

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TABAN YALITIMLI YAPILARIN
DİNAMİK DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mesut UZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zeki ÖZCAN

Haziran 2007

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TABAN YALITIMLI YAPILARIN
DİNAMİK DAVRANIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Mesut UZ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 15 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr. Kenan GENEL
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr. Zeki ÖZCAN
Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANIŞ
Üye**

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bilgisiyle beni yönlendiren ve bana her türlü desteği veren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zeki ÖZCAN 'a minnet ve Őükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan değerli arkadaşım İnşaat Yüksek Mühendisi Ferhat TEMÜR'e ve aileme, maddi, manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
SİSMİK YALITIM SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ.....	5
2.1. Dünyada Sismik Yalıtım Uygulamaları.....	6
2.2. Türkiye’de Sismik Yalıtım Uygulamaları.....	12
2.3. Önceki Çalışmalar.....	13
BÖLÜM 3.	
KLASİK TASARIM ANLAYIŞI ve SİSMİK YALITIM.....	23
3.1. Klasik Tasarım Anlayışı.....	23
3.2. Sismik Yalıtım Yaklaşımı.....	24
3.3. Sismik Yalıtım Sistemlerinin Avantajları.....	29
BÖLÜM 4.	
SİSMİK YALITIM YÖNTEMLERİ.....	32
4.1. Pasif Kontrol Sistemleri.....	33

4.1.1. Taban yalıtım sistemleri.....	34
4.1.1.1. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet sistemi.....	35
4.1.1.2. Kurşun çekirdekli mesnet sistemi.....	38
4.1.1.3. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet sistemi.....	39
4.1.1.4. Sürtünmeli sarkaç sistemi.....	40
4.1.1.5. Esnek sürtünmeli taban yalıtım sistemi.....	42
4.1.2. Pasif enerji sönümleyici sistemler.....	43
4.1.2.1. Metalik sönümleyiciler.....	44
4.1.2.2. Sürtünme tipi sönümleyiciler.....	45
4.1.2.3. Vizkoelastik katı sönümleyiciler.....	46
4.1.2.4. Vizkoz sıvı sönümleyiciler.....	47
4.1.2.5. Ayarlı kütle sönümleyiciler.....	48
4.1.2.6. Ayarlı sıvı sönümleyiciler.....	49
4.2. Aktif Kontrol Sistemleri.....	49
4.2.1. Aktif rijitlik değiştiren sistemler.....	50
4.2.2. Aktif kütle sönümleyici sistemler.....	51
4.3. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri.....	52

BÖLÜM 5.

SAYISAL UYGULAMALAR.....	54
5.1. Yapının Tanımı.....	55
5.2. İzolatör Boyutlandırması.....	57
5.2.1. Toplam yer değiştirme.....	60
5.2.2. Yatay rijitlikler.....	60
5.2.3. Disk çaplarının hesaplanması.....	61
5.2.4. İzolasyonlu yapı periyodu.....	62
5.2.5. İzolatöre ait boyutlar.....	62
5.2.6. Düşey yönde tahkikler.....	63
5.2.7. Sistemde göçme riski.....	64
5.2.8. Dışarı yuvarlanma mesafeleri (Rollout Displacements).....	65
5.3. Taban Yalıtımlı ve Yalıtımsız Yapıların Karşılaştırması.....	66
5.3.1. Yapı periyotlarının karşılaştırılması.....	67
5.3.2. Yer değiştirmelerin karşılaştırılması.....	67

5.3.3. Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	76
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Elastomerik izolatörlerde kesit alanı
a	: İzolatöre ait kauçuk tabaka kalınlığı
A_s	: İzolatörlerde çelik alanı
A_0	: Etkin yer ivmesi
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AKS	: Aktif kontrol sistemleri
B	: UBC 97 yönetmeliğine ait sönüm azaltma katsayısı
b	: İzolatöre ait çelik tabaka kalınlığı
β	: Sönüm faktörü
c	: Üst yapı sönümü
c_b	: Yalıtım sisteminin sönümü
c_{cr}	: Kritik sönüm
C_V, C_A	: UBC 97 yönetmeliğine ait spektral deprem katsayıları
D	: İzolatör çapı
D_D	: İzolatörlü yapıda tasarım yer değiştirmesi
D_{max}	: Dışarı yuvarlanma mesafesi
E	: Elastisite modülü
E_c	: Yükleme modülü
f	: Yapısal frekans
$F_{x,y}$: X ve Y yönünde meydana gelen taban kesme kuvvetleri
FPS	: Sürtünmeli sarkaç sistemi
FD	: Sürtünme esaslı damper
g	: Yer çekimi ivmesi
G_H	: İzolatöre ait yatay kayma modülü
G_V	: İzolatöre ait düşey kayma modülü
h	: İzolatör yüksekliği

HDRB	: Yüksek sönümlü kauçuk mesnet
I	: Bina önem katsayısı
$I_{A,B}$: Atalet momentleri
K	: Bulk modülü
k	: Üst yapının rijitliği
k_b	: Yalıtım sisteminin rijitliği
K_H	: İzolatörün yatay rijitliği
K_V	: İzolatörün düşey rijitliği
LDRB	: Düşük sönümlü kauçuk mesnet
LRB	: Kurşun çekirdekli mesnet
m	: Üst yapı kütlesi
m_b	: Yalıtım sistemi üzerindeki kütle
MR	: Mantıksal manyetik sıvı
N_V, N_A	: UBC 97 yönetmeliğine ait faya yakınlık faktörleri
P_{cr}	: Göçme durumunda kritik yük
PTMD	: Ayarlı Kütle Sönümleyici
R	: Sürtünmeli sarkaç için küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı
R-FBI	: Esnek sürtünmeli taban yalıtım sistemi
S	: İzolatöre ait şekil faktörü
S_a	: Spektrum katsayısı
S_D	: UBC 97 yönetmeliğine ait zemin cinsi
T	: Ankastre yapının doğal titreşim periyodu
t	: Elastomerik mesnetlerde başlık levhası kalınlığı
T_a, T_b	: Spektrum karakteristik periyotları
t_r	: İzolatöre ait toplam kauçuk yüksekliği
T_D	: Yalıtımlı yapının tasarım periyodu
TLD	: Ayarlı sıvı sönümleyici
TMD	: Ayarlı kütle sönümleyici
ω	: Açısal frekans
VD	: Viskoz akışkanlı damper
VDW	: Viskoz sönümlü duvar
W	: Yapı ağırlığı

z	: Sismik bölge faktörü
ω_D	: Sönümlü durumdaki açısal frekans
ω_b	: Sistemde izolatörlerin açısal frekansı
ξ	: Sönüm oranı
ξ_b	: Taban yalıtımının sönüm oranı
γ	: İzolatöre ait yükseklik - yer değiştirme oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Yalıtımlı ve yalıtımsız sistemler.....	3
Şekil 2.1.	San Francisco Belediye Binası.....	6
Şekil 2.2.	San Francisco Belediye Binası'nda kullanılan kauçuk yataklar....	7
Şekil 2.3.	Los Angeles City Hall Binası.....	8
Şekil 2.4.	Foothill Communities Law and Justice Center.....	8
Şekil 3.1.	Süneklik kavramı.....	24
Şekil 3.2.	İvmenin periyoda bağlı değişimi.....	25
Şekil 3.3.	Yapılarda doğal titreşim periyodunun kat yüksekliği ile değişimi	26
Şekil 3.4.	Yapı esnekliğinin artması ile ivme davranışının değişimi.....	27
Şekil 3.5.	Yer değiştirme- zaman ekseninde periyot değişimi.....	27
Şekil 3.6.	Yer değiştirme- zaman ekseninde sönüm artışının etkisi.....	28
Şekil 4.1.	Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet sisteminin kesiti.....	35
Şekil 4.2.	Kauçuğun gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	36
Şekil 4.3.	Göçme deneylerinden elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrisi.	37
Şekil 4.4.	Kurşun çekirdekli izolatör içyapısı.....	38
Şekil 4.5.	Sürtünmeli sarkaç sisteminin yer değiştirmesi.....	41
Şekil 4.6.	Sürtünmeli sarkaç mesnetinin açık hali.....	42
Şekil 4.7.	Elastik sürtünmeli mesnet sistemi.....	43
Şekil 4.8.	Üçgen plakalı metalik enerji yutucu cihazların montaj şekli.....	44
Şekil 4.9.	Pall tipi sürtünme sönümleyici.....	45
Şekil 4.10.	Vizkoelastik sönümleyici.....	46
Şekil 4.11.	Viskoz akışkanlı sönüm sistemi.....	47
Şekil 4.12.	Sut binası ve sönüm duvarı uygulamaları.....	48
Şekil 4.13.	Ayarlı kütle sönümleyicisi.....	48
Şekil 4.14.	AVS sistemi ve şematik gösterimi.....	50
Şekil 4.15.	Aktif kütle sönümleyici sistemi.....	51

Şekil 4.16.	Taipei'in 80. katında bulunan 730tonluk sönümleyici kütle.....	52
Şekil 4.17.	Yarı aktif sismik sönümleyici.....	53
Şekil 5.1.	Modellenen yapıya ait 3 boyutlu görünüş.....	55
Şekil 5.2.	Modellenen yapıya ait kat planı ve görünüşler.....	56
Şekil 5.3.	Kolonlara etkiyen kuvvetler.....	60
Şekil 5.4.	İzolatör tip detayı.....	63
Şekil 5.5.	SAP2000'de modellenen yapıya ait X ve Y eksenlerine ait görünümler.....	66
Şekil 5.6.	Yalıtımsız yapıya ait mod biçimleri.....	68
Şekil 5.7.	Yalıtımlı yapıya ait mod biçimleri.....	69
Şekil 5.8.	Analizlerde kullanılan ivme kayıtları.....	70
Şekil 5.9.	Yalıtımsız yapıda, deprem kayıtlarından elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi.....	71
Şekil 5.10.	Taban yalıtımlı yapıda, deprem kayıtlarından elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi.....	72
Şekil 5.11.	Yalıtımsız yapıda, davranış spektrumları sonucu elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi....	73
Şekil 5.12.	Taban yalıtımlı yapıda, davranış spektrumları sonucu elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi.....	74
Şekil 5.13.	1992 Erzincan Depremi D-B ivme kaydı altında tabanda oluşan yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	75
Şekil 5.14.	1992 Erzincan Depremi D-B ivme kaydı altında çatıda oluşan yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	76
Şekil 5.15.	Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, deprem ivmeleri sonucu X eksenini doğrultusunda oluşan taban kesme kuvvetleri.....	77
Şekil 5.16.	Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, deprem ivmeleri sonucu Y eksenini doğrultusunda oluşan taban kesme kuvvetleri.....	77
Şekil 5.17.	1992 Erzincan depremi D-B ivme kaydı altında yalıtımsız yapıda oluşan taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi	78
Şekil 5.18.	1992 Erzincan depremi D-B ivme kaydı altında taban yalıtımlı yapıda oluşan taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi..	79

Şekil 5.19. Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, davranış spektrumları sonucu X ekseninde oluşan taban kesme kuvvetleri.....	80
Şekil 5.20. Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, davranış spektrumları sonucu Y ekseninde oluşan taban kesme kuvvetleri.....	80

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Dünya’da sismik yalıtımlı bazı yapılar ve kullanılan sistemler.....	9
Tablo 4.1.	Sismik yalıtım sistemleri.....	33
Tablo 4.2.	Aktif kontrol sisteminin çalışma prensibi.....	48
Tablo 5.1.	Sismik bölge faktörü.....	57
Tablo 5.2.	Bölge zemin cinsi.....	58
Tablo 5.3.	Sismik fay tipi.....	58
Tablo 5.4.	Faya yakınlık faktörleri.....	58
Tablo 5.5.	Sismik katsayılar.....	59
Tablo 5.6.	Sönüm azaltma katsayısı.....	59
Tablo 5.7.	Yalıtımlı ve yalıtımsız yapılara ait periyotlar.....	67
Tablo 5.8.	Zaman tanım alanında yapılan analizlere ait sonuçlar.....	81
Tablo 5.9.	Davranış Spektrumları ile yapılan analizlere ait sonuçlar.....	82

ÖZET

Anahtar kelimeler: Deprem, Yapısal kontrol sistemleri, Sismik yalıtım

Bu tez depremin yıkıcı etkisini azaltan sismik yalıtım tekniklerini incelemektedir. 1980'lerden bu yana dünyadaki diğer deprem bölgelerinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu teknolojinin, can kayıplarının binlerle ölçüldüğü depremlerin yaşandığı ülkemizde henüz geniş anlamda uygulamalarına rastlamak mümkün değildir.

Yapılarda taban yalıtımı kullanılmasının faydalarından birisi, yalıtım sisteminin binanın frekansını azaltmasıdır. Böylece, üst yapı rölatif olarak rijit kalabilmektedir. Yer değiştirmeler daha çok izolatörlerde meydana gelmektedir. Yalıtım sistemlerinin bir başka faydası ise, artan periyot ile yapının ivme spektrumunun azalan bölgesine ulaşmasıdır. Böylece yapıya tesir eden ivme değerleri ve buna bağlı olarak yapının tepkisi küçülmektedir.

Sistem üzerinde etkilerin daha iyi anlaşılması için karşılaştırmalı dinamik analizler yapılmıştır. Dinamik dış etki olarak 1 Ekim 1995 Dinar, 13 Mart 1992 Erzincan ve 17 Ağustos Sakarya Depremleri dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda, ankastre tabanlı ve taban yalıtımlı binaların dinamik davranışları karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması, beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, deprem ve sismik yalıtım sistemleri hakkında kısa bilgiler içermektedir. İkinci bölümde, yalıtım sistemlerinin tarihsel gelişimi, Avrupa ve Türkiye'de yapılan akademik çalışmalar ile yalıtım yapılmış yapılar hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, yapısal özelliklerin bina davranışına etkileri ve geleneksel tasarım ile sismik yalıtım arasındaki farklılıklar ifade edilmiştir. Dördüncü bölümde, sismik yalıtım sistemlerinin çeşitleri ve özellikleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise, UBC 97 parametreleri yardımıyla izolatör boyutlandırması yapılmış, hesaplanan izolatör tipleri Sap2000 paket programı kullanılarak yapılara uygulanmıştır. Yapının ankastre ve İzolatörlü durumları için karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

DYNAMIC BEHAVIOURS OF BASE ISOLATED BUILDINGS

SUMMARY

Keywords: Earthquake, Structural control systems, seismic isolation, base insulation

This current thesis is examining the seismic insulation techniques which are also reducing the destroy of the quake. Since the early of 1980's, despite of largely use of this technique in the earthquake threatening lands, it is not possible to see the use of this new technique, in our land which have suffered from a earthquake events causing so many deaths.

For the examination of the effects on the system, comparable dynamic analyses have been done. As a dynamic external force, Dinar earthquake october first in 1995, Erzincan quake in March 13th 1992 and Sakarya quake in 17th august 1999 has been considered. At the results of the analyses, dynamic behaviour of the anchor based and base insulated buildings are compared.

This research consists of five chapters. Chapter 1 contains some acknowledgements about earthquake and seismic isolation systems. Chapter 2 contains the historical improvement of the isolation systems, the researches performed in Europe and Turkey and some knowledgments about the buildings in which has been used these isolation techniques. Chapter 3 includes the effects of the structural features on the building's behaviour and the differences between the traditional and the new isolation techniques on the buildings. Chapter 4 includes seismic insulation system kinds and their features. As a last one, chapter 5 includes with the use of UBC 97 parameters, dimensions of the isolation have been determined. The specified isolator types have been applicated to the buildings through the use of Sap2000 package software and for the anchored and the isolated cases of the buildings, comparable analyses have been done.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yeryüzünde yılda ortalama 700 adet büyük deprem meydana gelmektedir. Kentsel bölgelerde meydana gelen depremler en yıkıcı doğal afetler arasında yer almaktadır. 1923 yılında meydana gelen Kanto (Japonya) depreminde 140.000, 1976 yılındaki Tângshan (Çin) depreminde 240.000 insan hayatını kaybetmiştir. 1995 Kobe (Japonya) depreminde meydana gelen toplam ekonomik kayıplar ise 200 Milyar doları aşmıştır. Bu tutar Türkiye'nin gayri safi milli gelirine yakındır. Ülkemizde meydana gelen ve yaklaşık 18 bin kişinin ölmesine, 150.000 kişinin ise evsiz kalmasına sebep olan 1999 Kocaeli Depremi'ndeki toplam kayıpların (fiziksel ve sosyo-ekonomik) 20 Milyar dolar civarında olduğu tahmin edilmektedir [1].

Deprem hareketi yeri ve zamanı bilinemediği için en tehlikeli doğal afetlerden birisidir. Ülkemizin %92'sinin aktif deprem kuşakları üzerinde olması yapı sistemlerinin projelendirilmesi ve uygulamasındaki önemin artmasına neden olmakta ve inşaat mühendisliği uygulamalarında deprem mühendisliğinin önemini ortaya koymaktadır.

Depremde değişken parametreleri ve yapılar üzerindeki etkisi hakkında daha fazla bilgi sahibi oldukça, güvenliği arttırmak ve olası can kayıplarını engellemek için daha dayanıklı binalar yapmaktayız. Fakat bu yapılar depreme dayanıklı inşa edilse bile depremden korunamamakta ve şiddetli bir depremde yapısal ve maddi hasarlar oluşmaktadır [2].

Yapıların depreme karşı korunması açısından en etkili önlem depreme dayanıklı yapı tasarımıdır. Klasik depreme dayanıklı yapı tasarımında yapılar, deprem kuvveti karşısında tamamen yıkılmayacak kadar güçlü ve yeteri kadar esnek olarak dizayn edilir. Fakat bu dizayn daha önceden hesaplanmış ve kabul edilen tasarım yüklerine göre yapıldığı için, yapıya tasarım yükünden daha büyük bir yük etki ettiğinde

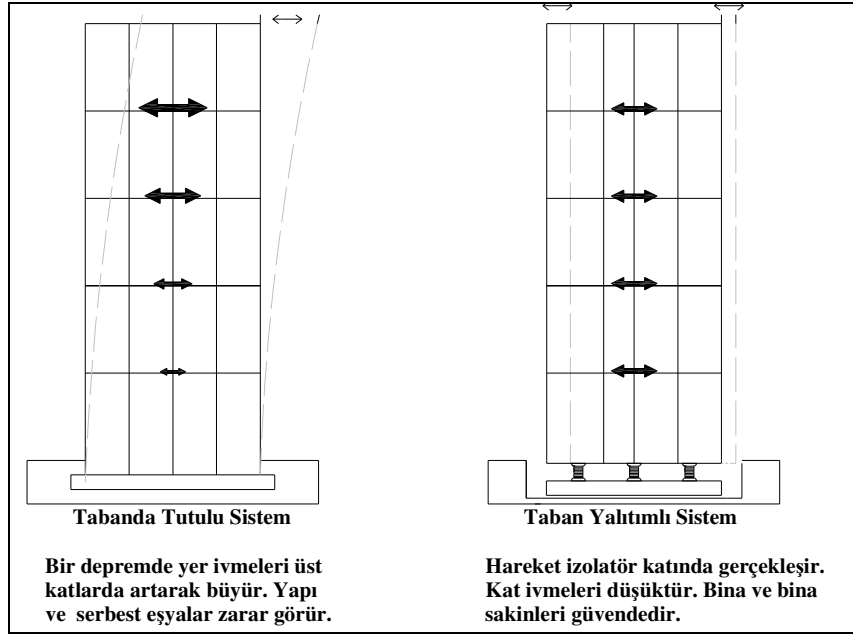
taşıyıcı elemanlar ciddi hasarlar almaktadır. Klasik tasarım anlayışında binaya gelecek bu ek enerjinin sönümlenmesi, genel olarak plastik mafsallar yardımıyla gerçekleştirilir. Bu ise yapının hasar görmesini kabul etme anlamına gelir.

Son yıllarda tasarımda kabul edilen bu hasarların oluşmaması ve yapının dinamik etkilere karşı daha iyi korunması amacıyla mevcut klasik tasarıma ek olarak yeni sistemler ortaya çıkmıştır. Bu sistemler, yapıya gelen dinamik etkiyi çok kısa bir zamanda algılayıp karşı kuvvetler uygulayacak veya etkiyi kendi içinde sönümleyerek yapının yer hareketinden daha az etkilenmesini sağlayacak malzemeler ve yalıtım sistemleridir [3].

Yapıların deprem gibi dinamik yüklerden korunmasının en basit örneği, yapının hareket edebilen tekerler üzerine oturtulmasıdır. Böyle bir sistem sayesinde yapı, dinamik bir kuvvete maruz kaldığında yapı tekerler üzerinde kayacak ve etkinin üst yapıya geçmesi nispeten engellenecektir. Fakat sistem düşük yatay rijitliğinden dolayı rüzgâr gibi küçük etkilerde bile yer değiştirme yapacak ve geri dönüş mekanizması olmadığı için eski pozisyonuna geri dönemeyecektir. Etkili bir yalıtım sisteminin, rüzgâr gibi küçük yüklemelerde yapının harekete geçmesini engelleyecek kadar rijit, deprem gibi büyük enerjili dinamik yükler karşısında ise düşük bir rijitlikle yapıyı zeminden ayırması amaçlanır.

Yukarıda bahsedilen örnek doğrultusunda geliştirilmiş sistemlerden en yaygın olarak kullanılanı, kauçuk ve çelik tabakalardan oluşan taban izolatörleridir. Bu izolatörler her kolonun dibi ile temel arasına yerleştirilir ve yer hareketi esnasında temelden yapıya geçen dinamik etkiyi azaltır. Böylece daha az kuvvetle karşılaşan yapı, depremden daha az etkilenerek, içindeki eşya ve cihazlardaki zararı en aza indirerek kontrollü bir yumuşaklıkla sallanır.

Geleneksel sistemlerde yüksek kat ivmeleri ve büyük görelî kat ötelemeleri oluşur (Şekil 1.1). Aynı dinamik etki altındaki yalıtımlı yapılarda ise depremin yatay bileşeninin büyük bölümü temel kotunda sönümlenir. Böylece kat ivmeleri ve katlar arası deplasmanlar minimuma iner.



Şekil 1.1. Yalıtımlı ve yalıtımsız sistemler [4].

Taban yalıtım sistemleri uygulanan yapılarda aşağıdaki yararlar sağlanır;

- Elastik davranış.
- Yapıya gelen kuvvetler azalır.
- Kat ivmeleri küçülür.
- Katlar arası deplasmanlar küçülür, hemen hemen bütün katlar yaklaşık aynı deplasmanı yapar yani rölatif kat deplasmanları sıfıra yaklaşır [5].

Taban yalıtım sistemleri gelişmiş ülkelerde oldukça sık uygulanan bir yöntemdir. Bu sistemler bina maliyetini önemli ölçüde yükselttiği düşünüldüğü için ülkemizde henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Fakat bu sistemlerle yalıtılmış bir binada, modelleme sırasında emniyet katsayıları azalacak ve taşıyıcı elemanların boyutlandırılması daha esnek yapılabilecektir. Genel olarak yalıtımlı yapı için ilave masraflar yeni bir inşaatta, inşaat maliyetine çoğunlukla yüzde 5'ten daha az olmaktadır.

Geçmiş yıllarda yaşanan depremlerden örnek verecek olursak;

17 Ocak 1994'teki Northridge Depremi'ne maruz kalan ve hiçbir yalıtım sistemi uygulanmayan "Olive View Hospital" adlı hastanede taban ivmesi 0.80 g iken çatıda 2.30 g ye yükselmiştir. Depremde ağır hasar alan bu binada 400 milyon dolarlık tıbbi donanım kullanılamaz hale gelmiştir. Yine aynı şehirde olan fakat taban yalıtımı uygulanmış olan "USC Hospital" adlı hastane binasında ise taban ivmesi 0.37 g iken çatıda 0.11 g ye düştüğü gözlenmiştir. Bu yapı depremde hiçbir hasar almamıştır.

Northridge Depremi'nden tam bir yıl sonra meydana gelen 6,9 büyüklüğündeki Kobe depreminde ise yalıtımsız bir binada taban ivmesinin 0.37 g iken çatıda 1.18 g ye yükseldiği gözlemlenmiştir. Taban yalıtımlı bir bina olan ve depremde hiçbir hasar almayan "West Japan Postal Savings Computer Center" da ise uygulanan mevcut donanım sayesinde taban ivmesinin deprem sırasında 0.40g iken çatıda 0.12g ye düştüğü ölçülmüştür.

Eldeki bu veriler ışığında temel yalıtımının ve daha geniş anlamda sismik yalıtım sistemlerinin deprem karşısında yapılara sağladıkları yararlar göz ardı edilemez.

BÖLÜM 2. SİSMİK YALITIM SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

Yapıları depremin yıkıcı etkilerinden koruma fikri günümüzden binlerce yıl öncesine dayanır. Bunların en eskisi 1200 yıl önce yapılmış olan Japon pagodalarıdır. Bu yapılarda, tomruktan yapılan çerçeveler arasında yüksek sürtünme kuvvetleri oluşmakta ve böylece büyük miktarda enerji sönmelenmekteydi. Oldukça büyük titreşim periyotlarına sahip olan yapılar kısa periyotlu depremlerde rezonans etkisinden de kurtuluyordu.

Bu tarihlerde yapılan yalıtım uygulamalarına bir diğer örnek ise Pekin'deki Kral Zi Jing Ceng'in sarayı gösterilebilir. Bu yapı, kireçtaşı ve kaynamış pirinç kabuğu serilerek oluşturulmuş yapay bir zeminin üzerine inşa edilmişti. Zeminin akışkanlık ve yüksek sönmü özellikleri sebebiyle iyi bir yalıtım sağlanmaktaydı.

1909'da İngiltere'nin kuzeyinde bir kent olan Scarborough'ta J.A. Calantarients adında bir doktor, yapıların depremden korunması için yeni bir metot bulunduğunu bildirmiştir. Bu metoda göre, binaların yapımı sırasında temelin altına talk, mika veya kumdan oluşan bir katmanın eklenmesi durumunda, yapıların deprem esnasında hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek oluşacağını savunmuştur. Bu sayede, yapıya transfer olan kuvvetin azaltılmasının mümkün olacağını öngörmüştür.

Modern anlamda sismik yalıtım sistemleri ilk kez 1969 yılında Yugoslavya'nın Skopje şehrinde kullanılmıştır. Pestaloci adındaki 3 katlı bina, modern kauçuk izolatorlerin ilkel hali olan bir sistem ile yalıtılmıştır. Kullanılan izolatorler, şimdikinden farklı olarak tamamıyla kauçuk bloklardan oluşturulmuştur. O zamanlar kauçuk blokların çelik levhalarla takviye edilme fikri henüz tasarım aşamasında olduğu için çelik tabakalar kullanılmamıştır. Sonuç olarak tek başına kullanılan kauçuk bloklar, sabit yükler altında şişmiş ve düşey yönde istenilen rijitlik sağlanamamıştır [6].

Günümüzde, başta ABD ve Japonya olmak üzere Yeni Zelanda, İtalya bu konuda aşama kaydetmiş ülkelerden başlıcalarıdır. Ülkemizde de bu konuda yapılan çalışmalara rastlamak mümkündür.

2.1. Dünyada Sismik Yalıtım Uygulamaları

Kauçuk yalıtım sistemleri kullanılarak yapılan güçlendirme uygulamalarına California'daki San Francisco Belediye Binası örnek olarak verilebilir. 1906 San Francisco depreminde yıkılan önceki yapının yerine 1915 yılında inşa edilen bu bina, klasik mimarinin ayakta kalan bir örneğidir (Şekil 2.1). Beş katlı bina, 94,2*124,4 m boyutlarında olup iki bloktan oluşmaktadır. Taşıyıcı sistem çelik çerçeve ve beton döşemelerden oluşmaktadır.

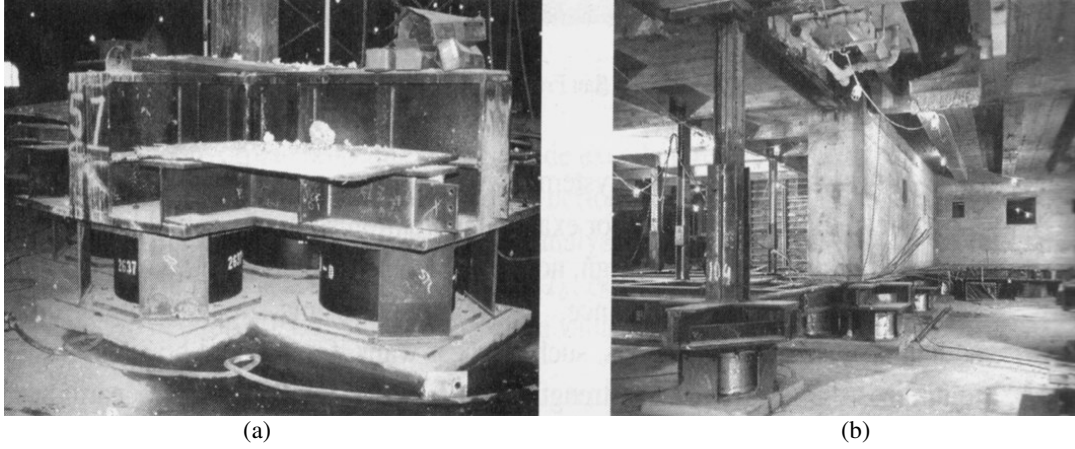
Bu yapının depreme dayanıklılığını geliştirmede binanın tarihsel dokusunu korumak için taban yalıtım sistemleri kullanılmıştır. Buna ek olarak, binanın içindeki yeni perdelerle üstyapı güçlendirilmiştir. Bu iyileştirme projesi 1998 yılında tamamlanmıştır.



Şekil 2.1. San Francisco Belediye Binası [7].

