.39: İzolatörlü narin tankta Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 41
5.40: İzolatörlü narin tankta Helena Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 42
5.41: İzolatörlü narin tankta Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 42
5.42: İzolatörsüz narin tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 43
5.43: İzolatörlü narin tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman. 43
5.44: İzolatörlü narin tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 44
5.45: İzolatörlü narin tankta Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti. 44

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	Yükseklik/Yarıçap oranına bağlı dinamik model parametreleri.	5
5.1:	Spektral ivme değerleri.	15
5.2:	Modifiye edilmiş spektral ivme değerleri.	16
5.3:	İzolatörün geometrik özellikleri.	21
5.4:	İzolatörün sürtünme özellikleri.	21
5.5:	Tasarım deplasmanının hesabı	22
5.6:	Geniş tank analiz sonuçları.	45
5.7:	Geniş tank analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	45
5.8:	Narin tank analiz sonuçları.	46
5.9:	Narin tank analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	46

1. GİRİŞ

Topraklarının büyük bir kısmı deprem kuşağında bulunan ülkemizde sayıca oldukça fazla yıkıcı deprem olmuştur. Bu depremler sonucunda büyük can ve mal kaybı meydana gelmiş, ülkemiz maddi ve manevi büyük zararlar görmüştür. Marmara bölgesinde 1999 yılında olan büyük deprem sonrasında da depremler devam etmektedir. Bu da inşaa edilen ve edilecek olan yapıların depreme dayanıklı tasarımını gerektirmektedir.

Ülkemizde 1999 yılında derin izler bırakan Kocaeli depreminde 17,000 den fazla kişi hayatını kaybederken bölgedeki endüstriyel tesislerde de ciddi maddi kayıplar söz konusu olmuştur. Özellikle Tüpraş rafinerilerinde meydana gelen yangın sıvı depolama tanklarının tasarım ve projelendirilmelerinin yanı sıra depreme karşı izolasyonlarının sağlanması konusunda da çalışmalar yapılması gerektiğini göstermektedir. Depremlerin oluşumu farklı mühendislik anlayışlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunlar depremden dolayı oluşan hasarların yerini tespit ve büyüklüğünü kontrol ederek, depremin yapıya etkisini en aza indirmeyi tasarlayan ve yapıların kinetik deprem enerjisinin yapıya ulaştığı yerde durdurulmasını esas alan anlayışlardır. [Mermer S, (2006)]

Sıvı depolama tanklarının depremlerde hasar görmelerinin başlıca nedenlerinden biri rezonans olgusudur. Büyük kapasiteli yere sabit çelik sıvı tanklarının titreşim periyotları genellikle 0.1 sn ile 0.5 sn arasında değişmektedir. Bu periyot aralığı aynı zamanda kuvvetli yer hareketlerinin maksimum enerjiyi içerdiği periyot aralığına denk gelmektedir. [Mermer S, (2006)]

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Yere sabit (ground-supported) geniş hacimli silindirik depolama tankları birçok farklı sıvıyı depolamak için kullanılabilir. Bu tür tankların şiddetli yer hareketleri altındaki performansları önemlidir. Geçmiş depremler incelendiğinde geniş hacimli yere sabit sıvı depolama tanklarının yeterince iyi tasarlanmaması ve sismik olarak detaylandırılmamasından dolayı ağır hasarlar gördüğü gözlenmiştir. Şiddetli yer hareketinden dolayı bu tür tanklarda oluşan hasarlar, a) tank çeperinde fil ayağı şeklinde burkulma, b) çalkalanma etkisiyle tankın tepesinde oluşan hasar, c) taban

ankrajlarında zayıf detaylandırmadan dolayı oluşan yüksek gerilmelerin tank çeperini yırtması, d) kaldırma (uplift) etkisiyle boru bağlantılarında meydana gelen hasarlar olarak sınıflandırılır. Sıvı depolama tanklarının depreme dayanıklı tasarımı ile ilgili kullanılan yönetmelikler API 650, Eurocade 8 (1998) ve ASCE yönetmelikleridir.

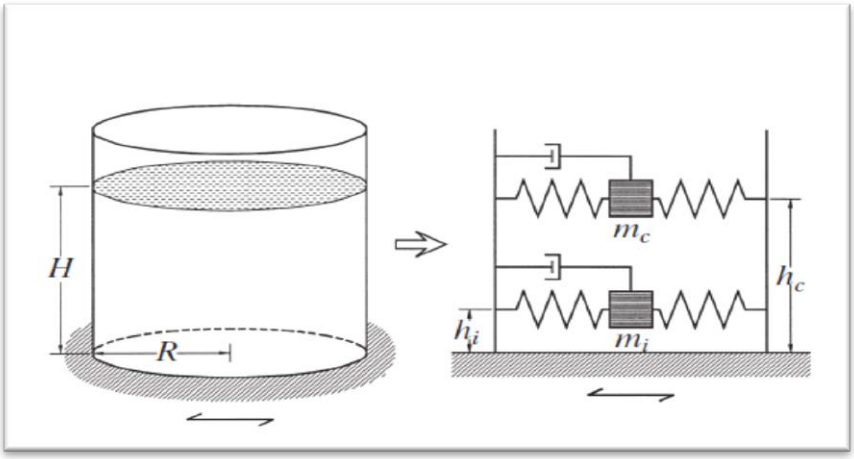
Bu çalışmada, sismik olarak yalıtılmış sıvı depolama tanklarının deprem davranışları incelenecektir. Bu amaçla ilk olarak sıvı tanklara ait temel mühendislik talep parametreleri belirlenecektir. Daha sonra, ASCE7-10 da önerilen yçntemler kullanılarak farklı yükseklik/yarıçap ve periyottaki sıvı tanklarının analizlerinden elde edilen sonuçlar, konvansiyonel olarak inşaa edilen (rijit taban oturan) sonuçlarla karşılaştırılarak önerilen yalıtımın verimliliği sınanacaktır.

2. SIVI DEPOLAMA TANKLARI

Sıvı depolama tanklarının analizinde basitleştirilmiş analiz yöntemi kullanılabilmektedir.

2.1. Sıvı Depolama Tanklarında Dinamik Analiz Yöntemi

Basit hesaplama yönteminde tankın içindeki sıvı davranışını ve tankın davranışını temsil eden iki parametre bulunur. Bunlar impulsif ve konvektif (salınım) etkileridir. Tankın tabanıyla birlikte hareket eden sıvı kütlesi sadece yatay hareketten etkilendiği için hareketi impulsiftir. Sıvı kütlesinin tankın üst yüzeyine yakın kısmında alt taraftan farklı olarak çalkantı hareketi oluştuğu için bu kısmın davranışı konvektiftir. Aynı şekilde impulsif davranışa etki eden kütle impulsif kütle, konvektif davranışa etki eden kütle konvektif kütledir. İmpulsif ve konvektif yükseklikler yüksek modlardan doğan büyük devrilme momenti etkileri dikkate alınarak hesaplanır. Konvektif kütleye karşılık gelen sönüm oranı 0.005 (tank içerisindeki sıvının sönüm oranı), impulsif kütleye karşılık gelen sönüm oranı 0.02 (çelik tankın sönüm oranı), dır. [Yazıcı G., Çılı F., (2005)]



Şekil 2.1: Sıvı Dolu Tankın Matematik Modeli.

İmpulsif Periyot

$$T_{imp} = C_i * \frac{H * \sqrt{\rho}}{\left(\sqrt{\frac{h}{r}}\right) * \sqrt{E}} \tag{2.1}$$

Konvektif (Salınım) Periyodu

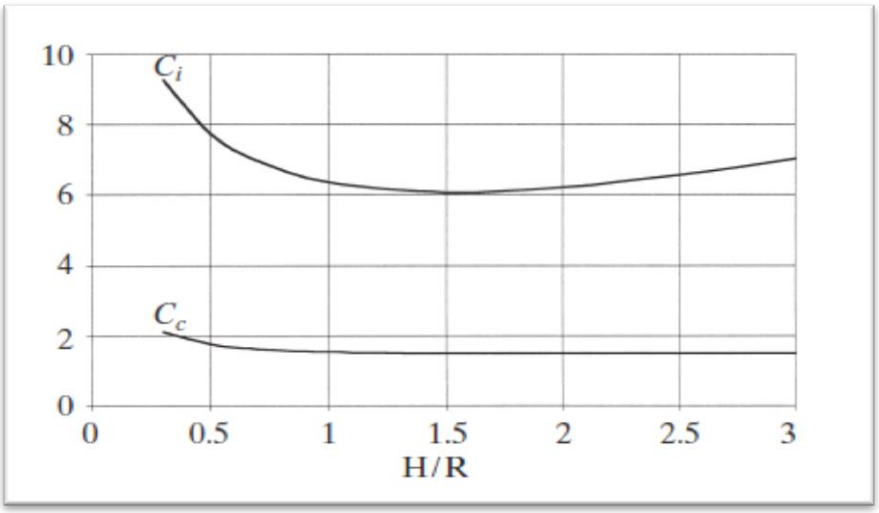
$$T_{con} = C_c * \sqrt{r} \tag{2.2}$$

Toplam Taban Kesme Kuvveti

$$Q = \left((m_i + m_w + m_r) * S_e * \left(T_{imp}\right)\right) + (m_c * S_e(T_{con})) \tag{2.3}$$

Dikey Yönde Çalkalanma Deplasmanı

$$d = r * S_e(T_{con})/g \tag{2.4}$$



Şekil 2.2: İmpulsif ve Konvektif Katsayılar.

Tablo 2.1: Yükseklik/Yarıçap Oranına Bağlı Dinamik Model Parametreleri.

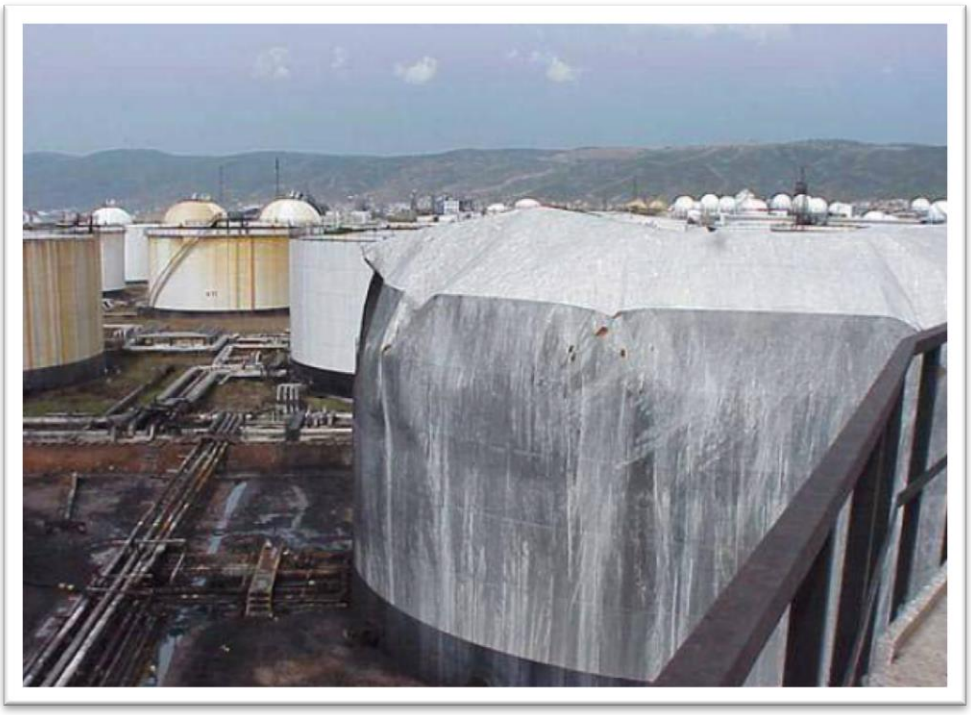
H/R	Ci	Cc	mi/ml	mc/ml	hi/H	hc/H	hi'/H	hc'/H
0.3	9.28	2.09	0.176	0.824	0.400	0.521	2.640	3.414
0.5	7.74	1.74	0.300	0.700	0.400	0.543	1.460	1.517
0.7	6.97	1.60	0.414	0.586	0.401	0.571	1.009	1.011
1.0	6.36	1.52	0.548	0.452	0.419	0.616	0.721	0.785
1.5	6.06	1.48	0.686	0.314	0.439	0.690	0.555	0.734
2.0	6.21	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

2.2. Sıvı Depolama Tanklarının Deprem Davranışları

Büyük kapasiteli zemine ankastre bağlı sıvı depolama tankları çeşitli sıvıları depolamak için kullanılır. Örneğin; içme suyu, petrol, kimyasal ve sıvılaştırılmış gazlar. Bu nedenle tankların iyi tasarlanması ve uygulanması çok önemlidir. İyi tasarlanmamış ve detaylandırılmamış sıvı depolama tankları geçmiş depremlerde ciddi hasarlar almıştır.

Çelik sıvı depolama tanklarında depremden dolayı oluşacak hasarlar çeşitli formlarda olabilir. Yüksek basınç kuvvetinden dolayı tank duvarının alt kısmında fil ayağı şeklinde burkulma oluşur. Sıvı çalkantısından dolayı tank duvarının üst kısmında ve çatısında hasarlar oluşur. Yüksek gerilmelerden ve kötü detaylandırmadan dolayı tank taban ankrajları kopabilir. Ayrıca taban kesme kuvveti nedeniyle tank tabanında kaymalar ve tank boru bağlantılarında kopmalar oluşabilir. [Malhotra PK.,Wenk T., Wieland M., (2000)]

Şekil 2.3: Tüpraş'ta deprem etkisiyle çıkan yangın sonucu hasar görmüş nafta yakıt tankları.



Şekil 2.4: Deprem sonrası deforme olmuş tank.

Şekil 2.5: Deprem sonrası sıvı çalkantısı nedeniyle tank duvarında oluşan hasar.

2.3. Sıvı Depolama Tanklarında Sismik İzolasyon

Sıvı depolama tanklarında sismik izolasyon uygulamaları tank-zemin ilişkisi içerisinde dikkate alınmaktadır. Sıvı depolama tanklarında sismik izolasyon sistemi uygulamaları çeşitli sismik sönümleyiciler kullanılarak yapılmaktadır. Bunların başında da yüksek sönümlü kauçuk yataklar ve sürtünme pandüllü yataklar gelmektedir. 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. [Mermer S, (2006)]

Şekil 2.6: Tanklarda izolatör yerleşimi.

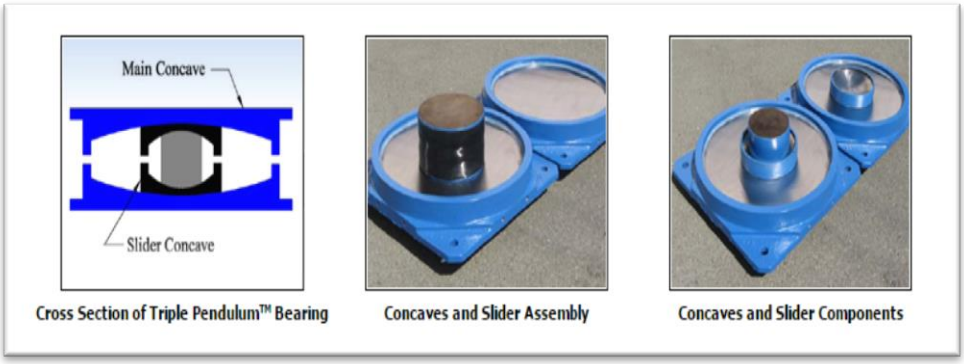
3. SİSMİK İZOLASYON

Yapıların deprem etkisiyle hasar görmesi sismik izolasyon ihtiyacına neden olmuştur. Sismik izolasyon elemanları yapıların periyodunu arttırarak deprem periyodundan uzaklaştırmakta ve deprem etkilerini büyük ölçüde sönümleyerek yapıya iletilen kuvvetin en aza indirilmesini sağlamaktadır. Sismik izolasyon elemanları sayesinde yapılar Daha az zarar görür, maddi ve manevi yıkımlar en aza indirgenir. [Mermer S, (2006)]

3.1. Üçlü Sarkaç İzolatörler (Triple Friction Pendulum)

Üçlü sarkaç izolatör iki iç bükey yüzeyler boyunca kayan bir iç sürgününden oluşur. İç sarkacın özellikleri yüksek yapı modları katılımını en aza indirmek ve hizmet düzeyi depremler sırasında meydana gelen yapı kesme kuvvetlerini azaltmak için belirlenir. İki ana iç bükey yüzeyleri boyunca kayan konkavlar iki bağımsız sarkaç izolatörleri içermektedir. İkinci sarkacın özellikleri tipik tasarım temeli deprem sırasında meydana gelen yapı kesme kuvvetlerini en aza indirmek için seçilir. Bu yapının inşaat maliyetlerini düşürür. Üçüncü sarkacın özellikleri yer değiştirmeleri en aza indirmek için seçilir. [Web 2, (2015)]

Geleneksel sismik izolasyon teknolojisiyle karşılaştırıldığında üçlü sarkaç izolatörler daha iyi sismik performans göstermektedir. Ayrıca alt yatak ve inşaat maliyetleri daha düşük olmaktadır. Üçlü sarkaç deprem hareketi anında sırasıyla aktive olur ve yer hareketi güçlendikçe izolatörde yer değiştirmeler artar. [Web 2, (2015)]

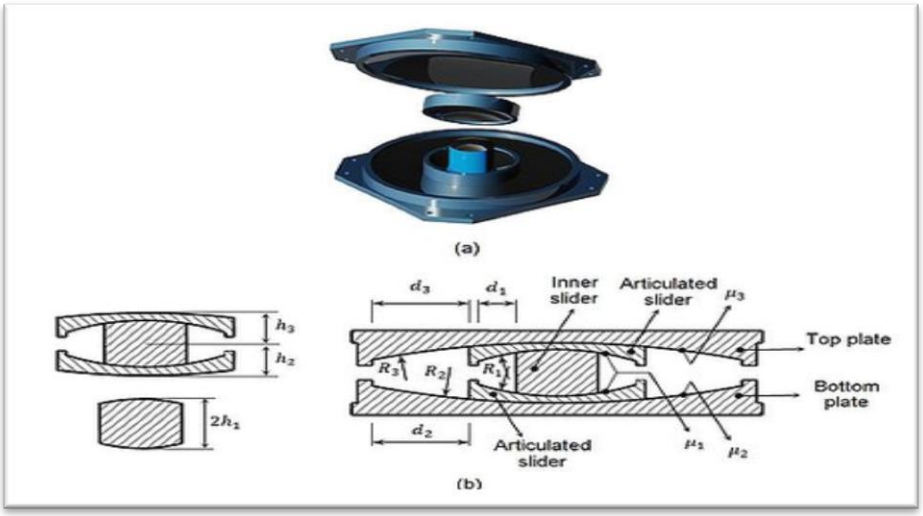


Şekil 3.1: Üçlü sarkaç izolatör.

