

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME YAPILARDA İZOLATÖR KULLANIMININ TAŞIYICI  
SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnş.Müh.Eylem GÖKHAN**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Yapı Mühendisliği**

**OCAK 2009**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME YAPILARDA İZOLATÖR KULLANIMININ TAŞIYICI  
SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Eylem GÖKHAN**  
**(501051050)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ocak 2009**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK (İTÜ)**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet BAKİOĞLU (İTÜ)**  
**Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (YTÜ)**

**OCAK 2009**

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmam boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK'e, bana olan güvenlerini ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, eğitim hayatım boyunca aldığım her kararda beni destekleyen sevgili ailem ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık 2008

Eylem Gökhan  
İnşaat Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. YAPISAL KONTROL SİSTEMİ KAVRAMI</b> .....	<b>7</b>
2.1 Yapısal Kontrol Sistemlerinin Bilimsel Tarihi .....	7
2.2 Dünyada Pasif Kontrol Sistemi Uygulamaları .....	10
<b>3. YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI</b> .....	<b>25</b>
3.1 Aktif Kontrol Sistemleri .....	25
3.2 Yarı Aktif Kontrol Sistemleri (Hibrit Sistemler) .....	26
3.3 Pasif Kontrol Sistemleri .....	26
3.3.1 Taban izolasyonu (sismik izolasyon) .....	28
3.3.1.1 Elastomerik (kauçuk esaslı) mesnetli sistemler .....	32
3.3.1.2 Kayıcı mesnetli sistemler .....	42
3.3.2 Pasif enerji sönmleyiciler .....	48
<b>4. TABAN İZOLASYONUN TEORİK ESASLARI</b> .....	<b>55</b>
4.1 Lineer Teoriye Göre İki Serbestlik Dereceli Sistemler .....	55
4.2 Lineer Teoriye Göre Çok Serbestlik Dereceli Sistemler .....	64
4.3 İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri .....	67
4.3.1 Kauçuk esaslı izolatörler .....	67
4.3.2 Kurşun çekirdekli izolatörler .....	70
4.3.3 Sürtünme esaslı sismik izolatörler .....	72
<b>5. ÜLKEMİZDE ÖRNEK UYGULAMALAR</b> .....	<b>75</b>
5.1 Bolu Viyadükleri Güçlendirme Çalışması .....	76
5.2 Erzurum Devlet Hastanesi .....	80
5.3 Tarabya Oteli Güçlendirme Uygulaması .....	83
<b>6. TABAN İZOLASYONU UYGULAMASI</b> .....	<b>87</b>
6.1 Giriş .....	87
6.2 Yapının Tanıtımı .....	88
6.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör Uygulaması için Statik Analiz .....	89
6.4 Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör Uygulaması için Dinamik Analiz .....	101
6.5 Dinamik Analiz Sonuçları .....	104
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>113</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>117</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>119</b>

## KISALTMALAR

<b>AASHTO</b>	: Amerikan Devlet Karayolları Ulaştırma Kurumları Birliği
<b>BSE-1</b>	: Tasarım Depremi Seviyesi
<b>CEN</b>	: Avrupa Standartları Komitesi
<b>DBE</b>	: 1. Seviye Deprem Yer Hareketi
<b>DIS</b>	: Dinamik İzolasyon Sistemleri (Dynamic Isolation Systems)
<b>DO-KA</b>	: Doka Endüstri Ltd. Şti.
<b>EC-8</b>	: Euro Code
<b>EDF</b>	: Fransız Elektrik Sistemi
<b>EERC</b>	: Berkeley-California Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
<b>EP</b>	: Bolu Viyadüğü sönümleyicisi
<b>EPS</b>	: Deprem Koruma Sistemleri (Earthquake Protection Systems)
<b>FEMA-356</b>	: Federal Emergency Management Agency-356
<b>FPS</b>	: Sürtünmeli Sarkaç Sistemi
<b>HDNR</b>	: Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatör
<b>IBC</b>	: International Building Code
<b>LDNRB</b>	: Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatör
<b>LNG</b>	: Doğal Sıvı Gaz
<b>LRB</b>	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet
<b>MCE</b>	: Olası en Şiddetli Deprem
<b>MRPRA</b>	: Malezya Kauçuk Üreticileri Birliği
<b>PTFE</b>	: Polytetrafluoroethylene-Teflon
<b>RB</b>	: Elastomerik Mesnetli Sistemler
<b>R-FBI</b>	: Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi
<b>SAP</b>	: Structural Analyze Program
<b>SRMD</b>	: California Üniversitesi Laboratuvarı
<b>TC 340</b>	: Antisismik Cihazlar Teknik Komitesi
<b>TLD</b>	: Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler
<b>TMD</b>	: Ayarlı Kütle Sönümleyicisi
<b>UNI</b>	: İtalyan Standartları Enstitüsü
<b>UBC-97</b>	: Birleşik Bina Yönetmeliği - 1997
<b>VP</b>	: Bolu viy. sönümleyici
<b>VPJ</b>	: Bolu viy. sönümleyici

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 5.1 : Tarabya Oteli izolatör özellikleri. ....	85
Çizelge 6.1 : Sismik bölge faktörü. ....	89
Çizelge 6.2 : Bölge zemin cinsi. ....	90
Çizelge 6.3 : Sismik kaynak tipi. ....	90
Çizelge 6.4 : Sismik kaynak faktörü ( $N_a$ ). ....	90
Çizelge 6.5 : Sismik kaynak faktörü ( $N_v$ ). ....	91
Çizelge 6.6 : Meydana gelebilecek maksimum deprem katsayısı. ....	91
Çizelge 6.7 : Sismik deprem katsayısı ( $C_v$ ). ....	91
Çizelge 6.8 : Sismik deprem katsayısı ( $C_A$ ). ....	92
Çizelge 6.9 : Sismik deprem katsayısı ( $C_{AM}$ ). ....	92
Çizelge 6.10 : Sismik deprem katsayısı ( $C_{VM}$ ). ....	92
Çizelge 6.11 : Süneklığe bağlı azaltma faktörleri. ....	93
Çizelge 6.12 : Sönüm katsayıları. ....	93
Çizelge 6.13 : Kauçuk izolatör minimum yatay rijitlik değerleri. ....	95
Çizelge 6.14 : Kauçuk izolator boyutları. ....	97
Çizelge 6.15 : A Tipi Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetin Özellikleri. ....	98
Çizelge 6.16 : B Tipi Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetin Özellikleri. ....	99
Çizelge 6.17 : SAP 2000 programında A Tipi İzolatör Tanımlamasında Kullanılan Veriler. ....	100
Çizelge 6.18 : SAP 2000 programında B Tipi İzolatör Tanımlamasında Kullanılan Veriler. ....	101
Çizelge 6.19 : Analizde kullanılan deprem kaydının özellikleri. ....	103
Çizelge 6.20 : Dinamik analiz periyot değerleri. ....	105
Çizelge 6.21 : Dinamik analiz maksimum kat deplasman değerleri. ....	106
Çizelge 6.22 : Dinamik analiz taban kesme kuvveti değerleri. ....	106
Çizelge 6.23 : Dinamik analiz maksimum kat ivme değerleri. ....	107
Çizelge 6.24 : Dinamik analiz görelî yer değiştirme değerleri. ....	109
Çizelge 6.25 : Belirtilen çerçeve elemanlarının kesme kuvveti değerleri. ....	111
Çizelge A.1 : Ankastre model periyot değerleri. ....	120
Çizelge A.2 : Ankastre model maksimum kat deplasmanları. ....	120
Çizelge A.3 : Ankastre model taban kesme kuvveti değeri. ....	120
Çizelge A.4 : Taban izolasyonlu model periyot değerleri. ....	121
Çizelge A.5 : Taban izolasyonlu model maksimum kat deplasmanları. ....	121
Çizelge A.6 : Taban izolasyonlu model taban kesme kuvveti değeri. ....	121

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Geleneksel yaklaşımla inşa edilmiş yapı örneği.....	4
Şekil 1.2 : Sismik izolasyon yöntemi uygulanmış yapı örneği.....	6
Şekil 2.1 : “Foothill Communities Law and Justice Center” Binası. ....	11
Şekil 2.2 : “Oakland City Hall” binası.....	12
Şekil 2.3 : “San Francisco City Hall” binasında izolatör yerleşimi.....	13
Şekil 2.4 : “Mackay School of Mines” binası.....	14
Şekil 2.5 : “University Hospital of the University of Southern California” binası. ....	14
Şekil 2.6 : “The Computer Center of the Tohoku Electric Power Company” binası. 16	
Şekil 2.7 : “Semiconductor Manufacturing Factory” binası.....	16
Şekil 2.8 : “Umeda DT Tower” Binasında kullanılan doğrusal kayıcı izolatör. ....	17
Şekil 2.9 : “Umeda DT Tower” Binasında kullanılan kurşun çekirdekli izolatör. ....	18
Şekil 2.10 : “Umeda DT Tower” Binasında kullanılan çok fonksiyonlu titreşim söndürücü. ....	18
Şekil 2.11 : “The William Clayton Building” binası.....	19
Şekil 2.12 : Yeni Zelanda parlamanto binası.....	20
Şekil 2.13 : “Wellington Regional Hospital” binası.....	20
Şekil 2.14 : “Wellington Regional Hospital” binasında kullanılan izolatörler.....	21
Şekil 2.15 : “Rankine Brown” Binasında kullanılan kauçuk izolatör. ....	21
Şekil 2.16 : “Christchurch Womens Hospital” binası. ....	22
Şekil 2.17 : Somplago Viyadüğü.....	22
Şekil 2.18 : Somplago Viyadüğü’nde kullanılan kayıcı mesnet.....	23
Şekil 3.1 : Ankastre veya taban izolasyonlu model davranışı. ....	29
Şekil 3.2 : Temel üst kotunda yerleştirilen izolatörler.....	30
Şekil 3.3 : Elastik Dizayn Spektrumu.....	33
Şekil 3.4 : Elastomerik izolatörler için kuvvet-deplasman eğrisi.....	33
Şekil 3.5 : Kauçuk izolatör örneği.....	34
Şekil 3.6 : Kauçuk izolatörler.....	35
Şekil 3.7 : Özel ayırma detayları uygulanmış izolatör. ....	35
Şekil 3.8 : Temel üstüne izolatör yerleşimi. ....	36
Şekil 3.9 : Düşük sönümlü kauçuk izolatör kesiti. ....	37
Şekil 3.10 : Histerik davranış. ....	37
Şekil 3.11 : Viskoelastik davranış. ....	38
Şekil 3.12 : Düşük sönümlü kauçuk izolatör örneği.....	38
Şekil 3.13 : Kurşun çekirdekli izolatör kesiti. ....	39
Şekil 3.14 : Kurşun çekirdekli izolatör uygulaması.....	39
Şekil 3.15 : Yüksek sönümlü kauçuk izolatör örneği.....	41
Şekil 3.16 : Kayıcı izolatörler için kuvvet-deplasman eğrisi.....	43
Şekil 3.17 : Kayıcı izolatör örneği.....	44
Şekil 3.18 : Sürtünmeli sarkaç sistemi kesiti.....	46
Şekil 3.19 : Sürtünme sarkaç sisteminin ana ilkesi. ....	46
Şekil 3.20 : Atatürk Havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç sistemi. ....	47

Şekil 3.21 : Benicia-Martinez Köprüsü sürtünmeli sarkaç tipi izolatör. ....	48
Şekil 3.22 : Histerik sönümleyicilerin yerleşim şemaları. ....	49
Şekil 3.23 : Üçgen veya X biçimli metal sönümleyiciler. ....	50
Şekil 3.24 : Sürtünmeli sönümleyici yerleşimi. ....	51
Şekil 3.25 : Sürtünmeli sönümleyici X tipi yerleşimi. ....	51
Şekil 3.26 : Viskoelastik sönümleyici örneği. ....	51
Şekil 3.27 : Viskoz sönümleyici örneği. ....	52
Şekil 3.28 : “Nagasaki Airport Tower” Binası’nda kullanılan TLD tankları. ....	53
Şekil 4.1 : Sismik izolasyonlu sistem. ....	55
Şekil 4.2 : Sismik izolasyonlu sistemin hesap modeli. ....	56
Şekil 4.3 : İki serbestlik dereceli yalıtım sisteminin mod biçimleri. ....	59
Şekil 5.1 : Bolu viyadükleri genel görünüş. ....	76
Şekil 5.2 : Bolu Viyadükleri’nde kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü örneği. ....	77
Şekil 5.3 : Bolu Viyadükleri’nde kullanılan sönümlendirici örneği. ....	78
Şekil 5.4 : Üst yapının yerleştirilmesi ve dizaynı. ....	78
Şekil 5.5 : Sönümleyicinin yerleştirilme detayı. ....	79
Şekil 5.6 : 2 nolu viyadüğün monte edilmemiş girişleri. ....	79
Şekil 5.7 : Histerik sönümleyicilerin deprem sonrası durumu. ....	80
Şekil 5.8 : Erzurum Devlet Hastanesi genel görünüşü. ....	80
Şekil 5.9 : DIS firması izolatörü. ....	81
Şekil 5.10 : Kullanılan izolatörlerin boyutları ve yerleştirilme detayı. ....	82
Şekil 5.11 : Sismik izolatörlerin yerleşim planı. ....	82
Şekil 5.12 : Tarabya Oteli genel görünüşü. ....	83
Şekil 5.13 : Yalıtım ara yüzü. ....	84
Şekil 5.14 : Tarabya Oteli izolatör yerleşim planı. ....	86
Şekil 6.1 : Örnek yapı modeline ait kalıp planları. ....	89
Şekil 6.2 : Her bir izolatöre gelen düşey ağırlıklar ve yerleşim planı. ....	94
Şekil 6.3 : Tasarlanan izolatör detayı. ....	98
Şekil 6.4 : Örnek yapı modeline ait üç boyutlu görünüş. ....	102
Şekil 6.5 : El Centro depremi kuzey-güney bileşeni. ....	103
Şekil 6.6 : El Centro depremi kuzey-güney bileşeni ivme spektrumu. ....	104
Şekil 6.7 : x-z düzlemi 2-2 aksındaki numaralandırma. ....	105
Şekil 6.8 : Maksimum kat deplasmanları karşılaştırma grafiği. ....	106
Şekil 6.9 : Ankastre mesnetli modelde zaman tanım alanında tepe ivme değeri. ....	107
Şekil 6.10 : Taban izolasyonlu modelde zaman tanım alanında tepe ivme değeri. ....	108
Şekil 6.11 : Tepe ivme değerleri karşılaştırma grafiği. ....	108
Şekil 6.12 : Maksimum göreceli kat deplasmanları karşılaştırma grafiği. ....	109
Şekil 6.13 : Perde taban kesme kuvvetleri karşılaştırma grafiği. ....	110
Şekil 6.14 : x-z düzlemi A-A aksı elemanları için numaralandırma. ....	110



## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	Kauçuk malzeme en kesit alanı
<b>B</b>	Sönüm azaltma katsayısı
<b>B<sub>D</sub></b>	Tasarım deprem seviyesine ait sönüm katsayısı
<b>B<sub>M</sub></b>	Maksimum deprem seviyesine ait sönüm katsayısı
<b>a</b>	Halka izolatör iç yarıçapı
<b>b</b>	Halka izolatör dış yarıçapı
<b>c<sub>s</sub></b>	Üst yapının sönümü
<b>c<sub>b</sub></b>	İzolasyon sisteminin sönümü
<b>C<sub>s</sub></b>	Tasarım taban kesme kuvveti katsayısı
<b>D</b>	Kauçuk mesnet üst ucuna ait yatay deplasman
<b>D</b>	Kauçuk tabaka çapı
<b>D<sub>D</sub></b>	Tasarım deprem seviyesi için maksimum deplasman
<b>D<sub>TD</sub></b>	Tasarım deprem seviyesine ait toplam yatay deplasman değeri
<b>D<sub>TM</sub></b>	Maksimum deprem seviyesine ait toplam yatay deplasman değeri
<b>D<sub>y</sub></b>	Kauçuk mesnedin akma deplasmanı
<b>E<sub>c</sub></b>	Kauçuk mesnet yükleme modülü
<b>E<sub>s</sub></b>	Depolanan enerji
<b>E<sub>i</sub></b>	Yapıya gelen deprem enerjisi
<b>E<sub>d</sub></b>	Sönümlenen enerji
<b>F</b>	Kuvvet
<b>F</b>	Sürtünmeli sarkaç tipi izolatör için sürtünme kuvveti
<b>F<sub>y</sub></b>	Akma kuvveti
<b>F<sub>b</sub></b>	İzolasyon sisteminde oluşan elastik yay kuvveti ve sönüm kuvvetinin toplamı
<b>F<sub>s</sub></b>	Üst yapıda oluşan elastik yay kuvveti ve sönüm kuvvetinin toplamı
<b>g</b>	Yer çekimi ivmesi
<b>G</b>	Kauçuk malzeme nominal kayma modülü
<b>H</b>	İzolatör yüksekliği
<b>h</b>	Kat yüksekliği
<b>k<sub>e</sub></b>	D deplasmanına tekabül eden etkin (sekant) rijitlik
<b>k<sub>s</sub></b>	Üst yapının rijitliği
<b>k<sub>b</sub></b>	İzolasyon sisteminin rijitliği
<b>K</b>	Kauçuk malzemenin hacim modülü
<b>K<sub>D,min</sub></b>	UBC-97' de tanımlanan tasarım deplasmanındaki efektif rijitliğin minimumu

$K_{D,max}$	UBC-97' de tanımlanan tasarım deplasmanındaki efektif rijitliğin maksimumu
$K_{M,min}$	UBC-97' de tanımlanan maksimum deplasmandaki efektif rijitliğin minimumu
$K_{M,max}$	UBC-97' de tanımlanan maksimum deplasmandaki efektif rijitliğin maksimumu
$K_V$	Kauçuk mesnede ait düşey rijitlik değeri
$K_H$	İzolatör yatay rijitlik değeri
$K_{eff}$	İzolasyon sisteminin toplam yatay rijitliği-Efektif rijitlik
$K_1$	Kauçuk mesnet elastik rijitlik değeri
$K_2$	Kauçuk mesnede ait akma sonrası rijitlik değeri
$L_i$	i.modun katılım faktörü
$M$	Magnitüd (depremin büyüklüğü)
$M_W$	Deprem aletsel büyüklüğü
$M_M$	UBC-97' de tanımlanan olabilecek maksimum deprem tepki katsayısı
$m$	Üst yapının kütlesi
$m_b$	İzolasyon sisteminin üstündeki kütle
$N_a$	UBC-97' de tanımlanan ivme değerleri için yakınlık faktörü
$N_V$	UBC-97' de tanımlanan hız değerleri için yakınlık faktörü
$P_b$	İzolasyon sistemine etkiyen dış kuvvet
$P_s$	Üst yapıya etkiyen dış kuvvet
$P_{kritik}$	Kritik burkulma yükü
$R$	Sürtünme esaslı sismik izolatör için eğrilik yarıçapı
$R$	UBC-97' de tanımlanan ankastre yapı için yapısal sistem azaltma katsayısı
$R_I$	UBC-97' de tanımlanan taban izolasyonlu yapı için yapısal sistem azaltma katsayısı
$Q$	Karakteristik dayanım
$S$	Kauçuk tabaka şekil faktörü
$S_B$	UBC-97' de tanımlanan bölge zemin cinsi
$SR$	UBC-97' de tanımlanan fay hattının kayma oranı
$S_D(\omega, \beta)$	Yer değiştirme spektrumunda yer hareketi için karşılık gelen değer
$t$	Bir kauçuk tabaka kalınlığı
$t_r$	Kauçuk tabaka yüksekliği
$T_y$	Sismik izolasyonlu yapı periyodu-efektif sistem titreşim periyodu
$T_D$	Tasarım periyodu-efektif sistem titreşim periyodu
$T_M$	Hedef maksimum periyot
$T_F$	Geleneksel yapı periyodu
$T_{eff}$	Efektif periyot
$u$	Yere göre yer değiştirme vektörü

$u_s$	Bina kütlesi mutlak yer değiştirme
$u_b$	İzolasyon sistemi seviyesindeki yer değiştirme
$u_g$	Zemin yer değiştirmesi
$\ddot{u}_g$	Güçlü yer ivmesi
$\ddot{u}_b$	İzolasyon sisteminin görelî yer değiştirmesinin zamana göre 2.türevi
$V_b$	İzolasyon katına ait taban kesme değeri
$V_s$	Üst yapının tasarımı için taban kesme değeri
$W$	Bir izolatörün taşıdığı yük
$r$	Her serbestlik derecesini yer hareketine bağlayan vektör
$z$	UBC-97' de tanımlanan sismik bölge faktörü
$v_b$	İzolator katının yere göre relatif yer değiştirmesi
$v_s$	Üst katın alt kata göre relatif yer değiştirmesi
$\dot{v}_b$	İzolatorlerin yere göre relatif yer değiştirmesinin birinci türevi
$\dot{v}_s$	Üstteki katın alttaki kata göre yer değiştirmesinin birinci türevidir
$\ddot{v}_b$	İzolasyon sisteminin mutlak yer değiştirmesinin zamana göre 2.türevi
$\ddot{v}_s$	Üst yapının görelî yer değiştirmesinin zamana göre 2.türevi
$\beta$	Efektif sistemde toplam sönüm
$\beta_{eff}$	Efektif sönüm
$\beta_b, \beta_s$	Sönüm faktörleri
$\gamma$	Kauçuk mesnette oluşan kayma Şekil değiştirme değeri
$\gamma_c$	Basınç etkisi altında kauçukta oluşan kayma Şekil değiştirmesi
$\gamma_{ort}$	Ortalama kayma Şekil değiştirme değeri
$\omega$	Doğal frekans
$\omega_i$	Mod frekansı
$\omega_b$	Taban izolatörlü sistem doğal titreşim frekansı
$\phi_b$	İzolasyon sistemi için klasik mod Şekli
$\phi_s$	Üst yapı için klasik mod Şekli
$q_i$	Zamana bağlı modal katsayı
$\dot{q}_1$	Zamana bağlı modal katsayısının 1.türevi
$\dot{q}_2$	Zamana bağlı modal katsayısının 2.türevi
$\omega_s$	Üst yapı doğal titreşim frekansı
$\xi$	Sönüm oranı
$\Delta$	Kauçuk izolatörde basınç etkisi altında oluşan kısalma miktarı
$C_{VD}$	UBC-97' de tanımlanan sismik deprem katsayısı
$C_{AD}$	UBC-97' de tanımlanan sismik deprem katsayısı
$C_{AM}$	UBC-97' de tanımlanan sismik zemin katsayısı
$C_{VM}$	UBC-97' de tanımlanan sismik zemin katsayısı
$\lambda$	Modal bağlantı katsayısı
$\epsilon_c$	Nominal basınç Şekil değiştirmesi

$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\delta_v$	Sürtünme esaslı sismik izolatör için düşey yer değıştirme değeri

## **BETONARME YAPILARDA İZOLATÖR KULLANIMININ TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞINA ETKİLERİ**

### **ÖZET**

Yapılan tez çalışmasında, depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni bir dönem açan taban izolasyon sisteminin betonarme yapılarda taşıyıcı sistem davranışı üzerinde ne gibi etkilere yol açtığına incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla çalışmanın ilk bölümlerinde; yapı tasarımında uygulanan geleneksel yaklaşım ve son dönemde geleneksel yaklaşıma alternatif olarak yaygın olarak uygulanmaya başlanan, pasif kontrol sistemlerinin davranış farklılıkları kısaca irdelenmiştir. Ardından pasif kontrol sistemleriyle ilgili yapılan akademik çalışmalara ve değişik ülkelerdeki uygulamalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yapısal kontrol sistemi kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için sınıflandırması yapılmış ve tez ana konusu olan taban izolasyon sisteminin dahil olduğu pasif kontrol sistemleriyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, taban izolasyon prensiplerinin daha iyi kavranması için teorik esaslara değinilmiş, taban izolatör çeşitlerinin mekanik karakteristikleri açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, ülkemizde pasif kontrol sistemi uygulanan üç farklı örneğe yer verilmiştir. Yer verilen uygulama örneklerinde öncelikle, yapı hakkında bilgiler verilmiş daha sonra uygulanan pasif kontrol sistemi açıklanmıştır.

Son bölümde ise, Sap 2000 versiyon 9.03 bilgisayar programında zaman tanım alanında analiz yöntemi seçilerek sekiz katlı betonarme bir yapı ile sayısal uygulamalar yapılmıştır. Yapısal kontrol sistemleri ile ilgili yapı tasarımı için ülkemizde halen mevcut bir yönetmelik bulunmadığından, taban izolasyon uygulanan modelde izolatörlere ait özelliklerin belirlenmesi için “Uniform Building Code 97” yönetmeliği kıstaslarından yararlanılmıştır. Son kısımda modellere ait analiz sonuçları karşılaştırılarak taban izolasyon sisteminin taşıyıcı sistem üzerindeki olumlu sonuçları anlaşılmasına çalışılmıştır.

# **THE EFFECTS OF ISOLATOR USED ON BEARING SYSTEM RESPONSE IN CONCRETE STRUCTURES**

## **SUMMARY**

The main aim of the present study is to investigate the effects of one of the structural control systems; mainly base isolation systems that open a new era in the earthquake resistant structure designs on bearing systems responses on of the reinforced concrete structures.

With this aim, in the first chapter of the study, response differences between traditional approaches about structural designs and passive control systems which have been widely used as an alternative to traditional approaches. Then, academic studies on passive control systems as well as applications from various countries are reviewed.

In the third chapter, the classifications are mentioned for a better understanding of the concept of structural control systems and detailed information is given about the passive control systems that also contain the base isolation system which is the main object of the present study.

In the fourth chapter, theoretical background of the principles of base isolation systems are examined for a better comprehension and the mechanical characteristics of the types of base isolators are explained.

In the fifth chapter, three different examples from our country, in which passive control systems had been applied, are reviewed. In these application examples, first of all, a general information is given about the structures and then, the applied passive control systems are explained.

In the last chapter, time history analysis in SAP 2000 version 9.03 program is conducted and computational applications are carried out for an eight floored reinforced concrete structure. Since there was no code for structural designs related to the structural control system, the code of "Uniform Building Code 97" is used to the characteristics of isolators in the model in which base isolation is applied. In the last part, the positive effects of base isolation systems on bearing systems are examined by comparing its analysis results with fixed base model.

## 1. GİRİŞ

Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilirse de, günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Güvenilir bir uyarı sisteminin henüz mevcut olmaması, yapıların depreme karşı dayanıklı düzenlenerek, depremin etkilerinden korunmanın sağlanması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. [1]

Depremin kavramsal olarak ifade edilebilmesi için iki farklı biçimi vardır. Bu terimler depremin büyüklüğü ve şiddetidir. Depremin büyüklüğü, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ifadesi olup şiddeti ise, depremin meydana geldiği alandaki hasara göre belirlenen bir değerdir. Depremin büyüklüğü; fay hattının çeşidine, konumuna ve meydana gelen kırılmanın uzunluğuna, depremin ne kadar derinde meydana geldiğine bağlı iken depremin şiddeti; merkez (epicenter) üssüne olan mesafesi, yer katmanlarının jeolojik yapısı ve yer altı su seviyesinin mesafesi gibi kriterlere bağlıdır.

Yerküre üzerinde aktif iki önemli deprem kuşağı vardır. Bunlardan biri “Pasifik Çevre Kuşağı”, diğeri ise “Alpid Kuşağı”dır. Türkiye, dünya üzerinde Kuzey Hindistan, Afganistan, İran, Yunanistan, Yugoslavya, İtalya, Kuzey Afrika, İspanya’dan geçen “Alpid Kuşağı” adı verilen “Akdeniz Deprem Kuşağı” üzerinde bulunmaktadır. [2]

Ülkemizde Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu olarak adlandırılan iki büyük fay zonu bulunmaktadır.

Deprem, yer kabuğunun bir titreşimi olduğundan deprem gerçekleştiğinde yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Deprem esnasında oluşan yatay ve düşey hareketler dolayısıyla açığa çıkan enerji yer altı katmanlarından geçerek yapının temeline ulaşır ve yapıda değişik doğrultularda hareketlere neden olarak taşıyıcı sistemde ivmeler oluşturur. Bu ivmeler neticesinde yapının taşıyıcı sisteminde  $F=ma$  ilişkisine göre eylemsizlik

kuvveti adı verilen kuvvetler oluşur. Yapı deprem esnasında kendine özgü bir doğal periyod üreterek dinamik tepki gösterir. Bu dinamik tepki yapıya iletilen depremsel enerjinin sönümlenmesi (hava sürtünmesi, malzemenin iç sönümlenmesi, elastik ötesi sınırlarda ve yük tersinmelerinden oluşan “histeresis” olayında tüketilen enerji) yoluyla gerçekleşir.

Yer kabuğunun kırılması çok ani olduğu için, deprem süresince “şok dalgaları” oluşur. Bu dalgalar yapıları sallar. Yapının üzerinde bulunduğu zemin, deprem dalgaları tarafından harekete zorlanmaktadır. Deprem dalgaları yapı altından geçerken, yapının oluşan bu atalet kuvvetlerine karşı dayanıklı olması gerekir. Aksi takdirde yapı yıkılır. [3]

Yapının deprem esnasında en az hasarla ayakta kalabilmesi amacıyla depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramı mühendislik tarihi boyunca inşaat mühendislerinin araştırma konusu olmuştur ve şüphesiz ki olmaya devam edecektir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli iki adımından biri yapının iyi düzenlenmesi ve yeterli kalitede olması, diğeri ise, bu yapıda depremin oluşturması beklenen kesit zorlarının yeterli yaklaşıklıkla belirlenerek karşılanmasıdır. [1]

Bugün bütün dünyada, depreme dayanıklı yapı tasarımında izlenen yol; yapının depremde oluşan kuvvetlere belli bir şiddet derecesine kadar elastik bölgede kalarak direnmesi, daha yüksek şiddetlerde ise bir takım kalıcı deformasyon yaparak ve hasar görerek karşı koyması, bu şiddette depremlerde hasar görse bile yıkılmamasını sağlayacak düktiliteye sahip olacak şekilde yapılmasıdır. [3]

Gelişmiş ülkelerde dahi ileri teknolojik malzeme ve teknikler kullanıldığı halde kuvvetli bir deprem veya kasırgada yapıların kesinlikle hasar görmeyeceği veya yıkılmayacağı garanti edilememektedir. Bu gibi dinamik kuvvetleri önceden tespit etmek mümkün olmadığından yapıların dizaynı belirli kriterleri sağlayan tasarım yüklerine göre yapılmaktadır. [4]

Mühendislik tarihine bakacak olursak yapı tasarımında kullanılan yöntemlerden en yaygın olan geleneksel yaklaşım yönteminin temel prensipleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Sadece statik yükler dikkate alınıp yapı elemanlarının depremsel kuvvetlere direnç gösterebilecek dayanıma sahip olması ve izin verilen sınırlar dâhilinde



yeterli sünekliğe sahip olması ilkesine göre tasarlanır, basit şekilde ifade edilmek istenirse yapı yeteri kadar rijit, gereği kadar sünek olmalıdır.

- Zemin periyodu ile yapının doğal periyodu farklı ve olabildiğince birbirinden uzak tutulmalı, rezoransa izin verilmemelidir.
- Üstyapı olabildiği kadar hafif temel ise olabildiği kadar ağır tasarlanmalıdır.
- Yapının üst katlarına gidildikçe rijitlikte uyumlu bir azalma olmalıdır.

Geleneksel yaklaşıma göre; yapının yıkılmadan sismik enerjiyi elastik olmayan şekil değiştirmeler şekliyle sönmülendirmesi istenmektedir. Bu nedenle; enerjinin korunumu prensibine göre elastik limit (Tersinir olabilme yani yükün etkisi yok olduğunda kalıcı deformasyon kalmayacak biçimde başlangıç durumuna geri dönebilme özelliğidir) içinde kendi bünyesinde depoladığı enerjinin ( $E_s$ ) arttırılmasına çalışılır.

Temel prensiplerine maddeler halinde değinilen geleneksel yaklaşım anlayışına göre tasarlanan yapıların deprem karşısında beklenen olası davranışları aşağıdaki gibi ifade edilir.

- Hafif şiddetli depremlerde, yapıların yapısal ya da yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesidir.
- Orta şiddetli depremlerde, yapıların yapısal ya da yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşan hasarın onarılabilir olmasıdır.
- En şiddetli depremlerde binada can kaybına yol açacak göçmenin önlenmesidir.

Geleneksel yöntemde tasarım ilkelerine göre mühendisler; bina kapasitesinin deprem kuvvetlerinden fazla olması için düktiliteyi (yapının elastik davranışının ötesindeki yer değiştirmeleri karşılayabilme kapasitesi) kullanarak dayanıklılık-kapasiteyi arttırmaya çalışırlar. Bu yaklaşım, elastik limitin ötesinde deformasyonları kabul ederek sismik enerjinin (depremin oluşturduğu titreşim enerjisi, rüzgâr yüklerinden oluşan titreşim enerjisi, malzemenin iç sürtünmesi, bağlantı noktalarındaki sürtünme enerjisi) plastik mafsalların oluşumu yoluyla sönmülendirilmesine sebep olur. Böylece sünek bölgeye geçilmiş olur ve bu da yapısal elemanların hasar görmesini kabul etme anlamına gelir ve yapısal elemanlarda aşağıdaki resimde görüldüğü gibi tamiri mümkün olmayacak hasarlara neden olmaktadır.



**Şekil 1.1 :** Geleneksel yaklaşımla inşa edilmiş yapı örneği.

Bu nedenle geleneksel yaklaşıma göre yapı tasarımı yapılırken yönetmelik ve şartnamelerin öngördüğü limitler dâhilinde sünek kalınmaktadır. Örneğin sönüm dereceleri betonarme yapılarda  $\xi = 0,05$  ;çelik yapılarda  $\xi = 0,02$  olarak belirlendiğinden geleneksel tasarıma göre inşa edilmiş bir yapı olası şiddetli bir depremde sönüm mekanizması düşük olduğundan elastik bölgenin dışına çıkıp plastik davranış göstermeye başlar ve yapıya iletilen sismik (deprensnel) enerji yapısal elemanların elastik olmayan şekil değiştirmeleri yoluyla harcanır.

Depreme karşı yapı tasarımı yalnızca statik kuvvetler göz önüne alınıp kapasitenin talepten daha fazla olması ilkesine göre tasarlandığından yapının rijitliği artırıldığı takdirde; görelî kat ötelemeleri azalmakta fakat kat ivmeleri artmaktadır. Bu durumda depremde etkili olan serbest titreşim periyotları azalmakta bu durumda karşılanması gereken deprem kuvvetleri artmaktadır. Diğer yandan hafif şiddetteki depremlerde taşıyıcı sistem hasar görmese de bina içindeki elemanlar hasar görmekte ayrıca maliyet de arttığından mühendisliğin temel ilkelerinden olan ekonomîlik ilkesine ters düşülmektedir. Yapının sünekliği (yapının elastik davranışın ötesindeki yer değiştirmeleri karşılayabilme kapasitesi) artırıldığında ise; kat ivmeleri azaldığından bina içindeki elemanlar hasar görmüyor fakat diğer taraftan periyodu ve görelî kat ötelemeleri arttığından yapısal hasar meydana geliyor ve binanın taşıyıcı elemanlarında hasarlar oluşuyordu.

