



T. C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİSMİK İZOLATÖRLER İLE DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

ASLIHAN YÜCESOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTAKYA
EYLÜL-2005

Mustafa Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Yrd. Doç. Dr. Selçuk Kaçın danışmanlığında, Aslıhan YÜCESOY tarafından hazırlanan bu çalışma .../.../2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd.Doç.Dr. Selçuk KAÇIN İmza

Üye : Prof.Dr. Gürel ÇAM İmza

Üye : Yrd.Doç.Dr.Faruk Fırat Çalım İmza

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza

.../.../2005

Prof.Dr. Abdurrahman Yiğit

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.....	2
1.2. Sismik İzolasyon Tasarımı.....	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1. Sismik Taban İzolasyonu Sistemlerinin Özellikleri.....	21
3.2. Sismik Taban İzolasyonunun Avantajları.....	22
3.2.1. Ekonomik Maliyet.....	22
3.2.2. Güvenlik ve Depremden Sonra Kullanılabilirlik.....	23
3.2.3. Tasarım.....	23
3.2.4. Taşıyıcı Olmayan Elemanların Güvenliği.....	23
3.3. Sismik Taban İzolasyonunda Kullanılan Elemanlar.....	24
3.3.1. Kauçuk Esaslı İzolasyon Mesnetleri.....	25
3.3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler.....	29
3.3.3. Sürtünme Esaslı İzolasyon Mesnetleri.....	35
3.3.4. Diğer İzolasyon Sistemleri.....	40
3.4. Sismik İzolasyonun Teori Esasları.....	43
3.4.1. Lineer Teori.....	43
3.4.1.1. İki Serbestlik Dereceli Sistemleri İçin Hareket Denklemleri.....	43
3.4.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri.....	48
3.4.2. Sismik İzolasyonlu Yapıların Genel Davranışı.....	49
3.5. Sismik İzolasyon İçin Analitik Çözüm Yöntemi.....	53
3.5.1. Analiz Yönteminin Belirlenmesi.....	53
3.5.1.1. Güçlü Zemin Tipleri İçin.....	53

3.5.1.2. Zayıf Zemin Tipleri İçin.....	53
3.5.2. “Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” e (ABYYHY-98) Göre Eşdeğer Yük Metodu.....	54
3.5.3. Amerikan Standart Yapı Kanunları (UBC-97) Yönetmeliği.....	54
3.5.3.1. Standart Yapı Kanunlarına Göre(UBC-97) Hesap İlkeleri.....	55
3.5.3.2. Mesnedin Disk Çapının Hesabı.....	61
3.5.3.3. İzolasyonlu Yapıda Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı.....	61
3.5.3.4. Burulma Nedeniyle Oluşan Toplam Deplasmanın Hesabı.....	62
3.5.3.5. Efektif Düşey Modülün Hesabı.....	63
3.5.3.6. Düşey Titreşim Periyodunun Hesabı.....	63
3.5.3.7. Düşey Yük ve Kayma Gerilmesinin Hesabı.....	65
3.5.3.7.1.Kayma Gerilmesinin Hesabı.....	65
3.5.3.7.2.Ortak Alan Hesabı.....	65
3.5.3.7.3.Maksimum Düşey Yükün Hesabı.....	66
3.5.3.7.4.Şişme Yükünün Hesabı.....	66
3.5.3.8.Kurşun Çekirdeğin Tasarımı.....	66
3.5.3.9.Çapın Kayma Kontrolü.....	67
3.6.Örnek Yapı Modelinin Tasarımı.....	70
3.6.1.Çalışmada Seçilen Yapı Modelinin Tanımı.....	70
3.6.2.Statik Eşdeğer yük Metoduna Göre Ankastre Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	72
3.6.2.1.Ankastre Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	73
3.6.2.2.UBC-97 Yönetmeliğine Göre Yatay Yükün Hesabı.....	74
3.6.2.3.UBC-97 Yönetmeliğine Göre Ankastre temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması.....	74
3.6.2.4.Hedeflenen Periyot ve Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	75
3.6.2.5.Minimum Yatay Rijitliğin Hesabı.....	76
3.6.2.6.Minimum Deplasmanın Hesabı.....	76
3.6.3.Mesnedin Disk Çapının Hesaplanması.....	77
3.6.4.Sismik İzolasyonlu Sistemin Titreşim Periyodunun Hesaplanması.....	78
3.6.5.Temel Deplasmanın Hesabı.....	79
3.6.5.1.Burulmadan Dolayı Oluşan Toplam Deplasman.....	80
3.6.6.Efektif Düşey Modülün Hesabı.....	80
3.6.7.Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması.....	82

3.6.8.Kayma Gerilmesi ve Düşey Yükün Hesabı.....	82
3.6.9.Ortak Alan Hesabı.....	83
3.6.10.Maksimum Düşey Yükün Hesabı.....	83
3.6.11.Şişme Riskinin Hesabı.....	84
3.6.12.Kurşun Çekirdekli Model Tasarımı.....	84
3.6.12.1.Çekirdek Çapının Hesabı.....	85
3.6.12.2.Yerel Kesme Kuvvetinin Hesabı.....	85
3.6.12.3.Çapın Kayma Kontrolü.....	85
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	86
4.1.Araştırma Bulguları.....	86
4.2.Zaman Tanım Uzayında Analizler.....	86
4.3.Ankastre Temelli Sistemin Analiz Sonuçları.....	89
4.3.1.Ankastre Temelli Sistemin Modlara Göre Titreşim Periyotları.....	89
4.3.2.Ankastre Temelli Sistemde Meydana Gelen Deplasmanlar.....	89
4.4.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Sistemin Analiz Sonuçları...	99
4.4.1.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapının Modlara Göre Titreşim Periyotları.....	101
4.4.2.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapıda Meydana Gelen Deplasmanlar.....	101
4.5.Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi.....	113
5.SONUÇ ve ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	118
EKLER.....	119
Ek 1.....	119
Ek 2.....	125

ÖZET**SİSMİK İZOLATÖRLER İLE DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI**

Bu çalışmada, yapıların sismik taban izolasyonu tekniği ile tasarlanarak, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi incelenmektedir. Çalışmanın giriş kısmında deprem yükleri etkisi altındaki yapı davranışı ve depreme dayanıklı yapı tasarımının genel ilkelerinden bahsedilmiştir. Son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanan sismik izolasyon yöntemi hakkında genel bilgiler verilmiş ve sismik izolasyon çeşitleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Daha sonra yapılarda kullanılan sismik yalıtım malzemeleri tanıtılmış ve ilgili yönetmeliklerle bu malzemelerin boyutlandırılması hakkında bilgiler verilmiştir. Türkiye’de uygulanan deprem yönetmeliğinde bu konu ile ilgili standartlar bulunmadığından diğer ülkelerdeki standartlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu çalışmada “Amerikan Yapı Yönetmeliği” (UBC-97)’nin sismik izolasyon ile ilgili hükümleri dikkate alınmaktadır. Çalışmada ayrıca sismik izolasyonla ilgili daha önce yapılmış olan yapılara ve uygulamalara da yer verilmiştir.

Sismik izolasyonun yapı davranışını göstermek amacıyla 5 katlı örnek bir bina önce ankastre temelli olarak, daha sonra sismik izolasyonlu olarak analiz edilmiş ve zaman tanım alanında deprem kayıtları altında analizleri yapılmıştır. Zaman tanım alanında deprem davranışları için İzmit ve Erzincan depremlerinin ivme kayıtları kullanılmıştır. Taban izolasyonunda kurşun çekirdekli kauçuk taban izolatörleri kullanılması durumuna göre hesaplar yapılmıştır. Mevcut yönetmeliklere göre boyutlandırılan izolasyon mesnetleri için gerekli malzeme özellikler piyasada mevcut firmalar tarafından üretilmiş olan izolasyon mesnetlerinin özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Sismik taban izolasyonunun avantajları ve dezavantajları, yanal ötelenmeler, eğilme momentleri, taban kesme kuvvetleri ve yapı doğal periyodunun aldığı değerler karşılaştırılmıştır.

2005, 115 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sismik İzolatörler, sismik taban izolasyonu, kauçuk izolatör, deprem analizi

ABSTRACT**DESIGN OF EARTQUAKE RESISTANT STRUCTURE WITH SEISMIC
BASE ISOLATION
DESIGN OF EARTQUAKE RESISTANT STRUCTURE WITH SEISMIC
BASE ISOLATION**

This study is focused on the seismic base isolators to be used for earthquake resistant structure and also their applications. In the first part of study is mentioned general information about earthquake and earthquake engineering, behaviors of structures under the earthquake loading, basic principle of earthquake resistant of building. Then seismic isolators material properties and types of seismic isolators are discussed. The basic principle of seismic isolation is transmitted from the ground or foundation to the structure for control of the earthquake energy. Turkish Earthquake code is not included any information and rules about seismic base isolation. Because of this, Uniform Building Code of USA (UBC 1997) is used in this study.

A theoretical five story plane frame is selected for numerical solution. The time history analyses are carried out for a five story example building firstly, for the fixed-based and secondly for the seismic-isolated with lead rubber bearing. The time history analyses are carried out by utilizing both of the Marmara Earthquake (1999) and Erzincan Earthquake (1992) acceleration records. The displacements, bending moments, base shears, structural periods have been determinate for a variety of conditions in order to illustrate the relative advantages of the seismic base isolation.

2005,s115

Key Words: Seismic isolators, Seismic base isolation, lead rubber bearing, earthquake resistant structure

III

ÖNSÖZ

Çeşitli tahminlere göre dünya üzerinde her yıl milyonlarca deprem meydana gelmektedir. Türkiye aktif deprem bölgesindedir ve Türkiye’de büyük depremler meydana gelmektedir. Dünyanın sismik haritasına göre, Türkiye’nin %98’i aktif deprem bölgesidir ve canlı nüfusunun %95’i, endüstri yapılarının %98’i ve barajlarının %93’ü deprem riski altındadır.

58 yıl önce Türkiye’de depremden dolayı 58.200 insan hayatını yitirmiş, 122.000 insan yaralanmış ve 412.000 bina çökmüş ya da önemli hasara uğramıştır. Son yıllarda meydana gelen büyük depremlerden sonra ülkemizde de deprem bilinci artmıştır. Yapıların depreme karşı dayanıklı tasarımı üzerinde durulmakta ve mevcut eski yapılarda da güçlendirme çalışmaları yürütülmektedir. Fakat depremin yıkıcı sonuçlarından dolayı son yıllarda yapılan araştırma ve çalışmalar sonucunda deprem tasarımı için yeni teknikler geliştirilmekte ve bu teknikler, depreme dayanıklı yapı tasarımından daha çok uygulama alanı bulmaktadır. Bu yeni teknik yapıların depreme karşı sismik izolasyon yöntemi ile tasarlanmasıdır. Sismik izolasyon tasarımının esası, sismik izolatörler vasıtasıyla yapıların dinamik özelliklerinin değiştirilerek, depreme karşı güvenliğinin sağlanmasıdır. Oldukça yeni bir teknik olan bu yöntem yabancı ülkelerde başarı ile uygulanmakta ve depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni ufuklar açmaktadır. Özellikle okul, hastane, askeri binalar, yönetim binaları vb. özel yapıların depremlerden hasar almadan kurtulması oldukça önemlidir. Bazı ülkelerde bu tür yapılarda sismik izolasyon uygulanması zorunlu hale bile getirilmiştir. Ülkemiz için oldukça yeni olan sismik izolasyon yönteminin araştırılması ve yapı davranışları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bu tez hazırlanmıştır.

Bu çalışmada seçilen bir yapı üzerinde İzmit ve Erzincan depreminin ivme kayıtlarından yararlanılarak dinamik analizler yapılmıştır. Yapı hem ankastre temelli hemde izolasyonlu olarak ayrı ayrı modellenmiş ve izolatörlerin yapı davranışına etkisi araştırılmıştır. Analizler sonucunda sismik izolasyonun yapı üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri karşılaştırmalı olarak açıklanmaktadır.

IV

Yüksek Lisansım boyunca çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN'a, çalışmalarım süresince katkılarını asla unutmayacağım ve değerli fikirleriyle beni aydınlatan sayın Yrd. Doç. Dr. M.Cemal GENEŞ'e, Yüksek Lisansa başlamam konusunda fikir ve desteklerini aldığım Özgür DOĞAN ve çok değerli Ailesi'ne, tez çalışmam sırasında hiçbir konuda yardımını esirgemeyen ve büyük bir özveriyle desteğini almış olduğum ve bilgilerinden faydalandığım sayın İnşaat Yük. Müh. Ercan YOZGAT'a (KTÜ), ayrıca bilimsel ve kaynaklara ulaşmamda yardımcı olan ve her konuda samimiyetini gördüğüm PARLAR Mühendislik Müşavirlik LTD.ŞTİ. 'nin Çok değerli Yöneticisi Sayın İnşaat Yük. Müh. Niyazi PARLAR'a ve çalışmalarım boyunca benden manevi desteğini esirgemeyen sevgili Ailem'e yürekten teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A_0	Etkin Yer İvmesi
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
c	Sönüm
C	Sönüm Matrisi
C_A, C_v	Sismik Zemin Katsayısı
D	Yatay Deplasman
d	Yerdeğiştirme
DBE	Tasarlanan Maksimum Deprem Yüğü
d_D	Tasarım Deplasmanı
d_M	Maksimum Deplasman
d_{tD}	Toplam Tasarım Deplasmanı
D_y	Plastik Deplasman
E	Elastisite Modülü
F_i	i Katınca Taşınan Sismik yük
F_r	İç Yaylardaki Moment
F_u	İç Yaylardaki Kuvvet
G	Kayma Modülü
H_i	i Katının Yüksekliği
I	Yapı Önem Katsayısı
k	Rijitlik
K	Rijitlik Matrisi
k_1	Elastik rijitlik
k_2	Akma Sonrası Rijitliği
k_{eff}	Efektif Rijitlik
K_u, k_r	İç Yayların Lineer Rijitlik Katsayıları
k_γ	Düşey Rijitlik
m	Kütle
M	Kütle Matrisi
m_b	Dengeleyici Kütle
MCE	Tasarlanan Efektif Deprem Yüğü
M_M	Meydana Gelebilecek Maksimum Deprem Katsayısı
N_a, N_v	Sismik Kaynak Faktörü
Q	Kurşunun Akma Gerilmesinden Hesaplanan Karakteristik Kuvveti
R	İç Bükey Eğrilik Yarıçapı
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
S	Spektrum Katsayısı
S	Şekil Katsayısı
S_D	Bölge Zemin Tipi
t	Elastomer Mesnet Yüksekliği
T	Periyot
T_D	Titreşim Periyodu
T_{eff}	Efektif Periyot
T_v	Düşey Periyot

IV

u	yerdeşiştirme vektörü
UBC-97	Amerikan Standart Yapı Kanunları
V_t	Taban Kesme Kuvveti
W	Yapı Ağırlığından Doğan Düşey Yük
W_i	i Katınca Taşınan Sismik Ağırlık
Z	Zemin Tipi
β	Sönüm Faktörü
γ_v	Düşey Yükten Doğan Kayma Gerilmesi
Δ_t	Düşey Delasman
λ	Modal Bağlantı katsayısı
τ_y	Kayma Gerilmesi
ω	Açısal Frekans

VII

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1.1995 Kobe Depremi hissedilen deprem şiddeti.....	7
Çizelge 3.1 Sismik İzolasyonun Uygulamaları.....	18
Çizelge 3.2.Sismik Kaynak Tipi.....	56
Çizelge 3.3 Sismik Zemin Faktörü(Z).....	57
Çizelge 3.4 Meydana Gelebilecek Maksimum Deprem Katsayısı.....	57
Çizelge 3.5 Sismik Deprem Katsayısı(Ca).....	58
Çizelge 3.6 Sismik Deprem Katsayısı(Cv).....	58
Çizelge 3.7 Kritik Sönüm Oranı(β).....	69
Çizelge 3.8 Sismik Zemin Katsayısı(C _{VM}).....	69
Çizelge 3.9 Sismik Zemin Katsayısı(C _{AM}).....	69
Çizelge 4.1. Ankastre Mesnetli Yapıda İzmit ve Erzincan Depremi İvme Kayıtları Altında Analiz Sonuçlarından Elde Edilen Modlara Göre Titreşim Periyodları.....	89
Çizelge 4.2. Ankastre Temelli Yapıda İzmit Depremi İvme Kayıtları yüklemesi soncunda Meydana Gelen Yerdeğiştirmeler.....	89
Çizelge 4.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapı Sisteminin İzmit ve Erzincan Depremi İvme Kayıtları Altında Mod Şekillerine Göre Titreşim Periyodları.....	101
Çizelge 4.4. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapı Sisteminde İzmit Depremi İvme Kayıtları Altında Meydana Gelen Deplasmanlar.....	102
Çizelge 4.5. İzmit Depremi İvme Kayıtları Altında Ankastre Temelli Yapı İle Sismik İzolasyonlu Sistemde Meydana Gelen Eksenel Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	111
Çizelge 4.6. İzmit Depremi İvme Kayıtları Altında Ankastre Temelli Yapı İle Sismik İzolasyonlu Sistemde Meydana Gelen Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	111
Çizelge 4.7. İzmit Depremi İvme Kayıtları Altında Ankastre Temelli Yapı İle Sismik İzolasyonlu Sistemde Meydana Gelen Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	112

VIII ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Yapıların Yük Etkisi Altında Davranış Eğrisi.....	5
Şekil 1.2. Yapılarda Periyodun Büyütülerek İvme ve sönüm Değerlerinin Değiştirilmesi.....	6
Şekil 1.3. Sismik İzolasyon Uygulanmış Sistemlerde Enerji Sönümleme Eğrisi.....	7
Şekil 3.1. Atatürk Havalimanı çatı makaslarında kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü.....	19
Şekil 3.2. Hayward City Hall’de kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatör Mesnet.....	21
Şekil 3.3. Ankastre mesnetli yapı ile taban izolasyonlu yapının deprem sırasında hareketi.....	24
Şekil 3.4. Düşük Sönümlü çelik tabakalı kauçuk mesnet	27
Şekil 3.5. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet.....	29
Şekil 3.6. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Kesiti.....	30
Şekil 3.7. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet ve yük deplasman eğrisi.....	31
Şekil 3.8. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin yapıya uygulanması.....	34
Şekil 3.9. Sürtünmeli sarkaç mesnedi.....	37
Şekil 3.10. Çapraz raylı izolatörlerin yapıya uygulanması.....	40
Şekil 3.11. Spiral yaylı izolasyon mesnedi.....	42
Şekil 3.12. İki Serbestlik Dereceli İzolasyonlu Sistemde Parametreler.....	43
Şekil 3.13. İki Serbestlik Dereceli Sistemde Katların Birbirlerine Göre Yerdeğiştirmesi.....	43
Şekil 3.14. İki Serbestlik Dereceli Taban İzolasyonlu Yapı Modeli.....	50
Şekil 3.15. Taban İzolasyonlu ve Ankastre Mesnetli Modellerin 1. Mod Şekillerinin Karşılaştırılması.....	51
Şekil 3.16. Sismik Taban İzolasyonlu Yapının 1. Mod Şekli.....	52
Şekil 3.17. Sismik Kaynak Faktörü.....	56
Şekil 3.18. UBC-97’ye Göre Spektrum Eğrisi.....	56
Şekil 3.19. Sönüm İndirgeme Faktörü.....	59

IX

Şekil 3.20.	Dönme Etkisiyle Oluşan Eksantrisite Grafiği.....	63
Şekil 3.21.	Dairesel Kauçuk Kesitin Parabolik Basınç Kuvveti Dağılımı.....	63
Şekil 3.22.	Kayma Deplasmanı d_D ve Ortak Alan A'	66
Şekil 3.23.	Temel Histeresis Eğrisinin Parametreleri.....	68
Şekil 3.24.	Seçilen Yapı Modelinin Perspektifi.....	71
Şekil 3.25	Her bir İzolatör Mesnedinin Taşıdığı Yük Miktarı.....	71
Şekil 3.26.	İzolatör Mesnet Detayı.....	81
Şekil 4.1.	İzmit ve Erzincan Depremi Doğu-Batı ve Kuzey- güney yönlerinde ivme kayıtları.....	88
Şekil 4.2.	Ankastre temelli sistemde A-A Aksı üzerinde İzmit Depremi ivme kayıtları altında 6. düğüm noktasının deplasman grafiği.....	90
Şekil 4.3.	Ankastre Mesnetli Sistemde, 1.Mod Şeklinde A-A Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemeleri sonucu Oluşan Yerdeğiştirmeler	91
Şekil 4.4.	Ankastre Temelli Sistemde 1. Mod Şeklinde D-D Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemeleri Soncu Oluşan Yerdeğiştirmeler.....	92
Şekil 4.5.	Ankastre Mesnetli Sistemde A-A Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemesi sonucu Oluşan Eksenel Kuvvetler.....	93
Şekil 4.6.	Ankastre Mesnetli Sistemde D-D Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemesi sonucu Oluşan Eksenel Kuvvetler.....	94
Şekil 4.7.	Ankastre Mesnetli Sistemde A-A Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemesi sonucu Oluşan Kesme Kuvvetleri.....	95
Şekil 4.8.	Ankastre Mesnetli Sistemde D-D Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemesi sonucu Oluşan Kesme Kuvvetleri.....	96
Şekil 4.9.	Ankastre Mesnetli Sistemde A-A Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemesi sonucu Oluşan Momentler.....	97
Şekil 4.10.	Ankastre Mesnetli Sistemde D-D Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem Yüklemesi sonucu Oluşan Momentler.....	98
Şekil 4.11.	Sismik izolasyonlu sistemin enerji sönümlene eğrisi.....	100
Şekil 4.12.	Sismik izolasyonlu sistemde A-A aksı üzerinde İzmit depremi ivme kayıtları altında 5.kat uç düğüm noktasının deplasman grafiği.....	102
Şekil 4.13.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde 1. mod şeklinde A-A Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Yüklemesi sonucu Oluşan Yer değiştirmeler.....	102
Şekil 4.14.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde 1. mod şeklinde D-D Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem kayıtları sonucunda Oluşan yerdeğiştirmeler.....	103

Şekil 4.15.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde A-A Aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda meydana gelen eksenel kuvvetler.....	104
Şekil 4.16.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde D-D Aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda meydana gelen eksenel kuvvetler...	105
Şekil 4.17.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde A-A Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem kayıtları sonucunda meydana gelen kesme kuvvetleri.....	106
Şekil 4.18.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde D-D Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem kayıtları sonucunda meydana gelen kesme kuvvetleri.....	107
Şekil 4.19.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde A-A Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem kayıtları sonucunda Oluşan Momentler.....	108
Şekil 4.20.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemde D-D Aksı Üzerinde İzmit ve Erzincan Deprem kayıtları sonucunda Oluşan Momentler.....	109

ÖZGEÇMİŞ

1979 Tunceli’de doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Tunceli’de tamamladım. 1998 yılında girmiş olduğum Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden, 2002 yılında İnşaat Mühendisi ünvanıyla mezun oldum. Aynı yıl yine Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Eğitimine başladım. 2002-2003 yılları arasında Netaş İnş.Tic.Ltd.Şti.’de şantiye şefi olarak görev aldım. 2003- 2004 yıllarında Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.de Müşteri Danışmanlığı görevini yaptım ve 2005 yılı başlangıcı itibarı ile Tunceli’de Aşkın Hazır Beton Tesislerinde Şantiye şefi olarak görev yapmaktayım.

1.GİRİŞ

Yapılar ekonomi, emniyet ve estetik koşullar altında tasarlanıp inşa edilirler. Yapıların bu koşullara göre projelendirilebilmesi için, yapının ömrü boyunca maruz kalacağı yük yada yük etkileri, gerçeğe en yakın şekilde belirlenebilmelidir. Yapı başlangıçtan itibaren kendi ağırlığını taşımaya başlamaktadır. Yapı öz ağırlığı ve ölü yük olarak tabir edilen kalıcı bu yükler yönetmelik ve belirlenmiş standartlar ışığında hesaplanabilmektedir. Hareketli yük olarak belirtilen diğer yük etkileri, yapıda kalıcı olmadıkları için statik yük olarak dikkate alınabilmektedirler. Yapılara etkiyen diğer yükler ise zamana bağlı olarak büyüklüğü değişen, dinamik yüklerdir. Yapılarda dinamik yük etkisi oluşturan çeşitli nedenler vardır. Eksantrik makinelerin çalışmasından dolayı oluşan titreşimler, patlamalar, darbe etkileri, rüzgâr ve depremler nedeniyle, yapılar dinamik yüklerin etkisine maruz kalırlar. Ancak bu yüklerden en kritik ve tehlikeli olanı deprem yüküdür. Deprem sebebiyle her yıl dünyada pek çok yapı hasar görmekte ve pek çok insan ölmektedir.

Depremler sırasında zeminde oluşan titreşim hareketleri, temelde ani ötelenme ve dönmelere neden olmaktadır. Üst yapıda ise temelde oluşan bu harekete zıt yönde atalet kuvvetleri meydana gelmekte ve yapı elemanlarında oluşan iç kuvvetler, deprem süresince yapıdaki hareketten dolayı çeşitli değerler almaktadırlar. Bu sebeple deprem süresince yapılarda oluşabilecek maksimum kuvvetlerin hesaplanması gerekmektedir. Hareketin karmaşıklığı ve üstyapıyı etkileyen parametrelerin çokluğu göz önüne alındığında bu etkilerin tam olarak belirlenebilmesinin zorluğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle bir takım kabuller yapılarak yapılar tasarlanmaktadır.

Dünyanın pek çok ülkesinde büyük bir tehdit haline gelen depremlerin yıkıcı etkilerinden yapıları koruyabilmek için, pek çok depreme dayanıklı yapı tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu tasarım yöntemlerinde, yapılar şiddetli depremler esnasında, kendilerine etkiyen deprem kuvvetlerine dayanabilecek kadar güçlü inşaa edilmeli, yada deprem kuvvetleri altında en azından yapının tamamen göçmesini önleyebilecek kadar sünek tasarlanmış olmalıdırlar. Bu tasarım ilkesine göre, can kaybının önlenmesi suretiyle, oluşabilecek en şiddetli deprem karşısında, yapının yapısal elemanlarında ileri düzeyde hasar meydana gelmesi olasıdır. Buda yapının çökebilirliği anlamına gelmektedir ki can güvenliği yapının çökmesi ile sağlanamaz.

Depreme dayanıklı yapı tasarımına alternatif olarak “Sismik İzolasyon Sistemleri” olarak adlandırılan yöntemler geliştirilmiş ve dünyada pek çok gelişmiş ülkede başarıyla uygulanmıştır. Sismik izolasyon yöntemlerinin ana fikri; yapıların dinamik özelliklerinin değiştirilerek, depremler esnasında yapıya aktarılan yüklerin ve ivmelerin indirgenmesini sağlamaktır. Söz konusu olan bu yöntemlerle yapıların periyodu, sönümü ve yer değiştirme miktarları gibi dinamik özelliklerine müdahale edilebilmektedir, yapıya deprem hareketi esnasında esneklik sağlamak ve depremin yıkıcı etkilerinden uzaklaştırmaktadırlar. Sismik izolasyon sistemleri iki ayrı grupta incelenebilir. Aktif ve pasif izolasyon sistemleri. Pasif kontrol yöntemleri herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymadan enerji yutan sistemlerdir. Kauçuk esaslı izolatörler, sürtünmeli sarkaçlar, yaylar vb. sistemler bu sistemlere örnek olarak sayılabilir. Aktif kontrol sistemlerinde ise sistemde hazır bulundurulmuş dış enerji kaynakları kullanılarak yapıya daha önce belirlenen şekilde kontrol kuvvetlerinin uygulandığı sistemlerdir.

1.1. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI:

Yapıların tasarımı ve detaylandırılması genel olarak kuvvet etkisi altında, yapı güvenliğinin sağlanması ve büyük zorlanmalar karşısında işlevini yitirmemesi öngörülerek yapılır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapılar taşıyabilecekleri maksimum yüklere göre dizayn edilirler. Yapı güvenliğinin sağlanması beklenen yükün üzerinde bir hesap yükü kullanılarak taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasıyla gerçekleştirilir. Türkiye’de “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” fikrinin ana ilkeleri “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte (ABYYHY-98) şöyle yer almaktadır; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabılır düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen yada tamamen göçmesinin önlenmesidir.

Bu yönetmelikte depremin yapıya enerji yüklemesi yaptığı düşünülür, yapının maruz kaldığı enerji, yapı içinde tüketilerek dengelenmelidir. Yapının ötelenmesi, betonun çatlaması, donatının akması, eğilme ve kayma çatlaklarının oluşması v.b. olayların hepsi enerji tüketimidir. Deprem enerjisinin tamamı yapı içerisinde tüketilmeli

fakat bu süreçte yapıda çökme meydana gelmemelidir. Diğer bir deyişle, yapı hasar görebilir fakat can kaybına sebebiyet verecek kısmi ya da tamamen çökme meydana gelmemelidir.

Bu davranışların sağlanabilmesi içinde yapının tasarım fikri yine ABYYHY-98’de ifade edilmiştir. Buna göre tasarım aşamasında yapıda hasar meydana gelebilecek fakat göçmeye yol açmayacak şekilde, yatay taşıyıcılarda hasara müsaade edilirken, düşey taşıyıcı olan kolonlarda hasarın engellenmesi ile yapı göçmesi engellenir. Bu koşulları sağlayacak hükümler ABYYHY-98’de , “Depremde Sınır Konumlar” olarak tanımlanmaktadır. Depremde sınır konumlar ise üç temel esasta tanımlanmıştır:

- (1) Kullanılabilirlik sınır konumu
- (2) Kontrollü hasar sınır konumu
- (3) Göçme olmaması sınır konumu

Kullanılabilirlik sınır konumu, düşük şiddetteki depremlerde yapıda hasarın oluşmamasını öngörmektedir. Sismik kuvvetler altında oluşan yatay ötelenmeler sınırlandırılmalı ve ötelenmeler önemli proje kriterleri arasında olmamalıdır.

Kontrollü hasar konumu, orta şiddette bir deprem oluşumunda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda onarımı ekonomik olabilecek seviyede hasara tekabül eden sınırları belirtmektedir. Deprem sonrasında onarım gerektirecek geniş çatlaklar ve donatıda akma meydana gelebilir, betonda ezilmeler olabilir.

Göçme olmaması sınır durumunda, yüksek şiddette meydana gelebilecek deprem oluşumu göz önünde tutulur. Yapı taşıyıcı sistemi ekonomik sınırlar dâhilinde onarıma müsait olmayabilecek kadar hasara müsaade edilir. Elastik ötesi şekil değiştirmeler ve taşıyıcı olmayan elemanlarda büyük ölçüde hasar meydana gelebilir. Taşıyıcı sistemin yanal ötelenme rijitliğinde büyük azalma olabilir, fakat sistemin düşey stabilitesi kaybolmamalıdır. Taşıyıcı sistem çökmemeli ve can kaybı olmamalıdır.

Bu koşullardan sonra depremde taşıyıcı sistemin önem kazanan özellikleri ifade edilmektedir. Yapı “Rijitliği”, “Dayanımı” ve “Sünekliği” deprem davranışına etkileyen sistem özellikleri olarak tanımlanmıştır. Yapı rijitlik hesabı ve dayanımı en olumsuz yüklemeler esas alınarak formülize edilmiş ve süneklik; yapı enerji tüketme kapasitesi olarak ifade edilmiştir.

ABYYHY-98’de yapıların depreme karşı olumsuzluk nedenleri arasında, tasarım ve yapım aşamasında kaçınılması gereken düzensizlikler ifade edilmiş ve “düzensiz binaların” tanımı yapılmıştır. Planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar ABYYHY-98, Bölüm6’da, Tablo 6.1’de belirtilmiştir. Bölüm 6’da yapı geometrisinin deprem davranışıyla ilişkisi şöyle ifade edilmektedir:

- (1) Basit ve düzenli plan geometrisi tercih edilmelidir. T ve L şekilli planlar, dilatasyon derzleriyle düzenli şekillere bölünmelidir.
- (2) Plan geometrisi, olabildiğince simetrik olmalıdır. Simetrisi bozuk plan geometrisine sahip olan yapılarda önemli kat burulmaları meydana gelebilir. Kat burulmasına maruz kalmış yapıların davranışını kestirmek zordur.
- (3) Düşey taşıyıcılar, bütünlüğü olan bir temel sistemi ile her iki asal yönde birbirilerine bağlanmalıdır. Kısmen kaya, kısmen de toprak üzerine oturan temellerden kaçınılmalıdır.
- (4) Çerçeveler ve perdeler, gerek planda, gerekse yapı yüksekliğince katlar arasında, yatay rijitlikte simetri bozukluğuna ve rijitlik sıçramalarına yol açmayacak şekilde yerleştirilmelidir
- (5) Yapı yüksekliğince gerek geometride, gerekse rijitlikte simetri bozukluğu olmamalıdır.

Tablo 6.1’de belirtilmiş olan düzensizlik durumuna ilişkin koşullar kısaca şöyle ifade edilebilir:

- (1) Planda Düzensizlik Durumları (Burulma düzensizlikleri, döşemem boşlukları, planda çıkıntıların olması, taşıyıcı elemanların eksenlerinin çakışmaması vb.)
- (2) Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları (zayıf kat, yumuşak kat, düşey eleman düşeysizlikleri vb.)

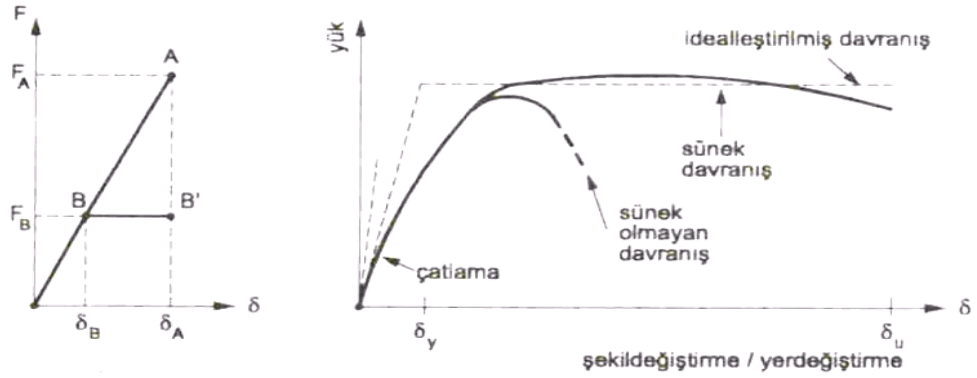
ABYYHY-98’de bahsedilmiş olan depreme karşı yapı tasarımının diğer bir önemli hususu da, yapının üzerine oturduğu kara parçası olan zemindir. Burada bir tür zemin-temel-yapı etkileşiminin göz önünde bulundurulması istenmektedir. En basit ifadesiyle yapı-zemin etkileşimi; yapının şekil değiştirmesinin zemin gerilmelerini ve zeminin deformasyonunun da, yapı iç kuvvetlerini etkilemesidir. Zemin teorik olarak modellenmiş ve Winkler yayları olarak tanımlanan elastik ve doğrusal yay davranışları kullanılmıştır. Zemin lineer ve elastik bir yay olarak, değişik zemin gruplarını temsil eden “zemin yatak katsayıları” ifade edilerek modellenir. Zemin yatak katsayısı, belirli zemin

özelliklerine sahip zeminlerin, yük taşıma ve çökme özelliklerini ifade eden ve deneysel olarak bulunmuş değerlerdir.

ABYYHY-98'de Bölüm 6'da değişik zemin grupları için yatak katsayıları tablo olarak verilmiştir.

1.2.SİSMİK İZOLASYON TASARIMI:

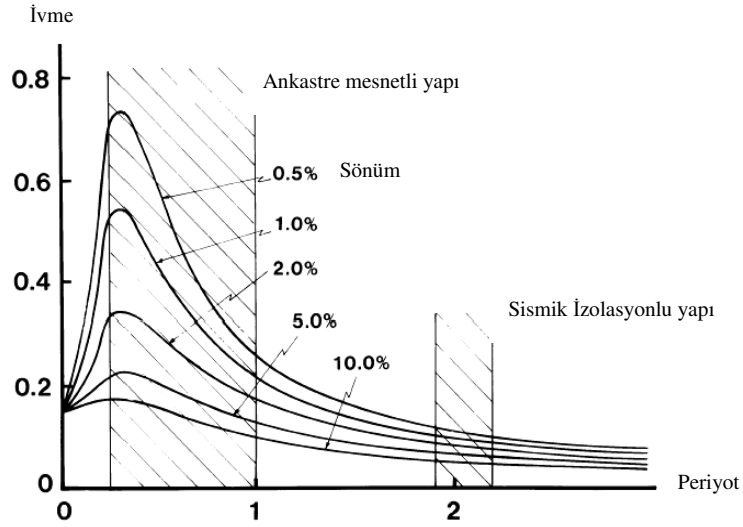
Depremler sırasında zeminde gelişigüzel dalga hareketlerinin meydana gelmesi, yapılara büyük zararlar verebilmekte ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, arttırılan yapı rijitliğinin sonucunda yapı elemanlarının boyutları büyümekte ve yapı rijitliği artmaktadır. Zira sünekliliğin düşmesi yapının elastik olmayan bir özellik kazanmasına sebep olur. Ve şiddetli depremler sırasında, bu şekilde tasarlanmış olan bir yapının şekil değiştirmesi ani ve hızlı gerçekleşmektedir. Bu yapılar için istenmeyen bir özelliktir.



Şekil 1.1. Yapıların Yük Etkisi Altında Davranış Eğrisi

Bu nedenle depreme karşı tasarımda yeni fikirler uygulama bulmuş ve gelişmiş ülkelerde başarıyla uygulanmıştır. Sismik izolasyonun ana ilkesi; yapı ile zemin arasına, yanal rijitliği düşük elemanlar koyarak binayı depremlerin yıkıcı etkilerinden korumak ve yapının doğal titreşim periyodunu arttırmaktır. Yapı elemanlarının rijitliği küçük seçilerek, titreşim periyodu belirli aralığa getirilerek deprem etkilerini azaltmak mümkündür. Bunun sağlanması için yapının doğal titreşim periyodunu, bölgenin hakim

periyodundan uzak tutarak rezonans olayı önlenmelidir. Yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı, kayalık sert zemin bölgelerinde hakimdir, yani temel olarak; uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgelerde, kısa periyotlu rijit, az katlı yapılar uygun düşer, zemin periyodunun kısa olduğu bölgeler de çok katlı yapılar için uygundur. Ancak yapıya ilave edilen yer hareketi yalıtım düzenekleri ile yapının dinamik davranışını değiştirilerek, deprem kuvveti azaltılabilir (Celep ve Kumbasar, 2000).



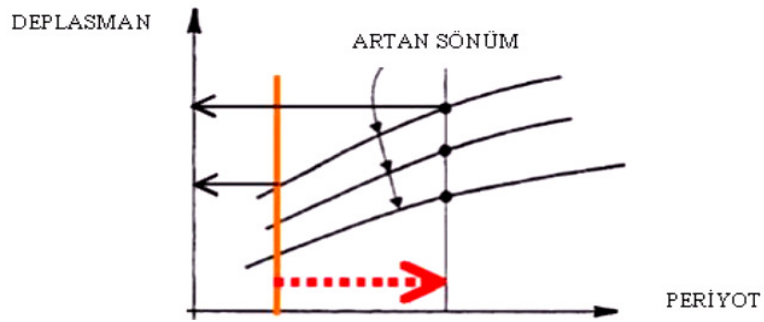
Şekil 1.2. Yapılarda Periyodun Büyütülerek İvme ve Sönüm Değerlerinin değiştirilmesi

Yapılan deneylerden elde edilmiş olan sonuçlar çerçevesinde, sismik izolasyon kullanılan yapılarda katlar arası yer değiştirme oranının minimum seviyelere düştüğü gözlenmiştir. Bu davranışın sonucu olarak, yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlardaki deformasyonların minimum seviyede kaldığı ve dolayısıyla yapı elemanlarının depremin yatay kuvvetinden ve ivmelenmeden minimum seviyede etkilendikleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak sistemin periyodundaki artmadan dolayı, yüksek titreşim periyotlarında yapıya etkiyen ivmelerin azaldığı görülmüştür. Böylelikle, esneklik kazanmış olan sistem daha fazla yer değiştirme yapabilmektedir. Bu da sistemin enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır. 1995 Kobe depreminde, Batı Japon Posta Servisi Bilgisayar Merkezi Binasında meydana gelen etkin yer ivmesi ölçülmüş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Çizelge 1.1.1995 Kobe Depremi Hissedilen Deprem Şiddeti (14 Aralık 2003 dusi İstanbul Sempozyumu)

Yer	Deprem İvmesi	İzolasyonlu Sistemde Ölçülen İvme
Zemin	0,27g	0,30g
6.Kat	0,97g	0,10g

6 katlı ve 120 adet sismik izolatör ile tasarlanmış olan bu yapıda, elde edilen bulgular ışığında, yapıya uygulanmış olan sismik izolasyonun, depremin etkisini yaklaşık olarak on kat kadar azalttığı görülmektedir. Devam eden araştırmalar neticesinde sismik izolasyonlu yapılarda etkin yer ivmesinin hissedilir derecede indirildiği görülmüştür.



