

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TABAN İZOLASYONU SİSTEMLERİ'NİN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Soner Uludağ**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Yapı(Deprem)**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadir Güler

MAYIS 2005

**TABAN İZOLASYONU SİSTEMLERİ’NİN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Soner ULUDAĞ
501001218**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Nisan 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Kadir GÜLER
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması sebebiyle sürekli depremle karşı karşıyayız. Özellikle çok yakın zamanda Marmara Bölgesi gibi ülkemizin ekonomik anlamda lokomotif bölgesinde meydana gelen depremler göstermiştir ki deprem can kaybının yanı sıra maddi anlamda da çok büyük kayıplara sebep olmaktadır. Marmara bölgesi ve özellikle milyonların yaşadığı İstanbul ‘da beklenen şiddetli deprem düşünülünce şimdiden bazı önlemler almamız gerektiği muhakkaktır.

Depreme karşı önlem almanın bir çok yolu vardır. Bu tezde incelediğimiz sismik taban izolasyonu yöntemi ise, bina ile temel arasına yanıl rijitliği düşük elemanlar koyarak deprem anında binaların rijit bir şekilde yanıl ötelenmesini sağladığı için, can kaybını önlemenin yanı sıra böylesi afet anlarında işlevini yitirmemesi gereken binaların depremi hasarsız yada çok az hasarla atlatmasına olanak sağlar.

Bu tezde taban izolasyonlu ve taban izolasyonsuz sistemleri karşılaştırarak, taban izolasyonun binaya ankastre temelli durumundaki doğal periyodundan ve özellikle deprem hareketinin hakim periyodundan daha büyük bir doğal periyot kazandırdığını gösterdik. Ayrıca izolatörlerin maliyetli olması sebebiyle hem maliyet hem de depreme dayanım açısından en uygun sonuca ulaşmak için aynı bina modelini taban izolasyonlu ve perde duvar kullanarak çözdük.

Bu tezi yazarken amacım, izolatörler hakkında bilgi edinmek ve etrafımdaki diğer mühendisleri bu konuda bilgilendirebilmektir. Taban izolasyonunun ülkemizde de yaygınlaşması ve şimdiden, afet anlarında ayakta kalmasını istediğimiz yapılara uygulanması en büyük dileğimdir.

Bu çalışmada bana yardımlarından dolayı Prof. Dr. Kadir Güler ‘e en derin teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Saygı ile Sunulur.

06.05.2005

İnş. Müh. Soner Uludağ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii-ix
SEMBOL	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. LİTERATÜRE GENEL BAKIŞ	1
1.1.Giriş	1
1.2.Çalışmanın Amacı	6
2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA İLERİ TEKNİKLER	7
2.1. Giriş	7
2.2. Taban İzolasyon Sistemleri	13
2.2.1. Tabakalı kauçuk mesnet (TKM) sistemi	13
2.2.2. Yeni zelandalı mesnet (YZM) sistemi	14
2.2.3. Sürtünmeli (S) sistem	15
2.2.4. Elastik-sürtünmeli taban izolasyon (ESTİ) sistemi	16
2.2.5. Fransız elektrik (FE) sistemi	18
2.2.6. Kaygan elastik sürtünmeli (KES) sistem	19
2.2.7. Sürtünmeli sarkaç sistem (SSS)	20
2.2.8. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet (YSKM) sistemi	21
3. SİSMİK İZOLASYONUN TEORİK ESASLARI	22
3.1 Lineer Teori	22
3.2 Teorinin Bina Tipi Yapılara Uygulanması	30
3.2.1 Çok serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri	30
3.2.2 Çok serbestlik dereceli sistemlerin modal analizleri	31
3.3 Hareket Denklemlerinde Sönüm Etkilerinin Dikkate Alınması	34
4. İZOLATÖRLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ	44
4.1 Giriş	44
4.2 Elastomer Mesnetlerin Mekanik Özellikleri	44
4.3 Kurşun-Kauçuk Mesnet Mekanik Özellikleri	49
5. TABAN İZOLASYONU	52
5.1 Tanım	52
5.2 Taban İzolasyonunun Temel Faydaları	53
6. SAYISAL ÖRNEKLERLE	55
6.1 Basit Bir Çerçeve Sistem Üzerinde Karşılaştırılmalı Analiz	55
6.1.1 Sonuçların karşılaştırılması	59
6.2 Deneysel Bir Çalışmadan Alınan Basit Çerçeve Sistem Bir Yapının Sap2000n Programı ile Analizi ve Karşılaştırılması	64
6.2.1 Analiz	69
6.3 Altı Katlı ve Tabanda Ankastre ve Temel İzolasyonlu Yapıların Analizi	74

6.3.1	Giriş	74
6.3.2	Durum1: çerçeve + perde duvarlı yapı	75
6.3.2.1	Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı	78
6.3.2.2	Mod birleştirme hesap yöntemi ile analiz	80
6.3.2.3	Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analiz	81
6.3.3	Durum2: Çerçeve yapılar	81
6.3.3.1	Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analiz	83
6.3.4	Sap2000n analiz sonuçları	84
6.3.5	Sonuçların değerlendirilmesi	87
7.	SONUÇ	88
	KAYNAKLAR	90-91
	EKLER	92-99
	ÖZGEÇMİŞ	100

KISALTMALAR

ESTİ	: Elastik sürtünmeli taban izolasyonu sistemi
FE	: Fransız elektrik sistemi
KES	: Kaygan elastik sürtünmeli sistem
LSF	: Düşük Şekil Faktörü
SS	: Sürtünmeli sistem
SSS	: Sürtünmeli sarkaç sistem
TKMS	: Tabakalı kauçuk mesnet sistemi
YSKMS	: Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sistemi
YZMS	: Yeni Zelanda mesnet sistemi
MRPRA	: Malezyalı kauçuk üreticileri araştırma birliği
SAP2000	: Yapısal Analiz Programı (Structural Analysis Program)
SEAOC	: Kaliforniya Yapı Mühendisliği Birliğinin

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.1 İzolatör Özellikleri.....	56
Tablo 6.2 Üç Çerçevenin Periyot Değerleri.....	59
Tablo 6.3 Taban Reaksiyonları	60
Tablo 6.4 Yer Değiştirmeler	60
Tablo 6.5 Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması.....	65
Tablo 6.6 Taban Reaksiyonlarının Karşılaştırılması.....	67
Tablo 6.7 Sonuçların Karşılaştırılması.....	70
Tablo 6.8 İzolatör Özellikleri.....	71
Tablo 6.9 Fiktif Yüklerin Hesabı.....	78
Tablo 6.10 Çerçeve sistem + Perde Yapının Eşdeğer Kat Deprem Yükleri ve devrilme momenti.....	79
Tablo 6.11 Deprem Yüklemeleri.....	79
Tablo 6.12 Dış Merkezlik Etkisi Hesabı.....	79
Tablo 6.13 İzolatör Özelliği.....	83
Tablo 6.14 Periyotların Kıyaslanması.....	84
Tablo 6.15 Taban Reaksiyonları.....	85
Tablo 6.16 Yer Değiştirmelerin Kıyaslanması.....	86

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 :İvme -Doğal Periyot.....	3
Şekil 2.1 :Taban izolasyonlu ve Ankastre Temelli bina.....	9
Şekil 2.2 :Kurşun – Kauçuk İzolatör.....	9
Şekil 2.3 :Taban-İzolasyonlu, Ankastre- Temelli Bina.....	10
Şekil 2.4 :Bir destekle yerleştirilmiş sönümleme mesnedi.....	12
Şekil 2.5 :Tabakalı kauçuk mesnet sisteminin, a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	14
Şekil 2.6 :Yeni Zelanda mesnet sisteminin a) kesiti ve elemanları, b) şematik diyagramı, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	15
Şekil 2.7 :Sürtünmeli sistemin; a) şematik modeli, b) kuvvet- yer değiştirme davranışı.....	16
Şekil 2.8 :Elastik sürtünmeli taban izolasyon sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet- yer değiştirme davranışı.....	17
Şekil 2.9 :Fransız elektrik sisteminin; a) şematik modeli, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	18
Şekil 2.10 :Kaygan elastik sürtünmeli sisteminin; a) şematik modeli, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	19
Şekil 2.11 :Mafsallı kayıcı Sürtünmeli sarkaç sisteminin kesiti ve görünüşü.....	20
Şekil 2.12 :Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.....	21
Şekil 3.1 :Temel İzolasyonlu binanın şematik çizimi.....	23
Şekil 3.2 :Taban İzolasyonlu sistemin iki serbestlik dereceli ideal modeli.....	23
Şekil 3.3 :Kat İvmelerinde sönümün etkisi.....	43
Şekil 4.1 :Basınç Modülü Ec’ nin Geometriye Bağlı Azalım Grafiği.....	46
Şekil 4.2 :Salt Eğilme Etkisinde, Tutucu tabakalar arasında kauçuk tampon.....	47
Şekil 4.3 :Kuvvet Yerdeğiştirme grafiğinin pParametreleri.....	50
Şekil 6.1 :3 Katlı Çerçeve Sistemin Üç Asyri Mesnetlenme Durumu.....	55
Şekil 6.2 :W24x55 in Kesiti.....	55
Şekil 6.3 :W14x90 ın Kesiti.....	56

Sayfa No

Şekil 6.4	:Periyot ve Spektrum ivmesi.....	57
Şekil 6.5	:Ankastre çerçevenin Sap2000 de Modellenmiş Hali.....	57
Şekil 6.6	:Viskoz sönümlleme mesnetli çerçevenin Sap2000 de Modellenmiş Hali.....	58
Şekil 6.7	:Taban İzolasyonlu Sistemin Sap2000 de Modellenmiş Hali.....	58
Şekil 6.8	:Ankastre Çerçevenin deforme olmuş hali.....	61
Şekil 6.9	:Viskoz sönümlleme mesnetli Çerçevenin deforme olmuş hali.....	61
Şekil 6.10	:Taban izolasyonlu Çerçevenin deforme olmuş hali.....	62
Şekil 6.11	:Çerçevenin çizimi.....	68
Şekil 6.12	:Test Yapısının Görünümü.....	68
Şekil 6.13	:Ankastre çerçevenin deforme olmuş hali.....	72
Şekil 6.14	:Taban izolasyonlu çerçevenin deforme olmuş hali.....	72
Şekil 6.15	:Ankastre çerçevenin 1.mod şekli.....	73
Şekil 6.16	:Taban izolasyonlu çerçevenin 1.mod şekli.....	73
Şekil 6.17	:Tabanda Ankastre ve Perde Duvarlı Yapı Kalıp Planı.....	76
Şekil 6.18	:Taban izolasyonlu yapının kesidi.....	77
Şekil 6.19	:İvme Spektrumu.....	80
Şekil 6.20	:Taban İzolasyonlu Çerçeve Sistem yapı Kalıp Planı.....	82
Şekil A.1	:Yan Cephe.....	91
Şekil A.2	:Ön Cephe.....	92
Şekil A.3	:Mimari Plan.....	93
Şekil A.4	:Taban İzolasyonlu Yapının Kesidi.....	94
Şekil B.1	:Erzincan Depremi Güney Bileşeni İvme-Zaman Grafiği.....	95
Şekil B.2	:İzolatörlü Yapıda Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği.....	95
Şekil B.3	:İzolatörlü Yapıda Dönme Momenti-Zaman Grafiği.....	96
Şekil B.4	:Taban İzolasyonlu Çerçeve Sistemin Yer Değiştirmesi.....	96
Şekil B.5	:Tabanda Ankastre Çerçeve + Perde Sistem 3D Modeli.....	97
Şekil B.6	:Tabanda Ankastre Çerçeve Sistem 3D Modeli.....	98
Şekil B.7	:Taban İzolasyonlu Perdeli Çerçeve Sistem 3D Modeli.....	99

SEMBOL LİSTESİ

F	: Kuvvet
μ	: Sürtünme Katsayısı
S(T)	: Spektrum İvme Katsayısı
T	: Periyot
t₂	: Üst Flanş Genişliği
t_{2b}	: Alt Flanş Genişliği
t₃	: Dış Yükseklik
t_f	: Üst Flanş Et Kalınlığı
t_{fb}	: Alt Flanş Et Kalınlığı
t_w	:Gövde Kalınlığı
U_b	: Yer Değiştirme
ω_b	: Doğal Frekans
ξ_b	: Sönüm Sabiti

Taban İzolasyonu Sistemleri'nin Karşılaştırmalı Analizi

ÖZET

Bu tezin esas amacı taban izolasyonlu ve taban izolasyonsuz sistemlerin karşılaştırılmasıdır. Bu tezde binaların periyodunu büyülterek deprem etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan sismik taban izolatörlerinin avantajları ve dezavantajı incelendi. Sismik taban izolasyonunun temel ilkesi, bina ile temel arasına yanıl rijitliğı düşük elemanlar koyarak, binayı depremin yıkıcı etkilerinden uzaklaştırmak ve binaya ankastre temelli durumundaki doğal periyodundan ve özellikle deprem hareketinin hakim periyodundan daha büyük bir doğal periyot kazandırmaktır.

Kısaca genel pasif depreme dayanıklı yapı tasarımı tekniklerini tartıştıktan sonra taban izolasyonu tarif edilmiştir. Analitik İfadeler anlatılmıştır.

Taban İzolasyonunun etkisini ve taban izolasyonlu binaların performansını değerlendirebilmek için;

İki pasif depreme dayanım sistemini karşılaştırmak ve Sap 2000 yapısal analiz programını kullanarak tanıtmak için üç katlı üç çerçeve sistemi modellenmiştir (Sırasıyla Ankastre, Viskoz sönümleme mesnetli, ve Taban izolasyonlu).

İzolatör ile yukarıda bahsettiğimiz (Periyotlar, Yer değıştirme, Taban kesme kuvveti) parametreler arası ilişkiyi ve izolatörlerin tipik kullanımını ortaya koymak için, bir araştırmada yer alan bir deneysel çalışmada kullanılan model de analiz edilmiştir.

Son olarak taban izolasyonunun etkilerini ve taban izolasyonlu binaların etkilerini değerlendirebilmek için 6 katlı betonarme bir yapıya izolatör yerleştirilmiştir. Bu 6 katlı bina ofis binasıdır ve perde duvarın yapısal tepkiye karşı etkilerinin değerlendirilebilmesi için 2 şekilde analiz edilmiştir, perde duvarlı ve perde duvarsız.

Yapılar Yapısal Analiz Programı SAP2000 (Structural Analysis Program) kullanılarak modellenmiştir. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için çerçeveler için girilen değerler aynı tutulmuş ve deformasyon, binaların periyotları, kuvvet değerleri gibi sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu üç değer literatürde en çok kullanılan karşılaştırma kriterleri olduğu için seçilmiştir.

The Comparative Analysis of Base Isolated Systems

SUMMARY

The main objective of this thesis is a comparative study of base isolated systems. In this study the advantages and disadvantages of the seismic base isolators to be used as period lengthening and seismic demand reducing devices in buildings were discussed. The seismic base isolation concept is to install structural elements with low lateral stiffness between the structure and the foundation, in order to uncouple the building from the damaging action of an earthquake and to give the structure a fundamental period that is much larger than both its fixed-base period and the predominant period of the ground motion.

After a brief discussion on the use of common passive earthquake resistant design techniques; base isolation was described. Analytical formulas were given.

In order to evaluate the effectiveness of base isolation and the performance of base isolated buildings;

Three story three frames are modeled (Bare, Damped and isolated respectively) for the aim of comparing two passive earthquake resistant systems and familiarizing with the use of SAP 2000 Structural Analysis Program.

In order to find a relation between isolators used and parameters like periods, displacements, base forces and in order to find the typical usage of an isolator, a model obtained from an experimental study from a research paper is also analyzed.

Finally, an isolator type is introduced to a 6 story reinforced concrete structure. This six-story structure is an office building and is analyzed in two cases, with and without shear walls, for the aim of evaluating the effects of shear wall to structural responses.

The structures are modeled using Structural Analysis Program SAP 2000. For the sake of comparability of the results, the input data for the frames are kept same and output values such as deformation, periods of the buildings, force values are compared, since these three values are the most common comparison values used in the literature.

1 LİTARATÜRE GENEL BAKIŞ

1-1 Giriş

Çeşitli tahminlere göre, her yıl birkaç milyon deprem meydana gelir. Bunların birçoğu küçük büyüklüklerinden dolayı insanlar tarafından hissedilemezlerken bir kısmı da önemli kayıplara sebep olabilir. Türkiye sismik olarak büyük depremlerin meydana geldiği aktif bir bölgededir. Dünya deprem haritasına göre Türkiye'nin 98% 'i sismik olarak aktif bölgenin içinde yer almaktadır. Nüfusun 95% 'i deprem riski altındadır ve endüstri merkezlerinin 98%'i ile barajların 93%'ü sismik bölgede yer almaktadır[1].

Son 58 yılda Türkiye'de depremler nedeniyle 58,202 kişi ölmüştür. 122,000 kişi yaralanmış ve 412,000 bina ya yıkılmış ya da ciddi hasar görmüştür. Bu durum, yılda ortalama 1,000 kişinin yaşamını kaybetmesi demektir.

Bu büyük depremlerin biri 17 ağustos 1999 da gerçekleşti ve 50.000 kişinin yaralanmasına 17.000 kişinin ölümüne sebep oldu. Marmara depreminin zararı 3 ila 6.5 milyar Amerikan doları olarak tahmin edilmektedir[2].

Depremlerin bu yıkıcı sonuçlarından dolayı son yıllarda depreme dayanıklı yapı tasarım teknikleri önem kazanmış ve klasik depreme dayanıklı yapı tasarımının yerine daha gelişmiş depreme dayanıklı yapı tasarım teknikleri uygulanmaya başlanmıştır.

Alışıla gelmiş ile gelişmiş tasarım arasındaki esas farkı kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Alışıla gelmiş depreme dayanıklı yapı tasarımında yaklaşım daha çok binanın, belirli bir dayanıma, güce, rijit ve elastik olmayan deformasyon kapasitesine sahip olması ve uygun yapısal konfigürasyonun seçilip yapısal elemanların dikkatli detaylandırılması iken, gelişmiş depreme dayanıklı yapı tasarım tekniğinde esas amaç yapıyı güçlendirmek değil, deprem sonucu yapıya etkiyen kuvveti düşürmektir. Bu amaçla aktif ve pasif kontrol sistemleri geliştirilmiştir.

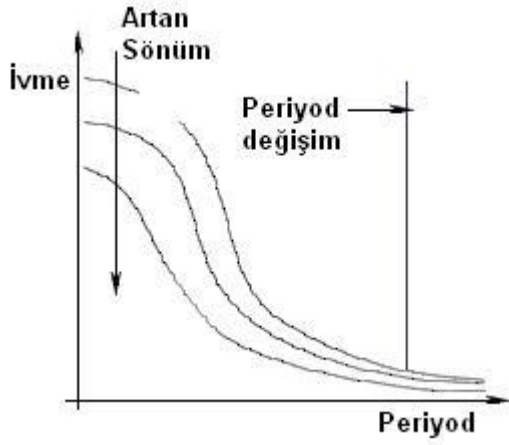
Bu pasif depreme dayanıklı yapı tasarım tekniklerinden biri sismik izolasyondur. Bunun sebebi sismik izolasyonun deprem yer hareketinin temelden bina üst yapısına iletilmesini engelleyerek yanal tepkinin büyüklüğünü düşürmede etkin olmasıdır.

Bu yapı ile temel arasındaki tüm bağlantılara izolasyon mesnetleri konması ile başarılı ve bu aynı zamanda, oluşan kuvveti önemli oranda düşürmesiyle yapısal ve yapısal olmayan hasarlarda önemli azalmalara sebep olur. Bu potansiyel kazançlar yeryüzüne rijit bir şekilde oturan yüksek olmayan ve orta yükseklikteki yapılarda, nükleer elektrik santrallerinde, köprülerde ve çok çeşitli ekipmanlar için çok önemlidir[3].

Depreme dayanıklı pasif yapı tasarımı tekniği olarak sismik izolasyonun benimsenmesi, kauçuk mesnetlerin kullanımı ile başladı. Depremden korunmak için kauçuk mesnetlerin kullanılması fikri 1970 lerin ortasında Malezyalı kauçuk üreticileri araştırma birliği (MRPRA) tarafından İngiltere’de öne sürüldü. MRPRA doğal kauçuk köprü mesnetlerini ve binalar için titreşim izolasyon mesnetlerini geliştirdi.

Son yıllarda temel izolasyonu, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya , Yeni Zelanda, Çin ve İtalya gibi aktif deprem bölgelerinde yer alan ülkelerde bina ve köprüler için giderek daha çok uygulanan yapısal tasarım tekniği oldu. Bu teknik, hem yeni yapılmakta olan hem de depreme karşı güçlendirilen mevcut binalarda, köprülerde hatta endüstriyel fabrikalarda sık sık uygulanılır. Birçok değişik yapı da bina temel izolasyonu kullanılmıştır ve yine birçok yapıya yapılmakta yada tasarım aşamasındadır.

İzolatörün esas amacı için, depreme maruz kalan binada veya yapıda deprem yer hareketinin yatay bileşenlerinin etkisinin en aza indirilmesidir denilebilir. Bu, yapı ile temel arasına düşeyde yüksek rijitliği, yatayda ise düşük rijitliği olan bir katman yerleştirilerek başarılıdır. Bu katman, yapının periyodunun temel izolasyonsuz yapının periyodundan ve yine yer hareketinin hakim periyodundan çok daha yüksek olmasını sağlar. İzolasyon sistemi sebebiyle oluşan periyottaki değişim Şekil 1.1 de verilmiştir.



Şekil 1.1 İvme -Doğal Periyot

(<http://mceer.buffalo.edu/infoservice/faqs/structeng/isolation/default-asp>) adresinden alınmıştır.

Bunun yanında taban izolasyonlu yapının ilk dinamik modu sadece izolasyon sisteminde deformasyonu içermiştir. İzolatörler üzerindeki yapı (üst yapı) her türlü şekilde rijit davranmıştır. Yapıda deformasyon üreten yüksek modlar, ilk moda dikgendirler ve tabi ki aynı zamanda yer hareketine de.

Bu yüksek modlar harekette yer almazlar. Böylelikle yer hareketinde yüksek enerji varsa bu enerji yapıya iletilmez. Sismik izolasyonun avantajlarından bir diğer önemli nokta ise, izolasyon sisteminin deprem enerjisini soğurmaktan çok sistemin dinamiği ile sönümlemesidir.

İzolasyon mesnetleri, düşey yüklere dayanabilmesine yetecek şekilde düşeyde rijit ve büyük yatay yer değiştirmelere izin verecek ölçüde esnek yapırlar. Bu rijitlik özellikleri yanında, taban izolatörleri, aynı zamanda ilave sönüm üretirler. Bu ek sönüm kapasitesi, gelen deprem enerjisini dağıtmakta taban izolatörüne yardım eder. İzolatörler tarafından sağlanan ilave sönümün başka bir artısı da sistemin yatay yer değiştirmesini azaltması olabilir. Güçlü bir depremde temel izolasyonlu bir sistemin yer değiştirmesi bir metre kadar olabilir. İlave sönüm bunu 50-400 milimetreye kadar azaltabilir [4].

Sismik izolasyonda en çok kullanılan sistem mekanik sönümleyicili doğal kauçuk mesnetler veya kurşun-kauçuk mesnetler olmasına rağmen yüksek sönümlü doğal izolatörlerin kullanımında da artış olmuştur.

Yüksek sönümlü mesnetler kullanılarak inşa edilen çok sayıda yüksek binalar vardır.

Dünyadaki en büyük taban izolasyonlu bina bu çeşit sismik izolasyona tipik bir örnektir.

Dünyadaki en büyük taban izolasyonlu bina batı Japonya posta bilgisayar merkezidir. Bu yapı, Sanda Kobe’de yer almaktadır. Bu 6 katlı, 47.000 m² lik yapı çelik ve kurşundan yapılmış ilave sönümlü 120 elastik izolatörün üzerine oturtulmuştur. Yapı 3.9 saniyelik periyoda sahiptir. Bu bina, 1995 Hyogoken Nanbu (Kobe) depreminin merkez üssünden yaklaşık 30 km uzakta yer almaktadır ve şiddetli yer hareketine maruz kalmıştır. Bu depremde izolatörler altında oluşan en yüksek yer ivmesi 400 cm/s² (0.41 g) olmuştur fakat bu değer izolasyon sistemi sayesinde altıncı katta 127 cm/s² (0.13 g) değerine düşmüştür. İzolatörlerdeki yer değişimi yaklaşık 12cm olmuştur. Bu ivmedeki düşüş sayesinde Bilgisayar Merkezinin çok yakınında yer alan ankastre temelli bir bina yıkılmasına rağmen Bilgisayar Merkezi hasar görmemiştir.

Japonya’da özellikle Kobe depreminden sonra izolasyonun kullanımı artmaya devam etmektedir. Bu artışa belki de, Batı Japonya Posta Bilgisayar Merkez’inin deprem davranışındaki üstün performansının da payı olmuştur. Batı Japonya Posta Bilgisayar Merkez’inin depreme dayanmaktaki üstün performansından sonra birçok apartmanlar dahil, taban izolasyonlu binalar için ruhsat alımında çok hızlı bir artış olmuştur.

Batı Japonya Posta Bilgisayar Merkezi olarak bilinen dünyadaki en büyük temel izolasyonlu yapının süper performansının yanı sıra, bilinmelidir ki izolatör kullanılan yapıların performansı değişkendir. Örneğin 1994 Northridge depreminde temel izolasyonlu Los Angeles Şehri Komuta ve Kontrol Kurumu temel izolasyonsuz kısmından daha iyi performansa sahip olmuştur [4].

Benzer biçimde, Güney Kaliforniya Üniversitesi Eğitim hastanesinin depremdeki sismik performansı, depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel izolasyonu tekniğinin özellikle Amerika Birleşik Devletleri’nde yayılmasını sağladı. Bu hastane, Los Angeles’ ta yer alıyordu ve 1994 Los Angeles depreminde hasar görmekten başarıyla korundu. Los Angeles depremi sırasında yapının temelinde yer ivmesi 0.49g iken çatıda sadece 0.21g olmuştur. İndirgeme katsayısı olarak bu, 1.8 değerine gelir. Ve yine bu yapıya yakın taban izolasyonsuz başka bir bina (Olive View Hastanesi) yer almaktadır

Olive View Hastanesinde çatıda oluşan ivme 2.31g, temelde oluşan 0.82g ile kıyaslandığında 2.8 katlık bir fark gözüküyor. Bu iki yapının performansı kıyaslandığında kolaylıkla söylenebilir ki taban izolasyonlu yapıda ankastre yapıya göre çok daha az etki oluşur[5].

Son yıllarda temel izolasyonlu binaların bu performansları, temel izolasyonunun, çeşitli yapılarıdaki deprem tehlikesini azaltmadaki alternatif tasarım tekniği olarak kabul görmesinde etkili olmuştur. Temel izolasyonunda çeşitli tasarımlar önerilmiş ve birçoğu karayolu köprülerinde sismik izolasyon olarak kullanılmıştır. Köprü uygulamalarında çoğunlukla kurşun gövdeli tabakalı kauçuk mesnetler kullanılmaya başlanmıştır[6]. Köprülerdeki kullanımı üst yapının altyapıyla ayrılmasını sağlar. Fakat binalardaki uygulamadan farklı olarak köprülerde izolasyon seviyesinin altındaki yapının korunması esas amaçtır. Üst yapı oluşan etki ve tepki kuvvetlerine dayanmak için nispeten rijit davranır.

Özellikle köprüler izolasyon için uygun yapılardır ve araştırmalar göstermiştir ki taban izolasyonlu yapıların %90 'ı köprülerdir.

Sismik izolasyonun esas amacı; titreşimin temel periyodunu arttırarak yapının daha az deprem etkisine maruz kalmasını sağlamaktır. Fakat deprem etkisindeki bu azalma beraberinde elastik mesnetlerle karşılanabilecek yer değiştirmedeki artışları getirir. Uzun periyotlu köprüler servis yükleri altında kaldıkça bu davranış köprülerde istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Bu deformasyonları kontrol etmek ve köprünün dayanımını servis yükleri için biraz daha arttırmak için izolasyon sisteminin bir parçası olarak özel sönüm aletleri konulmaya başlanmıştır. Her ne kadar bu uygulama pahalı olsa da, çalışmalar, bu izolasyon yazılımının bedelinin, temelde ve altyapılarıdaki tasarruflar ve uzun vadede sismik hasardan dolayı oluşacak hasarın tamir bütçesindeki azalma ile dengelenilebildiğini göstermiştir.

Sismik izolasyon yeni binaların tasarımında kullanılabileceği gibi aynı zamanda mevcut yapıların güçlendirilmesinde de kullanılabilir. Köprülerde bu izolasyon mesnetlerinin yerleştirilmesi çok daha kolaydır çünkü birçok köprünün zaten ısı hareketlerine dayanım için izolasyon mesnetleri vardır. Dolayısıyla köprülerde sadece bu mesnetlerin sismik izolatör mesnetleriyle değiştirilmesi yeterli olmaktadır.

Halihazırda mevcut köprüler için sismik izolasyon, köprülerdeki 3 ortak sorun için etkili bir çözümdür [7].

Bunlar şu şekilde gruplanır:

- elik mesnetlerin ve bağlantıların yetersiz gücü.
- Kolon ve altyapının yetersiz gücü ve dayanımı.
- Kirişler için yetersiz mesnet genişliği.

Daha önce söylediğimiz gibi, izolasyon kuvvet değerlerini önemli bir şekilde düşürür. Yeni bir inşaat yapılacağı zaman, kuvvet değerlerindeki bu azalma, dayanım hesaplarında detaylı bir çalışma gereksinimi bırakmamaktadır. Bu da kolon ve temeller göz önüne alındığında maliyetlerdeki düşme anlamına gelmektedir. Bu düşüş kazık temeller kullanıldığında daha da önem kazanır. Buna ilaveten tamir masrafları ve olası bir depremin sebep olacağı maliyetler göz önüne alındığında, temel izolasyonu köprülerin sismik tasarımı için makul bir tercihtir.

Yukarıda bahsedilen avantajların yanı sıra, izolatörlerin üretimiyle ilgili devam eden çalışmalar sonunda; kararlılık, şekil değiştirme, izolatörün parçalanması, veya beklenmeyen tepkiler gibi problemlerin en aza inmesiyle izolatörlerin etkinliği geliştirilmiştir. Bu faydalara ilave olarak büyük izolatör üretimindeki zorluk aşılmıştır. şu an 1.5 m ve daha büyük çapta izolatörler yapmak olasıdır.

Buraya kadar depreme dayanıklı yapı tasarımı olarak temel izolasyonu uygulamaları daha çok kritik özellikte veya pahalı yapılar üzerinde yoğunlaşmıştı, ne var ki gelişmiş ülkelerde okullarda, hastanelerde, yüksek önemdeki binalarda ve hatta bazı konutlarda bile temel izolasyonu kullanılmaktadır. Bunun ana sebebi izolatör üretimindeki artma ve depremde hasar gören yapıların yerine yenilerinin yapılmasındaki yüksek maliyettir[8].

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu tezin esas amacı taban izolasyonlu ve taban izolasyonsuz sistemlerin karşılaştırılmasıdır. Kısaca genel pasif depreme dayanıklı yapı tasarımı tekniklerine değinildikten sonra taban izolasyonu tarif edilmiştir.

Taban İzolasyonunun etkisini ve taban izolasyonlu binaların performansını değerlendirebilmek için şunlar yapılmıştır;

- İki pasif depreme dayanıklı yapı sistemini karşılaştırmak ve Sap 2000 yapısal analiz programını kullanarak tanıtmak için üç katlı üç çerçeve sistemi modellenmiştir (Sırasıyla tabanda ankastre, viskoz sönümleme mesnetli, ve taban izolasyonlu)
- İzolatör sayıları ile yukarıda bahsettiğimiz (Periyotlar, Yer değiştirme, Taban kesme kuvveti) parametreler arası ilişkiyi ve izolatörlerin tipik kullanımını ortaya koymak için, bir araştırmada yer alan deneysel bir çalışmada kullanılan model de analiz edilmiştir.
- Son olarak taban izolasyonunun etkilerini ve taban izolasyonlu binaların etkilerini değerlendirebilmek için bu izolasyon tipi, 6 katlı betonarme bir yapıya yerleştirilmiştir. Bu 6 katlı bina bir ofis binasıdır ve perde duvarın yapısal tepkiye karşı etkilerinin değerlendirilebilmesi için iki şekilde analiz edilmiştir, perde+çerçeve sistem ve çerçeve sistem olarak.

Daha öncede belirtildiği gibi, izolatörlerin yüksek maliyetleri taban izolasyonunun en önemli dezavantajıdır. Eğer mümkün olursa, bu çalışmanın bir amacı da izolatörlerin sayısında değişikliğe gidilerek izolasyonun maliyetini düşürmektir.