Geleneksel yaklaşımda yapıya iletilen sismik enerjinin tüketilmesi esas olarak plastik mafsalların oluşumu ile gerçekleşmektedir. Bu da yapının hasar görmesini kabul etme anlamına gelmektedir. Sismik enerjiyi yapısal hasara razı olarak tüketme yerine ek sönüm sistemleri alternatif bir yaklaşım olarak görülmektedir. [4]

Ayrıca günümüzde sadece binanın göçmemesi değil olası bir depremde yapı içindeki yapısal olmayan elemanların da zarar görmemesi amacıyla alternatif bir depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımı ihtiyacı doğmuştur.

Yakın dönem mühendislik tarihinde geleneksel yaklaşım yerine, statik kuvvetlerin doğurduğu etkilerin yanı sıra dinamik etkilerin (deprem ve rüzgâr) doğurduğu dinamik yüklerde hesaba katılıp daha sünek yapılar yapılmaya başlandı. Fakat tüm bu yaklaşımlarda yapı statik ve dinamik kuvvetlere ilave destek olmaksızın tasarlandığından yapı zorlanıyor, yapı elemanlarının büyük kesitli ya da yüksek kaliteli malzemeler olarak tasarlanması gerekiyordu. Bu da yapıyı ayakta tutuyor fakat mühendisliğin ekonomiklik ilkesine ters düşüyordu.

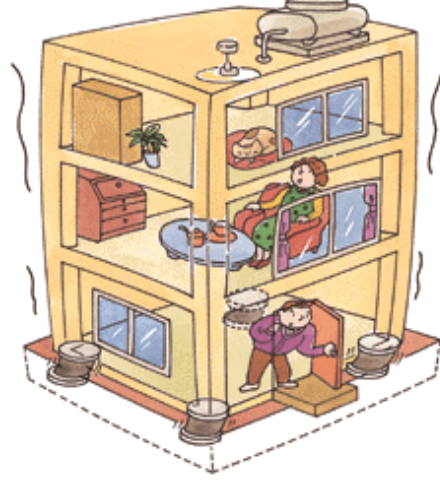
Son dönemde depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında, yukarıda anlatılan yaklaşımların yerine alternatif bir yaklaşım benimsenerek “yapısal kontrol sistemleri” şeklinde adlandırılan, deprem kuvvetlerine karşı yapının tek başına karşı koyması yerine deprem kuvvetleri azaltılmış yapı yapma mantığı benimsenmiştir. Karşı kuvvet uygulayan ya da deprem enerjisini sönmleyen özel elemanlar yapının değişik noktalarına konarak yapının enerji yutma kapasitesinin artırılarak yapının titreşiminin kontrol altına alınması yaklaşımı benimsenmiştir.

Yapısal kontrol deyimini genel olarak, dış dinamik yükler etkisinde yapı tepkisini kontrol edebilmek için yapı özelliklerinin düzenlenmesidir.

Deprem süresince, yapının titreşimi yerden yapıya iletilen sismik enerji etkisiyle olmaktadır. Deprem süresince yapı bölümlerinde bu enerji ya depo edilmekte veya açığa çıkarılmaktadır. Bu arada sönm ve iç sürtünme gibi nedenlerle bir kısım enerji de yutulmaktadır. Enerji ne kadar fazla yutulursa, yapı bölümlerinin hareketleri ve dolaylı olarak etkileyen kuvvetler az olacaktır. Bu nedenle enerji yutulması istenen bir şeydir. [3]

Yapısal kontrol sistemlerinde yukarıda bahsedilen yaklaşımlarda uygulanan  $E_s$  'yi arttırmak yerine bu defa, enerjinin korunumu prensibi denkleminin eşitliğinin bozulmaması için, kombine bir şekilde sismik izolasyon sistemleri ile yapıya gelen deprem enerjisinin ( $E_i$ ) azaltılması ve yapıda uygun yerlere konulan pasif enerji sönmleyiciler vasıtasıyla sönmlenen enerji  $E_d$  'nin artırılması yoluna gidilir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, deprem ya da deprem dışı kaynaklı titreşimlerin kontrol altına alınması ve sadece yapının göçmemesi değil yapısal olmayan elemanların da aşağıdaki resimde görüldüğü gibi hasar görmemesi için, araştırmaları 1960'larda başlayan ve 1980'lerden beri yaygın olarak uygulanmaya başlayan yapısal kontrol sistemleri yaklaşımı ortaya çıkmıştır.



**Şekil 1.2 :** Sismik izolasyon yöntemi uygulanmış yapı örneği.

Ülkemizde nüfusun %98'inin deprem riski altında yaşadığı gerçeği düşünülürse, günümüzde inşaat mühendislerinin mesleki yükümlülüğü sadece yaşanılacak alanlar inşa etmek değil, inşa edilen yapının deprem ve diğer dinamik etkiler karşısında güvenilir olmasını da sağlamaktır.

Yapılan tez çalışmasında, yapısal kontrol sistemi kavramı genel olarak açıklanmış ve sınıflandırması yapılmıştır. Seçilen yapı modelinde uygulanan taban izolasyon sisteminin daha iyi anlaşılması için teorik esaslara ve mekanik özelliklerine değinilmiştir. Ülkemizde ve diğer ülkelerdeki pasif kontrol sistemleri uygulamaları kısaca tanıtılmıştır. Son olarak sayısal uygulama yapılmış ve analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

## 2. YAPISAL KONTROL SİSTEMİ KAVRAMI

Mühendislik alanında, bir yapıyı geleneksel yaklaşımla değil de deprem etkilerine karşı kuvvetler uygulayacak ya da bu kuvvetleri sönmüleyerek yapıya daha az iletilmesini sağlayacak şekilde inşa edilebilmesi yaklaşımı ile ilgili çalışmalar 20.yy' ın başlarına dayanmaktadır.

Bu bölümde ilk önce yapısal kontrol sistemleri ile ilgili yapılmış bir takım bilimsel çalışmalara ve yapısal kontrol sistemlerine göre inşa edilen bazı yapılarla ilgili bilgilere kronolojik olarak yer verilmiştir.

### 2.1 Yapısal Kontrol Sistemlerinin Bilimsel Tarihi

- İlk kez sismik izolasyon yaklaşımının depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılması fikri 1908 yılında meydana gelen Messimo-Reggio depreminin ardından İtalya' da başlamıştır.
- Ağustos 1909'da İngiltere'nin kuzeyinde bir kent olan Scarborough' ta Johannes Avetican Calantarients adında bir doktor, Santiago' da bulunan sismoloji servisine bir mektupla yeni bir metot geliştirdiğini bildirmiştir. Bu metoda göre, binaların yapımı sırasında altta talk, mika veya kum bir tabakadan oluşan katmanın eklenmesi durumunda, yapıların deprem esnasında hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek oluşacağını savunmuştur. Bu sayede, yapıya transfer olan kuvvetin azaltılmasının mümkün olacağını öngörmüştür. [5]
- Johannes Avetican Calantarients, İngiliz patent bürosuna başvurmuş ve “depremde yapının kaymasına izin verilmesi durumunda yapıya gelen etkilerin azaltılabileceği” fikrini önermiştir.
- Yine yüzyıl kadar önce Japonya'da maden mühendisi Prof. John Milne Japonya'da ahşap bir ev inşa etmiştir. Prof. John Milne temel kazıklarının başına plakalar (fincan tabağı biçiminde ve pik demirden imal edilmiş) yapmış ve yapıyı bilye yatağının üzerine yerleştirerek mafsalı mesnetlerle

dinamik yüklerden ayırmayı başarmıştır. Yaptığı bu uygulamayı bir rapor halinde “Bilim İlerlemelerini Amaçlayan İngiliz Topluluğu” na sunmuş ancak yapının rüzgâr kuvvetleri karşısında dayanımı düşük olduğundan bilye çaplarını değiştirip tekrar gözlemlemiş ve 0.64 cm çaplı bilyeler ile hem deprem hem de rüzgâr yüklerin karşısında performans gösterebilen bir yalıtım sistemi geliştirmeyi başarmıştır.

- Frank Lloyd Wright sismik izolasyonu uygulamaya geçiren ilk kişidir. Tokyo’ da 1921’de inşa edilen Imperial Oteli’nin oturacağı sağlam zemin tabakasına yakın aralıklarla kazıklar çakılarak daha altta bulunan çamur tabakasının üzerinde yüzen bir izolasyon sistemi yaratılmıştır. Yapı 1923 Tokyo Depremini atlattır.
- 1969’ da Yugoslavya’da “Pestolozzi” isimli okul binasında ilk kez o dönemde “Swiss Full Base Isolaton-3D” olarak adlandırılan Kauçuk Mesnetli izolatörler (tamamıyla kauçuk bloklardan oluşmuştur) kullanılmıştır.
- 1970’ lerde teorik olarak geliştirilmeye başlanan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ilk kez 1981’ de Yeni Zelanda Wellington’ da önceden “William Clayton Building” adıyla bilinen Sağlık Bakanlığı binasında kullanılmıştır. (Ministry of Health building). Yapının bodrum katında 80 tane izolatör kullanılmıştır.
- 1976 yılında EERC (Earthquake Engineering Research Center) kurumunda doğal kauçuk mesnetlerin geliştirilmesi için çalışmalara başlanmıştır.
- California Berkeley Üniversitesi’ nden Prof.J.M.Kelly sismik izolasyonla ilgili teorik ve pratik çalışmalarda bulunmuştur. 1982’ de Prof.J.M.Kelly deprem yükleri etkisi altındaki bir yapıyı farklı mesnet durumlarına göre analiz etmiş ve bir takım akademik çalışmalar sonucunda taban izolasyonu uygulanmış yapının depremsel tepkisinin en az olduğu sonucuna ulaşmıştır.
- Mart 1992 de UNI (İtalyan Standartları Enstitüsü) CEN’ e (Avrupa Standartları Komitesi) resmi bir talepte bulunarak anti-sismik donanımları kapsayacak bir norm oluşturmasıyla görevli bir teknik komite kurulmasını istemiştir ve TC340- Antisismik Cihazlar Teknik Komitesi kurulmuştur. Bürokratik işlemlerden sonra en sonunda resmi olarak tayin edilen Teknik komite Ekim 1993’de Viyana’da ilk toplantısında bulunmuştur. TC 340’ın

hedefi EUROCODE 8'e göre sismik alanlarda yapılan yapılarda kullanılacak anti-sismik cihazların standardizasyonudur. [6]

- Bisch, P., (1993), sismik izolatörlerin mekanik ve karakteristik özelliklerini ve çalışma prensiplerini ele almıştır. Hangi durumlarda izolatörlerin kullanılmasının sakıncalı olabileceğine dair çalışmalar yapmıştır.
- Bergman, L.A., Claus, R.O., Yao, J.T.P., (1997), yapısal kontrol sistemleri ile ilgili çalışmalarda bulunmuşlar uygulama alanlarını ve performanslarını incelemişlerdir.
- Higashino, M., Aizawa, S., Yamamoto, M. ve Toyoma, K., (1998), rüzgar ve deprem etkisi altında aktif kütle sönümleyicilerin davranış biçimlerini incelemişler ve uygulamalara dair örnekler vermişlerdir.
- Naeim, F., Kelly, J.M., (1999), “1997 Uniform Building Code” un taban izolasyon sistemi uygulanacak yapılardaki tasarım ilkelerini ve sağlanması gereken minimum koşulları belirtmişlerdir.
- California Berkeley Üniversitesi'nden Prof.A.K.Chopra sismik izolasyonla ilgili ilk bilgisayar programını yazmıştır.
- Tezcan, S. ve Cimilli, S., (2002), “seismic base isolation” isimli akademik eserde sismik taban izolatörlerinin uygulama avantaj ve dezavantajlarını incelemişlerdir.
- Tezcan, S., ve Erkal, A., (2002), “seismic base isolation and energy absorbing devices” isimli eserde çeşitli pasif kontrol elemanları ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Önce sismik izolasyon uygulanan daha sonra konvansiyonel olarak tasarlanan binanın deprem davranışını analiz etmişler ve araştırma bulgularını değerlendirmişlerdir.
- Sansarcı, E., (2002), yapısal kontrol sistemlerinin sınıflandırması ve uygulama alanlarına dair çalışmalar yapmıştır.
- Aldemir, Ü., (2005), depreme dayanıklı yapı tasarımı için geliştirilen yapısal kontrol sistemleri ile ilgili çalışmalar yapmıştır.
- Erdik, M., (2007), altıncı ulusal deprem mühendisliği konferansı çağrılı bildiriler kısmına “Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar” isimli çalışma ile katılarak ülkemizdeki sismik izolasyon çalışmaları ile ilgili bilgileri aktarmışlardır.

- “Sismik izolasyon, enerji sönümleme ve yapıların aktif titreşim kontrolü” 10.dünya konferansı 28-31 mayıs 2007 tarihinde İstanbul’ da gerçekleştirilmiştir. Erdik, M., ve Mungan, İ., “seismic isolation applications and developments in Turkey” adlı çalışma ile katılarak Türkiye’ de sismik izolasyonun gelişimi hakkında bilgiler vermişlerdir.

## 2.2 Dünyada Pasif Kontrol Sistemi Uygulamaları

2007 yılı itibariyle deprem yalıtımı (pasif kontrol) uygulanmış yapı sayısı yaklaşık 5000 civarındadır. Sadece bina tipi yapılar göz önüne alınırsa 2005 yılında Japonya’da 2700, Rusya’da 550, Çin’de 409, ABD’de 100, İtalya’da 31, Tayvan’da 24, Ermenistan’da 19 ve Yeni Zelanda’da 11 uygulama bulunmaktadır. [7]

- **Amerika Birleşik Devleti’nde gerçekleştirilen uygulamalar:**

Yapısal kontrol sistemlerinin özellikle de sismik izolasyon teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı ülkelerden biri de Amerika Birleşik Devletleri’dir.

1980’lerden itibaren yapısal kontrol sistemleri alanında birçok çalışma yapılsa da uygulamaya geçilmesi ancak 1980’lerin sonuna tekabül eder. 1990 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde sadece dört binaya sismik izolasyon sistemi uygulanmış diğer yandan 1993’lerin sonunda dek hiçbir binaya pasif enerji sönümleyici sistemi uygulanmamıştır. 17 Ocak 1994 Northridge depreminden 3 hafta önce 11 adet binanın sismik izolasyonu tamamlanmış ve 2 adet bina pasif enerji sönümleyiciler kullanılarak güçlendirilmiştir.

1995’de Japonya’nın Kobe kentindeki depremde beş binden fazla insan ölünce California eyaletinde bir dizi önlemler alınmıştır. Önce tüm binalar sınıflara ayrılmıştır. Birinci sınıf binalar, depremde hiçbir aksaklığa meydan vermeden faaliyetine devam edecek hastane, santral, köprü ve ana arterler. 2002 yılına kadar tüm binaların yeni bir teknolojiyle depremde ayakta kalacak şekilde uygun hale getirilmesi esastır. Aksi halde yıkılması gerekmektedir. Başta San Fransisco’ da ki Golden Gate Köprüsü olmak üzere tüm mevcut yapılar sismik izolasyon teknolojisiyle depreme dayanıklı hale getirilmiştir. Yeni yapılan yapılar zaten bu teknolojiyle üretilmiştir ve büyük malzeme tasarrufu sağlanmıştır. [8]

Aşağıda Amerika Birleşik Devletleri’nde sismik izolasyonun uygulandığı bir takım örneklere yer verilmiştir.



### **Foothill Communities Law and Justice Center:**

California San Bernardino’ da inşaa edilen Amerika’ nın ilk sismik izolasyonlu binası “Foothill Communities Law and Justice Center” binasıdır. Yapı San Andreas fayına 21 km mesafede, Los Angeles’ a yaklaşık 100km mesafededir. Yapımına 1984 yılında başlayıp 1985’ de tamamlanan ve taşıyıcı sistemi çelik çerçeve olan bina yaklaşık olarak 15.794 m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip olup 4 normal kat ve 1 bodrum kata sahiptir. Bina aynı zamanda yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin (HDNR) kullanıldığı ilk sismik izolasyonlu binadır. Yapı 8.3 magnitud büyüklüğünde bir depreme karşı koyacak şekilde tasarlanmıştır. Çelik çerçeve ile güçlendirilmiş ve su basman kotunda toplam 98 adet yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör kullanılmıştır. Binada kullanılan izolatörler Malezya Kauçuk Üreticileri Birliği (MRPRA) tarafından geliştirilmiştir. Sismik izolasyon sisteminin yapacağı yer değiştirmeler için bina köşelerinde 40 cm’ lik derzler bırakılmıştır.



**Şekil 2.1 :** “Foothill Communities Law and Justice Center” Binası.

### **Emergency Operations:**

İkinci sismik izolasyon uygulanan bina “Fire Command and Control Facility” binası ile aynı bölgede Los Angeles’ da inşaa edilen “Emergency Operations” binasıdır. Yapı 2 katlı olup çelik çerçeve taşıyıcı sisteme sahiptir. Yapıda Bridgestone Mühendislik Şirketi tarafından üretilen toplam 28 adet yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör kullanılmıştır.

### **M.L.King:**

Bir diğer izolasyonlu bina Los Angeles’ da Newport-Inglewood deprem fayına 5km mesafede bulunan “M.L.King” binasıdır. Yapı 5 katlı olup toplam 13.000m<sup>2</sup> inşaat alanına sahiptir. Yapının sismik izolasyonunda 70 adet yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör ve 12 adet kayıcı izolatör kullanılmıştır. Kullanılan izolatörler 1m

çapında olup imal edildiklerinde Amerika’da üretilen en büyük izolasyon mesnetleri olma özelliğini taşımaktadırlar. Yapı uygulanan pasif kontrol sistemi sayesinde  $M=7.5$  değerindeki bir depremi karşılayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

### **Oakland City Hall:**

Amerika’da yeni inşaa edilen bir çok yapının yanı sıra sismik izolasyon sistemi ile güçlendirme çalışmaları da uygulanmıştır. Bunlardan biri San Francisco’da bulunan “Oakland City Hall” binasıdır. Yapı 18 katlı olup  $15.000m^2$  inşaat alanına sahiptir.

1914 de inşaa edilen bina 1989 Loma Prieta depremini atlattıktan sonra güçlendirilmesine karar verilmiştir. Yapının güçlendirilmesi için konvansiyonel yöntem (ankastre tabanlı) ve taban izolasyonlu yöntemler üzerinde düşünülmüş ve daha efektif olan taban izolasyonu sistemin uygulanmasına karar verilmiştir. Yapı 1995 yılında, 737mm den 940mm ye dek değişik çaplarda toplam 126 adet (42 adet kurşun çekirdekli izolatör, 69 adet kauçuk izolatör, 15 adet kayıcı izolatör) elastomerik mesnet kullanılarak güçlendirilmiştir.



**Şekil 2.2 :** “Oakland City Hall” binası.

### **San Francisco City Hall:**

Güçlendirme amaçlı sismik izolasyon sisteminin kullanıldığı bir diğer yapı ise San Francisco’ da bulunan ve klasik bir mimari örneği olan “City Hall” binasıdır. 1915 yılında inşaa edilen bina, 28 katlı ve taşıyıcı sitemi çelik olup binanın tepesinde 91m yüksekliğinde kubbemsi bir ilave vardır.

Yapı 1906 San Francisco depreminde zarar gördüğü için 1912 de tekrar tasarlanmış ardından 1989 Loma Prieta depreminde daha önemli hasar gördüğünden, güçlendirme çalışmalarına 1994 yılında başlanıp 1997 yılında tamamlanmıştır. Yapının bir diğer özelliği ise dünyanın en büyük güçlendirme projesi olmasıdır. Yapının güçlendirilmesi için dört farklı metot düşünülmüş ve yapılan ön tasarımda taban izolasyonu uygulanması durumunda diğer metotlara göre yapının temelinde en düşük olan 0.17g ivme sonucuna ulaşıldığından sismik izolasyon sisteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Yapının güçlendirilmesi için Şekil 2.3’ de görüldüğü gibi kolonlar desteklendikten sonra altları kesilerek toplam 591 adet (530 adet LRB, 61 adet kayıcı izolatör) izolatör yerleştirilmiştir.



**Şekil 2.3 :** “San Francisco City Hall” binasında izolatör yerleşimi.

#### **Mackay School of Mines at the University of Nevada:**

Yukarıda açıklanan uygulamaların dışında hem kayıcı hem de elastomerik mesnetli izolatörlerin beraber kullanıldığı sismik güçlendirme uygulamaları da mevcuttur. Bunlardan birisi Reno Nevada Üniversitesi’nde bulunan eğitim binasıdır. Yapı Amerika Birleşik Devleti’nde güçlendirme uygulanan ikinci tarihi yapı olma özelliğini taşımaktadır. İki tip izolatörün kullanılması sayesinde hem kayıcı hem de elastomerik mesnetli izolatörlerin avantajlarından faydalanılmıştır. 1993 yılında güçlendirme uygulaması tamamlanan yapıda toplam 106 adet (64 adet yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör, 44 adet kurşun-bronz kayıcı izolatör) izolatör kullanılmıştır.



**Şekil 2.4 :** “Mackay School of Mines” binası.

**University Hospital of the University of Southern California:**

Dünyada sismik izolasyon sistemi uygulanan ilk hastane binasıdır. 1994 Northridge depremi merkez üssüne 36 km mesafede, 32.500m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip 8 katlı bir yapıdır. Yapıda dış kolonlarda 68 adet kurşun çekirdekli, iç kolonlarda 81 adet kauçuk izolatör kullanılmış ve bu sayede bina dışında ölçülen zirve yer ivmesi 0.49 g iken, bina içindeki yer ivmesi 0.10 g ile 0.13 g arasında ölçülmüştür. Yapı 8.2 Richter ölçeğinde bir depreme karşı koyacak şekilde tasarlanmıştır.



**Şekil 2.5 :** “University Hospital of the University of Southern California” binası.

**Citicorp Building:**

Manhattan şehrindeki “Citicorp Building” binası pasif enerji sönümleyici sistemlerden ayarlı kütle sönümleyiciler kullanılarak pasif kontrol sistemi uygulanmıştır. 279m yüksekliğindeki yapının tepesine birinci modun modal kısmının %2’si olan 366 ton ağırlığında bir kütle yerleştirilmiştir. Yapı bu sayede 6,5 sn periyoda ve 1.4m maksimum deplasman yaparak yapıya ilave %4 sönüm değeri katmıştır.

- **Japonya’da gerçekleştirilen uygulamalar:**

Dünyada sismik açıdan en aktif bölgeler üzerinde olan Japonya’da yapısal kontrol sistemleri özellikle de sismik (taban) izolasyonu ile yapı tasarımı son 25 yılda oldukça gelişmiştir.

Bugün sismik izolasyonun en çok kullanıldığı ülke tartışmasız Japonya’dır. Japonya’daki sismik izolasyon uygulanan yapıların çoğunu konutlar ve ofis binaları oluşturur. Japonya bu konuda, sismik izolasyonu genellikle kritik ve değerli içeriğe sahip binaların inşasında ve güçlendirmesinde benimseyen Amerika’ya göre farklılık gösterir. [9]

“Kobe Depremi” olarak literatüre geçen 17 ocak 1995 te Japonya’nın Hanshin Adaları yakınlarında M=7.4 büyüklüğündeki deprem Japonya’ da sismik izolasyon alanında bir dönüm noktası olmuştur.

Teknolojinin yenilgisi olarak nitelendirilen deprem 20sn içinde, yaklaşık olarak 5500 ölü, 35.000 yaralı, 180.000 kullanılamaz/yıkılmış konut, 300.000 evsiz geride bırakmış, insanlık bir kez daha doğaya yenik düşmüştür. [10]

Japonya’ da Kobe Depremi’ nden önce sadece 15 yapı sismik izolasyon onayı almış iken 1997 yılından sonra İnşaat Bakanlığı Komitesi tarafından onay verilen sismik izolasyonlu bina sayısı 393 olup bunların; 228’i konut, 84’ü ofis, 31’i hastane, 22’si resmi bina ve bir kısmı da güçlendirme uygulanan yapılardır.

Yoğun olarak doğal kauçuk izolatörlerle kombine olarak mekanik sönümleyiciler ya da kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmakla beraber son yıllarda yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin kullanımı artmıştır.

### **The Computer Center of the Tohoku Electric Power Company:**

“Computer Center of the Tohoku Electric Power Company” binası; Miyoki Sendai bölgesinde, 1995 Hyogoken Nanbu (Kobe) depremi merkez üssüne yaklaşık 30 km mesafededir. Yapı 6 katlı 47.000m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip ve içinde elektrik enerjisi üretimi için kullanılan birçok değerli ve kritik malzeme barındıran bir binadır.

Binada toplam 120 adet elastomerik izolatör (54 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, 66 adet doğal kauçuk izolatör) ve bunlara ilaveten 44 adet çelik ve kurşun sönümleyiciler kullanılmış bu sayede yapının izolasyonlu periyodunun 3.9 sn olması sağlanmıştır. Yapıda ölçülen zirve yer ivmesi izolatör katında 0.41g iken izolasyon

sistemi sayesinde çatıda 0.31g olmuştur. İzolatörlerin tahmini yer değiştirmesi 12cm olacak şekilde tasarlanmıştır.

Sismik izolasyonun yapıda uygulanışı ilk yapım maliyetini yaklaşık %5 oranında arttırmıştır fakat diğer taraftan olası bir deprem sonrası olabilecek daha büyük hasarların önüne geçilmiştir. Montajı oldukça kolay olmuştur ve binanın inşası 1 yıl gibi kısa bir zamanda tamamlanmıştır.



**Şekil 2.6 :** “The Computer Center of the Tohoku Electric Power Company” binası.

#### **Semiconductor Manufacturing Factory:**

Japonya’ da pasif kontrol sistemlerinin uygulandığı birçok endüstri binasından biri de “Semiconductor Manufacturing Factory” binasıdır. Yapı toplam 27.000 m<sup>2</sup> inşaat alanına sahiptir. Yapıda çok sayıda kauçuk izolatör, viskoz sönümleyici ve ayarlı sıvı sönümleyiciler kullanılmıştır.



**Şekil 2.7 :** “Semiconductor Manufacturing Factory” binası.

#### **ORC 200 Bay Tower:**

Osaka kentinde bulunan bina otel, ofis ve konut birimlerini kapsayan 50 katlı bir yapıdır. Taşıyıcı sistemi çelik olan yapı 200m yüksekliğindedir. 56.680 ton ağırlığındaki yapıda 2 adet 200 ton ağırlığında ayarlı kütle sönümleyici kullanılmıştır.

### **Umeda DT Tower:**

Japon Takenaka Firmasının Osaka'da inşa ettiği 130m yüksekliğinde 27 katlı "Umeda DT Tower" iş merkezi binası dünyada ilk defa uygulanan 'Hybrid (Karma) Yalıtım Sistemi' örneğidir.

Zemin kat dâhil alt katları ile deprem perdeleri ve döşemeleri betonarme, üst katlarda ise kiriş ve kolonları çeliktir. İnşaatin yapımına 1992 yılında başlanmış, ancak Asya ekonomik krizi nedeniyle 1993'te 8 yıl ara verilmiştir. Bu arada 1995 yılında Osaka ve Kobe'de büyük hasara yol açan Hanshin depremi olunca binanın depreme karşı yalıtılmasına karar verilmiştir. Temel zemininden 18m yükseklikte olan ara katta izolasyon katı oluşturulmuştur. Yapıda oniki değişik noktada izolatörler, sönümleyiciler ve çok fonksiyonlu titreşim söndürücüler kullanılarak karma bir yalıtım sistemi oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen hybrid (karma) yalıtım sisteminde; Şekil 2.5' de görülen doğrusal kayıcı mesnetler (linear slider), ayrıca çapları 2660mm, 1350mm ve 1100mm olan kurşun çekirdekli lastik mesnetlerden ikişer tane olmak üzere toplam 6 adet kullanılmıştır. 3000kN (300 ton) kuvvet uygulayabilen Şekil 2.7 'de görülen çok fonksiyonlu titreşim söndürücülerden (multifunction damper) yapının altı değişik noktasına yerleştirilmiştir.



**Şekil 2.8 :** “Umeda DT Tower” Binasında kullanılan doğrusal kayıcı izolatör.



**Şekil 2.9 :** “Umeda DT Tower” Binasında kullanılan kurşun çekirdekli izolatör.



**Şekil 2.10 :** “Umeda DT Tower” Binasında kullanılan çok fonksiyonlu titreşim söndürücü.

- **Yeni Zelanda’da gerçekleştirilen uygulamalar:**

1970’ ler den itibaren Yeni Zelanda, Amerika ve Japonya kadar sismik izolasyonun en çok uygulandığı ülkelerden biridir. İlk uygulama 1973’de yapılan South Rangitikei Köprüsü uygulama projesidir. Yapının sismik izolasyonunda çelik sönümleyiciler kullanılmıştır. Kurşun çekirdekli elastomerik izolatörlerle yapılan sismik izolasyon oldukça yaygındır. Aşağıda Yeni Zelanda’da gerçekleştirilen uygulamalardan bazılarına değinilmiştir.

**The William Clayton Building:**

Yeni Zelanda’nın sismik izolasyon uygulanan ilk binasıdır. Bina Wellington’ da olup uygulama 1981 yılında tamamlanmıştır. Bina dünyada kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin (LRB) kullanıldığı ilk bina olması açısından da ayrıca önem taşır. Yapıda bodrum kat seviyesinde izolasyon katı oluşturularak 80 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmıştır.



Binanın izolasyonunun tamamlanmasının ardından 3 tane yapıya daha sismik izolasyon uygulanmıştır. Bunlar Auckland’ da bulunan Union House binası ve yine Wellington’ da bulunan Central Police Station binasıdır.



**Şekil 2.11 :** “The William Clayton Building” binası.

#### **Central Police Station:**

10 katlı bir yapı olan Central Police Station binası tabanda 38 x 31 m alana oturmuştur. Yapı aktif Wellington fayına oldukça yakın mesafede olduğundan yapının izolasyonu kılıflar içine yerleştirilmiş 12m lik uzun kazıklar ile sağlanmıştır. Yine bu kılıflar sayesinde sağlam zemine ulaşılmış ayrıca yapının yatay yer değiştirmesine de imkân sağlanmıştır.

#### **Parlemanto Binaları:**

Ülkede uygulanan en büyük güçlendirme projesidir. 45.000m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip olup parlamento binası, parlamento kütüphanesi ve bir takım ilave yapılardan oluşan karmaşık bir yapıdır. 1907’de büyük bir yangında hasar gören parlamento binasının geleneksel tasarım anlayışına göre güçlendirilmesi düşünülürken tarihi dokusu ve aktif faylara yakın olması nedeniyle sismik izolasyon uygulanmasına karar verilmiştir. Yapının sismik izolasyonunda mevcut temeller çıkartılıp yerlerine tahmini 514 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör yerleştirilerek yeni betonarme temeller inşa edilmiştir. Uygulanan güçlendirilme sonrasında yapı M=7.5 büyüklüğünde bir depreme dayanacak kapasiteye ulaşmıştır.



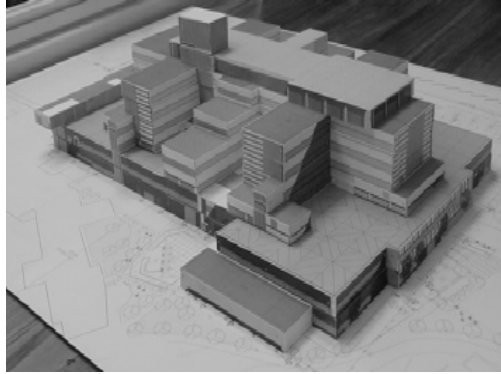
**Şekil 2.12 :** Yeni Zelanda parlamanto binası.

**Wellington Regional Hospital:**

“Wellington Regional Hospital” binası Yeni Zelanda’nın başkenti için kritik sağlık hizmetlerini karşılaması ayrıca olası bir deprem sonrası kritik klinik hizmetlerini de içermesi bakımından önemli bir yapıdır. Yapı 50.000 m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip 7 katlıdır.

Yapının sismik izolasyonu maksimum 600mm yer değiştirmeye göre dizayn edilen, 135 kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve 156 kayıcı izolatör içermektedir. [11]

Yapının modeli ve kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatör resimleri aşağıda görülmektedir.



**Şekil 2.13 :** “Wellington Regional Hospital” binası.



**Şekil 2.14 :** “Wellington Regional Hospital” binasında kullanılan izolatörler.

#### **Rankine Brown Building:**

Wellington’ da bulunan Viktoria Üniversitesi Rankine Brown Kütüphane Binası sismik izolasyon tekniği kullanılarak güçlendirilmiştir. Orjinal hali 1960’larda inşa edilen yapı, 16 adet yüksek kapasiteli kurşun çekirdekli kauçuk izolatörle güçlendirilmiştir. İzolatörlerin yerleştirilmesi için Şekil 2.12’ de görüldüğü gibi kolonlar desteklenip alt kısımlarında izolatörlerin yerleşimi için boşluklar yaratılmıştır.



**Şekil 2.15 :** “Rankine Brown” Binasında kullanılan kauçuk izolatör.

#### **Christchurch Womens Hospital:**

10 katlı olan yapı 20.000m<sup>2</sup> inşaat alanına sahip olup kadın sağlığı konusunda hizmet veren bir hastane binasıdır. Yapıda 2004 yılında sismik izolasyon çalışması yapılmıştır. Uygulanan sismik izolasyon çalışmasında 41 adet kurşun çekirdekli

izolatör ve 13 adet kayıcı izolatör kullanılmış ve bu sayede yapıdaki maksimum yer değiştirme kapasitesi 420 mm ye ulaşmıştır.



Şekil 2.16 : “Christchurch Womens Hospital” binası.

- **İtalya’da gerçekleştirilen uygulamalar:**

İtalya dünyada sismik izolasyonun köprülerde kullanımının en yaygın ülke olması nedeniyle literatürde yerini almıştır.

#### **Somplago Viyadüğü**

İtalya’ daki ilk sismik izolasyon uygulaması 1970 yılında Udine-Tarvisio otoyolu üzerindeki Somplago Viyadüğü’ nde uygulanmıştır. Bu uygulama aynı zamanda sismik izolasyonun Avrupa’ da bir köprüde kullanılmasına dair ilk örnektir. Oldukça basit ancak etkili bir izolasyon sistemi kullanılan uygulamada köprü kenar ayaklarında elastomer takozlar kullanılırken tüm orta ayaklarda kayıcı mesnet elemanları kullanılmıştır. (Kaynak 12)



Şekil 2.17 : Somplago Viyadüğü.