Şekil 1.3. Sismik İzolasyon Uygulanmış Sistemlerde Enerji Sönümleme Eğrisi

Sismik izolasyon teknikleri enerji absorpsiyonu ve yalıtımda kullanılan malzemeler ile, sismik enerji sönümleyici ve sismik taban izolasyonu olarak incelenebilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sismik izolasyon fikri ilk defa, Tokyo Üniversitesi'nde, Doktor Milne (1875-1985) tarafından geliştirilmiş olan sismik taban izolasyonu ile başlamıştır. Doktor Milne, örnek bina inşaatında 25 cm çapında bilyeler kullanarak yapıyı zeminden ayırmış ve hafif depremler süresince memnun edici sonuçlara ulaşmıştır. Bu yöntem çok basit olmasına rağmen pratik ve kullanılabilir olamamıştır. Çünkü bilyeler üzerinde duran yapı rüzgâr yükü etkisiyle bile kolayca hareketlenebilmiş ve herhangi bir yükleme sonrasında ilk konumuna dönememiştir. Daha sonra taban izolasyonunda kullanılan bilyelerin çapı 2,5cm'ye düşürülmüş ve sonuç daha memnun edici olmuştur. Fakat yapı deprem sonrası ilk konumuna dönme mekanizmasına sahip olmadığı için pek kullanım alanı bulamamıştır.

Daha sonraları 20.yüzyılın başlarında, yapıların deprem kuvvetleri etkisinden korunabilmesi için pek çok çalışmalar yapılmış ve farklı sistemler geliştirilmiştir. Sonrasında İngiltere'de yaşayan Doktor J.A. Calantarients, 1909 yılında binaların yapımı sırasında, yapı altına talk, mika veya kum bir tabakadan oluşan katmanın eklenmesi durumunda, yapıların hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek olacağını ve bu sayede de yapıya transfer olacak kuvvetin azaltılabileceğini savunmuştur. Bu önerilen yöntem tamamıyla yapının zeminden yalıtılarak deprem kuvvetlerinin etkilerinden korunmasına dayanır (Naeim ve Kelly,1999).

Son yıllarda J.M. Kelly bu konuyu ayrıntılarıyla ele almış bir bilim adamıdır. California Berkeley Üniversitesinde çalışmalarını sürdüren Kelly, özellikle elastomerik mesnetler üzerinde, teorik ve uygulama bazında ayrıntılı çalışmalar yapmıştır. (Naeim ve Kelly,1999).

Kauçuk izolatörler üst yapı ile temel arasında yerleştirilerek zemin titreşimlerinin yapıyı etkilememesi için üst yapıyı temelden ayırmak suretiyle yapının enerji yutma kapasitesi ile esnekliğini arttırmak ve temelden yapıya iletilen yatay ivmenin azaltılmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. 1956'da İngiltere'de bir köprüde (Pelham Bridge in Lincoln) tabakalı doğal kauçuk izolatörler ısısal genleşmeye karşı kullanılmıştır. (Soong ve Constantinou, 1994).

Yapıları depremlerin etkilerinden korumaya yönelik çalışmalar 1920'li yıllarda uygulamaya geçirilmiştir. Fakat modern anlamda sismik izolasyonun uygulanması 1960'lı

yıllarda olmuştur. 1970’de Yugoslavya Skopje’ de bir ilkokulda ilk defa kauçuk izolatörler kullanılmış ve taban izolasyonu teknolojisine yeni ve tartışılır yaklaşımlar getirilmiştir (Kelly,1986). Söz konusu ilkokul binası üç katlı bir betonarme yapı olup 1969’da tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak kullanılan kauçuklar arasında tabakalı halde çelik levhalar bulunmadığından düşey yönde istenilen rijitlik elde edilememiştir. Kullanılan izolatörler şimdikinden farklı olarak sadece kauçuk bloklardan ibarettirler. Zira kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi olarak sorunlar oluşmuştur. 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 araya çelik levhalar atılarak düşey rijitlik büyük oranda arttırılmış ve bahsi geçen sıçrama problemi asılmıştır. Kauçuk izolatörler, pahalı olmadıkları gibi, sürekli ve emniyetlidir. İzolatörler düşey doğrultuda çok rijit ve yatay doğrultuda çok esnekler. Sismik yükler altında davranışları göz önüne alındığında, ayırıcı mesnetlerin deprem yer hareketinin düşey bileşenlerine karşı bir koruyuculuğu yoktur. Düşey bileşeni yapıya iletir. Asıl amaç deprem hareketinin yatay bileşeninden yapıyı korumaktır. Çünkü düşey ivme genelde düzenli bir yapı için problem olmaz.

Doğal kauçuğun yaygın olarak kullanımı ise, 1970 yılında Malezya Kauçuk Üretimi ve Araştırma Birliği tarafından kauçuk mesnetlerin geliştirilmesiyle başlar. Bu mesnetler köprü ayaklarının zeminden yalıtımında kullanılmış ve daha sonra yapıların taban yalıtımında kullanım alanı bulmuştur. Aynı yıllarda ilk defa kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılması için çalışmalar başlatılmıştır. Yeni Zellanda’da uygulanan bu sistem (kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler) , Japonya’da bir çok yapıda ve Amerika’da kullanım alanı bulmuştur (Kelly,1988). Gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan sistemin geliştirilmesi için özellikle Japonya’da birçok şirket tarafından önemli çalışmalar yapılmaktadır

Bir diğer sismik izolasyon yöntemi olarak önerilen sürtünmeli sistem taban izolasyon sistemi, bir sürtünmeli kayan mekanizmadan ibarettir. Yatay sürtünme kuvvetleri, enerjiyi yok eder ve harekete karşı koyar. Bina temelinde bir silindir veya bir kum tabakası kullanımı bu sisteme verilebilecek en basit örnektir. Özellikle Çin’de az katlı yapıları depreme karşı korumak amacıyla geliştirilmiştir. Mostaghel ve Tanbakuchi (Mostaghel, 1983), Kelly ve Beucke 1983 sürtünmeli sistemin deprem ve sinüzoidal (dalga seklinde) hareketler altındaki davranışları incelenmiştir. Sürtünmeli izolasyon

sistemlerinin geleneksel kauçuk mesnet sistemlerine göre; geniş frekans dağılımı için etkili olabilmesi, sürtünme kuvveti temelde meydana gelirken kayan mesnedin rijitlik merkezi ve kütle merkezi yapının kütlesi ile orantılı olabilmesi ve simetrik olmayan yapılarda meydana gelen burulma etkilerinin azalması gibi üstünlükleri bulunmaktadır.

İyi bir taşıyıcı sistem şu şekilde tasarlanmalıdır; rijit diyafram hareketinin gerçekleşebilmesi için izolatörlerin üstünde beton bir plak bulunmalıdır. İzolatörlerin üzerindeki beton plak üzerine kenar kirişler (bağ kirişleri) yerleştirilir. İzolatörlerin üzerinde çapraz kirişler de olmalıdır. Yükleri temel zeminine aktarmak için izolatörlerin altına çelik plakalar yerleştirilmelidir (Kelly, 1986). Taban izolasyonundaki diğer bir amaç titreşimin yüksek frekansından yapıyı korumaktır. Yüksek binalar için, uzun doğal periyotlarda tabanda kaldırma (uplift) kuvvetleri ve büyük yer değiştirmeler nedeniyle stabilite sorunları (devrilme vb.) olacağından çok yüksek binalara sismik izolasyon yapılması uygun olmamaktadır (Griffith ve ark., 1990).

Sismik izolasyonu; zemin ile yapı arasındaki etkileşimin azaltılması, yani yer hareketinin yapıda meydana getireceği hasarında azaltılması anlamına geldiğini, yapının tabanında düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçülerde deplasman yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinin yüksek frekanslı etkisinden ayırma işlemi olarak tanımlayan Skinner yazdığı “An Introduction to Seismic Isolation” adlı kitabıyla bu metodun dünyaya tanıtılmasını sağlayan önemli kitaplardan birini yazmıştır (Skinner 1993).

Deprem sırasında belirli bir miktarda enerji ortaya çıkmakta ve saçılmaktadır. Deprem nedeniyle yapıya etkiyen enerjinin, yapıya zarar vermeden karşılanması gerekmektedir. Bu enerji ısıya dönüşüp kaybolur yada yutulan enerji olarak kinetik ve potansiyel enerji olmak üzere iki çeşit enerjiye dönüşür. Sismik taban izolasyon sistemleri gibi yapıya ilave edilen bazı araçlar ile yapı sistemine giren enerjinin bir kısmı yutularak yapının sismik performansı arttırmaktadır. Bu yöntemler ile yapıya etkiyen enerji miktarının taban izolatörleri tarafından küçültülerek yapıya aktarılması sağladığından yapının maruz kaldığı deprem enerjisi küçülmekte ve yapının depreme karşı dayanımı artmaktadır (Soong ve Constantinou, 1994).

Sismik izolasyonun etkili olabilmesi ve periyodun uzaması için yapının esnekliğinin artırılması gerekmektedir. Periyodun artması ile yapının doğal frekansı azalacağından rijitlik de azalacak ve yapı belli bir elastikiyet kazanacaktır. Yapıdaki yer

değiştirmelerin pratik olarak tasarlanan seviyeye indirilebilmesi için yapının enerji yutma kapasitesinin artırılması gerekmektedir. Böylece yapıda oluşabilecek büyük rölatif yer değiştirmeler kontrol altına alınabilmektedir (Soong ve Constantinou, 1994).

Sismik izolasyon konusunda pek çok teorik ve uygulamalı araştırmalar yapılmıştır. Bu konuda ilk bilgisayar programı yazılarak hesapların yapılması daha kolay hale getirilmiştir (Chorpa 1995). Daha sonra pek çok hazır paket program sismik izolasyon malzemelerini kullanarak hesap yapılmasını sağlayan seçenekler sunmuştur.

Sismik taban izolasyon sistemleri kullanılmasıyla deprem sırasında yapıya iletilen enerjideki kayıplar ve yapının esnekliğinin artması sonucu taşıyıcı elemanlarda (kolon, kiriş, perde duvar v.b.) plastik mafsallar oluşmaktadır. Sonuçta meydana gelen elastik olmayan deformasyonlar plastik mafsallık bölgesinde kalır. Bu sayede, deprem esnasında yapıya iletilebilecek enerjinin çoğu yatay kuvvetlere karşı dayanımlı taban izolasyon sistemleri tarafından sönümlenmektedir (Zobu, 1997).

Yeni bir sismik izolasyon sistemi olan, sürtünmeli sarkaç sistemi, daha önce verilen sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. Sürtünmeli sarkaç sistemlerin geometrisi ve taşıdıkları ağırlık önemli parametrelerdir. Zira bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel ilkesine dayanmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sistemin uygulandığı yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sarkaç sistemi kayıcı olup silindirik iç bükümlü yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu mesnet malzemesi yüksek basınç mukavemetine sahiptir (Ateş, 1999).

Zemin hakim periyodu ile yapının titreşim periyodu arasında rezonans olayının mutlaka önlenmesi gerekmektedir. Bunun için hakim periyodu büyük yumuşak zeminlerde, daha küçük periyotlara sahip az katlı yapılar; hakim periyodu düşük kaya zeminlerde ise daha yüksek periyotlara sahip çok katlı yapıların yapılması deprem açısından daha uygun olacaktır. Ancak genelde uygulamalarda diğer başka isteklerden dolayı her zaman bu uygulama mümkün olmamaktadır. Ancak yapı ile zemin arasına özel düzenekler veya malzemeler yerleştirilerek, yapının dinamik davranışı değiştirilmekte ve yer hareketinden yalıtılan yapıda deprem etkisi azaltılabilmektedir (Celep ve Kumbasar 2000).

Pasif kontrol sistemleri olarak adlandırılan sismik taban izolatörleri herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymadan enerji yutan sistemlerdir. Yapıya ilave edilen enerji

yutucu cihazlar ve yüksüz yatak elemanlarla yapının deprem etkisindeki deplasmanlarını azaltmak pasif kontrol sisteminin temelini oluşturmaktadır. Bu elemanların kullanımı ile yapının kolon, kiriş ve duvarlarında meydana gelecek zorlanmalar büyük ölçüde azaltılır. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı değişen dış etkilere karşı kendilerini adapte edebilme yeteneğinden yoksun olmalarıdır. Örnek olarak seçilen sekiz katlı bir binada sismik taban izolasyonu uygulaması durumundaki etkiler Erzincan 1992 deprem ivme kayıtları kullanılarak araştırılmıştır. Taban izolasyonlu yapıda oluşan deplasmanların % 40-50 azaldığı belirtilmektedir. Ayrıca taban izolasyonun çok yüksek yapılarda uygulamam zorluklarına değinilerek bu yapılar için aktif sismik kontrol sistemleri önerilmiştir (Özerdem ve Alli, 2000).

Sismik izolasyon, depreme dayanıklı yapı tasarımında başka bir seçenek olarak son yıllarda önem kazanmıştır. Bu yöntem ile yapıya gelen deprem yüklerini azaltma yolunda önemli adımlar atılmış ve bu amaçla değişik malzemeler geliştirilmiştir. Bu uygulamalar ile yapılan binalar pek çok önemli büyüklükteki depremi başarı ile atlatacak oldukça başarılı olmuşlardır. Bayülke 2002’de taban yalıtımı ile depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkeleri, taban izolasyonunda kullanılacak lastik takozların özellikleri ve tasarımları hakkında detaylı bilgiler verilmekte ve bazı uygulamalardan ve sonuçlardan bahsedilmektedir (Bayülke, 2002).

Ülkemizde de son yıllarda özellikle Marmara depreminden sonra, sismik izolasyon konusunda pek çok çalışmaya rastlanmaktadır. S. Tezcan ve S. Cimilli tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde sismik taban izolatörlerinin uygulamaları, avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. İki katlı villa tipi bir yapıda kauçuk esaslı taban izolasyonu kullanılması durumunda yapı davranışı incelenmiştir. Yapı 1992 Erzincan deprem kayıtları ile çözülmüştür. Afet yönetmeliğimizde bu konuda henüz kurallar olmadığı için UCB 1997 Amerika bina yönetmeliği kullanılmıştır (Tezcan ve Cimilli 2002).

Tezcan ve Erkal 2002’de ise yapılarda deprem etkilerini kontrol altına alabilmek amacıyla kullanılan çeşitli pasif kontrol elemanları tanıtılmış ve bunlar hakkında yarıntılı bilgiler verilmiştir. Histeretik sistemlerin viskoelastik sönümleyicilerin, sürtünmeli çelik levhaların, ve kauçuk esaslı izolatörlerin davranışları incelenmiştir. Bu amaçla örnek bir çerçeve seçilmiş, bu çerçeve üzerinde enerji yutucu cihazlar ve sismik taban izolatörleri kullanılarak deprem etkisindeki davranışları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Deprem kaydı olarak Marmara Depremi kullanılmıştır. (Tezcan ve Erkal 2002).

İzolatörler yapıya deprem hakim periyodundan daha büyük bir periyot kazandırarak, yıkıcı deprem etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremlerde oldukça başarılı performans gösteren bu sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Şu aşamada bu sistemin uygulanmasının çok da ucuz olduğu söylenemez ancak insan hayatının önemiyle kıyaslanamayacağı için kullanımının giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Özellikle depremden sonra hemen kullanılması gereken hastane, itfaiye, havaalanları, enerji ve haberleşme ve tesisleri ile idari binalar, okullar, alışveriş merkezleri gibi insanların toplu olarak bulunduğu özel yapılarda bu sistemlerin kullanılmasının yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmesinin oldukça yararlı olacağı belirtilmektedir (Kösedağ ve Ekiz 2002).

Bina planındaki düzensizliklerin özellikle yüksek periyotlarda oldukça önemli olduğu belirtilmektedir. Bu yüzden sekiz katlı L tipi plana sahip bir binanın, doğrusal ve doğrusal olmayan izolatörlerin kullanılması durumunda El Centro, Marmara, Kobe ve Jiji deprem kayıtları etkisi altındaki çözümleri yapılmıştır. Doğrusal mekanik özellikli malzemeler için çözüm hem zaman uzayında hem de frekans uzayında yapılmış, doğrusal olmayan malzemeler içinse çözüm zaman uzayında yapılmıştır. Burada farklı rijitlikte malzemeler kullanılarak izolatörün mekanik özelliklerinin yapı periyodunda ve deplasmanlarında oluşturduğu etkiler araştırılmıştır. Ayrıca farklı sönüm oranına sahip enerji yutucu sönümleyicilerin bina üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır (Alhan ve Gavin 2003).

Sismik etki altındaki taban izolasyonlu binaların, komşu yapılarla etkileşimini ve gerekli sınır mesafeleri de incelenmiştir. Farklı deprem kayıtları ile sismik izolatör kullanılmış binaların hareketleri araştırılmış ve komşu binalarla çarpışma durumu incelenmiştir. Çarpışma olması durumunda binada ortaya çıkacak belirlenmiştir (Matsagar ve Jangid 2003).

Bir başka çalışmada ise deprem etkilerine karşı dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen kontrol sistemleri üzerinde bir sentez çalışması yaparak, bunlardan kurşun çekirdekli tabakalı kauçuk mesnet izolasyon sistemi ve viskoz sıvı sönümleyicilerin kullanıldığı, farklı tür zeminler üzerine oturan, bir yapı modeli üzerinde etkileri araştırılmıştır. Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı ve deprem etkisinin hesabı için kullanılan çözüm yöntemleri verilerek pasif ve aktif yapı kontrol sistemleri kısaca tanıtılmış ve konuyla ilgili daha önce yapılan uygulamalar verilmiştir. Çalışmanın ikinci

bölümünde altı katlı bir yapı modeli üzerinde, iki farklı zemin türü için sismik taban izolasyon sistemi ile viskoz-sıvı sönümleyici sistemler kullanılarak modal analiz yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda her iki zemin türü için sismik kontrol yöntemlerinin kullanıldığı yapılarda, ankastre mesnetli geleneksel olarak tasarlanmış yapıya göre, kesit tesirlerinin azaldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda sismik kontrol sistemlerinin Z1 yerel zemin sınıfı için, Z4 yerel zemin sınıfına nazaran, daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir (Yozgat ve Hüsem 2004).

Sismik izolasyon son yıllarda çok değişik yapılarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sismik taban izolasyonun yığma yapılarda kullanımı da mümkündür (Kawamata ve ark., 2004). Özellikle son yıllarda tarihi eserlerin ve tarihi yapıların depremlerden etkilenmesini önleyebilmek amacıyla sismik izolasyon yöntemi kullanılmaya başlanmıştır (Calio ve Marletta 2003). Özellikle köprü ayaklarında kullanılan sismik izolatörler oldukça başarılı olmuşlardır. Şu anda pek çok köprü ayağında izolatörler kullanılmaktadır (Chaudhary ve ark., 2002; Boroschek ve ark. 2003; Tangaonkar ve Jangid 2003). Kauçuk esaslı izolatörlerin mekanik ve davranış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvarlarda malzeme üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir (Wu ve Samali 2002). Portatif yapılara sismik izolatörler yerleştirilerek, sarsma tablalarında testler yapılabilmektedir (Chung ve ark., 1999). Kauçuk esaslı izolatörler dışında farklı malzemelerden ve farklı mekanik düzeneklerden oluşan izolatörlerde geliştirilmektedir. Son yıllarda sürtünmeli sarkaç adı verilen özel düzeneğindeki sürtünme ile yapıya gelen enerjinin bir kısmının sönümlenmesini sağlayan düzenekler geliştirilmiştir (Calio ve Marletta, 2003). Yine bu model izolatörler üzerinde de deneysel çalışmalar yapılmakta ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmaktadır (Tsai ve ark., 2003).

3.MATERYAL ve YÖNTEM

Sismik taban izolasyonu; yapı ile zemin arasındaki etkileşimi minimuma indirebilecek sistemler kullanarak, yapının zeminden yalıtılmasının sağlanmasıdır. Depreme dayanıklı yapı üretiminde, tasarımı olumsuz etkileyen faktörlerin başında, dinamik etkiler esnasında zeminin tahmin edilemeyecek olan karmaşık, doğrusal olmayan (non-linear) davranışı gelmektedir. Tasarımda göz önüne alınan zemine ait değerler, zemin emniyet gerilmesi, zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesi gibi zemin özellikleri, dinamik etkiler nedeniyle tahminden daha farklı değerlere ulaşabilmektedirler. Bu durumda yapı ile zemin arasındaki etkileşimin minimuma indirilmesi yaklaşımı, bir anlamda çözüm olmuştur. Taban izolasyonu tasarımında, yapının dinamik özellikleri değiştirilerek, yapı yatay yönde serbestçe hareket edebilecek şekilde tasarlanmakta ve yatay yüklere maruz kalan yapının deformasyonu önlenmiş olmaktadır. Fakat yük etkisi altında yapıda oluşabilecek deformasyonların bilinebilmesi, yapıda oluşacak enerji kayıplarının bilinmesiyle mümkündür. Sismik bir etki süresince yapıya bir miktar enerji girişi olmaktadır. Bu enerji kısmen ısı enerjisine dönüşerek yapı içinde sönmölenmekte yada potansiyel enerji ve kinetik enerji olarak iki farklı enerjiye dönüştürölmektedir. Fakat enerji kayıplarından dolayı elde edilen sönmö sınırlıdır. Hareket sona erene kadar titreşim şiddeti gittikçe azalmaktadır. Bu nedenle sismik taban izolasyon sistemleri gibi, yapıya ilave edilen bazı araçlar ile yapı sistemine giren enerjinin bir kısmı sönmölenerek, yapının enerji yutma kapasitesi arttırılır. Sistemde titreşim şiddeti sona erene kadar enerji kayıplarının minimuma indirilmesi hedeflenir ve bu sayede yapıda meydana gelen şiddetli deformasyonlar önlenmiş olur (Soong ve Constantinou,1994). Teorik olarak, iki saniyelik periyoda sahip olan bir yapıda, deprem esnasında, izolasyonun sağlamış olduğu esneklikten ötürü yıkıcı etkinin büyük kısmı sönmölenmektedir. Bu nedenle elastik olmayan hareket meydana gelmemektedir. Zorlayıcı kuvvetlerin bir yada bir kaçının frekansının, sistemin temel frekansı ile aynı olması durumunda titreşimin genliğinin arttırılması bakımından tahrip edici özelliğe sahip rezonans titreşimleri meydana gelmektedir. Yapı davranışında bu tür istenemeyen durumlarla karşılaşılması için, tasarım aşamasında titreşim analizinin yapılması gerekmektedir (Sakamoto ve Kabori, 1993) .

Bu sistemler tasarlanmakta olan yapılara uygulanabildiği gibi, mevcut yapıların önem derecelerine göre, işlevselliklerini sürdürebilmeleri içinde uygulanabilmektedir.

Yapılara uygulanması düşünülen izolasyon sistemlerinin hangi yapılara kullanılacağını seçerken dikkat edilmesi gereken faktörler aşağıda özetlenmektedir:

- (1) Uygulanan yapı mevcut bir yapı ise, korunması gereken yapının tahrip olmasını engellemek ve yıkılma tehlikesini indirmek gerekmektedir.
- (2) Nükleer santraller, hastaneler, resmi yapılar ve hassas aletlerin bulunduğu yapıların gibi önem derecesi yüksek yapıların, deprem esnasında ve sonrasında işlevselliğini sürdürebilmeleri gerekmektedir.
- (3) Nihai olarak depremden korunmada emniyetin sağlanmasıyla birlikte en ekonomik çözüm seçilmelidir.

Yapı tasarımı, yapıdan beklenen hesap yüküne bağlı olarak yapılmalıdır. Tasarım ilkeleri ilgili yönetmeliklere göre belirlenir, yapı taşıyıcı sistemi seçilir ve yapı yüklerinin sağlıklı bir şekilde izolatörlere dağıtılarak zemine aktarımı sağlanır. İzolasyonlu yapının taşıyıcı sistemi tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar vardır; rijit diyafram hareketinin gerçekleşebilmesi için izolatörlerin üzerine beton bir plak tasarlanır ve beton plak üzerine bağ kirişleri yerleştirilir. İzolatör üstlerinde çapraz kirişlerde bulundurulmalıdır. Yükleri temel zeminine aktarmak için izolatörlerin altına çelik plaklar yerleştirilmelidir (Kelly, 1986).

Sismik izolasyon uygulanacak olan yapıda, sağlanması gereken bazı koşullar vardır. Bilindiği gibi izolasyonlu yapı yatay yönde belli bir oranda hareket serbestliğine sahiptir. Sağlanması gereken özel koşullardan en önemlisi, yapının dört tarafında izolatörlerin yer değiştirme kapasitesi kadar mesafenin olmasıdır. Eğer izolatörler mevcut yapıya yerleştirilecekse bu şart sağlanmadan diğer işlemlerin hiçbir getirisi olmayacaktır. Örneğin deprem derzine sahip olmayan yapılarda sismik izolasyon tekniği uygulanamaz. Çünkü bu tür yapılar bitişik nizam yapılardır ve bir doğrultuda deplasman yapmaları mümkün olmadığı için izolasyon yapmakta söz konusu olamamaktadır. Bu koşul sağlandıktan sonra, göz önüne alınması gereken diğer bir hususta, yapının tesisat bağlantılarının düzenlenmesidir. Depremler sırasında yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan elemanların, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz v.b., yapının yapmış olduğu yer değiştirme sonrasında kopma yada kırılma riski söz konusudur. Bu

nedenle tesisat ekipmanlarının hepsinin deplasman için bırakılan boşluk kadar esneme yada yer değiştirme kapasitesine sahip olması gerekmektedir.

Sismik izolasyon yönteminde izolatörler yapı ile zemin arasında temelde olabildiği gibi katlarda kolon aralarına da yerleştirilebilmektedirler. Taban izolasyonu tasarımında bodrum katta temellerin altına yerleştirilen izolatörler, yapının bütününün yalıtılmasını sağlamaktadırlar. Taban izolasyonunun yapı inşa edilirken uygulanması oldukça ekonomiktir. Mevcut yapıların, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi maksadıyla taban izolasyonunun yapılması ise oldukça yüksek bir maliyet meydana getirmektedir. Bu nedenle mevcut yapılara yapılan izolasyon yöntemlerinde, kısmen üst yapının yalıtılması daha ekonomik olmaktadır. Taban izolasyonunun tek dezavantajı, yatay deplasman mesafesinin sağlanması için her yönde zemin tutucu duvarlara ihtiyaç duyulmasıdır. Asansör ve merdiven için özel ayırma işlemlerine ihtiyaç duyulmaması, kolonlardan bağımsız oldukları için, kolonlarda ayrıca yangın tehlikesi için yalıtım gerektirmemesi ve izolasyon seviyesinde izolatörlerin rijit diyaframla birleştirilerek, rijit diyafram hareketinin sağlanması gibi avantajları da sıralanabilir.

İzolatörlerin bodrum kat kolonlarının ortasına yerleştirilmesi durumuna rastlamak mümkündür. Bu izolasyon yönteminde orta katta meydana gelebilecek deplasmanlar için, deplasman mesafesi hazırlanmalıdır. Bu durumda asansör yada merdivenler için özel ayarlamalar yapmak gerekir. İzolatörler birleştirilemeyeceği için, rijit diyafram hareketinin sağlanamama ihtimali vardır. Elastomerik izolatörler kullanılıyorsa, düşey yükler için emniyet sistemlerinin birleşimi zordur.

İzolatörler bodrum kat kolonlarının üstüne yerleştiriliyorsa; bodrum katta önemli ekipmanlar bulundurulmaması durumunda, uygulama maliyetini düşüreceğinden dolayı, tercih edilen bir izolasyon yöntemi olmaktadır. Bu yöntemde üstyapı ile bodrum iki bağımsız parçaya ayrılır. İzolasyon seviyesinde izolatörler rijit diyaframla birleştirilebilir ve düşey yükler için emniyet sistemi kolonlar tarafından sağlanır. Dezavantajları ise, asansör ve merdiven boşluğu iki kısma ayrılması ve iki ayrı sirkülasyon düzeni gerektirmesidir.

Bodrum kat bulunamayan yapılarda, izolatörler birinci kat kolonlarının altına yerleştirilebilir. Uygulama maliyeti düşüktür ve yapının izolasyonla zeminden ayrılması kolaydır. Kolonların altı rijit diyaframla birleştirilebilir ve düşey yükler için emniyet

sistemlerinin birleşimi kolaydır. Eğer asansör varsa asansör çukurunun oluşturulması gerekmektedir.

Kauçuk izolatörler için, herhangi bir nedenden dolayı izolatörlerin yüklere göre taşıyıcı görevlerini yapmamaları söz konusu olursa, sistemde düşey taşıyıcı görevini yapacak alternatif emniyet mekanizmalarına ihtiyaç duyulur. Ayrıca kullanılan elastomer mesnetler temel altına değil de kolonlara yerleştirilmiş ise mutlaka yangına karşı önlemlerinin de alınması gerekir.

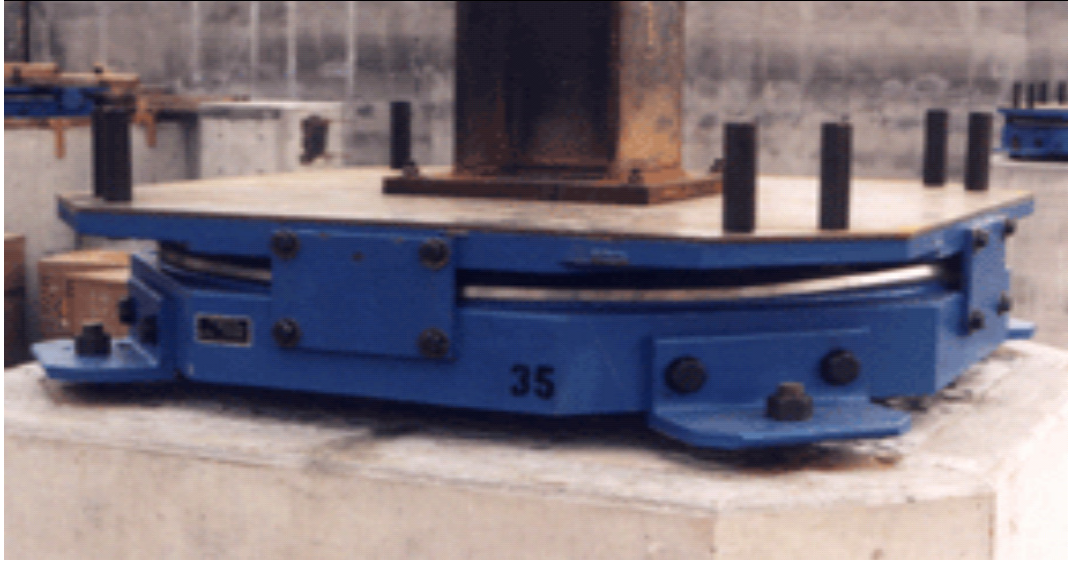
Çizelge 3.1.Sismik İzolasyonun Uygulamaları

No	Yapılış Yılı	Yapılan Yer	Kullanılan İzolatör Tipi
1	2001	ABD/ San Francisco	Viskoz Sönümleyici
2	2000	TÜRKİYE/İstanbul Havalimanı	Sürtünmeli sarkaç
3		TÜRKİYE/Kocaeli Tıp Fakültesi Hastanesi Binası	Sürtünmeli sarkaç
4		TÜRKİYE/Ülker Gıda Bilgi İşlem Kumanda Merkezi	Sürtünmeli sarkaç
5	2000	İTALYA/Ancona Administrative building ministry of defense	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
6	1999	İTALYA/Calabria	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
7	1999	ABD/San Francisco Uluslar arası Hava Limanı	Sürtünme Sarkacı Mesnedi
8	1998	ABD/Los Angeles Acil Operasyon Merkezi	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
9	1997	ABD/Los Angeles Yangın Merkezi Binası	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
10	1997	Yeni Zelanda/ Ulusal Müze Binası	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet

No	Yapılış Yılı	Yapılan Yer	Kullanılan İzolatör Tipi
11	1995	ABD/Los Angeles Willowbrook C.R. Drew Dragnostes Trauma Centr	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
12	1989	Japonya/Matsumara Gumi Araştırma Enstitüsü	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
13	1986	Japonya/Sanda-Batı Japonya Bilgisayar Merkezi	Elastomerik Mesnet
14	1964	ABD/Los Angeles Long Beach Hastane binası	Elastomerik Mesnet
15	1946	ABD/Beş Katlı Above net Binası	Sürtünme Sarkacı Mesnedi
16	1934	ABD/İki Katlı Mackay Okul Binası	Sürtünme Sarkacı mesnedi
17	1929	ABD/Los Angeles Şehir Terminali	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
17	1912	ABD/San Francisco Şehir Terminal	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet
18	1905	ABD/San Francisco Mahkeme Binası	Sürtünme Sarkacı Mesnedi



Şekil 3.1. Atatürk Havalimanı çatı makaslarında kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü



Şekil 3.2.Hayward City Hall’de kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü

3.1.SİSMİK TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİNİN ÖZELİKLERİ:

Taban izolasyonunda kullanılan izolatör tipleri, şekil ve büyüklük itibarı ile ve yapıldıkları malzemeler bakımından farklılık teşkil ederler. İzolatörlerin büyük çoğunluğu elastomer malzemeden üretilmektedirler. Elastomer malzeme kalıba kolayca yerleştirilebildiğinden istenilen şeklin verilebilmesi bakımından avantaj sağlar. Metal malzeme ile aderansı güçlüdür, bu özelliğinden ötürü herhangi bir şekilde montajı güç değildir. Uygulamada maruz kalacakları kuvvete göre şekillendirilebilirler. İzolatör sönümü, rijit kütle rezonansında büyük yer değiştirmeleri engelleyecek, yüksek frekansta dalga hareketinden koruyacak düzeyde seçilmelidir. İzolatörler düşey doğrultuda çok rijit fakat aksine yatay doğrultuda ise esnektir. Deprem hareketinin düşey bileşenine karşı koruyuculuğu yoktur, yani depremin düşey bileşeni yapı tarafından karşılanır. Taban izolasyonu yapıların titreşim periyotlarını arttırdığı için, kısa periyotlu yapılarda kullanımı daha uygundur.

Kauçuk malzemelerin sönümü özelliği de, frekans ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle izolatörler en optimum sönüm ve rijitliğe göre uygulanmalıdırlar. İzolatörler zamanla yıpranabilirler. Bu nedenle izolatör kullanımında uzun süreli basınç ve düşük sıcaklıktaki etkileri düşünülmelidir.

Yaygın olarak kullanılan izolatör tipi elastomer malzemeden oluşan, tabakalı kauçuk mesnetlerdir. Kauçuklar arasındaki tabakalaşma ve çelik plakaların yerleşimi izolatörün basınç altındaki mukavemetini artırır. Basınç altında diğer yönlerde genişlemeye olanak sağlar ve üniform yük dağılımını sağlar. Tabakalı kauçuk sistemlerinin düşey rijitliğinin belirlenmesinde, izolatör şekli önem taşımaktadır. Şekil faktörü, izolatörde yükün etkidiği alanın, serbest genişleme alanına oranı olarak tanımlanır. Yatay rijitlikte izolatör şeklinin önemi yoktur.

Şişe mantarı, keçe yada kauçuk köpük gibi fiberglas içeren malzemelerde taban izolasyonunda kullanılabilir. Fakat bu malzemelerin mekanik özellikleri, elastomer malzemeler gibi net bilinmediği için, izolasyon performanslarının tahmini de zordur.

Helezoni yaylardan oluşan izolasyon sistemleri, kuvvet sistemlerindeki aletlerin titreşimlerini önlemek için kullanılmaktadır. Bu tip sistemlerde, yaylar düşey

harekette yatay harekete göre çok fazla rijit değildirler. Oysa tabakalı kauçuk mesnetlerin düşey rijitlikleri, yatay rijitliğin birkaç yüz katı olabilmektedir.

Kayıcı sistemler izolasyon ara yüzünde kesme kuvvetinin indirgenmesi prensibine dayandırılmaktadır. Genelde çelik mesnetlerden oluşmuş sistemlerdir. Sürtünme hareketi ile mekanizma iş görmektedir. Deprem hareketi esnasında yanal rijitlik ve her bir yatakta oluşan sürtünme kuvveti yatak üzerine mesnetlenen ağırlıkla direk olarak bağlantılıdır. Burada yapı ağırlık mesnedi ile yatakların rijitlik merkezleri çakışmalıdır.

3.2.SİSMİK İZOLASYONUN AVANTAJLARI:

3.2.1.Ekonomik Maliyet:

İzolasyon için kullanılan izolatörlerin maliyetini belirleyen parametre, yapıdan izolatörlere aktarılan toplam yüküdür. İzolatörlere aktarılan yük aynı zamanda izolatörlerin sayısını ve boyutlarını belirleyen bir parametre olduğu için maliyetle doğrudan ilişkilidir. Fiyatlandırma birimi “maliyet/alan” dır (DIS Ltd. Şti.). Bu durumda yapı yüksekliği ve boyutlarının artması maliyetin azalması anlamına gelmektedir. Genelde maksimum izolatör maliyeti, yüksek deprem derecesinde, yüksek hareketli yükler altında bulunan ve yüksekliği fazla olmayan yapılar için oluşur.

Sismik izolasyonun maliyeti yaklaşık olarak hesaplanırsa, ek olarak yapıda ikinci bir bodrum veya zemin katın yapımına ihtiyaç duyulur. Temel kazısı normalden daha derin olmalı ve tüm temel çevresi istinat duvarıyla çevrelenmesi gerekmektedir buda yapıya ek bir maliyet demektedir. Ayrıca izolatör bağlantıları için temel girişleri ve bağlantılarının yapılması içinde ayrı bir maliyet söz konusudur. Asansör veya merdiven tertibatlarının, yatay hareketi engellemeyecek şekilde düzenlenmesi, servis bağlantılarının esnek birleşimlerinin oluşturulması ve izolasyon seviyesinde deplasman mesafesinin ayarlanması mevcut yapılardan farklı olarak, izolasyonlu yapılarda sağlanması gereken hususlar arasındadır. Bütün bu sistemlerin imalat hesapları da maliyete dahil edilmelidir. Ayrıca İzolatör maliyeti de hesaplanmalıdır. Bütün bunlarda yaklaşık olarak yapı maliyetinin %2-%4 arasında bir ek maliyete denk gelmektedir.

3.2.2.Güvenlik ve Depremlerden Sonra Kullanılabilirlik:

Depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında, şiddetli depremlerden sonra yapıların yapısal elemanlarında sınırlı hasara izin verilir. Sismik izolasyon yönteminde yapısal olan veya yapısal olmayan elemanlarda, katlar arasında, kullanılabilirliği engelleyecek herhangi bir deformasyon meydana gelmez. Bundan dolayı depremlerden sonra yapılar güvenlikle kullanılabilir. Bu da yapı onarım yada herhangi bir güçlendirme gerektirmeyeceği için ekonomik olarak ta fayda sağlar. Özellikle depremden sonra kullanılması gereken hastane, itfaiye, idari binalar, iletişim merkezleri v.b. yapıların sismik izolasyon ile inşa edilmesi gerekmektedir.