Yapıların taşıyıcı sistemleri Yapısal Analiz Programı SAP2000 v9.0.3 (Structural Analysis Program) kullanılarak modellenmiştir. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için çerçeveler için girilen değerler aynı tutulmuş ve deformasyon, binaların periyotları, taban kesme kuvveti değerleri gibi sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu üç değer literatürde en çok kullanılan karşılaştırma kriterleri olduğu için seçilmiştir.

2 DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA İLERİ TEKNİKLER

2.1 Giriş

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımında esas amaç, deprem sebebiyle oluşan kuvvetlere karşı mukavemeti yüksek, rijit ve elastik olmayan deformasyon kapasitesine sahip binalar yapmaktır. Bunu sağlayabilmek için uygun yapısal konfigürasyon seçilir, çeşitli yapısal bileşenler atanır, dikkatlice detaylandırmalar yapılır. Bu yapısal bileşenler şunlar olabilir:

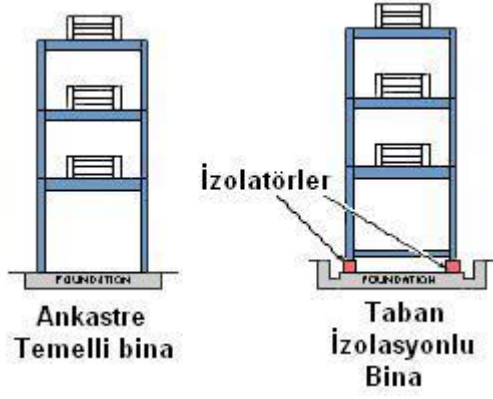
- Perde duvarlar
- Desteklenmiş çerçeveler
- Moment aktaran çerçeveler
- Diyaframlar
- Yatay kafesler

Diğer taraftan, gelişmiş depreme dayanıklı yapı tasarımında temel amaç binayı güçlendirmek yerine binada deprem sebebiyle oluşan etkileri azaltmaktır.

En önemli depreme dayanıklı yapı tasarım teknikleri ve imalatı:

- Temel izolasyonu
- Enerji sönmölendirici

Temel izolasyonu sismik kuvvetleri azaltmada etkili bir araçtır. Bu yapı hareketi ile yer hareketinin birbirinden ayrılması ile mümkün olur. Bir deprem anında binaya süneklik kazandırması düşünüldüğünde, esnek bir temel izolasyon sisteminin yerleştirilmiş olması genellikle tercih edilendir. Şekil 2.1 de ankastre temelli ve taban izolasyonlu bir yapının şekli görölmektedir.



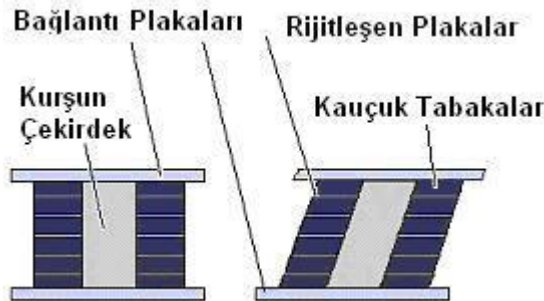
Şekil 2.1 Taban izolasyonlu ve Ankastre Temelli bina

(<http://mceer.buffalo.edu/infoservice/faqs/structeng/isolation/default.asp>) adresinden alınmıştır.

Taban izolasyonlu binada izolasyon mesnetleri bina ile temel arasına yerleştirilir. Bir çok çeşit izolasyon mesnetleri geliştirilmesine rağmen, en çok rastlanani kurşun-kauçuk mesnetlerdir. Bunlar en çok kullanılan taban izolasyon sistemidir ve ileriki bölümlerde tabanda ankastre binalarla ilgili kıyaslamalar yapıldığında üzerinde durulmuştur.

Bir kurşun-kauçuk mesnet, kauçuk katmanlarından meydana gelmiştir. Çelik katmanları ile kauçuk katmanları bir arada kullanılmıştır. Mesnedin ortasında kurşun gövde denilen katı bir kısım vardır. Binanın temeliyle ve üstyapıya mesnedi bağlamak için çelik plakalar mesnedin üstüne ve altına bağlanır. (Şekil 2-2)

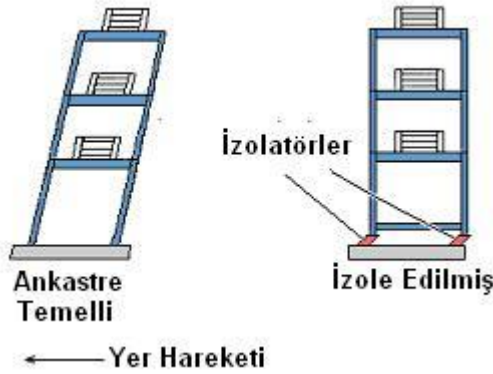
Bu plakaların varlığı sayesinde mesnet düşey yönde çok rijit ve güçlüdür, fakat yatayda esnektir. Düşey rijitlik mesnedin düşey yüklere karşı direncini sağlarken yatay esneklik yatay yer değiştirmeyi sağlar. Ayrıca kurşun çekirdeğin kullanılması izolatör için ilave sönüm demektir.



Şekil 2.2 Kurşun – Kauçuk İzolatör

(mceer.buffalo.edu/infoservice/faqs/structeng/isolation/elastomeric.asp) adresinden alınmıştır.

Deprem etkisine tabanda ankastre bir binanın tepkisi ile taban izolasyonlu bir binanın tepkisi farklıdır. Bu durum aşağıda Şekil 2.3 te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Taban İzolasyonlu ve Ankastre Temelli Binada Deprem Etkisi
(mceer.buffalo.edu/infoservice/faqs/structeng/isolation/elastomeric.asp) adresinden alınmıştır.

Bunun yanında iki yapının yer değiştirme davranışları farklıdır. Tabanda ankastre temelli binanın şekli dikdörtgenden paralel kenara değişirken, ikinci şekilde izolatörler sistemin enerjisinin önemli bir kısmını yutabilirler ve yapı rijit davranış sergiler. Taban izolasyonlu bina yer değiştirse de, etkilerin azalmış olması nedeniyle elastik şekil değiştirme sınırlı olur ve rijit cisim hareketi yapar.

Kurşun-kauçuk mesnetler binayı, sönümleme sayesinde deformasyondan korurlar. Binada taban izolasyonu olması, taban izolasyonlu bu binaya gelen atalet kuvvetinin azaltılması anlamına gelir.

Taban izolasyonlu binaların depremlerdeki performansı ile ilgili yapılan deneyler ve gözlemler göstermiştir ki; taban izolasyonlu binaların ivmeleri, tabanda ankastre binaların ivmesinin $\frac{1}{4}$ ü ne kadar düşürülebilmektedir. Yukarda bahsettiğimiz gibi ivme azalıp arttıkça oransal olarak atalet kuvvetleri de artar veya azalır.

İvmedeki düşüşün sebebi temel izolasyon sisteminin bina periyodunu uzatmasıdır, yani binanın önce ileri sonra geri ve sonra tekrar ileri doğru yaptığı hareketler zincirinin süresinin uzamasıdır. Genel olarak uzun periyoda sahip binalarda ivme azalırken kısa periyoda sahip yapılarda ivme artar. Bu özelliğin yanı sıra mesnetlerin yüksek kapasiteli elastik özelliği sebebiyle, kauçuk izolasyon mesnetleri herhangi bir zarar görmezler. Kauçuk kısımla aynı deformasyonu yapan mesnedin ortasındaki kurşun kısım da ısı üretir. Oluşan bu ısıdan dolayı, kurşun çekirdek azalır veya kinetik enerjiyi ısıya çevirerek dağıtır. Binaya gelen enerjinin azalmasıyla binanın

titreşiminin, salınımlarının yavaşlaması ve neticede durması beklenenden daha erken bir süreçte sağlanır.

ENERJİ DAĞITIM ARAÇLARI

Binaların depreme dayanıklılığını arttırmada ikinci önemli teknik ise sönümleme ve enerji dağıtımıdır. Enerji dağıtım aracı ayrıca izolatörlerle sağlanan enerji dağıtımı ve sönümlemenin daha da artmasını sağlar.

Deprem yer hareketi sırasında belirli bir vibrasyon enerjisi binaya iletilir. Bina bu enerjiyi sönümlemek ve dağıtmak istese de binaların deformasyona uğramadan ve hasar görmeden bunu başarabilmesi pek mümkün değildir. Bu demektir ki bina bu enerjiyi ya büyük ölçekli hareketlerle ya da yüksek iç gerilmelere kolon ve kiriş gibi elemanları ile dağıtacaktır. Bu iki durumda da sonuç ağır hasar ya da yıkım olacaktır. Bu sebepten binaya giren sismik enerji ve dolayısıyla binada oluşan hasar, yüksek sönümleme kapasitesine sahip bir eleman kullanılarak önemli ölçüde düşürülebilir.

Bu ilave yüksek sönüm kapasitesi sebebiyle çok yüksek enerjiyi dağıtabilen enerji dağıtım elemanları geliştirilmiştir ve binalarda kullanılmıştır. Enerji dağıtım araçları aynı zamanda sönümleme araçları olarak da adlandırılır. Çok sayıda geliştirilen sönümleme araçları 4 ayrı gruba ayrılır:

- Sürtünmeli enerji sönümleme mesnetleri:

Bu araç enerjiyi dağıtmada sürtünme enerjisinden yararlanır.

- Metalik enerji sönümleme mesnetleri:

Bu araç enerjiyi dağıtmada içinde barındırdığı bir takım metal elemanların deformasyonundan faydalanır.

- Visko-Elastik sönümleme mesnetleri:

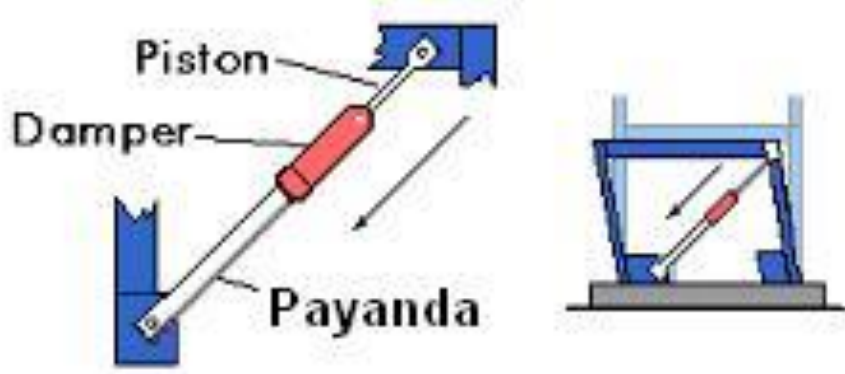
Bu araç katıların elastik şekil değiştirmelerini kullanarak enerjiyi dağıtır.

- Viskoz sönümleme mesnetleri :

Bu cihazlar akışkanların kuvvet aktarımını kullanarak bu enerjiyi dağıtırlar.

SÖNÜMLEME MESNETLERİ (DAMPER)

En çok kullanılan sönümleme mesnedi tipi, sıvı viskoz sönümleme mesnetleridir (Şek. 2.4). Sıvı viskoz sönümleme mesnetleri hem tabanda ankastre hem de zemin izolasyonlu yapılara, binalara, hatta köprülere de uygulanabilmektedir. Sönümleme seviyesini kritik seviyenin %50 si kadar arttırabilirler ve bu da yapıda yüksek oranda gerilme indirgenmesini sağlar.



Şekil 2.4 Bir destekle yerleştirilmiş sönümleme mesnedi.
(mceer.buffalo.edu/infoservice/faqs/structeng/isolation/dampers.asp)adresinden alınmıştır.

Sönümleme mesnetleri genellikle destek sistemlerinin bir parçası olarak yer alırlar. Şekil 2.4 sönümleme mesnedi ile destek elemanının beraber kullanılmasına tipik bir örnektir ve sönümleme mesnedinin yaptığı hareketi göstermektedir.

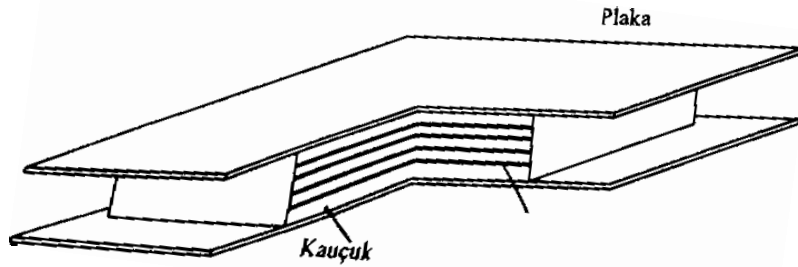
Destek elemanının bir tarafı kolona diğer tarafı ise çerçeve kirişine ankastrelenir. Bu şekilde yerleştirme kolona da ilave destek sağlar. Genellikle bir deprem hareketi sırasında, deprem hareketi yatay doğrultuda olduğu müddetçe, bina kolonları yer hareketine bağlı olarak yer değiştirmede problemler yaşar. Bu şekilde yerleştirildiği takdirde bu durum kolonlara destek sağlanarak biraz da olsa azaltılır.

2.2 Taban İzolasyon Sistemleri

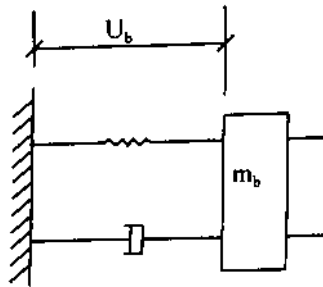
2.2.1. Tabakalı kauçuk mesnet (TKM) sistemi

Tabakalı kauçuk mesnet sistemleri, taban izolasyonunda en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu sistemin temel öğeleri tabakalar halinde kullanılmakta olan çelik ve kauçuk plakalardır. Ayrıca, sönümün ve rijitliğin paralel etkileri bu sistemin en önemli özelliğidir. Genellikle TKM sistemi yatayda esneklik ve düşeyde rijitlik özelliği ile yüksek sönüm kapasitesi gösterir. Bu sisteminin ayrıca iki karakteristik özelliği daha vardır ki bunlar sırasıyla doğal frekans (ω_b) ve sönüm sabiti (ξ_b)'dir. Sistemin sönüm sabiti mesnedin şekil değiştirmesine bağlıdır. Bu sonuç Tracis tarafından yapılan deneylerden elde edilmiştir. Tracis [9] tarafından yapılan çalışmada, sönüm oranının mesnetteki şekil değiştirmelere bağlı olduğu; şekil değiştirme %2 iken sönüm oranının 0.18 ve şekil değiştirme %50 iken sönüm oranının 0.10 olduğu kabul edilmiştir. TKM sisteminde tavsiye edilen değerler: taban izolasyonlu yapının periyodu 2 saniye iken $\omega_b = \pi$ rad/s ve $\xi_b = 0.10$ 'dur [9].

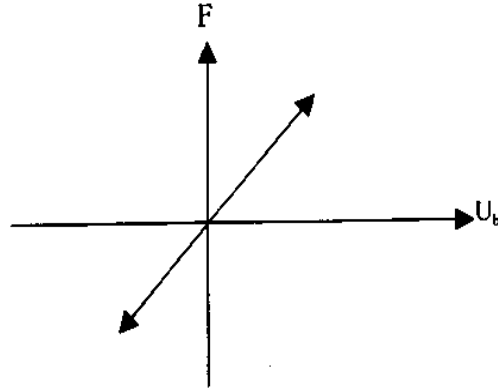
TKM sisteminin kesiti ve elemanları Şekil (2.5.a)'da, bu sistemin şematik modeli Şekil (2.5.b)'de ve kuvvet-yer değiştirme $F-U_b$, davranışı Şekil (1.c)'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



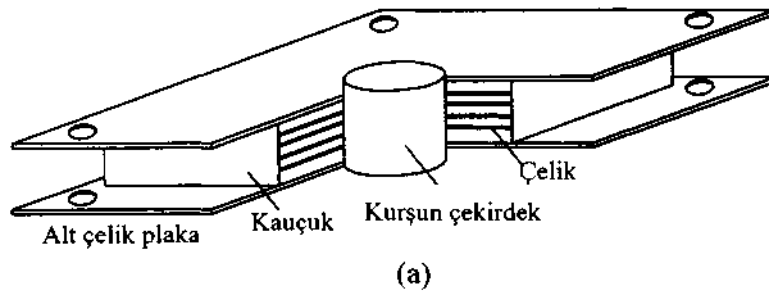
(c)

Şekil 2.5 Tabakalı kauçuk mesnet sisteminin, a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı

2.2.2. Yeni zelanda mesnet (YZM) sistemi

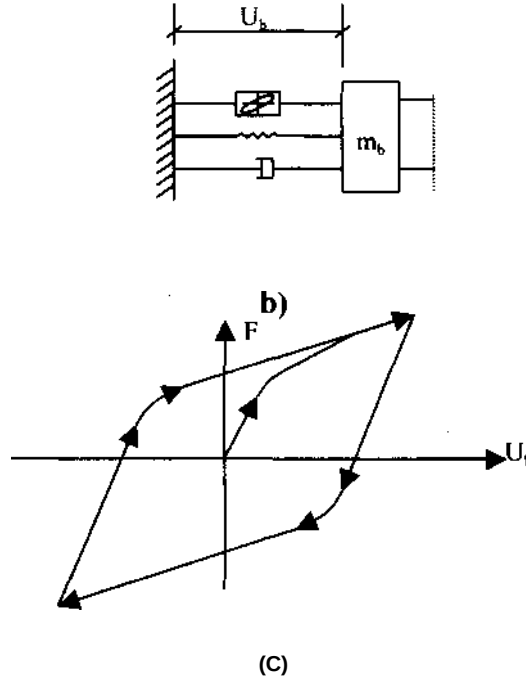
Yeni Zelanda mesnet sistemi, TKM sisteminin benzeridir. Fakat, kurşun çekirdek enerji dağılımında ilave bir rijitlik sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Kurşun çekirdeğin enerji yutma kapasitesi izolatörün yatay yer değiştirmesini azaltır. Bu sistem prensip olarak histeretik söndürücü aletler gibi davranmaktadır. Histeretik söndürücü aletin kuvvet-yerdeğiştirme karakteristik özelliği gerçekçi olarak lineer olmayan diferansiyel denklemler kurularak modellenenmektedir. Bu mesnet sisteminin en önemli mahsuru; güçlü yer hareketinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışardan tespit edilememesidir [9].

YZM sistemi Şekil (2.6.a)'da, şematik modeli ise Şekil (2.6.b)'de ve kuvvet-yer değiştirme davranışı ise Şekil (2.6.c)'de gösterilmektedir.



(a)

Şekil 2.6 Yeni Zelanda mesnet sisteminin a) kesiti ve elemanları, b) şematik diyagramı, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı



Şekil 2.6 devam Yeni Zelanda mesnet sisteminin a) kesiti ve elemanları, b) şematik diyagramı, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı

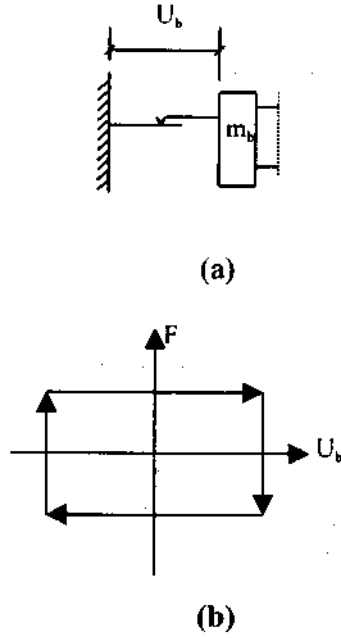
2.2.3. Sürtünmeli (S) sistem

Sismik taban izolasyonu sistemi prensipte bir sürtünmeli kayan mekanizmadır. 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. Çin'de az katlı yapılan depreme karşı korumak amacıyla geliştirilmiştir. Mostaghel [9] ve Tanbakuchi [9], Kelly[9] ve Beucke[9] sürtünmeli sistemin deprem ve sinüzoidal hareketler altındaki davranışlarını incelemiştir. Sürtünmeli izolasyon sistemlerinin geleneksel kauçuk mesnet sistemleriyle karşılaştırılmasıyla elde edilen üstünlükleri aşağıdaki gibi verilebilir [9];

a) Bu tür sürtünmeli izolasyon sistemi, geniş frekans dağılımı için etkili olabilmektedir.

b) Sürtünme kuvveti temelde meydana gelirken kayan mesnedin rijitlik merkezi ve kütle merkezi yapının kütlesiyle orantılı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, simetrik olmayan yapılarda meydana gelen burulma etkileri azalmaktadır.

SS sisteminin şematik modeli Şekil (2.7.a)'da ve kuvvet-yer değiştirme davranışı Şekil (2.7.b)'de verilmiştir.

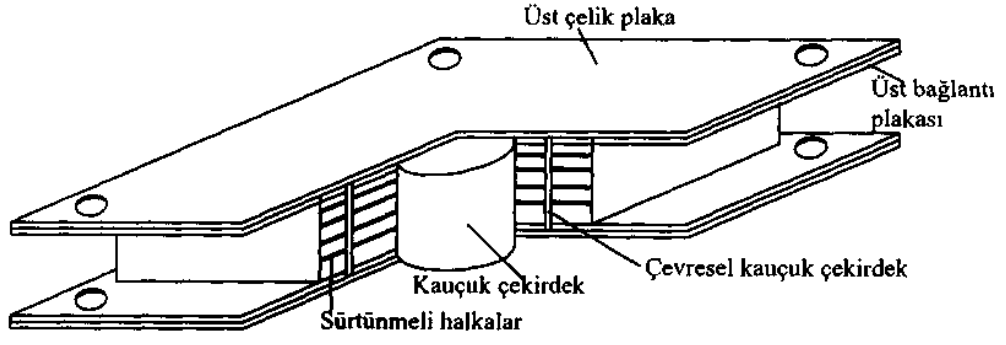


Şekil 2.7 Sürtünmeli sistemin; a) şematik modeli, b) kuvvet- yer değiştirme davranışı

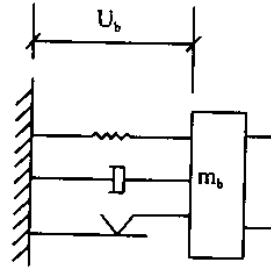
2.2.4. Elastik-sürtünmeli taban izolasyon (ESTİ) sistemi

ESTİ sistemi, son yıllarda Mostaghel ve Khodaverdian tarafından önerilmiştir[9]. Bu taban izolatörleri, birbirleriyle sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezinde kauçuk bir çekirdekten oluşmaktadır. Plakaların birleşimleri sürtünme özelliği nedeni ile sönümü arttırmaktadır. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnet yer değiştirmesi ve hızın mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, sistem tepki kuvveti, sönüm ve sürtünme kuvvetinin davranışları birbirine paraleldir ve karakteristik özellikleri; doğal frekans (ω_b), sönüm sabiti (ξ_b) ve sürtünme katsayısı (μ)'dır. Bu parametreler için; Mostaghel ve Khodaverdian $\omega_b = \pi/2$ rad/sn, $\xi_b = 0.10$ ve $0.03 < \mu < 0.05$ değerlerinin alınmasını tavsiye etmişlerdir [9].

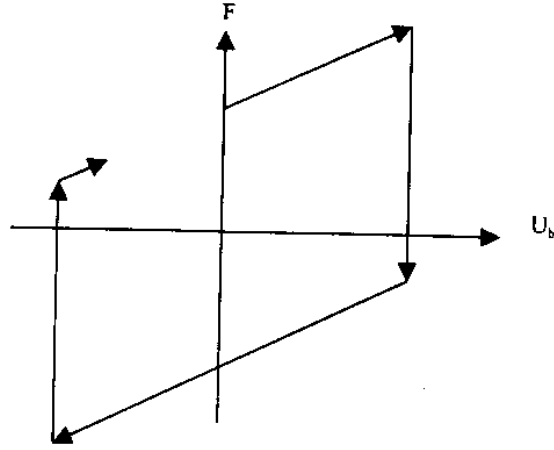
ESTİ sisteminin kesiti ve elemanları Şekil (2.8.a)'da, şematik modeli Şekil (2.8.b)'de ve kuvvet-yer değiştirme davranışı ise Şekil(2.8.c)'de verilmiştir.



(a)



(b)



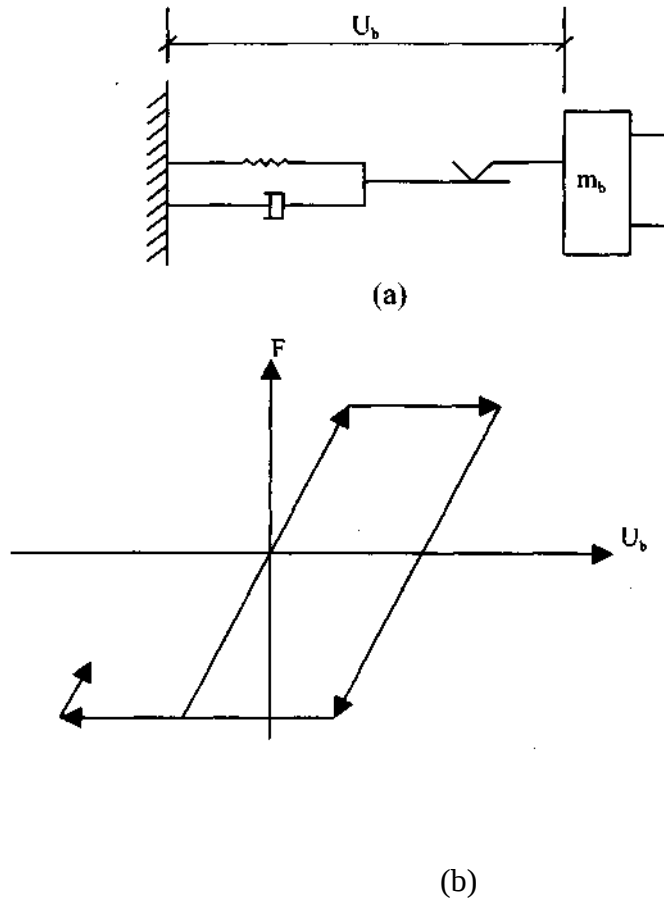
(c)

Şekil 2.8 Elastik sürtülmeli taban izolasyon sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet- yer değiştirme davranışı

2.2.5. Fransız elektrik (FE) sistemi

Önemli bir sürtünmeli taban izolasyon sistemi olan, FE, Fransız Elektrik Kurumu'nun desteği ile geliştirilmiştir ve deprem bölgelerindeki nükleer güç santralleri için standartlaştırılmıştır. FE sisteminin kesiti TKM sistemiyle aynıdır. Sürtünmeli yüzeyler, izolasyon sisteminin kullanım ömrü boyunca sürtünme katsayısı 0.2 alınarak tasarlanmıştır.

FE sisteminin şematik modeli Şekil (2.9.a)'da ve kuvvet-yer değiştirme davranışı Şekil (2.9.b)'de şematik olarak verilmiştir.

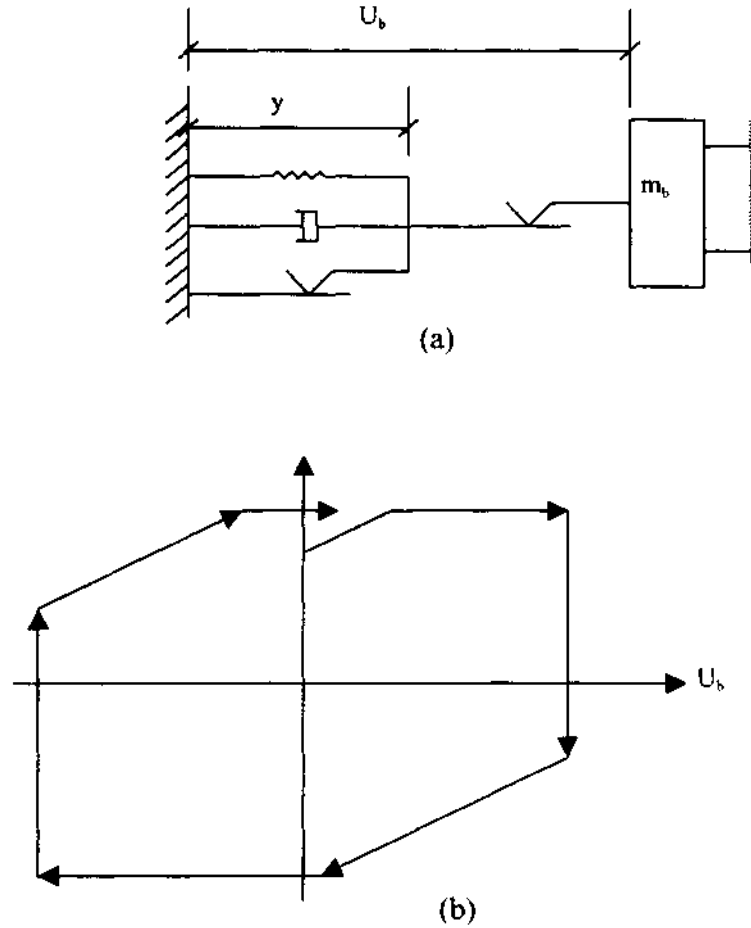


Şekil 2.9 Fransız elektrik sisteminin; a) şematik modeli, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

2.2.6. Kaygan elastik sürtünmeli (KES) sistem

Bu izolator sistemi ESTİ ve FE sistemlerinin özelliklerini içermektedir. ESTİ sisteminin üst yüzeyine sürtünmeli bir tabaka yerleştirilmektedir. Bunun sonucunda FE sisteminde olduğu gibi yapı temelini üzerinde kayabilmektedir. Sismik hareketin en düşük olması durumu için sistem ESTİ gibi davranmaktadır. Yer ivmesinin yüksek olması durumunda ise üst sürtünmeli plakada kayma meydana gelebilir ki bu durumda beklenmedik şiddetli yer hareketleri için ilave güvenlik sağlamaktadır. [9]

KES sisteminin şematik modeli Şekil (2.10.a)' da, kuvvet-yer değiştirme davranışı Şekil (2.10.b)'de gösterilmektedir.

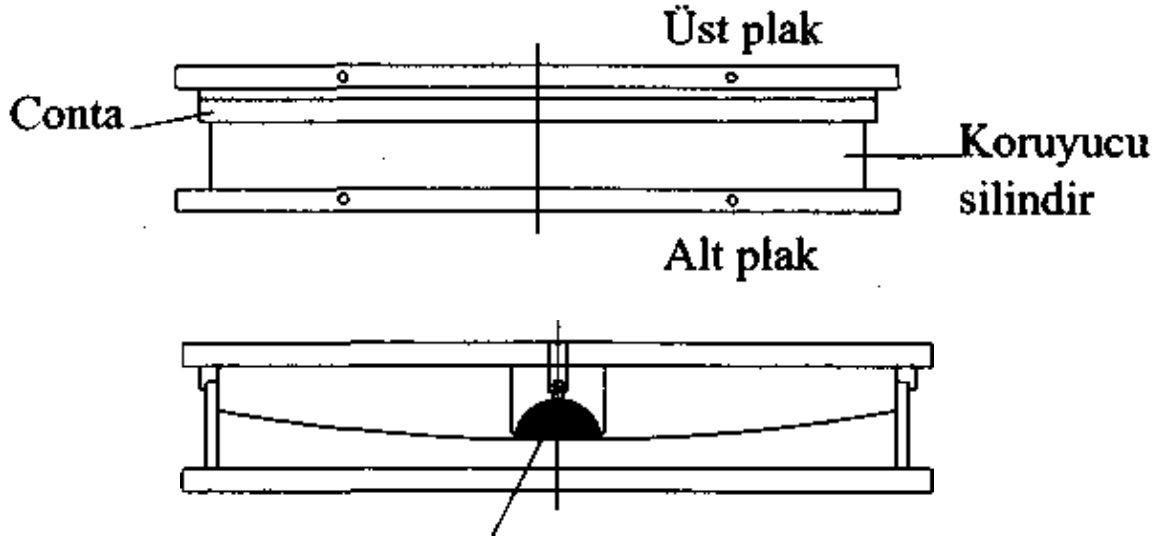


Şekil 2.10 Kaygan elastik sürtünmeli sisteminin; a) şematik modeli, b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

2.2.7. Sürtünmeli sarkaç sistem (SSS)

Yeni bir sismik izolasyon sistemi olan sürtünmeli sarkaç sistemi, yukarıda tanımlanan sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. SSS, arzu edilen sismik izolasyon sonuçlarının elde edilmesinde ağırlık ve geometrisinden yararlanılmaktadır. Çevresel etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlüdür. SSS' de sarkaç hareketinin mühendislik prensiplerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Zira, bu sistemle mesnetlenen yapı, deprem hareketlerine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki vermektedir. Ayrıca, sistemin sürtünmeli olması özelliği de deprem enerjisini yutmasını sağlamaktadır [9].

SSS' nin kesiti ve görünüşü Şekil 2.11'de verilmiştir.

