



T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİSMİK İZOLATÖRLÜ BİNALARDA KAT ADEDİ ETKİSİ

PINAR KARAKURT

Ağustos 2015

T. C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİSMİK İZOLATÖRLÜ BİNALARDA KAT ADEDİ ETKİSİ

PINAR KARAKURT

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

Ağustos 2015

**Pınar KARAKURT** tarafından **Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN** danışmanlığında hazırlanan “**Sismik İzolatörlü Binalarda Kat Adedi Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN, Niğde Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Ersin AYDIN, Niğde Üniversitesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Necmettin GÜNEŞ, Cumhuriyet Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../...../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Pınar KARAKURT

## ÖZET

### SİSMİK İZOLATÖRLÜ BİNALARDA KAT ADEDİ ETKİSİ

KARAKURT, Pınar

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği AnaBilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

Ağustos 2015, sayfa 105

Bu tez çalışmasında, sismik izolatör kullanımının bina kat adedine bağlı olarak yapısal davranışa ve maliyete olan etkisi araştırılmıştır. Kat adedinin etkisini belirlemek üzere 5, 10 ve 15 katlı binalar tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörler yerleştirilerek modellenmiştir. Sarkaç yerleşim yerleri en alt kat kolonlarının üstü olarak seçilmiştir. Oluşturulan sismik izolatörlü bina modellerinde 24 adet 6 farklı tipte efektif rijitliklere sahip sürtünmeli sarkaç kullanılmıştır. Sismik izolatörlü ve ankastre mesnetli oluşturulan 5,10 ve 15 katlı bina modelleri 1. Derece deprem bölgesinde inşa edildikleri göz önüne alınarak bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanıldığı 5 ve 10 katlı binaların deprem esnasında çok iyi performans sergilediği ancak, yüksek katlı yapılarda hem bina performansı hem de maliyet bakımından tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanımının uygun olmadığı görülmüştür.

*Anahtar Sözcükler:* Sismik izolatörlü yapılar, sürtünmeli sarkaç sistemleri, sismik izolatörlü yapı tasarımı

## **SUMMARY**

### **THE EFFECT OF THE NUMBER OF STORY ON SEISMIC ISOLATED BUILDINGS**

KARAKURT, Pınar

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

August 2015, 105 pages

In this thesis, the effect of seismic isolators on the structural behavior and cost depending on the number of building storeys are investigated. 5, 10 and 15-storey buildings were modeled by placing the surface friction pendulum systems for determining the effect of number of building storeys. The top of the lowest floor column was chosen as the pendulum settlements. Twenty-four and six different types of friction pendulum with the effective stiffness were used in the seismic isolated building models. 5, 10 and 15-storey building models which generated by isolators and fixed base were analyzed with the computer program considering that they were built in the first seismic zone. The analysis results indicated that 5 and 10-storey isolated buildings performs very well during earthquakes, however, the use of friction pendulum system was not appropriate in high-rise buildings in terms of structural performance and cost.

*Keywords:* Seismic structures isolator, friction pendulum systems, seismic structure design isolator

## ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, depremin yıkıcı etkisinden korunmak amacıyla geliştirilen ve ülkemizde de kullanılmaya başlanan sismik izolatör türleri ve kullanımlarına ilişkin özellikler incelenmiştir. İzolatör türlerinden sürtünmeli sarkaç izolatör türü daha detaylı incelenmiş olup farklı kat adetlerine sahip hastane binalarına uygulanması durumunda binalarda meydana getireceği olumlu ve olumsuz yönler değerlendirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. İzolatörlü ve ankastre mesnetli binaların periyot, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri ve maliyet analizleri değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince, her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN' a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında desteklerinden ötürü Sayın Yrd. Doç. Dr. Necmettin GÜNEŞ' e ve İnş. Yük. Müh. İlker ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Her zaman her koşulda yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xiv
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xv
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
BÖLÜM II ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	4
BÖLÜM III SİSMİK KONTROL SİSTEMLERİ .....	7
3.1 Giriş .....	7
3.2 Aktif Kontrol Sistemleri .....	7
3.3 Pasif Kontrol Sistemleri .....	9
3.3.1 Pasif enerji sönümleyiciler .....	9
3.3.1.1 Metal sönümleyiciler .....	11
3.3.1.2 Sürtünme sönümleyiciler .....	12
3.3.1.3 Visko- elastik sönümleyiciler .....	12
3.3.1.4 Viskoz sönümleyiciler .....	13
3.3.1.5 Ayarlanmış kütle sönümleyiciler (TMD) .....	14
3.3.1.6 Ayarlanmış sıvı sönümleyiciler (TLD).....	14
3.3.2 Sismik taban izolatör sistemleri .....	14
3.3.2.1 Taban izolatörlerin yerleşim modelleri.....	16
3.3.2.2 Taban izolatörlerinde yakın fay etkisi .....	18

3.4 Karma Kontrol Sistemleri .....	18
BÖLÜM IV SİSMİK İZOLATÖRLER VE KULLANIM ALANLARI.....	20
4.1 Giriş .....	20
4.2 Sismik İzolatörlerin Tarihçesi.....	21
4.2.1 Türkiye de sismik izolasyonun gelişimi .....	22
4.3 Sismik Yapı İzolasyonu .....	23
4.3.1 Sismik yapı izolasyonunda zemin- yapı etkileşimi.....	25
4.3.2 Sismik izolatör tasarımının temel faktörleri .....	26
4.4 Sismik İzolatör Kullanım Alanları.....	27
4.5 Sismik İzolatör Kullanılacak Yapılara İlişkin Koşullar.....	28
4.6 Sismik İzolatörlerin Sağladığı Avantajlar ve Dezavantajlar.....	30
4.7 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Mekanik Özellikleri .....	32
4.8 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolatör Kullanımı .....	32
4.9 Binaların Güçlendirilmesinde Sismik İzolatör Kullanımı .....	35
4.10 Sismik İzolasyon Platformları .....	36
4.11 Sismik Taban İzolatör Çeşitleri .....	37
4.11.1 Elastomerik izolatörler.....	38
4.11.1.1 Düşük sönümlü kauçuk izolatörler .....	40
4.11.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler .....	41
4.11.1.3 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler .....	42
4.11.2 Yay tipi izolatörler .....	43
4.11.2.1 Gerb izolatörleri.....	43
4.11.3 Kaymaya dayalı izolatörler .....	44
4.11.3.1 Elastik sürtünmeli taban izolatör sistemi.....	44
4.11.3.2 Sürtünmeli sarkaç izolatörler .....	45

4.11.3.3 Fransız elektrik kurumu sistemi .....	53
4.11.3.4 TASS sistemi .....	54
4.11.3.5 EERC birleşik sistem.....	54
4.12 Sismik İzolatör Uygulanmış Yapı Örnekleri .....	55
4.12.1 The Salt Lake City and Country binası.....	55
4.12.2 San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali .....	56
4.12.3 Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezi .....	56
4.12.4 Sıvılaştırılmış doğalgaz tankı.....	57
4.12.5 Atatürk Uluslararası Havalimanı Terminali .....	57
4.12.6 Erzurum Devlet Hastanesi .....	58
<b>BÖLÜM V SÜRTÜNME Lİ SARKAÇ İZOLATÖR TASARIMI.....</b>	<b>59</b>
5.1 Sismik Taban İzolasyonunda Kullanılan Yönetmelikler .....	59
5.2 Sürtünmeli Sarkaç Tasarımı.....	59
5.2.1 Sismik tasarım seviyeleri .....	67
5.3 Performansa Göre Tasarım .....	67
5.4 Tasarım Metotları .....	69
<b>BÖLÜM VI SİSMİK İZOLASYON UYGULAMALARI.....</b>	<b>71</b>
6.1 Bina Genel Özellikleri .....	71
6.2 Ankastre Mesnetli Binaların Tasarımı.....	72
6.2.1 5 katlı ankastre mesnetli bina tasarımı.....	72
6.2.2 10 katlı ankastre mesnetli bina tasarımı.....	74
6.2.3 15 katlı ankastre mesnetli bina tasarımı.....	76
6.3 İzolatörlü Binaların Tasarımı.....	78
6.3.1 5 katlı izolatörlü bina tasarımı .....	79
6.3.2 10 katlı izolatörlü bina tasarımı .....	82

6.3.3 15 katlı izolatörlü bina tasarımı .....	84
6.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	87
6.4.1 Periyot değerleri .....	87
6.4.2 Kat kesme kuvvetleri .....	89
6.4.3 Göreli kat ötelemeleri .....	93
6.5 Maliyet Analizi .....	95
BÖLÜM VII SONUÇLAR .....	98
KAYNAKLAR .....	100
ÖZ GEÇMİŞ .....	105

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Sönüm katsayıları .....	62
Çizelge 5.2. Karşılaştırmalı süneklik katsayısı tablosu .....	64
Çizelge 5.3. Etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ ).....	65
Çizelge 5.4. Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ , $T_B$ ).....	65
Çizelge 5.5. Yerel zemin sınıfları .....	65
Çizelge 6.1. 5 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri.....	81
Çizelge 6.2. 10 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri.....	83
Çizelge 6.3. 15 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri.....	85
Çizelge 6.4. X yönündeki periyot değerleri .....	88
Çizelge 6.5. Y yönündeki periyot değerleri .....	88
Çizelge 6.6. 5 katlı binalarda kat kesme kuvvetleri .....	89
Çizelge 6.7. 10 katlı binalarda kat kesme kuvvetleri .....	89
Çizelge 6.8. 15 katlı binalarda kat kesme kuvvetleri .....	90
Çizelge 6.9. 5 katlı binalarda görelî kat ötelemeleri .....	93
Çizelge 6.10. 10 katlı binalarda görelî kat ötelemeleri .....	94
Çizelge 6.11. 15 katlı binalarda görelî kat ötelemeleri .....	94
Çizelge 6.12. 5 katlı yapılarda beton, donatı, kalıp, izolatör maliyeti .....	96
Çizelge 6.13. 10 katlı yapılarda beton, donatı, kalıp, izolatör maliyeti .....	96
Çizelge 6.14. 15 katlı yapılarda beton, donatı, kalıp, izolatör maliyeti .....	96
Çizelge 6.15. Binalarda ki toplam maliyet .....	96

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Sırbistan’da köprü çelik kablolarında damper sistem uygulaması .....	10
Şekil 3.2. Metal sönümleyici tiplerinin yerleştirilmesi.....	11
Şekil 3.3. Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti .....	12
Şekil 3.4. Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu .....	12
Şekil 3.5. Visko-elastik sönümleyici .....	13
Şekil 3.6. Visko-elastik sönümleyiciye etki eden kuvvetler 1 .....	13
Şekil 3.7. Visko-elastik sönümleyiciye etki eden kuvvetler 2.....	13
Şekil 3.8. Viskoz sönümleyici örneği .....	13
Şekil 3.9. Temel altına, alt kolon üstüne, alt kolon ortasına izolatör uygulaması .....	16
Şekil 3.10 Kolon altına, temel üstüne, temel üstü kolon ortasına izolatör uygulaması ..	17
Şekil 3.11. Sismik izolatör yerleşim önerisi 1 .....	17
Şekil 3.12. Sismik izolatör yerleşim önerisi 2 .....	18
Şekil 4.1. Klasik yapı ve sismik izolasyonlu yapı .....	20
Şekil 4.2. Ankastre mesnetli ve izolatörlü yapı için ivme- periyot grafiği.....	25
Şekil 4.3. Kagir yapıda izolatör yerleşiminin şematik gösterimi.....	30
Şekil 4.4. İzolatörlü yapıda kolon-kiriş birleşim bölgesinde minimum zorlanma.....	31
Şekil 4.5. Sismik izolasyon platformlarına yerleştirilmiş kasalar .....	37
Şekil 4.6. Düşük sönümlü kauçuk mesnet kesiti ve elemanları.....	41
Şekil 4.7. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör.....	42
Şekil 4.8. Gerb yay tipi sistemler.....	44
Şekil 4.9. Tekrar merkezleşen sürtünmeli sarkaç modeli .....	45
Şekil 4.10. Sürtünmeli sarkaç etkisi.....	46
Şekil 4.11. Sürtünmeli sarkaç modeli .....	47
Şekil 4.12. Sürtünmeli sarkaç mesnedin kesiti ve elemanları.....	47
Şekil 4.13 İvme spektrumu, Yer değiştirme spektrumu .....	51
Şekil 4.14. Fransız elektrik sistemi detayı .....	54
Şekil 5.1. Sürtünmeli sarkaç sistem temel parametreleri.....	60
Şekil 5.2. İvme spektrum eğrisi .....	66
Şekil 5.3. Maksimum deprem spektrumu .....	66

Şekil 6.1. 5 katlı ankastre mesnetli bina kat planı .....	73
Şekil 6.2. 5 katlı ankastre mesnetli binanın 3 boyutlu görünümü.....	73
Şekil 6.3. 5 katlı ankastre mesnetli bina X yönü kat ötelemeleri.....	74
Şekil 6.4. 5 katlı ankastre mesnetli bina Y yönü kat ötelemeleri.....	74
Şekil 6.5. 10 katlı ankastre mesnetli bina kat planı .....	75
Şekil 6.6. 10 katlı ankastre mesnetli binanın 3 boyutlu görünümü.....	75
Şekil 6.7. 10 katlı ankastre mesnetli bina X yönü kat ötelemeleri.....	76
Şekil 6.8. 10 katlı ankastre mesnetli bina Y yönü kat ötelemeleri.....	76
Şekil 6.9. 15 katlı ankastre mesnetli bina kat planı .....	77
Şekil 6.10. 15 katlı ankastre mesnetli binanın 3 boyutlu görünümü.....	77
Şekil 6.11. 15 katlı ankastre mesnetli bina X yönü kat ötelemeleri.....	78
Şekil 6.12. 15 katlı ankastre mesnetli bina Y yönü kat ötelemeleri.....	78
Şekil 6.13. 1. kat kolonlarının üzerine izolatör yerleşimi .....	79
Şekil 6.14. 5 katlı izolatörlü bina X yönü kat ötelemeleri .....	81
Şekil 6.15. 5 katlı izolatörlü bina Y yönü kat ötelemeleri .....	82
Şekil 6.16. 10 katlı izolatörlü bina X yönü kat ötelemeleri .....	84
Şekil 6.17. 10 katlı izolatörlü bina Y yönü kat ötelemeleri .....	84
Şekil 6.18. 15 katlı izolatörlü bina X yönü kat ötelemeleri .....	86
Şekil 6.19. 15 katlı izolatörlü bina Y yönü kat ötelemeleri .....	87
Şekil 6.20. Binaların X yönünde periyot değerleri .....	88
Şekil 6.21. Binaların Y yönünde periyot değerleri .....	89
Şekil 6.22. 5 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri .....	90
Şekil 6.23. 5 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri .....	91
Şekil 6.24. 10 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri .....	91
Şekil 6.25. 10 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri .....	91
Şekil 6.26. 15 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri .....	92
Şekil 6.27. 15 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri .....	92
Şekil 6.28. Binalarda ki toplam maliyet .....	99

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1. Taipei 101'in 80. katında bulunan 730 tonluk sönümleyici kütle.....	14
Fotoğraf 4.1. Kauçuk esaslı ve sürtünme esaslı sismik izolatör .....	34
Fotoğraf 4.2. Kauçuk durdurucu ve çelik plaka.....	39
Fotoğraf 4.3. Doğal kauçuk mesnet .....	40
Fotoğraf 4.4. Yüksek sönümlü kauçuk izolatör modeli.....	42
Fotoğraf 4.5. Birden fazla kurşun çekirdekli kauçuk izolatör modeli .....	43
Fotoğraf 4.6. Sürtünmeli sarkaç uygulaması .....	49
Fotoğraf 4.7. Tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç .....	49
Fotoğraf 4.8. Çift yüzeyi sürtünmeli sarkaç .....	49
Fotoğraf 4.9. Üç yüzeyi sürtünmeli sarkaç .....	50
Fotoğraf 4.10. Kolon ortasında sürtünmeli sarkaç sistem uygulaması .....	52
Fotoğraf 4.11. Sürtünmeli sarkaç izolatör modeli .....	52
Fotoğraf 4.12. The Salt Lake City and Country Binası .....	55
Fotoğraf 4.13. San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali .....	56
Fotoğraf 4.14. Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezinde kullanılan SSS .....	56
Fotoğraf 4.15. Tankın temeline koyulmuş SSS' ler.....	57
Fotoğraf 4.16. Tankın temeline koyulmuş izolatörün yakından görünümü .....	57
Fotoğraf 4.17. Atatürk Havalimanında kullanılan bir sürtünmeli sarkaç mesnet.....	58
Fotoğraf 4.18. Temele yerleştirilen kurşun kauçuk mesnet.....	58

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$A_0$	Etkin yer ivme katsayısı
$B_D$	Efektif periyoda bağlı olan spektrum azaltma katsayısı
$B_M$	Maksimum deprem düzeyi için efektif periyoda bağlı olan spektrum azaltma katsayısı
$d_{max}$	Maksimum deplasman
$D$	Yatay yönde deplasman miktarı
$D_D$	Tasarım deplasmanı
$D_M$	Maksimum deprem düzeyi için tasarım deplasmanı
$D_{TD}$	Tasarım deprem düzeyinde maksimum toplam deplasman
$D_{TM}$	Maksimum deprem düzeyinde maksimum toplam deplasman
$e$	Dışmerkezlik
$f_{ck}$	Beton silindirik basınç dayanımı
$F$	Sürtünme kuvveti
$F_y$	Donatı akma dayanımı
$F_u$	Donatı çekme dayanımı
$g$	Yerçekimi ivmesi
$k_{Dmin}$	Tasarım deprem düzeyi için minimum efektif rijitlik
$k_{Mmin}$	Maksimum deprem düzeyi için minimum efektif rijitlik
$k_{eff}$	Efektif rijitlik
$K_H$	Düşey rijitlik
$I$	Bina önem katsayısı
$M$	Moment
$n$	Hareketli yük katılım katsayısı
$R$	Taşıyıcı sistem Davranış katsayısı
$R$	Sürtünmeli sarkaç eğrilik yarıçapı
$R_a$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_I$	Süneklik faktörü

$S_{D1}$	T=1sn için spektral ivme değeri
$S_{M1}$	Maksimum deprem durumunda spektral ivme değeri
$S(T)$	Spektrum katsayısı
$T$	Periyot
$T_{A,B}$	Spektrum karakteristik periyotları
$T_D$	Tasarım depremi düzeyinde efektif periyot
$T_M$	Maksimum deprem düzeyi için efektif periyot
$u$	Yer değiştirme
$V_b$	Yalıtıcı birim altında kalan elemanlara gelen kuvvet
$V_s$	Yalıtıcı birim üstünde kalan elemanlara gelen kuvvet
$V_x$	X yönünde kat kesme kuvveti
$V_y$	Y yönünde kat kesme kuvveti
$W$	İzolatör üstünde taşınan ağırlık
$W_t$	Bina toplam ağırlığı
$\beta_{eff}$	Efektif sönüm oranı
$\beta_D$	Tasarım depremi düzeyi için efektif sönüm oranı
$\beta_M$	Maksimum deprem düzeyi için efektif sönüm oranı
$\mu$	Sönüm katsayısı
$\Delta_x$	X yönünde görel kat öteleme miktarı
$\Delta_y$	Y yönünde görel kat öteleme miktarı
$\dot{u}$	Kayma hızı
$sgn\dot{u}$	Kayma hızına bağlı durumu gösteren işaret fonksiyonu

### **Kısaltmalar**

AMD

AVS

ASCE 7-10

DBYBHY

DBE

### **Açıklama**

Aktif Kütle Sönümleyici (Active Mass Damper)

Aktif Değişken Rijitlik (Active Variable Stiffness)

American Society of Civil Engineers

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında  
Yönetmelik

Temel Deprem Dizaynı

EERC	Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
EN	European Norm
FPS	Sürtünmeli Sarkaç Sistem (Friction Pendulum System)
IBC	International Building Code
UBC	Uniform Building Code
MCE	Maksimum Deprem Kapasitesi
SSS	Sürtünmeli Sarkaç Sistem
TL	Türk Lirası
TLD	Ayarlı Sıvı Sönümleyici (Tuned Liquid Damper)
TMD	Ayarlı Kütle Sönümleyici (Tuned Mass Damper)
TS	Türk Standardı

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Ülkemizde başta depremler olmak üzere heyelanlar, seller, yangın gibi doğal afetler sonucunda can ve mal kayıpları meydana geldiğinden doğal afetlerden en az şekilde etkilenmek insanoğlunun alacağı bazı tedbirler sonucu mümkün olabilmektedir. İhmaller sonucu ortaya çıkacak olan kayıplara en iyi örnekler 1999 yılında meydana gelen 17 Ağustos İzmit ve 12 Kasım Düzce depremleri verilebilir. Bilindiği üzere ülkemiz dünyanın etkin deprem kuşaklarına sahiptir. Geçmişten bugüne kadar ülkemizde birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık meydana gelecek depremlerle büyük can ve mal kaybının yaşanması kaçınılmaz bir gerçektir. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre ülkemiz, deprem riski açısından beşinci bölgeden birinci bölgeye doğru artış gösteren beş bölgeye ayrılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde ülkemizin %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde bulunduğu, nüfusun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ayrıca büyük sanayi merkezlerinin %98'i ve barajların %93'ünün deprem bölgelerinde bulunduğu bilinmektedir.

Deprem, yer kabuğunda biriken gerilme enerjisinin aniden boşalması sonucu yeryüzünde meydana gelen sarsıntıdır. Yeri, zamanı, şiddeti önceden net olarak bilinmeyen, bu kadar çok belirsizlik taşıyan bu doğa olayından korunmanın en iyi yolu inşa edilen yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanmasıdır. Hem proje hem de yapım aşamasında yapının deprem dayanıklılığı dikkate alınmalı ve uygulanmalıdır. Dikkat edilmesi gereken belli başlı unsurlar; bölgenin depremselliği, yapılarda oluşabilecek düzensizliklerin giderilmesi, yapıların statik ve dinamik olarak deprem hesapları, taşıyıcı sistemin tasarımı vb. olarak belirtilebilmektedir.

Yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı, depremin oluşumunda meydana gelen deprem yüklerini taşıyabilecek boyutlarda elemanların tasarlanıp inşa edilmesiyle mümkün olabilmektedir. Uygun boyutta tasarlanan elemanlar deprem enerjisini tüketebilecek durumda olmalıdırlar.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında dayanım, süneklik, rijitlik özellikleri temel esas olarak alınması gereken durumlardır. Yapının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan yapabileceği en büyük yer değiştirmenin elastik yer değiştirmeye oranı sünekliği ifade etmektedir. Yani yapının plastik ve elastik olarak enerji yutma gücü arasındaki orandır. Sünek yapılar yıkılmadan önce çok büyük salınımlar yapan ve hasar görebilen ancak kolay yıkılmayan yapılardır. Yapılar, rijit yapılmalı ama düğüm noktalarında yeterli süneklik sağlanmalıdır. Bu şekilde salınımlar, deprem enerjisinin yapıyı yıkmasını önlemektedir. Rijit yapıların depreme karşı dayanıklı olması yanal deprem yüklerine karşı sistemin rijit olarak tasarlanması ile mümkündür. Yapının temel ve temel üstü ile rijit bir bütünlük sağlaması gerekmektedir. Yapı yanal kuvvetler etkisinde tüm sistem elemanlarıyla ayrılmadan hareket edebilmelidir. Yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanmasında genel olarak gelen kuvvetlere karşı yapının güvenliğinin sağlanması ve işlevini yitirmemesi dikkate alındığından depreme dayanıklı yapı tasarımında yapılar taşıyabilecekleri maksimum yüke göre tasarlanıp inşa edilmektedirler.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)' de depreme dayanıklı yapı tasarımının temel amaçları; hafif şiddetli deprem etkisindeki binalarda yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetli deprem etkisinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması ve şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen yıkılmasını önlemek şeklinde belirtilmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda, yapının göçmesine yol açmayacak şekilde yatay taşıyıcı elemanlarda hasara izin verilirken, düşey taşıyıcı elemanlar olan kolon ve perdelerde hasar oluşması engellenmeye çalışılmalıdır. Aksi takdirde güçlü kiriş zayıf kolon oluşturulursa plastik mafsallaşma kiriş yerine kolonlarda meydana geleceğinden bu durum yapıyı sünek olmayan davranışa sürüklemektedir. Kolonların kirişlerden daha güçlü olması gerekliliği kolon taşıma gücü momentinin kiriş taşıma gücü momentinden daha büyük olmasında kendini göstermektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarlamanın yanı sıra, yapılara gelen deprem yüklerinin azaltılması daha kalıcı ve güvenli bir yöntem olmaktadır. Bundan dolayı son

zamanlarda yapılan çalışmalar neticesinde mühendisler yapıyı depreme karşı dayanıklı tasarlanmanın yanında sismik güvenliği artırmak amacını da ön planda tutmaktadırlar.

Yapıların deprem enerjisini karşılamasında ve üst yapıda hasar oluşturmadan enerjinin sönümlenmesinde sismik izolatör sistemleri kullanılabilir. Sismik izolatörler sayesinde yapının yatay hareket etmesi sonucunda, yatay deprem yükleri ve titreşim enerjisi sönümlenmektedir.

Mevcut yapıların deprem yüklerine karşı güçlendirilmesi yanında tasarım aşamasında da yapıların deprem enerjisine karşı izole edilmesi amacıyla sismik izolatörler kullanılması günümüz teknolojisini ve çalışmalarıyla gündeme gelmiş bir çözüm yoludur.

Yapılarda sismik izolatör uygulanmasında birçok fayda sağlanabilmektedir. Bunlardan biri, sismik izolatör kullanımının yapının hâkim frekansını azaltabilmesidir. Dolayısıyla, st yapı rölatif olarak rijit kalmaktadır. Şekil değiştirmeler daha çok sismik izolatörlerde meydana geldiğinden dolayı yapının deprem hareketine karşı direncinde artış sağlanmaktadır. Bir diğer faydası; deprem hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler azalmakta ve izolatör sistemi yapının kullanımında olumsuz değerlendirmelere sebep olmadan yapıya esneklik kazandırabilmektedir.

## BÖLÜM II

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Depremlerde zeminden temele ulaşan ve tüm yapıyı etkileyen titreşim nedeniyle yapılarda hasarlar meydana gelmektedir. Zeminden yapıya aktarılan deprem enerjisinin sönümlenmesi, yapıda oluşan hasarı ortadan kaldıracaktır. Enerjinin tamamen sönümlenmesi günümüzde henüz kesin olarak sağlanamamakla birlikte sismik izolatör kullanımıyla yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin bir kısmı sönümlenmektedir. Bu doğrultuda yapılmış olan akademik çalışmalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Kelly (1998), “Seismic Isolation of Civil Buildings in the USA” adlı makalesinde, zemin hâkim periyotlarının düşük olduğu bölgelerde yapı periyodu düşük olan tasarımların yapılması durumunda alçak ve orta yükseklikteki yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında problem yaşandığını belirtmiştir. Bu sorunun giderilmesi için binaların esnek olması gerektiği ancak esnek binalarda yapısal olmayan elemanların hasar görmesinden dolayı yapısal olmayan elemanlarda kat ivmelenme değerlerini düşüren en etkin sistemin sismik izolatör kullanımının olduğunu belirtip Amerika’da hem yeni binalarda hem de tarihi yapıların güçlendirilmesinde bu sistemlerin kullanıldığını örneklerle açıklamıştır.

Yücesoy (2005), “Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” adlı yüksek lisans tez çalışmasında sismik izolatörlü yapı davranışını göstermek amacıyla 5 katlı örnek bir binayı önce ankastre mesnetli olarak, sonra kurşun çekirdekli kauçuk taban sismik izolatörlü olarak analiz etmiştir. İzolasyon mesnetleri için gerekli malzeme özelliklerini piyasada firmalar tarafından üretilmiş olan mevcut izolatör mesnetlerinin özelliklerini dikkate alarak belirlemiştir. Sismik taban izolatörlerinin meydana getirdiği avantajları ve dezavantajları, yanal ötelenmeler, eğilme momentleri, taban kesme kuvvetleri ve yapı doğal periyodunun aldığı değerleri karşılaştırmıştır.

Ayhan (2006), “Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Klasik Yöntem ile Sürtünmeli Sarkaç Karşılaştırılması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında temel ayırıcı sistemlerden biri olan sürtünmeli sarkaç mesnetleri konu almıştır. Yapıların

güçlendirilmesinde bilinen klasik yöntemle güçlendirme ile yapıların sürtünmeli sarkaç mesnetlerle güçlendirilmesi arasında çeşitli açılardan kıyaslamalar yaparak, sürtünmeli sarkaç sistemler hakkında bir takım yargılara varmaya çalışmıştır.

Tolay (2006), “Sismik İzolasyon Sistemlerinin Maliyet Analizi” adlı yüksek lisans tez çalışmasında taban izolatör sistemlerini kauçuk esaslı ve kayıcı sistemler olarak ikiye ayırmıştır. Taban izolatörlerinin teorik esaslarını, mekanik karakteristiklerini ve modellenmesini açıklamıştır. Taban yalıtımlı ve ankastre olarak iki yapı modelini ele alarak Sta4Cad bilgisayar programı ile çözümlenmeler gerçekleştirmiş ve maliyetlerini karşılaştırmıştır.

Demir (2008), “Sismik İzolasyon Sistemleriyle Yapıların Tasarımı ve Mevcut Bir Yapıya Uygulanması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında sismik izolatörlerin çalışma şekli, sismik izolatör çeşitleri, izolatörlerin hesap metotları ve sismik izolatörlü yapılar incelenerek sismik izolatörü genel hatlarıyla açıklamıştır. Konya Selçuk Üniversitesi Ar-Ge binası SAP2000 programında sismik izolatörlü olarak analiz edilmiştir. Ayrıca 1. ve 4. derece deprem gölgesi için temel ankastre bağlı olarak ayrı ayrı analiz edilerek karşılaştırmalar yapmıştır.

Şirin ve Boduroğlu (2010), “Sürtünme Sönümlü Elemanlı Betonarme Sistemlerin Sismik Performansı” adlı makale çalışmalarında tek serbestlik dereceli betonarme sistemlerde hemen kullanım performans seviyesi için sürtünmeli sönüm elemanının rijitliği ve kayma yer değiştirme değerlerinin seçilmesine yönelik doğrusal olmayan dinamik analizlerin sonuçları sunulmuştur. Optimum sürtünmeli sönüm elemanlarının özellikleri karşılaştırıldığında, aynı kayma yük seviyesinde sönüm elemanının rijitliğinin büyük olmasının yer değiştirme talebinde daha büyük azalmaya sebep olduğunu gözlemlemişlerdir.

Soyluk ve Tuna (2011), “Sismik Taban İzolasyonu Uygulaması İçin Tarihi Şehzade Mehmet Camisinin Dinamik Analizi” adlı makale çalışmalarında yığma sistemin ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetli modellerinin dinamik davranışlarını elde ederek karşılaştırmalar yapmışlardır. Dinamik analizler, maksimum yapı tepkilerini veren Davranış Spektrum yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve

elde edilen periyot değerleri ile sismik yapı tepkileri karşılaştırılmıştır. Sismik taban izolatörü uygulamasının tarihi yığma caminin dinamik davranışını önemli ölçüde iyileştirdiğini ve tarihi yapılarda orijinal dokuyu bozmadan güçlendirme özelliğinin, sismik izolatörlerle sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır.

Toprak (2012), “Burulma Düzensizliği Olan Yapılarda Sismik İzolasyon Kullanımının Deprem Yükleri Altındaki Davranışa Olan Etkisi” adlı yüksek lisans tez çalışmasında burulma düzensizliği ve yatay yükler altında bulunan yapının sismik izolatör kullanımı yöntemi ile düzensizlik durumunun giderilmesini hedeflemiştir. Üst yapı sünekliğinin etkisini de incelemek için 3, 5 ve 10 katlı yapılarda burulmanın olmadığı ve %5, %10, %20 olduğu modeller üretmiştir. Yüksek sönümlü ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnet olmak üzere iki türlü izolatörle ayrı ayrı analiz ederek görelî kat deplasmanları, maksimum kesme kuvvetleri ve moment değerlerini karşılaştırmıştır. Burulma düzensizliğinin yapılara getirdiğı yıkıcı etkisinin sismik izolatörlerle azaltıldığı sonucuna varmıştır.

Castaldo vd. (2015), “Seismic Reliability of Base-Isolated Structures With Friction Pendulum Bearings” adlı makalelerinde sürtünmeli sarkaç izolatörlerin fiziksel özellikleri ve dayanıklılıkları nedeniyle binalar, köprüler, endüstriyel yapılarda hem yapım aşamasında hem de güçlendirme yöntemleri için kullanılacak bir teknik olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, sürtünmeli sarkaç kullanılarak taban izole edilmiş bir yapının sismik güvenilirliği değerlendirilmiş ve yapılarda izolatör sistem tasarımının yapılmasının uygun olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada farklı kat adedine sahip hastane binaları ankastre mesnetli ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü tasarlanarak analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. 5, 10 ve 15 katlı binalarda periyot, kat kesme kuvvetleri, görelî kat öteleme miktarları ve maliyet değerleri karşılaştırılarak kat adedinin yapısal davranışa ve maliyete olan etkisi araştırılmıştır.

## BÖLÜM III

### SİSMİK KONTROL SİSTEMLERİ

#### 3.1 Giriş

Deprem veya rüzgârın sebep olduğu titreşimlere karşı yapıların kontrolü için farklı yollar izlenmektedir. Bunlar; rijitliklerin, sönümün, kütlelerin modifikasyonu veya pasif ve aktif kuvvet uygulanması ile mümkündür. İnşaat mühendisliği alanında bu konu da son yıllarda pek çok deney, yayın ve uygulama yapılmıştır. Bu tecrübelerin ortak sonucunda, yapıların kontrolünün gerek yeni yapılacak binalarda, gerekse mevcut binaların rehabilitasyonu veya güçlendirilmesinde oldukça önemli olduğu görülmüştür (Düzel, 2010).

Kontrol sistemleri genel olarak; Aktif Kontrol Sistemleri, Pasif Kontrol Sistemleri ve Karma Kontrol Sistemleri olarak 3 guruba ayrılmaktadır.