530 adet izolatörden meydana gelen yalıtım sisteminde, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler kullanılmış ve bu mesnetler her bir kolonun ve perdenin tabanına yerleştirilmiştir (Şekil 2.2.). Mesnetlerin yüksekliği 53,3 cm olup, çapları 78,7 cm ile

91,4 cm arasında değişmektedir. İzolatörlerin kurulum işlemi çok karmaşık olmuş, kolonların askıya alınması, kesilmesi ve kolon yüklerinin geçici mesnetlere aktarılması gibi işlemler gerekmiştir. Yalıtım, mevcut temelin hemen üzerine uygulanmıştır.



Şekil 2.2. San Francisco Belediye Binası'nda kullanılan kauçuk yataklar. a) Kolonların tabanındaki mesnet sistemi (b) Perdelerin tabanındaki mesnet sistemi [7].

Şiddetli bir depremde yapının periyodunun 2,5 sn olacağı ve temel kotunda yaklaşık 46 cm ile 66 cm arasında yer değiştirme olacağı tahmin edilmektedir. Bu harekete izin vermek için binanın etrafında binanın yer değiştirmeye olanak sağlayacak biçimde bir hendek inşa edilmiştir. Yalıtım sistemi boyunca bir taraftan diğer tarafa yeterli hareketi sağlayabilmek için elektrik, telefon ve sıhhi tesisat hatlarında esnek birleşimler oluşturulmuştur [7].

Taban yalıtımı uygulamalarına bir başka örnek ise Los Angeles City Hall'dır. Bina üç ayrı kısımdan oluşmaktadır. Bodrum kat ve 4. kat arası taban kısmını, 5-11. kat arası orta kısmını, 12 ve 32. kat arası ise, kule olarak adlandırılır. Yapı, kuzey güney doğrultusunda 145 m, doğu batı doğrultusunda ise 76 m genişliğindedir. Binanın toplam yüksekliği 138 m'dir. Projede, 526 adet izolatör ve sürtümlü sarkaç mesneti, 64 adet viskoz sönümleyici kullanılmıştır. Los Angeles City Hall Binası Şekil 2,3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Los Angeles City Hall Binası [8].

ABD’de taban yalıtım sistemlerinin kullanıldığı ilk bina olan “Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC)”, Los Angeles’in 60 km doğusunda ve San Andreas Fayının üzerinde inşa edilmiştir. Yapımı 1985 yılında biten yapı, dört kattan oluşmakta ve 15794 m² alana sahiptir. Binanın sismik yalıtımı için yüksek sönümlü kauçuk yataklar kullanılarak 8.3 şiddetindeki bir depreme dayanabilecek şekilde inşa edilmiştir. Binanın yalıtım seviyesinde 30-40 cm yer değiştirme yapması tasarlanmıştır. Bina toplam 38 milyon dolara mal olmuştur.



Şekil 2.4. Foothill Communities Law and Justice Center [4].

Dünyada Sismik yalıtım yöntemi uygulanmış bazı binalar Tablo 2,1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Dünya’da sismik yalıtımlı bazı yapılar ve kullanılan sistemler.

NO	BİNA ADI	KAT ADETİ	İZOLASYON SİSTEMİ
1	Arrowhead Medical Center	5 Kat	400 ADET HDRB
2	Autozone Corporation	8 Kat	24 ADET LRB VE 19 ADET RB
3	Campbell Hall State Collage	3 Kat	26 ADET LRB VE 16 ADET RB
4	San Francisco City Hall	3 Kat	500 ADET LRB
5	Evans & Sutherland Building	4 Kat	40 ADET LRB VE 58 ADET RB
6	Kaiser Permanente Facility	2 Kat	26 ADET LRB VE 28 ADET RB
7	Kerchkoff Hall UCLA Campus	4 Kat	33 ADET LRB VE 93 ADET RB
8	Long Beach V.A. Hospital	12 Kat	110 ADET LRB 18 ADET RB VE 36 ADET SB
9	Luther King Medical Center	6 Kat	70 ADET HDRB
11	Oakland City Hall	18 Kat	42 ADET LRB VE 69 ADET RB
12	Salt Lake City Building	17 Kat	208 ADET LRB VE 239 ADET RB
13	San Francisco Main Library	7 Kat	50 ADET LRB VE 92 ADET RB
14	Stanford Accelerator Center	---	4 ADET LRB
15	Usc. Universal Hospital	7 Kat	68 ADET LRB VE 81 ADET RB
16	Rockwell Corp. Headquarter	8 Kat	42 ADET LRB VE 69 ADET RB
17	Portland Water Bureau Control Center	2 Kat	31 ADET LRB VE 4 ADET RB
18	Hughes Buildings S-12	12 Kat	24 ADET LRB VE 21 ADET RB
19	San Bernardino Medical Center	5 Kat	400 ADET LRB VE 186 ADET VD
20	Channing House	11kat	56 ADET LRB VE 56 ADET RB
21	Titan Solid Motor Storage	---	LRB
22	Foothill Communities Law Center	4 Kat	98 ADET HDRB
23	Marina Apartments	---	31 ADET FPS
24	Rio Hondo Busway Bridge	---	21 ADET FPS
25	San Francisco Airport	4 Kat	267 ADET FPS
26	U.S. Courts Of Appeals	3 Kat	256 ADET FPS
27	White River Bridge	---	9 ADET FPS

28	Hayward City Hall	5 Kat	53 ADET FPS VE 15 VD
29	Kanto Teishin Hospital	---	208 ADET VDW
30	Tohoku Electric Company	---	120 ADET HDRB
31	Media City Shizouka	5 Kat	VDW
32	Fukuoka Dome	---	OİL DAMPER
33	Ntt. Shinjuku Building	12 Kat	VDW
34	Atami Korakuen Hotel	---	FPS
35	Esnic Building	---	40 ADET HDRB
36	Kanto Yuseikyoku Chosya	---	450 ADET VDW
37	Jal Building	27 Kat	VD
38	Nakano Sakaue Cho-1 Plan	---	220 ADET VDW
40	Ke Shibuya Building	15 Kat	76 ADET VDW
41	William Clayton Building	4 Kat	LRB
42	National Museum Of New Zeland	5 Kat	LRB VE RB VE FPS
43	Ac Filter Capacitor Banks, Haywards HvdC Converter Station	6 Kat	RB VE STEEL DAMPERS
45	Press Hall, House	---	LRB
46	Parliament House	5 Kat	LRB VE RB
47	Parliament Library	5 Kat	LRB VE RB
48	Telecom Administration Center	---	276 ADET HDRB
49	Apartment Building	3 Kat	16 ADET HDRB VE 27 ADET RB
50	Navy Medical Center	---	24 ADET HDRB
51	San Pietro Church	3 Kat	25 ADET HDRB
52	Standard Phone Switch Houses	---	HDRB
53	Civic Center Monte D'ago	---	6 ADET RB
54	Gorgas Hospital	---	2 ADET FD (PALL)
55	Mc. Connel Building, Concordia University	16 Kat	143 ADET FD (PALL)
56	E'cole Polyvalante	3 Kat	64 ADET FD (PALL)
57	Centre Canadian De Research En Information Du Travail	4 Kat	FD (PALL)

58	Canadian Space Agency	4 Kat	58 ADET FD (PALL)
59	Casino De Montreal	8 Kat	32 ADET FD (PALL)
60	Department Of National Defence Of Canada	3 Kat	FD (PALL)
61	Desjardin Life Insurance Building	---	FD (PALL)
62	Cardiology Building	5 Kat	90 ADET VD(ADAS)
63	Bin Quasim Thermal Power Station	---	PTMD
64	Tiwest Rutile Plant	---	PTMD
65	Basf Chimney	---	PTMD
66	Mount Wellington Broadcasting Tower	17 Kat	80 ADET PTMD
67	Ruwais Utilities	---	PTMD
68	Al Khobar	---	PTMD
69	Liquid Natural Gas Tanks	---	430 ADET FPS
70	Petronas Twin Towers	---	VD (TAYLOR)
71	Canadian Embassy	3 Kat	44 ADET FD (PALL)
72	Garden Housing	2 Kat	504 ADET FD (PALL)
73	Takenaka Corporation	4 Kat	14 ADET RB VE 8 ADET VD
74	Institute Of Computational Fluid Dynamics	---	9 ADET RB
75	Oiles Corporation Ashikaga Guest House	3 Kat	6 ADET LRB VE 2 ADET RB
76	Grand Reve Fuchu	---	24 ADET RB
77	Seattle Hawks Stadium	---	FPS

Kısaltmalar

Hdrb (High Damping Rubber Bearing)	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
Rb (Rubber Bearing)	Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnet
Lrb (Lead Rubber Bearing)	Kurşun Çekirdekli Mesnet
Fps (Friction Pandelum System)	Sürtünmeli Sarkaç Sistemi
Fd (Friction Damper)	Sürtünme Esaslı Damper
Vd (Viskous Damper)	Vizkoz Akışkanlı Damper
Ptmd (Passive Tuned Mass Damper)	Ayarlı Kütle Sönümleyici
Vdw (Viscous Damping Wall)	Viskoz Sönümlü Duvar

2.2. Türkiye’de Sismik Yalıtım Uygulamaları

Türkiye’de sismik yalıtım konusunda son yıllarda önemli gelişmeler olmasına rağmen, bu sistemlerin binaya getirdiği ek maliyet ve işçilik yüzünden Türkiye’de sismik yalıtım sistemleri yeteri kadar kullanılmamaktadır.

Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Kampüsü’nde yapımına 2002’de başlanan ve 12 bin 500 m² alan üzerine 67 bin 500 m² kapalı alana sahip olan Tıp Merkezi, Türkiye’de sismik izolatör kullanılarak inşa edilen ilk yapıdır. 256 adet izolatör üzerinde duran hastane, deprem anında 27cm sağa ve sola hareket edebilmektedir.

Geçtiğimiz yıllarda yapımı biten 186 bin m²’lik Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali’nin temelinde yaklaşık 5milyon \$’a mal olan 180 adet sismik izolatör yerleştirilmiştir. Bu sistem sayesinde 8 büyüklüğünde bir deprem olması halinde yapının camları bile kırılmayacak, bina servis hizmetini aksamadan yerine getirebilecektir. Amerikan Mühendisler Konseyi (ACAC) tarafından her yıl geleneksel olarak verilen Mühendislik Akademi Ödülü, Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali’ni yapan Türk şirketi’ne verilmiştir [9].

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi’nde fay hattının çok yakınından geçmesi sebebiyle büyük hasar gören Bolu Tüneli Viyadükleri’ne Amerika’da geliştirilen 3’er metre çapında 6’şar ton ağırlığında 500 tane izolatör takılmıştır. Yaklaşık değeri 15 milyon doları bulan sismik izolatör takviyesi, viyadüklerin bundan sonra yaşanacak bir depremde çok daha az zarar görmesini sağlayacaktır. Viyadüklerin normal durumda doğal titreşim periyodu 0,5 sn ve 1 sn arasındayken izolatörler ile periyodun 5–6 saniyeye çıkararak deprem anında 70cm kayabileceği ifade edilmiştir [10].

İstanbul’da 40 yıl önce yapılan ve Marmara Depremi sonucu bazı temel bağlantılarının olmadığı saptanan Tarabya Oteli, sürtünmeli sarkaç sistemiyle (Friction Pendulum Bearing) 3 milyon 775 bin dolara güçlendirilmiştir. Yapı, uygulanan yalıtım sistemi sayesinde depremde her yönde 30cm deplasman yapabilmektedir [11].

Antalya Hava Limanı Dış Hatlar Terminalinde uygulanan sistem Dünya’da sismik yalıtım konusunda yapılmış en iyi ilk beş projeden birisidir. 50.000 m² alana sahip Terminal binasında 411 adet kolon kesilerek Alga firmasının ürettiği kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler yerleştirilmiştir. Kesilen perde duvarlara ise kayıcı mesnetler monte edilmiştir. Yine proje gereği uzay çatı ile tüm elektromekanik sistemlerde depreme karşı izole edilmiştir [12].

Tüm bu projelerin yanı sıra Gümüşova-Gerede Otoyolu Projesinde 1 Nolu Viyadüğünde, Aliğa Rafinerisi sıvı doğal gaz depolarında, Ankara Büyükşehir Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi’nde, Erzurum Devlet Hastanesi’nde ve inşaatı devam etmekte olan Türk Ekonomi Bankası Genel Müdürlüğü Binası’nda sismik yalıtım sistemleri kullanılmıştır [13].

2.3. Önceki Çalışmalar

Aiken vd, çalışmalarında yüksek sönümlü kauçuk yalıtım sistemleri ile kurşun çekirdekli yalıtım sistemlerini karşılaştırmışlardır. Bu amaçla biri 176mm diğeri 140mm çapında iki farklı yüksek sönümlü kauçuk mesnet ve 180mm çapında bir kurşun çekirdekli mesnedi ele alarak bir dizi test yapmışlardır. Yatakların kayma rijitliklerini ve sönüm özelliklerini değişik test parametreleri için araştırmışlar, malzeme ve yatak özellikleri için mevcut analitik bağıntılar ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır [14].

Aiken vd, çalışmaları için Japonya’daki Tohoku Üniversitesi Kampüsü’nde deneysel amaçlı 1/2,5 ölçekli inşa edilen biri ankastre tabanlı, diğeri ise taban yalıtımlı üç katlı iki binayı kullanmışlardır. Depremsel yalıtımın etkinliğini araştırmak için daha önce yapılan çalışmadaki^[37] üç farklı elastomerik yatak kullanılmıştır. Sarsma masası ile yapılan testler, yalıtımlı sistemlerdeki üstyapı ivmelerinin, katlar arası ötelenmelerin ve taban kesme kuvvetlerinin ankastre tabanlı binaya göre büyük ölçüde azaldığını göstermiştir [15].

Moroni vd, Şili’de 1992 yılında deney amacıyla inşa edilmiş iki binayı incelemiştir. Bu binalardan birisi geleneksel tasarıma göre inşa edilen ankastre

tabanlı bir bina iken diğer bina, bu binanın yanına inşa edilmiş yüksek sönümlü kauçuk sistemle taban yalıtımı yapılan bir yapıdır. İki binada 6m x 10m boyutlarında olup, kat yüksekliği 2,4 m olan dört kattan oluşmaktadır. Yalıtımlı sistemde kullanılan mesnetlerden her biri 31,5 cm genişliğinde ve 32 cm yüksekliğinde olup 34 adet 6,7 mm kalınlığında kauçuk ve toplam 33,2 mm kalınlığında çelik tabakasından oluşmuştur. Yalıtımın, yapının 0,1 sn olan doğal titreşim periyodunu 2 sn civarına çıkarttığı ve her bir izolatörün yaklaşık 20 cm yer değiştirmeye izin vererek 350 KN yük taşıdığı kabulü yapılmıştır.

Binalara yerleştirilmiş ivmeölçerler sayesinde üç yıl boyunca bölgede meydana gelen 24 farklı depremin ivme değerleri ve yapıların performansları kaydedilmiştir. Elde edilen deprem kayıtlarına göre, meydana gelen depremlerin ivme ve hareket özelliklerindeki değişimlere bağlı olarak yalıtım sisteminin değişik tepkiler gösterdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, taban yalıtımı yapılmış binanın en üst katında oluşan yer değiştirmenin, ankastre tabanlı yapıdaki eşleniğine oranla 1 ile 3,5 kat arasında azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuçların dışında, yapıya etki eden yer hareketinin şiddetindeki artışa bağlı olarak sistemin yalıtım kabiliyetinin arttığı saptanmıştır [16].

Johnson ve Ramallo, düşük sönümlü kauçuk izolatör ve kontrol edilebilir sıvı sönümleyicilerden oluşan akıllı bir taban yalıtım sistemi önermişlerdir. Sönümleyici mantıksal-manyetik (MR) bir sıvı içermekte ve manyetik alanda özelliğini değiştirerek sönümleyicinin karakteristiğini, değişen deprem hareketlerine ucuz ve güvenli bir şekilde adapte etmektedir. Beş katlı bir bina modelini sadece taban yalıtımlı, hem taban yalıtımlı hem de yarı-aktif sönümleyicili olarak modelleyerek çözümlen araştırmacılar, yarı-aktif sönümleyicinin taban yer değiştirmesini ve ivme davranışını büyük ölçüde azalttığını gözlemlemişlerdir [17].

Bhasker ve Jangid, kayıcı izolatörlerle yalıtılmış ve deprem merkezi yakınlarında yapılan yapıların deprem karşısındaki davranışlarını araştırmışlardır. Ele aldıkları sistemlerde bazı kabuller yapmışlardır. İncelenen yapının rijit bir kütle olduğu, kayıcı sistemdeki geri dönüş kuvvetinin lineer, diğer ek sönümlerin ise sadece viskoz sönüm olacağını kabul etmişlerdir. Bunun yanında kayıcı sistemin izotropik olduğu,

kayıcı sistemin sahip olduğu sürtünme katsayısının sadece üst yapı ile kayma yüzeyi arasındaki rölatif hıza bağlı olduğu, etki eden depremin iki yönden etki edeceği (x ve y) ve izolatörün kayma yüzeyinde oluşacak sürtünme kuvvetinin deprem hareketine bağlı olarak ortaya çıkacağı düşünülmüştür. Çalışmada FPS, R-FBI ve P-F olmak üzere üç farklı kayıcı izolatör sistemi kullanılmıştır. Depremin iki doğrultusundaki kuvvetlerin birbiriyle bağlantılı olduğu ve maksimum yer değiştirmelerin depremin normal bileşeni etkisinde olduğu görülmüştür. 6 farklı deprem kaydı ile yapılan dinamik analiz sonucunda, en az yer değiştirme ile etkiyi sönmleyen sistemin FPS olduğu görülmüştür [18].

Chaudhary vd, Japonya'da inşa edilen ve taban yalıtım sistemleri kullanılarak yalıtılmış olan 454 m uzunluğunda ve 15,3 m genişliğindeki Onneto Köprüsü'nün depremsel davranışını araştırmışlardır. Bunun için dinamik etki olarak dört farklı orta şiddetli deprem ivmesi kullanılırken, yalıtım sistemi olarak ise kurşun kauçuk mesnetler kullanılmıştır. Yalıtım yataklarının yanal yer değiştirmesi, istenilen değeri aştığında, sisteme yerleştirilen enine durdurucular tarafından engellendiğinden; köprünün dinamik davranışının alışlagelmiş köprü davranışından farklı olduğu gözlemlenmiştir. Analiz için üç farklı izolatör yer tespiti yaparak hangi durumun sistem için daha uygun ve doğrusal sonuçlar vereceği incelenmiştir.

Köprü davranışında birinci mod baskın mod olduğu için bu moda ait sönm oranını ve modal frekansı bularak, taban izolatörlerinin kötü çalışmasının sebep ve sonuçlarını araştırmışlardır. Bir ayaktaki yalıtım yataklarının kötü çalışmasının, altyapıda önemli büyüklükte eşit olmayan yanal yük dağılımına yol açtığını gözlemlenmişlerdir [19].

Jangid çalışmasında bir geri dönüş mekanizmasına sahip kayma kirişi tipinde olan yuvarlanan çubuklar kullanılarak yalıtılmış çok katlı yapıların tahmini depremsel davranışını incelemiştir. Bu donanım bir yay gibi deprem esnasında yuvarlanan tabanın istenilenden fazla bir yer değiştirme yapması durumunda devreye girerek, sistemin yer değiştirmesini azaltarak eski halini almasına yardımcı olmaktadır.

Taban yalıtımlı binanın deprem altındaki davranışlarının ankastre tabanlı sistem ile karşılaştırıldığı çalışmada, iki binanın periyotları ve yuvarlanan çubukların sürtünme katsayısı gibi parametreler değiştirilerek farklı sistemler üzerinde çalışılmıştır. Çalışma sonunda yuvarlanmalı yalıtım sisteminin oldukça etkili olduğunu ve restore donanımının etkisi ile taban ötelenmelerinin, üstyapıya ek ivme aktarılmaksızın azaldığını ifade etmiştir [20].

Luca vd, tarihi binaların depremden korunması için taban yalıtım sistemlerinin kullanılabilirliğini ve deprem esnasında yalıtımlı yapının davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Bu amaçla İtalya'daki Sao Vicent De Fora Manastırı'nın yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerle güçlendirerek, yalıtımlı ve yalıtımsız sistemlerin teker teker dinamik analizlerini yapmışlardır. Kullanılan izolatörlere ait yükseklik, sönüm, kauçuk cinsi, rijitlik değerlerin yanında, deprem hareketleri ve sistemin tasarım periyodu gibi büyüklükler değiştirilerek sistem birçok farklı durum için incelenmiştir. Sonuç olarak yalıtımlı yapıda oluşan kat yer değiştirmelerinin, ankastre temelli binadakine göre 3–28 kat arasında, kat ivmelerinin ise 1,5–15 kat arasında azaldığı gözlemlenmiştir. Bu test sonuçları tam ölçekli bir yapıdan elde edildiği için hem sayısal modellerin hazırlanmasında başvuru kaynağı hem de taban yalıtımlı yapıların bilinen iki serbestlik dereceli sistem olarak çözülmesinin gerçekçiliğini kanıtlamıştır [21].

Colunga ve Soberon çalışmalarında simetrik olmayan yapılarda deprem esnasında oluşacak burulmanın taban yalıtım sistemlerine olan etkisini araştırmışlardır. Bu nedenle, rijitlik ve kütle merkezinin örtüşmemesinden dolayı oluşacak eksantrisite değerlerini değiştirerek farklı sistemleri nonlineer dinamik analiz yöntemi ile ETABS paket programında çözümlenmişlerdir. Etkin periyot aralığını 1,5–3,0 sn ve izolatör sistemleri için akma kuvvetlerini yapı ağırlığının % 5 i ve % 10 u olarak alarak, akma sonrası rijitliğinin elastik rijitliğe oranını % 10 olarak kabul etmişlerdir. Maksimum izolatör ötelenmesi ve süneklik talebi gibi dinamik davranışları inceleyerek simetrik sistemlere ait değerlerle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda aynı dinamik etkiye maruz bırakılan simetrik sistemlerde izolatörlerde meydana gelen yer değiştirmenin, asimetrik yapılardan daha az olduğu gözlenmiştir [22].

Yang ve Agrawal, çalışmalarında deprem merkezinin yakınında bulunan doğrusal olmayan binalardaki karma yarı-aktif kontrol sistemlerini incelemişlerdir. Northidge ve Kobe gibi uzun periyotlu ve yüksek ivme-hız değerlerine sahip depremlerde pasif taban yalıtım sistemlerinin tek başına yetersiz kaldığını belirterek, bunlarla birlikte kullanılacak iki farklı yarı aktif sistem önermiş ve bu sistemlerin yapı performansına oldukça yüksek bir katkı sağladıklarını göstermişlerdir. Çalışma için 5 katlı bir sistem ele alınarak düşük sönümlü kauçuk izolatör ve kayma tipi taban yalıtım sistemleri, yarı aktif kontrol sistemleri ile birlikte sırasıyla kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda taban yalıtım sistemlerinde 40 cm'den daha fazla yer değiştirmeler meydana gelmesi, deprem merkezine yakın binalarda taban yalıtım sistemlerinin tek başlarına yeterli olmayacağı ve yarı aktif yalıtım sistemleri ile birlikte kullanıldıklarında daha tatmin edici sonuçlar alınacağı göstermiştir [23].

Bong Yoo ve Yang-Hann çalışmalarında kauçuk izolatörlerdeki sönümün sistem üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bunun için 1/8 ölçeğinde bir deney düzeneği oluşturarak, düzeneğin tabandan ankastre ve yalıtımlı durumları için sarsma tablasında testler yapmışlardır. İzolatör olarak, düşük sönümlü kauçuk izolatör ve kurşun çekirdekli izolatör kullanmışlardır. Çalışmada, izolatörlere ait çap, yükseklik, çekirdek genişliği ve sönüm gibi değerler değiştirilerek yalıtım sistemi birçok kombinasyon için araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan model 23 ton ağırlığında olup 19 m² (4.3*4.3) kurulum alanına sahiptir. Sistem, 4 adet kolon ve 30 cm kalınlığında betonarme döşemeden oluşmaktadır. Bunun yanında çerçeve, çapraz çelik bağlarla güçlendirilmiştir. Yalıtım sistemlerinin uygulanması ile modelin yer hareketlerine karşı daha az duyarlı olmasının yanında, artan yer değiştirmeler, kurşun çekirdeğin büyütülmesi ile azaltılmaya çalışılmıştır. Fakat artan rijitlik yüzünden kat ivmelerinde önemli artışlar olduğu görülmüştür. Kesme-basınç deneyleri, sarsma tablası testleri ve bilgisayar üzerinde yapılan dinamik analizler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kurşun çekirdekli yalıtım sistemi kullanılan yapılarda, artan deplasmanların ve kat ötelenmelerinin azaltılmasında kurşun çekirdeğin ana etken olduğu görülmüştür. Kurşun çekirdeğin boyutunda yapılan değişikliklere bağlı olarak sönüm, dolayısıyla yapının davranış biçimi değişeceği için deplasman - ivme değerleri için optimum bir noktanın ekonomik kriterler baz alınarak bulunması gerektiği ifade edilmiştir [24].

Tsai ve Cheng, çalışmalarında yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin mekanik karakteristiklerini incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Wen modeli üzerinde yapılan değişiklikler ile gerçekleştirilen analitik çalışmalar, deneysel çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan test düzeneğinde izolatör aynı anda hem düşey hem de yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Çalışmanın daha doğru sonuçlar vermesi amacıyla iki farklı yönde de aktuatör kullanılmıştır. Çalışılan izolatör (106x65) mm boyutlarına sahip olup 6 adet kauçuk tabaka ve 5 adet çelik tabakadan oluşmuştur. Dinamik etki olarak 5 adet tersinir sinozidal yükleme yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen efektif rijitlik, akma kuvveti, akma sonrası rijitlik ve malzeme özellikleri alınarak analitik çalışmalara devam edildiğinde analitik ve deneysel verilerin örtüştüğü gözlemlenmiştir [25].

Matsagar ve Jangid tarafından yapılan çalışmada birbirine komşu yapıların deprem esnasında birbirleriyle çarpışması durumunda taban yalıtımlı yapıların dinamik davranışlarını incelenmiştir. Yalıtımlı bina her katında yanal serbestlik dereceli kayma kirişi olarak modellenip, komşu yapıyı modellemek için ise yay ve amortisöre benzeyen bir çarpma elemanı kullanılmıştır. Deprem hareketi sırasında binanın en üst katında meydana gelen ivmenin ve taban mesnedinde meydana gelecek yer değiştirmelerin karşılaştırmalı değerlendirmesini yapmak için farklı deprem ivmeleri ve yalıtım sistemleri kullanılmıştır. Kat sayısı, yapının esnekliği, iki bina arasındaki açıklık mesafesi ve yalıtım elemanlarının yanal rijitliği gibi birçok parametrenin değişiminin taban yalıtım sisteminin performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışma sonunda komşu binalar arasında meydana gelen çarpışma sonrası taban izolatörünün yer değiştirmesinde azalma ve üst yapı ivmesinin arttığı gözlenmiştir. Bunun yanında çarpma olayının sonrasında, yalıtımlı yapının yalıtımsız yapıya göre, göreceli olarak daha sağlam ve etkili kaldığını belirlenmiştir. Esnek üstyapıya sahip sistemler için kat sayısı ve komşu yapının rijitliği arttıkça, çarpma etkisinin şiddetinin arttığını kaydetmişlerdir [26].

Alhan ve Gavin çalışmalarında, lineer ve nonlineer sönüme sahip sismik yalıtım sistemleri için parametrik bir çalışma yapmışlardır. Yalıtımın sahip olduğu sönümün, yüksek modlar ve katlar arasındaki ötelenme oranları üzerindeki etkisini araştırmak

için, üç farklı deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında çözümlenmeler yapılmıştır. Yüksek mod etkileri, plan düzensizlikleri ve iki doğrultulu yer hareketleri, bu yapısal sistemlerin dinamik davranışının önemli karakteristikleri olduğundan; yalıtım sönüm mekanizmalarının karşılaştırılması basitçe bir veya iki serbestlik dereceli sistem yaklaşımıyla yürütülememektedir. Bu önemli detayları yapıların dinamik davranışına katmak için L-şekilli kat planları olan, değişik periyot, sönüm ve rijitlik düzeyine sahip 46 farklı yalıtım sistemi entegre edilmiş 8 katlı prototip bina modeli göz önüne alınmıştır. Sonuç olarak düşük dereceli depremlerde, sönüm mekanizmalarının taban kesme kuvveti, katlar arası görelî ötelenmeler ve kat kesme kuvvetlerine fazla bir etkisinin olmadığı, fakat yüksek dereceli depremlerde, histeretik mekanizmaya sahip yalıtım sistemlerinin, lineer yalıtım sistemlerinden çok daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir [27].

Dicleli tarafından yapılan çalışmada, faya yakın merkezlerde inşa edilen taban yalıtımlı köprülerde, izolatörün yüksek deplasmanlarının, ilave rijitlik mekanizmaları ile giderilmesi araştırılmıştır. Deprem merkezine yakınlık arttıkça izolatörlerde meydana gelecek zorlanma ve yer değiştirme artacağı için izolatör ve taşıyıcı sistemde büyük boyut artırımları gerekeceğini savunan Dicleli, bu amaçla sisteme izolatörlerin büyük yer değiştirmelerini engelleyecek elastik rijitlik mekanizmaları ilave etmiştir. Sarsma tablası ve Sap 2000 programı kullanarak yapılan analizler sonucunda ek rijitlik mekanizmalarının beklendiği gibi büyük deplasmanları azalttığı görülmüştür. Dicleli bunun yanında, artan rijitlikle birlikte temel seviyesinde oluşacak fazladan kesme kuvvetinin makul seviyelerde tutulması gerektiğini ifade etmiştir. İlave rijitlik mekanizmalarının izolatörle birlikte kullanılması durumunda temele aktarılan deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olacağını ve mevcut köprülerin güçlendirilmesinde de elastik rijitlik elemanlarının kullanılabileceğini ifade etmiştir [28].

Asta ve Ragni, çalışmalarında yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin mekanik karakteristikleri üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu tip mesnetlerin dinamik davranışlarının tam olarak bilinmediği ve bazı modellerinin istenilen davranışı göstermediği ifade edilmiştir. İzolatörlerin dinamik davranışları, farklı kesme genliği ve hızlar kullanılarak periyodik yüklemeler altında araştırılmıştır.