İnşaat halindeyken 1976 yılında Friuli depremine maruz kalan viyadük, aynı bölgede konvansiyonel yöntemle inşa edilen köprü ve diğer yapılar hasar görürken, depremi hasarsız atlattığı başarımıştır.



**Şekil 2.18** : Samplago Viyadüğü'nde kullanılan kayıcı mesnet.



### **3. YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI**

Yapılarda servis ömrü boyunca dinamik etkiler sonucu oluşan titreşimlerin kontrol altına alınması istenir. Yapısal kontrol sistemleri adı verilen tasarım ile yapının kendisi değil yapıya kurulan ilave cihazlar sayesinde dinamik kuvvetlere karşı koyulmaktadır.

Yapısal kontrol sistemleri çeşitlerinin genel sınıflandırması üç ana grupta yapılmaktadır. Bunlar; aktif kontrol sistemleri, yarı aktif kontrol sistemleri ve pasif kontrol sistemleridir. Bu bölümde tez konusu gereği pasif kontrol sistemleri sınıflandırması yapılmış aktif ve yarı aktif kontrol sistemlerine ise kısaca değinilmiştir.

#### **3.1 Aktif Kontrol Sistemleri**

Yapısal kontrol sistemlerinden aktif kontrol sistemleri, 1990 lı yıllarda Japonya'da pasif kontrol yapı sistemlerinin projelendirildiklerinden fazla dış kuvvete maruz kaldıklarında etkisiz olma özelliklerine alternatif olarak geliştirilmiştir.

Aktif kontrol sistemlerinde kontrol sistemlerinde kontrol kuvvetlerini üretebilmek için harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Zemine ve yapıya yerleştirilen sensörler aracılığıyla elde edilen bilgiler kontrol bilgisayarına iletilerek daha önceden belirlenmiş bir algoritmaya göre kontrol kuvvetleri hesaplanır. Bu kuvvetler kuvvet üreten mekanizmalar (actuator) aracılığıyla yapıya uygulanır. [4]

Aktif kontrol sisteminde dinamik titreşimler algılanıp çok kısa sürede karşı koyucu kuvvet üretilir, üretilen bu kuvvetler aktif kütle sönümleyicileri ve aktif destek elemanları yoluyla sağlanır.

Aktif kütle sönümleyicileri; uygulanan sistemde bina içine yerleştirilen ve hareket eden ilave kütle serbest olmayıp komut veren bir merkeze bağlıdır. Sönümleyiciler binanın üst kotuna yerleştirilir ve gerekli kontrol kuvvetleri meydana getirilir. Yüksek katlı ya da düzensiz plana sahip yapılarda kullanımı yaygındır.

Aktif destek elemanları; aktif kontrol sistemleri yapıda üç ögeyi içermektedir. Bunlar; veri elde etme sistemi olan monitör, sezgi modülü kontrolör ve kontrolörden aldığı komutları çalıştıran fiziksel bir aygıt olan devindiricidir.

Aktif Kontrol sistemlerinin en büyük avantajları; hem yapının doğrusal olmayan davranışını hem de gelen dinamik etkilerin tüm verilerini hesaba katarak ideal karşı davranış göstermeleridir. Fakat bu sistemlerin kullanılmasındaki deavantaj; çok büyük enerji gerektirmeleri, ileri seviyede teknoloji ihtiyacı ve sistemin çalışması esnasında muhtemel elektrik kesintisi riskleridir.

### **3.2 Yarı Aktif Kontrol Sistemleri (Hibrit Sistemler)**

Aktif ve pasif kontrol sistemlerinin kullanım kısıtlamalarına alternatif olarak geliştirilen sistemlerdir. Örnek olarak yarı aktif sıvı sönümleyiciler ve yarı aktif rijitlik değiştiren sistemler verilebilir.

Yarı aktif sıvı sönümleyiciler; pasif ve aktif kısım olmak üzere iki mekanizmanın bir araya gelmesinden oluşurlar ve sismik etki sırasında beraber çalışırlar. Pasif kısım; piston ve sikon sıvıdan oluşurken, aktif kısım; kontrol valfi ve ikincil sönüm mekanizmasından oluşur.

Yarı aktif rijitlik değiştiren sistemler; birbirine paralel iki komşu kat arasına yerleştirilerek sismik hareket sırasında katları rölatif hareket ettirerek enerjiyi sönümleyen sistemlerdir.

### **3.3 Pasif Kontrol Sistemleri**

Pasif Kontrol sistemlerinde enerjinin korunumu prensibi de sağlanarak, geleneksel yöntemde uygulanan elastik sınır içinde depolanan enerjiyi ( $E_s$ ) arttırmak yerine; ya enerjiyi kendi üzerlerine alarak sönümlenen enerji miktarı ( $E_d$ ) artırılır, ya da sönümlenen enerji girdilerine müdahale etmek yerine sismik titreşimlerin yol açtığı deprem enerjisi azaltılarak yapıya iletilir. Bu yaklaşımlar pasif kontrol sistemlerinin temellerini atmıştır.



Uzun zaman binaların deprem etkilerine karşı korunmasında ana amaç, meydana gelen etkileri karşılayacak biçimde taşıyıcı sistemin oluşturulması ve elemanlarının boyutlandırılması şeklinde olmuştur. Bu amaç genellikle daha rijit taşıyıcı sistemlerin çıkmasına sebep olur. Bu durumda depremde etkili olan serbest titreşim periyotları azalır ve bunun sonucu olarak da karşılanması gereken deprem kuvvetleri artar. Deprem etkisinin azaltılmasında kullanılan iki önlem burada söz konusu edilecektir. Bunlardan birisi depreme karşı taban yalıtımı sisteminin kullanılması ve diğeri pasif enerji tüketen sistemlerin kullanılmasıdır. [1]

Pasif kontrol sistemi ile titreşimleri kontrol altına alınan bir yapıda, mevcut enerji kontrol amacıyla kullanılan cihazlar tarafından arttırılmadığı için aktif kontrol sistemlerinde olduğu gibi stabilite sorununa yol açmazlar. Ayrıca aktif kontrol sistemlerinde olduğu gibi harici enerji girişine ihtiyaç duymadan, deprem nedeniyle yapıya iletilen enerjiyi harcayarak yapının güvenliğini arttıran sistemler olduğundan doğru uygulandıkları takdirde dizayn edildikleri depremde maksimum koruma sağlarlar.

Sismik izolasyon ve enerji sönümleme, hem yapısal elemanlar arasındaki yük transferini hem de rölatif deplasmanları istenilen değerlerle sınırlayan, deprem bölgelerindeki mühendislerin elindeki en etkili araçtır. [13]

Pasif kontrol sistemlerinin genel sınıflandırması aşağıdaki gibidir.

#### 1) Sismik (Taban) İzolasyonu (Base Isolation)

##### ❖ Elastomerik Mesnetli Sistemler (Rubber Bearings-RB)

- Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatör
- Kurşun Çekirdekli İzolatör
- Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatör

##### ❖ Kayıcı Mesnetli Sistemler

- Fransız Elektrik Sistemi-EDF
- Bileşik Sistem-EERC
- Elastik Sürtümlü Taban İzolasyon Sistemi
- TASS Sistemi
- Sürtümlü Sarkaç Sistemi

## 2) Pasif Enerji Sönümleyiciler (Energy Dissipation)

### ❖ Histerik sistemler

- Metal Sönümleyiciler
- Sürtülmeli Sönümleyiciler

### ❖ Hıza bağlı sönümleyiciler

- Viskoelastik sistemler
- Viskoz sönümleyiciler

### ❖ Dinamik titreşimli Sistemler

- Ayarlı Sıvı sönümleyiciler
- Ayarlı Kütle sönümleyiciler

Bu bölümde daha ayrıntılı sınıflandırılması yapılan pasif kontrol sistemlerinin genel olarak; yüksek düşey rijitlik, düşük yatay rijitlik, düşey yük taşıyabilme, enerji yutulması ve deprem sonrası yeniden merkezlenme özelliklerini taşıması istenmektedir.

### **3.3.1 Taban izolasyonu (sismik izolasyon)**

Sismik izolasyon sistemi çok kaba bir anlatımla; deprem nedeniyle oluşan sismik etkilere maruz kalan binayı ve bina içi teçhizatları korumak amacıyla geliştirilen bir pasif kontrol sistemidir.

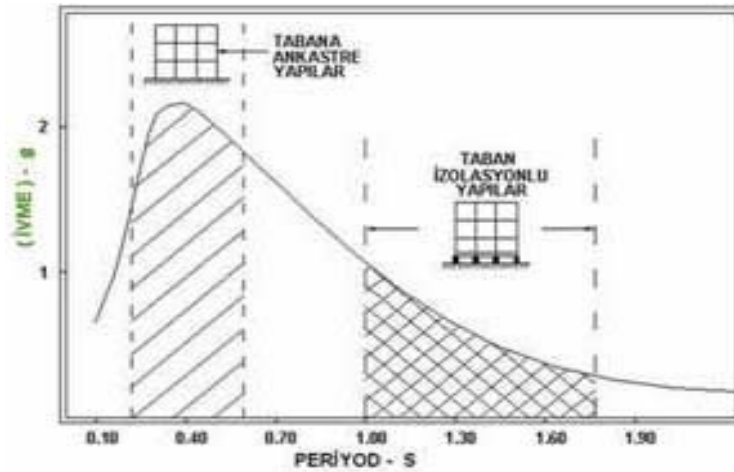
Daha genel anlamıyla taban izolasyonu; yapının tabanına düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçüde deplasmanlar yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinin yüksek frekanslı etkisinden ayırma işlemidir. [14]

Günümüzde güncel olarak tartışılan bu konunun ortaya konulması oldukça eskidir. Ancak, uygulamaya dönük teknolojinin ortaya çıkması ise yeni sayılabilir. Taban yalıtımı kavramının kullanılması oldukça basittir. Deprem sırasında, yeryüzünde bir hareket meydana gelir. Bu olay bir dalga şeklinde her doğrultuda yayılır ve hareket bir yapıya eriştiğinde temellerini sallamaya başlar. Temeller de kendisine bağlı olan taşıyıcı sistemi sallar ve sistem elemanlarının kesitlerinde atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etkiler meydana gelir. Yapının temelini taşıyıcı sistemden ayrılarak

titreşimin yapıya erişmesinin önlenmesi, depremde taban yalıtımının ana fikrini oluşturur.[1]

Sadece yapı mühendisliği alanında değil fizik kanunlarının bir gereği olarak izolasyon sistemine her alanda rastlamamız mümkündür. Üstü tamamı ile dolu bir masada masa örtüsü çok hızlı bir şekilde çekilirse, üzerindeki dengesiz, sıvı dolu bardaklar dâhil, her şeyin sabit kaldığını görürsünüz. Bu örtü, hareketi üzerindeki nesnelere iletmeyen kaygan izolasyon sistemi gibi davranır. [15]

Genel olarak sismik izolasyon uygulanan yapının çalışma prensibi şöyledir; geleneksel yaklaşımda istenen kapasitenin etki kuvvetlerinden fazla olması ilkesinin aksine sismik izolasyon yaklaşımında, deprem nedeniyle oluşan etki kuvvetleri azaltılmaya çalışılır. Depreme karşı dayanım kapasitesinin artırılması ve yapıya iletilen depremsel kuvvetlerin azaltılması amacıyla, üstyapı ile temel arasına yanıl rijitliği düşük yani oldukça esnek, düşey yönde ise oldukça rijit elemanlar konarak binanın konvansiyonel durumundakinden daha büyük bir periyoda ulaşılır ve depremin hakim periyodu ile çakışması (rezorans) önlenir. Böylece ivme spektrumunun azalan kısmına ulaşıldığından yapıya aktarılan ivmeler azalır, üst yapı daha rijit bir davranış sergiler ve üst yapıya göre daha esnek olan izolasyon sistemi sayesinde tabandaki yer değiştirmeler artar. (izolasyon sisteminin izin verdiği sınırlar içinde)



Şekil 3.1 : Ankastre veya taban izolasyonlu model davranışı.

Sismik izolasyon uygulanan sistemlerde rijit yapıların özelliği olan küçük yer değiştirme ve büyük ivme ile esnek yapıların özelliği olan küçük ivme fakat büyük yer değiştirme özellikleri bir arada olup; yapıda hem kat ivmelerinin hem de görelî kat ötelemelerinin azaldığı karma bir tasarım çalışma sistemi vardır.

Yapı için birçok avantajlar sağlayan sismik izolasyonun uygulanabilmesi için bir takım şartlar gerekmektedir. En önemlisi, yapının etrafında izolatörlerin yer değiştirme mesafesi kadar bir aralığın bırakılması ve de yapının muhtemel hareketi sırasında tesisat bağlantılarının zarar görmemesi için yeterli deplasmanın olması ya da tesisat malzemelerinin esnek olmasıdır. Bu şartlar sağlandığı takdirde gerekli projelendirilmeden sonra yapıda sismik izolasyon uygulanır.

İzolatörler yapıda farklı yerlere konabilirler. Örneğin Şekil 3.2' de görüldüğü gibi temellerin üst kotuna, bodrum kat seviyesinde, kolonların ortasına veya üstüne, 1.kat seviyesinde kolonların altına veya üstüne konabilirler. Fakat tüm bu varyasyonların avantaj ve deavantajları düşünülüp karar verilmesi ve izolatörlerin daha sonra yerleştirilmesi gerekmektedir.



**Şekil 3.2 :** Temel üst kotunda yerleştirilen izolatörler.

Taban izolatörleri temel olarak ya kauçuk sönümleyiciler ya da teflon veya çelik yüzeyler üzerinde kayan toplardan oluşmuş elemanlardır. İnce çelik levhalar arasında volkanize kauçuk elemanların kat kat yerleştirilmesi ile ortaya çıkan sismik izolatörlerin kullanımı son 20 yıl içinde yaygınlaşmıştır. [4]

Kısaca özetlemek gerekirse doğru bir tasarım ile sismik izolasyon sistemi uygulanmış yapıların geleneksel yaklaşımla inşaa edilen yapılara göre birçok avantajları vardır. Bunlar;

- Taban yalıtımı olmayan ve direkt olarak temele bağlı bir sistemde deprem titreşimleri doğrudan yapıya iletilir ve bu titreşimler yapı elemanları ile birleşim bölgelerinde önemli etkiler oluşturur. Buna karşın taban yalıtımlı bir sistemde kullanılan ara elemanlar sayesinde yatay deprem titreşimlerinin ancak bir bölümü üst yapıya geçer. Böylece üst yapıdaki etkiler azaltılmış olur.
- Zeminden yapıya iletilen yüksek frekanslı titreşimleri düşük frekanslı titreşimlere dönüştürerek yapının daha fazla yer değiştirme yapmasını sağlarlar. Sonuçta deprem enerjisi yer değiştirme hareketi ile emilmiş olur.
- İzolatörler yatay harekete rölatif olarak elastik olduklarından, deprem anında yatayda esnek davranış gösterirler ve yer değiştirmelerin izolasyon seviyesinde toplanmasını sağlarlar bu nedenle üst yapı rijit kütle hareketi yapar. Bu sayede yapı olası bir deprem karşısında daha yavaş ve kontrollü salınım gösterir.
- Periyot artışı hissedilen titreşim ivmesini azaltır. Böylece izin verilen sınırlar dâhilinde tabandaki yer değiştirmeler artar ve katlar arası rölatif deplasmanlar azalır.
- Spektrum eğrisinde bölgenin hâkim periyodu ile yapınınki uzak tutulduğundan rezoransa sebep verilmemiş olur böylece rezoransın doğurabileceği ivme yükseltgenmeleri engellenmiş olur.
- Taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan sismik iç kuvvetler önemli ölçüde azalır. Bu sayede taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının küçültülmesi imkânı doğar.
- Sismik izolasyon sayesinde yapılar; yatay deprem kuvvetlerinden daha az etkilenen çok katlı ve esnek yapılar gibi kısacası esnek davranışa yönelirler.
- Sismik İzolasyonun güçlendirme yapılırken de avantajları vardır. Güçlendirme işlemi sırasında yapıda büyük değişiklikler yapmaya ve güçlendirme sürecinde yapıda fonksiyon kayıplarına gerek kalmaz. [16]

- Özellikle tarihi binaların güçlendirilmesinde yapının mimarisini ve özgün yapısını bozmadan güçlendirme yapılmasına imkân verir.
- Üst yapı daha rijit olduğundan bina içindeki önemli teçhizatlarda oluşabilecek hasarlar önlenmiş olur ayrıca yapı cephesindeki kaplama malzemeleri de hasar görüp bina çevresine zarar vermesi önlenmiş olur.
- Büyük depremlerden sonra bile yapı ayakta kalarak hizmet vermeye devam eder. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri'nde "kritik hayat çizgisi" olarak bilinen bir güzergâh belirlenir, bu güzergahta depremden hemen sonra kullanılması gereken hastane, itfaiye hava yolları ve eyaletleri birleştiren yollardan en az biri zarar görmeyecek şekilde tasarlanır ve böylece olası bir deprem anında hayati önem taşıyan şebeke ağı kurulmuş olur.

Çok sayıdaki avantajının yanı sıra yüksek katlı yapılarda ortaya çıkan, izolatörlerin zeminden ayrılarak devrilme momentleri oluşturması gibi dezavantajların da göz önüne alınıp tasarım aşaması sırasında dikkat edilmesi gerekmektedir.

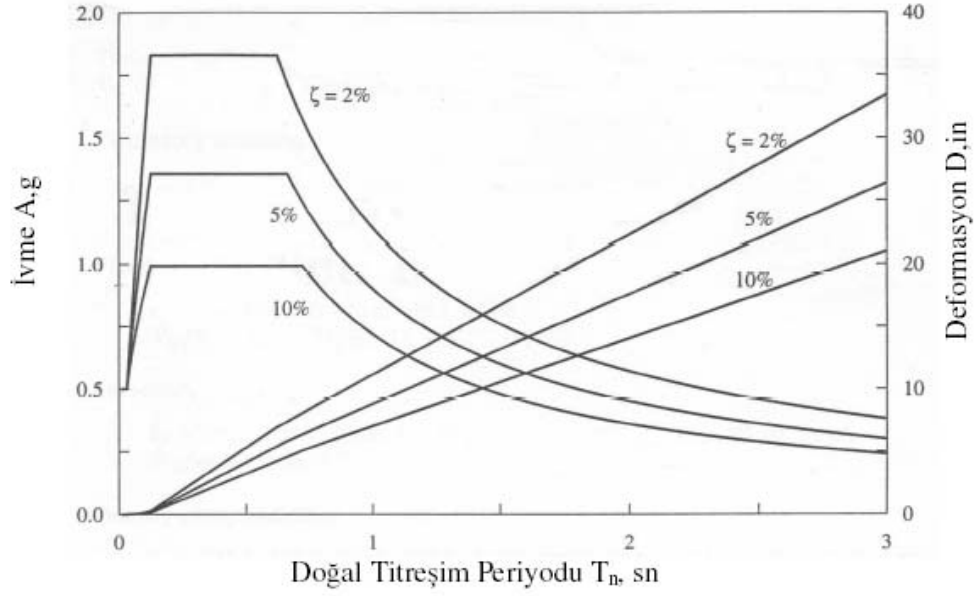
Taban izolasyonu teknolojisinin doğru uygulanmasıyla, şiddetli depremlerde bile elastik sınırlar içinde kalan, daha iyi performansa sahip yapılar tasarlanabilir.

Taban izolasyonu sistemleri, elastomerik mesnetli sistemler ve kayıcı mesnetli sistemler olmak üzere iki temel grupta incelenirler.

### **3.3.1.1 Elastomerik (kauçuk esaslı) mesnetli sistemler**

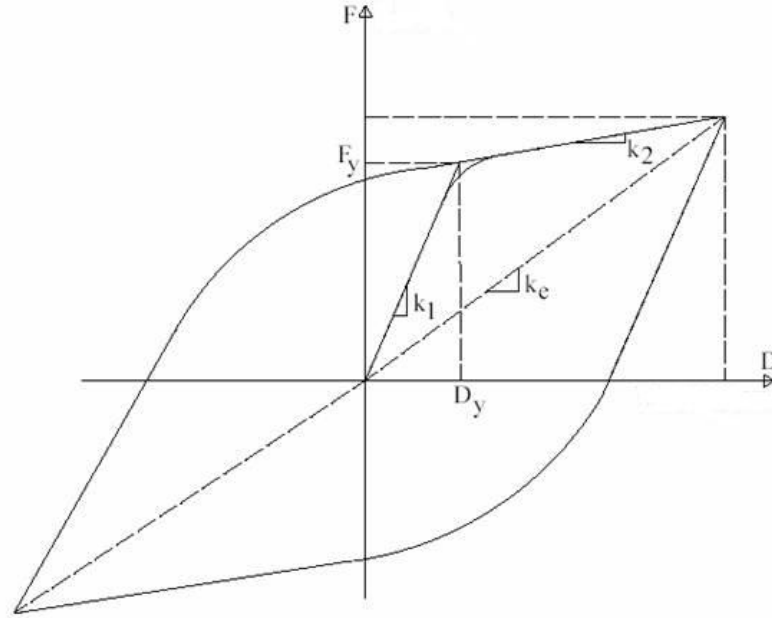
Doğal kauçuk izolatörlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar 1976 yılından beri Berkeley Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma (EERC) tarafından devam ettirilmektedir. Kauçuk izolatörler ilk kez 1969 yılında Mekodanya' nın Üsküp kentinde bir ilkokul binasında (Pestalozzi Okulu) depreme karşı sismik izolasyon amaçlı kullanılmıştır.

Elastomer esaslı sistemlerde, sismik izolasyon yapı ve temel arasında düşük kayma rijitliği bulunan bir tabaka oluşturularak sağlanır. Bu sayede yapı izolasyonsuz doğal titreşim periyodundan çok daha büyük bir doğal titreşim periyoduna ulaşır ve yapı etkili periyotlardan uzaklaşmış olur. Şekil 3.3' de görüldüğü gibi yapının doğal titreşim periyodunun uzaması (bu esnada oluşan deformasyonlar izolasyon sisteminde kalır) spektral ivmeyi azaltmakta ve olası bir depremde oluşabilecek iç kuvvetler azaltılabilmektedir.



**Şekil 3.3** : Elastik Dizayn Spektrumu.

Elastomerik mesnetler kendilerine özgü yatay kuvvet-deplasman (histersiz) eğrileri, etkin rijitlikleri ve yapısal olarak %2-3 arası viskoz sönüm (tüketilen enerji hızla orantılı) oranları ile tanımlanır.



**Şekil 3.4** : Elastomerik izolatörler için kuvvet-deplasman eğrisi.

Şekilde:

Q= Karakteristik Dayanım

$k_1$  = Birinci (Elastik) Rijitlik

$k_2$  = İkinci (Elastik Ötesi) Rijitlik

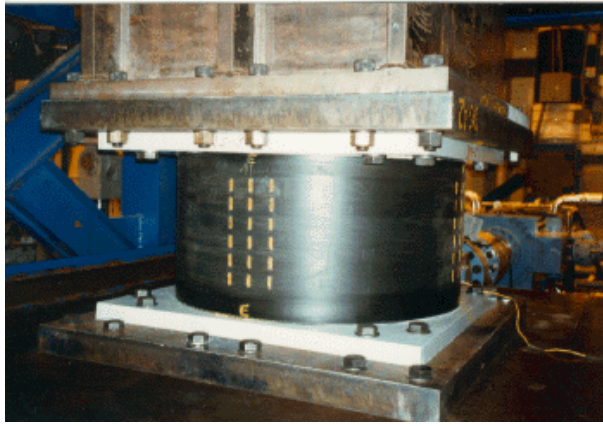
$k_e$  = D deplasmanına tekabül eden Etkin (Sekant) Rijitlik

$F$  = D deplasmanına tekabül eden kuvvet

$F_y$  = Akma kuvveti

$D_y$  = Akma deplasmanı

Elastomerik (doğal veya sentetik malzemeden yapılmış, biçimi bozulduğunda tekrar ilk haline dönebilen esnek bir kimya ürünü malzeme) izolatörlerin genel mekanik yapısı şu şekildedir; alt ve üstte iki çelik levha bulunur, bu iki levha arasında doğal kauçuk ve kauçuk malzeme içerisinde de yatayda çelik levhalar bulunur. Kauçuk esaslı izolatörlerin içine rijitlik ve sönümü arttırmak için karbon siyahı eklenir. Kullanılmaya başlanan ilk elastomerik yataklar yatay rijitliğin birkaç katı düşey rijitliğe sahip iken ilerleyen yıllarda üretilen çelik plakalarla güçlendirilmiş elastomerik izolatörlerde yatay rijitliğe nazaran yüz kat daha fazla düşey rijitlik sağlanmıştır.



**Şekil 3.5** : Kauçuk izolatör örneği.





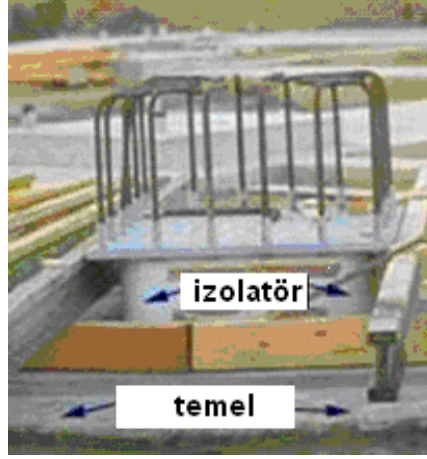
**Şekil 3.6 :** Kauçuk izolatörler.

Kauçuk izolatörler; bodrum katı olmayan binalarda hemen temel üstüne temel kütle ile bu kütle altında oluşturulan rijit platform arasına yerleştirilerek üst yapı izolatörler üzerine inşa edilir. Bodrum katı olan yapılarda ise bodrum kat ile zemin kat arasında bir izolasyon katı oluşturularak bodrum kat kolon ve perdelerinin alt, orta ve üst kesitlerine yerleştirilebilir. Özel ayırma detaylarına ve izolatörlerin bağımsız olduklarından yangın önlemi alınmasına gerek kalmaması nedeniyle daha çok bodrum katta yerleştirilmesi tercih edilir. Eğer izolatörler temelde değil kolonlarda yerleştirilirse mutlaka yangın önlemi alınması gerekmektedir.



**Şekil 3.7 :** Özel ayırma detayları uygulanmış izolatör.

Şekil 3.8’ de yapı inşaat halinde iken elastomerik izolatörlerin konulduğu bir uygulama örneği görülmektedir. İzolatörler yerleştirildikten sonra üst yapı kolonları izolatörün üzerine monte edilecektir. Bu durum uygulama kolaylığı sağlar.



**Şekil 3.8** : Temel üstüne izolator yerleşimi.

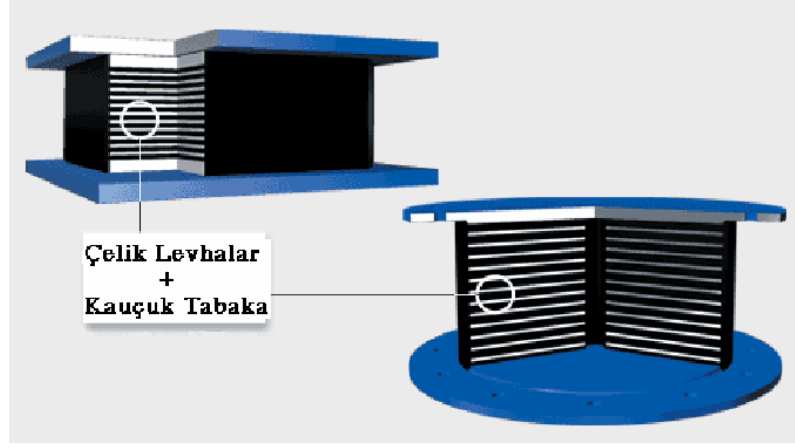
Kauçuk izolatorlu sistemlerde, herhangi bir nedenden dolayı izolatorların düşey yüklere göre taşıyıcı görevlerinin yapmamaları durumu söz konusu olursa, sistemde düşeyde taşıyıcı görev üstlenecek alternatif mekanizmalara ihtiyaç duyulur. Bu sistemlere “back-up system” adı verilmektedir. Bu tip mesnetlerin tasarımında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise burkulma etkileridir. Bu nedenle dar ve yüksek yapılarda kullanım alanı azdır. Elastomerik mesnetli sistemler üç grup altında incelenmektedirler.

#### **Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatorlar:**

##### **(Low Damping Natural Rubber Bearings-LDNRB)**

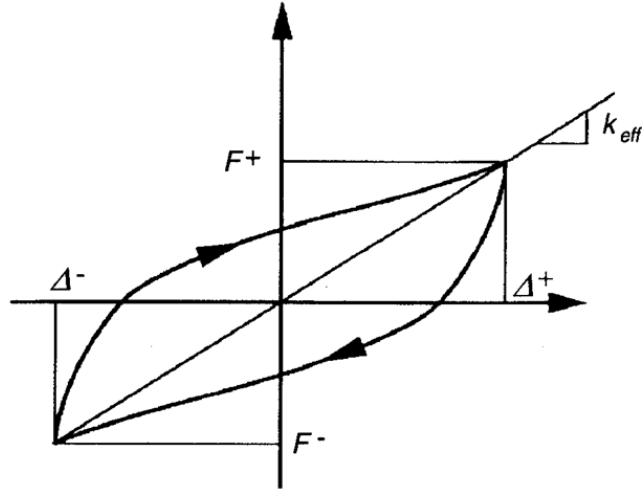
Yapısal kontrol sistemlerinde taban izolasyonunda kullanılan bilinen en eski elastomerik mesnetli sistemdir.

Şekil 3.9’da kesiti görülen kauçuk izolatorların mekanik yapısı ve çalışma sistemi şu şekildedir; izolatorun altında ve üstünde iki kalın destek tabakası bulunur (çelik levha) bu iki tabaka arasında da birçok ince çelik levhalar vardır. Kauçuk bir seferde belli bir basınç ve sıcaklık altında alt ve üst uçta bulunan çelik levhalara tutturulmuştur. Üst üste yatay tabakalar halinde bulunan ince çelik levhalar, düşeyde yüksek rijitlik sağlar; yatay rijitliğe katkıda bulunmaz sadece kauçuk tabakanın şişmesini ve kabarmasını önler. Yatay rijitliği ise kauçuk tabakaların kalınlığı ve sayısı belirler. Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatorlar doğal kauçuk veya neoprene (yüksek modüler yapıya sahip sentetik kauçuk benzeri bir ürün) malzemeden yapılmaktadırlar.

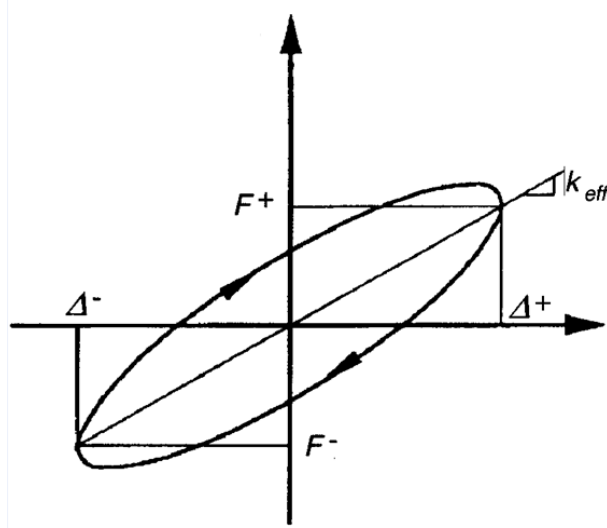


Şekil 3.9 : Düşük sönümlü kauçuk izolatör kesiti.

İzolatörün mekanik davranışı ısı, zaman ve hızdan bağımsız olması yönünde olup hem viskoelastik hem de histerik davranış gösterir. Malzeme davranışları %100 civarındaki kayma şekil değiştirmelerinde doğrusal olup, sönüm oranı kritik sönümün %2-3 ü oranındadır. Sünme oranı düşük olup uzun süreli yük altında malzemenin eski halini alma davranışı oldukça yüksektir.



Şekil 3.10 : Histerik davranış.



**Şekil 3.11** : Viskoelastik davranış.



**Şekil 3.12** : Düşük sönümlü kauçuk izolatör örneği.

Şekil 3.12’ de kurulumu tamamlanmış bir düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör örneği görülmektedir.

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerde diğer elastomerik mesnetli sistemlerde kullanılan malzemelere göre kauçuk daha yüksek dayanıma sahiptir, yatay birim şekil değiştirmesi ve kayma deformasyonu yüksektir ve bu değer %50'lere kadar arttırılabilir. Düşük kayma rijitliğinden dolayı %100-250 oranındaki kayma şekil değiştirmesine kadar doğrusal davranışa devam eder, bu davranışından dolayı ısı, nem ve yüklemekten bağımsız olur böylece korozyon gibi dış etkilerden korunur. Kolay üretilip basit modellenebildiklerinden kullanım kapasitesi fazladır ve çevre şartlarından az etkilenirler. Tek dezavantajı ise; ek destek sönümleyici elemanlara ihtiyaç duymalarıdır.

### **Kurşun çekirdekli izolatörler:**

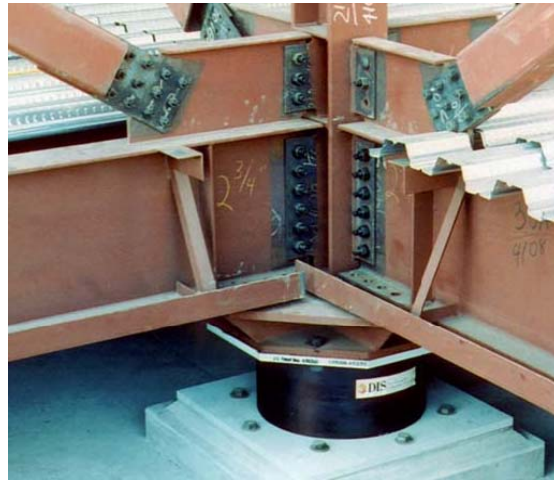
#### **(Lead Plug Rubber Bearings-LRB)**

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ilk olarak 1970' lerde Yeni Zelanda'da üretilmiş olmakla beraber yaygın olarak Yeni Zelanda, Japonya ve Amerika'da kullanılmaktadırlar.

Kurşun çekirdekli izolatörlerin model yapısı Şekil 3.13'de görüldüğü gibi düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörlere benzemekle beraber, farkı izolatörün orta boşluğunda bulunan kurşun çekirdektir.



**Şekil 3.13 :** Kurşun çekirdekli izolatör kesiti.



**Şekil 3.14 :** Kurşun çekirdekli izolatör uygulaması.

İzolatörün mekanik yapısı ve çalışma sistemi şu şekildedir. Altta kalın destek tabakası bulunur ve bu tabaka izolatörü yapıya bağlar. Üst kısımda çelik destek tabakaları ile tabakalar arasında iç kauçuk tabakalar ve orta boşlukta da elastomer tabakaya bağlı kurşun çekirdek vardır. İzolatörün dış kısmında ise izolatörü kaplayan ve koruyan kaplama kauçuğu bulunur.