#### 3.2 Aktif Kontrol Sistemleri

Aktif kontrol sistemlerinde sistem özelliklerinin ve yüklemenin dinamik olarak modifiye edilebilmesi, binanın performansını iyileştirme potansiyelini sağlamaktadır. Bir aktif yapı kontrol sisteminde, yapının mevcut durumunu belirleyebilme yeteneği vardır ve bu durumu arzu edilen duruma dönüştürebilmek için sistem, bir eylem setini kısa bir zaman periyodunda devreye sokabilmektedir. Bu tür kontrol sistemleri, teorik olarak, beklenmeyen çevresel değişiklikleri barındırır, performans gereksinimlerini tam olarak karşılayabilir ve sınırlı sayıda taşıyıcı sistem elemanlarındaki hataları telafi edebilmektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak sistemin modifikasyonu mümkün olmakla birlikte hem finansal hem de teknik olarak geniş bir uygulama aralığında daha verimli çözümler sunmaktadır (Demir, 2008).

Aktif kontrol sistemleri teorik olarak her şiddetteki depreme karşı dayanabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu kontrol sistemlerinin bazı sakıncaları ise; sistemin çalışması için gerekli olan enerjinin kesintisiz olarak devam etmesi zorunluluğudur. Çünkü deprem sırasında enerji hatlarında sorunlar oluşabileceği gibi yangın çıkmasını önlemek

amacıyla hatlarda kesintiler yaşanabilmektedir. Ayrıca deprem titreşiminin sönümlenmesi için kontrol elemanının devreye girebilmesi büyük enerji ihtiyacı meydana getirmektedir. Bu gibi sorunların çözümü için kullanılan yöntemler maliyetin artmasına neden olmaktadır. Maliyetin artması ise aktif ve pasif kontrol sistemlerinin bir arada kullanılması yöntemini yani karma sistemleri oluşturmaktadır. Aktif kontrol sistemleri; aktif kütle sönümleyiciler ve aktif rijitlik değiştiren sistemler olarak iki grup halinde incelenebilirler.

Aktif kontrol sistemleri pasif kontrol sistemlerine göre daha esnektirler. Bir örnek vermek gerekirse tek bir aktif kontrol aygıtı, Aktif kütle sürücüsü (Active Mass Driver), birkaç titreşim modunu sönümleyebilecek şekilde dizayn edilebilmektedir. Yüksek şiddetteki depremlere dayanabilecek olan aktif kontrol sistemlerinin sakıncaları ise deprem şiddetine karşı koyacak olan zıt yönlü büyük çapta aktuatör kuvvetini oluşturmanın zorluğu ve oluşturulsa bile bu kuvvetin uygulanması sebebiyle yapının stabilitesine ve taşıyıcı sistemine verebileceği hasarlardır (Düzel, 2010).

Yüksek katlı yapılarda deprem enerjisi arttıkça, aktif kontrol sistemlerinde sistemi koruyacakları kuvvetler ve kullanacakları enerji miktarlarında artışlar görülmektedir. Kuvvet ve enerji miktarındaki artışlar yapıdan beklenen performansın sağlanmasında sorunlar oluşturabilmektedir. Dolayısıyla orta katlı ve deprem şiddetinin çok fazla olmayacağı yapılarda aktif kontrol sistemlerinin kullanılması daha uygun olmaktadır.

Aktif kontrol sistemlerinde titreşimler sensörler tarafından algılanmakta ve sinyallere çevrilerek kontrol bilgisayarına gönderilmektedir. Toplanan bilgilere dayanarak bilgisayarda kullanılan algoritmalar ve yapılan hesaplar neticesinde üretilecek olan kontrol kuvvetleri sinyallerle aktuatör denilen kütle sönümleyicilerine gönderilmektedir. Kütle sönümleyicileri gelen sinyaller doğrultusunda hareket ederek titreşimleri sönümlemekte ve bu metot AMD (Active Mass Damper) sisteminde kullanılmaktadır. Aktif rijitlik değişen AVS (Active Variable Stiffness) sisteminin farkı ise; kontrol bilgisayarından gelen bilgiler kirişlere yerleştirilmiş ters V şeklindeki desteklerin ortasında bulunan ve gelen sinyallerle içindeki valfin hareketinin kontrol ederek rijitliği değiştiren elemanlardan oluşmasıdır. Aktif kontrol sisteminde kullanılan algoritmalar sistemin belirleyici en büyük özelliği olarak verilebilmektedir (Düzel, 2010).

### **3.3 Pasif Kontrol Sistemleri**

Yapıya yatay yönde gelen kuvvetlerin yapıya en çok zarar veren kuvvetler olduğu bilindiğinden yapıların yatayda esnek davranması gerekliliği doğrultusunda tasarımlar yapılmaktadır. Pasif kontrol sistemleriyle de yapının enerji sönümleme kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır.

Pasif yapı kontrolü, sismik yalıtım veya yapının sismik kontrolü anlamına gelmektedir. Bu kontrol belirli noktalara yerleştirilmiş özel elemanlarla sağlanmakta ve pasif kontrol denildiğinde akla ilk olarak taban yalıtımı gelmektedir. Yapının tabanına yerleştirilen bu yalıtım elemanları üst yapının ivmesini, ötelenmeleri ve dolayısıyla depremsel kuvvetleri azaltmaktadır. Yalıtım elemanları çoğunlukla yapının tabanına yerleştirilmektedirler (Derdiman, 2006).

Pasif kontrol sistemlerinin aktif kontrol sistemlerine göre sistem hesaplarında karmaşıklık olmayıp maliyetinin daha az olması yanında aktif kontrol sistemlerinin ihtiyacı olan enerji pasif kontrol sistemlerinde gerekli değildir. Pasif kontrol sistemlerinde enerji gereksinimi olmadığından dolayı maliyetleri düşük olması gibi avantajlarından dolayı aktif kontrol sistemlerine tercih edilmektedir. Pasif kontrol elemanlarının boyutlandırılması deprem şiddetine göre yapıldığından dolayı beklenenin üzerinde bir depreme maruz kalan yapıda büyük deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Yani deprem şiddeti bu kontrol elemanlarının projelendirilmesinde en büyük etken olmaktadır. Bu durum ise aktif kontrol sistemlerine göre dezavantaj olarak gösterilebilmektedir.

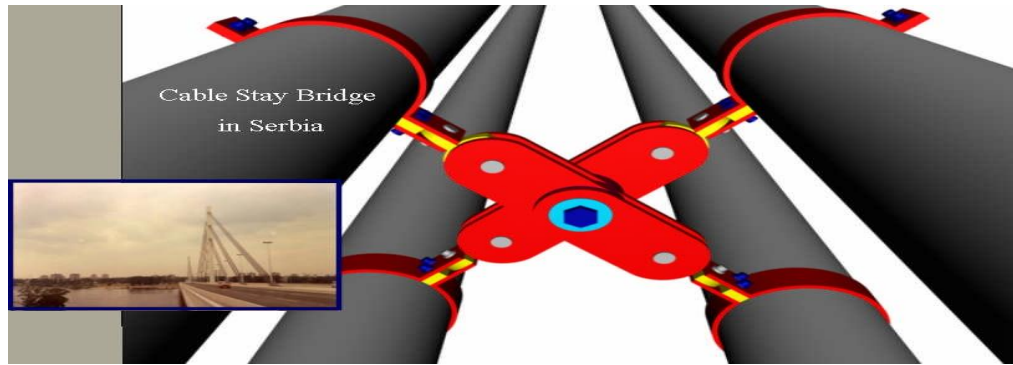
Pasif kontrol sistemleri kendi aralarında sismik taban izolatörleri ve pasif enerji sönümleyiciler (damperler) olarak sınıflandırılabilir.

#### **3.3.1 Pasif enerji sönümleyiciler**

Pasif enerji sönümleyiciler; yapıda deprem ve şiddetli rüzgâr gibi dış etkilerin oluşturduğu yer değiştirmeleri, kesit zorlarını kabul edilebilir sınırlarda tutmak için yapıya yerleştirilen mekanik elemanlardır. Enerji sönümleme özelliğinin artırılması

amacıyla kullanılabilirler. Çeliğin plastik deformasyonu sırasında dinamik enerjiyi ısı enerjisine çevirmektedirler. Bu sistemin diğerlerine göre daha yeni geliştirilen bir sistem olduğunu söylemek mümkündür. Malzemeleri çok pahalı olmamakla birlikte montajı hızlı ve kolaydır. Yerinde kontrol edilebilme ve ayarlanabilme özelliklerine sahiptirler. Yatay rijitlik sağlamak amacıyla kiriş ortalarına yerleştirilebilmekte ve tüm bina yüksekliği boyunca kullanılabilirler. Pasif enerji sönümleyicilerde her iki yatay doğrultuda titreşim kolaylıkla kontrol edilebilir durumda olduğundan dış enerji kaynağına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Binalar, deprem kuvvetlerine karşı tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken bir kaç önemli nokta mevcuttur. Binalar maksimum enerjiyi sönümleyebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Büyük deprem kuvvetlerine ancak bu şekilde karşı koyulabilmektedir. Plastik mafsallın, kolon kiriş birleşimlerinde öncelikle kiriş tarafında olması istenmektedir. Bu bölgelerde oluşan kırılmalar, bir taraftan enerjinin bertaraf edilmesini sağlarken, diğer taraftan ciddi yapısal zararların oluşması önlenir. Bu birleşim yerleri iyi detaylandırılmış olsa bile, tekrarlı yük zaman içinde dayanımı önemli ölçüde azaltmaktadır. Tekrarlı deprem kuvvetleri sırasında katlar arası sürüklenmelerden kaynaklanan kuvvetlere de karşı konulması gerekmektedir. Çünkü bu etki binada dolgu duvar, tavan ve kapı boşlukları gibi bölgelerde zarara yol açmaktadır. Bu etkilerin azaltılması için enerji dağıtma sistemleri kullanılmaktadır. Böylelikle katlar arası sürüklenme azaltılmakta, yapı elemanları daha az zarar görmekte, oluşan düşük ivmelenme ve kesme kuvvetlerinden dolayı yapı taşıyıcı elemanları daha az yüke maruz kalmaktadır (Akgönen, 2005).



**Şekil 3.1.** Sırbistan’ da köprü çelik kablolarında damper sistem uygulaması

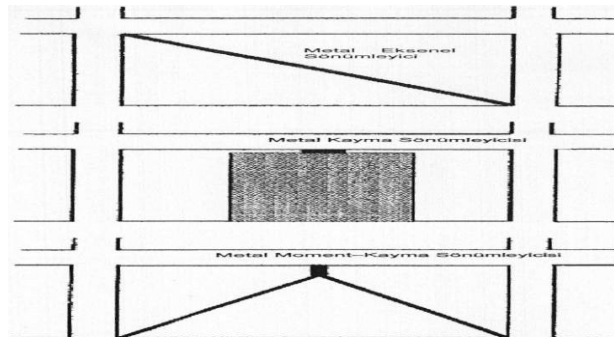
Pasif enerji sönümleyiciler enerji dönüşüm sistemlerine göre sınıflara ayrılabilir.

- Kinetik Enerjiyi Isı Enerjisine Dönüştüren Sistemler
  - Histerik Sistemler
  - Visko-elastik Sistemler
  - Otomatik Merkezleşen Sistemler
- Kinetik Enerjiyi Titreşim Moduna Dönüştüren Sistemler
  - Dinamik Titreşim Sönümleyiciler

### 3.3.1.1 Metal sönümleyiciler

Bu tür enerji yutucular metallerin histeretik davranışlarından faydalanılarak, genellikle çelik malzeme ve sismik kat ötelemeleri sonucu oluşan eğilme, kesme veya eksenel yükleri alacak şekilde tasarlanmaktadır. Tercih edilmelerindeki en önemli sebepler; uzun süreli çalışma güvenilirlikleri, çevre ve sıcaklık değişimlerine dayanıklı olmaları olarak sayılabilmektedir.

Şekil 3.2. de metal sönümleyicilerin yerleştirilme biçimleri görülmektedir. Eksenel metal sönümleyiciler genelde çapraz bağlantı şeklinde yerleştirilmektedir. Kesme ve eğilmeye çalışan sönümleyiciler duvarın üst noktası ile üst katın kirişinin alt noktası arasına yerleştirilmektedir. Bir diğer kesme ve eğilmeye çalışan sönümleyici tipi çelik bir kafes üzerine monte edilmiş haldir (Düzel, 2010).

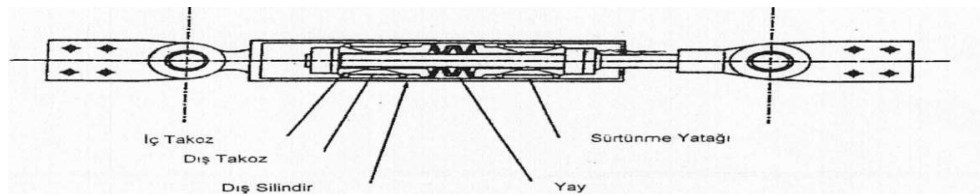


Şekil 3.2. Metal sönümleyici tiplerinin yerleştirilmesi (Düzel, 2010)

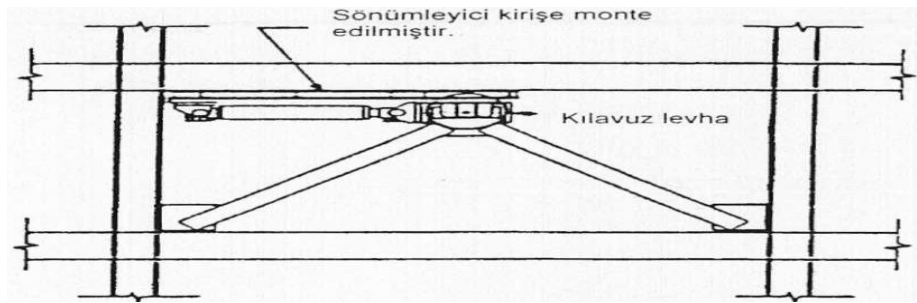
### 3.3.1.2 Sürtünme sönümleyicileri

Birçok değişik malzeme kullanılarak üretilen kayan yüzeylere sahip sürtünme sönümleyicileri bulunmaktadır. Genelde çelik alaşımları ve metaller çapraz bağlantı şeklinde kullanılmaktadır. Sürtünme cihazlarının genel olarak iyi performans özellikleri bulunmaktadır. Davranışları yüklenme genliğinden, frekansından ve yük çevrimi sayısından belirgin bir biçimde etkilenmemektedir (Düzel, 2010).

Şekil 3.3. de Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti görülmektedir. Kurşun tozu emdirilmiş bakır yastıklar çelik kaplanmış cihaz ile temas halindedir. Değişik takozlarla yükün alındığı sürtünme yüzeyi geliştirilmiştir. Bu cihazlar her zaman çapraz bağlantı şeklinde kullanılmayabilirler. Ayrıca bir kafese bağlantılı olarak kat kirişlerine de uygulanabilmektedir (Aiken ve Kelly, 1990).



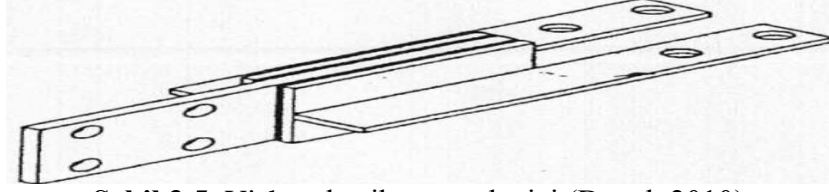
Şekil 3.3. Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti (Düzel, 2010)



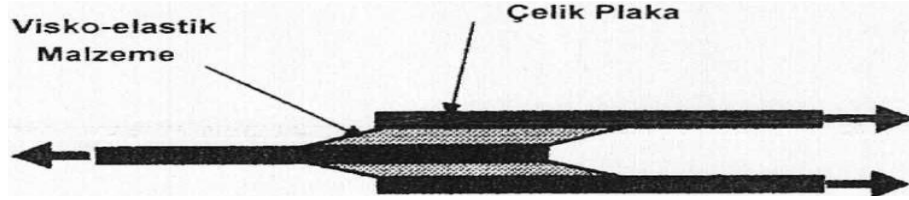
Şekil 3.4. Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu (Düzel, 2010)

### 3.3.1.3 Visko- elastik sönümleyiciler

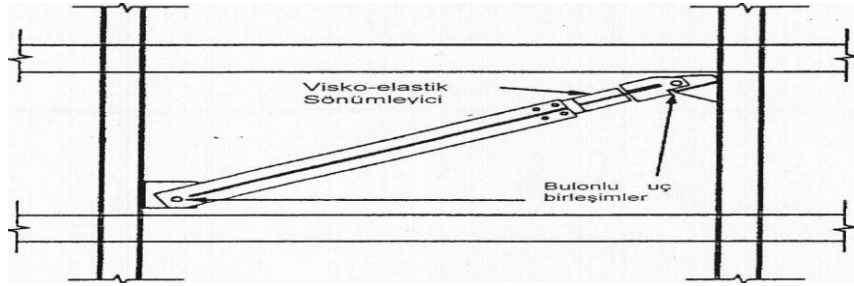
Visko-elastik sönümleyiciler hız bağımlı bir sönüm kuvveti üretirler ve buna ek olarak da elastik rijitliğe sahiptirler. En yaygın tipi merkezde bir çelik tabaka ve etrafında dıştaki iki çelik tabakayı bağlayan akrilik polimer tabakalar bulunan şeklidir (Düzel, 2010).



Şekil 3.5. Visko-elastik sönümleyici (Düzel, 2010)



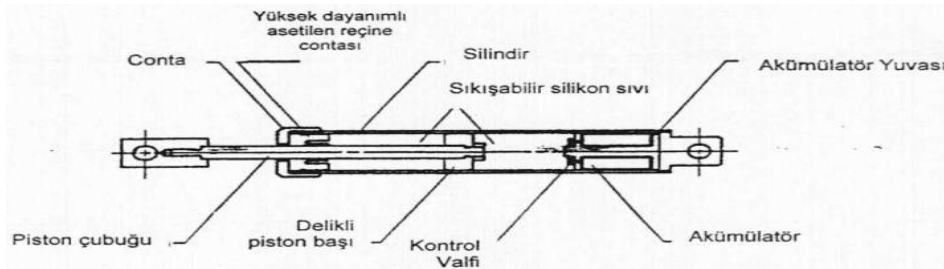
Şekil 3.6. Visko-elastik sönümleyiciye etki eden kuvvetler 1 (Düzel, 2010)



Şekil 3.7. Visko-elastik sönümleyiciye etki eden kuvvetler 2 (Düzel, 2010)

### 3.3.1.4 Viskoz sönümleyiciler

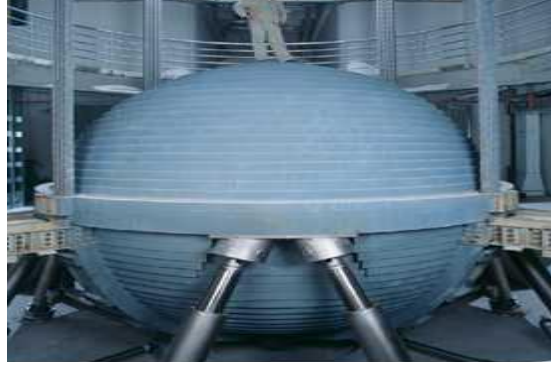
Viskoz sönümleyiciler visko-elastik sönümleyiciler gibi hız bağımlı sönüm kuvveti oluşturan cihazlar olup yapıya sadece ek sönüm sağlamaktadırlar. Çoğu viskoz sönümleyici sıvı viskoz sönümleyicidir ve arabalardaki şok emici amortisörlere benzemektedirler. Bu tür aygıtların üretildiği sıvılar yük yavaş etkiğinde düşük, hızlı etkiğinde yüksek dayanım özelliğine sahiptir (Düzel, 2010).



Şekil 3.8. Viskoz sönümleyici örneği (Düzel, 2010)

### 3.3.1.5 Ayarlanmış kütle sönümleyiciler (TMD)

Bu sistemde binanın sönümlenme etkisi bina üstüne koyulan kütlelerle sağlanmaktadır. Hidrolik ve raylı sistem elemanlarından oluşmakta ve işlevlerini yerine getirmeleri için büyük bir enerjiye gereksinim duymaktadırlar. Özellikle çelik binalarda uygulama örneklerine daha sık rastlanmaktadır. Bu sistemde amaç; yapının kütlelerinin artırılarak yapıya gelen deprem ivmesiyle oluşan kuvvetin azaltılmasıdır. Neticede daha büyük deplasmanlar oluşması sağlamanın yanında deprem sırasında deprem kuvveti sönümleyici elemana ek yük uygulamaktadır. Deprem yüküne karşı uygulanan bir yükü yapının depreme karşı korunması sağlanmış olmaktadır.



**Fotoğraf 3.1.** Taipei 101'in 80. katında bulunan 730 tonluk sönümleyici kütle

### 3.3.1.6 Ayarlanmış sıvı sönümleyiciler (TLD)

Ayarlanmış sıvı sönümleyiciler ayarlanmış kütle sönümleyicilere benzer şekilde davranış göstermektedirler. Burada hareketi engelleyen sıvı, lineer olmayan davranış sergilemektedir. Sıvı sönümleyiciler fiziksel deneylere tabi tutularak uygulamada kullanılmaktadırlar.

### 3.3.2 Sismik taban izolatör sistemleri

Sismik taban izolatör sistemleri, yapıyı tabanından veya temelinden ayırma, ya da izole etme yoluyla, yapıya geçen deprem yer hareketini büyük ölçüde azaltarak çalışmaktadır. Örnek olarak; 8.0 Richter büyüklüğündeki bir depreme maruz kalan izole edilmiş bir yapı, 5.5 Richter büyüklüğündeki bir depremle karşılaşmış gibi davranış

göstermektedir. Yolcularını sarsıntılı bir yolculuktan yumuşak bir yolculuğa yöneltir otomobiller ile onların süspansiyon sistemi arasındaki ilişki buna benzetilebilir. Yapıların ve deprem kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri göz önüne alınarak; yapıların rijitliklerini azaltarak periyotlarını uzatıp, sönümlerini azaltıp yapılara daha küçük deprem yüklerinin gelmesini sağlayarak, yapıların orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve çok şiddetli depremlerdeki hasarının da çok küçük boyutlara indirilmesi 'taban yalıtımının' temel ilkesidir (Ercan vd., 2009).

Son yıllarda taban izolatör sistemleri depreme karşı etkili bir güçlendirme sistemi olarak dikkat çekmektedir. Yapı ile temel arasına taban izolatör sistemi olarak esnek bir tabaka yerleştirilmektedir. Böylece bu bölgede rölatif deplasmanlara izin verilmektedir. İzolatörler esnek bir yapıya sahip olduğu için binanın hâkim periyodunu ankastre mesnetli sistemlere göre önemli ölçüde arttırmaktadırlar. Kayan tabaka içeren izolatör sistemleri depremin enerjisini bina hareketi sırasında oluşan sürtünme kuvvetleriyle dağıtmaktadırlar. Bu tip sistemler, depreme bağlı olarak oluşan titreşimlerin kontrol altına alınması ve binaya gelen etkilerin büyük yer hareketlerinden izole edilmesi yönüyle önem kazanmaktadır (Akgönen, 2005).

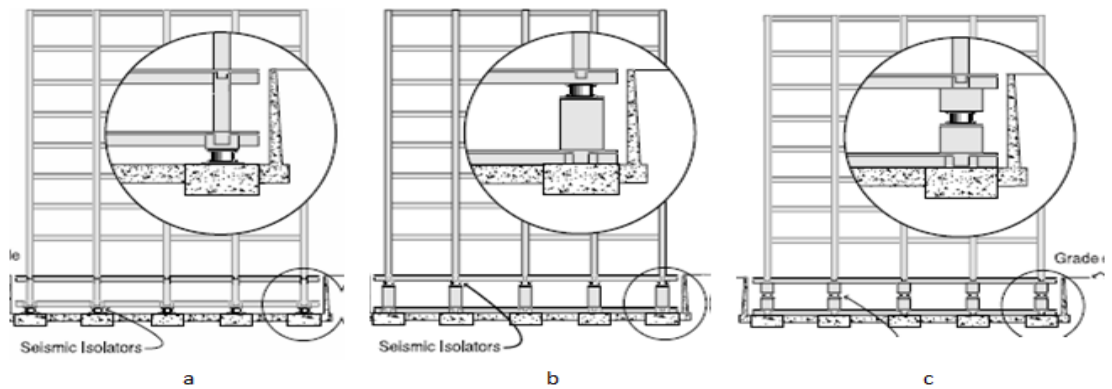
Taban yalıtımında temel amaç kısaca; yapı düşey yönde rijit ve yatay doğrultuda esnek davranış göstermelidir. Taban yalıtımlı sistemlerde periyot artışı yani frekans da azalma meydana gelmektedir. Üst yapıda yatay yönde şekil değiştirmeler sönümlenen kuvvetler neticesinde daha az seviyelerde kalırken ve katlar arası farklı deplasmanlar da yok denecek kadar az olduğundan üst yapı rijit davranış sergilemektedir. Sismik izolatörler hazır mevcut ürünler olmadığından hazırda bulunan bir projeye direkt olarak uygulanma özelliği taşımamaktadırlar. Kullanım amacına ve yapılan statik hesaplara göre tasarlanması gerekmektedir. Çünkü izolatör kullanımı tüm statik hesapları değiştirmektedir.

Sismik taban izolatör sistemleri; elastomerik izolatörler, kaymaya dayalı izolatörler ve yay tipi izolatörler olmak üzere 3 ana başlık altında incelenebilmektedirler. İlerleyen bölümlerde bu izolatör çeşitlerine değinilecektir.

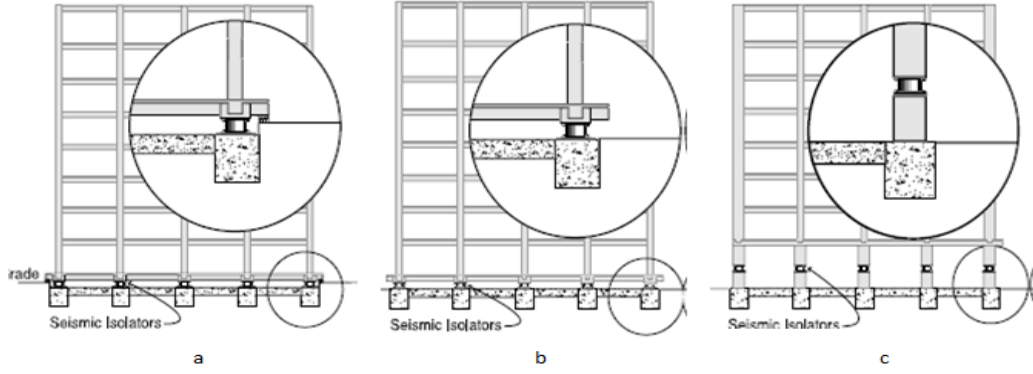
### 3.3.2.1 Taban izolatörlerin yerleşim modelleri

Taban izolatörü tasarımında bodrum katta temellerin altına yerleştirilen izolatörler, yapının bütününün yalıtılmasını sağlamaktadırlar. Taban izolatörlerinin yapı inşa edilirken uygulanması oldukça ekonomik olmakla birlikte mevcut yapıların, depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi amacıyla taban izolatörlerinin yapılması ise oldukça yüksek bir maliyet meydana getirmektedir. Bu nedenle mevcut yapılara uygulanan izolatör yöntemlerinde, kısmen üst yapının yalıtılması daha ekonomik olmaktadır. Taban izolatörlerinin tek dezavantajı, yatay deplasman mesafesinin sağlanması için her yönde zemin tutucu duvarlara ihtiyaç duyulmasıdır. Asansör ve merdiven için özel ayırma işlemlerine ihtiyaç duyulmaması, kolonlardan bağımsız oldukları için, kolonlarda ayrıca yangın tehlikesi için yalıtım gerektirmemesi ve izolatör seviyesinde izolatörlerin rijit diyaframla birleştirilerek, rijit diyafram hareketinin sağlanması gibi avantajları da sıralanabilmektedir (Yavuz, 2008).

Taban izolatörleri yapıda birçok değişik yere yerleştirilerek performans sergilemesi beklenmektedir. Temelin altına, alt kolonların üstüne, alt kolonların ortasına yerleştirilebildiği gibi birinci kat kolonlarının altına, temel üstüne, temel üstündeki kolonların ortasına da yerleştirilebilmektedirler.

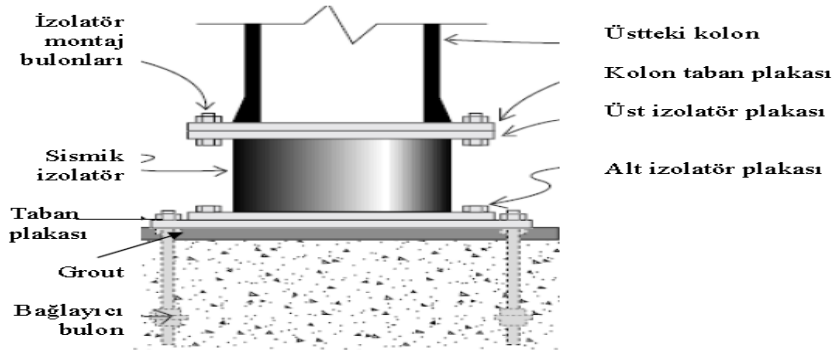


**Şekil 3.9.** Temel altına (a), alt kolon üstüne (b), alt kolon ortasına (c) izolatör uygulaması (dis-inc)

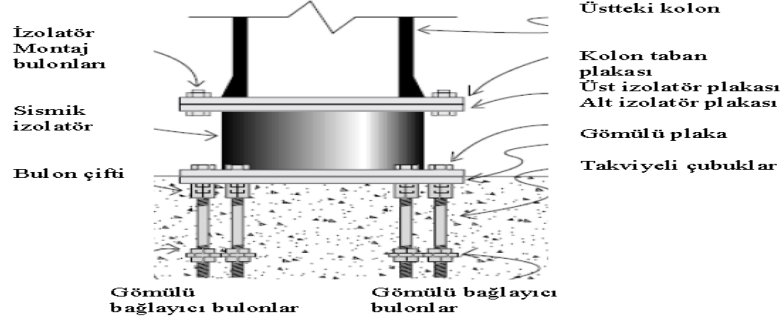


**Şekil 3.10.** Kolon altına (a), temel üstüne (b), temel üstü kolon ortasına (c) izolatör uygulaması (dis-inc)

İzolatörlerin bodrum kat kolonlarının ortasına yerleştirilmesi durumuna rastlamak mümkündür. Bu izolasyon yönteminde orta katta meydana gelebilecek deplasmanlar için, deplasman mesafesi hazırlanması gerekmektedir. Bu durumda asansör ya da merdivenler için özel ayarlamalar yapmak gerekir. İzolatörler birleştirilemeyeceği için, rijit diyafram hareketinin sağlanamama ihtimali bulunmaktadır. Elastomerik izolatörler kullanılıyorsa, düşey yükler için emniyet sistemlerinin birleşimi zordur. İzolatörler bodrum kat kolonlarının üstüne yerleştiriliyorsa; bodrum katta önemli ekipmanlar bulundurulmaması durumunda, uygulama maliyetini azaltacağından dolayı, tercih edilen bir izolasyon yöntemi olmaktadır. Bu yöntemde üstyapı ile bodrum iki bağımsız parçaya ayrılır. İzolasyon seviyesinde izolatörler rijit diyaframla birleştirilebilir ve düşey yükler için emniyet sistemi kolonlar tarafından sağlanabilmektedir. Dezavantajları ise, asansör ve merdiven boşluğunun iki kısma ayrılması ve iki ayrı sirkülasyon düzeni gerektirmesidir (Yavuz, 2008).



**Şekil 3.11.** Sismik izolatör yerleşim önerisi 1 (dis-inc)



**Şekil 3.12.** Sismik izolatör yerleşim önerisi 2 (dis-inc)

### 3.3.2.2 Taban izolatörlerinde yakın fay etkisi

1994 Northridge depremi ile temel ayırıcı sistemler ilk olarak ciddi bir tehdit almıştır. Aktif fay yakınlarında elde edilen sismik kayıtlarda yüksek periyotlu bileşenler tespit edilmiştir. Bu bileşenler temel ayırıcı sisteminde rezonans benzeri büyük yatay yer değiştirmeler meydana getirmektedir. Yönetmeliklerde de bu sebeple aktif fayların belli bir mesafe yakınında yapılara temel ayırıcı uygulanmaması gerektiği belirtilmektedir (Ayhan, 2006).

Temel ayırıcıları korumak için temel ayırıcıların seviyesinde pasif viskoz sönümleyiciler eklenmektedir. Bu sayede temel ayırıcı hareketi sınırlandırılmış fakat bu seferde üst yapıdaki katlar arası deplasmanlar ve ivmeler artmaktadır. Bu ise temel ayırıcı sistem felsefesine tamamen terstir. Temel ayırıcı seviyesinde eklenmesi gereken optimum sönüm miktarı ise yer hareketinin dinamik karakteristiklerine bağlı olduğundan önceden kesin olarak belirlenmesi zordur. Konu ile ilgili olarak 1998 yılında ABD ve Japonyalı araştırmacılar 5 yıl süren ortak bir çalışma yapmışlar ve temel ayırıcı seviyesinde yerleştirilmek üzere yarı aktif sönümleyiciler geliştirmişlerdir. Bu tür yarı aktif temel ayırıcıları sayesinde hem temel ayırıcılar korunmakta hem de üst yapıdaki katlar arası deplasman ve ivmeler artmamaktadır (Aldemir ve Aydın, 2005).

### 3.4 Karma Kontrol Sistemleri

Bu tip kontrol sistemlerinde hem pasif kontrol sistemi hem de aktif kontrol sistemi bir arada bulunmaktadır. Her iki sistem de birbirleri ile etkileşime girmeden kendi içlerinde çalışarak, karşılıklı olarak olumsuzlukları gidermeleri amacıyla aynı yapı üzerinde

kurularak karma kontrol sistemlerini oluşturmaktadırlar. Buradan da anlaşılacağı üzere karma kontrol sistemleri, pasif kontrol sisteminin faya yakın b6lgelerde y6ksek periyotlu zemin hareketi karşısında iş g6remez hale gelmesine karşı yapıya aktif kontrol sistemi kurulabileceği gibi aktif veya yarı aktif kontrol sisteminin ihtiyaç duyduğu enerjinin deprem esnasında kesilmesi riskine karşı yapıyı korumasız bırakmamak amacıyla da pasif kontrol sistemleri kullanılabilir (Toprak, 2012).