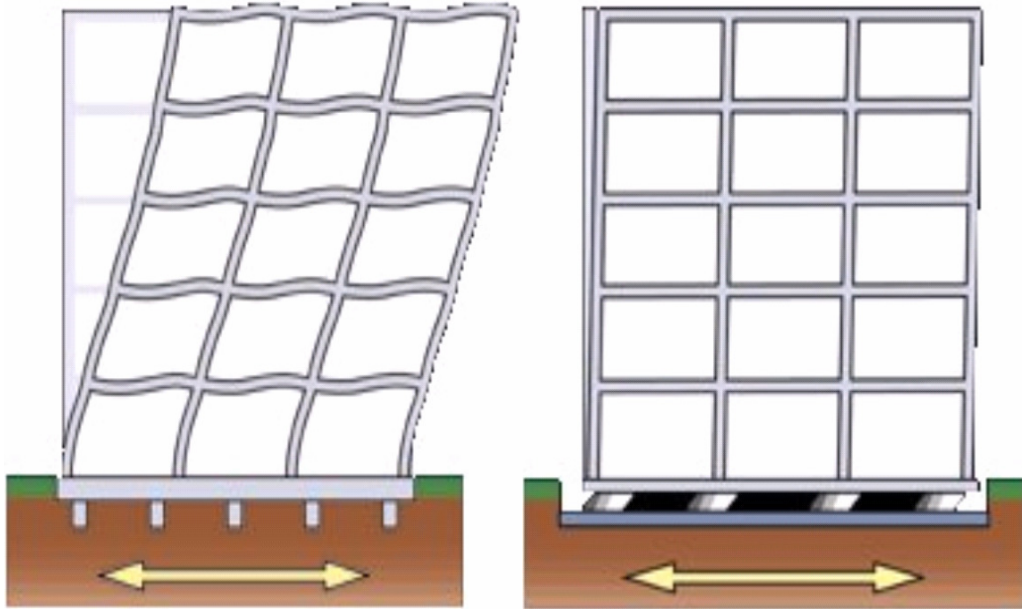
3.2.3.Tasarım:

Depreme dayanıklı yapı tasarımında maksimum yüke göre yapı elemanlarının boyutlandırılması ve yeterli sünekliğin sağlanması gerekir. Aynı zamanda tasarım maliyeti de zamanla eşdeğerde artabilir. Sismik izolasyon kullanıldığında tasarım ve detaylandırmak daha basite iner. Çünkü yapının serbest cisim diyagramları ve tüm yapısal elemanların hesap yükleri, zemin koşullarından ve yer hareketinden bağımsız hesaplanır. Bütün yapısal elemanlar statik yükler altında ve basit matematiksel modellerle hesaplanır.

3.2.4.Taşıyıcı Olmayan Elemanların Güvenilirliği:

Sismik izolasyon kullanıldığında yapıların doğal titreşim periyotları uzar. Bununla birlikte katlar arasında herhangi bir ötelenme farkı olmadan, deplasmanlar sadece tabanda meydana gelmektedir. İzolasyonsuz yapıda ise katlar arasında büyük ötelenmeler meydana gelmekte ve üst katlara doğru artan kat ivmeleri nedeniyle, yapı büyük taban ivmeleri ile zorlanmaktadır. Bu büyük ivmeler etkisiyle yapısal olan elemanlarda hasar oluşmasa bile mimari elemanlarda ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar meydana gelebilmektedir. Sismik izolasyonlu yapıda tabandan üst katlara iletilen ivmeler az olduğu için elemanların güvenliği sağlanabilmektedir (Bayülke, 2002).

Şekil 3.3'te ankastre mesnetli yapı ile sismik taban izolasyonlu yapının deprem etkisinde yapmış oldukları hareket görülmektedir.



Şekil 3.3. Ankastre mesnetli yapı ile taban izolasyonlu yapının deprem sırasında hareketi

3.3. SİSMİK TABAN İZOLASYONUNDA KULLANILAN ELEMANLAR:

Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan pasif yapı kontrol sistemleri, enerji sönümlemede ve izolasyonda kullanılan malzemeler ile sistemler bakımından, “sismik taban izolasyonu” ve “ sismik enerji sönümleyici sistemler” olarak iki grupta incelenebilir. Bu çalışmada üzerinde durulacak olan taban izolasyon sistemleri, temelde esneklik ve enerji tüketimi sağlama yöntemlerine göre gruplandırılabilir.

Esneklik sağlamaya yönelik üretilen kauçuk ve elastik malzemelerden yapılmış olan izolasyon mesnetleri, deprem kuvvetlerinin yapıya indirgenerek aktarılmasını sağlarlar. Genelde düşey ekseninde rijit ve yatay ekseninde esnekler.

Enerji tüketimini sağlamaya yönelik üretilen malzemeler ise yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin, meydana gelen deprem ve sürtünme enerjisini sönümleyerek indirgenmesini sağlarlar. Kauçuk malzemeli mesnetlere ilave edilen teflon, kurşun veya çelik tabakalar ile hem esnek, hem de enerji sönümleme kapasitesine sahip mesnetler

üretilebilmiştir. Raylı sistemler, sürtünmeli mesnetler ve spiral yayların kullanıldığı çelik mesnetlerde, deprem enerjisinin sönümlenmesi için tasarlanmış diğer mesnetlerdir.

Taban izolasyonunda kullanılan başlıca mesnetler şöyle sıralanabilir:

- (1) Kauçuk esaslı izolasyon mesnetleri
- (2) Sürtünme esaslı izolasyon mesnetleri
- (3) Sönümleyici diğer mesnetler

3.3.1.Kauçuk Esaslı İzolasyon Mesnetleri:

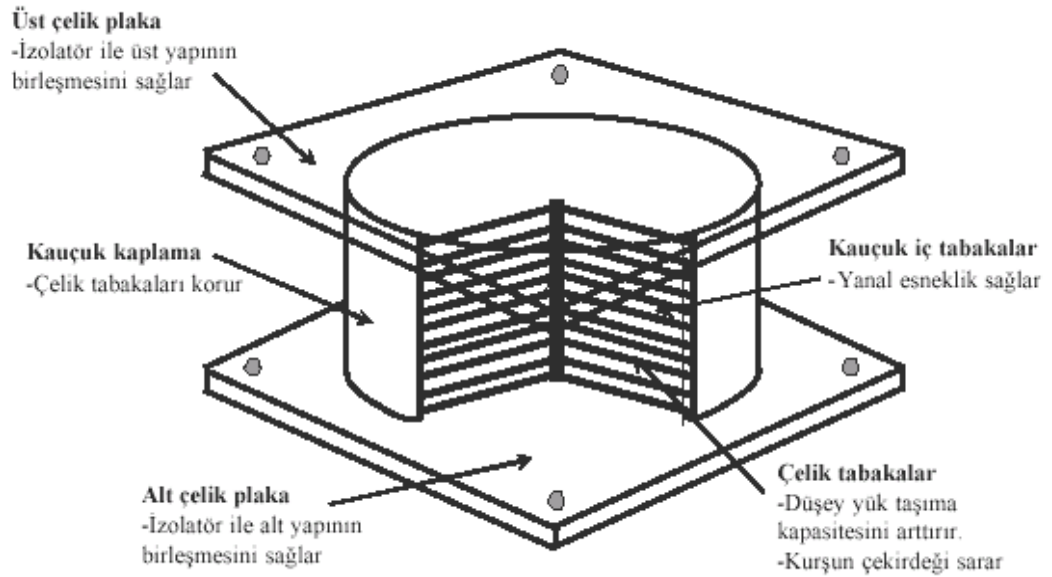
Kauçuk esaslı izolasyon mesnetleri sismik izolasyonda kullanılan ilk izolatörlerdir. Kauçuk esaslı izolatörler pek çok gelişmiş ülkede başarıyla uygulanmıştır.

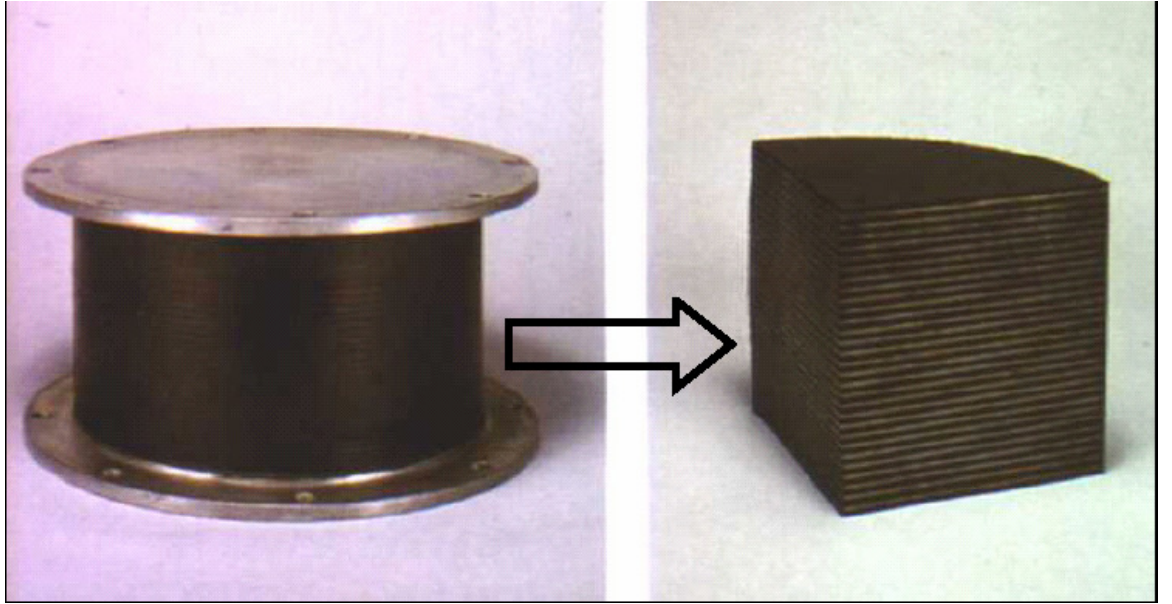
Doğal kauçuk sismik izolasyonda kullanılan ilk elastomerdir. Diğer elastomer malzemelerle kıyaslandığında kauçuğun daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür. En önemli özelliği ise uzun kullanım süresine sahip olmasıdır. İstenen davranışı, sistemde kullanıldığı sürece, zamandan ve kullanım sıklığından bağımsız olarak gösterirler. Doğal kauçuğun yorulma açısından iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu mesnetler ağırlıkça büyük olarak tasarlanır, yapı ağırlığının yaklaşık %25 altında olan büyük kauçuk bloklardır. Bu mesnetlerin yatay rijitlikleri sadece kısa bir süreliğinedir. Bu mesnette yatay esneklik ve kuvvetler merkezde toplanır, büyük yatay deplasmanlardan, sadece küçük dirençler sağlar ve mesnet üst yüzeyi esneyerek eğilimli bir hal alır. İzolasyon sisteminin çeşitli karakteristikleri vardır. Yatay hareket, kuvvetli titreşim hareketine bağlıdır. Sadece yatay deprem yükleri titreşim modunda düşey ivmelenmeye sebep olur.

Diğer bir kauçuk mesnet olan düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetler, kauçuk ve çelik plakaları ve viskoz sönümlendiricilerle birlikte kullanılmasıyla üretilmektedirler. Başta Japonya olmak üzere birçok gelişmiş ülkede kullanım alanı bulmuştur. Bu mesnet tipinin davranışı viskoelastik ve histeretik özellikte olup bu iki özelliğin kombinasyonu şeklindedir.

İzolatörler birkaç ince çelik sac ve son yüzeylerinde iki adet kalın plaktan oluşurlar. Kauçuk tek bir operasyonla ısı ve basınç altında kalıba sokularak, çelik katmanlarıyla bağlanır ve sertleştirilir. Şekil 3.4’de çelik sac tabakalı kauçuk mesnet görülmektedir. Çelik saclar düşey yükler altında, kauçuğun yanal deformasyonunu önler

ve yüksek düşey rijitlik sağlayarak, yükün üniform olarak dağılımını sağlar. Fakat çelik tabakalar yanal rijitliği etkilemezler. Yatay rijitlik elastik malzemenin kesit modülü tarafından kontrol edilir. Bundan dolayı bu mesnetler kesme ve burkulma altında yumuşaktırlar. Düşey rijitlikleri yatay rijitliklerinden daha büyüktür. İstenen rijitlik genellikle tabaka kalınlığı sabit tutularak, kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesiyle sağlanabilir. Yüksekliğin artması burulmaya sebep olabileceğinden dolayı yükseklik çapın yarısı ile sınırlandırılır. Düşük sönümlü kauçuk sistemlerde yer değiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak lineer değişim gösterir. Bu sistemlerin üretimlerin basit olması, kolay modellenmesi ve mekanik özelliklerinin ısı ev yorulmadan etkilenmemesi gibi avantajları vardır. Tek dezavantajı genellikle bütünleyici olarak sönümleyici bir sisteme ihtiyaç duyulmasıdır. Bu ek sistem çok dikkatli ve detaylı bir bağlantı gerektirir.



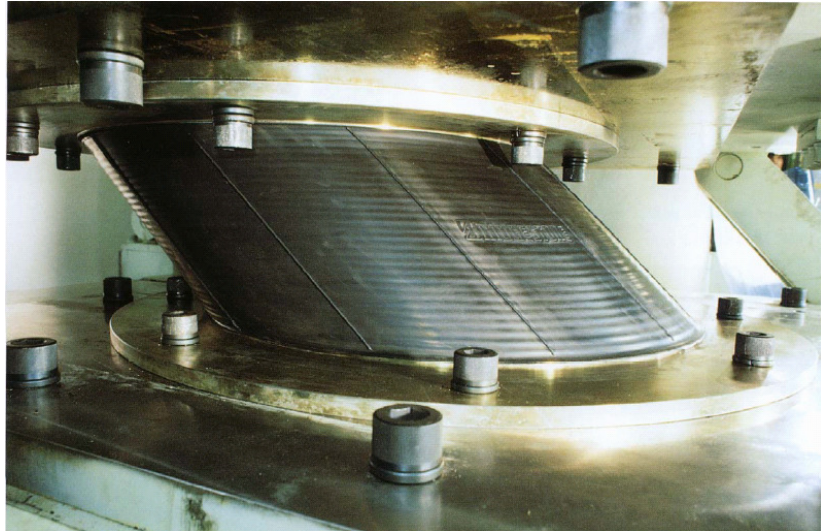


Şekil 3.4. Düşük Sönümlü çelik tabakalı kauçuk mesnet

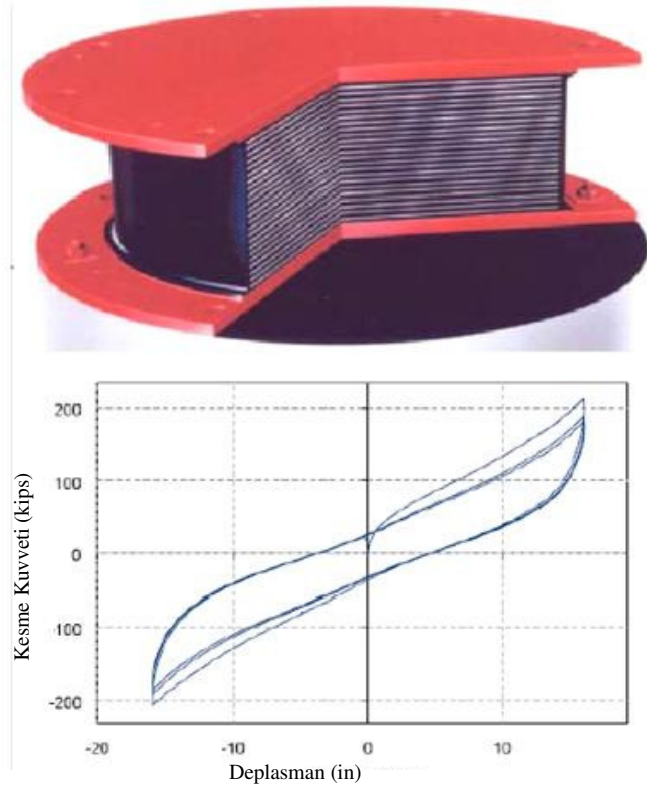
Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler üst yapı ile temel arasında kullanılmaktadırlar. Katkısız doğal kauçuk mesnetlerin düşük ve orta derecede yer değiştirmelerde neredeyse sönümsüz bir davranış sergiledikleri bilinmektedir. Bu nedenle doğal kauçuk mesnetler, sönümleyiciler ile birlikte kullanılmışlardır. İlk defa İngiltere’de bir firma tarafından

yüksek sönümlü kauçuk bileşimlerden oluşan izolatörleri piyasaya sürmüştür. Sönüm ilave edilen ekstra kaliteli karbon blokları, yağlar, reçine ve diğer özel doldurucularla arttırılarak yükseltilmiştir. Diğer bir fark ise kuvvet-yer değiştirme davranışlarıdır. İzolatörlerdeki sönüm ne histeretik nede viskozdur. İkisi arasında bir davranıştır.

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler yüksek enerji sönümleme kapasitesine sahiptirler. Boy uzamaları %20'den daha küçük olduğu zaman nonlineer davranış gösterirler. %20–120 arası kayma modülü düşük ve sabittir, çok büyük şekil değiştirmelerde kayma modülü büyür. Yüksek sönümlü sistemlerin kullanılması yüksek enerji dağılımı açısından güven vericidir.



Şekil 3.5.Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet



Şekil 3.5.Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet

3.3.2.Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler:

Kurşun çekirdekli mesnetler model olarak, düşük sönümlü kauçuk mesnetlere benzer. Kauçuk katmanlarına sahiptir fakat bir yada iki adet, bir delik içerisine yerleştirilmiş kurşun çekirdek içerirler. Sistem yatay kuvvetlere maruz kaldığında çelik tabakalar, kurşun çekirdeği şekil değiştirmeye zorlar. Kurşun çekirdek ile elastomer güçlü bir şekilde birbirilerine bağlanmıştır. Ve kurşun çekirdeğin yaklaşık olarak akma gerilmesi 10 Mpa civarındadır. Kurşun çekirdeğin enerji absorbe edebilme kapasitesi izolatörün yatay yer değiştirmesini azaltmaktadır. Kurşun çekirdekli bir mesnedin tipik bir kesiti şekil 3.4’de görülmektedir.



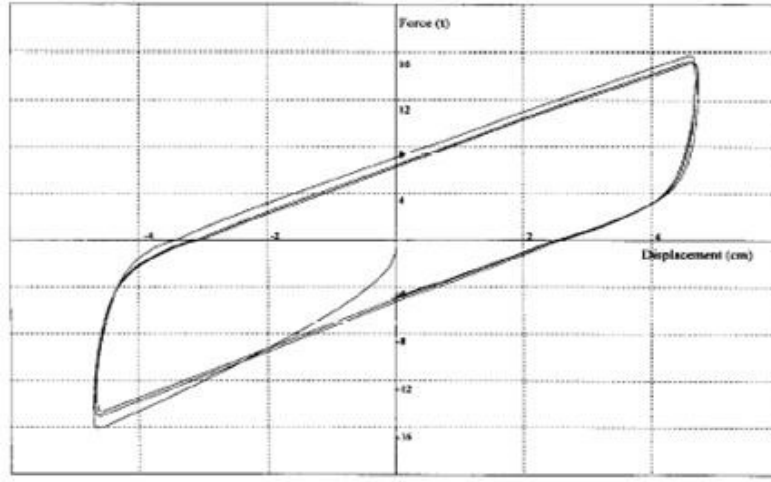
Şekil 3.6. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Kesiti

Bu mesnetlerde malzeme olarak kurşun seçilmesinin nedeni kurşunun elastomerik mesnede yerli yerinde ve sıkıca yerleştirilebilmesidir. Ayrıca kurşun çekirdek, hem sönümü arttırmakta hem de düşük düzeydeki yüklerde, sistemin rijitliğini artırarak yer değiştirmeleri kontrol altına alabilmektedir. Aynı zamanda kurşun çekirdeğin akmasıyla birlikte, şekil 3.6.'te görüldüğü gibi mesnedin enerji tüketme kapasitesi de artacaktır.

Kauçuk üretimi şu şekilde gerçekleşmektedir; kauçuğa ozon dayanımı, mekanik dayanım, çekme dayanımı, rijitlik ve sönüm artırıcı katkı maddeleri konulur. Rijitlik ve sönüm artışı için doğal kauçuğa karbon siyahı konulur ve malzeme karıştırılır. Daha sonra kauçuk özel koşullar altında rulo yapılır ve birkaç milimetre kalınlığında daire biçiminde kesilir. Ve kauçuklar kat kat yerleştirilir. Aralarına yine birkaç milimetre kalınlığında çelik levhalar konulur. Levhaların kauçuk lastiğe iyi yapışması için yüzeyleri temizlenerek parlatılır. Yüzeylere yapıştırıcı maddeler konulur. Bir kat kauçuk bir kat çelik, ağır çelik kalıba konur ve alt ve üst ile kalıpla araya kauçuk konur. 135°C de 14 saat bekletilir. Kauçuk lastik vulkanize edilirken kalıptan çevreye taşabilir. Bu aşamada, çeliği bu esnada paslanma ve yangın etkilerinden, çevreye konmuş olan lastik koruyacaktır. Bu mesnetten sönüm elde edebilmek içinde ortasına kurşun çekirdek yerleştirilir, kurşun tampon delikten daha büyük tutularak kuvvetlice deliğe yerleştirilmektedir. Vulkanize işlemi sırasında kurşun çekirdekle kauçuk birleştirilmektedir (Bayülke, 2002).

Bu sistemlerin en büyük dezavantajı güçlü depremlerden sonra mesnet içindeki kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin belirlenememesidir. Ancak bu sistemin yapılara uygulanmış ve büyük depremler geçirmiş birçok örneği mevcuttur. Bu izolatörler 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde çok iyi performans göstermiştir.

Kullanılan izolatör dairesel olabileceği gibi köşeli olarak ta modellenebilir. Günümüzde bu tip mesnetlerin üretimlerini yapan birçok firma mevcuttur.



Şekil 3.7. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet ve yük deplasman eğrisi

Bu çalışmada, yapı modeli için kullanılacak olan sismik izolatör mesnedi, kurşun çekirdekli mesnet olarak öngörülmüştür. Kurşun çekirdekli mesnetlerin matematiksel modellenmesine yüzeysel olarak değinecek olursak; modelleme her zaman nonlineer elemanlarla, elemanların karakteristik 3 parametresi esas alınarak yapılır. Bu parametreler ise, mesnedin elastik rijitliği " k_1 ", akma sonrası rijitlik " k_2 ", ve elastomerin karakteristik kuvveti " Q " dur. Elastik rijitlik hesaplanması zor bir büyüklüktür, bu yüzden deneysel olarak elde edilen bir katsayı ile akma sonrası rijitliğin çarpımına eşit alınır. Akma sonrası rijitlik ise (plastik bölgedeki rijitlik denebilir), mesnedin kayma modülünden hesaplanabilir. Q ise kurşunun akma gerilmesinden hesaplanabilir.

Sistemin efektif rijitliği mesnedin histeretik döngüsel eğrisindeki parametrelerin maksimumları alınarak hesaplanan rijitliktir. Sistemde oluşan maksimum yatay deplasman " D ", plastik deplasman D_y ' den daha büyüktür.

$$K_{eff} = k_2 + Q/D \quad D > D_y \quad (3.1)$$

Akma deplasmanı ;

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (3.2)$$

Olarak ifade edilir.

Sistemin doğal titreşim frekansı ise;

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff}}{W}} = \sqrt{\omega^2 + \mu(g/D)} \quad (3.3)$$

Şeklinde ifade edilir.

W: Sistemde taşınan yük

μ : Q/W

ω^2 : $\sqrt{k_2} g / W$

Aynı zamanda efektif periyotta hesaplanmış olur.

$$T_{eff} = 2\pi / \omega \quad (3.4)$$

Kurşun çekirdekli döngüsel davranış eğrisi içinde kalan alan W_D , aynı zamanda mesnedin bir döngüde dağıttığı enerjiye eşittir. Bu durumda bir tam periyot zamanında dağıtılan enerji;

$$W_D = 4Q(D - D_y) \quad (3.5)$$

Şeklinde yazılabilir.

Sistemin genel efektif sönümü;

$$B_{eff} = \frac{\text{Döngüsel eğrinin alanı}}{2\pi k_{eff} D^2} \quad (3.6)$$

Bulunan değerler yerine konulduğu zaman kurşun çekirdekli mesnedin efektif sönümü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$B_{eff} = \sqrt{\frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(k_2 D + Q)D}} \quad (3.7)$$

Şeklinde olur.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)

Şekil 3.8. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin yapıya uygulanması

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin yapıya uygulanması Şekil 3.7.'teki aşamalarda görülmektedir.

Radye temel üzerine yerleştirilecek olan izolatörler için donatı sıklaştırması yapılır ve dikme ankrajları çekilir. Daha sonra şekil a da görüldüğü üzere izolatörlerin monte edileceği çelik plakası yerleştirilir ve sabitlenir. Çelik plaka sabitlenmeden önce yükseklik ayarı yapılmalıdır. Yükseklik ayarı leveling aleti denen hassas yüksekliği ayarlayan aletlerle yapılmaktadır. Çelik plaka sabitlendikten sonra izolatörün yerleşeceği taban kısmının belirli bir yüksekliğe çıkarılması için kalıplarla çevrilmekte ve betonu dökülerek hazır hale getirilmektedir. Şekil c ve d’de izolatörün tabanın hazır hale getirilmesi görülmektedir. Daha sonra izolatörler vinç yardımıyla mesnetlerinden tutularak çelik plakaya monte için yerleştirilmektedirler. Şekil e ve şekil f’de izolatörlerin yerleştirilmesi ve son hali görülmektedir. İzolatörler yerleştirildikten sonra üst çelik plaka takılıp, izolatörler temele sabitleştirilir. Daha sonra izolatör katı hazırlanma başlanır. Kolon kiriş ve tabliye kalıpları ve donatıları tamamlandıktan sonra betonu dökülerek yapının aplikasyonuna başlanır. Şekil g ve h’de İzolatörlerin yerleştirilmiş ve izolasyon katının tamamlanmış hali görülmektedir. Şekil ı’dayapının tamamlanmış hali görülmektedir.

3.3.3.Sürtünme Esaslı İzolasyon Mesnetleri :

Sürtünme esaslı izolatörler, izolasyon ara yüzeyinde kesme kuvveti geçişinin sınırlandırılması ve yer hareketi sonucu ortaya çıkan enerjiyi sürtünmeyle sönmülendirme prensibine dayanmaktadır. İzolatörün periyodu, içbükey çapına bağlı olarak kontrol edilir ve mesnetlenen yapının kütesinden bağımsızdır. İstenilen periyod değeri çap değiştirilerek elde edilmektedir.

Kayıcı sistem en basit ve en eski izolasyon sistemlerindendir. 1909 yılında İngiltere’de Doktor Johannes Calantarients tarafından bu sistemin kullanımı önerilmiştir. Doktor Calantarients yapıyı bir tampon tabaka ile temelden ayırmayı önermiştir. Bu metot görelî deplasmanlara dayanan yararlı bir metottur. Kayan mesnet için bir çok ortak malzeme kullanılır; dolu veya boş teflon, paslanmaz çelik gibi. Bu sistemin sürtünme karakteristikleri, ara yüzey hareketinin hızı, dayanıklılık derecesi, yüzey temizliği önem taşır.

Yaygın olarak kullanılan Düz kayıcı yüzeyler, Eğrisel Kayıcı Yüzeyler, Konikal Kayıcı yüzeyler olarak ele alınabilir. En yeni teknolojisi sürtünmeli sarkaç sistemi olarak kullanılmaktadır.

Sürtünmeli sarkaç sistemi enerji dağıtma modellerinin en yenilerinden biridir. Bu sistemler sürtünme vasıtasıyla enerji sönümleme yönteminden yararlanılan izolasyon sistemleridir. Modelleme yapı sisteminin basitleştirilerek sarkaç hareketine uyarlanması ile depremde yapıya ulaşan enerjinin metalik yüzeylerde sürtünerek kısmen yada tamamen kaybolması prensibine dayanır. Kayma hareketi ve kuvvet geometrisini geri koyma kombinasyonlarından oluşur. Sürtünmeli sarkaç izolatörü, sarkaç karakterleri kullanılarak yapının doğal periyodunun uzamasına ve dolayısıyla güçlü deprem kuvvetlerinden kaçınılmasını sağlar. Bu yöntemde izolasyonun rijitliği ve yapının titreşim periyodu, sürtünene eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilir. Sürtünmeli sarkaç izolatörü paslanmaz çelikten yapılmış küresel bir yüzey içinde, kayıcı mafsalların taşınmasından oluşan bir sisteme sahiptir. Kayıcı mafsalları, küresel yüzeye kaplanarak birleştirilmiş ve düşük sürtünmeli kompozit bir malzeme oluşturulmuştur. Kaydırıcının Şekil 3.5’ te görülen diğer kenarı da küresel bir oyukla kaplanmıştır. İçbükey yüzeyin eğrilik yarıçapının seçilmesiyle izolatörün periyodu basitçe seçilir. Bu yapı mesnetlerinin kütlelerine bağlı değildir. Yapının burulması minimuma indirilmiştir. Çünkü yük merkezi ile kütle merkezi otomatikman çakışır. İzolatörlerin periyodu seçilen içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı ile kullanılır.

Sürtünmeli sarkaç mesnedin üzerindeki rijit mesnetli yapının doğal titreşim periyodu, sarkaç eşitliğinden şöyle tanımlanır:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{R}{G}} \quad (3.8)$$

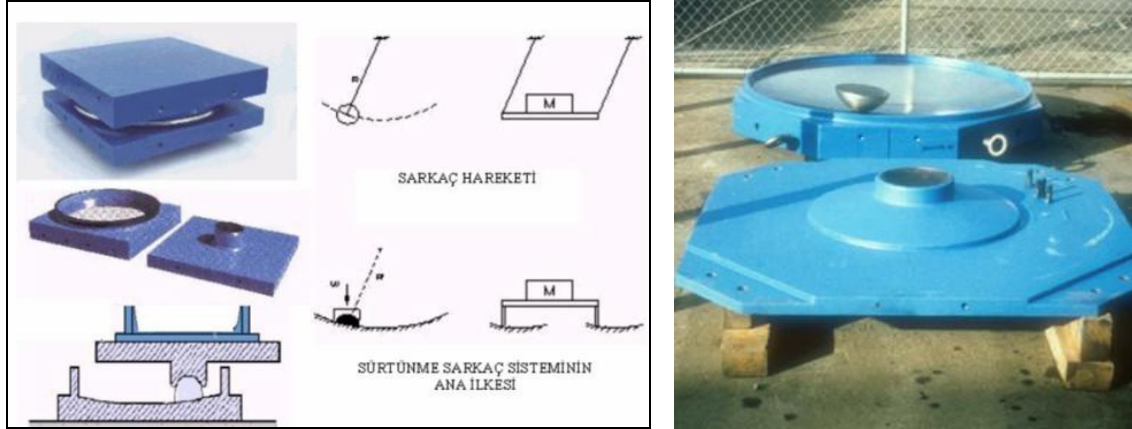
R: İçbükey yüzey eğrilik yarıçapı

Sürtünmeli sarkaç mesnedi esnek özelliğe sahiptir. Kayma periyodu 3’ten 2’ye indirgenir, taban kesme ve ivmelenme deplasmanları değişir. Sürtünme katsayısı 0,10’dan 0,05’e indirgenerek, taban kesme kuvveti ve ivmelenme deplasmanları değişir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetleri seviyesinin altına geçtiğinde, sürtünmeli sarkaç mesnedi, ankastre mesnede benzer ve izolasyonsuz titreşim periyodu oluşur. Bir kez sürtünme kuvvetleri seviyesi aşıldığında yapının titreşim periyodu davranışı, dinamik davranışla birlikte sönüm, mesnet özellikleri tarafından kontrol edilir.

Sürtünmeli sarkaç mesnedinin yapı mesnetlerinin kütlelerinden bağımsız olduğu gerçektir ve önemli özellikleri yapı tarafından kontrol edilir. Periyot ağır yada hafif

yapılarda değişmez, eğer yapının ağırlığı değişirse veya farklı kabul edilirse de periyot değişmez.

Sürtünmeli sarkaç sistemi elastomerik sistemlerde söz konusu avantajların hepsine sahip olduğu gibi kauçuk izolatörlerde dezavantaj sayılan hususları da içermemektedir.



Şekil 3.9. Sürtünmeli sarkaç mesnedi

Son zamanlarda en çok kullanılan mesnet tiplerinden biride çapraz raylı sistemlerdir. Bu sistemler alışlagelmiş ince tabakalı kauçuk izolatör kullanımında ortaya çıkan ve izolatörün burkulması yada çekmeden kaynaklanarak kopması gibi mühendislik sorunlarını gidermek için tasarlanmıştır. Pek çok deneysel veriler, deprem kayıtları, teori ve analiz sonuçları ile kıyaslanmış olan bu sistemler, tüm deneysel ve aplikasyon çalışmalarında üstün bir performans göstermiş, uygulanabileceği hususunda gerekli kriterleri sağlamıştır.

Bu sistemlerle amaçlanan:

- (1) Sismik izolasyonu, hafif yapılara (ahşap ve çelik evler gibi) uygulayabilmek.
- (2) Sismik izolasyonu, yüksek yapılara ve kule şeklindeki yapılara uygulayabilmek.
- (3) Sismik izolasyonu, zemin taşıma gücü çok düşük zeminlerde (uzun doğal periyotlara sahip C ve D gurubu zeminler) inşa edilecek yapılara uygulayabilmek.

Bu sistemlerde sismik izolatörün iç mekanizması şöyledir; izolatör, kayan çelik bir gövdeden ve üzerinde bilyelerin hareket edebileceği yivler bulunan bir raydan meydana gelmektedir. Gövde ile ray arasında yuvarlanarak hareket eden çelik bilyeler

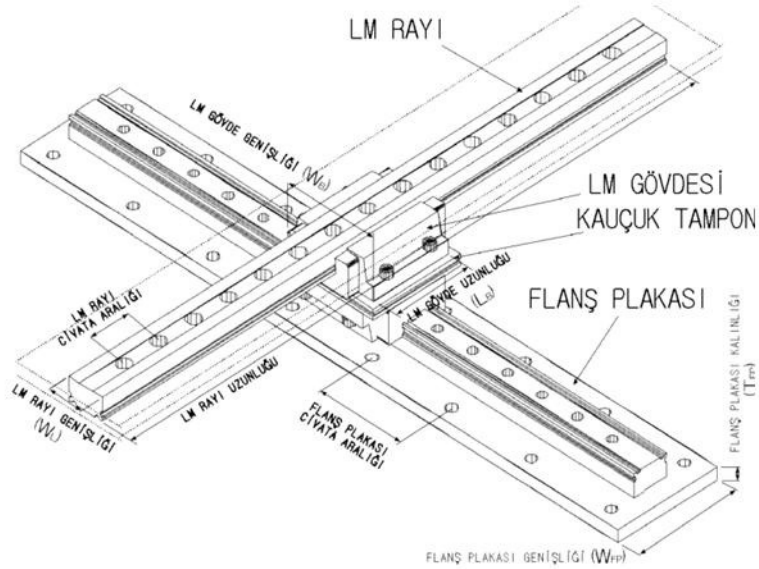
bulunmaktadır. Gövde çok az sürtünme kuvveti ile hareket eder. Bu tip izolatörler yatay düzlemde birbirine dik doğrultuda çapraz olarak hareket ederler. İzolatörün taşıma kapasitesini, çelik bilyelerin çapı, etkili bilye sayısı ve ray adeti belirlemektedir. Bu sistemlerde sismik izolasyonun kule tipi ve yüksek yapılara olduğu gibi hafif yapılara da uygulanması ve zemin taşıma gücü düşük olan zeminlere de (C ve D grubu zemin tipleri gibi) sismik izolasyonun uygulanabilmesi hedeflenmiştir. (12th World Conference on Earthquake Engineering.)



(a)



(b)



(c)



(d)



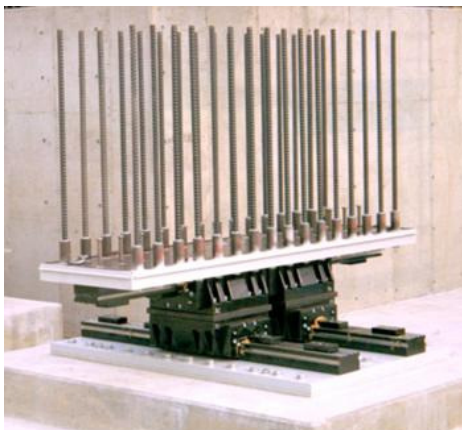
(e)



(f)



(g)



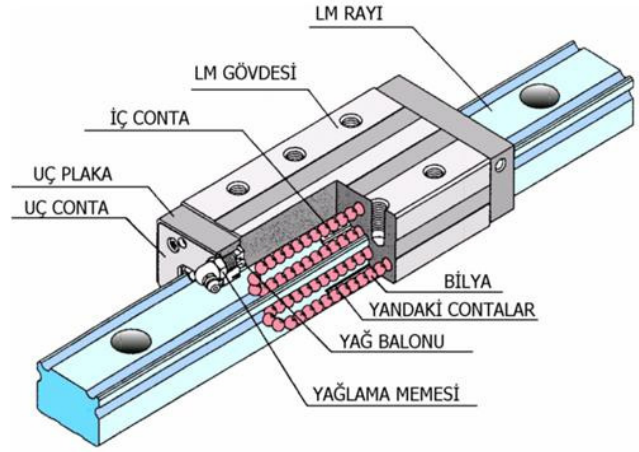
(h)



(i)



(j)



(k)

Şekil 3.10. Çapraz raylı izolatörlerin yapıya uygulanması

Çapraz raylı izolatörlerin yapıya uygulanması Şekil 3.10.'daki aşamalarda görülmektedir.

Radye temel üzerine yerleştirilecek olan izolatörler için donatı sıklaştırmaları yapılır ve dikme ankrajları çekilir. Daha sonra Şekil 3.10.a'da ankraj plakası çekilerek donatılara monte edilir. Ankraj plakasını etrafı betonarme blokla çevrilir ve daha sonra izolatör alt rayı ve gövdesi yerleştirilmek üzere hazırlanır. Şekil 3.10. d'de görüldüğü gibi izolatörlerin alt ray ve gövdeleri civatalar yardımıyla ankraj plakasına monte edilir. Alt rayda hareket edecek gövdeyi birbirine bağlayan kauçuk tampon yerleştirilir. Üst ray ise üst flanş plakasına sabitlenmiş olarak vinç yardımıyla kauçuk tampon üzerine yerleştirilir. Şekil 3.10.f'de görüldüğü gibi üst ankraj flanşının montajından sonra izolatör katı için çalışmalar başlanır. Şekil 3.10.h'de izolatör katının hazırlığı görülmektedir. Daha sonra yapı aplikasyonuna devam edilir. Şekil 3.10.i'da izolatörlerin tamamlanmış hali ve Şekil 3.10. k'da yapının tamamlanmış hali görülmektedir.

3.3.4.Diğer İzolasyon Sistemleri:

1970'li yıllarda Fransa'da "Nükleer Güç Santralleri" için geliştirilmiş olan "Fransız elektrik sistemi" sismik izolasyonda kullanılan sistemlerden biridir. Sistemde, çelikle güçlendirilmiş neopren mesnetlerle, paslanmaz çelikle temas halinde olan

kurşun-bronz alaşımını birleştirirler. Çift parçadan oluşan kayma yüzeylerinden biri paslanmaz çelik, diğeri kurşun bronz alaşımdır. Bu teknoloji esasen nükleer santrallerde ve köprü mesnetlerinde kullanılır. Sürtünme katsayısı hizmet ömrü boyunca 0,2 g civarında kabul edilerek hesap yapılmaktadır. Sentetik yastık çok düşük deplasman kapasitesine sahiptir. Sürtünme yüzeyindeki neopren tabakanın çok düşük yer değiştirme kapasitesi vardır. $\pm 5,0\text{cm}$ 'den daha fazla olmaz.

Depremi tekrar eden yatay bileşenleri karşısında, titreşim izolasyonunun varlığı, memnuniyet verici sonuçlar göstermiştir. Pratik olarak titreşim izolasyonun yokluğu deprem titreşim hareketi ve düşey yükler için ciddi dezavantajlar doğurur. Çünkü çeklik levhalar dikey yönde sistemin rijitliğini arttırırken, neopren tabakalar yatay esnekliği sağlarlar. Enerjiyi sürtünmeyle sönmülendiren bu sistemdeki elemanların değiştirilememesi ve onarılamaması gibi bir dezavantajı vardır. Sistemde enerji tasarlanana limiti aştığında yer değiştirmeler kalıcıdır. Nükleer santrallerin dikey doğrultuları aşırı derecede dikey titreşime maruz kalırlar ve bu nedenle bu sistemler nükleer santrallerde kullanım alanı bulmuştur. Güney Afrika'da büyük bir nükleer santrale uygulanmıştır.