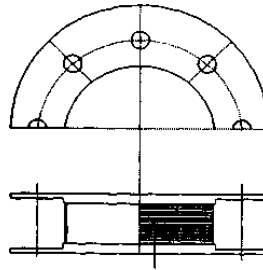


Şekil 2.11 Mafsallı kayıcı Sürtünmeli sarkaç sisteminin kesiti ve görünüşü

2.2.8. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet (YSKM) sistemi

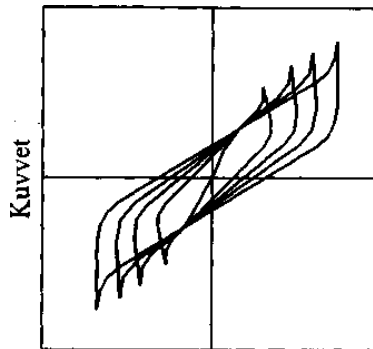
Bu sistemde kauçuk mesnetler, doğal kauçuktan yapılmıştır. KL301 adı verilen yüksek sönümlü elastik bir maddenin karışımıyla Japonya'da bulunan Bridgestone firması tarafından üretilmektedir. KLSO'l'in çok küçük şekil değiştirmelerde kesme modülü 4300 kPa, %50 şekil değiştirmede 650 kPa, %100 şekil değiştirmede 430 kPa ve %150 şekil değiştirmede 340 kPa'dır. Mesnetler 2 mm kalınlığında olan 20 adet kauçuk tabakasından oluşmakta olup altta ve üstte 2 mm kalınlığında birer çelik levha bulunmaktadır. Eksenel kuvvet hesap basıncı 323 Mpa'dır. Bu mesnet modeli, üst yapıyla temel arasında kolay bir birleşim yapabilmesi amacıyla yanlarında kulakçıklar ihtiva eder. Bu şekilde tasarlanan 15 tane YSKM Kelly,J. tarafından test edilmiştir. [9]

YSKM sisteminin şekli ve kesiti Şekil (2.12.a)'da ve kuvvet-yer değiştirme davranışı Şekil(2.12.b)'de görülmektedir.



KL301

(a)



Yer değiştirme

(b)

Şekil 2.12 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

3. SİSMİK İZOLASYONUNUN TEORİK ESASLARI

3.1. Lineer Teori

Sismik izolasyonda lineer teori iki kütleli yapı modeline dayanır.

Dinamik etki dikkate alınacağı için üst yapı, rijit davrandığı varsayımı yapılarak tek kütle olarak modele alınır.

Aşağıdaki idealizasyonda yer alan notasyonlar şunlardır: (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2)

m : üst yapının kütlesi

m_b : izolasyon sisteminin üzerindeki taban seviyesinin kütlesi

k_s : üst yapı eşdeğer rijitliği

c_s : üst yapıya ati sönüm

k_b : izolasyon sisteminin toplam yatay rijitliği

c_b : izolasyon sisteminin toplam sönümü

k_v : izolasyon sisteminin düşey rijitliği (düşey rijitlikleri yüksek olan bu mesnetler için sonsuz kabul edilmiştir.)

u_s : üst yapının mutlak yerdeğiştirmesi

u_b : izolasyon kütlelerinin mutlak yerdeğiştirmesi

u_g : yerin yerdeğiştirmesi

Analiz açısından görelı yerdeğiştirmeleri kullanmak daha uygun olacaktır.

$$v_b = u_b - u_g \quad v_s = u_s - u_b \quad (3.1)$$

v_b , izolasyon sisteminin yere göre yerdeğiştirmesidir. v_s , üst yapının izolasyon kütlelerine göre yerdeğiştirmedir. Bu terimler kullanılarak temel hareket denklemleri, İki serbestlik dereceli sistem için şu şekilde düzenlenir:

$$(m + m_b) \ddot{v}_b + m \ddot{u}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (3.2a)$$

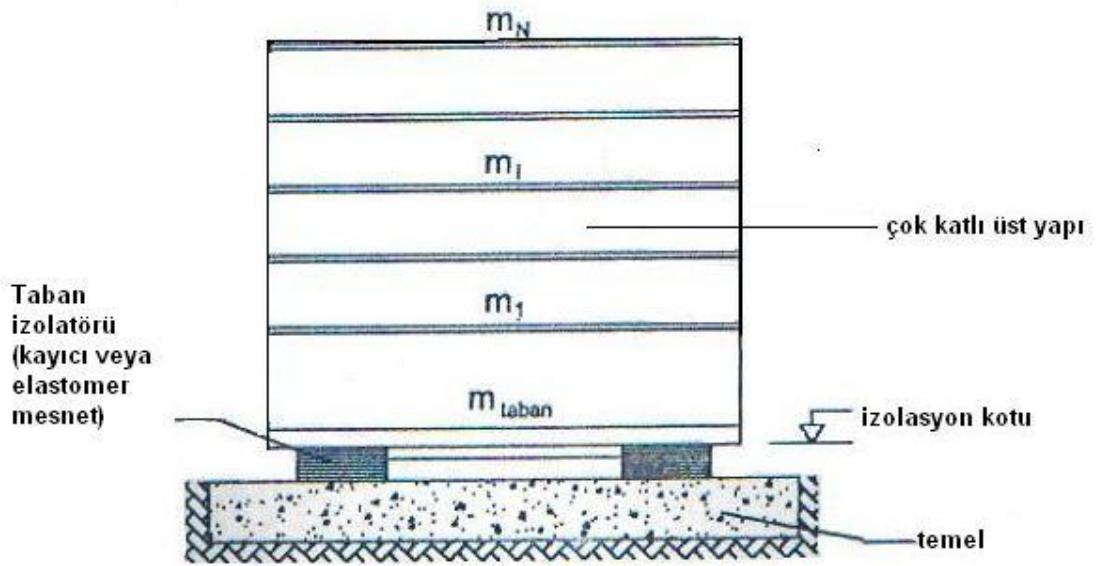
$$m \ddot{u}_b + m \ddot{u}_s + c_s \dot{u}_s + k_s v_b = -m \ddot{u}_g \quad (3.2b)$$

Bu denklemler matris formunda şöyle ifade edilir:

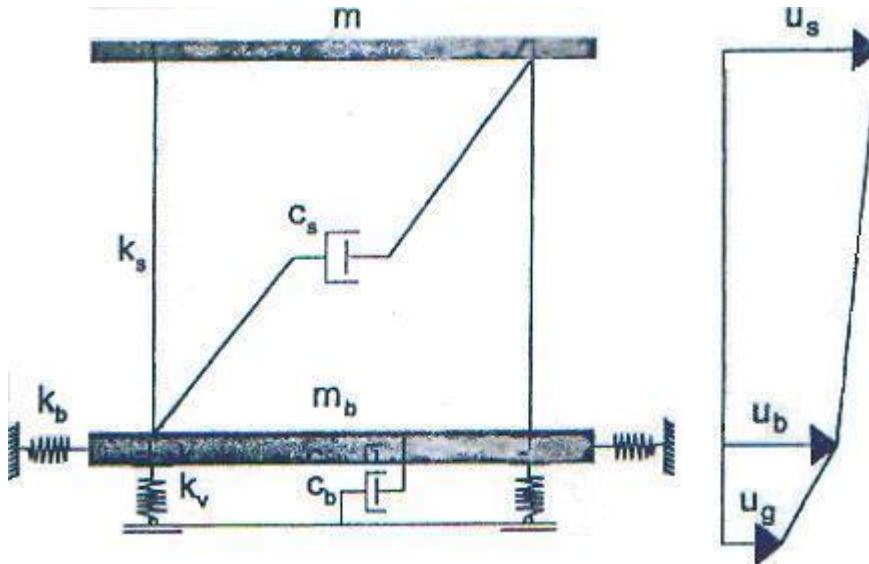
$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_b \\ \ddot{u}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_b \\ \dot{u}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_b \\ u_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (3.3)$$

Burada $M = m + m_b$ dir ve matris notasyonu kullanılarak,

$$M \ddot{u} + C \dot{u} + K u = -M r \ddot{u}_g$$



Şekil 3.1 Temel izolasyonlu binanın şematik çizimi



Şekli 3.2 Taban izolasyonlu sistemin iki serbestlik dereceli ideal modeli yazılır. Kütle oranı γ

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M} \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanır ve nominal frekanslar, (yapı dinamiğinden hatırlanacağı üzere)

$$\left\{ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \right\} \quad \left\{ \beta = \frac{c}{2m\omega} \right\}$$

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b}$$

$$\omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (3.5)$$

olarak verilirse ve aşağıdaki tanımlama yapılırsa,

$$\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \epsilon \quad \epsilon = 0(10^{-2}) \quad (3.6)$$

[O (10⁻²) merteye olarak yüzde – virgülden sonra iki basamak anlamındadır. 0.01 , 0.05 gibi]

sönüm faktörleri β_b ve β_s aşağıdaki formda şekillenir:

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad (3.7)$$

$$2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m}$$

Bu büyüklükler kullanılarak (3.2a) ve (3.2b) hareket denklemleri yeniden düzenlenir:

$$\gamma \ddot{x}_s + \ddot{x}_b + 2\omega_b\beta_b \dot{x}_b + \omega_b^2 x_b = -\ddot{x}_g \quad (2.8a)$$

$$\ddot{x}_s + \ddot{x}_b + 2\omega_b\beta_s \dot{x}_s + \omega_b^2 x_s = -\ddot{x}_g \quad (2.8b)$$

Birleşik sistemin klasik modları, ω_1 ve ω_2 frekansları ile, ϕ^1 ve ϕ^2 olarak adlandırılır.

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

Frekanslar için karakteristik denklem,

$$(1-\gamma)\omega^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (3.9)$$

ve denklemin çözümleri:

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2) + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\} \\ \omega_2^2 &= \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2) + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (3.10)$$

olarak bulunur. Yukarıdaki $\in$ tanımını kullanılırsa,

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= \omega_b^2 (1-\gamma \in) \\ \omega_2^2 &= \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} (1+\gamma \in) \end{aligned} \quad (3.11)$$

şeklinde sadeleştirilirler.

$(\phi_b^1 = 1)$, $[i=1, 2]$ yardımıyla mod şekilleri belirlenir:

$$\begin{aligned} \phi_1^T &= (1, \in) \\ \phi_2^T &= \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma) \in] \right\} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Modal koordinatlardaki yer değiştirmeleri ifade etmek için,

$$\begin{aligned} v_b &= q_1 \phi_b^1 + q_2 \phi_b^2 \\ v_s &= q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2 \end{aligned} \quad (3.13)$$

tanımlamaları yazılır. Burada q_1 ve q_2 zamana bağlı modal katsayılarıdır.

Modal büyüklükler M_i ve L_i ,

$$\begin{aligned} M_i &= \phi_i^T M \phi^i \\ M_i L_i &= \phi_i^T M r \end{aligned} \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanırlar. $\in$ 'de birinci dereceden bu ifadeler düzenlenirse,

$$\begin{aligned} M_1 &= M(1+2\gamma \in) \\ M_2 &= M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\in]}{\gamma} \end{aligned} \quad (3.15)$$

ve

$$\begin{aligned} L_1 &= 1 - \gamma \in \\ L_2 &= \gamma \in \end{aligned} \quad (3.16)$$

formunu alırlar.

3.2a ve 3.2b'deki hareket denklemlerindeki (v_b, v_s) , ϕ_1 ve ϕ_2 'nin terimleriyle ifade edilirse, modal katsayılar (q_1, q_2) 'nin yer aldığı iki denklem elde edilir:

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \lambda_1\ddot{q}_2 + \omega_1^2q_1 = -L_1\ddot{x}_g \quad (3.17a)$$

$$\ddot{q}_2 + \lambda_2\ddot{q}_1 + 2\omega_2\beta_2\dot{q}_2 + \omega_2^2q_2 = -L_2\ddot{x}_g \quad (3.17b)$$

$2\omega_1\beta_1$ ve $2\omega_2\beta_2$ terimleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

Buradan,

$$M_i 2\omega_i\beta_i = \phi_i^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi_i \quad (3.18)$$

ve β 'ların çözümü olarak,

$$\begin{aligned} 2\omega_1\beta_1 &= 2\omega_b\beta_b (1 - 2\gamma \in) \\ 2\omega_2\beta_2 &= \frac{1}{(1 - \gamma)} (2\omega_s\beta_s + 2\gamma\omega_b\beta_b) \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \beta_b (1 - \frac{3}{2}\gamma \in) \\ \beta_2 &= \frac{\beta_s + \gamma\beta_b \in^{1/2}}{(1 - \gamma)^{1/2}} (1 - \frac{\gamma \in}{2}) \end{aligned} \quad (3.20)$$

bulunur. Etkileşim katsayıları λ_1 ve λ_2 aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

Buradan,

$$\begin{aligned} \lambda_1 M_1 &= \phi_1^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi_2 \\ \lambda_2 M_2 &= \phi_2^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \phi_1 = \lambda_1 M_1 \end{aligned} \quad (3.21)$$

denklem 2.12 ye bakarsak,

$$\lambda_1 M_1 = (1, \epsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -a \end{pmatrix} = c_b - \epsilon a c_s \quad (3.22)$$

$$a = \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma) \epsilon]$$

bulunur.

Daha önce 3.15 denkleminde tanımlanan (M_1 ve M_2)'yi kullanarak,

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \epsilon \{(1/\gamma)[1 - (1 - \lambda) \epsilon]\} 2\omega_s \beta_s m}{M(1 + 2\gamma \epsilon)} \\ &= 2\omega_b \beta_b (1 - 2\gamma \epsilon) - \epsilon 2\omega_s \beta_s (1 - 2\gamma \epsilon) \\ &= 2\omega_b [\beta_b (1 - 2\gamma \epsilon) - \epsilon^{1/2} \beta_s] \end{aligned} \quad (3.23a)$$

ve

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{2\omega_b \beta_b M - \epsilon \{(1/\gamma)[1 - (1 - \lambda) \epsilon]\} 2\omega_s \beta_s m}{[M(1 - \gamma)/\gamma][1 - 2(1 - \gamma) \epsilon]} \\ &= (2\omega_b \beta_b - \epsilon 2\omega_s \beta_s) [1 + 2(1 - \gamma) \epsilon] \frac{\gamma}{1 - \gamma} \\ &= 2\omega_b \left\{ \beta_b [1 + 2(1 - \gamma) \epsilon] - \epsilon^{1/2} \beta_s \right\} \frac{\gamma}{1 - \gamma} \end{aligned} \quad (3.23b)$$

olarak elde edilir.

Yapısal uygulamaların büyük bir kısmında sönüm yeterince küçük kabul edilebilir ve diyagonal olmayan bileşenlerin (burada λ_1 ve λ_2) etkisi ihmal edilebilir ve etkileşimsiz (ayrık) modal hareket denklemleri elde edilir:

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 + 2\omega_1 \beta_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -L_1 \ddot{u}_g \\ \ddot{q}_2 + 2\omega_2 \beta_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -L_2 \ddot{u}_g \end{aligned} \quad (3.24)$$

Eğer yer hareketinin zamana bağlılığı $\ddot{u}_g(t)$ biliniyorsa, modal bileşenler $q_1(t)$ ve $q_2(t)$ hesaplanabilir:

$$q_1 = \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^1 \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau \quad (3.25a)$$

$$q_2 = \frac{L_2}{\omega_2} \int_0^1 \ddot{u}_g(t - \tau) e^{-\omega_2 \beta_2 \tau} \sin \omega_2 \tau d\tau \quad (3.25b)$$

q_1 ve q_2 'nin en büyük değerleri ise:

$$|q_1|_{\max} = L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (3.26a)$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (3.26b)$$

ile verilir. Burada, $S_D(\omega, \beta)$ yer hareketinin ω frekansında ve β sönüm faktörü için yer değiştirme tepki spektrumudur.

İzolasyon sisteminin ve yapının en büyük yer değiştirme değerleri, SRSS (karelerin toplamının kare kökü) metoduyla belirlenir.

$$|v_s|_{\max} = \left[(\phi_{21} |q_1|_{\max})^2 + (\phi_{22} |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.27a)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[(\phi_{11} |q_1|_{\max})^2 + (\phi_{12} |q_2|_{\max})^2 \right]^{1/2} \quad (3.27b)$$

Daha önceki 3.15, 3.16, 3.27a ve 3.27b denklemlerinin sonuçları kullanılarak,

$$\begin{aligned} |v_b|_{\max} &= \left\{ [L_1 S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [L_2 S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (3.28)$$

ve

$$\begin{aligned} |v_s|_{\max} &= \left\{ \epsilon^2 (1 - \gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \epsilon^2 \frac{1}{\gamma^2} [1 - (1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ (1 - 2\gamma \epsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1 - 2(1 - \gamma) \epsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (3.29)$$

bulunur.

Genel olarak, yüksek frekanslardaki (ω_2) yer değiştirmeler, düşük frekanslardaki (ω_1) yer değiştirmelerden fazlaca küçük kaldığı için,

$$\epsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2$$

terimi ihmal edilebilir. Böylece,

$$|v_b|_{\max} = (1 - \gamma \epsilon) S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (2.30)$$

yazılabilir. Eğer ϵ^2 'den yüksek terimler ihmal edilirse, üst yapıda en büyük görelî yer değıştirme,

$$|v_s|_{\max} = \epsilon \left[S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \quad (2.31)$$

yazılabilir. Benzer şekilde, taban kesme kuvveti katsayısı C_s ,

$$\begin{aligned} C_s &= \left| \frac{k_s v_s}{m} \right|_{\max} = \omega_s^2 |v_s|_{\max} \\ &= \omega_s^2 \epsilon \left[S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[\omega_b^4 S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + \epsilon^2 \omega_s^4 S_D(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[S_A(\omega_1, \beta_1)^2 + \epsilon^2 S_A(\omega_2, \beta_2)^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (2.32)$$

ifadesini alır. Sadece ilk terimleri dikkate alarak,

$$|v_s|_{\max} = \frac{\epsilon S_V}{\omega_b} = \epsilon S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (2.33)$$

$$|v_b|_{\max} = \frac{S_V}{\omega_b} = S_D(\omega_b, \beta_b) \quad (2.34)$$

ve

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{k_s v_s}{m} = \omega_s^2 v_s \\ &= \omega_b S_V \left[1 + \epsilon^2 \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \right]^{1/2} = S_A(\omega_b, \beta_b) \left(1 + \frac{\epsilon}{1 - \gamma} \right)^{1/2} \\ &\approx S_A(\omega_b, \beta_b) \end{aligned} \quad (2.35)$$

yazılır. Bu ifadeler şunu belirtmektedir: Küçük ϵ değeri ve tipik bir tasarım spektrumu için, izolasyon sisteminin tasarımı ilk adım olarak görelî taban yer değıştirmesi $S_D(\omega_b, \beta_b)$ alınarak ve üst yapının tasarımı ise taban kesme kuvveti katsayısının $S_A(\omega_b, \beta_b)$ alınmasıyla yapılabilir. $C_s = S_A(\omega_s, \beta_s)$ olan ankastre tabanlı bir yapıyla karşılaştırıldığında, taban kesme kuvvetindeki azalma $S_A(\omega_b, \beta_b) / S_A(\omega_s, \beta_s)$ oranı ile belirlenebilir. Sabit – hız spektrumu için bu oran ω_b / ω_s veya $\epsilon^{1/2}$ ile verilir; genelde β_b, β_s 'den büyük olduğu için, taban kesme kuvvetindeki azalma olması gerekenin altında kalır.

3.2. Teorinin Bina Tipi Yapılara Uygulanması

3.2.1. Çok serbestlik dereceli sistemlerin hareket denklemleri

Basit lineer modelin iki serbestlik dereceli analizi çok katlı binalar için geliştirilebilir. Kütle matrisi $\mathbf{M}$, sönüm matrisi $\mathbf{C}$ ve rijitlik matrisi $\mathbf{K}$ olan bir yapı sistemini ele alalım. Konvansiyonel yapı sistemi için, her bir serbestlik derecesinin yere göre görelî yer değıştirmesi,

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \mathbf{u} = -\mathbf{M} \mathbf{r} \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (3.36)$$

formundaki hareket denklemi ile verilir. Burada $\mathbf{r}$, her bir serbestlik derecesini yer hareketiyle etkinleştiren bir vektördür. Bu yapısal model, taban kütlesi m_b , rijitliği k_b ve sönümü c_b olan bir taban izolasyon sisteminin üstüne oturtulduğunda, denklem 3.36'nın yeni formu,

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K} \mathbf{v} = -\mathbf{M} \mathbf{r} (\ddot{\mathbf{u}}_g + \ddot{\mathbf{v}}_b) \quad (3.37)$$

olur. Burada, $\mathbf{v}$, taban döşemesine göre yer değıştirme ve $\mathbf{v}_b$, taban döşemesinin yere göre yer değıştirmesidir. Bina ve taban izolasyon sisteminin oluşturduğu birleşik sistemin hareket denklemi:

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M} (\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{r} \ddot{\mathbf{v}}_b + \ddot{\mathbf{u}}_g) + m_b (\ddot{\mathbf{v}}_b + \ddot{\mathbf{u}}_g) + c_b \dot{\mathbf{v}}_b + k_b \mathbf{v}_b = 0 \quad (3.38)$$

Bir başka formda,

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{v}} + (m + m_b) \ddot{\mathbf{v}}_b + c_b \dot{\mathbf{v}}_b + k_b \mathbf{v}_b = -(m + m_b) \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (3.39)$$

yazılabilir. Denklem 2.39'da $\mathbf{r}^T \mathbf{M} \mathbf{r}$ üst yapının toplam kütlesi m , $m + m_b$ ise izolasyon sisteminin taşıdığı toplam kütledir. Matris formunda,

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K} \mathbf{v} = -\mathbf{M} \mathbf{r} \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (3.40)$$

şeklini alır. Açılımlar aşağıdadır:

$$\begin{aligned}
\mathbf{M}^* &= \begin{bmatrix} \mathbf{m} + \mathbf{m}_b & \mathbf{r}^T \mathbf{M} \\ \mathbf{M} \mathbf{r} & \mathbf{M} \end{bmatrix} \\
\mathbf{C}^* &= \begin{bmatrix} \mathbf{c}_b & 0 \\ 0 & \mathbf{C} \end{bmatrix} \\
\mathbf{K}^* &= \begin{bmatrix} \mathbf{k}_b & 0 \\ 0 & \mathbf{K} \end{bmatrix} \\
\mathbf{r}^* &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\
\mathbf{v}^* &= \begin{bmatrix} \mathbf{v}_b \\ \mathbf{v} \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

3.2.2 Çok serbestlik dereceli sistemlerin modal analizleri

Ankastre mesnetli yapıların doğal modlarının biliniyor olduğu varsayılır ve ϕ^i [$i = 1, 2, \dots, N$] ile adlandırılırlar. Bu mod şekillerinin terimlerini kullanarak, yapının her bir serbestlik derecesinin yer değiştirmesi,

$$\mathbf{v} = \sum_{i=1}^N q \phi_i \quad (3.41)$$

ile temsil edilebilir. Doğal frekanslar, ω_i^2 ,

$$\mathbf{M} \phi_i \omega_i^2 = \mathbf{K} \phi_i \quad (3.42)$$

denklemleri ile verilir. Aşağıdaki varsayım yapılmıştır:

$$\phi_i^T \mathbf{C} \phi_j = 0 [i \neq j]$$

Hareket denkleminin matris formu $N + 1$ sayıda denklem takımına dönüştürülebilir:

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{r}^T \mathbf{M} \phi_i \ddot{q}_i + (\mathbf{m} + \mathbf{m}_b) \ddot{q}_b + \mathbf{c}_b \dot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{k}_b \mathbf{v}_b = -(\mathbf{m} + \mathbf{m}_b) \ddot{q}_g \quad (3.43a)$$

ve

$$\ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i (\ddot{q}_g + \ddot{q}_b) [i=1, \dots, N] \quad (3.43b)$$

yazılır. Burada, L_i , ankastre mesnet durumunda modların katılma faktörleridir.

$$L_i = \frac{\phi_i^T M r}{\phi_i^T M \phi_i} \quad (3.44)$$

Ankastre mesnet durumunda modal kütleler,

$$M_i = \phi_i^T M \phi_i \quad (3.45)$$

olarak verilir. Denklemler aşağıdaki formda yazılabilir:

$$\sum_{i=1}^N \frac{L_i M_i}{m + m_b} \ddot{q}_i + \ddot{q}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{q}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g \quad (3.46)$$

ve

$$L_i \ddot{q}_b + \ddot{q}_i + 2\omega_i \beta_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -L_i \ddot{u}_g \quad [i=1, \dots, N] \quad (3.47)$$

Genelde, birinci modun üstündeki modlar, üst yapı ve izolasyon sisteminin tasarımında etkili değildir; bu nedenle analizde birinci mod dikkate alınacaktır.

Hemen yukarıdaki hareket denklemlerini, 3.8a ve 3.8b denklemleriyle verilen tek serbestlik dereceli izole edilmiş sistemin hareket denklemleri ile karşılaştırarak, v_b yerine $L_1 v_b$

Ve $\ddot{u}_g$ yerine $L_1 \ddot{u}_g$ kullanılırsa ve

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M}$$

ile

$$\gamma_1 = \frac{L_1^2 M_1}{m + m_b}$$

yer değiştirirse,

$$\begin{aligned} \frac{L_1^2 M_1}{m + m_b} \ddot{u}_g + (L_1 \ddot{u}_b) + 2\omega_b \beta_b (L_1 \dot{u}_b) + \omega_b^2 (L_1 v_b) &= -L_1 \ddot{u}_g \\ (L_1 \ddot{u}_b) + \ddot{u}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{u}_b &= -L_1 \ddot{u}_g \end{aligned} \quad (3.48)$$

elde edilir.

Bu denklemlerin çözümü sonucunda, q_1 için sonuç, tek serbestlik dereceli sistemdeki v_s çözümüne ulaşır.

Tek serbestlik dereceli sistem için elde edilmiş olan yer değiştirme ve taban kesme kuvveti katsayısı büyüklükleri,

$$|v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (3.49)$$

$$C_s = [S_A(\omega_b, \beta_b) + \epsilon^2 (1 - \gamma)^2 S_A^2(\omega_b, \beta_b)]^{1/2} \quad (3.50)$$

çok serbestlik dereceli sistem için aşağıdakilerle yer değiştirir. Maksimum görelî taban yer değiştirmesi,

$$|L_1 v_b|_{\max} = \frac{1}{\omega_b^2} L_1 S_A(\omega_b, \beta_b) \quad (3.51)$$

ile verilir; fakat L_1 terimi eşitliğin her iki tarafında bulunduğu için sonuç öncekiyle aynıdır.

Taban kesme kuvvetini elde etmek için,

$$|q_1|_{\max} = \left[\frac{\epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_b, \beta_b)}{\omega_b^{*4}} + \frac{\epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s, \beta_s)}{\omega_s^{*4}} \right]^{1/2} \quad (3.52)$$

büyükluğu kullanılabilir. Burada ω_s^*, β_s^* daha önce hesap edilenlerle aynıdır, $\epsilon, \epsilon_1 = \omega_b^2 / \omega_1^2$ ile yer değiştirir. Görelî yer değiştirme vektörü $\mathbf{v}$,

$$\mathbf{v} = q_1 \phi_1 \quad (3.53)$$

ile verilir ve sönüm katılımları ihmal edilerek, her bir elemandaki atalet kuvvetleri hesaplanır:

$$\mathbf{F} = \mathbf{K} \mathbf{v} = q_1 \mathbf{K} \phi_1 = q_1 \mathbf{M} \phi_1 \omega_1^2 \quad (3.54)$$

Üst yapı için toplam yatay kuvvet:

$$r^T \mathbf{F} = q_1 \omega_1^2 L_1 M_1 \quad (3.55)$$

Taban kesme kuvveti katsayısı C_s ile ifade edilirse,

$$C_{sm} = r^T F \quad (3.56)$$

Böylece,

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{L_1 M_1}{m} \left[L_1^2 S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \epsilon^2 L_1^2 S_A^2(\omega_s, \beta_s) \right]^{1/2} \\ &= \frac{L_1^2 M_1}{m} \left[S_A^2(\omega_b, \beta_b) + (1 - \gamma_1)^2 \epsilon^2 S_A^2(\omega_s, \beta_s) \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (3.57)$$

yazılır. Burada, daha önce ifade edildiği şekliyle $\epsilon = \omega_b^2 / \omega_1^2$ dir.

3.3. Hareket Denklemlerinde Sönüm Etkilerinin Dikkate Alınması

Yapısal uygulamaların büyük bir kısmında sönüm küçüktür ve diyagonal olmayan bileşenlerin etkisi ihmal edilerek etkileşimsiz (ayrık) modal hareket denklemlerinden çözüme ulaşılır. Çok serbestlik dereceli sistemler için yukarıda uygulanan analizler, bu varsayım doğrultusunda taban yer değiştirmesi, taban kesme kuvveti ve katlar arası görelî yer değiştirmelerinin basit sonuçlarını verirler. Taban izolasyonlu yapılarla ilgili mevcut şartnamelerde öngörülen tasarım yer değiştirmesi değerlerinin güvenli tarafta olmasından dolayı, tasarımcılar bu büyük yer değiştirmeleri sınırlandırmak için ek viskoz sönümleyiciler kullanma yolunu seçerler. Bunun sonucu olarak, izolasyon sisteminde 0,50 mertebesinde bir sönüm faktörü elde edilir. Açık olarak, bu seviyede bir sönüm için hareket denklemlerinin etkileşimsiz (ayrık) olacağı düşünülemez.

ϵ 'de sıfırncı mertebede dört adet sönüm terimi vardır ve diyagonal olmayan bileşenler, diyagonal bileşenlerle aynı mertebeye sahiptir:

$$\begin{aligned} 2\omega_1\beta_1 &= 2\omega_b\beta_b \\ 2\omega_2\beta_2 &= \frac{1}{1-\gamma} 2\omega_s\beta_s \\ \lambda_1 &= 2\omega_b\beta_b \\ \lambda_2 &= 2\omega_b\beta_b \frac{\gamma}{1-\gamma} \end{aligned}$$

$L_1 \approx O(1)$ ve $L_2 \approx O(\epsilon)$ olduğu dikkate alınarak,

$$\begin{aligned} L_1 &= 1 - \gamma \epsilon \approx 1 \\ L_2 &= \gamma \epsilon \in (\epsilon \ll 1) \end{aligned}$$

$\lambda_1 \ddot{q}_2$ teriminin q_1 sonucu üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceği ve

$\lambda_2 \ddot{q}_1$ teriminin q_2 üzerindeki etkisinin büyük olacağı varsayımı yapılır.

Böylece modal katsayılarla (q_1, q_2) verilen 3.17a ve 3.17b hareket denklemleri bu doğrultuda değiştirilir:

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1\dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -L_1 \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_2 + 2\omega_2\beta_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -L_2 \ddot{q}_1 - \lambda_2 \ddot{q}_1 \end{aligned} \quad (3.58)$$

Çözümü kolaylaştırmak için bu denklemler Laplace fonksiyonuna dönüştürülür:

$$LT[f(t)] = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt = \bar{f}(s)$$

Laplace geçiş formunda terimler,

$$\begin{aligned} \bar{q}_1(s) &= \frac{L_1 \bar{a}(s)}{s^2 + 2\omega_1\beta_1 s + \omega_1^2} \\ \bar{q}_2(s) &= \frac{L_2 \bar{a}(s)}{s^2 + 2\omega_2\beta_2 s + \omega_2^2} + \frac{\lambda_2 L_1 s \bar{a}(s)}{(s^2 + 2\omega_2\beta_2 s + \omega_2^2)(s^2 + 2\omega_1\beta_1 s + \omega_1^2)} \\ &= -L_2 A_1(s) \bar{a}(s) + \lambda_2 L_1 A_2(s) \bar{a}(s) \end{aligned} \quad (3.59)$$

eşitlikleriyle ifade edilirler. Burada,

$$\bar{a}(s) = LT[\ddot{q}_g]$$

dir. $A_2(s)$ terimi kısmi kesirlerle indirgenebilir:

$$A_2(s) = \frac{a + b_s}{s^2 + 2\omega_1\beta_1 s + \omega_1^2} + \frac{c + ds}{s^2 + 2\omega_2\beta_2 s + \omega_2^2}$$

Bir takım operasyondan sonra,

$$\begin{aligned}
a &= \frac{\omega_1^2 (2\omega_2\beta_2 - 2\omega_1\beta_1)}{D} \\
b &= \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} \\
c &= \frac{\omega_2^2 (2\omega_2\beta_2 - 2\omega_1\beta_1)}{D} \\
d &= -\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D}
\end{aligned} \tag{3.60}$$

ve

$$D = (\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 + (2\omega_2\beta_2 - 2\omega_1\beta_1)(\omega_1^2 2\omega_2\beta_2 - \omega_2^2 2\omega_1\beta_1) \tag{3.61}$$

bulunur. $A_2(s)$ 'i oluşturan iki terimin tersini almak için aşağıdaki geçiş formu takip

$$LT^{-1} = \left[\frac{s - \alpha}{(s - \alpha)^2 + \gamma^2} \right] = e^{\alpha t} \cos \gamma t$$

edilecektir.

ve

$$LT^{-1} = \left[\frac{1}{(s - \alpha)^2 + \gamma^2} \right] = \frac{1}{\gamma} e^{\alpha t} \sin \gamma t$$

İlk terimin tersi:

$$be^{-\omega_1\beta_1 t} \cos \overline{\omega_1 t} + (a - b\overline{\omega_1\beta_1}) \frac{e^{-\omega_1\beta_1 t} \sin \overline{\omega_1 t}}{\overline{\omega_1}}$$

İkinci terimin tersi:

$$de^{-\omega_2\beta_2 t} \cos \overline{\omega_2 t} + (c - d\overline{\omega_2\beta_2}) \frac{e^{-\omega_2\beta_2 t} \sin \overline{\omega_2 t}}{\overline{\omega_2}}$$

Yukarıda,

$$\begin{aligned}
\overline{\omega_1} &= \omega_1 (1 - \beta_1^2)^{1/2} \\
\overline{\omega_2} &= \omega_2 (1 - \beta_2^2)^{1/2}
\end{aligned}$$

şeklinde açımlanır.