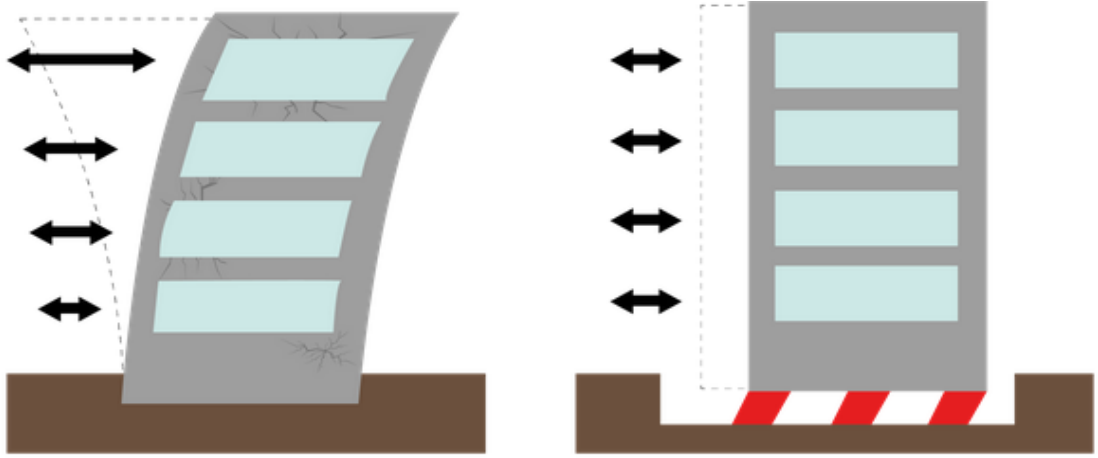
Bu kontrol sistemlerinin performansları y6ksektir ancak iki farklı kontrol sisteminin bir arada kullanılması gerekliliğinden dolayı projelendirilmesi karmaşıklık g6stermektedir.

## BÖLÜM IV

### SİSMİK İZOLATÖRLER VE KULLANIM ALANLARI

#### 4.1 Giriş

Sismik izolasyon, geleneksel yapı tasarımından farklı olarak sismik enerjinin yapıya aktarılan kısmının, yapının periyodunun uzatılması ile azaltılması amacına dayanmaktadır. Yapının periyodunu uzatarak yapıyı deprem hâkim periyodundan uzaklaştırmayı ve ayrıca izolasyon sisteminde sönümleme mekanizmalarıyla sismik enerjiyi sönümlemeyi amaç edinmektedir. Böylelikle yapının kat ivmeleri ve görelî kat ötelemeleri azalmaktadır. Ancak, artan periyot ve rijit blok davranışı nedeniyle yapı tabanında yani izolatör sisteminde meydana gelecek görelî olarak büyük sayılabilecek deplasmanların kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması güvenlik açısından önemlidir (Celep ve Kumbasar, 2004; Tezcan ve Cimilli, 2002).



Şekil 4.1. Klasik yapı ve sismik izolasyonlu yapı

Büyük bir depremden insanların sağ çıkması, sosyal ve ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilmesi, yapıların işlevlerinin aksamadan devam etmesi gerekmektedir. Bir yapının sahibi veya yöneticisi, ne büyüklükte bir deprem yaşanırsa yaşansın, depremin hemen ardından evine, işyerine gidip normal hayatına, üretimine kaldığı yerden devam etmek istemektedir. Bu istekler ve gereklilikler doğrultusunda mevcut deprem yönetmeliklerinden daha ileride bir tasarımın gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Çünkü

temel amacı can güvenliği olan klasik deprem yönetmelikleri yetersiz kalmakta ve bu noktada en güvenli, çağdaş ve güncel yöntem deprem izolasyonu teknolojisi kaçınılmaz olmaktadır. Büyük bir depremde meydana gelen ana ve artçı şoklar hem fiziksel hem ekonomik zararlar oluşturmaktadır. Bu sebeple deprem sonrasında oluşacak zararlar, yapılarda gözle görülen somut hasarların çok daha ötesinde boyutlara ulaşmaktadır. Zararın gerçek boyutu haftalar, aylar, hatta yıllar geçmeden tam olarak anlaşılabilir. Maalesef birçok kurum ve kuruluşlar, bu tür ekonomik artçı şoklara karşı emniyette değildir. Günlük faaliyetlerin kesintiye uğraması riskini ortadan kaldıran ve emniyet sağlayan teknoloji Deprem İzolasyonu' dur.

Deprem enerjisinin yapıda değil yapıya konulan sismik elemanlarda toplanarak sönmülmesi deprem izolasyonunun temel amacıdır. Böylece yapının depreme dayanımı artmaktadır.

İzolatörler yapıya deprem hâkim periyodundan daha büyük bir periyot kazandırarak, yıkıcı deprem etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremlerde oldukça başarılı performans gösteren bu sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Şu aşamada bu sistemin uygulanmasının çok da ucuz olduğu söylenemez ancak insan hayatının önemiyle kıyaslanamayacağı için kullanımının giderek yaygınlaşması beklenmektedir. Özellikle depremden sonra hemen kullanılması gereken hastane, itfaiye binaları, havaalanları, enerji ve haberleşme tesisleri ile idari binalar, okullar, alışveriş merkezleri gibi insanların toplu olarak bulunduğu özel yapılarda bu sistemlerin kullanılmasının yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmesinin oldukça yararlı olacağı belirtilmektedir (Yücesoy, 2005).

#### **4.2 Sismik İzolatörlerin Tarihçesi**

İlk olarak 1909 yılında İngiltere'nin Scarborough şehrinde tıp doktoru olan Calantarients tarafından kayıcı bir sistem önerilmiş olup bu sistemde, temel ayırıcı malzeme olarak kum, mika ve pudra kullanılarak yapı ile temel birbirinden ayrılmış, yapının yatay yükler altında kayma hareketi yapacağı ve üstyapıya aktarılan kuvvetlerin azalacağı düşünülmüştür. Bu yöntemin patenti alınarak boru hatlarında uygulanmıştır.

Depreme karşı güvenliğin artırılmasındaki yaklaşımlardan biri binaların birinci katının esnek yapılması fikridir. Bu yaklaşım ilk olarak 1929 yılında Martel tarafından önerilmiş daha sonra 1935 yılında Green ve 1938 yılında Jacobsen tarafından çalışmalar yapılmıştır. Fintel ve Khan ise deprem hareketinde oluşan taban kesme kuvvetlerini azaltmak amacıyla birinci kat kolonlarının akma dayanımlarının yüksek olması gerekliliğini ortaya çıkarmışlardır.

Sismik izolatör sistemleri uygulaması yakın dönemlerde gerçekleşmiştir. Bugün dünyanın pek çok yerinde kullanılan kurşun-kauçuk izolatörler 1970'lerde Yeni Zelanda' da Dr. Robinson tarafından bulunup geliştirilmiştir. Sismik izolatör sistemleri, çok kapsamlı araştırmalar ve geliştirmeler sonucu ortaya çıkmıştır.

Sismik izolatörlerin ileri imalat teknolojileri ve gelişmiş mühendislik tekniklerine sahip sayılı uzman firmalar tarafından imâl edilmeleri ve patentlerinin alınmaya başlanması ise 25 yıl öncelerine dayanmaktadır. 1980'li yıllardan itibaren başta Japonya, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Malezya, Şili, Meksika, Portekiz, Bangladeş, Danimarka, Azerbaycan, Fransa, Dubai, Yeni Zelanda, İtalya olmak üzere; Türkiye, İngiltere, Hindistan, Yunanistan, Romanya, Çin, gibi pek çok ülkede sismik izolatörlerin birçok farklı uygulama türleriyle karşılaşılmaktadır.

#### **4.2.1 Türkiye de sismik izolasyonun gelişimi**

Türkiye'de izolasyon kavramı özellikle Marmara depremi sonrasında önem kazanmıştır. Ekipman ve donanım eksikleri sebebiyle Türkiye'de az sayıda üniversitede bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmaların büyük bir bölümü yüksek lisans ve doktora tezleri şeklindedir. Türkiye'de izolatörlü yapılar ile ilgili yönetmelik ve şartnameler bulunmamaktadır.

Bu konuda yapılmış olan çalışmaların eksikliğine rağmen Türkiye'de az sayıda da olsa sismik izolasyon bakımından dünyada önemli sayılabilecek yapılar inşa edilmiştir.

Bunlar;

- Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) otoyolu viyadükleri,
- Gümüşova-Gerede otoyolu viyadüğü, (Bolu viyadüğü)
- İstanbul Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Binası,
- Aliğa'daki Sıvılaştırılmış Gaz Depolama Terminali,
- Kocaeli Üniversite Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
- Antalya Havalimanı Uluslararası Dış Hatlar Terminali,
- Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müd. Söğütözü Kongre ve Tic. Merkezi,
- Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
- Türk Ekonomi Bankası (TEB) Genel Müdürlüğü binasıdır.

Depreme karşı yapı tasarımında yeni bir teknoloji olan sismik izolatörlerinin kullanılması, genel olarak sistemin yeni olmasından dolayı maliyeti yüksektir. Bu sisteme ilişkin deneysel çalışmalar, teorik ve pratik tecrübeler arttıkça, sistemin uygulama alanı ve rekabet ortamı gelişme gösterecektir. Bu da sistemin maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır (Tolay, 2006).

#### **4.3 Sismik Yapı İzolasyonu**

Deprem anında aktif fay hareketlerinin oluşturduğu deprem yatay kuvvetleri binanın alt katlarından yukarıya doğru çıktıkça artmakta ve yapılara gelen deprem kuvvetleri çok büyük boyutlara ulaşmaktadır. Yapıda oluşan deprem kuvvetinin şiddeti; yapı ağırlığına, yapının periyoduna, zeminin cinsine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca yapıların elastik olarak taşıyabilecekleri yükler ise sınırlıdır. Yaşanan pek çok depremde yapıların, ağırlığının %10' u gibi bir yatay yüke elastik olarak karşı koyabileceği yapılan çalışmalar doğrultusunda verilmektedir.

Zemin-yapı etkileşimi, büyük yer hareketlerinden dolayı yapılar üzerinde büyük hasarlara ve can kayıplarına neden olmaktadır. Üst yapıyı, kendisine deprem hareketini ileten zeminden ayırmak amacıyla kullanılan izolasyon teknikleri deprem hareketlerinin yapı üzerindeki etkilerini oldukça azaltmaktadır. Bu amaçla kullanılan sismik yalıtım araçlarına "taban izolatörü" veya "sismik izolatör" denilmektedir (Şahin, 2001).

Sismik yapı izolasyonu; yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistem olup yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, binaların periyodunu artırarak binaya gelen sismik enerji kapasitesini azaltma esasına dayanan depreme dayanıklı bir düzenleme sistemi olarak da tanımlanabilmektedir.

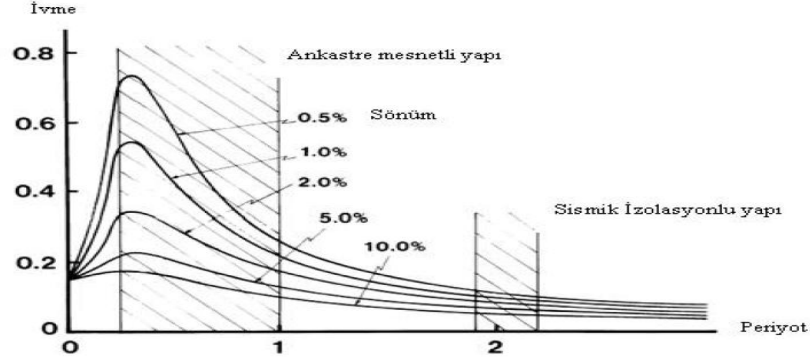
Taban izolatörü kullanımında yapı ile temel arasına yerleştirilebilen yatay rijitliği düşük, sönüm oranı yüksek elemanlar sayesinde yapının periyodu artırılarak meydana gelen deprem kuvvetinin üst yapıda hasar oluşturmadan sönümlenmesi amaçlanmaktadır.

Yapılarda sismik taban yalıtımının yapılmasının pek çok faydaları olmaktadır. Bunlardan bir tanesi, yalıtım işleminin yapının hâkim frekansını azaltabilmesidir. Dolayısıyla, üst yapı rölatif olarak rijit kalmakta ve şekil değiştirmeler daha çok yalıtım cihazlarında meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, yapının deprem hareketine karşı direnci artmaktadır. Diğer bir faydası ise, deprem hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler azalmakta ve yalıtım sistemi, yapının kullanımda olumsuz değerlendirmelere neden olmaksızın yapıya esneklik kazandırabilmektedir (Tolay, 2006).

Sismik izolasyonlu yapı yaklaşımında; yapının depremde meydana gelecek yatay yüke göre 5-6 kez daha düşük bir yükü taşıyabilmesi esas alınmaktadır. Şiddetli depremde ise yapının depreme karşı dayanması ve yıkılmaması; deprem sonrası stratejik önem arz eden iletişim, savunma, sağlık gibi sektörlerde hizmetin durmadan devamı sağlanmalıdır.

Sismik izolatör, kullanıldığı yapıların titreşim periyodunu aynı taşıyıcı sistem özelliklerini taşıyan taban ankastre yapılara göre artırmaktadır. Taban ankastre yapılarda hâkim periyot düşük olduğundan yapının yüksek frekanslı yer hareketi esnasında rezonansa girme ihtimalleri yüksektir. Bu tür yapılar davranışları itibarı ile genellikle deprem esnasında zeminden aktarılan ivmeleri yükseklikleri boyunca arttırmaktadırlar. Bu durum ise görelî kat ötelenmelerinin ve kat ivmelerinin artmasına sebep olmaktadır. Sismik izolatörlü yapıların ilk üç titreşim modu diğer bir ifade ile hâkim modları izolatör sisteminin getirdiği ilave modlar olduğundan yapı bu modlarda salınım yaparken hemen hemen tüm deformasyonun izolatör seviyesinde olduğu üst yapının rijit

kütle hareketi yaptığı gözlenmektedir. Yapının zemin hareketi sebebiyle yaptığı deplasmanın büyük oranda izolatör seviyesinde gerçekleşmesi ile taban ankastre yapılarda karşılaşılan problemler ortadan kaldırılmış olmaktadır (Toprak, 2012).



Şekil 4.2. Ankastre mesnetli ve izolatörlü yapı için ivme- periyot grafiği (Doğan, 2007)

#### 4.3.1 Sismik yapı izolasyonunda zemin- yapı etkileşimi

Depremler yer hareketi ile yapıyı salınımaya zorlamaktadır. Yapının salınım süresinin her bir devrine yapının salınım periyodu denir. Yapının periyodu yapı yüksekliğine, zemin cinsine ve depremin şiddetine yakından bağlıdır. Tek katlı bir yapının salınımı saniyede 10 defa olması yapı periyodunun 0.1 saniye olması demektir. Örneğin Ankara'da bulunan Kızılay binasının ölçülen salınımı 1.5 saniye olması binanın deprem sırasında bir defa gidip gelmesi 1.5 saniyede anlamındadır. Yani yapılar yükseldikçe periyotları da artmaktadır. Yapıların periyotları yanında üzerinde buldukları zeminlerinde bir periyodu vardır. Örneğin sert kaya zeminlerin periyodu 8-10 saniye olurken yumuşak zeminlerin periyodu 1-3 saniye olmaktadır. Deprem esnasında yapının periyodu ile zeminin periyodunun birbirine çok yakın olduğu durumlarda yapının rezonansa girmesinden dolayı deprem hasarı beklenenin çok üzerinde olmaktadır. Bu durum deprem esnasında yapıya gelen kuvvetin her seferinde yapının hızını artıracak şekilde etkimesidir. Örneğin periyodu 0.7 saniye olan dolgu bir zemin üzerine periyodu 0.6-0.8 saniye olan 10 katlı bir yapı ile 0.1 saniye olan bir tek katlı yapı yapılmış ise depremde 10 katlı yapı dayanıklıda yapılmış olsa tek katlı binadan daha çok hasar görebilmektedir. Bunun nedeni yapının periyodu ile zeminin periyodunun birbirine yakın olmasından dolayı ortaya çıkan rezonans olayından kaynaklanmaktadır. Genel olarak “uzun periyotlu yapıların kısa periyotlu zeminler üzerine, kısa periyotlu

yapılarında uzun periyotlu zeminler üzerine yapılması” depreme dayanıklı yapı yapmanın önemli bir aşamasını oluşturur. Yani kaya zeminler üzerine çok katlı yapılar, yumuşak zeminler üzerine az katlı yapılar yapılmalıdır (Doğan, 2005).

#### **4.3.2 Sismik izolatör tasarımının temel faktörleri**

Binalarda uygulanacak deprem yalıtım sisteminin ana amacı yapının yatay yük taşıyıcı sistemine gelecek deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Bu azaltımın sağlanması için yalıtılmış yapının temel titreşim periyodunun yükseltilmesi ve/veya yapı etkin sönüm oranının artırılması gerekmektedir. Binalarda yalıtıcı birimlerden oluşan yalıtım sistemi genellikle binanın ana kütlesi altında yer alan bir yalıtım ara yüzüne yerleştirilmektedir (Erdik ve Mungan, 2007).

Sismik izolasyondan beklenen özellikler; düşey rijitliğin yüksek, yatay rijitliğin düşük olmasıdır. Düşey yük taşıma kapasitesi ve enerji sönümleme oranının yüksek olması; deprem sonrasında yapının eski haline geri dönmesi ve tekrar yapıya dayanım kazandırması olarak sıralanabilir. Sismik izolatör tasarımı için istenen performans kriterleri kullanılacak şartnameye bağlı olarak değişiklik gösterse de genelde aşağıdaki kriterler dikkate alınmaktadır;

- Tasarım Depremi (50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip yer bağımlı deprem yer hareketi) etkisi yapısal sistemde herhangi bir hasar oluşmayacak ve tasarım deprem sonrası en az “Hemen Kullanım” olmak üzere performans kriteri sağlanacaktır (Erdik ve Mungan, 2007).
- En büyük Deprem (50 yılda %2 aşılma olasılığına sahip yer bağımlı deprem yer hareketi) etkisi altında deprem yalıtım sisteminde herhangi bir hasar oluşmayacak ve yapısal sistemde en az “Can Emniyeti” performans kriteri sağlanacaktır (Erdik ve Mungan, 2007).

#### 4.4 Sismik İzolatör Kullanım Alanları

Bir deprem sonrasında hemen kullanım gerektiren, önem arz eden yapılar aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir;

- Hastaneler, Sağlık Ocakları
- Nükleer Enerji Santralleri
- Depolama Tankları
- İtfaiye Yapıları ve Tesisleri
- Konutlar, Oteller, Yüksek Deprem Performansı istenen tüm yapılar
- Köprüler, Viyadükler
- Kontrol ve Bilgi İşlem Merkezleri
- Telekomünikasyon Yapıları
- Tarihi binalar, Müzeler

Sismik izolatörler yaygın olarak deprem sonrası ayakta kalması gereken yapılarda, işyeri binaları ve konutlarda kullanılmaktadır. Sismik izolatörlerin maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı çoğunlukla hayati önem taşıyan yapılarda kullanım örneklerine rastlanırken konutlarda yaygın olarak kullanımı henüz mevcut değildir. Ayrıca sismik izolatörlerin teknik açıdan sağladığı yararlar günümüzde yaygın olarak bilinmemektedir.

Sismik izolasyon tekniğinin yaygın olarak kullanıldığı bir diğer alan da yatay yönde gerekli sünekliliğe sahip olmayan zayıf ve gevrek yapıların güçlendirilmesidir. Mimari detayların değiştirilemediği eski binaların güçlendirilmesinde sismik izolasyon tekniği en iyi yöntem olarak kabul edilmektedir. Buna ilave olarak, sismik izolasyon yaklaşımı sismik riski yüksek bölgelerde bulunan ve şiddetli depremlere dayanabilecek şekilde tasarlanmamış yapı ve tesislerin güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır (Yavuz, 2008).

Pahalı bir sistem olduğundan dolayı her yapıda kullanılamamakta ve gelişmekte olan ülkelerde de sıkıntılı bir sistem olmaktadır. Bu gibi sorunları ortadan kaldırmak amacıyla bu sistemlerin daha düşük maliyetle geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

#### 4.5 Sismik İzolatör Kullanılacak Yapılara İlişkin Koşullar

Sismik izolatör kullanılacak yapılarda uyulması gereken bazı temel koşullar bulunmakta ve bunlar hem mühendisler hem de mimarlar tarafından bilinmesi ve uygulanması gereken durumlardır. Bu koşullardan bazıları aşağıda açıklanmaktadır;

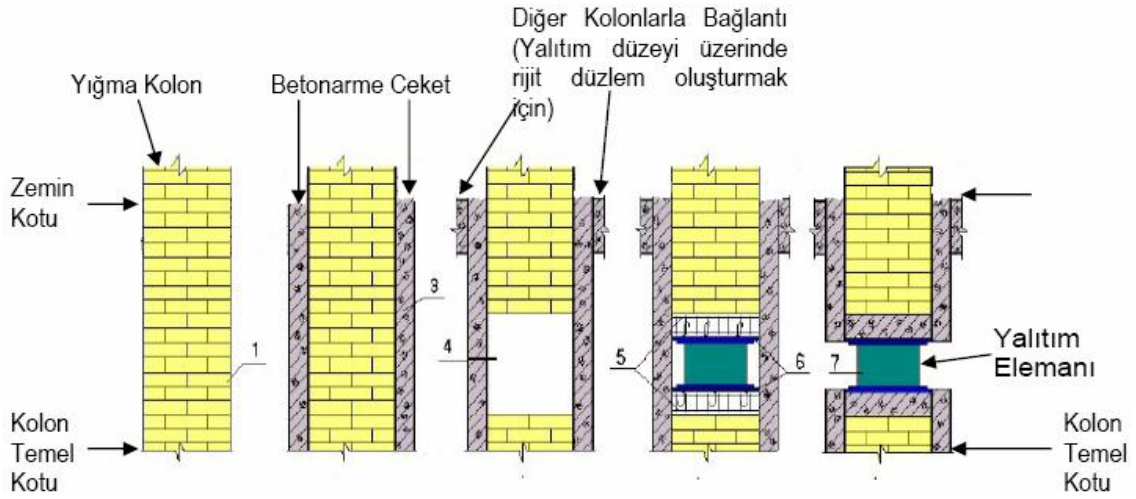
- Sismik izolatör uygulanmış yapı yatay yönde belli bir miktar deplasman yapmaktadır. Bu nedenle yapının etrafında izolatörlerin yer değiştirme kapasitesi kadar boşluk olmalıdır. Örneğin deprem derzine sahip olmayan bitişik nizam yapılarda, taban izolatörü tekniğini uygulamak mümkün değildir. Çünkü bu tür yapılarda deprem enerjisini sönmüleyecek boşluk olmadığı için izolatör uygulamakta mümkün olmamaktadır (Komodromos, 2000).
- Yapının tesisat bağlantıları düzenlenmelidir. Depremler sırasında yapının dışarıyla bağlantısını sağlayan elemanların, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz vs. bağlantıların yapının deprem hareketiyle yapacağı yer değiştirme sonrasında herhangi bir tahribat göstermemeleri gerekmektedir. Bu nedenle tesisat ekipmanlarının hepsinin deplasman için bırakılan boşluk kadar esneme kapasitesine sahip olması gerekmektedir (Komodromos, 2000).
- Süneklik düzeyi yüksek yapılar için sismik izolatör kullanımı gerekli olmamaktadır. Bunun en önemli nedeni, bu tür yapıların sahip oldukları etkin periyotları genellikle rezonans frekansı sınırları dışında kalmaktadır. Sismik izolatörün başlıca özelliği olan yapı periyodunu uzatarak katlara etkiyen ivmelerin azaltılması ve zeminin baskın frekansı ile üst üste düşen yapı etkin titreşim frekansının neden olduğu rezonanstan kaçınmak için bu tür sünek yapılarda sismik izolatör önemli bir etki alanına sahip değildir (Soyluk, 2010).
- Yapıların periyotlarının uzatılması yumuşak zeminler üzerine inşa edilmiş yapılar için zararlı olmaktadır. Yer hareketinin uzun periyotlarda ki bileşenlerinin daha büyük olabildiği yumuşak zeminlerde sismik izolatör konularak yapı periyodunun artırılması halinde yapıya gelecek deprem yükü artacaktır (Bayülke, 2002).

Sismik izolatör uygulanan yapı izolatör seviyesinde çok büyük deplasman yapmaktadır. Bu hareket serbestliğinin sağlanması için yapının dörtkenarında da izolatörün yer değiştirme kapasitesi kadar mesafe bulunmalıdır. Mevcut bir binaya izolatör uygulanması durumunda ilk önce bu şart gerçekleştirilmelidir. Çünkü bu şart sağlanmadan diğer yapılacak işlemlerin hiçbir önemi olmamaktadır. Bitişik nizam yapılarda yapının tek doğrultuda deplasman yapması istenilen izolatör faydasını sağlamadığından ötürü bu tür yapılara sismik izolatör uygulanması yararlı değildir. İzolatörle birlikte yapının deplasman miktarı artacağından dolayı tesisat bağlantılarının düzenlenmesi ve yeterli esnekliğin sağlanması gerekmektedir. Elektrik, telefon, doğalgaz gibi tesisat bağlantı elemanlarında deplasman sırasında kopma meydana gelmemelidir.

#### Tarihi binalarda sismik izolatör kullanımı

Depreme karşı güçlendirme işinin geleneksel tasarımlarında; perdeler, çerçeveler ve destekleyiciler gibi yeni taşıyıcı elemanların sisteme ilave edilmesi gerekmektedir. Taban yalıtımı ise, binaya aktarılan depremsel kuvvetleri azaltarak, böylesi güçlendirme işlemlerine duyulan gereksinimi en aza indirmektedir. Bundan dolayı taban yalıtımı görünümü ve özellikleri korunmak zorunda olan tarihsel ve mimari değerleri bulunan binalar için tercih edilen bir iyileştirme yaklaşımıdır. Ancak binanın izolatörlere oturmasını sağlamak için tabanında değişiklik yapmak, izolatörler için yeni bir temel sistemi inşa etmek, temel ve yalıtım sistemlerinin inşası esnasında binayı askıya almak zor ve pahalı bir iştir. Bundan dolayı dünyada sismik izolatör uygulanmış tarihi bina sayısı oldukça azdır. Amerika Birleşik Devletlerinde taban izolatörü ile ilk güçlendirme örnekleri 20.yy' in başlarında inşa edilmiş yapılarda kullanılmıştır. Bunlardan birkaçı; Los Angeles City Hall, Oakland City Hall, San Francisco City Hall ve Salt Lake City Hall'dür. Yeni Zelanda'da taban izolatörü ile güçlendirmenin en önemli örneği Parliament Buildings' tir (Soyluk, 2010).

Tarihi kâgir binalarda izolatör uygulama yöntemi Şekil 4.3.' de verildiği gibi yığma kolonun etrafına betonarme ceket yapıldıktan sonra sismik izolatör yerleştirilecek kısımdan duvar parçaları kesilerek izolatör koyulması şeklinde yapılmaktadır.



**Şekil 4.3.** Kagir yapıda izolatör yerleşiminin şematik gösterimi (Aydın vd., 2007)

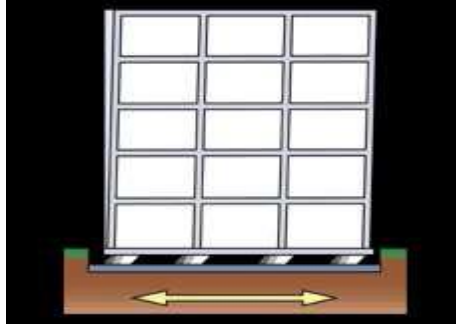
#### 4.6 Sismik İzolatörlerin Sağladığı Avantajlar ve Dezavantajlar

Sismik izolatörler ülkemizde çok yaygın kullanılmamakla birlikte yapılara sağlayacağı avantaj ve dezavantajları hakkında da bilgi sahibi olan çok az kişi bulunmaktadır. Kullanılacak olan her izolatör sisteminin kendine özgü avantajları yanında dezavantajlarında olduğu unutulmamalı ve istenilen amaç doğrultusunda en uygun izolatör sistemi seçilmelidir.

- Can güvenliğinin yüksek olması,
- Yapı taşıyıcı sisteminde, mimarî elemanlarında minimum deprem hasarının olması,
- Şiddetli depremlerden sonra hemen kullanım düzeyi,
- Hemen kullanım sayesinde iş kaybının önlenmesi ve pazar payının korunması,
- Yapıdaki değerli eşya ve cihazlarda etkin koruma sağlanması,
- Ulaşım yapılarında süreklilik,
- Köprü ve viyadüklerin hasar görmeden kullanılması,
- Yıkılma ve hasar yaşanmayacağından yeniden inşaat ya da onarım maliyetlerine gerek kalmaması,
- Minimum bakım gereksinimi,
- Araştırma ve geliştirme projelerinin korunması,
- Tarihî bina ve değerlerin korunması,
- Kat ivmelerinin azalması,

- Yapı maliyetinde artış oluşması,
- Yapıya gelen kuvvetlerde azalma görülmesi,
- Katlar arası deplasmanların küçülmesi vb. olarak sıralanabilir.

İzolatörsüz olarak tasarlanmış bir binada deprem sırasında katlar arasında farklı yanal deplasmanlar oluşmakta, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistem elemanlarında hasarlar meydana gelmektedir. Özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki zorlanmalar ve hasarlar daha büyük boyutlarda olmaktadır. Güçlendirme yöntemlerinin bu birleşim bölgelerinde uygulanması zor ve zahmetli olmasının yanında sismik olarak yalıtılmış bir binada deprem esnasında katlar arasında yanal deplasmanlar arasındaki fark çok büyük olmayacağından bu zorlanmalar minimum düzeyde kalmaktadır.



**Şekil 4.4.** İzolatörlü yapıda kolon-kiriş birleşim bölgesinde minimum zorlanma (dis-inc)

Sismik izolasyon teknolojisinin bütün bu sayılan avantajlarına karşı dezavantajları ise oldukça sınırlıdır. Bunlara örnek olarak izolatör sistemleri, tasarımlarında kullanılan depremlerden daha büyük depremlere maruz kaldıklarında izolatörler üzerinde yırtılma gibi kalıcı hasarlar oluşabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek için tasarım deplasmanını yüksek seçmek yapıyı devirici momentin artmasına sebep olacağından doğru bir yaklaşım olmamaktadır (Öztürk, 2007).

Sismik izolasyonun maliyeti yaklaşık olarak hesaplanırsa, ek olarak yapıda ikinci bir bodrum veya zemin katın yapımına ihtiyaç duyulma gerekliliği de dikkate alınmalıdır. Temel kazısı normalden daha derin olmalı ve tüm temel çevresinin istinat duvarıyla çevrelenmesi gerektiğinden bu da yapıya ek bir maliyet getirmekte ayrıca izolatör yerleşimi için temel kirişleri ve bağlantılarının yapılması da ayrı bir maliyettir. Asansör veya merdiven tertibatlarının, yatay hareketi engellemeyecek şekilde düzenlenmesi,

servis bağlantılarının esnek birleşimlerinin oluşturulması ve izolatör seviyesinde deplasman mesafesinin ayarlanması mevcut yapılardan farklı olarak, izolatörlü yapılarda sağlanması gereken hususlar arasındadır. Bütün bu sistemlerin imalat hesapları da maliyete dâhil edilmeli ve izolatör maliyeti de hesaplanmalıdır. Bütün bunlarda yapı maliyetinin yaklaşık olarak %2-%4 ü arasında bir ek maliyete denk gelmektedir (Yücesoy, 2005).

#### **4.7 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Mekanik Özellikleri**

Sismik izolatörlü bir sisteme sahip yapının deplasmanlarının, ivmelerinin, kesme kuvvetlerinin ve diğer yapısal tepki parametrelerinin maksimum değerleri tasarımda kullanılan izolatörlerin mekanik özelliklerine bağlıdır. İzolasyon sisteminin davranışı, taşıdığı kütle, sistemde mevcut olan sönüm sistemin rijitliğine göre değişmektedir. İzolasyon sistemleri, lineer veya lineer olmayan davranış sergilemektedirler. Lineer olmayan izolatör sistemleri, eşdeğer rijitlik ve eşdeğer sönüm kavramları kullanılarak lineer olarak da modellenabilmektedirler (Hışman, 2011).

İzolatörlerin tasarımı, daha önceden elde edilmiş veriler kullanılarak, sistemin maksimum yer değiştirmesi, kayma şekil değiştirmesi, taban kesme kuvveti, izolatörlerin stabilitesi ve yapının kolon yüklerine bağlı olarak üreticinin vereceği mekanik özellikler doğrultusunda seçimi ile başlamaktadır. Bu ön tasarım sonrasında, yönetmelik şartları doğrultusunda izolatörlerin kesin tasarımına ve matematik modelinin oluşturulması işlemine geçilmektedir. Matematik model oluşturulduktan sonra prototip test programları uygulanır. Test sonuçlarına bağlı olarak, gerekli tip ve sayıda izolatörler üretilip test edilerek yapıya montajına geçilmektedir (Doğan, 2007).

#### **4.8 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolatör Kullanımı**

Yapılarda taşıyıcı olmayan elemanlar ile taşıyıcı sistem elemanları bulunmaktadır. Yapılara kullanım süreleri içerisinde değişik şiddetlerde deprem kuvvetleri etki etmekte ve yapı tasarımında dikkate alınan en önemli husus; yapının ekonomik ömrü içinde olması beklenen en şiddetli depremde bile yıkılmadan ayakta kalabilmesidir.

Depremler sırasında zeminde gelişigüzel dalga hareketlerinin meydana gelmesi, yapılara büyük zararlar verebilmekte ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, arttırılan yapı rijitliğinin sonucunda yapı elemanlarının boyutları büyümekte ve yapı rijitliği artmaktadır. Zira sünekliliğin düşmesi yapının elastik olmayan bir özellik kazanmasına sebep olmaktadır. Şiddetli depremler sırasında, bu şekilde tasarlanmış olan bir yapının şekil değiştirmesi ani ve hızlı gerçekleşmekte ancak bu durum yapılar için istenmeyen bir özelliktir (Yücesoy, 2005).