İzolatörün iç kısmında bulunan çelik destek plakaları, düşey yük kapasitesini sınırlar; bu plakaların arasında bulunan iç kauçuk tabakalar ise yatay esneklik sağlarlar. Orta boşlukta bulunan kurşun çekirdek ise; kauçuğun yüksek kayma deformasyonlarını (düşük kayma rijitliğinin sebep olduğu) sınırlar, enerjiyi dağıtarak dinamik sönümü yüksek tutar, deprem etkilerini ve izolatörün yatay yer değiştirmesini azaltır. Genel olarak düşük sönümlü doğal kauçuk izolasyonu, kurşun çekirdek ise sönümlemeyi sağlar.

Lastiğin düşük kayma rijitliğinden dolayı doğrusal davranış büyük şekil değiştirmelerle de devam eder. Buna karşılık orta kısımdaki kurşun 10MPa gibi düşük bir gerilmeye akma durumuna gelir ve plastik olarak şekil değiştirme başlar. Sistemin enerji tüketme mekanizması, lastiğin sönümü ve esas olarak levhaların ortasındaki kurşunun sönümü ile oluşur. Kurşunda plastik davranış etkili olduğu için, çevrimsel davranış sonucu sönüm ortaya çıkar. Yer değiştirmeye bağlı olan, eş değer sönüm %15-%35 arasında bulunur. [1]

Kurşun çekirdekli izolatörlerin avantajları arasında yatak kapasitesinin geniş olması, kurşun çekirdek ve elastomerik yatakların istenildiği gibi tasarlanabilmesi sayılabilir. Kayma gerilmesi nedeniyle 10Mpa gibi düşük gerilmeler altında akabilmesi, tekrarlı yüklerde metal yorgunluğuna dirençli olabilmesi diğer avantajlarıdır. Dejavantajı ise; güçlü depremler esnasında kurşun çekirdeğin zarar görmesi ihtimali olmasına karşın bazı şiddetli depremlerde iyi performans göstermiş olması bu olasılığı zayıflatmaktadır. Ayrıca izolatörün montajı sırasında kurşun çekirdeğin mesnet ortasında bırakılan delikten bir miktar büyük yapılarak deliğe zorlanarak yerleştirilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

### **Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler:**

#### **(High Damping Natural Rubber Bearings-HDNR yada HDRB)**

Yüksek sönümlü doğal kauçuk sistemler; kauçuk teknolojisindeki ilerlemeler ve düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin ek sönümleyici elemanlara ihtiyaç duyması nedeniyle, destek sistemi olmadan çalışabilmesi amacıyla ilk kez 1982 yılında Malezya Kauçuk Üreticileri Birliği (MRPRA) tarafından yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler geliştirilmiştir. Elastomerik mesnetli sistemler genel olarak yapının periyodunu uzatırken hâkim frekans deprem hâkim frekansından daha düşük bir değere çekilmiş olur. Ancak yakın dönemde yapılan deneysel çalışmalarda

izolasyon sisteminin düşük rijitliği düşük frekanslı yer hareketlerinde yapının beklenenin üzerinde yer değiştirme yapmasına sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle Şekil 3.15’de kesiti görülen yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatorlerin lineer olmayan kısımlarda enerji yutma kapasitesini arttırmak amacıyla kullanılabilereği sonucuna varılması sebebiyle daha çok tercih edilmesine neden olmuştur.



**Şekil 3.15 :** Yüksek sönümlü kauçuk izolator rneği.

Diğer elastomer mesnetler %2 civarında sönüme sahipken, yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin sönüm oranı ilave edilen karbon blokları ve özel malzemelerle (yağ ve reçine gibi) arttırılmıştır. %100 kayma Şekil değiştirmesi durumunda sönüm % 8~15 civarına kadar yükselmiştir.

İzolator, düşük rijitlikte düşük seviyelerde 0.34 Mpa kayma modülü, yüksek rijitlikte yüksek seviyelerde 1.40 Mpa kayma modülüne sahip olmaktadır. Yüksek Şekil değiştirmelerdeki bu rijitlik ve sönüm, düşük seviyeli deprem etkilerinde rijit, tasarım seviyesindeki deprem etkilerinde doğrusal ve esnek davranış gösterir. %20’nin altındaki düşük kayma Şekil değiştirmelerinde ise nonlinear davranır. Yatay yönde büyük deplasman yapmaları ilerinde oluşan kayma gerilmelerinin yüksek miktarda enerji sönümlemesine sebep olmaktadır. elik ve kauçuk plaka sayısı izolatorn performansına etki eden parametrelerdir.

Deney sonuçları göstermiştir ki bu elemanların davranışı lineer viskoz ve elasto-plastik elemanların davranışının bir kombinasyonudur. [4]

Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin yüksek sönüme sahip olmasının yanında bir diğer avantajı çevredeki titreşimlerin azaltılmasına yardımcı olmasıdır. Örneğin; yüksek frekanslı, trafik veya yeraltı demir yollarında, metrolarda titreşimleri filtre ettiğinden titreşim problemlerini ortadan kaldırır. Buna karşın bilinen en ciddi deavantajı ise, sistemi rüzgâr yüklerinin yol açabileceği yapısal risklerden koruyacak yeterli başlangıç rijitliğinin olmamasıdır. Ayrıca bu tür sistemlerin özelliklerinin sıcaklığa bağlı olması ve montaj işçiliğinin pahalı olması yaygın olarak kullanılmasını engellemiştir.

### **3.3.1.2 Kayıcı mesnetli sistemler**

Taban izolasyonunda bir diğer sistem olan kayıcı sistemlerin kullanılması yaklaşımı Çin ve Hindistan’ da meydana gelen şiddetli depremlerden sonra ankastre yapıların yıkılmasına karşın aynı kat ve boyutlardaki yığma binaların göçmeden temelleri üzerinde kaymasının gözlemlenmesi ile ortaya çıkmıştır.

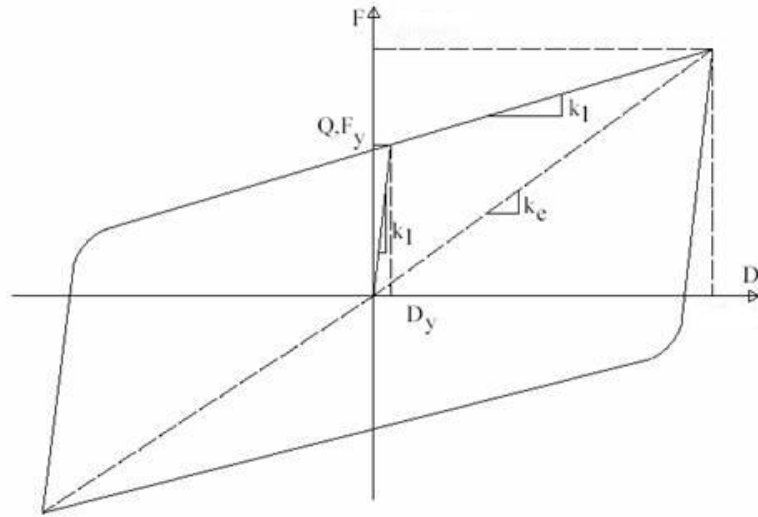
Kayıcı mesnetli sistemlerde temel mantık, kayıcı izolasyon tabakası yaratarak temel ve üst yapı arasında oluşan yatay hareketin serbest bırakılmasıdır. Bu sistemlerde sürtünme katsayısı mümkün olduğunca azaltılarak yatay kuvvetler izolasyon yüzeyi boyunca aktarılması sınırlandırılmış olur.

Kayıcı mesnetli izolatörlerin çalışma prensibine göre, sismik hareket sonucu yapıya iletilen enerji sürtünme sebebiyle, kayma kuvvetleri belirli bir değere çıkana kadar iletilir. Deprem kuvvetleri kayıcı izolatörlerin oluşturduğu direnç kuvvetini aştığı belli bir değerden sonra kayıcı izolatörler devreye girerek ötelenme hareketiyle sönümleme başlar.

Kayma tipi izolatörlerin tasarımında kayma yüzeylerinde farklı malzemeler kullanarak veya farklı yüzeysel geometriler yaratılarak (konikal,eğrisel,düz) sürtünme özelliği ve sarkaç davranışı sayesinde farklı tipler geliştirilmiştir. Kullanılan bu malzemeler ise PTFE ya da teflon olabilir. Teflon yüzeyler elastomere göre daha fazla normal gerilme taşıyabilirler. Örneğin, teflon için tipik değer 50MPa iken, elastomer için 15MPa olabilir. [1]



Sistemin sürtünme karakteristikleri sıcaklığa, hıza ve yüzey temizliğine bağlıdır. İzolatör rijitliğini içbükey kayma yüzeylerindeki eğrilik yarıçapı, sönüm ile sürtünme sayesinde enerjiyi yutar. Kendilerine özgü yatay kuvvet-deplasman (histeresiz) eğrileri, etkin rijitlikleri ve etkin viskoz sönüm oranları ile tanımlanır. Bu tip izolatörlerin idealleştirilmiş histeresiz eğrisi aşağıdaki gibidir.



**şekil 3.16** : Kayıcı izolatörler için kuvvet-deplasman eğrisi.

Bu şekilde;

Q= Karakteristik Dayanım

$k_1$  = Birinci Rijitlik

$k_2$  = İkinci Rijitlik

$k_e$  = D deplasmanına tekabül eden Etkin (Sekant) Rijitlik

F = D deplasmanına tekabül eden kuvvet

$D_y$  = Akma deplasmanı

Bu sistemlerin geri getirici kuvvet mekanizmaları ile desteklenmeleri gerekir. Aksi takdirde kalıcı deplasmanlar kabul edilemez seviyelere ulaşabilir.[4]

Geri dönüşü sağlamak için elastomer mesnetler, büyük kuvvetleri aktarabilen yaylar ya da sürtünme sarkacı kullanılabilir.



**Şekil 3.17 :** Kayıcı izolatör örneği.

Bu düşünceyle yapılan binaların en büyüğü Pekin’ de “Earthquake Strong Motion Observatory” için inşa edilen yurt binasıdır. Bu binanın zemin katında duvarlar ile temel arasına yerleştirilmiş özel bir kum tabakasıyla kayma yüzeyi oluşturulmuştur. [5]

#### **Fransız elektrik sistemi:**

##### **(EDF)**

Fransız Elektrik Sistemi; elastomerik ve kayıcı sistemlerin beraber çalışması şeklinde olan, tabakalar halinde yerleştirilmiş neopren mesnetlerle, paslanmaz çelikle temas eden kurşun-bronz alaşımını birleştirir. Sürtünme yüzeyindeki neopren tabakalar elastomerik mesnetlerin üstüne yerleştirilmiştir. Sistem temel olarak depremsel açıdan riskli bir bölgede inşa edilmek zorunda kalınan nükleer santrallerde uygulanmak üzere 1970’ lı yıllarda Fransa’da geliştirilmiştir. Fransız Elektrik Sistemi, Güney Afrika’da sadece bir nükleer santralde uygulanmıştır.

Dezavantajları; neopren tabakaların yer değiştirme kapasiteleri çok düşüktür, sistemde mesnedin merkezlenmesini sağlayacak bir mekanizma yoktur ayrıca bu sistemdeki elemanlar sonradan değiştirilemezler.

#### **Bileşik sistem:**

##### **(EERC)**

Elastomerik ve kayıcı sistemlerin bir diğer kombinasyonu olan bu yöntem EERC (Eartquake Engineering Research Center-California Üniversitesi) tarafından geliştirilmiştir.

Sistemin mekanik çalışması şu şekildedir; yapıda bulunan iç kolonlar kayıcı mesnetlerle taşınırken dış kolonlar ise elastomerik mesnetlerle (düşük sönümlü doğal kauçuk) taşınırlar. Sistemde kayıcı mesnetler enerjiiyi sürtünme yoluyla sönümlendirirken, yüksek dayanıma sahip elastomerik izolatörler yeniden merkezlenmeyi sağlayarak burulmayı kontrol ederler.

#### **Elastik sürtünmeli taban izolasyon sistemi:**

##### **( Resilient friction base system - R-FBI)**

Yukarıda kısaca değinilen kayıcı mesnetli sistemler denge durumuna geri döndürecek kuvvete sahip olmadıklarından esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi geliştirilmiştir.

Elastik sürtünmeli izolatörlerde; altta destek plakası ve üstte üst yapı plakası bulunur. Bu iki tabakanın ortasında ise birçok kayan ara yüzey ve bu yüzeylerin arasında da yüksek sürtünme katsayısına sahip teflon kaplı tabakalar bulunmaktadır. Bu elemanlara ek olarak izolatörün orta bölgesinde çelik çubuk ve bu çubuk etrafında da merkezi kauçuk çekirdek bulunur. İzolatörün orta kısmında bulunan ara yüzeyler, teflon tabakaların yüksek hızlarda sürtünmesi ile oluşabilecek sürtünme problemlerini ortadan kaldırır. Merkezi kauçuk çekirdek ise geri dönüş kuvveti sağlamaktadır. Fakat yapılan bilimsel çalışmalar kauçuk çekirdeğin yer değiştirmelerin tek bir düzlemde toplanmasını engelleyememesi nedeniyle orta kısma yerleştirilen çelik çubuk deplasmanları izolatör boyunca kayan yüzeylere homojen bir şekilde dağıtma görevini yerine getirmektedir.

#### **TASS sistemi:**

Japon TAISEI firması tarafından geliştirilen sistem, teflon-çelikten paslanmaz elemanlardan ve neopren (tabakalı suni kauçuk) izolatörlerden oluşmuştur.

Sistemin mekanik yapısı ise şöyledir; teflon- çelikten paslanmaz elemanlar düşey yükleri taşırlar; neopren mesnetler ise, yeniden merkezlenmeyi sağlayıp dengeleyici rol oynarlar. Sistemin dezavantajı ise; elastomerik mesnetler düşey yük taşımadıklarından yatay yükler etkisinde gerilmeye maruz kalırlar ve modelin kurulması zordur.

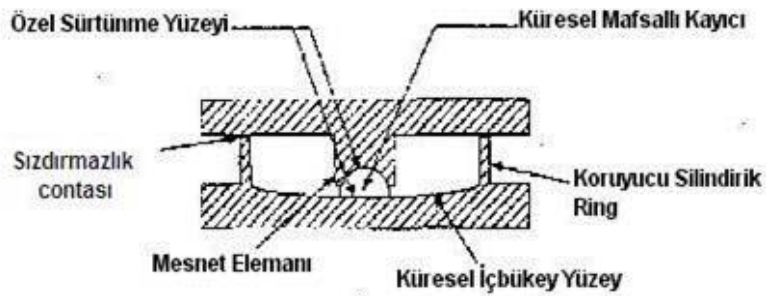
#### **Sürtünmeli sarkaç sistemi:**

##### **( Friction pendulum systems -FPS)**

Kayıcı mesnetli izolatörlerin en son geliştirilen modelidir. Genel olarak yukarıda bahsedilen kayıcı mesnetlerin geri getirici kuvvet mekanizmaları ile desteklenmeleri ihtiyacı nedeniyle geri döndürme kabiliyetine sahip olan sürtülmeli sarkaç sistemi geliştirilmiştir.

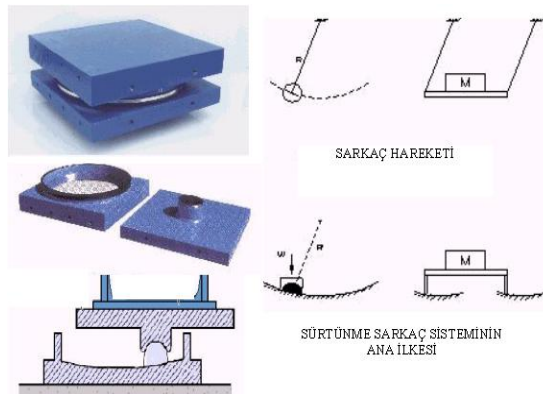
Geri döndürme kabiliyeti olmadığı durumda kayıcı mesnet üzerindeki bir yapı, depremin ardından muhtemelen başka bir konumda hareketini tamamlar oysa sürtülmeli sarkaç sistemi küresel bir yüzeye sahip olduğundan ilk konumdan ayrılma durumu söz konusu olduğunda sistemde yatay hareket yanında düşey hareket de olduğundan geri döndürme hareketini de gerçekleştirir.

İzolatörün mekanik yapısı kayıcı mafsallı ve eğrisel paslanmaz çelik yüzeyden oluşur. Kayıcı mafsallının bir kenarı kompozit malzeme ile kaplıdır diğer kenarı ise paslanmaz çelik üzerine yine kompozit malzeme ile kaplıdır ve küresel oyuk içine oturmaktadır.



**Şekil 3.18 :** Sürtülmeli sarkaç sistemi kesiti.

Sistem sarkaç hareketinden esinlenilerek yapıya gelen depremsel enerjinin kayıcı mafsallı ile küresel yüzey arasındaki sürtünme hareketi ile kısmen ya da tamamen kaybolması şeklinde gerçekleşir. Sismik enerji yapıya iletildiği zaman izolatör sarkaç hareketi yaparak küçük genlikler gerçekleştirir.



**Şekil 3.19 :** Sürtünme sarkaç sisteminin ana ilkesi.

Sürtünmeli sarkaç sistemlerinde periyot üstyapı kütesinden bağımsız olarak kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı tarafından belirlenmektedir. Oluşan yatay kuvvet üzerine etkiyen düşey kuvvetle orantılı olduğundan üstyapı kütle merkezi ile izolatör sisteminin rijitlik merkezi aynı düşey eksen üzerinde yer aldığından dış merkezlilik etkisi en aza inmektedir.

Depremde sitemde oluşan taban kesme kuvveti, mesnette oluşan sürtünme kuvveti ile sınırlı kalır. Bu kuvvet yalıtım yüzeyinin eğrilik yarıçapına ve mesnetteki normal kuvvete bağlıdır. Eğrilik yarıçapı yalıtım sisteminin esas parametresini teşkil eder. Enerji tüketimi aradaki küresel yüzey üzerinde oluşan sürtünme kuvveti ile meydana gelir. [1]

Ülkemizde Tarabya Oteli'nde uygulanan güçlendirme projesinde zemin katta bulunan mevcut betonarme taşıyıcı kolonlar tekrar betonarme ile takviye edilmiş ve bu kolonlar orta kısımlarında bir boşluk yaratılarak bu boşluklara sürtünme esaslı sarkaç tipi izolatörler yerleştirilmiştir. Bunun dışında Bolu Tüneli ve Atatürk Havalimanı'nda da sürtünme esaslı sarkaç tipi izolatörler kullanılmıştır.



**Şekil 3.20** : Atatürk Havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç sistemi.

Dünyada ise çok çeşitli yapılarda sürtünmeli sarkaç sistemleri kullanılmakla beraber şimdiye kadar üretilen, aşağıdaki resimde detayı görülen, en büyük boyutlarda sürtünmeli sarkaç modeli mesnetleri Kaliforniya'da Carquinez Boğazı üzerine inşaa edilen Benicia-Martinez Köprüsü'nde kullanılmıştır. "Kaliforniya Yaşam yolu" olarak sınıflandırılan 680 nolu şehirlerarası otoban üzerine kurulması bu köprü'nün büyük bir depremden sonra bile trafiğe açık kalması anlamına gelmektedir.



**Şekil 3.21** : Benicia-Martinez Köprüsü sürtünmeli sarkaç tipi izolatör.

Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin en büyük avantajı ise; elastomerik sistemlerde kullanılan kauçuğun yangına karşı korunması gerekliliğine rağmen sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde elamanların çelik olması nedeniyle böyle bir önleme gerek olmamasıdır. Kompakt yapısal özelliklerden dolayı montajı kolaydır. Yapıdaki ısıl genleşmelere imkân tanır. Boyutları diğer alternatiflere göre daha küçük olduğundan daha az bir hacim kaplar ve yapıdaki mimari disiplinleri etkilemez.

Dejavantajları ise; bu tür mesnetlerde sürtünme hareketinden önce ve sonra rijitliğin ani olarak değişmesi üst yapının yüksek modlarının tahrik edilmesine ve ani harekete sebep olabilir. Bu nedenle titreşime karşı korumanın önemli olduğu taşıyıcı sistemlerde uygun olmayabilir. Diğer bir sakıncada sürtünme katsayısının zamanla ve sıcaklıkla değişmesidir. Bu ise, düşük taban kesme kuvvetine göre boyutlandırılmış sistemlerde bazen taban kesme kuvvetinin büyümesi ile sürtünme katsayısının küçülmesi sonucu, hasar oluşmasına sebep olabilir. [1]

### **3.3.2 Pasif enerji sönümleyiciler**

Pasif enerji sönümleyiciler, dinamik kuvvetlerin (rüzgar ve deprem gibi) yapıya ilettiği enerji nedeniyle oluşan kesit zorlarını ve yer değiştirmeleri belirli sınırlar içerisinde tutabilmek amacıyla geliştirilen izolasyon sistemi elemanlarıdır.

Sönümleyicilerin taban yalıtımı çalışma prensibinden farkı, aygıtlar ve sönümlenmenin bina yüksekliği boyunca dağıtılması ve taban yalıtımında olduğu gibi periyodun arttırılması yerine yapının tepkisinin enerji dağıtılması yoluyla azaltılmasıdır. Pasif enerji sönümlemede yapının periyoduna katkısı yoktur hatta çoğu zaman periyodu arttırmak yerine az da olsa azalttığı gözlemlenmiştir. Başka bir deyişle taban yalıtım sisteminde deprem hareketi yapıya iletilmeden önce deprem enerjisi filtre edilirken pasif enerji sönümleme sistemlerinde enerji yapı içinde kurulan mekanik sistem tarafından yutulur ve dağıtılır.

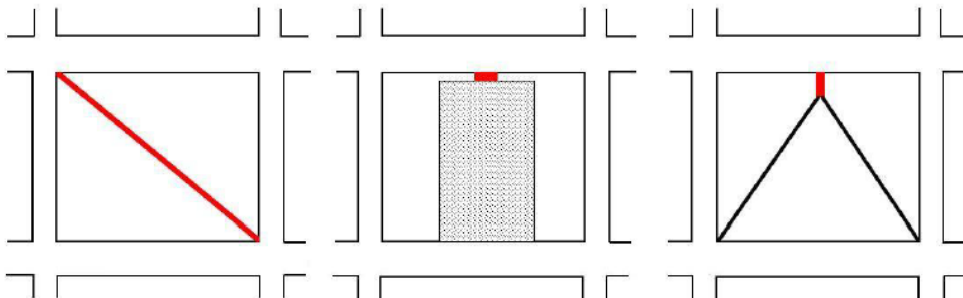
Bu aletler sismik enerjiyi sönümleyip titreşim modlarına transfer ederler. Bir etki durumunda harekete karşı koyan ve durgun haline dönmeye çalışan yapısal sistem özelliği olan sönüm, ya histerik sönüm (yer değiştirmeye bağlı sönüm) ya da viskoz sönüm (hıza bağlı sönüm) şeklinde gerçekleşmektedir.

Pasif enerji sönümleyicili sistemler sönüm, rijitlik ve dayanımı arttırıcı özellikteki malzemelerden oluştuğundan, bunlar hem yeni yapılacak yapılarda hem de yaşlı ilerlemiş yapıların veya hasarlı yapıların rehabilitasyonu için de kullanılabilirler.[4]

Genellikle bunlar yapıda katlar arasında bir köşegen elemanın parçası olarak veya temelde temel sönümleyicisi olarak ortaya çıkar. Katların birbirine göre farklı yer değiştirmesinden veya yapı temelini farklı yer değiştirmesinden sönümleyicide ortaya çıkan kuvvet ile deprem enerjisinin tüketilmesi söz konusu olur. En çok söz konusu olanlar çevrimsel veya yer değiştirmeye bağlı sönümleyiciler ile hıza bağlı sönümleyicilerdir. [1]

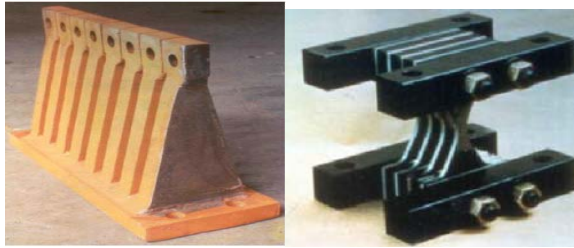
### **Histerik sistemler:**

Histerik sönümleyiciler Şekil 3.22’ de görüldüğü gibi çapraz kuşaklı, kesme etkili ve çelik konsol olarak farklı şekillerde yerleştirilebilirler.



**Şekil 3.22 :** Histerik sönümleyicilerin yerleşim şemaları.

Metal sönümleyiciler ise; yumuşak çelikten imal edilen ve yüksek düktiliteye sahip sönümleyiciler metallerin elastik olmayan davranışından yararlanılarak tasarlanırlar. Başka bir ifade ile metallerin inelastik (elastik olamayan) sınırları içindeki deformasyonu aşamasındaki histerik davranışlarından yararlanılarak enerji sönümlenmesi sağlanır. Enerjinin dağıtılmasını sağlayan çevrimsel inelastik deformasyon histeretik bir döngü biçimindedir ve elasto-plastik davranış gösterirler. Metal sönümleyiciler aşağıda görüldüğü gibi geometrik olarak dikdörtgen, üçgen ya da X şeklindedir. Genel olarak çelik malzemeden üretilirler ayrıca eğilmeye, kesmeye veya uzamaya çalışacak şekilde tasarlanabilirler. Gerilmenin malzeme içinde homojen dağılmasına çalışılır.



**Şekil 3.23 :** Üçgen veya X biçimli metal sönümleyiciler.

Bir diğer histerik sistem olan sürtünmeli sönümleyiciler; sürtünme prensibi kullanılan sönümleyicilerdir. Enerjinin dağıtılması, birbiri ile esnek olarak temas halindeki iki malzemenin hareket etmesi ile sürtünmenin aşılması sonucu sağlanır.

İzolatörlerde kullanılan malzeme cinsi ise çelik üstüne çelik veya pirinç ya da paslanmaz çelik üzerine bronz şeklindedir. Burada kullanılan malzemenin cinsi korozyonla bağlantılı olduğundan izolatörün kullanım ömrünü belirler. Rijit plastik davranış gösterirler.

Bu sönümleyiciler rüzgâr yükleri altında ve orta şiddetli depremlerde kaymayacak şekilde dizayn edilmiştir. Şiddetli deprem yükleri altında birincil yapı elemanlarında akma olmadan, daha önceden tanımlanan optimum bir yükte sönümleyici kaymaya başlamaktadır. [4]

Yapıda genellikle Şekil 3.24’de görüldüğü gibi diyagonal kuşaklar şeklinde yerleştirilirler. Örnek olarak Pall cihazı verilebilir. Aşağıdaki resimlerde de görüldüğü gibi yapı çerçevesine X şeklinde yerleştirilirler.





Şekil 3.24 : Sürtünmeli sönümleyici yerleşimi.

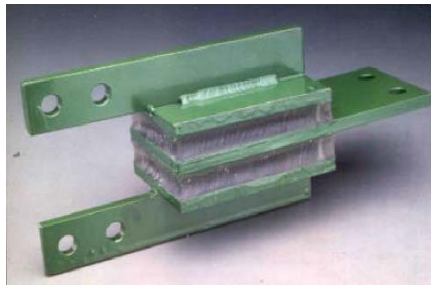


Şekil 3.25 : Sürtünmeli sönümleyici X tipi yerleşimi.

#### **Hıza bağlı sönümleyiciler:**

Hıza bağlı sönümleyiciler iki şekilde incelenebilirler. Bunlar visko-elastik sistemler ve viskoz sönümleyicilerdir.

Visko-elastik sistemler; enerji aygıtta kullanılan malzemenin viskozitesi sayesinde sağlanır. Sönümleyicilerde kullanılan malzemeler katıdır; örneğin karbon polimerleri sıklıkla kullanılır. Bu işlem visko-elastik katı madde davranışına başka bir deyişle deformasyonların zamana göre değişim oranına yani hıza bağlı bir sönümleme çeşididir.



Şekil 3.26 : Viskoelastik sönümleyici örneği.

İki dış plaka ve aralarında bir merkezi plaka bulunmaktadır. Bu plakalar arasında viskoelastik malzeme bulunmaktadır. Viskoelastik tabakalar arası kayma deformasyonu ile sismik enerji sönümlenir. En bilinen uygulama ise Dünya Ticaret Merkezi ikiz kuleleridir, yaklaşık 10.000 adet sönümleyici kullanılmıştır. Ayrıca Columbia Sea First, Taiwan'ın Taipei şehrinde Chien-Tan demiryolu istasyonu çatısında ve Two Union Square' de de rüzgar etkilerini azaltmak için visko-elastik sönümleyiciler kullanılmıştır.

Viskoz sönümleyiciler; Constantinou tarafından 1992 de geliştirilen bir sistemdir. Yapıya ilave edilen viskoz sönümleyiciler %30 civarında bir kritik sönümleme sağlayabilirler. Monte edildiği yapıda kat ivmeleri ve katlar arası ötelenme %50 civarında azalır.

Sönümlemede kullanılan sıvı yüksek viskoziteye sahip, yanmaz, zehirsiz, stabil ve uzun ömürlü silikon yağı kullanılmaktadır. Uygulama farklılıklarına bağlı olarak çeşitli tipleri olsa da genel olarak mekanik yapısı içi özel sıvı ile doldurulmuş bir silindir ve ona monte edilmiş bir pistondan oluşur. Piston kafanın bir tarafından öbür tarafa geçerken sıvı akışı sayesinde sönümleme sağlanmış olur.

Viskoz sönümleyiciler, pistonda bulunan viskoz akışkanın bir dar ağızdan geçmeye zorlanması esasına dayanır. Böylece hıza bağlı sönüm kuvveti oluştururlar.



**Şekil 3.27 :** Viskoz sönümleyici örneği.

#### **Dinamik titreşimli sistemler:**

Ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD); sıvının viskoz hareketinden ve sıvıdaki dalga kırılmalarından yararlanılarak enerji sönümleyen sistemlerdir. Sönümleyicilerin mekanik yapısı ise sığ su tabakalarını muhafaza eden tank veya tanklardan oluşur.

Ayarlı sıvı sönümleyiciler uygulanan “Nagasaki Airport Tower” binası Şekil 3.28’ de gösterilmiştir.



**Şekil 3.28 :** “Nagasaki Airport Tower” Binası’nda kullanılan TLD tankları.

Ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD Turned Mass Damper); birbirine paralel yay ve viskoz sönümleyici yardımıyla yapıya bağlanan kütle anlamına gelmektedir. Yapının en üst katına eklenen ikinci bir kütedir. Bu kütle toplam yapı ağırlığının %1’ i kadardır.

Esas olarak sönümleyicinin çalışma sistemi şu şekildedir; yapı belli bir titreşim moduna ayarlanır ve o moddaki titreşim enerjisinin bir kısmı sönümleyici sayesinde azaltılıp yapıya daha düşük enerji iletilmiş olur.

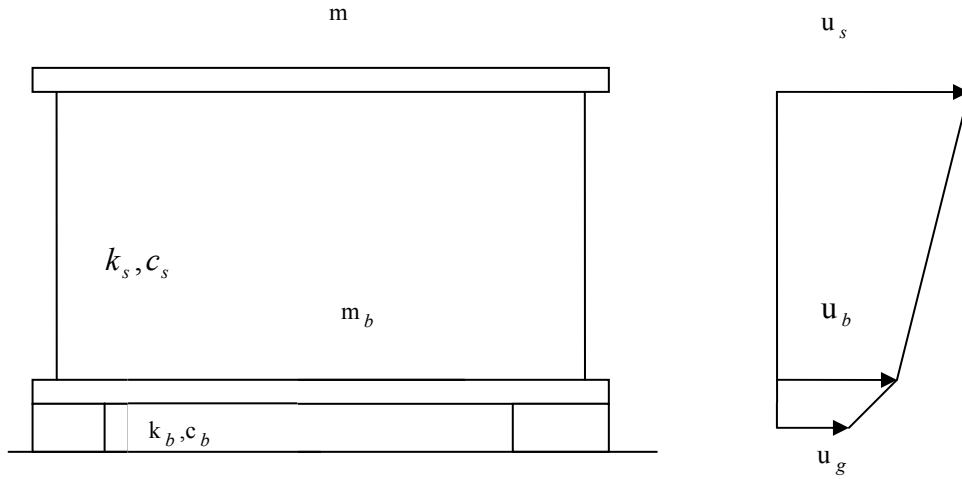
Dünyadaki mevcut uygulamaları ise; Avusturalya’ da Center Point gökdeleni, USA’ da Citicorp Center, Boston’ da John Hancock gökdeleni, Japonya’ da Chiba Port gökdeleni, Dubai’ de Burj Al Arab Oteli’ dir. Köprülerde kullanımı oldukça yaygındır.



## 4. TABAN İZOLASYONUN TEORİK ESASLARI

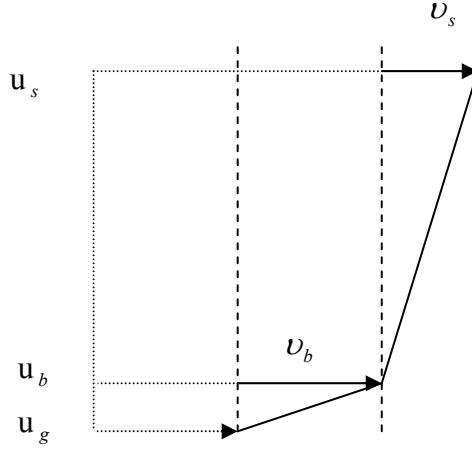
### 4.1 Linear Teoriye Göre İki Serbestlik Dereceli Sistemler

İzolasyon sistem teorisini anlayabilmek için, bu kısımda Şekil 4.1’ de gösterilen tek katlı, iki kütleli ve iki serbestlik dereceli bir yapı modeline dayanılarak deprem yükleri etkisi altındaki davranışının “Linear Teori” ye göre açıklanmasına değinilecektir.



Şekil 4.1 : Sismik izolasyonlu sistem.

Taban izolasyonu teorisinin temel araştırmaları, Kelly tarafından Design of Seismic Isolated Structures adlı eserde (1999) yapılmıştır. Teori iki kütleli modele dayandırılmıştır. Teoriye göre;  $m$  üst yapının kütlesi,  $k_s$  üst yapının rijitliği,  $c_s$  üst yapının sönümü şeklinde ifade edilmiştir.  $M_b$ , izolasyon sisteminin üstündeki kütleyi,  $k_b$  izolasyon sisteminin rijitliğini,  $c_b$  izolasyon sisteminin sönümünü ifade eder. İki kütleli yapı için yer değiştirmeler (mutlak deplasmanlar) ise  $u_b$  ve  $u_s$  ile ifade edilir, fakat kütleli yapı için yer değiştirmeler yerine hesaplarda daha çok rölatif yer değiştirmeler kullanılır. İzolatörlerin yere göre rölatif yer değiştirmesi “ $v_b$ ” ; üstteki katın alttaki kata göre yer değiştirmesi “ $v_s$ ” dir.