Kauçuk esaslı ve kayıcı mesnetler, genellikle yatay yönde izolasyonu sağlanmak amacıyla kullanılırlar. Düşey yönde de izolasyon sağlanmak isteniyorsa, kullanılması tercih edilen izolasyon sistemleri, helezoni yaylardan oluşan sistemler olmalıdır. Çelik spiral yaylar ve viskoz sönmüleyiciler; mukavemet ve sönmü tüm üç boyutta sağlarlar. Tüm serbestlik derecelerinde sistem yaklaşık olarak 1–5 Hz arasında doğal frekans oluştururlar. Gerçek spiral yaylar kullanılarak yapı desteklenir ve net sismik etkinin minimuma indirgenmesi amacıyla, yapının doğal titreşim periyodu istenen seviyede tutulur. Büyük çelik spiral yaylar dikey ve yatay doğrultuda esnektir. Çelik yaylar sönmüleyici özellik taşımazlar ve böyle sistemler daima viskoz sönmüleyicilerle birleştirilerek kullanılırlar. Böylece büyük yer değiştirmeler viskoz sönmüleyiciler tarafından önlenir. Şekil 3.7'de spiral yay kullanılan sismik izolasyon, viskoz damperli ve yaylı sismik izolasyon temel kata uygulanması görünüyor.

Bütün 3 boyutlu sistemlerde yatay hareket ve deprem hareketi arasında güçlü bir bağ vardır, çünkü her iki hareket esnasında yapının kütle merkezi, izolasyonlu sistemin kütle merkezince taşınır. Bu tip sistemlerde pratik durumda yük merkezi ile kütle merkezi benzer seviyeye getirilir. Örneğin nükleer güç santrallerindeki reaktörler gibi.

Spiral yaylar ve viskoz sönümleyiciler endüstriyel uygulamalarda, mekanik titreşim izolasyonu içinde zorunludur. Dünyada önemli üretimi ve dağıtımı yüz yıldan daha fazla bir süreden beridir yapılmaktadır.

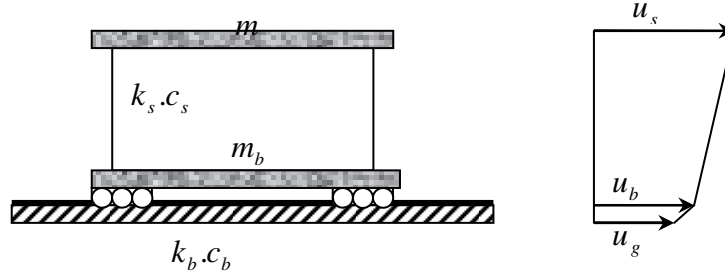


Şekil 3.11.Spiral yaylı izolasyon mesnedi

3.4. SİSMİK İZOLASYONUN TEORİ ESASLARI

3.4.1. Lineer Teori

3.4.1.1. İki Serbestlik Dereceli Sistemleri İçin Hareket Denklemleri

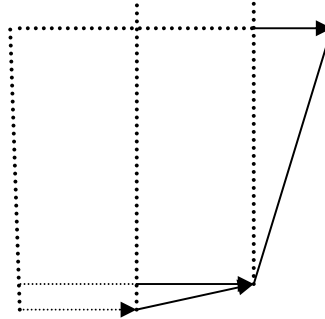


Şekil 3.12. İki serbestlik dereceli izolasyonlu sistemde parametreler

Sismik izolasyon üzerine teorik yaklaşımlar, iki kütleli modele dayandırılarak doktor Kelly (1999) tarafından yapılmıştır. Üst yapı kütlesi m , izolasyon sisteminin üzerindeki kütleyi de m_b temsil etmektedir. Üst yapının rijitlik ve sönümü k_s , c_s ile izolasyon sisteminin rijitlik ve sönümü ise k_b, c_b ile ifade edilmiştir. Kütlelerin yaptıkları toplam yerdeğiştirmeler u_b ve u_s olmakla beraber, hesaplarda daha çok göreceli yerdeğiştirmeler kullanılmaktadır.

$$v_b = u_b - u_g \quad (3.8)$$

$$v_s = u_s - u_b \quad (3.9)$$



Şekil 3.13. İki serbestlik dereceli sistemde katların birbirilerine göre yer değiştirmesi

U_g , zeminin yaptığı yer değiştirmeyi ifade etmektedir. Göreli yer değiştirmelerin sağladığı hesap kolaylığı sonucu iki önemli büyüklük daha elde edilir; izolatörlerin zemine göre göreceli yer değiştirmesi “ $\checkmark_b$ ” ve üst katın alt kattakine göre göreceli yer değiştirmesi “ $\checkmark_s$ ”. Bu büyüklükler dikkate alınarak, 2 serbestlik dereceli sistem için temel eşitlikler baştan yazılırsa;

$$(m + m_b) \ddot{\checkmark}_b + m \ddot{\checkmark}_s + c_b \dot{\checkmark}_b + k_b \checkmark_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (3.9-a)$$

$$m \ddot{\checkmark}_b + m \ddot{\checkmark}_s + c_s \dot{\checkmark}_s + k_s \checkmark_s = -m \ddot{u}_g \quad (3.9-b)$$

Denklemler matris formuna dönüştürülürse;

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\checkmark}_b \\ \ddot{\checkmark}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\checkmark}_b \\ \dot{\checkmark}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \checkmark_b \\ \checkmark_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (3.10)$$

elde edilir.

Denklemden $M = m + m_b$, toplam kütlelerdir. Denklem aşağıdaki halini alır.

$$M \ddot{\checkmark} + C \dot{\checkmark} + K \checkmark = +M r \ddot{u}_g \quad (3.11)$$

Sistemde kütleler oranı γ ;

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M} \quad (3.12)$$

Sistemde açılmal frekanslar;

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b}, \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (3.13)$$

Sönüm faktörleri β_b ve β_s ;

$$2\omega_b \beta_b = \frac{c_b}{m + m_b}, \quad 2\omega_s \beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (3.14)$$

Bu büyüklükler, hareketin ana denklemleri olan (3.1) ve (3.2) de yerine yazılırsa eşitlik;

$$\gamma \dot{\checkmark}_s + \ddot{\checkmark}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{\checkmark}_b + \omega_b^2 \checkmark_b = -\ddot{u}_g \quad (3.14-a)$$

$$\ddot{\checkmark}_s + \ddot{\checkmark}_b + 2\omega_s \beta_s \dot{\checkmark}_s + \omega_s^2 \checkmark_s = -\ddot{u}_g \quad (3.14-b)$$

Sistemde mod şekilleri dikkate alındığında, hesaplanacak diğer parametreler ; ϕ^1, ϕ^2 olacaktır.

$$\phi^{iT} = (\phi_b^i, \phi_s^i), \quad i=1,2 \quad (3.15)$$

Aynı zamanda dikkate alınan her mod için açısal frekanslar ω_1 ve ω_2 hesaplanır. Açısal frekanslar için karakteristik eşitlik yazılırsa;

$$(1-\gamma)\omega^4 - (\omega_b^2 + \omega_s^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (3.16)$$

Denkleminin çözümünde 1. ve 2. modlara karşılık gelen hareketin açısal frekansları bulunur.

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2} \right\} \quad (3.16-a)$$

$$\omega_2^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2} \right\} \quad (3.16-b)$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \text{ Değişken dönüşümü yapılırsa, işlemlerden sonra açısal frekanslar } \varepsilon \text{ 'ya}$$

bağlı olarak bulunur;

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1 - \gamma\varepsilon), \quad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} (1 + \gamma\varepsilon) \quad (3.17)$$

ve sistemde mod şekillerini hesaplamak için; $(\phi_b^i = 1, i = 1, 2)$

$$(\phi^1)^T = (1, \varepsilon) \quad (\phi^2)^T = \left\{ 1, \frac{-1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\varepsilon] \right\} \quad (3.18)$$

Modal koordinatlarda orijinal yer değiştirmeleri hesaplamak için;

$$v_b = Y_1\phi_b^1 + Y_2\phi_b^2 \quad (3.19)$$

q_1 ve q_2 zamana bağlı modal katılım çarpanları ve M_i modal kütle olmak üzere, diğer modal büyüklüklerde hesaplanır;

$$M_i = (\phi^i)^T M \phi^i \quad M_i q_i = (\phi^i)^T M r \quad (3.20)$$

Denklemler ε 'ye bağlı olarak tekrar düzenlenirse;

$$M_1 = M(1 + 2\gamma\varepsilon) \quad M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1 - 2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (3.21)$$

ve

$$q_1 = 1 - \gamma \epsilon \quad q_2 = \gamma \epsilon \quad (3.22)$$

(3.17) ve (3.18) eşitliklerindeki rölatif yer değıştirmeler (v_b, v_s), mod şekilleri Φ^1 ve Φ^2 ,ye bağılı olarak yazılmak istenirse, iki tane modal katılım çarpanına ihtiyaç duyulur;(q_1 ve q_2).

$$\ddot{Y}_1 + 2\omega_1\beta_1 \dot{Y}_1 + \lambda_1 \dot{Y}_2 + \omega_1^2 Y_1 = -q_1 \ddot{u}_g \quad (3.23)$$

$$\ddot{Y}_2 + \lambda_2 \dot{Y}_1 + 2\omega_2\beta_2 \dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 = -q_2 \ddot{u}_g \quad (3.24)$$

“ $2\omega_1\beta_1$ ” ve “ $2\omega_2\beta_2$ ” değeri aşığıda verilen denklemin çözümlü sonucu bulunacaktır.

$$M_i 2\omega_i \beta_i = (\phi^i)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi_i \quad (3.25)$$

elde edilen değeri ise;

$$2\omega_1\beta_1 = 2\omega_b\beta_b(1 - \gamma\epsilon) \quad (3.26)$$

$$2\omega_2\beta_2 = \frac{1}{1 - \gamma} (2\omega_s\beta_s + 2\gamma\omega_b\beta_b) \quad (3.27)$$

Olacaktır. Bu değeriyle;

$$\beta_1 = \beta_b [1 - (3/2)\gamma\epsilon] \quad (3.28)$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma\beta_b\epsilon^{1/2}}{(1 - \gamma)^{1/2}} (1 - \frac{\gamma\epsilon}{2}) \quad (3.29)$$

elde edilir.

Modal bağlantı katsayıların (coupling coefficients), “ λ_1 ” ve “ λ_2 ” nin hesaplanacağı denklemler;

$$\lambda_1 M_1 = (\phi^1)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^2 \quad (3.30)$$

$$\lambda_2 M_2 = (\phi^2)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi^1 = \lambda_1 M_1 \quad (3.31)$$

Böylece;

$$\lambda_1 M_1 = (1, \epsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ a \end{pmatrix} = c_b - \epsilon a c_s, \quad a = (1/\gamma)[1 - (1 - \gamma)\epsilon] \quad (3.32)$$

Denklem (3.17)’de bulunan M_1 ve M_2 değeriğini kullanırsak;

$$\begin{aligned}
\lambda_1 &= \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon\{(1/\gamma)[1 - (1 - \gamma)\varepsilon]\}2\omega_s\beta_s m}{M(1 + 2\gamma\varepsilon)} \\
&= 2\omega_b\beta_b(1 - 2\gamma\varepsilon) - \varepsilon 2\omega_s\beta_s(1 - 2\gamma\varepsilon) \\
&= 2\omega_b[\beta_b(1 - 2\gamma\varepsilon) - \varepsilon^{1/2}\beta_s]
\end{aligned} \tag{3.33}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_2 &= \frac{2\omega_b\beta_b M - \varepsilon\{(1/\gamma)[1 - (1 - \gamma)\varepsilon]\}2\omega_s\beta_s m}{[M(1 - \gamma)/\gamma][1 - 2(1 - \gamma)\varepsilon]} \\
&= (2\omega_b\beta_b - \varepsilon 2\omega_s\beta_s)[1 + 2(1 - \gamma)\varepsilon] \frac{\gamma}{1 - \gamma} \\
&= 2\omega_b\{\beta_b[1 + 2(1 - \gamma)\varepsilon] - \varepsilon^{1/2}\beta_s\} \frac{\gamma}{1 - \gamma}
\end{aligned} \tag{3.34}$$

şeklinde elde edilir.

Birçok yapısal uygulamada, sönüm yeterince küçük olduğu için, sönüme bağlı ortogonal bileşenler (burada λ_1 ve λ_2) ihmal edilir. Böylelikle gerekli çözüm, bağlantısız formdaki eşitliklerden(uncoupled modal equations) elde edilir;

$$\ddot{Y}_1 + 2\omega_1\beta_1 \dot{Y}_1 + \omega_1^2 Y_1 = -q_1 \ddot{u}_g \tag{3.35}$$

$$\ddot{Y}_2 + 2\omega_2\beta_2 \dot{Y}_2 + \omega_2^2 Y_2 = -q_2 \ddot{u}_g \tag{3.36}$$

Yapının cevabı Y_1 ve Y_2 ise u_g yer hareketinin tanımlanmasıyla şöyle bulunabilir;

$$Y_1 = \frac{q_1}{\omega_1} \int u_g(t - \tau) e^{-\omega_1\beta_1\tau} \sin \omega_1\tau d\tau \tag{3.36-a}$$

$$Y_2 = -\frac{q_2}{\omega_2} \int \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_2\beta_2\tau} \sin \omega_2\tau d\tau \tag{3.36-b}$$

Ve maksimum değerlerin bulunabilmesi için aşağıdaki denklemler kullanılacaktır;

$$|Y_1|_{\max} = q_1 s_D(\omega_1\beta_1) \tag{3.37-a}$$

$$|Y_2|_{\max} = q_2 s_D(\omega_2\beta_2) \tag{3.37-b}$$

Denklemden $S_D(\omega,\beta)$ yer değiştirme spektrumunda “ ω ” açısal frekansında, “ β ” sönüm faktöründe yer hareketi için karşılık gelen değerdir.

Maksimum spektral değerlerden çeşitli büyüklükleri hesaplamak için karelerinin toplamının karekökü (SRSS) metodunu kullanmak gereklidir. Maksimum izolasyon sisteminin yer değiştirmesi ve yapısal deformasyonun maksimum değerleri;

$$|v_s|_{\max} = \left[(\phi_2^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_2^2 |Y_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.38)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[(\phi_1^1 |q_1|_{\max})^2 + (\phi_1^2 |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.39)$$

(3.39)'de bulunan sonuçlar yerine yazılırsa;

$$|v_b|_{\max} = \left\{ (1 - \gamma \epsilon)^2 [s_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 [s_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.40)$$

$$|v_s|_{\max} = \epsilon \left\{ (1 - 2\gamma \epsilon)^2 [s_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma)\epsilon]^2 [s_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \quad (3.40)$$

bulunur.

Genellikle “ $\epsilon^2 s_D(\omega_2, \beta_2)$ ” terimi ihmal edilebilir. Çünkü yüksek frekanslarda (ω_2) deplasman, düşük frekanslarda (ω_1) yapılan deplasmandan çok küçüktür, bu da bize;

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma \epsilon) s_D(\omega_1, \beta_1) \quad (3.41)$$

bağıntısını verir. Eğer biz “ ϵ^2 ”den büyük olan bütün terimleri ihmal edersek bu durumda da katlar arası maksimum yer değiştirmeyi bulmuş oluruz;

$$|v_s|_{\max} = \epsilon \left[s_D(\omega_1, \beta_1)^2 + s_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \quad (3.42)$$

4.1.2. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler İçin Hareket Denklemleri

Daha önce iki serbestlik dereceli sistemler üzerine yapılan kabuller, çok katlı yapı sistemleri içinde uygulanabilir. Çok katlı yapı için “M” kütle matrisi, “c” sönüm matrisi ve “K” rijitlik matrisi olarak tanımlansın. Ankastre mesnetli yapılar için hareket denklemini anımsayalım;

$$M_v + C_v + K_v = -MU_g \quad (3.43)$$

“r” vektörü her bir serbestlik derecesini yer hareketine bağlayan vektör olup, “u” yere göre yer değiştirme vektörü idi. İzolatörlü modelde ise denkleme ek olarak “m_b” taban kütlesi, “k_b” izolatör rijitliği ve “c_b” izolasyon sisteminin sönümü gelmektedir.

$$M_v + C_v + K_v = -M_r(u_g + v_v) \quad (3.44)$$

(3.42) denkleminde , “v” taban kütlesine göre rölatif yer değıştirme, “v_b”ise taban kütlesinin zemine göre rölatif yer değıştirmesidir. Bütün sistemde birleşik yapı ve taban kütlesine göre bir eşitlik yazılırsa bu durumda;

$$r^T M \left(\ddot{v} + r \ddot{v}_b + r \ddot{u}_g \right) + m_b \left(\ddot{v}_b + \ddot{u}_g \right) + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (3.45)$$

Olduğu görülür. Eşitlik düzenlenirse;

$$r^T M \ddot{v} + (m + m_b) \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + k_D v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (3.46)$$

Olarak son halini alır. “r^TMr” yapının toplam kütlesini temsil etmektedir. Bu yüzden, “m+m_b” izolasyon sisteminin üzerinde taşınan toplam kütledir. Bu eşitliklerin matris formu;

$$M^* \ddot{v} + C^* \dot{v} + K^* v = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (3.47)$$

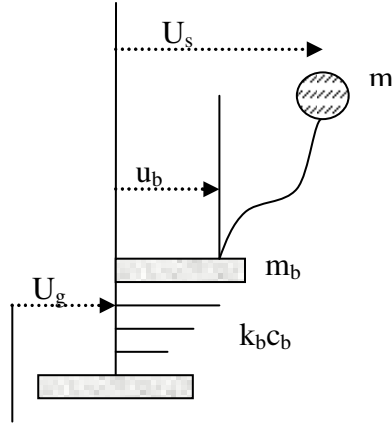
Denklemdaki değerler;

$$M^* = \begin{bmatrix} m + m_b & r^T M \\ Mr & M \end{bmatrix}, \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \quad (3.48-a)$$

$$K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix}, \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad v^* = \begin{bmatrix} v_b \\ v \end{bmatrix} \quad (3.48-b)$$

4.2. Sismik İzolasyonlu Yapıların Genel Davranışı

Sismik izolasyonlu yapıyı ifade eden iki serbestlik dereceli sistemi daha basit bir hale getirirsek;



Şekil 3.14. İki serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapı modeli

Bu durumda ankastre mesnetli sistemin periyodu;

$$T_{ank} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_s}} \quad (3.49)$$

Aynı şekilde taban izolasyonlu sistemin periyodu;

$$T_{izo} = 2\pi \sqrt{\frac{(m + m_b)}{k_D}} \quad (3.50)$$

Ankastre mesnetli sistemin periyodunun, taban izolasyonlu sistemin periyoduna oranı; (α), taban kütesinin üst yapı kütesine oranını da (η) olarak ifade edelim;

$$\alpha = \frac{T_{ank}}{T_{izo}}, \quad \eta = \frac{m_b}{m} \quad (3.51)$$

Elde edilen değerler frekans denkleminde yerine yazılır, yüksek dereceden terimler ihmal edilmek suretiyle gerekli hesaplamalar yapılırsa, yapının 1. ve 2. moddaki titreşim periyodları;

$$T_1 = \sqrt{(1 + \alpha^2)} T_{izo} \quad (3.52)$$

$$T_2 = \frac{T_{ank}}{\sqrt{(1 + \eta + \eta \alpha^2)}} \quad (3.53)$$

Sisteme ait mod şekilleri de aşağıdaki gibidir:

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 + \alpha^2 \end{Bmatrix} \quad (3.54)$$

$$\phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ (\alpha^2 - 1)/\eta \end{Bmatrix} \quad (3.55)$$

Periyodlar oranı α 'nın açık yazılması halinde;

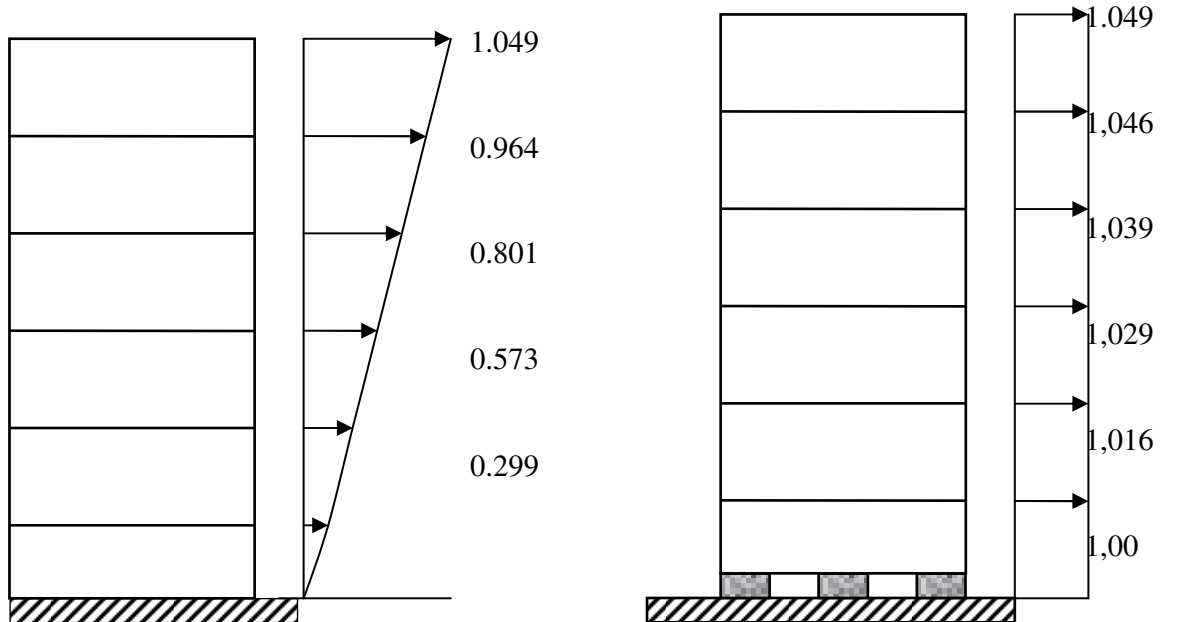
$$\alpha = \sqrt{k_b/k_s} \sqrt{m/(m + m_b)} \quad (3.56)$$

İzolasyon sisteminin rijitliği k_b , üst yapının kine oranı k_s 'ye göre çok küçük olduğunu ve taban kütlesi m_b 'nin çoğu zaman üst yapı kütlesi m 'den küçük olduğunu düşünürsek α değerinde 1'den küçük bir sayı olacağı anlaşılmaktadır. Ortalama 0.01 ile 0.3 arasında olan bu sayının karesi kendisinden küçük olacağından,

$$1 + \alpha^2 \approx 1 \quad (3.57)$$

alınabilir.

Chopra(1995), sismik izolasyonun sistem üzerindeki etkisini göstermek için 6 katlı bir model ele almıştır ve yaptığı hesaplamalarda yapının 1. mod şekli için şu sonuçlara ulaşmıştır:

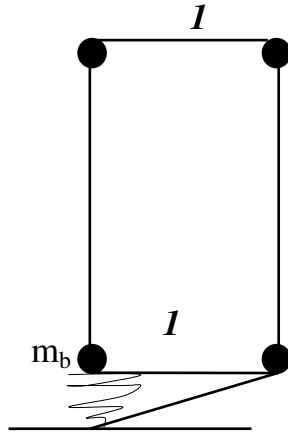


Şekil 3.15. Taban izolasyonlu ve ankastre mesnetli modellerin 1. mod şekillerinin karşılaştırılması

Görüldüğü gibi (şekil 4.5) ilk mod için taban izolasyonlu sistemde, periyotlar oranı α 'nın ihmal edilmediği hesaplarda bile ne alt ve en üst katlar arasındaki fark mertebesinde küçüktür.

Bu durumda sistemde ilk moda ait mod şekli (şekil 3.16) ve denklem (3.58)'deki halini almaktadır.

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.58)$$



Şekil 3.16. Sismik taban izolasyonlu yapının 1. mod şekli

Bir yapının deprem anındaki davranışının belirlenmesinden önemli etken 1. titreşim modudur. 1. titreşim modunun yapının tüm davranışına olan katkısı kimi zaman %90'lara çıkmaktadır. Hareket denkleminin çözümünden de anlaşılacağı gibi sismik izolasyonlu bir yapıda 1. titreşim moduna ait değerler ana yapıdan bağımsızlaşmakta ve yalıtım sisteminin özellikleriyle birleşmektedir.

3.5. SİSMİK İZOLASYON İÇİN ANALİTİK ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Bu bölümde, analitik çözüm yönteminde kullanılacak olan yönetmelik ve kanunlardan bahsedilecektir. İlk olarak ABYYHY-98’de, eşdeğer sismik yük metodu özetlenmiş ve sonrasında 1997 yılında ABD’de yayınlanmış olan “Standart Yapı Kanunları 1997”(UBC-97) özetlenerek sismik izolatörlerin dizaynı için gerekli şartlar sunulacaktır.

3.5.1. Analiz Yönteminin Belirlenmesi

3.5.1.1. Güçlü Zemin Tipleri İçin

Güçlü zemin tipleri için (ABYYHY-98’ye göre Z_1, Z_2 ve Z_3 ve UBC-97’ye göre S_A, S_B, S_C ve S_D) aşağıda belirtilmiş olan koşullar sağlanıyorsa, “Eşdeğer Yük Metodu” kullanılarak sismik izolasyon sistemi modellenenbilmektedir:

- (1) Ele alınan zeminin faya yakınlığı 10 kilometreden büyük olmalı
- (2) Yapı yüksekliği H , 20metreden küçük ya da eşit olmalı ve kat sayısı N , 4 ten fazla olmamalı
- (3) İzolasyonlu yapının, deprem anına hedeflenen doğal titreşim periyodu T_D , ankastre mesnetli yapının doğal titreşim periyodundan T_{fix} , 3 kat daha büyük olmalıdır ($T_D \geq 3 T_{fix}$).
- (4) Maksimum deprem seviyesinde, yapının hedeflenen doğal titreşim periyodu T_M , 3 Sec değerini aşmamalıdır ($T_M \leq 3sec$).

Bu koşullardan herhangi birinin sağlanamaması durumunda, “Modların Süperpozisyonu Metodu” ile çözüme gidilmelidir.

3.5.1.2. Zayıf Zemin Tipleri İçin

Eğer seçilen zemin, fay hattından 10 kilometreden daha az bir uzaklıkta ise, zaman tanım alanı uzayında analiz yapılmalıdır. Öte yandan bu mesafe 10 kilometreyi geçmiyorsa zemin güçlendirmesi yapılmalıdır ve zemine aşağıdaki çalışmalar uygulanmalıdır:

- (1) Zemin araştırmaları ve sondajları, mümkün mertebe yerinde yapılmalı
- (2) Yapı zemin ara yüzeyi kesiti için, yayılan titreşim dalgaları analitik çözülmelidir.

- (3) En büyük periyod içinden, maksimum deprem şiddeti tanımlanabilmelidir.
- (4) Uygun bir yapay deprem meydana getirerek, maksimum yer ivmelenmesini, depremin süresini, zemin hakim periyodunu ve enerji dağılımını tahmin etmek gereklidir.

3.5.2. “Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” e (ABYYHY-98) Göre Eşdeğer Yük Metodu

Toplam statik eşdeğer taban kesme kuvveti V_t , göz önünde bulundurulan deprem doğrultusunda, yapıda oluşan en büyük taban kesme kuvvetidir. ABYYHY-98 Bölüm 6’da aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$V_t = \frac{A_0 I S}{R} W \quad (3.60)$$

Burada ;

V_t : Göz önüne alınan deprem doğrultusunda yapıda oluşan toplam taban kesme kuvveti

A_0 : Etkin yer ivmesi

I : Bina önem katsayısı

S : Spektrum katsayısı

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

W : Yapının hareketli yük katılım katsayısı eklenerek hesaplanan toplam ağırlığıdır.

Bu durumda her bir kat tarafından alınan sismik yükün hesabı:

$$F_i = \left(\frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i} \right) V_t \quad (3.61)$$

F_i : i katınca taşınan sismik yük

W_i : i katının hareketli yük katılım katsayısı ile hesap edilen ağırlığı

H_i : i katının yüksekliği

3.5.3. Amerikan Standart Yapı Kanunları (UBC-97) Yönetmeliği

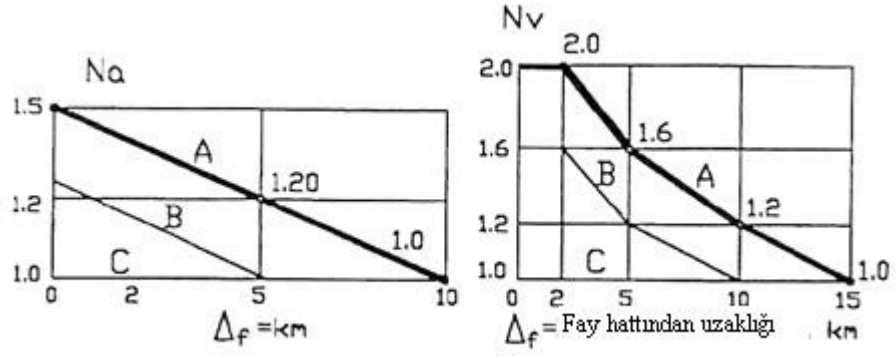
UBC-97 yönetmeliği, yer değiştirmenin taban izolasyon seviyesinde kaldığı ve üst yapının rijit davrandığı varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu nedenle bu yönetmeliğe göre ilk titreşim modu önemlidir. Yönetmelikte yer alan minimum koşullar, statik analiz sonucunda elde edilen kuvvet ve deplasmanlardır. Bu bakımdan statik analiz öntasarım için gerekli bir kıstas olmaktadır. Yönetmelikte yer alan hususlardan biri analiz tipinin belirtilmesidir. Zayıf

zemin tipleri için, yapının maksimum deprem yükü altında periyodu 3sn'den büyük ise, spektral analiz şart koşulmuştur. Aynı zamanda spektral analiz, üstyapı yatayda ve düşeyde düzensiz ise, dört kattan veya 19,8 m²'den yüksek ise zorunlu tutulmaktadır. Zaman tanım alanında analiz de, davranış spektrumu analiziyle aynı koşullarda zorunludur. UBC-97 kanunlarında sıklıkla kullanılan ifadelerin tanımı kısaca aşağıda özetlenmektedir;

- a. Tasarım Depremi (DBE) : 50 yıl içerisinde meydana gelen ve aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir. 475 yılda bir oluşan deprem periyoduna tekabül etmektedir.
- b. Efektif Maksimum Dizayn Depremi (MCE) : Yapı mahallinde beklenen maksimum yer sarsıntısıdır. 1000 yıllık periyotlarda, 100 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir.
- c. Efektif Sönüm(β): İzolatörlerden enerji devri süresince, sistemin viskoz sönümleyicilere eşit değeridir.
- d. Efektif Rijitlik (k) : İzolasyon sisteminde, göz önünde bulundurulan yatay kuvvetin neden olduğu yer değiştirme oranı olan değeridir.
- e. Tasarım Deplasmanı (d_D) : İzolasyon sisteminin dizaynında ihtiyaç duyulan, ikinci mertebeden dönme ve hareket süresince, sistemde oluşan ek deplasmanlar haricinde, temel deprem dizaynında kullanılan yatay deplasmanlardır.
- f. Maksimum Toplam Deplasman (d_M) : Olması beklenen en büyük depremde, ikinci mertebeden dönme ve hareketler sonucu meydana gelen yatay deplasmanlar haricinde, burulmalarda dikkate alınarak hesaplanan yatay deplasmandır.
- g. Toplam Tasarım Deplasmanı (dt_D) : İzolasyon sisteminin tasarımında kullanılan temel deplasmandır
- h. Tasarım Titreşim Periyodu (T_D) : Dizayn deplasmanında sistemin periyodudur. Dizaynda kullanılan efektif periyottur.
- i. Maksimum Efektif Periyot (T_M) : Sistemin maksimum deplasmanında kullanılan periyottur.

3.5.3.1. Standart Yapı Kanunlarına (UBC-97) Göre Hesap İlkeleri

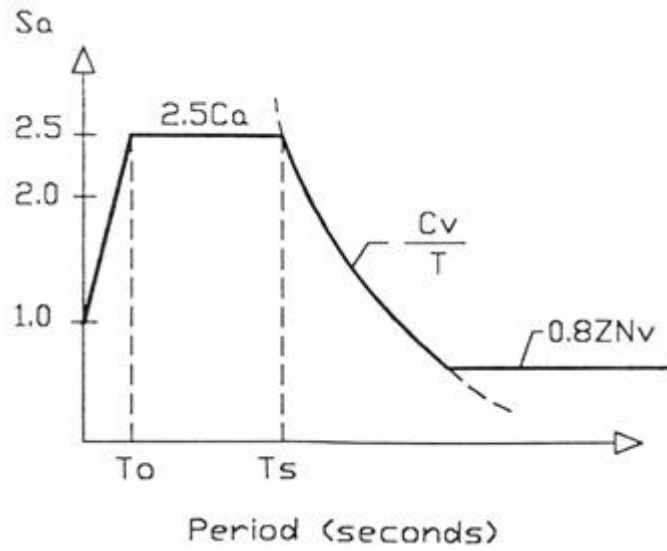
Standart Yapı Kanunlarına (UBC-97) göre, zemin sınıfları için “sismik zemin faktörü” Bölüm4, tablo 16-1’de ifade edilmektedir. Bölüm 4, Tablo 16-7’de yerel sismik zemin kategorileri de tanımlanmış ve Tablo 16-11’de sismik kaynak tipi belirlenmiştir. Göz önünde bulundurulan sismik kaynak tipi, üç farklı deprem tipi için aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:



Şekil 3.17. Sismik kaynak faktörü

Çizelge 3.2. Sismik kaynak tipi

Kaynak Tipi	Magnitüt (M)	Kayma oranı (SR)
A	$M \geq 7$	$SR \geq 5 \text{ mm}$
B	$6.5 < M < 7$	$2 < SR < 5 \text{ mm}$
C	$M < 6.5$	$SR < 2 \text{ mm}$



Şekil 3.18. UBC-97 'e göre spektrum eğrisi

UBC-97 Standartlarına göre sistemin dizaynında kullanılacak olan depremin sarsıntı şiddetinin hesabı, deprem faktörü Z ve sismik kaynak faktörü N_v 'nin çarpımıyla hesaplanır. ($Z.N_v$)

Çizelge 3.3. Sismik zemin faktörü (Z)

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40

Meydana gelen maksimum deprem katsayısı M_M , UBC-97 Bölüm 4, tablo 16-D'de şöyle ifade edilmiştir :

Çizelge 3.4. Meydana gelebilecek maksimum deprem katsayısı

Tasarım Depremi Sarsıntı Şiddeti ZN_v	Olabilecek Maksimum Deprem Katsayısı, M_M
0,075	2,67
0,15	2,0
0,20	1,75
0,30	1,50
0,40	1,25
$\geq 0,50$	1,20

Bu tablo, dizaynda kullanılan deprem sarsıntı şiddeti kullanılarak okunur.

Sismik katsayının tanımı C_a ve C_v , UBC-97, Bölüm4 Tablo 16-Q'da ve 16-R'de şu şekilde ifade edilir :

Çizelge 3.5. Sismik Deprem Katsayısı (C_a)

Zemin Tipi	Sismik Zemin Faktörü, Z				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,2	Z=0,30	Z=0,40
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 N_A
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N_A
S_C	0,09	0,18	0,20	0,30	0,40 N_A
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44 N_A
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36 N_A
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

Çizelge 3.6. Sismik deprem katsayısı (C_v)

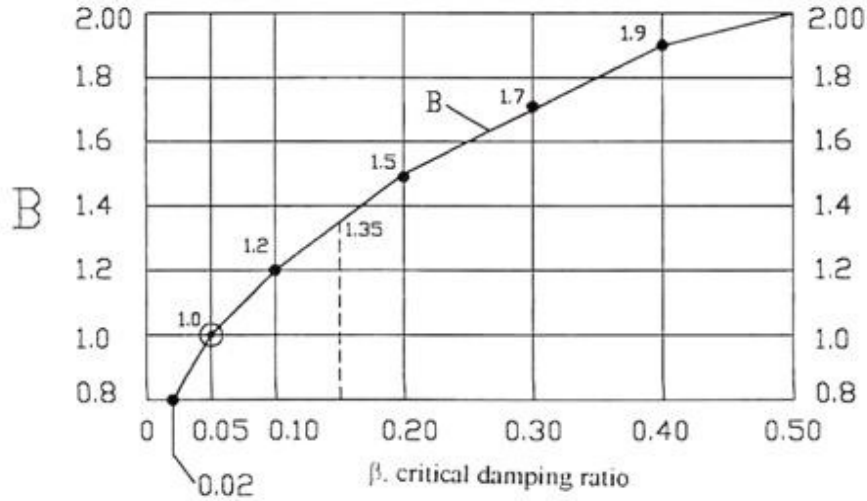
Zemin Tipi	Sismik Zemin Katsayısı C_v				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 N_v
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N_v
S_C	0,13	0,25	0,32	0,46	0,56 N_v
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64 N_v
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96 N_v
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

M_M , Z, N_A ve M_M , Z, N_v 'nin çarpımları kullanılarak α ve α' nün değerini bulabiliriz. Daha sonra C_{vM} ve C_{AM} nin ortalamasını UBC-97 Bölüm 4, Tablo A-16-F ve A-16-G kullanılarak şöyle hesaplanır :

$$\alpha = M_M \cdot Z \cdot N_A \rightarrow C_{AM} = 1,1 \cdot \alpha \quad (3.62)$$

$$\alpha' = M_M \cdot Z \cdot N_v \rightarrow C_{vM} = 1,6 \alpha' \quad (3.63)$$

UBC-97 standartlarında kullanılan izolatör tipine göre etkin sönüm β_{eff} , Bölüm 4, formül 65-2’de ifade edilmektedir. Sönüm indirgeme faktörü β , aşağıdaki şekilde belirtilen β değerlerinden okunur.



Şekil 3.19.Sönüm indirgeme faktörü

Yapı indirgeme faktörü R, UBC-97 Bölüm 4, Tablo-16.E’de ifade edilmiştir. Taban kesme kuvveti V, yine bölüm 4’te formül 30-4,30-5,30-6 dan alınarak hesaplanır.

Şekil 4.3’ten spektral değerler alınır;

$$0.11CaIW \leq V = \frac{C_v I}{RT} W \leq \frac{2.5C_a I}{R} W \quad (3.64)$$

Burada W, Yapı ağırlığının %25’idir. Bu orana, konutlarda 0,48KN/m² döşemeye hareketli yük ilave edilir, çatılarda ise toplam 1,44 KN/m² kar yükü eklenerek hesaplanır.

Standart yapı kanunları UBC-97’ye göre izolasyonlu sistemin temel titreşim periyodunun, 2,0 sec ile 3,0 sec değerleri arasında olması istenmektedir. Hedef periyod, dizayn periyodu (T_D) ve maksimum periyottur (T_M). Elastisite modülü E, kayma modülü G, maksimum kayma gerilemesi γ_{max} , seçilen mesnedin tipine göre tanımlanır.

Minimum yatay rijitliğin hesabı, UBC-97 Bölüm 4, formül 58-2’ gözönüne alınarak, izolasyonlu sistemin yatay doğrultudaki rijitliği k_{Dmin} ;

$$k_{Dmin} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g} \quad (3.65)$$

Olarak ifade edilmiştir. Burada W, herbir izolatöre yapıdan aktarılan toplam ağırlığın yayılarak hesaplanması ve bir izolatör tarafından taşınan ağırlıktır.