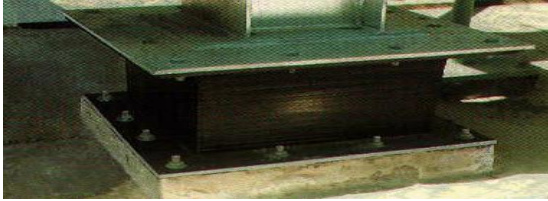
Depreme dayanıklı bir yapının elemanlarında beklenen davranışlar;

- Yapının ekonomik ömrü içinde olması beklenen çok sayıdaki hafif şiddetli depremlerde, yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarında, yapı içindeki eşyalarda hiç bir hasar meydana gelmemelidir.
- Yapının ekonomik ömrü içinde olacak orta şiddetli depremlerde mimari elemanlarda ve az da olsa taşıyıcı sistemde hasar başlangıcı olabilir. Yapılarda onarım yöntemleri kullanılarak yapıların işlevleri devam edebilmelidir ve kullanım aksamamalıdır.
- Yapının ekonomik ömrü içinde meydana gelecek en şiddetli depremde bile can kaybı olmamalı, bir başka deyişle taşıyıcı sistemde ileri düzeyde hasar olabilir, ancak yapı yıkılmamalıdır. İnsanların can güvenliği ve eşyaların emniyetli bir şekilde boşaltılması sağlanmalıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında, şiddetli depremlerden sonra yapıların yapısal elemanlarında sınırlı hasara izin verilmektedir. Sismik izolasyon yönteminde yapısal olan veya yapısal olmayan elemanlarda, katlar arasında, kullanılabilirliği engelleyecek herhangi bir deformasyon meydana gelmemektedir. Bundan dolayı depremlerden sonra yapılar güvenlikle kullanılabilirdiği gibi yapıda onarım ya da herhangi bir güçlendirme gerektirmeyeceği için ekonomik olarak da fayda sağlamaktadır (Yücesoy, 2005).

Depremi kuvvetli yer hareketinin etkisi altında yapı davranışı, yapının periyot ve sönüm gibi dinamik özelliklerine bağlı olmaktadır. Yapıların temellerinin sismik olarak yatay hareket için yalıtılması, yapıya gelen yatay yüklerin ve titreşim enerjisinin azaltılması depreme dayanıklı yapı tasarımında önerilebilecek bir seçenektir. Sistemin amacı bir yapıya etkiyen deprem yüklerinin azaltılması olduğundan bu cihazların özel tasarımları sayesinde deprem hareketi sırasında üst yapıya etkiyen deprem yükleri temele ankastre bağlı yapılara oranla önemli ölçüde azaltılmaktadır (Tolay, 2006).

Sismik izolatör kullanımıyla yapıda farklı katlarda oluşan farklı yatay hareketler yani katlar arası farklı yer değiştirmeler azaltılmaktadır. Böylelikle yapı daha kontrollü biçimde salınım göstermektedir. Bu sayede yapının kendisi, içindeki canlılar, değerli eşyalar vb. depremin etkisinden korunmuş olmaktadır.



a



b

**Fotoğraf 4.1.** Kauçuk esaslı (a) ve sürtünme esaslı sismik izolatör (b)

Yapılarda kullanılan sismik izolatör sistemlerinin sağlaması gereken bazı özellikler;

- Yüksek düşey rijitlik: Üstyapının ağırlığını bozulmadan taşıyabilmek için
- Düşük yatay rijitlik: Sismik izolatörlü yapının frekansının ankastre temelli yapının ve birçok şiddetli depremin baskın frekansından çok daha düşük olabilmesi için
- Düşey yük taşıyabilme
- Enerji yutumu: Sistemdeki yer değiştirmelerin kabul edilebilir düzeyde kalabilmesi ve olası bir rezonans durumunu bastırabilmek için
- Deprem sonrası yeniden merkezlenme: Üstyapının hemen hareket öncesindeki orijinal pozisyonuna geri dönebilmesi için
- Deprem harici yatay yükler karşısında yüksek yatay rijitlik (Soyluk, 2010).

Depreme dayanıklı geleneksel tasarım yöntemlerinde yapıların şiddetli deprem hareketlerine karşı direnci, ya yüksek süneklik ya da yüksek dayanım ile sağlanmaktadır. Bu yöntemlere alternatif olarak geliştirilen “sismik izolasyon” yönteminde ise, ana felsefe yapının tabanına esnek ve enerji sönmüleyici elemanlar yerleştirilerek yapının periyodunu artırıp zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Bir yapının etkin rezonans periyodu genellikle 0.1 ile 1.0 saniye periyot aralığındadır. Bu periyot aralığı aynı zamanda pek çok şiddetli depremin baskın periyot aralığını kapsamaktadır (Yavuz, 2008).

#### **4.9 Binaların Güçlendirilmesinde Sismik İzolatör Kullanımı**

Hasar görmüş bir yapıda hasarın giderilmesi ve yapının eski taşıma gücüne kavuşabilmesi için onarım ve güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Yapının hasar görmeden önceki taşıma gücüne ulaşması için yapılan uygulamalar onarım, hasar görmeden önceki taşıma gücünden daha yüksek bir taşıma gücüne sahip olması isteniyorsa yapılan uygulamalar güçlendirme olarak tanımlanmaktadır. Amaç, hasarın neden olduğu durumu ortadan kaldırmak ve yapının ekonomik ömrü içinde tekrar yaşayacağı depremlere karşı dayanım göstermesini sağlamaktır. Hasarın oluştuğu eleman ve buna neden olan durum saptandıktan sonra uygun bir güçlendirme yöntemi kullanılarak yapı sorunsuz bir şekilde görevini yerine getirmelidir.

Her yapı elemanının hasar sonucunda eski halinden daha iyi bir hale getirilmesi için uygulanan yöntemler farklılık gösterdiği gibi ekonomik açıdan da maliyetli olmaktadır. Mevcut bir binaya uygulanacak güçlendirme yöntemlerinin zorlukları bulunmaktadır. Bu zorluklar ve ekonomiklik düşünüldüğünde izolatör kullanılması daha uzun vadede hem ekonomiklik hem de kolaylık sağlamasından ötürü günümüz teknolojisi ve bilgisiyle yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesinde güçlü bir seçenek olmaktadır.

Yapı ağırlığı bir depremde yapıya etkiyecek deprem yüklerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Çünkü yapı ağırlığı artıka deprem sırasında yapıya etkiyecek olan yüklerde artmaktadır. Yapı ağırlığının azaltılmasıyla elemanlara gelen yükler azalacağından, yapı elemanlarındaki aşırı yüklemeyen kaynaklı çatlamanın başlaması

ve/veya ilerlemesi önlenmektedir. Deprem yükünü azaltmak inşaat mühendislerinin temel amacıdır.

Sismik izolatör kullanılmasıyla yapı elemanlarının kesitlerinin düşürülerek deprem sırasında yapıya etkiyecek olan deprem yüklerini azaltmak hedeflenmektedir. Böylelikle onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duyulacak ek masraflar ortadan kaldırılıp yapının ekonomik ömrü içerisinde sorun yaşamaması planlanmaktadır.

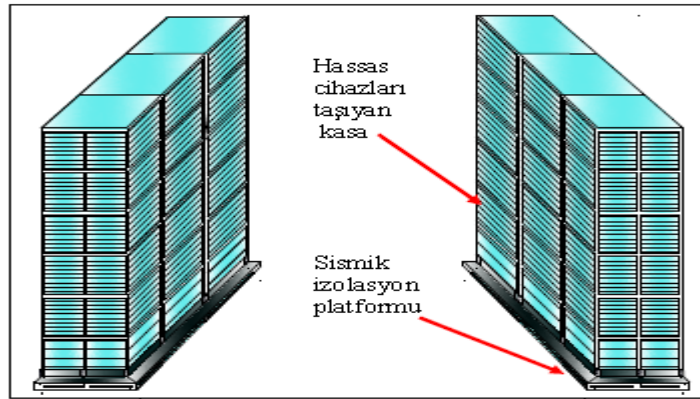
Yapının öz titreşim periyodu ile zeminin hâkim titreşim periyodunun yakın olması ile oluşan "Rezonans" sonucu bir yapı hasar görmüş ise, yapının dinamik özellikleri değiştirilip, yapı öz titreşim periyodu ile zemin hâkim periyodunun birbirinden uzaklaştırılmasına çalışılmaktadır. Bunun için zeminin hâkim titreşim periyodunun belirlenmesi başka bir deyişle zeminin dinamik özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Yapı rijitliğinin üst katlardan aşağı doğru artması yapının sönüm oranını arttırmaktadır. Yapı depremden gelen enerjiyi kısa sürede sönümlenmelidir (Ayhan, 2006).

İzolatörlü yapı tasarımında da dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de rezonans durumudur. Çünkü izolatör kullanımıyla yapının periyodunun artırılıp yapıya gelecek yüklerin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak zemin sınıfları izolatör kullanılmadan önce bilinmesi gereken değerlerdir. Periyot değerinin büyük olduğu zeminlerde bir de yapıya izolatör koyulmasıyla yapı periyodu da artırılıp zemin periyoduna yaklaştırılırsa rezonans tehlikesi oluşabileceğinden bu gibi durumların tasarımdan önce dikkate alınması gerekmektedir.

#### **4.10 Sismik İzolasyon Platformları**

Sismik izolasyon sistemleri, tüm yapıyı korumak amacıyla kolonların altına yerleştirilebildiği gibi, sadece titreşime hassas cihazları korumak amacıyla bu cihazların bulunduğu kasaların altına da yerleştirilebilmektedir. Böylelikle, mevcut durumda taban ankastre olarak inşa edilmiş yapıların içerisinde, sadece çok hassas ve önemli cihazlar daha ucuza hem de pratik olarak deprem titreşimlerinden yalıtım sayesinde korunabilmektedir. Bu tür özel üretim sismik izolasyon sistemlerine, "sismik izolasyon

platformu” adı verilmektedir. Bu platformların üretimi dünyada ve yurdumuzda giderek yaygınlaşmaktadır. Data merkezlerinde, hava alanı kulelerinde, hastanelerde ve endüstriyel yapılarda titreşime hassas cihazları deprem titreşimlerine karşı korumak için bu platformlar kullanılmaktadır. Şekil 4.5’ de, sismik izolasyon platformları üzerine yerleştirilen ve hassas cihazları taşıyan kasalar görülmektedir. Bu platformlar, cihazı yapıdan veya zeminden izole ederek deprem titreşimlerini taşıdığı ekipmanlardan ayırmakta ve cihazlara hasar verebilecek deprem dalgalarının platformun taşıdığı ekipmana ulaşmasını engellemekte veya etkilerini azaltmaktadır. Böylelikle stratejik öneme sahip cihazların hasar görmesi engellenmektedir. İzolasyon platformu kullanılmadan zemine ankastre bağlanan hassas cihazları taşıyan kasalar deprem titreşimlerini genellikle büyütürken cihazlara aktardığından arızalanma ve parçalanmalara sebep olmaktadır. Sismik izolasyon platformları ile izole edilen kasalar deprem titreşimlerini azalttığından cihazlar etkin bir şekilde korunmaktadır (Hışman, 2011).



Şekil 4.5. Sismik izolasyon platformlarına yerleştirilmiş kasalar (Hışman, 2011)

#### 4.11 Sismik Taban İzolatör Çeşitleri

İzolatör kullanımının yararları kabul görmeye başladığından beri teknolojik ilerlemelerden ve gelişmelerden faydalanarak çeşitli sismik izolatörler tasarlanmaya başlanmıştır. Çoğunun çalışma prensibi aynı olmasına karşılık bazı özellikleriyle birbirlerinden ayrılırlar. Başlıca sismik taban izolatör çeşitleri aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

- A. Elastomerik İzolatörler
  - 1. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler
  - 2. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler
  - 3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler
  
- B. Yay Tipi İzolatörler
  - GERB İzolatörleri
  
- C. Kaymaya Dayalı İzolatörler
  - 1. Elastik sürtünmeli taban izolatör sistemi
  - 2. Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler (FPS)
  - 3. Fransız elektrik kurumu sistemi
  - 4. TASS sistemi
  - 5. EERC birleşik sistem

#### **4.11.1 Elastomerik izolatörler**

Taban izolasyonu sisteminde kullanılan izolatörler tipleri, şekilleri, büyüklükleri ve yapıldıkları malzemeler bakımından farklılık teşkil etmektedirler. İzolatörlerin büyük çoğunluğu elastomer malzemedendir yani doğal ya da sentetik kauçuktan üretilmektedir. Elastomer malzeme kalıba kolayca dökülebildiği için istenilen şeklin verilmesi bakımından oldukça avantajlıdır. Ayrıca metallerle aderansı oldukça güçlüdür. Elastomerik mesnetler; düşük sönümlü doğal veya sentetik kauçuk mesnetler, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetler olarak üçe ayrılabilir (Soyluk, 2010).

Elastomerik yastıklarda sönüm, ya yastığın ortasına yerleştirilen kurşun çekirdek yoluyla ki bu tip yastıklar “kurşun çekirdekli elastomerik yastıklar” olarak adlandırılır ya da yastığın üretildiği elastomer karışımının içine ilave edilen sönüm artırıcı katkı maddeleriyle ki bu tip yastıklar “düşük ve yüksek sönümlü elastomerik yastıklar” olarak adlandırılmaktadır (Yavuz, 2008).



**Fotoğraf 4.2.** Kauçuk durdurucu ve çelik plaka (Doğan, 2007)

Yapılan statik hesaplar neticesinde kauçuk mesnetler yapıda kolonlar arasına, kolon tabanına, kat altına olmak üzere üç şekilde yerleştirilmektedir. Kauçuk izolatörlerin uygulandığı temel taban yüzeyi ile yastıkların üstü arasında en az 50 cm. lik bir mesafe bulunmalı ve bu kısım izolatör katı olarak isimlendirilmektedir. Elastomerik izolatörlerin rijitliği kauçuklar arasına yerleştirilen paslanmaz ince çelik levhalar sayesinde artırılmaktadır.

Fotoğraf 4.2. de deprem esnasında yapının izolatör katı seviyesinde maksimum deplasmanı yapması durumunda yapının zarar görmemesi için yerleştirilen kauçuk durdurucu (Doğan, 2007) ve çelik plaka görünümü verilmektedir.

Elastomerik izolatörler yüksek basınç ve sıcaklık altında çelik ve kauçuk tabakaların tek bir seferde birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Dairesel ve kare olmak üzere iki farklı geometrik şekilde üretilmektedirler. Çelik plakaların yatay rijitliğe etkisi bulunmamaktadır.

Kauçuk mesnetlerde yatay esneklik kauçuk sayesinde, düşey rijitlik ise kauçuğa vulkanize edilmiş çelik plakalar ile sağlanmaktadır. Kauçuk izolatörler projenin gerektirdiği hallerde kayıcı tipteki izolatörlerle birlikte kullanılabilir. Kauçuk izolatörlerde deplasman kapasitesi izolatörün yüksekliği ile orantılıdır. Yükseklik arttıkça burkulma riski de artmaktadır. Bu gibi risklerin ortadan kalkması için farklı tipteki izolatörlerle kullanımı avantaj sağlamaktadır.

Kauçuk yalıtım sisteminin deprem yalıtımı için ilk kullanımı 1969 yılında Üsküp, Makedonya’ da bir ilkokul binasında gerçekleştirilmiştir. Bu projede kullanılan kauçuk

mesnetlerde, bugünkü kauçuk mesnetlerdeki yüksek düşey rijitlik sağlayan ara güçlendirici çelik plakalar kullanılmamıştır ve bunun sonucu olarak kauçuk, bina ağırlığı altında ezilerek yanlara bel verip deforme olmuştur. Kullanılan kauçuğun yatay ve düşey rijitliği aynı olduğu için, bina deprem anında öne arkaya yatacağıdır. Çelik plakalarla güçlendirilmiş kauçukların köprülerde yaygın olarak kullanılması ve geliştirilmesi ile bugünkü düşey yük taşıyıcı yatayda esnek, imalatı kolay ve dayanıklı mesnetler binalarda da deprem yalıtımı uygulamalarında yaygınlaşmaktadır (Düzel, 2010).

#### 4.11.1.1 Düşük sönümlü kauçuk izolatörler

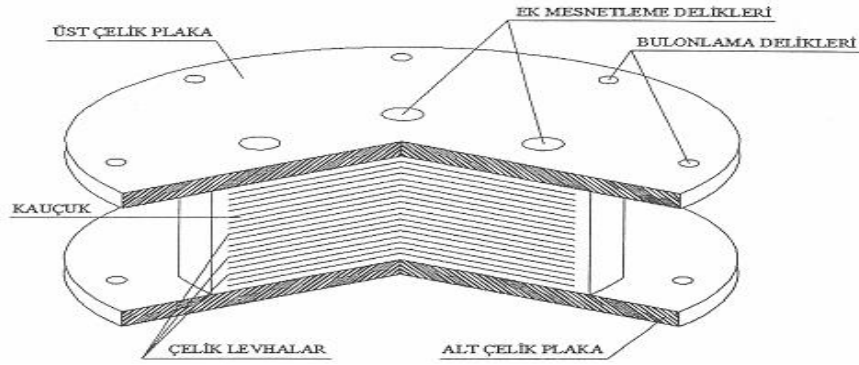
Düşük sönümlü kauçuk izolatör tipinde altta ve üstte iki adet kalın tabaka ve iki tabaka arasında birçok ince çelik levha bulunmaktadır. Kauçuk- çelik, yüksek ısı ve basınç altında preslenmiştir. Üst üste tabakalar halinde yerleştirilen çelik levhalar kauçuk tabakanın şişmesini önlemektedir.

Yatay rijitlik kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik, tabaka kalınlığı sabit tutularak kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Ancak yüksekliğin artması mekanizmada burkulmaya sebep olacağından yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmaktadır. Malzeme davranışları kaymada oldukça doğrusaldır ve sönüm oranı kritik sönümün %2-3 oranındadır. Düşük sönümlü bu kompozit elemanların avantajları, kolay modellenebilmeleridir. Üretimleri basittir. Mekaniksel davranışı zamandan, hızdan bağımsızdır ve çevresel şartlardan az etkilenmektedirler. Ancak -17 derecede sertleşmeye başlamaktadırlar. Üst sınır ise 82 derece olarak tasarlanmıştır. Dezavantajı ise ek sönümleme sistemlerine ihtiyaç duyulmasıdır (Soyluk, 2010).



**Fotoğraf 4.3.** Doğal kauçuk mesnet (Doğan, 2007)

Düşük sönümlü kauçuk izolatörün imalat aşamaları şu şekilde sıralanabilir; Doğal kauçuğa rijitlik ve sönüm artışı sağlamak için karbon siyahı koyulmaktadır. Böylelikle mekanik dayanım, çekme dayanımı artırılması amaçlanmaktadır. Daha sonra kauçuk rulo haline getirilip daire biçiminde istenilen kalınlıkta kesilmektedir. Bu kesilen kauçuklar kat kat yerleştirilip aralarına birkaç mm. kalınlığında çelik levhalar koyulmaktadır. Bu çelik levhaların yüzeyinin kauçuğa iyi yapışması için yüzey temizlenmekte ve yapıştırıcı malzemeler uygulanmaktadır. Son olarak kauçuk vulkanize edilmekte, paslanma ve yangına karşı koruma sağlamak amacıyla kalıbın çevresine kauçuk çeliği yerleştirilmektedir. Düşük sönümlü kauçuk izolatörün üretimi ve model oluşturulması kolay olmaktadır.



**Şekil 4.6.** Düşük sönümlü kauçuk mesnet kesiti ve elemanları

#### 4.11.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler

Yeteri kadar bünyesel sönüm içeren ve yapıda ekstra sönüm elemanlarına ihtiyacı ortadan kaldıran doğal kauçuk mesnetler 1982 yılında İngiltere'de geliştirilmiştir. Sönüm, ekstra karbon blok, yağ ve reçine gibi dolgu elemanlarıyla; %100 kayma şekil değiştirmesinde, sönüm %10 ile %20 arasında arttırılmıştır. Malzeme, %20'den küçük kayma şekil değiştirmelerinde, düşük sismik yük ve rüzgâr yükleri altında cevabı minimize eden, yüksek sönüm ve yüksek rijitlikte lineer olmayan davranış göstermektedir. %20-%120 kayma şekil değiştirmesi aralığında malzemenin kayma modülü düşük ve sabittir. Yüksek şekil değiştirmelerde ise kauçuktaki şekil değiştirme kristalizasyonu dolayısıyla malzemenin kayma modülü artmakta ve bu etken de enerji sönümlemesini arttırmaktadır. Rijitlikteki ve yüksek şekil değiştirmelerde ki sönümde artma, düşük sismik yükler altında rijit, tasarım seviyesindeki sismik yükler altında

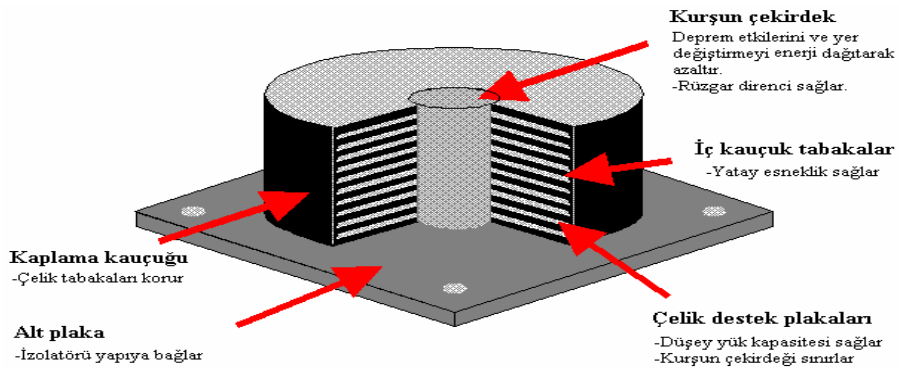
sünek ve lineer, tasarım seviyesini aşan sismik yükler altında ise deplasmanların sınırlanabildiği sistemler üretmek için kullanılmaktadırlar (Ayhan, 2006).



**Fotoğraf 4.4.** Yüksek sönümlü kauçuk izolatör modeli (Soyluk, 2010)

#### 4.11.1.3 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler

Kurşun çekirdekli izolatör modeli, 1975 yılında Yeni Zelanda'da geliştirilmiş olup Japonya ve ABD ülkelerinde de geniş bir alanda kullanılmaktadır. Model olarak düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetli izolatör modeline benzemektedir. Farkı, ortasında bulunan bir veya birden fazla kurşun çekirdektir. Kauçuk tabakalara ek olarak bir veya birden fazla kurşun çekirdek uygun deliklere yerleştirilmektedir. Çelik plakalar kurşun çekirdeği kayma deformasyonuna zorlamaktadır.



**Şekil 4.7.** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (Demir, 2008)

Sistem yatay kuvvetlere maruz kaldığında çelik tabakalar kurşun başlığı şekil değiştirmeye zorlanmaktadır. Kurşun çekirdek elastomer tabakaya sıkı sıkıya mesnetlidir ve yaklaşık akma gerilmesi 10 MPa'dır. Kurşun çekirdeğin enerji sönümleme kapasitesi izolatörün yatay yer değiştirmesini azaltmaktadır. Kurşun çekirdekli izolatörlerin, düşük

sönümlü doğal kauçuk mesnetli izolatörlerle aynı anda kullanıldığı sistemlere sık rastlanmaktadır (Nakano, 1997).

Kurşun çekirdekli izolatörle düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetin bir arada kullanıldığı sistemlerde çalışma biçimi, kurşun çekirdek iç kısımda sönümleyici etki yaparken doğal kauçuk dış kısımlarda dengeyi sağlamaktadır.



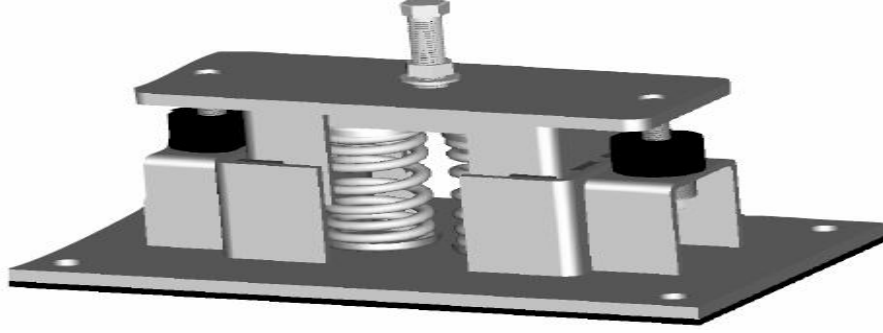
**Fotoğraf 4.5.** Birden fazla kurşun çekirdekli kauçuk izolatör modeli (Demir, 2008)

#### 4.11.2 Yay tipi izolatörler

Bu tip izolatörlerin kullanımı çok yaygın olmamakla birlikte dünyada uygulamalarına rastlanabilmektedir.

##### 4.11.2.1 Gerb izolatörleri

Kauçuk esaslı ve kayıcı temel ayırıcı sistemleri genellikle yatay yönde temel ayırımını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Eğer depremin düşey bileşenine karşı düşey yönde de temel ayırımı sağlanmak isteniyorsa genellikle kullanılması tercih edilen temel ayırıcı sistemleri sarmal yaylardan oluşan yay tipi sistemlerdir. Almanya'da Gerb firması yay tipi temel ayırıcılar ve bunların değişik kombinasyonları üzerine üretim yapmaktadır. Bu sistemlerde çelik yaylar sönümsüz olup sistem daima viskoz sönümleyicilerle beraber kullanılmaktadır (Ayhan, 2006).



**Şekil 4.8.** Gerb yay tipi sistemler (Ayhan, 2006)

Çelik yaylar çekme gerilmesi taşıyamadığı için viskoz sönümleyici ile birleşik yay sistemleri üretilmiştir. Bunlar hem çekme hem de basınç kuvveti taşıyabilmektedirler.

Viskoz sönüm iki bileşenden oluşmaktadır. Sönümün ilk parçası yüksek viskoz sıvıyla doldurulmuş çevresel kılıf, diğer parçası da yaya mesnetlenmiş pistondur. Bu sistemde mekanik enerji ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Viskoz sönümle birlikte sistemin düşey doğrultusunda %20 ile %30 arası kritik sönüm elde edilmektedir. Düşey frekans genellikle yatay frekansın 3 ile 5 katı arasındadır (Ayhan, 2006).

#### **4.11.3 Kaymaya dayalı izolatörler**

Kayıcı izolatör sistemleri düşünülen en eski ve en basit sistemdir. Salt kayıcı bir sistem ilk olarak 1909 yılında Calantarients adlı bir tıp doktoru tarafından İngiltere'de önerilmiştir. Kayıcı mesnetlerde en çok kullanılan malzemeler boşluklu veya boşluksuz teflon ve paslanmaz çeliktir.

Sistemin sürtünme özellikleri ortamın sıcaklığı, hareketin hızı, yorulma derecesi ve sürtünme yüzeyinin temiz olup olmaması gibi bazı parametrelere bağlıdır (Ayhan, 2006).

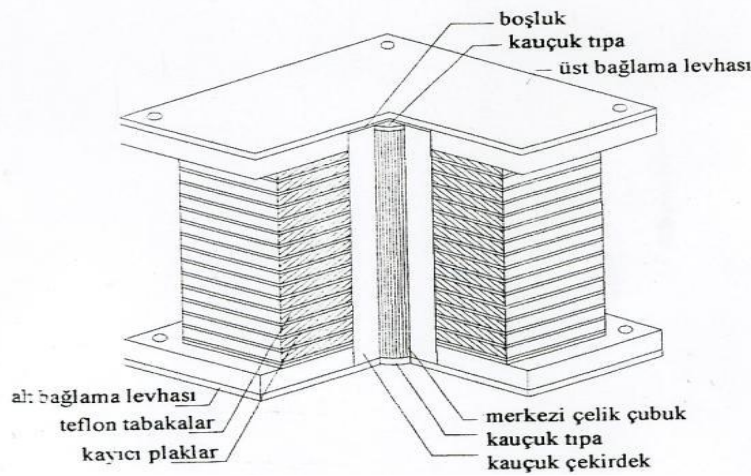
##### **4.11.3.1 Elastik sürtünmeli taban izolatör sistemi**

Bu tür izolatör sistemlerinde, izolatör sistemi içinde kullanılan teflon ve çelik yüzeyler arasında, yüksek hıza dayalı olarak oluşan büyük sürtünme katsayısı problemi aşılmaya çalışılmaktadır. İzolatör sisteminde birçok kayıcı yüzey oluşturularak izolatörlere gelen

hız tabakalara dağıtılır yani izolatörün üst ve alt uçları arasındaki hız tabakalara bölünerek her bir tabakanın hızının izolatörün toplam hızından düşük olması ve bunun sonucunda sürtünme katsayısının düşük olması sağlanmaktadır (Tezcan ve Cimilli, 2002).

Deprem etkisinde yapıda oluşan hareket istemi sürtünme kuvvetini yenene kadar mesnetlerde kayma oluşmamaktadır. Mesnetler kaymaya başladığında kauçuk deforme olur ve sistemi eski denge haline döndürecek elastik kuvvet oluşturmaktadır. Kayma hızı, kullanılan kayıcı yüzey sayısı değiştirilerek istenilen düzeyde tutulabilmektedir. Bu sistemler rijitlik merkezi ve kütle merkezini izolatör seviyesinde çakıştırdığından asimetrik yapılarda da kullanımı kolaylık sağlamaktadır (Tokuç, 2008).

Sürtünen elemanlara ek olarak, ortada düşey yük taşımayan, dengeleyici kauçuk çekirdek mevcuttur. Ayrıca kauçuk çekirdeğin merkezine bir de çelik çubuk ilavesi yapılır. Bu ilave, yer değiştirmeleri kayan yüzeyler arasında dağıtma işlevi görmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

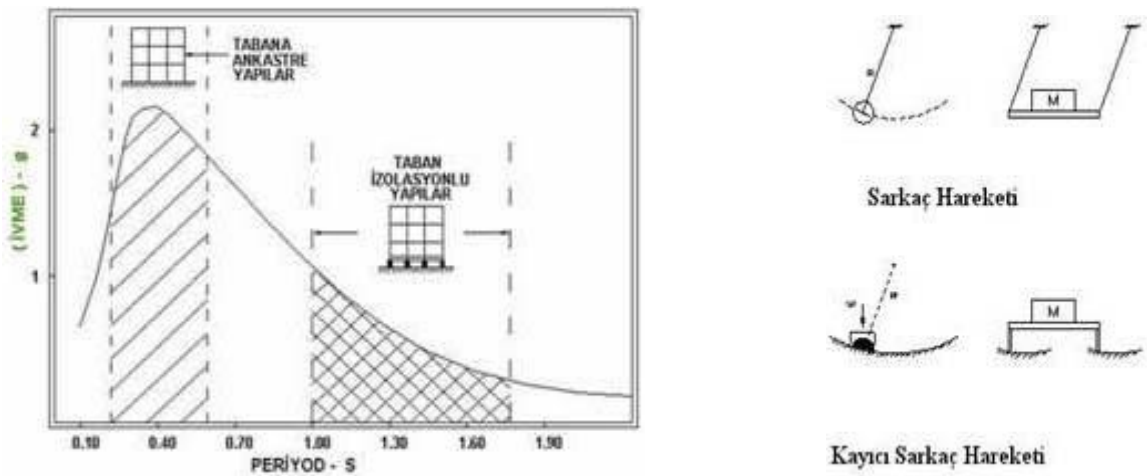


Şekil 4.9. Tekrar merkezleşen sürtülmeli sarkaç modeli (Soyluk, 2010)

#### 4.11.3.2 Sürtülmeli sarkaç izolatörler

Sürtülmeli sarkaç izolatörler yapının taşıyıcı sistemleri arasına yerleştirilen izolatör sistemleridir. Bu sistemlerle yapının salınım periyodu artırılarak yapının yıkıcı özellik taşıyan kritik bölgeden uzaklaşması ve yatay deprem kuvvetlerinden minimum şekilde etkilenmesi sağlanmaktadır. İzolatöre gelen yatay kuvvetler statik sürtünme kuvvetini

aştığında alt ve üst plakalar arasında yer alan çelik küre konkav şekilde üretilmiş olan alt plakanın üzerinde kaymaya başlamaktadır. Aktif hale geçen sürtünmeli sarkaç izolatör, üzerindeki yapının sarkaç misali küçük salınımlar yapmasını sağlamaktadır. Oluşan dinamik sürtünme kuvveti ile izolatörün konkav geometrisi deprem enerjisinin sönmelenmesini sağlamaktadır. Sismik izolatörler deprem anında yapıya aktarılan dinamik kuvvetleri ve buna bağlı deplasmanları %80 - %90 oranında azaltmakta ve yapıyı deprem kuvvetlerine karşı izole etmektedirler. Sürtünmeli sarkaç izolatörler, çok büyük şiddetteki depremlere karşı güvenle kullanılabilirler şekilde tasarlanmakta ve üretilmektedirler.

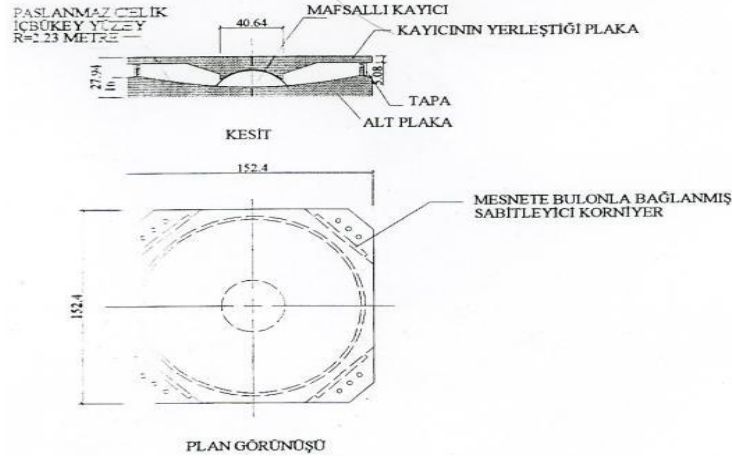


**Şekil 4.10.** Sürtünmeli sarkaç etkisi

Sürtünme esaslı kayma yalıtım sistemleri yapıya, depremde oluşan taban kesme kuvvetinin belirli bir seviyede iletilmesine olanak veren ve bunun ötesinde kayarak kuvvet iletimini önleyen sistemlerdir. Bu tür sistemler küçük sürtünme katsayıları kullanılarak, çok küçük kesme kuvvetlerini iletebilecek şekilde tasarlanabilmektedir. Çok yaygın olarak kullanılan kayma yalıtım sistemlerindeki kayma yüzeyi paslanmaz çelik veya teflondur. Şiddetli depremler sırasında yapıya aktarılan kuvvet, sürtünme katsayısına bağlı olduğundan, aktarılan kesme kuvvetinin büyüklüğü depremin şiddetinden bağımsız olarak oluşmaktadır. Bu nedenle bu tür sistemler şiddetli depremlerin yapı üzerindeki etkilerinin azaltılmasında çok etkilidir (Soyluk, 2010).