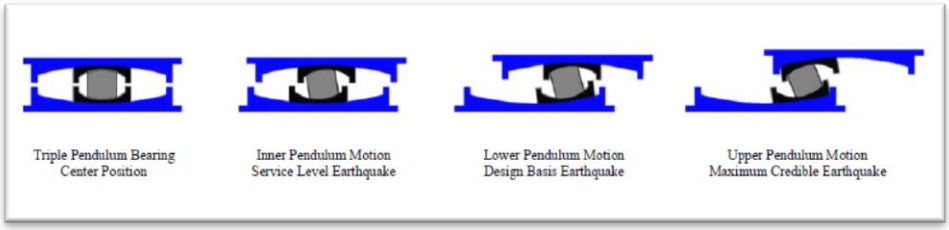
3.2. Üçlü Sarkaç İzolatörlerin Yapılar Üzerindeki Etkisi

Sürtünmeli sarkaç sistemler paslanmaz çelik levha arasına yerleştirilen sürtünme katsayısı düşük kompozit malzeme ile kaplı bir kayıcının hareketinden oluşur. Bu kayıcı temas ettiği levhanın küresel yüzeyi boyunca hareket eder.(Şekil 3.3). Sistem, geometrisi nedeniyle üst yapıyı denge konumuna zorlayan bir özelliktedir. Bu sistemlerde yapıların burulma etkileri en aza indirgenmiştir. Bunun sebebi ise kütle merkezi ve rijitlik merkezinin üst üste gelmesidir. [Web 2, (2015)]

Kayıcı, küresel yüzeyde hareket ettikçe mesnetlenen kütle yükselir ve sistem içinde geri çağırım kuvveti elde edilir. Mafsallı kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünme sistemin sönümünü sağlar ve dolayısıyla sürtünme ile deprem enerjisi sönümlenir. Temel ayırıcının efektif rijitliği ve yapının periyodu konkav yüzeyin eğrilik yarıçapı tarafından kontrol edilir ve yapının kütlesinden bağımsızdır. İstenen periyot değeri eğrilik yarıçapının değiştirilmesi ile elde edilir. [Web 2, (2015)]



Şekil 3.2: Üçlü sarkaç izolatör elemanları.



Şekil 3.3: Üçlü sarkaç izolatör hareket mekanizması.

4. SIVI DEPOLAMA TANKLARININ DİNAMİK ANALİZİ

4.1. Dinamik Analiz Temelleri

Sıvı depolama tanklarının özelliklerini belirlemekle ilgili ilk araştırmalar 1850 li yıllara dayanmaktadır. L.Rayleigh 1883 de yapmış olduğu çalışmada silindirik bir depo içerisindeki sıvının titreşimini incelemiştir. Bu incelemenin ardından sıvı depolama tanklarıyla ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. [Mermer S, (2006)] Silindirik depolarda yapılan araştırmalarda incelenen konular başlıca şunlardan oluşmaktadır;

- Depo – Sıvı etkileşiminin dikkate alınması,
- Depo – Zemin etkileşiminin dikkate alınması,
- Depoda meydana gelebilecek salınım hareketinin dikkate alınması,
- Depo tabanının kısmen zeminden ayrılması ve yatay ekseni etrafında salınım hareketinin dikkate alınması,
- Depoların burkulmasının dikkate alınması,
- Dinamik özelliklerin deneysel olarak belirlenmesi,
- Depoların sismik yalıtım uygulamaları

Sıvı ile dolu olan bir tank hidrolik ve yapısal çözümlerin optimum değerleri için hesaplanıp modellenir. Sıvı depolama tanklarının dinamik analizi konusunda yapılan çalışmalar diğer yapılara göre daha karmaşıktır. Dinamik analizi yapılacak olan tankın sıvı – yapı, sıvı – zemin, etkileşimi modelleri tek serbestlik dereceli olarak hesaplanacaktır. [Mermer S, (2006)]

4.2. Geliştirilen Modeller ve Analiz Yaklaşımları

Sıvı depolama tanklarının dinamik analizi konusunda iki sınıf depoyu birbirinden ayırt etmek gerekir.

- Doluluk oranı H/R < 1.5 olan sığ depolar,
- Doluluk oranı H/R > 1.5 olan derin depolar

Tanktaki sıvı kütlesi tam dolu durum için rijit kütle gibi davranır. Newmark'a göre daga oluşumu %2 derinlik miktarı boş olan depolarda dikkate alınacaktır.

Bu çalışmalardaki kabul tanktaki sıvının sıkışmaz olduğudur. Westergard sıvının sıkışabilir kabul edilmesindeki hata payını % 4 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 göz önüne almadığı için salınım ve impuls etkilerini hesaba almaz. Bu yüzden kullanışlı değildir.

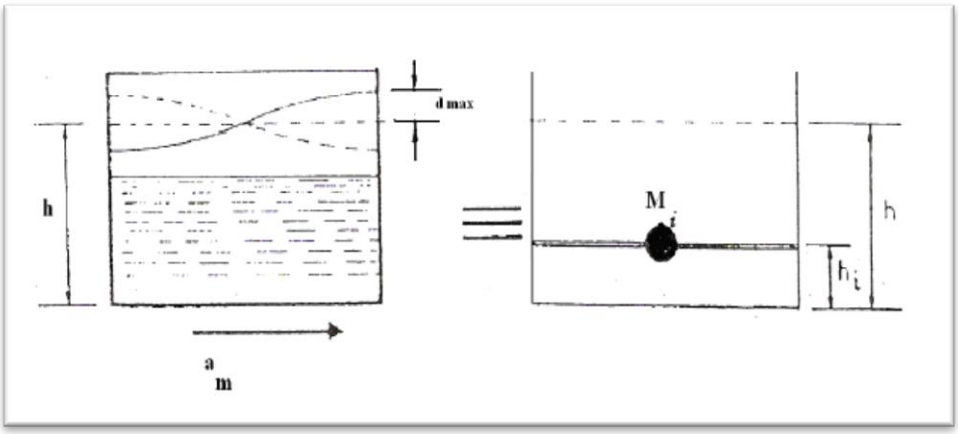
Hunt ve Priestly yöntemi impuls etkisi ve salınım etkisini dikkate alır. Ancak zemin ivmesini sonuçlarda fazla bilinmeyen olarak yer alması sakıncasını teşkil etmektedir.

Housner tarafından yapılan çalışmalarda rijit silindirik tanklar için salınım ve impuls etkilerini birbirinden ayırarak vermiştir. Sıvıların ivmelenmesinin sonucu olan sıvı tepkisi impulsif etki olarak ele alınmakta, sıvının dinamik hareket sonucu oluşan çalkalanma, yani salınım yapması salınım etkisi olarak ele alınıp modellenmektedir.

Hunt ve Pristly ile Housner ' e ait olan her iki hesap yöntemi tankın 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 kütlesinin uygulandığı yatay etkiye eşit etki meydana getiren h_i yüksekliğinde depoya rijit olarak bağlı m_i kütlesini 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 kütlesinin diğer bir kısmının deprem etkisi altında salınım hareketi yapmasından ileri gelmektedir. [Mermer S, (2006)]



Şekil 4.1: Sıvı salınımı ihmal edilmiş impuls etkinin eşdeğer sistemi.

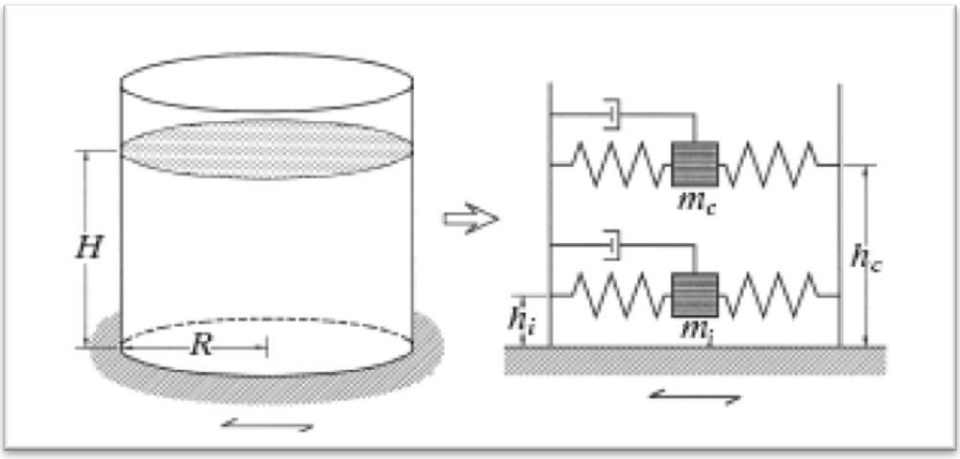
Modelin mekanik eşdeğeri h_{on} ya da h^*_{on} seviyelerinde k_a yay katsayılarıyla tutulmuş n tane m_{on} kütlesini dikkate almak suretiyle elde edilmektedir. Yatay salınımlar aktif sıvı kütlesinin oluşturduğu titreşim etkilerine eşit bir etki meydana getirirler.

Eğilme momentinin hesabı için dikkate alınan etkiler duvarlar üzerindeki etkilerdir. Bu durumda m_{on} kütleleri h^*_{on} seviyesinde etki ederler.

Housner hesap yönteminin diğer hesap yöntemleriyle karşılaştırıldığında gerçekçi olduğu görülmektedir.

Hunt ve Priestly 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 çabuk azaldığı görülmektedir. Buna karşılık, doluluk oranı küçük betonarmeye 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 modeldir. İmpulsif etkiler aktif salınım etkilerine benzer şekilde yay modellemesi yapılarak çözüm yoluna gidilmiştir. [Mermer S, (2006)]



Şekil 4.2: Tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenen sıvı dolu tankın eşdeğeri.

Malhotra tarafından da nümerik olarak çalışan dinamik davranışın sadece impulsif ve konvektif kütlenin birinci mod davranışlarını göz önünde bulundurularak yeterli doğrulukta tahmin edilebileceği deneysel olarak da gösterilmişti.

Tanklarla ilgili önceki çalışmalar rijit zemin üzerine oturan rijit tankların içindeki sıvıların karakteristiklerini ele almaktaydı. Bu çalışmalar göstermiştir ki uzun periyotlu salınımdan dolayı hareketlenen bir parça sıvıdan geride kalan kısım, duvarla beraber hareket etmektedir. İmpulsif sıvı olrak bilinen kısmın devrilme momenti ve temel kesme kuvvetine çoğunlukla etkide bulunmaktadır. Bunların zeminle aynı hızlanmayı yaptığı tespit edilmiştir. Salınım yapan sıvı serbest yüzeyi dalgaların yüksekliğinde etkilidir. [Mermer S, (2006)]

Tank duvarlarının esnekliği yerin pik ivmelenmesinin birkaç kat büyük değerinde impulsif etkilere sebep olabilmektedir. Bu değişim impulsif etkileri önemli derecede değiştirmektedir. Konvektif ya da 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 ekonomik değildir. Kısmen ankastre ve ankre edilmemiş rijit zemine oturan tanklarda taban kaldırma etkisi üzerine çalışmalar devam etmektedi. Bu çalımalar göstermiştir ki taban kaldırma kuvvetleri iç hidrodinamik kuvvetleri azaltır, fakat tank duvarındaki basınç gerilmelerini önemli ölçüde arttırır[Mermer S, (2006)]

5. SAP2000 ANALİZ PROGRAMI İLE YAPISAL ÇÖZÜMLEME

Bu çalışmada kullanılan tanklar Kocaeli/İzmit (Körfez) Bölgesinde 40° 45' - 29° 46' koordinatları arasında bulunduğu varsayılmıştır.

Tankların tek serbestlik dereceli yalıtımlı ve yalıtımsız modeli oluşturularak 3 farklı deprem etkisinde zaman tanım alanında analiz yöntemiyle davranışları incelenmiş ve taban kesme kuvvetleri ile deplasmanları karşılaştırılmıştır.

5.1. Spektral Değerlerin Belirlenmesi

Enlem ve boylam değerlerine göre Kıyı ve Liman Yapıları, Demir Yolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği kullanılarak zemin sınıfına bağlı olarak spektral ivme değerleri belirlenip spektrumlar oluşturulmuştur.

5.1.1. Spektral Değerlerin Hesaplanması

Tablo 5.1: Spektral ivme değerleri.

ENLEM	BOYLAM	Kısa Periyot İçin Spektral İvme 50 yılda aşılma olasılığı			1 sn Periyot İçin Spektral İvme 50 yılda aşılma olasılığı			
		%50	%10	%2	%50	%10	%2	EK-A ya göre
40° 45'	29° 46'	0.64	1.32	2.16	0.24	0.58	1.08	

Tablo 5.1 de verilen değerler B sınıfı zemin grubu içindir. Tankın bulunacağı İzmit/Körfez seçilen koordinatların bulunduğu zemin grubu E sınıfıdır. Tablodaki değerler F_a ve F_v katsayıları ile modifiye edilmiştir.

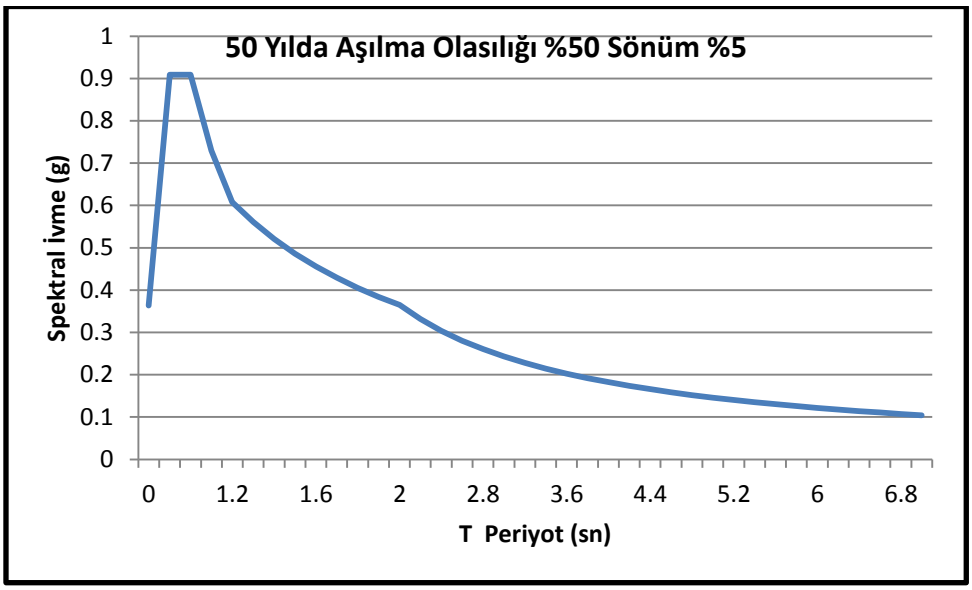
$$Sms = F_a * S_S \tag{5.1}$$

$$Sm1 = F_V * S_1 \tag{5.2}$$

- F_a : Kısa periyot zemin katsayısı
- F_v : 1sn periyodu zemin katsayısı

Tablo 5.2: Modifiye Edilmiş Spektral İvme Değerleri.

ENLEM	BOYLAM	Kısa Periyot İçin Spektral İvme 50 yılda aşılma olasılığı			1 sn Periyot İçin Spektral İvme 50 yılda aşılma olasılığı			
		%50	%10	%2	%50	%10	%2	EK-A ya göre
40° 45'	29° 46'	0.908	1.188	1.944	0.729	1.392	2.592	



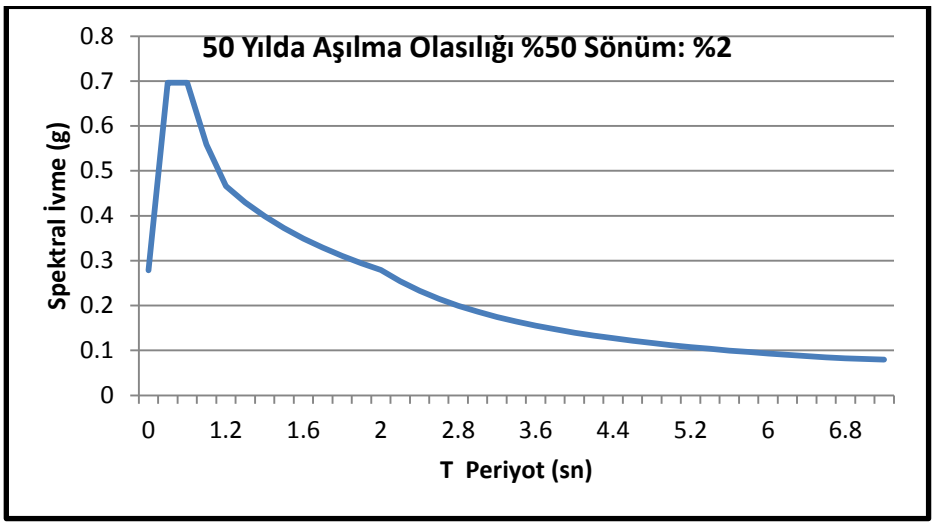
Şekil 5.1: 50 Yılda aşılma olasılığı %50 olan %5 sönümlü spektrum.