Minimum deplasman (d_{Dmin}), UBC-97, Bölüm 4, formül 58-1 de, izolasyon sisteminin rijitlik merkezi gözönüne alınarak şöyle hesaplanır;

$$d_{Dmin} = \frac{g C_{vd} T_d}{B(4\pi^2)} \quad (3.66)$$

Maksimum deplasman (d_{Mmin}), rijitlik merkezi gözönünde bulundurularak;

$$d_{Mmin} = \frac{g C_{VM} T_M}{B(4\pi^2)} \quad (3.67)$$

ABYYHY-98'e göre minimum deplasmanın hesabı;

$$d_D = \frac{V_t}{k} \geq A_0 (0,10R) \frac{g T^2}{4\pi^2} \quad (3.68)$$

Spektrum katsayısı S, ve rijitlik k ;

$$S = 2,5 (T_b / T)^{0,8} \quad (T_b < T) \quad (3.69)$$

$$k = \frac{4\pi^2 W}{T^2 g} \quad (3.70)$$

olarak ifade edilmektedir. Eşitlik 5.9'da

$$d_D = \frac{A_0 S g}{4\pi^2 / T^2} = A_0 2,5 (T_b / T)^{0,8} \frac{g T^2}{4\pi^2} \quad (3.71)$$

$$d_D = 0,063 . A_0 . g . T_b^{0,8} . T^{1,2} \quad (3.72)$$

Sonuç olarak spektrum indirgeme faktörü β , deneysel verilerden elde edilebilir. d_D ve d_{Dmin} formüllerden çekilerek hesaplanabilir;

$$d_D = \frac{0,063}{B} A_0 g R T^2 \geq d_{\min} \quad (3.73)$$

$$d_{\min} = \frac{0,0025}{B} A_0 g R T^2 \quad (3.74)$$

3.5.3.2. Mesnedin Disk Çapının Hesabı

Mesnet yüksekliği t ;

$$d_D = t \gamma_{\max} \quad (3.74-a)$$

$$t = d_D / \gamma_{\max} \quad (3.74-b)$$

Mesnedin kesit alanı A;

$$k_D = AG/t \quad (3.75-a)$$

$$A = k_D t / G \quad (3.75-b)$$

Sonuçta çap ;

$$D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (3.76)$$

3.5.3.3. İzolasyonlu Yapıda Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı

İzolatörlerin toplam rijitliği kullanılarak, etkin periyod hesaplanır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{\Sigma k_D g}} \quad (3.77)$$

Daha sonra hedef periyot ile kıyaslanır. İzolasyon sisteminin yapı elemanlarının taban kesme kuvveti;

$$V_D = (\Sigma k_D) d_D \quad (3.78)$$

Taban kesme kuvveti, izolatörlerden üstyapıya indirgenerek dağıtılır. R_i indirgeme faktörü olmak üzere;

$$V_{s,D}=(\sum k_D)d_D \frac{B}{R_i} = V_D \frac{B}{R_i} \quad (3.79)$$

İzolasyon sistemi için $R_i=2$ dir. UBC-97 de T_D 'nin hesabında, ankastre temelli yapı için sismik yanal kuvvetlere gerek vardır.

$$V_{fix}=\frac{C_v I}{RT_D} W \geq 0,11 C_a I W \quad (3.80)$$

Taban kesme kuvveti $V_{s,D}$ değeri, ankastre mesnetli sistemin taban kesme kuvvetinden V_{fix} , küçük seçilemez ve izolasyon sisteminin yatay sismik faktörü 1,5'tan az olamaz.

3.5.3.4. Burulma nedeniyle Oluşan Toplam Deplasmanın Hesabı

UBC-97 Bölüm 4, formül 58-5 ile toplam deplasman d_{total} şöyle ifade edilmiştir:

$$d_{total}=d_D(1-\frac{12xe_x}{b^2+d^2}) \quad (3.81)$$

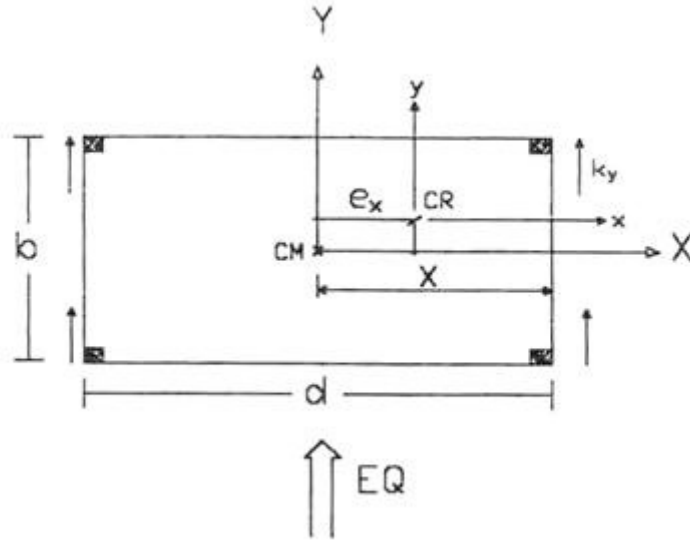
e ve d , göz önünde bulundurulan deprem doğrultularıdır. UBC-97 yönetmeliğine göre d_{total} , d_D 'nin 1,1 katından daha küçük olamaz.

$$e_x=e_r \pm 0,05d \quad (3.82)$$

$$e_r=\frac{\sum x_i k_{yi}}{\sum k_{yi}} \quad (3.83)$$

Depremi y doğrultusu için bahsedilmiş olan bu ifadeler, x doğrultusu içinde hesaplamalarda tekrar edilmelidir. Bütün koordinat eksenlerine kendi değerleri girilir. İzolatörlerde dönme sebebiyle eksantrisite oluşması, indirgenmenin olmadığını gösterir.

Taban izolasyonlu yapılarda, katlar arası maksimum ötelenme oranı ; $0.01/R_i$ değerini geçmemelidir.



Şekil 3.20 Dönme etkisiyle oluşan eksantrisite grafiği

3.5.3.5. Efektif Düşey Modülün Hesabı

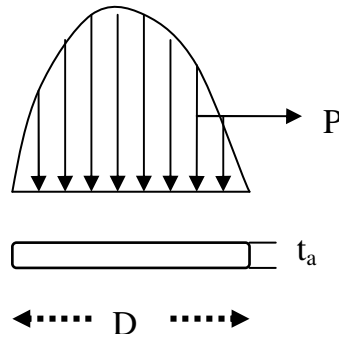
Kauçuk katmanın kalınlığı t_0 , aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$D/80 \leq t_0 \leq D/40 \quad (3.84)$$

Kauçuk katmanların şekil katsayısı S ;

$$S = \frac{\text{Disk Alanı}}{\text{Kesit Alanı}} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D t_0} = \frac{D}{4 t_0} \quad (3.85)$$

3.5.3.6. Düşey titreşim Periyodun Hesabı



Şekil 3.21. Dairesel kauçuk kesitin parabolik basınç kuvveti dağılımı

Tüm mesnetler için düşey rijitlik k_ϵ ;

$$k_\epsilon = \frac{AE_c}{t} \quad (3.86)$$

t: Mesnedin yüksekliği

Düşey deplasman Δ_t ;

$$\Delta_t = \frac{W_t}{AE_c} = \frac{W}{k_\epsilon} \quad (3.87)$$

Şişmeden dolayı oluşan düşey rijitlik k_γ ;

$$k_\gamma = \frac{W}{\Delta_t} = 6S^2 \frac{AG}{t} \quad (3.88)$$

Şişmeden dolayı oluşan Düşey Periyot:

$$T_v = 2\pi \sqrt{W / gk_\gamma (6S^2 \frac{AG}{t})} \quad (3.89)$$

Düşey Doğrultudaki Etkin Basınç Modülü :

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{k_\epsilon} + \frac{1}{k_\gamma} \quad (3.90)$$

Olmak üzere,

k_ϵ : Basınçtan doğan düşey rijitlik

k_γ : Kayma gerilmesinden doğan rijitlik

E : Kompozit malzemenin basınç modülü

$$E_{\text{eff},v} = \frac{6GS^2 E_c}{6GS^2 + E_c} \quad (3.91)$$

Yatay Rijitlik k_h ;

$$k_h = \frac{AG}{t} \quad (3.92)$$

Yatay Periyot T_h ;

$$T_h = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gk_h}} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g(AG/t)}} \quad (3.93)$$

Buradan;

$$\frac{T_h^2}{T_v^2} = 6S^2 \quad \rightarrow \quad \frac{T_h}{T_v} = \sqrt{6S} \quad (3.94)$$

Sonuç olarak, titreşim periyodu T_v ;

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} \quad (3.95)$$

Olarak hesaplanabilir.

3.5.3.7. Düşey Yük ve Kayma Gerilmesinin Hesabı

3.5.3.7.1. Kayma gerilmesinin hesabı

Düşey yükten doğan kayma gerilmesi γ_v ,

$$\epsilon_z = \frac{\Delta_t}{t} \quad (3.96)$$

$$\gamma_v = 6S\epsilon_z \quad (3.97)$$

Yatay yükten doğan kayma gerilmesi γ_s ;

$$\gamma_s = \tau/G = V_D/AG = k_D d_D/AG \quad (3.98)$$

Yatay ve düşey yükten dolayı oluşan maksimum kayma gerilmesinin hesabı :

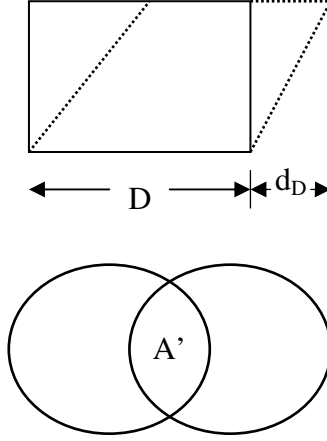
$$\gamma_{\max} = \gamma_s + \gamma_v \quad (3.99)$$

3.5.3.7.2. Ortak Alan Hesabı

Ortak alan A, aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$A' = A[1 - 2/\pi (\theta + \sin \theta)] \quad (3.100)$$

$$\sin \theta = d_D/D \quad (3.101)$$



Şekil 3.22. Kayma deplasmanı d_D ve ortak alan A'

3.5.3.7.3. Maksimum Düşey Yükün Hesabı

$$W = A'GS \gamma_v \quad (3.102)$$

3.5.3.7.4. Şişme Riskinin Hesabı

Şişme riski için P_{cr} kritik düşey yük olmak üzere,

$$P_{cr} = \sqrt{AG\pi^2 E_{eff} I / 3t^2} \quad (3.103)$$

$$I = \pi/4 (D/2)^4 \quad (3.104)$$

3.5.3.8. Kurşun Çekirdeğin Tasarımı

Kurşun tamponun çapı ve alanı şu şekilde tayin edilir;

$$t/1,5 > d_1 \quad (3.105)$$

$$A_{kursun} = \pi d^2 / 4 \quad (3.106)$$

Yerel kesme kuvveti Q_y ;

$$Q_y = \tau_y A_{kursun} \quad (3.107)$$

τ_y yerel kayma gerilmesi olmak üzere;

$$\tau_y = 10,5 \text{ MPa} \quad (3.108)$$

Olarak kabul edilebilir. Q_y 'nin hesaplanabilmesi için alternatif diğer bir metot ise şöyledir:

$$A_{kursun} = 4 Q_y (d_D - d_y) \quad (3.109)$$

d_y , önemsenmeyecek kadar küçük bir değerdir, d_y sıfır kabul edilirse ;

$$A_{loop} = 4 Q d_D \quad (3.110)$$

Ve yerel kesme kuvveti Q_y ;

$$Q_y = A_{loop} / 4 d_D \quad (3.111)$$

Olur. Çekirdek alanı;

$$A_{loop} = \beta (2 \pi k_D d_D^2) \quad (3.112)$$

β formülünden çekilirse;

$$\beta = \frac{2}{\pi} (A_{loop} / A_{dikt}) = \frac{A_{loop}}{2 \pi K_D d_D^2} = 0,15 \quad (3.113)$$

elde edilmiş olur.

3.5.3.9. Çapın Kayma kontrolü

İzolasyon mesnetlerindeki toplam kuvvet V_D , şekil 5.3'ten hesaplanmaktadır, histeresis eğrinin altında kalan alan kesme kuvvetini vermektedir.

$$V_D = V_{kursun} + V_{kauçuk} = Q_y + k_2 (d_D - d_y) \quad (3.114)$$

Kurşun çekirdekteki akma yer değiştirmesi;

$$d_y = \frac{Q_y}{k_1} \quad (3.115)$$

Burada k_1 ; kurşun çekirdeğin akma rijitliğidir ve Q_y ise akma kuvvetidir. Toplam kesme kuvveti V_D ise en aşağıdaki ifadeyi almaktadır:

$$V_D = Q_y + k_2 \left(d_D - \frac{Q_y}{k_1} \right) = Q_y \left(1 - \frac{k_2}{k_1} \right) + k_2 d_D \quad (3.116)$$

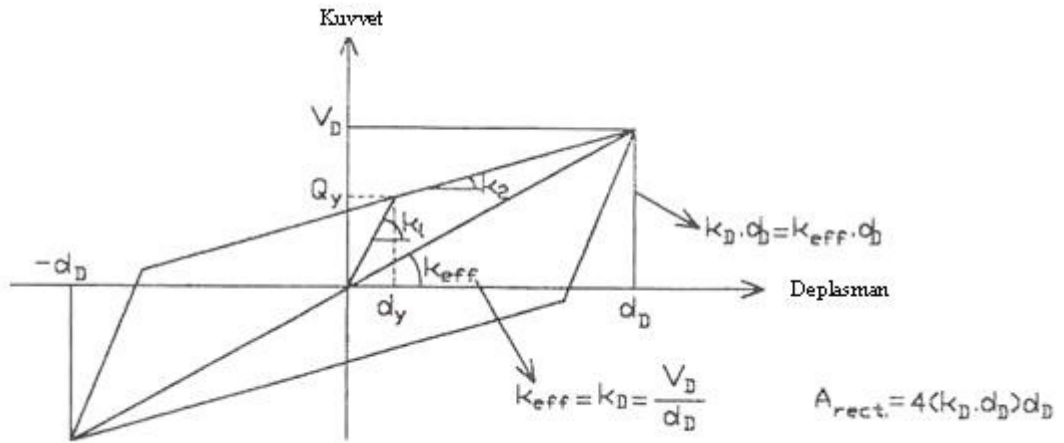
Genellikle $k_1 \approx 10k_2$ ve $k_{eff} = V_D/d_D$ dir. Buradan ;

$$k_{eff} = \frac{V_D}{d_D} = \frac{Q_y}{d_D} \left(1 - \frac{k_2}{k_1} \right) + k_2 \quad (3.117)$$

Eğer $k_2/k_1=0.1$ ihmal edilirse; sadece kauçuğun rijitliği kalır ve mesnet kuşun çekirdeksiz tasarlanmış olur. Sonuç olarak;

$$k_2 \approx k_{eff} - \frac{Q_y}{d_D} \quad (3.118)$$

hesaplanır.



Şekil 3.23. Temel histeresis eğrisinin parametreleri

Tablo 3.7. Kritik sönüm oranı(β)

Sönüm Katsayısı	Kritik Sönüm Oranı , β						
	%2	%5	%10	%20	%30	%40	%50
B	0	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2

Tablo 3.8. Sismik zemin katsayısı (C_{VM})

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti $M_M ZN_a$				
	$M_M ZN_a=0,075$	$M_M ZN_a=0,15$	$M_M ZN_a=0,2$	$M_M ZN_a=0,30$	$M_M ZN_a=0,40$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,8 M_M ZN_a$
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_a$
S_C	0,09	0,18	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_a$
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	$1,1 M_M ZN_a$
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	$0,9 M_M ZN_a$
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

Tablo 3.9. Sismik zemin katsayısı (C_{AM})

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti $M_M ZN_v$				
	$M_M ZN_v=0,075$	$M_M ZN_v=0,15$	$M_M ZN_v=0,2$	$M_M ZN_v=0,30$	$M_M ZN_v=0,40$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,8 M_M ZN_v$
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_v$
S_C	0,13	0,25	0,32	0,45	$1,4 M_M ZN_v$
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	$1,6 M_M ZN_v$
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	$2,4 M_M ZN_v$
S_F	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir				

3.6. ÖRNEK YAPI MODELİNİN TASARIMI

Bu bölümde, sismik izolasyonun yapı üzerindeki etkilerini görmek için 5 katlı bir okul planı ele alınacaktır. Seçilmiş olan yapı x ve y yönlerinde simetrik olarak düzenlenmiş betonarme bir yapıdır. Ülkemizde yapılacak olan yapılara örnek bir model olması açısından, ilk önce yapı ankastre temelli olarak modellenenecek, daha sonra ise sismik taban izolasyonu ile modellenerek yapının davranışı ve yapıya etkiyen kuvvetler incelenecektir. Sismik izolasyon mesnedi modellenirken ABYYHY-98 ve UBC-97’de yer alan hükümler müşterek kullanılmaya çalışılacaktır.

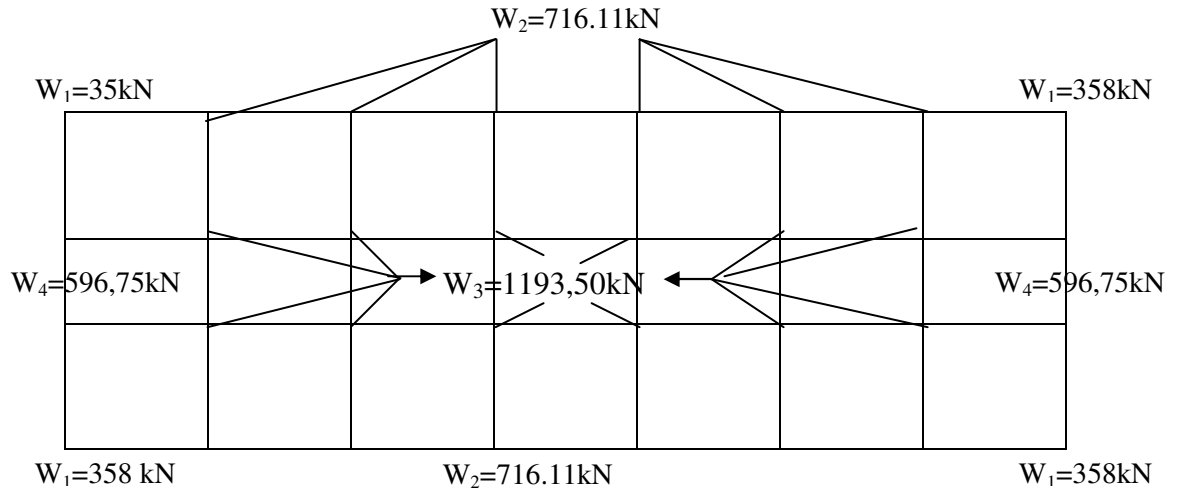
3.6.1. Çalışmada Seçilen Yapı Modelinin Tanımı

Beş katlı olan yapımız x yönünde 3, y yönünde 7 açıklıklı olarak düzenlenmiştir. Yapı taşıyıcı sistemi betonarme kolonlar ve kirişlerden oluşmuş, plak döşemeli bir sistemden meydana gelmektedir. Kolonlar 70x30 cm ebatlarında kirişler ise 25x50 cm ebatlarında seçilmiştir. Döşemeler 12 cm olarak boyutlandırılmış ve her katta betonarme rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Örnek yapı modelinin 1.derece deprem bölgesinde olduğu ve bölgede C sınıfı zemin cinsinin bulunduğu (Z_2) kabul edilmiştir. İzolatörlerin temellerin üzerine konulması uygun görülmüştür, bunun için izolasyon katı olarak tanımlanan temel katında, izolatörlerin üzeri 15 cm kalınlığında rijit diyafram olarak ifade edilen döşeme ile birleştirilmiştir. Kat yükseklikleri her kat için sabit 3 m dir. Yapıda hareketli yük, döşemelere $q=3,5 \text{ kN/m}^2$ olarak dikkate alınmıştır. Deprem hesapları için yapı kütlesi tanımlanırken yapıya toplam ağırlığının yüzde 30’u hareketli yük olarak etkidiği kabul edilmiştir. Her katın ağırlık merkezleri hesaplanarak, dinamik analiz sırasında kat kütleleri ve taşıyıcı elemanların bu ağırlık merkezlerine göre eylemsizlik momentleri, bu noktada dikkate alınmıştır.

Bu kabullerle yapılan hesaplamalar sonucunda, üst yapıdan izolatörlere yaklaşık olarak toplam 26742 kN düşey yük geldiği belirlenmiştir. Her bir izolatörce taşınan yük aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.24. Seçilen yapı modelinin perspektifi



Şekil 3.25. Her bir izolatör mesnedinin taşıdığı yük miktarı

İzolasyonlu yapının yeni titreşim periyodu $T=2,5$ s civarında hedeflenmektedir. Kayma şekil değiştirmesi boyutsuz bir büyüklük olup, en fazla $\gamma=1,5$ olması istenmektedir.

Bu aşamadan sonra ilk önce ankastre mesnetli yapının yanal ötelenmesi ABYYHY-98'e ve UBC-97'ye göre belirlenecektir. Daha sonra Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet in dizaynı UBC-97'ye göre yapılacaktır.

3.6.2. Statik Eşdeğer Yük Metoduna Göre Ankastre Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması:

Statik eşdeğer yük metoduna göre, bir katın ağırlığı kirişlerin, kolonların, döşemeler ve duvarların ağırlıkları ile çatı malzeme ağırlıklarından meydana gelmektedir. Yapı modelimizde her kat birbirinin aynı plandadır ve aynı malzemelerden imal edilmiştir. Kat ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanır:

Birinci katın ağırlığının hesabı:

(1)	Kirişlerin ağırlığı	: 1166,4 kN
(2)	Döşeme ağırlıkları	: 2242,2 kN
(3)	Kolon ağırlıkları	: 483,8 kN
(4)	Duvar ağırlıkları	: 632,8 kN

Toplam birinci kat ağırlığı; $g = 4525,2$ kN

Yapı toplam ağırlığı: $5 \times 4525,2 = 22626$ kN

Yapıya toplam ağırlığın %30'u kadar hareketli yük etkidiği varsayılırsa bir katın ağırlığı:

$$G = 4525,2 + 0,3 \times 3,5 \times 784$$

$$G = 5348,4 \text{ kN}$$

Olarak hesaplanır. O halde yapıya etkiyen toplam ağırlık kuvveti :

$$W = 5 \times 5348,4 = 26742 \text{ kN}$$

Bulunur.

3.6.2.1. Ankastre Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

Türkiye’de ABYYHY-98’de yer alan hükümlere göre ankastre mesnetli yapının taban kesme kuvveti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$V_t = \frac{A_0 S I}{R} W$$

$$S = 2,5(T_b/T)^{0,8} \quad (3.119)$$

$$S = 2,5.(0,4/0,85)^{0,8} = 1,36$$

T_b :ABYYHY–98 Bölüm 6, Tablo 6.4’ten, Tablo 12.2’ye göre tanımlanan zemin sınıfları için alınmış “spektrum karakteristik periyotları”dır.

T :Ankastre mesnetli yapının, dinamik analiz sonucunda hesaplanan periyodudur.

R :Yapı önem katsayısı ABYYHY–98 Tablo 6.3’te yapının kullanım amacına ve türüne göre belirtilmektedir.

A_0 :ABYYHY-98 tablo 6.2’de, deprem bölgelerine göre etkin yer ivmesi katsayısı belirtilmektedir.

$$V_t = \frac{0,40.1.1,36}{8} 26742 = 1818,456kN \quad (3.120)$$

Bulunan taban kesme kuvveti her katta düğüm noktalarına etkidiği varsayılmaktadır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$F_i = \frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i} V_t \quad (3.121)$$

W_i :i.katın ağırlığı

H_i :i. Katın yüksekliği

F_i :i. Katta meydana gelen kesme kuvvetidir.

Her katta meydana gelen kesme kuvveti hesaplanırsa ;

$$H_1 W_1 = 13575,6 \text{ kN}$$

$$H_2 W_2 = 27154,2 \text{ kN}$$

$$H_3W_3= 40726,80 \text{ kN}$$

$$H_4W_4= 54302,4 \text{ kN}$$

$$H_5W_5= 67878 \text{ kN}$$

$\sum HW = 203634 \text{ kN}$ olarak hesaplanır. Buradan her katta oluşan taban kesme kuvvetleri;

$$F_1=121,23 \text{ kN}$$

$$F_2 = 212,46 \text{ kN}$$

$$F_3 = 363,69 \text{ kN}$$

$$F_4 = 484,92 \text{ kN}$$

$$F_5 = 606,152 \text{ kN}$$

Olarak bulunur.

3.6.2.2. UBC-97 Yönetmeliğine Göre Yatay Yükün Hesabı

UBC-97'ye göre yapı parametreleri:

- (1) Sismik bölge faktörü Z :4. bölge tablo 6.2'den , Z=0,40 olarak bulunur.
- (2) Bölge Zemin cinsi :S_D
- (3) Sismik Fay Tipi :A Tipi, Tablo 6.1'den M_g≥7, kayma oranı SR≥5 mm/yıl okunur.
- (4) Faya yakınlık faktörleri :Δ>15 km, N_a=1, N_v= 1
- (5) Tasarım depremi sarsıntı yoğunluğu : ZN_v=0,40
- (6) Maksimum tasarım depremi tepki katsayıları :M_M=1,25
- (7) Sismik katsayılar :

Tablo 5.3.4 ve 5.3.5'ten;

$$C_v=0,64 , \quad C_{vD}=0,64$$

$$C_a=0,44 , \quad C_{AD} = 0,44$$

$$\alpha=M_M Z N_A = 1,25.0,40.1 = 0,50$$

$$C_{AM}=1,1\alpha = 1,1.0,50 = 0,55$$

$$\alpha =M_M Z N_v = 1,25.0,40.1 = 0,50$$

$$C_{VM} = 1,6 \alpha = 1,6.0,50 = 0,80$$

(8) Sönüm azaltma katsayısı :Tablo 5.6'dan kritik sönüm oranına göre $\beta=1,20$ olarak belirlenir.

(9) Taşıyıcı sistem azaltma katsayısı : $R_i=2$

3.6.2.3. UBC-97 Yönetmeliğine Göre Ankastre Temelli Sistemin Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplanması

$$V_t = \frac{C_v I}{RT} W = \frac{0,64.1}{8.0,49} 26742 = 4366,04 kN$$

$$V_t = \frac{2,5 C_A I}{R} W = \frac{2,5.0,44.1}{8} 26742 = 3677,025 kN$$

$V_t = 3677,025$ kN minimum değer seçilir.

3.6.2.4. Hedeflenen periyot ve Malzeme özelliklerinin Belirlenmesi

Ön tasarım için, uygulanacak izolatörlerin malzeme özellikleri tayin edilmelidir. Başlangıç olarak belirleyeceğimiz parametre hedef periyot değeridir;

$T_D=2,3$ s, (hedeflenen tasarım periyodu)

$T_M=2,7$ s (hedeflenen maksimum periyod)

olarak seçelim.

Yapı modelimiz için iki değişik tipte izolasyon mesnedinin kullanılması öngörülmüştür. Bu nedenle malzeme özellikleri 1. tip ve 2. tip mesnet için ayrı olarak seçilecektir.

Büyük gerilmeler altında:

$G_1=0,75$ MPa, $G_2=1.0$ MPa, $\gamma_{max}=1,5$ ve Elastisite modülü $E=2200$ MPa;

Daha küçük gerilmeler etkisinde ise;

$$G_1=1,0\text{MPa}, G_2=1,5 \text{ MPa}, E=2200\text{Mpa}$$

olarak belirleyelim.

3.6.2.5. Minimum Yatay Rijitliğin Hesabı

Yapı ağırlığı kolonlardan temellere aktarılan yükler şekil (3.25)'te gösterilmiştir. Hesaplanmış olan bu ağırlıklara göre yatay rijitliklerin hesabı (3.65) denklemi ile ifade edilmiştir. Bu değerler;

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g}, \quad K_{Mmin} = \frac{4\pi^2 W}{T_M^2 g}$$

$$K_{1Dmin}=0,270 \text{ MN/m}, \quad K_{1Mmin}=0,197 \text{ MN/m}$$

$$K_{2Dmin}=0,454 \text{ MN/m}, \quad K_{2Mmin}=0,329 \text{ MN/m}$$

$$K_{3Dmin}=0,544 \text{ MN/m}, \quad K_{3Mmin}=0,395 \text{ MN/m}$$

$$K_{4Dmin}=0, 108 \text{ KN/m}, \quad K_{4Mmin}=0.079 \text{ MN/m}$$

olarak hesaplanır.

3.6.2.6. Minimum Deplasmanın Hesabı

UBC-97 Yönetmeliğine göre minimum deplasmanın hesabı, Bölüm 5'te denklem (3.66) ve (3.67) ile ifade edilmiştir.

$$d_D = \frac{g C_{VCD} T_D}{\beta 4 \pi^2} = \frac{9,81.0,94.2,30}{1,20.4.\pi^2} = 0,30 \text{ m}$$

$$d_M = \frac{g C_{AM} T_D}{\beta 4 \pi^2} = \frac{9,81.0,80.2,70}{1,20.4.\pi^2} = 0,44 \text{ m}$$

ABYYHY-98 Yönetmeliğine göre minimum deplasmanın hesabı denklem (3.68) ile ifade edilmektedir:

$$d_D = \frac{0,063}{\beta} \cdot A_{OD} \cdot g \cdot T_b^{0,8} \cdot T^{1,2} = 0,26m$$

$$d_M = \frac{0,063}{\beta} \cdot A_{OM} \cdot g \cdot T_b^{0,8} \cdot T^{1,2} = 0,32m$$

$d_D \geq d_{\min}$ olmalıdır.

$$d_{D \min} = \frac{0,0025}{\beta} A_{OD} \cdot g \cdot R \cdot T^2 = 0,086m$$

$$d_{M \min} = \frac{0,0025}{\beta} A_{OM} \cdot g \cdot R \cdot T^2 = 0,11m$$

Yaklaşımlar yeterlidir. ($d_D \geq d_{\min}$)

3.6.3. Mesnedin Disk Çapının Hesaplanması

Malzeme özelliklerine göre izolasyon mesnedinin disk çapının hesabı (3.75) ifadesi ile verilmiştir.

$$t = \frac{d_D}{\gamma_{\max}} = 0,20m$$

$t = 0,25$ m olarak seçilebilir. Yatay rijitliklere göre mesnet çapını hesaplarsak;

$$A = \frac{k_D \cdot t}{G},$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Birinci tip izolasyon mesnedi için;

$$A_1 = 0,181m^2 \Rightarrow d_1 = 0,48m$$

İkinci tip mesnet için;

$$A_2 = 0,136m^2 \Rightarrow d_2 = 0,416m$$

Seçilen mesnet çapı $d=0,50\text{m}$ dir. Seçmiş olduğumuz bu mesnet çapına göre mesnet alanımız:

$$A = \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} = 0,196\text{m}^2$$

Yatay rijitlikler hesaplanırsa;

Birinci tip için;

$$k_{D1} = \frac{A \cdot G_1}{t} = \frac{0,196 \cdot 0,75}{0,25} = 0,588\text{MNt}$$

İkinci tip için;

$$k_{D2} = \frac{A \cdot G_2}{t} = \frac{0,196 \cdot 0,1}{0,25} = 0,784\text{MNt}$$

Sistemin toplam rijitliği ise ;

$$\sum k_D = 24.0784 + 8.0,588 = 23,52\text{MNt}$$

Olarak hesaplanır.

Anlaşıldığı üzere sistemin orta bölgesinde yer alan mesnetler, daha fazla yük taşıdıklarından dolayı, daha sert malzeme ile, diğerleri nispeten daha az yüke maruz kaldıklarından dolayı daha yumuşak malzeme ile tasarlanmaktadır.

3.6.4. İzolasyonlu Sistemin Titreşim Periyodunun Hesaplanması

İzolasyon sisteminin titreşim periyodu, sistemin toplam rijitliği kullanılarak.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_D g}} = 2\pi \sqrt{\frac{26,742}{23,52 \cdot 9,81}} = 2,13\text{s}$$

Olarak bulunur.

Hesaplanan hedef periyot değeri, başlangıçta seçilen periyot değerinden küçüktür. ($T_D=2,30$ s) . Bu yaklaşım yeterlidir.

$$\gamma = \frac{d_D}{t} = \frac{0,30}{0,25} = 1,2 < \gamma_{\max} = 1,5$$

3.6.5. Temel Deplasmanın Hesabı

UBC-97 standartlarına göre temel deplasmanı;

$$d_D = \frac{g C_v T}{B 4 \pi^2} = \frac{9,81 \cdot 0,64 \cdot 2,13}{1,20 \cdot 4 \pi^2} = 0,22m$$

ABYYHY-98 standartlarına göre;

$$d_D = \frac{0,063}{B} A_0 g T_b^{0,8} T^{1,2} = \frac{0,063}{1,20} 0,40 \cdot 9,81 \cdot 0,40^{0,8} \cdot 2,13^{1,2}$$

$$d_D = 0,24m$$

O halde taban kesme kuvveti denklem,

$$V_D = \sum k_D d_D = 23,52 \cdot 0,22 = 5,17 MNt$$

Üst yapı için ise;

$$V_{SD} = \frac{\sum k_D d_D}{R_i} B = \frac{5,17}{2} 1,20 = 3,10 MNt$$

olarak hesaplanır.

Ankastre mesnetli yapı için yanal sismik kuvvetler ağırlık ile aynıdır. Ağırlık ve periyod izolasyon periyod una eşittir.

$$V_{ANK} = \frac{C_v I}{R T_D} W \geq 0,11 \cdot C_a \cdot I \cdot W = \frac{0,64 \cdot 1}{8,2 \cdot 13} 26,742 \geq 0,11 \cdot 0,44 \cdot 1 \cdot 26,742$$

$$V_{ANK} = 1,004 \geq 1,294$$

Değerlerinden büyük olanı seçilir. Bu durumda ankastre mesnetli sistemin taban kesme kuvveti;

$$V_{ANK}=1,294\text{MNt 'dur.}$$

$$V_{S,D}=3,10\text{MNt} > V_{ANK}=1,294 \text{ MNt}$$

3.6.5.1. Burulmadan Dolayı Oluşan Toplam Deplasman

$$d_{top} = d_D \left(1 + \frac{12ey}{b^2 + d^2} \right) = 0,22 \left(1 + \frac{12 \cdot 2,45}{49^2 + 16^2} \right) = 0,22m$$

$$(|e| = |y|0.05 = 2.45)$$

3.6.6. Efektif Düşey Modülün Hesabı

İlk önce kauçuk tabakaların ortalama kalınlıkları hesaplanmaktadır. İzolatörlerdeki diğer bir malzeme olan çelik plakların kalınlıkları, standartlarda 2mm olarak yer almaktadır. Kauçuk mesnet boyutları ise aşağıdaki şekilde tasarlanmaktadır; t_0 kauçuk tabakalardan bir tanesinin kalınlığı olmak üzere:

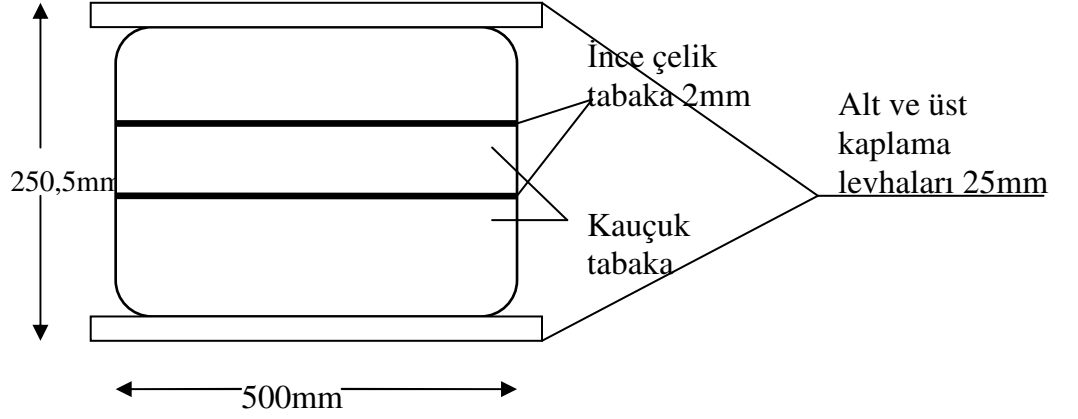
$$t_0 = \frac{D}{40} = \frac{500}{40} = 12,5m$$

Buradan her bir kauçuk tabakanın kalınlığı $t_0=20$ mm seçilebilir. Çelik tabakaların kalınlığı 2 mm ve çapı ise mesnedin her iki tarafından 5'er mm kaplama levhası genişliği ayrıldıktan sonra;

$$500 - 2 \times 5 = 490mm$$

Olarak hesaplanır. Aynı şekilde izolatörün alt ve üst kısmında 25mm kalınlığında kaplama plakası yer almaktadır.

Şekil 6.2'den görüldüğü gibi mesnedin; 2 adet kaplama levhası (25mm), 9 adet kauçuk tabakası (20mm) ve 10 adet çelik tabakadan (2mm) meydana getirilmesi uygundur.



Şekil 3.26. İzolatör Mesnet detayı

$$2 \times 25 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$$

$$9 \times 20,5 \text{ mm} = 184,5 \text{ mm}$$

$$8 \times 2 \text{ mm} = 16 \text{ mm}$$

$$+ \text{ } \underline{\hspace{2cm}} \\ 250,5 \text{ mm}$$

olarak boyutlandırılır.

S kauçuk tabakanın şekil katsayısı olmak üzere eşitlik 5.26'dan ;

$$S = \frac{D}{4t_0} = \frac{0,50}{4,0,02} = 6,25$$

olarak hesaplanır. Her tip izolatör mesnedi için düşey basınç altındaki düşey efektif modülü;

$G_1=1\text{Mpa}$ ve $G_2=1.5\text{MPa}$ için,

$$E_{eff} = \frac{6GS^2E_c}{6GS^2 + E_c} \text{ ve};$$

1.Tip izolatör mesnet için;

$$E_{eff} = \frac{6.1.6,25^2.2200}{6.1.6,25^2 + 2200} = 211.810 \text{ MPa}$$

2. Tip izolatör mesnet için;

$$E_{eff} = \frac{6.1,4.6,25^2 \cdot 2200}{6.1,4.6,25^2 + 2200} = 285,537 MPa$$

3.6.7. Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması

Plan üzerindeki tüm kompozit temellerin düşey rijitlikleri eşitlik (3.64) ile hesaplanmaktadır;

$$k_E = \frac{A.E_c}{t} = \frac{[24.285,537 + 8.211,81] \cdot 0,196}{0,25} = 6701,13 MN / m$$

Düşey deplasman eşitlik 6.28 ile ;

$$\Delta_t = \frac{W_t}{A.E_c} = \frac{W}{k_E} = \frac{26,742}{6701,13} = 0,0039m$$

olarak hesaplanmaktadır. Düşey titreşim periyodu ise eşitlik 3.67'den;

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6S}} = \frac{2,13}{\sqrt{66,25}} = 0,139s$$

olarak bulunur.

3.6.8. Kayma Gerilmesi ve Düşey Yükün Hesabı

Kayma gerilmesi eşitlik (3.74) ile hesaplanmaktadır;

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta_t}{t} = \frac{0,0039}{0,25} = 0,0156$$

$$\gamma_v = 6S\varepsilon_z = 6.6,25.0,0156 = 0,585$$

Her iki tip izolasyon mesnedi için kayma gerilmesinin hesabı;

$$\gamma_s = \frac{\tau}{G} = \frac{V_D}{A.G} = \frac{k_D d_D}{A.G}$$

1.Tip izolasyon mesnedi için;

$$\gamma_s=0,66$$

2.Tip İzolasyon mesnedi için;

$$\gamma_s=0,586$$

olarak hesaplanır.

Minimum kayma gerilmesi ise;

$$\gamma_{\max} = 0,66 + 0,586 = 1,246 < 1,5$$

Uygundur.

3.6.9. Ortak Alan Hesabı

Mesnetlerin ortak alanı A', eşitlik (3.78)'e göre hesaplanır.

$$A' = A \left[1 - \frac{2}{\pi} (\theta + \sin \theta \cos \theta) \right]$$

$$\sin \theta = \frac{d_D}{D} = \frac{0,22}{0,50} = 0,44$$

$$\theta = 26,10^\circ = 0,45 \text{ rad}$$

$$\cos \theta = 0,89$$

$$A' = 0,196 \left[1 - \frac{2}{\pi} (0,45 + 0,44 \cdot 0,89) \right] = 0,090 \text{ m}^2$$

3.6.10. Maksimum Düşey Yükün Hesabı

Her iki tip izolatör için maksimum yük yeniden hesaplanmalıdır.

$$W = A'GS\gamma_v$$

$$W_1 = 0,090.1,4.6,25.0,585 = 0,32MNt < 0,597 MN$$

$$W_2 = 0,090.1,4.6,25.0,585 = 0,46MNt < 0,716MN$$

3.6.11. Şişme Riskinin Hesabı

Mesnetlerde oluşabilecek şişme için kritik yük P_{cr} , eşitlik (3.81) ile ifade edilmiştir.

1.Tip İzolasyon mesnedi için;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0,196.1.\pi^2.211,81.\pi.0,25^4.0,25}{3.0,25^2}} = 5,17MN \gg 0,597MN$$

2.Tip izolasyon mesnedi için;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0,196.1,4.\pi^2.285,537.\pi.0,25^4.0,25}{3.0,25^2}} = 3,55MN \gg 0,716MN$$

şişme riski yoktur.

3.6.12. Kurşun Çekirdekli Model Tasarımı

3.6.12.1. Çekirdek Çapının Hesabı

Kurşun çekirdeğin çapı eşitlik (3.83)' da ifade edilmektedir;

$$d_1 < \frac{t}{1,5} = \frac{0,25}{1,5} = 0,166 m$$

$d=0,20m$ seçilebilir. Bu durumda mesnet ortasına yerleştirilecek olan kurşun çekirdeğin alanı;

$$A_{kursun} = \frac{\pi d^4}{4} = \frac{\pi.0,20^4}{4} = 0,031m^2$$

Olarak hesaplanır.