**Şekil 4.2 :** Sismik izolasyonlu sistemin hesap modeli.

$$v_b = u_b - u_g \quad (4.1)$$

$$v_s = u_s - u_b \quad (4.2)$$

Şekil 4.1' de  $u_g$  yerin yaptığı yer değiştirmedir. İki serbestlik dereceli sismik izolasyonlu sistemin lineer teoriye göre başlangıç olarak hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılırsa;

$$P_b + F_s - F_b - m_b \ddot{u}_b = 0 \quad (4.3)$$

$$P_s - F_s - m_s (\ddot{u}_b + \ddot{u}_s) = 0 \quad (4.4)$$

Burada,  $\ddot{u}_b$  izolasyon sisteminin mutlak yer değiştirmesinin  $\ddot{u}_b$  ise görelî yer değiştirmesinin zamana göre 2.türevi,  $\ddot{u}_s$  ise üst yapının görelî yer değiştirmesinin zamana göre 2.türevidir.  $P_b$  izolasyon sistemine etkiyen dış kuvveti,  $P_s$  üst yapıya etkiyen dış kuvveti ifade eder.  $F_b$  izolasyon sisteminde oluşan elastik yay kuvveti ve sönüm kuvvetinin toplamı,  $F_s$  üst yapıda oluşan elastik yay kuvveti ve sönüm

kuvvetinin toplamıdır. Kuvvetlerin karşılığı yazılırsa hareket denklemleri aşağıdaki halini alır.

$$(m+m_b) \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m+m_b) \ddot{u}_g \quad (4.5)$$

$$m \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_s \dot{v}_s + k_s v_b = -m \ddot{u}_g \quad (4.6)$$

Burada,  $\dot{v}_b$  izolatörlerin yere göre relatif yer değiştirmesinin birinci türevi;  $\dot{v}_s$  üstteki katın alttaki kata göre yer değiştirmesinin birinci türevidir.  $\ddot{u}_g$  ise güçlü yer ivmesini göstermektedir. Denklemler matris formuna dönüştürülürse;

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (4.7)$$

Elde edilir. Denklemden  $M = m + m_b$ ; toplam kütleyi ifade eder. Denklem tekrar düzenlenirse aşağıdaki halini alır.

$$[M] \{\ddot{v}\} + [C] \{\dot{v}\} + [K] \{v\} = -[M] \{r\} \ddot{u}_g \quad (4.8)$$

Kütleler oranı  $\gamma$ , açısal frekanslar  $\omega_b$  ve  $\omega_s$  ve sönüm faktörleri  $\beta_b$  ve  $\beta_s$  ile gösterilir ve aşağıdaki büyüklükler göz önüne alınır;

$$\gamma = \frac{m}{m+m_b} = \frac{m}{M} \quad m_b < m, \text{ olduğundan } \gamma \text{ ifadesi her zaman } 1 \text{ 'den küçüktür.}$$

$$[\omega_s^2 = \frac{k_s}{m}] \gg [\omega_b^2 = \sqrt{\frac{k_b}{m+m_b}}] \text{ dir ve } \varepsilon = \omega_b^2 / \omega_s^2 \text{ dönüşümü uygulanırsa, } \varepsilon$$

değeri  $10^{-2}$  mertebesinde olur.

$\beta_b$  ve  $\beta_s$  yalıtım sisteminin sönümlenme faktörleri olup  $\varepsilon$  ile aynı mertebeden büyüklüklerdir.

$$2\omega_b \beta_b = \frac{c_b}{m+m_b} \quad 2\omega_s \beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (4.9)$$

İki serbestlik dereceli yalıtılmış yapı modeli için modal analize aşağıdaki denklemlerle başlanır:

$$\gamma \ddot{u}_s + \ddot{u}_b + 2\omega_b \beta_b \dot{u}_b + \omega_b^2 u_b = -\ddot{u}_g \quad (4.10a)$$

$$\ddot{u}_s + \ddot{u}_b + 2\omega_s \beta_s \dot{u}_s + \omega_s^2 u_s = -\ddot{u}_g \quad (4.10b)$$

Böyle bir birleşik sistemin sönümsüz doğal modları ise;

$$\Phi^{iT} = (\Phi_b^i, \Phi_s^i)^T \quad i=1,2 \quad (4.11)$$

Şeklinde ifade edilirse;

$$(-\omega_i^2 + \omega_b^2) \phi_b^i + (-\gamma \omega_i^2) \phi_s^i = 0 \quad (4.12)$$

$$(-\omega_i^2) \phi_b^i + (-\omega_i^2 + \omega_s^2) \phi_s^i = 0 \quad (4.13)$$

Biçiminde yazılır. Burada  $\omega_i$  mod frekansıdır.  $\omega_i$  için karakteristik denklem;

$$(1-\gamma) \omega_i^4 - (\omega_s^2 + \omega_b^2) \omega_i^2 + \omega_b^2 \omega_s^2 = 0 \quad (4.14)$$

Şeklinde olur. Bu denklemin çözümü olan iki kökten ( $\omega_1$  ve  $\omega_2$ ) küçük olanı  $\omega_b$  büyük olanı ise  $\omega_s$  olduğuna göre 1. ve 2. modlara karşılık kökler aşağıdaki gibi bulunur.

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2-(1-\gamma)} \{ \omega_b^2 + \omega_s^2 - [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma \omega_b^2 \omega_s^2]^{1/2} \} \quad (4.15a)$$



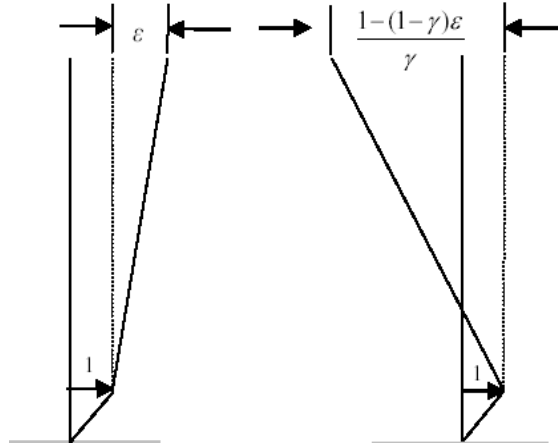
$$\omega_2^2 = \frac{1}{2-(1-\gamma)} \{ \omega_b^2 + \omega_s^2 + [(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2]^{1/2} \} \quad (4.15b)$$

$\omega_b \ll \omega_s$  olduğu dikkate alınarak,  $\varepsilon = \omega_b^2 / \omega_s^2$  dönüşümü uygulanırsa,  $\varepsilon$ ' ye bağlı açısal frekanslar (4.16)'daki gibi bulunur.

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1-\gamma\varepsilon) \quad \omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} (1 + \gamma\varepsilon) \quad (4.16)$$

Ardından sistemde mod şekilleri ( $\Phi^i$   $i=1,2$ ) yardımıyla hesaplanır.

$$(\Phi^1)^T = (1, \varepsilon) \quad (\Phi^2)^T = \left\{ 1, \frac{-1}{\gamma} [1-(1-\gamma)\varepsilon] \right\} \quad (4.17)$$



**Şekil 4.3 :** İki serbestlik dereceli yalıtım sisteminin mod biçimleri.

Modlar elde edildikten sonra relatif yer değiştirmeler (modal koordinatlardaki asal yer değiştirmeler) aşağıdaki bağıntılardan hesaplanır. ( $q_i$ , zamana bağlı modal katsayı)

$$v_b = q_1 \Phi_b^1 + q_2 \Phi_b^2 \quad v_s = q_1 \Phi_s^1 + q_2 \Phi_s^2 \quad (4.18)$$

Diğer modal büyüklükler de hesaplanmak istenirse;

$$M_i = (\Phi^i)^T M \Phi^i \quad M_i L_i = (\Phi^i)^T M_r \quad (4.19)$$

$\varepsilon$ ' ye bağılı tekrar düzenlersek;

$$M_1 = M(1+2\gamma\varepsilon) \quad M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (4.20)$$

$$L_1 = 1-\gamma\varepsilon \quad L_2 = \gamma\varepsilon \quad (4.21)$$

$v^b, v^s$  değerleri mod şekillerinin  $\Phi^1$  ve  $\Phi^2$ , ye göre yeniden düzenlenmesi sonucu;

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1 \dot{q}_1 + \lambda_1 \dot{q}_2 + \omega_1^2 q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (4.22)$$

$$\ddot{q}_2 + \lambda_2 \dot{q}_1 + 2\omega_2\beta_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \quad (4.23)$$

“ $2\omega_1\beta_1$ ” ve “ $2\omega_2\beta_2$ ” değerleri aşağıda verilen denklemin çözümünden bulunur.

$$M_i 2\omega_i \beta_i = (\Phi^i)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \Phi^i \quad (i=1,2) \quad (4.24)$$

Sonuçta;

$$2\omega_1\beta_1 = 2\omega_b\beta_b(1-2\gamma\varepsilon) \quad (4.25)$$

$$2\omega_2\beta_2 = \frac{1}{1-\gamma}(2\omega_s\beta_s + 2\gamma\omega_b\beta_b) \quad (4.26)$$

Bulunur. Ardından  $\beta_i$  ( $i=1,2$ ) sönüm faktörleri bulunmak istenirse;

$$\beta_1 = \beta_b [1 - (\frac{3}{2}) \gamma \varepsilon] \quad \beta_2 = \frac{\beta_s + \gamma \beta_2 \varepsilon^{1/2}}{(1 - \gamma)^{1/2}} (1 - \frac{\gamma \varepsilon}{2}) \quad (4.27)$$

formülleri kullanılır. Modal bağlantı katsayıları “ $\lambda_1$ ” ve “ $\lambda_2$ ” yi bulmak için denklemler;

$$\lambda_1 M_1 = (\Phi^1)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \Phi^2 \quad (4.28)$$

$$\lambda_2 M_2 = (\Phi^2)^T \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \Phi^1 = \lambda_1 M_1 \quad (4.29)$$

şeklinde yazılır.

$$\lambda_1 M_1 = (1, \varepsilon) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -a \end{pmatrix} = c_b - \varepsilon a c_s \quad a = (\frac{1}{\gamma}) [1 - (1 - \gamma) \varepsilon] \quad (4.30)$$

(4.20) de bulunan  $M_1$  ve  $M_2$  değerlerini de yerlerine yazarsak;

$$\lambda_1 = 2\omega_b [\beta_b (1 - 2\gamma \varepsilon) - \varepsilon^{1/2} \beta_s] \quad (4.31)$$

$$\lambda_2 = 2\omega_b \{ \beta_b [1 + 2(1 - \gamma) \varepsilon] - \varepsilon^{1/2} \beta_s \} \frac{\gamma}{1 - \gamma} \quad (4.32)$$

denklemleri elde edilir. Uygulamalarda sönüm küçük olduğundan sönüme bağlı bileşenler ( $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$ ) ihmal edilirse,

$$\ddot{q}_1 + 2\omega_1\beta_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = -L_1 \ddot{u}_g \quad (4.33a)$$

$$\ddot{q}_2 + 2\omega_2\beta_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -L_2 \ddot{u}_g \quad (4.33b)$$

elde edilir. Güçlü yer ivmesinin zamana bağlılığı biliniirse modal katsayılar aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir.

$$q_1 = \frac{L_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_1\beta_1\tau} \sin \omega_1\tau d\tau \quad (4.34a)$$

$$q_2 = -\frac{L_2}{\omega_2} \int_0^t \ddot{u}_g(t-\tau) e^{-\omega_2\beta_2\tau} \sin \omega_2\tau d\tau \quad (4.34b)$$

Maksimum değerlerin bulunması için ise;

$$|q_1|_{\max} = L_1 \cdot S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (4.35a)$$

$$|q_2|_{\max} = L_2 \cdot S_D(\omega_2, \beta_2) \quad (4.35b)$$

Burada  $S^D(\omega, \beta)$ ; “ $\omega$ ” açısal frekansı ve “ $\beta$ ” sönüm değerine göre yer değiştirme spektrumunda yer hareketi için karşılık gelen değerdir. İzolasyon sisteminin maksimum yer değiştirmesi ve üst yapıda meydana gelebilecek en büyük yer değiştirmesi (yapısal deformasyonun maksimum değeri) ise;

$$|v_s|_{\max} = \left[ \left( \phi_2^1 |q_1|_{\max} \right)^2 + \left( \phi_2^2 |q_2|_{\max} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.36a)$$

$$|v_b|_{\max} = \left[ \left( \phi_1^1 |q_1|_{\max} \right)^2 + \left( \phi_1^2 |q_2|_{\max} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.36b)$$

(4.20) denklemlerinden bulunan değerler ve aşağıdaki sonuçlar yerlerine yazılırsa;

$$\phi_1^1=1, \quad \phi_1^2=1, \quad (4.37)$$

$$\phi_2^1=\varepsilon, \quad \phi_2^2=-\frac{1}{\gamma}[1-(1-\gamma)\varepsilon], \quad (4.38)$$

$$L_1=1-\gamma\omega, \quad L_2=\gamma\omega \quad (4.39)$$

İzolasyon sisteminin maksimum yer değiştirmesi ve üst yapıda meydana gelebilecek en büyük yer değiştirmeler aşağıdaki şekilde bulunur.

$$|v_b|_{\max} = \left\{ (1-\gamma\varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + \gamma^2 \varepsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \quad (4.40)$$

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon \left\{ (1-2\gamma\varepsilon)^2 [S_D(\omega_1, \beta_1)]^2 + [1-2(1-\gamma)\varepsilon]^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2 \right\}^{1/2} \quad (4.41)$$

Uygulamalarda genellikle “ $\varepsilon^2$ ” den büyük terimler de ihmal edildiğinde ayrıca  $\omega_2$  gibi yüksek frekanslardaki yer değiştirmenin,  $\omega_1$  gibi daha düşük frekanslardaki yer değiştirmeden çok küçük olduğu davranış spektrumları için  $\varepsilon^2 [S_D(\omega_2, \beta_2)]^2$  terimi ihmal edilebilir. Bu durumda izolasyon sisteminin yere göre maksimum deplasmanı aşağıdaki gibi bulunur.

$$|v_b|_{\max} = (1-\gamma\varepsilon)S_D(\omega_1, \beta_1) \quad (4.42)$$

$\varepsilon^2$ , den yüksek değerler ihmal edilirse; üst yapının izolasyon sistemine göre deplasmanı ise aşağıdaki gibi bulunur.

$$|v_s|_{\max} = \varepsilon [S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)]^{1/2} \quad (4.43)$$

Tasarım taban kesme kuvveti katsayısı  $C_s$  ise aşağıdaki gibidir;

$$C_s = \omega^2 \varepsilon \{ [S_D(\omega_1, \beta_1)^2 + S_D(\omega_2, \beta_2)] \}^{1/2} \quad (4.44)$$

## 4.2 Linear Teoriye Göre ok Serbestlik Dereceli Sistemler

Çok katlı yapı için “M” kütle matrisi, “C” sönüm matrisi, “K” rijitlik matrisi olarak tanımlansın. Geleneksel yapılar için hareket denklemi;

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -M\ddot{u}_g \quad (4.45)$$

“u” nun yere göre yer değiştirme vektörü, “r” nin ise her serbestlik derecesini yer hareketine bağlayan vektör olduğunu hatırlarsak izolatörlü model için hareket denklemi;

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -M_r(\ddot{u}_g + \ddot{v}_b) \quad (4.46)$$

Tüm sistemde birleşik yapı ve taban kütlesine göre ortak bir eşitlik yazılırsa;

$$r^T M(\ddot{v} + r\ddot{v}_b + r\ddot{u}_g) + m_b(\ddot{v}_b + \ddot{u}_g) + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = 0 \quad (4.47)$$

olur ve tekrar düzenlenirse;

$$r^T M\ddot{v} + (m + m_b)\ddot{v}_b + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (4.48)$$

halini alır. Bu denklemde “ $r^T Mr$ ” toplam kütleği ifade etmektedir. “ $m+m_b$ ” ise izolasyon sisteminin üzerinde taşınan toplam kütedir. Bu eşitliklerin matris formu ise aşağıdaki gibidir.

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (4.49)$$

Denklemdeki değerler ise;

$$M^* = \begin{bmatrix} m + m_b & r^T M \\ Mr & M \end{bmatrix} \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \quad (4.50)$$

$$K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad v^* = \begin{bmatrix} v_b \\ v \end{bmatrix} \quad (4.51)$$

Genel olarak sismik izolasyonlu yapı davranışının mekanik karakteristiğini anlayabilmek için periyoduna bakmak istersek;

$$T_Y = 2\pi \sqrt{\frac{(m + m_b)}{k_b}} \quad (4.52)$$

Buluruz. İzolasyon yapılmamış geleneksel bir binanın periyodu ise;

$$T_F = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_s}} \quad (4.53)$$

Periyotları oranına  $\alpha$  ve taban kütesinin üst yapı kütesi oranına  $\eta$  dersek;

$$\alpha = \frac{T_F}{T_Y} \quad \eta = \frac{m_b}{m} \quad (4.54)$$

Bulunan tüm değerler frekans denkleminde yerlerine yazılırsa, 1. ve 2. moddaki periyotlar;

$$T_1 = \sqrt{(1 + \alpha^2)} T_Y \quad (4.55)$$

$$T_2 = \frac{T_F}{\sqrt{(1 + \eta + \eta\alpha^2)}} \quad (4.56)$$

(4.52) ve (4.53) de bulunan değerler periyotlar oranına ait denklemde yerlerine yazılırsa;

$$\alpha = \sqrt{k_b / k_s \sqrt{m / (m + m_b)}} \quad (4.57)$$

bulunur. Mod şekilleri matris formunda yazılmak istenirse;

$$\Phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 + \alpha^2 \end{Bmatrix} \quad \Phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ (\alpha^2 - 1) / \eta \end{Bmatrix} \quad (4.58)$$

(4.57) de bulunan  $\alpha$  değeri 1' den küçük bir sayı bulunur karesinin de kendinden küçük olacağı düşünülürse;

$$1 + \alpha^2 \approx 1 \quad (4.59)$$

Alınabilir. Bu durumda izolasyonlu sisteme ait mod şekli aşağıdaki halini alır.

$$\Phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (4.60)$$



### 4.3 İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri

#### 4.3.1 Kauçuk esaslı izolatörler

Tabakalı kauçuk esaslı izolatörlerin mekanik karakteristiklikleri üzerine uzun yıllardır çalışmalar sürmektedir, ve hala nonlineer teknikleri kullanarak kesin analiz yapılması hala oldukça zor olmakla beraber bir çok araştırmacı tarafından elastik teoriye dayalı basit tahminle geliştirilmiştir.

Düşey ivmeler yapılar tasarlanırken genellikle herhangi bir sorun çıkarmazlar çünkü yapı düşeyde oldukça rijit tasarlanır. Fakat yatay rijitliği sağlamak zordur. Bu nedenle yatay yönde istenen rijitliği sağlamak için tercih edilen sismik izolatörlerde en önemli mekanik özelliği, yatay rijitliktir ve aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$K_H = \frac{G.A}{t_r} \quad (4.61)$$

G: Malzemenin kayma modülü

A: Malzemenin en kesit alanı

$t_r$ : Malzemenin toplam kalınlığı

İzolatörlerin maksimum kayma şekil değiştirme değeri, yatay yer değiştirme ile bağlantılı olup aşağıdaki gibi belirtilmiştir.

$$\gamma = \frac{D_D}{t_r} \quad (4.62)$$

Burada  $D_D$  (izolatör için maksimum deplasman) değeri maksimum olacağı için mesnedin üst ucunda oluşan yatay deplasmandır. Bu bağıntıdan hareketle maksimum kayma şekil değiştirme değeri ile izolatörün maksimum deplasman değeri arasında bir ilişki doğar. Genelde hesaplarda  $\gamma=1.5$  alınır. Yani  $t_r$  kalınlığında bir malzemenin  $1.5 t_r$  kadar bir deplasman yaptığı kabul edilir. Bu değer seçilirken yüksek seçilmesi durumunda malzemenin yüksek aksenal yük değeri altında yatay deplasman yaparken dayanım değerinin aşılmamasına dikkat edilmelidir.

Tasarım için analiz edilmesi gereken bir diğer özellik, izolatörün burkulma davranışdır. Burkulma davranışını belirlemek için de eğilme momenti ve eğilme

rijitliđi incelenir. Eđilme rijitliđi ise dűsey rijitlikle ilintilidir. Bu nedenle dűsey frekansı da belirlediđinden izolatorűn dűsey rijitliđinin incelenmesi gerekir ( kiriř teorisinde EI olarak ifade edilmektedir) ve ařađıdaki gibi forműle edilmiřtir.

$$K_v = \frac{E_c \cdot A}{t_r} \quad (4.63)$$

Yűkleme modűlű “E<sub>c</sub>” deđeri, eđer tek bir kauçuk tabakasına ait ise řekil faktűrű tarafından belirlenir.

$$S = \frac{\text{YűklűAlan}}{\text{KuvvetyűklenmeyenAlan}} \quad (4.64)$$

Burada “S” řekil faktűrű deđeri izolatorűn cinsine gűre deđiřmektedir ve dolayısıyla yűkleme modűlű de farklı olmaktadır. Örneđin bazı durumlarda izolatorűler merkezi bořlukları doldurulmamıř halka řekilde tasarlanırlar. Bu řekildeki bir izolatorű için ise yűkleme modűlű;

$$E_c = 6 \lambda G S^2 \quad (4.65)$$

ile bulunur. Buradaki parametreler aşağıdaki forműllerden hesaplanır. (4.66)’ da “a” ve “b” değerleri halka iç ve dış yarıçaplarını ifade etmektedir.

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2) / \ln(b/a)]}{(b - a)^2} \quad (4.66)$$

İzolatorűn mekanik özelliklerinden (4.59) de belirtilen maksimum kayma řekil deđiřtirme deđerini yanı sıra basınç etkisi nedeniyle  $\gamma_c$  ile gűsterilen bir kayma řekil deđiřtirmesi de meydana gelir ve bu deđer ařađıda belirtilen nominal basınç řekil deđiřtirmesine bađlıdır.

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta}{t_r} \quad \Delta : \text{Basınç etkisi altında oluşan kısalma miktarı} \quad (4.67)$$

Bu durumda kayma şekil değiştirmesi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\gamma_c = 6 S \varepsilon_c \quad (4.68)$$

Kauçuk malzemede kayma modülü kayma şekil değiştirme değerine bağlı olarak değişir. Bu yüzden malzeme için kayma modülü değeri belirlenirken malzemenin maruz kalacağı kayma değerlerinin de araştırılması gerekir. Bu nedenle uygun kayma modülü değerini belirlemek için ortalama kayma şekil değiştirme değerini de aşağıda formüle edildiği şekliyle hesaplamak gerekir.

$$\gamma_{ort} = \sqrt{6S} \varepsilon_c \quad (4.69)$$

$\varepsilon_c$  'yi hesaplamak için önce bir G değeri kabul edilir. Bu değerden şekil faktörü de kullanılarak  $E_c$  hesaplanır. Mesnet üzerindeki eksenel yük  $W$  bilindiğinden  $E_c$  değeri kullanılarak  $\Delta$  değeri bulunur.

$$\Delta = \frac{Wt_r}{E_c A} \quad (4.70)$$

$\Delta$  değeri bulunduktan sonra  $\varepsilon_c$ , ve son olarak da  $\gamma_{ort}$  değeri hesaplanır. Hesaplanan bu ortalama kayma şekil değiştirme değeri başlangıçta alınan değere yakın olmalıdır. Doğru değeri bulmak için ardışık yaklaşımlar yapılır. Genellikle kayma modülü değeri, kayma şekil değiştirme değerinin %20'den büyük olduğu durumlarda fazla değişiklik göstermez.

Dizayn sırasında hesaplanması gereken bir diğer önemli parametre ise kauçuk mesnetlerin eğilme rijitliğidir. Bu değer  $EI$  'ya bağlı bir değer olarak bulunur. Kare şeklinde bir izolatör için efektif eğilme rijitliği;

$$(EI)_{eff} = E_c (0.329 I) \quad (4.71)$$

Merkezi bir deliği olan dairesel izolatör için eğilme rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$(EI)_{eff} = 2GS^2 I \frac{(b+a)^2}{b^2 - a^2} \quad (4.72)$$

### 4.3.2 Kurşun çekirdekli izolatörler

Kurşun çekirdekli izolatörler için hesap adımları genel olarak aynıdır. İlk olarak sistemin tasarlanan titreşim periyodunda olabilmesi için yatay rijitlik saptanır daha sonra kaç adet kurşun çekirdekli izolatör kullanılacağı tespit edilir. Ardından sistemde olması gereken toplam rijitliğe göre kauçuk tabakanın sağlayacağı rijitlik ve bunun için de elastomerik mesnetin kayma modülü belirlenir.

İzolatörler üç temel parametreye dayandırılarak bilineer elemanlar olarak modellenirler. Bunlar  $K_1, K_2$  ve  $Q$  dur.  $K_1$ , elastik rijitlik olup  $K_2$ 'ye bağlı hesaplanır.  $K_2$ , akma sonrası rijitlik (plastik rijitlik) olup kauçuğun kayma modülüne ve tasarıma bağlı hesaplanır.  $Q$  ise, karakteristik dayanım olup kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisinden hesaplanır. Temel parametreler olan  $K_1$  ve  $K_2$ 'nin hesaplanabilmesi için öncelikle efektif rijitliğin irdelenmesi gerekmektedir. Efektif rijitlik kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisinde en alt ve en üst noktalarını birleştiren doğru eğimidir ve aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad D > D_y \quad (4.73)$$

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad D_y : \text{Akma yer değiştirmesi} \quad (4.74)$$

$$F_y = K_1 \times D_y \quad F_y : \text{Akma kuvveti} \quad (4.75)$$

Doğal frekans  $K_{eff}$  bulunduktan sonra aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff}}{W}} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \cdot \frac{g}{D}} \quad (4.76)$$

Buradaki parametreler ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mu = \frac{Q}{W} \quad \omega_0^2 = K_2 \cdot g / W \quad (4.77)$$

Efektif periyot ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$T_{eff} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \cdot \frac{g}{D}}} \quad (4.78)$$

$D \geq D_y$  için efektif sönüm  $\beta_{eff}$  aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\beta_{eff} = \frac{\text{Histeresiseğrisinin alanı}}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (4.79)$$

Histeresis eğrisinin alanı  $4Q(D-D_y)$  çarpımı ile bulunur ve düzenlemeler yapılmca

$\beta_{eff}$  aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (4.80)$$

Burada elastik rijitlik “ $K_1$ ” ve plastik rijitlik “ $K_2$ ” ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$K_2 = \frac{AG}{t_r} ; \quad K_1 = 10 K_2 \quad (4.81)$$

Buradan;

$$D_y = \frac{Q}{10K_2 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} \quad (4.82)$$

Değerler (4.80)' de yerlerine konursa  $\beta_{eff}$  aşağıdaki gibi bulunur.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(K_2D + Q)D} \quad (4.83)$$

Tasarım yer değiştirmesi;

$$D_D = \frac{gC_{VD}T_D}{B(4\pi^2)} \quad (4.84)$$

Sistemde gerekli olan yatay rijitlik;

$$K_H = \frac{W(4\pi^2)}{g(T_D)^2} \quad (4.85)$$

Kurşun çekirdekli sistemin düşey rijitliği “ $K_V$ ” aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$K_V = \frac{E_c A}{t_r} \quad (4.86)$$

### 4.3.3 Sürtünme esaslı sismik izolatörler

Sürtünmeli sarkaç modeli, yapının deprem etkisi altında sarkaç hareketinde salınım yapan kütle şeklinde davranmasına göre tasarlanmaktadır. İzolasyon sisteminin rijitliği periyodu, sürtünen eğrisel yüzeye verilen eğimle kontrol edilmektedir.

Sürtünmeli sarkaç tipi sistemlerde, sürtünme kuvvetine kadar olan yatay yüklemelerde, yatay ve düşeyde herhangi bir yer değiştirme olmaz ancak, mesnete gelen yatay deprem yükü mesnet sürtünme kuvvetine eşit hale gelince izolatör sistemi harekete geçer ve akmaya başlar. Sürtünmeli sarkaç esaslı bir izolatörün yükü  $W$ , yaptığı yatay yer değiştirme  $D$ , sürtünme katsayısı  $\mu$  ve sürtünme kuvveti  $F$  olsun. Bu durumda sistemde oluşan  $F$  tepki kuvveti aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$F = \frac{W}{R} \cdot D + \mu \cdot W [\text{sgn}(D)] \quad R: \text{Eğrilik yarıçapı} \quad (4.87)$$

$$R = \frac{T_D^2 g}{4\pi^2} \quad T_D: \text{Tasarım periyodu} \quad (4.88)$$

(4.87)' de belirtilen  $\text{sgn}(D)$  kayma hızına bağlılığı gösteren bir işaret fonksiyonudur. (4.87)' de belirtilen eşitlikteki ilk terim, sürtünme esaslı sismik izolatörleri diğer kayıcı mesnetli sistemlerden ayıran en önemli özellik olan geri dönüş yani sarkaç hareketini sağlayan kuvvettir ve aşağıda formüle edilen yatay rijitliği sağlamaktadır.

$$K_H = \frac{W}{R} \quad (4.89)$$

Yatay rijitlik aşağıda gösterilen "T" periyodunu üretir.

$$T = 2\pi \sqrt{R/g} \quad (4.90)$$

İzolatörün mekanik karakteristik özelliklerinden biri de efektif rijitlik ve aşağıda gösterilmiştir.

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu \cdot W}{D} \quad (4.91)$$

Diğer özelliklerden efektif sönüm aşağıda belirtilmiştir.

$$\beta_{eff} = \frac{\text{histeresizeğğrininalnı}}{4\pi K_{eff} D^2} \quad (4.92)$$

Sistemin düşey yönde yapmış olduğu yer değiştirme ise, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\delta_v = R [1 - \text{Cos}(\text{ArcSin} D / R)] \quad (4.93)$$

Sürtünmeli sarkaç esaslı İzolatörlerde geri dönüş kuvvetinin çok doğrusal özellik göstermesi kuvvet-yer değiştirme histerezis eğrisinin tipik özelliklerindedir.





## 5. ÜLKEMİZDE ÖRNEK UYGULAMALAR

Deprem yalıtımı bugün üzerinde gelişmiş akademik araştırmalar yapılan, uygulamaları şartnamelere bağlanmış ve dünyada çok sayıda yapıda kullanılmış olan olgunlaşmış bir teknolojidir.[17]

Ülkemizde mevcut 6 binada (Tarabya Oteli, Kocaeli Devlet Hastanesi, Erzurum Devlet Hastanesi, Atatürk Hava Limanı Terminal Binası, Antalya Hava Limanı Terminal Binası, Ankara Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi) ve iki köprüde (Bolu Viyadükleri, Gülburnu Köprüsü) ve Egegaz Çandarlı LNG depolama tanklarında olmak üzere 9 adet uygulama bulunmaktadır. [17]

Ülkemizde gerçekleştirilen ilk sismik izolasyon uygulama çalışması, Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali' nin sismik modernizasyonu projesi kapsamında yapılan uygulamadır. 250x225 m<sup>2</sup> inşaat oturum alanına sahip yapı, 17 Ağustos depreminde henüz inşaat halinde iken yapının çelik çatısını taşıyan betonarme kolonlarının alt ve üst uçlarında hasarlar oluşmuştur. Hasarın nedeni ise kolonların kendilerinden daha rijit olan tavan kirişleriyle olan rijit bağlantısıydı. Bu nedenle kolonlar onarıldıktan sonra çelik tavan ile kolonlar arasında 130 adet sürtünmeli sarkaç izolatör (FPS) yerleştirilerek ileride oluşabilecek benzer tipteki bir hasarın önüne geçilmiş oldu.

'Chicago Bridge and Iron' firmasının yaptığı İzmir Aliğa LNG (Doğal Sıvı Gaz) terminalindeki 80m çapındaki silindirik çelik depoların altına 112 adet yutucu LRB (Kurşun Çekirdekli Mesnet) yerleştirilmiştir.

Türk Ekonomi Bankası Genel Müdürlüğü binasının 2. kat ve 1. kat bodrumları arasında bir kısmı kurşun çekirdekli olmak üzere 87 adet izolatör kullanılmıştır. Kullanılan izolatörlerin çapları 72cm, 97 cm ve 112 cm dir. İzolatörlerin yer değiştirme kapasitesi 40 cm dir.

Egegaz LNG depolama tankları sismik izolasyon çalışması kapsamında, 112 adet kurşun çekirdekli izolatör ve 241 adet kauçuk izolatör kullanılmıştır. Kullanılan

kurşun çekirdekli izolatorler 0.9m çapında olup orta kısımda bulunan kurşunların çapı 0.28m' dir. Kullanılan izolatorler %10-20 sönüm oranına sahiptirler.

Kocaeli Üniversitesi Hastanesi Türkiye' de taban izolasyon sistemi uygulanan ilk hastane binası olma özelliğini taşımaktadır. Kullanılan izolatorler sürtünmeli sarkaç tipi adet olup 79 cm çapındadır. İzolatorlerin yer değiştirme kapasitesi 28cm dir. Sismik izolasyon uygulandıktan sonra ölçülen efektif sistem periyodu 3sn dir.

Antalya Havalimanı terminal binası sismik yalıtımında, değişik çaplarda 341 adet kurşun çekirdekli izolator ve ALGA firması tarafından üretilen kayıcı mesnetli sistem kullanılmıştır.

Ankara Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi'nde 160 cm çapında sürtünmeli sarkaç tipi izolator kullanılmıştır. Kullanılan izolatorlerin sürtünme katsayısı %5 olup maksimum yer değiştirmeleri 12cm ile 14 cm arasında değişmektedir.

Aşağıda ülkemizde yapılan yapısal kontrol sistemi uygulamalarından seçilen üç örnekle ilgili açıklamalar yapılmıştır.

### **5.1 Bolu Viyadükleri Güçlendirme Çalışması**

Düzce ile Bolu arasında Kuzey Anadolu fay hattında inşaa edilmiş olan Bolu Dağı Geçişi Projesi; 2.900m uzunluğunda bir tünel, 4.6 km uzunluğunda 4 adet viyadük ve 900m uzunluğunda 3 adet köprüden oluşmaktadır. Projede bulunan 2 viyadük güçlendirme amacıyla pasif kontrol sistemlerinin uygulanması ve aynı zamanda 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 depremlerini geçirmesi nedeniyle çalışma kapsamında incelenmiştir.