5.1.2. Spektral İvme-Periyot Grafiklerinin %2 ve %0.5 Sönüm Oranına Göre Modifiye Edilmesi

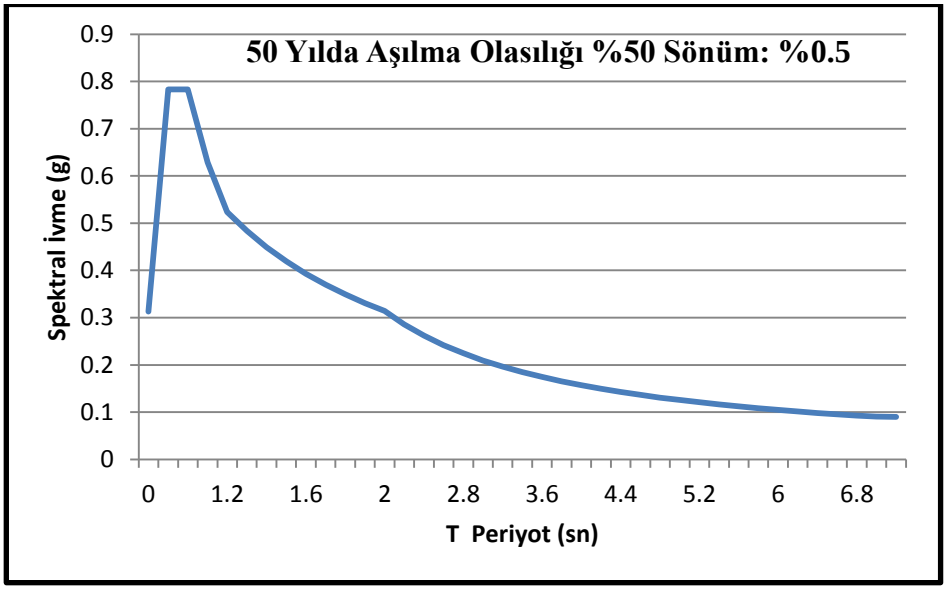
Yönetmeliklerdeki spektrumlar mevcut yapılar için %5 sönüm oranına göre oluşturulmuştur. Diğer yapılar için örneğin; tanklar için sönüm oranı farklıdır. Sıvı

depolama tanklarının analizinde iki farklı sönüm oranı kullanılır. Bunlardan %2 lik sönüm tank duvarını temsil eden sönüm oranıdır. %0.5 lik sönüm ise çalkalanan sıvının sönüm oranıdır. Bu yüzden mevcut spektrumlar kullanacağımız sönüm oranlarına göre modifiye edilmelidir.

$$\eta = \left(\frac{0.07}{0.02 + \xi}\right)^{0.25} \tag{5.3}$$



Şekil 5.2: 50 Yılda aşılma olasılığı %50 olan %2 sönümlü spektrum.



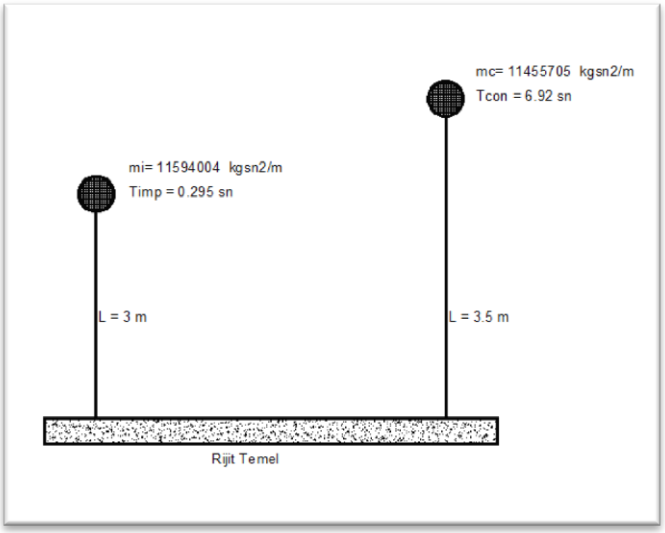
Şekil 5.3: 50 Yılda aşılma olasılığı %50 olan %0.5 sönümlü spektrum.

5.2. Tank Model Özellikleri

Farklı çap ve yükseklikte iki adet tankın kütle ve periyot (impulsif periyot ve konvektif periyot) özellikleri belirlenmiştir. Tanklar tek serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Belirlenen periyodu sağlayacak şekilde SAP2000 analiz programında kullanılan malzemenin rijitliği buna uygun olarak belirlenmiştir. Birinci tank 20 m yarıçapına ve 18 m yüksekliğe, ikinci tank 20m yarıçapına ve 30 m yüksekliğe sahiptir.

5.2.1. Geniş Tank Model Özellikleri

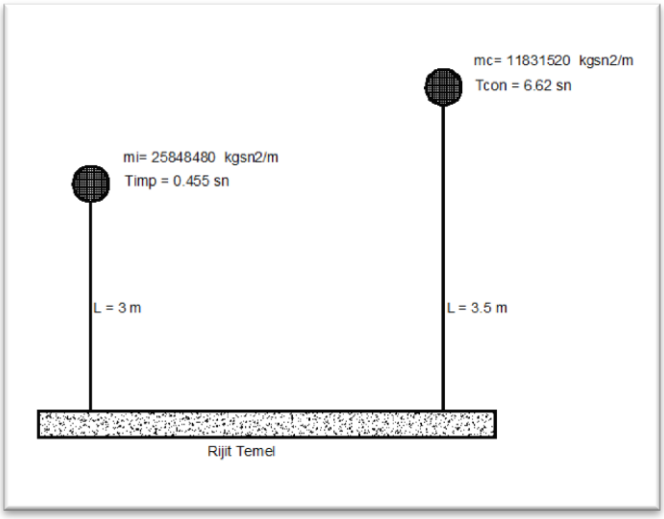
- R= 20m ; H= 18m
- Timp = 0.295 sn , Tcon = 6.92 sn
- Se(Timp) = 0.605g , Se(Tcon) = 0.091g
- mi = Ci*ml mi = 0.503*23049710= 11594004 kgsn2/m
- mc = Cc*ml mc = 0.497*23049710= 11455705 kgsn2/m
- d= 0.185 m



Şekil 5.4: Geniş tank analiz modeli.

5.2.2. Narin Tank Model Özellikleri

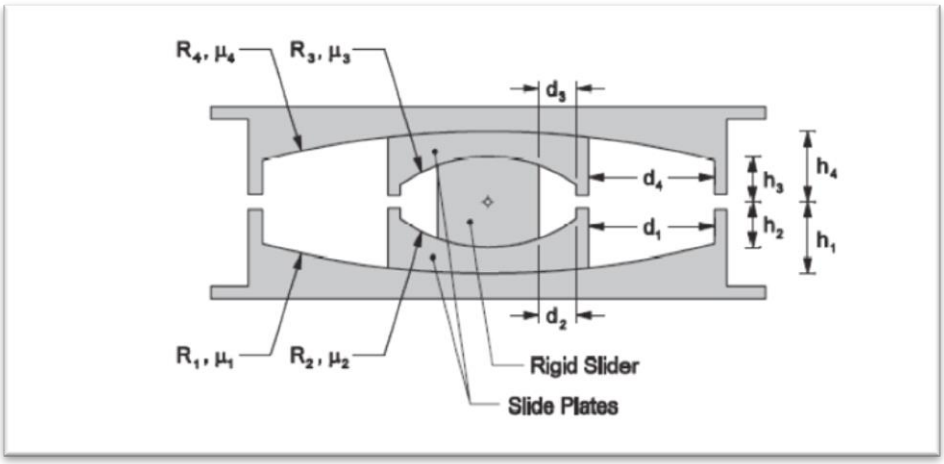
- R= 20m ; H= 30m
- Timp = 0.455 sn , Tcon = 6.62 sn
- Se(Timp) = 0.696 , Se(Tcon) = 0.096
- mi = Ci*ml mi = 0.686*38311014= 25848480 kgsn2/m
- mc = Cc*ml mc = 0.314*38311014= 11831520 kgsn2/m
- d= 0.196 m



Şekil 5.5: Narin tank analiz modeli.

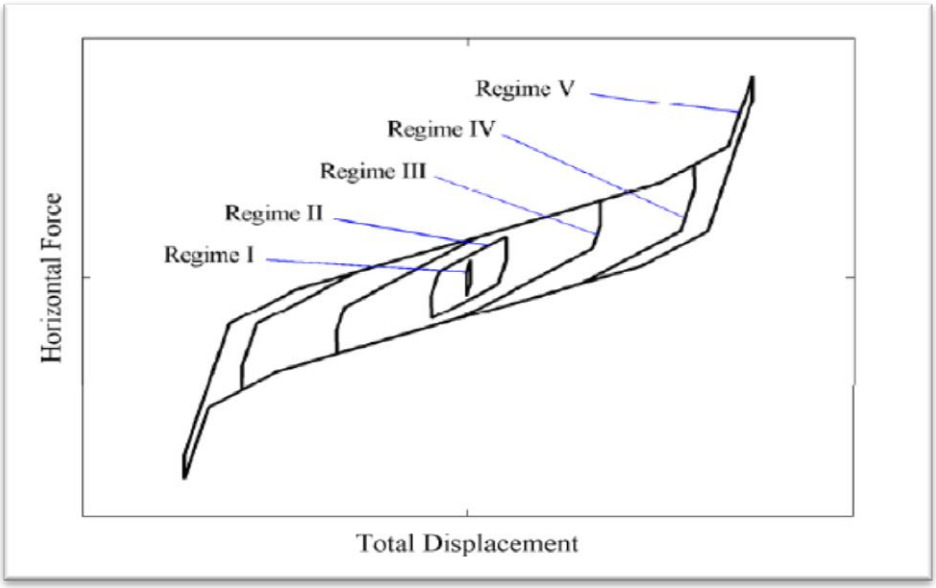
5.3. Üçlü Sarkaç İzolatör Özellikleri

Üçlü sarkaç izolatörler 3 elemandan oluşur. Dış plaka, iç plaka ve rijit kayıcıdan oluşur. R_1 ve R_2 iç ve dış plakaların eğrilik yarıçapı, μ_1 ve μ_2 iç ve dış plakaların sürtünme katsayısı, d_1, d_2, d_3 iç ve rijit elemanın bir yöndeki hareket mesafesi, h_1, h_2 iç ve rijit elemanın merkezden olan yüksekliğidir.[A.A.A. Sarlis., M.C. Constantinou., (2010)]



Şekil 5.6: İzolatörün boyut özellikleri.

Döngü parametreleri, sürtünme katsayısı ve izolatör tarafından taşınan ağırlığa bağlıdır. 1. Ve 4. Bölgeler arasında kalacak şekilde tasarlanan izolatör aslında 5. Bölge için de belli bir deplasman kapasitesine sahiptir. 5. Bölge izolatör 2 ve 3 yüzeylerinin hareket ettiği d_1 ve d_2 deplasman kapasitesini tüketir.(Şekil 5.6) [A.A.A. Sarlis., M.C. Constantinou., (2010)]



Şekil 5.7: Üçlü sarkaç izolatörün kuvvet-yerdeğiştirme döngüsü.

5.3.1. İzolatörün Geometrik Özellikleri

Aşağıdaki geometrik özelliklere sahip izolatörün taşıyacağı düşey yük 250 ton.

Tablo 5.3: İzolatörün geometrik özellikleri.

R1=R4	2235 mm
R2=R3	406 mm
h1=h3	102 mm
h2=h4	76 mm
d1	356 mm
d2	51 mm
R1eff=R4eff=R1-h1	2133 mm
R2eff=R3eff=R2-h2	330 mm
d1*=d4*=d1*R1eff/R1	339.75 mm
d2*=d3*=d2*R2eff/R2	41.45 mm

5.3.2. İzolatörün Sürtünme Özellikleri

Tablo 5.4: İzolatörün sürtünme özellikleri.

İzolatör Özellikleri			
Geometrik Özellikler		Sürtünme Özellikleri	
Özellik	Değer	Özellik	Değer
R1eff=R4eff	2133	μ1=μ4	0.079
R2eff=R3eff	330	μ2=μ3	0.067
d1*=d4*	339.8	μ(lower Bound)	0.077
d2*=d3*	41.5	μ1=μ4	0.095
		μ2=μ3	0.081
		μ(Upper Bound)	0.093

5.3.3. Tasarım Deplasmanının Hesaplanması

Bu kısımda izolatörün tasarım deplasmanı, etkin rijitliği, etkin sönümü ve etkin periyodu hesaplanmıştır. D_d tasarım deplasmanının hesabında interpolasyon yöntemi kullanılır.[El-Bayoumi.K., (2015)] İzolatör sayısı tankın toplam düşey yükünü karşılayacak miktarda seçilir. Bu çalışmada bir izolatör 250 ton düşey yük kapasitesine sahiptir. Geniş tank düşey ağırlığı 23,000 ton, narin tank ağırlığı 38,500

ton dur. Bu yüzden geniş tank tabanında 100, narin tank tabanında 155 adet izolatör kullanılmıştır.

İzolatör etkili rijitliği;

$$Keff = K_1 + K_2 \tag{5.4}$$

$$K1 = (\frac{\mu 2 * W}{2 * Dy}) - (\frac{W}{2 * Reff2}) \tag{5.5}$$

$$K2 = (\frac{W}{2 * Reff2}) \tag{5.6}$$

İzolatör etkili periyodu;

$$Teff = (2\Pi * (\frac{\sqrt{\Sigma W}}{Keff * g}) \tag{5.7}$$

İzolatör etkili sönümü;

$$\beta = \frac{4 * \mu * \Sigma W * (Dd - Dy)}{2\pi * Keff * Dd^2} \tag{5.8}$$

Sönüm azaltma faktörü;

$$Bd = \left(\frac{\beta eff}{0.05}\right)^{0.3} \tag{5.9}$$

Tasarım deplasmanı;

$$Dd = \frac{Sd1 * Teff^2}{4\pi^2 * \beta} * g \tag{5.10}$$

Tablo 5.5: İzolatör tasarım deplasmanının hesabı.

SD1	μ	μ1	DY	W	n İzolatör
0.486	0.093	0.095	0.00462	250	100

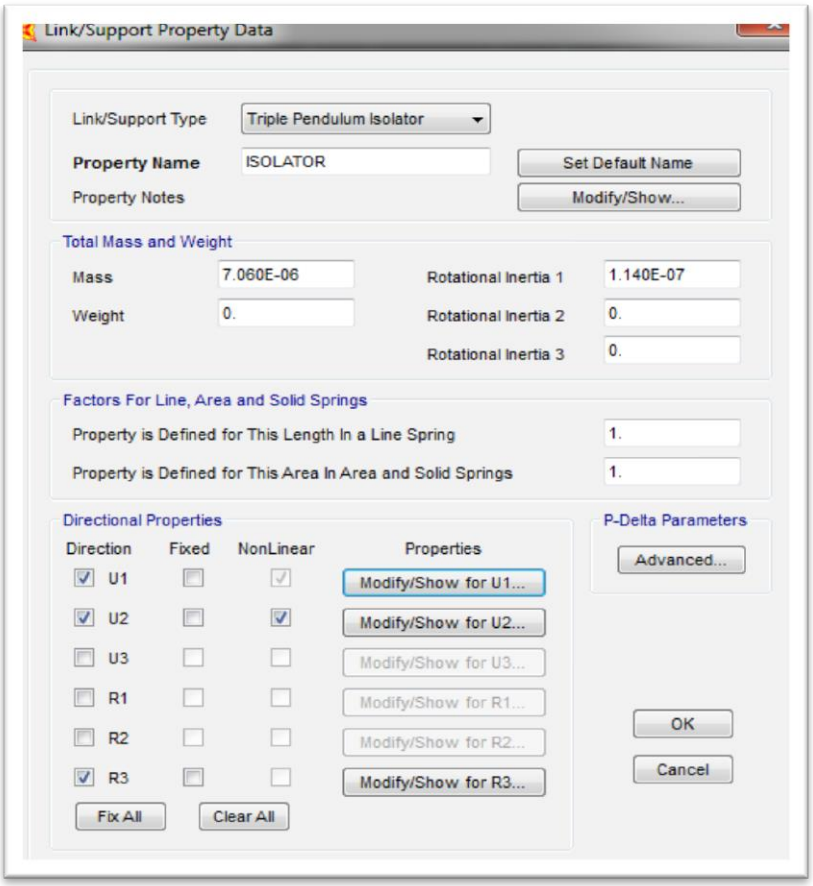
Dd		0.077 m
Etkili Rijitlik	$Keff = Ktoplam$	111602 t/m
Etkili Periyot	$Teff = 2 * \pi * \sqrt{(\frac{\Sigma W}{Keff * g})}$	0.95 sn
Etkili Sönüm	$\beta d = \frac{4 * \mu * \Sigma W * (Dd - Dy)}{2 * \Pi * Keff * Dd^2}$	0.17
Sönüm Azaltma Faktörü	$BD = \left(\frac{\beta eff}{0.05}\right)^{0.3}$	1.42
Dd’	$Dd = \frac{SD1 * Teff^2 * g}{4 * \Pi^2 * \beta}$	0.077 m

5.3.4. İzolatörün Dönme Atalet Özellikleri

- Φ=0.305m
- h=0.32m
- Kesit Alanı : 0.073m2
- Keff= (W/R1eff) + (μ*W/Dd) = 421 t/m
- I= Keff*h^3/12*E = 3.05E-5 m4

5.3.5. İzolatörün Kütle Özellikleri

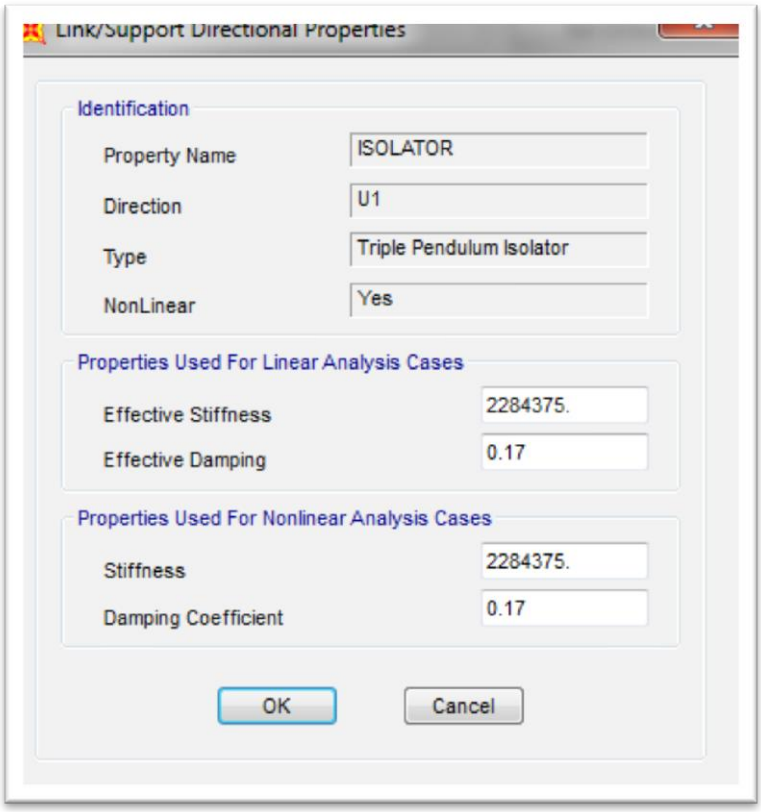
- I=misolatör*(Dr^2+h^2)/12
- M = 1.87E-3 tsn^2/m
- Dr= Rijit kayıcının ölçüsü
- h = İzolatör yüksekliği



Şekil 5.8: İzolatörün Kütle Özelliklerinin Tanıtılması.

5.3.6. İzolatörün Yön Özellikleri (U1,U2,R3)

- Φ= 0.305m
- h = 0.32m
- Etkili rijitlik : E*A/L = 2.28E+06 t/m
- D_d İçin etkili sönüm = 17 %



Şekil 5.9: İzolatörün yön özelliklerinin tanıtılması.

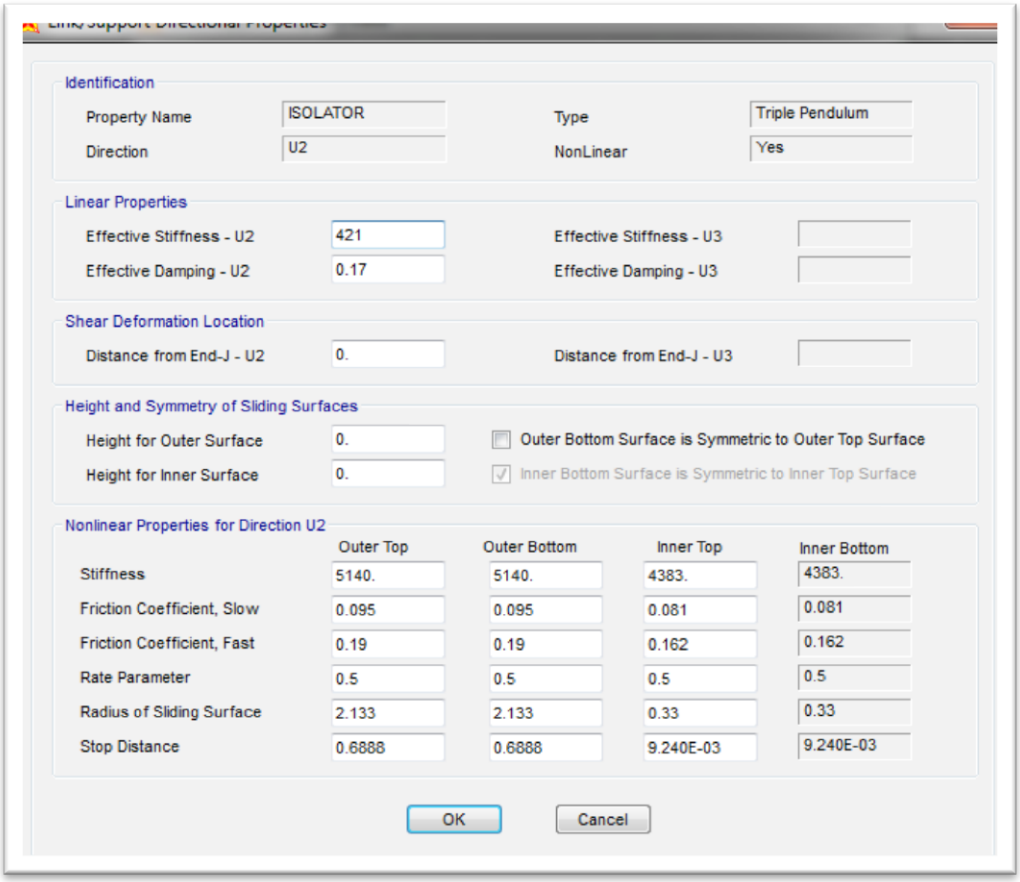
Lineer özelliklerinin belirlenmesi;

- Etkili rijitlik 421 t/m
- Dd İçin etkili sönüm = 17 %
- Dış Yüzey Yüksekliği : h1=h4= 0.102m
- İç yüzey Yüksekliği : h2=h3= 0.076m

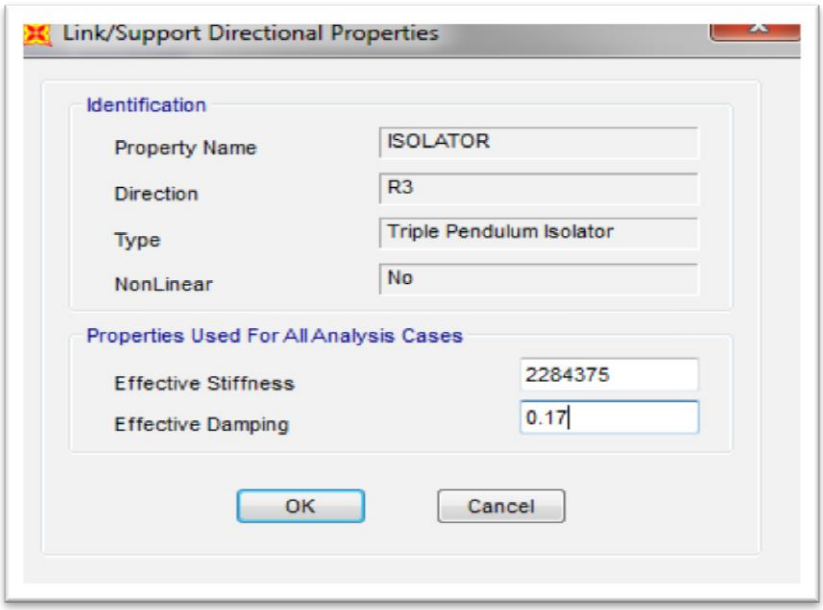
Nonlineer özelliklerinin belirlenmesi;

- Rijitlik : μ*W/Dy
- Dy= (μ1-μ2)*R2eff
- Dış Yüzey Rijitliği : 5140 ton/m
- İç Yüzey Rijitliği : 4383 ton/m
- Sürtünme Katsayısı (Slow) : μ1 = 0.0095
- Sürtünme Katsayısı (Fast) : μ2 = 0.081
- Sürtünme Katsayısı : Dış yüzey için 2μ1= 0.19

- Sürtünme Katsayısı : İç yüzey için 2μ2= 0.16
- Oran Parametreleri (Fast) : 0.5
- Kayma Yüzey Eğriliği (Dış) : R1eff= 2.133m
- Kayma Yüzey Eğriliği (İç) : R2eff= 0.33m
- Durma Mesafesi: Dış yüzey için : u**=2Dy + 2d1*
- u= 2*0.00462 + 2*0.3398= 0.688 m
- Durma Mesafesi: İç yüzey için : u**=2Dy
- u= 2*0.00462 = 0.0092 m



Şekil 5.10: İzolatörün yön özelliklerinin tanıtılması (U2).

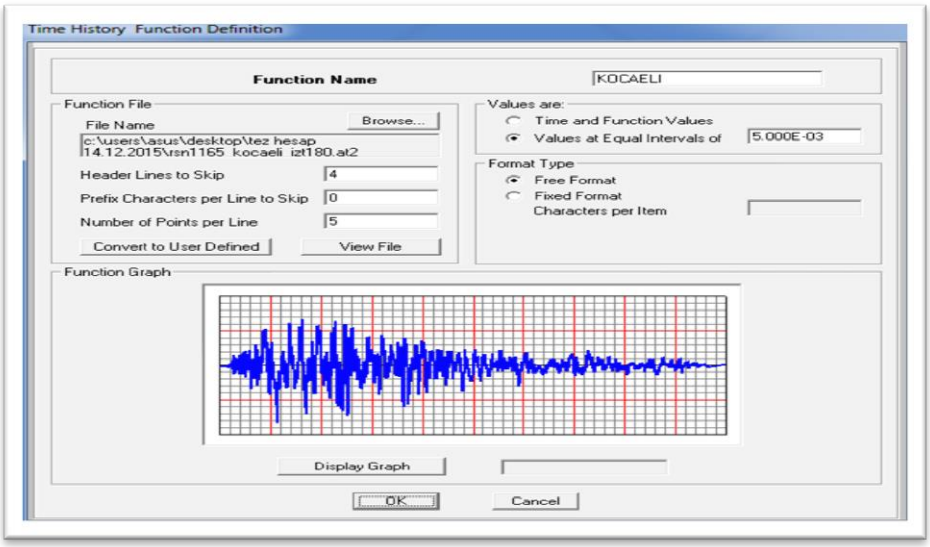


Şekil 5.11: İzolatörün yön özelliklerinin tanıtılması (R3).

5.4. Analizde Kullanılacak Deprem Kayıtları

5.4.1. Kocaeli Deprem Kaydının Tanıtılması

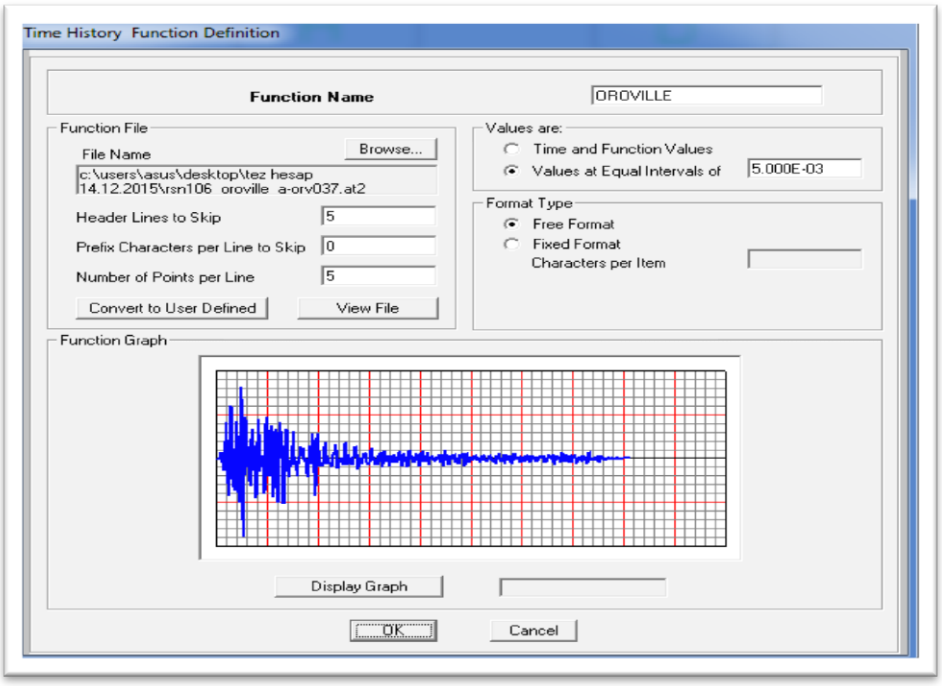
- Yer : Kocaeli/ İzmit/ Türkiye
- Tarih : 17.08.1999
- Kayıt aralığı : 0.005sn



Şekil 5.12: Kocaeli deprem kaydı.

5.4.2. Oroville Deprem Kaydının Tanıtılması

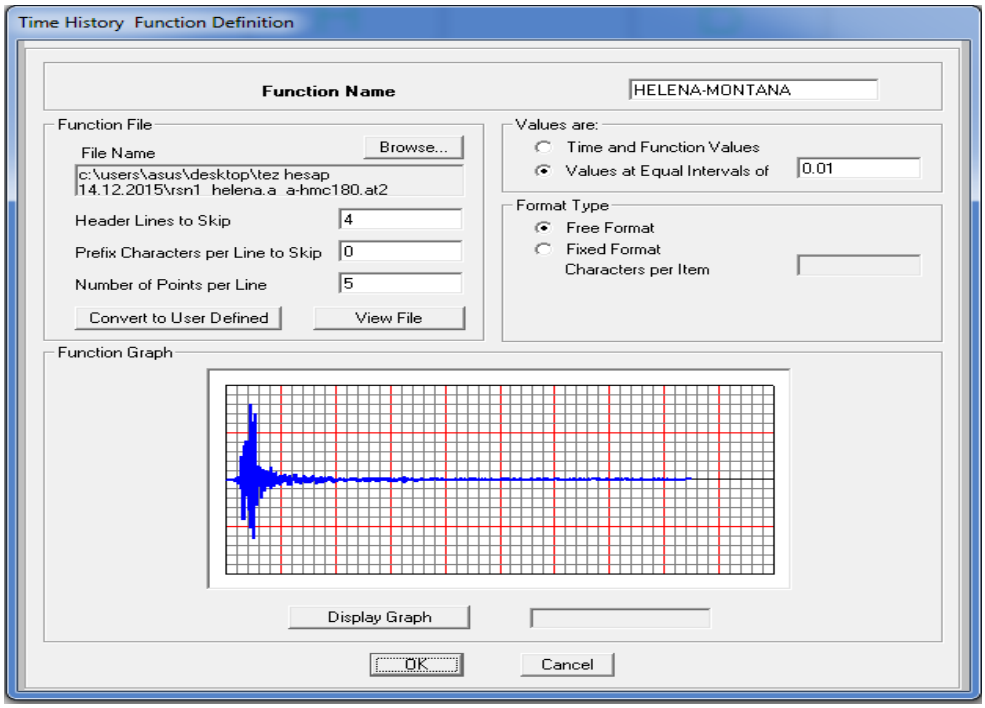
- Yer : Oroville/ Kaliforniya/ABD
- Tarih : 08.01.1975
- Kayıt aralığı : 0.005sn



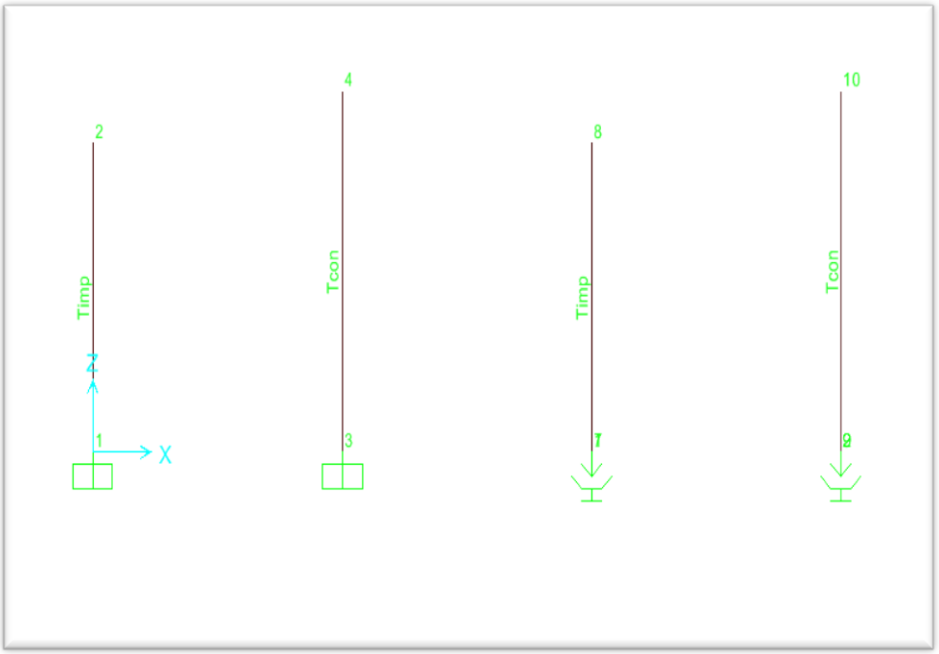
Şekil 5.13: Oroville deprem kaydı.