3.6.12.2. Yerel Kesme Kuvvetinin Hesabı

Birim kesme kuvveti Q , her iki tip izolasyon mesnedi için eşitlik (3.85)'den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{A_{Loop}}{4d_D},$$

$$A_{Loop} = 0,10.2\pi.0,784.0,22^2 = 0,0238MNt - m$$

$$Q = \frac{0,0238}{4.0,22} = 0,027MN$$

$$\tau = \frac{Q}{A_{Kursun}} = \frac{0,027}{0,031} = 0,87MNt - m << \tau_{max} = 10,58MPa$$

$$F = \tau.A = 0,37.0,023 = 0,020MN$$

Buradan da anlaşıldığı üzere kurşun çekirdek çapının 20cm seçilmesi uygundur.

3.6.12.3. Çapın Kayma Kontrolü

Elastoplastik rijitlik k_2 , yapıdaki tüm izolatörler için hesaplanmaktadır. Eşitlik (3.96)'dan;

$$k_2 = k_{eff} - \frac{Q_y}{d_D} = 2,32 - 0,042/0,15 = 2,04 MN$$

k_1 değeri ise $\frac{k_1}{k_2} \cong \frac{1}{10}$ bağıntısından hesap edilir.

Yaklaşık olarak $k_1 = 16320 kN$ olarak bulunur.

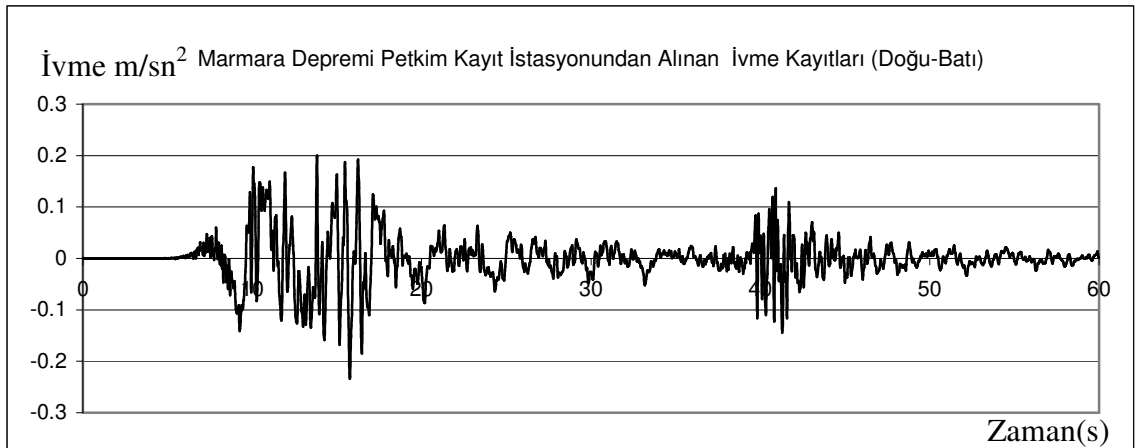
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

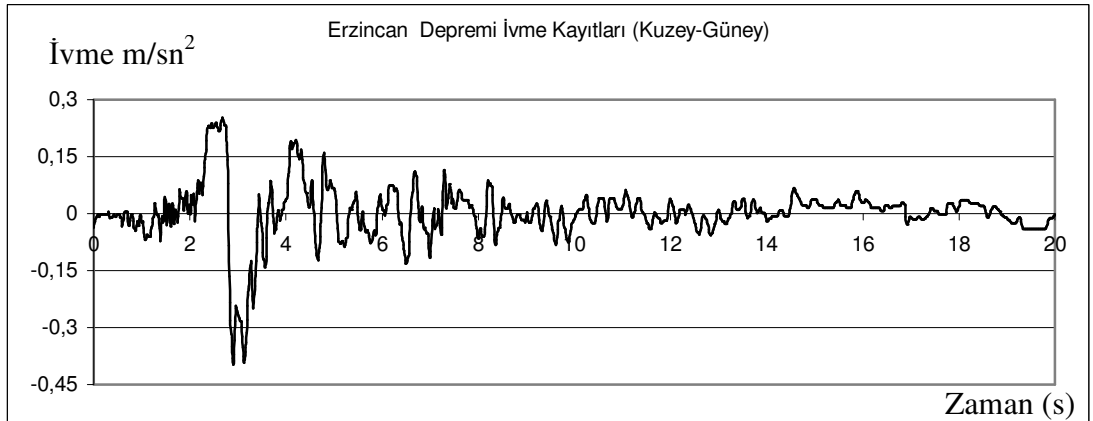
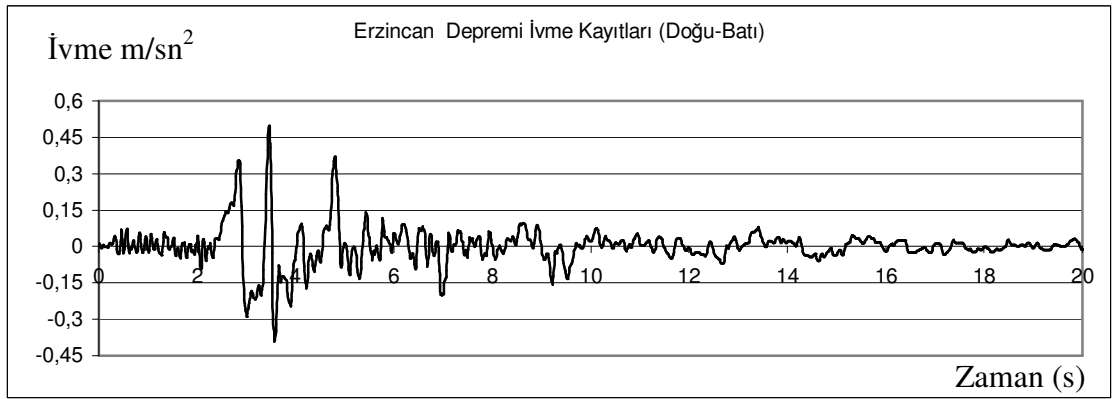
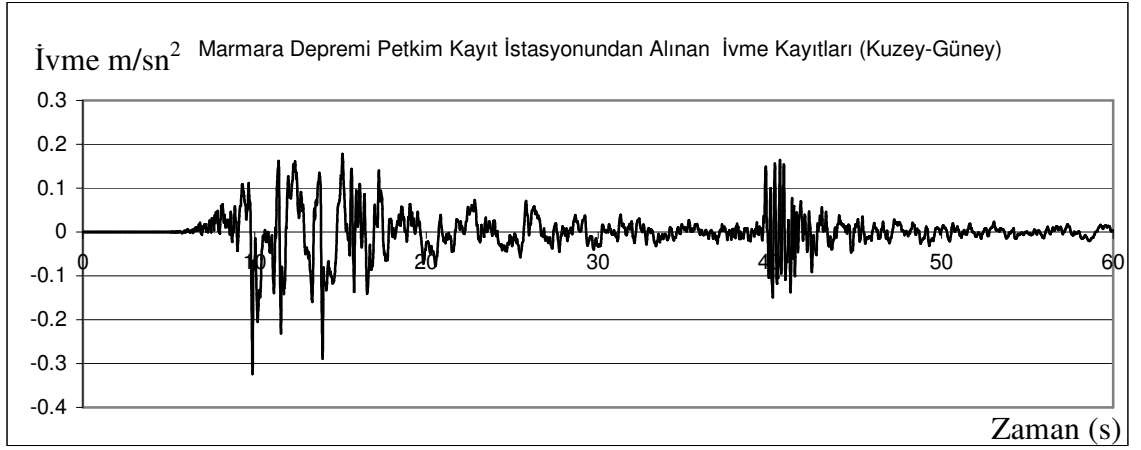
4.1. Araştırma Bulguları

Bu tezde örnek olarak kullanılan yapı modeli SAP 2000’de tasarlanarak modelin, “zaman tanım uzayı” (Time History Analysis) yöntemi ile dinamik analizi yapılmıştır.. Dinamik analizler yapının ankastre temelli ve kurşun çekirdekli kauçuk temelli modelleri için ayrı ayrı uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak değişimler incelenmiştir. Dinamik analizler İzmit ve Erzincan depremleri ivme kayıtlarının SAP 2000 programına tanımlanmasıyla gerçekleştirilmiştir.

4.2. Zaman Tanım Uzayında Analiz

Zaman tanım uzayında analiz yapılırken, SAP2000 programında tanımlanmış olan örnek yapı modelinin analizi için, İzmit ve Erzincan depremlerinin ivme kayıtları girilecektir. Daha sonra yapıya etkiyen yükler, ağırlık ve deprem türü olmak üzere iki farklı türde tanımlanacaktır. Ağırlık ve deprem yükleri etkisinde sistemin dinamik analizleri yapılacaktır. Şekil 4.1.’de göz önüne alınan her iki yönde İzmit ve Erzincan depremleri ivme kayıtları görülmektedir.





Şekil 4.1. İzmit ve Erzincan depremi doğu-batı ve kuzey- güney yönlerinde ivme kayıtları

Dinamik analizler ankastre temelli yapı ve Bölüm 3'te ve boyutlandırılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatör özellikleri için uygulanmıştır. Daha sonra mevcut şirketler tarafından üretilen ve çeşitli yapılarda kullanılmış olan kauçuk mesnet özellikleri sisteme girilerek analizler yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Deprem etkileri iki yön içinde dikkate alınmış ve kesitlerde oluşan eksenel kuvvetler, kesme kuvvetleri ve momentler ile

deplasmanlar ifade edilmiştir. Bunun için depremin etki ettiği ilk ve orta akslar ele alınarak incelenmiştir.

4.3. Ankastre Temelli Sistemin Analiz Sonuçları

4.3.1. Ankastre Temelli Sistemin Modlara Göre Titreşim Periyotları

Çizelge 4.1. Ankastre mesnetli yapıda İzmit ve Erzincan depremi ivme kayıtları altına analiz sonuçlarından elde edilen modlara göre titreşim periyotları

MOD	Sistemin Periyodu		Mod Şekli
	İzmit Depremi	Erzincan Depremi	
1	0,89	0,80	Kuzey Güney Yatay Hareket
2	0,83	0,77	Doğu –Batı Yatay Hareket
3	0,79	0,73	Burulma

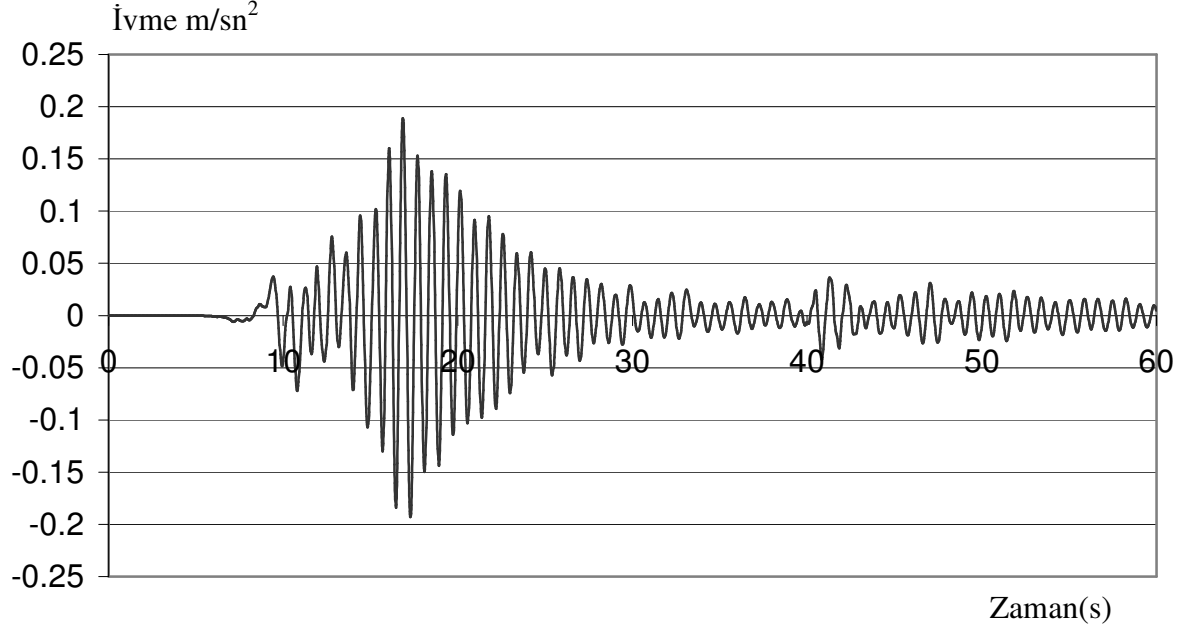
4.3.2. Ankastre Temelli Sistemde Meydana gelen Deplasmanlar:

Ankastre temelli yapı modelinin İzmit depremi ivme kayıtları altında meydana gelen deplasmanlar çizelge 8.3.'te yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Ankastre temelli yapıda İzmit depremi ivme kayıtları yüklemesi sonucunda meydana gelen yer değiştirmeler

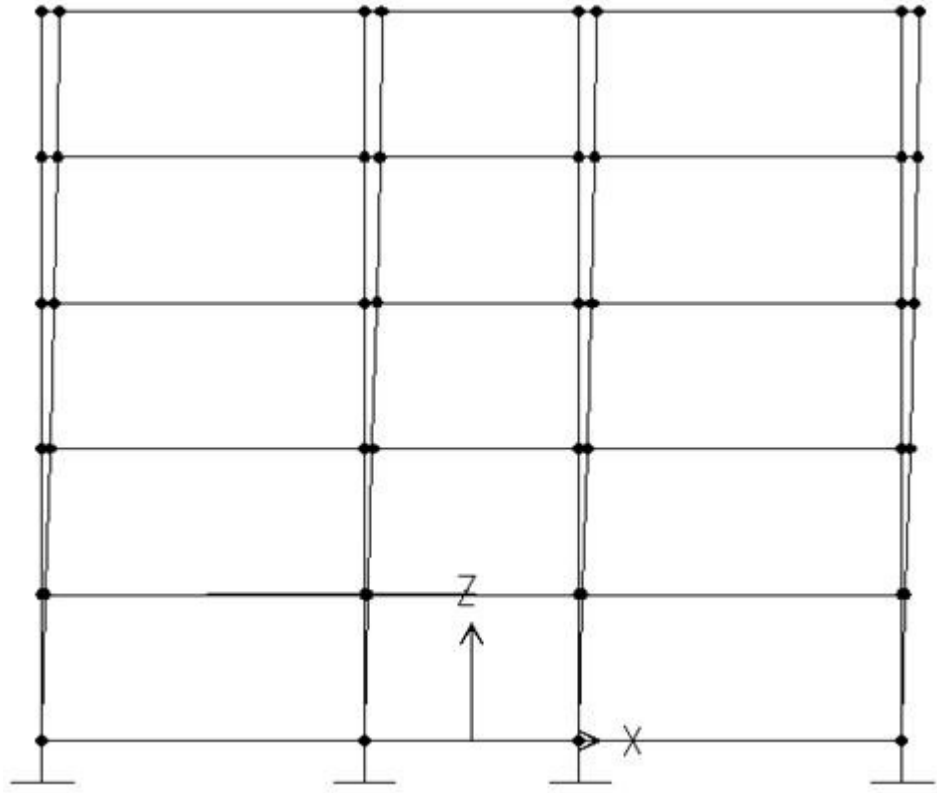
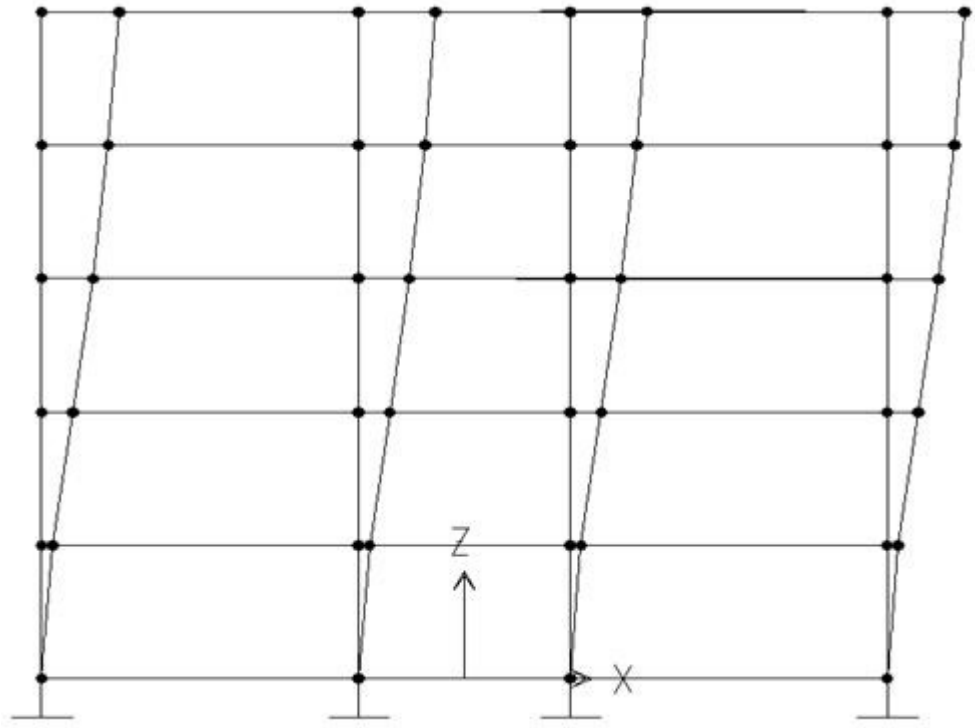
A-A Aksı		D-D Aksı	
Düğüm Noktası	Deplasman(m)	Düğüm Noktası	Deplasman(m)
1	0	97	0
2	0,027	98	0,028
3	0,073	99	0,075
4	0,11	100	0,12
5	0,14	101	0,15
6	0,16	102	0,17

Şekil 4.2.'de ise A-A Aksı üzerinde 6. düğüm noktasının İzmit depremi ivme kayıtları altında yapmış olduğu deplasman grafiği görülmektedir.

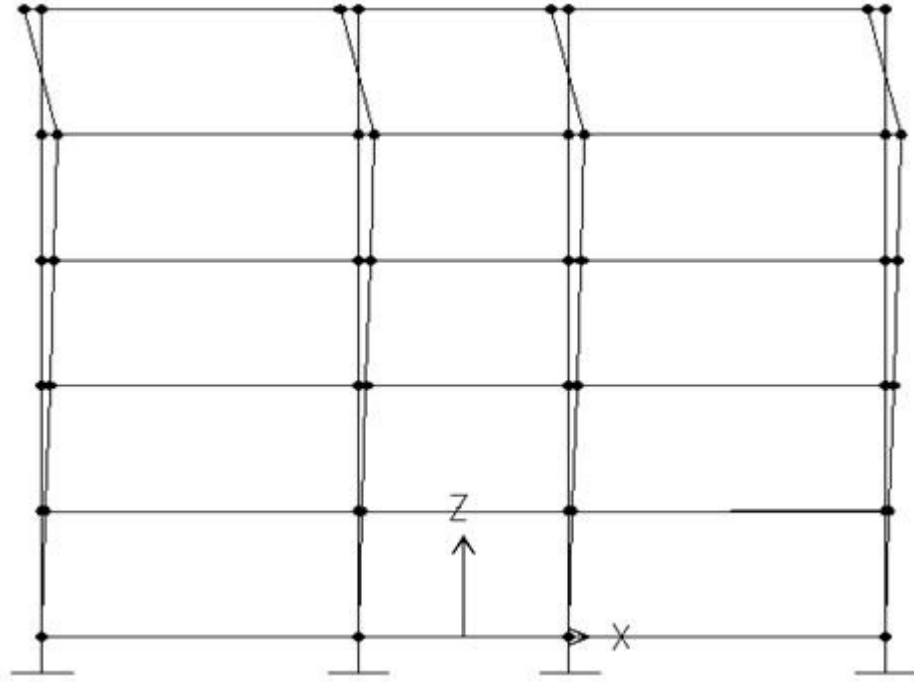
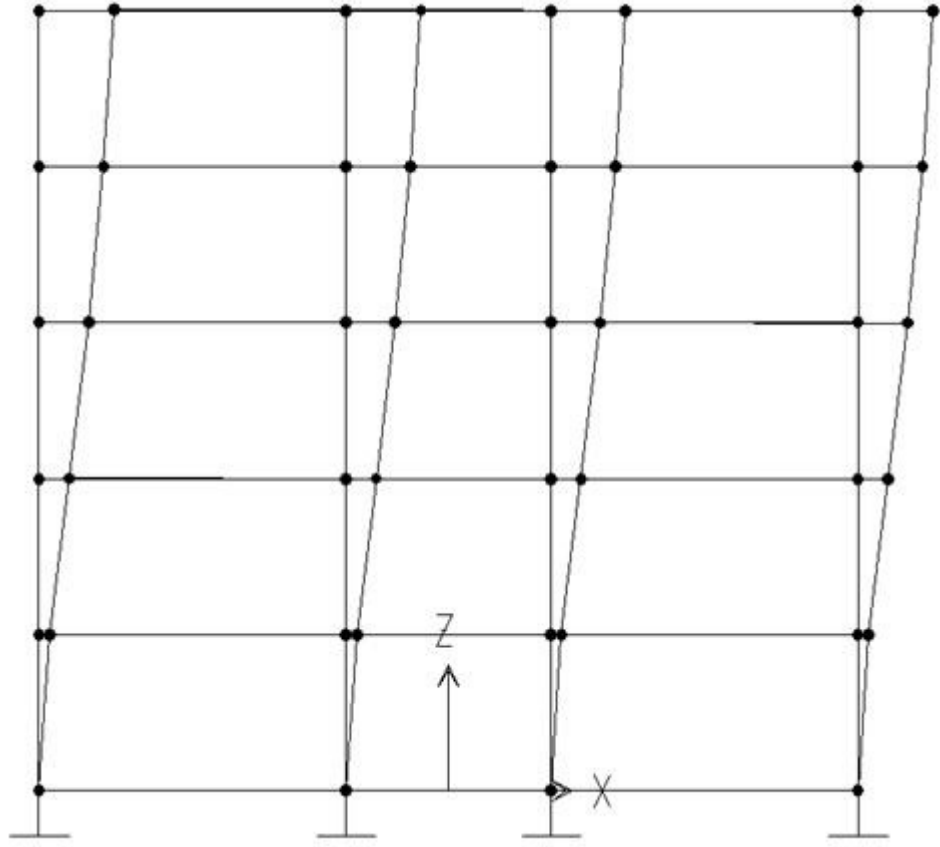


Şekil 4.2. Ankastre temelli sistemde A-A Aksı üzerinde İzmit depremi ivme kayıtları altında 6. düğüm noktasının deplasman grafiği

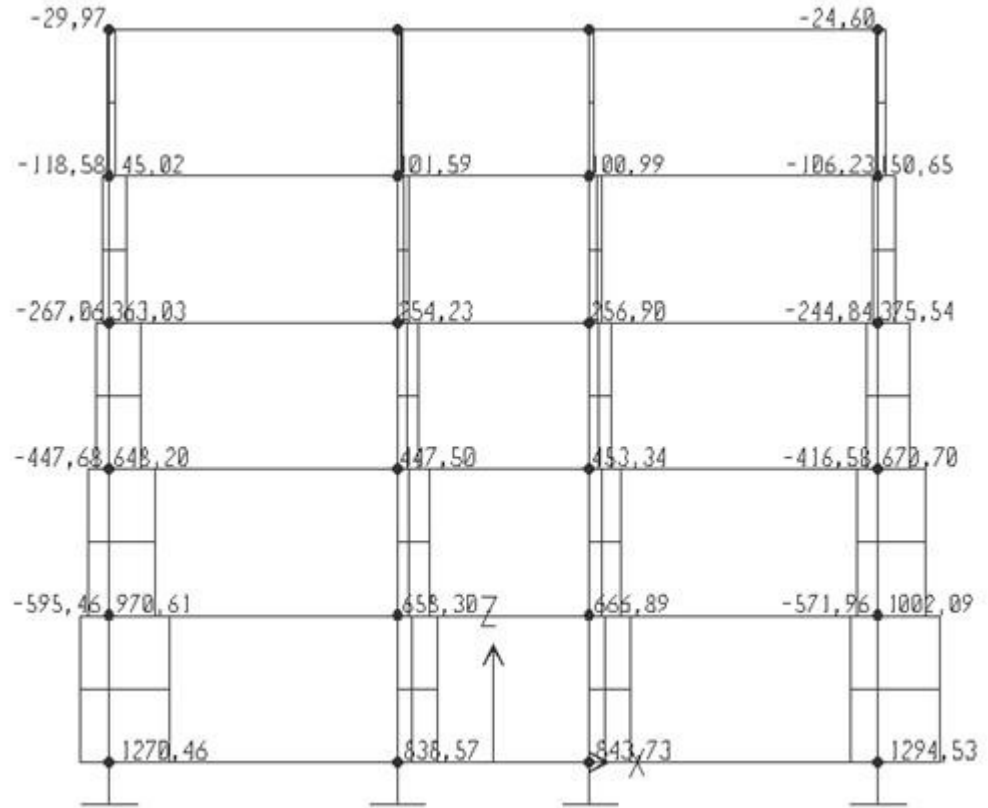
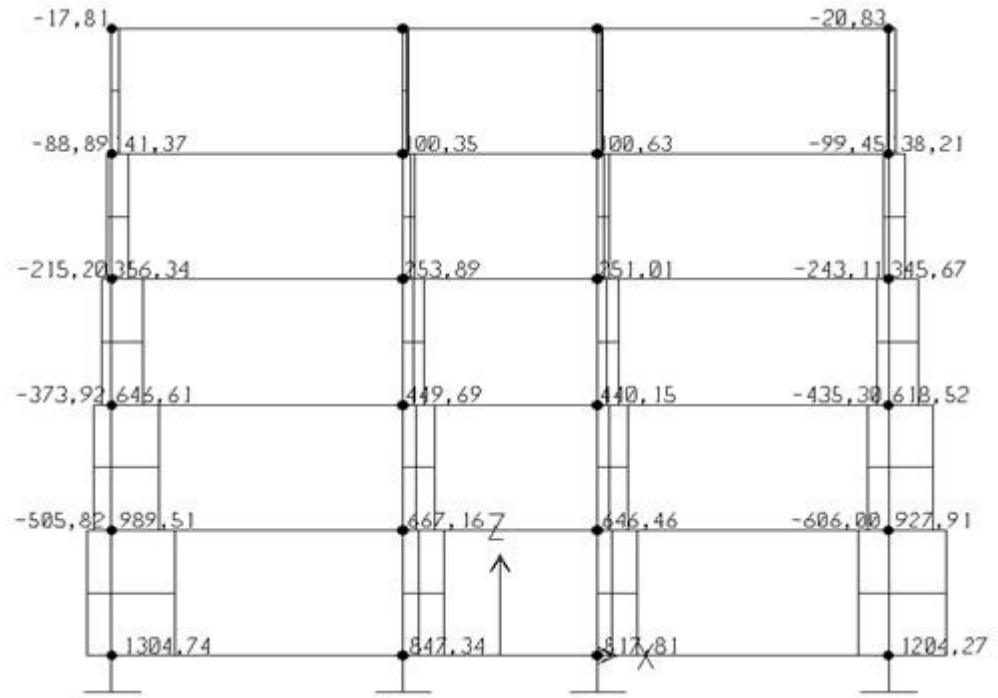
Sistemde “Rijit Diyafram” kabulü yapıldığı için, düğüm noktaları için bulunan yerdeğiştirmeler aynı zamanda bütün katın yerdeğiştirmeleridir.



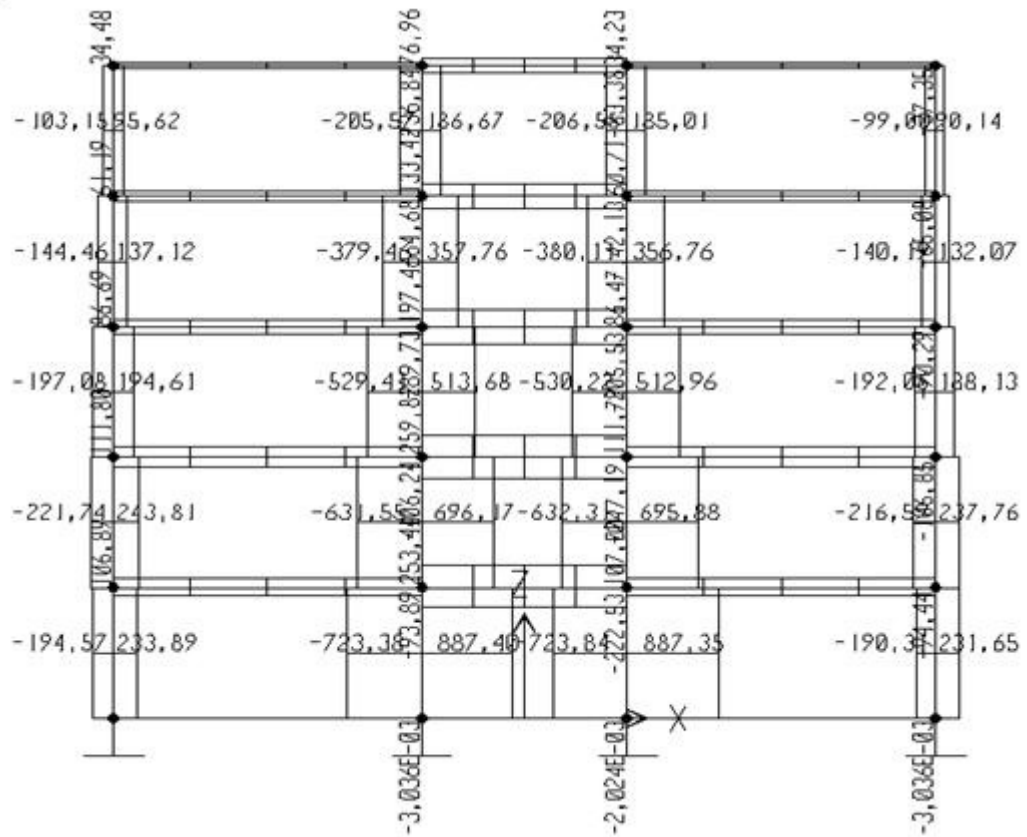
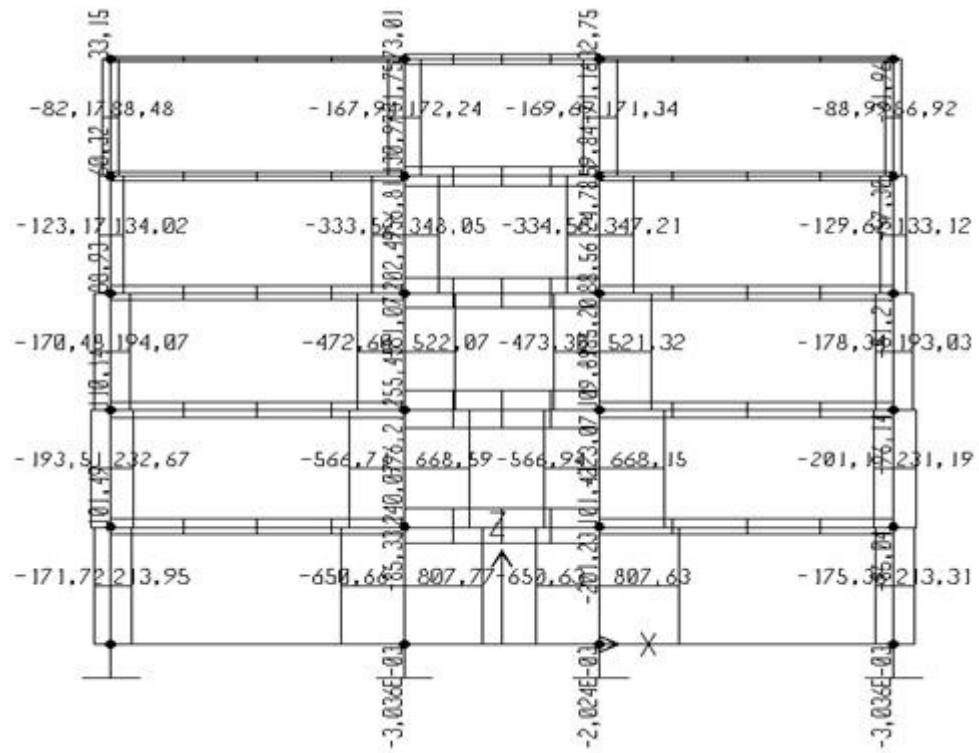
Şekil 4.3. Ankastre mesnetli sistemde, 1.Mod şeklinde A-A aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemeleri sonucu oluşan yerdeğiştirmeler



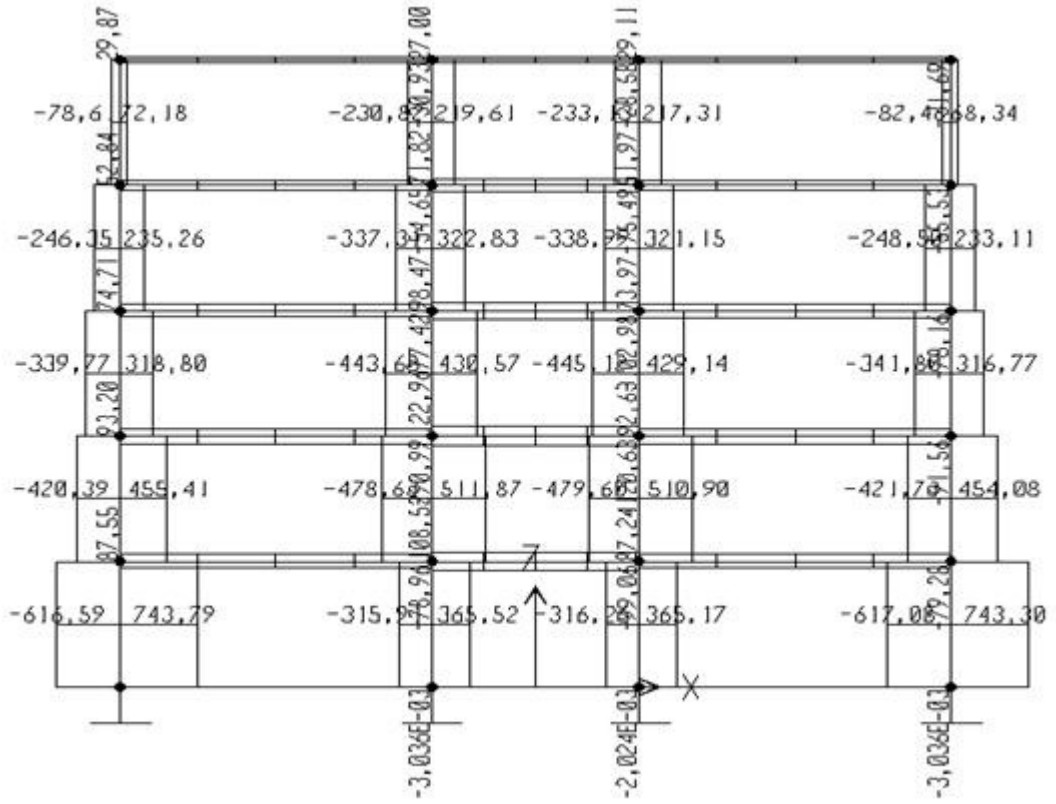
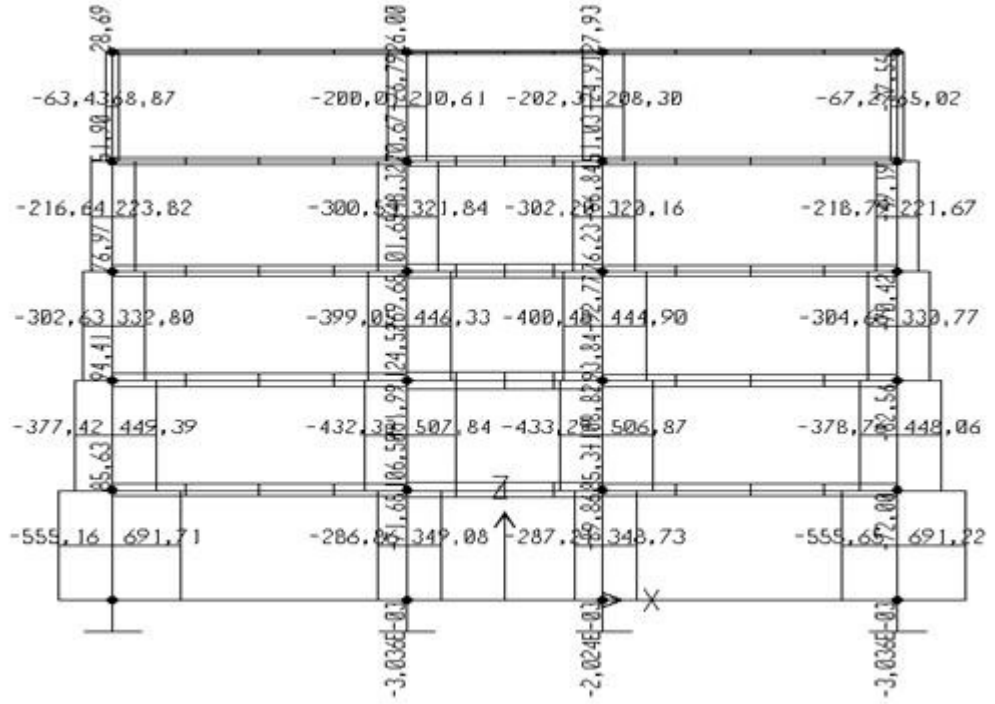
Şekil 4.4. Ankastre mesnetli sistemde D-D aksı üzerinde 1. mod şeklinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan yerdeğştirmeler



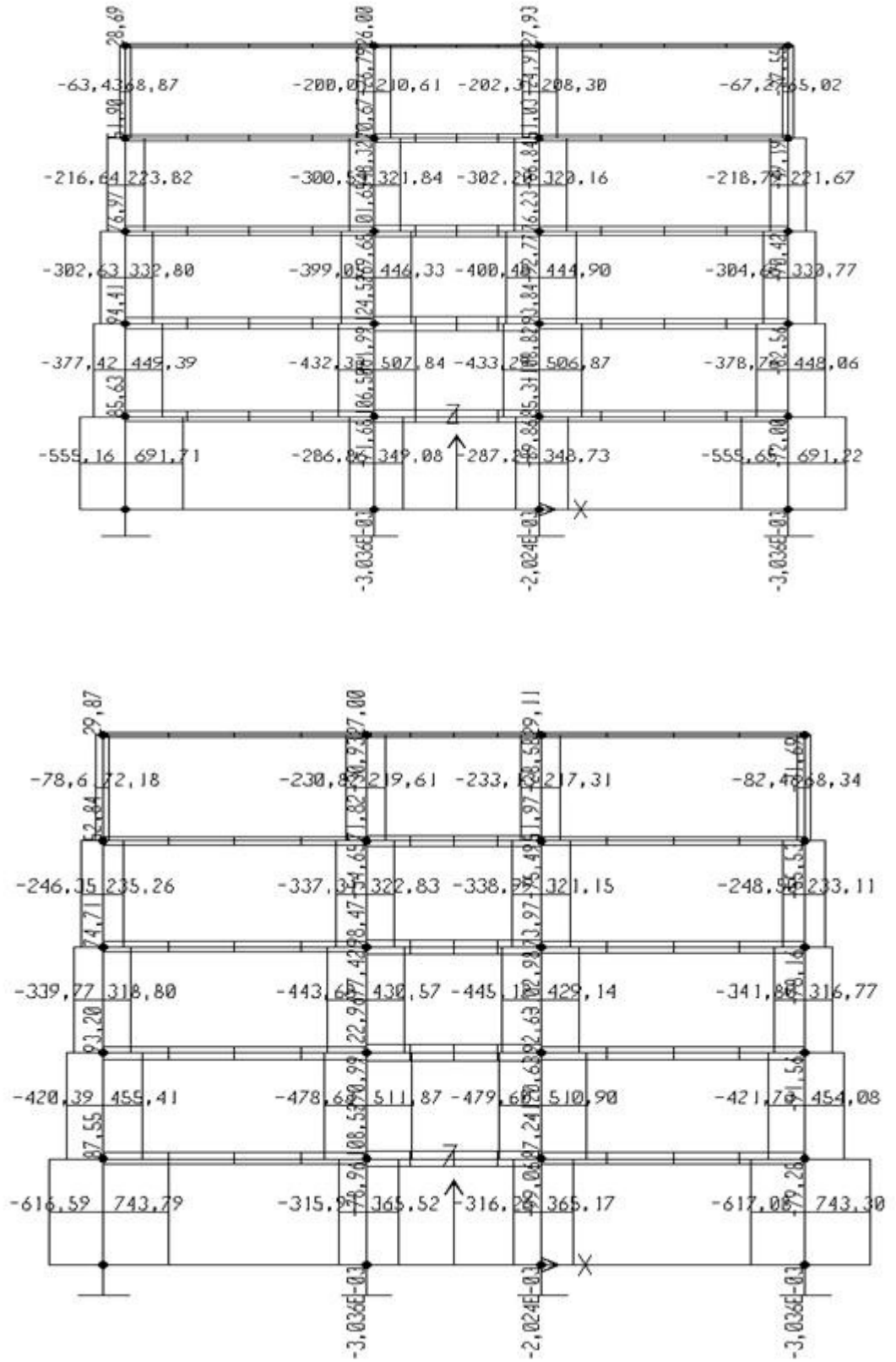
Şekil 4.5. Ankastre mesnetli sistemde A-A aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan eksenel kuvvetler