Periyodik yüklemeler altındaki davranışların tanımlanması için viskoelastik nonlinear hasar modeli önerilmiştir. Kullanılan izolatörler 170*230 mm boyutlarında ve 42 mm yüksekliğinde olup ek karbon koruyucularla takviye edilerek sönüm özellikleri arttırılmıştır. Çalışmalar sonucunda kauçuğa ait mullin etkisi, sıcaklık altındaki davranış gibi mekanik özelliklerin, izolatörün davranışında ana etken olduğu görülmüştür [29].

Hong ve Xiang, kauçuk izolatörler kullanılmış taban yalıtımlı yapılarda, yükseklik-genişlik oranının(YGO) deprem altındaki davranışa etkisini incelemiştir. Yönetmelik ve şartnamelerde bu konuyla ilgili yeteri kadar açıklayıcı bilgiler verilmediği savunulan çalışmada, yine yönetmelik ve şartnamelere bağlı kalınarak YGO ile ilgili formülasyonlar türetilmiştir. Bunların oluşturulması sırasında, zemin cinsi, deprem hareketinin şiddeti, yalıtım sisteminin periyodu, yapının doğal titreşim periyodu ve izolatörlerin yerleştirilmesi gibi etkin faktörler üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Sayısal çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- YGO oranı, zemin cinsi ile oldukça alakalıdır. Basit bir örnek vermek gerekirse, pik ivmesi 0,63 g olan bir depremde, sert zeminde inşa edilmiş yalıtımlı bir yapının YGO limit değeri 10 olurken, bu değer orta sertlikteki zeminlerde 2,5'a, yumuşak zeminlerde ise sadece 1 olmaktadır. Bu yüzden yumuşak zeminlerde yüksek YGO'na sahip binalar 1. derece deprem bölgelerinde yapılmamalıdır.

- Yalıtımlı binanın baskın periyodu da YGO için önemli bir etkidir. Yüksek bir periyoda sahip yalıtımlı yapıda YGO oranı, daha düşük periyoda sahip binadan daha büyüktür.

- Üst yapının doğal titreşim periyodunun YGO için çok fazla etkisi yoktur.

-Yapılan analitik çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda izolatörlerin yerleştirilmesinin YGO için en önemli etken olduğu görülmüştür. Tavsiye edilen, yapının kenarındaki tüm kolonlara yalıtım yapılmasıdır. Böyle bir uygulamada YGO limit oranı daha fazla olacaktır [30].

Karabörk, titreşim kontrol sistemlerini, aktif ve pasif yapısal kontrol kavramlarını gözden geçirerek çeşitli ülkelerdeki yapısal kontrol uygulamalarına örnekler vermiştir. Yüksek sönümlü kauçuk yataklar kullanılan taban yalıtımı sistemlerinin tasarım aşamalarını açıklamıştır. Ankastre tabanlı, taban yalıtımlı ve taban yalıtımı - sönümleyici kombinasyonu kullanılan değişik yükseklikteki betonarme yapılar için değişik şiddette depremlerin etki etmesi durumunda farklı yalıtım ve sönüm parametreleri kullanarak sayısal dinamik çözümler yapmış ve sonuçları karşılaştırmıştır [31].

Ş. Ateş ve A. Aydın ise kauçuk mesnetli binaların dinamik analizini incelemiştir. Uygulama amacıyla kauçuk mesnetler ile yalıtımı yapılan 5 katlı bir binanın dinamik analizleri yapılmıştır. 18 Mayıs 1940 El-Centro Depremi'nin kuzey-güney bileşeni yer hareketi olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı binanın ankastre olması durumu ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ankastre yapının titreşim periyodu 0,7105 iken yalıtımlı binanın periyodu 2,2521 olmuştur. Kauçuk mesnetli binaların dinamik tepkileri ankastre mesnetli binalara göre oldukça azaldığı yapılan analizlerden görülmüştür [32].

S. Pınarbaşı ve U. Akyüz sismik yalıtım tekniğinde sıkça kullanılan elastomerik yastıkların önemli özelliklerini tanımlayarak ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda bu tip yastıklar üzerinde değişik sıcaklıklarda kayma, ve basınçta göçme deneyleri uygulamışlardır. Bu çalışmalar sonucunda mekanik etkilerin elastomerin yapısına ve dolayısıyla yalıtım sistemine etkileri araştırılmıştır [33].

M. Nicat ve G. Yazıcı silindirik deniz depolarının sismik izolasyon sistemleri ile korunması konusunda çalışmalar yapmıştır. Çalışmada birine sürtünmeli sarkaç entegre edilmiş diğeri izolasyonsuz iki deponun dinamik analizleri yapılmış ve deprem altındaki davranışı karşılaştırılmıştır. Sismik yalıtımlı petrol tankında, iç hidrodinamik etkiler yaklaşık 2 misli, dış hidrodinamik etkiler ise yaklaşık 6 misli azalmıştır. Sonuç olarak, sismik yalıtım sisteminin deniz petrol tanklarını depremden korumak için iyi bir çözüm olduğu görülmüştür [34].

Tüm bunların yanında yeni teknolojiler geliştirmeye yönelik çalışmalarda vardır. Bunlardan en önemlisi ODTÜ laboratuvarlarında otomobil lastikleri kullanılarak daha ucuz sismik izolatör yapılması çalışmasıdır. Araba lastikleri 1950'lerden beri içindeki çelik hasırın ve lastiğin "Volkanizasyon" işlemi ile bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Araba lastiklerinin yapısında bulunan çelik hasırın elastomer menşeli sismik yalıtıcılardaki çelik plakalara ve fiberlere benzer bir etki oluşturmasından yola çıkılarak hazırlanan çalışmada çok önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu uygulama sonucu kırsal kesimlerde inşa edilen yığma yapılar ve düşük trafik yoğunluğu olan köprü ayakları için daha ucuz ve hafif bir alternatif olduğu ortaya konulmuştur [35].

BÖLÜM 3. KLASİK TASARIM ANLAYIŞI ve SİSMİK YALITIM

3.1. Klasik Tasarım Anlayışı

1. derece deprem bölgelerinde kabul edilebilecek maliyetler ile şiddetli depremleri hasarsız geçirebilecek yapılar yapmak neredeyse imkânsızdır. Bu yüzden amaç, binanın hasar görmesinden ziyade oluşacak can kaybının ve binanın göçmesinin engellenmesidir.

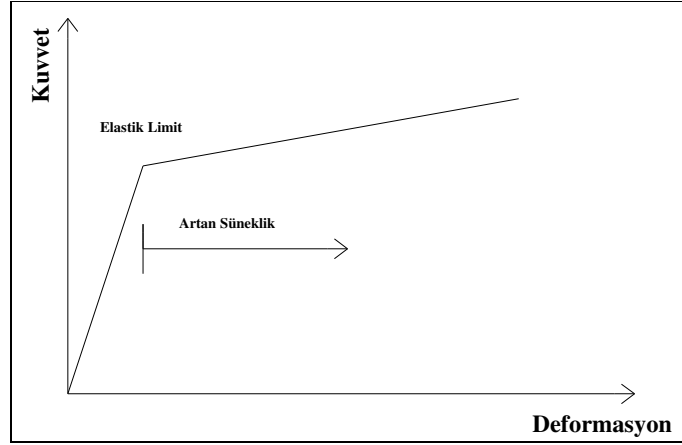
Klasik tasarım anlayışına göre yapıda oluşacak hasar, depremin enerjisini sönmölemek ve göçme ihtimalini azaltmak için kullanılabilir yollardan biridir. Birçok ülke bu tasarım biçimini yönetmeliklerinde ve standartlarında kullanmaktadır. Binlerce hayat kurtarmasının yanı sıra depremden sonra birçok yapının ağır hasarlı ve kullanılmaz duruma gelmesi ise bu sistemin dezavantajlarından biridir.

Türkiye'nin de aralarında bulunduğu birçok ülkede depreme dayanıklı yapı tasarımı için kullanılan sistematik kısaca şöyledir;

- Hafif şiddetli depremlerde, yapıda hiçbir hasar olmamalıdır.
- Orta şiddetli depremlerde, yapıda ve taşıyıcı elemanlarda onarılabılır olmak şartıyla küçük hasarlar meydana gelebilir.
- Şiddetli depremlerde yapısal elemanlarda onarılamaz derecede olsa bile hasarlar kabul edilebilir. Fakat bina kullanılmaz olsa bile göçme olmamalıdır [36].

Şiddetli depremler karşısında hasar görmeyecek bir yapı tasarlamak, maliyetli ve teknik olarak zor bir iştir. Bu yüzden mühendisler şartnamelerin kendilerine izin verdiği ölçüde sünekliliği kullanırlar. Süneklilik, yapının elastik sınırlar ötesindeki deformasyonları karşılayabilme kapasitesidir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi elastik sınır aşıldığında kuvvetteki küçük bir artış bile yapıda büyük deformasyonlara neden

olabilmektedir. Şekilde görülen elastik sınır yükün etkisi ortadan kalktığında sistemde kalıcı deformasyonların oluşmaya başladığı sınır değerdir.



Şekil 3.1. Süneklik kavramı [36].

Deprem enerjisinden dolayı bir talebi (Demand) vardır. Sadece kapasitesi (Capacity) bu talebi karşılayabilecek yapılar ayakta kalabilir [37]. Deprem talebi değiştirilemeyeceği için klasik tasarımda yapılar, kapasite > talep olacak şekilde tasarlanır. Bunun için ya yapının elastik dayanımı artırılır ya da elastik dayanım sınırlandırılarak yapı süneklik için detaylandırılır. İkinci seçenek yapısal elemanlarda onarılamayacak hasarların oluşmasını kabul etmek anlamına gelir. Bu yaklaşımın bir diğer dezavantajı ise tasarım depreminden büyük depremlerde yapının topyekûn göçmesidir. Deprem enerjisinin taşıyıcı elemanlarda hasar ile karşılanması anlayışı, gelişen teknoloji ile birlikte artık akılcı bir çözüm olmaktan çıkmaya başlamıştır.

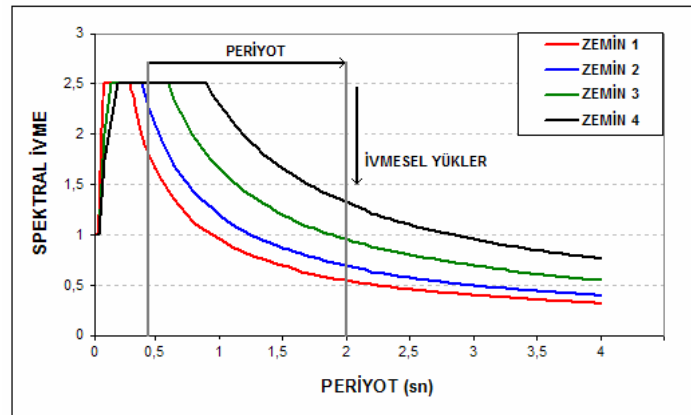
3.2. Sismik Yalıtım Yaklaşımı

Son yıllarda meydana gelen depremlerin öğrettiği şeylerden biri de düşünülmesi gereken tek konunun can kayıplarının engellenmesi olmayışıdır. Klasik tasarım yöntemi, hasarlı binaların onarımı düşünüldüğünde çok maliyetli sonuçlar doğurabilmektedir. Deprem sonrası yaşanan sosyal ve psikolojik travmalar da düşünüldüğünde yeni ve alternatif bir depreme dayanıklı tasarım anlayışına ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılabilir [38].

Zemin ile yapı arasındaki etkileşimin azaltılması, yapının deprem hareketinden daha az etkilenmesi ve hasarın azaltılmasına yönelik sismik iyileştirme çalışmalarına sismik yalıtım adı verilir.

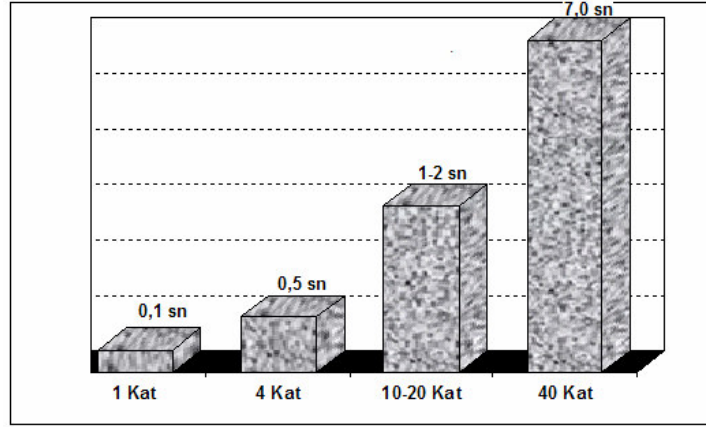
Deprem ve diğer dinamik etkiler sonucu ortaya çıkan enerji, zemin aracılığı ile yapıya aktarılır. Taban yalıtım sistemleri, aktarılan bu kuvvete karşı yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, zemin ile yapıyı birbirinden ayırarak yapının depreme karşı tepkisini azaltmaya yönelik geliştirilmiş sistemlerdir.

Yapıya etkileyen deprem kuvveti yapının kütleline ve deprem etkisine karşı göstereceği ivme ile doğru orantılıdır ($F=m.a$). Deprem kuvvetinin azaltılması için öngörülen yaklaşımlardan biri, yapının kütleline küçültmektir. Bunun için yapı elemanları daha küçük modellenebilir. Geçerli bir yaklaşım olsa da böyle bir durumda sistem minimum boyutlandırma koşullarını sağlamayabilir. Diğer bir yaklaşım ise yapıya gelecek ivmenin azaltılmasıdır. Doğal titreşim periyodu ivme ile ilişkisi yüzünden yapının depremden ne kadar pay alacağını belirleyen parametrelerden birisidir. Deprem spektrumuna bakıldığında yapının depremden alacağı ivmenin en düşük olduğu zamanın, fonksiyon eğrisinin başladığı zaman ile eğrinin yatay eksene yaklaştığı, yani zeminin yüksek periyotlu kısmında olduğu görülmektedir (Şekil 3.2). Yani yer hareketinden daha az etkilenen yapılar az katlı rijit veya çok katlı esnek yapılardır.



Şekil 3.2. İvmenin periyoda bağlı değişimi [36].

Daha öncede belirtildiği gibi temel yalıtımının amacı bina ile temel arasına yanal rijitliği düşük elemanlar ekleyerek deprem ivmelerinin üst yapıya geçmesini engellemektir. Yalıtım sistemi binayı ankastre temelli durumundaki periyodundan daha yüksek bir periyoda yükselterek, karşılaşıcağı ivmenin azaltılması ve böylece yapının deprem ivmesinden daha az etkilenen yüksek katlı yapılar gibi çalışmasını sağlamaktadır. Böylece yapının daha düşük tasarım yüklerine göre modellenmesi sağlanabilir. Şekil 3,3’de değişik yüksekliğe sahip yapıların doğal titreşim periyotları verilmiştir. Yapıların yüksekliğinin artmasıyla titreşim periyotları belirli oranlarda artmaktadır.

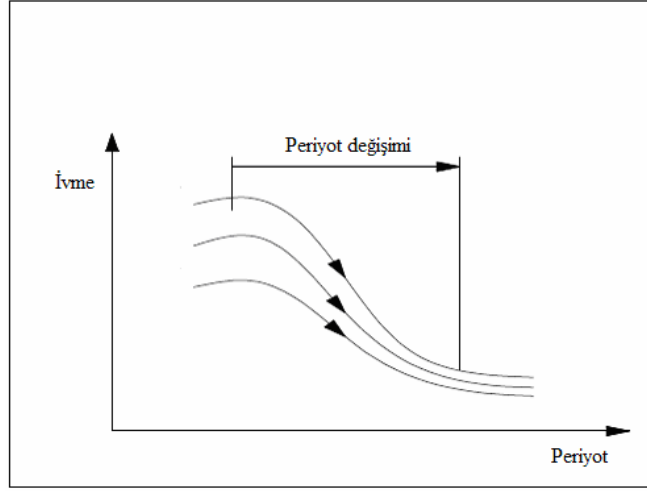


Şekil 3.3. Yapılarda doğal titreşim periyodunun kat yüksekliği ile değişimi

İdeal rijitliğe sahip bir yapının doğal periyodu sıfırdır. Yani yapı yer hareketine birebir yanıt vermekte ve yapı ile yer arasında görel bir ötelenme olmayacak demektir. Bu durumda yapı deprem ivmesine eşit bir ivmeyle hareket edecektir. Bunun tam tersi durum düşünüldüğünde ise, ideal esnek bir yapının doğal periyodu sonsuzdur. Yer hareketi olsa bile yapı hareketsiz kalacak, yapı ile yer arasında yerin yaptığı yer değiştirme kadar görel bir yer değiştirme oluşacaktır. Gerçekte yapılar ne tam rijit ne de tam esnektir. Yer hareketine maruz kalan yapının tepkisi bu iki uç değer arasında kalacaktır [39].

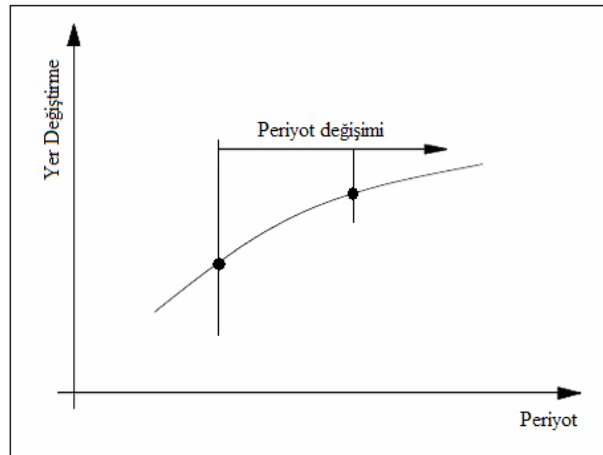
Tipik bir depremde depremin hakim periyodu ile yapının doğal periyodunun çakışması durumunda yapı maksimum ivme ile karşılaşır. Taban yalıtımının en büyük özelliği esnekliğin artırılması ile yapının doğal periyodunun arttırılmasıdır. Rijit bir

yapıda esnekliğin artırılmasının sistem üzerindeki etkileri Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4. Yapı esnekliğinin artması ile ivme davranışının değişimi [40].

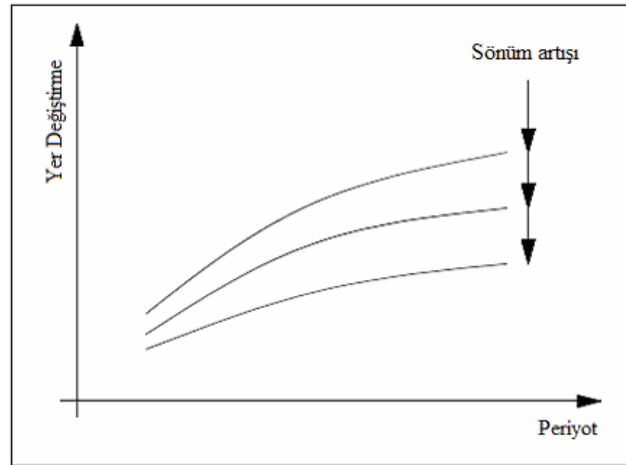
Yapı periyodu $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ şeklinde ifade edilir. Burada m yapının kütlesi, k ise rijitliğidir. Periyot değeri yapı kütlesi ile doğru, rijitliği ile ters orantılıdır. Yapının rijitliği azaltılıp periyodu uzatılırsa yapıya daha düşük ivmeler etki eder. Şekil 3.4'te ivme-zaman eksenli spektrumda görüldüğü gibi yapının titreşim periyodu arttığı zaman, düşey eksendeki ivmenin düşük değerlerinin yüksek titreşim periyotlarına karşılık geldiği görülmektedir.



Şekil 3.5. Yer değiştirme - zaman ekseninde periyot değişimi [40].

Böylece esneklik kazanan sistem daha fazla yer değiştirme yapabilmektedir. Fakat burada yer değiştirmeyi yapan üst yapı yani kolonlar değil, temel seviyesindeki izolatörlerdir. Şekil 3.5'te periyot artışı ile orantılı olarak yer değişmenin arttığı görölmektedir.

Aynı eksen takımı göz önüne alındığında esnekliğin artması sistemin sönüm kabiliyetini de artırır. Şekil 3.6'da en üstteki eğride sönüm değeri en düşük, en alttaki eğride ise en büyüktür. Sabit bir T periyodu ele alındığında, yüksek sönümlü bir sistemin yer hareketini düşük sönümlü bir sistemden daha az yer değiştirme yaparak karşılayabildiği görölmektedir.



Şekil 3.6 Yer değiştirme- zaman ekseninde sönüm artışının etkisi [40]

Sismik yalıtım sistemlerinin sahip olması gereken temel özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [33].

- a) Sismik yalıtımlı yapının frekansının, ankastre temelli frekansından ve pek çok şiddetli depremin baskın frekansından çok daha düşük olabilmesi için “yeterince düşük yatay rijitlik”
- b) Rüzgâr yükleri ve küçük depremler gibi düşük düzeydeki dinamik yüklemeler altında yapının hareketini engelleyebilmek için “nispeten yüksek yatay rijitlik”
- c) Üstyapının ağırlığını bozulmadan taşıyabilmek için “yüksek düşey rijitlik”

- d) Sistemdeki yer değiştirmelerin kabul edilebilir düzeyde kalabilmesi ve olası bir rezonans durumunu bastırabilmek için “yeterince sönüm”
- e) Üstyapının hemen hemen hareket öncesindeki orijinal pozisyonuna geri dönebilmesi için “geri-merkezleştirme etkisi”
- f) Beklenmeyen şiddetteki bir depremde önce izolatörlerin, daha sonra yapının göçmesini engelleyecek bir “göçmeyi önleyici sistem”

3.3. Sismik Yalıtım Sistemlerinin Avantajları

Sismik yalıtım sistemleri, uygulandıkları yapıya deprem etkileri altında farklı bir davranış şekli getirirler. Bunlar yapısal avantajlar olduğu gibi ekonomik avantajlar, deprem güvenliğinin garanti edilmesi ve depremden sonra yapının hemen kullanılabilirliği olarak karşımıza çıkar.

Sismik yalıtım diğer deyişle taban yalıtımının yapısal anlamda en büyük katkısı, yapının doğal titreşim periyodunu büyütmesidir. Böylece Şekil 3.2’de görüldüğü gibi yapıya etki eden ivme azalacak, hem de yapı rijitliğinin izolatörlerin rijitliğinden çok daha fazla olması sebebiyle yapının kazandığı rijit davranış sonucu katlar arası görelî ötelemeleri minimize edilmiş olacak ve yapısal elemanlarda hasar oluşmayacaktır.

Yalıtım sistemlerinin bir diğer katkısı ise uygun yerleştirildikleri durumlarda, planda düzensiz yapılarda rijitlik merkezini kütle merkezine yaklaştırabilmesidir. Bu durum mimarlara ve mühendislere proje safhasında büyük esneklik ve kolaylık sağlamaktadır [36].

Yapının sönüm yeteneğini artırması da sismik yalıtım sistemlerinin avantajlarından biridir. Daha öncede bahsedildiği gibi klasik tasarım yaklaşımında enerji sönümleme mekanizması sünekliğe bağılı olarak yapısal elemanlarda oluşacak hasar ile karşılanmaktadır. Yalıtım sistemleri kullanılmış yapılarda ise sönümleme mekanizması izolatörlerin buldukları seviyede toplanmıştır. Üst yapıdaki sönüm

doğrudan yapının sönümlenmesi ile bağlantılı olmadığı için yapının sünek olarak tasarlanması gerekmemektedir.

Sismik yalıtım güçlendirme yapılırken de avantajlar sağlamaktadır. Güçlendirme için taşıyıcı elemanlarda çok fazla değiştirmeye gerek kalmaksızın yapı güçlendirilir. Özellikle tarihi yapılarda güçlendirme yaparken estetik ve özgün niteliklerinin korunmasına izin verdiği için sismik yalıtım sistemleri tercih edilir.

Bir projede sismik yalıtımın bir alternatif olarak düşünülmesi bu tekniğin maliyeti sorusunu akla getirir. Bu tekniğin doğrudan ve dolaylı maliyetleri yanında, sistemde meydana getireceği ekonomik getirileri birlikte değerlendirmek gerekir. Mesela bir yapıda taban yalıtımı kullanmak elbette belirli oranda ek maliyet gerektirecektir. Fakat depreme karşı davranışındaki iyileşme sonucu yapısal elemanlara gelen kuvvetlerdeki azalma ve dolayısı ile taşıyıcı sistem maliyetindeki azalma incelenmeli ve dolaylı maliyetlerde hesaba katılmalıdır.

Dolaylı maliyetlerden en önemlisi “Olası Hasar” maliyetidir. Bu maliyet indeksi, depremin düşük ihtimalli fakat büyük zarar veren bir olay olması nedeniyle olasılık parametreleri göz önünde bulundurularak hesaplanır. Tarihi yapılarda ve depremde yıkılmaması gereken yapılarda, bu hasar maliyetinin azaltılması sismik yalıtım sistemlerini ekonomik kılar [41].

Klasik tasarımda, tüm konstrüktif ve sismik kurallara uyulsa da, yapısal olmayan elemanlarda çatlaklar ve büyük hasarlar oluşması kaçınılmazdır. Sismik yalıtım anlayışında ise eğilme deformasyonları, görelî kat ötelemeleri, çatlaklar ve plastik şekil değiştirmeler minimum seviyeye indirilmiştir. Böylece büyük ölçekli depremlerden sonra bile yapı hizmet vermeye devam etmektedir.

Yer hareketi karakteristikleri, zemin özellikleri, işçilik, malzeme özellikleri ve matematik modellerin tutarlılığı, yapı davranışının beklenenden farklı olmasına neden olmaktadır. Sismik yalıtım sistemleri yapıyı daha yüksek güvenli bir sismik davranış kazandırır ve idealden sapmalar karşısında daha az duyarlı hale getirir.

Bölüm 3,1’de klasik tasarım anlayışına ait performans kriterleri verilmişti. Sismik yalıtımlı yapıda ise performans kriterleri aşağıdaki gibidir;

- Hafif ve orta şiddetteki depremlerde, yapısal, yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmadan ayakta durabilmeli
- Büyük şiddetli depremlerde ise; yalıtım sisteminde göçme, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda kayda değer bir hasar ve konfor fonksiyonlarında büyük karışıklık olmadan ayakta durabilmelidir.

BÖLÜM 4. SİSMİK YALITIM YÖNTEMLERİ

Yapıyı depremden korumak amacıyla kullanılan yalıtım teknikleri, gün geçtikçe yeni modellerle karşımıza çıkmaktadır. Yeni enerji dağıtma sistemlerinin sayısındaki önemli artış ve mevcut sistemlerin güncellenmesi ile ortaya çıkan gelişmiş modelleri incelemek için geniş bir sınıflandırma yapılması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada bu yalıtım sistemleri üç ana başlık altında incelenecektir. Bu sistemler;

- Pasif Yalıtım Sistemleri
- Aktif Kontrol Sistemleri
- Yarı Aktif Kontrol Sistemleri'dir

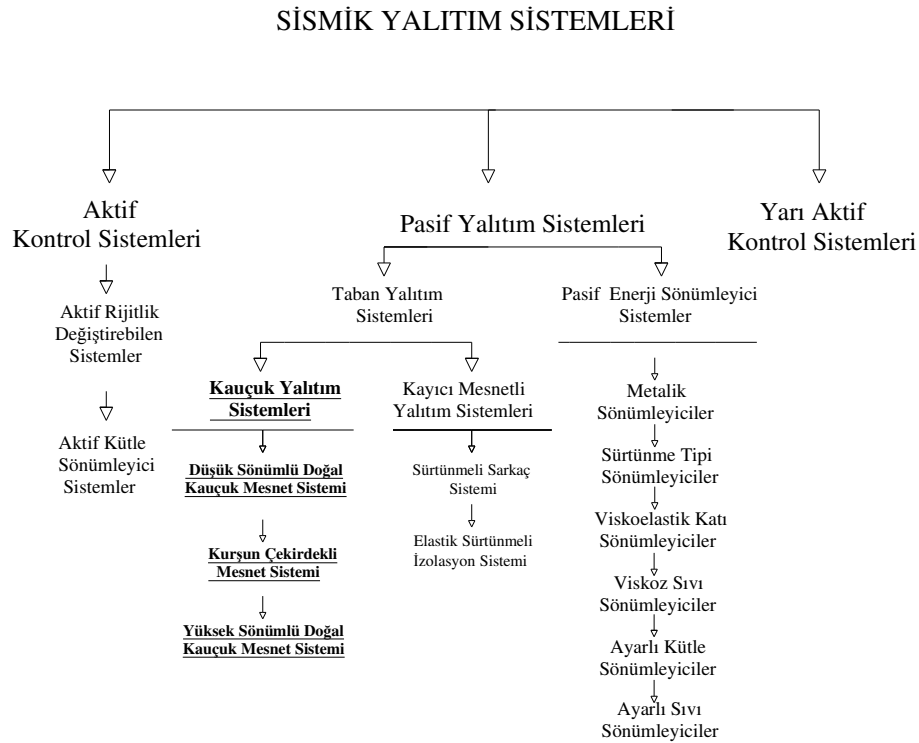
Pasif yalıtım sistemleri aktif sistemlerin aksine dışarıdan ek bir güç gereksinimi olmadan yapıyı izole ederler. Aktif sistemlere nazaran daha basit ve ucuz sistemlerdir. Bu sistemler değişimlere göre ayarlanamazlar yani öngörülen kuvvetlerin aşıldığı durumlarda gereken korumayı sağlayamazlar.

Aktif kontrol sistemlerinde sensörler (zemin veya yapının içinde) ve tepki elemanları (actuator) vardır. Aktif kontrol sistemleri binaya yerleştirilen sensörler yardımıyla yapıya etkiyen dış kuvvetleri (rüzgâr, deprem vb...) algılayarak bu kuvvetleri karşılayacak zıt tepkiler oluştururlar. Tamamen kontrol edilebilirler ve büyük güç gerektirirler [42].