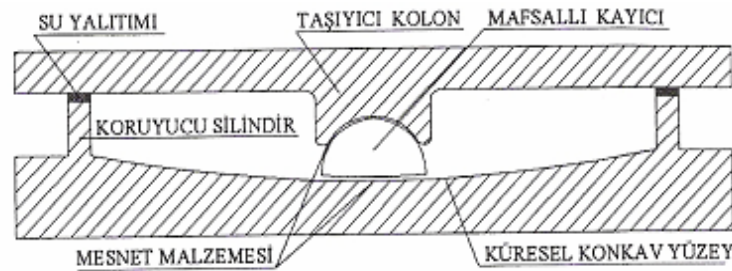
Salınım periyodu kütleden bağımsız olup sadece içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Yapının izolatörlü periyodu sadece bu parametreye bağlı olduğundan deprem

sırasında yapıya etkiyebilecek burulma etkileri de engellenmiş olmaktadır. Bu özellik diğer alternatif izolatörlerde bulunmayıp sürtülmeli sarkaç izolatörleri teknik açıdan çok üstün kılmaktadır. İzolatörlerin statik sürtünme kuvveti aşıldığında izolatörlü periyot aktif hale gelmektedir.



**Şekil 4.11.** Sürtülmeli sarkaç modeli (Düzel, 2010)

Sürtülmeli sarkaç sistemi, iki paslanmaz çelik levha arasına yerleştirilen sürtünme katsayısı düşük kompozit malzeme ile kaplı bir kayıcının hareketinden oluşmaktadır. Bu kayıcı temas ettiği levhanın küresel yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Sistem, geometrisi nedeniyle üst yapıyı denge konumuna zorlayan bir özelliğe sahiptir. Bu sistemlerde yapıların burulma etkileri en aza indirgenmiştir. Bunun sebebi ise kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmesidir (Ayhan, 2005).



**Şekil 4.12.** Sürtülmeli sarkaç mesnedin kesiti ve elemanları (Ayhan, 2006)

Küresel konkav yüzeyin altta veya üstte olması sistemin çalışmasında bir farklılık oluşturmamaktadır.

Kayıcı, küresel yüzeyde hareket ettikçe, mesnetlenen kütle yükselmekte ve sistem içinde geri çağırım kuvveti elde edilmektedir. Mafsallı kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünme, sistemin sönümünü sağlamakta ve dolayısıyla sürtünme ile deprem enerjisi sönümlenmektedir. Temel ayırıcının efektif rijitliği ve yapının periyodu konkav yüzeyin eğrilik yarıçapı tarafından kontrol edilir ve yapının kütesinden bağımsızdır (Ayhan, 2006).

Eğrisel yüzeyle kayıcı mafsallı arasındaki sürtünme, sürtünmeli sarkaç izolatörün sönümünü oluşturmaktadır. İzolatörün rijitliği ve yapının titreşim periyodu eğrisel yüzeyin eğimiyle belirlenmektedir.

Kolon altına yerleştirilen sürtünme esaslı sismik izolatör, içbükey %5'lik sürtünmeli yüzeyi sayesinde tabandan gelen deprem yüklerinin yapıya %5'lik kısmını aktarmaktadır. Deprem enerjisini içbükey kısım sarkaç prensibine dayanarak yapının ağırlığını kullanarak sönümlenmektedir. Çevresel etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlü olan bu sistem, sürtünmeli olması özelliğinden deprem enerjisini yutmayı sağlamaktadır. Sürtünme esaslı sismik izolatörde, izolatörün geometrisi ve taşıdıkları ağırlık-yapının ağırlığı önemli parametrelerdir. Zira bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel ilkelerine bağlıdır. Sürtünmeli sismik izolatör ile mesnetlenen yapı, deprem hareketine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sarkaç sistemi, kayıcı olup silindirik içbükey yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsallı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu mesnet malzemesi yüksek basınç mukavemetine sahiptir (Tolay, 2006).

Fotoğraf 4.6. da bir köprü ayağı için uygulanan sürtünmeli sarkaç sistemi örnek olarak gösterilmektedir. Deprem hareketi sırasında bilye kaygan tava üzerinde kayarak kütlelerin yükselmesine neden olmaktadır. Üst yapının yavaşça yükselmesi kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürmektedir. Sistem dinamik hareket ortadan kalktıktan sonra denge konumuna ulaşmaya kadar hareketini yenilemektedir. Sürtünmeli sarkaç modelinde kauçuk bileşiminin yangına karşı korunması gerekmektedir (Yozgat ve Hüsem, 2005).



**Fotoğraf 4.6.** Sürtünmeli sarkaç uygulaması (Soyluk, 2010)

Sürtünmeli sarkaç izolatörler sürtünen yüzey sayısına göre üçe ayrılır. Bunlar; tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç, çift yüzeyi sürtünmeli sarkaç ve üç yüzeyi sürtünmeli sarkaçtır. Üç yüzeyi sürtünmeli sarkaç tipinin boyutları daha küçüktür. Dolayısıyla maliyeti de daha azdır. Çift yüzeyi ve üç yüzeyi sürtünmeli sarkaç tiplerinin çalışma prensipleri aynıdır. Daha küçük şiddetteki depremlerde de faaliyet gösterirler.

- Tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör



**Fotoğraf 4.7.** Tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç (DİD)

- Çift yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör



**Fotoğraf 4.8.** Çift yüzeyi sürtünmeli sarkaç (DİD)

- Üç yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatör



**Fotoğraf 4.9.** Üç yüzeyli sürtünmeli sarkaç (DİD)

#### Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin tasarım kriterleri

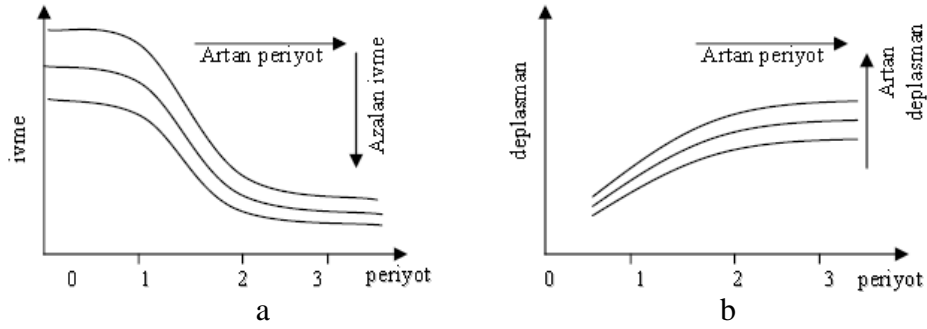
Uygulama yerindeki zemin özellikleri, deprem büyüklükleri ve üst yapının özellikleri dikkate alınarak sürtünmeli sarkaç izolatörün;

- Periyot
- Düşey yük taşıma kapasitesi
- Deplasman kapasitesi
- Enerji sönmeme kapasitesi
- Rijitlik katsayısı
- Sürtünme değerleri gibi teknik özellikleri belirlenmekte ve üretimi takiben her izolatör gerçek yük ve deprem büyüklüğü tatbik edilerek ilgili standartlara göre test edilmektedir.

#### Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin yapı davranışına olan etkisi

Sürtünmeli sarkaç sistemi kullanılarak yapı ile zemin arasında yatay yönde esnek, düşey yönde ise rijit bir izolasyon sistemi oluşturularak, binaların deprem ve diğer dinamik yüklerden etkilenmesini minimuma indirmek amaçlanmaktadır. Bu çalışmada sürtünmeli sarkaç sistemin (SSS) birinci kat kolonlarının üst kısmına yerleştirilmesiyle yapıya yatay yönde esneklik kazandırmak, düşey yönde ise rijit bir sistem oluşturmak hedeflenmektedir. Bu sayede yapı periyodu artarken ivmeler azalmakta, yatay esneklik sağlandığından dolayı da deplasmanlarda artış gözlenmektedir. Sonuç olarak hem kat ivmeleri hem de göreceli kat deplasmanları azalmaktadır. İvme değerlerinin azalması yapı

içindeki iç kuvvetlerin azalması anlamına gelmektedir. İzolatör seviyesinde maksimum deplasman meydana geleceği için görece kat ötelemeleri bu sayede azalmaktadır. SSS kullanılmayan bir yapı esnek olarak tasarlanırsa görece kat ötelemelerinde, rijit olarak tasarlanırsa kat ivmelerinde artış gözlenmektedir. Bu iki zıt faktörün aynı anda yapılarda istenilen duruma getirilmesi sürtümlü sarkaç izolatör kullanılarak mümkün hale getirilmektedir. Depremden dolayı yapıya gelen yıkıcı etkiler izolatör seviyesinde önlenerek yapılar korunmuş olmaktadır.



**Şekil 4.13.** İvme spektrumu (a), Yer değiştirme spektrumu (b)

#### Sürtümlü sarkaç izolatörlerin uygulama alanları

Sürtümlü sarkaç izolatörlerin kullanımı her alanda yaygınlaşmaya başlamıştır. Mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilmesi, köprüler, viyadükler, hastaneler, havaalanları, stadyumlar, okul binaları, kamu binaları, kültürel ve tarihi binalar, müzeler gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Uzun vadede ekonomiklik sağlamaları da her alanda yapılmalarına imkân sunmaktadır.

Sürtümlü sarkaç modeli uygulamalarından biri Amerika'da "U.S. Court of Appeals" de uygulanan 256 izolatörlü yapıdır. San Francisco'da bulunan yapı, tarihi bir mahkeme binasıdır. İki büyük deprem atlattıktan sonra temel altlarına yerleştirilen Friction Pendulum System (FPS) ile iyileştirmeye gidilmiştir (Chopra, 1995). Önce her kolon temele birleştiği yerde geçici krikolarla desteklenmiş ve sonrasında desteklendiği yerlerden kesilerek kolonlarla temelin birleştiği yerlere izolatörler konulmuştur.

Bu izolatör türü hem temel ile üst yapı arasına hem de kolonlar arasına yerleştirilebilmektedir.



**Fotoğraf 4.10.** Kolon ortasında sürtünmeli sarkaç sistem uygulaması

#### Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin avantajları ve dezavantajları

Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kompakt yapısal özelliklerden dolayı montajı kolay olup atmosferik ve çevre şartlarından olumsuz etkilenmezler ve çok uzun ömürlüdürler. Yangına karşı dayanıklı olduklarından ilave tedbir alınması gerekmemektedir. Tasarım özelliğinden dolayı öngörülen deprem şiddetinden daha büyük bir deprem ile karşılaşılması durumunda bile izolatör parçalanmayıp görevine devam edebilmektedir. Yapıdaki ısıl genleşmelere imkân tanımaktadır. Basit sarkaç prensibi ile çalışmasından dolayı statik ve dinamik modellemesi çok kolaydır. Gerektiğinde çekmeye karşı çalışan tipte de üretim yapılabilmektedir. Gerçek boyutlarda test yapılabildiğinden tüm teknik özellikler kontrol edilebilmektedir. Zamana bağlı olarak teknik özellikleri değişmemekte ve bakım gerektirmemektedir. Her iki yönlü kullanılabilme özelliğinden dolayı yapısal optimizasyon imkânı tanımaktadır. Boyutları diğer alternatiflere göre daha küçük olduğundan daha az bir hacim kaplar ve yapıdaki mimari görünümü etkilememektedir.



**Fotoğraf 4.11.** Sürtünmeli sarkaç izolatör modeli

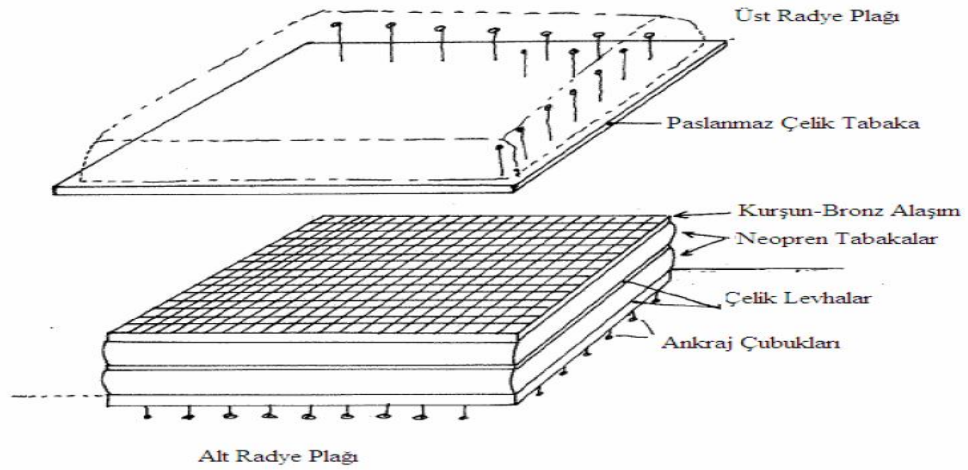
Hesapta kullanılan tasarım depreminden büyük bir depremin yapıya etkimesi zayıf da olsa her zaman var olan bir ihtimaldir. Bu yüzden kauçuk mesnetlerin yatay yer değiştirme yaparken kopması durumunda üst yapıyı taşıyacak "back up" sistemi adı verilen emniyet mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sürtünmeli sarkaç sisteminde "back up" sistemine gerek olmadığı gibi lineer çelik olduğu için ekstra bir yangın koruma önlemi alınması da şart değildir (Chopra, 1995).

Deprem yükü nedeniyle izolatörlü yapıda bir miktar yükselme meydana gelmektedir. Yükü çok fazla olan yapılarda sarkaç altındaki plakanın yırtılma riski bulunmaktadır. Yükün çok fazla olduğu kolonların altına kauçuk izolatör, yükün az olduğu kolonların altına ise sürtünmeli sarkaç kullanımı gibi karma sistem projelendirilip uygulamaya seçenek oluşturulabilmektedir.

Sürtünmeli sarkaç izolatörler ihtiyaca göre fabrikalarda özel olarak projelendirilip üretilmektedir.

#### **4.11.3.3 Fransız elektrik kurumu sistemi**

Bu sistem 1970'li yılların başlarında nükleer güç santrali tesislerine uygulanmak için Fransız Elektrik Kurumu'nun desteği ile geliştirilmiştir. Bu sistemin kesiti tabakalı kauçuk mesnedin kesiti ile aynıdır. Sistem, kompozit neopran mesnetleri paslanmaz çelikle temas halindeki kurşun-bronz alaşımıyla birleştirilerek elastomer mesnetler üzerine oturtulmuş kayma yüzeyleri meydana getirmektedir. Kayma yüzeyinin sürtünme katsayısı, izolatörün servis ömrü boyunca 0,2 olarak düşünülmüştür. Neopran tabakanın  $\pm 5$  cm' den fazla olmayan çok düşük deplasman kapasitesi bulunmaktadır. Bu değeri aşan yer değiştirmeler olduğunda, kayıcı elemanlar devreye girerek gerekli harekete olanak sağlamaktadır. Sistemin en büyük dezavantajı, izolatörün sınır yer değiştirme değeri aşıldıktan sonra sistemi eski denge konumuna geri getiren bileşenler bulunmadığından kalıcı deplasmanlar oluşmaktadır. Bu sistem sadece bir kere Güney Afrika'daki Koeberg nükleer santraline uygulanmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).



Şekil 4.14. Fransız elektrik sistemi detayı (Tokuç, 2008)

#### 4.11.3.4 TASS sistemi

Tass sistemi Japonya'da 'TAISEI' şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde tüm düşey yük paslanmaz teflon-çelik elemanlar tarafından taşınmaktadır ve ek olarak yük taşımayan tek görevi merkezleyici olan neopren mesnetler kullanılmaktadır. Teflon kayıcı yüzey 10 MPa'lık bir basınca sahiptir ve sürtünme katsayısı, düşük kayma hızlarında 0,05 ile yüksek kayma hızlarında 0,15 aralığında değerler almaktadır. Sistemin dezavantajları; elastomer mesnetleri düşey yük almadıkları için yatay yükler altında gerilmeye maruz kalırlar ve kalıcı yüzeylerde sürtünme hızları çok hassas olarak ayarlandığı için sistem genelinde model kurması diğerlerine göre daha zordur (Naeim ve Kelly, 1999).

#### 4.11.3.5 EERC birleşik sistem

Elastomerik ve kayıcı sistemlerin birleşimi olan bu yöntem EERC (Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde yapının iç kolonları kayıcı mesnetlerle, dış kolonları ise düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerle taşınmaktadır. Sürtünmeli yüzeyler, iç kolonların altında olan teflon yüzeyler ve altında paslanmaz çelik elemanlarla oluşturulmaktadır. Yapının burulmasını kontrol eden elastomerik izolatörler aynı zamanda dengeleyici rol oynarken; kayıcı sistem sönüme çalışmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999).

## 4.12 Sismik İzolatör Uygulanmış Yapı Örnekleri

Dünyada sismik izolatör kullanılmış pek çok yapılar mevcuttur. Ülkemizde bununla ilgili yapılmış çalışmalar ve deneyimler ne kadar az olsa da bazı yapılarda kullanıma rastlanmaktadır. Bu sistemler mevcut bir yapıyı güçlendirmek amacıyla kullanılabilirdiği gibi yeni yapılacak olan yapılarda da kullanılabilir. İzolatör türlerinin hemen hemen hepsinin günümüzde kullanıldığı yapılar bulunmaktadır. Bunlardan bazılarının ve özellikle sürtünmeli sarkaç kullanılmış bazı yapıların örnekleri aşağıda verilmektedir.

### 4.12.1 The Salt Lake City and Country binası

The Salt Lake City binası temel ayırıcı sistem kullanılmış ilk tarihi yapı özelliğini taşımaktadır. Plan görünümü  $80 \times 40 \text{ m}^2$ , ortalama ağırlığı 34000 ton ve toplam beş kat olan bu tarihi yapı 19. yüzyıl sonlarına doğru taş duvar, tuğla ve kum taşından inşa edilmiştir. Plandaki boyutu  $4 \text{ m}^2$ , 69 m yüksekliğinde ve 12 katlı saat kulesi desteklenmemiş taş duvarlardan oluşturulmuştur. Temel sistemi ve yapı arasına 447 adet elastomerik mesnet yerleştirilerek temek ayrımı sağlanmıştır. Kuleye gelecek rüzgâr yüklerini hesaba katmak için dış duvarların altlarına başlangıç rijitliği yüksek olan kurşun gövdeli kauçuk mesnetler koyulmuştur. Yapı çevresinde, yalıtım seviyesinde görelî deplasman sağlayacak 30 cm lik bir sismik boşluk oluşturulması için bir betonarme istinat duvarı teşkil edilmiştir.



**Fotoğraf 4.12.** The Salt Lake City and Country Binası

#### 4.12.2 San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali

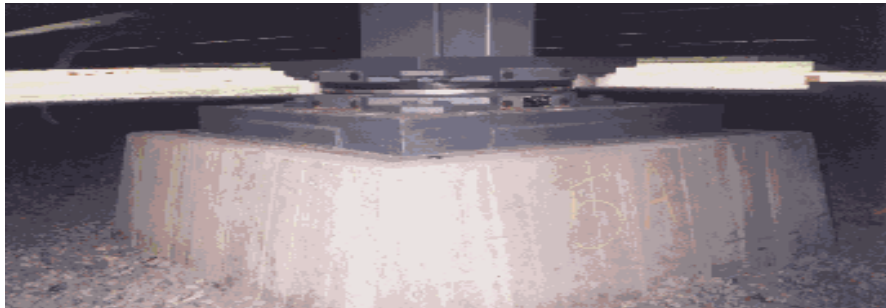
San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali; çok geniş bir alana sahiptir. Kolonlar 25 m yükseklikte, çatı makasları 215 m açıklıkta, dış cephe duvarları cam yapılmış muhteşem bir mimariye sahiptir. Yapı, San Andreas fayında oluşabilecek 8 büyüklüğünde bir depreme mukavemet edecek şekilde tasarlanmıştır. 267 adet sürtünmeli sarkaç mesnet kullanılmıştır. Sismik ayırıcı sistem ile yapılmış dünyanın en büyük yapısı olarak adlandırılabilir.



**Fotoğraf 4.13.** San Francisco Uluslararası Havalimanı Terminali

#### 4.12.3 Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezi

Sürtünmeli sarkaç mesnetlerle tasarlanmış bir binadır. 28 Şubat 2001’de Seattle’ da 6,8 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu bina deprem merkezine 10 km uzaklıktadır. Deprem sonucunda bina ve bina içindeki hiçbir malzeme hasar görmemiştir. Bölgedeki kurtarma, yangın, polis gibi önem arz eden birimlerle iletişim kesilmeden devam edebilmiştir.



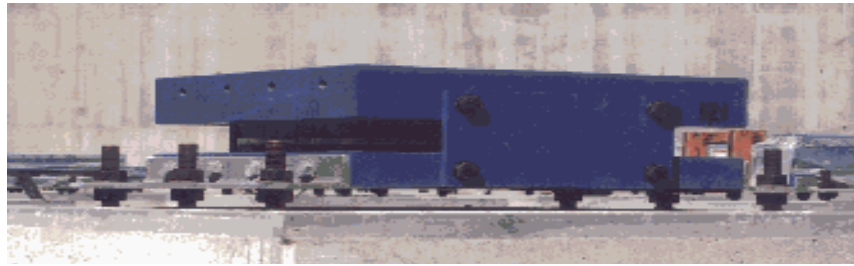
**Fotoğraf 4.14.** Washington Eyaleti Acil Operasyon Merkezinde kullanılan SSS

#### 4.12.4 Sıvılaştırılmış doğalgaz tankı

Yunanistan da iki adet gaz tankı yapımında sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanılmıştır. Bu tanklar deprem riski en yüksek bölgede inşa edilmiştir. Bir tank, 70 m çapında ve 30 m yüksekliğindedir. 212 adet sürtünmeli sarkaç mesnet tasarlanmıştır. Bu yapıda sürtünmeli sarkaç sistem tercih edilmesinin nedeni; sürtünmeli sarkaç sistemin yapılan testler sonucunda istenilen performans seviyesine ulaşma konusunda en iyi sistem olmasıdır. Mesnetler depreme göre tasarımda, yatay kesme kuvvetlerini % 80 oranında azaltmıştır. Her bir mesnet 9000 kN düşey yük taşıma kapasitesine sahip, 0,05 sürtünme katsayısı, periyodu 2,75 sn ve öteleme kapasitesi 30,5 cm olan mesnet özelliklerine sahiptir.



**Fotoğraf 4.15.** Tankın temeline koyulmuş SSS' ler



**Fotoğraf 4.16.** Tankın temeline koyulmuş izolatörün yakından görünümü

#### 4.12.5 Atatürk Uluslararası Havalimanı Terminali

Atatürk Uluslararası Havalimanı Terminali 235000 m<sup>2</sup>'lik arazi üzerine inşa edilmiştir. Hava limanının ana bölümü, 225 m x 250 m boyutlarındadır ve piramit şeklinde uzay kafes çatıya sahip ve çatısında üçgen şeklinde cam pencereler bulunmaktadır. Bu çatı 130 adet sürtünmeli sarkaç mesnetle desteklenmiştir. Sürtünmeli sarkaç mesnetler, 7 m

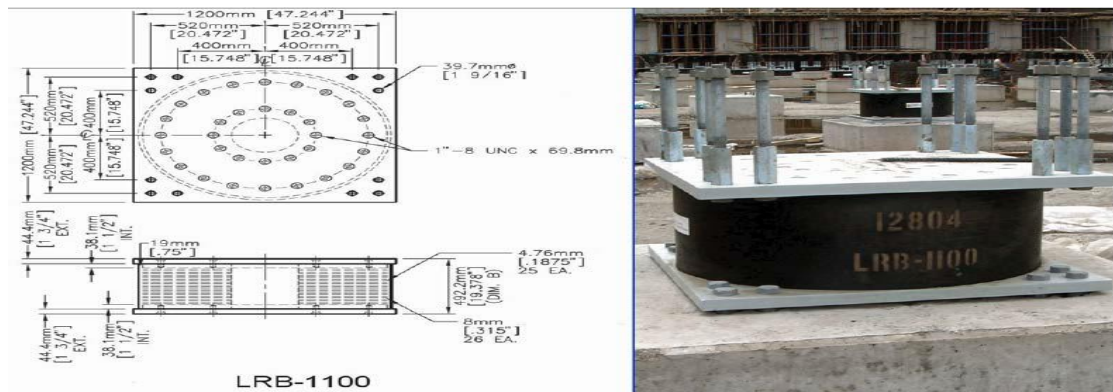
yüksekliğindeki kolonlar ile çatı arasına koyulmuştur. Meydana gelebilecek 8 şiddetindeki bir depreme karşı dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır.



**Fotoğraf 4.17.** Atatürk Havalimanında kullanılan bir sürtülmeli sarkaç mesnet

#### 4.12.6 Erzurum Devlet Hastanesi

Erzurum Devlet Hastanesi Türkiye’de deprem yalıtımı tekniği kullanılarak tasarlanmış ve inşa edilmiş hastanelerden biridir. Hastanenin plan boyutları 160m x 140 m ve toplam yüksekliği 29 m dir. Hastanenin en büyük deprem tehlikesi altında bile kullanılabilir olması istenmiştir. Hastanenin deprem yalıtımı için 386 adet kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kullanılmıştır. Mesnetlerin çapları 80 cm, 90 cm, 100 cm ve 110 cm. Deprem yalıtımı uygulanmış binanın MCE depremi deplasmanları seviyesi altında ilk üç modal titreşim periyotları sırasıyla 2,78 sn, 2,75 sn ve 2,72 sn olarak bulunmuştur. Yapının DBE depremi seviyesinde mesnet sistemi rijitlik merkezindeki yatay deplasman 18 cm hesaplanmıştır (Erdik, 2007).



**Fotoğraf 4.18.** Temele yerleştirilen kurşun kauçuk mesnet (Erdik,2007)

## BÖLÜM V

### SÜRTÜNME Lİ SARKAÇ İZOLATÖR TASARIMI

#### 5.1 Sismik Taban İzolasyonunda Kullanılan Yönetmelikler

Sismik izolatör kullanımı ülkemizde çok yeni bir uygulama olmasından dolayı henüz izolatörlerin tasarımına yönelik ve kullanım koşullarına ait yönetmelik ve şartnameler ülkemizde mevcut değildir. Dolayısıyla, ülkemizde yapılan izolatörlü yapıların tasarımı ve analizinde uluslararası yönetmelik ve standartlar kullanılmaktadır.

Sismik izolatör tasarımı ve analizi için kullanılan yönetmelik ve standartlar;

ENV 1998	Eurocode 8
ASCE 7-10	Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
AASHTO	Guide Specifications For Seismic Isolation Design
UBC-97	Uniform Building Code

Tüm sismik izolatör tasarımları için statik analiz yapmak zorunludur. Statik analiz sayesinde tasarım deplasmanları ve taban kesme kuvvetleri için minimum koşullar saptanmaktadır. Bu bakımdan statik analiz ön boyutlama ve tasarım öngörüsü için gerekli olmaktadır (Soyluk, 2010).

#### 5.2 Sürtünmeli Sarkaç Tasarımı

Yatay kuvvetler taşıyan ağırlığın sürtünme yüzdesini aşınca deplasmanlar meydana gelmektedir. Sürtünmeli sarkacın eğrilik yarıçapı yapının periyodunu belirlemektedir. Yönetmelik şartları esas alınarak tasarım işlemine öncelikli olarak ön tasarım adımıyla başlanmaktadır. Böylelikle yapılarda kullanılacak olan sürtünmeli sarkaç izolatörün özelliklerine karar verilmektedir. Binaların yapması istenilen maksimum deplasman değeri, taban kesme kuvvetleri gibi değerler doğrultusunda ön tasarım işlemi gerçekleştirilerek yapıda kullanılacak olan sarkacın eğrilik yarı çapı, etkili rijitliği, efektif sönüm oranı gibi parametrelere bakılarak uygun izolatörler tasarlanmaktadır.

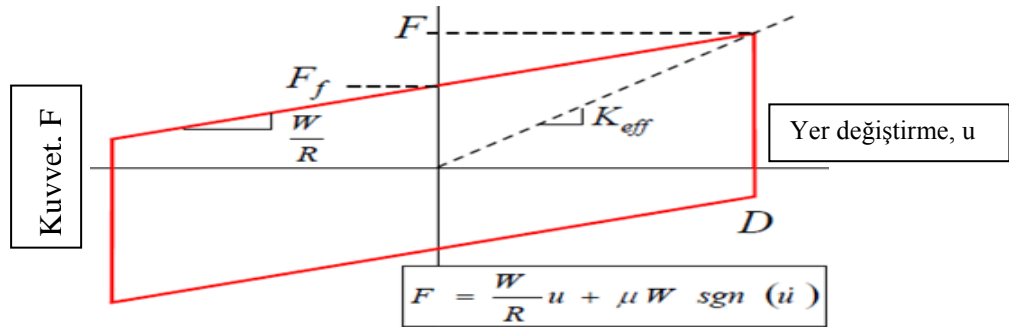
Tasarım aşamasında iterasyon basamağı ne kadar geniş tutulursa sonuçlar o kadar emniyetli olmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan tek yüzeyli sürtülmeli sarkaç tipi izolatörlerde taşınan yük  $W$ , yapının yatay yönde yaptığı yer değiştirme  $D$ , sönüm katsayısı  $\mu$ , sürtünme kuvveti  $F$  olarak adlandırılırsa;

$$F = \frac{W}{R} * u + \mu * W(\text{sgn}u) \quad (5.1)$$

$R$ : Sürtülmeli sarkaç eğrilik yarıçapı

$(\text{sgn}u)$ : Kayma hızına bağlı durumu gösteren işaret fonksiyonu



Şekil 5.1. Sürtülmeli sarkaç sistem temel parametreleri (FEMA451, 2006)

Denklem 5.1 eşitliğinde yer alan ilk terim, kütlelin yükselmesinden kaynaklanan geri dönüş kuvveti yani sarkaç kuvvetidir. Denklem 5.2 yardımıyla bina ağırlığına ve sürtülmeli sarkaç eğrilik yarıçapına bağlı olarak sarkacın yatay rijitlik değeri elde edilmektedir.

$$K_H = \frac{W}{R} \quad (5.2)$$

Sarkacın yatay rijitlik değeri, izolatörlü yapının periyodunu belirlemektedir. Denklem 5.3 den de anlaşılacağı gibi izolatörlü yapı periyodu kütlelden bağımsız olup sarkacın eğrilik yarıçapına bağlıdır.

$$T = 2\pi\sqrt{R/g} \quad (5.3)$$

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

Denklem 5.1' de yer alan ikinci terim ise mafsallı kayıcı ve içbükey (konkav) yüzey arasında oluşan sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Sürtünme katsayısı,  $\mu$ ; p basıncına ve kayma hızı yani  $\dot{u}$  'ne bağlıdır. Basınç değeri arttıkça, sürtünme katsayısı azalmakta 51 mm/sn' nin üzerindeki hızlarda ve 14 MPa' dan daha yüksek basınçlarda ise hızdan bağımsız hale gelmektedir. Sürtünmeli sarkaç tipteki izolatörlü sistemlerde geri dönüş kuvvetinin çok doğrusal özellik göstermesi, kayma hareketi meydana gelmeden önce sistemin yüksek rijitliğe sahip olması ve kayma hareketi nedeniyle oluşan sürtünme dolayısıyla enerji yutulması gibi özellikler, kuvvet-yer değiştirme çevrimsel eğrilerinin karakteristik özellikleridir (Tolay, 2006).

Tasarım deplasmanı;

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} * \frac{S_{D1} T_D}{B_D} \quad (5.4)$$

Burada;

- g : Yer çekimi ivmesi
- $S_{D1}$  : %5 sönümlü elastik spektrumda T=1sn için spektral ivme değeri
- $T_D$  : Tasarım depremi düzeyinde efektif periyot
- $B_D$  : Efektif periyoda bağlı olan spektrum azaltma katsayısıdır.

Efektif sönüm oranı;

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} * \frac{\mu}{\mu + (D_D/R)} \quad (5.5)$$

$$\frac{1}{B_D} = 0.25(1 - \ln\beta_{\text{eff}}) \quad (5.6)$$

Burada,  $\mu$  sönüm katsayısıdır. Çelik yapılar için %3, betonarme yapılar için %5, yığma yapılar için %7, ahşap yapılar için %10 sönüm oranı dikkate alınmaktadır. Çizelge 5.1. den sönüm katsayı değerleri yaklaşık olarak elde edilebilmektedir (ASCE 7-10, 2010).

**Çizelge 5.1.** Sönüm katsayıları

Efektif Sönüm Oranı ( $\beta_D, \beta_M$ )	Sönüm Katsayıları ( $B_D, B_M$ )
$\leq 2$	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
$\geq 50$	2.0

Tasarım deprem düzeyi için efektif periyot:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D\text{min}} g}} \quad (5.7)$$

Burada;

$T_D$  : Efektif periyot

$k_{D\text{min}}$  : Tasarım deprem düzeyi için minimum efektif rijitlik

$W$  : İzolatör üstünde taşınan ağırlık dır.

Efektif periyot ( $T_D$ ) ön tasarım aşamasında belirlenmesi gereken ve efektif rijitlik değerine bağlı bir değerdir. Genel olarak taban izolatörlü bir yapı için bu değer 2-3 sn. arasında seçilip eğrilik yarıçapı ile tayin edilmektedir.

Maksimum değerler, yapının ekonomik ömrü içinde olması beklenen muhtemel deprem düzeyine dayanması için tasarımda göz önüne alınacak değerler olarak tanımlanmaktadır.

Maksimum tasarım deplasmanı;

$$D_M = \frac{g}{4\pi^2} * \frac{S_{M1}T_M}{B_M} \quad (5.8)$$

Burada;

$S_{M1}$  : Maksimum depremin %5 sönümlü elastik spektrumda T=1sn için spektral ivme değeri

$T_M$  : Maksimum deprem düzeyinde efektif periyot

$B_M$  : Maksimum deprem düzeyi için efektif periyoda bağlı olan spektrum azaltma katsayısıdır.

Maksimum deprem düzeyi için efektif periyot;

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Mmin} g}} \quad (5.9)$$

Burada;

$k_{Mmin}$  : Maksimum deprem düzeyi için minimum efektif rijitlik dir.

Maksimum toplam deplasmanlar;

$$D_{TD} = D_D [1 + y \frac{12e}{b^2+d^2}] \quad (5.10)$$

$$D_{TM} = D_M [1 + y \frac{12e}{b^2+d^2}] \quad (5.11)$$

Burada;

b ve d : bina boyutları

y : hesap yapılan doğrultuda bina rijitlik merkezinin en dıştaki izolatöre dik mesafesi

e : dışmerkezlik dir.

Burulma etkileri de toplam tasarım yer değiştirme değerleri içinde dikkate alınmaktadır.

### Tasarım kuvvetleri:

$$V_b = k_{D_{max}} * D_D \quad (5.12)$$

$$V_s = k_{D_{max}} * D_D / R_I \quad (5.13)$$

Burada;

$V_b$  : Yalıtıcı birim altında kalan elemanlara gelen kuvvet

$V_s$  : Yalıtıcı birim üstünde kalan elemanlara gelen kuvvet

$R_I$  : Süneklik faktörü dür.