$q_1(t)$ ve $q_2(t)$ için çözüm, denklem 2.60'daki a, b, c ve d tanımlarının da yerini almasıyla, son aşamada aşağıdadır:

$$q_1(t) = -\frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{x}_g(t-\tau) e^{-\omega_1 \beta_1 \tau} \sin \omega_1 \tau d\tau$$

$$q_2(t) = -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 \tau(t-\tau)} \sin \omega_2(t-\tau) \ddot{x}_g(\tau) d\tau \quad (3.62a)$$

$$+ \lambda_2 L_1 \left\{ \begin{aligned} & \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1(t-\tau)} \cos \omega_1(t-\tau) \ddot{x}_g(\tau) d\tau \\ & + \frac{\omega_1^2(2\omega_2\beta_2) - (\omega_1^2 + \omega_2^2)\omega_1\beta_1}{D} \frac{1}{\omega_1} \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1(t-\tau)} \sin \omega_1(t-\tau) \ddot{x}_g(\tau) d\tau \\ & - \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2(t-\tau)} \cos \omega_2(t-\tau) \ddot{x}_g(\tau) d\tau \\ & - \frac{(\omega_1^2 + \omega_2^2)\omega_2\beta_2 - \omega_2^2(2\omega_1\beta_1)}{D} \frac{1}{\omega_2} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2(t-\tau)} \sin \omega_2(t-\tau) \ddot{x}_g(\tau) d\tau \end{aligned} \right\} \quad (3.62b)$$

Herhangi bir yer hareketi $\ddot{x}_g(t)$ için bu entegraller hesaplanabilir.

ω_1, ω_2 terimlerini tutan ifadeler 2.10 denklemi kullanılarak nominal frekanslar ω_b, ω_s cinsinden tekrar yazılabilirler.

$$\omega_2^2 - \omega_1^2 = \frac{1}{1-\gamma} [(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2 - 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2}$$

$$\omega_2^2 + \omega_1^2 = \frac{\omega_s^2 + \omega_b^2}{1-\gamma}$$

$$\omega_1^2\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2\omega_b^2}{1-\gamma}$$

Yukarıdaki 2.62b denkleminde q_2 ifadesinde her terimde yer alan paydadaki D,

$$D = (\omega_2^2 - \omega_1^2)^2 - 4\omega_1^2\omega_2^2(\beta_1^2 + \beta_2^2) + 4\omega_1^2\omega_2^2(\omega_2^2 - \omega_1^2)\beta_1\beta_2$$

şu ifadeyi alır:

$$D = \frac{1}{(1-\gamma)^2} [(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2 + 4\omega_s^2\omega_b^2 - 4(1-\gamma)\omega_s^2\omega_b^2\beta_1^2\beta_2^2 + 4(1-\gamma)^{1/2}\omega_s\omega_b(\omega_s^2 + \omega_b^2)\beta_1\beta_2]$$

Aşağıda yapılan mertebe varsayımıyla her terim için biraz daha sadeleştirme yapılabilir:

$$\gamma = O(1)$$

$$\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \epsilon \ll 1$$

ϵ 'de birinci mertebe için,

$$D = \frac{\omega_s^4}{(1-\gamma)^2} [1 - 2(1-2\gamma)\epsilon]$$

ve

tüm entegrallerin çarpanları,

$$\begin{aligned} \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{D} &= \frac{\omega_2^2}{(1-\gamma)} [1 - (1-2\gamma)\epsilon] \frac{1}{D} \\ &= \frac{(1-\gamma)}{\omega_s^2} [1 + (1-2\gamma)\epsilon] \\ \frac{\omega_1^2 (2\omega_2 \beta_2) - (\omega_1^2 + \omega_2^2) \omega_1 \beta_1}{D \omega_1} &= \frac{(1-\gamma)}{\omega_2^2} \beta_1 \\ \frac{(\omega_1^2 + \omega_2^2) \omega_2 \beta_2 - \omega_2^2 (2\omega_1 \beta_1)}{D \omega_2} &= \frac{(1-\gamma)}{\omega_s^2} \beta_2 \end{aligned}$$

olarak yazılabilir.

ϵ 'de birinci mertebe için, q_1 ve q_2 ifadeleri:

$$\begin{aligned} q_1(t) &= -\frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_1} (t-\tau) \frac{\omega_2}{\omega_1} (\tau) d\tau \\ q_2(t) &= -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_2} (t-\tau) \frac{\omega_1}{\omega_2} (\tau) d\tau \end{aligned} \quad (3.63)$$

$$\begin{aligned}
& + \lambda_2 L_1 \frac{(1-\gamma)}{\omega_s^2} \left\{ \begin{aligned} & [1 + (1-2\gamma) \epsilon] \left[\begin{aligned} & \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1 (t-\tau)} \cos \overline{\omega_1} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau \\ & - \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \cos \overline{\omega_2} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau \end{aligned} \right] \\ & - \beta_1 \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_1} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau \\ & - \beta_2 \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_2} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau \end{aligned} \right\} \quad (3.64)
\end{aligned}$$

3.63 ve 3.64 denklemlerindeki entegraller için aşağıdaki tanımlamaları yapmak uygun olacaktır:

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_1} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau \\
I_2 &= \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \sin \overline{\omega_2} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau \\
I_3 &= \int_0^t e^{-\omega_1 \beta_1 (t-\tau)} \cos \overline{\omega_1} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau \\
I_4 &= \int_0^t e^{-\omega_2 \beta_2 (t-\tau)} \cos \overline{\omega_2} (t-\tau) \mathfrak{A}_g(\tau) d\tau
\end{aligned}$$

Şimdi, katlar arası görelî yer değıştirmeleri ve kat ivmelerini belirleyelim. Bu iki büyüklük biri birine,

$$\left| \mathfrak{A}_s \right|_{\max} = \frac{k_s |v_s|_{\max}}{m} \quad (3.65)$$

eşitliğiyle bağlıdır. Dolayısıyla v_s 'in belirlenmesiyle kat ivmeleri de belirlenecektir ile verilir.

$$\begin{aligned}
v_s &= q_1 \phi_s^1 + q_2 \phi_s^2 \\
v_s &= -\epsilon \frac{L_1}{\omega_1} I_1 + \frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma) \epsilon] \frac{L_2}{\omega_2} I_2 - \frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma) \epsilon] \lambda_2 \lambda_1 \frac{(1-\gamma)}{\omega_2^2} \{ [1 + (1-2\gamma) \epsilon] (I_3 - I_4) - \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 \} \\
& (3.66)
\end{aligned}$$

Hesaplanan bu değer üç ayrı parçanın toplamı şeklindedir:

(i) İzolasyon sisteminin oluşturduğu kesme kuvveti kaynaklı

$$v_s^{(1)} = -\epsilon \frac{L_1}{\omega_1} I_1 \quad (3.67)$$

(ii) Ayrık modal denklemlerin sonucu olarak gelen

$$v_s^{(2)} = \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma) \epsilon] \frac{L_2}{\omega_2} I_2 \quad (3.68)$$

(iii) Etkileşimli terimlerden gelen katkı

$$v_s^{(3)} = -\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma) \epsilon] \lambda_2 L_1 \frac{(1 - \gamma)}{\omega_s^2} \{ [1 + (1 - 2\gamma) \epsilon] (I_3 - I_4) - \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 \} \quad (3.69)$$

Entegraller I_1, I_2, I_3, I_4 tepki spektrumu analizi için belirlenebilir:

Burada S_D , yer değiştirme tepki spektrumudur.

$$\frac{1}{\omega_1} |I_1|_{\max} = S_D(\omega_1, \beta_1) \quad \frac{1}{\omega_2} |I_2|_{\max} = S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (3.70)$$

$$\left| \int_0^t e^{-\omega \beta (t-\tau)} \cos \omega(t-\tau) \ddot{x}_g(\tau) d\tau \right|_{\max} \quad (3.71)$$

Bu ifade, frekansı ω , sönüm faktörü β olan tek serbestlik dereceli osilatör için göreceli hız tepki spektrumudur ($S_{RV}(\omega, \beta)$). 2.64 denklemindeki dört integralin en büyük değerleri farklı zamanlarda oluşur ve SRSS (karelerin toplamının karekökü) metodu

$$\begin{aligned} |v_s^{(1)}|_{\max} &= \epsilon L_1 S_D(\omega_1, \beta_1) \\ |v_s^{(2)}|_{\max} &= \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma) \epsilon] L_2 S_D(\omega_2, \beta_2) \\ |v_s^{(3)}|_{\max} &= \frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma) \epsilon] \lambda_2 L_1 \frac{(1 - \gamma)}{\omega_s^2} \\ &\quad \left\{ [1 + (1 - 2\gamma) \epsilon]^2 [\omega_1^2 S_D^2(\omega_1, \beta_1) + \omega_2^2 S_D^2(\omega_2, \beta_2)] \right. \\ &\quad \left. + \beta_1^2 \omega_1^2 S_D^2(\omega_1, \beta_1) + \beta_2 \omega_2^2 S_D^2(\omega_2, \beta_2) \right\}^{1/2} \end{aligned} \quad (3.72)$$

kullanılarak v_s 'yi oluşturan üç katkının maksimumları belirlenir:

İzole edilmiş yapılar için düzenlenmiş bulunan tüm tasarım şartnameleri sabit – hız spektrası esaslıdır. Bu nedenle yukarıdaki çeşitli terimler şöyle ilişkilendirilebilir:

$$S_v(\omega, \beta) = S_v H(\beta)$$

S_v sabittir ve $H(\beta)$ sönüm değiştirme fonksiyonudur, artan β değerleriyle azalır ve $\beta = 0,05$ değerinde birim olur. Gerek tablolar halinde gerekse sürekli fonksiyonlar olarak bu tür çeşitli fonksiyonlar mevcuttur. Basit bir forma sahip olan Kawashima – Aizawa fonksiyonu ele alınabilir:

$$H(\beta) = \frac{1.5}{1 + 40\beta} + 0.5 \quad (3.73)$$

Burada, $H(0) = 2$, $H(0.05) = 1$, $\beta \rightarrow \infty$ $H \rightarrow 0.5$ 'e yakınsar. Bu formun sabit – hız spektrumunu ve önceki bölümden elde edilen L_1 , L_2 , ω_1 , ω_2 modal büyüklüklerinin sonuçlarını kullanarak aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$\begin{aligned} |v_s^{(1)}|_{\max} &= \frac{S_v}{\omega_b} H(\beta_1) \\ |v_s^{(2)}|_{\max} &= \epsilon^{2/3} (1 - \gamma)^{1/2} \frac{S_v}{\omega_b} H(\beta_2) \\ |v_s^{(3)}|_{\max} &= 2 \epsilon \beta_b \left\{ [1 + 2(1 - 2\gamma) \epsilon + \beta_1^2] H^2(\beta_1) + [1 + 2(1 - 2\gamma) \epsilon + \beta_2^2] H^2(\beta_2) \right\}^{1/2} \frac{S_v}{\omega_b} \end{aligned} \quad (3.74)$$

Açık olarak, β_b 'nin küçük değerleri için, $\beta \approx 0.10$, ilk terim, $|v_s^{(1)}|_{\max}$, baksın terimdir. β_b 'nin tüm değerleri için, ikinci terim, $|v_s^{(2)}|_{\max}$, her zaman ilk terimden küçük kalır ve ihmal edilebilir. Üçüncü terimin etkisi ise, $|v_s^{(3)}|_{\max}$ β_b 'nin değerine bağlı olarak değişir. β_b 'in genelde aldığı değerler için, β_2^2 'nin değeri bire göre küçük kalır ve

$$\frac{v_s^{(3)}}{v_s^{(1)}} = R = \frac{2\beta_b \left\{ (1 + \beta_1^2) H^2(\beta_1) + H^2(\beta_2) \right\}^{1/2}}{H(\beta_1)} \quad (3.75)$$

oranı yazılabilir. $\beta_1 \approx \beta_b$ alınır ve

$$\beta_2 \approx \frac{1}{(1-\gamma)^{1/2}} (\beta_s + \gamma^{1/2} \beta_b)$$

yazılabilir. $H(\beta)$ için Kawashima – Aizawa formülü kullanılarak ve $\epsilon=1/25$, $\gamma=1/2$, $\beta_s=0.02$ alarak bu iki terimin oranını $\beta_b=0.10$ iken 0.33, $\beta_b=0.50$ iken 1.80'e yükseldiğini buluruz. Örnek bir proje için uygun düşecek rakamlar kullanarak yukarıdaki ifadeleri somutlaştıralım. Olabilecek en büyük depremde (MCE), şartname gereği yer değiştirme, %5 sönüm ve 2.5 saniyelik bir periyot için, 76 cm. olsun. Yer değiştirmeyi kabul edilebilir bir seviyeye düşürmek için, sisteme lineer viskoz sönümleyiciler ekleyerek sönümü %50 civarına çektiğimizi varsayalım. Bu değer için R faktörü 0.57'dir. şartname notasyonuyla, elastik taban kesme kuvveti $F_s = KD$ olarak verilir. Daha önce,

$$F_s = \frac{K}{M} D \frac{W}{g} = 0.50 W$$

olan bu değer 0.285W (0,57 * 0,50) değerine düşmüştür ve uygun görünmektedir. Viskoz kuvvet,

$$F_v = 2\omega\beta MD$$

$$\beta = 0.50$$

$$D = \omega D$$

için F_s ile aynı değeri alır ($2\omega 0,50 M \omega D = \omega^2 MD = KD$). Maksimum taban kesme kuvveti,

$$\sqrt{2} F_s = 0,40 W$$

bulunur. İlgili maksimum kat ivmeleri,

$$\left| \ddot{x}_s \right|_{\max} = \omega_s^2 \left| v_s \right|_{\max} \quad (3.77)$$

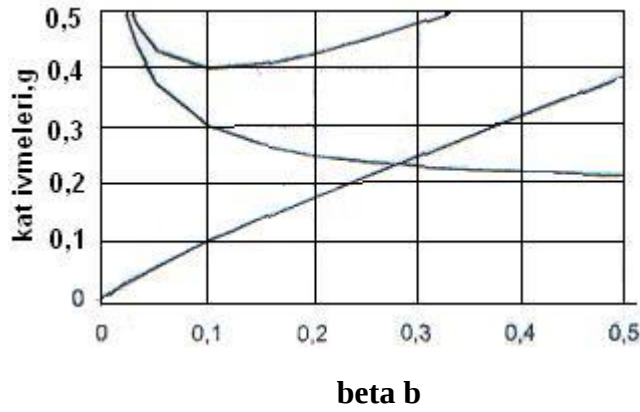
bileşenleriyle,

$$|\ddot{x}_s|^{(1)} \max = \epsilon \frac{S_v}{\omega_b} H(\beta) \omega_s^2 = \omega_b S_v H(\beta_1) \quad (3.78)$$

ve

$$\begin{aligned} |\ddot{x}_s|^{(3)} \max &= \omega_s^2 2 \epsilon \beta_b \left\{ [1 + 2(1 - 2\gamma) \epsilon + \beta_1^2] H^2(\beta_1) + [1 + 2(1 - 2\gamma) \epsilon + \beta_2^2] H^2(\beta_2) \right\}^{1/2} \frac{S_v}{\omega_b} \\ &= 2\omega_b \beta_b \left\{ [1 + 2(1 - 2\gamma) \epsilon + \beta_1^2] H^2(\beta_1) + [1 + 2(1 - 2\gamma) \epsilon + \beta_2^2] H^2(\beta_2) \right\}^{1/2} S_v \end{aligned} \quad (3.79)$$

değerlerini alırlar.



Şekil 3.3 Kat ivmelerinde sönümün etkisi

Şekil 3.3 ile gösterilen grafik, bahsi geçen örnek için maksimum kat ivmelerinin bileşenlerini ve bunların toplamlarını göstermektedir.

Şekil 3.3'deki grafikte, azalan eğri $|\ddot{x}_s|^{(1)}$ değerlerini,

orijinden başlayan ve artan eğri ise $|\ddot{x}_s|^{(3)}$ değerlerini,

üstte kalan çanak eğri ise bunların toplamını göstermektedir.

Bu sonuç şunu söyler: Sisteme sönümleyicilerin eklenmesi (β_b 'nin büyük değerler almasını sağlar) v_b 'yi düşürerek izolatör yer değiştirmesini kontrol altında tutarken, katlar arası görelî yer değiştirme ve kat ivmeleri üzerinde artırıcı, olumsuz bir etki yapar. Sabit – hız tasarım spektrumu için etkileşimli terimler tarafından oluşturulan ivmeler, toplamdaki etkin ivmelerdir. Taban izolasyonlu yapılarda, kat ivmelerini ve katlar arası görelî yer değiştirmeleri taşıyan yüksek modların taban kesme kuvvetiyle ortogonallığı her zaman düşünülemez. Bu nedenle, küçük taban kesme kuvveti efektif bir izolasyon sisteminin garantisi değildir. Bu bağlamda, sistemin

performansını geliştirmek amacıyla ek sönüm kazandırma çabaları gereksiz; sonuçları ise olumsuz olacaktır.

4. İZOLATÖRLERİN MEKANİK KARAKTERİSTİKLERİ

4.1 Giriş

İzolatörlerin tasarım süreci, daha önceki projelerden elde olunan parametreleri kullanarak ya da sistemin yapacağı maksimum yerdeğıştirme ve çeşitli kontrol büyüklüklerinin maksimum değeri (kayma şekil değıştirmesi gibi), yapının taban kesme kuvveti, izolatörlerin kararlılığı ve yapıdaki kolon yüklerine bağı olarak üreticinin vereceğı mekanik özellikler doğrultusunda seçimi ile başlar. Bu ön boyutlamadan sonra, izolatörlerin kesin tasarımına ait alternatifler ve matematik model oluşturulur ve prototip test programları uygulanır. Test sonuçlarına bağı olarak, gerekli tip ve sayıda izolatör üretilir. Daha sonra üretilen izolatörler üzerinde testler yapılır ve montaj aşamasına geçilebilir.

Bu bölümde taban izolasyon sistemlerini oluşturan izolatörlerin ön tasarımları için gerekli olan mekanik özellikleri açıklanmıştır.

4.2 Elastomer Mesnetlerin Mekanik Özellikleri

Tabakalı Elastomer mesnetlerin mekanik karakteristikleri üzerine uzun yıllardır çalışmalar sürdürölmektedir. Doğrusal olmayan tekniklere dayalı kesin analizlerin uygulanmasındaki güçlüklerle karşı, elastik teoriye dayalı basit yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar, laboratuvar testleri ve sonlu elemanlar yöntemi analizleri ile doğrulanmıştır. Elastomer mesnetlerin en önemli özelliğı yatay rijitlikleridir.

$$K_H = GA/t_r \quad (4.1)$$

Burada, G: kauçuğun kayma modülü, A: kauçuğun en kesit alanı, t_r : kauçuğun toplam kalınlığıdır. Maksimum yatay yerdeğıştirme D, maksimum kayma şekil değıştirmesi γ 'ya

$$\gamma = D / t_r \quad (4.2)$$

eşitliğiyle bağlıdır. Mesnet boyutlandırmasında gerekli büyüklükler olan düşey rijitlik K_v ve eğilme rijitliği EI , doğrusal elastik teoriyle belirlenir.

İzole edilmiş bir yapının düşey frekansı, belirli bir sabit yük altında, doğrusal analizle mesnetlerin düşey rijitliği hesaplanarak elde edilebilir.

Diğer önemli mesnet özelliği ise, izolatörlerin burkulma davranışdır. Bu davranış, basınç altındaki mesnetin, eğilme momenti tesirine tepkisiyle açıklanabilir. Uzama rijitliği olarak adlandırılan bu özellik, düşey rijitliğin belirlenmesindeki analizlerin bir uzantısı olarak formüle edilecektir.

Kauçuk bir mesnetin düşey rijitliği,

$$K_v = E_c A / t_r \quad (4.3)$$

formülü ile tanımlanabilir. Burada, A : mesnetin en kesit alanı (levhaların alanı olarak alınır), t_r : toplam kauçuk kalınlığı, E_c : düşey yükün belirli bir seviyesinde, kauçuk – çelik kompozitin basınç modülüdür.

Tek bir kauçuk tabakasının E_c değeri, şekil faktörü S ile kontrol edilir.

$S = \text{yüklenmiş alan} / \text{kuvvet uygulanmayan alan}$

Örnek olarak, t kalınlığında tek bir tabakada, $2b$ genişliğinde sonsuz bir şerit için,

$$S = b / t \quad (4.4)$$

Çapı Φ yada yarıçapı R ve kalınlığı t olan dairesel bir tampon için,

$$S = \Phi / 4t \quad S = R / 2t \quad (4.5)$$

Kenar boyutu a ve kalınlığı t olan kare bir tampon için,

$$S = a / 4t \quad (4.6)$$

Tam dairesel tek tampon için basınç modülü,

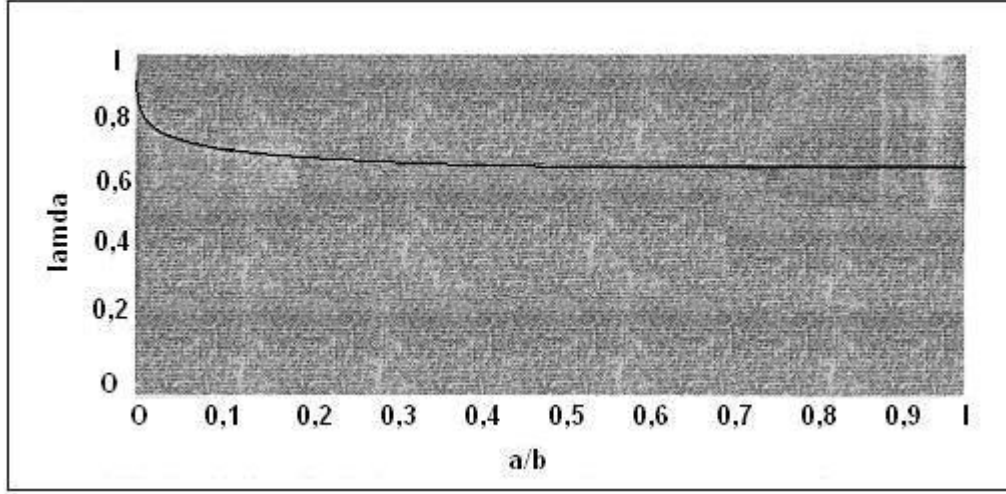
$$E_c = 6GS^2 \quad (4.7)$$

Kare tampon için,

$$E_c = 6,73 GS^2 \quad (4.8)$$

İle belirlenebilir.

Bazı durumlarda, mesnetler halka şeklinde tasarlanabilir. İç yarıçapı a , dış yarıçapı b



Şekil 4.1 Basınç Modülü E_c 'nin geometriye bağlı azalım grafiği

olan bir mesnet için,

$$E_c = 6\lambda GS^2 \quad (4.9)$$

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2) / \ln b/a]}{(b - a)^2} \quad (4.10)$$

$a/b \rightarrow 0$	$\lambda \rightarrow 1$	$E_c = 6GS^2$ (tam dairesel)
$a/b \rightarrow 1$	$a/b = 1 - \varepsilon \quad \varepsilon \rightarrow 0$	$E_c = 4GS^2$ (sonsuz şerit)

λ , $2/3$ değerine çok hızlı yaklaşır. $a/b > 0,10$ durumunda $\lambda = 2/3$ değerini alır ve bu ifade, ufak bir deliğin dahi E_c değerine etkisinin büyük olduğunu gösterir (Şekil 4.1).

Bu nedenle, merkezinde delik bulunan mesnetlerde E_c için $4GS^2$ değeri uygundur.

Basınç etkisinde, sınır çelik plakasının sarma etkisi kauçukta γ_c ile gösterilen kayma şekil değiştirmesi oluşturur. Nominal basınç şekil değiştirmesi ε_c ,

$$\varepsilon_c = \Delta / t_r \quad (4.11)$$

Burada Δ düşey yer değiştirmesi olup

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \quad (4.12)$$

ile belirlidir.

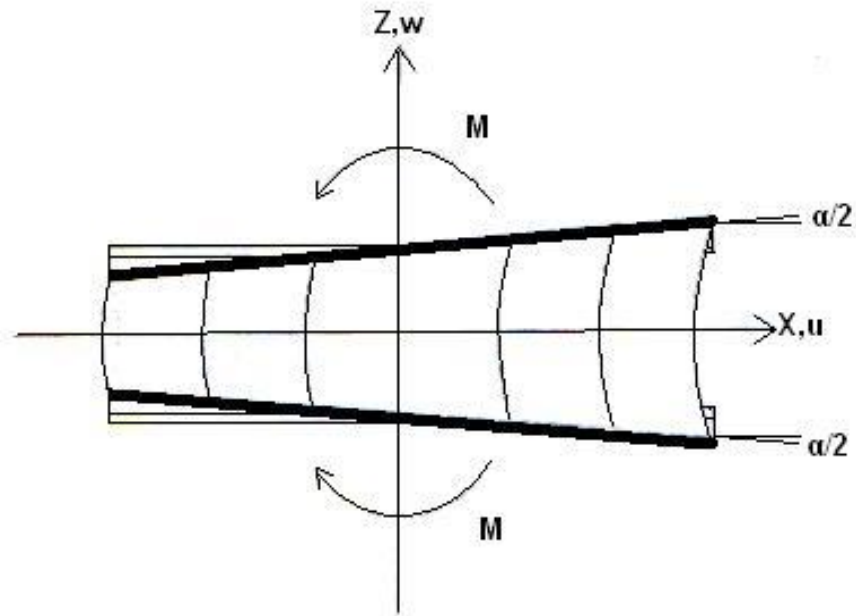
Bu değer, tamponun kenarlarındaki maksimum şekil değiştirmesidir ve tasarım için kullanılır. Kauçuk şekil değiştirmeye hassas olduğu için, farklı şekil değiştirme seviyelerinde kayma modülü değeri değişim gösterir. Ortalama şekil değiştirmeyi elde etmek için kullanılan uygun modül değeri, tamponda depolanmış elastik enerjiden hesaplanır. Ortalama kayma şekil değiştirmesi,

$$\gamma_{ave} = \sqrt{6S\varepsilon_c} \quad (4.13)$$

olarak belirlenir.

Düşey rijitliği elde etmek için kullanılan kayma modülü değeri, bir dizi deneme – yanılma sonra bulunur. İlk olarak kayma modülü için rastkayma modülüyle bir değer seçilir ve ε_c , ardından da γ_{ave} hesaplanır. Daha sonra kayma modülü'nin yeni değeri bulunur ve %20 şekil değiştirmenin üzerinde, modül, şekil değiştirmeye olan bağlılığından sıyrılır ve birkaç iterasyonla uygun değere ulaşılır.

Tamponun eğilme rijitliği de, yer değiştirme değerleriyle oluşturulan benzer bir yaklaşımla hesaplanır. Tampona yalnız M momenti etki etmektedir ve üst / alt tutucu plakaların dönmesi şeklinde deformasyon oluşmaktadır. Alt ve üst plakalar arası



Şekil 4.2 Salt eğilme etkisinde, tutucu tabakalar arasında kauçuk tampon

Rölatif açısı α (Şekil 4.2), eğrilik yarı çapı ρ ile gösterilirse,

$$1/\rho = \alpha / t \quad (4.14)$$

yazılır. Kiriş teorisine benzerlik kurularak eğilme momenti,

$$M = EI / \rho \quad (4.15)$$

$$M = (EI)_{\text{eff}} \alpha / t \quad (4.16)$$

ilr hesaplanır. Yarıçapı R olan dairesel bir tampon için eğilme momenti,

$$M = (3\alpha G / 2_t^3)(\pi R^6 / 12) \quad (4.17)$$

olur. Dairesel kesitli bir kiriş için $I = \pi R^4 / 4$ olduğu bilinmektedir. Fakat burada, EI terimindeki $E = E_c = 6GS^2$ olarak alınır $I = \pi R^4 / 12$ bulunur. Bu değer kirişin atalet momentinin $1/3$ 'üdür. Fark, mesnette basınç dağılışının mesnet boyunca kübik parabol şeklinde oluşmasına karşın, kirişteki eğilme gerilme dağılışının doğrusal değişmesidir. Kare tampon durumunda, eğilme rijitliği EI , kiriş EI 'sının $1/3$ 'üne çok yakındır.

$$(EI)_{\text{ef}} = E_c (0,329I) \quad (4.18)$$

Merkezi delikli dairesel tampon için,

$$(EI)_{\text{eff}} = 2GS^2I \frac{(b+a)^2}{(b^2 - a^2)} \quad (4.19)$$

yazılabilir. Eğilme etkisiyle oluşan kayma şekil değiştirmeleri,

$$\gamma_b = 6S\varepsilon_b \quad (4.20)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, $\varepsilon_b = R(\alpha / t)$ eğilme sonucu oluşan kenar basınç şekil değiştirmesidir. Ortalama kayma şekil değiştirmesi,

$$\begin{aligned} \gamma_b^{\text{ort}} &= \sqrt{2}S^2\alpha \\ &= \sqrt{2}S(R/4)(\alpha / t) \\ &= \sqrt{2/4}(S\varepsilon_b) \end{aligned} \quad (4.21)$$

Tamponun şekil faktörü büyüdükçe, kauçuğun sıkıştırılabilme özelliği önem kazanır.

$$1/E_c = 1/E'_c + 1/K \quad (4.22)$$

Burada, $1/E'_c$: sıkıştırılmayan durumda basınç modülü, K: malzemenin hacim modülüdür. K, geniş aralıkta değerler alır (1000MPa – 2500MPa). Mesnetlerin laboratuvar test sonuçlarına uygun düşen değer 2000MPa'dır. Formül,

$$E_c = (E'_c K) / (E'_c + K) \quad (4.23)$$

olarak yeniden düzenlenirse, dairesel tampon durumunda, $E'_c = 6GS^2$ olmak üzere

$$\begin{aligned} E_c &= (6GS^2 K) / (6GS^2 + K) \\ &= 6GS^2 [1 / (1 + 6GS^2 / K)] \end{aligned} \quad (4.24)$$

olaak bulunur.

4.3 Kurşun – Kauçuk Mesnet Mekanik Özellikleri

Kurşun – Kauçuk mesnetler bilineer elemanlar olarak modellenirler ve karakteristikleri üç parametreye bağlıdır: K_1 , K_2 ve Q. Elastik rijitlik K_1 'in belirlenmesi zordur ve akma sonrası rijitlik olarak tarif edilen, kauçuğun kayma modülü ve mesnet boyutlarından kesin bir şekilde hesaplanan K_2 'nin ampirik olarak belirli bir katsayı ile çarpılması sonucu elde edilir. Karakteristik mukavemet Q, kuvvet – yer değiştirme grafiğinde bir büyüklüktür ve kurşunun akma gerilmesi (10,3MPa) ile kurşun çekirdeğin alanına bağlı olarak belirlenir.