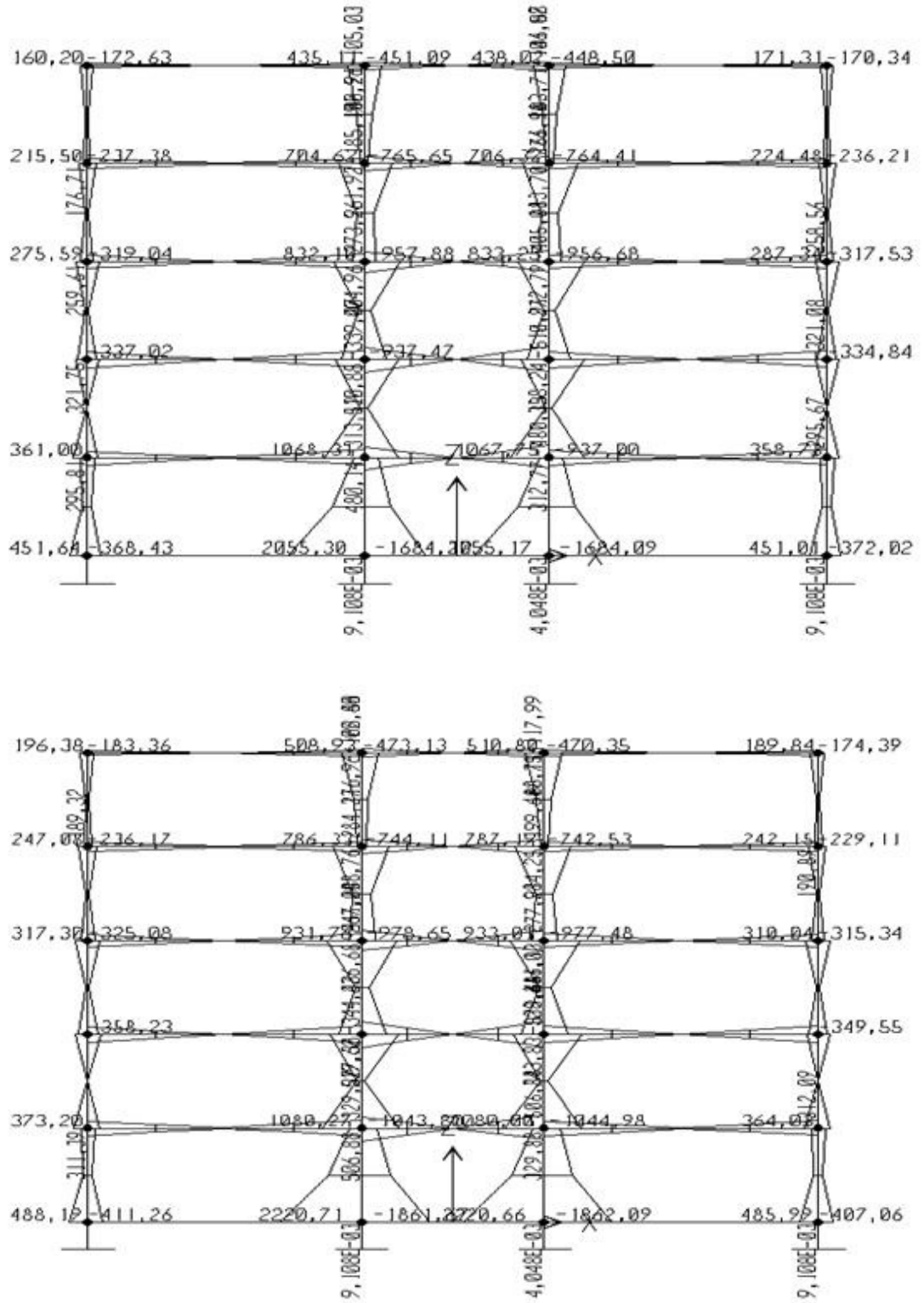
Şekil 4.6. Ankastre mesnetli sistemde D-D aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan eksenel kuvvetler



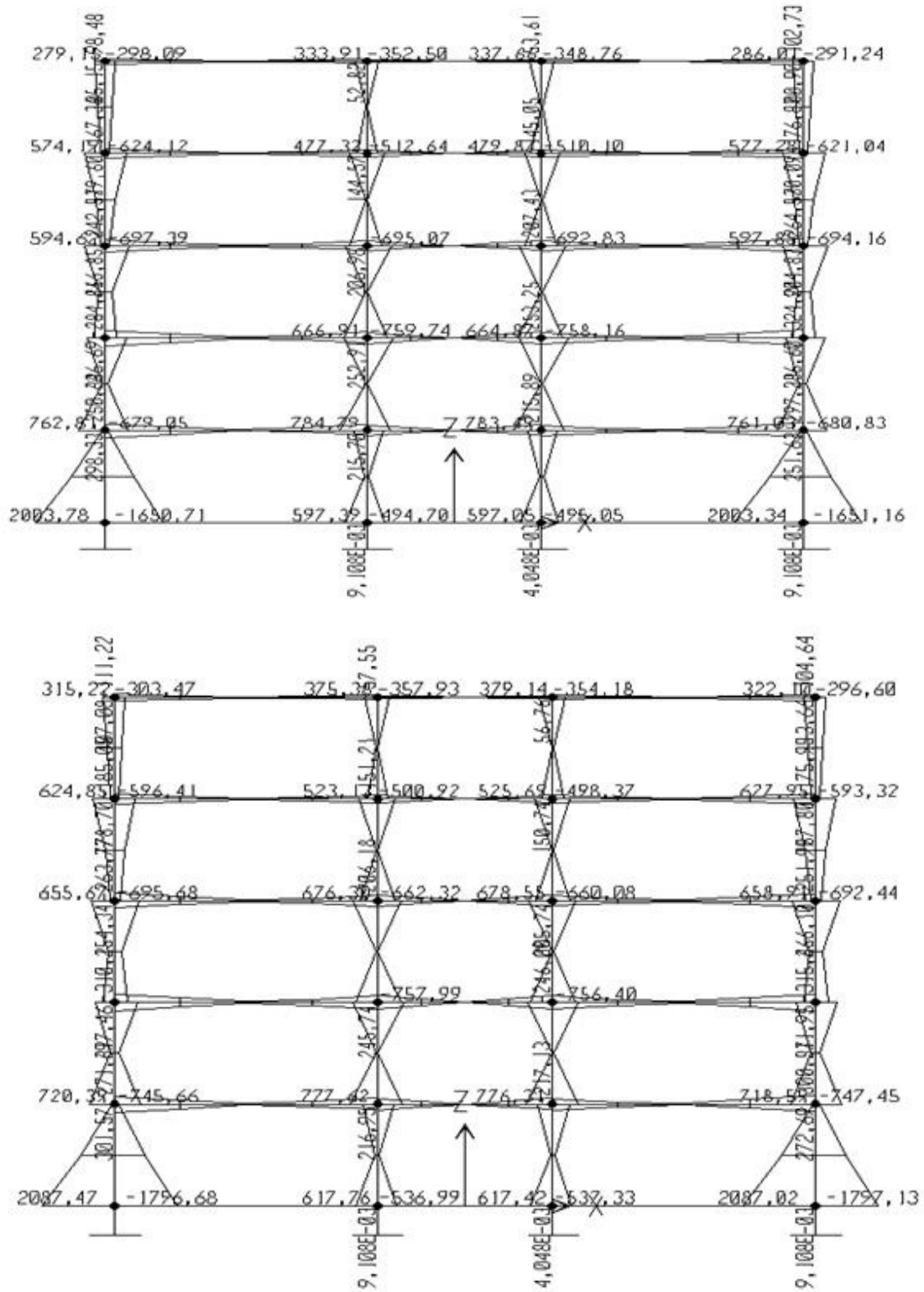
Şekil 4.7. Ankastre mesnetli sistemde A-A aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 4.8. Ankastre mesnetli sistemde D-D aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 4.9. Ankastre mesnetli sistemde A-A aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan eğilme momentleri



Şekil 4.10. Ankastre mesnetli sistemde D-D aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan momentler

4.4. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapı Sisteminin Analiz Sonuçları

Analitik hesaplamalar sonucunda tasarlanan kauçuk mesnet özellikleri ile sistemin dinamik analizleri yapıldıktan sonra, sistemin doğal titreşim periyodunun kabul edilen değerler aralığında kalmış olmasına rağmen, izolatörlerin rijit davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Yapı boyutları ve ağırlığının büyük olmasından dolayı, izolatör boyutlarının küçük olduğu düşüncesiyle piyasada mevcut firmalar tarafından üretimi yapılan ve bir çok yapıda uygulanmış olan kauçuk mesnetler kullanılarak yapı modeli yeniden analiz edilerek, sonuçları incelenmiştir. İlk aşamada analitik hesaplar sonucunda elde edilen izolatör özelliklerine en yakın olduğu anlaşılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatör seçilmiştir.

Bölüm 3'te analitik hesaplamalar sonucunda elde edilen mesnet özellikleri aşağıdaki gibidir:

- | | | |
|-----|-----------------------------|----------------------------------|
| (1) | İzolatör Tipi | :Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet |
| (2) | İzolatör Çapı | : 50 cm |
| (3) | Efektif Rijitlik | :6701130 kN/m |
| (4) | Lineer elastik rijitlik | :2040 kN/m |
| (5) | Elastik Rijitlik | :16320 kN/m |
| (6) | Akma Rijitliği | :22,5 kN/m |
| (7) | Akma Sonrası Rijitlik Oranı | :0,05 |

Piyasada mevcut firmalar tarafından üretilen ve bu çalışmada analiz için seçilen mesnet özellikleri aşağıdaki gibidir:

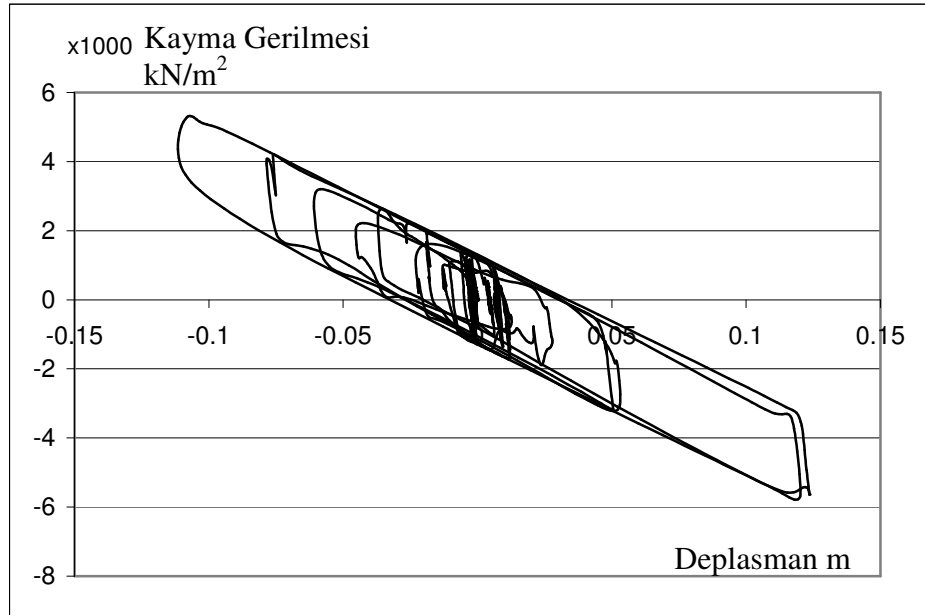
- | | | |
|-----|-----------------------------|-----------------------------------|
| (1) | İzolatör Tipi | : Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet |
| (2) | İzolatör Çapı | : 60 cm |
| (3) | Efektif Rijitlik | :6726000 kN/m |
| (4) | Lineer elastik rijitlik | :750 kN/m |
| (5) | Elastik Rijitlik | :28000 |
| (6) | Akma Rijitliği | :22,5 kN/m |
| (7) | Akma Sonrası Rijitlik Oranı | :0,05 |

Bu izolatör özellikleri ile analizler gerçekleştirildiğinde yapı doğal titreşim periyodunun öngörülen değerler arasında olduğu, fakat izolatörlerin rijit davranış sergilemeye devam ettikleri ve enerji sönmeme kapasitesinin uygun olmadığı dikkat

çekici olmuştur. İzolatör özellikleri daha büyük seçilere analizlere devam edilmiştir. Seçilen ikinci tip izolatörün özellikleri aşağıdaki gibidir:

- (1) İzolatör Tipi :Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör
- (2) İzolatör Çapı : 80 cm
- (3) Efektif Rijitlik : 3009209 kN/m
- (4) Lineer elastik rijitlik :1434 kN/m
- (5) Elastik Rijitlik :23870 kN/m
- (6) Akma Rijitliği :42,5 kN/m
- (7) Akma Sonrası Rijitlik oranı :0,05

Analizler neticesinde kullanılmış olan üçüncü tip izolatörün elastik davranış sergilediği ve enerji sönümleme kapasitesinin uygun olduğu anlaşılmıştır. Enerji yutma ve elastik davranış eğrisi şekil 7.11’de ifade edilmektedir.



Şekil 4.11.Sismik izolasyonlu sistemin enerji sönümleme eğrisi

4.4.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapı Sisteminin Modlara Göre Titreşim Periyotları

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ile analiz edilmiş yapı sisteminin İzmit ve Erzincan depremleri ivme kayıtları altındaki mod şekilleri ve sistemin modlara göre periyodu çizelge 4.3.'te ifade edilmektedir.

Çizelge 4.3. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle yalıtılmış yapı sisteminin mod şekline göre titreşim periyotları

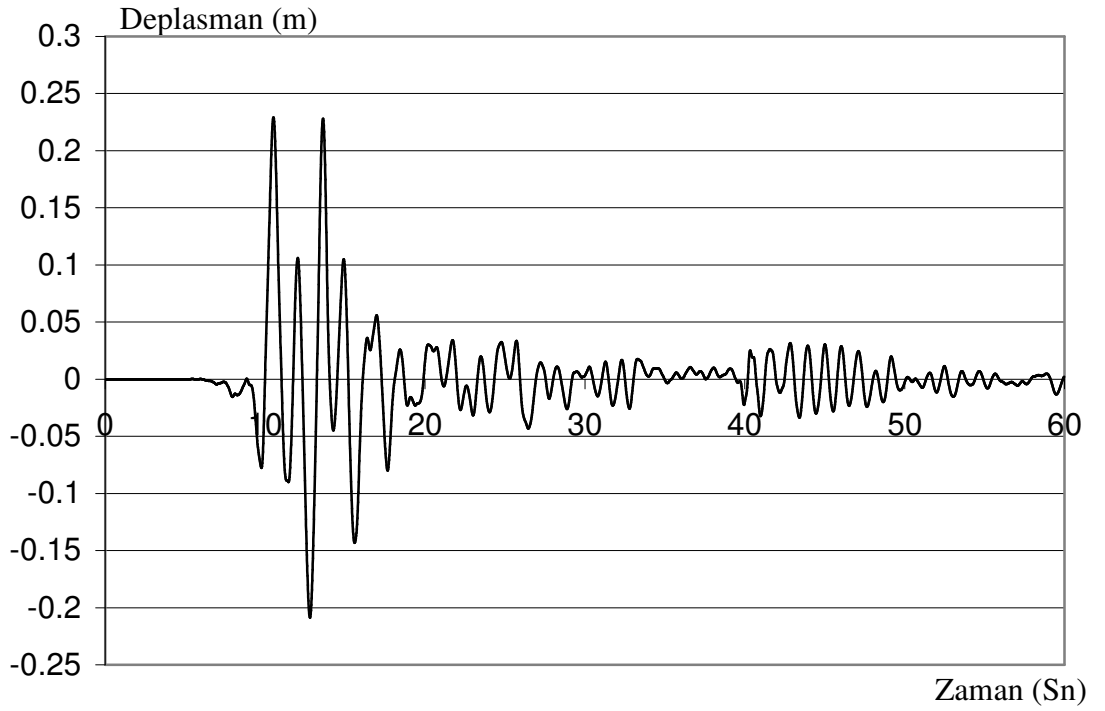
MOD	Sistemin Periyodu(s)		Mod Şekli
	İzmit Depremi	Erzincan Depremi	
1	1,63	1,68	Kuzey Güney Yatay Hareket
2	1,60	1,67	Doğu –Batı Yatay Hareket
3	1,26	1,33	Burulma

4.4.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapıda Meydana Gelen Deplasmanlar

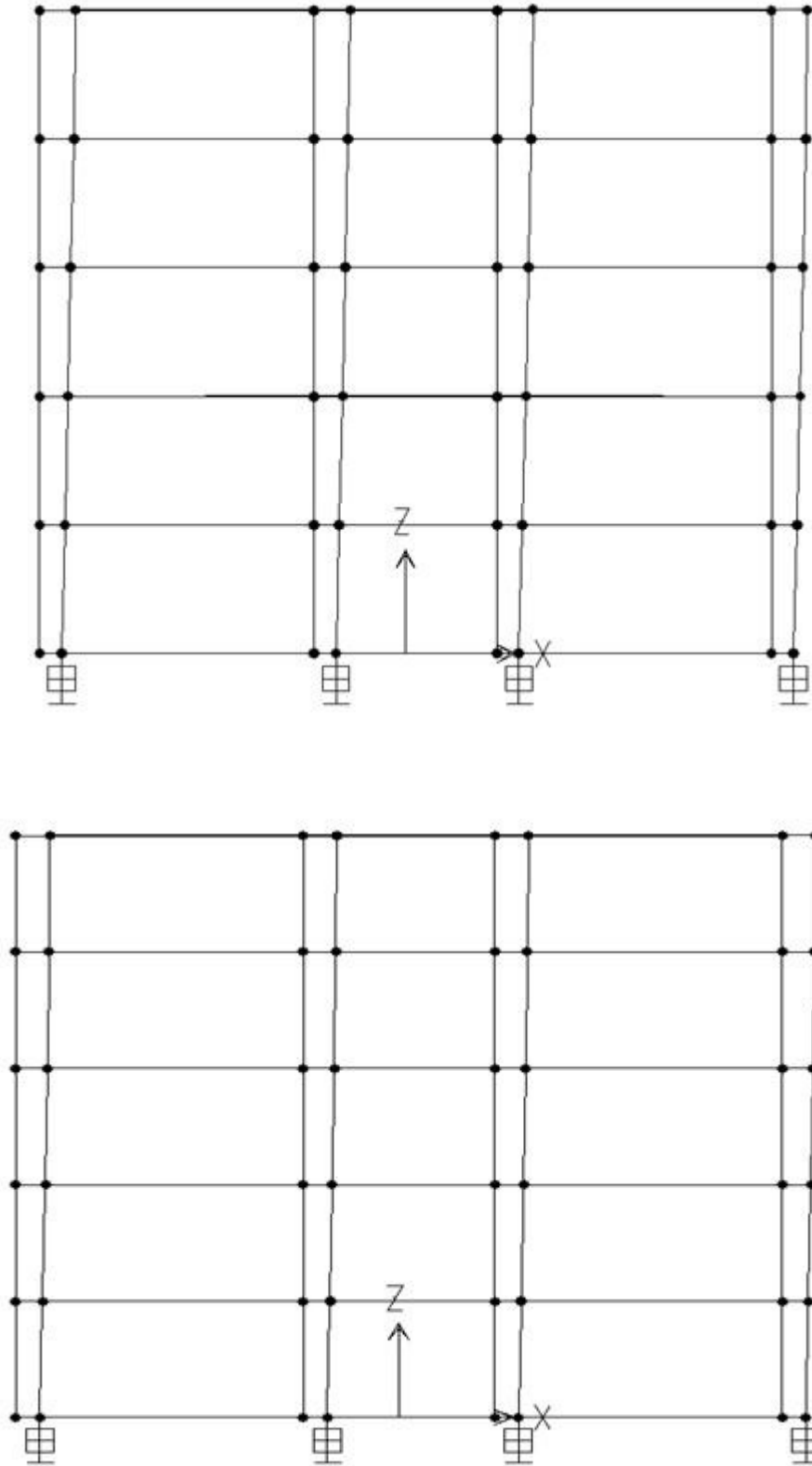
Dinamik analizler sonucunda izolatörlü yapının ilk ve orta akslarında meydana gelen deplasmanlar Çizelge 7.4.'da ifade edilmektedir. İzmit ve Erzincan depremleri kayıtları altında yapılan analizler neticesinde meydana gelen deplasman, eksenel kuvvetler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri arasındaki farkın çok uzak olmamasından dolayı, sadece İzmit deprem kayıtları analizinden elde edilen sonuçlar ifade edilmektedir.

Çizelge 4.4. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörle Yalıtılmış Yapı Sistemde İzmit depremi ivme kayıtları altında meydana gelen deplasmanlar

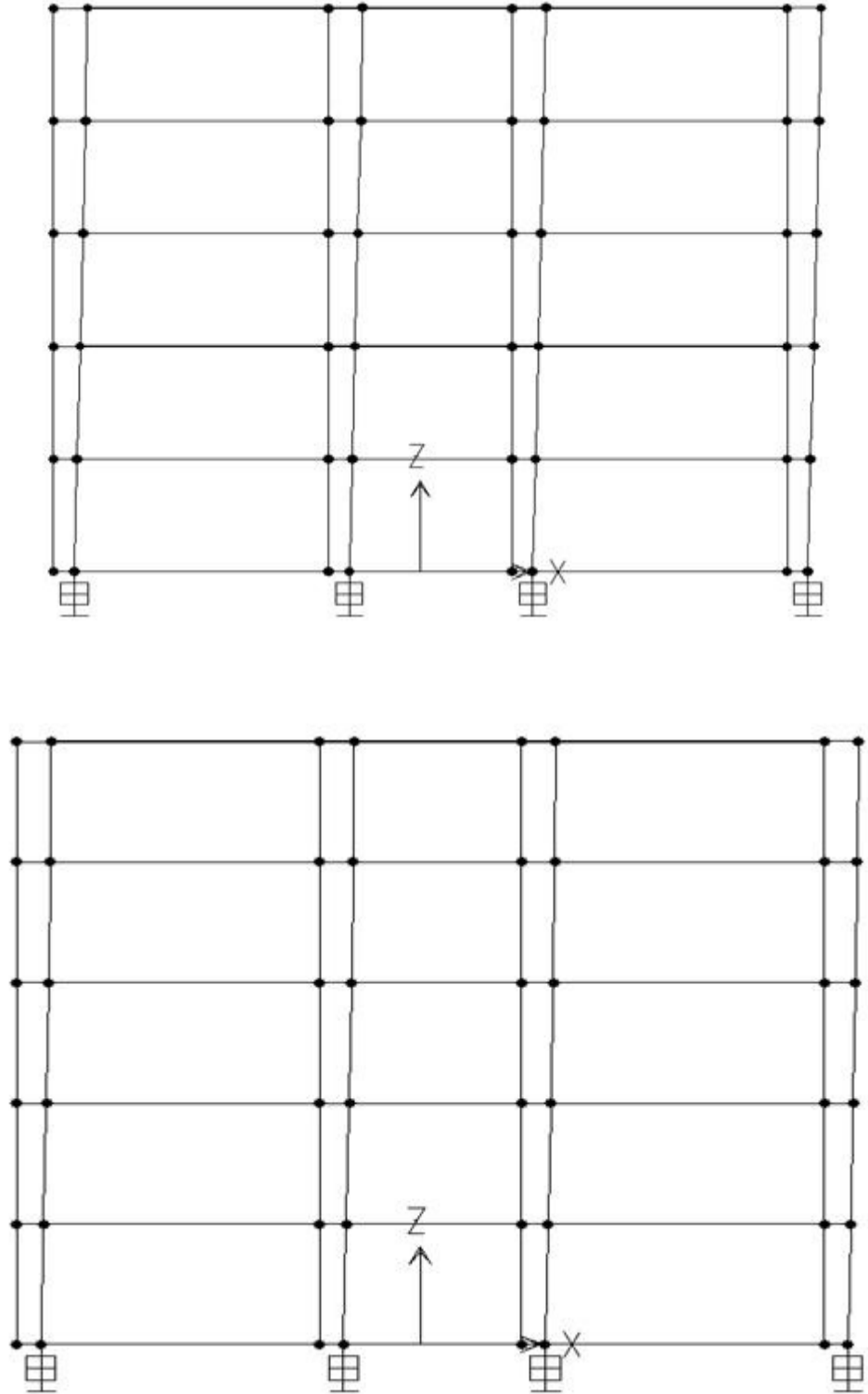
A-A Aksı		D-D Aksı	
Düğüm Noktası	Deplasman(m)	Düğüm Noktası	Deplasman(m)
1	0,25	97	0,23
2	0,28	98	0,26
3	0,30	99	0,29
4	0,33	100	0,31
5	0,34	101	0,33
6	0,35	102	0,34



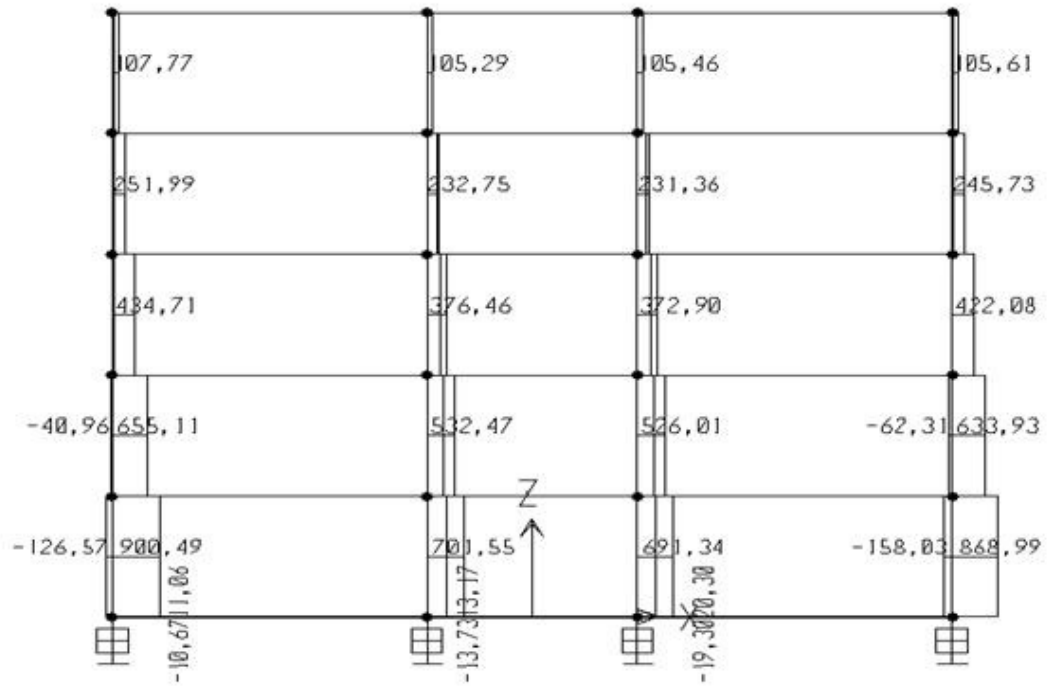
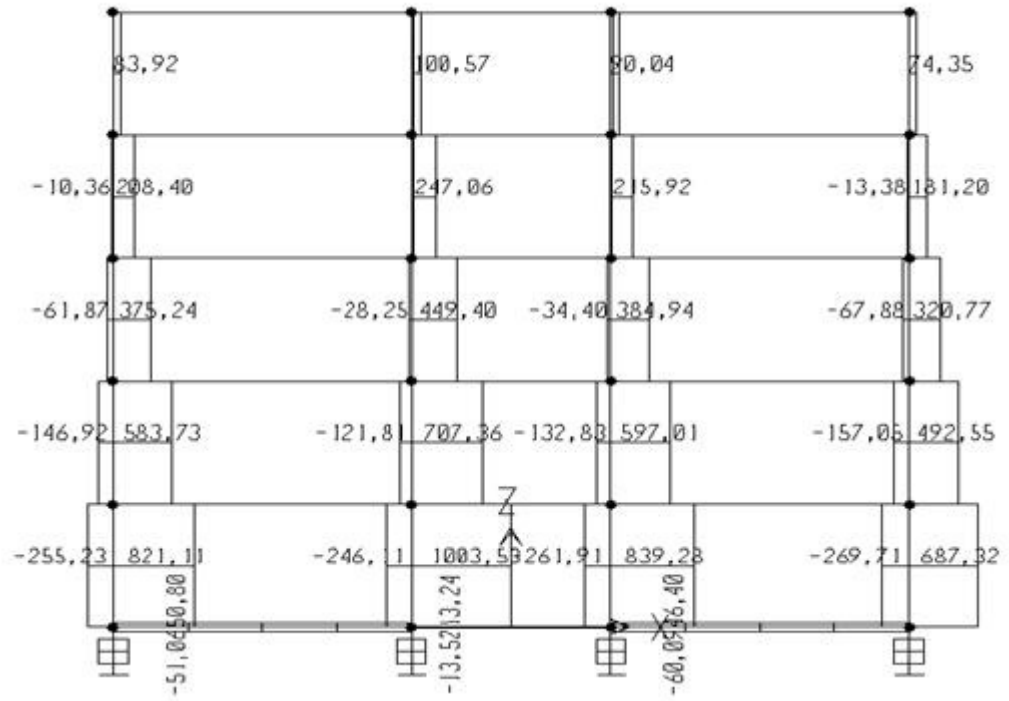
Şekil 4.12. Sismik izolasyonlu sistemde A-A Aksı üzerinde İzmit depremi ivme kayıtları altında 5. kat uç düğüm noktasının deplasman grafiği



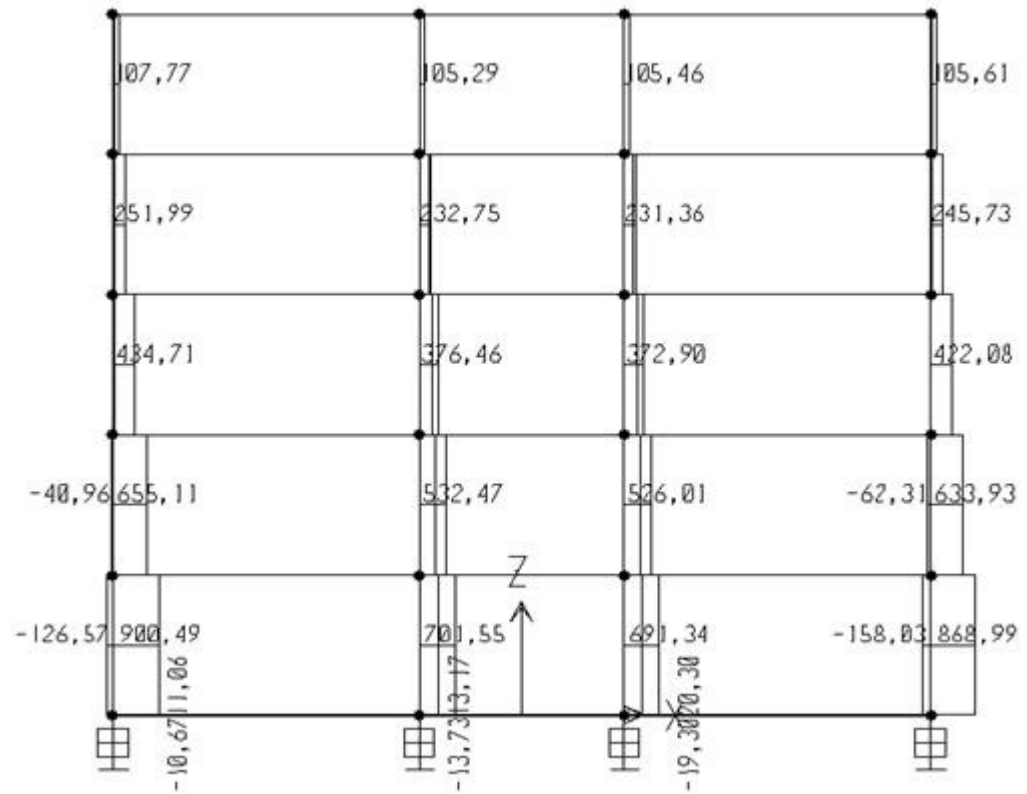
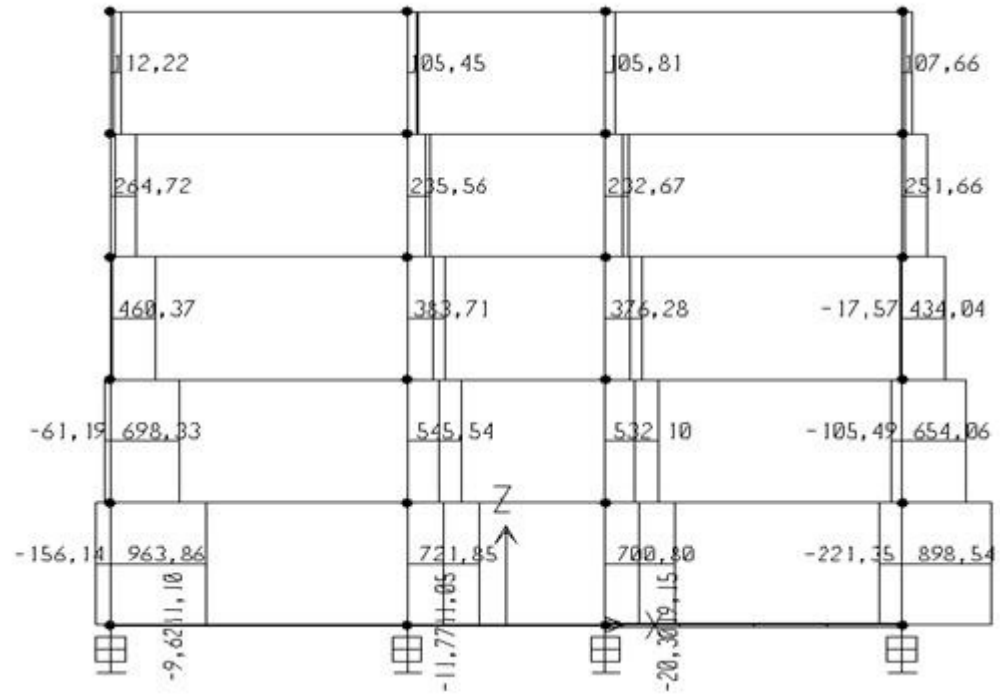
Şekil 4.13. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde 1. mod şeklinde A-A aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem yüklemesi sonucu oluşan yer



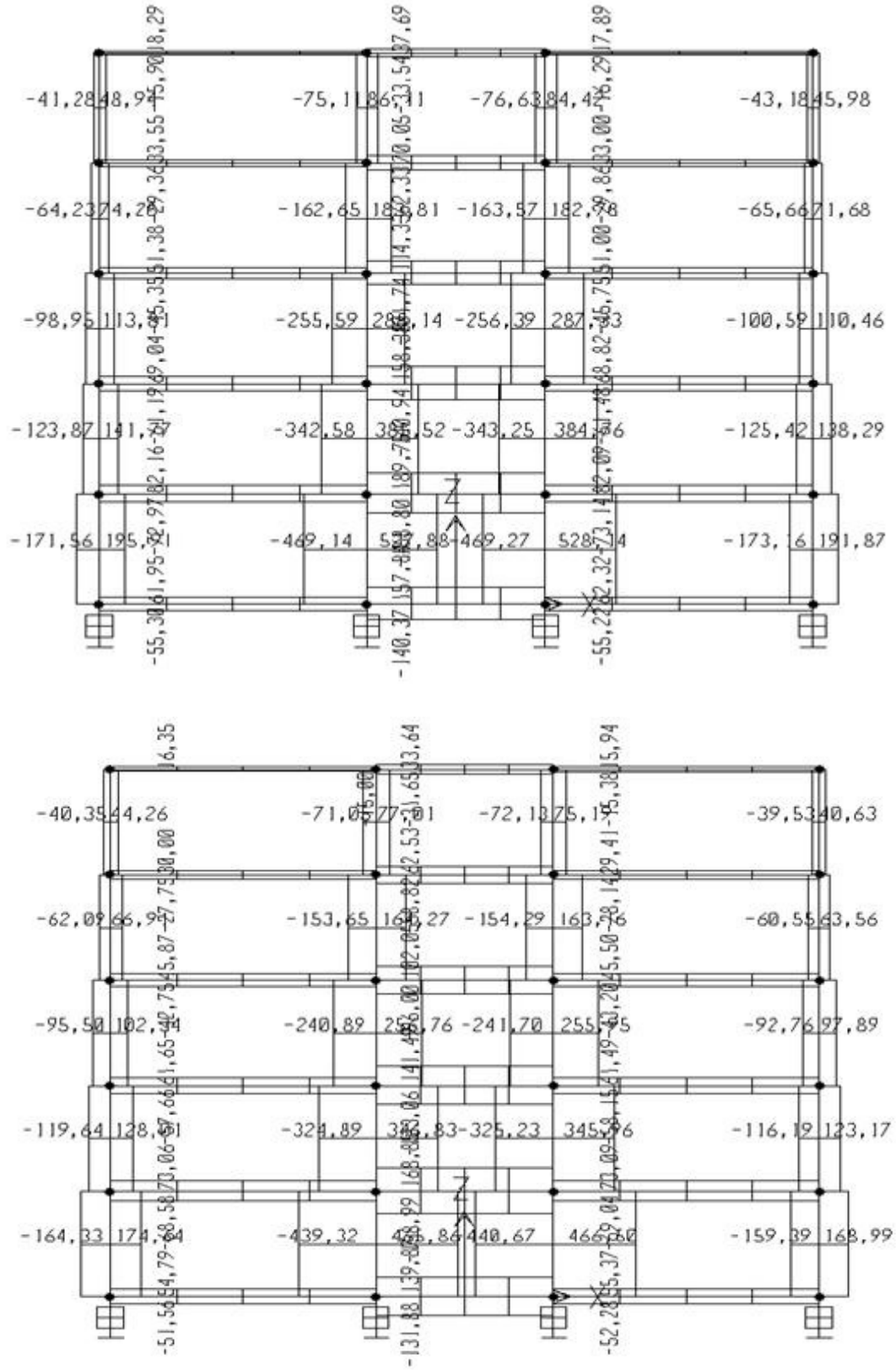
Şekil 4.14. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde 1. mod şeklinde D-D Aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda oluşan yerdeğiştirmeler