Anadolu Otoyolu'nun İstanbul-Ankara bağlantısını oluşturan Gümüşova-Gerede kesimi, TEM otoyolunun bir parçasıdır. Otoyolun Gümüşova-Gerede kesimi toplam 115 km uzunluğunda 3 şeritli olup, Bolu dağı geçişini oluşturan viyadükler ve tünel, İstanbul-Ankara istikametinde 23 Ocak 2007 tarihinde hizmete açılmıştır. [18]



**Şekil 5.1 : Bolu Viyadükleri genel görünüş.**

Bolu Viyadükleri Gümüşova-Gerede kesiminde 3 adet sismik izolasyonlu köprü mevcuttur. Bunlar; 100 açıklıktan oluşan ve 39.2 m uzunluğunda olan Viyadük No.1, 5+5 açıklıktan oluşan ve 39.2 m uzunluğunda olan Köprü No.2 ve 150 açıklıktan oluşan yine 39.2 m uzunluğunda olan Viyadük No.2' dir.

Bütün köprüler, 36m uzunluğunda, öngerilmeli, prefabrik kutu kirişlerden oluşmuştur. Her açıklıkta 7 adet kiriş mevcuttur. Açıklıklar, birbirleriyle prefabrike kirişlerin üstünde betonarme tabliye ile birleştirilmiştir. Maksimum birleştirilen 10 açıklıktan sonra, araya derzler yerleştirilmiştir. Böylelikle, bu şekilde birleştirilen açıklıklar sayesinde sistemin, trafik yüklerine karşı iki ucundan mesnetli basit kiriş gibi, yavaş yavaş etkiyen etkilere (ısı, sünme, büzülme) ve depreme karşı ise 10 açıklıklı sürekli rijit sistem gibi davranması öngörülmüştür. Bütün kirişler, serbestçe kayabilen mesnetler üzerinde mesnetlendirilmiştir. Sürtünen yüzeyler paslanmaz çelik olarak tasarlanmıştır. [19]

Yapının pasif kontrol sistemleri ile güçlendirilmesinde, hem sismik izolatörler hem de enerji dağıtıcılar (pasif enerji sönümleyici) kullanılmıştır. Kullanılan tüm yapısal kontrol sistemleri "ALGA" firması tarafından üretilmiştir. Güçlendirme projesi kapsamında sismik izolatör olarak kullanılan Şekil 5.2' de görülen sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılmıştır. Kullanılan izolatörlerin çapları 700mm ve 900mm arasında değişmektedir.

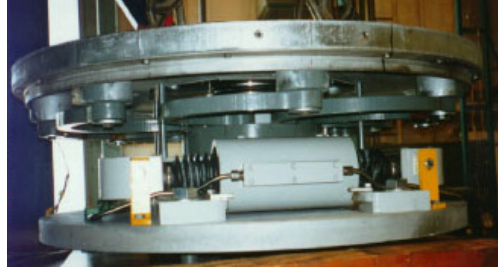


**Şekil 5.2 :** Bolu Viyadükleri'nde kullanılan sürtünmeli sarkaç izolatörü örneği.

Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerle beraber kullanılan üç tip sönümleyiciyle ilgili teknik bilgiler aşağıdaki gibidir.

- EP Tip Sönümlendiriciler; 16 adet C şeklinde çelik elemanlardan oluşan bir sistemdir. Köprünün serbest uçlarında bir tane, betonarme ayakların ortasında mevcuttur. İzolatörler sayesinde yatay gelen rüzgar kuvvetleri karşılanır, köprü ayaklarındaki sürtünme kuvvetlerini frenlenir ve sönümlendirme sistemine müsaade edilenden fazla kuvvet iletilmesi önlenmiş olur. Çelik yaylar histerizis (enerjinin şekil değiştirme yoluyla tüketimi) etkisi göstererek deprem enerjisini sönümlendirmektedirler.
- VP Tip Sönümleyiciler; EP Tip sönümleyicilere benzemesine rağmen farkı 2 hidrolik şok taşıma ünitesine sahip olmasıdır. Şok taşıma üniteleri köprü boyunca yerleştirilmişlerdir. VP Tip sönümleyiciler sayesinde sünme, ısı değişimleri ve büzülme gibi hareketlere direnç sağlanmış olur
- VPJ Tip Sönümleyiciler; VP Tip sönümleyicilere benzerler. Farkı, deprem kuvvetlerini birleşen açıklıklara eşit olarak değil de, uzun doğrultudaki deprem kuvvetlerini sadece açıklığa dağıtır. [18]

Köprü ayakları üstünde, kirişlere uzama rijitliği sağlanan yerlerde kullanılırlar.

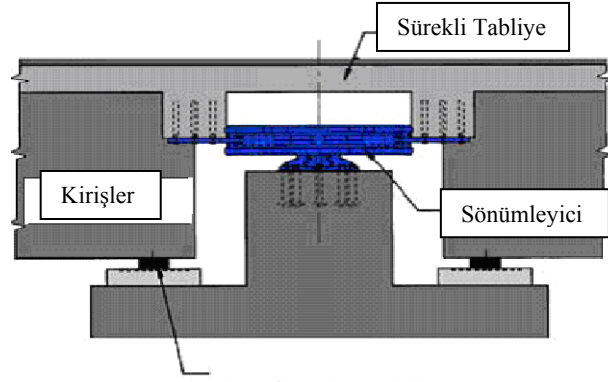


**Şekil 5.3 :** Bolu Viyadükleri'nde kullanılan sönümlendirici örneği.

Şekil 5.4' de kullanılan sönümleyicilerin yerleşim detayı yer almaktadır.



**Şekil 5.4 :** Üst yapının yeniden yerleştirilmesi ve dizaynı.



**Şekil 5.5 :** Sönümleyicinin yerleştirilme detayı.

17/08/1999 depremi sonrası Viyadük No 2’de; ciddi bir hasar olmamasına karşın Şekil 5.6’da görüldüğü gibi bazı kirişlerin monte edilmeden zarar gördüğü tespit edilmiştir. Maksimum tasarım yer değiştirme miktarı 320mm olarak belirlenmişken deprem sonrası ölçülen maksimum yer değiştirme 90mm’dir. Bu da histerik sönümleyicilerin, akma limitini aşarak görevlerini yerine getirdiklerini ve sismik izolasyonun planlanan ve beklenen performansı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Deprem sonrası tüm izolatörler sadece 1mm hatayla ilk hallerine dönmüşlerdir.



**Şekil 5.6 :** 2 nolu viyadüğün monte edilmemiş kirişleri.

17/08/1999 depreminden sonra meydana gelen 12/11/1999 depreminin merkez üssü otoyola yaklaşık 5 km mesafededir. Deprem nedeniyle ölçülen maksimum yer ivmesi 0.81g’ dir. Deprem sonrası Viyadük No 2’de ilk depreme göre daha fazla hasar oluşmuştur. Bu depremden sonra ölçülen yer değiştirme ise 360mm’dir. Genel olarak viyadükte genişleme düğümlerinde bazı elemanlar beklenen performansı gösterememişlerdir. Viyadüğün ayaklarının üst uçlarında oluşan yatay ötelenmenin kullanılan izolatörlerin yer değiştirme kapasitesinin iki katına ulaşması sonucu, köprü mesnetlerinin ve izolatörlerin depremde hasar görmesine karşın, köprü

kirişlerinin ve ayaklarının onarılamaz hasar görmeleri izolatörler sayesinde engellenmiştir.



**Şekil 5.7 :** Histerik sönümleyicilerin deprem sonrası durumu.

1 numaralı viyadük ise 2 numaralı viyadüğe göre daha kötü durumdadır. Kirişlerin oturduğu köprü ayakları dönmüştür böylece başlıklar  $\pm 50\text{cm}$  hareket etmişlerdir.

## **5.2 Erzurum Devlet Hastanesi**

Şekil 5.8’ de genel görünüşü verilen Erzurum Devlet Hastanesi Türkiye’de sismik izolasyon yaklaşımı kullanılarak tasarlanmış ve inşaa edilmiş ikinci hastane binasıdır. Yapı, planda 160m x 140m tabana oturmuş, 6 normal kat ile 1 bodrum kattan oluşmaktadır ve 29m yüksekliğindedir.



**Şekil 5.8 :** Erzurum Devlet Hastanesi genel görünüşü.

Yapı konum olarak yanal atımlı Erzurum Fayı’na yaklaşık 4km mesafede olup, kullanım amacının sağlık olması nedeniyle olası bir deprem sonrasında kullanılabilmesi için aşağıdaki fotoğrafta görüldüğü gibi sismik izolasyon yöntemi ile deprem yalıtımı uygulanarak inşa edilmesine karar verilmiştir.

Yapının orjinal projesi Mehmet HOCA tarafından, uygulaması ise Kur İnşaat tarafından yapılmıştır. Şekil 5.9’ da görülen izolatörler DIS firması tarafından imal edilmiş ve testleri IBC 2003 Amerikan Şartnamesine göre University of California at San Diego SRMD Laboratuarlarında yapılmıştır.

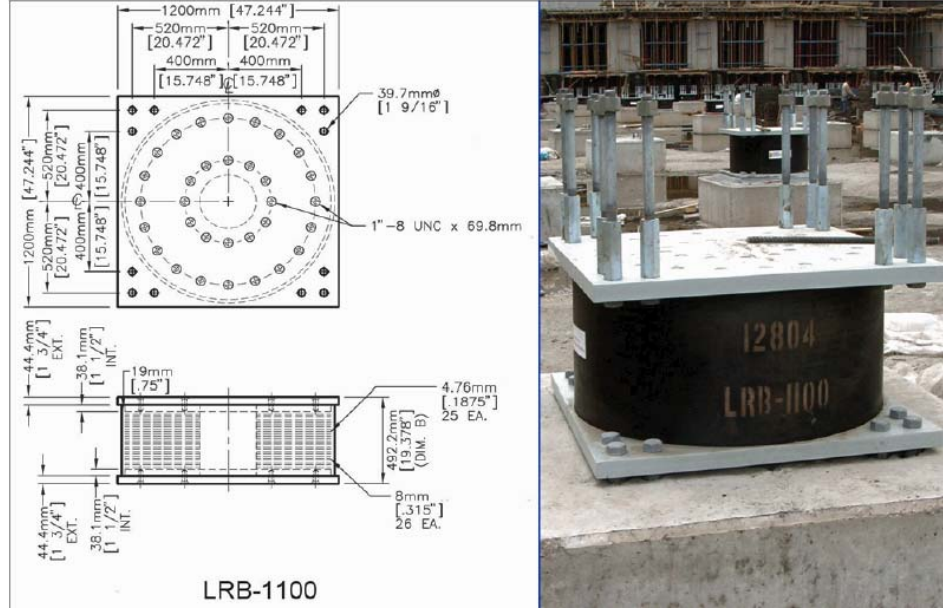


**Şekil 5.9 : DIS firması izolatörü.**

Üstyapı orijinal olarak konvansiyonel (deprem yalıtım olmayan) bir yapı olarak tasarlanmış ve istenen performans faktörlerinin yapı davranışına yansıtılabilmesi amacı ile deprem yalıtımı sistemi daha sonra yapı tasarımına ayrıca dâhil edilmiştir. Ancak üst yapı tasarımı ile ilgili bir değişiklik yapılmamıştır. Türk Deprem Şartnamesine göre yapılmış üst yapı orijinal tasarımında spektral ivme katsayısı  $A(T)=0.75$  (2. Derece Deprem bölgesi), yerel zemin sınıfı (Z2), yapı önem katsayısı  $I=1.5$  ve deprem yükü azaltma katsayısı  $R=7$  kabul edilmiştir. [7]

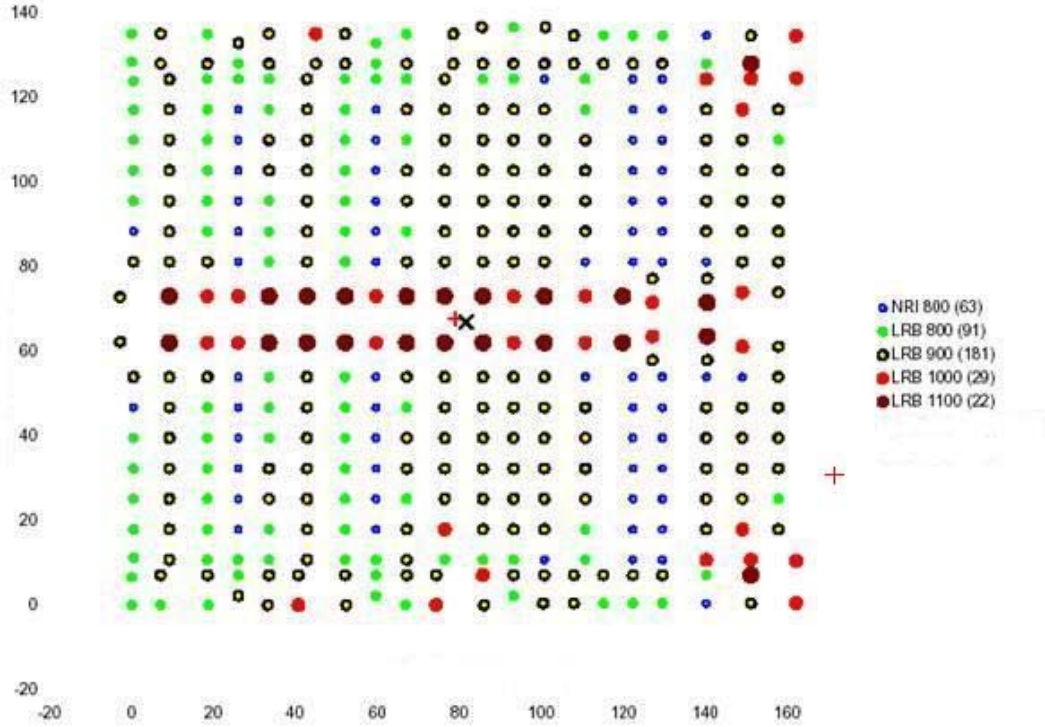
Yapının statik projesinin hazırlanmasında IBC 2003 (Amerikan Yönetmeliği) ve Türkiye Deprem Yönetmeliği kullanılmıştır. Sismik izolasyon uygulanmış yapının analizi için önce IBC (2003) ‘de öngörölmüş olan izolatörlerin visko-elastik davranış göstermesine dayalı olarak spektral analiz metodu kullanılmıştır. MCE deprem seviyesi için yapılan hesaplamalarda 4 km fay uzaklığında  $M_w =6.7$  aletsel büyüklüğünde bir deprem göz önüne alınmıştır. Tasarımda alınan bu deprem kaydı 1992 Erzincan depreminde elde edilen deprem kayıtlarına benzeştirilerek kullanılmıştır. Şartname kapsamında sismik izolasyon katının üzerinde ve altındaki yapıların tasarımı için DBE deprem yer hareketi, kullanılan izolatörlerin tasarımında ise MCE deprem yer hareketi kullanılmıştır.

Kullanılan izolatörle 80cm, 90cm, 100cm ve 110cm çaplarında 386 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB) olup, 80cm olan izolatörlerin bir kısmında kurşun çekirdek bulunmamaktadır. Şekil 5.10’ da kullanılan izolatörlerden birinin boyutlar ve yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 5.10 : Kullanılan izolatörlerin boyutları ve yerleştirilme detayı.

Kullanılan izolatörlerin değişik tipleri için konumları Şekil 5.11’ de sunulmuştur.



Şekil 5.11 : Sismik izolatörlerin yerleşim planı.

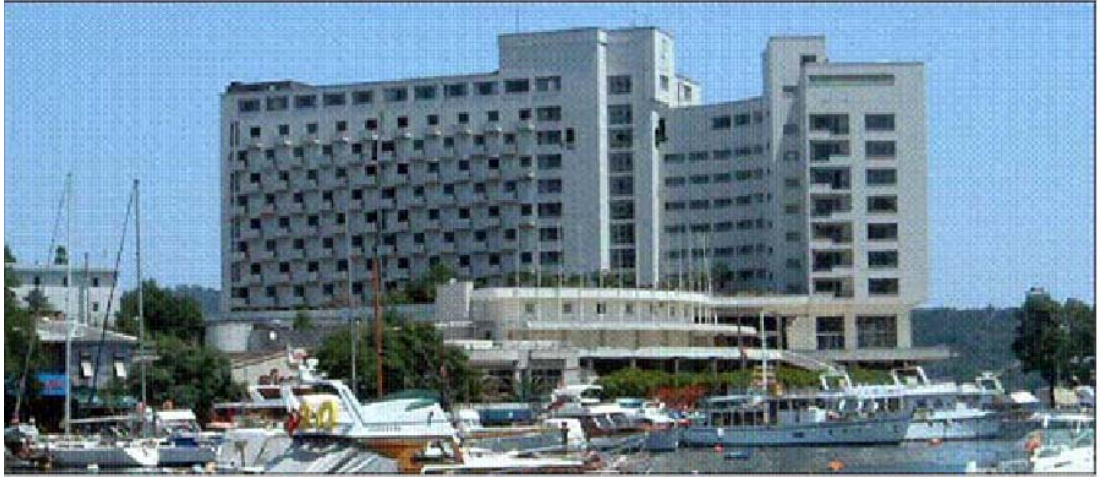
Kullanılan izolatörlerin üretiminde C2 tip kauçuk kullanılmıştır. Kauçuk malzemenin nominal kayma modülü 0.55 MPa ( $G_{kauçuk}$ ), kurşun malzemenin nominal kayma modülü ise 8.3 MPa ( $G_{kurşur}$ )’dır.



İzolatörler MCE seviyesi (tasarımda kullanılan 2. seviye deprem yer hareketi) depremi altında maksimum 50 cm ortalama deplasmana maruz kalıp, kauçuk malzeme % 140 daha fazla kayma birim yer değiştirmesi yapacak şekilde seçilmişlerdir. IBC (2003) şartnamesine göre birinci seviye deprem yer hareketi (DBE) ne göre hastane binasının sismik izolasyon düzleminin üst kotunda toplam öteleme 0.2cm, en büyük görelî kat ötelemesi ise 0.0004cm gibi çok küçük seviyelerde olduğundan yapıya uygulanan sismik izolasyonun beklenen performansı gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

### 5.3 Tarabya Oteli Güçlendirme Uygulaması

Yapı güçlendirilme uygulaması öncesinde Şekil 5.12’de görüldüğü gibi; on ve onbir katlı otel bloklarından ve servis binalarından oluşmaktadır.



Şekil 5.12 : Tarabya Oteli genel görünüşü.

Otelin taşıyıcı sistemi ise çerçevelerden oluşmakta ve açıklıklar 3m-5m arasında değişmektedir. Yapıda düşük düktiliteli, basınç dayanımı 15-20 MPa aralığında değişen beton kullanılmıştır. Döşemeler tek ve çift doğrultuda çalışan plak şeklindedir. Deprem yönetmeliğine göre yapının yerel zemin sınıfı “Z1”dir. Yapı 2.5m x 2.5m x 0.5m ebatlarında münferit temellere oturtulmuştur. Yapının statik deprem hesabı 1949 tarihli deprem haritası esas alınarak 1961 öncesi deprem şartnamesine göre yapılmıştır.

Yapılan incelemeler perde duvar ilavesi ve yapısal elemanların mantolanması gibi konvansiyonel yöntemlerle yapılacak yapısal güçlendirmenin binanın mimari özelliğini bozacak ve otel fonksiyonunu kaybetmesine yol açacak ölçüde yoğun bir

yapısal müdahale gerektireceğini ortaya koymuştur. Bina ile ilgili tüm yapısal bulgular, mimari fonksiyon sınırlamaları ve istenen performans kriterleri kapsamında en rasyonel güçlendirme çözümü yüksek otel bloklarında deprem yalıtımı ve sınırlı oranda perde duvarları ilavesi ile deprem güçlendirmesi, diğer az katlı hizmet bloklarında ise konvansiyonel metodların kullanılması olarak bulunmuştur. [7]

Yapının güçlendirme projesi Tuncel Mühendislik firması, uygulaması ise DO-KA şirketi tarafından yapılmıştır. Kullanılan izolatörler EPS şirketi tarafından üretilmiştir.

Yapının güçlendirmesi için mevcut betonarme taşıyıcı kolonlar, tekrar betonarme ile takviye edilmiş ve Şekil 5.13’de görüldüğü gibi ortalarından kesilerek araya izolatörler yerleştirilmiştir. Sismik izolasyon yalıtımı için 139 adet sürtünmeli sarkaç tipinde izolatör kullanılmıştır. Yalıtım ara yüzü (sismik izolasyon kesitinin yer aldığı bina ara kesiti) olarak zemin kat kolonları ortasından geçen bir düzlem seçilmiştir. Kullanılan izolatörler %4 sürtünme katsayısına sahiptirler.



**Şekil 5.13 : Yalıtım ara yüzü.**

Kullanılan 139 adet sürtünmeli sarkaç tipinde izolatörün 33 adedi A, 106 adedi B tipi olarak adlandırılmış olup, izolatörlerin özellikleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

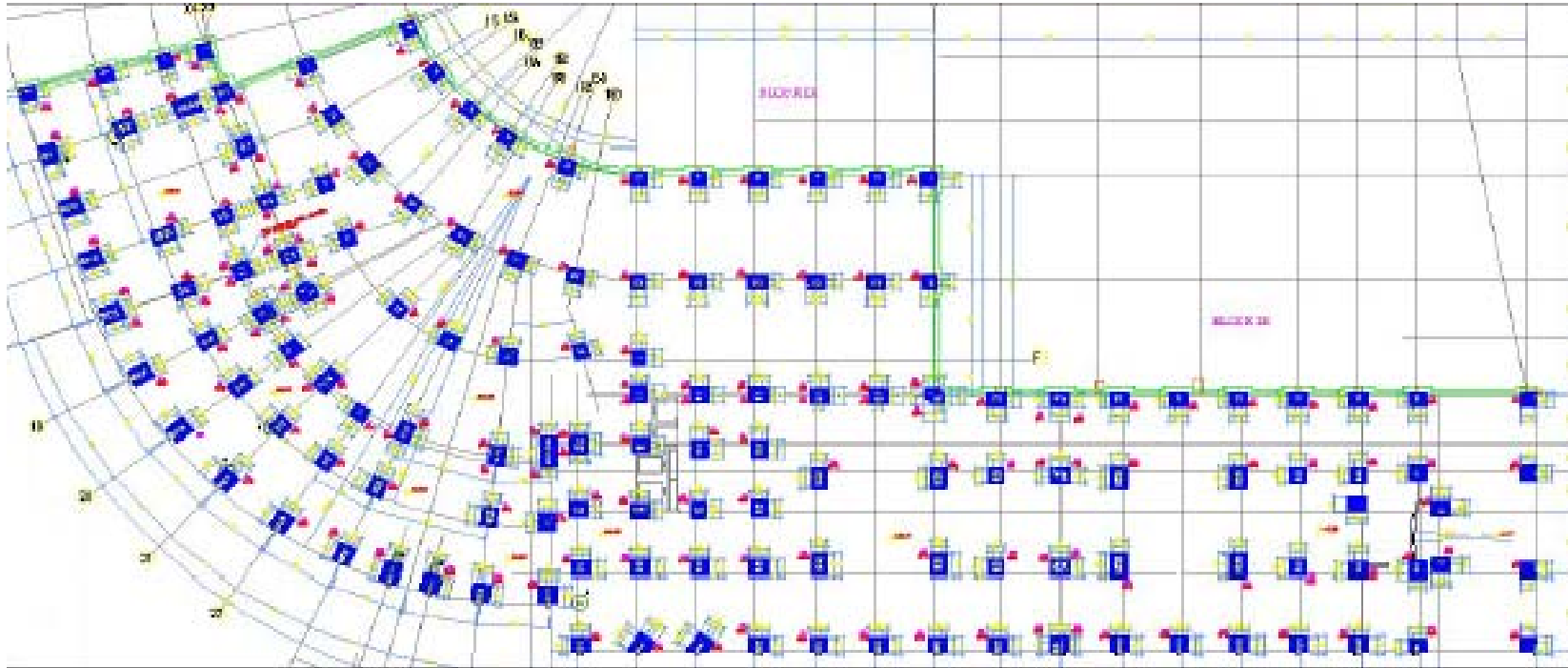
**Çizelge 5.1 : Tarabya Oteli izolatör özellikleri.**

Özellik	Tip A İzolatör	Tip B İzolatör
Düşey Yük Kapasitesi	1.5MN	1.5MN - 4.5MN
Yer Değiştirme Kapasitesi	28cm	28cm
Eğrilik Yarıçapı	2235mm	2235mm
Sürtünme Katsayısı	0.04-0.05	0.04-0.06
DBE Yer değiştirme seviyesi	8cm	8cm
MCE Yer değiştirme seviyesi	19cm	19cm

Deprem güçlendirmesi tasarımının tüm evrelerinde FEMA-356 (2000) şartnamesi 9. bölümünde yer alan deprem yalıtımı kullanılarak güçlendirme yönetmeliği esas alınmıştır. Tarabya Oteli deprem güçlendirme projesi için mal sahibi tarafından uygun görülen performans kriteri FEMA-356 (2000)' de öngörülen “gelişmiş rehabilitasyon onjektifi”ne eş düşmektedir. Meydana gelmesi kuvvetle tahmin edilen “İstanbul” depreminde (BSE-1 tasarım depremi) “kullanımda kalma” performans kriteri, 50 yılda %2 aşılma olasılığına haiz BSE-2 tasarım deprem yer hareketinde ise “can emniyeti” performans kriteri kabul edilmiştir.[7]

FEMA-356 (2000) şartnamesine göre BSE-1 tasarım depreminin otele yaklaşık 32km mesafede bulunan Ana Marmara Fayı'nda oluşacak 7.5 büyüklüğünde bir depremin yaratacağı yer hareketinin özelliklerini taşıdığı göz önüne alınmıştır. Yapının modellenmesinin ve analizinin ardından ilk üç modal titreşim frekansı 2.68s, 2.67s ve 2.55s olarak elde edilmiştir.

Yapının güçlendirme uygulaması öncesinde mevcut durumunda yapılan statik itme analizinde yatay yük kapasitesinin %3g civarında olduğu belirlenmiştir. Güçlendirme projesi kapsamında BSE-1 deprem yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilen analizde B-C zemin sınıflarına göre, 0.2 sn (% 5 sönüm) ve 1 sn periyot için sırasıyla bulunan spektral ivme değerleri 0.57g ve 0.28g' dir. BSE-2 deprem yer hareketinin tahmini için gerçekleştirilen analizde ise zemin sınıflarına göre, 0.2 sn (% 5 sönüm) ve 1 sn periyot için sırasıyla bulunan spektral ivme değerleri 0.85g ve 0.42g' dir.



Şekil 5.14 : Tarabya Oteli izolator yerleşim planı.

## 6. TABAN İZOLASYONU UYGULAMASI

### 6.1 Giriş

Ülkemizde yapısal kontrol sistemlerinin özellikle de sismik izolasyonun yeni yapılan binalarda ya da güçlendirme çalışmalarında uygulanmaya başlanması yakın geçmişte dayanmaktadır. Bu çalışmaların uygulanma kriterleri için henüz ulusal bir yönetmelik düzenlenmediğinden mühendisler tarafından tasarım aşamasında Amerikan Yönetmelikleri (UBC 1997, IBC 2000, IBC 2006), FEMA-356, AASHTO-1999 ve Avrupa Yönetmeliği EC-8 kullanılmaktadır.

Bu bölümde; yeni inşaa edilmesi düşünülen bir yapı ilk önce ankastre mesnetli düşünülerek modellenmiş daha sonra aynı yapıya sismik taban izolasyonu uygulanarak (yüksek sönümlü doğal kauçuk elastomerler ile) tekrar modellenerek sonuçta sismik izolasyonun uygulanması durumunda yapının taşıyıcı sisteminde ne gibi etkiler yarattığı incelenmiştir.

Tez kapsamında sismik izolatörlere ait mekanik özelliklerin belirlenerek hesaplanmasında UBC 1997 Yönetmeliği'ndeki kıstaslara göre hesaplanmış, IBC 2000, Fema 356 yönetmeliklerinden de yararlanılmıştır

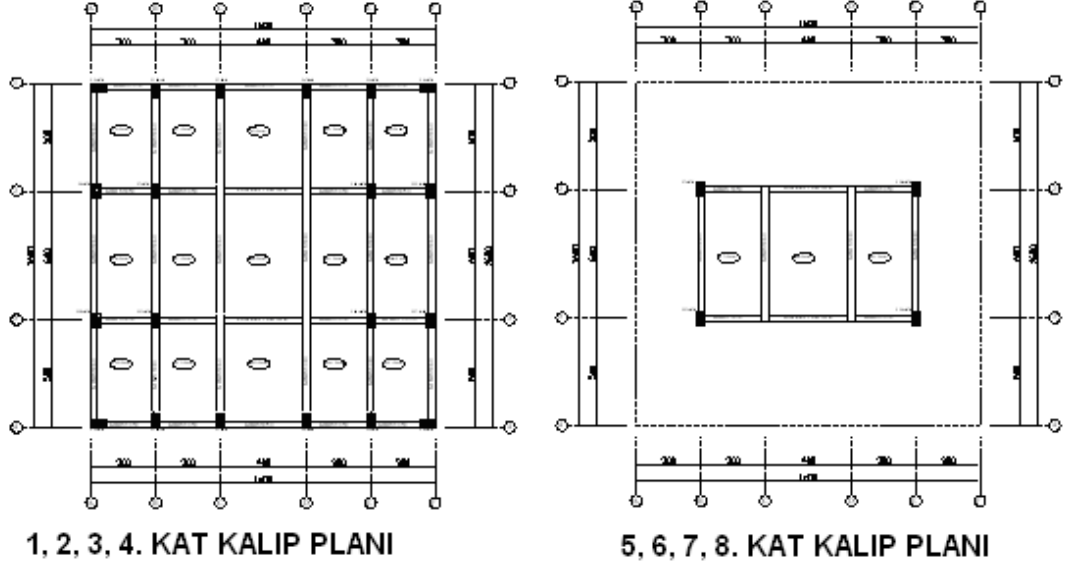
Seçilen yapının analizinde Sap 2000 Versiyon 9.03 (Structural Analysis Program) paket programı kullanılmıştır. Sap 2000 programında modellemede kullanılacak olan yapısal link elemanları (Lineer, Multilineer, Gap, Hook, Damper, Plastic (Wen), Plastic (Kinematik), Rubber Isolator (Kauçuk İzolatör), Sliding İzolatör (Kayıcı İzolatör) farklı şekillerde atanacak özelliklere göre lineer, nonlineer ve frekans bağımlı olarak tanımlanabilmektedir. Tez kapsamında taban izolasyon uygulanacak modelde yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör kullanılmış (HDNR) ve Sap 2000 programında nonlineer Time History analiz yapılırken izolatörlerin modellenmesinde Rubber Isolator özelliği seçilmiştir.

## 6.2 Yapının Tanıtımı

Modelleme için seçilen yapı, 8 normal kattan oluşan, x yönünde 5, y yönünde 3 açıklıklı ve kullanım amacı konut olan bir yapıdır. Yapının son üç katı kule şeklinde yükselmektedir. Yapının taşıyıcı sistemi perde çerçeve sistemidir. Deprem hesapları sırasında yapının kütlesi tanımlanırken, toplam hareketli yükün %30'u alınarak hesaplara dâhil edilmiştir. Kolon, perde, kiriş zati ağırlıklar programa hesaplatılırken; döşeme zati ağırlığı, döşeme ilave ağırlığı (kaplama ve tesviye), döşeme hareketli yükler elde hesaplanarak programa ayrıca girilmiştir. Yapıya ait mimari ve statik detaylar aşağıda verilmiştir.

Döşeme Sistemi	Plak döşeme
Döşeme Kalınlığı	14 cm
Kiriş Kesitleri( X / Y yönünde)	30x50 / 30x60
Kolon Kesitleri	40x70
Perde	25x400
Beton Sınıfı	C25
Kat Yükseklikleri	3 m
Hareketli yük (q)	2 kN/m <sup>2</sup>
Duvar Kalınlığı	20 cm
Dış Kiriş Duvar Yüğü	8.16kN/m <sup>2</sup>
Yapı Toplam Ağırlığı	16196.48 kN

Deprem kaydı olarak 19.05.1940 tarihinde meydana gelen El Centro depreminin kuzey-güney doğrultusundaki ivme bileşeni X doğrultusunda yapıya etki ettirilmiştir. Veriler 0.02 sn aralıkla olmak üzere 40 sn lik depremin ivme değeridir. Seçilen yapı modeline ait kalıp planları Şekil 6.1' de sunulmuştur.



Şekil 6.1 : Örnek yapı modeline ait kalıp planları.

### 6.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör Uygulaması için Statik Analiz

Statik analiz, tüm sismik izolasyon tasarımları için zorunlu bir adımdır. Nedeni, statik analizin hesaplanması gereken tasarım deplasmanları ve tasarım kuvvetleri için minimum şartları oluşturmasıdır. Ayrıca dinamik analiz yapılması gerekli durumlarda da bir ön tasarım anlamı taşımaktadır.

Statik analizde kullanılan izolatöre ait mekanik özelliklerin belirlenmesi için UBC 97 ve IBC 2006 yönetmelikleri kıstaslarına uyulmuştur. İlk olarak statik analizde kullanılacak olan değerlerin alındığı tablolar verilmiştir.

#### Ön Tasarım

- Seçilen sismik bölge faktörü 4.bölge;  $z = 0.40$  UBC97- Table 16-I

Çizelge 6.1 : Sismik bölge faktörü.