5.4.3. Helena Montana Deprem Kaydının Tanıtılması

- Yer : Helena-Montana/ABD
- Tarih : 31.10.1935
- Kayıt aralığı : 0.01sn

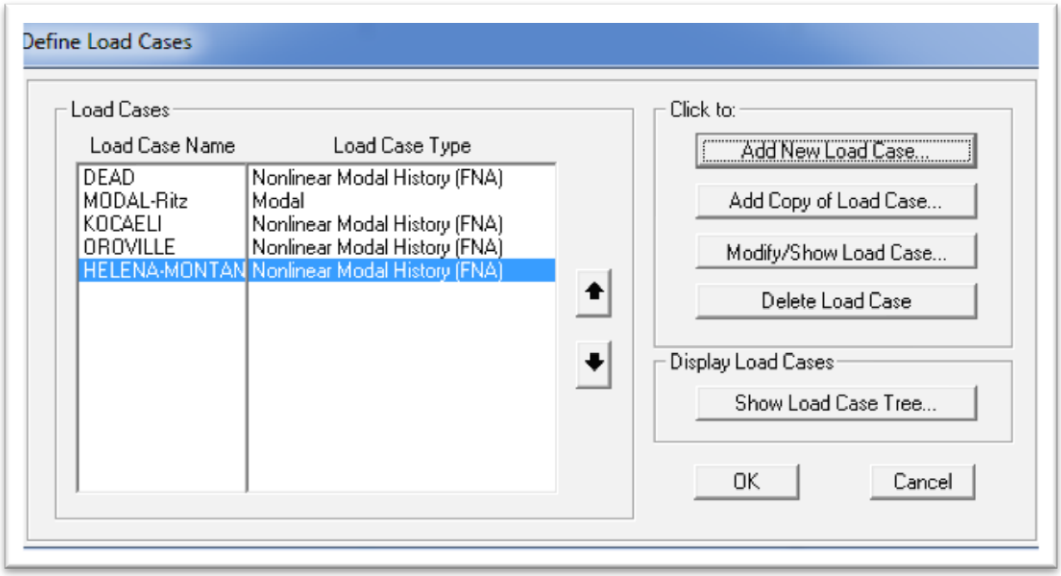


Şekil 5.13: Helena-Montana deprem kaydı.

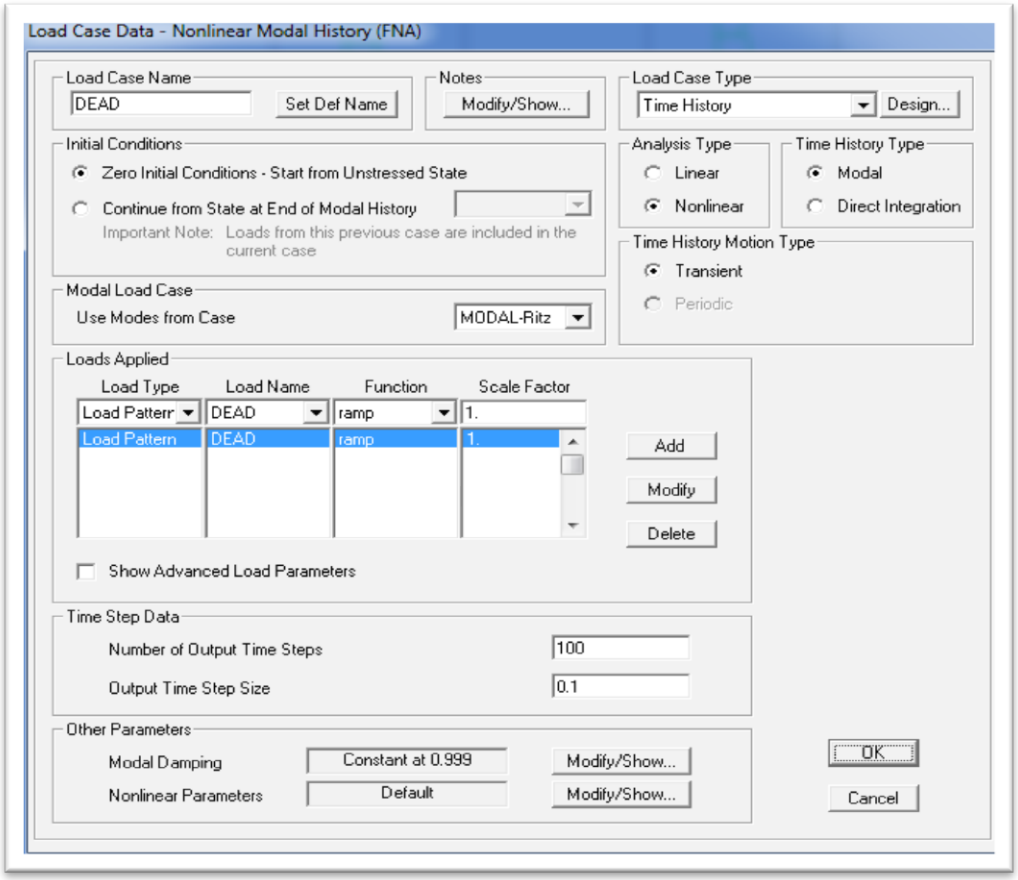


Şekil 5.15: İzolatörsüz ve izolatörlü sistemin analiz modeli.

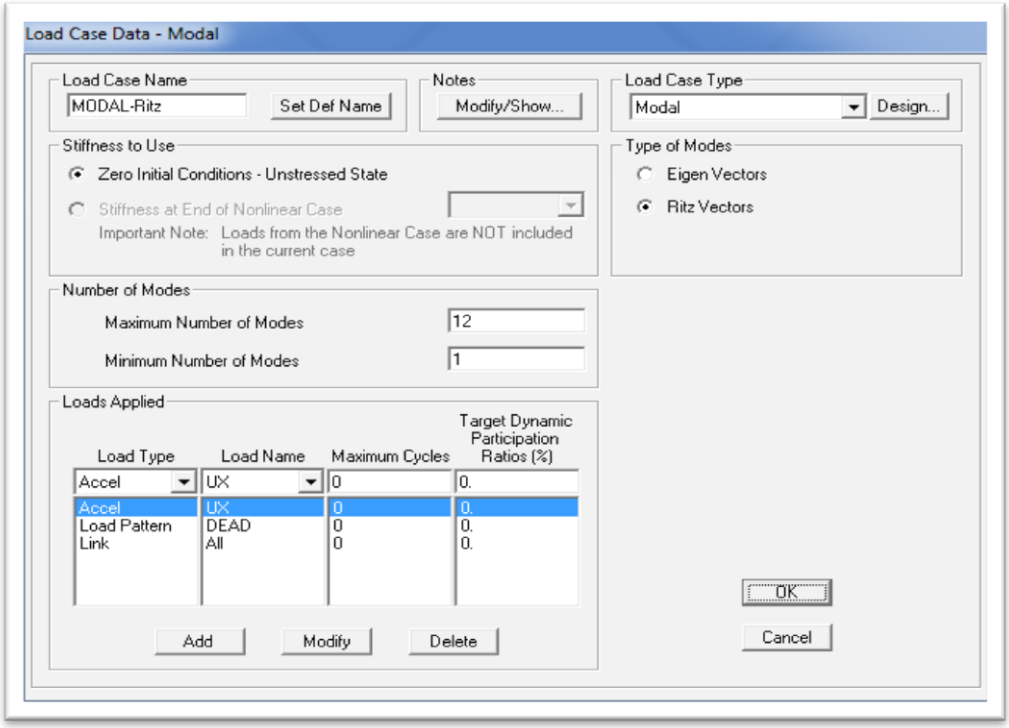
5.5. Zaman Tanım Alanında Analiz Özellikleri



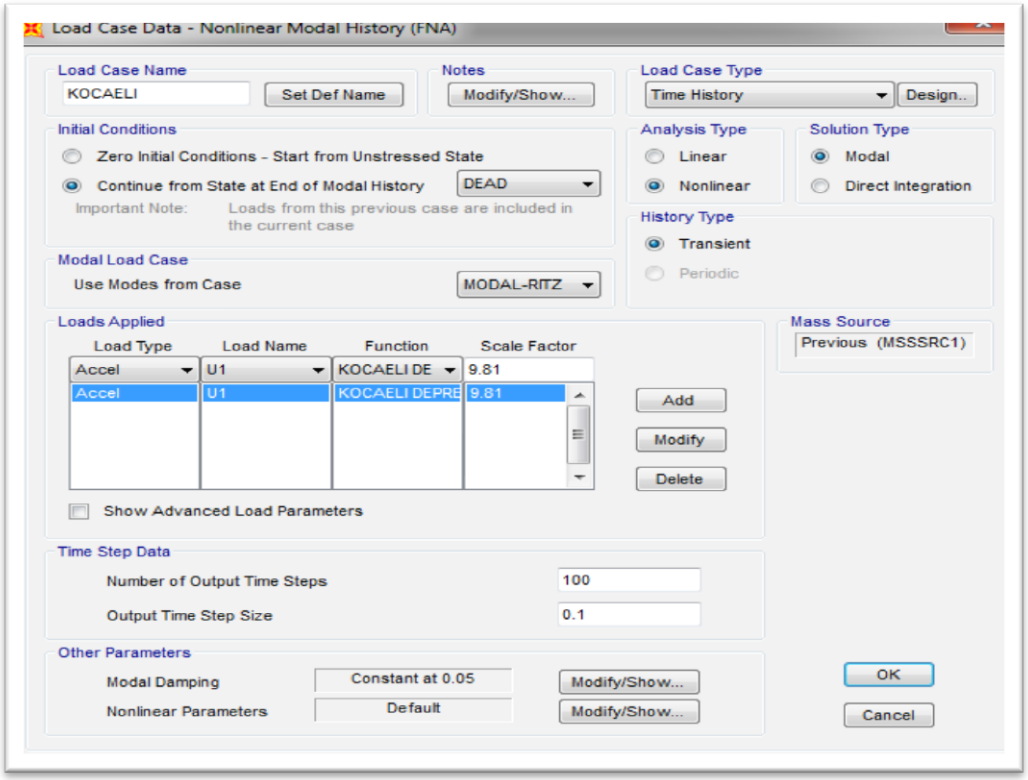
Şekil 5.16: Analiz yük durumları.



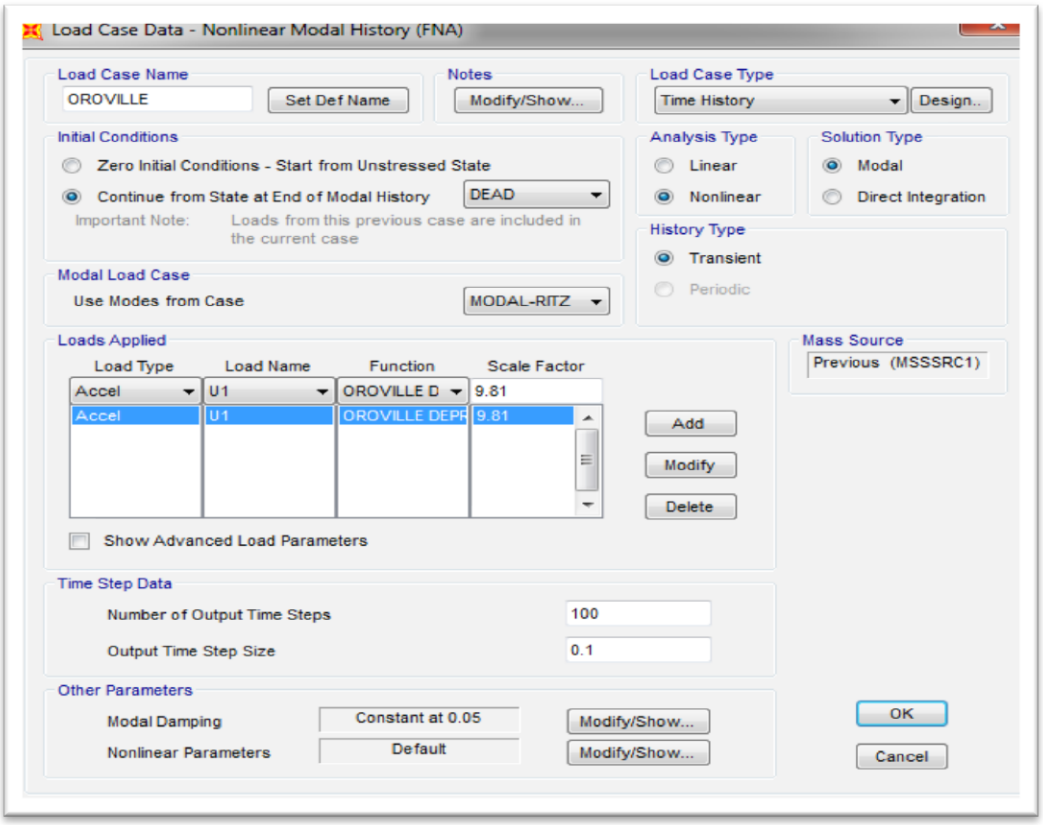
Şekil 5.17: FNA Analiz adımları.



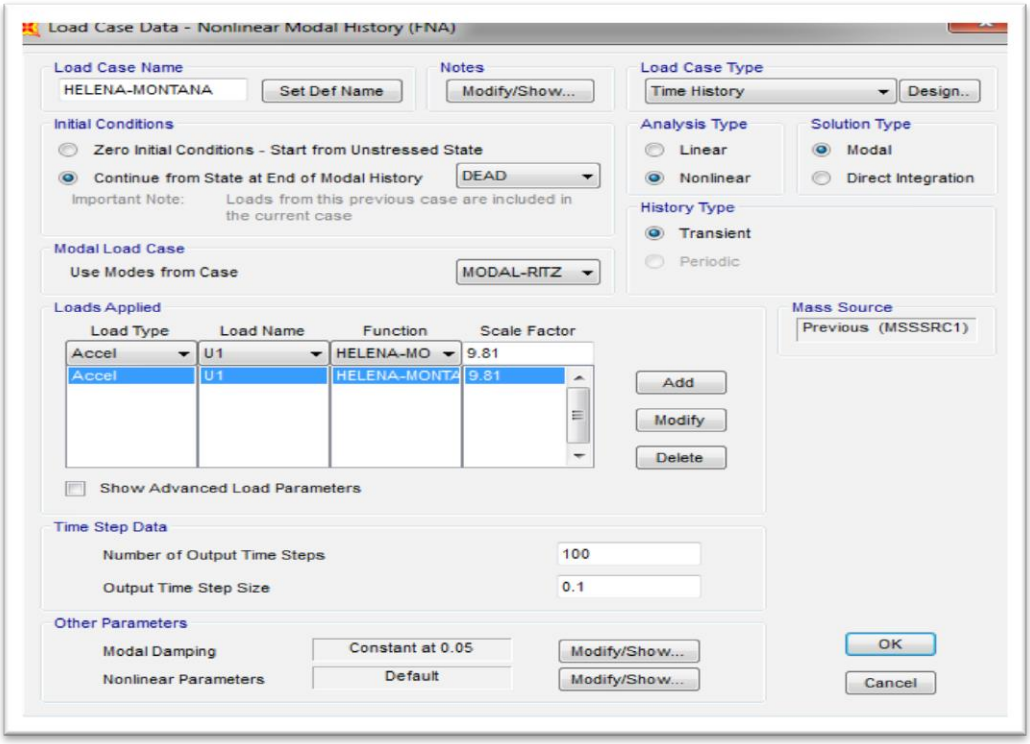
Şekil 5.18: FNA Analiz adımları modal analiz.



Şekil 5.19: FNA Analiz adımları Kocaeli deprem kaydı.



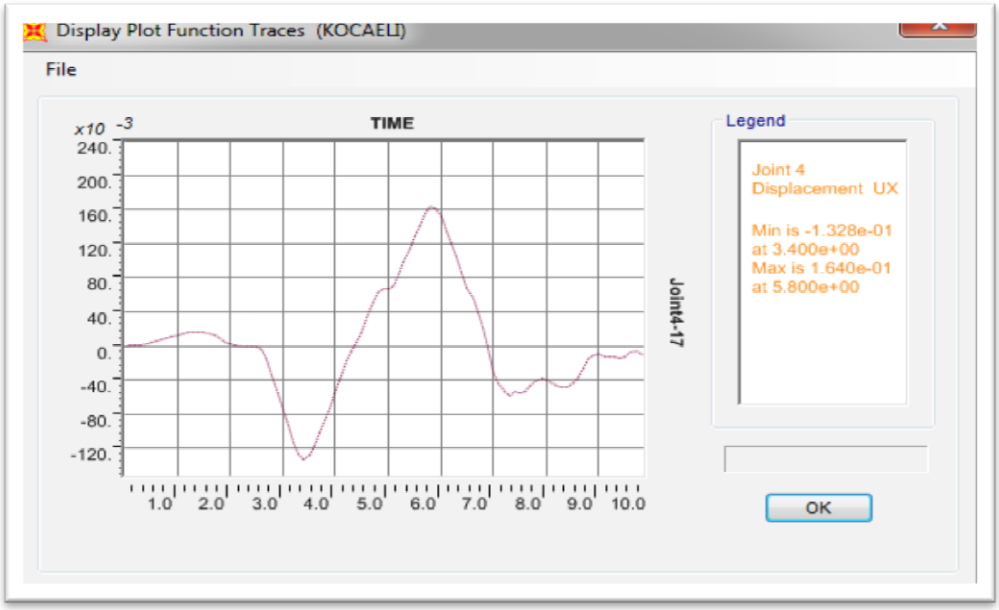
Şekil 5.20: FNA Analiz adımları Oroville deprem kaydı.



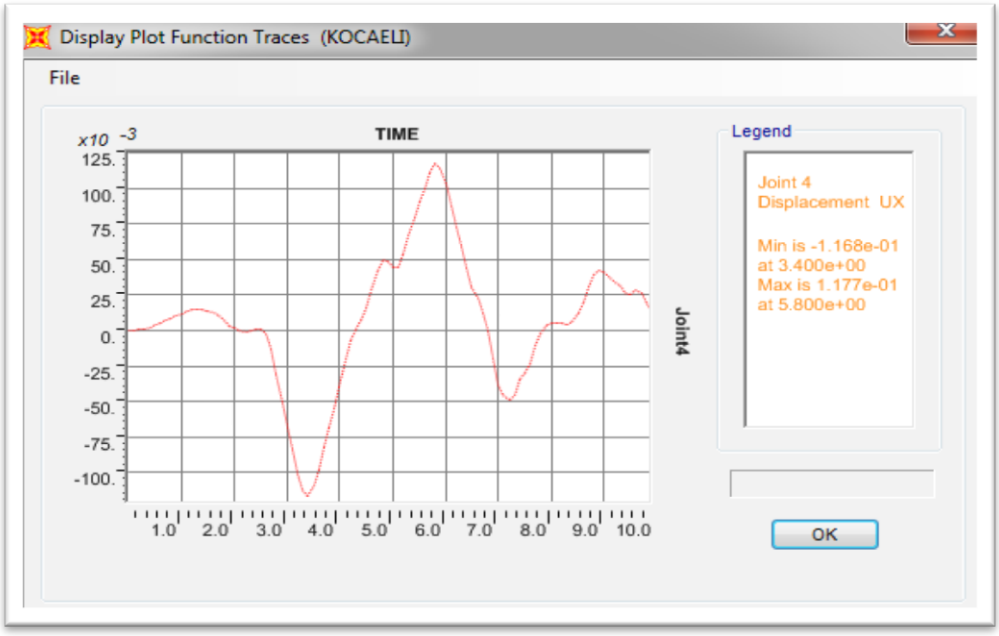
Şekil 5.21: FNA Analiz adımları Helena-Montana deprem kaydı.

5.6. Tankların Deplasman Karşılaştırmaları

5.6.1. Geniş Tank Analiz Sonuçları

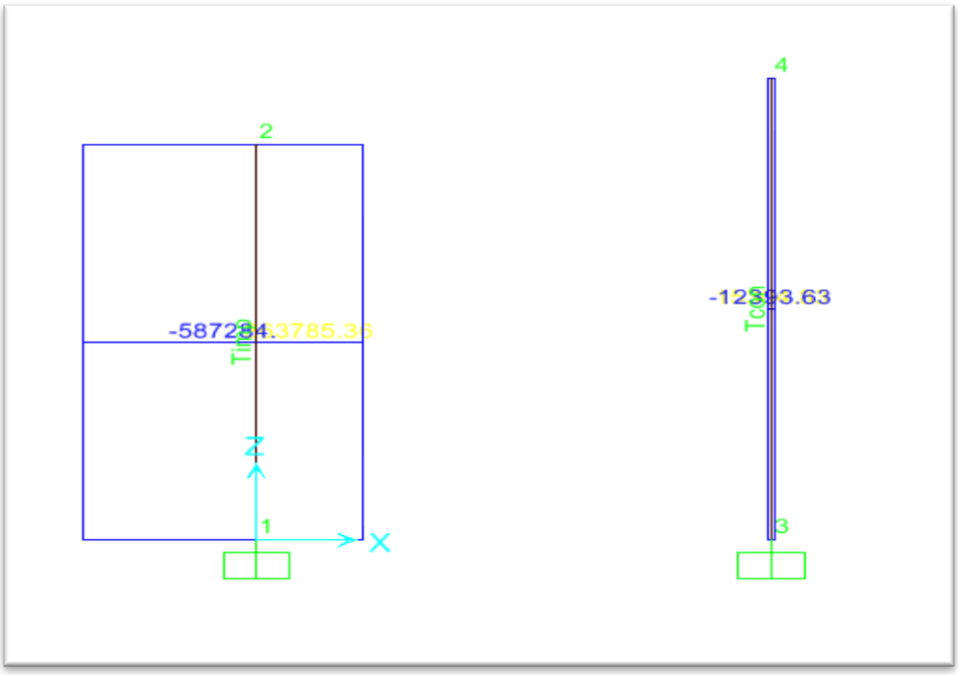


Şekil 5.22: İzolatörsüz sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.16m.

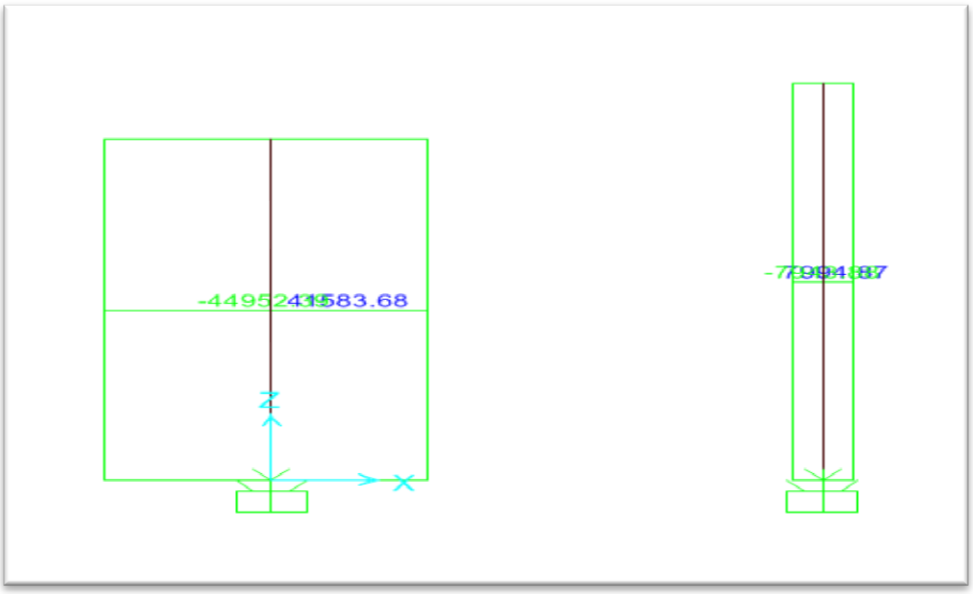


Şekil 5.23: İzolatörlü sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.11m.

Kocaeli deprem etkisinde tankta meydana gelen deplasman izolatörlü tankta %31.25 oranında azalmıştır.

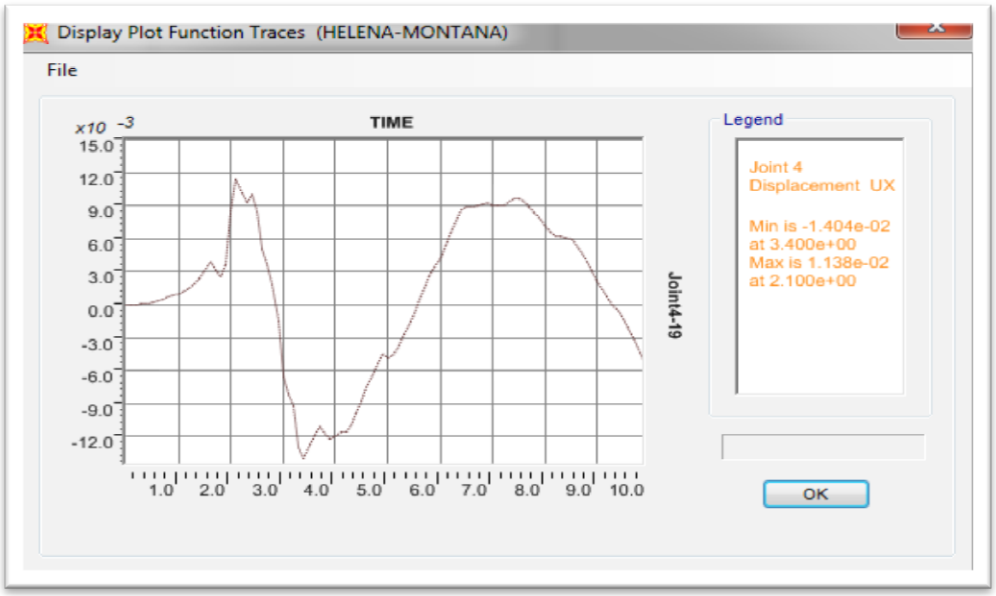


Şekil 5.24: İzolatörsüz sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti V_{imp}=587,284 kN V_{con} = 12,393 kN.

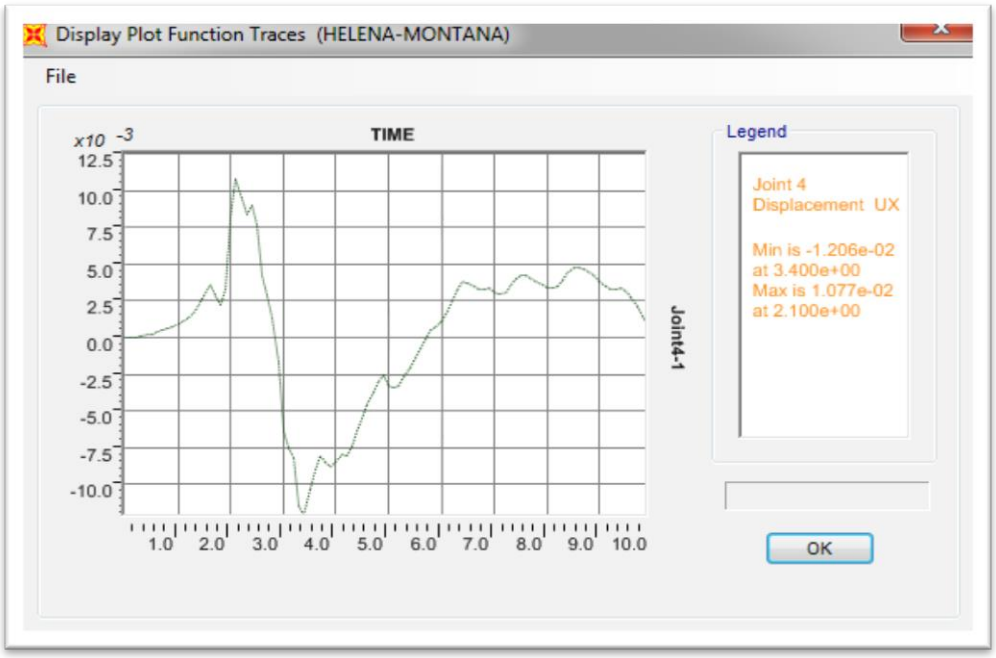


Şekil 5.25: İzolatörlü sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti V_{imp}= 41,583 kN V_{con} = 7,994 kN.

Kocaeli deprem etkisinde tankta meydana gelen kesme kuvvetleri izolatörlü tankta impulsif kütleye etki eden kuvvet %93, konvektif kütleye etki eden kuvvet %35 oranında azalmıştır.

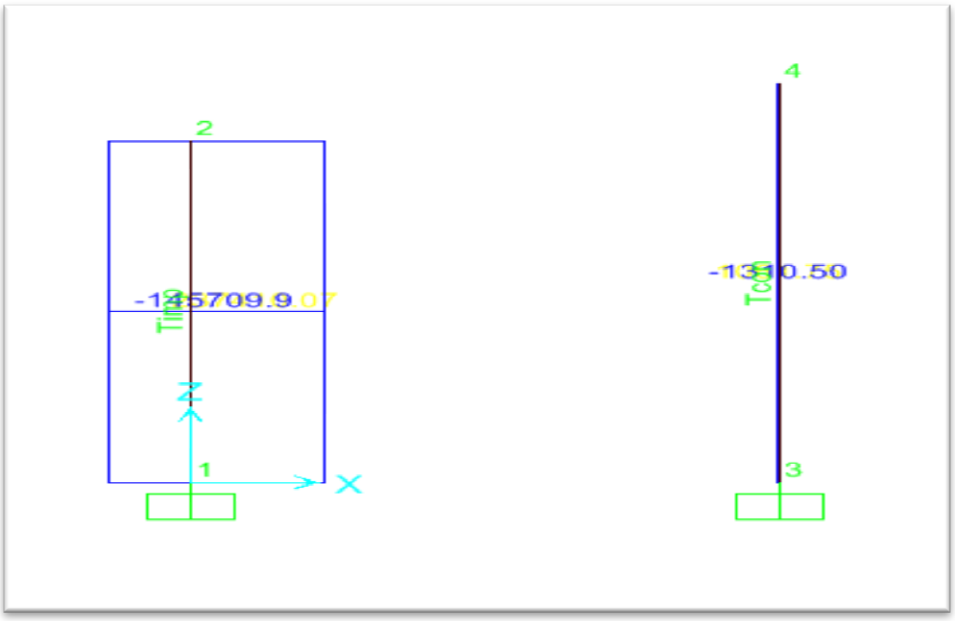


Şekil 5.26: İzolatörsüz sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.014m.

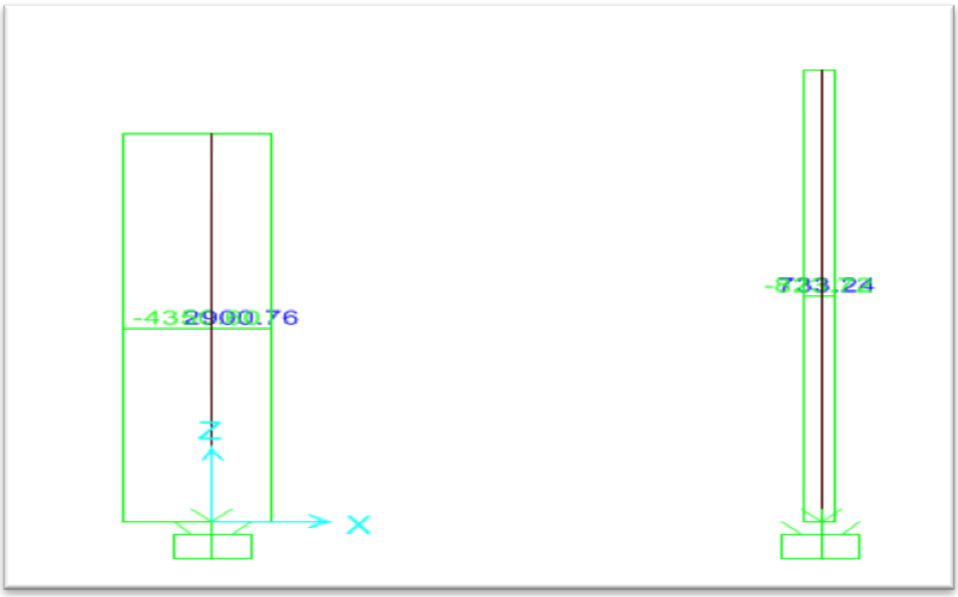


Şekil 5.27: İzolatörlü sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.012m.

Helena-Montana deprem etkisinde tankta meydana gelen deplasman izolatörlü tankta %14.29 oranında azalmıştır.

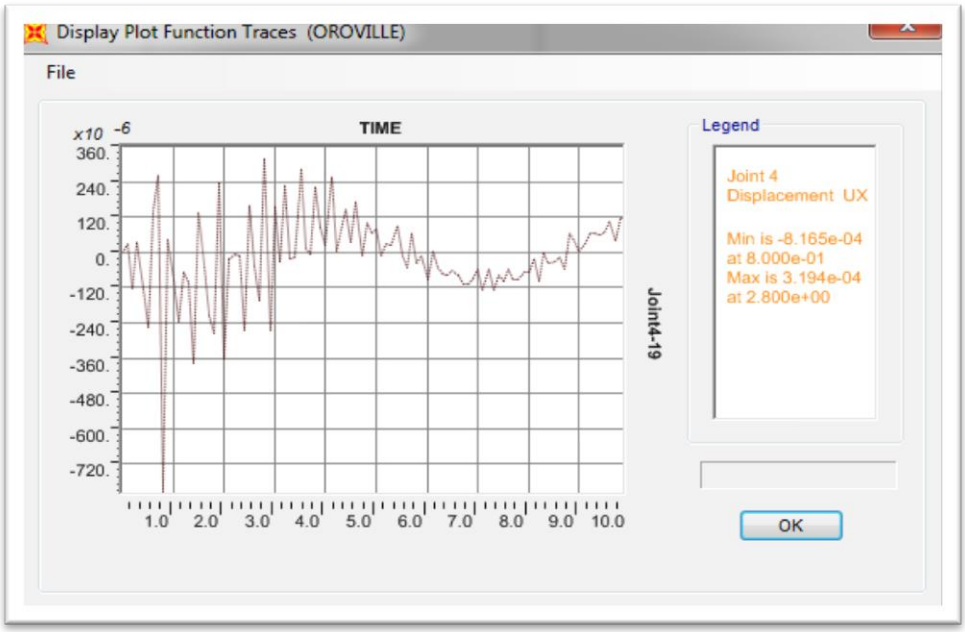


Şekil 5.28: İzolatörsüz sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti V_{imp}= 145,709kN V_{con} = 1,310 kN.