Yarı aktif kontrol sistemleri ise aktif ve pasif sistemlerin bir birleşimi olarak ön plana çıkmaktadır. Bu sistemler kontrol edilebilen pasif sistemler ya da enerji gereksinimi aktif sistemlerden daha az olan yalıtım sistemleri olarak tanımlanabilir. Tamamen kontrol edilebilen bu sistemler, deprem esnasında oluşabilecek bir enerji kesintisinde

akü gibi küçük enerji kaynakları ile koruma işlevine devam eder. Genelde sistemlerin çoğu elektrik ve manyetik alana duyarlı sıvılar içerir. Tablo 4,1'de sismik yalıtım sistemlerinin en çok uygulanan çeşitleri belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Sismik Yalıtım Sistemleri



4.1. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sistemleri maliyetlerinin düşük olması ve hesap yöntemlerinin kolaylığı sebebiyle günümüzde en çok uygulanan sistemlerdir. Yapının enerji yutma kapasitesini arttırmak ve gelecek dinamik etkilerin taşıyıcı elemanlara daha düşük seviyelerde aktarılmasını sağlamak için kullanılırlar. Bu sistemler çalışmak için ek bir enerji kaynağına gerek duymazlar. Bu durum pasif kontrol sistemlerini diğer kontrol sistemlerinden daha ekonomik kılsa da, bu sistemler aktif bir kontrol mekanizmasına sahip olmadıkları için tasarım kuvvetlerinden büyük kuvvetlere maruz kaldıklarında gereken korumayı sağlayamazlar [43].

Pasif kontrol sistemleri genel anlamda iki ana başlık altında incelenebilir. Bunlar taban yalıtım sistemleri ve pasif enerji sönümleyici sistemlerdir.

4.1.1. Taban yalıtım sistemleri

Deprem sırasında bir dalga halinde ilerleyen yer hareketi, yapıya ulaştığında temel kotunda bir hareket meydana getirir. Temeldeki bu hareket, üstyapıya iletilir ve yer değiştirme, çatlak ve plastik mafsalları ile sönümlenir. Deprem, yapıya kütlesi ve rijitliği oranında etki eder. Yapının temelinin taşıyıcı sistemden ayrılarak, titreşimin üst yapıya geçmesini önlemek temel yalıtımının ana fikrini oluşturur.

Taban yalıtım sistemleri gün geçtikçe yeni modellerle karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemler genel olarak iki kısımda incelenebilir. Bunlar kauçuk yalıtım sistemleri ve kayıcı taban yalıtım sistemleri'dir.

Kauçuk taban yalıtım sistemleri günümüzde en yaygın olarak kullanılan sismik yalıtım metodudur. Bu sistemler birbirine volkanize işlemi ile birleştirilmiş kauçuk ve çelik tabakalarından oluşan mesnetlerdir. İzolatörün yatay rijitliği istenmeyen yer değiştirmeleri engellemek şartıyla esnekler. Bunun yanında çelik levhalar sayesinde izolatör nispeten daha büyük bir düşey rijitliğe sahiptir.

Bu mesnetler kalınlığı 8–20 mm arasındaki kauçuk tabakaların ve kalınlığı 2-3 mm arasındaki çelik levhaların üst üste konulmasıyla oluşur. Bu iki levha basınç ve sıcaklık altında birbirine yapıştırılırken mesnedin alt ve üst yüzeylerine ise bağlantıyı gerçekleştirecek geniş ve kalın çelik levhalar yerleştirilir [44].

Bu sistemlerin hareketli parçaları olmadığı için üretilmesi ve uygulanması kolaydır. Çevre şartlarından ve zamandan diğer sistemler kadar etkilenmezler. Uygulamada kauçuğa şekil vermek kolay olduğu için kare silindir veya içi boş olarak üretilenler.

Kauçuk izolatörün depremin yatay bileşenine karşı yapıyı korumasına karşın, deprem hareketinin düşey bileşenine karşı herhangi bir koruyuculuğu yoktur ve bu etkiyi aynen yapıya nakleder. Taban yalıtımlı yapılarda yatay yükler ankastre durumdan daha küçük olduğu için devrilme momenti de daha küçük olur.

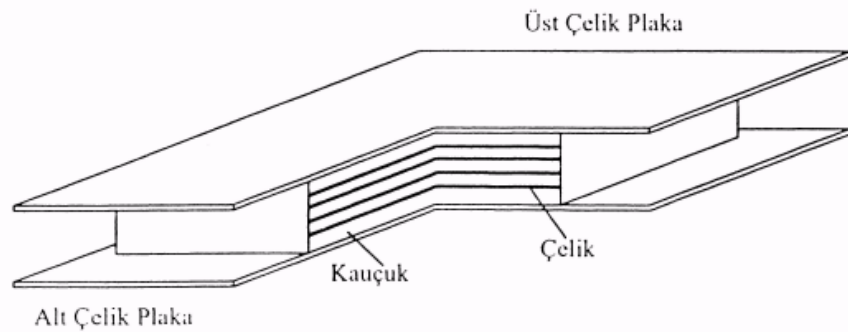
Kauçuk esaslı yalıtım sistemleri sismik yalıtım alanında uygulanan ilk sistemlerdir. Kauçuğun bu amaçla kullanılmaya başlanması 50–60 yıl öncesine dayanır. Kauçuğun dışında şişe mantarı, keçe, fiberglas içeren malzemeler ve kauçuk köpük gibi malzemelerde yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Fakat bu malzemelerin mekanik özellikleri, elastomer malzemeler kadar iyi bilinmezler ve bunların yalıtım performansı büyük oranda tahminidir.

Kauçuk yalıtım sistemleri başta köprüler olmak üzere sanayi yapıları, evler, su tankları, statlar gibi birçok yapının korunmasında, tarihi yapıların takviye edilerek güçlendirilmesinde, trafik ve makinelerin oluşturduğu titreşimlerden etkilenen yapıların kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır [45].

4.1.1.1. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet sistemi (LDRB)

Düşük sönümlü kauçuk mesnet sistemi (Low damping rubber bearing) ,sismik yalıtım sistemlerinde kullanılan ilk kauçuk mesnet çeşididir. En önemli özelliği yapısında bulunan doğal kauçuk sebebiyle diğer mesnet sistemlerinden daha uzun ömre sahip olmasıdır.

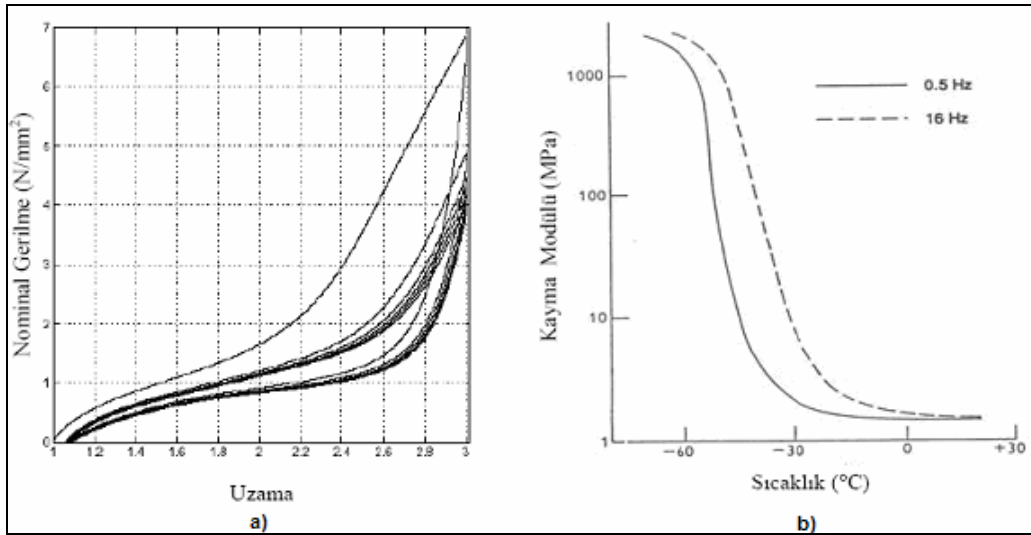
Bir izolatörde altta ve üstte olmak üzere iki adet kalın çelik levha vardır. Bunlar mesnedin temele ve üst yapıya birleşmesini sağlar. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi bu iki levhanın arasında ise birçok ince çelik ve kauçuk tabaka mevcuttur. Çelik levhaların kauçuğa daha iyi yapışması için metal yüzeyler parlatılarak yapıştırıcı sürülmektedir.



Şekil 4.1. Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnet sisteminin kesiti

Çelik levhalar mesnedin düşey rijitliğini ve yük kapasitesini karşılarken aynı zamanda aralardaki kauçuk levhaların düşey yükler altında şişmesini önler. Düşük yatay rijitlik sayesinde yapının yatayda istenilen yer değiştirmeyi yapması sağlanır.

Kauçuk bir numunenin moleküler yapısında ilk-yükleme döngüsünde kalıcı hasar oluşur. Bu hasar, ilk yüklemedeki maksimum deformasyon seviyesine kadar malzemenin rijitliğinde ve enerji tüketiminde kalıcı azalmalara neden olur. Kauçuğun tekrarlanan yükler altındaki davranışının deformasyon nedeniyle ilk yükleme davranışından sapmasına “Mullin etkisi” denir (Şekil 4.2.a) [46].

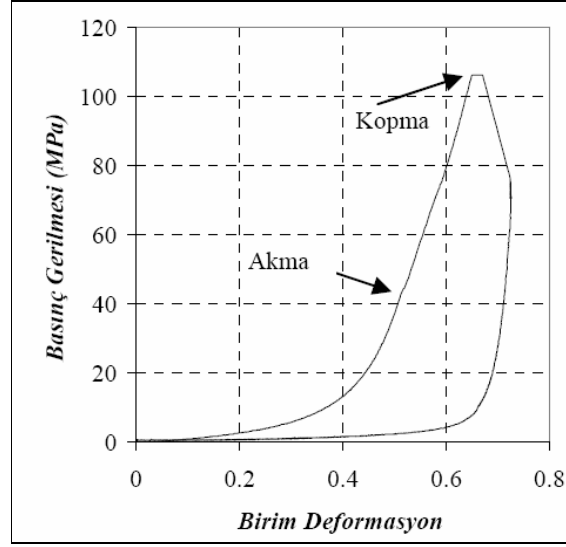


Şekil 4.2. a) Kauçuğun gerilme-şekil değiştirme diyagramı, b) Sıcaklık- kayma gerilmesi diyagramı

Sıcaklığın doğal kauçuğun kayma modülüne olan etkisi Şekil 4.2.b’de gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, doğal kauçuğun kayma modülü yaklaşık -20°C’den düşük sıcaklıklarda azalan sıcaklıkla artmaktadır. Eğer sıcaklık -40°C’nin altına düşerse, doğal kauçuğun rijitliğindeki artış binlerce katı bulabilir.

Çelik plakalarla güçlendirilmiş elastomerik bir yastığın düşey yükler altındaki davranışı yatay yükler altındaki davranışından oldukça farklıdır. Sadece bir plaka içeren yastıkların deney davranışlarında bile bu fark kolaylıkla gözlenebilmektedir. Düşey rijitlikleri kayma rijitliklerinden çok daha yüksek olan elastomerik yastıklar basınçta göçmeden çok yüksek deformasyon seviyelerine ulaşabilmektedirler.

Basınçta göçme deneylerinde, yastıklardaki çelik plakalar aktıktan sonra bile yük taşımaya devam etmiş, plaka ancak akma yükünün yaklaşık üç katı değere ulaştığı zaman kopmuştur (Şekil 4.3). Böylesi bir yükleme sonrası bile yükün kaldırılmasıyla yastıkların neredeyse yükleme öncesi kalınlıklarına dönmüş olması da yastıkların elastik davranışlarını ispatlamaktadır [33].



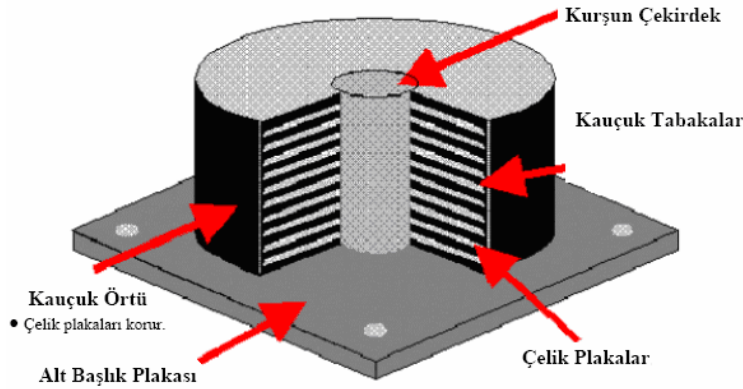
Şekil 4.3. Göçme deneylerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi [33].

İzolatörlerin yüksekliği arttığında mekanizmada burkulma ortaya çıkacağı için, izolatör yüksekliği çapın yarısı ile sınırlandırılmıştır. Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin imal edilmesi ve modellenmesi kolaydır. Bunun yanında mesnetler sıcaklık, hız, zaman, eskime gibi faktörlerden etkilenmemektedir.

Düşey rijitlik yatay rijitliğin ortalama birkaç yüz katıdır. Meydana gelen bir deprem hareketi sırasında, oluşan büyük şekil değiştirmeler sonucunda düşeyde taşıma kapasitesi zayıflar. Bu yüzden bu yalıtım sistemi uygulamalarda tek başına kullanılamaz. Günümüzde bu yöntemle yapılmış birçok yapı vardır. Aynı zamanda bu sistemin türevlerine de rastlanmaktadır. Bunların en belirginini Yeni Zelanda'da geliştirilen kurşun çekirdekli sistemlerdir.

4.1.1.2. Kurşun çekirdekli mesnet sistemi (LRB)

1975 yılında Yeni Zelanda'da geliştirilen kurşun çekirdekli mesnet sistemi (Lead Rubber Bearing), Japonya ve A.B.D gibi gelişmiş ülkelerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çalışma prensibi düşük sönümlü mesnet sistemine benzerdir, farkı ise ortasına monte edilmiş olan kurşun çekirdektir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kurşun çekirdekli izolator içyapısı [6].

Sistemin enerji yutma mekanizması kauçuğun sönümüne ilave olarak ortada bulunan kurşun çekirdeğin sönümü ile oluşur. Bu tip mesnetlerde sönüm %15 ile %30 arasında değişir.

Kurşun çekirdeğin boyutları; başlangıç rijitliğine, yükün büyüklüğüne göre sistemin ihtiyaç duyduğu şekilde boyutlanır. Sisteme yatay doğrultuda kuvvetler etki ettiğinde, çelik tabakalar kurşun çekirdeği şekil değiştirmeye zorlar. Kurşun çekirdekte meydana gelen plastik şekil değiştirme sayesinde enerji yutulur ve sönüm gerçekleşir. Kauçuk tabakalara kopmayacak şekilde yapıştırılmış olan kurşun çekirdeğin bu davranışı izolatorün yatay yer değiştirmesini azaltır.

Bu sistem genel olarak histeretik sönümleyiciler gibi çalışmaktadır. Bu da kuvvet-yer değiştirme davranışının nonlineer olmasına neden olmaktadır. Yapıya rüzgar ve küçük şiddetli depremler gibi düşük yatay kuvvetler etki ettiğinde ise kurşun çekirdekli yataklar yatay ve düşeyde rijit kalır ve elastik bir davranış sergilerler. Kurşun çekirdekli izolatörler genelde düşük sönümlü izolatörlerle birlikte

kullanılırlar. Bu uygulamada dış kolonlara düşük kauçuk izolatörler dengeleyici olarak konulurken, iç kolonlara kurşun çekirdekli izolatörler sönümleyici olarak yerleştirilir.

Kurşun çekirdekli mesnet sisteminin en büyük dezavantajı güçlü yer hareketleri sonrasında merkezde bulunan kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin tespit edilememesidir. Bu yalıtım sistemi kullanılarak yapılan yapılar, Northridge ve Kobe depremlerinde iyi bir performans sergilemişlerdir [37].

4.1.1.3. Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet sistemi (HDRB)

20 yılı aşkın süredir kullanılan yüksek sönümlü kauçuk mesnet sistemi (High damping rubber bearing), mesnet malzemesi olarak doğal kauçuk kullanılarak geliştirilmiştir. İngiltere’de bulunan “Malaysian Rubber Producers Research Association” kurumu tarafından 1982 yılında, ek sönüm elemanlarına olan ihtiyacı gidermek amacı ile üretilmiştir. Sönüm miktarı; aşırı saf karbon blok, yağlar, reçine ve patentli katkı maddeleri eklenilmesi suretiyle artırılmaktadır. %100 oranındaki kayma şekil değiştirmelerinde sönüm %10 ve %20 mertebelerine çıkarılmıştır. Malzeme boy uzamaları %20’den daha küçük olduğu zaman nonlineer davranış gösterir. Bu özelliği sayesinde rüzgâr yükü, düşük seviyeli depremler karşısında yapının yer hareketine tepkisini azaltmaya yönelik bir davranış sergiler [4].

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler, diğer elastomer mesnetler gibi düşük bir yatay rijitliğe sahiptir ve bu sayede yatayda büyük yer değiştirmeler yaparak yapının periyodunu artırır. Bunun yanında sahip oldukları sönüm özelliği sayesinde bir sönümleyici gibi çalışarak deprem enerjisini yutarlar. Sönüm katsayısındaki değişikliğin dışında üretim, montaj, yerleştirme gibi uygulama detayları düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerle aynıdır.

Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler, sistemin rüzgâr yükleri gibi küçük dinamik yüklerden etkilenmesini önleyecek bir başlangıç rijitliğine sahip değildir. Bu yüzden yapı küçük dış etkilerde dahi hassas davranış gösterir.

Bu sistemlerin bir diğ er avantajı ise çevresel titreşimin azaltılmasında, kullanılabilmesidir. Trafiğ in yoğun oldu ğ u veya metro hattının yakınında bulunan bir yapıda, meydana gelebilecek düş ey titreşimleri azaltma konusunda çok iyi performans göstermektedirler.

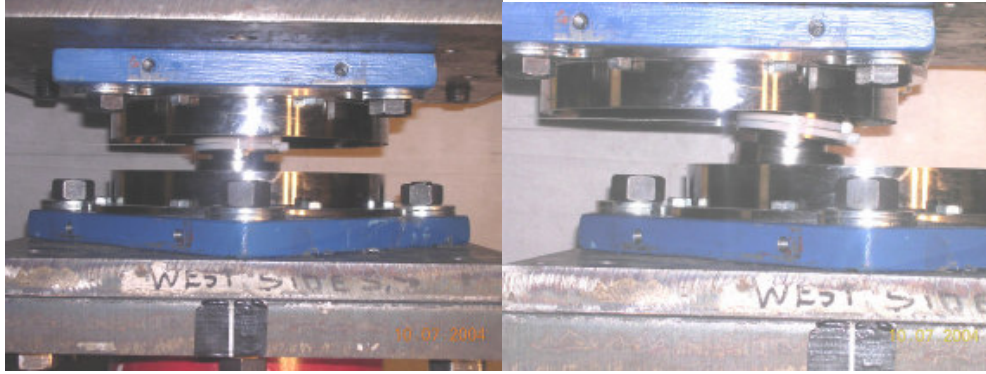
Kauçuk esaslı yalıtım sistemlerine bir alternatif olarak ortaya çıkan kayıcı taban yalıtım sistemleri de, günümüzde geniş bir kullanım sahasına sahiptirler. Bu sistemlerin çalışma şekli, yalıtım ara yüzünde kesme kuvveti geçişinin kayıcı bir yalıtım tabakası kullanılarak sınırlandırılması olarak özetlenebilir. Bu tabakanın direnç kuvveti aşıldığı anda kayıcılar devreye girerek üst yapı kaymaya başlayacak ve ortaya çıkan enerji sürtünme yolu ile sö nümünecektir. Direnç kuvvetinin aşılmadığı durumlarda ise kayıcı yalıtım sistemi harekete geçmeyecektir [47].

Kayıcı mesnetler için en çok kullanılan malzemeler, paslanmaz çelik üzerine kaplanan teflondur (politetrafloraetilen). Teflon kaplı kayıcı mesnetler çevre şartlarına ve sıcaklığ a karşı elastomerik mesnetlerden daha dayanıklı olmasının yanında daha küçük boyutludur ve deprem esnasında daha az yer değı ş tirme yaparlar. Sistemin sürtünme karakteristikleri; aşınma derecesine, ara yüzeydeki hareketin hızına, sıcaklığ a ve yüzey temizliğ ine bağı ldır.

Bu sistemlerde deprem sonrasında kalıcı yatay yer değı ş tirmeler oluşabilir. Bu yüzden bu yer değı ş tirmeleri azaltmak için yanal direnç sağı layan bazı yardımcı elemanlarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir. Kayıcı mesnetli yalıtım sistemlerinin çok farklı uygulamaları mevcuttur [48].

4.1.1.4. Sürtünmeli sarkaç sistemi (FPS)

Sürtünmeli sarkaç modelinde (Friction pendulum system), yapının basitleştirilerek sarkaç hareketine uyarlanması ile depremdeki hareketin ve enerjinin sürtünme yolu ve yer çekimi sayesinde sö nümüneceği amaçlanmıştır. Sistemin başlı ca elemanları Kayıcı mafsallık ve temas ettiği eğrisel çelik yüzeydir. Sürtünme ve dolayısı ile sö nüm hareketi kayıcı mafsallık ile eğrisel yüzey arasında olur. Rijitlik ve yapının titreşim periyodu eğrisel yüzeyin eğimi ile kontrol edilir [49].



Şekil 4.5. Sürtünmeli sarkaç sisteminin yer değiştirmesi [50].

İzolasyonun Titreşim periyodu $T = 2\pi\sqrt{(R/g)}$ şeklinde ifade edilebilir. Burada;

R: Küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı ve G: Yerçekimi ivmesi 'dir.

Titreşim periyodu kütlede bağımsızdır ve sadece yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Böylelikle yapının yalıtım periyodu tek bir parametreye bağlı olduğu için değiştirilmesi kolaydır. Deprem esnasında oluşabilecek maksimum yer değiştirmeye bağlı olarak bağlantı halkasının çapı boyutlandırılır. İçbükey yüzeyin altta ya da üstte olması izolatörün davranışını değiştirmez. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu zamanlarda yapı, titreşimin yalıtımsız periyoduna karşılık gelen bir tepki gösterecektir.

Şekil 4,5'te görüldüğü gibi deprem esnasında üst yapı yanıl etki ile içbükey yüzey üzerinde kayarak yükselir. Üst yapının yükselmesi ile kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşür ve dinamik etki ortadan kalkınca sarkaç ilk denge konumuna gelene kadar hareketini yineler.

Bu sistemdeki bir diğer önemli sönüm mekanizması ise sürtünme ile deprem enerjisinin yutulmasıdır. Deprem hareketi sırasında yanıl rijitlik ve her bir mafsall ayağında oluşacak sürtünme kuvveti, yatak üzerindeki ağırlıkla ilgilidir. Bu nedenle üst yapının ağırlık merkezi ile yatakların rijitlik merkezi çakışmalıdır. Bu durum burulmayı ortadan kaldırır.

Sürtülmeli sarkaç sistemi elastomerik sistemlerin tüm avantajlarını sağladığı gibi dezavantaj sayılabilecek teknik özellikleri içermemektedir. Elastomerlerin yapısı itibari ile kauçuk sistemler yapıya uygulandıktan sonra yangına karşı izole edilmek zorundadır. Bunun yanında yapının hesaplarda öngörülen depremden daha büyük bir depreme maruz kalma ihtimali az da olsa mevcuttur. Böyle bir durumda kauçuk mesnedin kopmasına karşılık yapının bir emniyet sistemine ihtiyacı vardır. Sarkaç sisteminde böyle bir emniyet sistemine gerek olmadığı gibi elemanların tümü çelik olduğu için ekstra bir yangın koruma önlemine de ihtiyaç yoktur.

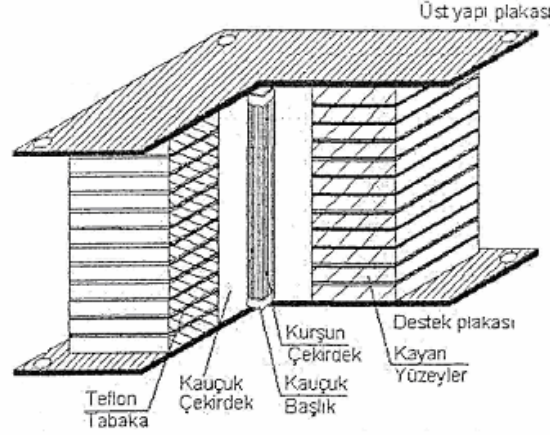


Şekil 4.6. Sürtülmeli sarkaç mesnetinin açık hali [50].

Şekil 4,6'te Benicia-Martinez Köprüsü'nde uygulanan izolatörlerden biri görülmektedir. 1998 yılında güçlendirme çalışması yapılan ve yaklaşık 2 km uzunluğunda olan köprü, 6 şeritlidir ve günde ortalama 100.000 araç taşımaktadır. Köprüde şimdiye kadar üretilen en büyük boyutlara sahip sürtülmeli sarkaç mesnedi kullanılmıştır. Yaklaşık 3.96 m çapında ve 5 ton ağırlığa sahip olan mesnetler 1.35m yatay yer değiştirme kapasitesine sahiptir [51].

4.1.1.5. Esnek sürtülmeli taban yalıtım sistemi (RFBS)

Sistem modellenmesi bakımından kauçuk sistemlere, çalışma açısından ise kayıcı sistemlere benzeyen esnek sürtülmeli taban yalıtım sistemlerde (Resilient friction base isolation systems), sistemde yer hareketi sırasında teflon kaplı tabakaların hızlı sürtünmesi sonucu oluşan deformasyonun izolatör içinde birçok kayan ara yüzey konulması ile giderilmesi amaçlanmıştır. Böylece alt ve üst levhalar arasındaki hız tabakalara ayrılarak deformasyon azaltılır [4].



Şekil 4.7. Elastik sürtümlü mesnet sistemi [4].

Sürtünen elemanların yanı sıra merkezde düşey yük taşımayan, dengeleyici bir çekirdek ilave edilmiştir. Bu çekirdek sayesinde, mesnet yer değiştirmesi ve hızın mesnet yüksekliği boyunca dağıtılması amaçlanmıştır. Bu sistem üzerinde yapılan incelemelerde kauçuk çekirdeğin, yer değiştirmeyi tek bir ara yüzeyde toplanmasını engelleyemediği görülmüş, bu yüzden sisteme kauçuk çekirdeğin içine tabakalar arası yer değiştirmeyi düzenleyen çelik bir çekirdek daha ilave edilmiştir.

Mesnedin etrafında olan kauçuk kılıf, mesnedi toz, paslanma ve benzeri dış etkilere korumak için yerleştirilmiştir. Kauçuğun sönüm yeteneği az olduğu için enerji yutulması için sürtünme de kullanılmaktadır.

Bu sistemlerin ortaya çıkmasındaki en büyük etken diğer kayıcı sistemlerde, sistemin ilk denge haline geri dönüş mekanizmasının büyük depremlerde yetersiz kalmasıdır. Deprem hareketi sürtünme kuvvetini aşana kadar hiçbir mekanizma çalışmaz. Kuvvet aşıldığında, kauçuk deforme olur ve sistemi eski haline döndürecek kuvvet ortaya çıkar.

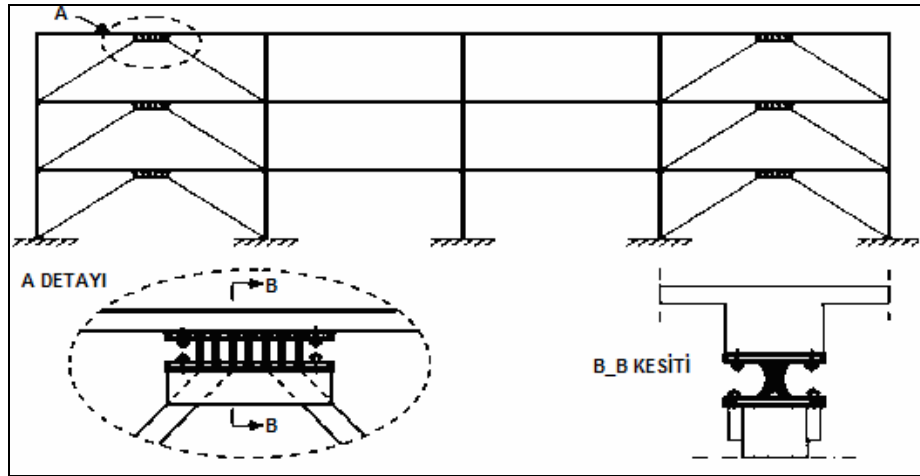
4.1.2. Pasif enerji sönümleyici sistemler

Pasif enerji sönümleyiciler deprem rüzgâr gibi kesit zorlayıcı dinamik etkenler karşısında katlar arası görelî yer değiştirmelerini azaltmak ve yapının enerji yutma kapasitesini arttırmak için kat aralarına ilave edilen elemanlardır. Bu elemanlar kinetik enerjiyi ısı enerjisine ya da titreşim modlarına yayarak sönümleme yaparlar.

Yapıya gelen dinamik etkileri ısı enerjisine dönüştürerek sönüm yapan sistemler histerik ve vizkoelastik sönümleyiciler, titreşim modlarına aktararak sönümleyen sistemler ise dinamik titreşim sönümleyiciler olarak adlandırılırlar.

4.1.2.1. Metalik sönümleyiciler (Metalic dampers)

Metalik sönümleyici sistemler, metallerin elastik olmayan sınırlar içindeki histeretik davranışları esas alınarak üretilmiştir. Metalik sönümleyiciler yapıya gelen dinamik kuvvetleri plastik şekil değiştirme yaparak sönümler. Yani, sönümleyicinin ve dolayısı ile sistemin direnim kuvveti malzemenin lineer olmayan alandaki karakteristiklerine bağlıdır. Enerjinin belli noktalarda yoğunlaşması sağlanarak taşıyıcı sistemin zarar görmesi engellenir [43].