Bölge	1	2A	2B	3	4
<b>Z</b>	0.075	0.15	0.2	0.3	0.4

- Seçilen bölge zemin cinsi;  $S_B$  UBC97- Table 16-J

**Çizelge 6.2 : Bölge zemin cinsi.**

Zemin Profil Tipi	Zeminin Tanımı	Zeminin En Üst Seviyesi 30.50 m' sindeki Özelliklerine Bağlı Kayma Hızı		
		Kayma Dalga Hızı (m/sn)	Standart Penetrasyon Testi (Blows/foot)	Akısız Kayma Mukavemeti (kPa)
$S_A$	Sert Kaya	> 1500	–	–
$S_B$	Kaya	760 – 1500	–	–
$S_C$	Yumuşak Kaya	360 – 760	> 50	> 100
$S_D$	Sıkı Zemin	180 – 360	15 – 50	50 – 100
$S_E$	Yumuşak Zemin	< 180	>15	< 50
$S_F$	Sıvılaşma Tehlikesi Olan Zayıf Zemin			

- Seçilen sismik kaynak tipi; Tip A UBC97- Table 16-U

**Çizelge 6.3 : Sismik kaynak tipi.**

Kaynak Tipi	Magnitüd (M)	Kayma Oranı (SR)
A	$M \geq 7$	$SR \geq 5$ mm
B	$6,5 < M < 7$	$2 < SR < 5$ mm
C	$M < 6,5$	$SR \leq 2$ mm

- Kaynak tipine göre seçilen kaynak yakınlık faktörleri;  $N_a=1$   $N_v=1.2$

( $\Delta > 10$  km) UBC97-Table 16-S / T

**Çizelge 6.4 : Sismik kaynak faktörü ( $N_a$ ).**

Sismik Kaynak Tipi	$N_a$		
	$\leq 2$ km	5 km	$\geq 10$
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0



**Çizelge 6.5 : Sismik kaynak faktörü ( $N_V$ ).**

Sismik Kaynak Tipi	$N_V$			
	$\leq 2$ km	5 km	$\geq 10$	$\geq 15$
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

- $Z N_V=0.48$  için alınan olabilecek maksimum deprem tepki katsayısı;  
 $M_M = 1.25$  UBC97-TableA-16-D

**Çizelge 6.6 : Meydana gelebilecek maksimum deprem katsayısı.**

Tasarım Depremi Sarsıntı Şiddeti $Z N_V$	Olabilecek Maksimum Deprem Katsayısı $M_M$
0,075	2,67
0,15	2,00
0,20	1,75
0,30	1,50
0,40	1,25
$\geq 0,50$	1,20

- Seçilen sismik deprem katsayıları;  $C_{VD}=0.48$   $C_{AD}=0.40$   
UBC 97-Table 16-R / Q

**Çizelge 6.7 : Sismik deprem katsayısı ( $C_V$ ).**

Zemin Tipi	Sismik Deprem Katsayısı $C_V$				
	$Z=0,075$	$Z=0,15$	$Z=0,20$	$Z=0,30$	$Z=0,40$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32 N_V$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40 N_V$
$S_C$	0,13	0,25	0,32	0,45	$0,56 N_V$
$S_D$	0,18	0,32	0,40	0,54	$0,64 N_V$
$S_E$	0,26	0,50	0,64	0,84	$0,96 N_V$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir.				

**Çizelge 6.8 : Sismik deprem katsayısı ( $C_A$ ).**

Zemin Tipi	Sismik Zemin Faktörü, Z				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32 $N_A$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 $N_A$
$S_C$	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40 $N_A$
$S_D$	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44 $N_A$
$S_E$	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36 $N_A$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir.				

Seçilen sismik zemin katsayıları;  $C_{AM}=0.5$   $C_{VM}=0.6$  UBC97-Table A-16-F

**Çizelge 6.9 : Sismik deprem katsayısı ( $C_{AM}$ ).**

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti, $M_M Z N_A$				
	$M_M Z$ $N_A=0,075$	$M_M Z$ $N_A=0,15$	$M_M Z$ $N_A=0,2$	$M_M Z N_A=0,3$	$M_M Z N_A=0,4$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	0,8 $M_M Z N_A$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	1,0 $M_M Z N_A$
$S_C$	0,09	0,18	0,20	0,30	1,0 $M_M Z N_A$
$S_D$	0,12	0,22	0,28	0,36	1,1 $M_M Z N_A$
$S_E$	0,19	0,30	0,34	0,36	0,9 $M_M Z N_A$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir.				

**Çizelge 6.10 : Sismik deprem katsayısı ( $C_{VM}$ ).**

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti, $M_M Z N_V$				
	$M_M Z$ $N_V=0,075$	$M_M Z$ $N_V=0,15$	$M_M Z$ $N_V=0,2$	$M_M Z N_V=0,3$	$M_M Z N_V=0,4$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	0,8 $M_M Z N_V$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	1,0 $M_M Z N_V$
$S_C$	0,13	0,25	0,32	0,45	1,4 $M_M Z N_V$
$S_D$	0,18	0,32	0,40	0,54	1,6 $M_M Z N_V$
$S_E$	0,26	0,50	0,64	0,84	2,4 $M_M Z N_V$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir.				

- Seçilen yapısal sistem azaltma katsayısı;  $R_1=2$  UBC97-Table A-16-E

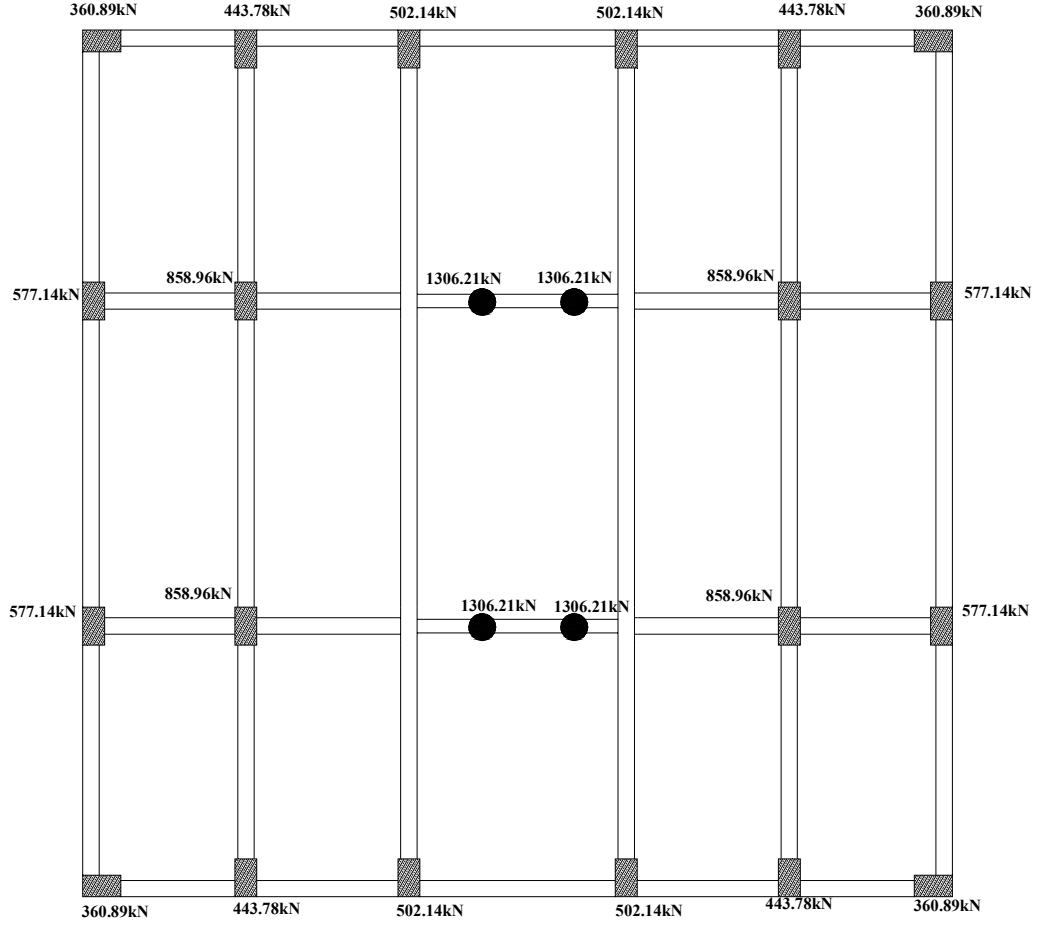
**Çizelge 6.11 : Süneklığe bağlı azaltma faktörleri.**

Taşıyıcı Sistem	$R_1$	R
Moment Aktaran çerçeve	2.0	8,5
Perde duvar	2.0	5,5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1,6	5,6
Dışmerkez çaprazlı çerçeve	2.0	7,0

- Seçilen sönüm katsayıları (HDR);  $B_D, B_M = 1.2$  UBC97- TableA-16-C  
( İzolatörler için %10 sönüm alınmıştır)

**Çizelge 6.12 : Sönüm katsayıları.**

Efektif Sönüm ( $\beta_i$ ) (Kritik sönümün yüzdesi olarak)	Sönüm Katsayısı B
%2 ve aşağısı	0,8
%5	1,0
%10	1,2
%20	1,5
%30	1,7
%40	1,9
%50 ve yukarısı	2,0



Şekil 6.2 : Her bir izolatöre gelen düşey ağırlıklar ve yerleşim planı.

- Statik analizde ön tasarım için, hedef periyotlar  $T_D = 2.5$  sn ve  $T_M = 2.8$ sn alınarak izolatöre gelen düşey ağırlıklara göre hesaplanan minimum yatay rijitlikler aşağıdaki çizelgedeki gibi bulunmuştur.

**Çizelge 6.13 : Kauçuk izolatör minimum yatay rijitlik değerleri.**

Tasarım Deplasmanındaki Efektif Rijitliğin Minimumu			Tasarım Deplasmanındaki Efektif Rijitliğin Maksimumu		
Sembol	Birim		Sembol	Birim	
$K_{D,min}$	kN/m	232.13	$K_{D,max}$	kN/m	283.71
	kN/m	285.45		kN/m	317.16
	kN/m	322.99		kN/m	394.04
	kN/m	371.23		kN/m	452.90
	kN/m	552.51		kN/m	674.06
	kN/m	840.20		kN/m	1025
Maksimum Deplasmandaki Efektif Rijitliğin Minimumu			Maksimum Deplasmandaki Efektif Rijitliğin Maksimumu		
Sembol	Birim		Sembol	Birim	
$K_{M,min}$	kN/m	185.05	$K_{M,max}$	kN/m	225.76
	kN/m	227.51		kN/m	277.56
	kN/m	257.43		kN/m	314.06
	kN/m	295.88		kN/m	360.97
	kN/m	440.36		kN/m	537.23
	kN/m	669.66		kN/m	816.98

- İzolasyon sisteminin toplam yatay rijitliği ( $K_{eff}$ ); 16464 kN/m
- Efektif sistem titreşim periyodu ( $T_D$ ); 1.98 sn
- Efektif sistemde toplam sönüm ( $\beta$ ); %11
- Tasarım deprem seviyesi için deplasman ( $D_D$ ); 0.19 m
- Minimum tasarım kuvveti;
- İzolasyon katına ait taban kesme değeri ( $V_b$ ); 3127.4 kN
- Minimum tasarım kuvveti;

Üstyapının tasarımı için taban kesme değeri ( $V_s$ ); 1564.08 Kn

Bütün durumlarda hesaplanan  $V_s$  değeri;

- UBC şartlarının ankastre mesnetli yapılar için öngördüğü deprem kuvvetinden,
- Tasarım rüzgar yükünden,

- Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler için akma yükü, kayıcı mesnetler için kayma sınırı olarak tanımlanabilen izolasyon sistemini tam olarak harekete geçirecek yatay kuvvetin 1.5 katından

az olamaz. Bu durumda örnek yapı ankastre modeli için  $V_s$  değeri;

$$V_{ankastre} = \frac{C_v I}{R T_D} W \geq 0.11 C_a I W \quad (6.1)$$

$$V_{ankastre} = \frac{0.48 \times 1}{5.5 \times 1.98} 16196.48 \geq 0.11 \times 0.40 \times 1 \times 16196.48$$

$$V_{ankastre} = 713.89 \geq 712.64 \quad \text{büyük değer kullanılırsa;}$$

$$V_s = 1564.08 \text{ kN} \geq V_{ankastre} = 713.89 \text{ kN}$$

Olacağından;  $V_s$  değeri için UBC 97 Division IV requirement, 1658.4.3 (IBC 1623.2.5.3) şartı sağlanmıştır.

- Yatay Deprem Yükünün Katlara Dağılımı

Yatay deprem kuvvetlerinin yapı yüksekliğince katlara dağılımı UBC-97 yönetmelik şartlarına göre her kat için aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$F_x = V_s \frac{h_x W_x}{\sum_{i=1}^N (W_i h_i)} \quad (6.2)$$

$$\sum_{i=1}^N (W_i h_i) = 162840.6 \text{ kN}$$

$$F_1 = 1564.08 \times \frac{3 \times 3146.6}{162840.6} = 90.66 \text{ kN}$$

$$F_2 = 1564.08 \times \frac{6 \times 3146.6}{162840.6} = 181.33 \text{ kN}$$

$$F_3 = 1564.08 \times \frac{9 \times 3146.6}{162840.6} = 272 \text{ kN}$$

$$F_4 = 1564.08 \times \frac{12 \times 2978.7}{162840.6} = 343.3 \text{ kN}$$

$$F_5 = 1564.08 \times \frac{15 \times 903.3}{162840.6} = 130.1 \text{ kN}$$

$$F_6 = 1564.08 \times \frac{18 \times 903.3}{162840.6} = 156.1 \text{ kN}$$

$$F_7 = 1564.08 \times \frac{21 \times 903.3}{162840.6} = 182.1 \text{ kN}$$

$$F_8 = 1564.08 \times \frac{24 \times 903.3}{162840.6} = 208.2 \text{ kN}$$

Ön tasarımda hesaplanan değerlere göre izolatörler boyutlandırılmıştır.

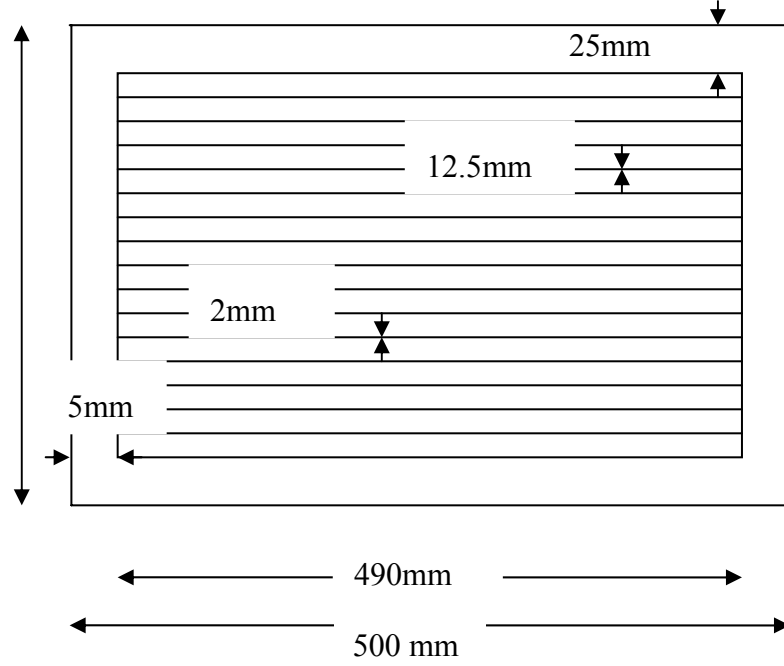
**Çizelge 6.14 : Kauçuk izolatör boyutları.**

	Sembol	Birim	
Her bir çelik levha kalınlığı	-	m	0.002
Elastomer (Kauçuk Tabaka) Çapı	D	m	0.50
Toplam Kauçuk Tabaka Yüksekliği (Kalınlığı)	$t_r$	m	0.20
Kauçuk Tabaka Kesit Alanı	A	$m^2$	0.196
Bir Adet Kauçuk Tabaka Kalınlığı	t	m	0.0125
Şekil faktörü	S	-	10
Kauçuk Tabaka Adedi	-	-	16
Çelik Tabaka Adedi	-	-	15

İzolatör yüksekliği hesaplanmak istenirse; 25mm çelik kapamalar, kauçuk tabaka kalınlığı ve çelik levhaların toplam kalınlığı toplanır.

$$H = 25 \times 2 + 12.5 \times 16 + 15 \times 2$$

$$H = 280 \text{ mm}$$



**Şekil 6.3 :** Tasarlanan izolatör detayı.

Yapının kauçuk elastomerlerle taban izolasyonu uygulamasında, izolatörlere gelen yük sonucu zorlanmalarına ve konumlarına bağlı olarak iki farklı tip yüksek sönümlü kauçuk izolatör tasarlanmıştır. Tüm kolon altlarına A tipi kauçuk izolatör (toplam 20 adet), merkez perdelerde ise her perdenin altına ikişer adet B tipi kauçuk izolatör (toplam 4 adet) konulmuştur. İzolatörlerin özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

**Çizelge 6.15 :** A Tipi Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetin Özellikleri.

Tip: A TİPİ	Sembol	Birim	
Mesnet Adedi (Kolon altına)	–	–	20
Kayma Şekil Değişirme Katsayısı	$\gamma$	–	1.5
Kauçuğun Düşük Şekil Değişimlerindeki Kayma Modülü	G	Mpa	0.8
Kauçuğun Yüksek Şekil Değişimlerindeki Kayma Modülü	G	Mpa	0.6
Yükleme Modülü	$E_c$	kN/m <sup>2</sup>	387.09
Malzemenin Hacim Modülü	K	Mpa	2000
Düşey Rijitlik	$K_v$	kN/m	379.34
İzolatör Katı Toplam Düşey Rijitliği	$\Sigma K_v$	kN/m	10129.4
Basınç Etkisi Altında Kauçukta Oluşan Kayma Şekil Değişimi	$\gamma_c$	–	0.2
Kritik Burkulma Yüğü	$P_{kritik}$	kN	3670



**Çizelge 6.16 : B Tipi Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetin Özellikleri.**

Tip: B TİPİ	Sembol	Birim	
Mesnet Adedi (Perde Altın)	–	–	4
Kayma Şekil Değişirme Katsayısı	$\gamma$	–	1.5
Kauçuğun Düşük Şekil Değişimindeki Kayma Modülü	G	Mpa	1.6
Kauçuğun Yüksek Şekil Değişimindeki Kayma Modülü	G	Mpa	1.2
Yükleme Modülü	$E_c$	kN/m <sup>2</sup>	648.64
Malzemenin Hacim Modülü	K	Mpa	2000
Düşey Rijitlik	$K_v$	kN/m	635.66
İzolator Katı Toplam Düşey Rijitliği	$\Sigma K_v$	kN/m	10129.4
Basınç Etkisi Altında Kauçukta Oluşan Kayma Şekil Değişimi	$\gamma_c$	–	0.2
Kritik Burkulma Yüğü	$P_{kritik}$	kN	6720

### **Kesin Tasarım**

Taban izolasyonu uygulanacak yapının Sap 2000 programı ile zaman tanım alanında (Nonlinear Time History) analiz yöntemine göre modelinin oluşturulmasına geçilir. Modelde izolatörlerin özelliklerine bağlı olarak programa girilen veriler tablolarda gösterilmiştir.

**Çizelge 6.17 : SAP 2000 programında A Tipi İzolatör Tanımlamasında Kullanılan Veriler.**

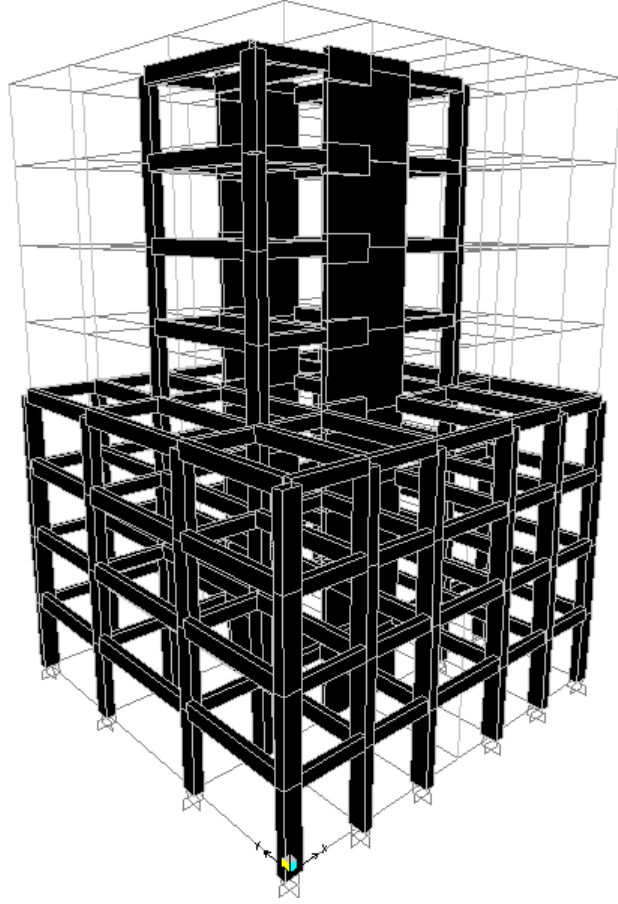
RUBBER ISOLATOR			ÖZELLİK					
			Sembol Birim			Sembol Birim		
			LİNEER			NONLİNEER		
DOĞRULTU	U1 DÜŞEY	RIJİTLİK	$K_v$	kN/m	379348			–
	U2 (YATAY)	RIJİTLİK	$K_{eff}$	kN/m	994.84	$K_1$	kN/m	3528
		AKMA DAYANIMI			–	$F_y$	kN	91.72
		AKMA SONRASI RIJİTLİK ORANI			–	$K_2 / K_1$	–	0.1667
	U3 (YATAY)	RIJİTLİK	$K_{eff}$	kN/m	994.84	$K_1$	kN/m	3528
		AKMA DAYANIMI			–	$F_y$	kN	91.72
		AKMA SONRASI RIJİTLİK ORANI			–	$K_2 / K_1$	–	0.1667

**Çizelge 6.18 : SAP 2000 programında B Tipi İzolatör Tanımlamasında Kullanılan Veriler.**

RUBBER ISOLATOR			ÖZELLİK					
			Sembol Birim			Sembol Birim		
			LİNEER			NONLİNEER		
DOĞRULTU	U1 DÜŞEY	RİJİTLİK	$K_v$	kN/m	635667			–
	U2 (YATAY)	RİJİTLİK	$K_{eff}$	kN/m	1794.68	$K_1$	kN/m	7056
		AKMA DAYANIMI			–	$F_y$	kN	134.06
		AKMA SONRASI RİJİTLİK ORANI			–	$K_2 / K_1$	–	0.1667
	U3 (YATAY)	RİJİTLİK	$K_{eff}$	kN/m	1794.68	$K_1$	kN/m	7056
		AKMA DAYANIMI			–	$F_y$	kN	134.06
		AKMA SONRASI RİJİTLİK ORANI			–	$K_2 / K_1$	–	0.1667

#### 6.4 Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör Uygulaması İçin Dinamik Analiz

Bu kısımda Sap 2000 V11. programı ile yapı ankastre mesnetli model ve taban izolasyonu uygulanmış model olarak iki şekilde zaman tanım alanında analiz edilmiştir.



**Şekil 6.4 :** Örnek yapı modeline ait üç boyutlu görünüş.

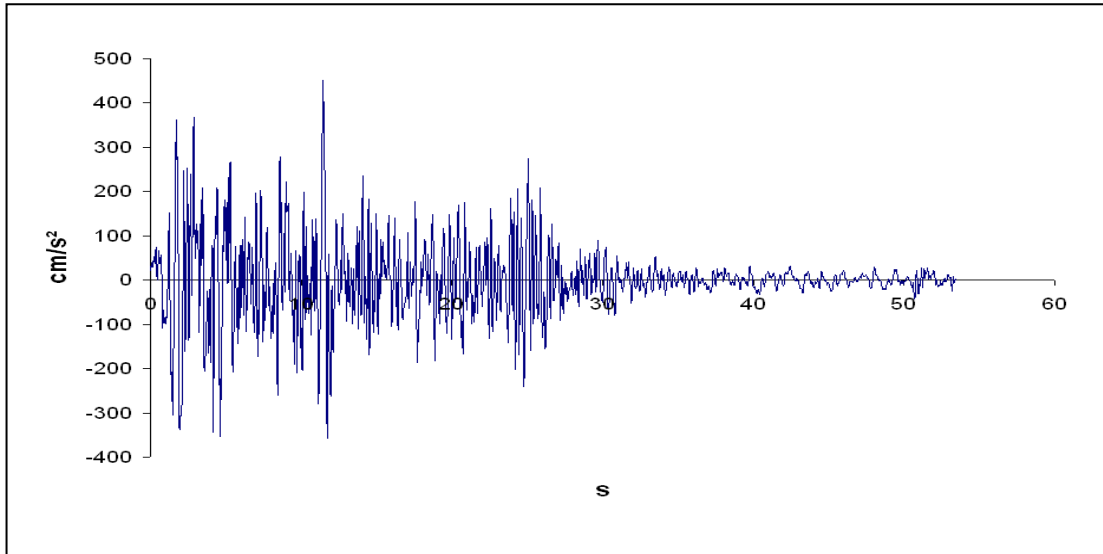
Analizlerde 19 Mayıs 1940 El Centro Depremi'nin kuzey-güney ivme bileşeni kullanılmıştır. Nonlineer zaman tanım alanında dinamik analizde bina sönümü girilmemiş böylece yapının nerdeyse sönümsüz davranması sağlanarak, tüm sönüm gereksinimi izolatörlerce sağlatılmıştır. Bu nedenle yapını yaklaşık %5 olan sönüm yeteneği ihmal edildiğinden görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri gibi değerlerin gerçek değerlerinden bir miktar daha yüksek bulunacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Analizlerde 53.48 sn' lik deprem kaydının 40 sn' lik kısmı kullanılmıştır. Sap 2000 programında modelleme yapılırken deprem kaydı tek yönlü alındığından sonuçlar sadece tek yönde (X yönünde) irdelenecektir.

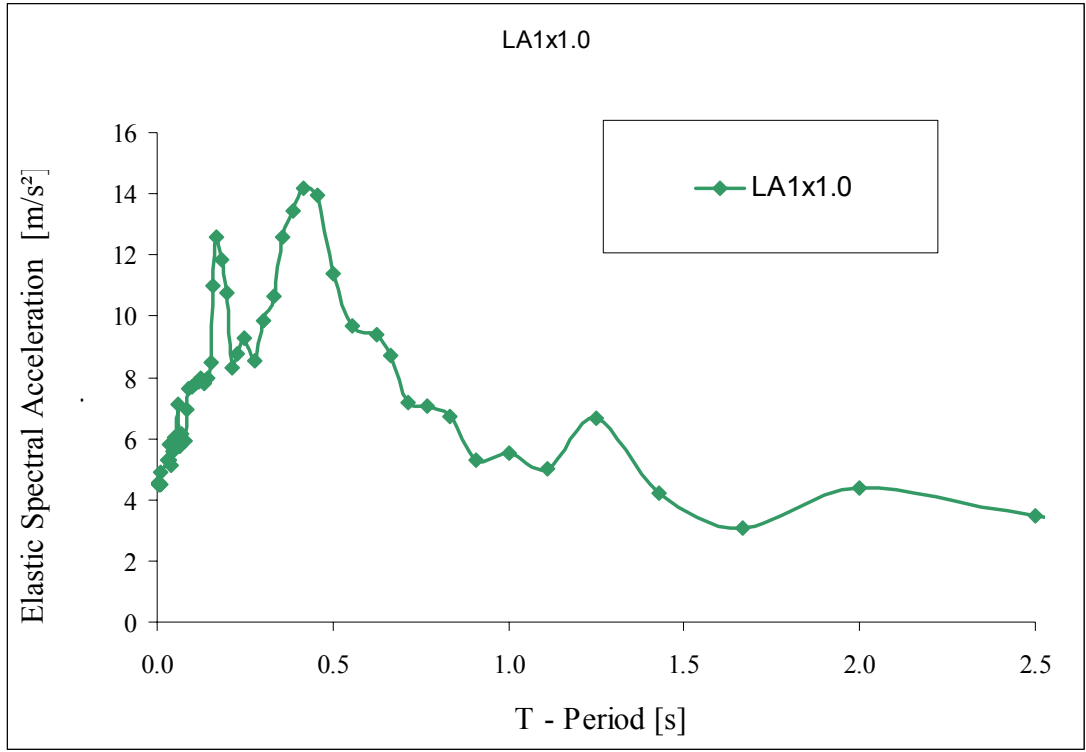
**Çizelge 6.19** : Analizde kullanılan deprem kaydının özellikleri.

	Birim	
Yeri	–	El Centro, Imperial Valley
Deprem Büyüklüğü	$M_w$	6,9
Maksimum İvme	$\text{cm/sn}^2$	452,03
Tarih	–	19.05.1940
Yön	–	Kuzey-güney
Uzaklık	km	10
Veri Adedi	–	2.674
Zaman Aralığı	sn	0,02
Süre	sn	40

Dinamik analizlerde kullanılan El Centro Depremi kuzey-güney bileşeni ivme-zaman grafiği aşağıdaki gibidir.



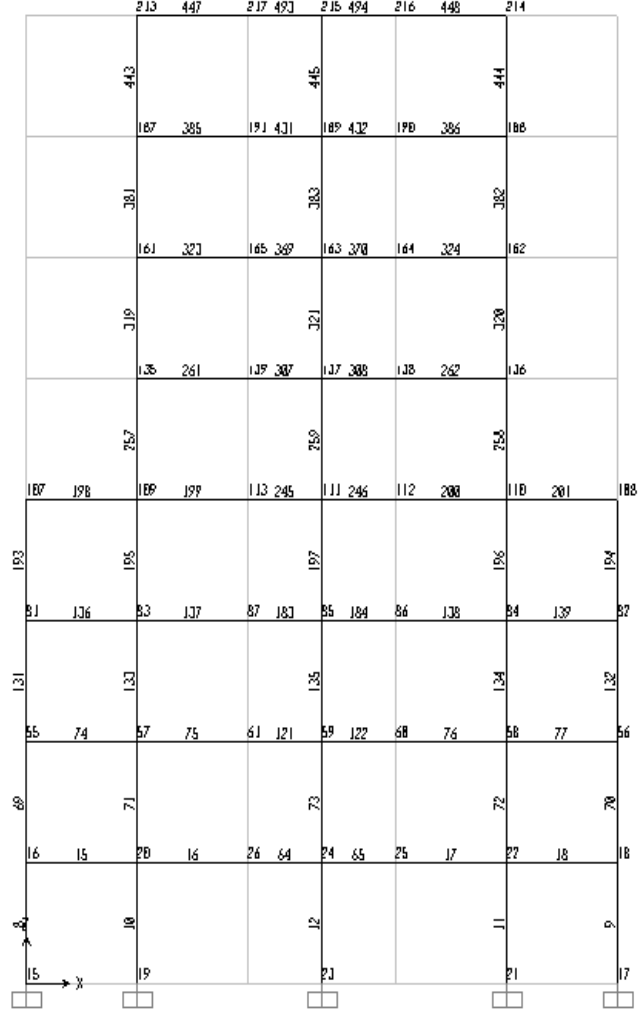
**Şekil 6.5** : El Centro Depremi kuzey-güney Bileşeni.



Şekil 6.6 : El Centro Depremi kuzey-güney bileşeni ivme spektrumu.

### 6.5 Dinamik Analiz Sonuçları

Ankastre mesnetli model ve taban izolasyonu uygulanmış model olarak iki şekilde zaman tanım alanında analiz yapıldıktan sonra; önce x-z düzlemi (y=5) 2-2 aksında (fiktif çubuk eleman olarak tanımlanan perde boyunca), daha sonra x-z düzlemi (y=0) A-A aksında değişik doneler bulunarak tablolarda sunulmuş ve iki modeldeki farklılıklar karşılaştırılarak irdelenmiştir. Kat deplasmanları, görelî yer değıştirme değeri, kat ivmeleri, perde taban kesme değeri ve okunduğu çerçeve elemanlarına ait numaralandırma Şekil 6.7’ de, kesme kuvvetlerinin incelendiği çubuk elemanlarına ait numaralandırma Şekil 6.14’ de verilmiştir.



Şekil 6.7 : x-z düzlemi 2-2 aksındaki numaralandırma.

Yapılan dinamik analizler sonucunda bulunan periyot değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.20 : Dinamik analiz periyot değerleri.

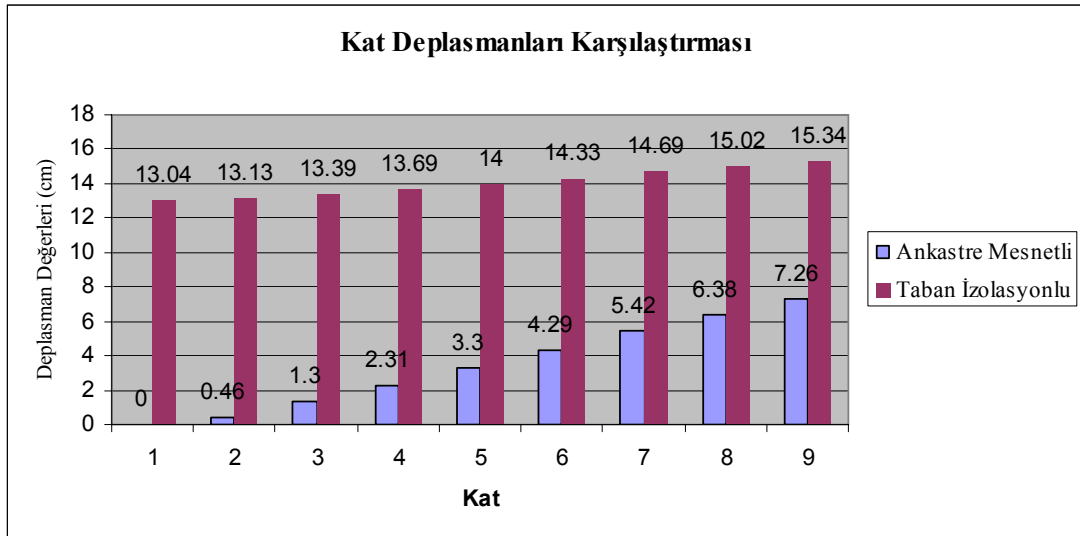
	X yönü	Kütle Katılım Oranı	Y yönü	Kütle Katılım Oranı
Ankastre Mesnetli Model	0.39	62%	0.59	59%
Taban İzolasyonlu Hal	1.59	99%	0.61	0%

Bulunan kat deplasman değerleri aşağıdaki Çizelge 6.21' de verilmiştir.

**Çizelge 6.21 :** Dinamik analiz maksimum kat deplasman değerleri.

Kat no	Düğüm noktası no	Ankastre Mesnetli Model	Taban İzolasyonlu Model
		X yönü, 2-2 Aksı	X yönü, 2-2 Aksı
		$\Delta x$ (cm)	$\Delta x$ (cm)
8	215	7.26	15.34
7	189	6.38	15.02
6	163	5.42	14.69
5	137	4.39	14.33
4	111	3.33	14
3	85	2.31	13.69
2	59	1.30	13.39
1	24	0.46	13.13
Taban	23	0	13.04

Dinamik analizi yapılan ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu modeller için Çizelge 6.21 'de görülen kat deplasman değerlerinin değişimi grafik olarak aşağıdaki gibidir.