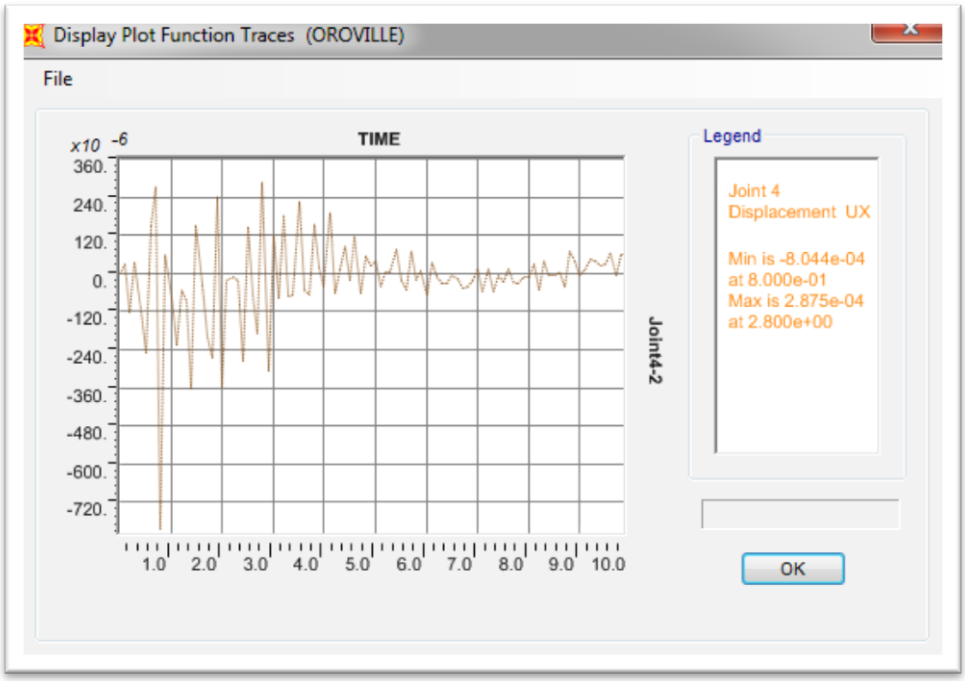


Şekil 5.29: İzolatörlü sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti V_{imp}= 4,350kN V_{con} = 823 kN.

Helena-Montana deprem etkisinde tankta meydana gelen kesme kuvvetleri izolatörlü tankta impulsif kütleye etki eden kuvvet %98, konvektif kütleye etki eden kuvvet %37 oranında azalmıştır.

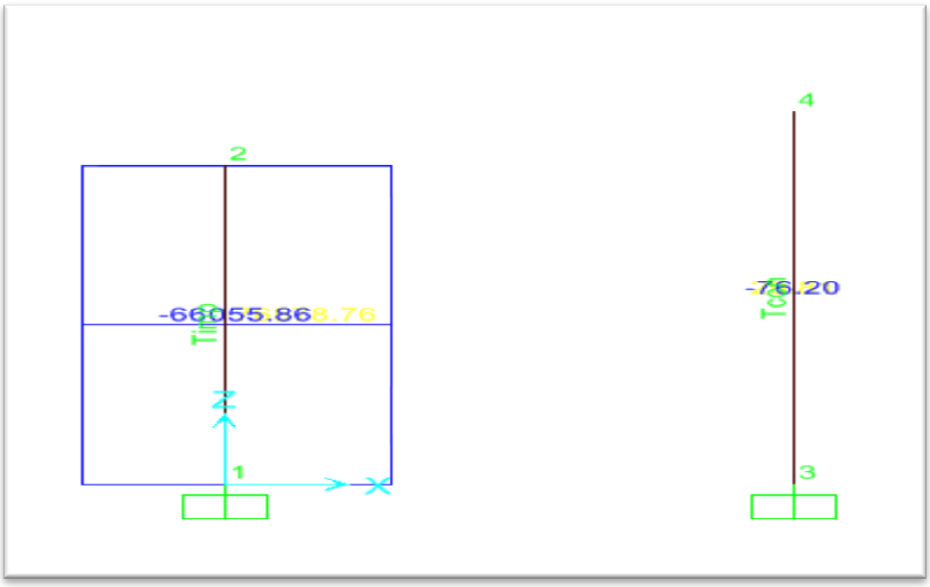


Şekil 5.30: İzolatörsüz sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.00082m.

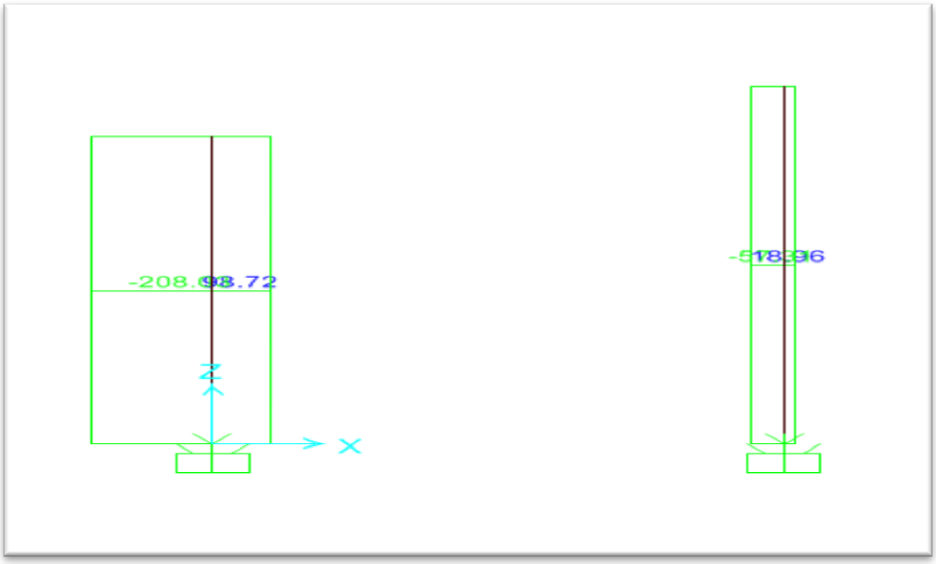


Şekil 5.31: İzolatörlü sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.00080m.

Oroville deprem etkisinde tankta meydana gelen deplasman izolatörlü tankta %3 oranında azalmıştır.



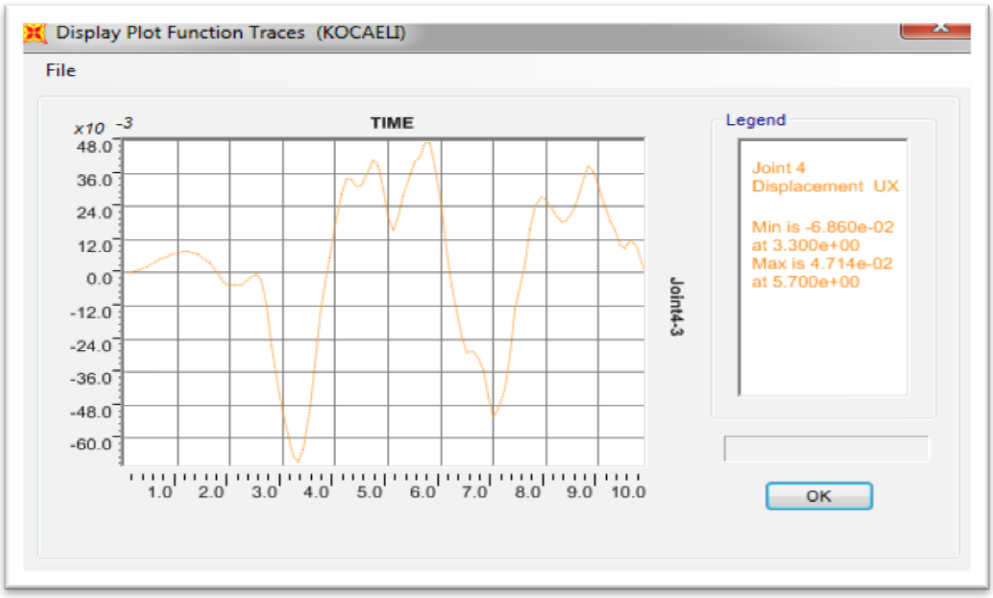
Şekil 5.32: İzolatörsüz sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti Vimp= 66,055kN Vcon = 76 kN.



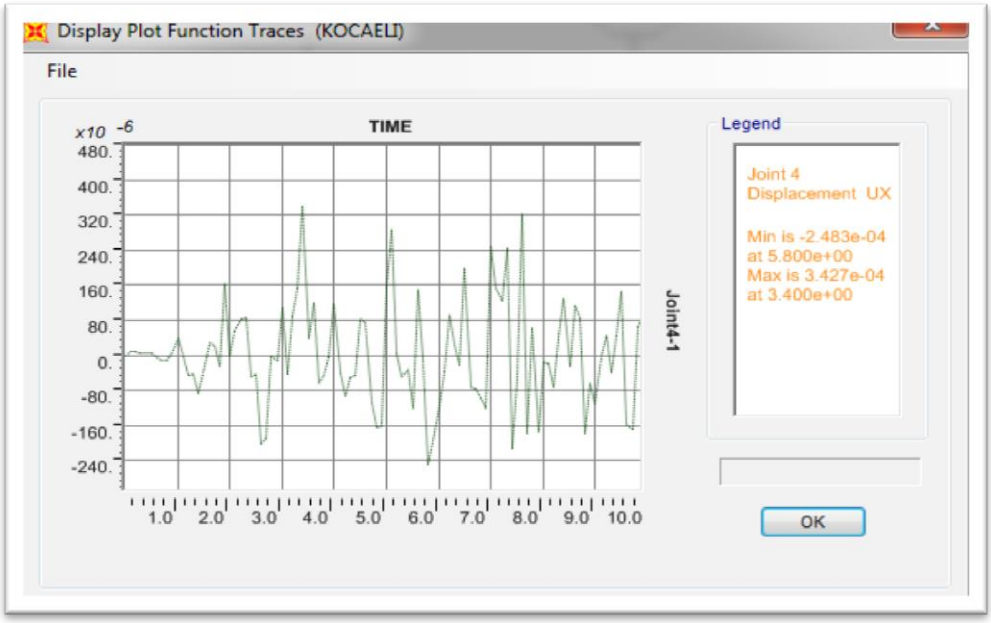
Şekil 5.33: İzolatörlü sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti V_{imp}= 208kN V_{con} = 57 kN.

Oroville deprem etkisinde tankta meydana gelen kesme kuvvetleri izolatörlü tankta impulsif kütleye etki eden kuvvet %98, konvektif kütleye etki eden kuvvet %25 oranında azalmıştır.

5.6.2. Narin Tank Analiz Sonuçları

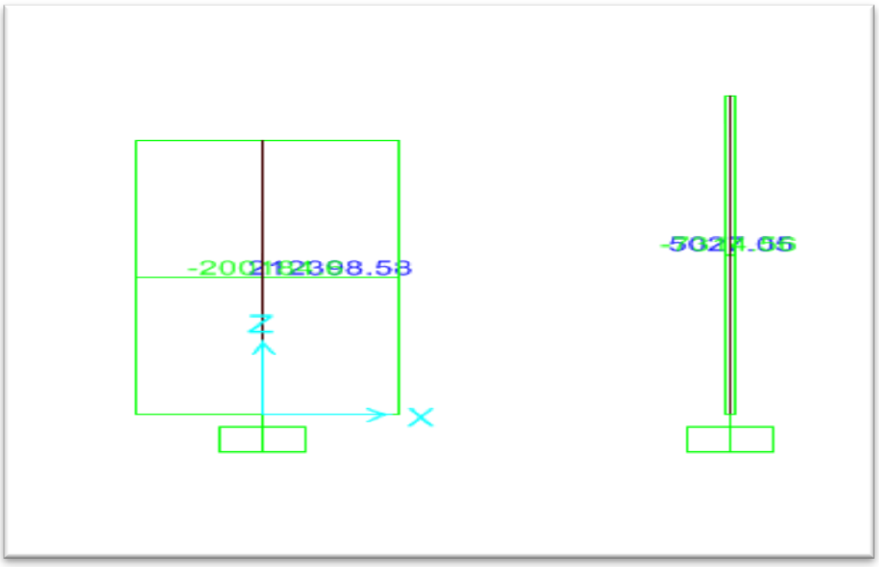


Şekil 5.34: İzolatörsüz sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.068m.

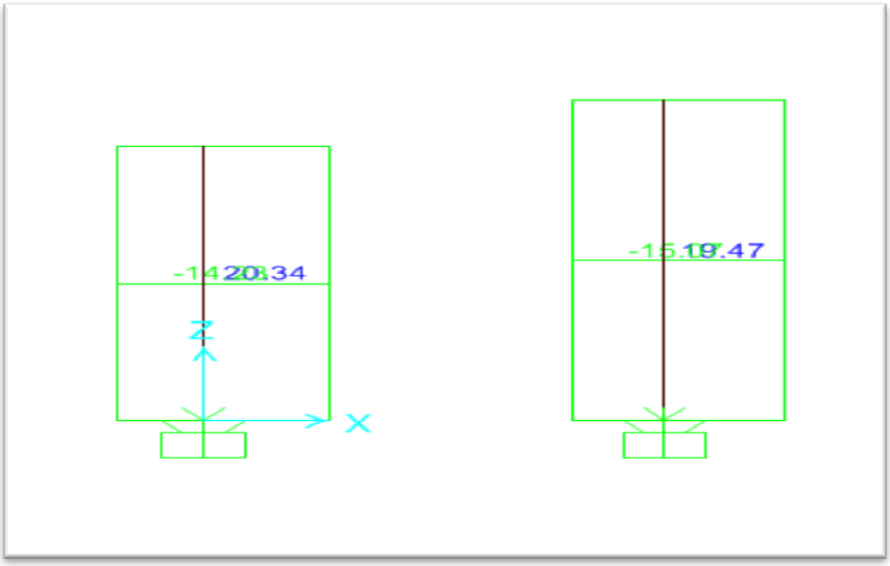


Şekil 5.35: İzolatörlü sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.00034m.

Kocaeli deprem etkisinde tankta meydana gelen deplasman izolatörlü tankta %99.5 oranında azalmıştır.

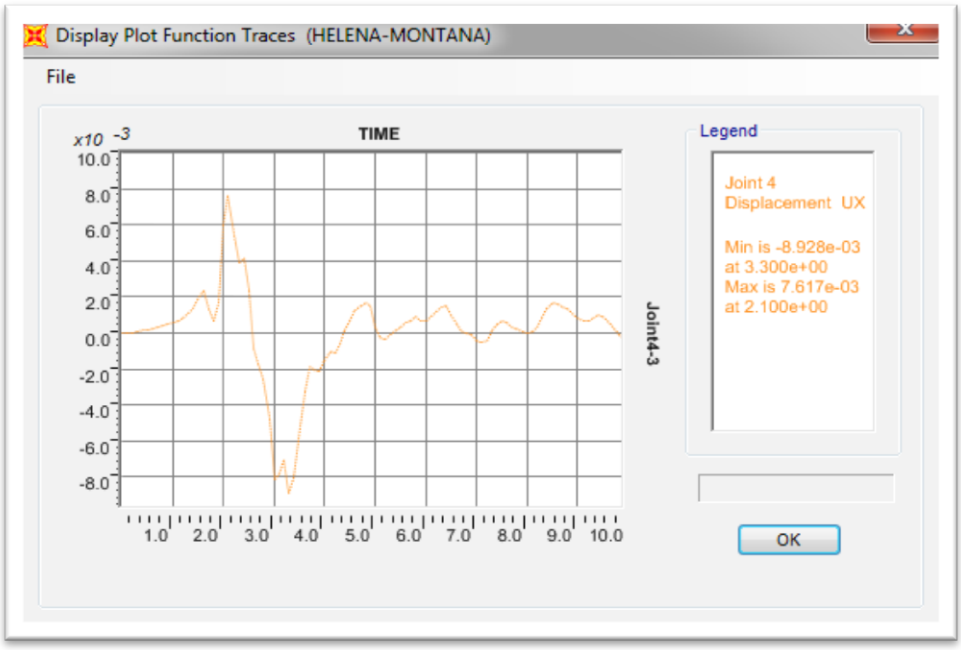


Şekil 5.36: İzolatörsüz sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti Vimp= 212,398kN Vcon = 5,021 kN.

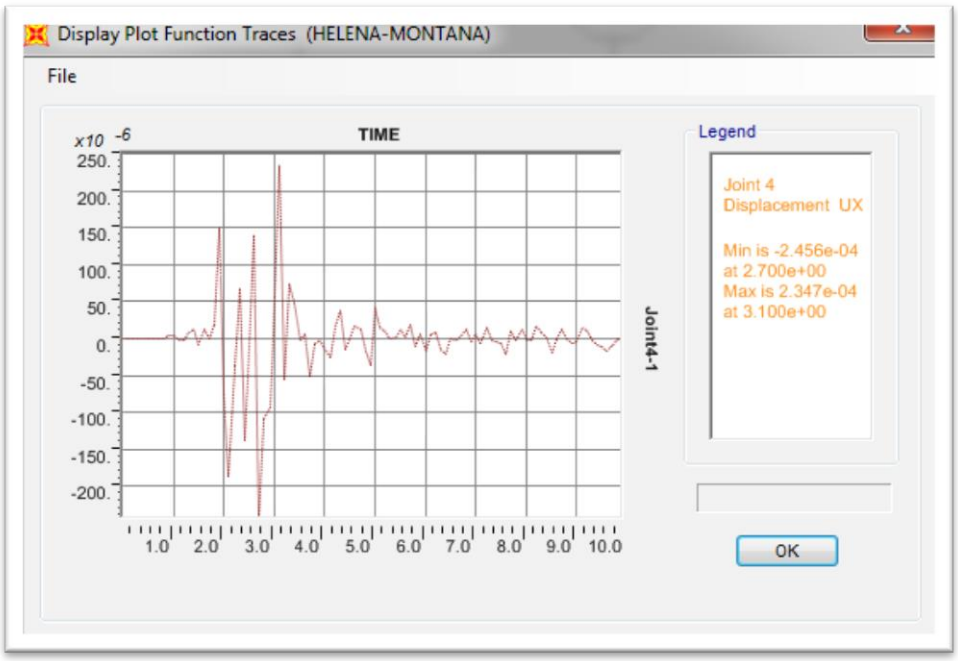


Şekil 5.37: İzolatörlü sistemde Kocaeli deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti Vimp= 20 kN Vcon = 19kN.