Şekil 4.8. Üçgen plakalı metalik enerji yutucu cihazların yapı üzerindeki montaj şekli [3].

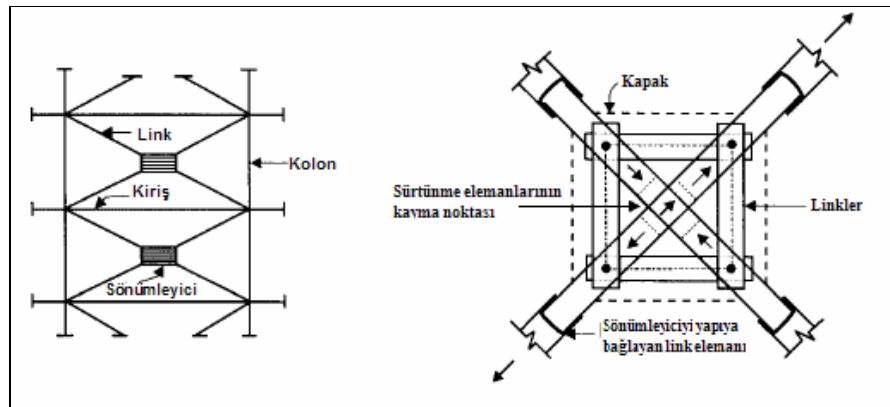
Bu sistemlerin çoğunda dikdörtgen, üçgen veya x şeklinde yumuşak çelik plakalardan oluşan mekanizmalar kullanılır. Genelde her kata yerleştirilen bu sistem çapraz kavrama çubuklarının arasına bu mekanizmaların uygulanmasıyla oluşur (Şekil 4.8).

Metalik enerji sönümleyici elemanların özellikle çelik yapılara uygulamaları daha kolaydır. Bu sönümleyiciler uzun servis kullanımı, çevresel etkilere dayanım ve dinamik yükler altındaki kararlı davranışları sebebiyle diğer pasif kontrol sistemlerinden ayrılır.

4.1.2.2. Sürtünme tipi sönümleyiciler (Friction dampers)

Malzemenin sürtünme özelliği kullanılarak geliştirilen bu sistemler de diğer enerji yutucu mekanizmalar gibi etkili ve çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Yıllardır otomobil frenlerindeki kinetik enerjiyi absorbe etmek için kullanılan sürtünme özelliği, 1982 yılından sonra yapılarda sismik yalıtım amacıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Sürtüneli sönümleyiciler, yapı çerçevesine yerleştirilir ve yer hareketinden doğan kinetik enerjiyi elemanlardaki kayma sürtünmesi ile ısı enerjisine çevirir.



Şekil 4.9. Pall tipi sürtünme sönümleyici [52].

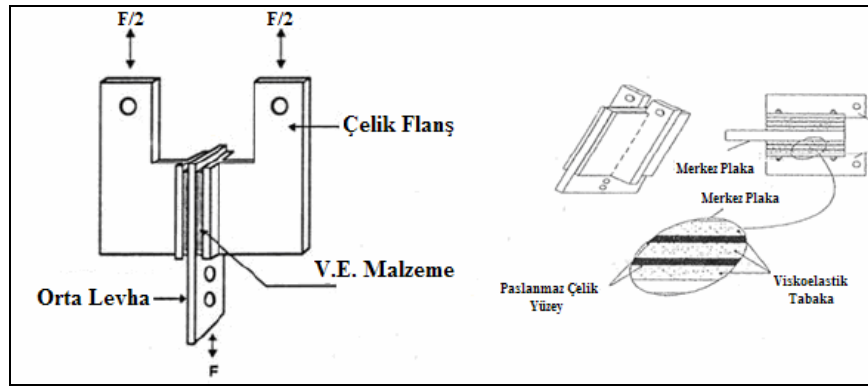
Bu kategorideki tüm sistemler aynı prensipte çalışmasına rağmen farklı mekanik aksam ve sürtünme yüzeylerindeki malzemelerdeki farklılık nedeniyle birçok farklı sistem ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerden en çok kullanılanı Pall tipi sönümleyicidir.

Metalik ve sürtünme tipi sönümleyicilerin sisteme yerleştirilmesi kolay, fakat bakımları zordur. Bu sistemleri oluşturan elemanlar çelik ve alaşımları olduğu için zamanla metal yüzeyler arasında korozyon, gevşeme gibi sorunlar olabilmektedir. Periyodik olarak bakımları yapılması gerekir. Bu yüzden bu sistemler duvar ve kalıcı kaplamalar ile kapatılamazlar [53].

Metalik ve sürtünme tipi sönümleyiciler, öncelikli olarak sismik yalıtım uygulamaları için geliştirilmiş sistemlerdir. Bunun yanında rüzgâr gibi daha düşük ölçekli ve sürekli yüklerle karşı bir koruma sağlayamazlar. Bu amaçla Vizkoelastik sönümleyiciler geliştirilmiştir. Bu tür sönümleyiciler her seviyedeki yüke karşı etkin bir yalıtım sağlar. Vizkoelastik sönümleyiciler, Vizkoelastik katı ve viskoz sıvı sönümleyiciler olmak üzere iki farklı uygulamaya sahiptir.

4.1.2.3. Vizkoelastik katı sönümleyiciler (Viskoelastic dampers)

Bu sistemlerde enerjiyi absorbe etmek için genelde copolimer ve camsı maddeler kullanılır. Histerik sönümleyicilerden farklı olarak Vizkoelastik katı sönümleyicilerde bu sisteme sahip yapı lineer kalmaktadır.



Şekil 4.10. Vizkoelastik sönümleyici [52].

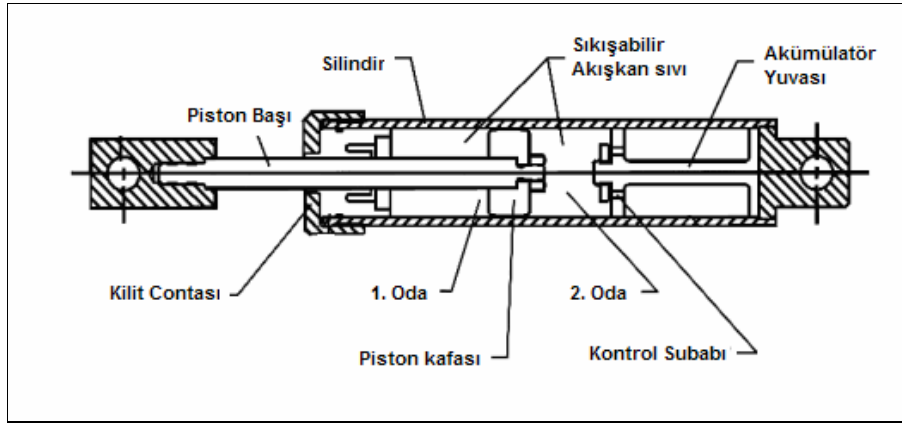
Kullanım alanı çok geniş olmakla beraber inşaat mühendisliği açısından ilk uygulama 1969 yılında yapılan Dünya Ticaret Merkezidir. Bu binada rüzgâr titreşimlerini azaltmak için yaklaşık 10.000 adet Vizkoelastik katı sönümleyici konulmuştur (Şekil 4.10.).

Üniform kalınlığa sahip iki Vizkoelastik tabakanın üç çelik tabakanın arasına yerleştirilmesi ile oluşan sistemde, dinamik etki esnasında, çelik plakalar birbirlerine göre ters hareket eder ve tabakalar arasında basit kesme oluşur. Yani Vizkoelastik katı sönümleyiciler sönümlemeyi tabakaların kayma deformasyonları ile yapmaktadırlar. Sönümleyiciler viskoz sönümün yanı sıra yanal rijitliğin artmasında

da oldukça etkilidir. Deprem altındaki davranışları titreşim frekansına, deformasyonun büyüklüğüne ve sıcaklığa bağlıdır [31].

4.1.2.4. Viskoz sıvı sönümleyiciler (Viskoelastic liquid dampers)

Viskoz sıvı sönümleyiciler en basit manada viskozitesi yüksek bir sıvı ile dolu bir silindir ve bir pistondan oluşur. Viskoz malzemenin ısıya duyarlı olması ve darbe karşısında sıkışmaya karşı bir direnç göstermesi bu malzemelerin yapısal uygulamalarda kullanılmasında etkili olmuştur. Bu sistemlerde sönüm viskozitesi yüksek bir sıvının kanallardan geçirilmesi prensibi ile gerçekleştirilir. Akümülatörün çalışması ile kontrol subabı açılır ve haznelere sıvı akışı gerçekleşir. Pistonlar tarafından sıkıştırılan sıvı, kuvvete ters bir direnç gösterir ve yay hareketine benzer bir şekilde sönüm gerçekleştirilir (Şekil 4.11).



Şekil 4,11. Viskoz akışkanlı sönüm sistemi [36].

Sistemin enerji yutma kabiliyeti, silindirin içindeki metal parçaların boyutları ve sıvının viskozitesine bağlıdır. Bu sistemlerin yapıya uygulanması ile yapının kat yer değiştirmelerinde %30- %70 arasında bir azalma sağlanabilmektedir.

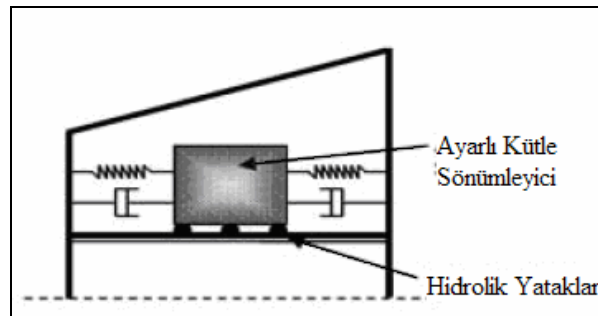


Şekil 4.12. Sut binası ve sönüm duvarı uygulamaları [3].

Şekil 4.12’de görülen bir diğer uygulamada ise içine viskoz akışkan doldurulmuş çelik duvarların içine batırılan metal levha üst döşemeye bağlanır. Deprem anında katlar arası rölatif deplasmanlar sebebiyle levhanın hareketi kısmi bir sönüm sağlar. Japonya’da bulunan ve çelik taşıyıcı sistemli SUT binasına 170 adet sönüm duvarı uygulanmıştır.

4.1.2.5. Ayarlı kütle sönümleyiciler (Tuned mass dampers)

Bu sistemler özellikle yüksek katlı yapılara uygulanmaktadır. Yapıda maksimum yer değiştirmenin olacağı en üst kata yapı kütesinin %1’i civarında bir ek kütle, birbirine paralel yay veya viskoz sönümleyiciler yardımı ile bağlanması ile oluşur.



Şekil 4.13. Ayarlı kütle sönümleyicisi [7].

Şekil 4.13'te görülen sistem, tehlikeli bir salınım oluştuğu anda kendiliğinden devreye girerek farklı periyoda sahip bir titreşim yaparak oluşabilecek yer değiştirmeleri azaltmaktadır. Ayarlı kütle sönümleyici sistemlerin en önemli uygulamalarından birisi Manhattan şehrinde bulunan 244 m yüksekliğindeki Citycorp binasıdır.

4.1.2.6. Ayarlı sıvı sönümleyiciler (Tuned liquid dampers)

Bu sistemler ilk olarak gemilerde dalgalar sebebiyle oluşan titreşimlerin kontrol edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Ayarlı sıvı sönümleyiciler de, Ayarlı kütle sönümleyiciler gibi yapının en üst katına yerleştirilir. TLD'ler birçok sığ su tankı ya da derin su tanklarından oluşur. Ayarlı sıvı sönümleyicilerin temel prensibi, rijit bir kap içerisine yerleştirilmiş sıvının yerçekimi ve dinamik kuvvetlerin etkisiyle harekete geçerek, yapının kinetik enerjisinin sönümlenmesidir.

Yapı yatay yönde hareket ettiğinde tankın içinde bulunan sıvı yapının hareketine ters yönde bir hareket gerçekleştirir. Hareket sonucu hava odalarından birinde hava basıncı artarken, diğer hava odasındaki hava basıncı azalmaktadır. Sıvının bu hareketi sayesinde yapının periyodu istenilen seviyede tutulmuş olur.

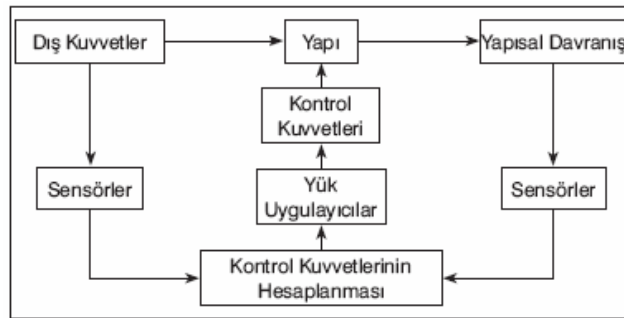
4.2. Aktif Kontrol Sistemleri

Aktif kontrol sistemleri pasif kontrol sistemlerine alternatif olarak geliştirilmiş daha karmaşık sistemlerdir. Teoride yapının her şiddetteki dinamik etkiye karşı korunması sağlanmaktadır. Bu sistemler yapıya yerleştirilmiş sensörler yardımı ile gelen kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü algılayarak kontrol bilgisayarına iletir. Daha önce belirlenmiş algoritmalar yardımı ile kontrol bilgisayarı gerekli tepkileri hesaplar ve kabul edilebilir zaman farkları ile tepki elemanlarına gerekli emirleri yollayarak zıt tepkileri yapıya uygular. Böylece yapıda meydana gelecek ivmeler azaltılarak, yer değiştirmeler sınırlandırılır.

Pasif kontrol sistemlerinden farklı olarak aktif kontrol sistemlerinde tüm bu algılayıcıları çalıştırmak ve kontrol kuvvetlerini oluşturmak için sürekli olarak

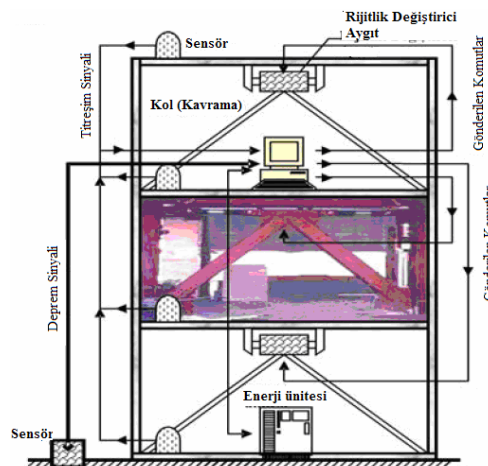
yedekte bir enerji hazırda bekletilmek zorundadır. Sistemin güvenliği için sismik hareket olmadığı zamanlarda bile hazırda bekletilecek bu enerjinin yanı sıra tüm bu işlemlerin yapılması için gereken çok gelişmiş bilgisayar ve kontrol sistemlerine gereksinim duyulması bu sistemlerin dezavantajları arasındadır. Aktif yapı kontrolünde en yaygın kullanılan sistemler aktif rijitlik değiştirebilen sistemler ve aktif kütle sönümleyicilerdir.

Tablo 4.2. Aktif kontrol sisteminin çalışma prensibi



4.2.1. Aktif rijitlik değiştiren sistemler

Bu sistemler genelde yüksek katlı yapılara uygulanmakta ve deprem esnasında yüksek periyotlardan dolayı oluşacak karmaşık salınımları kontrol altına alabilmektedir. Sistem katlara monte edilen çapraz kuşaklar (kavrama) ve bunlar arasına yerleştirilen rijitlik değiştirci hidrolik mekanizmalardan oluşur (Şekil 4.14).

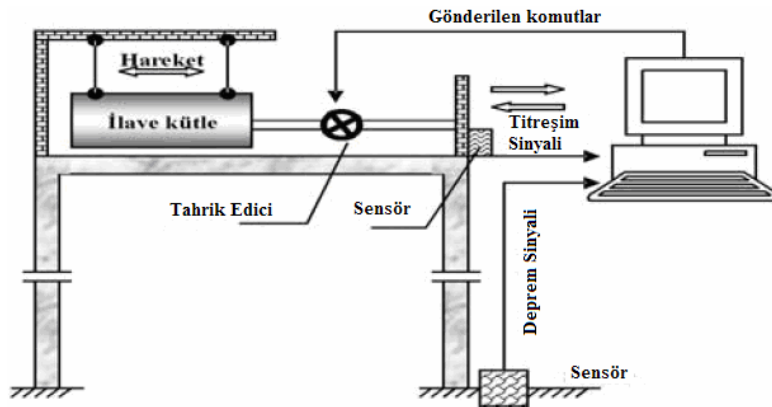


Şekil 4.14. AVS sistemi ve şematik gösterimi [48].

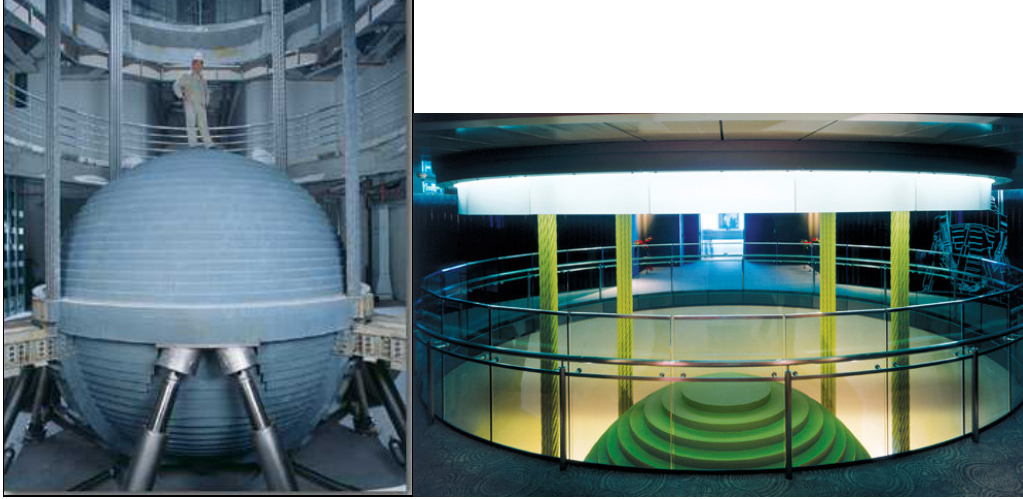
Aktif rijitlik değiştirici sistemlerde, yapının esnekliği, kontrol bilgisayarından gelen emirler doğrultusunda hidrolik aletlerdeki kontrol vanasının açılıp kapanması sayesinde sağlanır. Vana açıldığı hidrolik aletler içindeki sıvı serbest kalır ve böylece kuşaklar işlevini kaybederek rijitlikte önemli bir azalma meydana gelir. Vana kapandığı zaman ise pistonun hidrolik sıvıyı sıkıştırması sonucu kuşaklar sabit duruma gelir ve rijitlik artar. Yukarıdaki tüm bu işlemlerin yapılması için gereken zaman saniyenin %5'inden az bir zamandır [53].

4.2.2. Aktif kütle sönümleyici sistemler

Bu sistemler rüzgâr ve deprem gibi dinamik etkilere karşı yapının içine yerleştirilen ilave kütlelerin hareketi ile titreşimleri azaltır. Kütle sönümleyici sistemlerde, rijitlik değiştirici sistemler gibi yapının birçok noktasına yerleştirilen sensörler yardımı ile dinamik etkileri algılar ve bunlara karşı oluşturulacak tepki kuvvetleri kontrol bilgisayarı tarafından hesaplanır. Hesaplanan değerler sinyallerle tahrik mekanizmalarına iletilir ve ilave kütle harekete geçirilir (Şekil 4.15). Deprem esnasında sistemin çalışması için gereken enerji bir şekilde devre dışı kalırsa, sistem bir pasif kontrol sistemi gibi davranarak çalışmasına devam edebilmektedir [31].



Şekil 4.15. Aktif kütle sönümleyici sistemi [31]



Şekil 4.16 Dünya'nın en yüksek binası olan (508m) Taipei'in 80. katında bulunan 730tonluk sönümleyici kütle [54]

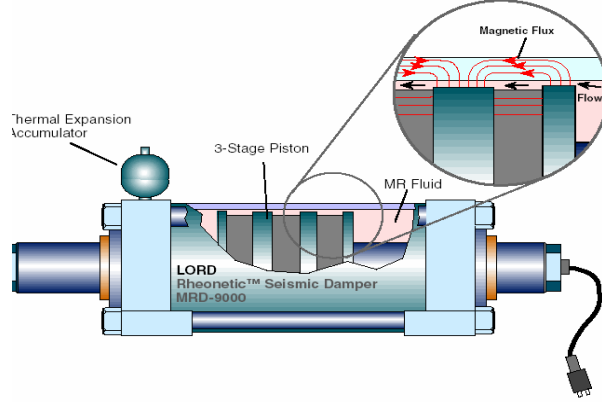
Aktif kontrol sistemlerinin geliştirilmesi gelecek için oldukça umut verici bir durumdur. Fakat bu sistemlerin pratik olarak kullanılabilmesi için giderilmesi gereken bazı problemler vardır. Bunlardan önemli birkaçı;

- Yapıların maruz kalacakları kuvvetlere karşı koyabilmesi için gereken gücün oluşturulması
- Bu gücün ve aktif kontrol sistemini çalıştıracak olan gücün sürekli hazır bulundurulması
- Bu sistemlerin kurulum, bakım ve işletim maliyetlerinin yüksek olması
- Modelleme hataları
- Aygıtlar arasında oluşan zaman gecikmeleri
- Oluşturulan sistemin lineer olmaması (A.K.S yapıların lineer olduğu kabulü ile hareket etmektedirler)
- Yapı parametrelerindeki belirsizlikler
- Sensör ve kontrol eleman sayısının yetersiz olması

4.2.3. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Yarı aktif kontrol sistemleri pasif ve aktif sistemlerin en önemli özelliklerinin bir arada kullanıldığı sistemlerdir. Yarı aktif kontrol, bir çeşit aktif kontrol olmasının yanında sistemin çalışması için gereken enerji tipik aktif sistemlerden çok daha azdır.

Bu sistemler izolatörlü yapılarda izolatörlerin yüksek deplasmanlarını sönümlemede de kullanılırlar. Şekil 4.17’de tipik bir MR tabanlı yarı aktif sönümleyici görülmektedir.



Şekil 4.17. Yarı aktif sismik sönümleyici [36].

Pistonun içinde 3 bölgede elektromanyetik bobinler vardır ve her bir pistonda 5 litreye yakın MR (MagnetoRheological Fluid) sıvısı bulunur. Deprem esnasında sensörler tarafından algılanan kuvvetler sönümleyicilere elektriksel olarak iletilir. Bu elektriksel etkiyle manyetize olan MR sıvısı katı faza geçer, pistonlar depremden dolayı oluşan kuvvete ters yönde direnç göstererek sönümü gerçekleştirir. Manyetik alanın ortadan kalması sonucu katı madde tekrar sıvı hale geçerek pistonların tekrar kapanmasını dolayısı ile yana salınmış binayı eski haline dönmesini sağlar. MR sıvısı birkaç milisaniye içinde onlarca kez faz değiştirir.

Yapılan deneysel çalışmalar ve uygulamalar yarı aktif kontrol sistemlerinin pasif kontrol mekanizmalarından daha kullanışlı ve aktif kontrol mekanizmalarına yakın bir performans sergilediğini göstermiştir [42].

BÖLÜM 5. SAYISAL UYGULAMALAR

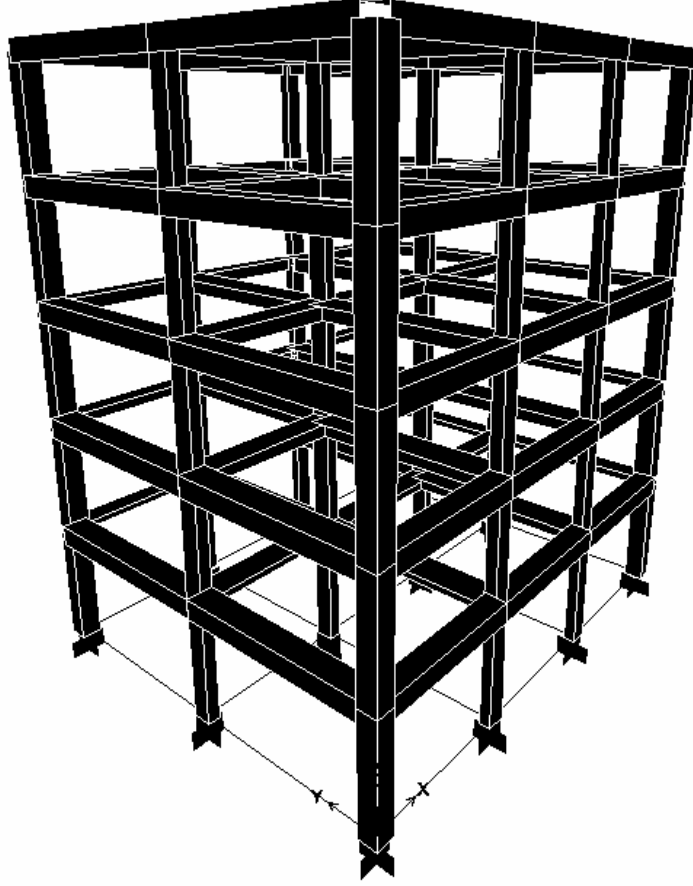
Bu bölümde, taban yalıtım sistemlerinin yapı üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla 5 katlı bir yapı modeli oluşturularak çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

İlk olarak yapı modeli SAP2000 paket programında oluşturulup analiz edilerek yapının ağırlığı, titreşim periyodu ve mod şekilleri belirlenmiştir.

Daha sonra ise ilk kısımda taşıyıcı sistemi ve her kolonun taşıdığı aksenal yükler hesaplanan yapı modeli kullanılarak, Amerikan UBC standardı esaslarına uygun bir izolatör boyutlandırılması (çap, yükseklik, kauçuk ve çelik tabakaların sayısı ve kalınlıkları) yapılmıştır.

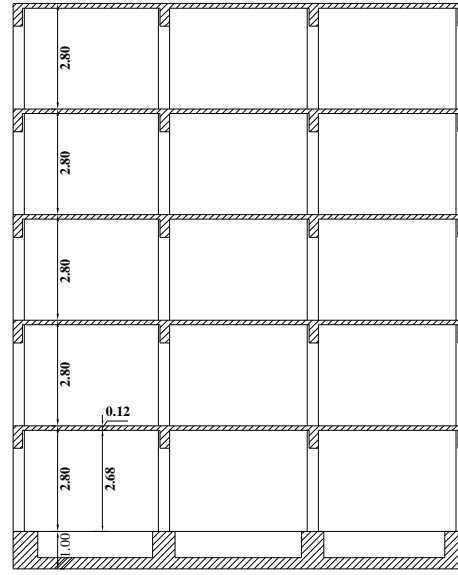
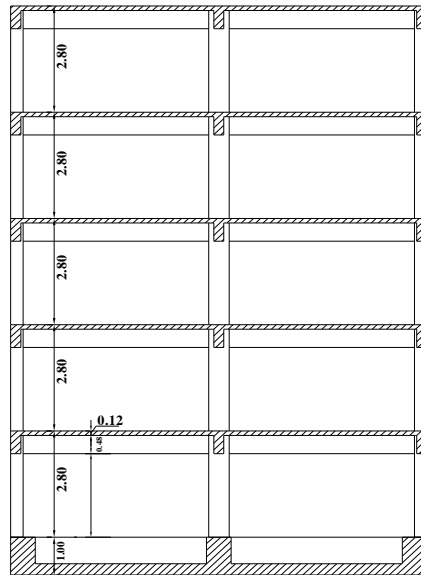
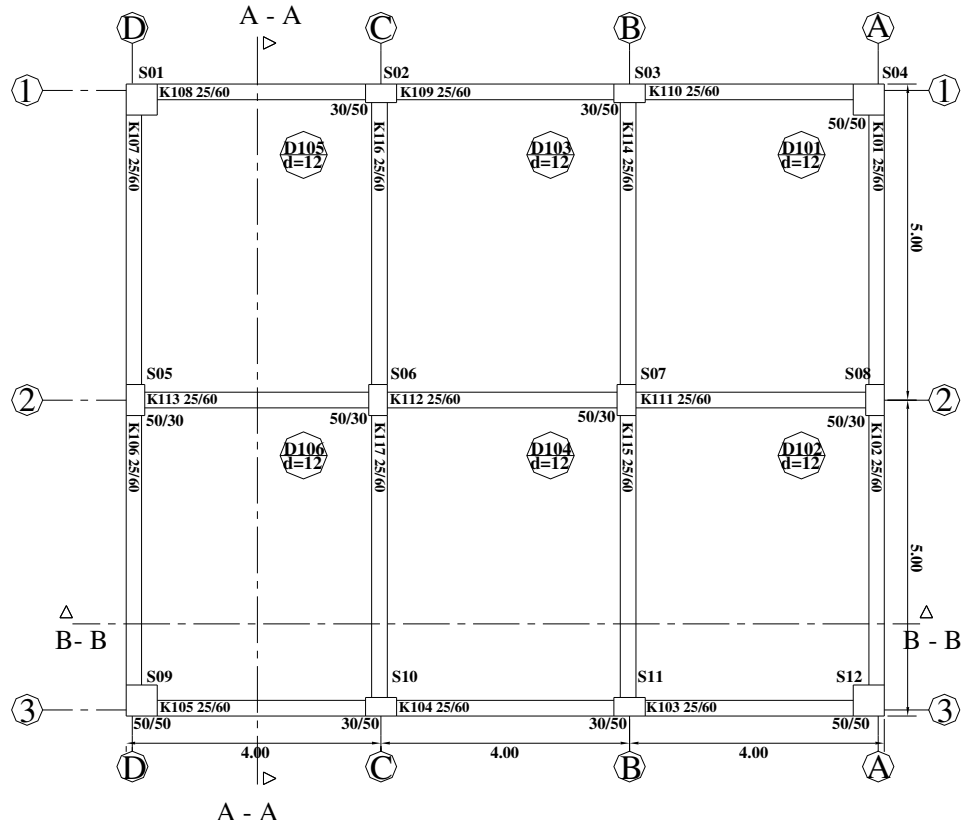
İzolatör boyutlandırması yapıldıktan sonra SAP2000 paket programı kullanılarak yapının ankastre temelli ve temel yalıtımlı durumları için yapı periyotları, taban kesme kuvvetleri ve kat ötelenmeleri üzerinde analizler yapılmıştır. Bu analizler esnasında dinamik etki olarak ABYBHY 2007'de tanımlanan zemin davranış spektrumları, 1992 Erzincan Depremi doğu-batı ivme kaydı, 1995 Dinar Depremi doğu-batı ivme kaydı, Sakarya Depremi doğu-batı ve Yarımca Petkim Kuzey-Güney ivme kayıtları kullanılmıştır.