**Şekil 6.8 :** Maksimum kat deplasmanları karşılaştırma grafiği.

Yapıdaki toplam yapı taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

**Çizelge 6.22 :** Dinamik analiz taban kesme kuvveti değerleri.

	Ankastre Mesnetli Model	Taban İzolasyonlu Model
Taban Kesme Kuvveti (kN)	13395	4058

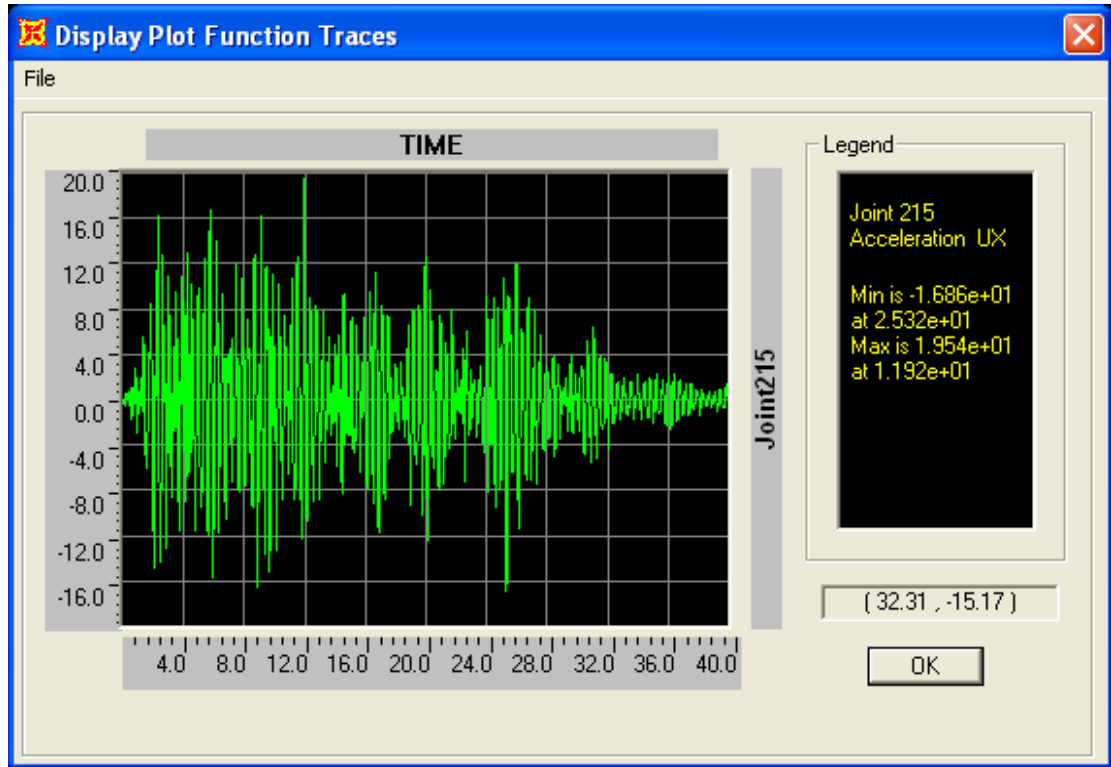


Yer hareketinden dolayı yapıya aktarılan kat ivme değerlerinin karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

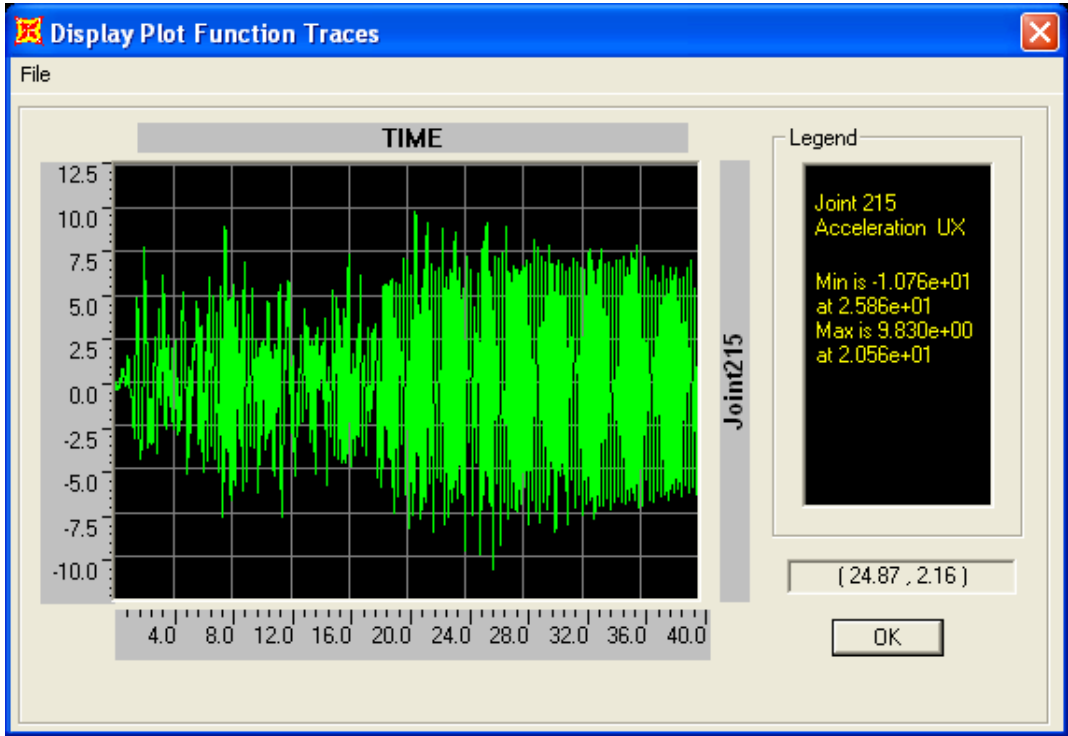
**Çizelge 6.23** : Dinamik analiz maksimum kat ivme değerleri.

	Ankastre Mesnetli Model	Taban İzolasyonlu Model
	m/sn <sup>2</sup>	m/sn <sup>2</sup>
8.Kat	19.54	10.76
7.Kat	15.5	8.67
6.Kat	11.49	6.63
5.Kat	9.81	5.77
4.Kat	7.71	5.2
3.Kat	5.64	5.69
2.Kat	3.7	6.38
1.Kat	1.92	6.73
Taban	0	7.19

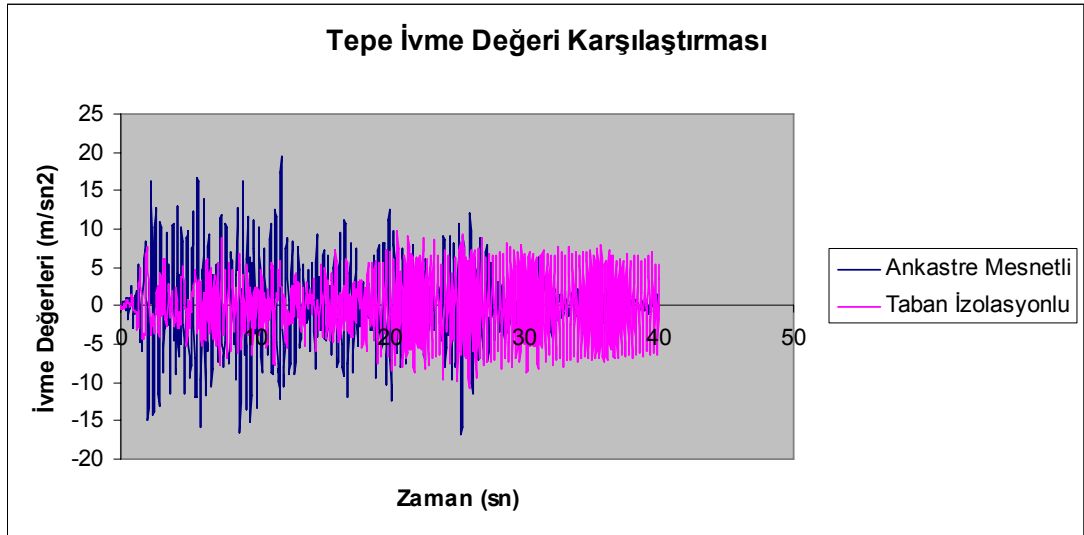
Çizelge 6.23' de değerleri görülen sekizinci kat 215 nolu düğüm noktası olan tepe noktasının Sap 2000 programından alınan zaman tanım alanındaki grafikleri aşağıdaki gibidir.



**Şekil 6.9** : Ankastre mesnetli modelde zaman tanım alanında tepe ivme değeri.



Şekil 6.10 : Taban izolasyonlu modelde zaman tanım alanında tepe ivme değeri.

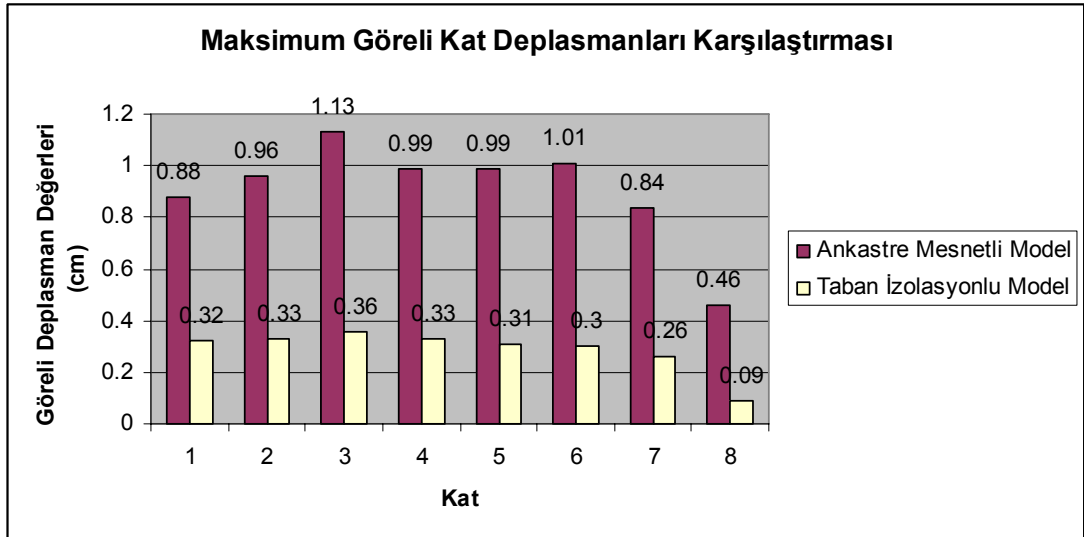


Şekil 6.11 : Tepe ivme değerleri karşılaştırma grafiği.

Analiz sonuçlarında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus olan göreceli yer değiştirme değerlerinin ankastre mesnetli ve taban izolasyonlu modelde bulunan sonuçlar ve görülen değişimin grafiği ise aşağıda görüldüğü gibidir.

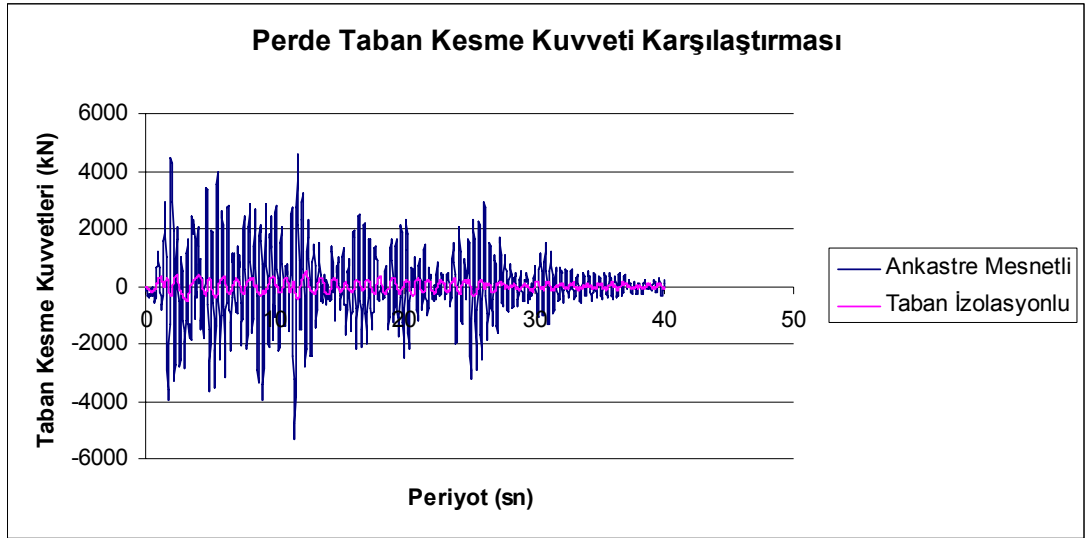
**Çizelge 6.24 :** Dinamik analiz görelî yer değıştirme değeri.

Kat No	Ankastre Mesnetli Model	Taban İzolasyonlu Model
	X Yönü (cm) 2-2 Aksı	X Yönü(cm) 2-2 Aksı
8	0.88	0.32
7	0.96	0.33
6	1.13	0.36
5	0.99	0.33
4	0.99	0.31
3	1.01	0.3
2	0.84	0.26
1	0.46	0.09



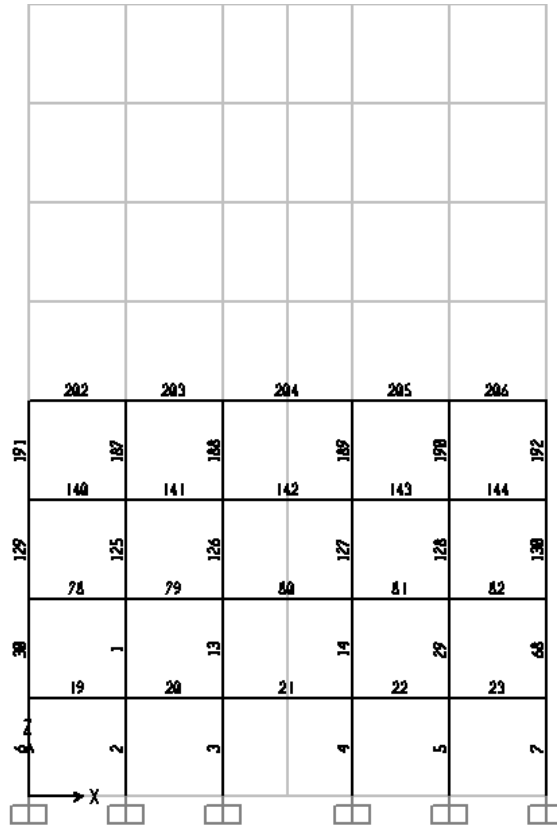
**Şekil 6.12 :** Maksimum görelî kat deplasmanları karşılaştırma grafiğı.

Dinamik analizi yapılan iki modelde bulunan Şekil 6.7' de 12 nolu çubuk elemanı olarak görülen, yapı taban perdesinin kesme kuvvetine ait grafik aşağıdaki gibidir. Grafik incelendiğinde ankastre mesnetli modelde perde kesme kuvveti 5306kN, taban izolasyon uygulanan modelde ise kesme kuvveti 523.10 kN' dur.



**Şekil 6.13 :** Perde taban kesme kuvvetleri karşılaştırma grafiği.

Yapının planında x-z düzlemi  $y=0$  aksında bulunan 6, 30, 129, 191 nolu çubuk elemanlarına ait numaralandırma Şekil 6.14’ de gösterilmiştir.



**Şekil 6.14 :** x-z düzlemi A-A aksı elemanları için numaralandırma.

Şekil 6.14' de gösterilmiş olan 6, 30, 129, 191 nolu çubuk elemanlarına ait kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.

**Çizelge 6.25 :** Belirtilen çerçeve elemanlarının kesme kuvveti değerleri.

	Kesme Kuvveti (kN) (2-2)	
	Ankastre Mesnetli Model	Taban İzolasyonlu Model
191 no (4. kat)	206	87
129 no (3.kat)	157	53
30 no (2.kat)	142	27
6 no (1.kat)	185	150



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada sismik taban izolasyonu uygulanan yapıların taşıyıcı sistem davranışına etkileri araştırılmıştır. Ankastre mesnetli ve kauçuk izolatör yerleştirilerek taban izolasyonu uygulanan modeller üzerinde yapılan dinamik analizler sonucunda aşağıdaki bulgulara ulaşılmış ve taban izolasyonu sisteminin zemin-yapı etkileşimini minimize ederek yapıların taşıyıcı sistemine olumlu katkıları olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan dinamik analizlere göre bulunan sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Çizelge 6.20' deki sonuçlar incelendiğinde; yapılan zaman tanım alanında analizler sonucunda ankastre mesnetli yapının 1.doğal titreşim periyodu 0.39 sn bulunurken, taban izolasyonlu yapının periyodu 1.59 sn bulunmuştur. Görüldüğü gibi, taban izolasyon uygulanan sistemlerden beklendiği şekilde periyot değeri ankastre mesnetli duruma göre 4 kat artmıştır.
- Dinamik analiz sonuçları incelendiğinde periyot artışının yanı sıra bulunan periyotlar için kütle katılım oranının yani 1.modun etkinliğinin; ankastre mesnetli modelde %62 iken, taban izolasyon uygulanan modelde % 99 gibi yüksek bir değere ulaştığı gözlenmiştir. Ulaşılan bu sonucun nedeni, yapıya göre oldukça düşük yatay rijitliğe sahip olan izolasyon katı oluşturulması sebebiyle, yapı dinamik davranışında 1. modun oldukça baskın hale gelmesidir. Taban izolasyon uygulanan modelde 1.modun etkinliği gittikçe dikdörtgen görünümüne ulaşmakta ve %99' a kadar çıkmaktadır. Bu durum; en alt kat ile en üst kat kütlelerinin hemen hemen aynı miktarda deplasman yapmasını böylece üst yapıda oluşabilecek olası deformasyonları önlemektedir.
- Taban izolasyonlu sistemde periyodun artması yer değiştirme değerlerinde kendini göstermiştir. Çizelge 6.21 de görüldüğü gibi; ankastre mesnetli modelde 215 nolu düğüm noktası yani tepe noktası için bulunan deplasman değeri 7.26 cm iken, taban izolasyonu uygulanan modelde aynı düğüm

noktasında izolator kullanımı sayesinde 15.34 cm yer değiştirme gerçekleşmektedir. Ankastre mesnetli sistemde temelden üst katlara gidildikçe deplasmanlar büyük farklarla artarken, taban izolasyon uygulanan modelde yer değiştirmenin büyük kısmı izolasyon sisteminde olmuş, üst katlara gidildikçe yer değiştirmeler az bir artış göstermiş, böylece üst yapı rijit kütle davranışını gerçekleştirmiştir.

- Yer değiştirme değerlerine bakılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta görelî yer değiştirme değerleridir. Görelî deplasman değerleri Çizelge 6.24 ‘te görüldüğü gibi taban izolasyonu uygulanan modelde % 50’den fazla azalmıştır. Üst yapının toplam yer değiştirme değeri için; Çizelge 6.21 ‘deki sonuçları değerlendirirsek; ankastre mesnetli durumda üst yapı 7.26 cm, izolotörlü durumda ise üst yapı 2.3 cm yer değiştirme yapmıştır. Bu durumda üst yapı için görelî deplasman değerleri taban izolasyonlu modelde %68 civarında azalmış ve üst yapı sadece 2.3 cm gibi küçük bir yer değiştirmeye maruz kalmıştır. Böylece taban izolasyon uygulanan yapı taşıyıcı sistemde olumlu etki yaratarak depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli sorunlardan biri olan büyük kat ötelenmelerinin kontrol altına alınmasını sağlamıştır.
- Yer hareketinden dolayı yapıya aktarılan kat ivme değerlerinin karşılaştırıldığı Çizelge 6.23 incelendiğinde; ankastre mesnetli modelde ivmeler tabandan üst katlara doğru dikkat çekici bir şekilde artarken, taban izolasyon sistemi uygulanan modelde katlara etkiyen ivmelerin yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir. Taban izolasyon uygulanan modelde ivme dağılımı ankastre mesnetli duruma göre daha üniform hale gelmiştir. Böylece üst yapı daha rijit hale geldiğinden yapı içi değerli teizatlarında daha az hasarla ayakta kalabilecekleri sonucuna varılmıştır.
- Çizelge 6.22 incelendiğinde, yapı taban kesme kuvvetlerinde ciddi bir farklılık görülmektedir. Taban izolasyonu uygulanan modelde yapı taban kesme kuvveti yaklaşık %70 azalmıştır. (Varılan bu sonucun olumlu katkısının “R” yapı davranış katsayısının sismik izolasyon uygulanan modelde daha düşük alınması sebebiyle tasarım safhasında bir miktar azalacağı göz önünde bulundurulmalıdır.) Ulaşılan bu sonuç sismik izolasyonlu yapılarda yapı taban kesme kuvvetinin azalması sayesinde



taşıyıcı elemanların boyutlarının küçültülebilmemesine imkân tanımaktadır. (Bu açıklamada UBC 97 yönetmeliğinin kesit tesirlerini küçültmek yerine sismik izolasyonlu yapılarda taşıyıcı sistem davranış katsayısının ( $R_1$ ) daha düşük alınarak elastik olarak dayanması istenen yatay kuvvetin artırılması zorunluluğu dikkate alınmamıştır.)

- Dikkate değer bir diğer nokta ise, yapısal kontrolü sağlanmış yapılarda Çizelge 6.25' de görüldüğü gibi kesme kuvveti değerlerinin taban izolasyon uygulanan modelde azalmış olmasıdır. Ankastre mesnetli modelde; perde-çerçeve etkileşiminden dolayı 3. ve 4.katlarda kesme kuvvetleri alt katlara nazaran artarken; 6 nolu çubuk yani en alt kat kolonu için kesme kuvveti değerlerinin iki modelde de yakın çıkması şaşırtıcı bir sonuçtur.

Ankastre mesnetli model;

Taban perde kesme kuvveti = 5305 kN

Yapı taban kesme kuvveti = 13395 kN

Perdelere gelen kesme kuvveti yüzdesi;  $\frac{5305 \times 2}{13395} = \%79$

Kolonlara gelen kesme kuvveti yüzdesi; % 21

En alt kolona gelen yaklaşık kesme kuvveti;  $\frac{13395 \times 0.21}{20} = 140$  kN

Taban izolasyon uygulanan model;

Taban perde kesme kuvveti = 523 kN

Yapı taban kesme kuvveti = 4058 kN

Perdelere gelen kesme kuvveti yüzdesi;  $\frac{523 \times 2}{4058} = \%26$

Kolonlara gelen kesme kuvveti yüzdesi; % 74

En alt kolona gelen yaklaşık kesme kuvveti;  $\frac{4058 \times 0.74}{20} = 150$  kN

Yapılan yaklaşık hesaba göre en alt kolona gelen kesme kuvveti değeri iki modelde de yakın olmasına karşın taban izolasyon uygulanan modelde toplamda perdelerin alacağı kesme kuvveti değeri %79'dan %21' e

azalmıştır. Dolayısıyla ulaşılan bu sonucun taban izolasyonu uygulanan yapıdan beklenmesi gereken iç kuvvetlerin azalması fikrini desteklediği görülmüştür.

- 12 nolu çubuk için perde taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırıldığı grafik incelendiğinde; ankastre model için perde alt ucunda kesme kuvveti değeri 5306 kN iken, taban izolasyonu uygulanan modelde 523.10 kN' dur. Perdeye gelen kesme kuvveti yaklaşık on kat azalmıştır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında konvansiyonel yöntemlere göre yapılar tasarlanırken; olası büyük kat ötelemelerinden kaçınmak ve kontrol altına almak için genellikle yatay yönde rijitliği artırıcı deprem perdeleri kullanılmaktadır. Oysa bu davranış yapı periyodunun azaltarak kat ivmelerini arttırmaktadır. Tez kapsamında yapılan ve kısaca özetlenen araştırma bulgularında da görüldüğü gibi, görelî kat ötelemelerinin taban izolasyon tekniğiyle periyodu uzatarak azaltabileceği sonucuna varılmıştır.

Taban izolasyon sistemi uygulanırken sıralanan çok sayıdaki avantajların yanı sıra dikkat edilmesi gereken bir nokta göze çarpmaktadır. Sismik izolasyonlu yapılar deprem esnasında izolasyon katında yüksek yer değiştirmeler yaptıklarından bu yer değiştirmeyi engelleyecek mimari ve tasarım detaylarından kaçınılması gerekmektedir.

Yapılan tez çalışmasında bulunan sonuçlar ışığında; sismik izolasyon uygulanan yapıların yaşanmış depremlerdeki performansları göz önüne alındığında, taban izolasyon sistemlerinin öneminin daha iyi kavranması ve uygulama sayısının artması gerektiği ayrıca üniversitelerde verilen eğitim programında yapısal kontrol sistemleri konusuna daha fazla yer verilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Celep, Z., ve Kumbasar, N.,** 2004. *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İstanbul.
- [2] **Tolay, A.,** 2006. Sismik İzolasyon Sistemlerinin Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] **Çamlıbel, N.,** 1998. *Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, İstanbul.
- [4] **Aldemir, Ü., ve Aydın, E.,** 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 435-2005/1.
- [5] **Kelly, J. M., and Naeim, F.,** 1999: *Design Of Seismic Isolated Structures from theory to practice*, John A. Martin and Associates, Inc., University of California.
- [6] **Medeot, R.,** 1998. Antisismik Cihazlar Üzerine Avrupa Standartları, IMO, Powerpoint sunum, İstanbul.
- [7] **Erdik, M.,** 2007. Binalarda Deprem Yalıtımı ve Ülkemizdeki Uygulamalar, 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İTÜ, Türkiye, 16-20 Ekim.
- [8] **Heyat, N.,** 2001: *Sismik Taban İzolasyonunda Sürtünmeli Sarkaç Modeli*, Bahar Semineri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] **Özpalanlar, C. G.,** 2004. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [10] **Fujita, T.,** 1997: *Demonstration of Effectiveness of Seismic Isolation in the Hanshin-Awaji Earthquake and Progress of Application of Base-Isolated Buildings*, INCEDE report, Tokyo, Japan.
- [11] **Abrahart, R. J., and See, L.,** 1998: *Kongre Progress of Application and Research&Development for Seismic Isolation and Passive Energy Dissipation for civil and industrial structures*, New Zeland.
- [12] **Castellano, M. G., Baldo, P., Kaya, M., and Infanti, S.,** 2007: Köprülerin Sismik İzolasyonunda İtalyan Tecrübesi, *1.Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 29-30 Kasım.
- [13] **Medeot, R.,** 2004: *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Related Seismic Hardware*, İstanbul Semineri, IMO Semineri, İstanbul.
- [14] **Skinner, R. I., Robinson, W. H., and McVery, G. H.,** 1993: An Introduction to seismic isolation, Wiley Chichester.
- [15] **Kelly, T.,** 2001: *Base Isolation of Structures, Design Guidelines*, Holmes Consulting Group Ltd., New Zeland.
- [16] **Komondromos, P.,** 2000: *Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures*, WIT Press, UK.

- [17] **Erdik, M., and Mungan, I.**, 2007: Seismic Isolation Applications in Turkey, *Proceedings of the Tenth World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures*, Turkish Association for Seismic Isolation , İstanbul, 28-31 May.
- [18] **Işık, S., ve Özben, M.**, 2007. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Bolu Tünellerine Deformasyon Etkisinin Ölçülmesi ve Sismik Projelendirme, *6.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İTÜ, Türkiyel*, 16-20 Ekim.
- [19] **Kösedag, S. B.**, 2002. Yapılarda Sismik Deprem İzolasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

## **EKLER**

- Çizelge A.1 :** Ankastre model periyot değerleri
- Çizelge A.2 :** Ankastre model maksimum kat deplasmanları
- Çizelge A.3 :** Ankastre model taban kesme kuvveti değeri
- Çizelge A.4 :** Taban izolasyonlu model periyot değerleri
- Çizelge A.5 :** Taban izolasyonlu model maksimum kat deplasmanları
- Çizelge A.6 :** Taban izolasyonlu model taban kesme kuvveti değeri

Çizelge A.1 : Ankastre model periyot değerleri.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.596619	1.068E-19	0.59638	8.55E-18
MODAL	Mode	2	0.391357	0.62546	7.679E-18	4.407E-17
MODAL	Mode	3	0.391006	1.033E-17	4.829E-20	7.014E-18
MODAL	Mode	4	0.312795	3.61E-19	0.2584	4.758E-18
MODAL	Mode	5	0.207793	8.953E-17	5.022E-18	1.544E-16
MODAL	Mode	6	0.145386	0.22392	1.497E-16	1.103E-16
MODAL	Mode	7	0.139617	3.376E-16	0.04545	8.415E-15
MODAL	Mode	8	0.105294	5.149E-13	0.05235	1.505E-12
MODAL	Mode	9	0.093158	1.742E-15	3.182E-17	5.575E-14
MODAL	Mode	10	0.067048	4.801E-13	0.01341	3.153E-12
MODAL	Mode	11	0.06348	0.08568	1.399E-14	1.844E-13
MODAL	Mode	12	0.05937	3.797E-12	1.58E-14	0.48892

Çizelge A.2 : Ankastre model maksimum kat deplasmanları.

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
23	THx_L	NonDirHist	Max	0	0	0	0	0	0
23	THx_L	NonDirHist	Min	0	0	0	0	0	0
24	THx_L	NonDirHist	Max	0,003915	1,924E-17	-0,000255	-0,00005	0,00156	2,914E-14
24	THx_L	NonDirHist	Min	-0,004601	-1,683E-17	-0,000255	-0,00005	-0,001859	-1,66E-17
59	THx_L	NonDirHist	Max	0,011006	3,394E-17	-0,000474	-0,000051	0,002366	9,224E-14
59	THx_L	NonDirHist	Min	-0,013061	-3,101E-17	-0,000474	-0,000051	-0,002816	-6,785E-16
85	THx_L	NonDirHist	Max	0,019297	3,277E-17	-0,000656	-0,000064	0,002769	6,833E-14
85	THx_L	NonDirHist	Min	-0,023117	-2,572E-17	-0,000656	-0,000064	-0,003191	-1,251E-15
111	THx_L	NonDirHist	Max	0,02812	2,854E-17	-0,000801	-0,000042	0,003005	9,743E-15
111	THx_L	NonDirHist	Min	-0,033369	-1,548E-17	-0,000801	-0,000042	-0,003317	-2,582E-15
137	THx_L	NonDirHist	Max	0,037933	7,992E-17	-0,000909	-0,000201	0,003118	1,078E-14
137	THx_L	NonDirHist	Min	-0,043979	-4,593E-17	-0,000909	-0,000201	-0,003321	-3,773E-13
163	THx_L	NonDirHist	Max	0,047748	9,674E-17	-0,000989	-0,000178	0,00306	5,918E-13
163	THx_L	NonDirHist	Min	-0,05425	-3,468E-17	-0,000989	-0,000178	-0,003182	-1,385E-14
189	THx_L	NonDirHist	Max	0,057065	7,256E-17	-0,001041	-0,000143	0,002906	4,018E-13
189	THx_L	NonDirHist	Min	-0,063823	1,703E-17	-0,001041	-0,000143	-0,002982	-7,515E-16
215	THx_L	NonDirHist	Max	0,065709	1,313E-16	-0,001066	-0,000352	0,002789	8,659E-13
215	THx_L	NonDirHist	Min	-0,072641	-1,127E-17	-0,001066	-0,000352	-0,00285	7,195E-17

Çizelge A.3 : Ankastre model taban kesme kuvveti değeri.

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
THx_L	NonDirHist	Max	13395.575	2.52E-11	16196.52
THx_L	NonDirHist	Min	-11569.929	-2.516E-11	16196.52

Çizelge A.4 : Taban izolasyonlu model periyot değerleri.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.59535	0.99904	0	0
MODAL	Mode	2	0.614755	0	0.60431	3.775E-15
MODAL	Mode	3	0.427646	0	1.813E-16	4.158E-14
MODAL	Mode	4	0.323273	1.358E-20	0.24794	5.058E-15
MODAL	Mode	5	0.274237	0.00092	1.705E-15	1.026E-13
MODAL	Mode	6	0.220792	6.472E-19	2.933E-15	3.156E-13
MODAL	Mode	7	0.141639	4.923E-17	0.05136	6.111E-14
MODAL	Mode	8	0.110716	3.462E-17	4.629E-13	7.663E-16
MODAL	Mode	9	0.107028	4.674E-17	0.0527	8.35E-13
MODAL	Mode	10	0.100262	0.00003477	1.146E-12	3.112E-19
MODAL	Mode	11	0.09885	2.173E-17	4.533E-13	0.76816
MODAL	Mode	12	0.087578	2.437E-16	0.00003143	3.937E-17

Çizelge A.5 : Taban izolasyonlu model maksimum kat deplasmanları.

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
23	THx_L	NonDirHist	Max	0,11948	-0,000156	-0,001751	-4,15E-08	6,62E-07	0
23	THx_L	NonDirHist	Min	-0,130442	-0,000156	-0,001751	-4,15E-08	-7,5E-07	-1,08E-17
24	THx_L	NonDirHist	Max	0,120251	3,919E-17	-0,00201	-0,000104	0,000481	1,877E-17
24	THx_L	NonDirHist	Min	-0,131349	-5,42E-17	-0,00201	-0,000104	-0,000546	-1,25E-13
59	THx_L	NonDirHist	Max	0,122273	6,026E-17	-0,002232	-0,000077	0,000812	6,847E-17
59	THx_L	NonDirHist	Min	-0,133932	-9,08E-17	-0,002232	-0,000077	-0,000931	-5,05E-13
85	THx_L	NonDirHist	Max	0,124506	5,876E-17	-0,002417	-0,000094	0,001054	7,447E-16
85	THx_L	NonDirHist	Min	-0,13696	-1,27E-16	-0,002417	-0,000094	-0,001181	-1,27E-13
111	THx_L	NonDirHist	Max	0,126673	6,883E-17	-0,002565	-0,000074	0,001238	2,966E-17
111	THx_L	NonDirHist	Min	-0,140088	-1,33E-16	-0,002565	-0,000074	-0,001375	-3,02E-13
137	THx_L	NonDirHist	Max	0,128774	2,394E-16	-0,002675	-0,000195	0,001357	8,71E-17
137	THx_L	NonDirHist	Min	-0,143399	-6,84E-17	-0,002675	-0,000195	-0,001506	-5,75E-14
163	THx_L	NonDirHist	Max	0,130749	5,196E-16	-0,002757	-0,000179	0,001386	1,058E-15
163	THx_L	NonDirHist	Min	-0,14693	2,089E-16	-0,002757	-0,000179	-0,001535	-2,71E-13
189	THx_L	NonDirHist	Max	0,132756	8,279E-16	-0,002811	-0,000142	0,001354	5,065E-13
189	THx_L	NonDirHist	Min	-0,150284	5,368E-16	-0,002811	-0,000142	-0,001497	1,061E-16
215	THx_L	NonDirHist	Max	0,134849	1,336E-15	-0,002836	-0,000352	0,001317	6,394E-15
215	THx_L	NonDirHist	Min	-0,153427	8,009E-16	-0,002836	-0,000352	-0,001454	-1,25E-13

Çizelge A.6 : Taban izolasyonlu model taban kesme kuvveti değeri.

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
THx_L	NonDirHist	Max	4058.235	7.385E-11	16196.526
THx_L	NonDirHist	Min	-3864.291	-5.498E-11	16196.515





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Eylem GÖKHAN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Keşan 03.08.1979

**Adres:** Pazarbaşı Mah. Şair Talat sk. No:8/2 Üsküdar/İSTANBUL

**Lisans Üniversite:** Kocaeli Üniversitesi