Kocaeli deprem etkisinde tankta meydana gelen kesme kuvvetleri izolatörlü tankta impulsif kütleye etki eden kuvvet %99.5, konvektif kütleye etki eden kuvvet %99.8 oranında azalmıştır.

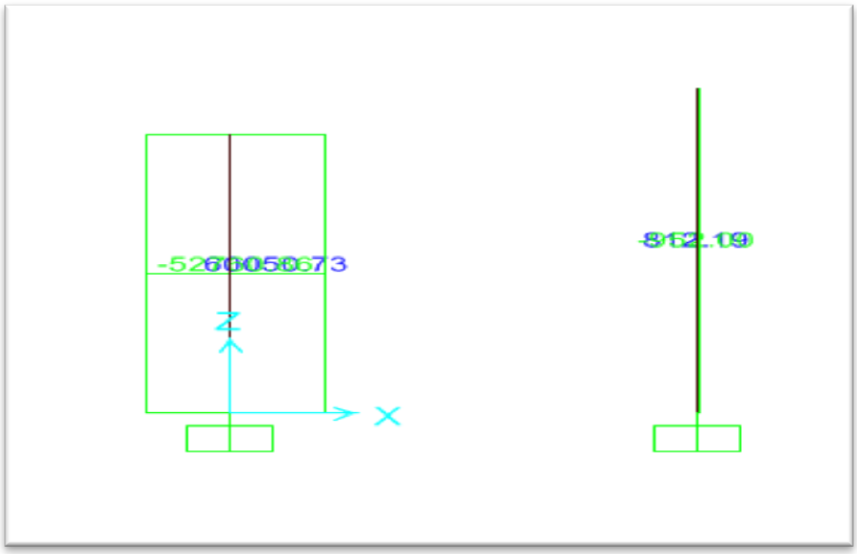


Şekil 5.38: İzolatörsüz sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.0089m.

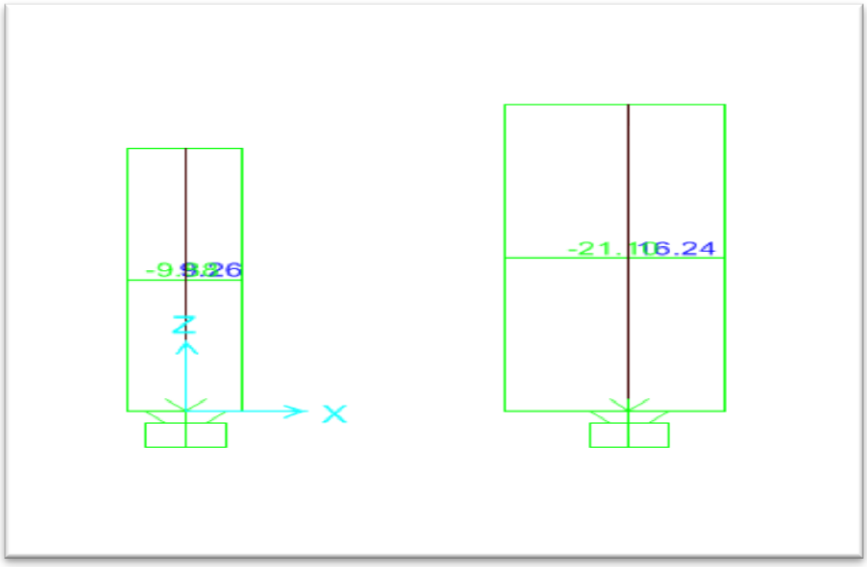


Şekil 5.39: İzolatörlü sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.00024m.

Helena-Montana deprem etkisinde tankta meydana gelen deplasman izolatörlü tankta %97.3 oranında azalmıştır.

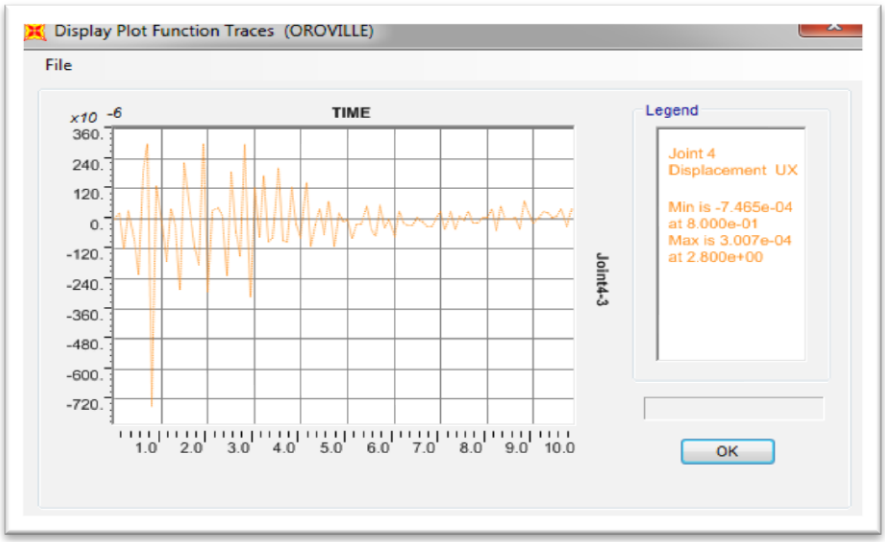


Şekil 5.40: İzolatörsüz sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti V_{imp}= 60,050kN V_{con} = 812 kN.

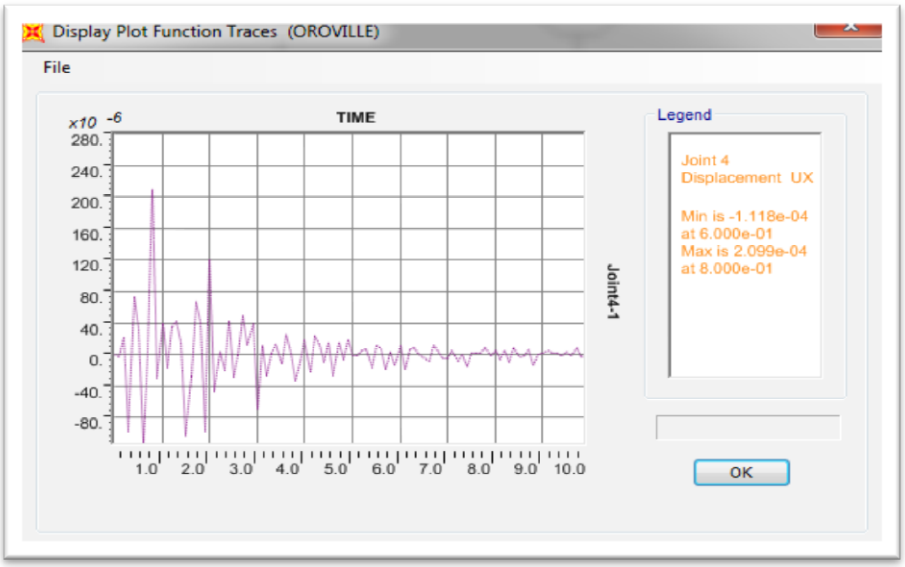


Şekil 5.41: İzolatörlü sistemde Helena-Montana deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti Vimp= 9,26kN Vcon = 16,24 kN.

Helena-Montana deprem etkisinde tankta meydana gelen kesme kuvvetleri izolatörlü tankta impulsif kütleye etki eden kuvvet %99.8, konvektif kütleye etki eden kuvvet %99.9 oranında azalmıştır.

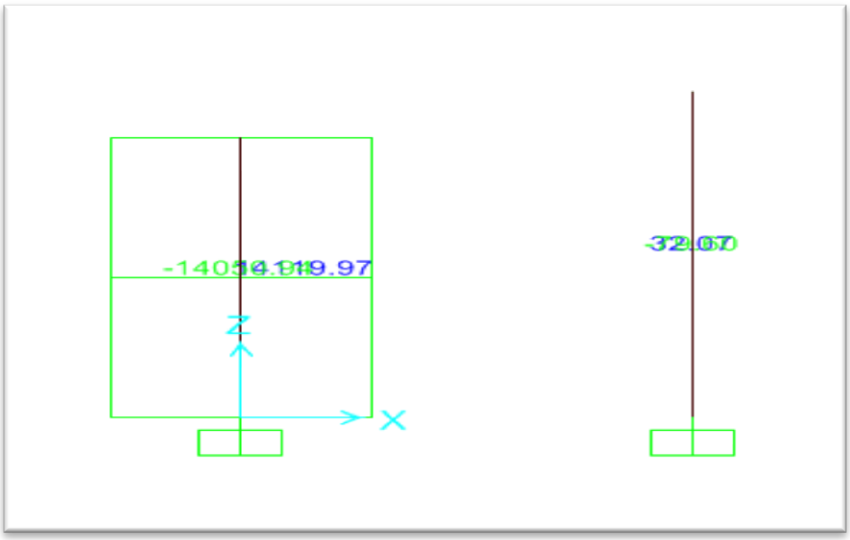


Şekil 5.42: İzolatörsüz sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.00074m.

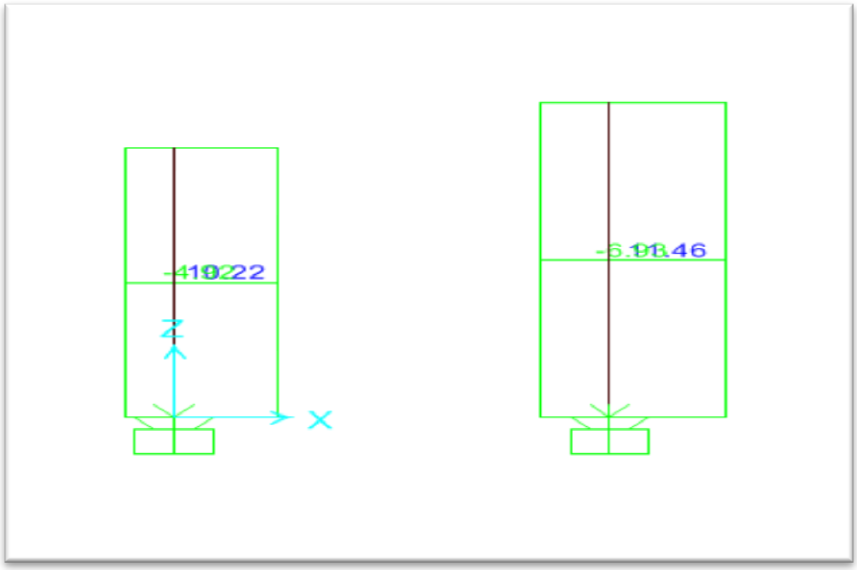


Şekil 5.43: İzolatörlü sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen deplasman Ux= 0.00021m.

Oroville deprem etkisinde tankta meydana gelen deplasman izolatörlü tankta %71.62 oranında azalmıştır.



Şekil 5.44: İzolatörsüz sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti V_{imp}= 14,120kN V_{con} = 32 kN.



Şekil 5.45: İzolatörlü sistemde Oroville deprem etkisinden meydana gelen kesme kuvveti Vimp= 42kN Vcon = 11,46 Kn.

Oroville deprem etkisinde tankta meydana gelen kesme kuvvetleri izolatörlü tankta impulsif kütleye etki eden kuvvet %99.8, konvektif kütleye etki eden kuvvet %64.27 oranında azalmıştır.

5.6.3. Geniş Tank Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 5.6: Geniş tank analiz sonuçları.

	IZOLATORSUZ						IZOLATORLU					
	Kocaeli		Oroville		Helena-Montana		Kocaeli		Oroville		Helena-Montana	
	Kesme Kuvvti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman
GENİŞ TANK (R=20m , H= 18m)	12393 kN	0.16 m	76 kN	0.00082 m	1310 kN	0.014 m	7994 kN	0.11m	57 kN	0.0008 m	823 kN	0.012 m

Tablo 5.7: Analiz sonuçlarının Karşılaştırılması.

	İzolatör Etkisi		
	Kocaeli Kaydı	Helena-Montana Kaydı	Oroville Kaydı
Kuvvet	%35	%37	%25
Deplasman	%31.5	%14.29	%3

5.6.4. Narin Tank Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 5.8: Narin tank analiz sonuçları.

NARİN TANK (R=20m , H= 30m)	IZOLATORSUZ						IZOLATORLU					
	Kocaeli		Oroville		Helena-Montana		Kocaeli		Oroville		Helena-Montana	
	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman	Kesme Kuvveti	Deplasman
	5021 kN	0.068 m	32 kN	0.00074 m	812 kN	0.0089 m	19 kN	0.00034 m	11.4 kN	0.00021 m	16 kN	0.00021 m

Tablo 5.9: Narin tank analiz sonuçları.

	İzolatör Etkisi		
	Kocaeli Kaydı	Helena-Montana Kaydı	Oroville Kaydı
Kuvvet	%99.8	%99.9	%64.27
Deplasman	%99.5	%97.3	%71.62

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sıvı depolama tanklarının sismik izolasyon uygulamasıyla izolasyonun tanklar üzerindeki etkisi araştırılmıştır

Bir adet geniş ve bir adet narin tank örneği SAP2000 analiz programıyla yapılıp sıvı yüzeyinin serbest olduğu analiz aşamaları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

İki adet tankın zemine ankastre olarak bağlandığı, tank tavanının yüzer ve sıvının sıkışmadığı varsayılmıştır. Ayrıca tank sistemleri Horoun ve Housner'in belirlediği tek serbestlik dereceli model olarak modellenmiştir.

Ele alınan üç farklı deprem kaydı etkisindeki geniş ve narin tanklarda izolatör uygulaması sonucunda

Periyotlarının arttığı, ve buna bağlı olarak deprem periyodundan uzaklaştığı için deprem sonucu oluşan kesme kuvveti, moment ve deplasmanlarında önemli bir azalış olduğu gözlenmiştir.

Geniş tankta; Kocaeli/İzmit, Helena-Montana ve Oroville deprem kayıtları altında kesme kuvvetlerinde deplasmanlarında %30-%35 lere varan azalma olduğu gözlenmiştir.

Narin tankta; Kocaeli/İzmit, Helena-Montana ve Oroville deprem kayıtları altında kesme kuvvetlerinde deplasmanlarında %70-%99 lere varan azalma olduğu gözlenmiştir.

Bir yapının yüksekliği ile periyodu doğru orantılıdır. Ayrıca sismik izolasyon sayesinde yapıların periyodu daha da arttığından yapılar deprem periyodu aralığından uzaklaşmaktadır. Bu sebeple izolatörün narin tanka sağladığı pozitif etki geniş tanka sağladığı pozitif etkiden daha yüksektir.

Buna göre; üçlü sarkaç izolatörlerin tanklar üzerindeki etkisi önemli ölçüde büyüktür. Deprem kuşağında bulunan ülkemizde bir çok tehlikeli olan veya olmayan sıvıyı depolamak için kullanılan tanklarda üçlü sarkaç izolatör ile izolasyon sistemi ile deprem etkileri en aza indirilebilir.

KAYNAKLAR

A.A.A. Sarlis., M.C. Constantinou., (2010) ‘‘Modeling Triple Friction Pendulum Isolators in SAP2000” Structural and Environmental Engineering, University of Buffalo, State Univeristy of New York

Abalı E., Uckan E., (2010) ‘‘Parametric analysis of liquid storage tanks base isolated by curved surface sliding bearings” Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, 21-31.

ASCE (2010) 1: Minimum Design Loads for Building and Other Structures – Part 17: Seismic Design Requirements for Seismically İsolated Structures: American Society and Civil Engineers 7-10

El-Bayoumi.K., (2015) ‘‘Modelling of Triple Friction Pendulum Bearing in SAP2000.” İnternational Journal of Advances in Engineering and Technology, Feb. 8,1964-1971

İsmail M, Rodellar J, Ikhouane F (2010) ‘‘An Innovative Isolation Device for Aseismic Design. Eng. Struct.” 32, 1168-1183

İstanbul Yüksek Yapılar Yönetmeliği, (2008)

Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, (2008)

Malhotra PK. (1997) ‘‘Method for seismic base isolation of liquid storage tanks”. ASCE, Journal of Structural Engineering January; 123(1),50-76

Malhotra PK.,Wenk T., Wieland M., (2000) ‘‘Simple Procedure for Seismic Analysis of Liquid Storage Tanks”., Journal of Structural Engineering January; (3),197-201

Mermer S., (2006) ‘‘Silindirik Sıvı Depolama Tanklarında Sismik İzolasyon Uygulaması”., Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yazıcı G., Çılı F., (2005) ‘‘Silindirik Depoların Sismik Yalıtım Yöntemiyle Depremden Korunması. ” Deprem Sempozyumu, Kocaeli/Türkiye 23-25 Mart 2005

Web 1, (2015), http://www.peer.berkeley.edu, (Erişim Tarihi: 07/06/2015).

Web 2, (2015), http://www.earthquakeprotection.com, (Erişim Tarihi: 09/07/2015).

ÖZGEÇMİŞ

Özge YALÇIN 1990 yılında Edirne'de doğdu. 2008 yılında başladığı Balıkesir Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2012 yılında başarıyla tamamlayarak 2013 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında başladı.