5.1. Yapının Tanımı



5.1. Modellenen yapıya ait 3 boyutlu görünüş

- Yapı kat sayısı: 5 kat
- Deprem bölgesi: 1. Bölge
- Taşıyıcı sistem: Betonarme çerçeve
- Kolonlar: 50/50 cm ve 30/50 cm
- Döşeme kalınlığı: 0.12 m
- Çelik sınıfı: S420
- X doğrultusunda: 12 m
- Kat yüksekliği (h): 2,80 m
- Etkin yer ivmesi (A_0): 0.40
- Kirişler: 25/60 cm
- Döşeme türü: Betonarme Plak
- Beton sınıfı: BS 25
- Bina önem katsayısı (I): 1,0
- Y doğrultusunda: 10 m



Şekil 5.2. Modellenen yapıya ait kat planı ve görünüşler.

Normal kat döşemelerinde, hareketli yük olarak 2 KN/m^2 , çatı katında ise $1,5 \text{ KN/m}^2$ alınmıştır. Sabit yük olarak ise tüm döşemeler için $4,22 \text{ KN/m}^2$ alınmıştır. Kirişlere

ise kendi ağırlığı dışında duvarlar için $5,72 \text{ KN/m}^2$ yük ilave edilmiştir.

Bu kabullere göre modellenen yapının titreşim periyodu, $0,598 \text{ sn}$ ve ağırlığı 7348 KN olarak bulunmuştur.

5.2. İzolatör Boyutlandırması

Ülkemizde kullanılan yönetmelik ve standartlarda sismik yalıtım ile ilgili hükümler bulunmamaktadır. Fakat yeni deprem yönetmeliğinin (ABYBHY 2007) 1.1.6. ve 1.1.7. hükümleri gereği deprem yalıtım sistemleri uygulanan yapılar için, çağdaş uluslararası standartlar göz önüne alınacak ve bu yapılarda Türk Deprem Yönetmeliği şartları aranmayacaktır. Bu yüzden hesapların devamında sismik yalıtım için, yıllardır kullanılan UBC 97 (Uniform Building Code) tasarım kurallarına göre boyutlandırma yapılacaktır. Boyutlandırmada kullanılan tüm formüller ve hesap adımları UBC 97 yönetmeliğinden alınmıştır. Verilen boyutlandırma parametreleri aşağıdaki gibidir.

Sismik Bölge Faktörü (Z)	: 4.Bölge, Z=0,40	Tablo 5,1
Bölge Zemin Cinsi	: S _D	Tablo 5,2
Sismik Fay Tipi	: A tipi ($M \geq 7,0$), $SR \geq 5 \text{ mm/yıl}$	Tablo 5,3
Faya Yakınlık Faktörleri (N_V, N_A)	: $\Delta > 15 \text{ km}$, $N_V = N_A = 1$	Tablo 5,4
Sismik Katsayı (C_V, C_A)	: $C_V=0,64$, $C_A=0,44$	Tablo 5,5
Sönüm Azaltma Katsayısı	: B=1,2	Tablo 5,6

Tablo 5.1. Sismik bölge faktörü [55].

ZONE	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

Tablo 5.2. Bölge zemin cinsi [55].

SOİL PROFİLİ TYPE	SOİL PROFİLİ DESCRIPTION	AVERAGE SOIL PROPERTIES FOR TOP 100 FEET (30 480mm) OF SOIL PROFILE		
		Shear Wave Velocity feet/second (m/s)	Standart Penetration Test (Blows/foot)	Undrained Shear Strenght Psf (kpa)
S _A	Hard Rock	>5000 (1500)	—	—
S _B	Rock	2500 to 5000 (760 to 1500)		
S _C	Very Dense Soil and Soft Rock	1200 to 2500 (360 to 760)	>50	>2000 (100)
S _D	Stiff Soil Profile	600 to 1200 (180 to 360)	15 to 50	1000 to 2000 (150 to 100)
S _E	Soft Soil Profile	<600 (180)	<15	<1000 (50)
S _F	See Section 1629.9.1			

Tablo 5.3. Sismik fay tipi [55].

SEİSMİK SOURCE TYPE	SEİSMİK SOURCE DESCRIPTION	SEİSMİK SOURCE DEFINITION	
		Maximum Moment Magnitude, M	Slip Rate SR (mm/year)
A	Faults that are capable of producing large magnitude events and that have a high rate of seismic activity	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	All faults other than Types A and C	$M \geq 7.0$ $M < 7.0$ $M \geq 6.5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Faults that are not capable of producing large magnitude earthquakes and that have a relatively low seismic activity	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

Tablo 5.4. Faya yakınlık faktörleri [55].

NEAR SOURCE FACTOR N_s^{-1}				
Seismic source type	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEİSMİK SOURCE			
	≤ 2 km	5 km	≈ 10 km	
A	1.5	1.2	1.0	
B	1.3	1.0	1.0	
C	1.0	1.0	1.0	
NEAR SOURCE FACTOR N_v^{-1}				
Seismic source type	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEİSMİK SOURCE			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≈ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 5.5 Sismik katsayılar (C_v , C_A) [55].

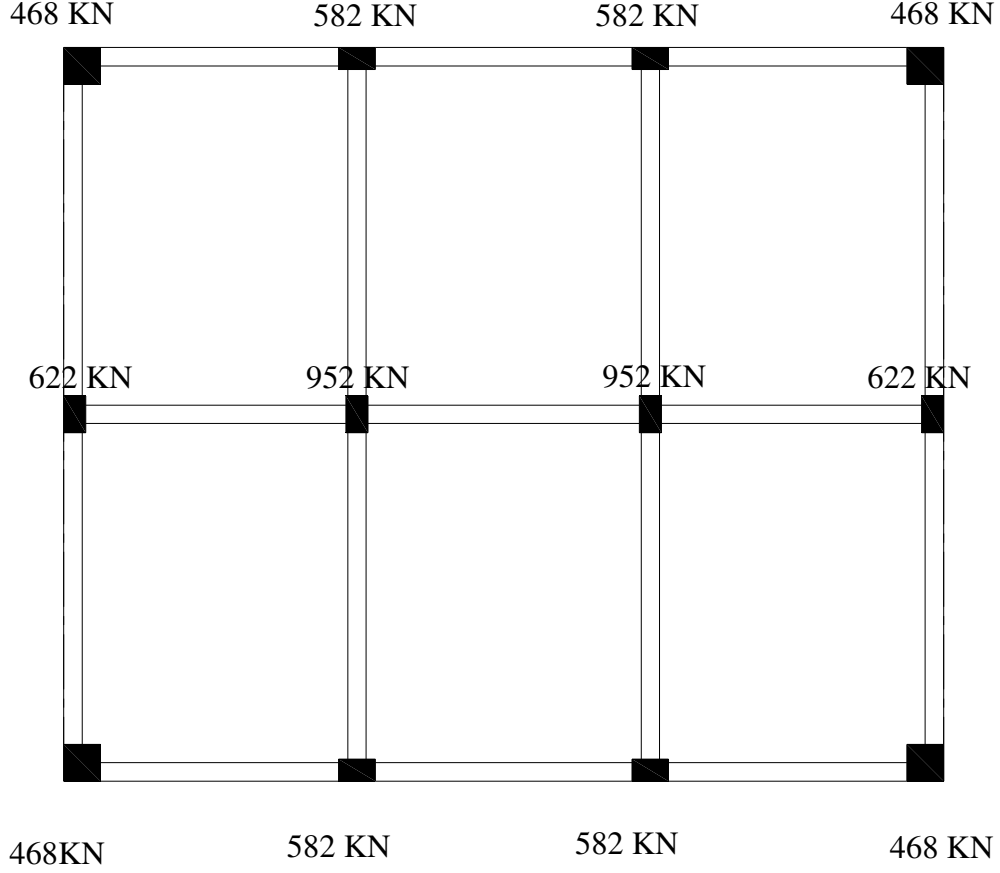
SEİSMİK COEFFİCİENT C_v					
SOİL PROFILE TYPE	SEİSMİK ZONE FACTOR, Z				
	Z= 0.075	Z= 0.15	Z= 0.2	Z= 0.3	Z= 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 N_v
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40 N_v
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56 N_v
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64 N_v
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96 N_v
S_F	See Footnote 1				
SEİSMİK COEFFİCİENT C_v					
SOİL PROFILE TYPE	SEİSMİK ZONE FACTOR, Z				
	Z= 0.075	Z= 0.15	Z= 0.2	Z= 0.3	Z= 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 N_a
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40 N_a
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40 N_a
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44 N_a
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36 N_a
S_F	See Footnote 1				

Tablo 5.6-Sönüm azaltma katsayısı [55].

Damping Reduction Factor	
Damping Coefficient	B
$\leq 2\%$	0.8
5%	1.0
10%	1.2
20%	1.5
30%	1.7
40%	1.9
$\geq 50\%$	2.0

Her bir kolonun altında izolatörlerin taşıdığı yükler Şekil 5.3'te verilmiştir. Bundan sonra, UBC 97'deki parametreler ile sistemin toplam yer değiştirmesi, izolatör yüksekliği ve çapı gibi boyutlar belirlenecektir. Şekilde görüldüğü gibi köşe kolonlarının taşıdığı yükler diğer kolonlardan daha küçüktür. Bu yüzden boyutlandırma için iki farklı izolatör kullanılacaktır. Köşelerdeki dört kolon için A tipi izolatör, diğer kolonlar için ise daha yüksek kayma modülüne sahip kauçuk kullanılan B tipi izolatör kullanılacaktır. Bu izolatörlere ait yatay ve düşey yönde kayma modülleri A tipi izolatör için, $G_H^A = 0,50$ MPa, $G_V^A = 1,0$ MPa ve B tipi izolatör için $G_H^B = 0,8$ MPa, $G_V^B = 1,2$ MPa'dır. İzolatörlerin sönüm oranı $\beta = 0,10$ ve Bulk modülü 2000 MPa alınacaktır.

İzolasyonlu yapının yeni titreşim periyodu 2,2 sn olacak şekilde boyutlandırmaya devam edilecektir.



Şekil 5.3. Kolonlara etkiyen kuvvetler

5.2.1. Toplam yer değiştirme

$$D_D = \frac{g C_{VD} T_D}{B(4\pi^2)} = \frac{9,81 * 0,64 * 2,2}{1,2(4\pi^2)} = 0,291 \text{ m} \quad 5.1$$

5.2.2. Yatay rijitlikler

$$K_{H1} = \frac{4\pi^2 W_1}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 * 0,468}{2,2^2 * 9,81} = 0,389 \text{ MN/m} \quad 5.2$$

$$K_{H2} = \frac{4\pi^2 W_2}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 * 0,582}{2,2^2 * 9,81} = 0,484 \text{ MN/m}$$

$$K_{H3} = \frac{4\pi^2 W_3}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 * 0,622}{2,2^2 * 9,81} = 0,517 \text{ MN/m}$$

$$K_{H4} = \frac{4\pi^2 W_4}{T_D^2 g} = \frac{4\pi^2 * 0,952}{2,2^2 * 9,81} = 0,791 \text{ MN/m}$$

5.2.3. Disk çaplarının hesaplanması

$\gamma_{\max} = 1,5$ olarak alınacaktır.

$t_r = 0,291 / 1,5 = 0,194$ m olarak bulunur.

$t_r = 0,20$ m seçilen kauçuk yüksekliği

Yatay rijitliklere göre çaplar;

$$A_1 = \frac{K_{H1} * t_r}{G_H} = \frac{0,389 * 0,20}{0,5} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ ve} \quad 5.3$$

$$D_1^2 = \frac{4 * 0,155}{\pi} \rightarrow D_1 = 0,44 \text{ m} \quad 5.4$$

$$A_2 = \frac{K_{H2} * t_r}{G_H} = \frac{0,484 * 0,20}{0,8} = 0,121 \text{ m}^2 \text{ ve}$$

$$D_2^2 = \frac{4 * 0,121}{\pi} \rightarrow D_2 = 0,39 \text{ m}$$

$$A_3 = 0,129 \text{ m}^2 \rightarrow D_3 = 0,40 \text{ m}$$

$$A_4 = 0,197 \text{ m}^2 \rightarrow D_4 = 0,50 \text{ m}$$

1.tip izolatörler için 45 cm, 2.tip izolatörler için ise 50 cm çap uygundur. Bu değerler doğrultusunda yeni alanlar;

$$A_A = \frac{\pi * 0,45^2}{4} = 0,159 \text{ m}^2 \quad \text{ve} \quad A_B = \frac{\pi * 0,50^2}{4} = 0,196 \text{ m}^2$$

Yeni alanlara göre yatay rijitlikler tekrar hesaplanırsa;

$$K_H^A = \frac{AG_A}{t_r} = \frac{0,159 * 0,5}{0,2} = 0,397 \text{ MN/m} \quad 5.5$$

$$K_H^B = \frac{AG_B}{t_r} = \frac{0,196 * 0,8}{0,2} = 0,784 \text{ MN/m}$$

Sistemin toplam rijitliği ise;

$$\Sigma K_H = (4 * 0,397) + (8 * 0,784) = 7,87 \text{ MN/m olarak bulunur.}$$

5.2.4. İzolasyonlu yapı periyodu

$$T_D = \sqrt{\frac{W}{K_H g}} = \sqrt{\frac{7348}{7870 * 9,81}} = 1,94 \text{ sn bulunur.} \quad 5.6$$

$T \approx 1,94$ sn tasarlanan periyot $2,2$ sn'ye çok yakındır. Bu yaklaşım yeterlidir.

$\gamma = D_D/t_r = 0,291/0,2 = 1,45 < \gamma_{\max} = 1,5$ hesaplanan katsayıda istenilen sınırlar içindedir.

5.2.5. İzolatöre ait boyutlar

İzolatörlerde, elastomer çapı ve toplam elastomer yüksekliği belirlenmiştir. Kullanılacak çelik levhaların kalınlığı standart olarak 2 mm'dir. Bunun yanında detayda tanımlanmayan tek nokta elastomer tabakaların kalınlığı ve sayısıdır. Bir

elastomer tabakanın kalınlığı ampirik olarak $\frac{D}{80} \leq t_0 \leq \frac{D}{40}$ formülü ile hesaplanır.

Birinci izolatör için $\frac{450}{80} \leq t_0 \leq \frac{450}{40}$, ikinci izolatör için ise $\frac{500}{80} \leq t_0 \leq \frac{500}{40}$ olarak

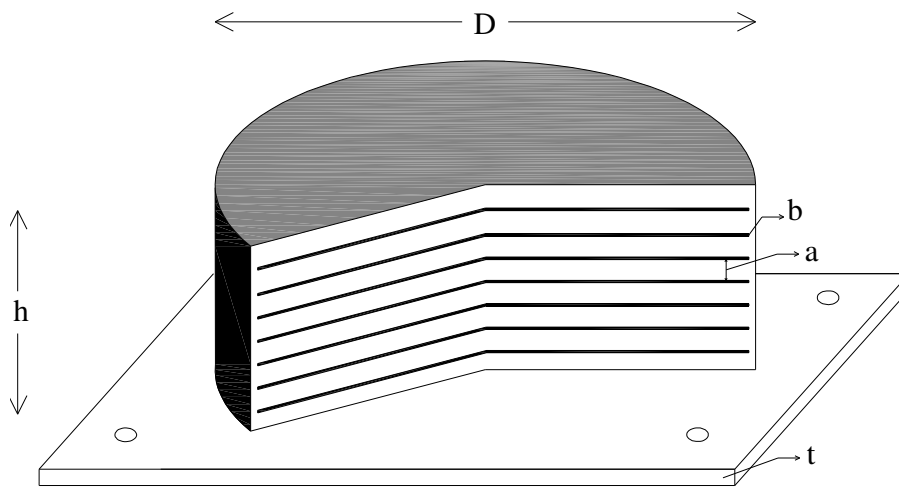
yazılabilir. Buradan;

$5,62 \leq t_0^A \leq 11,25$ ve $6,25 \leq t_0^B \leq 12,5$ olarak yazılabilir. Fakat çelik levhaların kalınlığı standart olarak 2 mm olduğundan dolayı kauçuk tabakaların kalınlığı, standart ölçüleri sağlaması açısından her iki izolatör içinde 10 mm alınmıştır. İzolatör; 20 adet 10 mm kalınlığında elastomer tabaka, 19 adet 2 mm kalınlığında çelik tabaka ve 2 adet 25 mm kalınlığında baş levhasından oluşacaktır. İzolatörün

Toplam izolatör yüksekliği;

$$h = (25 \times 2) + (20 \times 10) + (19 \times 2) = 288 \text{ mm}$$

Çelik levhaların çapı, her iki tarafından 5 mm kapatma plakası genişliği ayrıldıktan sonra 440 ve 490 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 5.4'te izolatörlere ait boyutlar verilmiştir. Şekilde, b ile ifade edilen çelik tabakaların kalınlığı, a ise kauçuk tabakaların kalınlığıdır. İzolatörün çapı D, yüksekliği h ve alt başlık kalınlığı t ile gösterilmiştir.



İzolatör Tipi	D (mm)	h (mm)	b (mm)	a (mm)	t (mm)
A Tipi	450	288	2	10	25
B Tipi	500	288	2	10	25

Şekil 5.4. İzolatör tip detayı

5.2.6. Düşey yönde tahkikler

Düşey yöndeki şekil değiştirmelerde, izolatörler ait düşey kayma modülleri ve Bulk modülü ile hesap yapılacaktır. Bu değerler;

$$G^A_v = 1,0 \text{ MPa}, \quad G^B_v = 1,2 \text{ MPa} \quad K = 2000 \text{ MPa} \text{ olarak alınır.}$$

Şekil faktörü (S) de düşey yönde tahkiklerin yapılması için bulunması gereken bir değerdir. Şekil faktörü;

$$S = \frac{\pi R^2}{2\pi R t_0} \text{ formülü ile bulunur.} \quad 5.7$$

$$S = \frac{D}{4t_0} \text{ olarak ta yazılabilir. Buradan;}$$

$$S_A = \frac{450}{4*10} = 11,25 \text{ ve } S_B = \frac{500}{4*10} = 12,5 \text{ bulunur.}$$

Yükleme modülleri;

$$E_C^A = \frac{6GS^2K}{6GS^2 + K} = \frac{6*1*11,25^2 * 2000}{6*1*11,25^2 + 2000} = 550 \text{ MN/m}^2 \quad 5.8$$

$$E_C^B = \frac{6*1,2*12,5^2 * 2000}{6*1,2*12,5^2 + 2000} = 720 \text{ MN/m}^2$$

Sistemde toplam düşey rijitlik;

$$K_V = \frac{(4*E_C^A + 8E_C^B) * A}{t_r} \\ = \frac{(4*550) * 0,159 + (8*720) * 0,196}{0,288} = 5134 \text{ MN/m} \quad 5.9$$

5.2.7. Sistemde göçme riski

Sistemde göçme riskinin araştırılması için kritik P yükü hesaplanır;

$$P_{cr} = \sqrt{P_S * P_E} \quad 5.10$$

Burada P_S ile ifade edilen terim, çelik kısım için hesaplanırken $P_S = G.A_S$ formülü ile hesaplanır. Bunun yanında P_E terimi ise elastomer tabakalar için hesaplanan terimdir

$$\text{ve } P_E = \frac{\pi^2 E_C * I}{3tr^2} \text{ formülü ile bulunur.} \quad 5.11$$

Çelik levhaların çapı sırasıyla 390 ve 440 mm olduğuna göre "I" atalet momentleri;

$$I_A = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{0,44}{2}\right)^4 = 0,00184 \text{ m}^4 \quad 5.12$$

$$I_B = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{0,49}{2}\right)^4 = 0,00283 \text{ m}^4 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Çelik levhaların alanı A_S ise;

$$A_S^A = \frac{\pi}{4}(0,440)^2 = 0,152 \text{ m}^2 \quad A_S^B = \frac{\pi}{4}(0,490)^2 = 0,188 \text{ m}^2, \text{ dir.} \quad 5.13$$

Bu durumda kritik P yükü

$$P_{cr}^A = \frac{\pi}{0,288} [(550 * 10^6) \frac{0,00184}{3} (1 * 10^6) (0,152)]^{0,5} = 2470 \text{ KN}$$

$$P_{cr}^B = \frac{\pi}{0,20} [(720 * 10^6) \frac{0,00283}{3} (1,2 * 10^6) (0,188)]^{0,5} = 4270 \text{ KN}$$

$$P_{cr}^A = 2470 \text{ KN} \geq 468 \text{ KN} \quad P_{cr}^B = 4270 \text{ KN} \geq 952 \text{ KN}$$

$$\geq 582 \text{ KN}$$

$$\geq 622 \text{ KN}$$

Yapı kolon yükleri, görüldüğü gibi P_{cr} aksenal kuvveti altında, güvenli tarafta kalmaktadır.

5.2.8. Dışarı yuvarlanma mesafeleri (Rollout Displacements)

Dışarı yuvarlanma; etkiyen yatay kuvvetin tasarım yer değiştirmesinden fazla olduğu durumlarda, elastomerin plakalardan sıyrılarak, yuvarlanma hareketi ile tasarımda kabul edilmeyen bir davranış yapmasıdır. İzolatöre etkiyen bu yükler sebebiyle, yatak bir süre sonra kopacak ve topyekûn göçme gerçekleşecektir. Dışarı yuvarlanma mesafesi ise izolatörlerin, istenmeyen bu duruma geçtiği andaki yer değiştirmesidir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$D_{\max} = \frac{\Phi}{1 + K_H h/W} \quad 5.14$$

$$D_{\max}^1 = \frac{0,450}{1 + (397 * 0,288)/468} = 0,362 \text{ m}$$

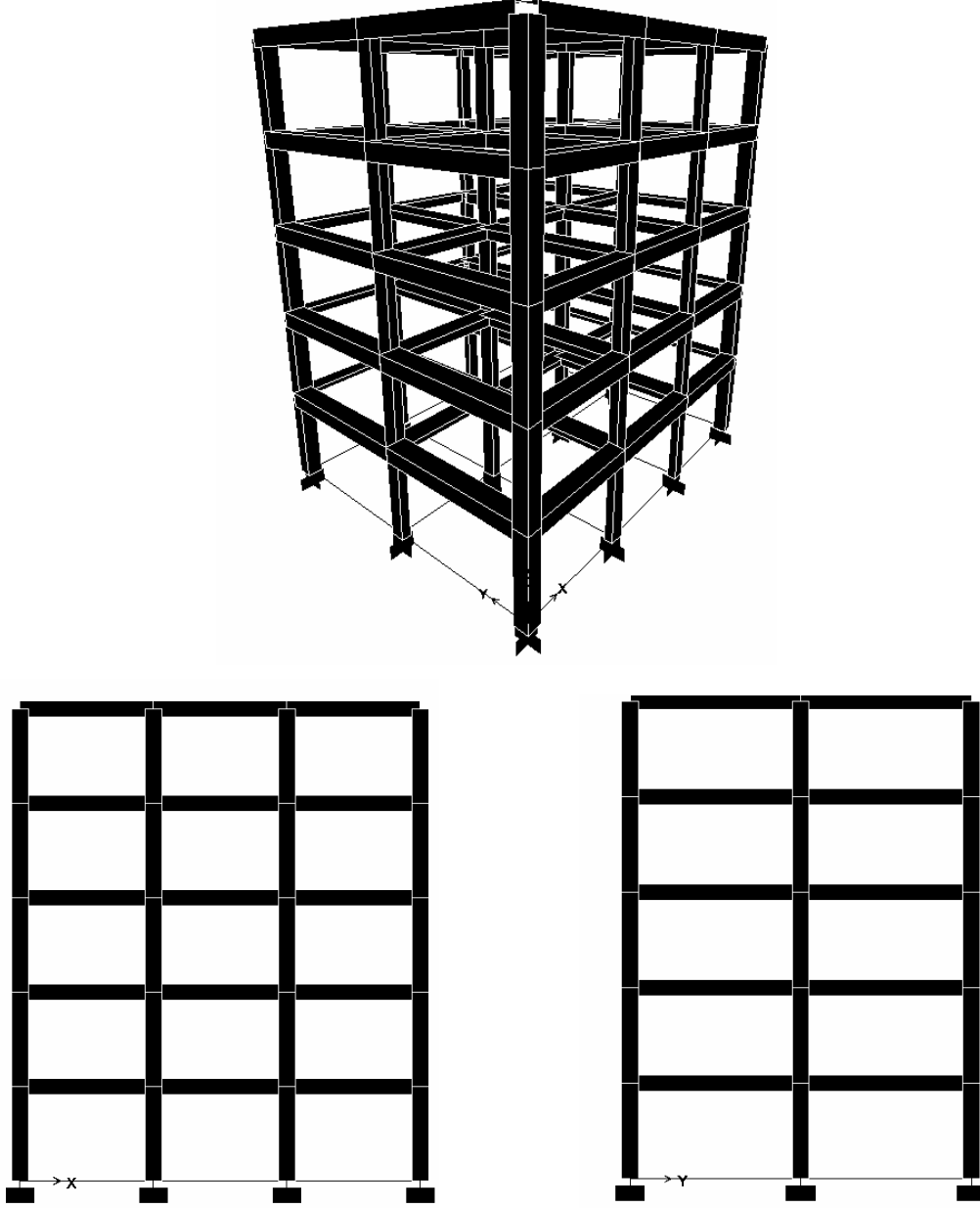
$$D_{\max}^2 = \frac{0,500}{1 + (784 * 0,288)/582} = 0,363 \text{ m}$$

$$D_{\max}^3 = \frac{0,500}{1 + (784 * 0,288)/622} = 0,366 \text{ m}$$

$$D_{\max}^4 = \frac{0,500}{1 + (784 * 0,288)/952} = 0,406 \text{ m}$$

5.3. Taban Yalıtımlı ve Yalıtımsız Yapıların Davranışlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde; daha önce SAP2000 paket programında analizi yapılan 5 katlı yapı modeline, 5.2’de boyutları, rijitlik ve sönüm değerleri hesaplanan izolatörler kullanılarak, taban yalıtımı uygulanmış ve dinamik analizler yapılmıştır. Şekil 5.5’te SAP2000 programında modellenen yapıya ait görünüşler verilmiştir.



Şekil 5.5. SAP2000’de modellenen yapıya ait görünüşler

5.3.1. Yapı periyotlarının karşılaştırılması

Taban yalıtımının en önemli fonksiyonlarından birisi, yapının doğal titreşim periyodunda meydana getirdiği büyük artıştır. Bu sayede yapı, davranış veya tasarım spektrumlarında düşük periyotlara karşılık gelen yüksek ivme davranışından kurtulmuş olur. Yapılan analizler sonucunda, taban yalıtımlı ve yalıtımsız sistemlere ait ilk üç titreşim periyodu, Tablo 5.8’de verilmiştir.