**Çizelge 5.2.** Karşılaştırmalı süneklik katsayısı tablosu

Taşıyıcı Sistem	$R_I$
Moment aktaran çerçeve	2.0
Perde duvar	2.0
Merkezi çaprazlı perde	1.6
Dışmerkez çaprazlı çerçeve	2.0

Çizelge 5.2. de izolatörlü yapıların azaltma katsayılarının, DBYBHY-2007’de tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayılarına oranla oldukça düşük olduğu görülmektedir. Katsayıdaki azalmanın en önemli nedeni izolatörlü sistemin periyodunun artmış olmasıdır. Yapı, akma sınırını geçtikten sonra izolatörlü sistem sayesinde yapının periyodu uzamakta ve yapıya gelen deprem kuvveti azalmaktadır. Aynı zamanda yapıdaki sönüm, elastik olmayan şekil değiştirmelerin etkisiyle histerik davranış sebebiyle artmaktadır. Bunlara ek olarak, yeniden dağılım ilkesi gereğince kapasite üstü etkiler taşıyıcı sistemin tüm elemanları tarafından karşılanmaktadır. Taban izolatör sistemleri uygulanmış yapılarda sadece yeniden dağılım söz konusudur. Periyodun artması, izolatörlü sisteminin etkinliğini öne çıkarır, çünkü ankastre mesnetli yapının periyodu ile izolatörlü sistemli yapının periyodu arasındaki ayırım azalır. Bu nedenle yapıya daha büyük kuvvetler etkimekte ve yüksek modların katkısı artmaktadır. Buna ek olarak, izolatörlü yapıda sönüm, ankastre mesnetli yapıdakinden daha fazla olamayacağından dolayı aynı taşıyıcı sistem için  $R_I$  faktörü R faktörlerinden küçük alınmaktadır. Büyük süneklik, yapıda yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar

görmesine sebep olabilmektedir. Bu nedenle  $R_1$  değerinin küçük alınmasıyla izolatörlü yapılarda hasar kontrolü sağlanmış olmaktadır (Doğan, 2007).

Efektif rijitlik:

$$k_{\text{eff}} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{D_D} \quad (5.14)$$

Etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ ):

**Çizelge 5.3.** Etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ ) (DBYBHY, 2007)

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

Zemin sınıfı:

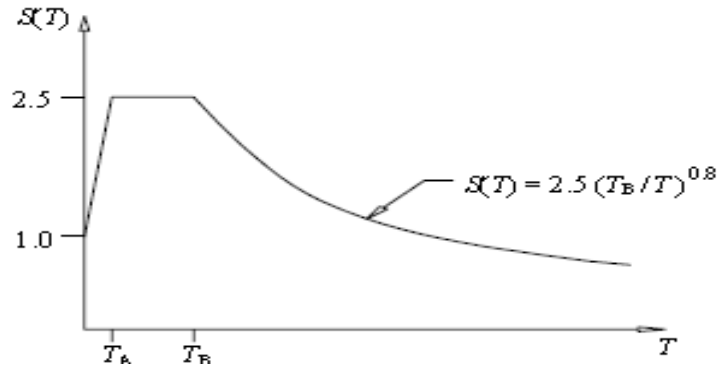
**Çizelge 5.4.** Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ ,  $T_B$ ) (DBYBHY, 2007)

Zemin Sınıfı	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

**Çizelge 5.5.** Yerel zemin sınıfları (DBYBHY, 2007)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Gurubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı ( $h_1$ )
Z1	(A) grubu zeminler; $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu; $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m (C) grubu; $h_1 \leq 10$ m (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu; $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Spektrum katsayısı:



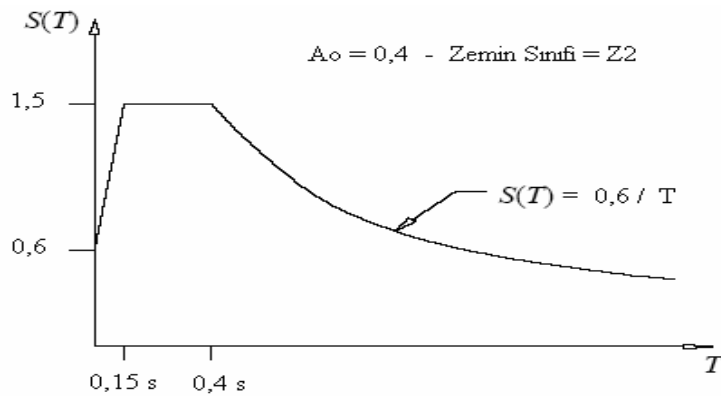
**Şekil 5.2.** İvme spektrum eğrisi (DBYBHY, 2007)

Spektrum katsayısı  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.15a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (5.15b)$$

$$S(T) = 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T) \quad (5.15c)$$



**Şekil 5.3.** Maksimum deprem spektrumu (ASCE 7-10, 2010)

Tasarım Spektrumu DBYBHY-2007'de bulunmasına karşın, Maksimum Deprem Spektrumu DBYBHY-2007'de mevcut değildir. Tasarım spektrumunun 1,5 katı

büyükliğünde ve uzun periyotlarda davranışı  $1/T$  şeklindedir. Binanın ömrü boyunca gelebilecek en büyük depreme karşı davranışını belirlemek için kontrol amaçlı olarak kullanılmaktadır (Ayhan, 2006).

Spektrum katsayısı izolatörlü ve ankastre mesnetli binalarda programa farklı girilmektedir. Çünkü izolatörlü yapılarda  $B_D$ , spektrum azaltma katsayısı devreye girmektedir. Yapılan çalışmada tasarım periyot değerleri 2.2 sn bulunduğundan dolayı spektrum azaltma katsayısı, Response Spectrum tanımlarken  $T=2$  sn den sonra işleme dahil edilmiştir.

### **5.2.1 Sismik tasarım seviyeleri**

Hesaplanacak tasarım düzeyi, oluşabilecek deprem tehlikesi için iki seviyeli olarak yapılmaktadır (Komodromos, 2000; Naeim and Kelly, 1999).

Temel deprem dizaynı (DBE): 50 yılda bir %10 aşılma olasılıklı ve 475 yılda bir dönüş periyodu olan deprem yer hareketi düzeyini temsil etmektedir.

Maksimum deprem kapasitesi (MCE): Binanın bulunduğu alanda beklenen en yüksek seviyedeki deprem hareketidir. 100 yılda bir %10 aşılma olasılıklı ve 1000 yılda bir dönüş periyodu olan deprem yer hareketi düzeyini temsil etmektedir.

### **5.3 Performansa Göre Tasarım**

Binaların performans kavramına dayalı tasarımı yapılırken 3 tip deprem çeşidi kullanılır. Bunlar servis depremi, tasarım depremi ve maksimum depremidir.

Servis Depremi olarak tanımlanan 50 yılda %50 aşılma olasılıklı tasarım depreminin yaklaşık yarısı olarak kabul edilebilir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin binanın ömründe en az bir kere veya daha fazla ortaya çıkması muhtemeldir.

Tasarım Depremi de 50 yılda %10 aşılma olasılıklı deprem durumunda yönetmeliklerde yeni yapılar için verilen etkileri doğurur. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu deprem yapının ömrü boyunca ortaya çıkması sık olmayan bir olaydır.

Maksimum Deprem ise yaklaşık 2500 yıllık dönüş periyodu ile bölgede jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilmektedir. Bu deprem etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1,5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde tasarım depremi etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılması sonucu böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılmaktadır (Ayhan, 2006).

Taşıyıcı sistem elemanlarında deprem anında meydana gelebilecek hasarlara göre DBYBHY-2007'de belirtilen yapının performans seviyeleri;

- Hemen kullanım: Depremden sonra çok sınırlı hasar meydana gelmektedir. Kirişlerin en fazla %10 u belirgin hasar bölgesinde olmakta diğer taşıyıcı elemanlarda minimum hasar görülmektedir. Binanın taşıyıcı sisteminin depremden önceki bütün taşıyıcılık özelliği ve kapasitesi hemen hemen devam etmekte, bina depremden sonra kullanıma açıktır.
- Can güvenliği: Deprem sonrası taşıyıcı sistemde önemli sayılabilecek hasar ve can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır. Binada yerel veya toptan göçme durumu söz konusu değildir. Hasar oluşan elemanlarda onarım ya da güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır.
- Göçme öncesi: Binanın mevcut durumunda kullanımı tehlikelidir. Yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan kirişler hariç, kirişlerin %20'si göçme bölgesine geçebilir. Yapı elemanları minimum hasar durumu, belirgin hasar ve ileri hasar bölgelerinde olmaktadır.
- Göçme durumu: Bu durum taşıyıcı sistemin dayanım kapasitesinin sınırında bulunması anlamına gelmektedir. Sistemde önemli hasarlar oluşmuş olup, yanal rijitlik azalmaya başlamaktadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından tehlikeli olup devam eden artçı depremler binanın yıkılmasına sebep olabilmektedir.

Yapıların maksimum deprem düzeyinde yapısal stabilite seviyesini koruması ve tasarım depremi düzeyinde ise can güvenliği seviyesinde kalması beklenmektedir. Bu performans seviyeleri, önemi yüksek yapılarda önem katsayısının hesaba katılmasıyla daha da iyileştirilebilmektedir. Sürtünmeli sarkaç sistem kullanarak yapılan güçlendirmelerde ise,  $R_a$  azaltma katsayısının düşük alınması sebebiyle ve yapıya gelecek kuvvetin azalması nedeniyle, yapıların performans seviyeleri yükselmektedir. Maksimum deprem altında hasar kontrol aralığı seviyesinde bir performans seviyesi beklenirken, tasarım depreminde hemen kullanım performans seviyesi veya lineer sınırdan çıkmama gibi bir durum beklenmektedir (Ayhan, 2006).

Ankastre mesnetli yapılar, azaltma katsayıları olarak bilinen deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a$ ' ya bölünür ve elde edilen değerler tasarım değerleri olarak kabul edilmektedir. SSS ile güçlendirme de ise azaltma katsayısı olarak  $R_I$  değeri kullanılmaktadır.  $R_I$  sayısını elde etmek için  $R_a$  sayısı  $3/8$  ile çarpılır ve çıkan sonuç 1 ile 2 arasında bir değerde tutulmaktadır. Eğer çıkan sayı 2'den büyükse,  $R_I=2$  olarak kabul edilir, 1'den küçükse de, 1 olarak kabul edilir. Bu şekilde sürtünmeli sarkaç sistemli yapıların tasarımında kullanılan değerler, ankastre mesnetli olan yapıların tasarımında kullanılan değerlere nazaran yaklaşık 2 ile 4 kat arasında daha güvenli tarafta kalması durumuna göre hesaplanmaktadır. Gerçekte, ankastre mesnetli ve SSS' li yapılar arasında, yapıya gelen deprem yükleri açısından 6-7 kat fark varken, bu oran yaklaşık 2 civarına düşürülmektedir. Bu 6-7 katlık bir azalma, yapının performansını çok üst düzeylere taşımaktadır (Tezcan ve Cimilli, 2002).

#### **5.4 Tasarım Metotları**

Yönetmeliklere göre yer değiştirmelerin izolatör seviyesinde toplandığı ve böylece izolatörün üstünde kalan üst yapı olarak adlandırılan kısmın rijit olarak davrandığı kabulüyle eşdeğer statik yöntem kullanılmaktadır. İlgili uluslar arası yönetmelikler geliştikçe dinamik analiz gerektiren durumlar artırılmasına rağmen statik analiz kısmı izolatör tasarımı için zorunlu tutulmaktadır. Statik analiz tasarım deplasmanı ve tasarım kuvvetleri için ön tasarım imkânı vermektedir. Tasarımda kullanılacak hesap yöntemleri DBYBHY-2007 esas alınarak tanımlanmıştır.

Mod Birleştirme Yöntemi'nde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler hiçbir kısıtlama olmaksızın tüm taşıyıcı sistemlere uygulanabilmekte ve binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi'nin yaklaşık değerleri kullanılarak özel hale getirilmesi olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemde sadece deprem doğrultusundaki hâkim titreşim modu hesapta göz önüne alınmakta ve bu moda ait mod şekli doğrusal olarak verilmektedir.

Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi, binaların doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için kullanılabilecek ileri bir hesap yöntemidir. Bu yöntemde, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılmaktadır. Hesapta üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması alınarak tasarım için hesaplarda kullanılmaktadır.

İzolatör birimleri en büyük deplasman ve düşey yük birimleri altında kararlı olmalı, artan yanal deplasmanlarla artan direnç göstermeli ve tekrarlı yükler altında fiziksel özelliklerinde ki değişimler sınırlı kalmalıdır (Soyluk, 2010).

## BÖLÜM VI

### SİSMİK İZOLASYON UYGULAMALARI

#### 6.1 Bina Genel Özellikleri

Bu çalışmada 5, 10 ve 15 katlı hastane binaları tasarlanmış ve bilgisayar programı kullanılarak bina analizi, elemanların boyutlandırılması yapılmıştır. DBYBHY-2007, TS 498-500 yönetmelik ve standartları esas alınarak kesitler boyutlandırılmış ve deprem yükleri DBYBHY-2007’de belirtilen mod birleştirme yöntemine göre belirlenerek yapılara etki ettirilmiştir. Binalar 32x18 m boyutlarında, X yönünde 5 açıklıklı, Y yönünde 3 açıklıklı olarak tasarlanmıştır. Aşağıda hastane binalarına ait genel bilgiler verilmektedir.

Kat adedi	5, 10, 15
Kat yüksekliği (m)	3.5
Toplam bina yükseklikleri (m)	17.5, 35, 52.5
Kullanım amacı	Hastane Binası
Bina önem katsayısı (I)	1.5
Zemin sınıfı	Z2
Zemin grubu	B (sıkı kum, çakıl)
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A (sn)= 0.15$ $T_B (sn)= 0.40$
Deprem bölgesi	1. Derece
Etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ )	0.40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	8
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0.30
Beton sınıfı	C25
Beton birim hacim ağırlığı	25 kN/m <sup>3</sup>
Beton elastisite modülü	30000 MPa
Donatı sınıfı	S420
Donatı elastisite modülü	200000 MPa
Hareketli yükler	odalar 3.5 kN/m <sup>2</sup> ; koridorlar 5 kN/m <sup>2</sup>
Çatı yükü	1 kN/m <sup>2</sup>

Çatı hareketli yük değeri	1.5 kN/m <sup>2</sup>
Duvar yükü (5 katlı bina için)	6.48 kN/m
Duvar yükü (10 ve 15 katlı bina için)	6.21 kN/m
Döşeme kaplama (Seramik karo)	0.44 kN/m <sup>2</sup>
Döşeme kalınlığı	17 cm

Kat adedinin izolatör kullanımı durumunda bina davranışında ve maliyetinde meydana getireceği değişiklikleri belirlemek üzere farklı deplasman kapasitelerine sahip izolatörler farklı kat sayısına sahip binalara uygulanmıştır. Böylelikle aynı model izolatör kullanımının farklı kat sayısına sahip binalarda meydana getirdiği değişiklikler karşılaştırılmıştır. Kat sayısının ve kesit özelliklerinin değişmesiyle farklılaşan kat kütleleri izolatörlerin üzerine farklı miktarda kuvvet uyguladığından dolayı her binada kullanılan izolatörlerin rijitlik değerleri ile izolatör katının altı ve üstündeki yapı elemanlarının tasarımında kullanılan  $V_b$ ,  $V_s$  değerleri her binada kat adedine göre artarak farklılık göstermiştir.

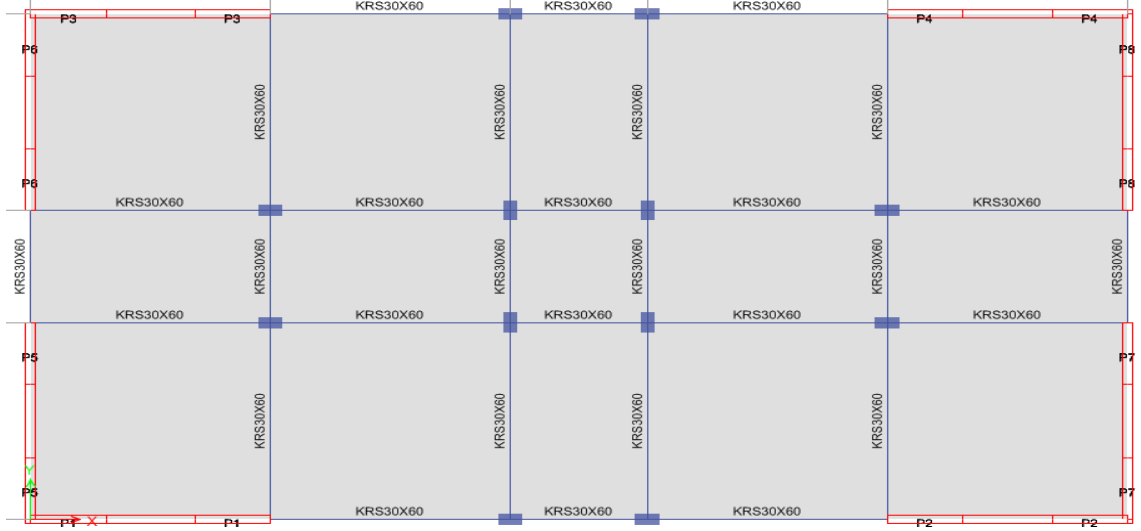
## **6.2 Ankastre Mesnetli Binaların Tasarımı**

5, 10 ve 15 katlı olarak tasarlanan hastane binaları ilk olarak ankastre mesnetli olarak klasik bina şeklinde modellenmiştir. Plan görünümleri aynı olan binalarda döşeme sistemleri rijit, temel ankastre mesnetli yapılmasının yanında kat adedinin artmasına bağlı olarak kolon, kiriş, perde kesitleri tüm binalarda değişiklik göstermiştir.

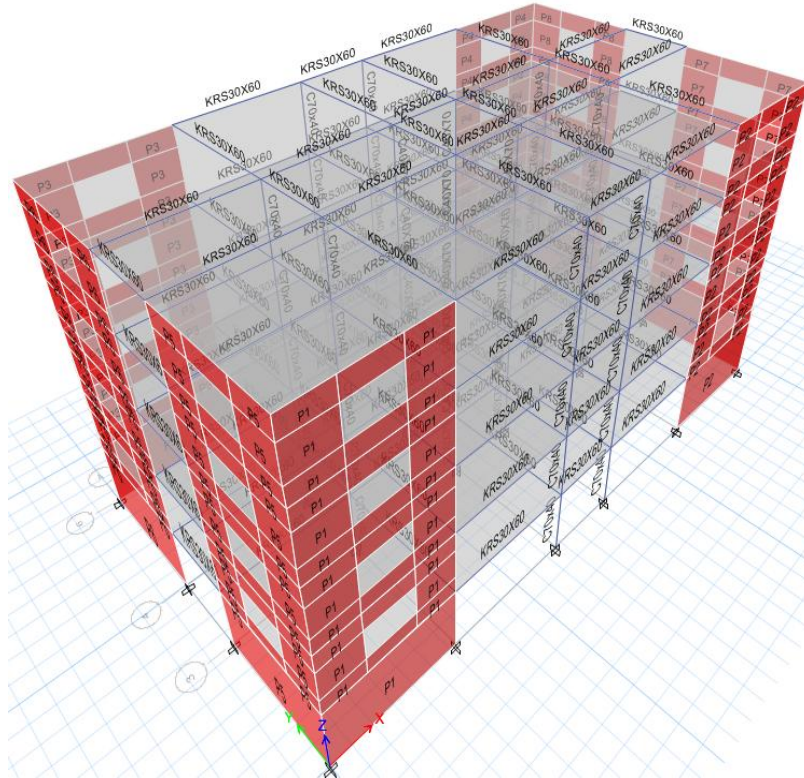
### **6.2.1 5 katlı ankastre mesnetli bina tasarımı**

Şekil 6.1 de kat planı verilen 5 katlı ankastre mesnetli binanın kiriş kesiti 30x60 cm, kolon kesitleri 40x70 cm, 70x40 cm, perde kesitleri 700x30 cm, 30x700 cm olarak tasarlanmıştır. Perde tasarımları DBYBHY-2007 Bölüm 3.6 da belirtilen perde tasarım kriterlerine uygun ve boşluklu olarak gerçekleştirilmiştir. Döşeme kalınlığı ise 17 cm alınmıştır.

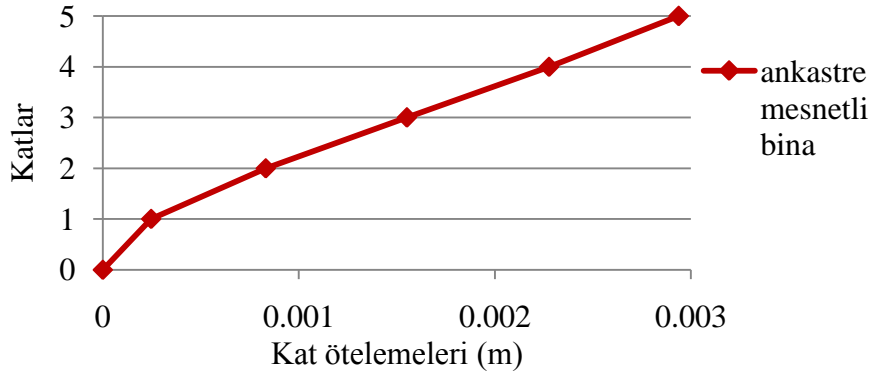
Kesit ve malzeme özellikleri girildikten sonra kesit özellikleri atanıp yük değerleri girilmiştir. Şekil 6.2 de 3 boyutlu görünümü verilen bina modeli oluşturulduktan sonra analiz işlemi gerçekleştirilmiştir.



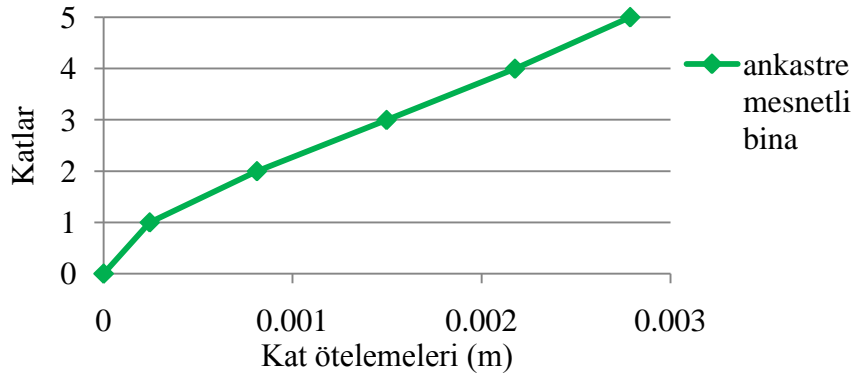
Şekil 6.1. 5 katlı ankastre mesnetli bina kat planı



Şekil 6.2. 5 katlı ankastre mesnetli binanın 3 boyutlu görünümü



**Şekil 6.3.** 5 katlı ankastre mesnetli bina X yönü kat ötelemeleri

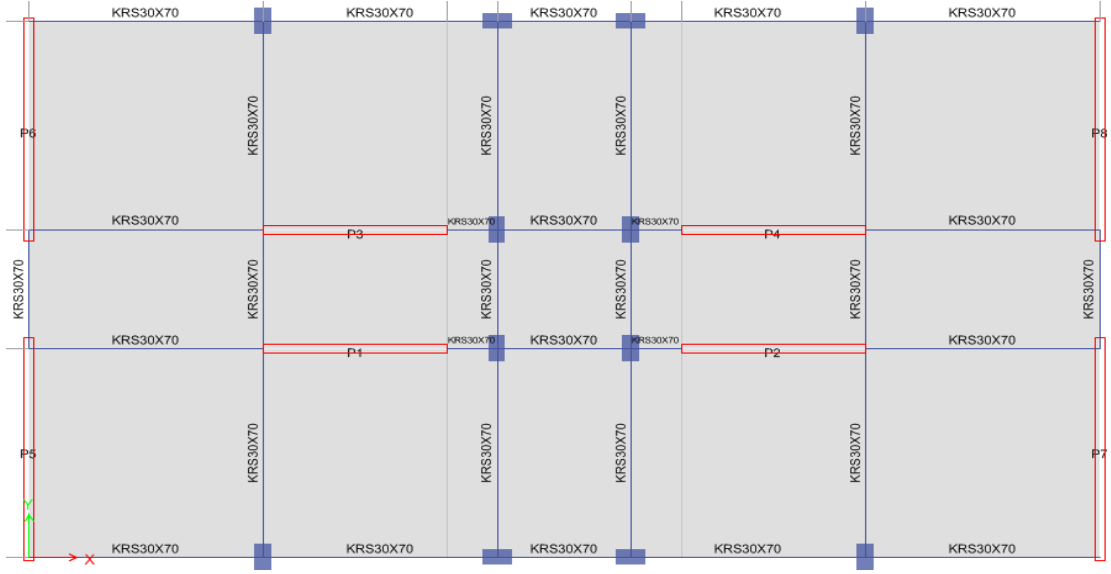


**Şekil 6.4.** 5 katlı ankastre mesnetli bina Y yönü kat ötelemeleri

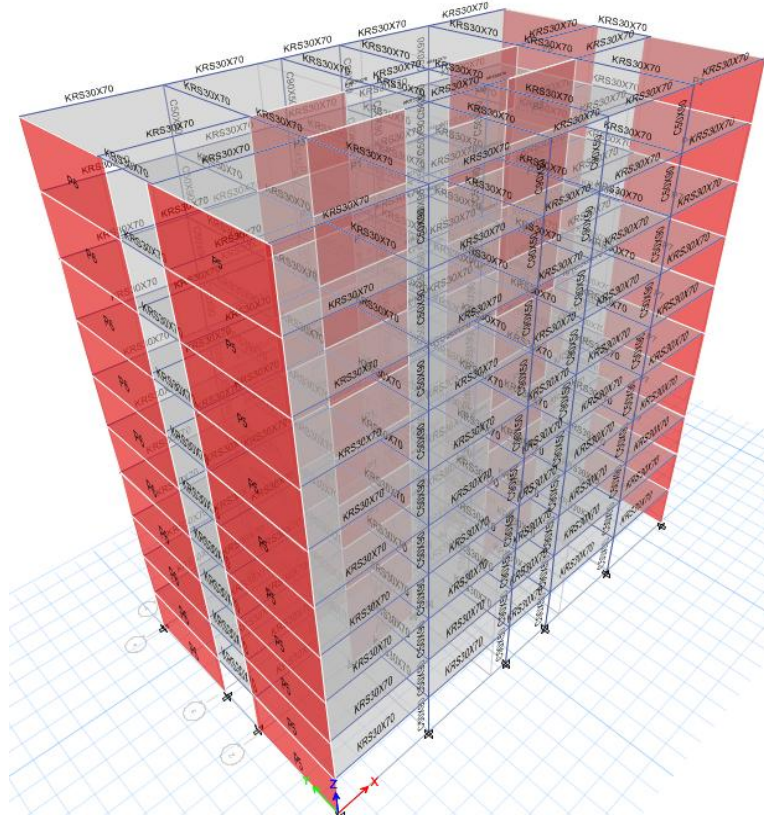
### 6.2.2 10 katlı ankastre mesnetli bina tasarımı

10 katlı binanın tasarımında çerçeve sistem, bodrum perdeli sistem ve perdeli-çerçeve sistem olarak üç ayrı bina modeli oluşturulmuştur. 10 katlı ankastre mesnetli binada perdeli-çerçeve sistem kullanılması uygun olduğu tespit edilerek tasarım yapılmıştır.

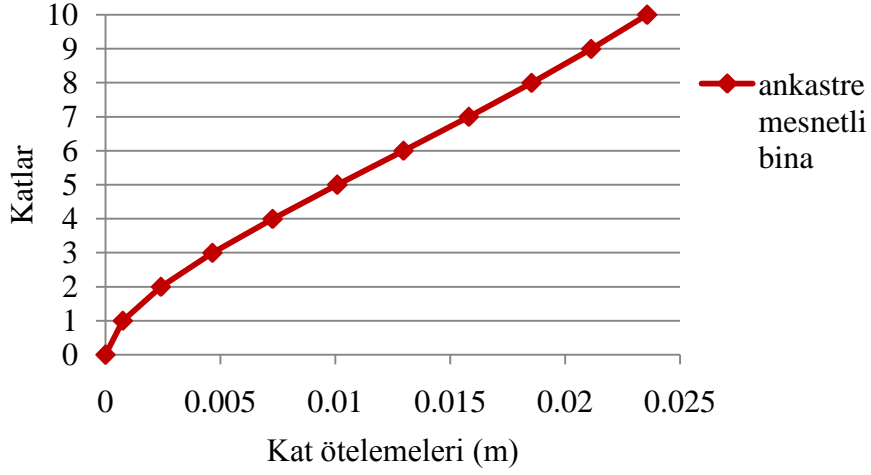
Kiriş kesitleri 30x70 cm; kolon kesitleri 50x90 cm, 90x50 cm; döşeme kalınlığı 17 cm olarak tasarlanmıştır. Tüm bina yüksekliği boyunca iki tür perde duvar kullanılmış olup plandaki uzunlukları 750 cm ve 550 cm dir. Perde tasarımları DBYBHY-2007 Bölüm 3.6 da belirtilen perde tasarım kriterlerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



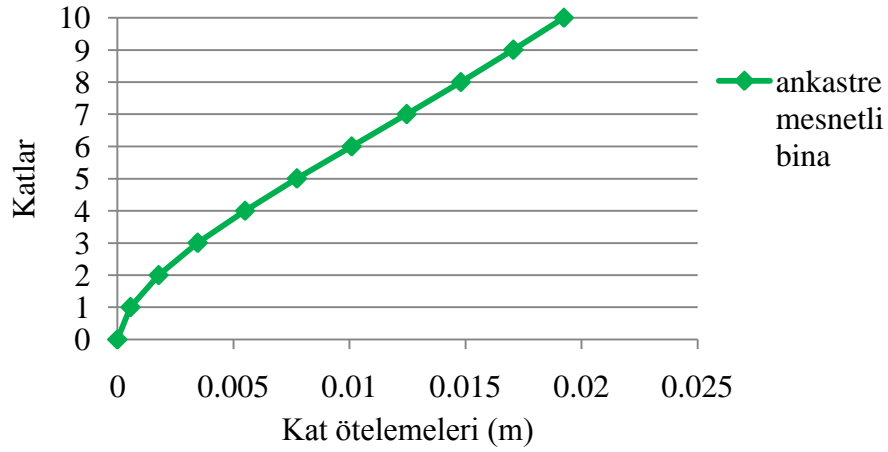
Şekil 6.5. 10 katlı ankastre mesnetli bina kat planı



Şekil 6.6. 10 katlı ankastre mesnetli binanın 3 boyutlu görünümü



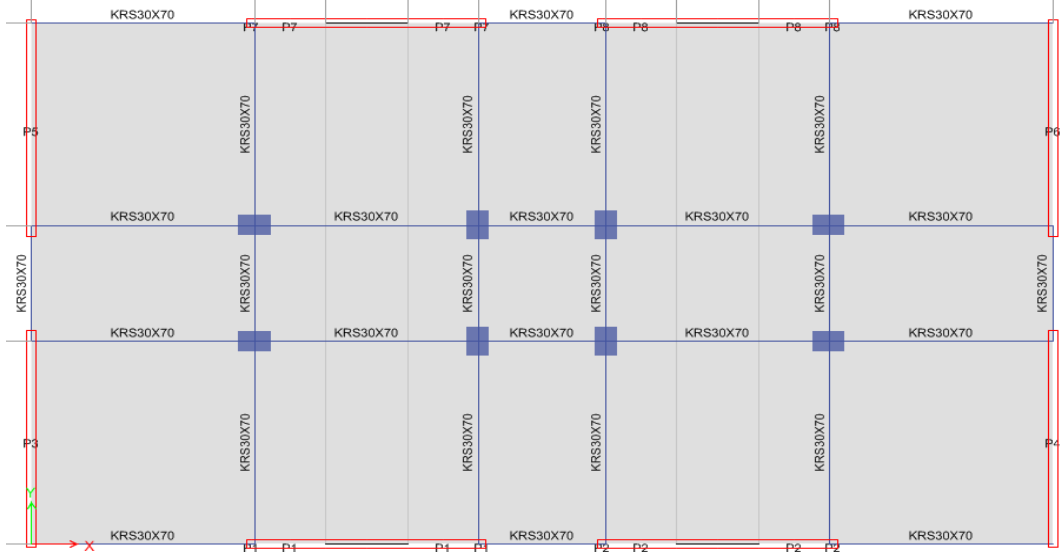
Şekil 6.7. 10 katlı ankastre mesnetli bina X yönü kat ötelemeleri



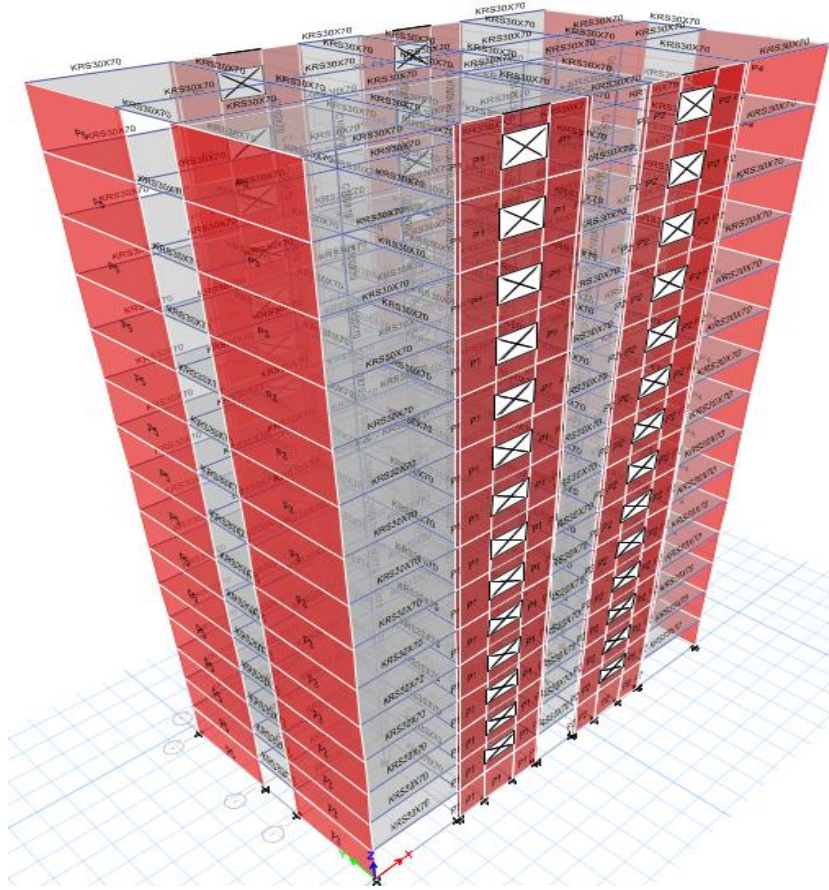
Şekil 6.8. 10 katlı ankastre mesnetli bina Y yönü kat ötelemeleri

### 6.2.3 15 katlı ankastre mesnetli bina tasarımı

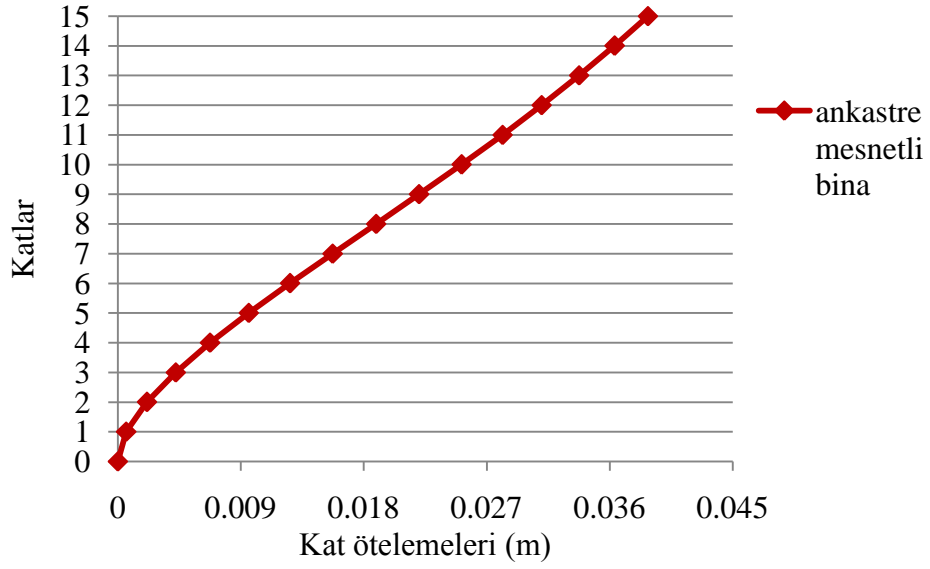
15 katlı ankastre mesnetli olarak tasarlanan bina da kiriş kesiti 30x70 cm, döşeme kalınlığı 17 cm olup kolon kesitleri ise 70x100 cm, 100x70 cm, 110x70 cm olarak tasarlanmıştır. Binanın depreme dayanıklı tasarım kurallarından rijitlik esasını sağlaması için plandaki uzunlukları 750 cm olan 8 adet boşluklu ve boşluksuz perde duvar X ve Y yönlerinde simetrik olarak binaya eklenmiştir.