Kurşun – Kauçuk mesnetin efektif rijitliği, kuvvet – yer değiştirme grafiğinin en alt noktası ile en üst noktasını birleştiren doğru parçasının eğimidir ve yer değiştirme arttıkça değeri küçülür. Temel parametreler cinsinden,

$$K_{eff} = K_2 + Q/D \quad D \geq D_y \quad (4.25)$$

Burada D_y : akma yer değiştirmesidir. Doğal frekans ω ,

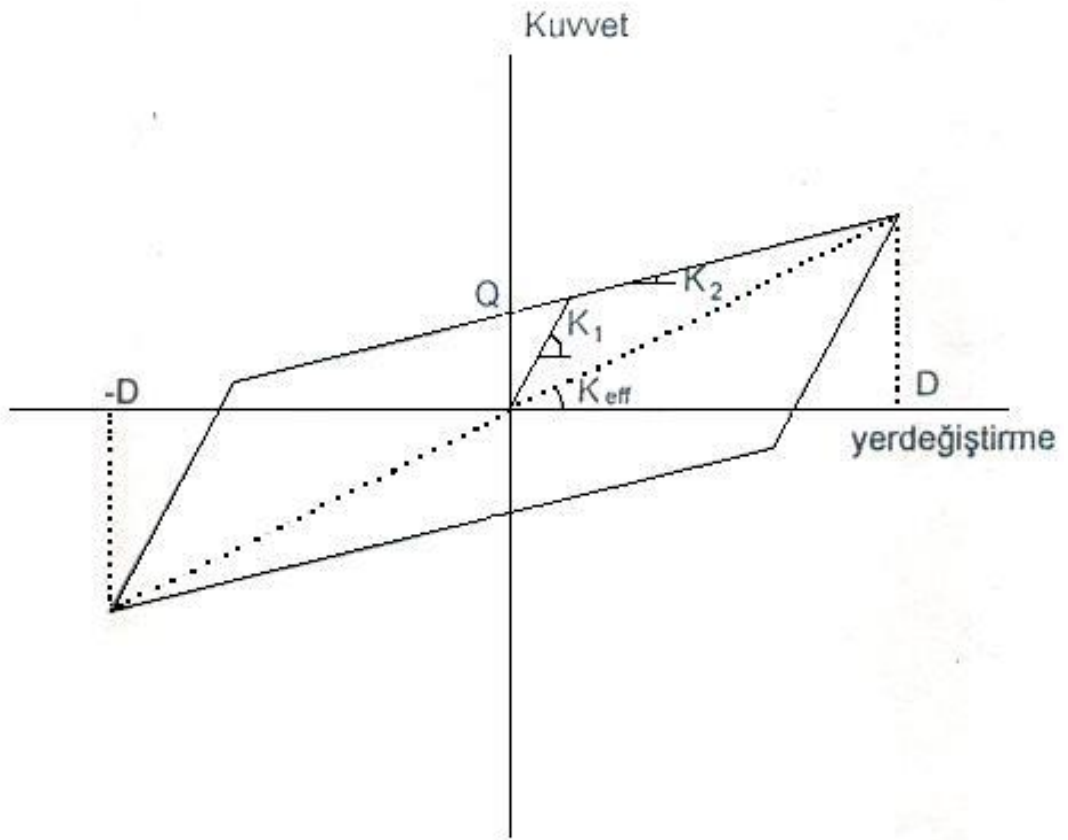
$$\begin{aligned}\omega &= \sqrt{K_{\text{eff}}} g / W \\ &= \sqrt{\omega_0^2 + \mu g / D}\end{aligned}\quad (4.26)$$

$\mu = Q / W$, $\omega_0^2 = \sqrt{K_2} g / W$ ve efektif periyod

$$\begin{aligned}T &= 2\pi / \omega \\ &= 2\pi / \sqrt{\omega_0^2 + \mu g / D}\end{aligned}\quad (4.27)$$

Efektif sönüm β_{eff} , $D \geq D_y$ için

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{\text{kuvvet – yer değiştirme grafiğinin alanı}}{2\pi K_{\text{eff}} D^2}\quad (4.28)$$



şekil 4.3 Kuvvet – yer değiştirme grafiğinin parametreleri

Şekil 4.3'te verilen kuvvet – yer değiştirme grafiğinin alanı $4Q(D-D_y)$ ile hesaplanır.

Buradan

$$D_y = F_y / K_1$$

$$F_y = Q + K_2 D_y$$

$$D_y = Q / (K_1 - K_2) \quad (4.29)$$

ve β_{eff} 'in ve K_{eff} 'in tanımlarını kullanarak,

$$\beta_{\text{eff}} = 4Q(D - D_y) / 2\pi(K_2 D + Q)D \quad (4.30)$$

sönüm oranı hesaplanır.

5 TABAN İZOLASYONU

5.1 Tanım

1980 lerin ilk yıllarından beri Taban izolasyonlu yapıların dizaynı ve inşaatına uygun olabilecek sismik izolasyon kavramı ve kriteri üzerinde durulmaktadır. Kaliforniya yapı mühendisliği komitesinin (SEAOC) çalışmaları bir SEAOC dokümanı olarak yayınlanır ve tekil bina kodlarının 1998 yayını ile bütünleşiktir. Bu hükümler sismik Taban izolasyonlu yapıların tasarım felsefesinden ve tasarım yöntemlerinden bahseder [10] .

Genel olarak taslak hükümlerle uyumlu tasarımı gerçekleştirilen taban izolasyonlu yapılar aşağıdaki durumları sağlamalıdır:

- Ufak ve orta şiddetli deprem yer hareketlerine yapısal ve yapısal olmayan bileşenleri hasar görmeyecek şekilde dayanmalı.
- Büyük şiddetli deprem yer hareketlerine taban izolasyonlu yapının ayakta kalacağı şekilde yapısal ve yapısal olmayan bileşenleri büyük hasar görmeyecek şekilde dayanmalı.

Yapının şekline ve önemine bağlı olarak daha tanımlanmış tepki miktarları ve tasarım değerleri elde edebilmek için daha detaylı bir analiz yapmak gerekiyorsa, izolatör tasarımının son hali izolatör sisteminin tahmini performansıdır. Taban izolasyonlu sistemin tahmini performansı genellikle etkin periyot, izolatör yer değiştirmesi ve kuvvet katsayısı ile ölçülür. Bu sebepten ilerleyen bölümlerde bu çıkan değerler taban izolasyonlu binaların performansları ile ilgili karşılaştırma ve sonuç çıkarmada kullanılacaktır.

5.2 Taban İzolasyonunun Temel Faydaları

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel amacı hayat kurtarmaktır. Bunun bir sonucu olarak depremler sonucu yapıların yıkılmaması, üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Yüksek süneklik kapasitesine sahip yapılar büyük şekil değiştirmelere ve yapısal hasarlara maruz kalır ama yıkılmaz ayakta kalır. Fakat bu bile bir hasar doğurur ve yaralanma riski hala çok yüksek olabilir. Bu gibi gerçekler dikkate alındığından beri literatürde bazı aktif ve pasif depreme dayanıklı yapı sistemleri ileri sürüldü. Bu pasif depreme dayanıklı yapı sistemlerinin en önemli tipi izolatörlerin sağladığı bazı avantajlardan dolayı taban izolatörleridir.

Taban izolatörlerinin özellikle en büyük avantajı izolatörler sebebiyle rijit davranış gösteren binanın sakinlerinin ve içeriğinin de korunmasıdır. Bu özellik, acil durumlarda bile işlevini sürdürmesi gereken binalar için bu sistemi ideal kılar. Bu tip yapılara hastaneler, telekomünikasyon yapıları, itfaiye binaları, enerji santralleri ve acil durum servisleri birer örnektir. Yoğunlukla kullanılan köprüler de sismik mesnetlerin kullanımı için ideal yapı türüdür. Sağlık ve sigorta gibi sosyal servislerle bağlantılı bilgisayar kayıtlarını bulunduran binalar diğer önemli yapılardır.

Nükleer enerji santralleri bu tip yapılara yine iyi bir örnektir. Bu tip yapıların öncelikli işlevlerini kaybetmemelerinin yanı sıra, ayrıca akılda tutulması gereken başka bir noktada bu tip yapıların oldukça yüksek maliyetlerinin oluşu ve deprem sebebiyle oluşabilecek bir hasarın ilave ekonomik kayıplar anlamına geleceğidir. Deprem sonrası hasar görmüş bir nükleer santral maliyet dışında başka önemli problemlere de (sağlık problemleri v.s.) sebep olabilir.

Taban izolasyonunun temel faydaları şöyle özetlenebilir.

- Deprem yer hareketi sebebiyle yapıda oluşan ivme azalır böylelikle yapı çerçevesinde kullanılan kesitler daha küçük seçilebilir.
- Yapıdaki kuvvet azalması hem bina sakinlerine hem de taşıyıcı sisteme eşit uygulanır. Bina sakinleri ve taşıyıcı sistem üzerindeki kuvveti hiçbir geleneksel sistem azaltmaz.
- Yapı rijit hareket eder. Bu en çok dış cephe kaplamasının parçalanıp dağılmasını ve camların ve dış yüzeydeki malzemelerin kırılmasını azaltır. Böylelikle sokaktaki insanların can güvenliği riski ortadan kalkar[11].

- Her ne kadar taban izolasyonlu bir binanın ankastre temelli bir binaya oranla daha maliyetli olduğuna dair ortak bir kanı olsa da, tam tersi de doğru olabilir. İlave fayda ve avantajlar maliyet arttırılmadan elde edilir. İzolatör koyma maliyeti yapının daha az güçlendirilmesindeki kazanımlar ve teçhizatın sismik özellikleri ile kazanılanlarla telafi edilir. Daha büyük kazanımlar ise deprem sonrası tamir masrafları dikkate alındığında gerçekleşir.

Bu duruma örnek olarak, 1992 yılında Santiago, Şili’de yapılmış, değişik güçlerde 24 değişik depremle sarsılmış 4 katlı bir binayı verebiliriz. En fazla ivmelenmenin olduğu çatı katındaki indirgenme 3.5 kata kadardı. İki binanın hasarı karşılaştırıldığında ekonomik anlamda da karşılaştırılabilir olduğu görülebilir [12] .

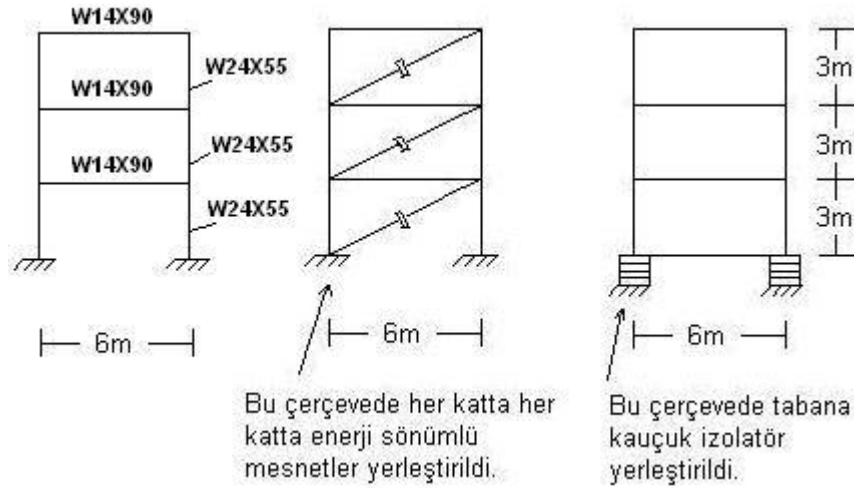
İzolatörlerin yukarda bahsi geçen faydalarının yanı sıra aşağıda sıralanan noktalarda göz önünde bulundurulmalı:

- Sismik izolasyon genellikle büyük, pahalı ve hassas aletler barındıran binalara uygulanır. Örneğin bilgisayar merkezleri, çip imalatı fabrikaları, acil durum operasyon merkezleri ve hastaneler. Bu uygulamalarda kullanılan izolatörler genellikle büyük, pahalı ve ağırdır. Bu pahalı depreme dayanıklı yapı stratejisini evlere ve iş merkezlerine taşıyabilmek için maliyetlerin ve izolatör ağırlıklarının düşürülmesi gerekmektedir [11] .
- Şu da unutulmamalıdır ki izolatörlerin yeniden eski halini alması için yeterli kuvveti depolaması önemlidir. Böylelikle bina hep ilk haline geri döner. Bu yüzden mesnet büyüklüğü ve kauçuk yüksekliği uygun seçilmelidir.
- İzolatörün dış merkezliliği izolasyonun etkinliğini azaltır [13] .
- Taban izolasyonu kayalık veya sert zeminli bölgelerde özellikle kat ivmelenmesi, taban kesme kuvveti ve devrilme momenti gibi yapının sismik tepkisini azaltmada çok etkin bir yol olsa da, yumuşak zeminli bölgelerde daha az etkilidir ve özellikle dikkat edilmesi gereken çok yüksek yatay yer değiştirme değerlerine ulaşır [14] .
- Deprem sırasında, bina izolatörler üzerinde yanal hareket yaptıkça, bu hareketlerin en yüksek seviyelere ulaştığı anlarda izolatörler yapının düşey yüküne dayanmaya devam etmelidirler. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Çelik plakalar gerekli düşey rijitliği sağlamalı ve ağır yapısal yükler altında kauçuğun ezilmesine ve şişmesine engel olmalıdır [11] .

6 SAYISAL ÖRNEKLER

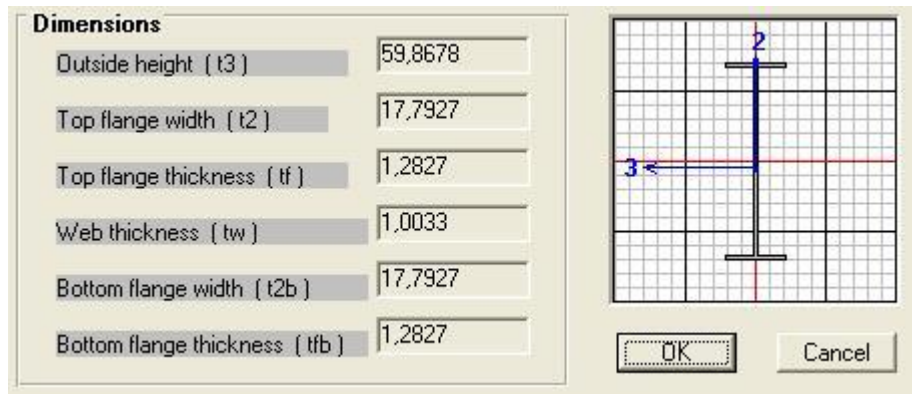
6.1 Basit Bir Çerçeve Sistem Üzerinde Karşılaştırılmalı Analiz

Çalışmanın bu kısmında, taban izolasyonu ve enerji sönümlenme araçlarının karşılaştırılmalı analizi için 2 boyutlu çizimleri şekil 6.1 de verilen 3 boyutlu 3 katlı 3 birbirinin aynısı çerçeve sistemi modellenmiştir. Çerçevelerin biri ankastre, biri enerji sönüm aracı, sonuncusu da izolatörlüdür.

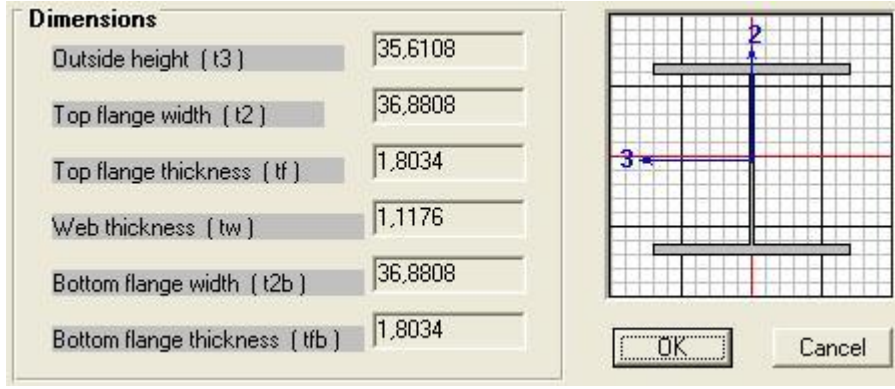


Şekil 6.1 3 katlı çerçeve sistemin üç ayrı mesnetlenme durumu

Çerçevelerdeki kolon ve kirişler için sırasıyla SAP 2000 arşivindeki W24-55 ve W14-90 kesitleri kullanılmıştır. Kesitler aşağıda Şekil 6.2 ve 6.3 deki gibidir.



Şekil 6.2 W24x55 in Kesiti



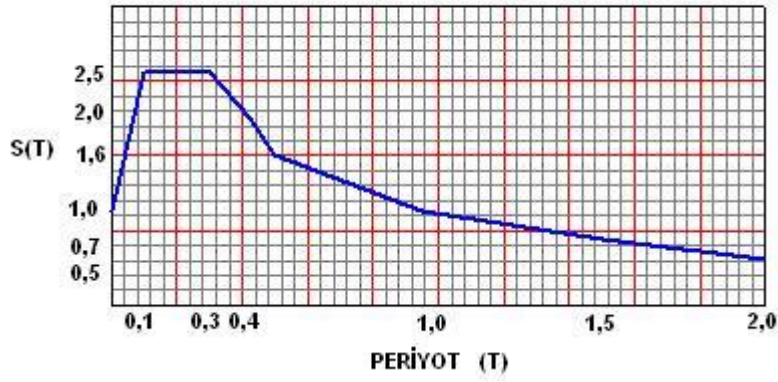
Şekil 6.3 W14x90 ın Kesiti

Tablo 6.1 İzolatör Özellikleri

Taban İzolasyon Sistemi (Nonlinear eleman tipi)			
Doğrultu	Kurşun-Kauçuk Mesnet		
	İzolatör Tip 1 Özelliği		
		Lineer	Nonlinear
U1(düşey)	rijitlik[kN/m]	200000	-
U2(yatay)	Lineer rijitlik[kN/m]	265	1325
	Akma Dayanımı[kN]		40
	Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı	-	0,1
	rijitlik[kN/m]	265	1325
U3(yatay)	Akma Dayanımı[kN]		40
	Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı	-	0,1
Kütlesi	0,0179t		
Doğrultu	Sönümleme Mesneti (Damper) (Lineer eleman tipi)		
		Lineer	Nonlinear
U1(düşey)	rijitlik[kN/m]	265	-
Kütlesi	0,0179t		

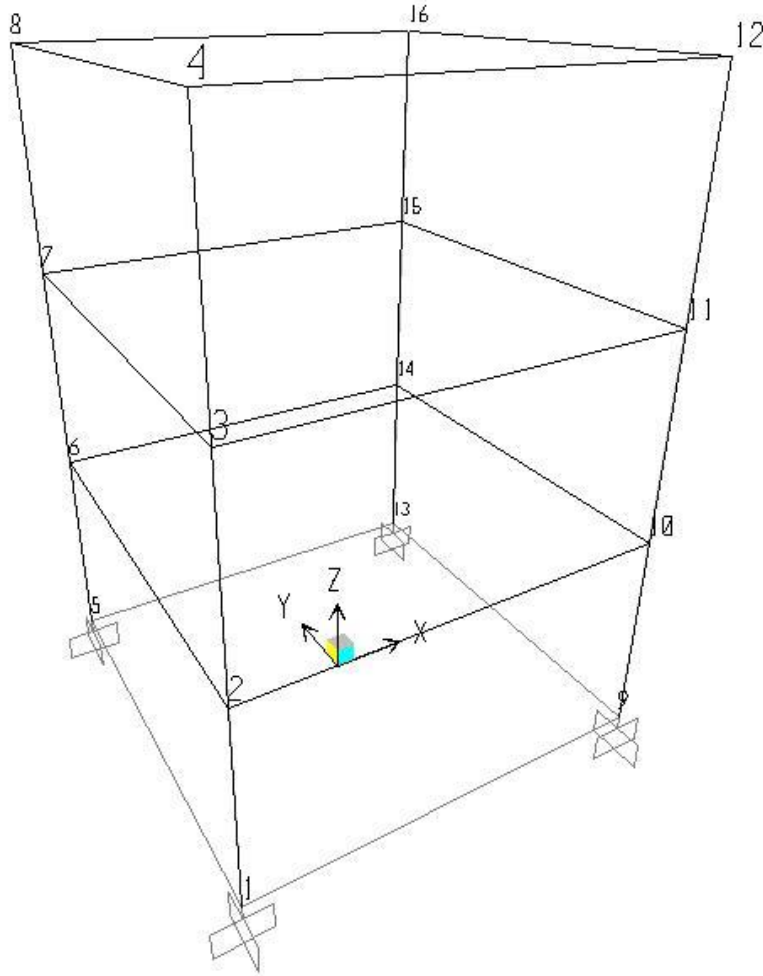
İzolatör Tip 1 Taban izolasyonlu çerçevenin modellenmesinde kullanılmıştır. 0.0179 ton ağırlığındadır. Yatay rijitliği ile kıyaslandığında düşey rijitliği çok yüksektir. Düşey rijitlik değeri 200000 kN/m dir. Yanal rijitlik değeri izolatörün her iki yanal yönde de 265 kN-m dir. Akma rijitlik oranı 0.1 dir. Düşey yükler 15 kN/m ölü yük, 7,5 kN/m canlı yüküdür. Damperin kütlesi de yine 0.0179 ton ve düşey rijitlik değeri 265kN/m dir.

Her çerçeveye aynı ivme spektrumu uygulandı ve girdi dataları kıyaslamanın doğru olabilmesi için aynı tutuldu. Uygulanan ivme spektrumu şekil 6.4 de gösterilmiştir.

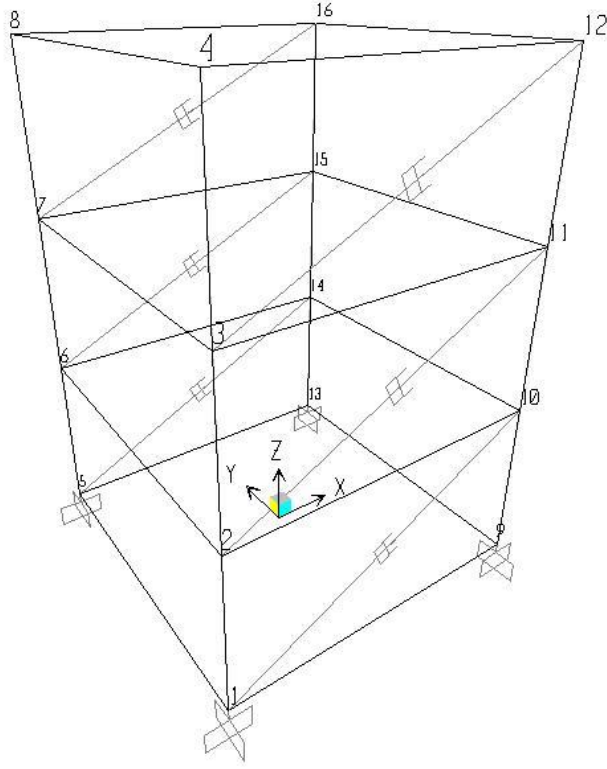


Şekil 6.4 Periyot ve Spektrum ivmesi

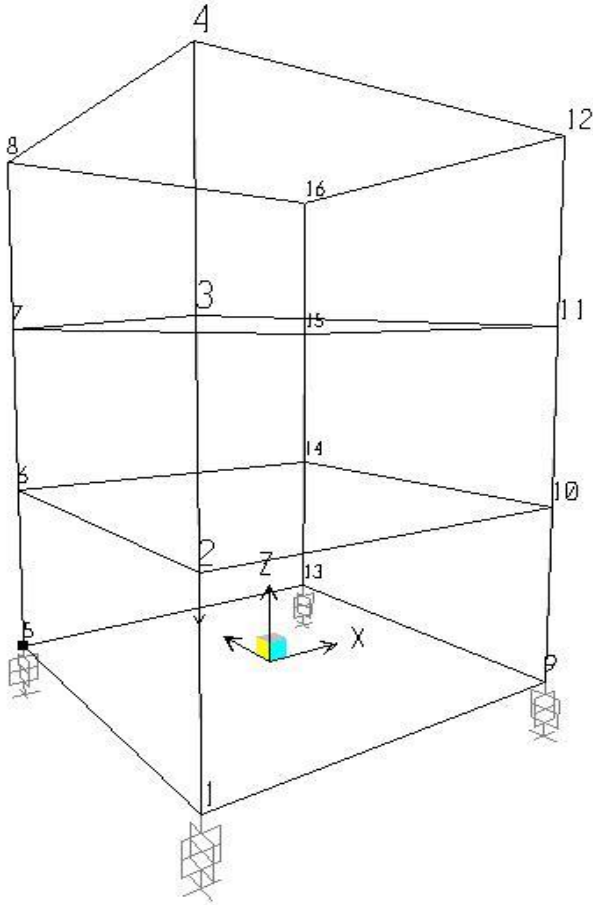
Ankastre, söndürmeli sistem ve izolatörlü yapılar sırasıyla Şekil6.5, Şekil6.6 ve Şekil 6.7 no'lu şekillerde gösterilmiştir. Ayrıca şunu da unutmamak gerekir ki sönüm araçlarını yani damperleri bu çalışmada da gösterildiği gibi SAP 2000'de NL LINK elemanı kullanarak modellemek mümkündür.



Şekil6.5 Ankastre çerçevenin Sap 2000 de modellenmiş hali



Şekil 6.6 Viskoz sönümleme mesnetli çerçevenin Sap2000de modellenmiş hali.



Şekil 6.7 Taban izolasyonlu sistemin Sap2000 de modellenmiş hali

6.1.1 Sonuçların karşılaştırılması

Tablo 6.2’de üç yapının periyotları kıyaslanmıştır. Parantez içindeki değerler kütle oranlarını gösterir. Kütle oranları dört durum içinde Periyotlar Tablo 6.2 de verilmiştir.

Tablo 6.2 Üç Çerçevenin Periyot Değerleri (s)

MOD	ANKASTRE		VİSKOZ SÖNÜMLEME (DAMPER)		TABAN İZOLASYONLU	
	T(s)	Kütle oranı	T(s)	Kütle oranı	T(s)	Kütle oranı
1	0.1447	(87.75)	0.1505	(87.30)	0.7112	(99.95)
2	0.1167	(87.75)	0.1317	(87.80)	0.7081	(99.95)
3	0.0480	(97.81)	0.1206	(87.80)	0.7077	(99.97)
4	0.0365	(97.81)	0.0500	(97.81)	0.0916	(99.99)

Tablo 6.2 den de anlaşılacağı gibi taban izolasyonlu yapının periyodu, sönüm aracı konmuş yapıya ve ankastre yapıya göre beş kat daha fazladır. Bu beklenen sonuçtur çünkü taban izolasyonu yapı ile temel arasında, düşük yatay rijitliğe sahip bir katman oluşturur ve bu katman yapıya ankastre temelli frekansa göre ve hatta yer hareketi frekansına göre çok daha düşük temel bir frekans verir. Ankastre temelli yapı ve taban izolasyonlu yapının periyotları arasındaki fark mod sırasıyla hepsinde olduğu gibi artmaktadır.

Binaya iki izolatörle yere sabitlenmiş bir temel döşemesi ekleyip, periyot değerlerini ankastre temelli yapının periyodu ile kıyasladığımızda, periyodun önemli ölçüde arttığını görürüz. Yapı yer hareketinden daha az etkilenmiştir.

Tablo 6.3’de taban kuvvetleri ve devrilme momentleri her üç yapı için karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.3 Taban Reaksiyonları (kN.m)

	Ankastre	Viskoz Sönümleme (Damper)	Taban İzolasyonlu	Taban İzolasyonlu/ Ankastre
Taban Kesme Kuvveti (kN)	215.35	233.62	170.04	0.79
Devrilme Momenti (kN.m)	1429.83	1543	755.83	0.53

Taban izolasyonlu yapının taban kesme kuvveti ve devrilme momenti ankastre yapıya ve sönüm aleti yerleştirilmiş yapıya kıyasla daha azdır. Temel reaksiyonları ankastre yapıdakine göre %79 oranında düşerken devrilme momenti neredeyse %50 oranında azalır. Tablo 6.4 de bu değerlerin karşılaştırılması verilmiştir.

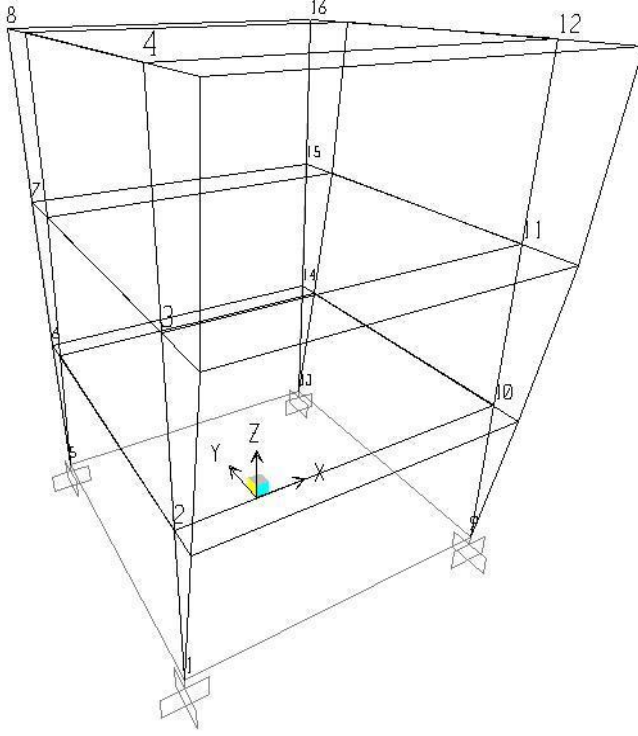
Tablo 6.4 Yer Değiştirmeler (mm)

Düğüm Noktası	X yönündeki deplasman(mm)
Ankastre Çerçeve'deki Toplam Öteleme	11
Damperli Çerçeve'de Toplam Öteleme	12
İzolatörlü Çerçeve'de Toplam Öteleme	8
İzolatördeki Deformasyon	160

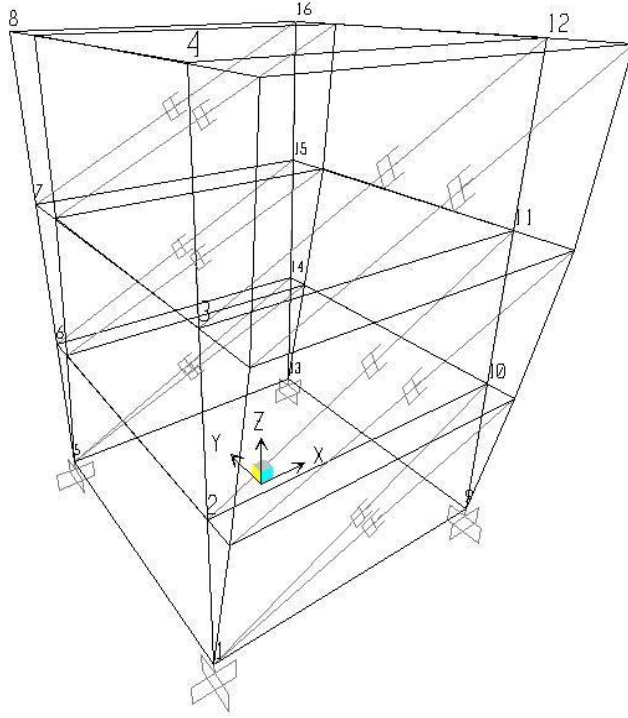
İzolatörlerin performansı hakkında fikir sahibi olmak için dikkate alınması gereken kriterlerden en önemlilerinden biri yer değiştirme değeridir. Yukarıdaki şemadan da anlaşıldığı gibi taban izolasyonlu binanın yer değiştirme değeri ankastre binaya ve sönüm aracı kullanılmış binaya göre %30 daha azdır. Ama daha önce de bahsettiğimiz gibi, izolatörün kendisi de yer değiştirme yapar. Bu sebepten dolayı izolatörün deformasyonunu tabanda ankastre ve sönüm araçlı yapıların toplam ötelenmesine göre kıyaslamak daha doğru olur.

Bu yapıldığında, görüldüğü gibi izolatörün deformasyonu (160mm) neredeyse ankastre temelli ve sönüm araçlı yapıya göre 14 kat fazladır. Bu da yine başka beklenen bir sonuçtur.

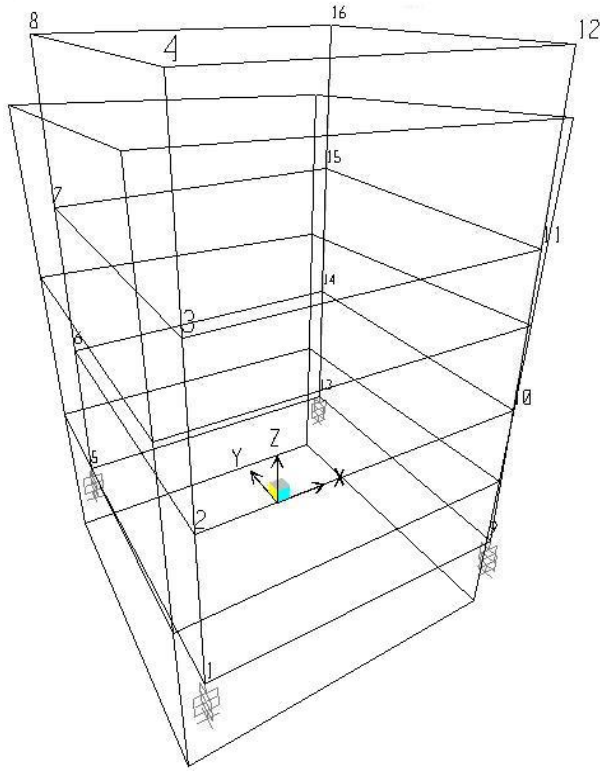
Ankastre temelli, sönüm araçlı ve taban izolasyonlu çerçevelerin deforme olmuş halleri Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Ankastre Çerçevenin deforme olmuş hali.



Şekil 6.9 Viskoz sönümleme mesnetli çerçevenin deforme olmuş hali.



Şekil 6.10 Taban izolasyonlu çerçevenin deforme olmuş hali.

Şekil 6.8, 6.9 ve 6.10'a baktığımızda sönümlleme mesnetli çerçevenin tek başına ankastre olan sisteme göre daha rijit olması sebebiyle daha fazla taban kesme kuvvetine ve devrilme momentine maruz kalmışken periyotlarına baktığımızda sönümlleme mesnetli ile ankastre mesnetli arasında çok bariz bir fark olmamıştır. Taban İzolasyonlu çerçevede ise taban kesme ve devrilme momentleri diğer iki duruma göre oldukça az iken, ki bu kolon ve kiriş kesitlerimizde azalma ve maliyette indirim sağlayacak diğer yandan da periyot değeri de yine diğer iki duruma göre oldukça yüksek olması yer hareketinden ve dolayısıyla olası rezonansı engelliyecektir. Bu durum bu tür binaların deprem enerjisini sönümllediğini göstermektedir. Deforme haller incelendiğinde sönümlleme mesnetli ve sadece ankastre çerçeveler birbirleriyle benzer bir deformasyona sahipken taban izolasyonlu çerçevenin tamamen rijit bir şekilde kalıp, şeklini muhafaza ettiği ve yerdeğiştirmenin daha çok taban izolatörlerinde olduğu gözlenebilmektedir. Deprem sonrası ayakta kalmasının yanı sıra aynı zamanda faaliyetini de sürdürmesi hayati önem taşıyan yapılarda taban izolasyonunun ne derece yarar sağlayacağı bu örnekte de anlaşılmaktadır.

Daha geniş bir kıyaslama için, yer değıştirme değeri Türkiye Deprem Yönetmeliğinde (ABYYHY,(1997))bahsedilen düzensizliklere göre kontrol edilebilir fakat pasif ve aktif kontrol araçları monte edilmiş yapılarda bu yönetmeliğin geçerli olmaması sebebiyle bu değeri bu yönetmeliğı esas alarak değlendiremiyoruz [15].

6.2 Deneysel Bir Çalışmadan Alınan Basit Çerçeve Sistem Bir Yapının Sap2000n Programı İle Analizi Ve Karşılaştırılması

Bu bölümde, taban izolasyonunun kullanımını anlamak için çeşitli deprem kayıtları uygulanmış taban izolasyonlu bir yapı modellenmiştir. Modellenen yapı, çeşitli deprem kayıtları uygulanmış taban izolasyonlu yapının sismik performansını görmek için sarsma tablası ve pseudo-dinamik testlerden bahseden bir çalışmadan alınmıştır.

Bir kere taban izolasyonlarının elastik olmayan özellikleri tanımlandıktan sonra, taban izolasyonları basit iki doğrusal olarak modellenenbilir. Fakat taban izolasyonu sisteminin elastik olmayan davranışını basit nümerik modellerle tanımlamak zor olduğundan, taban izolasyonu sistemleri ile ilgili deneysel çalışmalar geliştirilmeli ve yürütülmeli. Bu yüzden taban izolasyonlu yapılar için uygun bir tasarım ve analiz yapmak için literatürde geniş çaplı deneyler yapılmış olmalı ve bu alanda yoğunlaşılmalı ilgi artmalıdır [16 – 20] .

Bu çalışmalardan bir tanesi elastomerik sismik izolasyon mesnetlerinin deneysel ve analitik çalışmasıdır. Mesnet davranışının tahmini için daha önceden geliştirilmiş analitik model, tekrar gözden geçirilip, geliştirilir. Modelin uygunluğu deneysel çalışmanın sonuçlarının ışığı altında ortaya konulur [16].

Bu konu ile ilgili başka bir çalışmada da, taban izolasyonlu yapılardaki ekipman-yapı etkileşimi dahil ikincil sistemlerin sismik tepkileri ile ilgili bir seri sayısal simülasyon çalışmalarının sonuçlarının sunulması amaçlanmıştır. İlk olarak üç katlı bir bina ele alınmıştır. Bir kaç taban izolasyonu sistemi düşünülmüştür. El Centro 1940 ve Mexico City 1985 deprem kayıtları dahil, bir kaç deprem kaydı yer ivmesi olarak kullanılmıştır. Değişik durumlarda ikinci sistemin ivme ve yer değiştirme tepki spektrumu dikkate alınmış ve ekipman-yapı etkileşimi üzerinde çalışılmıştır [17] .

Bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri, Yunanistan, İtalya, Çin, Fransa, Japonya, Yeni Zelanda ve Sovyetler Birliği dahil tüm dünya çapındaki ilerleme ve gelişmeler incelenmiştir. Son olarak ta günümüz depremlerinde bu yapıların performansları verilmiştir [18] .

Bir test yapısı üzerinde yanal yükleme ve zorlanmış titreşim testleri uygulanarak evler için taban izolasyonun statik ve dinamik karakteristikleri Hagio,K.; Kitazawa,K.; Nagashima,I.tarafından araştırılmıştır [19] .

Yukarıda bahsettiğimiz çalışmaların yanı sıra, arka planı sağlayan ve Kalifornia Yapı Mühendisleri Birliği (SEAOC)' nin devam eden çalışmalarını anlatan sismik olarak taban izolasyonlu yapılar için tasarım ihtiyaçlarını geliştirmek için Kircher; Charles A. ve Anil K.Chopra tarafından bir makale hazırlanmıştır. Bu makalenin ilk amacı tasarım felsefesinin sunumu, tasarım metotları ve SEAOC' nin sismoloji komitesinin geliştirdiği taslak şartlarının anahtar teknik yaklaşımlarıdır [20] .

Sayısal çözümleri karşılaştırmak için kullanılan çalışma da, izolatörlerin performansını ortaya koymak için sallanan masa testleri kullanan yine literatürde yer alan bu çeşit çalışmalardan biridir [14] .

Test yapılarının büyüklük, ağırlık ve rijitlik özellikleri sallanan masaların kapasiteleriyle sınırlı olsada, sallanan masa testleri taban izolasyonlu yapıların sismik performanslarını ortaya koymak için iyi bir metottur.

Bahsedilen çalışmanın esas amaçları ;

- Sarsma tablası sonuçları göz önüne alınarak, alçak yapılar için sismik yüklemeye karşı taban izolasyon sistemlerinin etkisini ortaya koymak.
- Sarsma tablası sonuçları ile karşılaştırarak, taban izolasyonlu yapılar için psüdo-dinamik test metotları sağlama.
- Taban izolasyonu sistemlerinin deprem tepkilerinin tahmini için analitik metot geliştirilmesi.

Taban izolasyonlu bir sistemin sarsma tablası testleri ile performansını ortaya koymak için üç katlı tutulu ve kauçuk mesnetlerle taban izolasyonu sağlanmış yapılar test edildi.

Taban izolasyonlu yapı için uygulanan yükler, malzemeler aşağıdakiler dışında aynıdır;

- Taban izolatörlerinin ilavesi
- Taban izolasyonlu sistemin toplam ölü yükünün belli bir miktara (56 kN) taşımak için birinci kata kütle ilavesi

- Zemin kata başka bir diyafram ekleme (ilave çerçeve sistemler taban izolasyonlu çerçeveye yerleştirildikçe ilave düğüm noktası kısıtlamaları).

Taban izolasyonlu sistemlerin etkinliği, periyot, yer değiştirme ve taban reaksiyonları gibi iki sistemin yapısal tepkilerini karşılaştırarak anlaşılır. Karşılaştırma yapılırken değişik deprem kayıtları ve ya davranış spektrumu kullanılabilir.

Bu deneysel çalışmada tabanda ankastre ve taban izolasyonlu yapıların temel periyotları sırasıyla 0,23 sn ve 0,8 sn olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada karşılaştırmalarda üç tip doğal deprem yer hareketi ve üç tip UBC 1994 de bahsi geçen zemin tipine bağlı davranış spektrumu kullanılmıştır. Zemin tipi 1 (S1) kayalı ve sert zemini temsil ederken zemin tipi 2 (S2) derin kohezyonsuz veya sert killi toprak ve zemin tipi 3 (S3) yumuşak ve orta killi ve kumlu zeminleri temsil eder.

Tablo 6.5 de deneysel çalışmanın yer değiştirme değerleri özetlenmiştir.

Tablo 6.5 Yer Değiştirmelerin (mm) Karşılaştırılması

Karşılık Spektrumu Cinsinden Girdi	Ank. Yapıda Çatı Katında En Büyük Toplam Öteleme	Taban İzolatörünün En büyük Deformasyonu
El Centro	5.1	8.3
Taft	4.6	5.0
Mexico City	2.1	9.6
UBC Zemin Sınıfı 1	11.1	13.4
UBC Zemin Sınıfı 2	10.7	23.1
UBC Zemin Sınıfı 3	11.5	30.1

Ankastre yapının toplam yer değiştirmesi, zemin izolatörünün deformasyonu ile karşılaştırıldığından izolatörün yer değiştirmesinin, yapının yer değiştirmesinden daha büyük olduğu görülür. Bu fark UBC zemin tipi 3'le ve Mexico City girdi hareketlerinde çok daha barizdir. Bu da ortaya şu sonucu çıkarır ki yumuşak zeminde taban izolatörleri kullanılması düşünüldüğünde daha fazla dikkat edilmelidir.

Tablo 6.6 da deneysel çalışmanın taban kesme kuvveti ve devrilme momenti değerleri özetlenmiştir.

Tablo 6.6 Taban Reaksiyonlarının Karşılaştırılması

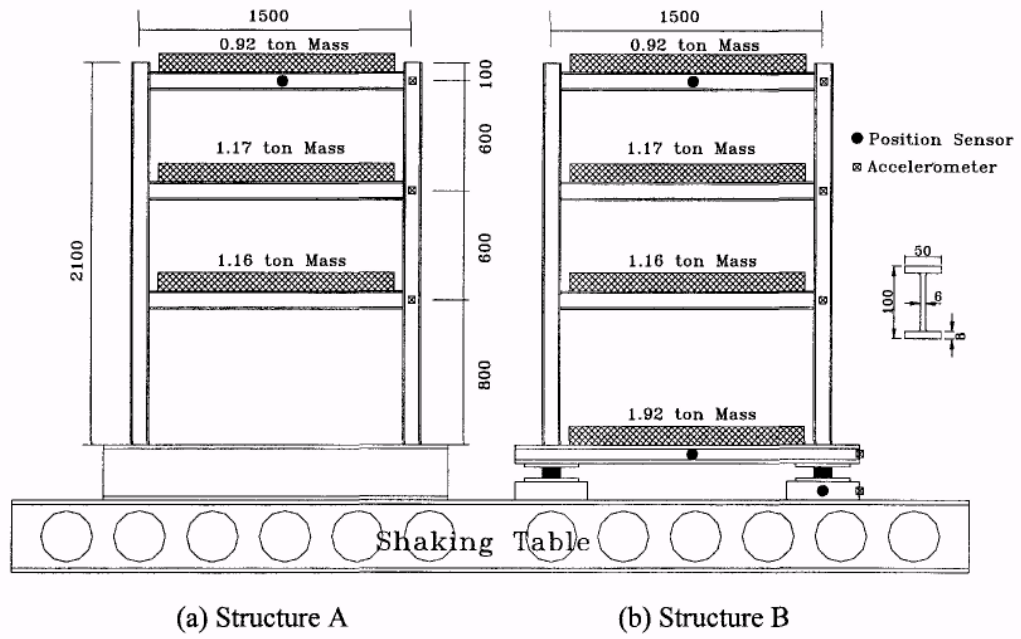
	Taban Kesme Kuvveti (kN)			Devrilme Momenti (kN.m)		
	ANK.	İZO.	İZO/ANK.	ANK..	İZO.	İZO/ ANK
El Centro	14.2	5.4	0.38	21.4	7.3	0.34
Taft	11.6	3.9	0.33	18.7	5.8	0.31
Mexico City	6.0	5.1	0.84	8.9	7.1	0.79
UBC S1	37.0	10.1	0.27	54.4	13.8	0.25
UBC S2	33.9	12.1	0.36	49.8	16.7	0.33
UBC S3	38.2	15.5	0.40	57.2	21.3	0.37

Periyot ve yerdeğiştirmeler, tabanda ankastre ve taban izolasyonlu sistemin kuvvetleri dikkate alındığında ortaya çıkan değerler karşılaştırıldığında, izolatörlerin faydaları, avantajları kolayca görülebilir. Taban kesme kuvvetinin indirgeme faktörleri 0.27 den 0.84'e kadar değişebilir ve yine aynı şekilde devrilme momentleri indirgenmiş faktör 0.31 ile 0.79 aralığında değişir. Sonuçlardanda anlaşıldığı gibi taban izolasyonlu sistemde ankastre sisteme göre çok daha az devrilme momenti ve taban kesme kuvveti oluşur. Böylece yapı tasarlanırken kesitler çok daha küçük seçilebilir buda maliyet açısından önemlidir. Ayrıca yapıda oluşacak hasarda oldukça düşer.

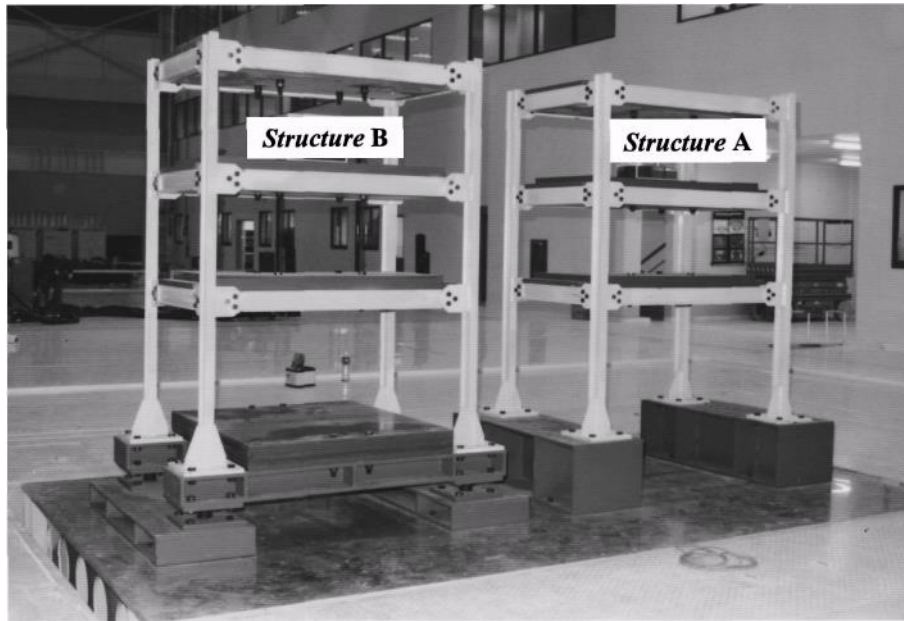
Bu çalışmada kullanılan izolatör tiplerini ve özelliklerini bulmak için, tabanda ankastre yapı modellendi. Planda 100cm X 150 cm olan bu yapının kat yüksekliği ilk katta 0.8m ikinci ve üçüncü katta 0.6m dir.Bütün kiriş ve kolonlar 50X100 I çelik profildir.

Ankastre yapı için kabul edilebilir fark aralığında sonuçlar alındıktan sonra, izolatör tipi ve özellikleri ortaya çıkar. Bu, izolatörün değişik yönlerdeki rijitlik özelliklerin değiştirilmesi ile olur.

İzolatörlerin yapısal davranışlarından bir sonuç çıkarabilmek için bu işlemin her safhasında periyot ve yer değiştirme değerleri tablolara not edilir. Tabanda ankastre ve taban izolasyonlu yapıların şekli aşağıda gösterilmiştir (Şekil 6.11-6.12) .



Şekil 6.11 Çerçevenin çizimi [14]



Şekil 6.12 Test Yapısının Görünümü [14]

6.2.1 Analiz

Bu bahsedilen çalışmanın modellenmesindeki temel nedenlerden biri, eğer mümkünse taban izolasyonlu yapıların analizi için sayısal metotlar elde etmektir.

İzolatörü kesin malzeme özellikleri ile elde edebilmek için öncelikle ankastre çerçeve modellendi ve periyot ve yer değiştirme gibi ana çıktı değerlerini elde etmek için bilinmeyen parametreler değiştirilerek kullanıldı. Bu şekilde izolatörler çerçeveye tanıtıldı ve izolatör özellikleri eşzamanlı bir şekilde kabul edilebilir hata limitlerinde, aynı periyot ve yer değiştirme değerlerini veren izolatör tipi bulunana kadar değiştirildi.

Yapıların modellenmesinde SAP 2000 programı kullanıldı. SAP 2000 kullanmamızın esas sebebi programın taban izolasyonlu yapıları analiz etme özelliğine sahip olmasıdır.

SAP 2000 programında bir lineer olmayan link elemanı NL Link ile lineer olmayan analiz mümkündür. Bu link elemanı boşluk, enerji sönmüleyici mesnet ve izolatörler gibi yerel yapısal lineer olmayanları modellemede kullanılır.

Her elemanın, altı deformasyon serbestlik derecesi için bir tane toplam altı farklı lineer olmayan yaylardan oluştuğu farz edilir. Bu yayların kuvvet –deformasyon ilişkisi ikiye katlanabilir veya birbirlerinden bağımsızdır.

Link elemanı ile modellenen lineer olmayan davranış tipleri aşağıda verilmiştir.

Her eleman kuvvet deformasyon özelliklerini tanımlamak için ve çıktıları yorumlamak için kendi yerel koordinat sistemine sahiptir. Her NL Link elemanı yerçekimi ile ve eleman boyunca oluşan deformasyon gibi çıktı değerleri ile yüklü olabilir ve elemanın düğüm noktalarındaki iç kuvvetler analizlerinden sonra elde edilebilir [21] .

Elde edilen Analiz sonuçları aşağıda ele alınmıştır;

1) Periyotlar:

Tabanda ankastre yapının periyodu 0.256s bulunmuştur. Diğer taraftan Taban izolasyonlu çerçeve için 0.81s idi. Deneysel model için bu değerler 0.23s ve 0.8 s idi.

2) Yatay yer değiştirme:

Ankastre tabanlı yapının çatı katında en büyük toplam yer değiştirme 10,4mm bulunmuşken B yapısındaki taban izolatöründe en büyük yer değiştirme 14.14 mm olmuştur. Bu değerler deneysel çalışmada sırasıyla 11.1mm ve 13.4mm olarak elde edilmiştir.

3) Taban Kesme Kuvveti ve Devrilme Momentleri:

Tabanda ankastre yapı için taban kesme kuvveti 41kN ve devrilme momenti 60.55 kN.m olarak hesaplanmıştır. Taban izolasyonlu yapı için aynı değerler sırasıyla 12.725kN ve 11.55kN.m dir. Bu kesme kuvveti için yaklaşık olarak 0.31ve moment değeri için 0.19 luk indirgenme oranına tekabül eder.

Deneysel çalışmada taban kesme kuvveti ve devrilme momenti sırasıyla ankastre durum için sırasıyla 37 kN ve 54.4 kN.m olarak gözükürken taban izolasyonlu durum için yine sırasıyla 10.1 kN ve 13.8 kN.m olarak oraya çıkmıştır. Yapıda kullanılan izolatör tipini bulmak için iterasyon adımları Tablo 6.7 de verilmiştir.

Tablo 6.7 Sonuçların Karşılatırılması

		Periyot (s)	Yer Değiş. (mm)	Taban Kesme Kuvveti (kN)	Devrilme Momenti (kN.m)
Deneysel alışma	Ankas.	0.23	11,1	37	54.4
	İzole	0.8	13,4	10,1	13.8
Bu çalışmada elde edilen nümerik sonuçlar	Ankas.	0.256	10.4	41.525	60.55
	ISO 1	0.595	9.59	17.125	16.15
	ISO2	1.3274	8.43	8.425	8
	ISO 3	0.81	14.14	12.725	11.55
	ISO 4	1.4522	26.5	7.075	6.225
	ISO 5	2.5340	16.57	4.425	4.175

Tablo 6.7 deki her izolatör tipi, izolatörler için kullanılan değişik yanal rijitlik değerleri ile analizi temsil eder. İzolatörler her iterasyonda düşey yönde çok rijit kabul edilir dolayısıyla değişiklikler yanal yönde rijitlik değerleri ile ifade edilirler.

Ankastre çerçeve için doğru girdi verilerine ulaştıktan sonra, geriye kalan doğru izolatör tipinin belirlenmesidir. Birinci iterasyon için bir önceki örnekte kullanılan özellikteki izolatör tipi (ISO 1) denendi. Bu deneysel çalışmanın sonuçları ile karşılaştırıldığında daha küçük periyot ve yer değiştirme değerleri vermiştir.

Periyot ve yer değiştirme değerlerini artırarak kabul edilebilir eşit çıktılar seviyesine getirebilmek için, yatay yöndeki rijitlik değerleri azaltıldı. 5.denemede (ISO 3) daha kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 6.8 de bu sonuçlar verilmiştir.

Tablo 6.8 ISO3 Özellikleri

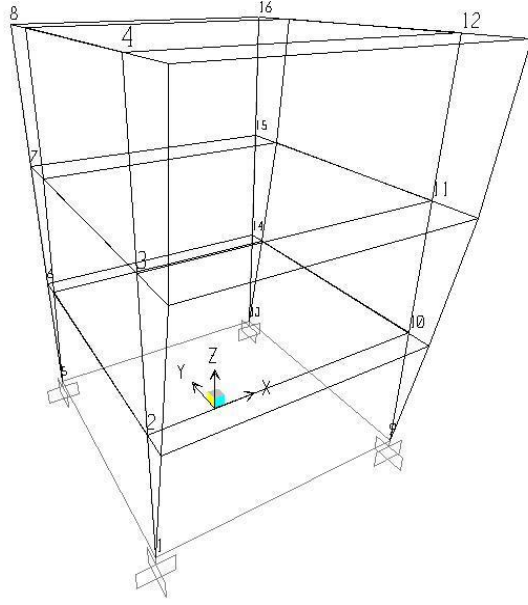
Taban İzolasyon Sistemi (Nonlinear eleman tipi)			
Doğrultu	Kurşun-Kauçuk Mesnet		
	ISO 3		
		Lineer	Nonlinear
U1(düşey)	rijitlik[kN/m]	96900	-
U2(yatay)	Lineer rijitlik[kN/m]	105	-
	Akma Dayanımı[kN]	-	-
	Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı	-	0,2
	rijitlik[kN/m]	105	-
U3(yatay)	Akma Dayanımı[kN]		-
	Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı	-	0,2
Kütlesi	0,0179t		

Tablo 6.7 den de anlaşılacağı gibi izolatör rijitliğinin periyot yer değiştirme ve kuvvet değerleri ile yakın ilişkisi vardır. Yanal yöndeki rijitlik değerleri düştükçe yer değiştirmenin tersine bir etki yapan, yapı ve temel arasındaki düşük rijitlik tabakasını oluşturan izolasyon sebebiyle, Taban izolasyonlu yapının periyodu artar.

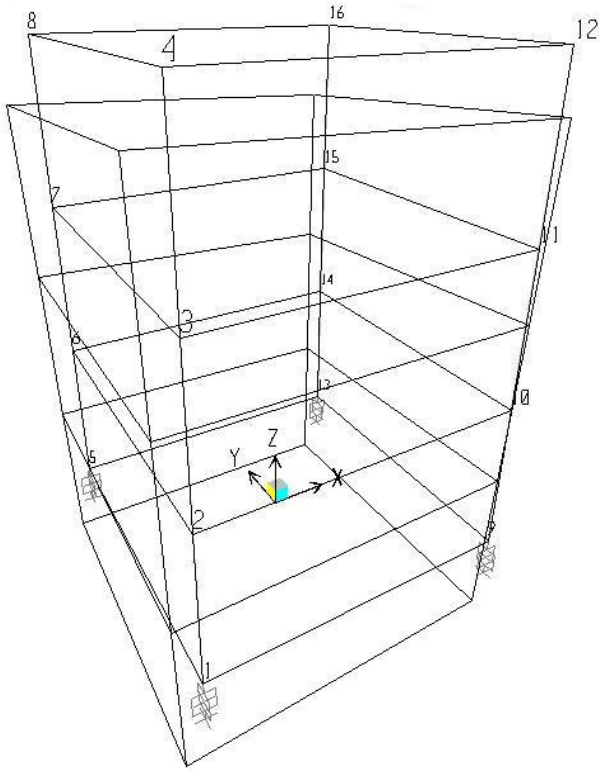
İzolatörün yanal rijitliği düştükçe izolatörün deformasyonu aynı oranda artar.

Ayrıca izolatör rijitliği ile kuvvet değerleri arasında pozitif bir ilişki vardır. Rijitlik düştükçe, taban kesme kuvveti ve devrilme momenti değerleri düşer.

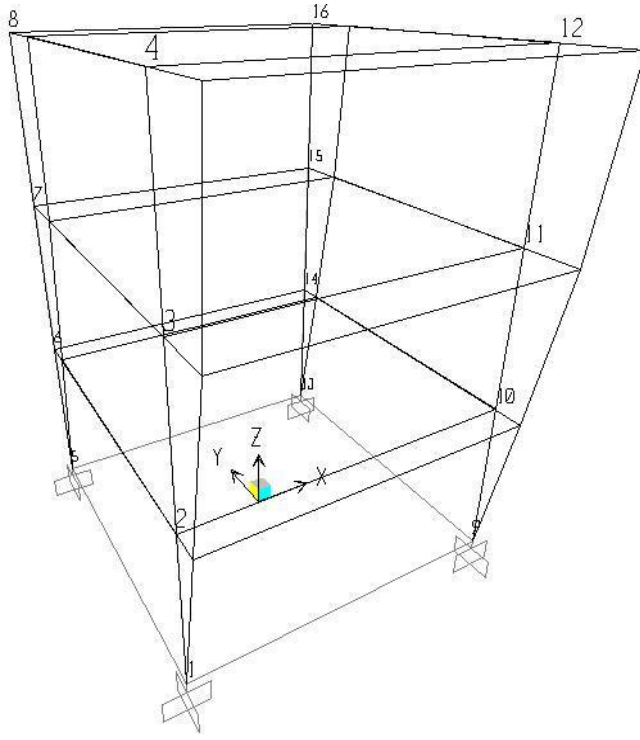
Tabanda ankastre ve taban izolasyonlu yapının deforme olmuş ve 1.mod şekilleri Şekil 6.13 – Şekil 6.16’ da gösterilmiştir.



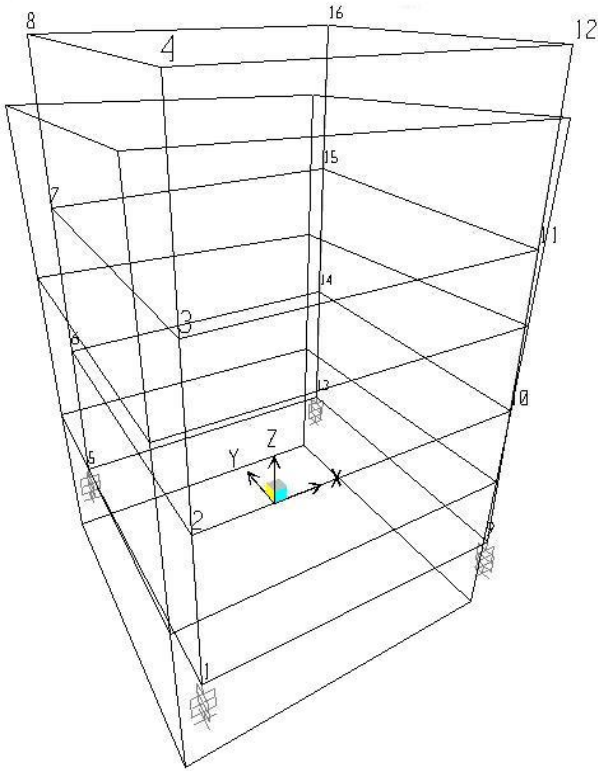
Şekil 6.13 Ankastre çerçevenin deforme olmuş hali



Şekil 6.14 Taban izolasyonlu çerçevenin deforme olmuş hali



Şekil 6.15 Ankastre çerçevenin 1.mod şekli



Şekil 6.16 Taban izolasyonlu çerçevenin 1.mod şekli

Taban İzolasyonlu çerçeve ile ankastre çerçevenin deforme hallerine ve 1. mod şekillerinde bakıldığında görülmektedir ki taban izolasyonu olduğunda tüm kat ötelemeleri aynı kalmakta yer değiştirme izolatör seviyesinde olmaktadır. Bu da çok katlı bir bina düşünüldüğünde bile en üst kattaki ötelemenin çok az olacağının bir işaretidir.

Yukardaki şekillerden de anlaşılacağı gibi, izolatörler birbirine bağ kirişleriyle bağlanmıştır böylelikle bir etkiye aynı yönde hareketle tepki verirler ayrıca yine her kattaki düğüm noktalarıda diyafram özelliğindedir ve yine aynı yönde hep birlikte hareket ederler.

6.3 Altı Katlı Tabanda Ankastre Ve Temel İzolasyonlu Yapıların Analizi

6.3.1 Giriş

Çalışmanın bu bölümünde, 6 katlı çerçeve sistem bir yapı depreme karşı dayanıklı olarak iki şekilde tasarlandı. Bunlardan birincisinde tabanda ankastre sistemin depreme karşı dayanımı perde duvarlarla sağlanmıştır. İkincisinde ise yapıdaki perdeler kaldırılmış bunun yerine depreme karşı dayanım için taban izolasyonu kullanılmıştır. Mevcut perdeli binaların taban izolasyonu ile güçlendirilmesini incelemek için perdeli çerçeve yapı taban izolasyonlu olarakta çözüldü. Mimari çizimler (bir ofis binası) ekte verilmiştir. Binanın deprem bölgesi 1 de ve zemin tipi 2 de yer aldığı kabul edildi.

Önce perde duvarlı yapı tabanda ankastre olarak modellenmiştir. Yapı ABYYHY 98 de belirtilen üç değişik hesap yöntemiyle analiz edilmiştir. Bunlar sırasıyla statik bir analiz olan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve dinamik analiz yöntemleri olan mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemidir. Daha sonra perde duvarlı çerçeve yapının taban izolasyonu katına döşeme oluşturularak kütle ilavesi yapıldı ve taban izolasyonlu olarak çözülmüştür. En son perde duvarsız ama taban izolasyonlu yapı modellenmiştir. Yapı taban izolasyonlu olduğundan doğrusal olmayan hareket yapmaktadır dolayısıyla sadece zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analiz edilmiştir. Analizde UBC 98 deprem yönetmeliği kullanılmıştır. UBC 98 taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 2 dir. Bunun sebebi deprem sebebiyle yapıda oluşacak büyük yerdeğişmelere dayanabilecek bir üst yapının oluşturulabilmesidir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması için taban izolasyonlu

yapının çerçeve sistem bir yapıya uygulanması sebebiyle ABYYHY 98 de tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ye göre de analiz yapılmıştır.

6.3.2 Durum 1 : çerçeve + perde duvarlı yapı

Veriler

Normal Kat Döşeme Kalınlığı:	25 cm
Çatı Katı Döşeme Kalınlığı:	15 cm
Kiriş Boyutları:	50 X 30 cm
Kolon Boyutları:	50 x 50 cm
Perde Kalınlığı:	20 cm

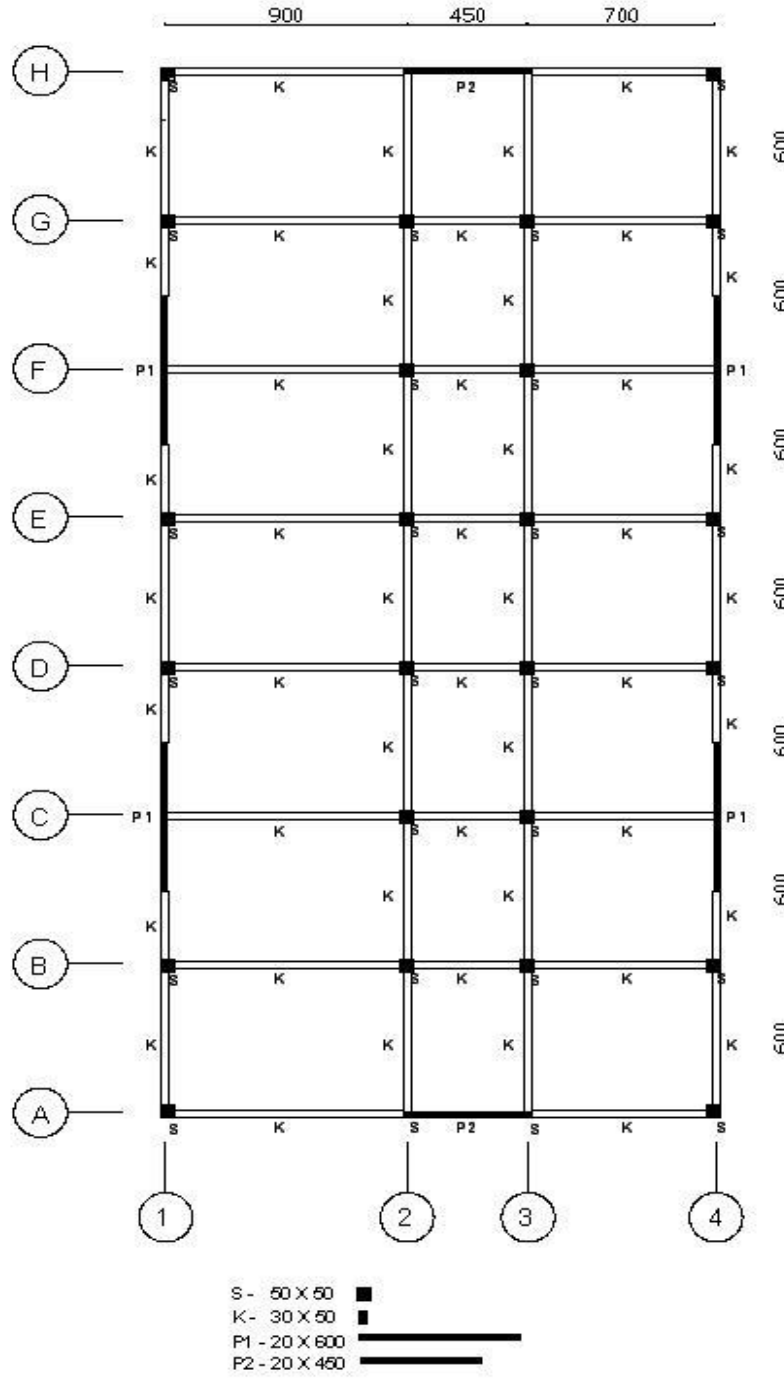
Bina Bilgileri

Kat Sayısı :	6
Bodrum Kat Sayısı :	-
Bina Önem Katsayısı :	1
Taşıyıcı Sistem Türü :	Yerinde dökme betonarme çerçeveli sistem
Kat Yükseklikleri:	Zemin Katta 3.5 m , Diğer Katlar 2.80 m
Hareketli Yük Katılım Katsayısı:	0.30
Çatı Katı Ölü Yük:	8kN/m ²
Çatı Katı Canlı Yük:	1kN/m ²
Normal Kat Ölü Yük:	12 kN/m ²
Normal Kat Canlı Yük:	2 kN/m ²
Binanın Deprem Sırasındaki Toplam Ağırlığı:	61389,3kN
Y Yönünde Periyot	0,63

Deprem Bilgileri

Deprem Bölgesi :	1
Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0) :	0.4
Yerel Zemin Sınıfı:	Z2
Spektrum Karakteristik Periyotları: $T_A = 0.15$ sn $T_B = 0.40$ sn	
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R):	7

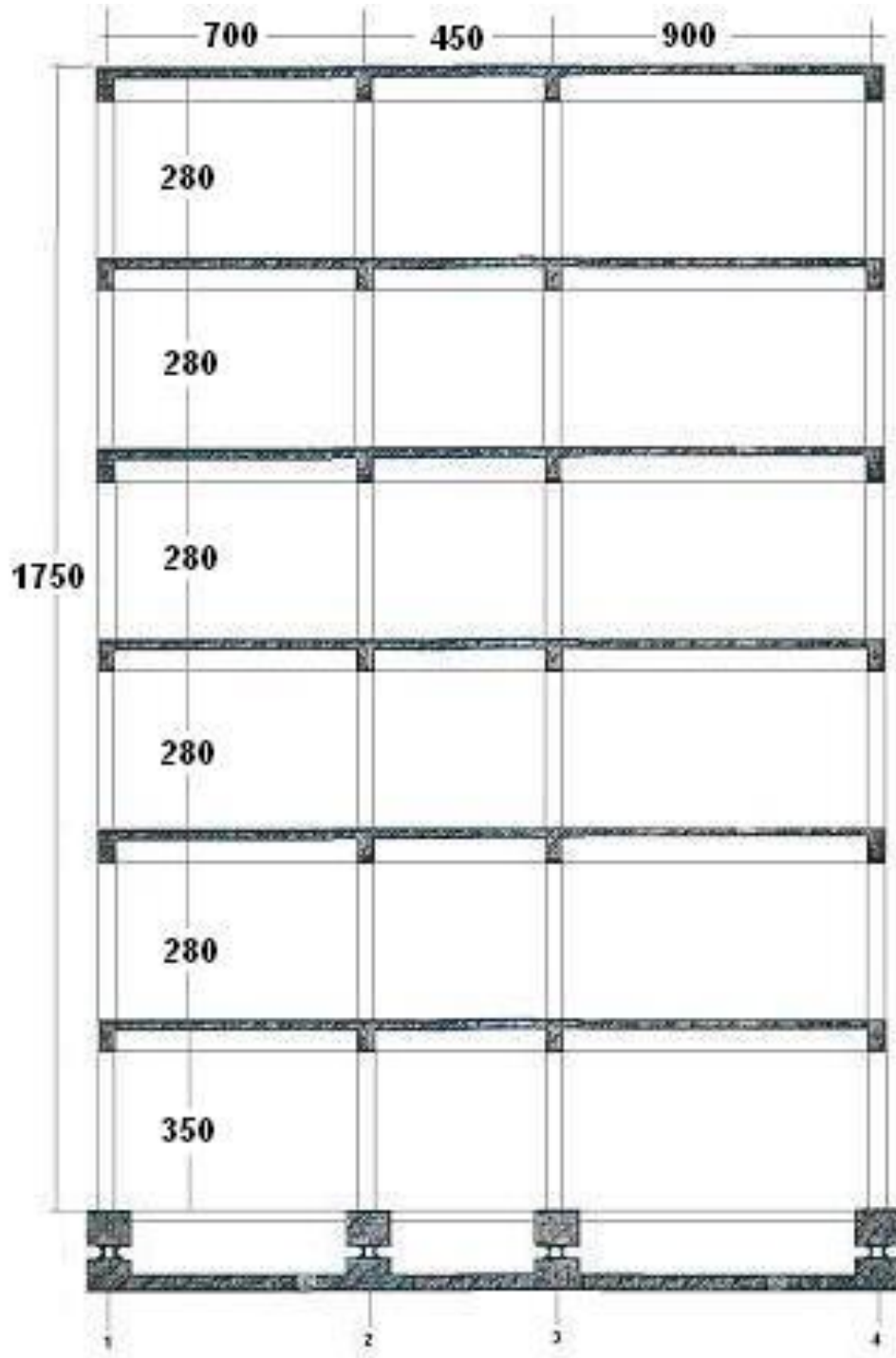
Perde duvarlı çerçeve sistemin kalıp planı şekil 6.17 de verilmiştir.



Şekil 6.17 Tabanda Ankastre ve Perde Duvarlı Yapı Kalıp Planı

Tablo 6.9 Yapı Elemanları Kesit Tablosu

YAPI ELEMANLARI	EN	BOY
KOLON (S)	50	50
KİRİŞ (K)	30	50
PERDE TİP 1 (P1)	600	20
PERDE TİP 2 (P2)	450	20
NOT: Tüm Katlarda aynı kesitler kullanılmıştır.		



Şekil 6.18 Taban İzolasyonlu Yapının Kesidi

6.3.2.1 Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı:

$$\begin{aligned}\text{Deprem Yükü Azaltma Katsayısı: } (0.63 > T_A) & \quad R_A(T_1) = R = 7 \\ \text{Spektrum Katsayısı: } (0.63 > T_B) & \quad S(T_1) = 2.5 (T_B / T_1)^{0.8} = 1.738 \\ \text{Spektral İvme Katsayısı (Y Yönü):} & \quad A(T_1) = A_0 I S(T_1) = 0.695 \\ \text{Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (Y Yönünde):} & \quad V(T_1) = \sum W A(T_1) / R_A(T_1) = 6098 \text{ kN} \\ & \quad V(T_1) \geq 0.1 A_0 I \sum W = 2456 \text{ kN}\end{aligned}$$

i) Fiktif Yüklerin Hesabı

Hesaplanan Fiktif Yükler Tablo 6.9 da verilmiştir.

Tablo 6.9 Fiktif yüklerin hesabı

Kat No	w _i (kN)	H _i (m)	w _i H _i	F _{fi}
6	7146,3	17,5	125060,3	0,202143
5	10848,6	14,7	159474,4	0,257769
4	10848,6	11,9	129098,3	0,20867
3	10848,6	9,1	98722,26	0,159571
2	10848,6	6,3	68346,18	0,110472
1	10848,6	3,5	37970,1	0,061374
Σ	61389,3		618671,6	

ii) Eşdeğer Kat Deprem Yüklerinin Hesabı:

Hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü bina katlarına aşağıdaki formülle dağıtılır. Hesaplanan deprem yükleri Tablo 6.10 da gösterilmiştir. Yapının toplam yüksekliği $H_N < 25$ m olduğundan ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N hesaplanmasına gerek yoktur.

$$F_i = V(T_1) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} = V(T_1) F_{fi}$$

Tablo 6.10 Çerçeve sistem + perde yapının eşdeğer kat deprem yükleri ve devrilme momenti.

Kat No	Fi (kN) Y Yönü	Devrilme Momenti
6	1232,62	21570,86
5	1571,81	23105,67
4	1272,42	15141,81
3	973,03	8854,55
2	673,63	4243,90
1	374,24	1309,85
Σ	6097,76	74226,64

iv) Eşdeğer Kat Deprem Yüklerinin $\pm\%5$ Eksantrik Olarak Yapıya Yüklenmesi ve Kat Deplasmanları ile iç Kuvvetlerin Hesabı

Türkiye deprem yönetmeliğine göre (ABYYHY98) eşdeğer kat deprem yükleri, kat hizalarında $\pm\%5$ ek dışmerkezlik etkisi gözönüne alınarak, kaydırılmış kat kütle merkezine etkililmektedir. Tablo 6.11 de gösterildiği gibi, 2 adet deprem yüklemesi tanımlandı.

Tablo 6.11 Deprem yüklemeleri

Yükleme Adı	Yükleme Tipi	Deprem Yönü	Dışmerkezlik
EYP	QUAKE	Y	0,05
EYN	QUAKE		-0,05

Toplam deprem yükleri, ± 0.05 dışmerkezlikten doğan, Z eksenini etrafındaki momentlerle birlikte, tablo 6.12 de gösterilmiştir.

Tablo 6.12 ± 0.05 Dışmerkezlik etkisinin hesabı

KAT	Fy (kN)	My (kNm)
6	1232,62	2588,50
5	1571,81	3300,81
4	1272,42	2672,08
3	973,03	2043,36
2	673,63	1414,63
1	374,24	785,91
Σ	6097,76	

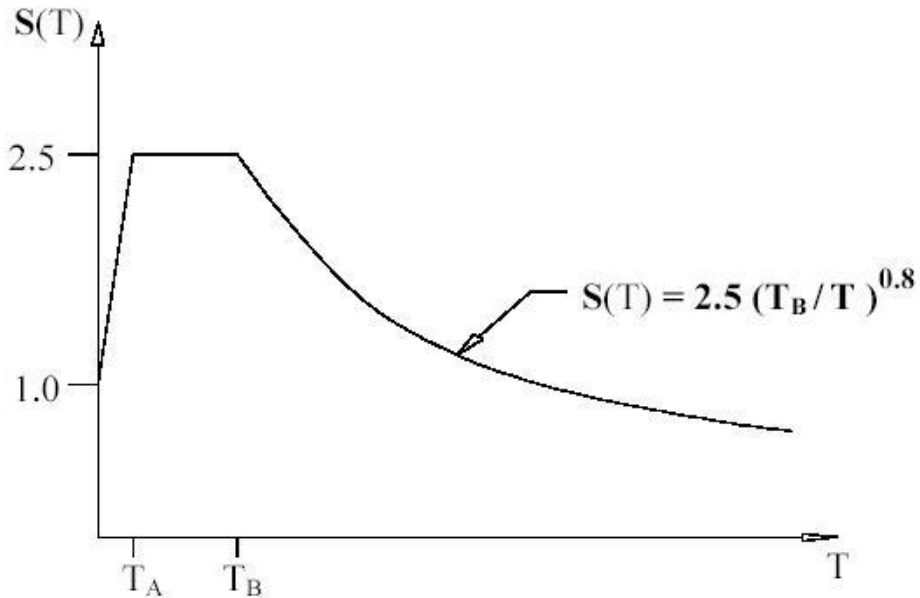
Eksantrisiteden dolayı ($e_x=2,1$) her katta meydana gelen maksimum ve minimum deplasman değerleri ile iç kuvvetler elde edilmiştir. Yapılan analizde kullanılan ölü

yük (DL), hareketli yük (LL), deprem yükleri (EYP, EYN) için çeşitli yükleme kombinasyonları aşağıdaki gibidir.

- COMB 1 : 1,4 DL
- COMB 2 : 1,4 DL + 1,6 LL
- COMB 3 : 1,0 DL + 1,0 LL + EYP
- COMB 4 : 1,0 DL + 1,0 LL - EYP
- COMB 5 : 1,0 DL + 1,0 LL + EYN
- COMB 6 : 1,0 DL + 1,0 LL - EYN
- COMB 7 : 0,9 DL + 1,0 EYP
- COMB 8 : 0,9 DL - 1,0 EYP
- COMB 9 : 0,9 DL + 1,0 EYN
- COMB 10 : 0,9 DL - 1,0 EYN
- ENVE : Tüm kombinasyonların toplamı

6.3.2.2 Mod birleştirme hesap yöntemi ile analiz

Tabanda ankastre olan 6 katlı perde sistemli yapının mod birleştirme yöntemi ile dinamik analizi için ABYYHY 98 deprem yönetmeliğinde belirtilen Şekil 6.18 verilen ivme spektrumu kullanıldı. Y yönünde spektrum tanıtıldı.



Şekil 6.19 İvme Spektrumu

İvme Spktrumu Sap2000n Programında Spektrum adıyla tanımlanmıştır.

Etkin yer ivme katsayısı $A_0=0.4$

Yer İvmesi : 9.81 m/s^2

Olduğu için katsayı olarak programa $0.4 \times 9.81=3.924$ girilmiştir.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R):7

Yükleme kombinasyonu : $1/7 \times$ Spektrum

6.3.2.3 Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analiz

Zaman tanım alanında deprem davranış analizleri için 1992 Erzincan depreminin kayıtları kullanılmıştır. Y yönünde tanımlanan hareketin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Y YÖNÜNDE KULLANILAN KAYIT:

Yer	:Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü
Kordinatlar	:39.752n- 39.487e
Tarih	:13/03/1992 17:18:39 (Gmt)
Yön	:+T South
Veri Sayısı	:5585
Zaman aralıkları	:0.005000
En Büyük değer(Mg)	:404.971000
Depremiın Büyüklüğü	:6.10 Ml
Yük kombinasyonu olarak ERZ Kombinasyonu tanımlandı.	
ERZ	: $1/7 \times$ ErzincanSouth

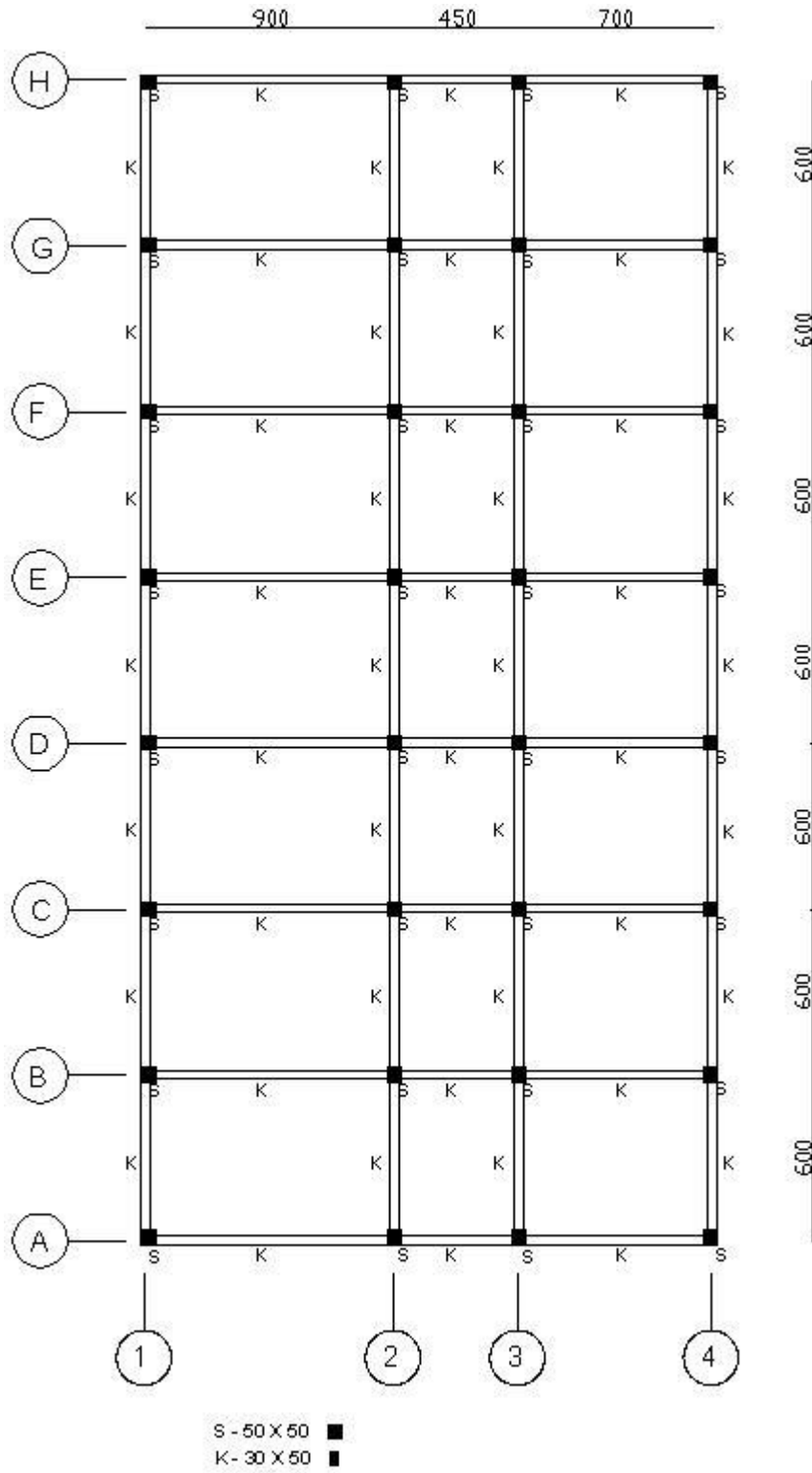
6.3.3 Durum 2 : çerçeve yapı

Çalışmanın bu bölümünde, perde duvarlar kaldırılmış ve depreme karşı dayanım taban izolasyonu ile sağlanmıştır. Sap2000n v9.03 ile modellenen yapının analizinde iki değişik taşıyıcı sistem davranış katsayısı kullanılmıştır.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 8

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı[22] : 2

Taban izolasyonlu çerçeve sistem yapının kalıp planı şekil dedir.



Şekil 6.20 Taban İzolasyonlu Çerçeve Sistem Yapı Kalıp Planı

6.3.3.1 Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile analiz

Zaman tanım alanında deprem davranış analizleri için 1992 Erzincan deprem kayıtları kullanılmıştır. Y yönünde uygulanan hareketin özellikleri aşağıda verilmiştir. İzolatör özelliği Tablo 6.13 de verilmiştir.

Y YÖNÜNDE KULLANILAN KAYIT:

Yer	:Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü
Kordinatlar	:39.752n- 39.487e
Tarih	:13/03/1992 17:18:39 (Gmt)
Yön	:+T South
Veri Sayısı	:5585
Zaman aralıkları	:0.005000
En Büyük değer(Mg)	:404.971000
Depremi Büyüklüğü	:6.10 Ml

Tablo 6.13 İzolatör özelliği

Taban İzolasyon Sistemi (Nonlineer eleman tipi)			
Doğrultu	Kurşun-Kauçuk Mesnet		
	İzolatör Tip 1 Özelliği		
		Lineer	Nonlineer
U1(düşey)	rijitlik[kN/m]	1751268	-
U2(yatay)	Lineer rijitlik[kN/m]	2627	17513
	Akma Dayanımı[kN]		222
	Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı	-	0,2
	rijitlik[kN/m]	2627	17513
U3(yatay)	Akma Dayanımı[kN]		222
	Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı	-	0,2
Kütlesi	0,179t		

6.3.4 Sap2000n analiz sonuçları

i) Periyotlar

İlk karşılaştırma kriteri saniye cinsinden periyot değerleridir.

Her iki tip için periyot değerleri Tablo 6.14 de verilmiştir.

Tablo 6.14 Periyotların Kıyaslanması

Yapı Sistemi	Periyot (s)
Perde Duvarlı Çerçeve Sistem	0,63
Taban İzolasyonlu Perdeli Çerçeve Sistem	1,75
Taban İzolasyonlu Çerçeve Sistem	2,01

Tablo 6.14 den de anlaşılacağı gibi; Taban izolasyonlu çerçeve sistemin periyodu perde duvarlı çerçeve sistemin periyodundan 3kat daha fazla. Periyodun fazla olması taban izolasyonlu yapıda deprem enerjisinin sönmüneceğini ve perde duvarlı yapıya göre çok daha az hasar göreceğinin bir belirtisidir.

ii) Taban Reaksiyonları

İkinci karşılaştırma kriteri her iki sistemin taban reaksiyonları ve devrilme momentleridir. Tablo da görüldüğü gibi UBC 97 ye göre hesap yapıldığında yani $R=2$ alındığında devrilme momenti ve kesme kuvveti diğerlerine göre oldukça yüksek çıkıyor. R nin UBC 97 de 2 alınmasının sebebi, bir deprem anında taban izolasyonu sebebiyle üst yapıda oluşacak büyük yer değiştirmeden çerçeve sistemin zarar görmeyecek biçimde tasarlanabilmesidir. Ankastre yapıda taban reaksiyonları daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebi için önce Newton ' ikinci kuramına göz gezdirelim. Newton ' un ikinci kuramı $F=m \times a$ formülü ile açıklanır dolayısıyla bize kuvvetin kütle ve ivme ile doğru orantılı olduğunu gösterir. Yapıda kullanılan perde duvarlar rijitliği arttırmış ve dolayısıyla periyodun düşmesine, ivmenin artmasına sebep olmuştur. Ayrıca yapı ağırlığı da artmıştır. Kuvvetin artması kaçınılmazdır. Fakat unutulmamalıdır ki perdeler üzerine gelecek bu ilave kesme kuvvetini kaldırarak kapasitededirler.

Yaptığımız analizlerde eşdeğer deprem yükü hesap yöntemi ve zaman tanım aralığı hesap yöntemi birbirine yakın değerler vermiştir. Taban reaksiyonları tablo 6.15 de verilmiştir.

Tablo 6.15 Taban reaksiyonları

HESAP YÖNTEMİ	ZAMAN TANIM ALANINDA		MOD BİRLEŞTİRME		EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ	
TABAN REAKSİYONLARI	TABAN KESME KUVVETİ (kN)	DEVRİLME MOMENTİ (kN.m)	TABAN KESME KUVVETİ (kN)	DEVRİLME MOMENTİ (kN.m)	TABAN KESME KUVVETİ (kN)	DEVRİLME MOMENTİ (kN.m)
TABAN İZOLASYONLU ÇERÇEVE SİSTEM (R=2)	17994	167411	-	-	-	-
TABAN İZOLASYONLU ÇERÇEVE SİSTEM (R=8)	4499	41853	-	-	-	-
TABAN İZOLASYONLU PERDELİ ÇERÇEVE SİSTEM (R=7)	5730	56021	-	-	-	-
TABANDA ANKASTRE PERDELİ ÇERÇEVE SİSTEM (R=7)	6053	60240	4757	52889	6098	74226

iii) Düğüm Noktalarındaki yer değiştirmeler:

Kıyaslamada son kriter yer değiştirme değeridir. Analizler sonucunda bulunan yer değiştirme değerleri Tablo 6.16 daki gibidir.

Tablo 6.16 Yer değiştirmelerin Kıyaslanması (mm)

YAPI TİPİ	İZO.+ÇER. R=2	İZO.+ÇER R=8	İZO.+ÇER+PER R=7	TABANDA ANKASTRE PERDE DUVARLI ÇERÇEVE		
HESAP YÖNTEMİ	ZAMAN TANIM ARALIĞI	ZAMAN TANIM ARALIĞI	ZAMAN TANIM ARALIĞI	EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ	MOD BİRLEŞTİRME	ZAMAN TANIM ARALIĞI
TABANDA	135	34	34	0	0	0
1. KAT	157	39	37	2	2	2
2. KAT	171	42	40	5	4	5
3. KAT	183	45	43	9	7	8
4. KAT	193	48	46	12	9	10
5. KAT	201	50	49	15	12	13
6. KAT	205	51	51	16	14	15

Tablo 6.16 da da görüldüğü gibi taban izolasyonlu yapıda en üst kattaki yer değiştirme 51 mm iken ankastre yapıda bu 15 mm de kalmıştır. Nerdeyse 3 kat fazla yer değiştirme oluşmuştur. Fakat şuda gözardı edilmemelidir ki, 51 mm lik yer değiştirmenin 34 mm si izolatörün kendisinde olmuştur.

6.3.5 Sonuçların değerlendirilmesi

Bu bölümde 6 katlı çerçeve sisteminin perde duvarlı ve perde duvarsız halinin sismik performansı incelendi. İzolatörlerin etkileri, yapının modal periyotlarının yanı sıra yer değiştirme ve kuvvet değerleri gibi yapısal tepkilerinde ki azalma cinsinden ölçüldü. Analizin sonucunda izolatörler kullanarak sistemde iyileştirmenin mümkün olduğu görüldü.

İlk önce periyot değerleri karşılaştırıldı. Periyot 0,63s değerinden 2s değerine çıkmıştır. Periyottaki bu 3 kat artış yapının deprem enerjisini sönümlemesi bakımından önemli bir avantajdır.

İkinci kıyaslama Taban kesme kuvveti ve devrilme momenti cinsinden yapıldı.

Kıyaslamada dikkate aldığımız son kriterimiz ise ankastre temelli yapıdaki toplam sürüklenme ve izolatördeki deformasyondur. Yapıdaki toplam sürüklenme perde duvarlı sistemde 15mm iken taban izolasyonlu sistemde 51 mm dir. Fakat unutulmamalıdır ki bu yer değiştirmenin 32mm si izolatörde gerçekleştirilmiştir.

Zemin izolasyonu kullanmaktaki ana sebep yapıya deprem kuvvetlerinin iletimini azaltmaktır. Bu üstyapıyla temel arasına konan düşük rijitliğe sahip izolatörlerin yapıyı deprem yer hareketinin yatay etkilerinden koparmasıyla mümkün olur. Bu ankastre temelli yapının ve zemin izolasyonu uygulanmış yapının periyotlarının karşılaştırıldığı tablolardan anlaşılabilir.

6 katlı ofis binasında periyotlarda yapılan incelemede taban izolasyonlu halin ankastre temelli duruma göre neredeyse 3 kat büyük olduğu görülmüştür.

Bu kısımda, şu da unutulmamalıdır ki, izolatör kütlelerindeki değişiklik, izolatörlerin ve ya sistemin sönüm özellikleri gibi başka girilebilecek parametreler yukarda bahsedilen sonuçları etkileyecek ikinci dereceden etkilere sahiptir.

7 SONUÇ

Bu tezin esas amacı taban izolasyonlu sistemlerin karşılaştırılmasıdır. Taban izolasyonu ile ilgili özet bilgidenden sonra, sistemin tarihi geçmişi ve ana prensipleri, izolatörlerin kullanım alanları tanıtıldı. Taban izolasyonlu yapının karşılaştırılması için üç basit çerçeve analiz edildi. Bunlar sırasıyla Ankastre, viskoz sönümleme mesnetli ve taban izolasyonlu çerçevelerdir. Daha sonra değişik deprem girdilerine maruz kalmış taban izolasyonlu yapıların sismik performansını ortaya koymak için, bir seri sallanan masa testlerinden bahseden deneysel bir çalışmadan alınan bir yapı, kabul edilebilir bir nümerik analiz metodu elde edebilmek için modellendi.

1) İzolatör özelliklerini bulmak için iterasyon yaparken, yatay izolatör rijitliği ve periyodu, yer değiştirmesi ve kuvvet değerleri arasındaki ilişki gözlemlendi. (Tüm durumlarda izolatörler düşey yönde çok rijit kabul edildi.) Yanal yönlerdeki rijitlik değerleri azaldıkça, Taban izolasyonlu yapının periyodu arttı. Bir nevi temel ile yapı arasında düşük rijitliğe sahip bir tabaka oluşmuş oldu.

2) Yer değiştirme etkisi tam tersine oldu. İzolatörlerin rijitliği azaldıkça, izolatördeki deformasyon arttı. Fakat şu da unutulmamalı ki neredeyse yer değiştirmenin büyük bir kısmı izolatörün deformasyonuydu.

Özel bir izolatör tipiyle 6 katlı bir ofis binasını çözülmüştür. Bu betonarme yapı perde duvarlı olarak hem ankastre hem de taban izolasyonlu olarak, perde duvarsız ise taban izolasyonlu olarak analiz edilmiştir.

Kıyaslama yapıların periyotlarında ve kuvvet , yer değiştirme gibi yapısal tepki değerleri ile yapılmıştır.

3) İlk kıyaslama kriteri periyot değerleriydi. Taban izolasyonlu çerçeve sistemin periyodu 2.01 s iken perde duvarlı çerçeve sistemin periyodu 0.63 s olarak bulunmuştur. Bu 3 katlık bir fark demektir. Periyodun fazla olması taban izolasyonlu yapıda deprem enerjisinin sönümleneceğini ve perde duvarlı yapıya göre çok daha az hasar göreceğinin bir belirtisidir.

- 4) İkinci kıyaslama kriteri tabanda ankastre yapının ve taban izolasyonlu yapıların yerdeğiştirmeleriydi. Tabanda ankastre yapıda çatı katındaki yerdeğiştirme 15 mm iken bu taban izolasyonlu yapıda 3 kat artarak 51 mm ye kadar çıkmıştır. Ancak bu 51 mm nin 34 mm si izolatördeki deformasyondur.
- 5) Üçüncü ve son kriter taban kesme kuvveti ve devrilme momentindeki düşmedir. Taban kesme kuvveti ve devrilme momentleri taban izolasyonlu yapıda tabanda ankastre yapıya göre daha az çıkmıştır. Bunun sebebi perdelerin kaldırılmasıyla yapı ağırlığının ve rijitliğin azalması buna bağılı olarak da ivmenin azalmasıdır.
- 6) Taban izolasyonlu yapılarda kazanılan en önemli faydalardan biride periyottaki artıştır. Periyottaki artış tahmin edilebilir. Daha öncede belirtildiğı gibi düşük rijitliğe sahip temel izolasyonu üstyapı ile temel arasına girer ve yapının ankastre temelli haline göre ve yerin hakim frekansına göre çok daha düşük bir frekansa sahip olmasını sağılar.
- 7) Perde yapılı binaya taban izolasyonu uygulandıında yapının periyodu perdesiz yapıdakine göre daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi perdelerden dolayı yapının daha rijit olmasıdır. Perdelerin kütlede artışa sebep olması sonucu taban reaksiyonları taban izolasyonlu ve perdeli yapıda taban izolasyonlu ama perdesiz yapıya göre daha yüksek çıkmıştır.