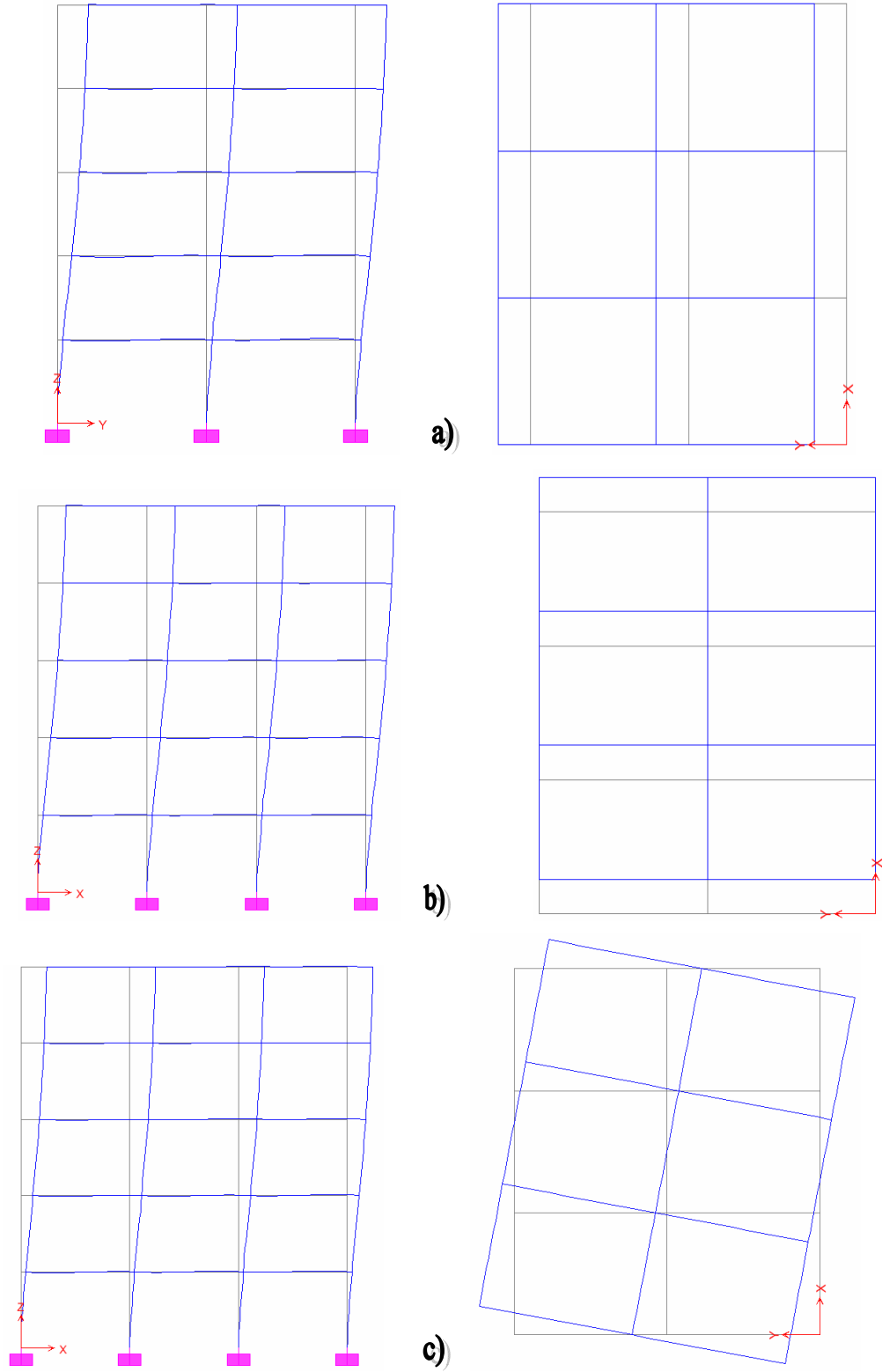
Tablo 5.7. Yalıtımlı ve yalıtımsız yapılara ait periyotlar

	Yalıtımsız Yapı	Yalıtımlı Yapı
1.Periyot	0,598 sn	2,087 sn
2.Periyot	0,571 sn	2,017 sn
3.Periyot	0,481 sn	1,946 sn

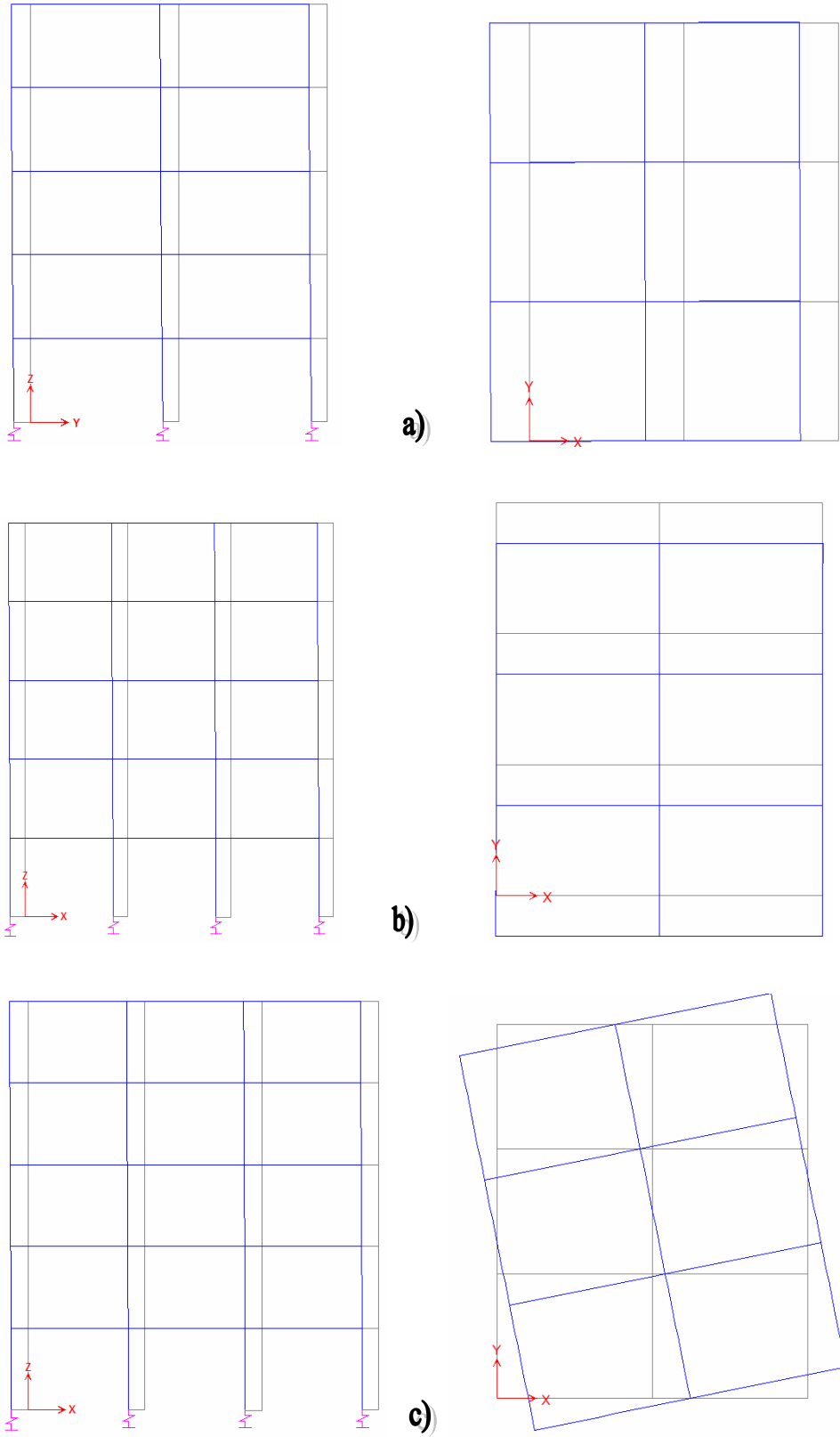
Yalıtımlı ve yalıtımsız yapılara ait periyotlar incelendiğinde, birinci periyotların her iki binada da en büyük değerleri aldığı görülmektedir. 1. titreşim periyotları, yapının göreceli olarak daha az rijit olan Y eksenine, 2.titreşim modu X eksenine karşılık gelmektedir. 3. mod ise burulma modudur ve iki yapı için de aynıdır. Yapılara ait ilk üç mod şekilleri şekil 5.6. ve 5.7’de gösterilmiştir.

5.3.2. Yer değiştirmelerin karşılaştırılması

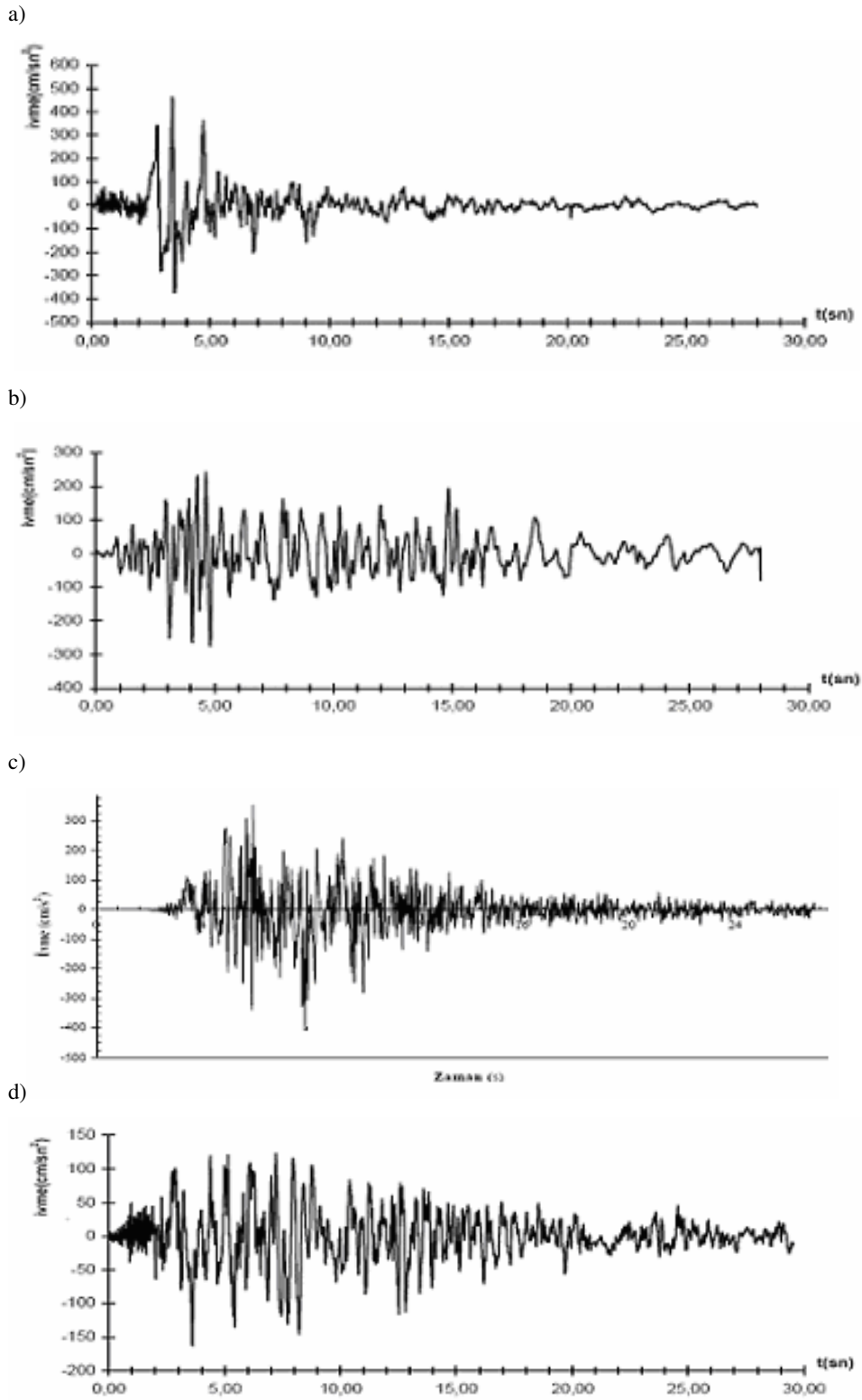
Zemin gruplarına ait davranış spektrumları ve zaman tanım alanındaki deprem ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizler sonucu elde edilen bilgiler Şekil 5.12, 13,14,15’te verilmiştir. Bu analizlerde aşağıda verilen ivme kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Yalıtımsız yapıya ait mod biçimleri a) 1.mod b) 2.mod c) 3.mod

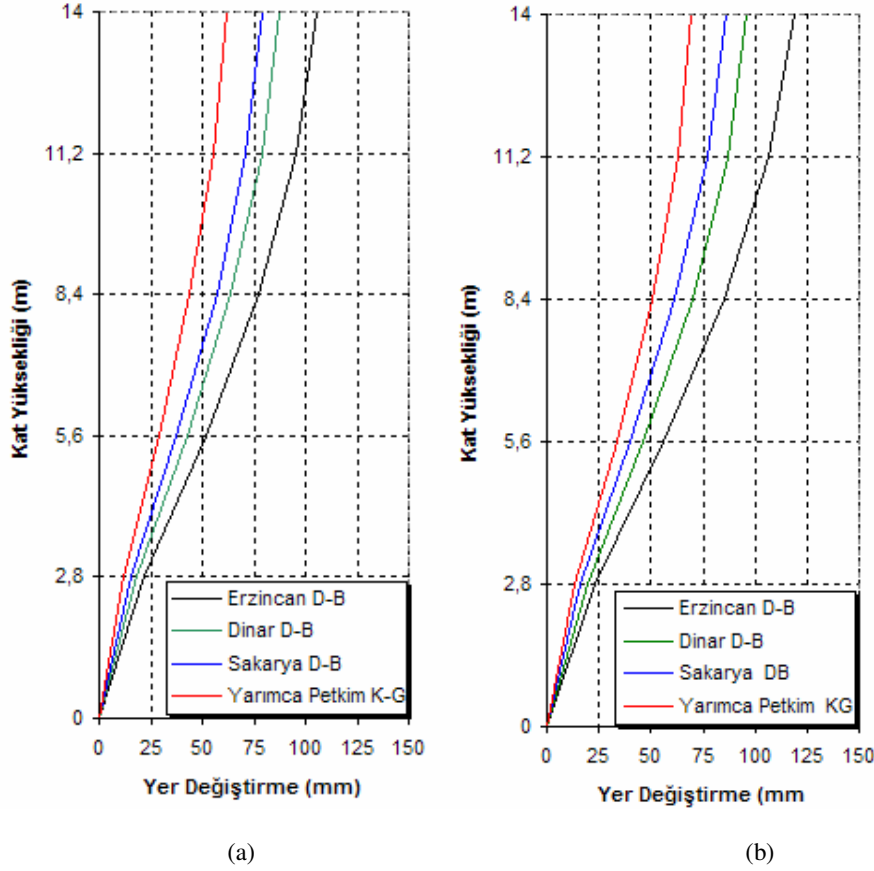


Şekil 5.7. Yalıtımlı yapıya ait mod biçimleri a) 1.mod b) 2.mod c) 3.mod



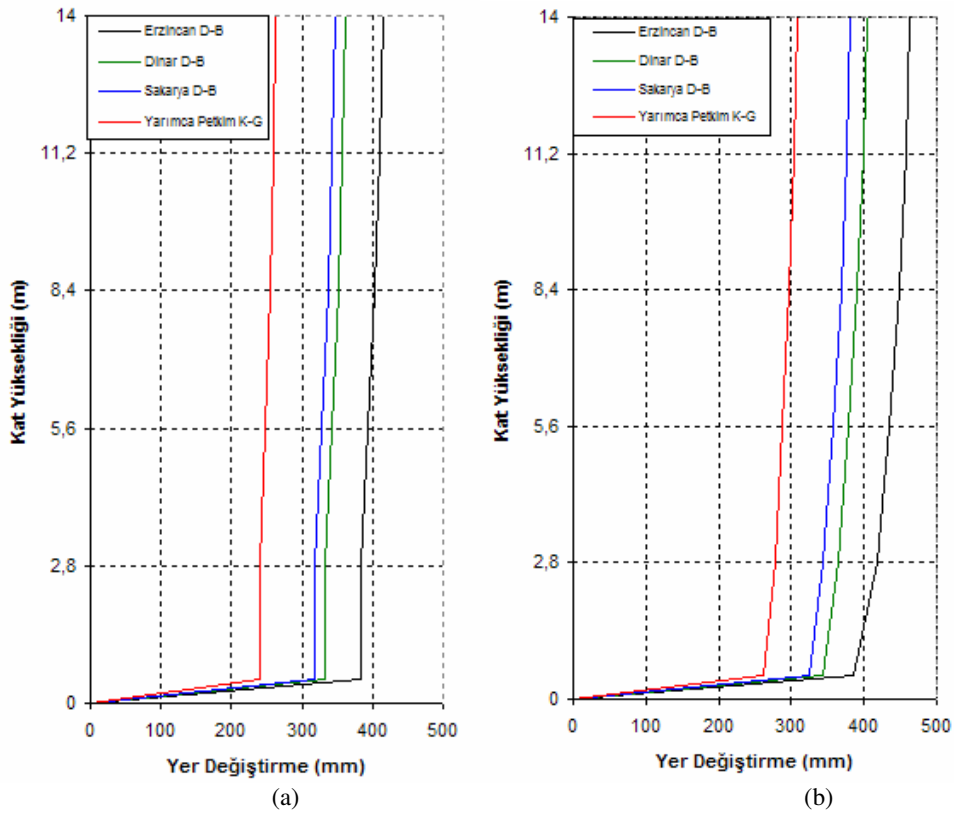
Şekil 5.8. Analizlerde kullanılan ivme kayıtları a) Erzincan D-B b) Dinar D-B c) Sakarya D-B d) Yarımcı Petkim K-G [56].

Kat seviyelerinde rijit diyaframlar tanımlandığı için aynı kat içinde bulunan düğüm noktalarına ait yer değiştirmelerin eşit olduğu görülmüştür. Yalıtımsız yapının deprem ivmeleri ile zaman tanım alanında yapılan analizi sonucunda; yapıda meydana gelen taban yer değiştirmelerinin, etkiyen depremlere göre farklı değerler aldığı görülmektedir. Yapıya etkiyen deprem ivmesindeki artışa bağlı olarak yapıda meydana gelen taban yer değiştirmesi artmaktadır (Şekil 5.9 ve 5.10).



Şekil 5.9. Yalıtımsız yapıda, deprem kayıtlarından elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi a) X doğrultusunda b) Y doğrultusunda

Şekil 5.10'da görüldüğü gibi daha rijit olan X ekseninde oluşan yer değiştirmeler, Y eksenine göre daha azdır. Yine beklendiği gibi en büyük ivmeye sahip Erzincan deprem ivmesi, yapıyı diğer ivmelerden daha fazla yer değiştirmeye zorlamaktadır.

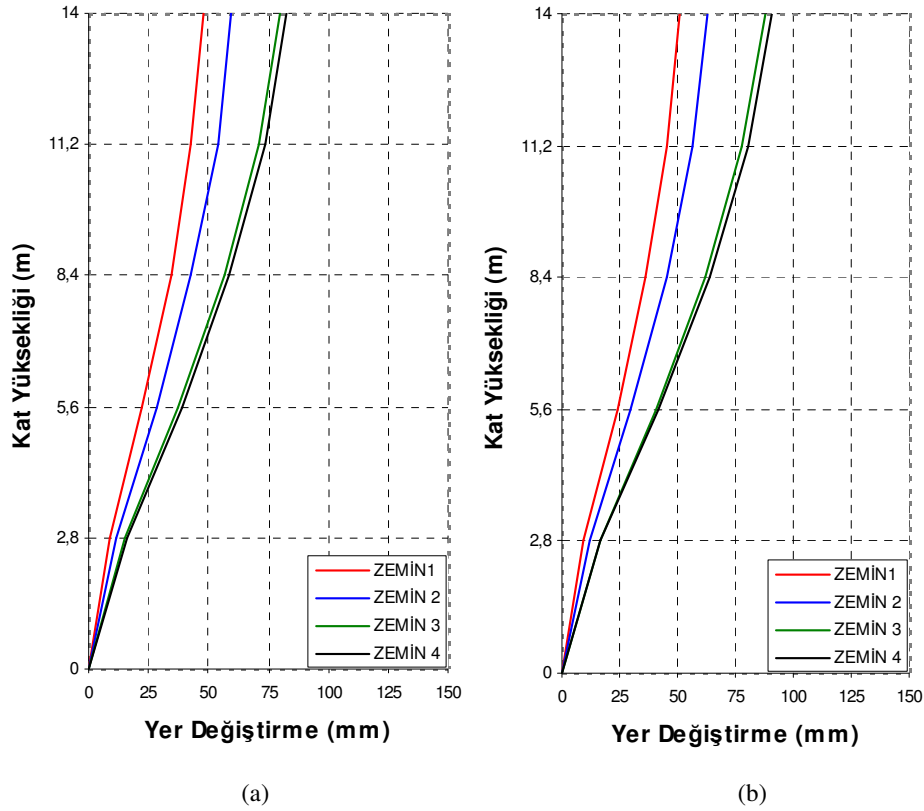


Şekil 5.10. Taban yalıtımlı yapıda, deprem kayıtlarından elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi a) X doğrultusunda b) Y doğrultusunda

Sistemin yalıtımlı olarak çözülmesi halinde ise şu bulgulara ulaşılmıştır. Yalıtım sistemi üst yapıya gelen deprem etkisini, yatayda yaptığı yer değiştirmeler ile engellediği için; sistem yalıtımsız durumundan çok daha fazla yer değiştirme yapmıştır. Fakat meydana gelen yer değiştirme önemli bir ölçüde taban seviyesinde ve izolatör içinde meydana gelmektedir. Bunun yanında katlar arası rölatif yer değiştirme, yalıtımsız yapıdaki eşleniğine göre büyük ölçüde azalmaktadır. Yalıtımsız yapıda her iki doğrultuda taban ve çatı arasındaki rölatif yer değiştirmeler sırasıyla 10,55 cm ve 11,93 cm iken, taban yalıtımlı durumda 3,39 cm ve 6,24 cm'e düşmektedir.

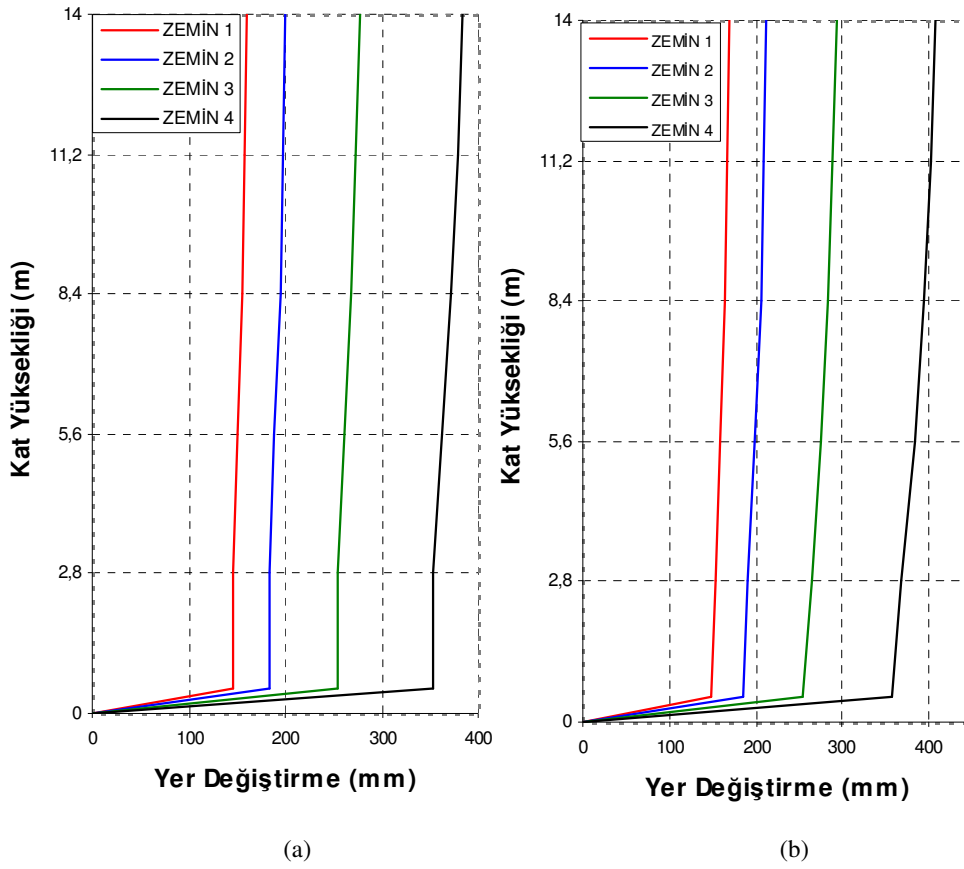
Davranış spektrumları kullanılarak yapılan dinamik analizler sonucunda, deprem ivmeleri ile yapılan sonuçlarla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Zeminin rijitliği arttıkça, binada meydana gelen yer değiştirmelerin azaldığı görülmüştür. Zemin spektrumlarından Zemin 1'e ait olan karakteristik periyot aralığı diğer zemin

gruplarından daha düşüktür ve yapıya en az ivme bu durumda etki eder (Şekil 5.11a).



Şekil 5.11. Yalıtımsız yapıda, davranış spektrumları sonucu elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi a) X doğrultusunda b) Y doğrultusunda

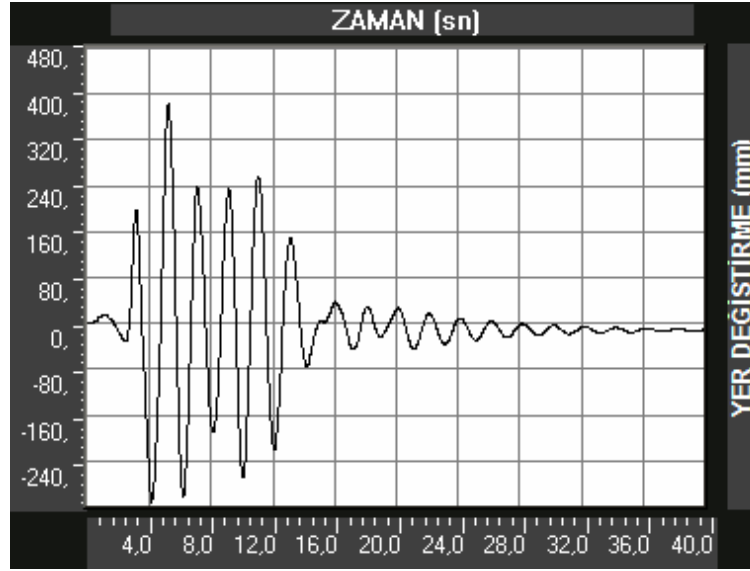
Daha az rijit olan Y doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme artışı, zemin davranış spektrumları ile yapılan bu çalışmada da oluşmuştur. Yumuşak zeminde (Zemin 4) en üst katta X yönündeki yer değiştirme 82,2 mm iken bu değer Y doğrultusunda 90,3 mm'ye çıkmaktadır. Yumuşak zeminde temel ile çatı arasında meydana gelen yer değiştirme farkı X yönünde 101 mm ve Y yönünde 111 mm iken, bu değer sert zeminde 47,8 mm ve 50,8 mm'ye düşmüştür.



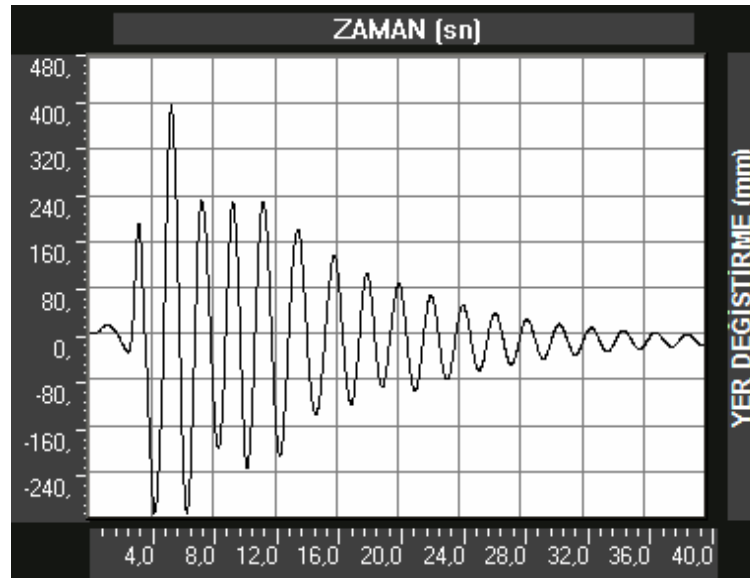
Şekil 5.12. Taban yalıtımlı yapıda, davranış spektrumları sonucu elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin yapı yüksekliği ile değişimi a) X doğrultusunda b) Y doğrultusunda

Yapının yalıtımlı olarak çözümlenmesi durumunda beklendiği gibi Zemin 4'ün ivme spektrumu altında taban ile çatı arasında oluşan rölatif yer değiştirme, Zemin 1'deki eşleniğinden çok daha fazladır. Zemin 1'de 12,07 cm ve 25,40 cm olan yer değiştirmeler, Zemin 4'te 37,8 cm ve 54,90 cm olarak bulunmuştur.

Aşağıda, yalıtımlı yapının Erzincan Depremi ivmesi ile yapılan analizlerde bulunan taban yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri verilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi en büyük yer değiştirmelerin oluştuğu zaman 5,26 sn'dir. Bu nokta aynı zamanda yalıtımlı yapılarda maksimum taban kesme kuvvetinin oluştuğu andır.

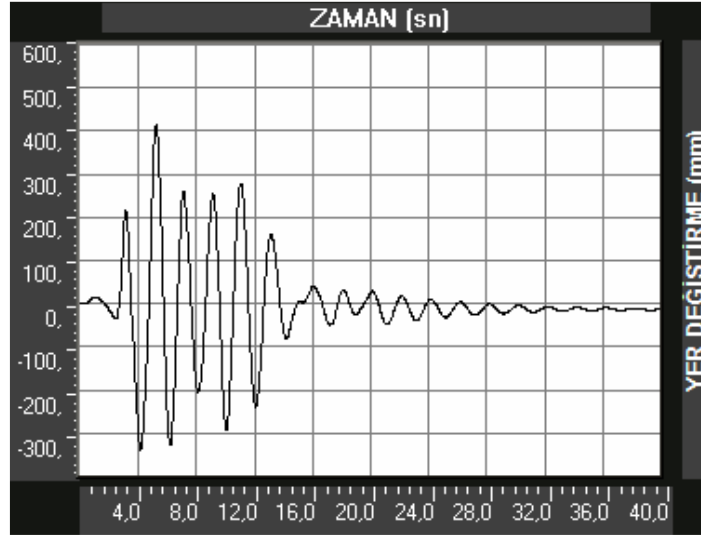


(a)

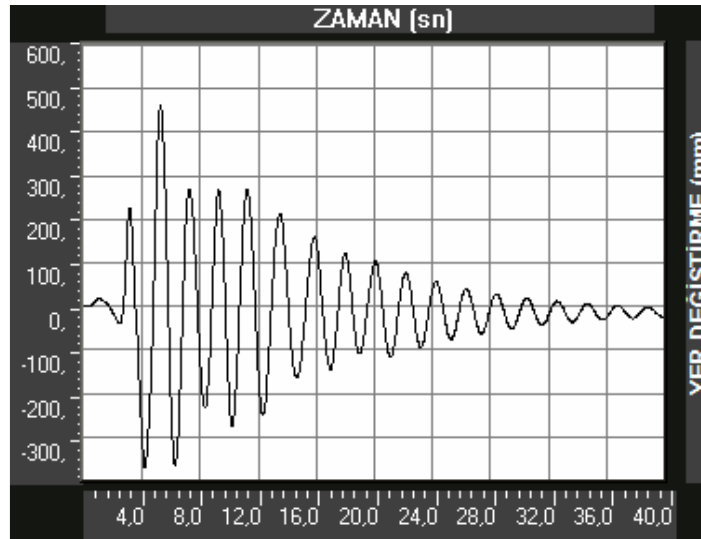


(b)

Şekil 5.13. 1992 Erzincan Depremi D-B ivme kaydı altında yalıtımlı yapının tabanında oluşan a) X doğrultusundaki, b) Y doğrultusundaki yer değiştirmelerinin zamanla değişimi



(a)

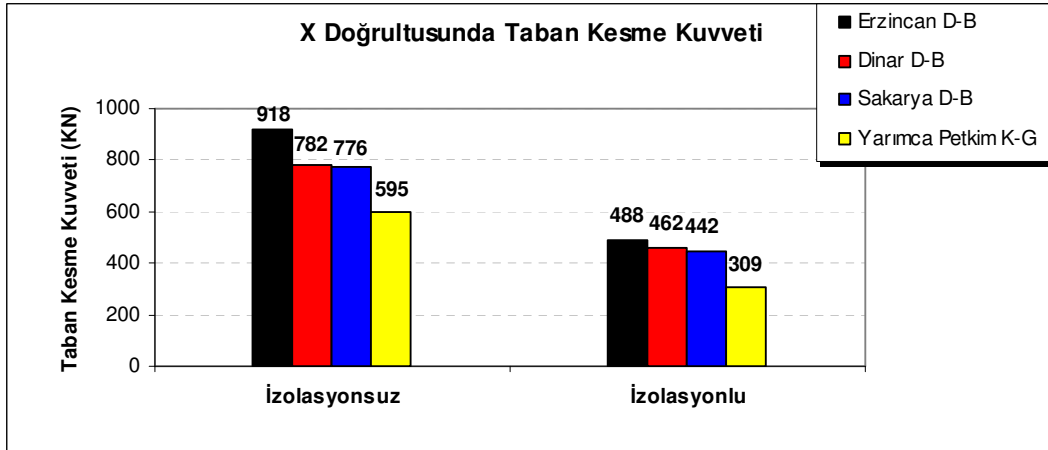


(b)

Şekil 5.14. 1992 Erzincan Depremi D-B ivme kaydı altında yalıtımlı yapının çatısında oluşan a) X doğrultusundaki, b) Y doğrultusundaki yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

5.3.3. Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

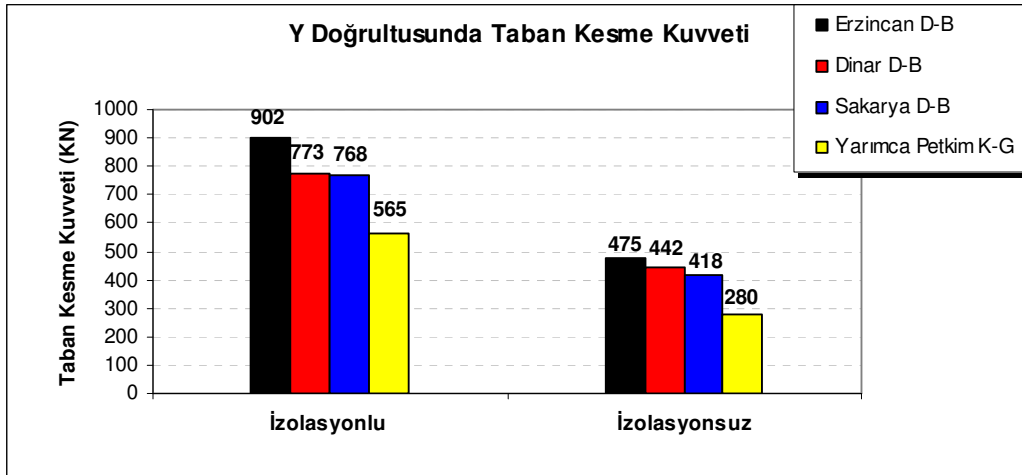
Temel seviyesinde yapıya etki eden taban kesme kuvvetleri, dört farklı deprem talebi ve davranış spektrumları için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda, yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetlerinin, etkileyen depremlere göre farklı değerler aldığı görülmektedir. Depremlerin pik ivmeleri arttıkça temelin karşıladığı kesme kuvvetleri orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 5.15. Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, deprem ivmeleri sonucu X eksenı doğrultusunda oluşan taban kesme kuvvetleri

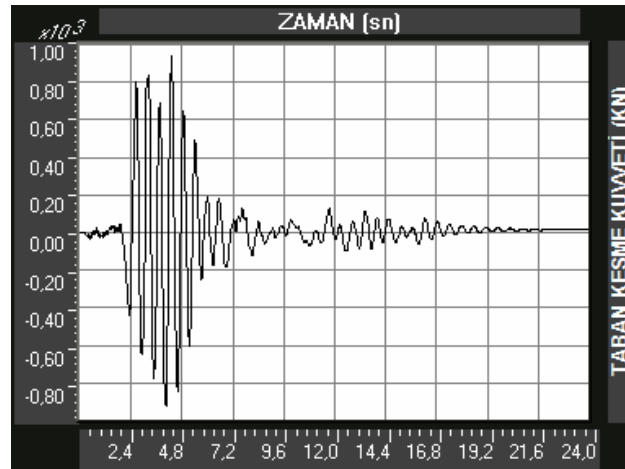
Analiz sonuçları incelendiğinde, pik ivmesi $4,92 \text{ m/s}^2$ olan Erzincan Depremi etkisinde yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetinin, pik ivmesi bu depremden daha az olan Dinar ve Sakarya Depremlerinin oluşturduğu taban kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Ele alınan yapı sistemi X doğrultusunda daha rijit olduğu için bu doğrultuda daha büyük taban kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Depremın taban kesme kuvvetlerine etkisi Y yönündeki analizlerde de aynıdır.

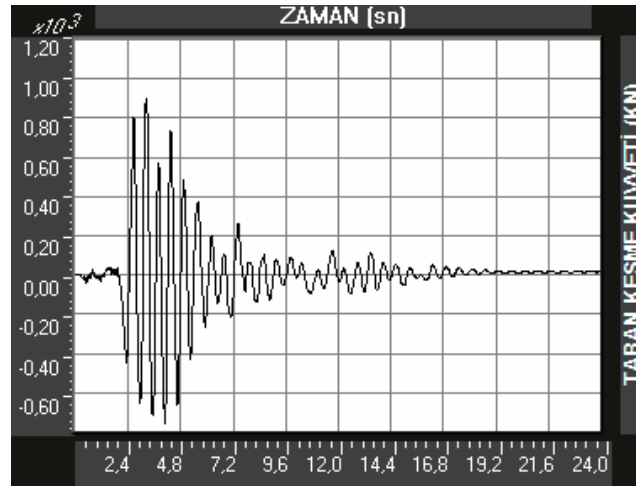


Şekil 5.16. Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, deprem ivmeleri sonucu Y eksenı doğrultusunda oluşan taban kesme kuvvetleri

Yalıtımlı yapılar incelendiğinde ise, sisteme entegre edilen taban yalıtım sisteminin, temel kesme kuvvetlerini, izolasyonsuz yapı sistemindeki eşleniğinden daha küçük değerlere indirdiği görülür. Yalıtım sistemi yapıya gelen deprem ivmesini yatay yönde deplasmanlar yaparak sönmülemektedir. Bu sönmüleme sonucu daha az ivmeyle karşılaşan yapı sisteminde, daha az taban kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Deprem ivmelerinin büyüklüğüne bağlı olarak taban kesme kuvvetleri, yalıtımsız yapıdaki gibi her iki yön içinde aynı şekilde değişmektedir. Aşağıda en büyük ivme değerine sahip olan Erzincan Depremi için yalıtımlı ve yalıtımsız durumlara ait taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimleri verilmiştir.

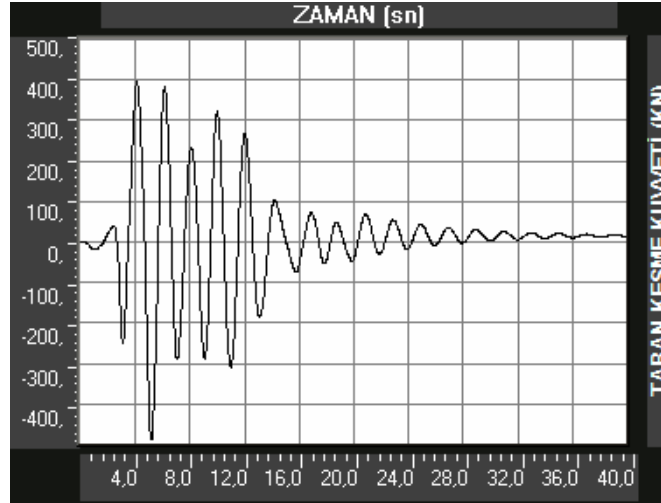


(a)

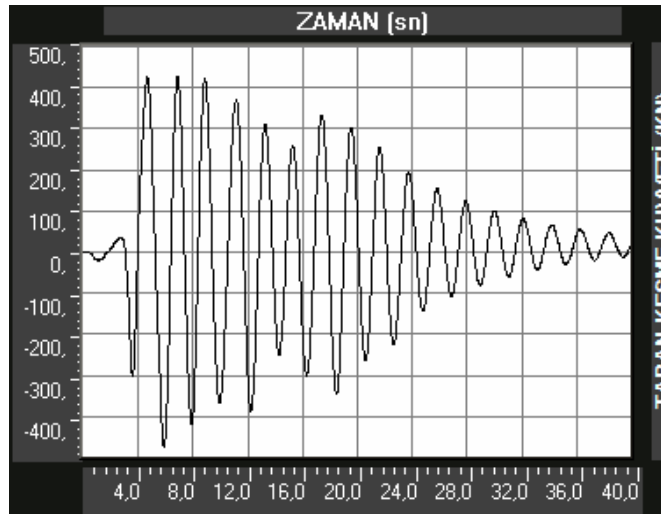


(b)

Şekil 5.17. 1992 Erzincan Depremi D-B ivme kaydı altında yalıtımsız yapıda a) X doğrultusunda b) Y doğrultusunda oluşan taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi



(a)

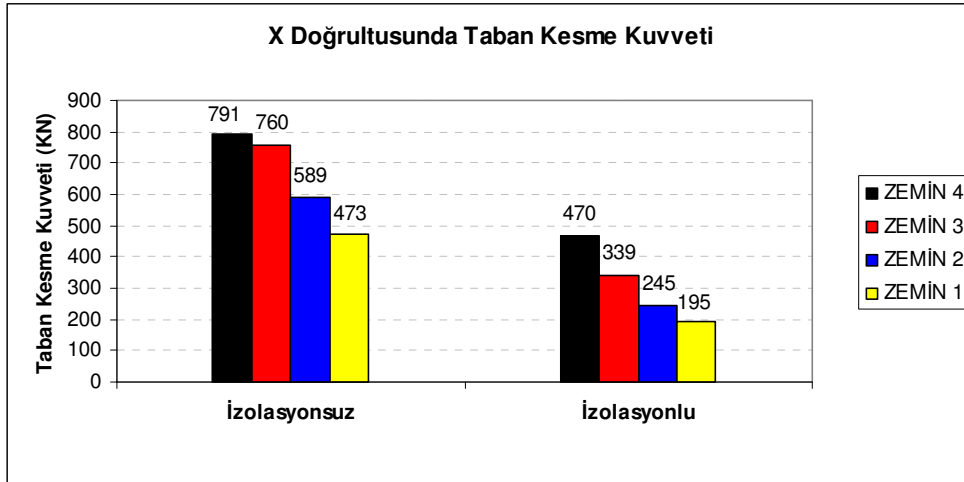


(b)

Şekil 5.18. 1992 Erzincan Depremi D-B ivme kaydı altında taban yalıtımlı yapıda a) X doğrultusunda b) Y doğrultusunda oluşan taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi

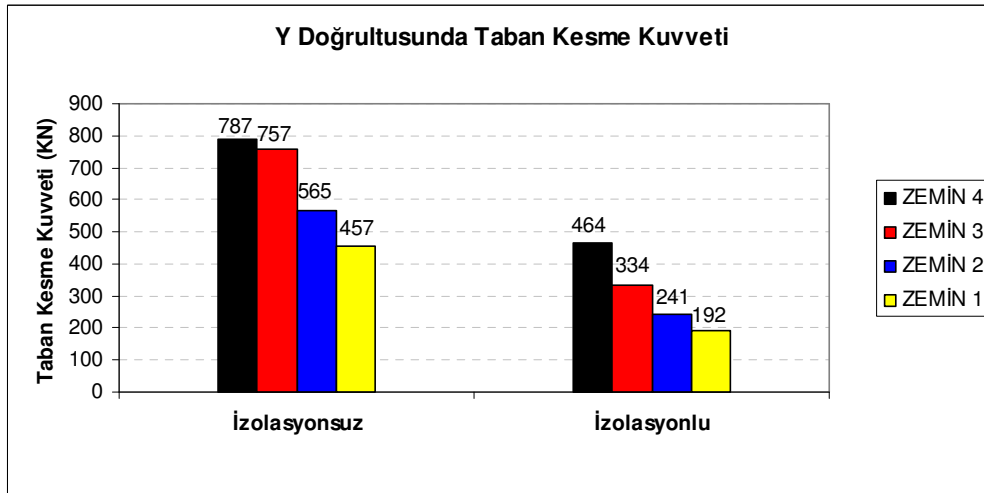
Erzincan deprem ivmesi sonucu yalıtımsız yapıda X yönünde 918 KN, Y yönünde ise 902 KN olarak bulunurken, aynı deprem ivmesinin taban yalıtımlı durumda oluşturduğu taban kesme kuvvetleri 488 KN ve 475 KN' dur.

Davranış spektrumu ile yapılan analizler sonucunda yumuşak zemin olarak tanımlanan Z4 Zemin grubuna ait davranış spektrumu etkisiyle oluşan taban kesme kuvvetinin, sağlam zemin olarak tanımlanan Z1 Zemin grubuna ait eşleniğinden daha fazla olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.19 ve 5.20).



Şekil 5.19. Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, davranış spektrumları sonucu X ekseninde oluşan taban kesme kuvvetleri

Beklendiği gibi, zeminin rijitlik değeri azaldıkça, temele etki eden kesme kuvvetlerinde bir artış oluşmaktadır. Bunun yanında taban yalıtım sistemi kullanıldığında; tabana etkiyen ivme yumuşak zeminde 791 KN' dan 470 KN' a, sert zeminde ise 473'KN'dan 195 KN' düşmektedir.



Şekil 5.20. Yalıtımsız ve taban yalıtımlı yapılarda, davranış spektrumları sonucu Y ekseninde oluşan taban kesme kuvvetleri

Yapının daha az rijit olan Y ekseninde ise, yalıtımsız durumda 787 KN ve 457 KN olan taban kesme kuvvetleri, taban yalıtım sistemi uygulandığında, 464 KN ve 192 KN olarak ölçülür. Analiz sonuçlarından anlaşılacağı üzere; yalıtım sistemi, taban kesme kuvvetini %150–200 arasında azaltmaktadır.

Tablo 5.8 ve 5.9’da yapılan tüm analizlere ait taban kesme kuvvetleri, taban, çatı ve taban - çatı arasındaki yer değiştirmeler verilmiştir.

Tablo 5.8. Zaman tanım alanında yapılan analizlere ait sonuçlar

		ZAMAN TANIM ALANI ANALİZ SONUÇLARI							
		TABAN KESME KUVVETLERİ (KN)		YER DEĞİŞTİRMELER (mm)					
		FX	FY	TABAN YER DEĞİŞTİRMESİ		ÇATI YER DEĞİŞTİRMESİ		BAĞIL YER DEĞİŞTİRME	
				X	Y	X	Y	X	Y
ERZİNCAN D-B (T.H.A)	YALITIMSIZ	918	902	0	0	105,5	119,3	105,5	119,3
	YALITIMLI	488	475	382,75	395,6	414,8	462,5	32,05	66,9
DİNAR D-B (T.H.A)	YALITIMSIZ	782	773	0	0	87,0	95,8	87,0	95,8
	YALITIMLI	462	442	333,3	342,5	362,0	404,0	28,7	61,5
SAKARYA D-B (T.H.A)	YALITIMSIZ	776	768	0	0	79,2	86,4	79,2	86,4
	YALITIMLI	442	418	318,8	324,4	346,7	380,7	27,9	56,3
SAKARYA K-G (T.H.A)	YALITIMSIZ	595	565	0	0	61,98	69,20	61,98	69,20
	YALITIMLI	309	280	241,4	261,8	262,9	307,8	21,5	45,8

Tablo 5.11’de görüldüğü gibi deprem 1992 Erzincan Depremi’nin D-B ivme kaydı analizi sonucu yapıda meydana gelen bağıl yer değiştirmeler en fazladır. Bunun yanında yapıya etkiyen ivmenin şiddeti azaldıkça, bağıl yer değiştirmeler belirgin bir biçimde azalmaktadır. Yapının hem yalıtımlı hem de yalıtımsız durumu için yer değiştirmede bu azalma meydana gelmektedir.

Tablo 5.9. Davranış Spektrumları ile yapılan analizlere ait sonuçlar

		DAVRANIŞ SPEKTRUMU ANALİZ SONUÇLARI							
		TABAN KESME KUVVETLERİ (KN)		YER DEĞİŞTİRMELER (mm)					
		FX	FY	TABAN YER DEĞİŞTİRMESİ		ÇATI YER DEĞİŞTİRMESİ		BAĞIL YER DEĞİŞTİRME	
				X	Y	X	Y	X	Y
ZEMİN 1 (R.S.A)	YALITIMSIZ	473	457	0	0	47,80	50,90	47,80	50,90
	YALITIMLI	195	192	146,40	147,80	159,1	168,64	12,7	20,84
ZEMİN 2 (R.S.A)	YALITIMSIZ	589	577	0	0	59,90	63,40	59,90	63,40
	YALITIMLI	309	280	180,43	185,10	200,3	212,3	19,87	27,2
ZEMİN 3 (R.S.A)	YALITIMSIZ	760	757	0	0	79,58	87,40	79,58	87,40
	YALITIMLI	339	334	254,96	255,04	277,0	293,6	22,04	38,56
ZEMİN 4 (R.S.A)	YALITIMSIZ	791	787	0	0	82,2	90,3	82,2	90,3
	YALITIMLI	470	464	352,9	357,8	383,5	407,9	30,6	50,1

Zeminlere ait davranış spektrumları ile yapılan analizlerde de taban ile çatı arasında oluşan bağıl yer değiştirmeler, zeminin rijitliği azaldıkça düşmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan analizler ve çalışmalar sonucunda;

- Taban yalıtım sistemleri, uygulandıkları yapıların deprem etkisindeki davranışını olumlu yönde etkilemektedir. Bu sistemler, yapının periyodunu deprem hakim periyotlarının ötesine taşıyarak, yapının depremden daha az etkilenmesini sağlamaktadırlar.

- Dinamik analizlerde, etkiyen depremin şiddeti arttıkça, yapıda meydana gelen yer değiştirmelerin ve taban kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, analizlerde kullanılan en büyük ivmeye sahip olan 1992 Erzincan Depremi ivmesi etkisinde, tabanda ve çatıda meydana gelen yer değiştirmeler ayrıca taban kesme kuvvetleri maksimum değeri almaktadır. Bunun yanında zeminin rijitliği arttıkça yapıda meydana gelen yer değiştirmelerin ve tabana etkiyen kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür.

- Yapıya taban yalıtımı uygulandığında, binada oldukça büyük yer değiştirmeler oluşmaktadır. Fakat bu yer değiştirmeler yapıda değil izolator seviyesinde meydana gelmekte ve katlar arası rölatif yer değiştirme klasik yapılara oranla oldukça azalmaktadır.

- Taban yalıtımlı yapılarda, kesit tesirleri azaldığından bina boyutlandırmasında kesitler daha küçük seçilebilir. Bu durumda binanın ekonomik olarak projelendirilmesi mümkündür. Yapının yalıtımlı yapılması durumunda, maliyet açısından klasik binalara göre %5 - %10 civarında bir artış meydana gelmektedir. Büyük depremlerden sonra birçok yapının kullanılamaz hale geldiği düşünülürse, yapıların depremden yalıtılması daha mantıklı bir tasarım yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

- Büyük bir kısmı 1. derece deprem bölgesi olan ülkemizde, depremden sonra hemen kullanılması gereken; hastane, itfaiye, enerji ve haberleşme merkezleri gibi yüksek öneme sahip yapılarda, sismik yalıtım sistemlerinin kullanılması ve yönetmeliklerce bu sistemlerin öncelikli yapılarda kullanılmasının zorunlu hale getirilmesi yararlı bir düşünce tarzı olacaktır.

- Taban yalıtım sistemlerinin deprem etkisinde büyük yer değiştirmeler yapacağı için mimari tasarımda ve altyapıda bu yer değiştirmeleri engelleyecek detaylar oluşturulmamalıdır.

- Taban yalıtım sistemleri, yapıların doğal titreşim periyotlarını 2-3 sn mertebesine çıkaracak şekilde modellenmektedir. Bu yüzden periyodu yüksek yapılarda (yüksek katlı yapılar, kuleler vb.) bu sistemlerin kullanılması yapı için bir avantaj sağlamayacaktır. Bunun yerine bu tip binalarda enerji sönümleyici yalıtım sistemleri tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] URL. http://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0zmit_Depremi
- [2] ERSAVAŞ, T. , Yapılarda Sismik İzolasyon- Deprem Yalıtımı, Yapı Dergisi, 223. Sayı
- [3] ALDEMİR, Ü. , AYDIN E. , Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, TMH, 435.Sayı, 81–89 (2005)
- [4] KÖSEDAĞ, B. , Yapılarda Sismik İzolasyon, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2002)
- [5] URL. <http://www.sismikizolasyon.com/>
- [6] ATEŞ, Şevket. , Vizkoelastik Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Dinamik Analizi Yüksek Lisans Tezi, K.A.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (1999)
- [7] MİRKELAM, Z. A. , Katları Arasında Yalıtım Elemanları Kullanılan Çok Katlı Binalarda Taban Yalıtımı Etkinliğinin Araştırılması Doktora Tezi, S.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta (2006)
- [8] URL. <http://www.columbia.edu/~jas194/images/cali/cityhall.jpg>
- [9] URL. <http://www.arkitera.com/v1/haberler/2002/02/15/tav2.htm>
- [10] URL. <http://www.arkitera.com/v1/haberler/2002/05/11/viyaduk.htm>
- [11] URL. http://www.yapi.com.tr/turkce/Haber_Detay.asp?NewsID=31722
- [12] URL. <http://www.erseteknoloji.com/deprem.html>
- [13] URL. <http://www.arkitera.com/interview.php?action=displayInterview&ID>
- [14] AİKEN, I.D., KELLY, J.M., and CLARK, P.W., Experimental Studies of the Mechanical Characteristics of Three Types of Seismic Isolation Bearings, Proceedings, Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid. (1992)
- [15] AİKEN, I.D., CLARK, P.W. and KELLY, J.M., Design and Ultimate-Level Earthquake Tests of a 1/25 Scale Base-Isolated Reinforced-Concrete Building, Proceedings, ATC 17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive

- Energy Dissipation and Active Control, Applied Technology Council, San Francisco. (1993)
- [16] MORONI, M. SARRAZIN and BOROSCHEK R. , Experiments on a Base Isolated Building in Santiago-Chile, *Engineering Structures*, 20, pp 720–725. (1997)
- [17] JOHNSON, E.A., RAMALLO, J.C., SPRENCER, B.F. and SAIN, M.K., Intelligent Base Isolation Systems, *Proceedings, Second World Conference on Structural Control*, Kyoto. (1998)
- [18] BHASKER, R. , JANGID R.S. , Performance of Sliding Systems Under Near-fault Motions *Nuclear Engineering and Design* 203 (2001) 259–272 (2000)
- [19] CHAUDHARY, M.T.A., ABE, M., FUJINO, Y., Performance Evaluation of Base- Isolated Yama-Age Bridge with High Damping Rubber Bearings Using Recorded Seismic Data, *Engineering Structures*, 23, pp 902-910. (2000)
- [20] JANGID, R.S., Stochastic Seismic Response of Structures Isolated by Rolling Rods, *Engineering Structures*, 22, pp 937-946. (2000)
- [21] LUCA, A.D., MELE, E., MOLINA, J., VERZELETTI, G. And PINTO, A.V. , Base Isolation for Retrofitting Historic Buildings: Evaluation of Seismic Performance Through Experimental Investigation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, pp 1125-1145. (2001)
- [22] COLUNGA, A.T. , SOBERON, L.G., Torsional Response of Base Isolated Structures due to Asymmetries in the Superstructure, *Engineering Structures*, 24, pp 1587-1599. (2002)
- [23] YANG, J.N. , AGRAWAL, A.K. , Semi-Active Hybrid Control Systems for Nonlinear Buildings Against Near-Field Earthquakes, *Engineering Structures*, 24, pp 271–280. (2002)
- [24] BONG Y. , KIMM. H. Y. , Study on Effects of Damping in Laminated Rubber Bearings on Seismic Responses for a 1/8 Scale Isolated Test Structure, *Earthquake Engineering Structure* 31 1777–1792 (2002)
- [25] TSAI C. , CHIANG C. , CHEN J. and LIN S. , An Advanced Analytical Model for High Damping Rubber Bearings *Earthquake Engineering Structure* 32:1373–1387 (2003)
- [26] MATSAGAR, V.A., JANGID, R.S. , Seismic Response Of Base-Isolated Structures During Impact With Adjacent Structures, *Engineering Structures*, 25 , pp 1311–1323. (2003)
- [27] ALHAN, C., GAVIN, H, A Parametric Study of Linear and Non-Linear

- Passively Damped Seismic Isolation Systems for Buildings, Engineering Structures, 26, pp 485–497. (2004)
- [28] DİCLELİ, M., Supplemental elastic stiffness to reduce isolator displacements for seismic-isolated bridges in near-fault zones. Engineering Structures Article in Press Engineering Structure.2006.06.013 (2006)
- [29] ASTA, D. , RAGNİ L. , Experimental tests and Analytical Model of High Damping Rubber Dissipating Devices , Engineering Structures, 28, pp 1874-1884. (2006)
- [30] HONG, N. L. , XİANG X. W. , Limitations of Height to Width Ratio For Base-İsolated Buildings Under Earthquake Wiley Interscience 15 277-287 (2006)
- [31] KARABÖRK, T. , Titreşim Kontrol Sistemleri ve Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Uygulamaları, Doktora Tezi, S.A.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya (2001)
- [32] ATEŞ, Ş. , DUMANOĞLU A. , Kauçuk Mesnetli Binaların Dinamik Analizi. , Fifth National Conference on Earthquake Engineering AT-018 (2003)
- [33] PINARBAŞI, S. , AKYÜZ U. , Sismik İzolasyon ve Elastomerik Yastık Deneylemleri, İMO Teknik Dergi Yazı 237 3581–3598 (2005)
- [34] NİCAT, M. , YAZICI G. , Silindirik Deniz Depolarının Sismik İzolasyonla İncelenmesi. , Gemi Mühendisliği ve Sanayii Sempozyumu (2004)
- [35] URL.<http://www.spim.metu.edu.tr/turkish/sunular/Sunu%20Bayezid%20Ozden.pdf>
- [36] ÖZPALANLAR, C. , Yapıların Sismik İzolasyonunda Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2005)
- [37] CELEP, Z. KUMBASAR N. , Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Üçüncü Baskı (1996)
- [38] KOMODROMOS, P. Seismic İsolation for Earthquake Resistant Structures, WİTT Press. U.K
- [39] KELLY, T. Base İsolation Of Structures, Design Guidelines, Holmes Consulting Group Ltd. New Zeland
- [40] ACAR, Emre. , Comparison of Design Spresifications for Seismically İsolated Buildings. Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2006)
- [41] CİMİLLİ, S. , TEZCAN S. Sesmic Base İsolation, Yüksek Öğrenim

- Eğitim ve Araştırma Vakfı, İstanbul (2002)
- [42] ENGİN, Yasin, Akıllı Binalar THBB Teknik Ofis (2003)
- [43] AYDIN, H. , ERCAN E. , Yapısal kontrol Sistemleri, İMO İzmir Şubesi, 118.Sayı, 28–32 (2004)
- [44] CELEP, Z. KUMBASAR N. , Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Üçüncü Baskı İstanbul 589–629 (2004)
- [45] AYDIN, A. , Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2005)
- [46] OGDEN, R.W., “Elasticity and Inelasticity of Rubber”, CISM Courses and Lectures, Mechanics and Thermomechanics of Rubberlike Solids, International Center for Mechanical, Udine, (2002)
- [47] PİRRORTA A. , İBRAHİM R. Experimental Investigation of Friction Base İsolation, Journal of Engineering Mechanical Vol 12, No 3, pp. 125–136
- [48] ZAMARANO, R. , SARRAZİN M. and TORO G. Development and Testing of Teflon Sliding Bearings, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Paper No 1334, Rome, (1996)
- [49] ZHANG, R. , Seismic İsolation and Supplemental Energy Dissipation, Ed. Wai-Fah Chen and Lian Duan, CRC Press, (2000)
- [50] CONSTANTİNOU, C. M. , Friction Pendulum Double Concave Bearing , Technical Report, University at Buffalo State University of New York, (2004)
- [51] URL. http://www.earthquakeprotection.com/benicia_martinez_bridge.html
- [52] CHEN. W. F. , Passive Energy Dissipation and Active Control, CRC Press LLC (1999)
- [53] YOZGAT, E. HÜSEM M., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılabilen Yapı Kontrol Sistemleri , İMO İzmir Şubesi, 121.Sayı, 21–26 (2005)
- [54] URL.<http://www.popularmechanics.com/technology/industry/1612252.htm>
- [55] Uniform Building Code 97, vol. 2, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, (1997)
- [56] URGU M.İ. Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. (2006)

ÖZGEÇMİŞ

Mesut UZ, 11.07.1981'de Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. Lisans eğitimine 2000–2001 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bölümünden mezun oldu. 2004–2005 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Halen Sakarya'da ikamet etmektedir.