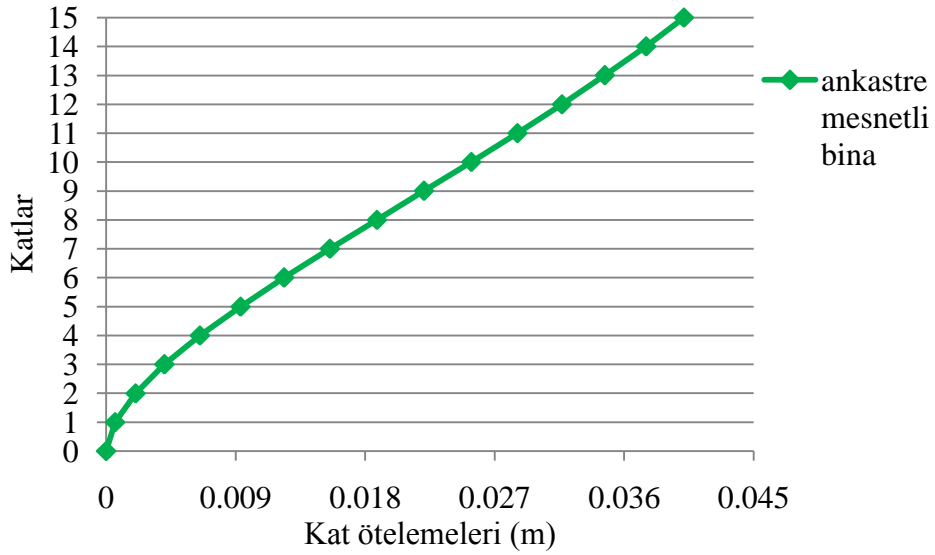
Şekil 6.9. 15 katlı ankastre mesnetli bina kat planı



Şekil 6.10. 15 katlı ankastre mesnetli binanın 3 boyutlu görünümü



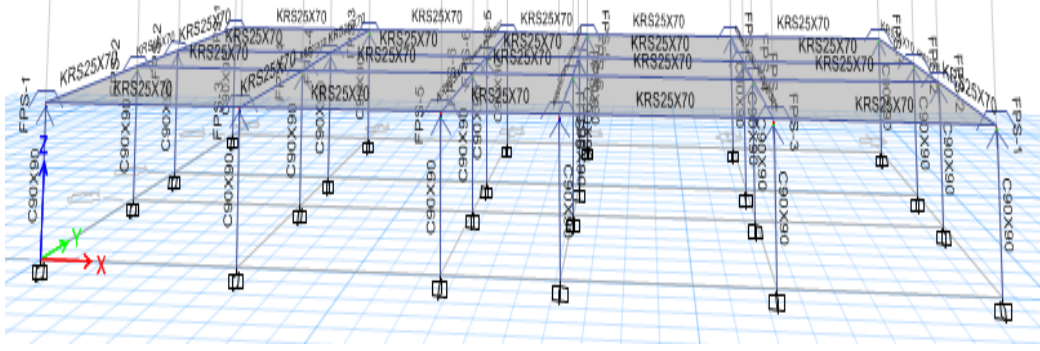
Şekil 6.11. 15 katlı ankastre mesnetli bina X yönü kat ötelemeleri



Şekil 6.12. 15 katlı ankastre mesnetli bina Y yönü kat ötelemeleri

### 6.3 İzolatörlü Binaların Tasarımı

Sismik izolatörlü olarak tasarlanan binalarda uluslararası yönetmelikler doğrultusunda tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör tasarlanmış ve sisteme eklenmiştir. 5, 10 ve 15 katlı hastane binalarında 1. kat kolonlarının üst bölgesine izolatörler yerleştirilmiştir. İzolatörlü yapıların tasarımında 6 çeşit sürtünmeli sarkaç sistem mevcut olup toplam 24 adet izolatör kullanılmıştır. İzolatör yerleşimi Şekil 6.13. de verildiği gibi uygulanmıştır.



Şekil 6.13. 1. kat kolonlarının üzerine izolatör yerleşimi

### 6.3.1 5 katlı izolatörlü bina tasarımı

5 katlı izolatörlü bina tasarımında optimum kesit özellikleri dikkate alınarak TS-500, DBYBHY-2007' ye göre bina modeli oluşturulmuştur. Kullanılacak olan izolatörler taşıyacakları yüklere ve gösterecekleri rijitlik değerlerine göre hesaplamalar sonucunda 6 çeşit olarak belirlenmiştir. Sürtünmeli sarkaç yüksekliği 20 cm ve eğrilik yarıçapı ( $R$ ) 2 m alınarak tasarıma başlanmıştır.

Tasarlanan modelde 30x60 cm, 60x30 cm, 30x70 cm, 70x30 cm, 90x90 cm olmak üzere 5 tip kolon kesiti ve 30x60 cm olmak üzere tek tip kiriş kesiti kullanılmış olup döşeme kalınlığı da 17 cm olarak alınmıştır.

2 metre eğrilik yarıçapına sahip SSS kullanılacağından dolayı yerleşim açısından da verimlilik elde etmek üzere 1. kat kolonlarında 90x90 cm boyutlu kesitler kullanılmıştır.

Tasarım periyodu ( $T_D$ ), 1.8 sn değerinden başlanarak yapılan iterasyon işlemleri sonucunda 2.2 sn olarak bulunmuştur. Maksimum depremin meydana gelme durumu göz önüne alınıp izolatörlü binaların göstereceği davranış değişikliklerini kontrol etmek için hesap yapıldığında ise  $T=2.47$  sn olarak elde edilmiştir. Ayrıca, efektif sönüm oranı  $\beta_{\text{eff}}=0.246$ , tasarım deplasman değeri  $D_D=0.16$  m bulunmuştur.

İzolatörlü olarak tasarlanmış olan binanın toplam ağırlığı  $W_t=30087.93$  kN olarak bulunmuştur. Zemin sınıfı olarak Z2 kullanıldığından tasarım depremi ve maksimum deprem için spektrum katsayıları ilgili yönetmeliklerden  $S_{D1}=0.48g$  ve  $S_{M1}=0.72g$  olarak alınmıştır.

$T = 2\pi\sqrt{R/g}$  denkleminde periyot değeri;  $R= 2$  m için  $T = 2.8$  sn olarak elde edilmiştir.

Efektif sönüm oranı  $\beta_{\text{eff}}=0.32$  olarak hesaplanmış ve spektrum azaltma katsayısı  $B_D=1.869$  olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler başlangıç değeri olup efektif sönüm oranı tasarım deplasmanı kullanılarak iteratif işlemler sonucu  $\beta_{\text{eff}}= 0.246$  olarak hesaplanmıştır.

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} * \frac{S_{D1}T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} * \frac{0.48*2.2}{1.669} = 0.16 \text{ m}$$

Denklemlerle tasarım deplasman değeri yukarıda da verildiği gibi 0.16 m elde edildikten sonra Denklem 5.14 de bu tasarım deplasman değerine bağlı olarak efektif rijitlik  $k_{\text{eff}}= 23210.93$  kN/m olarak bulunmuştur.

$k_{D_{\text{min}}}= 23210.93$  kN/m olarak elde edildikten sonra ortalama rijitliğin %10 değiştiği varsayımıyla;

$$k_{D_{\text{max}}}= (1.1/0.9)* 23210.93= 28368.91 \text{ kN/m şeklinde hesaplanmıştır.}$$

İzolatörün altında kalan yapı elemanları için Denklem 5.12 de verilen tasarım kuvveti değeri;

$$V_b=k_{D_{\text{max}}}* D_D= 28368.91* 0.16= 4539.03 \text{ kN olarak bulunmuştur.}$$

İzolatörün üstünde kalan üstyapı elemanlarına etkiyen tasarım kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan  $R_I$  azaltma katsayısı modelde kullanılan binanın hastane binası olmasından dolayı daha güvenli tarafta kalmak adına 1.5 alınmış ve  $V_s$  değeri Denklem 5.13 yardımıyla 3026.02 kN olarak elde edilmiştir.

Simetrik kolonlara gelen yük değerleri belirlenip her bir kolon için Çizelge 6.1 de verilen efektif rijitlik değerleri hesaplanmış ve bu değerler kullanılarak bilgisayar programında tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç sistem tanımlaması yapılmıştır.

Binada 6 çeşit sürtünmeli sarkaç sistem kullanılacağından dolayı FPS-1, FPS-2, FPS-3, FPS-4, FPS-5, FPS-6 adı verilen farklı rijitlik değerlerine sahip fakat efektif sönüm oranı değerleri ve izolatör yükseklikleri ile ağırlıkları eşit olan izolatörler tanımlanmıştır.

**Çizelge 6.1.** 5 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri

	FPS-1	FPS-2	FPS-3	FPS-4	FPS-5	FPS-6
$k_{eff}$ (kN/m)	682.01	957.27	1187.48	1645.69	942.16	1370.51

Binanın oturduğu zemin ve binaya etki eden depreme ilişkin parametreler ve izolatöre ait hesaplanmış olan değerler kullanılarak model analiz edilmiş ve izolatörün alt ve üst kısmında yer alan yapı elemanları ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterleri sağlayacak şekilde yeniden tasarlanarak kontrolleri yapılmıştır.

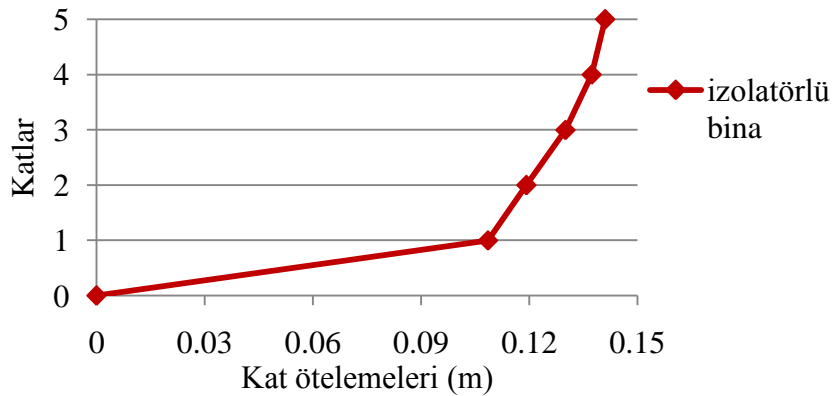
Binaya maksimum deprem kuvvetinin gelmesi durumu göz önüne alındığında binanın kontrolünde kullanılan değerler;

$$T_M = 2.47 \text{ sn}$$

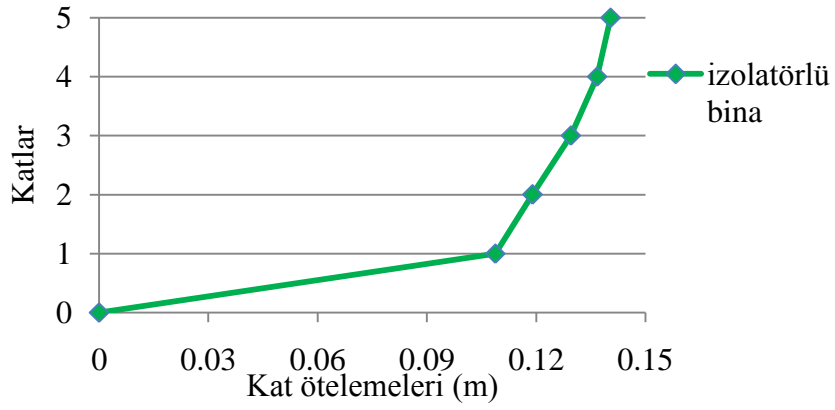
$$\beta_{eff} = \% 15.23$$

$$D_M = 0.32 \text{ m}$$

$V_b = 7318.91 \text{ kN}$ ,  $V_s = 4879.27 \text{ kN}$  olarak bulunmuş ve bu değerler göz önüne alınarak yapılan analizlerde binanın maksimum deprem düzeyinde de ilgili yönetmeliklerde belirtilen esaslara uygun olduğu görülmüştür.



**Şekil 6.14.** 5 katlı izolatörlü bina X yönü kat ötelemeleri



Şekil 6.15. 5 katlı izolatörlü bina Y yönü kat ötelemeleri

### 6.3.2 10 katlı izolatörlü bina tasarımı

Kiriş kesiti 30x70 cm, kolonlar ise 40x90 cm, 90x40 cm, 50x90 cm, 90x50 cm, 90x90 cm boyutlarındadır. Kare kesitler sürtülmeli sarkacın yerleştirildiği 1. kat kolon kesitleridir.

Sürtülmeli sarkaç izolatörlerin bazı özelliklerinde 5 katlı izolatörlü binaya göre değişiklikler söz konusudur. Çünkü bina toplam ağırlığı, kolonlara gelen yük değerleri vb. kat adedine göre değişiklik göstermiştir.

Zemin sınıfı olarak Z2 kullanıldığından tasarım depremi ve maksimum deprem için spektrum katsayıları ilgili yönetmeliklerden  $S_{D1}= 0.48g$  ve  $S_{M1}= 0.72g$  olarak alınmıştır.

$T = 2\pi\sqrt{R/g}$  denkleminde periyot değeri,  $R= 2$  m için 2.8 sn bulunmuştur.

Efektif sönüm oranı  $\beta_{eff}=0.32$  olarak hesaplanmış ve spektrum azaltma katsayısı  $B_D=1.869$  olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler başlangıç değeri olup tasarım deplasmanı kullanılarak iteratif işlemler sonucu efektif sönüm oranı  $\beta_{eff}= 0.246$  olarak hesaplanmıştır.

$$D_D = \frac{g}{4\pi^2} * \frac{S_{D1}T_D}{B_D} = \frac{9.81}{4\pi^2} * \frac{0.48*2.2}{1.669} = 0.16 \text{ m}$$

Denklem 5.4 yardımıyla tasarım deplasman değeri yukarıda da verildiği gibi 0.16 m elde edildikten sonra Denklem 5.14 de bu tasarım deplasman değerine bağlı olarak efektif rijitlik  $k_{eff}= 51090.21$  kN/m olarak bulunmuştur.

$k_{Dmin}= 51090.21$  kN/m olarak hesaplandıktan sonra ortalama rijitliğin %10 değiştiği varsayımıyla;

$k_{Dmax}= (1.1/0.9)* 51090.21= 62443.59$  kN/m olarak hesaplanmıştır.

İzolatörün altında kalan yapı elemanları için Denklem 5.12 de verilen tasarım kuvveti değeri  $V_b= 9990.97$  kN olarak bulunmuştur.

İzolatörün üstünde kalan üstyapı elemanlarına etkiyen tasarım kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan  $R_I$  azaltma katsayısı modelde kullanılan binanın hastane binası olmasından dolayı daha güvenli tarafta kalmak adına 1.5 alınmış ve  $V_s$  değeri Denklem 5.13 yardımıyla 6660.65 kN olarak elde edilmiştir.

Binada 6 çeşit sürtülmeli sarkaç sistem kullanılacağından dolayı FPS-1, FPS-2, FPS-3, FPS-4, FPS-5, FPS-6 adı verilen farklı rijitlik değerlerine sahip fakat efektif sönüm oranı değerleri ve izolatör yükseklikleri ile ağırlıkları eşit olan izolatörler tanımlanmıştır.

**Çizelge 6.2.** 10 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri

	FPS-1	FPS-2	FPS-3	FPS-4	FPS-5	FPS-6
$k_{eff}$ (kN/m)	1741.53	2184.05	2486.65	3117.73	2237.18	2848.47

Binanın oturduğu zemin ve binaya etki eden depreme ilişkin parametreler ve izolatöre ait hesaplanmış olan değerler kullanılarak model analiz edilmiş ve izolatörün alt ve üst kısmında yer alan yapı elemanları ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterleri sağlayacak şekilde yeniden tasarlanarak kontrolleri yapılmıştır.

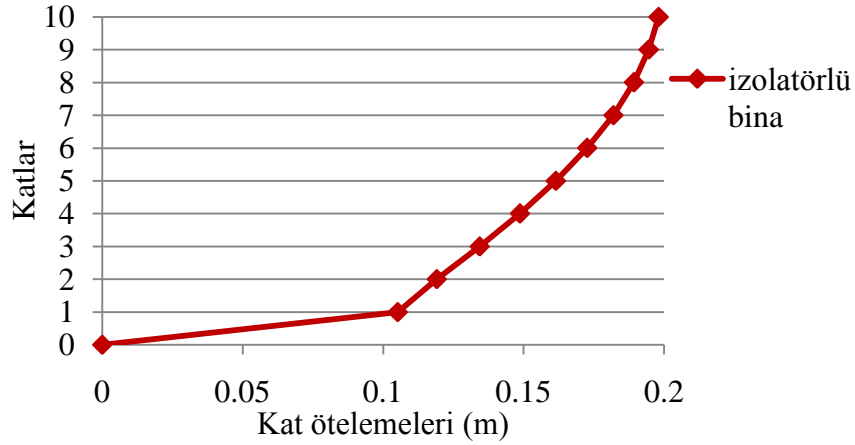
Binaya maksimum deprem kuvvetinin gelmesi durumu göz önüne alındığında binanın kontrolünde kullanılan değerler;

$$T_M = 2.47 \text{ sn}$$

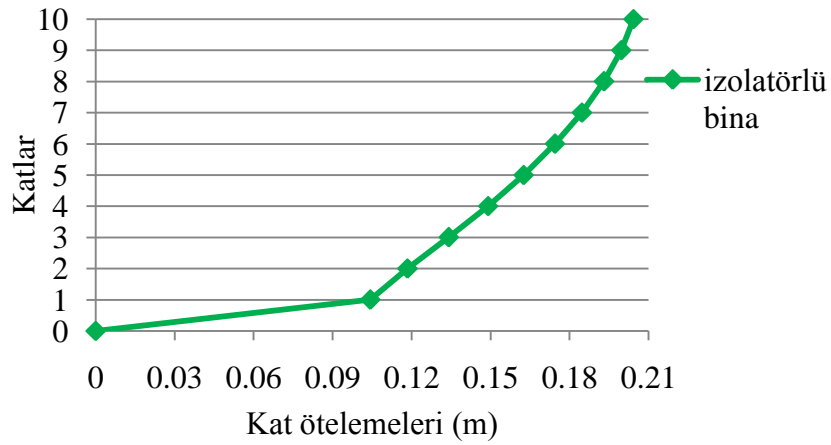
$$\beta_{\text{eff}} = \% 15.23$$

$$D_M = 0.32 \text{ m}$$

$V_b = 16109.86 \text{ kN}$ ,  $V_s = 10739.91 \text{ kN}$  olarak bulunmuş ve bu değerler göz önüne alınarak yapılan analizlerde binanın maksimum deprem düzeyinde de ilgili yönetmeliklerde belirtilen esaslara uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 6.16. 10 katlı izolotörlü bina X yönü kat ötelemeleri



Şekil 6.17. 10 katlı izolotörlü bina Y yönü kat ötelemeleri

### 6.3.3 15 katlı izolotörlü bina tasarımı

Kiriş kesitleri 30x70 cm; kolon kesitleri 70x90, 90x70 cm, izolotörlerin yerleştirileceği 1. kat kolon kesitleri ise 100x100 cm boyutlarında tasarlanmıştır.

Zemin sınıfı olarak Z2 kullanıldığından tasarım depremi ve maksimum deprem için spektrum katsayıları ilgili yönetmeliklerden  $S_{D1}= 0.48g$  ve  $S_{M1}= 0.72g$  olarak alınmıştır.

$T = 2\pi\sqrt{R/g}$  denkleminde periyot değeri,  $R= 2$  m için 2.8 sn bulunmuştur.

Efektif sönüm oranı  $\beta_{eff}=0.32$  olarak hesaplanmış ve spektrum azaltma katsayısı  $B_D=1.869$  olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler başlangıç değeri olup efektif sönüm oranı tasarım deplasmanı kullanılarak iteratif işlemler sonucu  $\beta_{eff}= 0.246$  olarak hesaplanmıştır.

Denklem 5.4 de verilen tasarım deplasman değeri  $D_D=0.16$  m bulunurken; Denklem 5.14 de verilen efektif rijitlik değeri  $k_{eff}= 83494.84$  kN/m olarak bulunmuştur.

$k_{Dmin}= 83494.84$  kN/m olarak hesaplandıktan sonra ortalama rijitliğin %10 değiştiği varsayımıyla;  $k_{Dmax}=102049.25$  kN/m olarak elde edilmiştir.

İzolatörün altında kalan yapı elemanları için Denklem 5.12 de verilen tasarım kuvveti değeri  $V_b=16327.88$  kN olarak bulunmuştur.

İzolatörün üstünde kalan üstyapı elemanlarına etkiyen tasarım kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan  $R_I$  azaltma katsayısı modelde kullanılan binanın hastane binası olmasından dolayı daha güvenli tarafta kalmak adına 1.5 alınmış ve  $V_s$  değeri Denklem 5.13 yardımıyla 10885.25 kN olarak elde edilmiştir.

Binada 6 çeşit sürtünmeli sarkaç sistem kullanılacağından dolayı FPS-1, FPS-2, FPS-3, FPS-4, FPS-5, FPS-6 adı verilen farklı rijitlik değerlerine sahip fakat efektif sönüm oranı değerleri ve izolatör yükseklikleri ile ağırlıkları eşit olan izolatörler tanımlanmıştır.

**Çizelge 6.3.** 15 katlı binada izolatör efektif rijitlik değerleri

	FPS-1	FPS-2	FPS-3	FPS-4	FPS-5	FPS-6
$k_{eff}$ (kN/m)	3089.65	3645.05	3982.52	4678.89	3772.42	4438.12

Binanın oturduğu zemin ve binaya etki eden depreme ilişkin parametreler ve izolatöre ait hesaplanmış olan değerler kullanılarak model analiz edilmiş ve izolatörün alt ve üst kısmında yer alan yapı elemanları ilgili yönetmeliklerde belirtilen kriterleri sağlayacak şekilde yeniden tasarlanarak kontrolleri yapılmıştır.

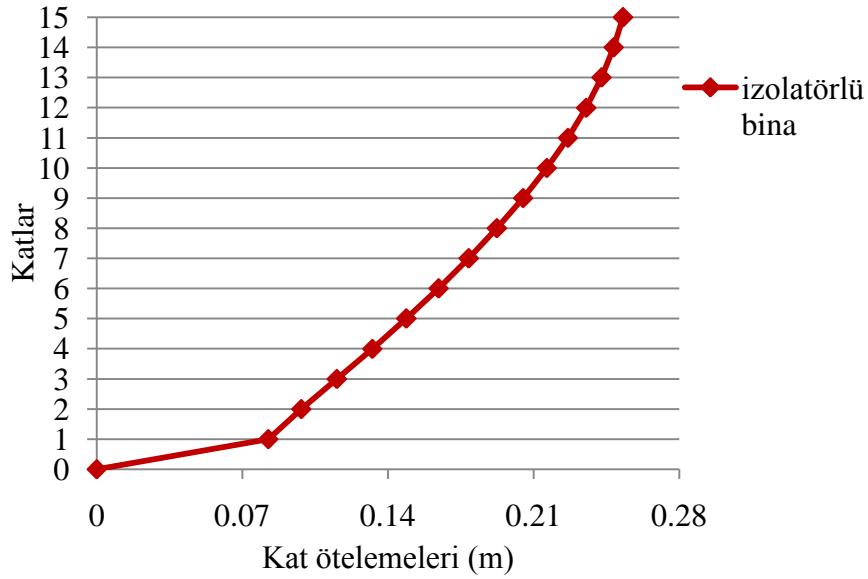
Binaya maksimum deprem kuvvetinin gelmesi durumu göz önüne alındığında binanın kontrolünde kullanılan değerler;

$$T_M = 2.47 \text{ sn}$$

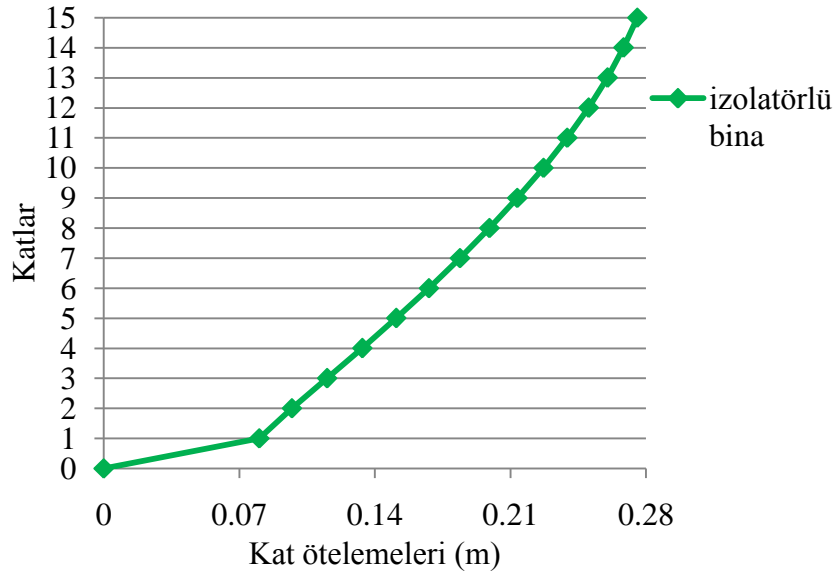
$$\beta_{\text{eff}} = \% 15.23$$

$$D_M = 0.32 \text{ m}$$

$V_b = 26327.75 \text{ kN}$ ,  $V_s = 17551.83 \text{ kN}$  olarak bulunmuş ve bu değerler göz önüne alınarak yapılan analizlerde binanın maksimum deprem düzeyinde de ilgili yönetmeliklerde belirtilen esaslara uygun olduğu görülmüştür.



**Şekil 6.18.** 15 katlı izolatörlü bina X yönü kat ötelemeleri



**Şekil 6.19.** 15 katlı izolatörlü bina Y yönü kat ötelemeleri

#### 6.4 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Ankastre mesnetli ve sürtümlü sarkaç izolatörlü olarak tasarlanan 5, 10 ve 15 katlı binaların analiz sonuçları elde edilerek periyot, kat kesme kuvvetleri, göreceli kat ötelemeleri ve maliyet değerleri karşılaştırılmıştır.

##### 6.4.1 Periyot değerleri

Analiz sonuçlarından elde edilen 1. doğal titreşim periyot değerleri, bina kat adedinin doğal titreşim periyot değeri değişimine etkisini belirlemek üzere karşılaştırılmış ve sırasıyla Çizelge 6.4. ve 6.5.'de verilmiştir. Ankastre mesnetli binalarda izolatörlü binalara kıyasla doğal titreşim periyot değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Periyodun küçük olması binanın deprem kuvveti etkisinde daha fazla salınım yapması ve yapı güvenliğinin tehlikeye girmesi anlamına gelmektedir. Ancak sismik izolatör uygulanan binalarda doğal titreşim periyot değerleri çok büyük rakamlara ulaştığından deprem kuvvetlerine karşı daha emniyetli hale gelmektedirler. Çünkü binanın salınımını tamamlaması esnasında binaya gelen enerjinin büyük bir kısmı izolatörler tarafından sönmülenirken katlar arası deplasman da minimuma inmektedir.

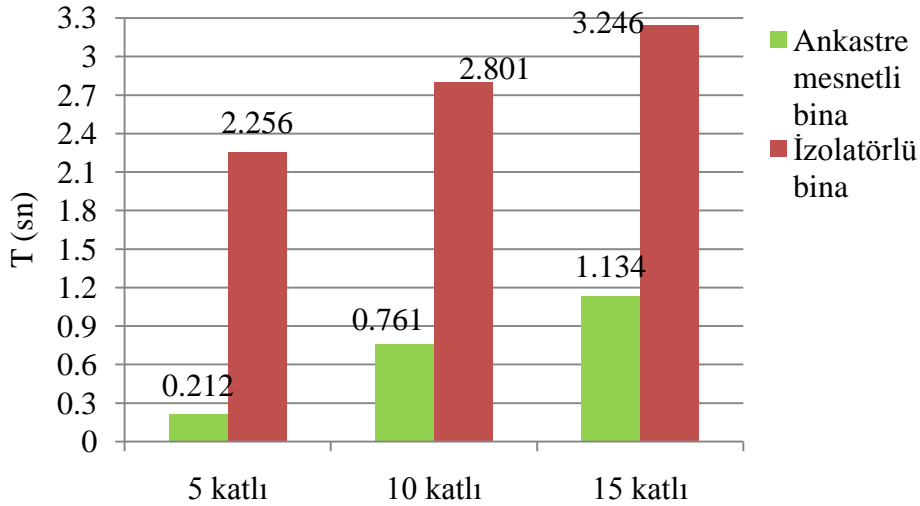
**Çizelge 6.4.** X yönündeki periyot değerleri

	Ankastre mesnetli binada T (sn)	İzolotörlü binada T (sn)
5 Katlı	0.212	2.256
10 Katlı	0.761	2.801
15 Katlı	1.134	3.246

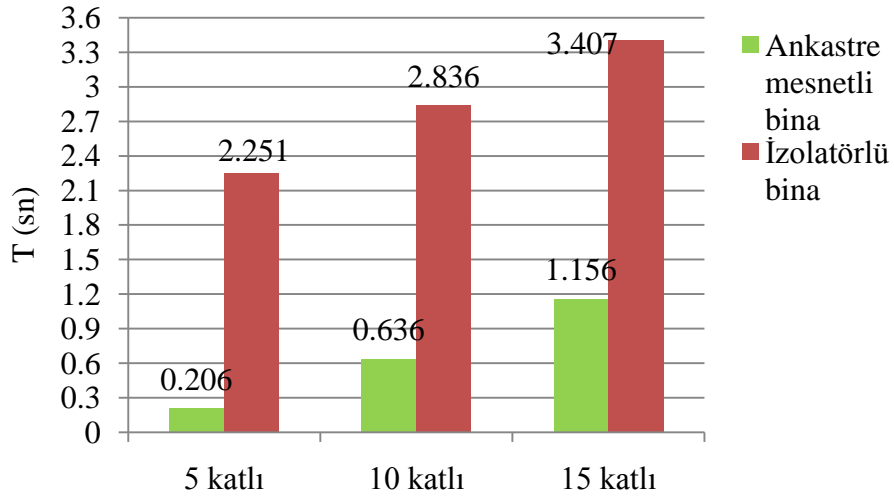
**Çizelge 6.5.** Y yönündeki periyot değerleri

	Ankastre mesnetli binada T (sn)	İzolotörlü binada T (sn)
5 Katlı	0.206	2.251
10 Katlı	0.636	2.836
15 Katlı	1.156	3.407

Çizelge 6.4. ve Çizelge 6.5. den de anlaşılacağı üzere sürtümlü sarkaç izolotörlü olarak tasarlanan 5 ve 10 katlı hastane binalarına ait doğal titreşim periyot değerlerinin, tasarım periyot değerleri olarak kabul edilen 2-3 sn aralığında olduğu ancak 15 katlı izolotörlü hastane binasına ait doğal titreşim periyot değerinin tasarım periyot değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, 5 ve 10 katlı hastane binalarında izolotör kullanımının uygun olduğu ancak 15 katlı bina için uygun olmadığı anlaşılmıştır.



**Şekil 6.20.** Binaların X yönünde periyot değerleri



Şekil 6.21. Binaların Y yönünde periyot değerleri

#### 6.4.2 Kat kesme kuvvetleri

Yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında kesit özelliklerinin belirlenmesinde kesme kuvveti değerleri belirleyici rol oynamaktadır.