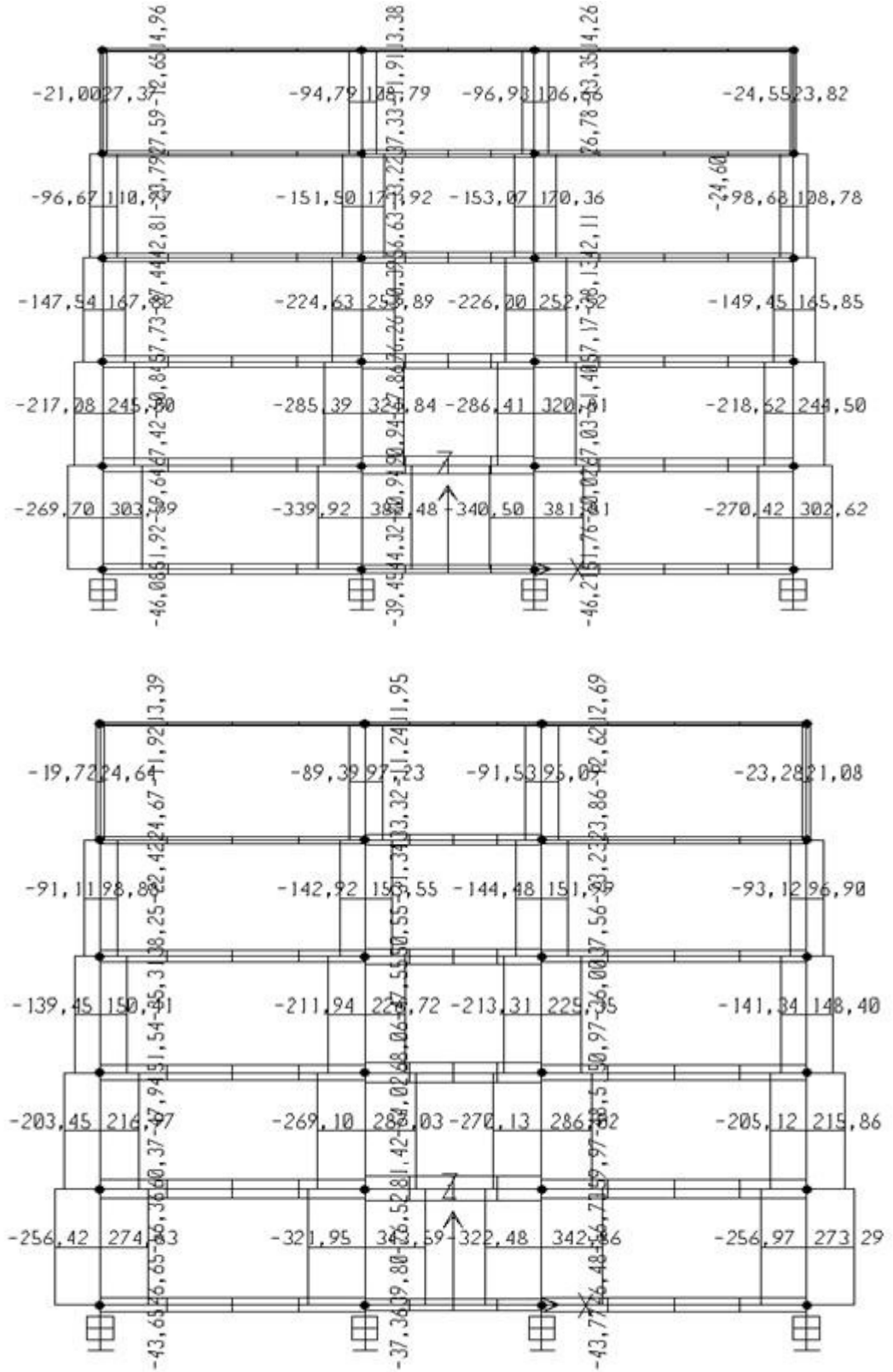
Şekil 4.15. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde A-A aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda meydana gelen eksenel kuvvetler



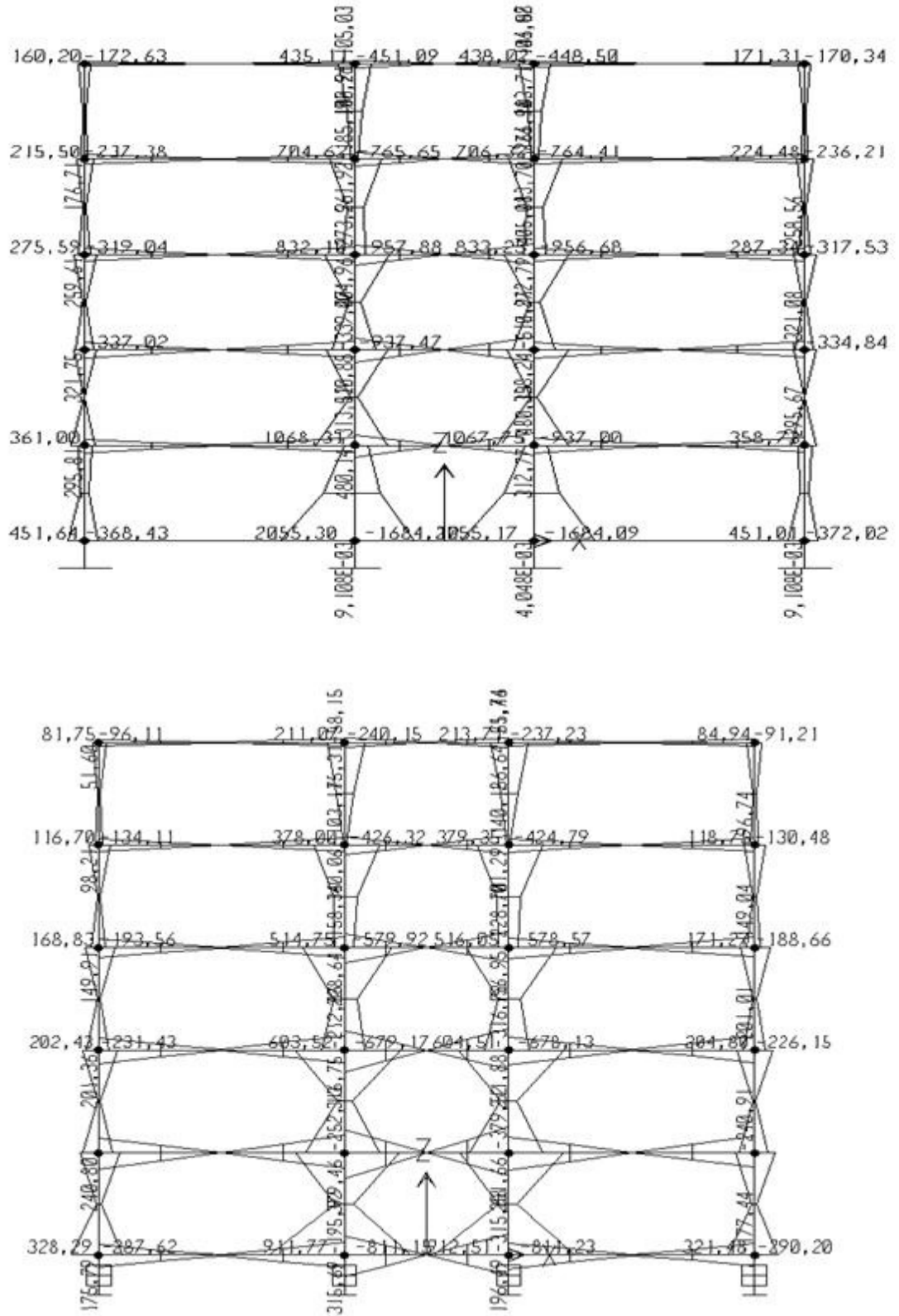
Şekil 4.16. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde D-D aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda meydana gelen eksenel kuvvetler



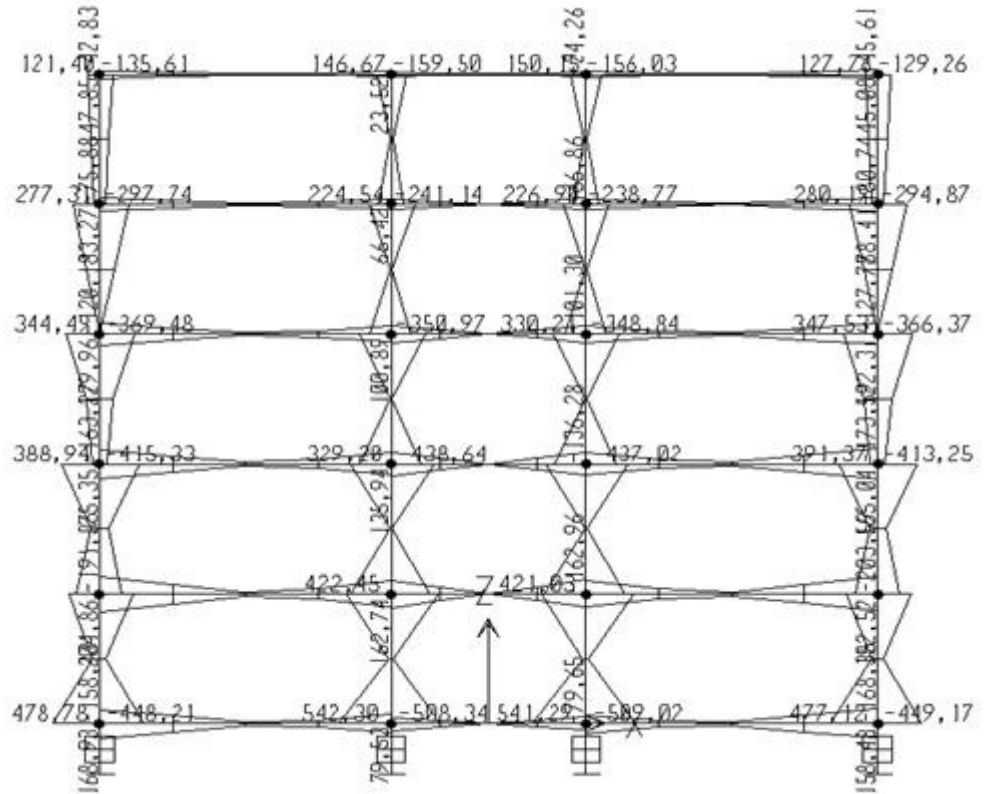
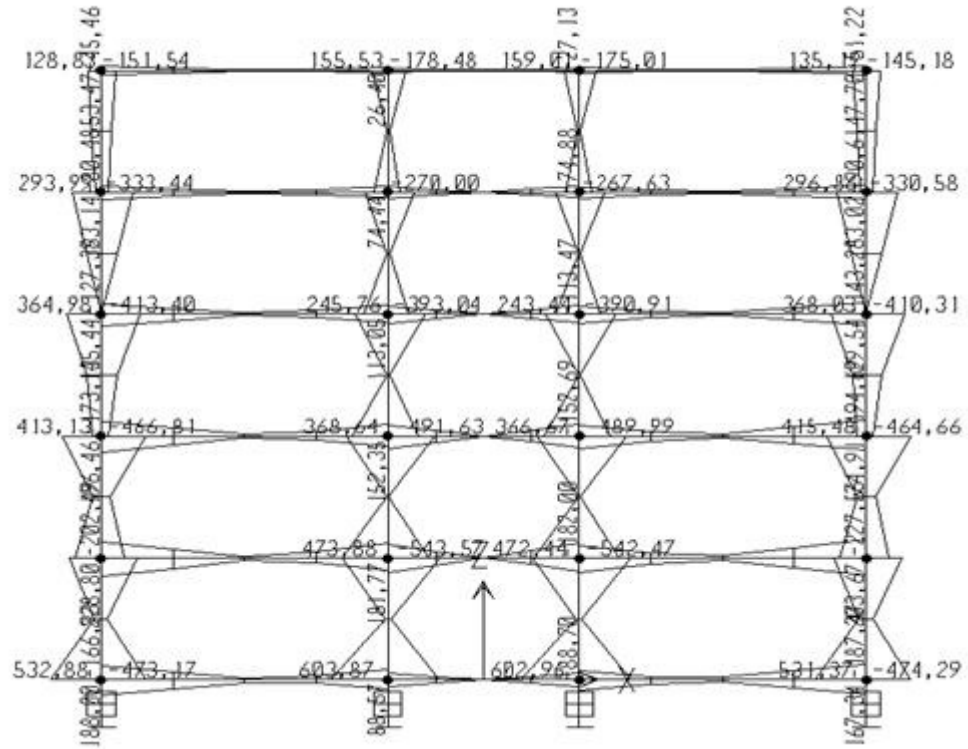
Şekil 4.17. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde A-A Aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda meydana gelen kesme kuvvetleri



Şekil 4.18. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde D-D Aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda meydana gelen kesme kuvvetleri



Şekil 4.19. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde A-A aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda oluşan momentler



Şekil 4.20.Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemde D-D aksı üzerinde İzmit ve Erzincan deprem kayıtları sonucunda oluşan momentler

Çizelge 4.5. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

A-A AKSI					
Kolon No	EKSENEL KUVVETLER (kN)	Ankastre Temelli Sistem		İzolasyon Mesnetli Sistem	
		Max.	Min.	Max.	Min
1		988,58	0	821,11	-255,23
2		739,69	-421,62	543,73	-146,92
3		477,989	-315,5	375,24	-61,92
4		261,13	-190,14	208,49	-10,36
5		100,93	-26,36	83,92	0

Çizelge 4.6. İzmit depremi ivme kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen kesme kuvvetlerin karşılaştırılması

A-A AKSI					
Kolon No	KESME KUVVETLER (kN)	Ankastre Temelli Sistem		İzolasyon Mesnetli Sistem	
		Max.	Min.	Max.	Min
1		213,95	-171,72	195,71	-171,56
2		232,67	-193,51	141,77	-123,87
3		194,07	-170,48	113,81	-98,95
4		134,02	-123,17	74,20	-64,23
5		88,43	-82,18	48,94	-41,28
6		33,13	0	0	0

Çizelge 4.7. İzmit deprem kayıtları altında ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen eğilme momentlerinin karşılaştırılması

A-A AKSI					
Kolon No	EĞİLME MOMENTLERİ (kN.m)	Ankastre Temelli Sistem		İzolasyon Mesnetli Sistem	
		Max.	Min.	Max.	Min
1		488,12	-411,26	328,29	-387,63
2		373,20	-311,19	240,80	-248,91
3		358,23	-349,55	202,43	-231,43
4		317,30	-325,17	168,83	-193,56
5		247,02	-236,17	116,70	-134,11
6		196,38	-183,36	81,75	-95,11

4.5. Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi

Yönetmeliklerde yer alan esaslar doğrultusunda, deprem yükü azaltma katsayısı R , ankastre mesnetli sistemler için 8 olarak kullanılmakta iken, izolasyon mesnetli yapılar için 2 alınmaktadır. Dolayısıyla ankastre mesnetli sistemde yüklerin çok az bir kısmının ($1/8$) yapıya etkidiği düşünölmekte, oysa izolasyon mesnetli sistemde deprem yüklerinin yarısının($1/2$) yapıya etkidiği varsayılarak hesap yapılmaktadır. Yani izolasyonlu sistemlerde ankastre sistemlere etkiyeceği düşünölen yük 4 kat daha fazladır. Buradan da anlaşılabacağı üzere sismik izolasyonlu sistem ankastre mesnetli sisteme oranla 4 kat daha büyük depreme dayanacak şekilde tasarlanmaktadır.

Analiz sonuçlarından anlaşıldığı üzere çizelge 5.6., çizelge 7.6. ve çizelge 7.7'den de görölmektedir ki, deprem etkisiyle kesitlerde meydana gelen kesme kuvvetleri, eksenel kuvvetler ve eğilme momentleri, ankastre temelli sistemde daha küçüktür. Sismik izolasyonlu sistemin ankastre temelli sisteme nazaran 4 kat daha büyük bir deprem yükü ile analiz edildiğı düşünölrse, kesitlerde meydana gelen iç kuvvetlerdeki gözlemlenen bu düşüşün çok memnun edici olduğı açıkça ifade edilebilir.

Sistemin yapmış olduğı deplasmanlar incelendiğinde rijit diyafram ile birleştirilmiş olan izolasyon katının da, diğer katlarla birlikte hareket ettiğı ve bu durumun muhtemel büyük burulma etkilerinin önüne geçtiğı açıktır. Ayrıca katlar arası yerdeğıştirmelerinde minimum seviyede olduğı dikkati çekmektedir.

Analizler neticesinde izolatörlerin deprem etkilerini azalttığı ve ankastre temelli sistem ile sismik izolasyonlu sistemde meydana gelen yük etkileri kıyaslandığında önemli derecede bir düşüşün meydana geldiğı açıkça görölmektedir. Elde edilen bu sonuçların yapı güvenliğı açısından sismik izolasyon yönteminin kullanılabilirliğini göstermektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan çeşitli sismik izolasyon yöntemleri incelenerek, örnek bir plan üzerinde, ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu yapı tasarlanmış ve analizler yapılmıştır. Çeşitli varsayımlar ve yönetmelikler ışığında yapılan analizlerden elde edilen sonuç ve öneriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Sismik izolasyonun , deprem etkilerini azaltması açısından sisteme olumlu yönde katkılar sağlamış olduğu açıktır. Taban izolasyonlu yapılarda meydana gelen görelî kat ötelenmelerinin, ankastre temelli yapıya oranla azaldığı ve kullanılan izolatörün özelliğine göre müsaade edilen ötelenme miktarı kadar olduğu görülmektedir.
2. Analiz sonuçlarından da anlaşıldığı üzere; sismik izolasyonlu yapının, her hangi bir deprem etkisiyle göstermiş olduğu kesit zorlanmaları yaklaşık olarak aynıdır.
3. Kesitlerde meydana gelen iç kuvvetler ve momentlerdeki küçülmenin göz önüne alınması durumunda, yapı taşıyıcı elemanlarının boyutlarında değişiklik yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Yapı eleman boyutlarının küçültülmesi hem ekonomik açıdan , hem yapı ağırlığından doğan düşey yükün azalması açısından bir avantajdır. Yapıya gelebilecek kesit etkilerinin azalmış olması da yapının güvenli tasarlanması anlamına gelir.
4. Sismik izolasyon sistemlerinin uygulanmasının ekonomik boyutlarından sözedilecek olursa, az katlı yapılarda kullanımının çok ekonomik olduğu söylenemez. Fakat genel olarak yapı maliyeti düşünülürse, yapıya sismik izolasyon yapılmasının çok büyük bir ek maliyet getirmediği söylenebilir. Bu maliyetin de, depremden sonra yapının hasar görmesi yada göçmesinin ardından doğacak zararların göz önünde tutulduğu farz edilirse, çok büyük olmadığı dikkati çekmektedir. Çok katlı yapılar için aynı durum söz konusu değildir. Çünkü İzolasyonlu yapı tasarımında ekonomiyi belirleyen parametre yapı boyutlarıdır. Ekonomik maliyet, maliyet/alan formülü ile ifade edildiği için yapıda kat sayısı arttığı zaman maliyet düşmüş olmaktadır.
5. Ülkemizde depremden sonra hemen kullanılması gereken yapıların, hastane binaları, itfaiye binaları, havaalanları, enerji ve haberleşme arterlerine geçiş ve olanak sağlayan yapıların, ikinci olarak ta insanların günlük olarak kalabalık

kitleler halinde mevcut bulundukları yapıların bu tip izolasyon sistemleriyle güçlendirilmesi ve bu fikrin yönetmeliklere yerleştirilmesinin deprem kuşağında bulunan ülkemizde yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanmasında büyük önem taşıyacağı öngörülmektedir.

6. Bu tezde anlatılan teknolojinin benimsenebilmesi için, eğitim kuruluşlarımızın da, lisans eğitimi müfredatında yer vererek yada özel amaçlı seminerlerle bu konunun üzerinde durarak yeni bir adım atılması, uygulama hususunda geç kaldığımız bu yeni teknolojinin ülkemizde yaygınlaşmasında faydasının olacağı düşünülmektedir.
7. Can kaybına neden olan deprem değil yapılardır. Sismik izolasyon yöntemleri kullanılarak yapıların göçebilirliği önlenmektedir.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2 Eylül 1997 tarih ve 23098 mükerrer sayılı resmi gazete
- American Structural Engineering Design Provisions: (1997), “Uniform Building Code”, USA
- ATC 17- Aplied Technology Council: (1986), “Proceeding of a Seminar and Workshop on Based Isolated and Energy Dissipation, National Science Foundation”, March 12-14 1986
- ATC 40 – Applied Tecnology Council: (1996), “Seismic Evalution and Retrofit of Concrete Buildings” Volume 1, Seismic Safety Comission, California, November 1996
- Ateş Ş., Dumanoglu A.: (1999), “Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi”, TDV, Teknik Rapor TR 026-42. İstanbul , Eylül 1999
- Baumann T., ve Böhler J.: (2001) “Seismic Design of Base-Isolated LNG-Storage-tanks” Structural Engineering International, pp.139-144, 2001
- Bayülke N.:(2002), “Yapıların Deprem Titreşiminden Yalıtımı”, TDV Kitap, Mayıs 2002, İstanbul
- Ceccoli, C.,C.Mazzotti ve M.Savoia: (1999), “Non-linear Seismic Analysis of Base Isolated RC frame Structures”, Eartquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.28, pp.633-653
- Celep Z., Kumbasar N.: (2000), “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı 2. Baskı”, İstanbul
- Chopra A.K.: (1995), Dynamics of Structures : “Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey
- Dynamic Isolation System Inc.:(1985), “Base Isolation of Building Architectural and Engineering Aspects”, Berkeley, California
- FEMA-Federal Emergency Manangment Agency: (1997), “Nerhp Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings”, FEMA 273-274, Vermont, October 1997

- Fujita, T.: (1997), "Demonstration of Effectiveness of seismic Isolation in the Hanshin-Awaji Earthquake and Progress of Applications of Base-Isolated Buildings", INCEDE Report-10, Tokyo, 1997
- Heyat N.:(2001), "Sismik Taban İzolasyonunda Sürtünmeli Sarkaç Modeli"i Bahar Semineri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001
- Kelly J.M., Bachas N., Duenas L. Ve Wu T.C.:(2001) "The Rehabilitation for Improved Seismic Resistance of Mitchell Hall", Massachusetts Institute of Technology High Performance Structures Design Project Report, İstanbul American Roberts High School, Turkey, 2001 (yayımlanmamış)
- Marioni A.:(2001), "Behaviour of Large Base Isolated Prestressed Concrete Bridges During the Recent Exceptional Earthquakes In Turkey", Report, (yayımlanmamış)
- Nagarajaiah, S. Ve K. Ferrell: (1999), "Stability of Elastomeric Seismic Isolation Bearings" Journal of Structural Engineering, Vol.125, No:9, September 1999
- Naim F., Kelly J.M.: (1999), "Design of Seismic Isolated Structures: From theory to Practice", John Wiley & Sons, Inc., New York
- Nakano Y.: (1997), "Recent Seismic Retrofit Techniques of Existing RC Buildings in Japan", INCEDE Report-10, Tokyo, 1997
- Pranesh M. Ve R. Sinha.: (2000), "VFPI: an Isolation Device For aseismic Design", Earthquake Engineering and structural Dynamics, Vol125, pp:603-627, 2000
- Praveen K.M.: (1997), "Dynamics of Seismic Impacts in Base Isolated Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.26, pp.797-813, 1997
- SAP 2000 Nonlinear Version 7.12, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Sap2000n Detailed Tutorial Including Pushover Analysis, CSI. Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA ,1997
- Shenton, III H.W. ve E.S.Holloway: (2000), "Effect of Stiffness Variability on the Response of The Isolated Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.29, pp.19-36
- Skinner R.I., W.H. Robinson ve G.H. Mc Verry,: (1993), " An Introduction to Seismic Isolation, John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England
- Songtao, X., J.Tobita, S.Kurita ve M.Izumi: (1997), "Mechanics and Dynamics of intelligent Passive Vibration Control System", Journal of Engineering Mechanics, vol.123, No:4, April 1997

Stewart, J.P. J.P.Conte ve I.D. Aiken : (1999), “Observed Behavior of Seismically Isolated Buildings”, Journal of Engineering Mechanics, vol.125, no:9, September 1999

Tezcan S., Cimilli S.: (2002), “Seismic Base Isolation”, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, Haziran 2002

Tezcan S., S.,A.Çivi ve G. Hüffmannn: (1980), “Spring Dashpot Vibration Isolators Against Earthquakes” Proceedings of the 7 th World Conference on Earthquake Engineering-7WCEE, İstanbul, Turkey, Septemper 8-13,1980, Vol.VIII, pp:53-60

Tezcan S., Uluca O.: (2001), “Reduction of Seismic Response by Viscoelastic Dampers”, TDV Kitap Kt 012-48, İstanbul, Ocak 2000

Tezcan S.: (1998), “Depreme Dayanıklı Tasarım İçin Bir Mimarın Seyir Defteri”, TDV Kitap KT 98-024, Eylül 1998

Tezcan S.S. ve A. Çivi : (1981), “Vibration Isolators as aTool Pre vent Earthquake Damage”, Proceedings of the 6th International Conference on Structural Mechanics İn Reactor Technology, 6 SMIRT, K452, Paris, Augst 17-23 1980, Vol.VIII, pp.53-60

Tezcan S.S. ve A. Erkal: (2002), “Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices” Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, Temmuz 2002

Tezcan S.S.: (2000), “ Base Isolations by The Elastomeric Pads”, A Talk Prepared for The CE550 Structural Design Course, Department of Civil Engineering , Boğaziçi Üniversity, İstanbul, December 2000

Uras R.A.: (1996), “Use of a Viscoelastic Model for the Seismic Response of Base Isolated Buildings”, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.118

Vakakis, A.F., A.N. Kounadis and I.G. Raftoyiannis: (1999), “Use of Nonlinear Localization for the Isolating Structures From the Earthquake –Induced Motions”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.28, pp.217-234

Whittaker A., M. Constantinou and Tsopelas: (1998), “Displacement Estimates for Performance-Based Seismic Design”, Journal of Structural Engineeting, Vol.124, No.87, August 1998.

Wilson E.L.:(1997), “Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures With emphasis on earthquake Engineering, CSI. Computers and Structures Inc., Berkeley, California, USA.

Yamazaki, F. Ve M.A.Ansary: (1997), "Horizontal to Vertical Spectrum Ratio of Earthquake Ground Motion For Site Characterization", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.26, pp.671-689

Ziyaeifar M. Ve H. Noguchi: (1998), "Partial Mass Isolation in Tall Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.27, pp.49-65

Ek 1. YAPILARIN SAP 2000 İLE SİSMİK MODELLENMESİ

Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yapıların üç boyutlu statik ve dinamik tasarım ve analizlerini yapabilen SAP2000 bilgisayar programı, nonlinear versiyonunda, nonlinear elemanları Damper, Gap, Hook, Plastik1, Isolator1 ve Isolator2 olarak tanımlama olanağı sağlamıştır. Bu tanımlamalar taban izolasyonu tasarımında büyük kolaylık sağlar. SAP2000 programında sismik izolasyon opsiyonları 'Nlink Element' ve 'Nlprop Properties' olarak adlandırılır ve yapı modelinin lineer olan ve olmayan özellikleri kullanılır. İlk etapta elemanın modellenmesinde aşağıdaki özellikler kullanılmaktadır:

- Viskoelastik sönüm
- Sıkışma ve gerilme
- Tek eksenli plastisite
- Sismik izolatörün iki eksenli plastisitesi

İkinci olarak elemanın bilinen özellikleri alınmaktadır. Nlink eleman için altı serbestlik derecesi tanımlanabilir. Bunlar eksenel, kesme, burulma ve eğilme deformasyonlarıdır. Yani eleman birbirinden ayrılmış altı yayın birleşmesi olarak tanımlanabilir. Her bir yay da tüm lineer analizlerde kullanılan lineer efektif rijitlik ve efektif sönüm, nonlinear zaman tanım alanı analizlerinde kullanılan lineer olmayan kuvvet – deformasyon ilişkisi belirlenerek tanımlanabilir. Nlink eleman lineer olmayan zaman tanım alanı analizi dışında diğer tüm analizlerde lineer davranışı düşünülerek çözülür. Efektif sönüm özelliği sadece zaman tanım alanı lineer analizinde ve davranış spektrumu çözümlemesinde kullanılır. Yayların lineer olmayan kuvvet yer değiştirme ilişkisi, modellemenin davranışına bağlı olarak ayrık yada bileşiktir. Nonlinear davranış tipleri programda, viskoelastik sönüm, sadece basınçta Gap eleman, sadece çekmede Hook eleman, tek eksenli plastisite, iki eksenli plastisiteli taban izolatörü, sürtünmeli pandül taban izolatörü olarak gruplandırılabilir.

Nlink elemanlar için tanımlanmış olan bu altı serbestlik dereceleri 'Nlprop' olarak adlandırılır. Her bir Nlprop kütleler, ağırlıklar içerir ve bir ya da daha çok Nlink elemandan altı adet lineer ve lineer olmayan kuvvet-deformasyon ilişkisi kurulmalıdır. Her bir eleman için lokal koordinat sisteminde kuvvet yerdeğiştirme ilişkisinin belirtilmesi gerekmektedir.

1. Nlprop Özellikleri

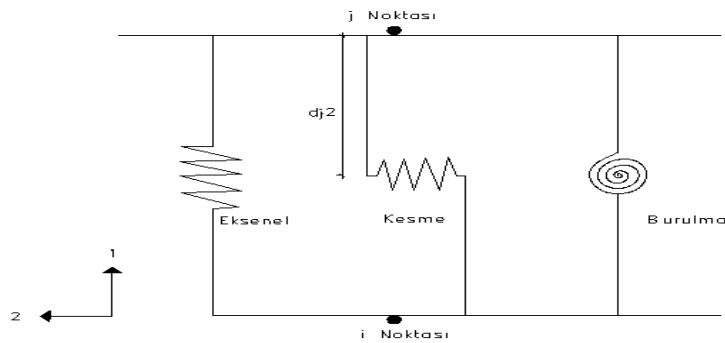
Nlprop özelliklerin yapıda oluşturulması, bir yada daha çok Nllink elemanların davranışlarının tanımlanabilmesiyle yapılabilmektedir. Nlprop elemanların tanımlanabilmesi için Nllink elemanlara başvurulur.

Her bir Nlprop'un özellikle altı iç deformasyonu için, lineer olmayan kuvvet-deformasyon ilişkisi tahmin edilmelidir. Bu lineer olmayan özellikler sadece lineer olmayan zaman tanım analizi süresince kullanılmalıdır. Efektif rijitlik ve efektif sönüm özellikleri her zaman açıkça belirtilmelidir. Bu özellikler statik analiz, modal analiz, spektrum analizi, harmonik analiz, P-Delta analizi, lineer periyodik zaman tanım alanı analizi olmak üzere tüm lineer analizde kullanılır

Efektif rijitlik her zaman lineer olmayan zaman tanım alanı analizi boyunca tüm serbestlik dereceleri için kullanılır ve etkin sönüm asla lineer olmayan zaman analizinde kullanılmaz.

1.1. Lineer Olmayan İç Yaylar

Her bir Nlprop 'un altı adet iç yaydan oluştuğu, her biri için altı iç deformasyonun oluştuğu kabul edilmektedir. Her bir yay aslında fiilen birçok bileşenden oluşmalıdır, yaylar ve sönümleyiciler bunun içine dâhil edilir. Bu yayların kuvvet-deformasyon ilişkisi birbirine dayanmalı ya da bağlı olmalıdır. Şekil 4.1 de yayların üç deformasyon bileşeni görülmektedir.



Şekil 1.1. Nllink elemanda 6 bağımsız yayın üç bileşeni

1.2. Yay-Kuvvet-Deformasyon İlişkisi

Eleman davranışında altı adet kuvvet-deformasyon ilişkisi meydana gelir, iç yaylarda bunlar:

- Eksenel : f_{u1}, d_{u1}
- Kesme : $f_{u2}, d_{u2}, f_{u3}, d_{u3}$
- Burulma : f_{r1}, d_{r1}
- Eğilme : $f_{r2}, d_{r2}, f_{r3}, d_{r3}$

Burada f_{u1}, f_{u2} ve f_{u3} iç yaylardaki kuvvetler ve f_{r1}, f_{r2} ve f_{r3} iç yaylardaki momentlerdir.

1.3. Lineer Kuvvet-Deformasyon İlişkisi

Eğer her bir iç yayın lineer davranış gösterdiği farz edilirse, yayların kuvvet-deformasyon ilişkisi aşağıdaki matris formunda ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} f_{u1} \\ f_{u2} \\ f_{u3} \\ f_{r1} \\ f_{r2} \\ f_{r3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{u1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{u2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{u3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{r3} \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Burada $k_{u1}, k_{u2}, k_{u3}, k_{r1}, k_{r2}, k_{r3}$ iç yayların lineer rijitlik katsayılarıdır.

Benzer bağıntılarda, lineer sönüm davranışı için, rijitlik dönemleri haricinde sönüm katsayıları ve deplasmanları hızlarıyla yer değiştirir.

1.4. Efektif Rijitlik

Her bir yayın tüm serbestlik derecelerine ait lineer efektif rijitlik katsayısı (k_e), Nlink elemanın toplam elastik rijitliğini ifade eder ve tüm lineer analizlerde kullanılır. Lineer analizlerde plastik rijitliğin belirtilmesine gerek yoktur. Ayrıca efektif rijitlik nonlinear zaman tanım analizlerinde de lineer serbestlik derecelerimim tamamı için titreşim modlarının elde edilmesinde kullanılır. Nonlinear zaman tanım analizlerinde tüm serbestlik dereceleri için

nonlinear kuvvet - yerdeşiştirme ilişkisi kullanıldığı için Nlink elemanın nonlinear özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Nonlinear zellikleri belirtilmemiş serbestlik derecelerinde lineer efektif rijitlik kullanılır.

Lineer efektif rijitlik k_e ve lineer olmayan rijitlik k seçilirken bazı temel yönetmeliklere başvurulur ve analiz yapılırken bu değerle bazı yönetmeliklerden alınır:

- Gap ve Hook elemanın efektif rijitliği, genellikle sıfır olarak kullanılır ya da elemanın benzer şekilde normal yükler altında açık veya kapalı olmasına dayanır.
- Sönüm elemanı için, efektif rijitlik sıfır alınmak zorundadır.
- Diğer elemanlar için, rijitlik sıfır ve k arasında alınmalıdır.
- Eğer k için büyük yapay değerler seçilirse, k_e için çok çok küçük değerler seçilmek zorundadır ve matematiksel problemin lineer olmayan zaman analizinden bu değerlere ulaşılır.

1.5. Lineer Efektif Sönüm

Her bir Nlprop için altı lineer efektif sönüm katsayısı, ce , seçilmelidir. Her bir ce katsayısı sıfır kullanılarak ihmal edilebilir. Nlink eleman için, efektif lineer sönüm, toplam lineer viskoz sönüm olarak ifade edilebilir ve bunlar Spektrum analizinde ve periyodik zaman-tanım analizinde kullanılırlar. Efektif lineer olmayan özellikler her tip analizde ihmal edilirler. Efektif sönüm, plastik ya da sürtünmeden dolayı tanımlanan enerji dağılımında kullanılır. Efektif kuvvet–deformasyon oranı ilişkisi Nlprop elemanlar için, denklem (1.1)’den alınır. Burada uygun ce katsayılarının yerine, k_{u1} , k_{u2} , k_{u3} , k_{r1} , k_{r2} , k_{r3} ve deformasyon yerine deformasyon oranları göz önünde bulundurulur.

Efektif sönüm değerleri için, sönüm yerine sönüm oranları, sönüm değerlerinin sönüm modlarıyla değiştirilmesi farz edilir. Bu etkin modal sönüm değerleri direk olarak diğer sönüm modlarına eklenir. Çapraz bağlı sönüm elde edilebilir, burada çapraz bağlı sönüm dönemi yapı için çok önemlidir. Lineer analizde etkin sönüm özellikleri, yapıda tanımlanan sönüm değerinin çok çok üzerindedir. Lineer olmayan zaman analizinde enerji dağıtımında kullanılan gereçlerin eklenmesinde sonra etkiye karar verilir. Lineer olmayan zaman analizinde efektif sönüm değerleri enerji dağıtım elemanlarından sonra hesaplandığı için etkin sönüm değerleri kullanılmaz ve bunun sebebi de çapraz bağlı sönümün etkisidir.

1.6. Lineer Olmayan zellikler

Her bir Nlprop eleman için lineer olmayan özellikler altı tiptir; sönüm özellikleri, Gap özellikleri, Hook özellikleri, plastik özellikleri, izolatör1 özellikleri ve izolatör2 özellikleridir. İzolatör 1 özellikleri opsiyonu ile bu çalışmada sismik izolatörler modellenmiştir.

1.6.1. İzolatör1 özellikleri

Burada iki eksenli histeretik izolatör, mevcut dört deformasyon için iki kesme deformasyonu ve lineer etkin rijitlik özellikleri ve plastik özelliklerine bağlıdır. Her bir serbestlik derecesinin kesme deformasyonu diğer lineer ve lineer olmayan özelliklere bağlı olmamalıdır;

- Eğer kesme ve serbestlik derecelerinin her ikisi de lineer değilse, kuvvet-deformasyon ilişkisi aşağıdaki bağıntıdan alınır:

$$F_{u2} = oran_2 k_2 d_{u2} + (1 - oran_2) akma_2 z_2 \quad (1.2)$$

$$F_{u3} = oran_3 k_3 d_{u3} + (1 - oran_3) akma_3 z_3 \quad (1.3)$$

Burada k2 ve k3 elastik yay sabitleridir, akma2 ve akma3 akma kuvveti, dönme2 ve dönme3, elastik rijitlikten elde edilmiş akma rijitlikleri oranı (k2 ve k3), z₂ ve z₃ ise histeretik iç değerlerdir. Bu değerler $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} \leq 1$ iken, alan yüzeyi $\sqrt{z_2^2 + z_3^2} = 1$ ifadesi ile tanımlanmaktadır. z₂ ve z₃'ün başlangıç değerleri sıfır ve diferansiyel eşitliğe göre;

$$\begin{Bmatrix} z_2 \\ z_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{k_2 d_{u2}}{akma_2} \\ \frac{k_3 d_{u3}}{akma_3} \end{Bmatrix} \quad (1.4)$$

Burada;

$$a_2 = \begin{cases} 1 & d_{u2} z_2 > 0 \Rightarrow \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.5)$$

$$a_3 = \begin{cases} 1 & d_{u3}z_3 > 0 \Rightarrow \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

(1.6)

- Eğer sadece kesme yada serbestlik derecelerinden biri lineer değilse, plastik1 in kökü 2 olan serbestlik derecesinin, eksenel olmayan plastik davranışından yukarıdaki bağıntı kurulur.

Ek 2. Sismik İzolasyon Maliyet Analizi

Bu bölümde, sismik izolasyon kullanılması durumunda yapı üretim maliyetinin ne olacağını gösteren üç adet proje çalışması incelenecektir. Bu örnekler ABD’de sismik izolasyon uygulamaları için hazırlanan fizibilite çalışmalarıdır.

VA Hastanesi, Loma Linda

California Loma Linda’da bulunan hastane için fizibilite araştırması “D’Appolonia and Associates” ile “National Science Foundation” işbirliği ile hazırlanmıştır.

Muhtemel Eksilecek Maliyetler	Miktar(\$)
Diyaframlar	131.000
Kesme Perdeleri	1.312.660
Bodrum Perdeleri	207.000
Temel	1.505.000
Yapısal Çelik	243.000
Tüneller ve Temel Duvarları	437.000
Kazılan Yerlerin Doldurulması	9.500
Zeminde Rijit Diyafram	907.500
Temel Odaları ve Tünel Kazısı	151.000
TOPLAM	4.905.260 \$

Muhtemel Eklenecek Maliyetler	Miktar(\$)
Kazı	242.500
Deplasman Duvarları	350.000
Oda Duvarları	81.250
Çamurluklar	172.000
Elastomer İzolatörler(315adet*3000 \$)	945.000
İzolatör Blokları	240.000
Birinci Kat Kirişleri	750.000
Birinci Kat Döşemeleri	1.044.000
Çevre Birleşimleri	103.000
TOPLAM	3.927.750 \$

Yapının toplam proje maliyeti belirtilmemiştir. Ancak yaklaşık olarak metrekare birim fiyatları ile düşünülürse 20 \$/m² kabulü ile toplam maliyetin yaklaşık 80 milyon \$ olacağı tahmin edilmektedir. Sismik izolasyon uygulanması durumunda ise 4.905.260-3.927.750 = 977.510 \$ yani yaklaşık olarak proje bedelinin %1.2'si kadar ekonomi sağlandığı görülmektedir.

Medical Building, Salt Lake City

Salt Lake'de bulunan sağlık merkezinin fizibilite araştırması Reid ve Tarics Mühendislik şirketi tarafından yapılmıştır. Toplam proje maliyeti yaklaşık 20 milyon \$'dır.

Muhtemel Eksilecek Maliyetler	Miktar(\$)
Kesme Perdeleri	170.700
Yapısal Çelik	129.700
Donatı Çeliği	237.000
Bağlantılar	99.000
Döşemeler	65.200
Servis ve Ekipman İndirimleri	15.000
TOPLAM	716.600 \$

Muhtemel Eklenecek Maliyetler	Miktar(\$)
Döşeme ve Kiriş Sistemleri	145.000
İzolatörler	80.000
Deplasman Duvarları	37.500
Temeller	44.900
Esnek Servis Bağlantıları	8.000
TOPLAM	315.400 \$

Sismik izolasyon uygulaması ile elde edilen kazanç 716.600-315.400 = 401.200 \$ yani proje bedelinin % 2'si kadardır.

Masonic Hall- San Francisco