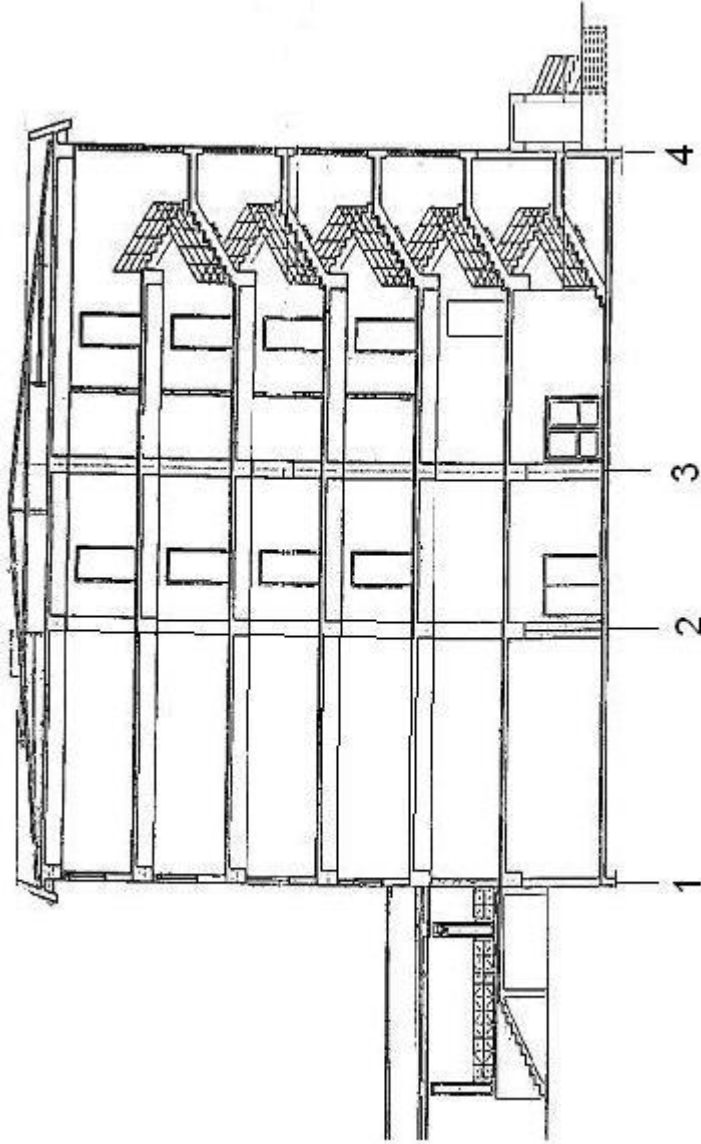
KAYNAKLAR

- [1] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı** , Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi. (<http://www.deprem.gov.tr/index.html>)
- [2] **USGS**, National Earthquake Information Center, World Data Center for Seismology, Denver.
(http://wwwneic.cr.usgs.gov/current_seismicity.html)
- [3] **Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research**, State University of New York at Buffalo.
(<http://mceer.buffalo.edu/infoservice/faqs/structeng/isolation/default.asp>)
- [4] **California State University**, College of Engineering & Computer Science, Civil Engineering & Applied Mechanics.
(<Http://Www.Ecs.Csun.Edu/~Shustov/Topic2-B2.Htm>)
- [5] **Robinson Seismic Ltd.**, New Zealand (<http://www.robinson-seismic.co.nz>)
- [6] **Krzystof W. , Paolo G. , Yozo F.**, (2000) Base Isolation System With Shape Memory Alloy Device for Elevated Highway Bridge. *Engineering Structures* 22 222-229
- [7] **Ronald L. Mayes**, The Application of Seismic Isolation to Bridges, Lan G. Buckle, *Seismic Engineering*.
- [8] **EERC News**, January 1991 "Base Isolation: Origins and Development", Vol: 12, No. 1.
- [9] **A. Dumanoglu, Ş. Ateş**, 1999 Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi, KTÜ.
- [10] **C. A. Kircher, G. C. Hart, K. M. Dtomstad** Development of Design Requirements for Seismically Isolated Structures, *Seismic Engineering*.
- [11] **ISO Bulletin**, February 2000 Earthquakes, ISO Standards to help stabilize foundations.
- [12] **Sarrazin M, Boroschek R**, *Engineering Structures*, 1998, Experiments on a base isolated building in Santiago, Chile,, Vol.20, No :8, 720-725
- [13] **R. S. Jangid and T.K. Datta**, 1995 Performance of base isolation systems for asymmetric building, *Engineering Structures*, Vol 17, 443-454
- [14] **W. J. Chung, C.-B. Yun, N. S. Kim, J.-W. Seo**, (1999), Shaking Table and Pseudodynamic tests for the evaluation of the seismic performance of base-isolated structures, *Engineering Structures*, 21,365-379
- [15] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 1997," Afet Bölgelerinde yapılacak Yapılar HakkındaYönetmelik", Ankara,
- [16] **Aiken ID, Kelly JM, Tajirian F.** , 1989, Mechanics of Low Shape Factor Elastomeric Seismic Isolation Bearings. *Earthquake Engineering research Center*, Report No. UCB/EERC-88/20, University of California, Berkeley,

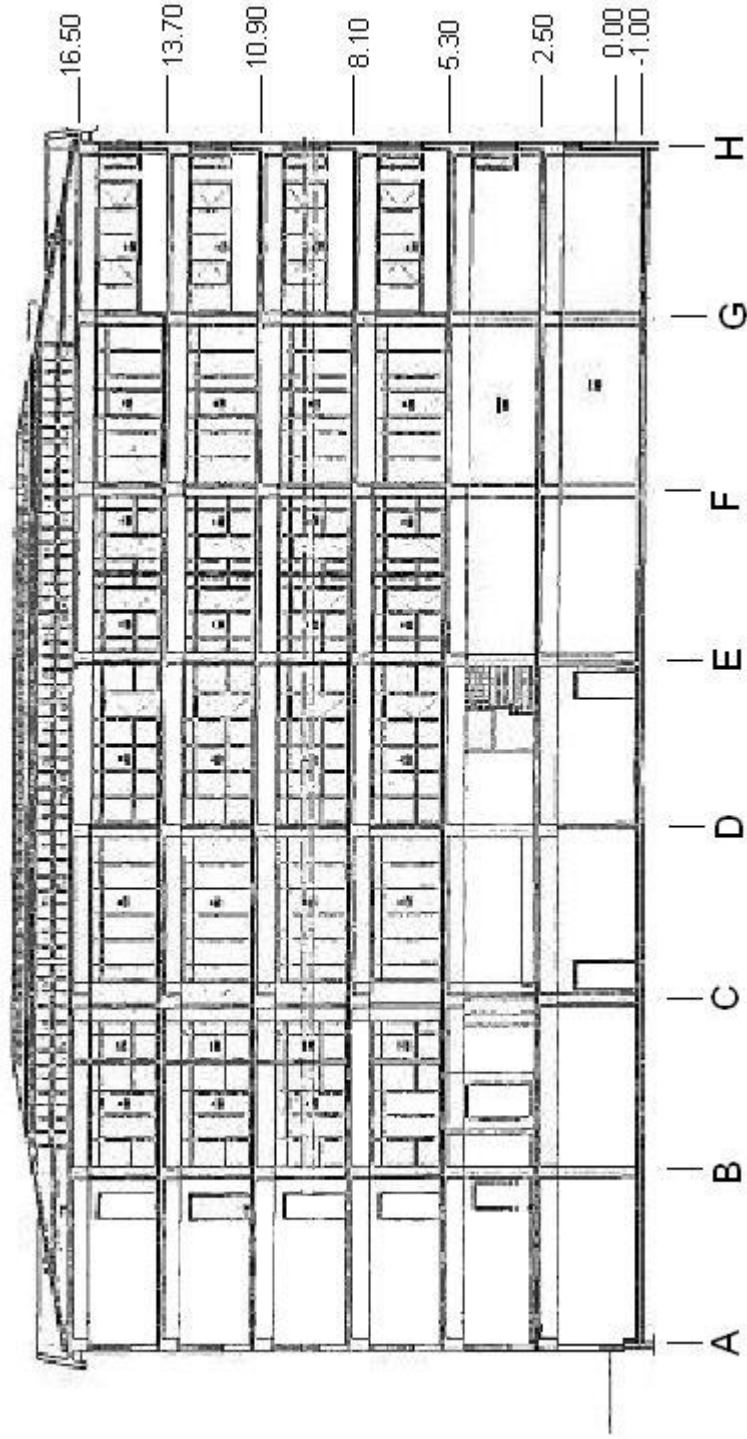
- [17] **Fan FG, Ahmadi**, 1992, Seismic responses of secondary systems in base isolated structures. *Engineering Structures*; 14(1):35-48
- [18] **Buckle, Ian G. And Ronald G. Mayes**, May 1990, "Seismic isolation History, Application and Performance: A World View." *Earthquake Spectra*, V.6, N.2, Pages 161-201. SEL TA654.6.E3S4.
- [19] **Hagio, Kenji, K. Kitazawa, I. Nagashima** , 1992, Base Isolation System for Houses." *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, Spain, 19- 24, 1992. Rotterdam: A.A. Balkema, Volume 4, pages 2515-2518. SELTA654.6.W67 10th V.4.
- [20] **Kircher, Charles A. and Anil K. Chopra**, 1989 Editors. *Seismic Engineering: Research and Practice*. New York: *American Society of Civil Engineers*, SEL TA654.6.S87-89
- [21] **SAP 2000 v9.03**, 2000, *Tutorials, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA*
- [22] **UBC**, 1997. Volume 2 Uniform Building Code, *International Conference of Building Officials*, California

EKLER

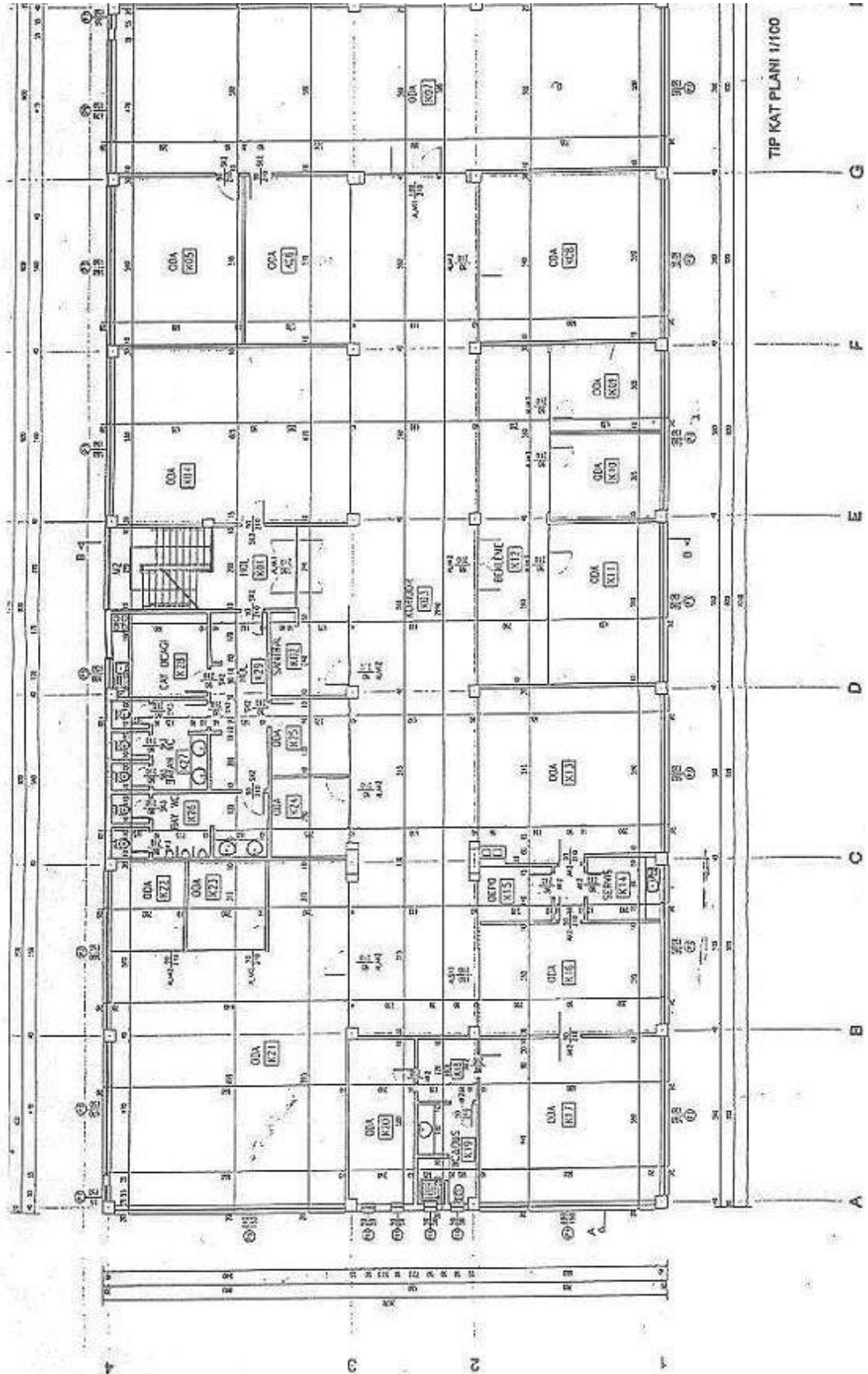
EK-A



Şekil A.1 Yan Cephe

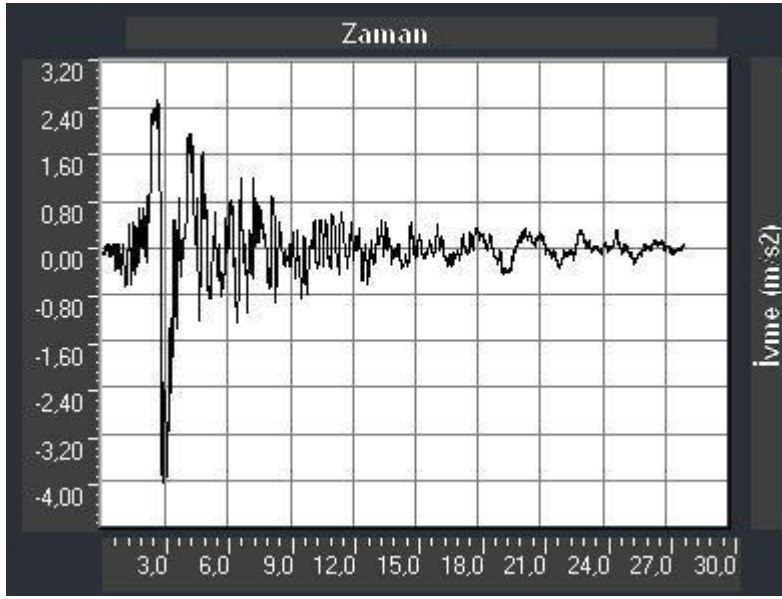


Şekil A.2 Ön Cephe

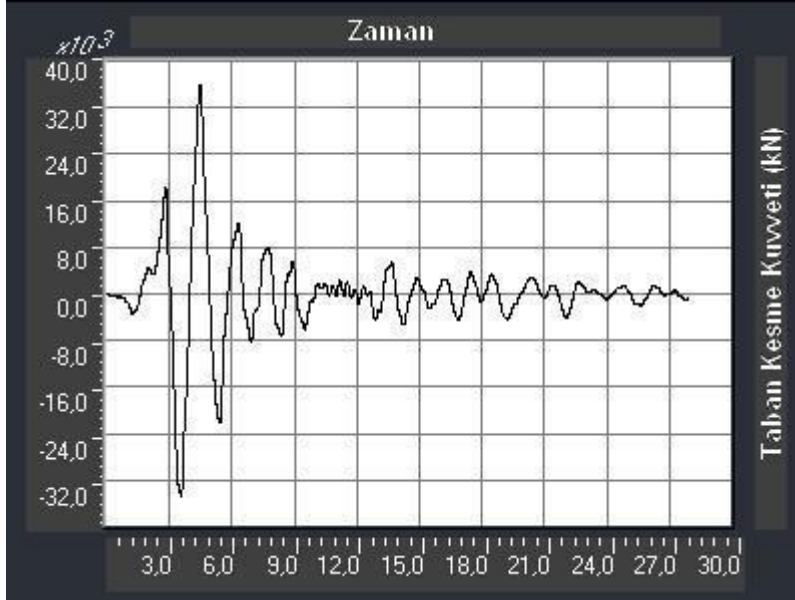


Şekil A.3 Mimari Plan

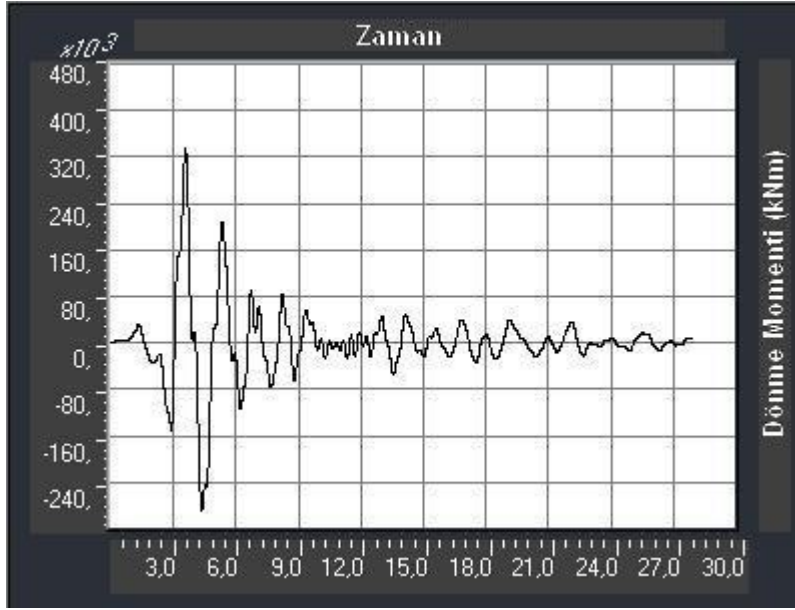
Ek –B



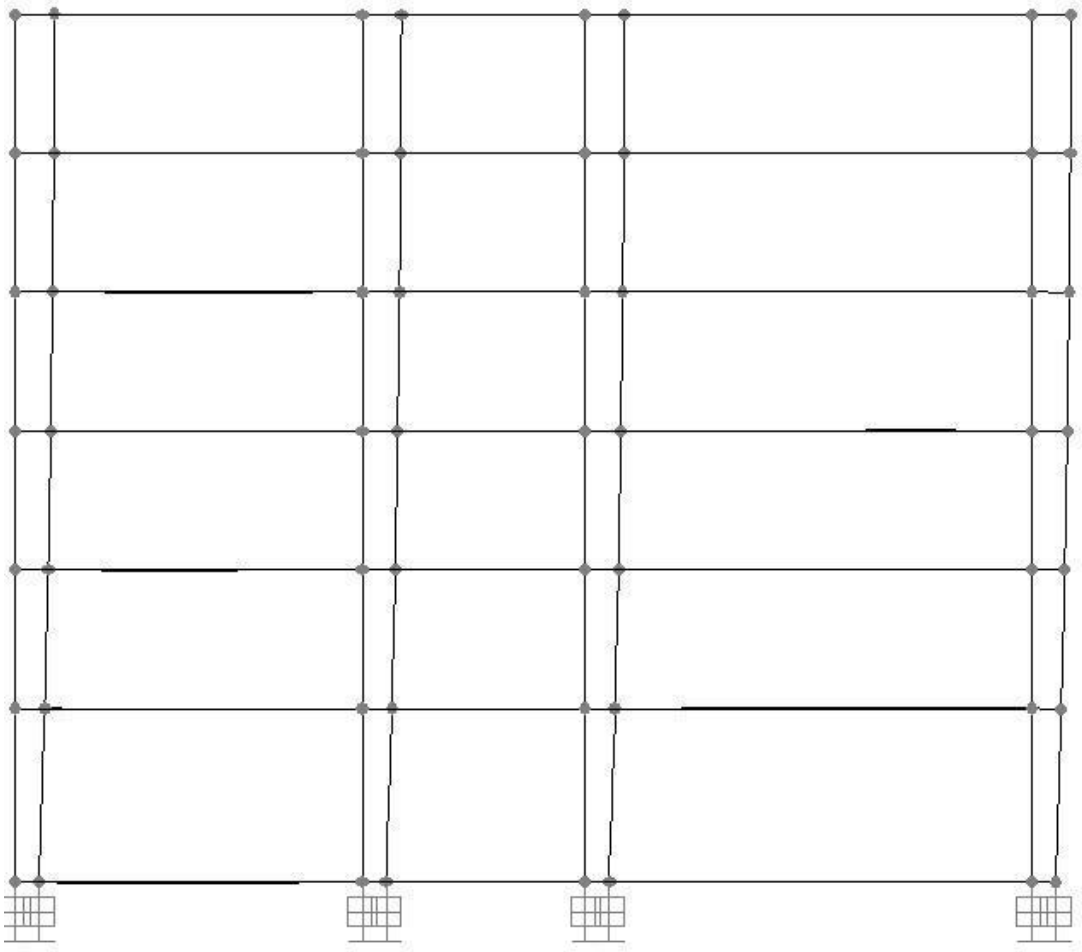
Şekil B.1 Erzincan Depremi Güney Bileşeni İvme-Zaman Grafiği



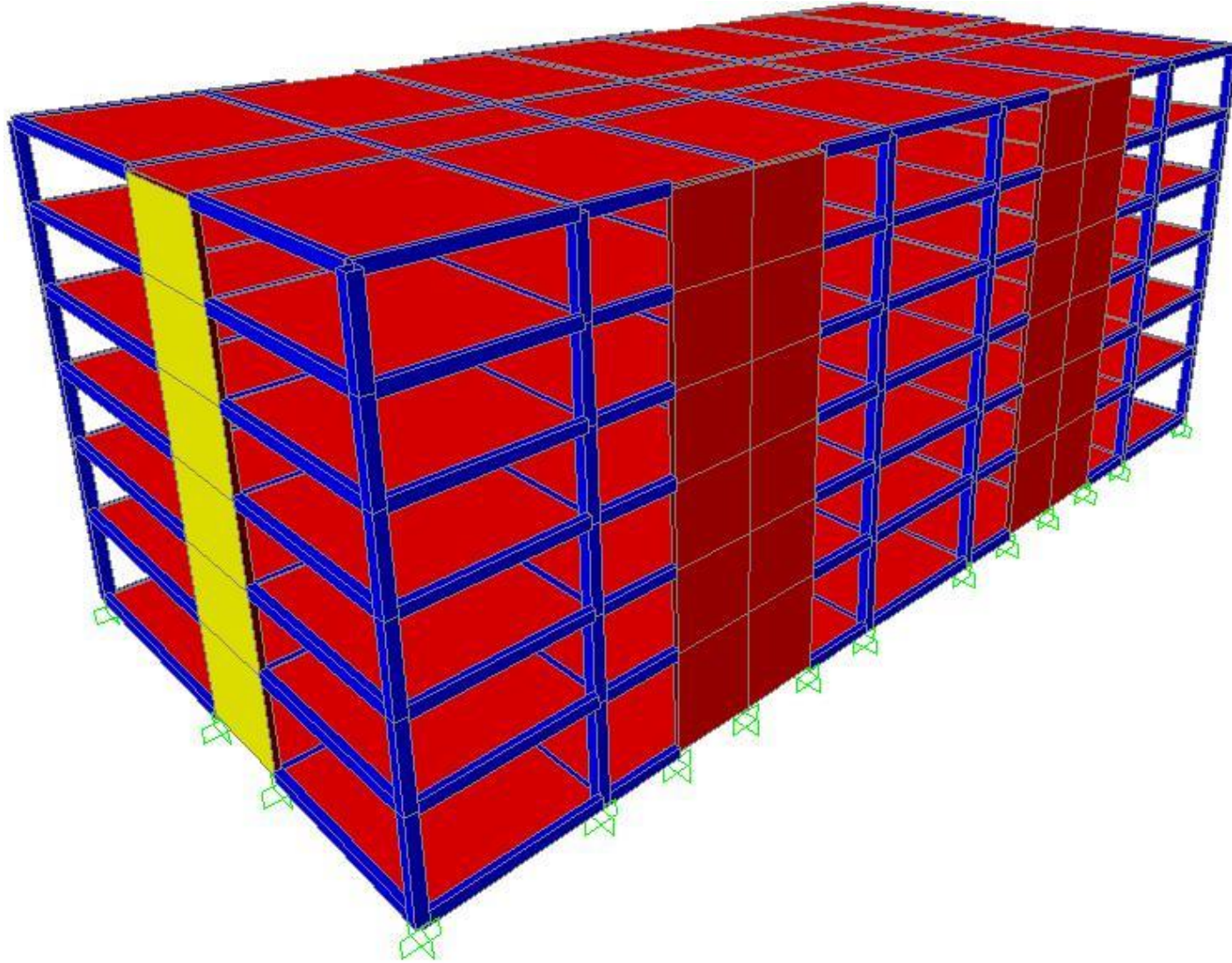
Şekil B.2 İzolatörlü yapıda Taban Kesme Kuvveti-Zaman grafiği



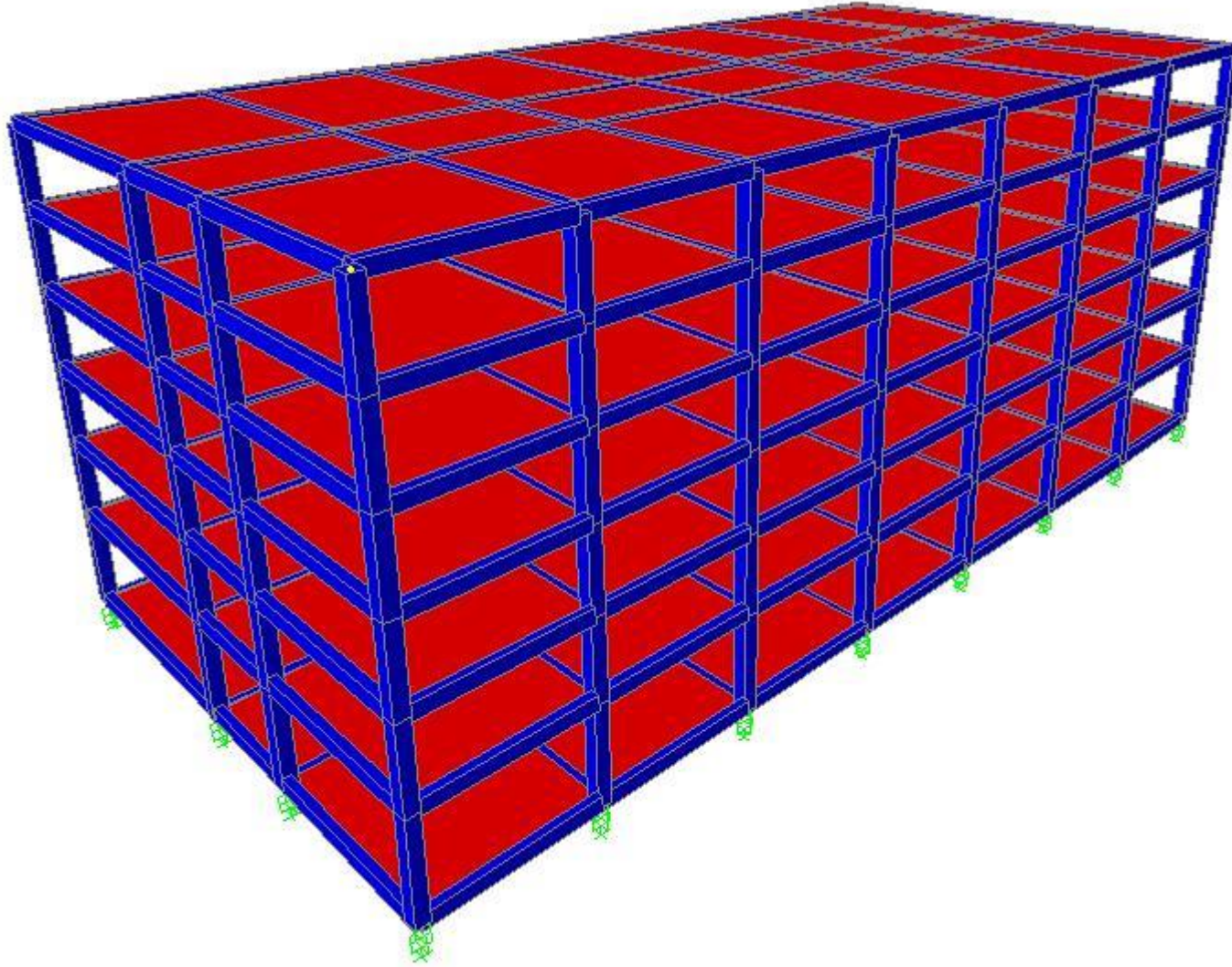
Şekil B.3 İzolatörlü yapıda Dönme Momenti-Zaman grafiği



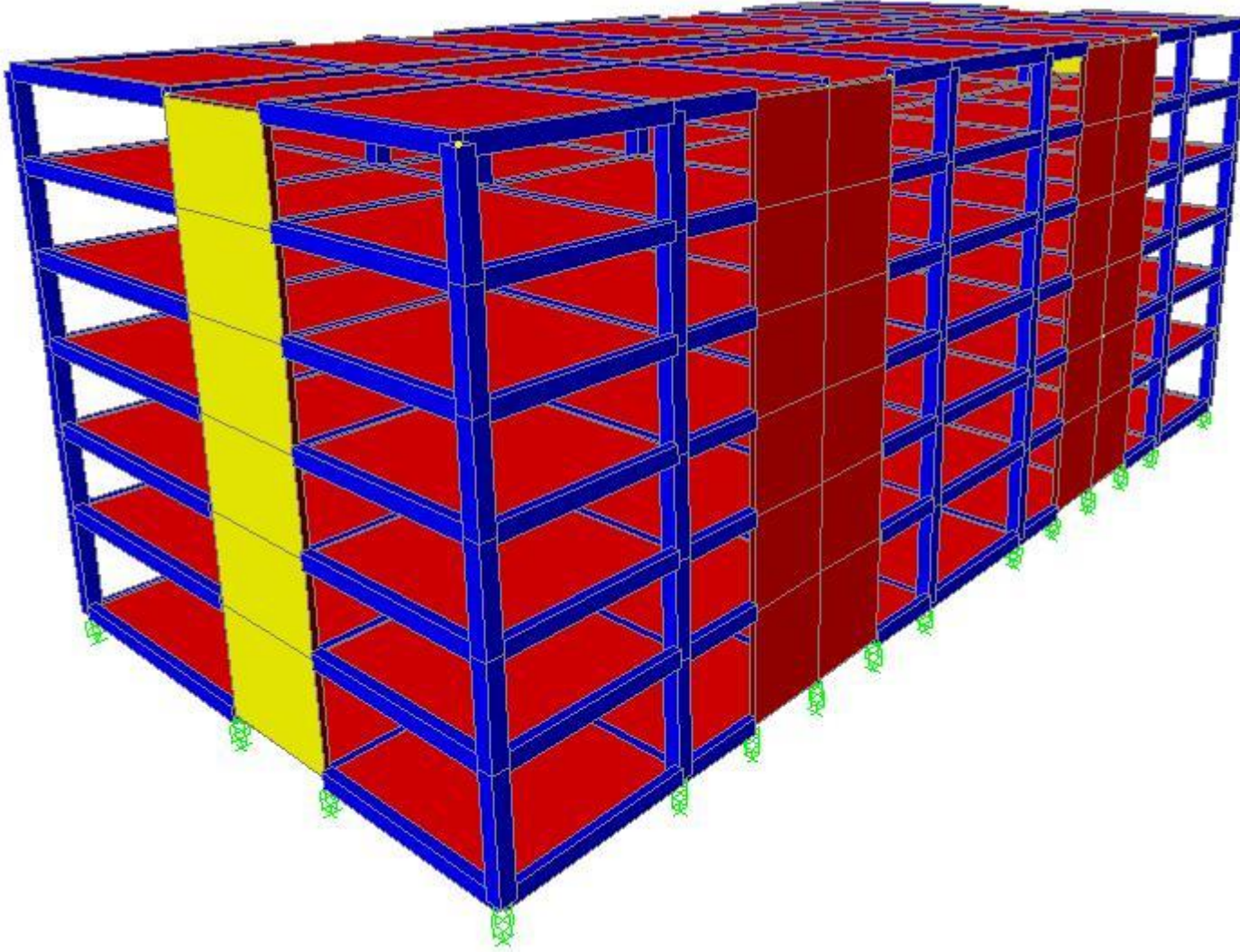
Şekil B.4 Taban İzolasyonlu Çerçeve sistemin Yer Değiştirmesi



Şekil B.5 Tabanda Ankastre Çerçeve +Perde Sistem 3D Modeli



Şekil B.6 Tabanda Ankastre Çerçeve Sistem 3D Modeli



Şekil B.7 Taban İzolasyonlu Perdeli Çerçeve Sistem 3D Modeli

ÖZGEÇMİŞ

12 aralık 1977 yılında İstanbul’da doğdu. İlkokulu İstanbul’ da Özel Dost Lisesinde bitirdi. Orta okul ve Liseyi İstanbul F.M.V. Vakfı Özel Işık Lisesinde Okudu. Üniversite eğitimini lisans düzeyinde İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamladıktan sonra İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Ana Bilim Dalı Deprem Bölümü Yüksek Lisans programında öğrenimine devam etti. İlk mesleki deneyimlerini Koray İnşaat A.Ş.’nin çok katlı inşaatında (Şişli Elite Plaza) ve Cevahiroğlu İnşaat’ın şantiyesinde (Şişli Kültür Merkezi) kazandıktan sonra bir süre Yüksel İnşaat’ın yine çok katlı bir binasında (Şişli Tat Center) görev almıştır. Son olarak Aygün Alüminyum A.Ş. ‘nin Moskova Şantiyelerinde mesleki kariyerine devam etmektedir.