Çizelge 6.6. 5 katlı binalarda kat kesme kuvvetleri

Katlar	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)
1	4395.21	4472.48	2899.39	2905.39
2	4024.74	4090.30	2296.37	2297.88
3	3406.79	3441.48	1790.52	1788.88
4	2557.29	2587.38	1207.99	1204.99
5	1336.35	1351.65	510.12	508.17

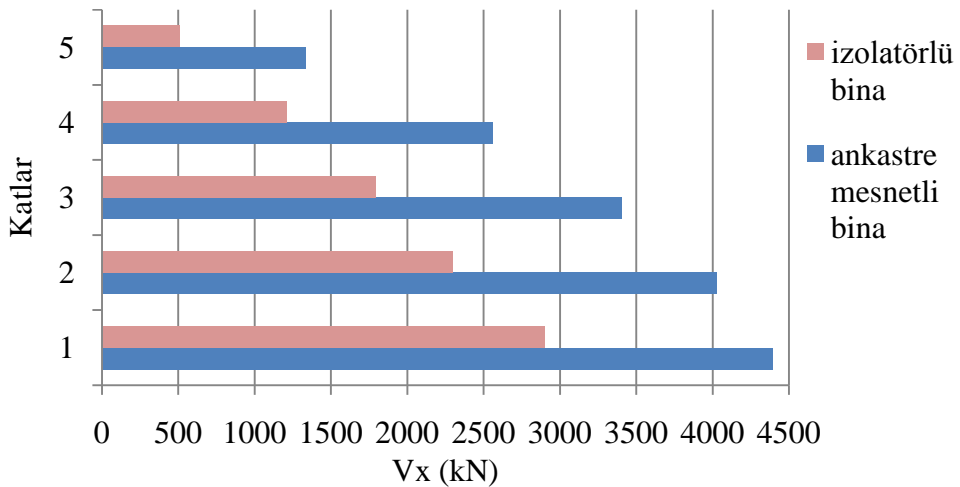
Çizelge 6.7. 10 katlı binalarda kat kesme kuvvetleri

Katlar	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)
1	5897.81	6657.44	5959.40	5904.68
2	5730.95	6456.99	5263.91	5209.96
3	5453.91	6156.64	4797.84	4752.31
4	5093.40	5786.35	4370.65	4339.73
5	4664.81	5331.98	3938.32	3925.36
6	4178.95	4784.64	3469.70	3474.35
7	3624.69	4135.78	2934.91	2953.27
8	2969.83	3355.49	2300.70	2325.97
9	2144.74	2429.35	1539.12	1562.96
10	1062.55	1202.64	646.37	659.61

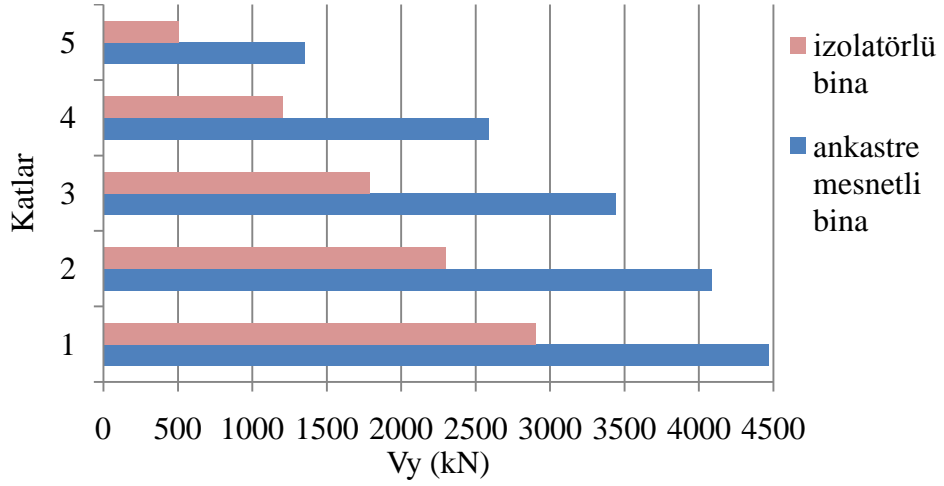
**Çizelge 6.8.** 15 katlı binalarda kat kesme kuvvetleri

Katlar	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)
1	6999.09	6935.34	7515.21	7321.81
2	6866.71	6782.32	7014.24	6773.14
3	6667.68	6591.05	6645.93	6376.84
4	6400.74	6307.50	6325.42	6043.98
5	6078.31	5986.30	6040.38	5764.69
6	5725.58	5628.52	5777.88	5526.41
7	5360.54	5262.99	5522.43	5310.95
8	4998.08	4901.31	5254.41	5093.23
9	4640.75	4551.28	4950.15	4842.97
10	4278.18	4214.69	4582.69	4526.80
11	3872.89	3827.50	4122.31	4109.49
12	3391.88	3360.57	3537.14	3555.33
13	2782.86	2786.77	2796.12	2831.31
14	2015.66	2028.55	1878.18	1915.12
15	943.11	927.39	786.01	807.72

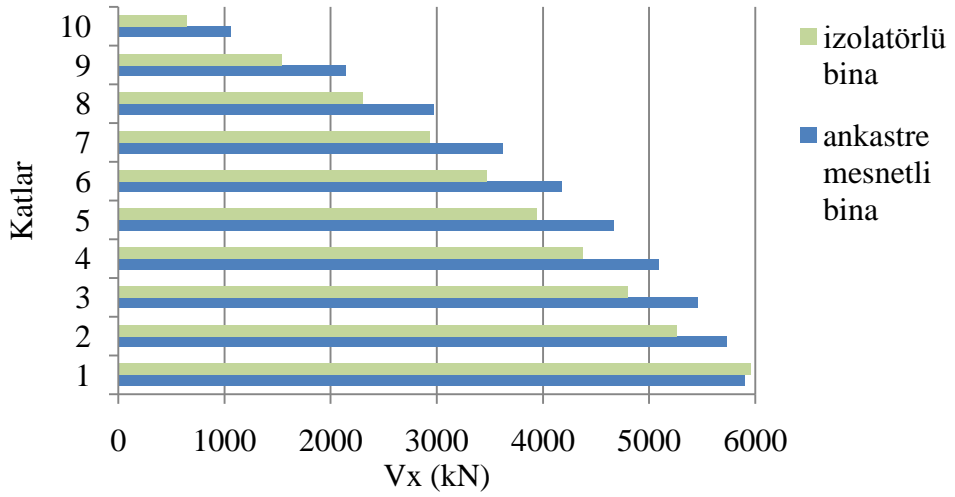
Çizelge 6.6. ve Çizelge 6.7. de ankastre mesnetli ve izolatörlü hastane binaları için verilen kat kesme kuvveti değerleri değerlendirildiğinde 5 ve 10 katlı izolatörlü binalarda ankastre mesnetli binalara göre daha az kesme kuvveti elde edilirken, Çizelge 6.8. de 15 katlı izolatörlü hastane binasında kat kesme kuvvetlerinin ankastre mesnetli hastane binasına göre ilk katlarda daha yüksek, üst katlarda ise birbirlerine yakın değerler olduğu görülmüştür.



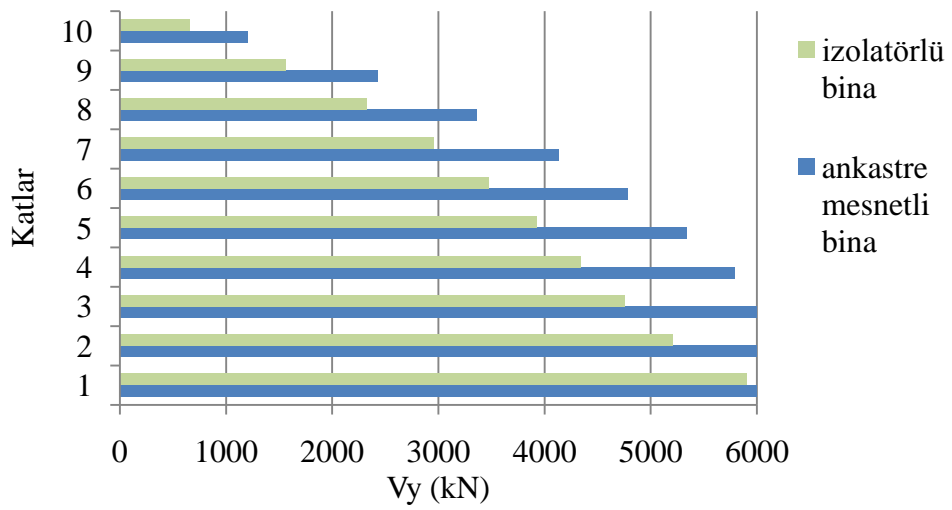
**Şekil 6.22.** 5 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri



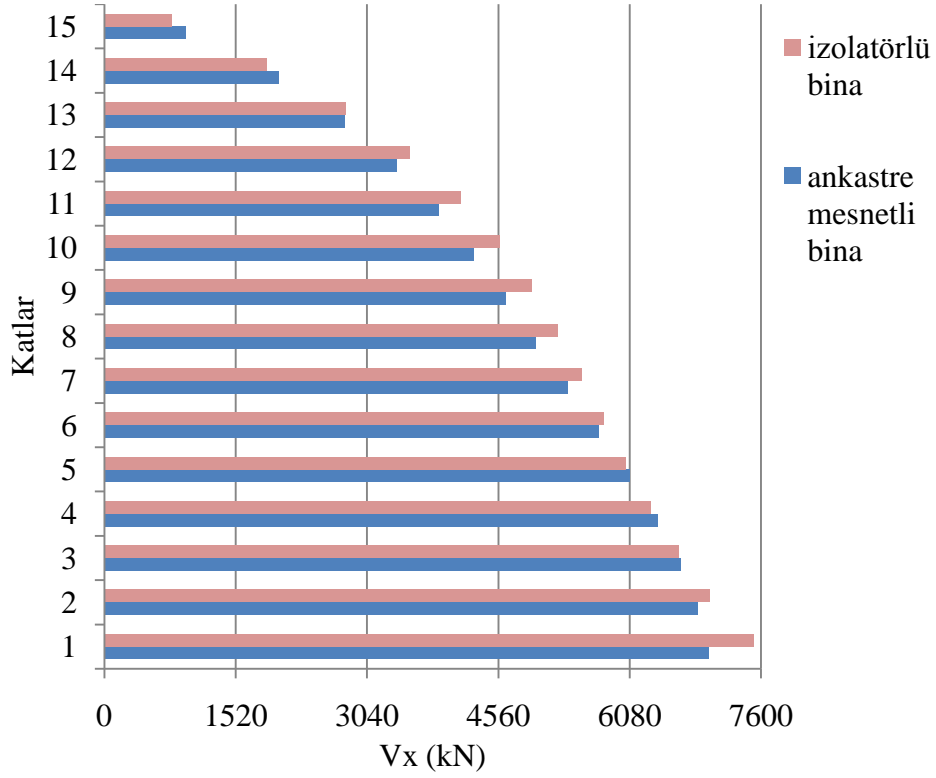
Şekil 6.23. 5 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri



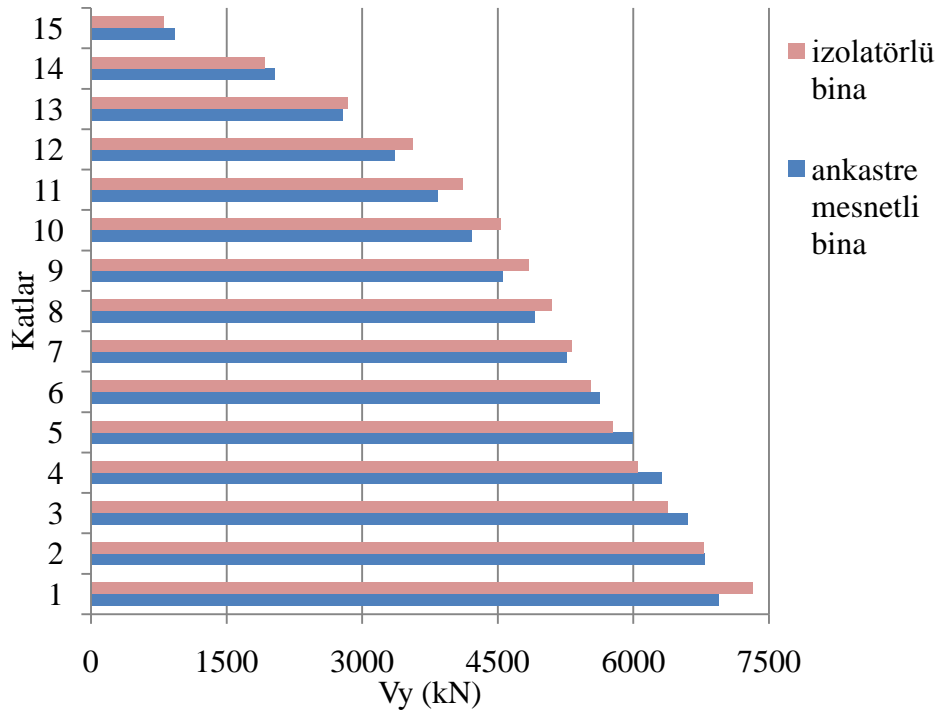
Şekil 6.24. 10 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri



Şekil 6.25. 10 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri



Şekil 6.26. 15 katlı binalarda X yönünde kat kesme kuvvetleri



Şekil 6.27. 15 katlı binalarda Y yönünde kat kesme kuvvetleri

Şekil 6.22. ve Şekil 6.23. incelendiğinde 5 katlı izolatörlü hastane binası ile ankastre mesnetli binanın kat kesme kuvvetleri arasındaki farkın çok fazla olduğu ve izolatörlü binalarda deprem kuvvetlerinin binaya daha az etkidiği görülmektedir. Şekil 6.24. ve Şekil 6.25. de 10 katlı izolatörlü hastane binalarında kat kesme kuvveti değerleri ankastre mesnetli binaya göre az olmasına karşılık değerler arasındaki fark azdır. Ancak Şekil 6.26. ve Şekil 6.27. de verilen 15 katlı izolatörlü hastane binasında kat kesme kuvveti değerlerinin izolatörün bulunduğu katta ve 7. kat ve üzerindeki katlarda ankastre mesnetli binaya göre fazla olduğu görülmektedir. 15 katlı binada izolatörlü sistemde ankastre mesnetli sisteme kıyasla görülen kat kesme kuvvetindeki artış sürtünmeli sarkaç izolatör kullanımının çok yüksek katlı binalarda uygun olmadığını göstermiştir.

#### 6.4.3 Göreli kat ötelemeleri

Ankastre mesnetli binalar perdeli-çerçeve ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü binalar ise çerçeve olarak depreme dayanıklı olacak şekilde tasarlanmıştır. Ankastre mesnetli binalarda perde elemanlarının kullanılmasından ötürü bu binalar rijit davranış sergilemektedir. İzolatörlü binalar ise çerçeve sistemden oluştuğundan ve sürtünmeli sarkaç kullanıldığından dolayı daha sünek özelliğe sahiptir. Tüm bu koşullardan dolayı ankastre mesnetli binaların göreli kat öteleme miktarları izolatörlü binalara göre daha az elde edilmiştir.

**Çizelge 6.9.** 5 katlı binalarda göreli kat ötelemeleri

Katlar	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)
1	0.000246	0.000243	0.108496	0.108724
2	0.000585	0.000568	0.010689	0.010258
3	0.000720	0.000686	0.010789	0.010509
4	0.000726	0.000680	0.007333	0.007213
5	0.000662	0.000609	0.003698	0.003716

**Çizelge 6.10.** 10 katlı binalarda görelî kat ötelemeleri

Katlar	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)
1	0.000752	0.000556	0.105211	0.104270
2	0.001654	0.001214	0.01386	0.014168
3	0.002249	0.001694	0.015232	0.015667
4	0.002621	0.002031	0.014348	0.014901
5	0.002817	0.002242	0.012838	0.013529
6	0.002879	0.002350	0.011132	0.011961
7	0.002840	0.002375	0.009294	0.010252
8	0.002730	0.002338	0.007334	0.008402
9	0.002588	0.002265	0.005303	0.006457
10	0.002446	0.002176	0.003507	0.004694

**Çizelge 6.11.** 15 katlı binalarda görelî kat ötelemeleri

Katlar	Ankastre mesnetli bina		İzolatörlü bina	
	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)
1	0.000625	0.000625	0.082436	0.080355
2	0.001510	0.001409	0.015804	0.016778
3	0.002103	0.002014	0.017175	0.018206
4	0.002526	0.002474	0.017034	0.018157
5	0.002824	0.002810	0.016350	0.017590
6	0.003020	0.003039	0.015477	0.016859
7	0.003129	0.003184	0.014537	0.016073
8	0.003168	0.003255	0.013552	0.015254
9	0.003151	0.003270	0.012513	0.014382
10	0.003108	0.003306	0.011395	0.013424
11	0.002992	0.003201	0.010169	0.012342
12	0.002868	0.003087	0.008816	0.011111
13	0.002732	0.002985	0.007342	0.009731
14	0.002615	0.002879	0.005830	0.008282
15	0.002419	0.002624	0.004522	0.00700

Çizelge 6.9., Çizelge 6.10. ve Çizelge 6.11. de verilen analiz sonucunda elde edilen görelî kat ötelemeleri, ilgili yönetmeliklerde verilen sınır değerler ile karşılaştırılmış ve bu görelî kat öteleme değerleri altında binaların kullanılabilirliği doğrulanmıştır.

## 6.5 Maliyet Analizi

İzolatörlü yapılar da kat adedinin maliyete olan etkisini belirlemek amacıyla izolatörün üzerindeki kat adedine göre farklı efektif rijitlik oranlarına sahip sürtünmeli sarkaç izolatörler kullanılmıştır. Maliyet hesaplamasında kullanılan beton sınıfı, donatı sınıfı, kiriş ve kolon kesitlerinde kullanılan donatı çapları, döşeme kalınlıkları, kullanılan izolatör türü, binaların inşa edileceği zemin sınıfı, deprem bölgesi değerleri tüm binalar için aynı alınmıştır.

Binaların maliyetinin hesaplanmasında beton, donatı, kalıp ve sürtünmeli sarkaç izolatörün kurulumu ve test işlemleri dahil fiyatı serbest piyasa rakamlarına göre göz önüne alınmıştır.

Kullanılan tek yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin maksimum deplasman kapasitesi ve efektif rijitlik değerlerine göre piyasa değerleri A ve B firmalarından alınan fiyatlar doğrultusunda yaklaşık olarak 5 katlı bina için 14,900.00 TL, 10 katlı bina için 17,880.00 TL, 15 katlı bina için 23,840.00 TL olarak belirlenmiştir. Piyasadan alınan güncel fiyatlar doğrultusunda C25 beton sınıfının m<sup>3</sup> fiyatı 110.00 TL, 1 ton donatı fiyatı 1,500.00 TL ve kalıbın m<sup>2</sup> fiyatı 14.00 TL olarak maliyet hesabına dâhil edilmiştir.

Tasarımı yapılan izolatörlü hastane binalarında 24 adet sürtünmeli sarkaç izolatör kullanıldığından dolayı;  $14,900.00 \times 24 = 357,600.00$  TL,  $17,880.00 \times 24 = 429,120.00$ ,  $22,350.00 \times 24 = 536,400.00$  TL sırasıyla 5, 10, 15 katlı binalarda kullanılan izolatör maliyetidir.

**Çizelge 6.12.** 5 katlı binalarda beton, donatı, kalıp, izolatör maliyeti

	Ankastre mesnetli bina	İzolatörlü bina
Kullanılan C25 beton miktarı (m <sup>3</sup> )	514.80	339.55
Beton maliyeti (TL)	56,628.00	37,350.50
Kullanılan donatı miktarı (ton)	27.50	21.00
Donatı maliyeti (TL)	41,250.00	31,500.00
Kullanılan kalıp miktarı (m <sup>2</sup> )	6508.20	5328.92
Kalıp maliyeti (TL)	91,114.80	74,604.88
İzolatör maliyeti (TL)	---	357,600.00
Toplam maliyet (TL)	188,992.80	501,055.38

**Çizelge 6.13.** 10 katlı binalarda beton, donatı, kalıp, izolatör maliyeti

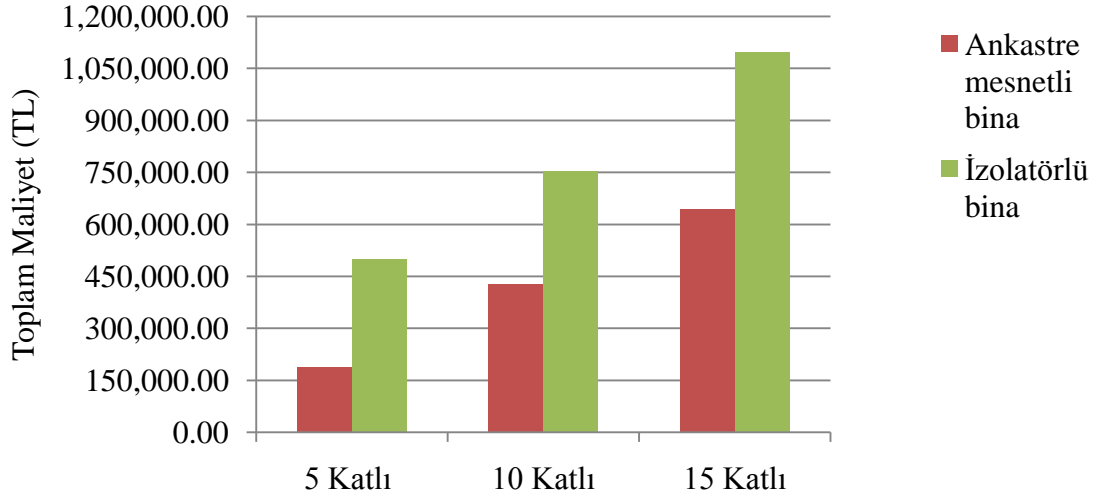
	Ankastre mesnetli bina	İzolatörlü bina
Kullanılan C25 beton miktarı (m <sup>3</sup> )	1138.20	824.71
Beton maliyeti (TL)	125,202.00	90,718.10
Kullanılan donatı miktarı (ton)	74.50	47.00
Donatı maliyeti (TL)	111,750.00	70,500.00
Kullanılan kalıp miktarı (m <sup>2</sup> )	13552.40	11572.72
Kalıp maliyeti (TL)	189,733.60	162,018.08
İzolatör maliyeti (TL)	---	429,120.00
Toplam maliyet (TL)	426,685.60	752,356.18

**Çizelge 6.14.** 15 katlı binalarda beton, donatı, kalıp, izolatör maliyeti

	Ankastre mesnetli bina	İzolatörlü bina
Kullanılan C25 beton miktarı (m <sup>3</sup> )	1678.88	1563.48
Beton maliyeti (TL)	184,676.80	171,982.80
Kullanılan donatı miktarı (ton)	114.50	91.00
Donatı maliyeti (TL)	171,750.00	136,500.00
Kullanılan kalıp miktarı (m <sup>2</sup> )	20487.40	18014.00
Kalıp maliyeti (TL)	286,823.60	252,196.00
İzolatör maliyeti (TL)	---	536,400.00
Toplam maliyet (TL)	643,250.40	1,097,078.80

**Çizelge 6.15.** Binalarda ki toplam maliyet

	Toplam Maliyet (TL)	
	Ankastre mesnetli bina	İzolatörlü bina
5 Katlı	188,992.80	501,055.38
10 Katlı	426,685.60	752,356.18
15 Katlı	643,250.40	1,097,078.80



**Şekil 6.28.** Binalarda ki toplam maliyet

Çizelge 6.15. den görüleceği üzere izolatörlü binaların maliyeti oldukça yüksektir. 5 ve 10 katlı binaların maliyeti incelendiğinde kat adedi arttıkça izolatörlü bina ile ankastr mesnetli bina arasındaki maliyet farkının azaldığı ancak 15 katlı binada maliyet farkının yeniden artışa geçtiği görülmektedir. Bu durumda yüksek katlı binalarda maliyet farkının artmasından dolayı yüksek katlı binalarda sürtünmeli sarkaç kullanımının maliyet yönünden uygun olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Uzun vadede izolatörlü yapı incelenecek olursa hem ülke ekonomisine hem de yapı sektörüne birçok fayda sağladığı gözlenebilmektedir. Olası bir deprem anında sürtünmeli sarkaç izolatör uygulanmış bir binada yıkılma tehlikesi minimuma indirgenmiş olup deprem sonrasında da insanların normal yaşamlarına dönme süreleri kısalmaktadır. Özellikle deprem sonrasında hemen kullanım gerektiren yapılarda izolatör kullanımı çok büyük fayda sağlamaktadır. Bu açılarından yapılar incelendiğinde izolatör kullanımının yapıların tasarımında çok maliyet oluşturmasına karşılık uzun vadede ve önem arz eden yapılarda ekonomiklik sağladığı söylenebilmektedir.

## BÖLÜM VII

### SONUÇLAR

Ülkemiz önemli aktif fay hatlarına sahip olduğundan dolayı yapıların depremden korunması için en önemli ölçütlerden biri yapıları depreme dayanıklı olarak tasarlamaktır. Depreme dayanıklı yapı tasarlarken göz önünde bulundurulması gereken bir nokta da yeni teknolojik gelişmeler sonucunda üretilen sismik izolatörlerdir.

Türkiye'nin depremselliği dikkate alınacak olursa; depremden hemen sonra kullanılması gereken hastaneler, itfaiye merkezleri, okullar, camiler, müzeler, havaalanları, haberleşme merkezleri vb. yapıların depreme karşı korunmasında sismik izolatörlerin kullanılması önem arz etmektedir. Sismik izolatörlerin kullanımında temel amaç deprem yüklerine karşı binalarımızı korumaktır. Depremden dolayı gelen enerji izolatörlerde sönmülenererek üst katlara deprem enerjisinin daha az etkimesi sağlanmaktadır. Böylece binada meydana gelebilecek hasar seviyeleri düşürülmektedir.

Bu çalışmada, 5, 10, 15 katlı hastane binalarının modellenmesinde dünyada ve ülkemizde birçok örneği olan tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörleri kullanılmıştır. Aynı deprem bölgesinde ve zemin şartları altında aynı malzemeler kullanılarak tasarlanan ankastre mesnetli ve tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlü binalarda kat adedinin yapı davranışlarına ve maliyetine olan etkisi incelenmiştir.

Tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlerin binaların tasarımında kullanılmasıyla birlikte binaların 1. doğal titreşim periyot değerlerinin arttığı görülmüştür. Analizler sonucunda elde edilen periyot değerleri incelendiğinde, tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlü olarak tasarlanan 5 ve 10 katlı hastane binalarına ait 1. doğal titreşim periyot değerlerinin, tasarım periyot değerleri olarak kabul edilen 2-3 sn aralığında olduğu ancak 15 katlı izolatörlü hastane binasına ait doğal titreşim periyot değerinin tasarım periyot değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, 10 kat ve daha az kat adedindeki binalarda periyot bakımından tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör kullanımının uygun olduğu ancak 15 kat ve üzeri kat adedine sahip binalarda uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Binaya etki eden kat kesme kuvvetleri bakımından yapılan incelemelerde, 5 ve 10 katlı tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlü binalarda kat kesme kuvvetinin ankastre mesnetli binalara göre daha düşük olduğu, ancak 15 katlı izolatörlü bina kat kesme kuvvetlerinin ankastre mesnetli olarak tasarlanan binaya göre daha fazla olduğu görülmüştür. Binaya etki eden kat kesme kuvvetleri açısından bakıldığında tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör kullanımının 10 kat ve daha az kat adedindeki binalarda uygun olduğu ancak 15 kat ve üzeri kat adedine sahip binalarda uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Binaların tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlü olarak tasarlanması durumunda izolatör maliyetinin yüksek olmasından dolayı ankastre mesnetli binalara göre maliyet artışının meydana geldiği görülmektedir. Kat adedine bağlı olarak maliyet değerlendirmesi yapıldığı zaman 10 katlı binada izolatörlü bina ile ankastre mesnetli bina arasındaki maliyet farkının 5 katlı binaya göre azaldığı ancak 15 katlı binada maliyet farkının 10 katlı binaya göre tekrar artışa geçtiği görülmektedir. Yapılan bu maliyet analizi sonucunda, tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör kullanımının 10 kat ve daha az kat adedindeki binalarda uygun olduğu ancak 15 kat ve üzeri kat adedine sahip binalarda uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda binalarda kullanılan tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörler sayesinde 10 ve daha düşük kat adedine sahip binalarda binanın deprem esnasında çok iyi performans sergilediği belirlenmiş ve dolayısıyla binada oluşabilecek hasarların önlenmesi ve can güvenliğinin sağlanması konusunda büyük faydaları olacağı görülmüştür. Ancak, yüksek katlı yapılarda hem bina performansı hem de maliyeti açısından bakıldığında tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

Aiken, I.D. and Kelly, M., Earthquake Simulator Testing and Analytical Studies of Two Energy-Absorbing Systems For Multistory Structures, Report No: UCB/EERC-90/03, *University of California*, Berkeley, U.S.A., 1990.

Akgönen, A.R.İ., Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve onarım-güçlendirme tekniklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, s. 8-15, 2005.

Aldemir, Ü. ve Aydın, E., “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar”, *Türkiye Mühendislik Haberleri* 435(1), 81-88, 2005.

Aydın, E.Ö., Fahjan, Y.M. ve Çömlekçioğlu, R., “Deprem bölgelerindeki tarihi kagir yapıların güçlendirilmesinde yeni teknikler”, *International Earthquake Symposium*, Kocaeli, 636-644, 2007.

Ayhan, C., Yapılarda değişken frekanslı sürtünmeli elemanlar ile sismik kontrol, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 20-30, 2005.

Ayhan, O., Binaların depreme karşı güçlendirilmesinde klasik yöntem ile sürtünmeli sarkaç sistemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 8-60, 2006.

ASCE 7-10, Minimum design loads for buildings and other structures, *American Society of Civil Engineers*, Amerika, 2010.

Bayülke, N., Yapıların deprem titreşimlerinden yalıtımı, *Sistem Ofset Yayıncılık*, İstanbul, s. 7-10, 2002.

Castaldo, P., Palazzo, B. and Vecchiha, P.D., “Seismic reliability of base-isolated structures with friction pendulum bearings”, *Dept. of Civil Engineering University of Salerno via Giovanni Paolo II*, 80-93, 2015.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul, ISBN 975-95405-2-5, 2004.

Chopra, A.K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, *Prentice Hall*, New Jersey, 1995.

DBYBHY, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 2007.

Demir, S., Sismik izolasyon sistemleriyle yapıların tasarımı ve mevcut bir yapıya uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 20-56, 2008.

Deprem İzolasyon Derneği, <http://www.did.org.tr>, 20 Mayıs 2007.

Derdiman, M.K., Düzensiz çok katlı betonarme yapıların davranışının taban izolatörleri, enerji sönmüleyici ve dağıtıcılarla iyileştirilmesi, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, s. 10, 2006.

Doğan, M., Depreme Dayanıklı Tasarım Ders Notları, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Eskişehir, 2005.

Doğan, Ö., Sismik taban izolasyon sistemleri ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya, s. 8-37, 2007.

Düzel, E., Düşeyde rijitlik düzensizliği bulunan çerçevelerin sönmü elemanları ve çelik çaprazlar ile rehabilitasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, s. 7-27, 2010.

Dynamic Isolation Systems, <http://www.dis-inc.com/>, 2014.

Ercan, E., Arısoy, B. ve Nuhoğlu, A., “Mevcut yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler”, *İzmir Afet Riskini Azaltma Sempozyumu*, İzmir, s. 179-199, 7-8 Aralık, 2009.

Erdik, M., “Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar”, *6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, s. 181-205, 16-20 Ekim, 2007.

Erdik, M. ve Mungan, İ., “Seismic isolation applications in Turkey”, *Deprem İzolasyonu Derneği*, İstanbul, 28-31, 2007.

FEMA-451, NEHRP recommended provisions: design examples, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, 2006.

Hışman, K., Sismik izolasyon platformlarının performanslarının sismik izolatörlerin mekanik özelliklerindeki küçük sapmalara olan duyarlılığı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 19-20, 2011.

Kelly, J.M., “Seismic isolation of civil buildings in the USA”, *Progress In Structural Engineering And Materials*, America, 1(3): 279-285, 1998.

Komodromos, P., “Seismic isolation for earthquake-resistant structures”, *Witpress*, Boston, 10-30, 62-85, 98-109, 2000.

Naeim, F. and Kelly, J.M., Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, *John Willey & Sons*, Inc., New York, ISBN: 978-0471149217, 12-100, 1999.

Nakano Y., Recent Seismic Retrofit Techniques of Existing RC Buildings in Japan, *Incede Report-10*, Tokyo, 1997.

Öztürk, B.K., Yapısal kontrol sistemlerinin değerlendirilmesi ve taban izolatörlerinin betonarme bir binaya uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 7-20, 2007.

Soyluk, A., Sismik taban izolatörü kullanımının mimari tasarıma etkisi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 21-100, 2010.

Soyluk, A. ve Tuna, M.E., “Sismik taban izolasyonu uygulaması için tarihi Şehzade Mehmet Camisi’ nin dinamik analizi”, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi* 26, 667-675, 2011.

Şahin, N., Yapılarda Sismik iyileştirme için sismik izolasyonun kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 40-45, 2001.

Şirin, S. ve Boduroğlu, H., “Sürtünme sönümlü elemanlı betonarme sistemlerin sismik performansı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi Mühendislik* 9(6), 169-177, 2010.

Tezcan, S.S. ve Cimilli, S., Seismic base isolation, *Yüksek Öğretim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları*, İstanbul, 2002.

Tokuç, M.O., Mevcut betonarme bir okul binasının performansının değerlendirilmesi ve sismik izolasyon kullanılarak güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 62-64, 2008.

Tolay, A., Sismik izolasyon sistemlerinin maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 14-40, 2006.

Toprak, T., Burulma düzensizliği olan yapılarda sismik izolasyon kullanımının deprem yükleri altındaki davranışa olan etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 15-53, 2012.

TS-498, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1997.

TS-500, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000.

UBC-97, International conference of building officials, *Uniform Building Code*, Amerika, 1997.

Yavuz, E., Sismik izolasyon tekniği ve kullanımına ilişkin örnek uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, s. 2-50, 2008.

Yücesoy, A., Sismik izolatörler ile depreme dayanıklı yapı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya, s. 20-40, 2005.

Yozgat, E. ve Hüsem, M., “Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilen yapı kontrol sistemleri”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni* 121(4), 21-26, 2005.

## **ÖZ GEÇMİŞ**

Pınar Karakurt 28.06.1991 tarihinde Ankara’ da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Ankara’ da tamamladı. 2009 yılında kazandığı Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2013 yılında mezun oldu. 2013-2014 eğitim öğretim yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı.