

**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM TABAN YALITIMI MODELLEMELERİNİN SONLU ELEMAN  
TÜRLERİ VE UYGULAMA ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SANAZ MORAD**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEMMUZ 2015  
SAMSUN**

**Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim**

**Programı : Herhangi Program**





**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DEPREM TABAN YALITIMI MODELLEMELERİ ÇİFT SONLU ELEMAN  
TİPİLERİ VE UYGULAMA ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SANAZ MORAD  
(11210431)**

**Tezin Savuma Tarihi : 03/09/2015**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Sertaç TUHTA**



**Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**(Anabilim Dalı Adı) Anabilim Dalında**

**(Adı Soyadı) Tarafından Hazırlanan**

**DEPREM TABAN YALITIMI MODELLEMELERİNİN SONLU  
ELEMEN TÜRLERİ VE UYGULAMA ÖZELLİKLERİ**

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından .../.../... tarihinde yapılan sınav ile  
YÜKSEK LİSANS / DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.**

**Başkan :** .....

..... Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** .....

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

..... Üniversitesi

..... Üniversitesi

**.../.../2015**

**Prof.Dr.....**

Enstitü Müdürü



**Babama ve e ime,**





## ÖNSÖZ

Bu çalı mada izolatörler hakkında bilgi verilerek izolatörlü yapının çalı ma prensipleri ortaya konulmu tur. Ayrıca izolatörlü yapının konvansiyonel yapıya olan üstünlükleri irdelenmi tir.

Çalı manın mühendislik ö rencilerine yarar sa laması ümidiyle sözüme son verirken, bu çalı manın bu seviyeye gelmesi için benden tecrübelerini esirgemeyen Hocam Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE ve Yrd. Doç. Dr. Sertaç TUHTA' ya te ekkürlerimi arz ederim.

Temmuz 2015

Sanaz MORAD  
( n aat Mühendisi)



## Ç NDEK LER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
Ç NDEK LER.....	ix
Ç ZELGELER L STES .....	xiii
EK LLER L STES .....	xiv
RES MLER L STES .....	xvii
S MGELER, KISALTMALAR .....	xix
ÖZET.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
<b>1. G R .....</b>	<b>1</b>
<b>2. S SM K ZOLASYON .....</b>	<b>7</b>
2.1. Sismik izolasyon kavramı.....	7
2.2. Sismik izolasyon yönteminin temel ilkeleri .....	8
2.3. Yapıların sismik kontrolü .....	10
2.3.1. Pasif kontrol sistemleri.....	10
2.3.2. Aktif kontrol sistemleri.....	11
2.4. Aktif yapı kontrolü.....	12
2.5. Pasif yapı kontrolü.....	14
2.6. Taban yalıtım sistemleri.....	14
2.7. Pasif enerji sönümleyen sistemler .....	17
2.7.1. Metal sönümleyiciler.....	17
2.7.2. Sürtünme sönümleyicileri.....	19
2.7.3. Visko-elastik sönümleyiciler.....	20
2.7.4. Visko sönümleyiciler .....	21
2.7.5. Ayarlanmı kütle sönümleyiciler .....	23
2.7.6. Ayarlanmı sıvı sönümleyiciler .....	23
2.8. Karma kontrol.....	24
<b>3. DEPREM ZOLATÖR S STEM (S SM K YALITIM) .....</b>	<b>25</b>
3.1. Deprem izolatör sistemi tanımı.....	25
3.2. Sismik yalıtım tarihçesi.....	26
3.3. Sismik yalıtımın sa ladı ı teknik avantajlar .....	27
<b>4. S SM K ZOLASYON S STEMLER .....</b>	<b>29</b>
4.1. Sismik izolasyon sistemlerinin türleri ve sınıflandırılması .....	29
4.2. Kayıcı tip izolasyon sistemleri.....	31
4.2.1. Sürtünmeli sarkaç mesnetler (FPS).....	31
4.2.2. Esnek sürtünmeli taban izolasyon mesnetleri .....	36
4.2.3. Fransız elektrik kurumu sistemi .....	37
4.2.4. Tass sistemi .....	38
4.2.5. EERC bile ik sistemi.....	38

4.3. Kauçuk esaslı elastomer izolasyon mesnetleri.....	39
4.3.1. Kauçuk esaslı elastomer izolasyon mesnetleri tanımı.....	39
4.3.2. Kur un çekirdekli elastomer mesnetler (LRB).....	42
4.3.3. Yüksek sönümlü elastomer mesnetler (HDRB).....	47
4.3.4. Düşük sönümlü elastomer mesnetler (LDRB).....	51
4.3.5. Hibrit (Karma) tip elastomer mesnetler (LRB+HDRB = LHDRB).....	53
4.4. Yay tipi sistemler .....	55
<b>5. KAYNAK ARA TIRMASI .....</b>	<b>57</b>
5.1. Binalarda sismik taban izolatörü kullanımı konusunda yapılmış çalışmalar.....	57
<b>6. ZOLASYON SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE AMAÇLARI.....</b>	<b>65</b>
6.1. Dünya’daki gelişim .....	65
6.2. Türkiye’deki gelişmeler .....	69
6.3. Tarihi yapılarda taban izolasyon kullanımı.....	75
6.3.1. Doğal sismik izolasyona sahip eski yapılar .....	75
<b>7. DEPREM YER HAREKETİ .....</b>	<b>77</b>
7.1. Elastik deprem yüklerinin tanımlanması.....	81
7.1.1. Etkin yer ivmesi katsayısı .....	81
7.1.2. Bina önem katsayısı.....	81
7.1.3. Spektrum katsayısı.....	82
7.1.4. Özel tasarım ivme spektrumları.....	83
<b>8. SİSMİK ZOLASYON UYGULANACAK YAPILARDA GEREKEN KOŞULLAR.....</b>	<b>85</b>
8.1. Taban izolatörlerinin uygulamasına yönelik örnekler .....	86
8.2. Sismik taban izolasyonunda yönetmelik artları.....	88
8.2.1. Sismik tasarım düzeyi.....	88
8.2.2. Statik analiz.....	89
<b>9. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ .....</b>	<b>91</b>
9.1. Genel tanımlama.....	91
9.2. Sonlu eleman çeşitleri.....	92
9.3. Statik analiz.....	96
9.4. Dinamik analiz.....	97
<b>10. ZOLATÖR TASARIM METODOLOJİSİ .....</b>	<b>99</b>
10.1. Analiz metodunun seçimi.....	99
10.1.1. Sağlam zeminler.....	99
10.1.2. Zayıf zeminler.....	99
10.2. UBC 97 terminolojisi.....	100
10.2.1. UBC-97’de sismik katsayılar ve yakın fay etkisi.....	99
10.2.2. Hedeflenen periyot ve malzeme özellikleri.....	101
10.2.3. Tasarım ve maksimum yer deplasmanının hesaplanması.....	102
10.2.4. Etkin yatay rijitliğin hesaplanması.....	103
10.2.5. Her çevrimde sönümlenen enerji miktarının hesaplanması.....	103
10.2.6. Karakteristik dayanımın hesaplanması.....	103
10.2.7. Akma yer deplasmanının hesaplanması.....	104
10.2.8. Zolatörün düşey rijitliğin hesaplanması.....	104
10.2.9. Akma dayanımının hesaplanması.....	104
10.2.10. Kayma eklemlerinin hesaplanması.....	104
10.2.11. Kritik burkulma yükünün hesaplanması.....	105
<b>11. ETABS İLE YAPI TASARIM VE ZOLATÖRLERİN MODELLENMESİ .....</b>	<b>107</b>

11.1. ETABS programının genel özellikleri.....	107
11.2. DBYBHY, 2007 uyumlulu u.....	107
11.3. ACI 318-99 yönetmeli i ile betonarme tasarım.....	108
11.4. ETABS ile sismik izolatörlerin modellenmesi.....	111
11.4.1. “NLprop” özellikleri.....	113
11.4.2. Dahili nonlinear yaylar.....	113
11.4.3. Yay kuvvet-deformasyon ili kisi.....	113
11.4.4. Temel denge denklemleri.....	114
11.4.5. Nonlinear kuvvetlerin hesaplanması.....	114
<b>12. YAPININ TANIMI VE KLAS K YÖNTEME GÖRE NCELENMES ....</b>	<b>117</b>
12.1. Yapının tanımı.....	117
12.2. Tasarım yükleme birle imleri.....	120
12.3. Kütle kayna 1.....	122
12.4. Yük bilgileri.....	123
12.5. Yükleri birle tirme.....	123
<b>13. ZOLATÖR TASARIMI.....</b>	<b>125</b>
13.1. Analiz metodunun seçimi.....	125
13.2. zolatörlü model ve sonuçların kar ıla tırılması.....	128
13.2.1. Sistemin izolatörlü olarak modellenmesi.....	128
13.2.2. Zaman tanım alanında çözüm ile analiz.....	129
13.3. Analiz sonuçlarının kar ıla tırılması.....	131
13.3.1. Yapının birinci, ikinci ve üçüncü mod do al titre im periyotları.....	131
13.3.2. Göreli kat yer de i tirmeleri.....	131
13.3.3. Maksimum kat yer de i tirmeleri.....	133
13.3.4. Deprem taban kesme kuvvetleri.....	135
<b>14. SONUÇLAR VE TARTI MA.....</b>	<b>137</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>139</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>145</b>
<b>EK A.....</b>	<b>146</b>
<b>EK B.....</b>	<b>148</b>
<b>EK C.....</b>	<b>155</b>
<b>ÖZGEÇM .....</b>	<b>157</b>



## Ç ZELGELER L STES

### Sayfa

Çizelge 2.1. Yapı kontrol sistemlerinin sınıflandırılması.....	12
Çizelge 7.1. Kısa Periyotlu Spektral Genlik Düzeltme Katsayısı, $F_a$ .....	79
Çizelge 7.2. $0_s$ Periyotlu Spektral Genlik Düzeltme Katsayısı, $F_v$ .....	80
Çizelge 7.3. Etkin yer ivmesi katsayısı .....	81
Çizelge 7.4. Bina önem katsayısı (I).....	82
Çizelge 7.5. Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ , $T_B$ ).....	83
Çizelge 10.1. Fay tiplerine göre fayın yıllık kayma miktarı.....	102
Çizelge 11.1. ETABS ile betonarme çerçeve boyutlama .....	110
Çizelge 12.1. Yapının genel bilgileri.....	118
Çizelge 12.2. Kat bilgileri.....	120
Çizelge 12.3. Temel deprem yüklemeleri.....	120
Çizelge 12.4. Yükleme birle imleri katsayıları.....	121
Çizelge 12.5. Yük bilgileri.....	123
Çizelge 12.6. Kombinasyon 1.....	123
Çizelge 12.7. Kombinasyon 2.....	123
Çizelge 12.8. Kombinasyon 3.....	124
Çizelge 12.9. Kombinasyon 4.....	124
Çizelge 12.10. Kombinasyon 5.....	124
Çizelge 12.11. Kombinasyon 6.....	124
Çizelge 13.1. zolatörün tasarım özellikleri.....	126
Çizelge 13.2. zolatörün özelli i.....	126
Çizelge 13.3. zolatör tipi özellikleri.....	128
Çizelge 13.4. Yapı birinci, ikinci ve üçüncü mod do al titre im periyotları.....	131
Çizelge A.1. Sismik Bölge Faktörü.....	146
Çizelge A.2. Zemin Profili Tipi.....	146
Çizelge A.3. Sismik Kaynak Tipleri.....	146
Çizelge A.4. Sismik Katsayı, $C_a$ .....	147
Çizelge A.5. Sismik Katsayı, $C_v$ .....	147
Çizelge A.6. Beklenen maksimum depremde davranı katsayısı, $M_M$ .....	147
Çizelge A.7. Ta ıyıcı katsayıları, $R_t$ , R sistem davranı .....	147
Çizelge c.1. Maksimum yer de i tirmesi (kat tepkisi yalıtımlı).....	155

## EKLER LİSTESİ

	Sayfa
<b>ekil 1.1.</b> Yapıya etkiyen ivmenin yapı periyodu ile de i imi.....	4
<b>ekil 1.2.</b> Sert zeminler üzerinde alınımı tipik kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu.....	5
<b>ekil 1.3.</b> Sert zeminler üzerinde alınımı kuvvetli yer hareketi öteleme spektrumu.....	5
<b>ekil 1.4.</b> Ankastre mesnetli ve taban yalıtım sistem uygulanımı yapı davranı ları.....	6
<b>ekil 2.1.</b> Taban izolasyonlu ve ankastre mesnetli yapı .....	8
<b>ekil 2.2.</b> Spektral ivme de erinin yalıtımlı ve yalıtımsız yapı için de i imi .....	8
<b>ekil 2.3.</b> Spektral yer de i tirminin yalıtımlı ve yalıtımsız yapı için de i imi .....	9
<b>ekil 2.4.</b> Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmi ivme periyot grafi i .....	15
<b>ekil 2.5.</b> Metal sönümleyici tiplerinin yerle tirilmesi.....	18
<b>ekil 2.6.</b> Eksenel yük ta ıyan sönümleyicilere ait bir örnek .....	18
<b>ekil 2.7.</b> Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti .....	19
<b>ekil 2.8.</b> Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu .....	19
<b>ekil 2.9.</b> Pall sürtünme aygıtı .....	20
<b>ekil 2.10.</b> Visko-elastik sönümleyici .....	20
<b>ekil 2.11.</b> Visko-elastik sönümleyiciye etki eden kuvvetler.....	21
<b>ekil 2.12.</b> Dü ük sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer de i tirme davranı ı.....	21
<b>ekil 2.13.</b> Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer de i tirme davranı ı.....	21
<b>ekil 2.14.</b> Visko-elastik sönümleyicinin yerle imi .....	22
<b>ekil 2.15.</b> ABD hava kuvvetlerinde kullanılan viskoz sönümleyici.....	22
<b>ekil 2.16.</b> Ayarlanımı kütle sönümleyicileri.....	23
<b>ekil 3.1.</b> Enerji sönümleyici sistem .....	25
<b>ekil 3.2.</b> Taban izolasyon sistemi .....	25
<b>ekil 3.3.</b> Ayarlı kütle sönümleyiciler .....	26
<b>ekil 3.4.</b> Sismik yalıtımlı yapı .....	27
<b>ekil 3.5.</b> Normal yapı .....	27
<b>ekil 3.6.</b> Normal yapıda farklı deplasman dolayısıyla kolon-kiri davranı ı.....	28
<b>ekil 3.7.</b> Sismik yalıtımın yapıldı ı bir binada, sismik yalıtılmı kattan sonraki katlarda farklı.....	28
<b>ekil 4.1.</b> izolatörlerin sınıflandırılması.....	29
<b>ekil 4.2.</b> Düz ve e ri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için tipik kuvvet-yer de i tirme .....	32
<b>ekil 4.3.</b> Kayıcı tip izolatör ve yapıda uygulamaları.....	33
<b>ekil 4.4.</b> Sürtünmeli sarkaç tip izolatörlerin çalı ma prensibi.....	34
<b>ekil 4.5.</b> Sürtünmeli sarkaç mesnedin kesit ve elemanları .....	35



<b>ekil 4.6.</b> Sürtünmeli sarkaç sisteminin karakteristik davranı modeli.....	35
<b>ekil 4.7.</b> Sürtünmeli sarkaç sistemine uygulanan çevrimsel deplasmanların sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini gösteren davranı modeli.....	36
<b>ekil 4.8.</b> Esnek sürtünmeli taban yalıtım mesnedin kesit ve elemanları.....	37
<b>ekil 4.9.</b> Kur un çekirdekli kauçuk izolatör .....	39
<b>ekil 4.10.</b> Uygulanan dü ey yüke kar ılık elastomer mesnedin bel vermesi .....	40
<b>ekil 4.11.</b> Çelik ve kur un sönümleyiciler .....	41
<b>ekil 4.12.</b> Elastomer mesnetlerin histeresis döngüler esnasında tükettikleri enerji miktarını gösteren grafikler .....	42
<b>ekil 4.13.</b> Kur un çekirdekli elastomer mesnet kesiti ve binalarda uygulanması.....	43
<b>ekil 4.14.</b> Kur un çekirdekli elastomer mesnetlerde histeresis döngü ve enerji da ıtma kapasitesini gösteren kuvvet-yer de i tirme grafi i .....	44
<b>ekil 4.15.</b> Kur un çekirdekli kauçuk mesnetlerin tipik histeresis e rileri .....	44
<b>ekil 4.16.</b> Kauçu un ve kur unun kuvvet-yer de i tirme grafikleri .....	45
<b>ekil 4.17.</b> Kur un çekirdekli elastomer yalıtım birimi için tipik kuvvet yer de i tirme .....	46
<b>ekil 4.18.</b> Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlere ait kuvvet-yer de i tirme grafi i.....	49
<b>ekil 4.19.</b> Yüksek sönümlü kauçuk mesne .....	50
<b>ekil 4.20.</b> Dü ük sönümlü kauçuk izolatörün histeresis e risi .....	51
<b>ekil 4.21.</b> Dü ük sönümlü do al kauçuk mesnet .....	52
<b>ekil 4.22.</b> Dü ük sönümlü kauçuk mesnedin ematik modeli ve kuvvet-yer de i tirme davranı ı .....	53
<b>ekil 4.23.</b> Gerb yay tipi sistemler .....	55
<b>ekil 4.24.</b> Viskoz sönümleyicinin bile enleri.....	56
<b>ekil 6.1.</b> (a)ankastre,(b)izolasyonlu yapının deprem davranı ı .....	65
<b>ekil 6.2.</b> Amerika’ daki sismik izolasyon uygulamalarının yapılara ve köprülere göre da ılım oranları .....	67
<b>ekil 6.3.</b> Kobe depreminden sonra Japonya’ daki izolasyonlu yapı sayısının de i imi (OBAYASHI2005) .....	68
<b>ekil 6.4.</b> (a) TEB genel görünü , (b) TEB izolatör uygulaması plan görünü ü.....	73
<b>ekil 6.5.</b> Erzurum Devlet Hastanesi sonlu elemanlar modeli.....	73
<b>ekil 6.6.</b> Erzurum Devlet Hastanesi taban izolasyon yerle im planı .....	74
<b>ekil 6.7.</b> Zemin yalıtımının tarihi kagir duvarlarda uygulanmasının ematik anlatımı .....	76
<b>ekil 7.1.</b> En büyük deprem ivme spektrumu.....	80
<b>ekil 7.2.</b> Spektral ivme katsayıları.....	83
<b>ekil 8.1.</b> Sismik izolatörler temelin altında, alt kolonların üstünde, alt kolonların ortasında yerle imi.....	86
<b>ekil 8.2.</b> Sismik izolatörler ilk kat kolonlarının altında, temelin üstünde, temelin üstündeki kolonların ortasında yerle imi.....	87
<b>ekil 8.3.</b> Sismik izolatörlerin yeni in a edilecek binalar için birle im önerisi-1.....	87
<b>ekil 8.4.</b> Sismik izolatörlerin yeni in a edilecek binalar için birle im önerisi-2.....	88
<b>ekil 9.1.</b> Bir boyutlu çubuk eleman .....	93
<b>ekil 9.2.</b> ki boyutlu düzlem eleman.....	93
<b>ekil 9.3.</b> Üç boyutlu katı eleman.....	93
<b>ekil 9.4.</b> Bir boyutlu çubuk eleman.....	94
<b>ekil 9.5.</b> Üç boyutlu bir elemanın gerilmeleri.....	95
<b>ekil 9.6.</b> Üç boyutlu problemler için katı eleman.....	95
<b>ekil 9.7.</b> Kabuk (shell) eleman.....	96

<b>ekil 10.1.</b> Sismik kaynak faktörü $N_a$ ve $N_v$ .....	101
<b>ekil 11.1.</b> ETABS ile kullanılan nonlinear eleman örnekleri .....	112
<b>ekil 12.1.</b> Yapının tasarımı.....	117
<b>ekil 12.2.</b> Yapı tipik kat kalıp planı.....	119
<b>ekil 12.3.</b> Yapı 3 boyutlu ETABS modeli.....	119
<b>ekil 12.4.</b> Kütle hesabı.....	122
<b>ekil 12.5.</b> Spektrum davranı ı.....	122
<b>ekil 13.1.</b> zolatör ekli.....	125
<b>ekil 13.2.</b> zolatör katmanları.....	125
<b>ekil 13.3.</b> Tanımlanmı 3 boyutlu görünümü.....	127
<b>ekil 13.4.</b> ETABS ile izolatör özelliklerinin tanımlanması.....	129
<b>ekil 13.5.</b> ETABS ile kullanılan Erzincan , Düzce ve Kocaeli ivme deprem fonksiyonları.....	130
<b>ekil 13.6.</b> Yalıtımlı görelı kat yer de i tirmeleri oranı (Erzincan).....	132
<b>ekil 13.7.</b> Yalıtımlı yapı-diyafram sürüklenmesi (Erzincan).....	133
<b>ekil 13.8.</b> Yalıtımlı model maksimum kat yer de i tirmeleri (Erzincan).....	133
<b>ekil 13.9.</b> Yalıtımsız model maksimum kat yer de i tirmeleri.....	134
<b>ekil 13.10.</b> Deprem yer hareketleri (yalıtımlı).....	135
<b>ekil 13.11.</b> Deprem yer hareketleri (yalıtımsız).....	135
<b>ekil B.1.</b> Yalıtımlı yapı 3 boyutlu ETABS modeli.....	148
<b>ekil B.2.</b> Yalıtımlı yapı ilk üç mod do al titre im periyotları.....	149
<b>ekil B.3.</b> Yalıtımsız yapı 3 boyutlu ETABS modeli.....	150
<b>ekil B.4.</b> Yalıtımsız yapı ilk üç mod do al titre im periyotları.....	151
<b>ekil B.5.</b> Yalıtımlı model maksimum kat sürüklenmesi.....	152
<b>ekil B.6.</b> Yalıtımlı model zati yer de i tirmesi .....	152
<b>ekil B.7.</b> Yalıtımlı model Erzincan yer de i tirmesi .....	153
<b>ekil B.8.</b> Yalıtımsız model maksimum kat yer de i tirmesi .....	153
<b>ekil B.9.</b> Yalıtımsız model maksimum kat sürüklenmesi.....	154
<b>ekil B.10.</b> Yalıtımsız model $C_M$ yer de i titmesi diyafram için.....	154

## RESİMLER LİSTESİ

### Sayfa

<b>Resim 4.1.</b> Yardımcı sönümleyici sistemler.....	47
<b>Resim 6.1.</b> 1969 yılında yapılan dünyanın ilk kauçuk sismik izolasyonlu binası (a) genel görünüşü , (b) izolatör görünüşü.....	67
<b>Resim 6.2.</b> (a) Bolu Viyadüğü görünüşü ,(b) Bolu Viyadüğü izolatör uygulaması....	70
<b>Resim 6.3.</b> Atatürk Havalimanı' nın dışarıdan görüntüsü.....	70
<b>Resim 6.4.</b> Atatürk Havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı.....	71
<b>Resim 6.5.</b> (a) Kocaeli Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi izolasyon bölgesi (b) izolasyon yerleştirilmesinden bir görünüşü .....	72
<b>Resim 6.6.</b> Antalya Havalimanı.....	72
<b>Resim 6.7.</b> Erzurum Devlet Hastanesinin temellerine yerleştirilen kurulumun kauçuk mesnetin boyutları ve yerleştirme detayı.....	74
<b>Resim 6.8.</b> Mezarın bölümleri.....	76



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
$A$	Kauçu un en kesit alanı
$B$	Sönüm azaltma katsayısı
$[C]$	Sönüm matrisi
$C_{VD}, C$	Sismik katsayılar
$EI$	E ilme rijitli i
$D$	Tasarım yer de i tirmesi
$D_D$	Temel deprem dizaynı düzeyine göre izolasyon seviyesinde yer de i tirme
$D_M$	Maksimum deprem dizaynı düzeyine göre izolasyon seviyesinde yer de i tirme
$D_Y$	Akma yer de i tirmesi
$DBE$	Temel deprem dizaynı düzeyi
$f_{u1}, f_{u2}, f_{u3}$	ç yay kuvvetleri
$f_{r1}, f_{r2}, f_{r3}$	Yay momentleri
$\{F\}$	Kuvvet vektörü
$g$	Yerçekimi ivmesi
$G$	Kayma modülü
$I$	Bina önem katsayısı
$[K]$	Rijitlik matrisi
$K_{eff}$	Efektif rijitlik
$K_H$	Yatay rijitlik
$K_V$	Dü ey rijitlik
$K_1$	Elastik rijitlik
$K_2$	Plastik rijitlik
$N_a, N_v$	Aktif fay yakınlık faktörü
$MCE$	Maksimum deprem dizaynı düzeyi
$M_M$	Tepki katsayısı
$[M]$	Kütle matrisi
$R_I$	Süneklik faktörü
$S$	ekil faktörü
$S_{11}$	Yerel 1 ekseninde 2-3 düzleminde kabuk elemanlar ve katı elemanlar için gerilme
$S_{22}$	Yerel 2 ekseninde 1-3 düzleminde kabuk elemanlar ve katı elemanlar için gerilme
$S_{(T)}$	Spektrum katsayısı
$t$	Tek bir kauçuk tabakasının kalınlı ı
$t_r$	Kauçu un toplam kalınlı ı
$T_D, T_M$	zolasyon periyotları
$\{u\}$	Yer de i tirme vektörü

$V_S$	Taban kesme kuvveti
$\ddot{u}_{g(t)}$	Yer hareketi ivmesi
$W$	Yapının a ırlı 1
$W_D$	zolatör modelinde bir tam periyotta da ıtılan enerji
$\ddot{y}$	ekilde i tirme
	Do al frekans
	Akma sonrası rijitli in akma öncesi rijitli e oranı
$\beta$	Sönüm faktörü
$Z$	Sismik bölge faktörü
	Basınç altında meydana
$A_P$	Kur un çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinde kur un çekirde in alanı
$A_r$	Tek bir elastomer tabakanın çelik plaka ile yapı mı , yüke maruz yüzey alanı
$B$	Çelik plaka ile yapı mı elastomerin çapı
$B_L$	Kur un çekirdek çapı
$B_M$	En büyük deprem seviyesi için yalıtım sisteminin e de er viskoz sönüm oranı ileili kili olarak belirlenmi spektrum azaltma katsayısı.
$B_D$	Tasarım yer de i tirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin e de er viskoz sönüm
$D$	Yanal yer de i tirme miktarı, olu an maksimum yer de i tirme
$D_L$	Sabit Yük
$D_D$	Tasarım depremi seviyesinde yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde olu acakyer de i tirme
$D_M$	En büyük deprem seviyesinde yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde olu acak yer de i tirme
$D_y$	Etkin Akma Yer de i tirmesi
$E_e$	Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü
$e_{t, x, y}$	Yalıtım sisteminin sırasıyla x ve y yönlerindeki toplam dı merkezlilik mesafesi.
$F$	D yer de i tirmesine kar ı gelen dayanım
$F_a$	Kısa periyot spektral genlik düzeltme katsayısı (zemin etkisi parametresi)
$F_i$	i. kat seviyesinde göz önüne alınan yönde etkiyen yanal kuvvet
$F_v$	1s' lik periyot spektral genlik düzeltme katsayısı (zemin etkisi parametresi)

<b>F<sub>VD</sub></b>	Tasarım depremi seviyesindeki dü ey deprem hareketinden kaynaklanacak dü ey kuvvet
<b>F<sub>VM</sub></b>	En büyük deprem seviyesindeki dü ey deprem hareketinden kaynaklanacak dü ey kuvvet
<b>F<sub>y</sub></b>	Etkin Akma Dayanımı
<b>G</b>	Elastomer malzemenin kayma modülü
<b>G</b>	Yer çekimi ivmesi (9.81 m/sn <sup>2</sup> )
<b>G<sub>AS</sub></b>	Elastomer malzeme kayma modülü alt sınırı
<b>G<sub>e</sub></b>	Etkin kayma modülü de eri
<b>G<sub>NOM</sub></b>	Elastomer malzeme kayma modülü nominal de eri
<b>G<sub>US</sub></b>	Elastomer malzeme kayma modülü üst sınırı
<b>H<sub>i</sub></b>	Yalıtım arayüzü ile i. kat seviyesi arasındaki mesafe
<b>H<sub>i</sub></b>	i. kat ile (i-1). kat arasındaki mesafe
<b>k<sub>D,max</sub></b>	Tasarım depremi yer de i tirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin maksimum etkin rijitli i
<b>K<sub>e</sub></b>	D yer de i tirmesine tekabül eden e de er do rusal (Sekant) Rijitlik =F/
<b>K<sub>ex1</sub></b>	i. yalıtım biriminin sırasıyla
<b>K<sub>M, max</sub></b>	En büyük deprem yer de i tirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin
<b>K<sub>M, min</sub></b>	En büyük deprem yer de i tirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin minimum etkin rijitli i
<b>K<sub>v</sub></b>	Yalıtım sisteminin toplam dü ey rijitli i
<b>K<sub>v</sub></b>	Elastomer yalıtım biriminin dü ey rijitli i
<b>k<sub>1</sub></b>	Ba langıç Rijitli i (Elastik Rijitlik)
<b>k<sub>2</sub></b>	Elastik Ötesi Rijitlik
<b>L</b>	Elastomer tabakası kenar yüzeyi alanı
<b>L<sub>L</sub></b>	Hareketli Yük
<b>N</b>	Yalıtım arayüzü üstünden itibaren binadaki toplam kat sayısı
<b>P</b>	Elastomer üzerinde sabit ve hareketli yükten kaynaklanan toplam düşey yük
<b>P<sub>cr</sub></b>	Yanal yer de i tirme olmadı ı zaman elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
<b>Q</b>	Karakteristik dayanım veya etkin akma kuvveti

<b>R</b>	Yalıtım birimi kayma yüzeyinin e rilik yarıçapı
<b>r<sub>x,y</sub></b>	x ve y yönlerindeki burulma atalet yarıçapı de erleri
<b>R<sub>1</sub></b>	Yük azaltma katsayısı
<b>S<sub>D(T)</sub></b>	Tasarım Depremine kar ı gelen %5 sönümlü Yatay vme Spektrumu
<b>S<sub>D(TD)</sub></b>	Tasarım depremi seviyesinde T periyodundaki spektral ivme.
<b>S<sub>M(T)</sub></b>	En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü yatay spektral ivme (g) periyotlu spektral ivme (g)
<b>S<sub>M(TM)</sub></b>	En büyük deprem seviyesinde T periyodundaki spektral ivme
<b>S<sub>M(0.2)</sub></b>	En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü kısa periyotlu yatay spektral ivme (g)
<b>S<sub>M(1)</sub></b>	En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivme (g)
<b>S<sub>MR(0.2)</sub></b>	En büyük deprem seviyesinde referans zemin için, %5 sönümlü, yatay ve kısa periyotlu (T=0.2s) spektral ivme (g) (1)
<b>S<sub>MR(1)</sub></b>	En büyük deprem seviyesinde referans zemin için, %5 sönümlü, yatay ve kısa periyotlu (T=1.0s) spektral ivme (g)
<b>S<sub>1</sub></b>	Birinci ekil katysayısı
<b>S<sub>2</sub></b>	kinici ekil katsayısı
<b>T</b>	Periyot (s)
<b>t</b>	Elastomer tabaka kalınlı ı
<b>T<sub>D</sub></b>	Yer de i tirme seviyesinde deprem yalıtımlı yapının, yanal etkin titre im tasarım periyodu
<b>T<sub>L</sub></b>	Uzun periyot bölgesine geçi periyodu
<b>T<sub>M</sub></b>	En büyük yer de i tirme altında deprem yalıtımlı yapının yanal etkin titre im periyodu
<b>T<sub>0</sub></b>	Spektrum kö e periyodu ba langıç de eri
<b>T<sub>r</sub></b>	Toplam elastomer kalınlı ı
<b>T<sub>S</sub></b>	Spektrum kö e periyodu biti de eri
<b>T<sub>v</sub></b>	Elastomer yalıtım birimleri ile yalıtımlı yapının dü ey yöndeki titre im periyodu
<b>V<sub>b</sub></b>	Tasarım yer de i tirmesi seviyesinde yalıtım sisteminde olu acak kesme kuvveti
<b>V<sub>s30</sub></b>	Zemin ortamının üst 30 metresi için hesaplanan ortalama kayma



	dalgası yayılma hızının de eri
$W$	Üst yapının toplam a ırlı ı
$W_d$	Bir histeriz e risinin içinde kalan alan
$W_i$	i. kat seviyesindeki a ırlık
$x_i, y_i$	i. yalıtım biriminin yalıtım sistemi rijitlik merkezine göre koordinatları
$S_D$	Yalıtım sisteminin tasarım yer de i tirmesi seviyesindeki e de er sönüm oranı
$S_e$	E de er Sönüm Oranı
$S_M$	Yalıtım sisteminin en büyük deprem yer de i tirmesi seviyesindeki e de er sönüm oranı
$Y_p$	Kur un malzemenin kayma akma gerilmesi
$r_G$	Sıcaklık, ya lanma, çalı ma etkilerinden kaynaklanacak özellik süzeltme katsayısı
$r_{\sim}$	Ya lanma ve kirlenme etkilerinden kaynaklanacak özellik düzeltme
$\chi_C$	Birim ekil de i tirme
$\chi_S$	Yanal yer de i tirme altında elastomermalzemedede olu an kayma birim ekil De i tirmesi
$\sim$	Sürtünme katsayısı
$\sim_{AS}$	Sürtünme katsayısının alt sınır de eri
$\sim_{NOM}$	Sürtünme katsayısının nominal de eri
$\sim_{ÜS}$	Sürtünme katsayısının üst sınır de eri
$u_{x_i, y_i}$	Büyütme faktörleri

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ANM</b>	Ankastre mesnetli camı modeli
<b>CQC</b>	Tam karesel birle tırme kuralı
<b>DZL</b>	Düzenli ankastre model
<b>DZS</b>	Düzensiz ankastre model
<b>FCLJC</b>	Foothill Communities Law and Justice Center
<b>KK</b>	Kur un çekirdekli kauçuk mesnet
<b>KKM-DZS</b>	Kur un kauçuk mesnet ile tasarlanmı düzensiz model
<b>KKM</b>	Kur un kauçuk mesnetli camı modeli
<b>M</b>	Magnetüt
<b>RUB</b>	Yüksek sönümlü do al kauçuk mesnet
<b>ETABS</b>	Exttended Three Dimensional Analysis of Building Systems
<b>UBC-97</b>	Uniform Building Code
<b>USC</b>	Southern Kaliforniya Üniversite hastanesi
<b>YKM-DZS</b>	Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli düzensiz model
<b>YKM</b>	Yüksek sönümlü kauçuk mesnetli camı modeli
<b>EERC</b>	Earthquake Engineering Research Center

## DEPREM TABAN YALITIMI MODELLEMELERİNİN SONLU ELEMAN TÜRLERİ VE UYGULAMA ÖZELLİKLERİ

### ÖZET

Yapı sistemlerinin deprem dayanımını arttırması bakımından inşaat teknolojisindeki en yeni gelişmelerden biri sismik izolasyon teknolojisidir. Sismik izolasyon yönteminde amaç zemin ile yapının tabanı arasında esnek enerji sönmüleyici elemanlar yerleştirilerek zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasıdır. Sismik taban yalıtım yöntemi, yapıların depremlere karşı korunması için geliştirilmiş olan en etkin yöntemlerden birisidir. Depremlerden sonraki levlerini sürdürmeleri gereken köprüler, hastaneler gibi yapılar ve nükleer güç santralleri, müzeler gibi özel Yapılar için yöntemin uygulanmasının getireceği ilave maliyet önemsizmemelidir. Bu çalışmada, sismik izolasyon tanımı yapılarak kullanılan sistemler incelenerek ve bu sistemlerin modellenmesi üzerine durularak betonarme 4 katlı bir binası sismik izolasyon olmadan ve sismik izolasyon durumunda ETABS sonlu eleman yazılımı ile analiz edilerek yanal ötelenmeler, eylemler ve yapı doğal periyodunun aldığı değerler karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Sismik taban yalıtım sistemi, Sonlu eleman türleri, Deprem, Betonarme.

## **FINITE ELEMENT TYPES FOR MODELLING SEISMIC BASE ISOLATION AND APPLICATION PARTICULARITIES**

### **ABSTRACT**

Seismic isolation technology is one of the novel developments in the construction technology to increase the earthquake resistance of structural systems. The objective of seismic isolation technique is to reduce the seismic force transmitted from the soil to a structure by inserting flexible and dissipative elements below foundation of structure. Seismic base isolation method is one of the most efficient methods that have been developed for the protection of structures against earthquakes. For bridges and hospitals which must continue their functions after earthquakes and for special structures such as nuclear power plants and museums, the additional cost due to the application of the seismic base isolation system is not taken into consideration. In this study, by explaining the definition of the seismic isolation system used and these systems with emphasis on modeling of a building of 4 floors without concrete seismic isolation system and with seismic isolation by ETABS program finite element analyzed, the lateral displacements, bending moments and with values of structural periods have been determined.

**Keywords:** Seismic base isolation system, Finite element types, Earthquake, Reinforced Concrete.

## 1. G R

Depremler, çönceden bir uyarı olmadan meydana gelen do al afetlerdir. Günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusundaki ara tırmalar sürdürülmekte olur, ancak bu konuda güvenilir sonuçlar elde edilememi tir. Depremlerin ani olu maları yapıların depreme kar ı korunmasını zorunlu kılmaktadır. Yapıların ve içerisinde bulunan ekipmanların depremlere kar ı korunması için geli tirilen yöntemlerden en etkili sismik taban yalıtım yöntemi dir. Bu yöntem günümüze birçok yapıda ba arıyla uygulanmı tır [1].

Sismik taban yalıtımı, uygulandı ı binanın depreme kar ı davranı nı iyile tirdi inden, uzun sürede bir ekonomi sa lamasına ra men, ba langıçta yapım maliyetine ek bir maliyet getirmektedir. Ülkemiz dı ında yapılan ara tırmalarda, bu ek maliyetin binanın toplam maliyetinin %1 ile %5' i arasında oldu u belirlenmi tir [1]. n aat yapım maliyeti ülkelerin ekonomilerine göre de i mektedir. talya' da yapılan benzer bir çalı mada sismik taban yalıtımından dolayı olu an ek maliyetin %7 civarında oldu u tespit edilmi tir [2].

Sismik taban yalıtımı uygulanmı bir yapı ile, aynı özellikteki sabit ankastre bir yapının depreme kar ı gerek insan hayatının korunması, gerekse yapının hasar durumu açısından gösterdikleri davranı lar birbirinden farklıdır. Bu sebeple, maliyetlerin bir ölçü belirlenmeden do rudan kar ıla tırılması yanlı olur. Bu yöntemin uygulandı ı bir bina ile aynı yapısal özelliklere sahip ankastre bir bina ekonomik olma yönünden, ancak seçilecek bir deprem kapasitesi ve kabul edilebilir bazı hasarlar gözönüne alınarak kar ıla tırılabilir. Bu amaca yönelik olarak bu yöntemin uygulandı ı bir bina ile aynı binanın ankastre yapılması durumu için detaylı bir kar ıla tırma, A.B.D.' nin Los Angeles kentinde bulunan yangın kumanda ve kontrol tesisleri için yapılmı tır. Bu binanın olu abilecek en büyük deprem etkisi altında i levini sürdürebilmesi amaçlanmı tır. Bu ara tırmanın sonucunda sismik taban yalıtımlı binanın, geleneksel ankastre binaya göre % 6 daha az maliyetle in a edilebilece i ortaya çıkmı tır [3]. Sismik taban yalıtımı yönteminin maliyetini artıran birkaç sebep vardır. Biri, izolasyon sisteminin kendi maliyetidir. Günümüzde kur un çekirdekli kauçuk izolatörün fiyatının büyüklü üne ve

özelliklerine ba lı olarak 5000 \$ ile 25000 \$ arasında de i ti i dü ünüldü ünde, maliyet artı ı daha iyi anla ılır. zolatörlerin birlikte hareket etmelerini sa lamak için üzerlerinde olu turulan dö eme sistemi, binanın yatay do rultuda hareketine olanak sa lamak için bırakılan sismik bo luk ve bunun sa lanması için in a edilen istinat duvarları ve binanın ekonomik ömrü boyunca yapılması zorunlu olan izolatör kontrol ve bakım i leri, ek maliyete sebep olan di er faktörlerdir.

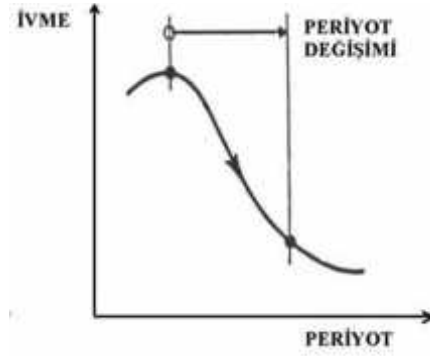
Sismik taban yalıtımı uygulanmı bir yapıda, deprem enerjisinin büyük bir bölümü izolasyon sisteminde harcandı ndan üst yapıyada küçük miktarda enerji iletilir. Bunun sonucunda üst yapı daha küçük deprem kuvvetlerine göre boyutlandırılarak belirli miktarda ekonomi sa lanmı olur. Bu durum deprem riski yüksek olan bölgelerdeki mevcut yapıların güçlendirilmesinde oldukça faydalı sonuçlar vermektedir. Yapının sadece temeliyle kolonları arasına yada bodrum kat kolonları üzerine sismik izolatörler yerle tirilerek, üst yapıya önemli bir müdahalede bulunmadan güçlendirme i lemi tamamlanmaktadır.

Yapıların deprem ve rüzgâr gibi dinamik etkilerin kar ısında yıkılmasını engellemek için kesit boyutlarının yeterli dayanımda sahip olması gerekir. Ancak, bu eilde tasarlanan yapılar iddetli deprem kuvvetleri kar ısında yıkılmasalar bile, yapı içinde kullanılan donanımların ve teçhizatların zarar görmesi nedeniyle görevlerini yerine getiremeyebilirler [4].

Sebeple acil durum artlarında mutlaka kullanılabilir durumda kalmaları gereken hastane, itfaiye, telekomünikasyon ve nükleer enerji santralleri gibi yapıların, hem kendilerinin hem de içindeki donanımların zarar görmemesi sa lanmalıdır. Bunun için deprem enerjisini, yapının ta ıyıcı sistemi yerine, yapıya kurulan sistemler üzerinde toplayarak sönümlenmesini sa layacak mekanik sönümleyiciler ve izolatörler geli tirilmi tir. Burada hedeflenen, dinamik kuvvetlerden meydana gelen titre imleri, kesit zorlarını ve yer de i tirmeleri güvenlik sınırları içerisinde tutarak yapının ve yapı içindeki donanımın korunmasını sa lamaktır. Pasif enerji sönümleyiciler, yapıda olu an kesit zorlarını ve yer de i tirmeleri kabul edilebilir sınırlarda tutmak için kat aralarına yada kolon kiri birle im bölgelerine yerle tirilen mekanik elemanlardır. Bu elemanlar yapıya etki eden kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönü türerek absorbe ederler. Böylece ta ıyıcı sistemin deformasyonlarını azaltarak daha rijit bir davranı a neden olurlar. Deprem enerjisini ısı enerjisine dönü türerek sönümleyen pasif enerji sönümleyiciler, histerik sistemler ve visko-elastik sistemler

olarak gruplandırılırlar. Histerik sistemler, metallerin plastik ekil de i iminden yararlanarak enerjiyi sönümünü sa larlar [5].

Ancak histerik sistemler rüzgâr gibi sürekli ve daha dü ük seviyedeki kuvvetlerde arzu edilen sönümlemeyi sa lamazlar. Bu amaçla visko-elastik sönümleyiciler geli tirilmi tir. Bu tür sönümleyiciler her seviyedeki ekil de i tirmelere uygundur. Hem deprem hem de rüzgâr kuvvetlerine kar ı koruma sa layabilirler. Bu tip sönümleyiciler, visko-elastik katı sönümleyiciler ve visko-elastik sıvı (viskoz) sönümleyiciler olarak iki grupta incelenir. Visko-elastik katı sönümleyiciler, camısı yada kopolimer visko elastik malzemelerden olu urlar ve yapıya etkiyen dı enerjiyi, visko elastik tabakaların kayma deformasyonundan yararlanarak sönümlerler. Visko elastik sıvı sönümleyiciler ise genel olarak bir piston ve içi silikon (akrilik kopolimer) veya ya dolu bir silindirden olu ur. Pistonun viskoz sıvı içerisinde hareketi sayesinde enerji sönümü sa lanır. Viskoz malzemeler darbe etkisinde sıkı tırlamaz ve geni bir frekans aralı nda etkili olurlar, küçük boyutlarına ra men büyük kontrol kuvvetleri sa larlar. Ancak bu tur sönümleyiciler ortam sıcaklı ından etkilenirler, ortam sıcaklı ı artıkça orantılı olarak enerji emme kapasiteleri de azalır. Sismik taban izolasyon sistemleri ise, temel ile temel üst yapısı arasına monte edilen ve üst ta ıyııcı sistemin zemine göre büyük yatay yer de i meler yapmasına izin veren izolatörlerden olu ur. Bu elemanlar, zeminden gelen dü ük periyotlu ve yüksek frekanslı titre imleri, yaptı ı büyük yanal yer de i tirmelerle dü ük frekanslı ve yüksek periyotlu titre imlere dönü türür. Deprem enerjisi bu büyük yer de i tirmeyle emilmi olunur ve yapı daha bütün bir davranı sergileyerek katlar arasındaki rölatif ötelemeler minimize edilir. Bunun sonucunda da yapıda hissedilen titre im ivmesi, zemin titre im ivmesinden daha küçük de erlerde kalır [6]. Örne in, birinci do al titre im periyotları ortalama 0.5 saniye olan orta yükseklikteki yapıların periyotlarını 2.5 saniye civarlarına yükseltirler ve yapı, zemin titre imlerinden izole edilmi olur. ekil 1.1' deki spektrum ivmesinde yapı periyodunun artmasıyla yapıya etkiyen ivmenin nasıl azaldı ı görülmektedir (Sismik zolasyon Sertifika Programı, 2003).



**ekil 1.1.** Yapıya etkiyen ivmenin yapı periyodu ile değişimi [1]

Depreme dayanıklı yapının depremli elemanlarından depremli iddetlerdeki depremlerde beklenen davranışları aşağıdaki gibidir.

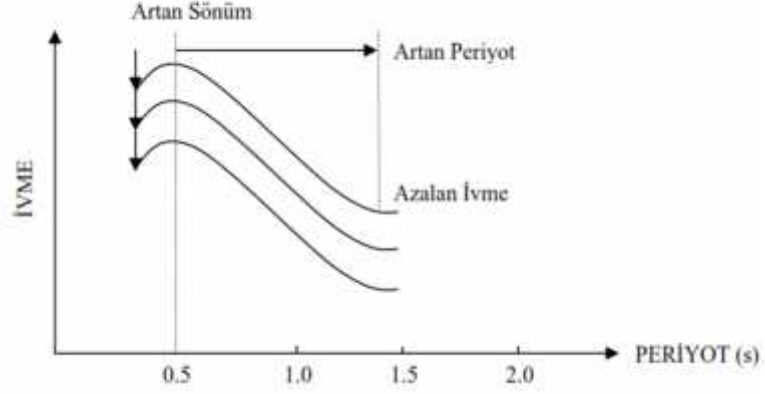
- Yapının faydalı ömrü içerisinde çok sayıda olması beklenen hafif iddetli depremlerde, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda, yapı içindeki ekipmanlarda hiç hasar olmamasıdır.
- Yapının faydalı ömrü içerisinde çok sayıda olması beklenen orta iddetli depremlerde mimari elemanlarda ve az da olsa taşıyıcı sistem hasarı başlangıcı olabilir.
- Yapının faydalı ömrü içerisinde olması beklenen en iddetli depremde yapı taşıyıcı sistemi ileri düzeyde hasar görebilir, ancak yıkılmamalı ve can kaybına neden olmamalıdır.

Taban izolasyonu uygulanmış bir yapıda ise hafif ve orta iddetli depremlerde yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarında hiçbir hasar olmaması, en iddetli depremlerde yapının kullanım seviyesinde herhangi bir aksama meydana gelmemesi beklenmektedir.

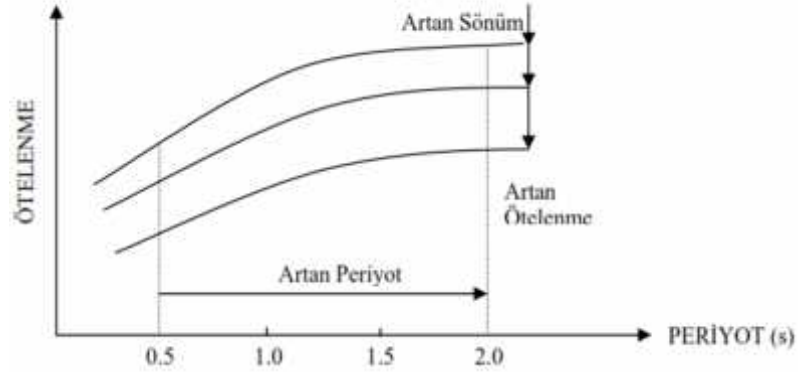
ekil 1.2' den görüldüğü üzere ankastre mesnetli yapılarda kat adedi arttıkça yapı periyodu artmakta ve yapı ağırlığı cinsinden taban kesme kuvveti azalmaktadır. Yapının periyodu 2 saniye civarına kadar uzatılırsa sismik kuvvetlerde önemli bir azalma meydana gelmektedir. Kat kuvvetleri ve yapıdaki yer deşirmeleri kontrol etmek açısından bir başka yöntem de yapıya ekstra sönüm sağlamak olabilir. ekil 1.2 ve ekil 1.3' te artan sönüm değerleri için kuvvet ve yer deşirme spektrumları görülmektedir. Sönüm arttıkça periyoda bağlı olarak yapıya etkiyen kuvvetler ve kuvvet-periyot ilişkisinin hassasiyeti azalmaktadır ve ayrıca yapıdaki yer deşirmeler de kontrol edilebilir seviyelere inmektedir. Ancak yapı sönümü henüz tam olarak formüle edilememiş tir ve ankastre mesnetli yapılar için deneysel



çalı malardan çıkarılan sonuçlara göre yönetmelikler bu de eri % 5 olarak varsaymaktadır. Böylece, yapıda ekstra sönüm elemanları kullanmadan yapının sönümünü arttırmak mümkün görülmemektedir.



**ekil 1.2.** Sert zeminler üzerinde alınımı tipik kuvvetli yer hareketi ivme spektrumu [7]

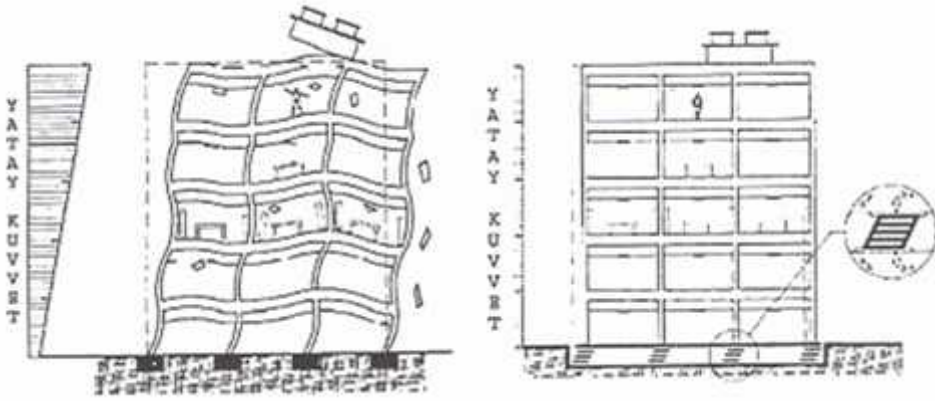


**ekil 1.3.** Sert zeminler üzerinde alınımı kuvvetli yer hareketi öteleme spektrumu [7]

Yukarıdaki ekilde ankastre mesnetli yapılar için yer de i tirme-periyot ili kisi görülmektedir. Yapının periyodu arttırıldı nda yapıda daha büyük yer de i tirmeler meydana gelmektedir. Katlar arası görelî yer de i tirme sınır de erleri a tı nda ta ıyıcı sistem hasarı meydana gelebilir ve ayrıca yapı içerisindeki e yalar a ırı yer de i tirmeler sonucunda devrilerek can ve mal kaybına da sebebiyet verebilir. Büyük kat ötelemeleri daha rijit sistemler olu turularak azaltılabilir ancak bu sayede kat ivmeleri artmaktadır. Kat kütlelerine etkileyen büyük ivmelerden dolayı olu an atalet kuvvetleri ancak daha sünek sistemler olu turarak azaltılabilir ancak bu da kat ötelemelerini artırıcı bir unsurdur.

ekil 1.4' de ankastre mesnetli bir yapı ile taban izolasyonu uygulanımı yapının deprem esnasındaki davranı ı görülmektedir. Ankastre mesnetli ta ıyıcı sistem yatay

deprem yükünü binaya üst katlara doğru lineer artan şekilde uygulamakta ve dolayısıyla yüksek kat kuvvetleri ve büyük kat ötelemeleri meydana gelmektedir.



**ekil 1.4.** Ankastre mesnetli ve taban yalıtım sistem uygulanmış yapı davranışları [8]

Taban izolasyonlu bir yapıda ise, önemli yer de i tirmeler izolasyon katı seviyesinde olur ve üst yapı nerede ise rijit öteleme hareketi yapar. Kat kuvvetlerinin azalması sonucu yapıdaki yer de i tirmelerin istenen sınırlar içerisinde kalması sağlanır. Böylece taşıyıcı sistem ve yapısal olmayan mimari elemanlardaki hasar önlenerek yapı güvenli i artırılmış olur.

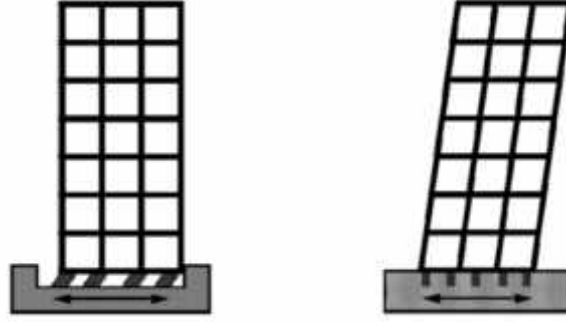
Kısa ve orta yüksek, küçük periyotlu yapılarda uygun olan bu yöntem uzun periyotlu yapılarda uygun değildir. Yumuşak zemin üzerine oturan yapılarda taban izolasyonu uygulanması deprem kuvvetlerini azaltacağına aksine artırıcı bir unsur olabilir. Taban izolasyonu mevcut yapılardaki klasik güçlendirme yöntemlerine alternatif olmaktadır [7].

Bu tez kapsamında günümüzde yaygın olarak kullanılan taban izolatörleri hakkında araştırma yapılmış, taban izolasyonu mesnetlerinin mekanik özellikleri, bu mesnetlerin modellenmesi ve bina tipi yapılar için yaygın olarak kullanılan UBC-97 yönetmeli i içeriğinde yer alan taban izolasyonu hükümleri incelenmiştir. İzolasyon mesnetlerinin modellenmesinde kullanılan sonlu elemanlar programlarından biri olan ETABS ile 3 boyutlu bir yapının yalıtım elemanının matematik modeli kurulmuştur. Karşılaştırılan lineer statik (“E de er Deprem Yüğü” yöntemi) ve lineer olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçları, ankastre mesnetli durum ile karşılaştırılmıştır.

## 2. SİSMİK ZOLASYON

### 2.1. Sismik izolasyon kavramı

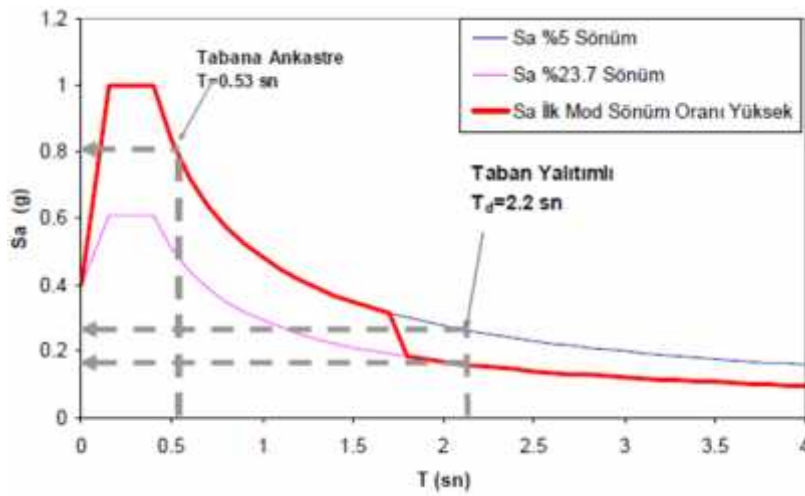
Sismik izolasyon alt yapı ile üst yapı arasında çeşitli düzeylerde yerleştirilebilen rijitli yatayda düşük, düeyde yüksek izolatör katmanını vasıtasıyla üst yapının periyodunu büyütmek suretiyle üst yapıya gelen deprem yüklerini azaltmayı amaçlayan depreme dayanıklı yapı tasarımı yöntemidir. Klasik yapılarda deplasmanlar bina yüksekliğine doğru artar ve üst katlarda artar. Taban yalıtımlı binalarda ise yerden titreşim izolatörlerinde yerden titreşim ve rölatif ivme her katta birbirine yakın olur (Şekil 2.1). İzolasyon sistemi düşük yatay rijitli yapı ile zemin ile yapıyı zeminin yatay hareketlerinden ayırır. Bu durum yapının frekansının ankastreli durumdaki frekansından ve yer hareketinin baskın frekansından çok daha düşük olmasını sağlar. Yapıda hasara neden olan daha yüksek modlar birinci moda ve zemin hareketine ortogonaldır. Bu yüksek modlar harekette yer almazlar, dolayısıyla yüksek frekanstaki zemin hareketinin büyük enerjisi yapıya iletilmez. İzolasyon sistemi deprem enerjisini yutmaz ama sistemin dinamiğini yansıtır. Bu sönümleme ile ilgili değildir fakat belirli bir sönümlemenin olması rezonansın engellenmesi için yararlı olacaktır. Üst yapı rijit ise izolasyonlu yapının davranışı tek serbestlik dereceli yapının davranışıyla çok benzerdir. Tipik elastomerik izolatörlerin kuvvet yerden titreşimi, kendi doğasında olan sönümleme özelliğinden dolayı lineer değildir. Dolayısıyla sismik izolasyonlu yapının sismik davranışının doğrusal olarak belirlenebilmesi için izolatörlerin lineer olmayan mekanik özelliklerinin matematiksel modeli çok doğrusal olarak belirlenmelidir [9].



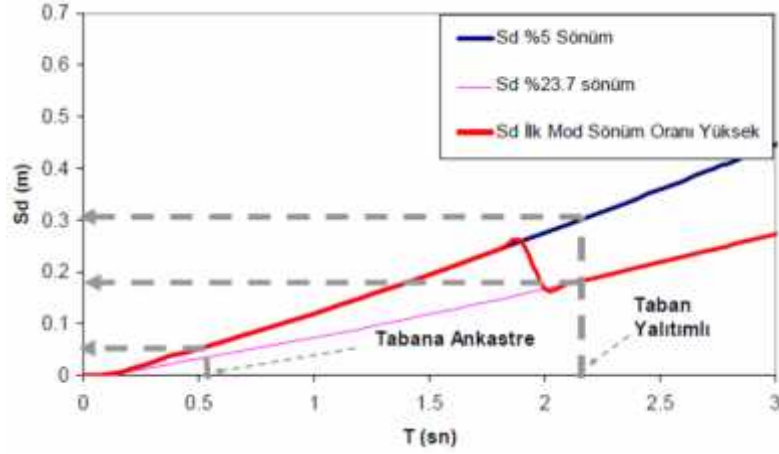
**ekil 2.1.** Taban izolasyonlu ve ankastre mesnetli yapı [9]

## 2.2. Sismik izolasyon yönteminin temel ilkeleri

Binalarda uygulanacak sismik izolasyon yönteminin esas amacı yapının yatay yük taşıyıcı sistemine gelecek deprem kuvvetlerini yapının temel titreşim periyodunu yükseltme, yada yapı etkin sönüm oranını artırma seçeneklerinden birine başvurarak azaltmaktır. Yapı periyodunu yükseltmenin ne denli faydalı olduğu ekil 2.2 ve ekil 2.3'ten anlaşılabilir. Bu ekillerden de anlaşılacağı üzere yapı periyodunun artması yapı üzerine gelen spektral ivme değerlerinin azaltılmasını sağlamaktadır. Yapı periyodunun büyümesi ile artan yer deprem talebi karşılığında bina önemli ölçüde depremden korunmuş olur [10,11].



**ekil 2.2.** Spektral ivme değerlerinin yalıtımlı ve yalıtımsız yapı için deşimi [11]



**ekil 2.3.** Spektral yer de i tirmenin yalıtımlı ve yalıtımsız yapı için de i imi [11]

Yalıtım sistemini oluşturan elemanlar yalıtıcı birimleri olarak adlandırılır. Bu birimler genellikle: Elastomerik Yalıtıcılar (Kuru ve Çekirdekli Elastomer Yalıtıcılar, Yüksek Sönümlü Elastomer Yalıtıcılar) veya Etilimli Yüzeyle Sürtünmeli Yalıtıcılar (Küresel yüzey veya kızaklı, bir veya iki taraflı) tipinde olmaktadır veya çelik yaylar ve söndürücü elemanlardan oluşmaktadır. Binalarda kullanılan deprem yalıtımı birimleri genellikle aşağıdaki özellikleri içermektedir:

- Yüksek dikey rijitlik,
- Düşük yatay rijitlik,
- Dikey yük taşıyabilme,
- Enerji yutumu,
- Deprem sonrası yeniden merkezlenme,
- Deprem harici yatay yükler (Rüzgar gibi) karşısında yüksek yatay rijitlik.

Ayrıca yalıtım birimleri en büyük yer de i tirme ve dikey yük birleşimleri altında kararlı olmalı, artan yanal yer de i tirmelerle artan direnç göstermeli ve tekrarlı yükler altında fiziksel özelliklerindeki de i imler sınırlı kalmalıdır[12]. Deprem yalıtımı tasarımı için istenen performans kriterleri kullanılacak artnameye bağlı olarak de i im gösterse bile genelde aşağıdaki kriterler öngörülmektedir:

- Tasarım depremi (50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip kuvvetli deprem hareketi) etkisi yapısal sistemde herhangi bir hasar oluşurmayacak ve tasarım deprem sonrası en az “Hemen Kullanım” olmak üzere performans kriteri sağlanacaktır.
- En büyük deprem (50 yılda %2 aşılma olasılığına sahip yerbaşımlı deprem hareketi) etkisi altında deprem yalıtım sisteminde herhangi bir hasar

olu mayacak ve yapısal sistemde en az “Can Güvenli i” performans kriteri sa lanacaktır [13].

### **2.3. Yapıların sismik kontrolü**

Yapılar sismik kuvvetlere kar ı koyacak ekilde tasarlanmı olsalar bile, deprem, tarih boyunca insano luna büyük maddi kayıplar vermi tir. Bu sebeple depremin yıkıcı etkisinden kurtulmak için birçok çözüm üretilmi , teknolojik geli meler ve bunun ı ı nda ortaya çıkan “akıllı binalar” kavramı, deprem hakkında ara tırma yapanların üzerinde durdu u hassas bir konu halini almı tır.

Yer hareketinin meydana getirdi i enerjinin yapı elemanları tarafında sönümlenmesi fikrine dayalı olarak birçok yapı kontrol mekanizmaları olu turulmu tur. Kontrol mekanizmaları genelde üç bölüm altında incelenebilir:

1. Pasif kontrol sistemleri
2. Aktif kontrol sistemleri
3. Yarı aktif, karma (hybrid) sistemler [14] .

#### **2.3.1. Pasif kontrol sistemleri**

Pasif kontrol sistemleri genel olarak taban yalıtım sistemleri ve pasif enerji sönümleyen sistemler olarak 2 gruba ayrılır. Yapıların tabanına yerle tirilen kauçuk esaslı taban yalıtım malzemesi, deprem sırasında yapının tabanında büyük ekil de i tirmeler olu turarak meydana gelen enerjiyi sönümler ve yapının üst kısımlarının zarar görmesini önler. Pasif enerji sönümleyen sistemlerde, yapıya yerle tirilen viskoelastik ve sürtünme araçları ile enerjinin sönümlenmesi, böylece yer de i tirme ve kesit zorlarının azaltılması amaçlanmı tır. Her iki pasif kontrol sisteminde boyutlandırma, yapının in a edilece i bölgedeki deprem karakteristiklerine ba lı olarak belirlenir. Bu nedenle taban yalıtım ve pasif sönümleyici sistemler boyutlandırıldıkları deprem iddetinde maksimum korumayı sa larlar [16].

### 2.3.2. Aktif kontrol sistemleri

Aktif kontrol sistemleri, mekanizmayı denetleyen ve belli zaman aralıklarında deprem titreşimlerini algılayıp, bu titreşimlerin şiddetine göre hesaplar yapan bir kontrol ünitesine sahip olduğu için teorik olarak her şiddetteki depreme dayanacak şekilde tasarlanmıştır.

Sistemin mekanizması genel olarak, deprem titreşimlerinin algılanması, bir kontrol aracılığıyla bu bilgilerin değerlendirilmesi ve bina üzerine yerleştirilen aygıtlarla, binanın titreşimlere karşı çeşitli biçimlerde (rijitlik değiştirme, kütle sönümleyiciler gibi) uyum sağlayarak yer hareketinin veya şiddetli rüzgarların yapının taşıyıcı sistemi üzerindeki zarar verici etkisinden kurtulması prensibine dayalı olarak kurulmuştur.

Böylece bir yapı, aktif kontrollü kullanarak deprem, rüzgar veya patlama gibi şiddetli ve ani yüklere karşı davranışını değiştirerek, yüklerden dolayı oluşan enerjiyi sönümleyebilir. Kendini yükün şiddetine göre ayarlama kabiliyetine sahip bütür yapılara “smart structures” (akıllı yapılar) yada “adaptive structures” (uyumlu yapılar) denmektedir. Akıllı yapılar teknolojisi, yapı ve deprem mühendisliğinde yeni bir devrim yaratacak niteliktedir. Aktif kontrollü yapılar can kaybını önleyici, yapının ve içindeki elemanların zarar görmeden kurtulmasını sağlayıcı özelliklere sahiptirler. Bir örnek vermek gerekirse aktif kontrol sayesinde yüksek katlı yapının deprem anındaki yer değiştirmeleri lineer sınırlar içinde tutulur ve bu sayede kalıcı yapısal veya yapısal olmayan hasarlar önlenirse bazı durumlarda yapının kendisinden daha değerli olan içindeki materyallere veya ekipmanlara zarar gelmesi önlenmiştir. Bu yüzden son yıllarda üzerinde en çok araştırma yapılan konulardan birisi olmuştur.

Aktif kontrol sistemi birçok yarar sunmasının yanında önemli bazı sakıncaları da mevcuttur. Deprem sırasında enerji nakil hatlarında meydana gelebilecek veya depremden sonra yangın çıkarmaması için kesilen enerji hatları, sistemin çalışması için gerekli olan enerji sorununu beraberinde getirir. Bu sorunu çözebilmek için kesintisiz enerji kaynağı gibi çözümler üretilmiştir. Ayrıca titreşimleri sönümleyecek olan aygıtların harekete geçirilmesi büyük enerji gerektirir. Kullanılan ileri teknoloji ve

gerekli enerji kaynağı temini maliyeti arttıran bazı dezavantajlardan biridir. Bir diğer problem ise algılama zamanındaki gecikmelerdir.

Ekonomik bakımdan uygulanması pahalı olan aktif kontrol sistemi yerine çeşitli alternatifler düşünülmüştü. Bunun sonucu olarak pasif kontrol sistemlerinin ucuz ve kalıcı çözümleri ile aktif kontrolün etkin ve kendini yüke göre ayarlayabilen mekanizmasının avantajları kullanılarak karma (hybrid) sistemler oluşturulmuştur.

Aktif kontrol sistemini, sadece içinde insan barındıran konutlara uygulamakla yetinilmemiştir, ayrıca medeniyetin önemli göstergelerinden biri olan köprülerin inşasında da akıllı yapı teknolojisinden yararlanılmıştır. Köprünün taşıyıcı kablolarının ucuna yerleştirilen mekanizma trafik, rüzgar veya depremden meydana gelen titreşimlerin sönmülmesinde son derece kullanışlıdır [16,17].

**Çizelge 2.1.** Yapı kontrol sistemlerinin sınıflandırılması [14]

<b>Yapı Kontrol Sistemleri</b>		
<b>Pasif Kontrol</b>		<b>Yarı Aktif ve Aktif Kontrol</b>
<b>Sismik Yalıtım</b>	<b>Pasif Enerji Yutucular</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elastometrik Mesnetler</li> <li>• Kurşun- Kauçuk Mesnetler</li> <li>• Elastometrik Mesnetler ve Enerji Yutucu Cihazlar</li> <li>• Sürtünme Sarkacı Mesnetleri</li> <li>• Yassı Kayıcı Mesnetler ve Yük Veren Cihazlar</li> <li>• Yağlanmış Kayan Mesnetler ve Enerji Yutucu Sistemler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metal Sönümleyiciler</li> <li>• Sürtünme Sönümleyiciler</li> <li>• Visko-elastik sönümleyiciler</li> <li>• Viskoz Sönümleyiciler</li> <li>• Ayarlanmış Kütle Sönümleyiciler</li> <li>• Ayarlanmış Sıvı Sönümleyiciler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktif kuvvet Veren Sistemleri</li> <li>• Aktif Kütle Sistemleri</li> <li>• Değişken Rijitlik ve Kütle Sistemleri</li> <li>• Akıllı Malzemeler</li> </ul>

#### 2.4. Aktif yapı kontrolü

Son yıllarda, yapıların özellikle yüksek katlı binaların, büyük açıklıklı ve sahip köprülerin ve petrol platformlarının (açık deniz yapılarının) kuvvetli deprem, şiddetli rüzgar veya büyük dalgalara karşı olan davranışlarının kontrolü bir çok araştırmacının ilgi alanı olmuştur. Fakat bu araştırmalar genelde yüksek katlı binaların depremden



ve rüzgardan dolayı meydana gelen ve istenmeyen titreşim seviyelerini absorbe edebilecek nitelikte yapılmalıdır. Son 20 ila 30 yılda pasif ve aktif birçok kontrol aygıtı geliştirilmiştir.

Aktif kontrol sistemleri pasif kontrol sistemlerine göre daha esneklerdir. Bir örnek vermek gerekirse tek bir aktif kontrol aygıtı, Aktif kütle sürücüsü (Active Mass Driver), birkaç titreşim modunu sönmüleyebilecek şekilde dizayn edilebilir. Yüksek sismik depremlere dayanabilecek olan aktif kontrol sistemlerinin sakıncaları ise deprem sismikliğine karşı koyacak olan zıt yönlü büyük çapta aktuatör kuvvetini oluşturmanın zorluğu ve oluşturulursa bile bu kuvvetin uygulanması sebebiyle yapının stabilitesine ve taşıyıcı sistemine verebileceği hasardır.

Aktif kontrol sistemleri genelde, titreşim sönmülmesinde kullanılan metod göznüne alındığında aktif kütle sönmüleyiciler ve aktif rijitlik denilen sistemler adı altında incelenir. Her iki sistemde mantık ve çalışma prensibi aynıdır. Titreşimler sensörler tarafından algılanır, sinyallere çevrilerek kontrol bilgisayarına gönderilir. Toplanan bilgilere dayanarak bilgisayarda kullanılan algoritmalar ve yapılan hesaplar neticesinde üretilecek olan kontrol kuvvetleri sinyallerle actuator denilen kütle sönmüleyicilerine gönderilir. Kütle sönmüleyicileri gelen sinyaller doğrultusunda hareket ederek titreşimleri sönmüler. AMD sisteminde kullanılan metod budur. Aktif rijitlik denilen AVS (Active Variable Stiffness) sisteminin farkı ise; kontrol bilgisayarından gelen bilgiler kirişlere yerleştirilmiş V şeklindeki desteklerin ortasında bulunan ve gelen sinyallerle içindeki valfin hareketinin kontrol ederek rijitliği denilen elemanlardan oluşmasıdır. Aktif kontrol sisteminde kullanılan algoritmalar sistemin belirleyici en büyük özelliğidir. Temel olarak üç çeşit algoritma vardır.

1. Kapalı çevrim (Closed – loop)
2. Açık çevrim (Open – loop)
3. Açık–kapalı çevrim (Open – Closed – loop)

Kapalı çevrim algoritması sadece sensörlerin yapıya yerleştirilip, yapıdaki titreşimlerin göz önüne alınması ile oluşturulur. Açık çevrim ise deprem titreşimlerinin ölçülerek yapının kontrol edilmesi esasına dayanır. Açık–kapalı çevrim ise her iki kontrol algoritmasını da değerlendirir. Pratik uygulamalarda sistemin stabilitesi ve davranışını da kontrol edilmek istendiğinden dolayı genelde kapalı çevrim yada açık-kapalı çevrim kullanılır [14].

## 2.5. Pasif yapı kontrolü

Yapıya en çok zarar veren hareketin zemin hareketinin yatay bile eni oldu undan dolayı yapının dı yüklerle kar ı korunmasında klasik rijit yapı modeli yerine esnek yapı kavramı önem kazanmaktadır. Pasif kontrol ile yapının enerji tutma veya sönümleme kapasitesinin artırılması amaçlanmı tır .

Pasif kontrol, aktif kontrole oranla daha az teknoloji gerektirmesi, maliyetinin dü ük olması, sistemin güvenli inin sa lanması için karma ık hesaplara ihtiyaç duyulmaması gibi avantajları ile aktif kontrol yerine bir alternatif olarak kabul edilebilir.

Pasif kontrol uygulamasında yapının ömrü boyunca maruz kalabilece i deprem iddetleri baz alınır ve buna göre sistem boyutlandırılır. Depremin iddeti tasarlanandan yüksek ise yapıda büyük deformasyonlar olu abilir. Yani pasif kontrol boyutlandırıldı ı deprem iddetlerinde etkindir. Bu özelli i aktif kontrole kar ı olan en büyük dezavantajdır.

Pasif kontrolde kullanılan teknikler genelde ikiye ayrılır. Bunlar sırasıyla:

- Taban (sismik) yalıtım sistemleri
- Pasif enerji sönümleyen sistemlerdir [15].

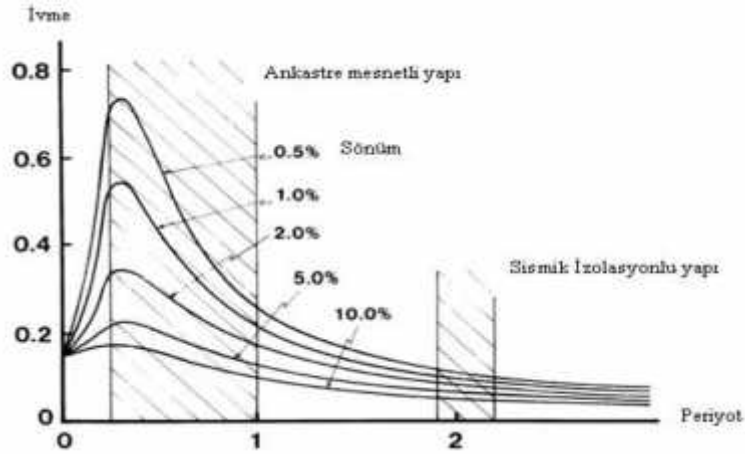
## 2.6. Taban yalıtım sistemleri

Taban yalıtım sistemlerinin mantı ı yapının üst kısmının deprem sırasında sabit tutularak, alttaki zeminin hareketine izin verilmesidir. Buna göre yapı iki kısımdan meydana gelmektedir. 1. Kısım dü ey do rultuda rijit, yatay do rultuda ise oldukça esnek olan taban yalıtım sistemidir. 2. Kısım ise taban yalıtım sistemine göre daha rijitolan üst yapıdan olu maktadır.

Taban yalıtım sistemi kullanıldı ında, görölmektedir ki; taban yalıtım sistemi dahil tüm yapının temel frekansı azalmakta yani periyot artmaktadır. Periyottaki artı yatay ekil de i tirmelerin daha da büyümesine neden olur. Fakat yatay do rultudaki ekil de i tirmelerin büyük bölümü esnek olan taban yalıtım sistemine iletilmektedir. Yani taban yalıtımlı yapılarda, rijit üst yapıda tabana göre küçük rölatif ekil de i tirmeler,

taban yalıtım sisteminde ise büyük yatay ekleme titreşimleri oluşmaktadır. Katlar arasındaki göreceli yer de titreşim küçük kaldığı için, üst yapı deprem sırasında hemen hemen ekleme titreşimden rijit bir yapıymış gibi davranır.

Taban izolasyon sistemlerinin çalışması prensibi üst yapı ile temel arasında yan rijitlik düşürme elemanları koyarak deprem nedeniyle oluşan deplasmanların temel ile üst yapı arasında olmasını sağlamak ve ekleme titreşim 2.4’de görüldüğü gibi binaya ankastre temelli durumundaki periyodundan ve deprem hareketinden daha büyük bir periyot vermektir [18].



**ekil 2.4.** Taban izolasyonlu yapı ile ankastre mesnetli yapı için çizilmiş ivme-periyot grafiği [18]

Taban yalıtım sistemlerinin kolay uygulanabilir olmasının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Deprem kuvvetlerine karşı kendilerini adapte edebilme yeteneğinden yoksundurlar. Büyük yatay ekleme titreşimlerinden dolayı taban yalıtım sisteminde kalıcı deformasyonlar oluşabilir ve gittikçe çoğalabilir. Galeride meydana gelebilecek olan depremlerde bu durum yapının stabilitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir. Deforme olmuş izolasyonların deşirilmesi mümkün değildir. Ayrıca yüksek katlı binalarda taban yalıtım sistemi yapı için zararlı olabilecek uplift kuvvetlerinin doğmasına sebep olur. Bu nedenle etkin olarak düşük katlı binalara uygulanırlar.

Taban yalıtım sistemlerinde genelde kauçuk izolasyonlar kullanılır. İzolasyonların rijitlik düşürme elemanları arasında yerleştirilen ince paslanmaz çelik plakalar sayesinde artırılır.

Yapının sismik kuvvetlere karşı performansını arttırmak için kurulan kauçuk izolasyonlar, viskoelastik sönümleyiciler ve sürtünmeli sönümleyiciler gibi çeşitli araçlar kullanılmaktadır.

1998 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, şiddetli ve yıkıcı deprem etkilerinde can kaybı olmaksızın (toptan göçme engellenerek), yapısal olan ve olmayan elemanlarda hasar oluşmasına izin veren tasarım artıları içerir. Şiddetli bir deprem sonrasında, kullanılması acil olan itfaiye merkezleri, polis merkezleri, sivil savunma ve özel kurtarma merkezleri, telekomünikasyon ve posta merkezleri, hükümet binaları ve hastanelerde yapısal elemanlarda hasar oluşması ve yapının içindeki elemanlar, malzemeler ve makinelerle faaliyet sürdürülmelidir. Bununla birlikte, çok hassas elektronik ve bilgisayar donanımı bulunan yapılar ve kimyasal madde içeren tanklar, depremin yer titreşimi etkisinden mümkün olduğunca korunmalıdır. Zemin-yapı etkileşiminin önemi bilinmektedir. Pratikte, yapılar modellenirken genellikle ankastre tabanlı olarak ele alınmaktadır. Bu durum, yapı ile zemin arasında var olan etkileşimin ihmal edilmesidir. Bu etkileşimin ihmal edilmesinin sakıncalı olabileceği bilinmektedir. Yer hareketi zemin ortamı aracılığıyla yapı sistemine aktarılmaktadır. Zeminden yapıya aktarılan etki ne kadar büyük olursa yapının tepkisi de o kadar büyük olur. Zemin-yapı etkileşimi olarak tanımlanan bu olay zeminden yapıya ve yapıdan zemine enerji aktarılması biçiminde yorumlanabilir. Zemin ile yapı arasındaki etkileşimin azalmasıyla yer hareketinin yapıda meydana getireceği etkilerinden yapı sisteminin korunabileceği anlamı ortaya çıkmaktadır. Bu amaca yönelik olarak yapı tabanı zeminden yalıtım teknikleri ile ayrılmaktadır.

Bunun sonucunda, yer hareketlerinden dolayı yapı üzerinde meydana gelebilecek etkiler azaltılmı olacaktır. Böylece yapıların depremden daha az etkilenmesi sağlanacaktır [19].

Ülkemizin % 92' sinin aktif deprem kuşağı üzerinde olması, yapı sistemlerinin projelendirilmesinde ve uygulamasındaki önemin artırılmasında etkili olmaktadır. Bu durum, deprem mühendisliği alanında çalışmakta olan araştırmacıların ve mühendislerin gündeminde kalmasını sağlamaktadır. Büyük deprem kuvvetlerinin, yapılar üzerinde meydana getirebileceği hasarları azaltmaya çalışmak bu araştırmacıların hedefi olmalıdır.

## 2.7. Pasif enerji sönümleyen sistemler

Deprem ve iddetli rüzgâr gibi dı yüklerden dolayı yapıya giren enerjiyi belli mekanizmalar ile sönümleyerek yapının ta ıyıcı sisteminde meydana gelebilecek zorlanma ve yer de i tirmeleri belli sınırlar içinde tutabilmek amacı ile geli tirilmi lerdir. Pasif enerji sönümleyen mekanik araçlar tüm bina yüksekli i boyunca kullanılabilir. Bu araçları üç ana gruba ayırabiliriz.

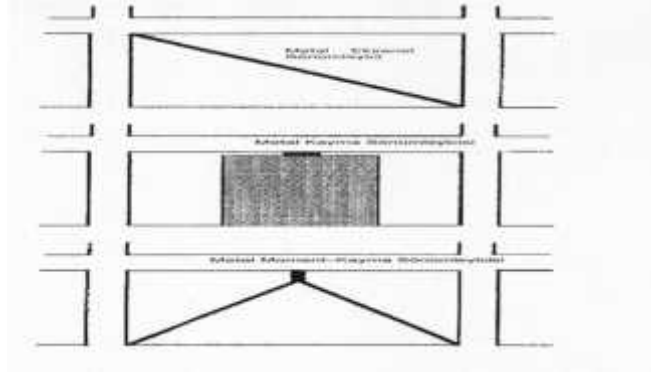
- E ilme etkisi gösteren araçlar
- Sürtünme araçları
- Visko-elastik araçlar

Ayarlı sıvı sönümleyicilerin en büyük avantajı her iki yatay do rultuda da titre imin kolaylıkla kontrol edilebilir olmasıdır. Bunun yanında kontrol mekanizmasını harekete geçirmek için herhangi bir dı enerji kayna ına ihtiyaç yoktur. Sistemin basitli i nedeniyle maliyeti çok dü üktür ve herhangi bir eski binaya uygulanabilir. Fakat sistemin frekansı ile yapının do al frekansının iyi ayarlanması gereklidir [20].

### 2.7.1. Metal sönümleyiciler

Bu tür enerji yutucular metallerin histeretik davranı larından faydalanılarak, genellikle çelik malzeme ve sismik kat ötelemeleri sonucu olu an e ilme, kesme veya eksenel yükleri alacak ekilde tasarlanmı tır. Tercih edilmelerindeki en önemli sebepler; uzun süreli çalı ma güvenilirlikleri, çevre ve sıcaklık de i imlerine dayanıklı olmalarıdır.

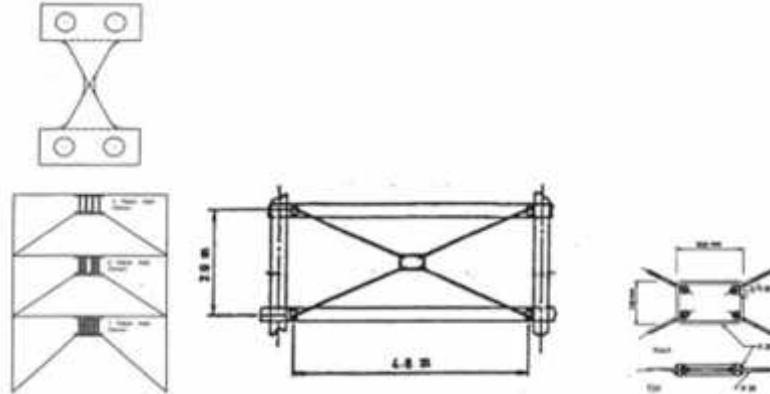
ekil 2.5' te metal sönümleyicilerin yerle tirilme biçimleri görülmektedir. Eksenel metal sönümleyiciler genelde çapraz ba lantı eklinde yerle tirilir. Kesme ve e ilmeye çalı an sönümleyiciler duvarın üst noktası ile üst katın kiri inin alt noktası arasına yerle tirilir. Bir di er kesme ve e ilmeye çalı an sönümleyici tipi çelik bir kafes üzerine monte edilmi haldir.



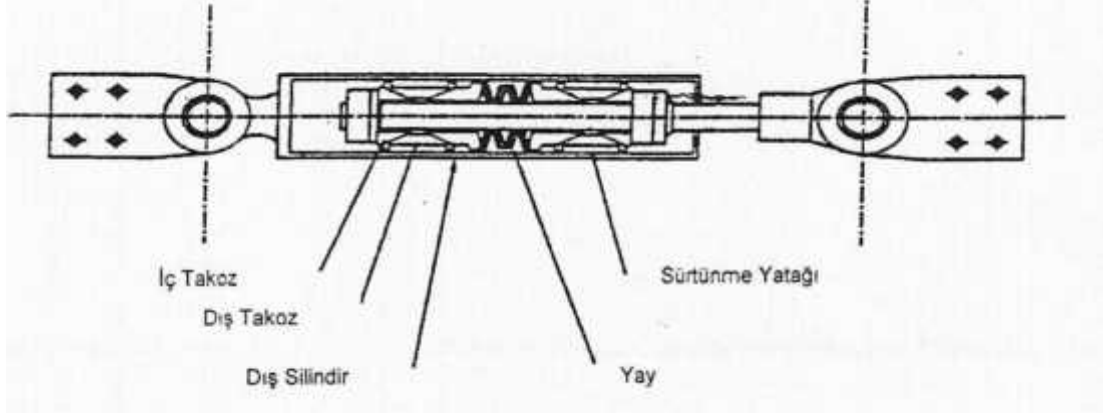
**ekil 2.5.** Metal sönümleyici tiplerinin yerle tirilmesi [21]

Burada dikkat edilecek önemli nokta basınç alan elemanların merkezdeki dikdörtgen çelik çerçeveden ayrılıp ve burkulma tehlikesini uzakla tırması olmalıdır. Enerji, merkezde bulunan çekme kuvveti altındaki dikdörtgen çelik çerçevenin elastik olmayan ekil de i tirmesi ile yutulmu olur [21].

ekil 2.6' da ADAS ismi verilen (Adding Damping and Stiffness) bir sönümleyici ve katlı bir çerçeve üzerinde yerle imi görülmektedir. Bu sönümleyicide çok sayıda 2.7 ekinde çelik plakalar vardır. Sönüm bu elemanların ekil de i tirmeleri sayesinde meydana gelir. Bu 3 katlı çerçeve üzerinde yapılan deneylerde amaç çerçevenin rijitliğini, dayanımını ve enerji yutma kapasitesini artırmaktır. Sarsma tablası deneyleri sonucunda katlar arası yer de i tirmelerin 0,3 ile 0,7 arasında azaldı 1, yapının taban kesme kuvvetinin de 0,6 ile 1,25 de erleri arasında azaldı 1 saptanmıştır [22].



**ekil 2.6.** Eksenel yük taşıyan sönümleyicilere ait bir örnek [22]

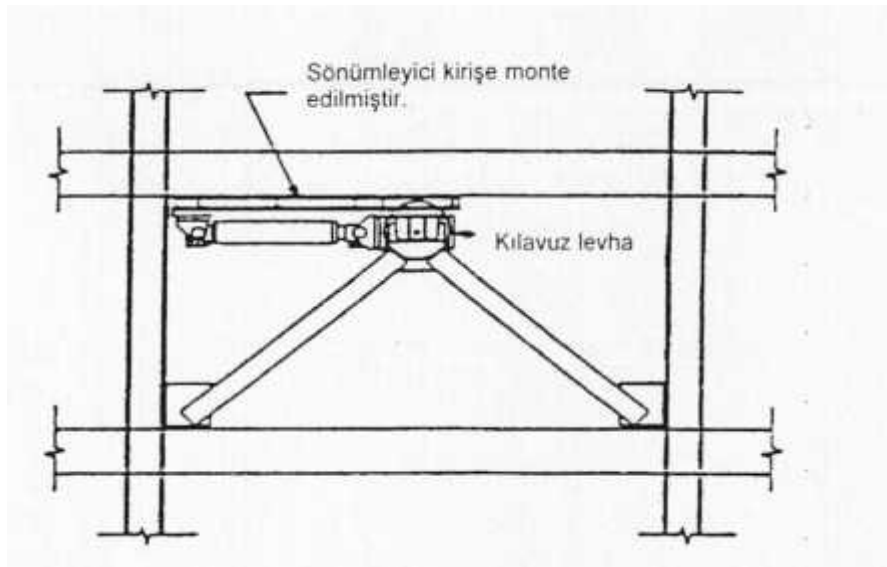


ekil 2.7. Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti [22]

### 2.7.2. Sürtünme sönümleyicileri

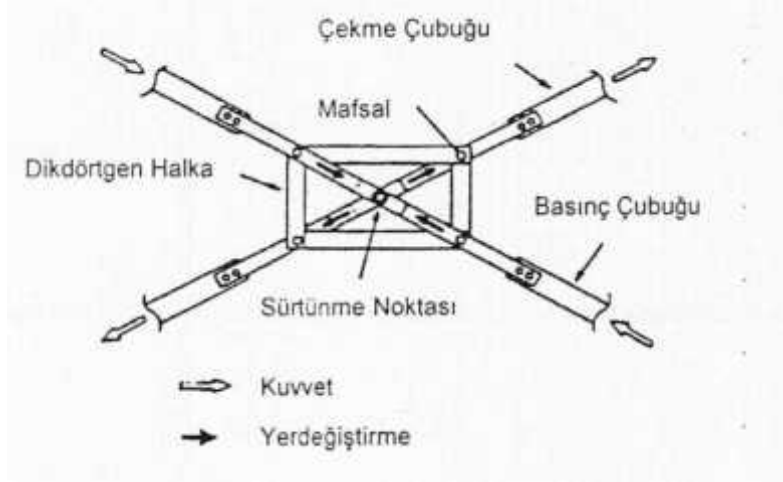
Birçok de i ik malzeme kullanılarak üretilen kayan yüzeylere sahip sürtünme sönümleyicileri vardır. Genelde çelik ala ımları ve metaller çapraz ba lantı ekinde kullanılır. Sürtünme cihazlarının genel olarak iyi performans özellikleri bulunmaktadır. Davranı ları yüklenme genli inden, frekansından ve yük çevrimi sayısından belirgin bir biçimde etkilenmez.

ekil 2.7' de Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti görülmektedir. Kur un tozu emdirilmi bakır yastıklar çelik kaplanmı cihaz ile temas halindedir. De i ik takozlarla yükün alınd ı sürtünme yüzeyi geli tirilmi tir. Bu cihazlar her zaman çapraz ba lantı ekinde kullanılmayabilirler. ekil 2.8' de görüldü ü gibi bir kafese ba lantılı olarak kat kiri lerine de uygulanabilir [23].



ekil 2.8. Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu [23]

ekil 2.9’ da Pall Sürtünme Cihazları’ na bir örnek görülmektedir. Basınç kuvvetine maruz olan bağlantı elemanı burkulur ve çekme kuvveti alan eleman sürtünme noktasında kaymaya sebep olur. çapraz elemanda çekmede etkili olacak şekilde boyutlandırılır [24].

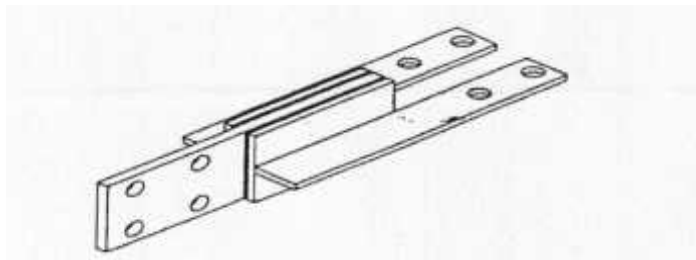


**ekil 2.9.** Pall sürtünme aygıtı [24]

### 2.7.3. Visko-elastik sönümleyiciler

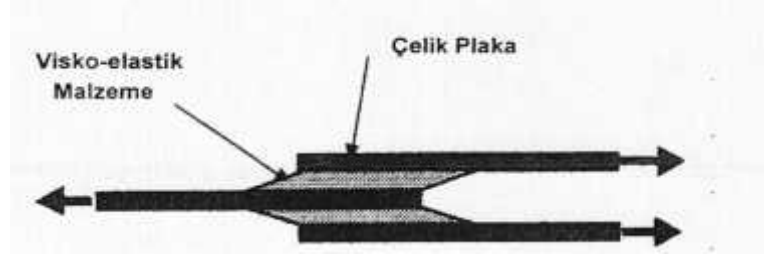
Visko-elastik sistemler hızla bağımlı sönümleyici kuvvetlerin yanında elastik rijitlikleri olan sönümleyicilerdir. Bu sönümleyicilerin en yaygın olarak kullanılan türünde, iki adet düz levha arasında bir levha polimer malzemeyle bağlantılıdır. Üstteki levha hareketli levhadır. Sönüm özellikleri frekansa, sıcaklığa ve gerilmeye bağımlı olarak değişmektedir. Elastik yay ve bir viskoz sönümleyicinin birleşiminin özelliklerini tanımlar (Kelly 2001).

ekil 2.10, ekil 2.11’ de örnek visko-elastik sönümleyici, çalışma prensibi ve kurulumu görülmektedir.

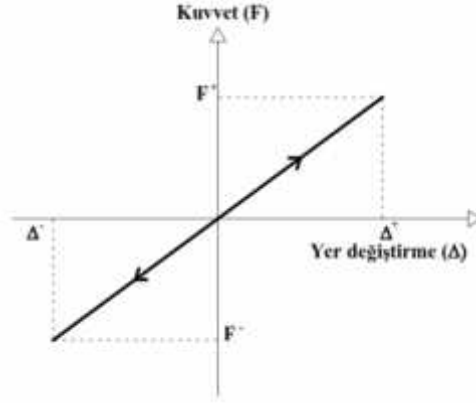


**ekil 2.10.** Visko-elastik sönümleyici [25]

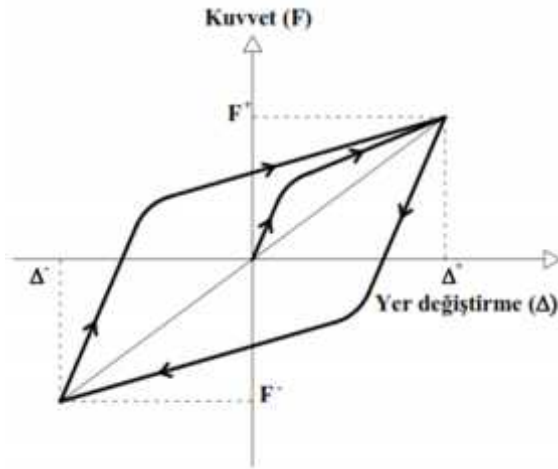




ekil 2.11. Visko-elastik sönümleyiciye etki eden kuvvetler [25]



ekil 2.12. Dük sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme davranı [26]

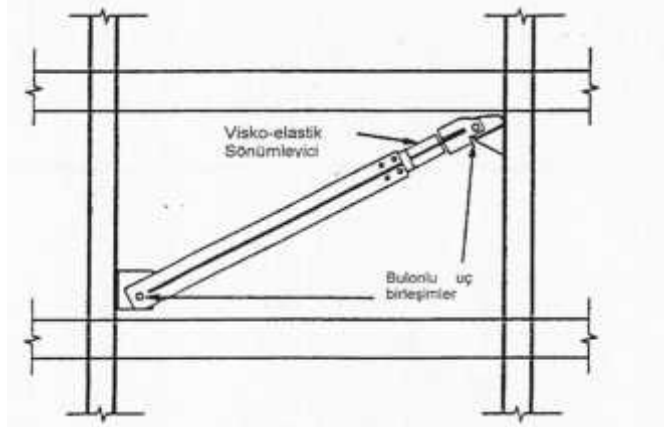


ekil 2.13. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme davranı [26]

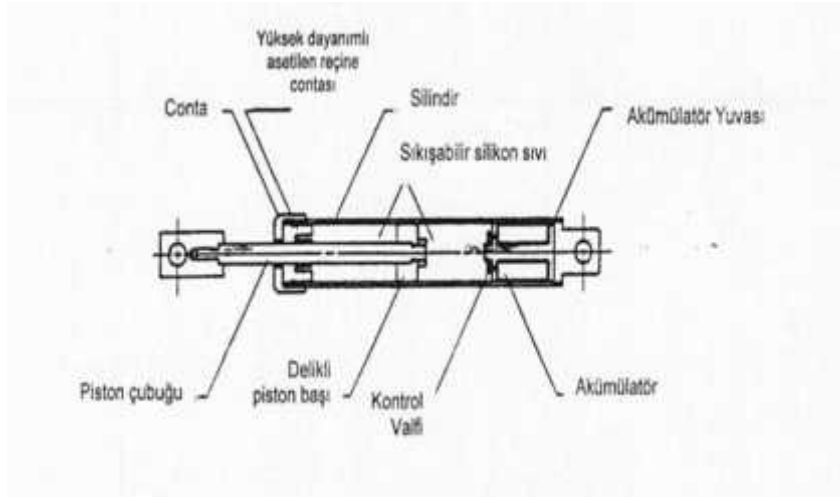
#### 2.7.4. Viskoz sönümleyiciler

Viskoz Sönümleyiciler visko-elastik sönümleyiciler gibi hız ba ımlı sönüm kuvveti olu turan cihazlardır fakat yapıya sadece ek sönüm sa larlar. Ço u viskoz sönümleyici sıvı viskoz sönümleyicidir ve arabalardaki çok emici amortisörlere

benzer. Bu tür aygıtların üretildi i sıvılar yük yava etkidi inde dü ük, hızlı etkidi inde yüksek dayanım özelli ine sahiptir.



**ekil 2.14.** Visko-elastik sönümleyicinin yerle imi [25]



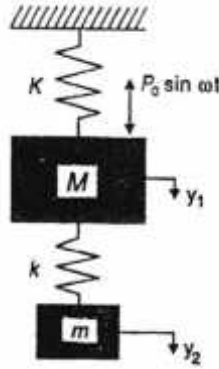
**ekil 2.15.** ABD Hava Kuvvetleri'nde kullanılan viskoz sönümleyici [25]

ekil 2.14' de bir viskoz sönümleyicinin yapısı görülmektedir. Delikleri olan bronz ba lıklı paslanmaz çelik bir piston ve bir akümülatör vasıtası ile çalı ır, içine silikon ya konmu tur. Delik akı ı  $-40^{\circ} \text{C}$  ile  $70^{\circ} \text{C}$  arasında çalı maya izin verecek ekilde pasif bir termostat ile yerine doldurur. Sönümleyicinin basınç kuvveti aldı mı varsayarsak piston soldan sa a hareket eder ve sıvı ikinci odadan birinci odaya do ru harekete geçer. Sönüm kuvveti bu odalardaki basınç diferansiyeli ile orantılıdır. Ama hareket ve piston çubu unun alanı sonucu ile sıvı hacmi azalır. Sıvı sıkı abilir oldu undan bu hacimdeki azalma yerine konabilen kuvvetin geli mesi ile olu mu tur. Bu durum ise akümülatörün kullanımı ile önlenmi olur. Cihazlar üzerinde yapılan testlerde 4 Hz' den az frekanslı piston hareketlerinde ölçülebilen bir rijitli e rastlanmamı tır. Bu kritik frekans akümülatörün tasarımına ba lıdır ve

istenen bir durumdur. Bu cihazlar yapının birinci modunda ek viskoz tipi sönüm, yüksek modlarında da ek sönüm ve ek rijitlik sağlar. Çünkü genel olarak yapıların temel frekansları kritik frekanstan daha düşüktür.

### 2.7.5. Ayarlanmı kütle sönümleyiciler

İkinci basamakta makine mühendisliği açısından geliştirilen bu tür dinamik yük emiciler, kütlesi  $M$  ve rijitliği  $K$  olan yaya bağlanan, küçük kütle ' $m$ ' ve rijitliği ' $k$ ' olan yay ekli 2.16' daki gibi tanımlanır. Harmonik bir hareket altında ' $M$ ' kütlesi, ' $m$ ' kütlesinin doğal frekansının  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , zorlayıcı frekansa eşit tutulması ile sabit halde bırakılabilir.



ekil 2.16. Ayarlanmı kütle sönümleyicileri [25]

İlk olarak tek serbestlik dereceli ekli 2.16' daki sadece  $M$  kütlesinin olduğu bir sisteme  $f(t)$  titreşim kuvveti verilmektedir. Yapının tepkisi bazı artılar sağlanarak ikinci bir kütle veya ayarlanmı kütle sönümleyici konarak azaltılabilir.

### 2.7.6 Ayarlanmı sıvı sönümleyiciler

Ayarlanmı sıvı sönümleyiciler, ayarlanmı kütle sönümleyicilere benzerler fakat burada hareketi engelleyen sıvının yüksek derecede lineer olmayan davranışıdır. Bu yüzden sıvı sönümleyicilerinin özellikleri fiziksel deneylere dayanmaktadır.

## 2.8. Karma Kontrol

Karma (hybrid) kontrol sistemleri, aktif ve pasif kontrol araçlarının avantajlarını bir araya getirerek etkin bir koruma sağlama amacıyla geliştirilmiştir. Karma sistemlerde aktif kontrol araçlarının esnekliği ve duruma göre ayarlanabilir olması ile pasif kontrol araçlarının güvenilirliği bir araya getirilmiştir.

Karma kontrol sistemlerinin oluşturulmasının asıl sebebi aktif kontrol sistemlerinin enerji kaynağı ihtiyacını en aza indirmektir. Pasif kontrol araçları (genelde viskoelastik sönümleyiciler) ile sağlanan titreşim sönümlemesi, aktif kontrol araçlarının daha az bir enerji ihtiyacı ile yapıdaki azalmış olan enerjiyi sönümlemesine yardımcı ederler. Aktif kontrol sistemlerinden AMD (Active Mass Damper) veya ABS (Active Bracing System) seçilir. Pasif sönümleyici olarak viskoelastik sönümleyici yanında taban yalıtım sistemleri de kullanılabilir. Hybrid kontrol araçları genel olarak her iki sistemin yapıya entegre edilmesi ile oluşur [25].

### 3. DEPREM ZOLATÖR S STEM (S SM K YALITIM)

#### 3.1. Deprem izolatör sistemi tanımı

Sismik yapı yalıtımı; yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Sistemin amacı, bir yapıyı etkileyen deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Sismik yalıtım yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, binaya gelen sismik enerjiyi binaların periyodunu uzatarak azaltma esasına dayanan depreme dayanıklı bir düzenleme yaklaşımıdır.

Sismik yalıtımlı yapı yaklaşımında ise; yapının depremde oluşacak yatay yüke göre 5-6 kez daha düşük bir yükü taşıyabilmesi esas alınır. İddetli depremde ise yapının depreme karşı koyması ve yıkılmaması sağlanır. Ayrıca deprem sonrası stratejik önem arz eden iletişim, savunma, sağlık gibi sektörlerde hizmetin durmadan devamı sağlanır. Mesela sismikyalıtımlı yapılmış bir hastanede, deprem anında ameliyathanenin kullanılması mümkün olur.



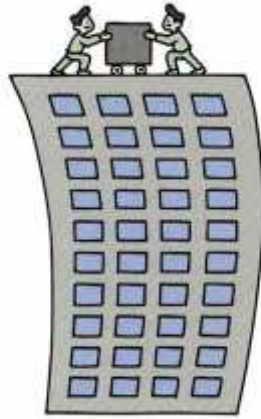
ekil 3.1. Enerji sönmleyici sistem [26]

ekil 3.2. Taban izolasyon sistemi [26]

Yapılarda; sıva, kaplama, bölme duvarları gibi taşıyıcı olmayan mimarî elemanlar ve kolon, kiriş, perde duvar gibi taşıyıcı elemanlar bulunur (ekil 3.1 ve ekil 3.2). Yapıların servis ömürleri boyunca deprem iddetlerinde çok sayıda depremler olabilir. Ayrıca, yapının servis ömrü boyunca beklenen en iddetli bir deprem vardır.

Depreme dayanıklı bir yapının, de i ik elemanlarından, de i ik iddetlerdeki depremlerde beklenen davranı lar a a ıdaki gibidir:

- Yapının ömrü içinde çok sayıda olması beklenen hafif iddetteki depremlerde, ta ıyıcı ta ıyıcı olmayan elemanlarda ve yapı içindeki e yalarda hiçbir hasar olmasın.
- Yapının ömrü içinde birden çok kez olacak orta iddetli depremlerde, mimarî elemanlarda ve az da olsa ta ıyıcı sistemlerde hasar ba langıcı olabilir.
- Yapının servis ömrünce ya adı ı en iddetli depremde can kaybı olmasın. Bir di er ifadeyle ta ıyıcı sistemde ileri düzeyde hasar olabilir, ancak yapı yıkılmamalıdır.



**ekil 3.3.** Ayarlı kütle sönümleyiciler [26]

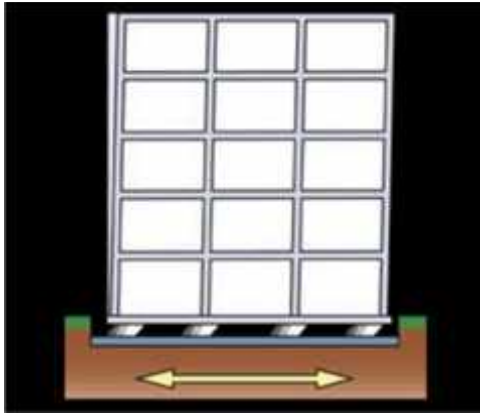
Sismik yalıtım teknolojisinin do ru uygulamaları büyük depremler sırasında bile binaların elastik davranmasını sa lar ( ekil 3.3). a ırtıcı olan da bu yakla ım prensibinin hayli basit olmasıdır. Yapılan bir ara tırmaya göre sismik yalıtımlı bir bina Richter Ölçe ine göre 8.0 büyüklü ündeki bir depremi, sanki Richter Ölçe ine göre 5.5 büyüklü ündeki bir deprem gibi hisseder [26].

### **3.2. Sismik yalıtım tarihçesi**

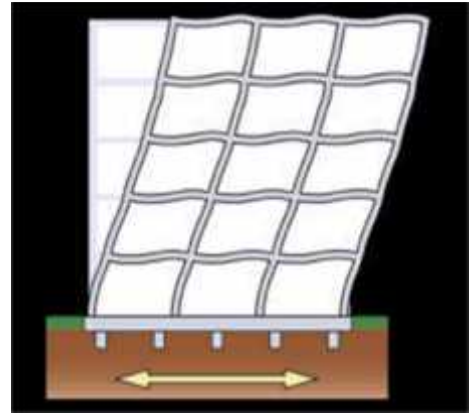
Sismik yalıtım sistemleri dünyada yeni yeni uygulanmaktadır. İkkez 1970' lerde, Yeni Zelanda' da Dr. Robinson tarafından bulunup geli tirilmi olan sistem, bugün de dünyanın pek çok yerinde kullanılan kur un-kauçuk izolatorlerdir. Sismik yalıtım ürünleri, çok kapsamlı ara tırmalar ve geli tirmeler sonucu ortaya çıkmaktadır.

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

Ülkemizin deprem davranışları üzerindeki bilgi ve birikimi pek çok ülkeninkinden daha fazladır. Ancak bu deneyimlere rağmen, sismik yalıtım sistemleri üzerindeki ara tırma ve uygulamalar, yeterli düzeyde gelişmemiştir. Konu hakkında Türkiye'de sadece sayılı uygulamalar mevcuttur. Bugüne kadar ancak birkaç üniversitemizde lisansüstü düzeyde eğitim verilmiştir. Sismik yalıtım uygulamaları sadece uzmanlık sahibi kısıtlı sayıda firmalar tarafından yapılabilmektedir.



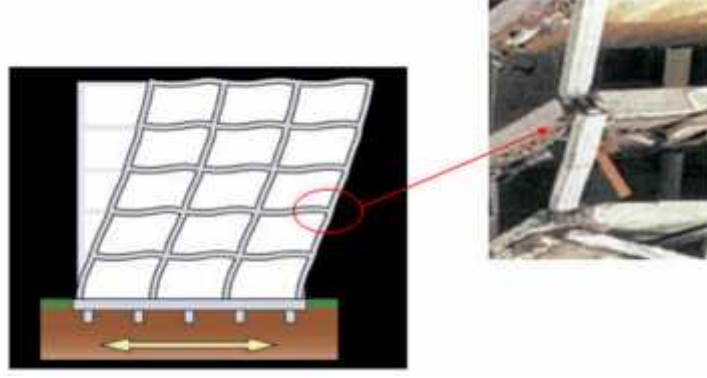
**ekil 3.4.** Sismik yalıtımlı yapı [27]



**ekil 3.5.** Normal yapı [27]

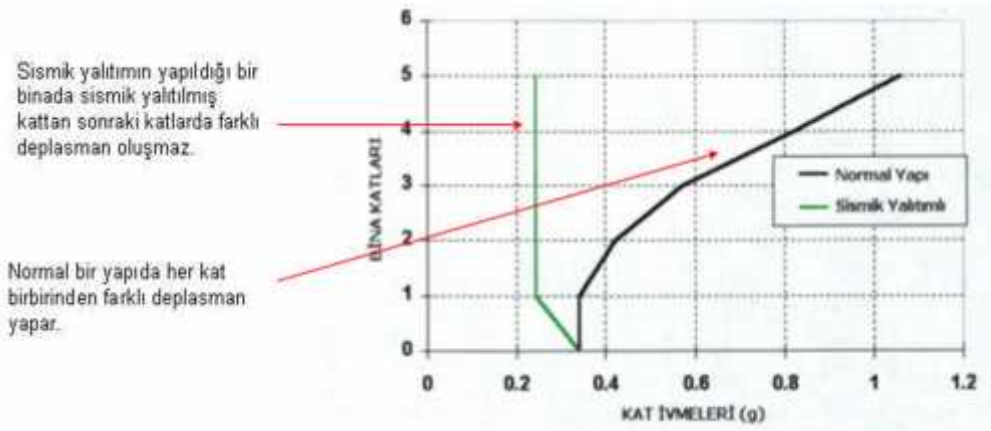
### 3.3. Sismik yalıtımın sağladığı teknik avantajlar

- Normal bir yapıda deprem sırasında katlar arası farklı deplasmanlardan (yerdeğiştirme) dolayı, kolon ve kiriş birleşimlerinde hasarlar meydana gelir.
- Oysa sismik yalıtımlı bir yapıda katlar arası farklı deplasmanlar olmayacağı için kolon ve kirişlerde zorlamalar minimum olacaktır.



**ekil 3.6.** Normal yapıda farklı deplasman dolayısıyla kolon-kiri davranışı [27]

- Sismik yalıtım kullanılmak suretiyle, bir yapının taşıyıcı elemanlarını etkileyen sismik (depremsel) iç kuvvetler ortalama 1/4 oranında azaltılabilir.
- Sismik yalıtım ile bir yapıda oluşan katlar arası farklı yer deplasmanları, etkililiğinde azaltılabilir. Katlar arası hareket farklılıklarının küçülmesi, yapının daha yavaş ve kontrollü salınım göstermesini sağlar. Böylece yapının kendisinin, içindeki canlıların, değerli eşya ve hassas cihazların etkin bir şekilde korunması sağlanır.



**ekil 3.7.** Sismik yalıtım yapıldığı bir binada, sismik yalıtılmı kattan sonraki katlarda farklı [27]

Sonuç olarak sismik yalıtılmı yapıda şu özellikler elde edilir;

- Elastik davranış,
- Yapıya gelen kuvvetler azalır.
- Kat ivmeleri (hareket deplasman farklılıkları) küçülür.
- Katlar arası deplasmanlar küçülür, hemen hemen bütün katlar yaklaşık aynı deplasmanı yapar [27].

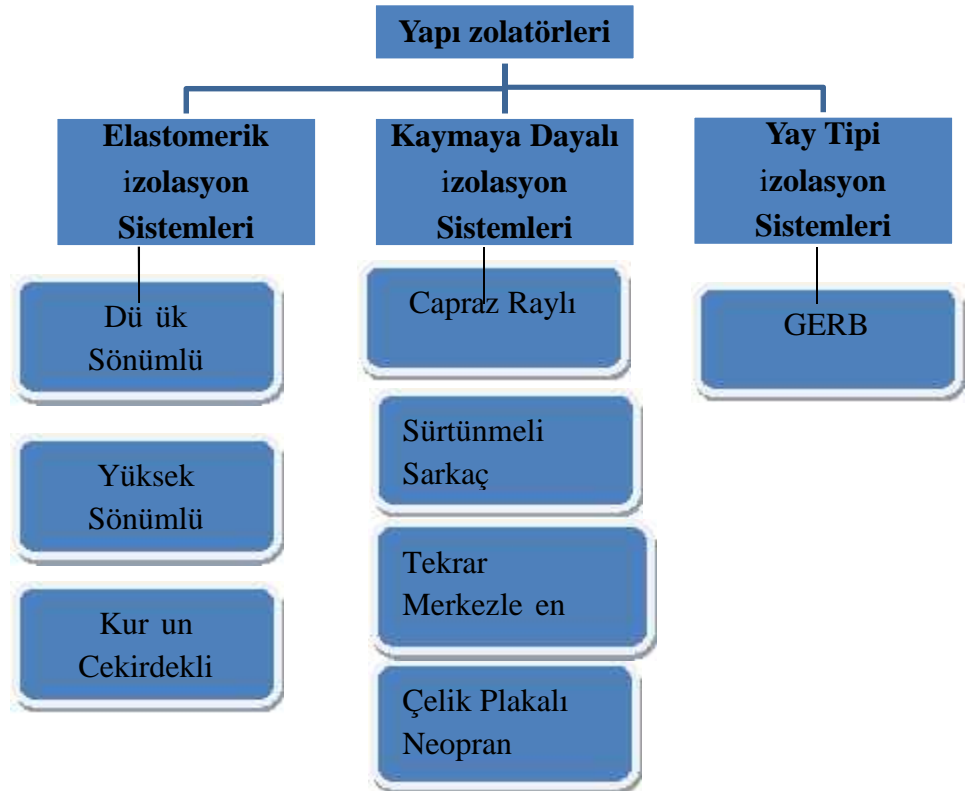


## 4. SISMİK İZOLASYON SİSTEMLERİ

### 4.1. Sismik izolasyon sistemlerinin türleri ve sınıflandırılması

Bilimin ve teknolojinin ilerlemesiyle beraber, depreme karşı yapıyı koruyan izolasyon sistemlerinde de önemli gelişmeler olmuştur. Bu konuda dünyanın birçok ülkesinde deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Özellikle ilk büyük deprem izolatörlerinin deprem performansları değerlendirilerek eksiklikleri ortaya konulmuştur. Bu eksikliklerin farklı yöntemlerle aşılmaya çalışılması aynı zamanda izolatör çeşidinin artmasına da yardımcı olmuştur. Fakat bu sistemlerin birçoğunun çalışma prensipleri birbirine benzerdir. Buradan hareketle izolatörleri ekil 4.1’de görüldüğü gibi üç ana grupta toplamak mümkündür.

ve çok daha küçük deprem kuvvetleri oluşturmaktadır. Ayrıca, köprü ayakları arasında kesme kuvvetlerinin dağılımını da kontrol etmek mümkün olmaktadır [28].



ekil 4.1. izolatörlerin sınıflandırılması [28]

Günümüzde kullanılmakta olan izolasyon sistemleri u ekilde sınıflandırılabilir.

### 1. Kayıcı Sistemler

Sürtünmeli sarkaç mesnetler

Esnek sürtünmeli taban izolasyonmesnetleri

Fransız elektrik kurumu sistemi

TASS sistemi

EERC bile ik sistemi

### 2. Kauçuk esaslı elastomer izolasyon sistemleri

Kur un gövdeli elastomer mesnetler (LRB)

Yüksek sönümlü elastomer mesnetler (HDRB)

Dü ük sönümlü elastomer mesnetler (LDRB)

Hibrit (karma) tip elastomer mesnetler (LHDRB)

### 3. Yay tipi sistemler

Günümüzde çe itli türde sismik izolasyon sistemleri geli tirilmekte ve pratiksel olarak uygulanmaktadır. A.B.D’ de genel olarak yaygın kullanılan izolatörlerelastomer ve kayıcı tip mesnetlerden olu maktadır. Taban yalıtım sistemlerinin basitli i, güvenilirli i ve ekonomikli i birbirleri ile ili kilendirilmektedir. Isıl de i imlerden kaynaklanan deformasyonları kar ılaması için köprü in aatlarında geni çapta elastomer mesnetler kullanıldı ı için en azından önemli oranda elde edilebilir deneyimler mevcuttur. Di er birkaç sistem geli tirilmekte, fakat ba arılı sonuçlar elde edilememektedir [29].

## 4.2. Kayıcı tip izolasyon sistemleri

### 4.2.1. Sürtünmeli sarkaç mesnetler (FPS)

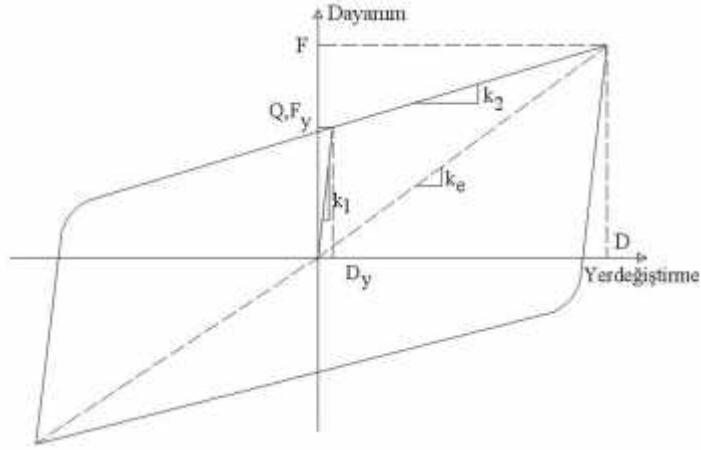
Sürtünmeli sarkaç sistemler geometrisi sayesinde sönüm ve geri dönüşüm (merkezlenme) sağlayan izolatörlerdir. Bu sistem konkav yüzeyde hareket eden bolumlu ve mafsallı bir kayıcıdan meydana gelmektedir. Üst bölgesi küresel bir yuva içine yerleştirilmiştir. Konkav yüzey ve bolumlu kayıcı düşük sönümlü bir malzemeyle kaplanmıştır. FPS, Zayas ve diğer (1987) tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemin periyodu,  $R_s$  yarıçapı ve  $g$  yerçekimi ivmesini göstermek üzere aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_s}{g}} \quad (4.1)$$

4.1 formülünden de anlaşılacağı gibi yapının periyodu binanın ağırlığından bağımsızdır. Dolayısıyla periyot konkav yüzeyin eğrilik yarıçapına ve sürtünme katsayısına bağlıdır. Dairesel merkezlilikten dolayı ortaya çıkan burulma momentleri, rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin çakışması sebebiyle minimum seviyelerdedir.

Hafif deprem ve rüzgar yükleri sonucunda oluşan kesme kuvvetleri sürtünme degerini amaçladıklarından; yapının küçük salınımları ortadan kalkması olur (ekil 4.2). Tasarım yüküne maruz kalan yapı, istenen periyotta hareket ederek enerji sönümlenir. Mafsallı kayıcı yapıya etki eden kuvvet nedeniyle konkav yüzey üzerinde hareket eder. Bu hareketi sonucunda konkav yüzeyin merkezinden uzaklaşarak yükseklik kazanır. Yükselen yapı ağırlığı oranında potansiyel enerji kazanır. Dairesel yüklerin etkisinin azalmasıyla yapı, potansiyel enerjisini kullanarak kayma degerimine girer ve tekrar merkeze yerleşir.

Sürtünmeli sarkaç sistemlerin önemli özelliklerinden biri de istenilen periyota sahip izolatör elde edilmesidir. Örneğin; yapı periyodunu 2 saniyeden 3 saniyeye çıkarılması için sürtünme katsayısını azaltmak yeterli olmaktadır. Fakat sürtünme degerinin degerimesi yarıçapın degerimesine sebep olabilir. Sürtünmeli sarkaç sistemlerde sürtünme katsayısı 0,05 ile 0,1 arasında degerimektedir (Tezcan ve Cimilli, 2002) [30].



**ekil 4.2.** Düz ve E ri Yüzeyle Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için tipik kuvvet-Yerdeğiştirme [30]

Sekil 4.2' da:

$Q = F_y =$  Karakteristik Dayanım veya Etkin Akma Kuvveti

$k_1 =$  Ba langıç rijitli i (fiktif)

$k_2 =$  kinci Rijitlik

$k_e =$  D yer de i tirmesine kar ı gelen e de er do rusal rijitlik (Sekant Rijitli i)

$F = D$  yer de i tirmesine kar ı gelen dayanım

$D_y =$  Etkin Akma yer de i tirmesi (çok küçük fiktif akma yer de i tirmesi)

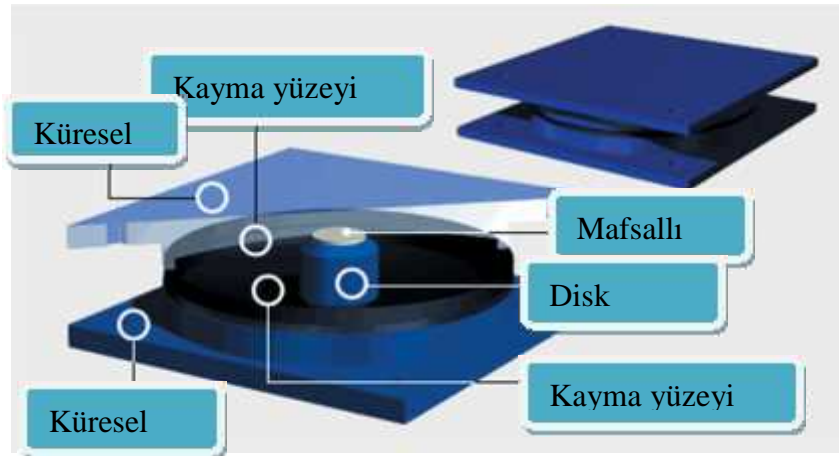
Bazı durumlarda, sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerinin alt ve üst yüzeyleri aynı anda kaymaya dayalı olarak çalı tırılabilir. Böylece hem alt hem de üst yüzeyin hareket etmesi sa lanarak deplasman de eri iki katına çıkarılmı olur.

Sürtünme esaslı kayıcı sistemler kayma gerçeke ti inde belli bir seviyenin ötesinde kesme kuvvetlerinin iletilmesini sa lamaktadır ve bu kuvvetlerin üst yapıya yansıtılması nispeten engellenir. Bu tip sistemler dü ük bir sürtünme katsayısı kullanarak çok az bir taban kesme kuvvetine izin vermesi için tasarlanabilirler. En yaygın kullanılan kayıcı sistemler paslanmaz çelik ve teflondan olu an kayıcı yüzeylere sahip sistemlerdir. Güçlü depremler esnasında üst yapıya iletilen kesme kuvvetlerinin büyüklü ü depremin iddetine ba lı de ildir. Bunun nedeni izolatörlerde kullanılan sürtünme katsayısından kaynaklanmaktadır. Böylelikle, kayıcı sistemler yapısal sistemler üzerinde iddetli deprem olaylarının etkilerini azaltmada oldukça etkilidir. Dahası, bu sistemler nispeten daha ucuz ve ince

boyutları sayesinde yapıların sismik yalıtımında oldukça sık kullanılır. Aynı zamanda yapıların güçlendirilme projelerinde sıkça kullanılmaktadırlar [31].

Ancak, birçok kayıcı mesnetli sistem içeri inde üst yapıyı geri getirici bir kuvvet olmamasından dolayı depremden sonra orijinal pozisyonlarına dönemeyebilirler. Bu sistemler üzerine izole edilen üst yapının orijinal ekseninden kalıcı sapmaları takip eden bir depremde tasarlanan deplasman miktarlarının kar ılanmasında azalmalara neden olabilir. Kayıcı sistemler ile birlikte kullanılan elastomer mesnetler ile bu sorun ortadan kaldırılabilir. Bu iki tür sistemin birlikte kullanılması her iki izolasyon sisteminin avantajlarını içeri inde barındırmaktadır [34]. Bir geri döndürücü kuvvet sa lamann ötesinde, elastomer mesnetlerin kullanımı çok büyük birim uzamalar altında kauçu u sertle tirerek oldukça iddetli depremlere kar ı bir dirençte sa layabilir.

Geri döndürücü bir kuvvet sa lamann di er bir yoluda küresel bir yüzey üzerinde ekillendirilmi , sürtünmeli sarkaç prensibine (FPS) dayalı kayıcı izolasyon sistemlerinin kullanılmasıdır. Sistemin geometrisi, kendince merkezleme eylemi üreten paslanmaz çelik küresel bir yüzeyden ve bir kayıcı mafsaldan olu maktadır .



**ekil 4.3.** Kayıcı tip izolatör ve yapıda uygulamaları [98]

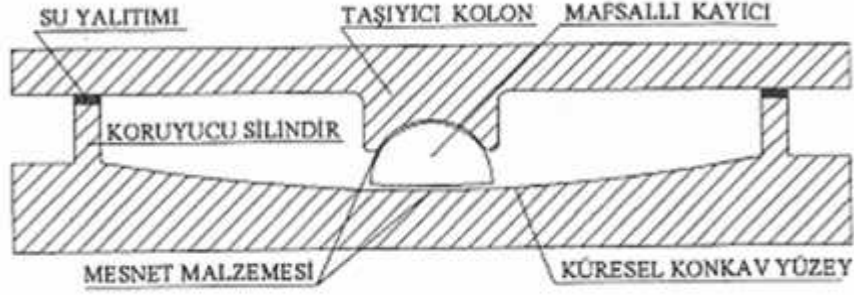
Bir deprem esnasında yapı izolatörler üzerinde kayabilmektedir. Sarkaç kelimesi, izolatörün bir parçasının di er bir parçasına göre göreceli hareketinden kaynaklanan sürtünme kuvvetinide dü ünerek adeta bir sarkacın hareketini anımsattı ı için kullanılmaktadır. ekil 4.4' de basit sarkacın çalı ma prensibi gösterilmektedir. Geri döndürücü bir kuvvet, üst yapının, küresel konkav izolatör yüzeyi üzerinde hareketinden dolayı yatay yönde ötelenerek izolatörün yarı çapı ölçüsünde yukarı

do ru yükselmesi ve a ırlı ı ile küresel yüzeyin merkezine do ru hareketinden meydana gelir [32] .



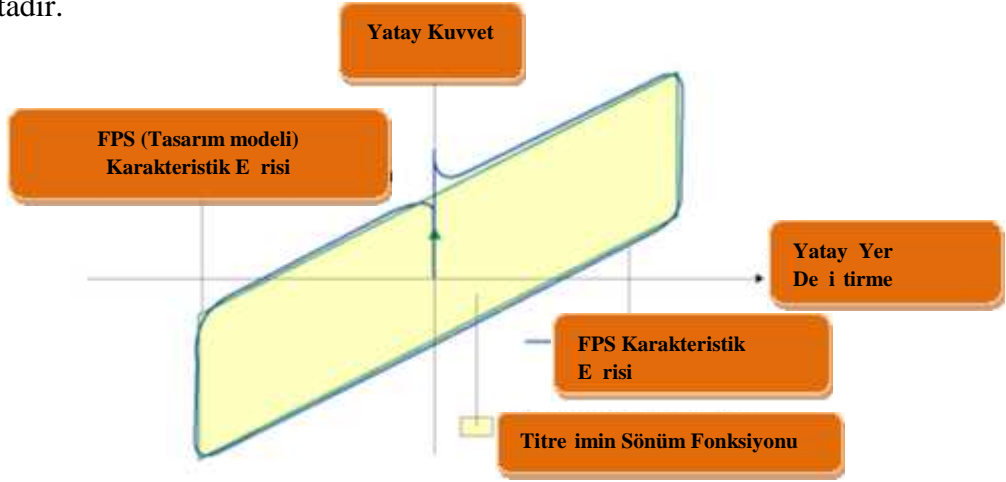
**ekil 4.4.** Sürtünmeli sarkaç tip izolatörlerin çalış ma prensibi [98]

Yapıyı, yatayda öteleme etkisini do uran gerekli olan yatay kuvvet izolatörün e rilik çapına ve dü ey yüke ba lıdır.Özellikle e rilik çapı, izolatörün arzu edilen etkili rijitli i sa laması bakımından, özenle seçilmelidir. Bu seçim, yapının etkin salınım frekansını direkt etkilemektedir. Enerji da ıtım mekanizması izolatör i çerindeki kayıcı mafsall ile küresel yüzey arasında olmaktadır. Ancak, kaymanın gerçekleşmesinden önceki ve sonraki rijitliklerde meydana gelen ani de i imler ve önemli derecedeki farklar üst yapıda yüksek frekans etkilerine neden olabilmektedir. Ani kayma ve sticking etkilerinden dolayı rijitlikteki ani de i imler yapının yüksek frekanstaki titre imler üretmesine neden olabilir. Bu etki kat ivmelerinin artı ı ve sonucunda yapı i çerisinde hasar olasılı mını arttırıcı yönde geri dönebilmektedir. Bu nedenle, kayıcı sistemler yapı i çerisindeki muhteviyatı korumak için yeterli de ildir. Kayıcı sistemlerinin di er bir dezavantajı ise izolatör yüzeyindeki sürtünme katsayısının sabit olmamasıdır. Konkav yüzeylerin ( ekil 4.5) zamanla ve sıcaklıkla git gide özelli ini yitirmesinden dolayı bu kat sayı de i kenlik gösterebilmektedir. E er tasarım a masında daha dü ük seviyeli sismik kuvvetler dü ünülür ise katsayıdaki bu olumsuz etki, daha fazla hasara neden olabilen sismik kuvvetlerin ani bir artı na olanak sa lamaktadır. Elastomer mesnetlerin kayıcı tip mesnetler ile kombinasyonu, herbir bireysel sistemin avantajlarına sahip hibrid tip sistemlerin olu umuna imkan vermekte, fakat bunun yanında bu sistemlerin bazı dez avantajları ve sınırlamaları azda olsa kullanım alanlarını etkileyebilmektedir [33].



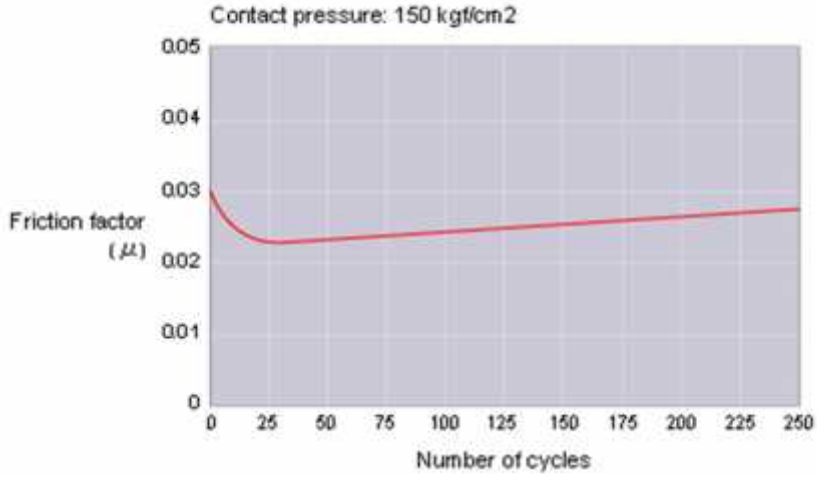
**ekil 4.5.** Sürtülmeli sarkaç mesnedin kesit ve elemanları [35]

Tasarım ve test modellerinin davranışlarının bir karşılaştırması olarak ekil 4.6' daki kuvvet-yer deplasman eğrilerinden anlaşılacağı gibi öngörülen iddetli bir depremde sistemde oldukça büyük yanıl deplasmanlar oluşmaktadır. Tasarım metodunun doğruluğunu göstermek için tasarımda belirlenen deplasmanların, performansın fiziksel ölçüm deplasmanları ile hemen hemen üst üste düşüyor görülmektedir. Ayrıca grafikte sürtülmeli sarkaç sisteminin geri döndürücü kuvvetinin karakteristiki deplasmanı gösterilmektedir. Bu özellik, yapısal modellemeyi daha basit yapmaktadır.



**ekil 4.6.** Sürtülmeli sarkaç sisteminin karakteristik davranış modeli [98]

ekil 4.7' de sürtülmeli sarkaç sistemi üzerinde gerçek bir sismik olaya eşit frekansta gerçekleştirilen çevrimsel deplasman testinin sonuçları, sistemin karakteristiklerinin (sürtünme katsayısı) sabit kaldığını, iyi bir dayanıklılık sergilediğini göstermektedir.



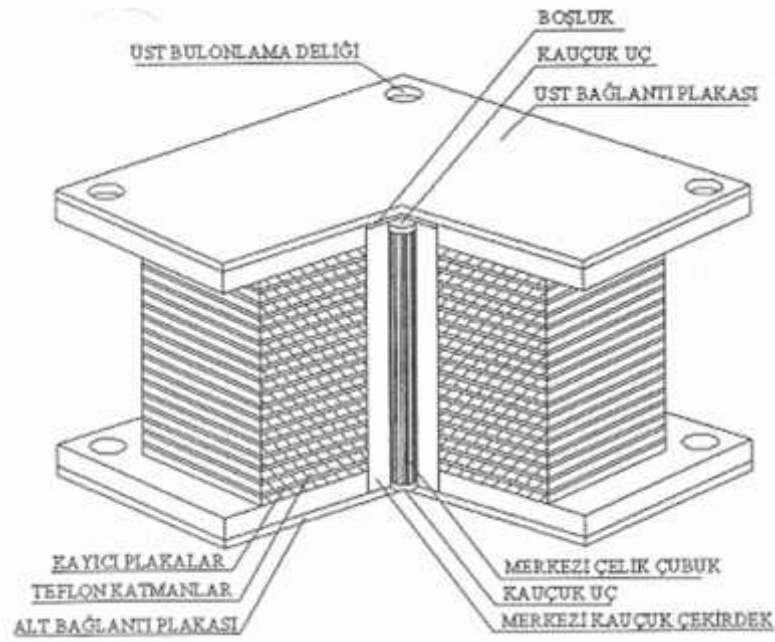
**ekil 4.7.** Sürtüneli sarkaç sistemine uygulanan çevrimsel deplasmanların sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini gösteren davranış modeli [98]

#### 4.2.2. Esnek sürtüneli taban izolasyonu mesnetleri

Esnek sürtüneli taban izolasyonu sistemi, son yıllarda Mostaghel ve Khodaverdian tarafından önerilmiştir. Bu taban izolatörleri birbirleri ile sürtüneli olarak temas eden teflon kaplamalı eksen merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnedin yer değiştirmesi esnasında hızın mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Kauçuktaki kesme gerilmesini sınırlandırma ve daha büyük yer değiştirme yeteneği kazandırmak amacıyla klasik çelik tabakalı kauçuk mesnetlere sürtüneli plaka eklenerek esnek sürtüneli izolasyon sistemleri düzenlenmiştir.

Esnek sürtüneli taban izolasyon sistemi, merkezi ve çevresel kauçuk çekirdeklerle birbirleri üzerinde kayabilen yassı kayıcı halkalardan oluştuğu için kayıcı tipli izolasyon sistemleri grubuna girmektedir. Yapıların birçok deneyle deprem etkileri altında davranışını incelemek ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Esnek sürtüneli taban izolasyon mesnedinin kesit elemanları ekil 4.8’de gösterilmiştir [36].





**ekil 4.8.** Esnek sürtünmeli taban yalıtım mesnedin kesit ve elemanları [35]

#### 4.2.3. Fransız elektrik kurumu sistemi

Bu sistem 1970' li yılların ba nda nükleer güç santrali tesislerine uygulanmak amacı ile Fransız Elektrik Kurumu' nun deste i ile geli tirilmi tir. Bu sistemin kesiti tabakalı kauçuk mesnet sistemi ile aynıdır. Sistem, kompozit neopran mesnetleri paslanmaz çelikle temas halindeki kur un-bronz ala ımla birle tirerek elastomer mesnetler üzerine oturtulmu kayma yüzeyleri meydana getirir. Kayma yüzeyinin sürtünme katsayısı, izolatörün servis ömrü boyunca 0,2 olarak dü ünülmü tür. Neopran tabakanın muhtemelen  $\pm 5$  cm' den fazla olmayan çok dü ük deplasman kapasitesi bulunmaktadır. Bu de eri a an yer de i tirmeler olu tu unda kayıcı elemanlar gerekli hareketi sa lamaktadır. Sistemi eski denge konumuna geri getiren bile enler bulunmadı ından kalıcı deplasmanlar olu maktadır. Bu sistem sadece bir kere Güney Afrika' daki Koeberg nükleer santraline uygulanmı tır [36].

#### **4.2.4. TASS sistemi**

TASS sistemi Japonya’ da TASEI irketi tarafından geli tirilmi tir. Bu sistemde tüm dü ey yük teflon-paslanmaz çelik elemanlar üzerinde ta ıtılmaktadır ve ek olarak yük ta ımayan kompozit neopran mesnetler kullanılmaktadır. Kompozit neopran mesnetler sistemi denge konumuna getiren dengeleme kuvvetleri sa lamak amacıyla kullanılmaktadır. Teflon kayma yüzeyi 10 MPa civarında basınç alabilmekte ve sürtünme katsayısı da dü ük kayma hızlarında 0,05 ile yüksek kayma hızlarında 0,15 aralı nda de i mektedir. Bu sistemin en önemli dezavantajı, elastomer mesnetlerin dü ey yük ta ımaması olarak gösterilmektedir. Bu nedenle mesnetlerde çekme gerilmeleri ortaya çıkmakta ve kayma yüzeyinin hız hassasiyeti bu sistemin modellenebilmesini zorla tırmaktadır.

#### **4.2.5. EERC bile ik sistemi**

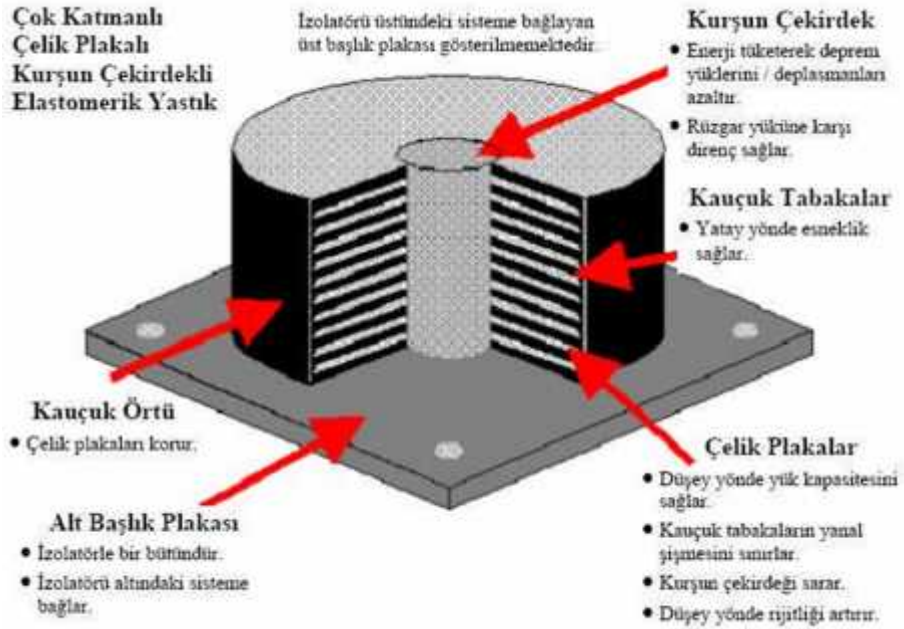
Elastomer ve kayıcı sistemin birle imi olan bu sistem EERC’ da sarsma tablasında test edilerek geli tirilmi tir. Bu sistemde, yapının iç kolonları paslanmaz çelikten kayıcı elemanlar üzerindeki teflon tarafından ve dı kolonları da dü ük sönümlü do al kauçuk mesnetler tarafından ta ınmaktadır. Elastomer mesnetler yapının burulma davranı mını kontrol etmektedir. Sistem denge konumuna geri dönme kapasitesine sahiptir ve sistemdeki kayıcı elemanlar sönüm sa lamaktadır.

Bu sistemin farklı biçimleri Nevada Üniversitesi Mackay okulu ve California’ da bir hastane binasının güçlendirilmesinde kullanılmı tır. Üniversite binasında Teflon paslanmaz çelik kayıcı elemanlar kullanılırken, hastane binası için paslanmaz çelik üzerine kur un-bronz ala ımı plakalar kullanılmı tır.

### 4.3. Kauçuk esaslı elastomer izolasyon mesnetleri

#### 4.3.1. Kauçuk esaslı elastomer izolasyon mesnetleri tanımı

ekil 4.9' da kesiti görülen elastomer mesnet, sismik izolasyon sistemlerinin içerisinde en popüler olanıdır ve kalınlıkları 2 mm ~3 mm olan ince çelik plakalara yapı tırlımı kalınlıkları 8 mm ~ 20 mm arasındaki ince kauçuk levhaların üst üste getirilmesi ile meydana getirilip, bir enerji dağıtım mekanizması ile birleştirilerek üretilirler [15].



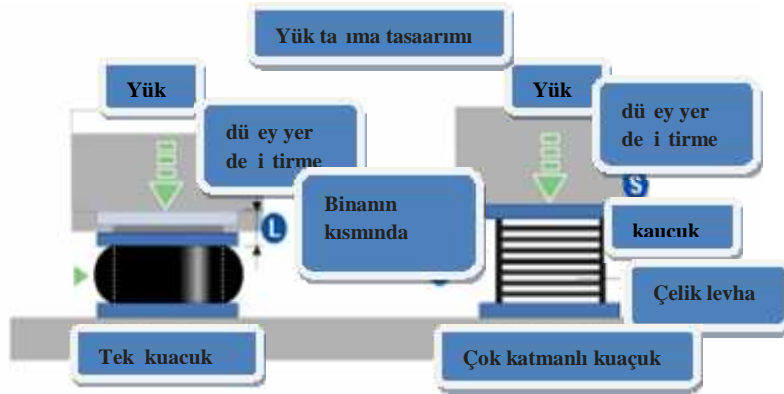
ekil 4.9. Kurşun çekirdekli kauçuk izolator [35]

Doğal kauçuk mesnetler ilk olarak Makedonya'nın Üsküp şehrinde bir okul binasında kullanılmıştır. Bu bina 3 katlı bir betonarme yapı olup 1969 yılında tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklar kullanılmış ancak mesnet içerisinde çelik plakalar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenen rijitlik sağlanamamıştır. Ayrıca kauçuk blokların yanlara doğru kayması söz konusu olmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğinin birkaç katı olduğundan ve kullanılan kauçuk görece olarak sönmüzsüz olduğundan deprem hareketi esnasında bina ileriye veya geriye doğru salınım yapıp, yukarıya

do ru sıçrayabilmektedir. lerleyen zamanlarda mesnetler çelik plakalarla takviye edilerek bu zorlukların üstesinden gelinmiştir. Bu sistem bugün hala kullanılmaktadır.

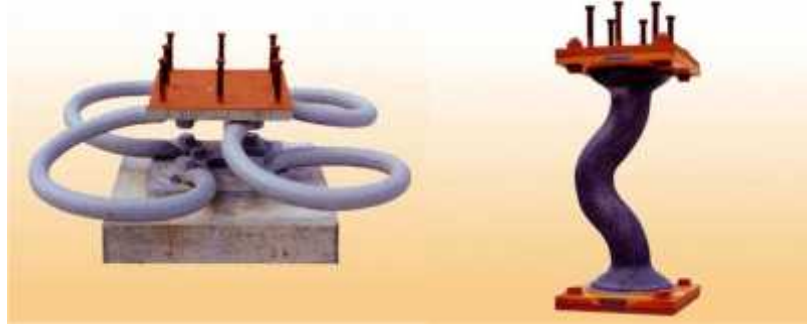
Bina tamamlandıktan sonra birçok binada benzer şekilde doğal kauçuk mesnetler ile inşa edilmiş ancak bu binalarda mesnetlerin yanıl burkulmasını önleyici ve düey rijitliğini artırıcı çelik plakalar kullanılmıştır. Çelik plakalar, yatay rijitliğini birkaç yüz katı kadar düey rijitlik sağlamaktadır. Bu mesnetler aynı zamanda yapıların vibrasyon izolasyonunu da sağlamaktadır.

Kauçuk esaslı elastomer mesnetlerde, kauçuk plakaları ince çelik plakalara yüksek basınç ve ısı altında yapılmışlardır. Elastomer içindeki ince çelik plakalar kauçukun düey yük kapasitesi ve rijitlik sağlamaktadır, aynı zamanda kauçukun yatay yönde hareketini engeller (ekil 4.10). Genellikle, çelik plakalar elastomer mesnedeki düey yük uygulandıkça düey rijitlik sağlayarak kauçuk tabakalarının yatay yönde hareketini sınırlandırmaktadır. Yatay yöndeki esneklik, elastomerin çelik plakalarla bu yönde deforme olmasını kısıtlamaksızın, kauçuk tabakaların kesme kuvveti altındaki yatay deformasyonları sayesinde sağlanır.



**ekil 4.10.** Uygulanan düey yüke karşı elastomer mesnedeki bel vermesi [98]

Mesnedin üst ve alt kısmında bulunan kalın çelik baskımlar izolatörün altında temele, üstünde üst yapıya uygun bir şekilde monte edilmesine olanak sağlamaktadır. Enerji dağıtım mekanizması ya bir metalin plastik deformasyonu sayesinde veya kauçukun özünde bulunan yüksek sönüm özelliği sayesinde sağlanmaktadır. ekil 4.11’de enerji dağıtımında kullanılan sönümleyiciler görülmektedir. İlk bakışta, ya kurun çekirdek elastomer mesnedin içerisine yerleştirilir ya da kurun veya çelik elemanların elastik ötesi deformasyonları üzerine kurulmuş yardımcı sönümleyiciler kullanılır.



**ekil 4.11.** Çelik ve kur un sönümleyiciler [98]

Elastomer mesnetler hareketli ve korozyon durumlarına maruz kalan parçalara sahip olmadıkları için minimum bakım gereksinimleri bulunmaktadır. Ancak, ticari ve konut tipi yapılarda bu tip mesnetlerin geni kullanımını engelleyen elastomer mesnetlerin maliyetleri hala nispeten oldukça yüksektir. Bu dezavantaj sismik izolasyonun geni alanlarda kullanılması ile gerçekle ecek satı hacmindeki bir artı sayesinde azaltılabilir. Aynı zamanda, elastomer mesnetlerin üretim maliyetlerinde üretim i lemlerinin otomatik bir düzene e uydurulması ile hem zaman hemde ekonomik bakımdan önemli ölçüde kazanımlar sa lanabilir. Yüksek maliyet genellikle özel üretim gereksinimleri ve i çilik maliyetlerinden kaynaklanmaktadır.

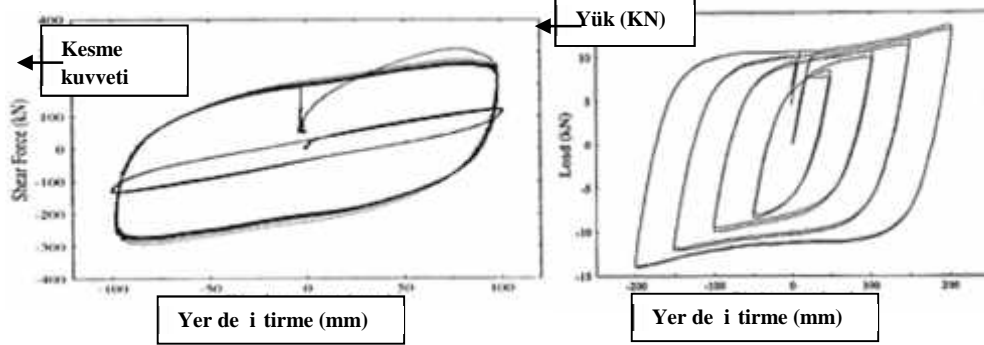
Elastomer mesnetlerin üretim sürecinde çelik plakalar tam ölçülerinde kesilmekte, kum ile yıkanmakta ve kimyasal yöntemler ile temizlenmektedir. Ardından bir ba layıcı bile ik ile kaplanmaktadır ve kauçuk plakalar vulkanizasyon yöntemi ile yapı tırılmak için bir kalıbın içerisinde hazırlanan bu çelik plakaların arasına yerle tirilmektedirler. Aralara yerle tirilen çelik plakalar ve kauçuk birkaç saat yüksek basınç altında ısıya tabi tutulurlar. Son i lem olarak, çelik plakaları korozyondan korumak için ba langıçta alınan bir önlem olarak elastomer mesneti sarması için dı tan elastik bir zar kullanılır. Üstelik, izolatörü yangından kaynaklanan tehlikelerden korumak için özel olarak ısıyadayanıklı kaplamalarda geli tirilip kullanılmaktadır .

Kur un gövdeli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetler a a ıdaki özellikleri tek bir birim içerisinde sa ladıkları için sismik izolasyon için en çok kullanı lı olanlardır;

Ço u kez yatay rijitli in bir kaç yüz katı olan, elastomerin büyük dü ey rijitli inden dolayı dü ey yönde üst yapıyı güvenle ta ıma özelliklerinin bulunması. Dü ey yöndeki rijitlik yapının dü ey titre imlerinden kaçınmak için gereklidir.

Tehlikeli olan rezonans frekans aralından, yapının baskın frekansını ötelemeyi sağlayan yatay esnekliğin bulunması.

Kurun çekirdek veya elastomerin içsel sönüm özelliklerinin sisteme sağladığı yüksek düzeyde bir enerji dağıtım mekanizmasının varlığı (ekil 4.12).



**ekil 4.12.** Elastomer mesnetlerin histeresis döngüler esnasında tükettikleri enerji miktarını gösteren grafikler [99]

Bunun yanında, kurun çekirdek muhteva eden bir elastomer mesnette, çekirdeğin akmadan önceki yüksek rijitliğinin varlığından dolayı, rüzgar yükleri gibi yatay yöndeki servis yükleri altında sisteme bir bağıng rijitliği sağlanmaktadır. Bu durumda enerji dağıtım mekanizması ancak kurun çekirdek akma konumuna gelmez aktif hale gelir. Aksine, yüksek sönümlü kauçuk mesnetler, (Kurun çekirdeksiz) sürekli bir temelde yukarıda bahsedilen bağıng rijitliği olmaksızın sisteme bir enerji dağıtım mekanizması sağlamaktadır. Kurun çekirdekli kauçuk mesnetler depremden sonra sistemi orijinal pozisyonuna geri getirecek bir kuvveti sağlamada gerekli olan kapasiteye fazlasıyla sahiptir. Bahsi geçenlerin dışında, ek kurun ve çelik çubuklardan oluşan sönümleme mekanizmaları ile birlikte kullanılan doğal kauçuktan (NRB) imal edilen izolatör sistemlerinin kullanıldığı birtakım projeler mevcuttur. Bu durumda, enerji dağıtım mekanizması, sisteme ek olarak yerleştirilen çelik veya kurun çubukların elastik ötesi deformasyonları sayesinde sağlanmaktadır [36].

#### 4.3.2. Kurun çekirdekli elastomer mesnetler (LRB)

1970'lerde Yeni Zelanda'da geliştirilen bu mesnet tipi, bugün en sık kullanılan yalıtım sistemleridir. Kurun çekirdekli mesnet, düşük sönümlü kauçuk mesnetlerdeki gibi kauçuk tabakalara ek olarak bir veya daha fazla sayıda, uygun deliklere

yerle tirilmi kur un çekirdeklerden oluşur. Çelik plakalar, kur un çekirde i kayma deformasyonu yapmaya zorlar. Bu tip mesnetlerle izole edilmi binalar, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde iyi bir performans göstermişlerdir. Kur un çekirdekli elastomer mesnetler, çelik plakalar arasına sıkı tırlımı dü ük sönümlü ince do al kauçuk katmanlarından oluşmaktadır.

Uniform bir kayma ekil de i tirmesi sağlamak ve sisteme sönüm özelli i kazandırmak için izolatörün merkezinde bulunan bir deli in içine sıkı ekilde yerle tirilen kur un esaslı silindirik bir gövde sa lanmıştır. Elastomer mesnet içerisindeki çelik plakalar bu kur un çekirde e ba lanır. ekil 4.13' te verilen ekiller kur un çekirdekli elastomer mesnetin kesitini ve bu tip izolatörlerle mesnetlenmi bir yapıyı göstermektedir.

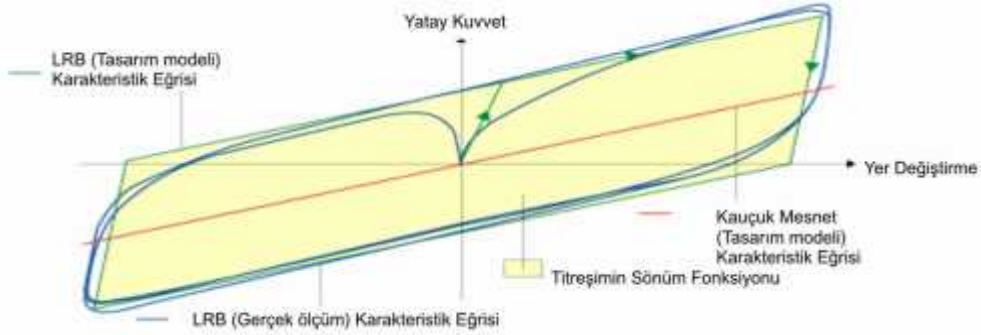


**ekil 4.13.** Kur un çekirdekli elastomer mesnet kesiti ve binalarda uygulanması[100]

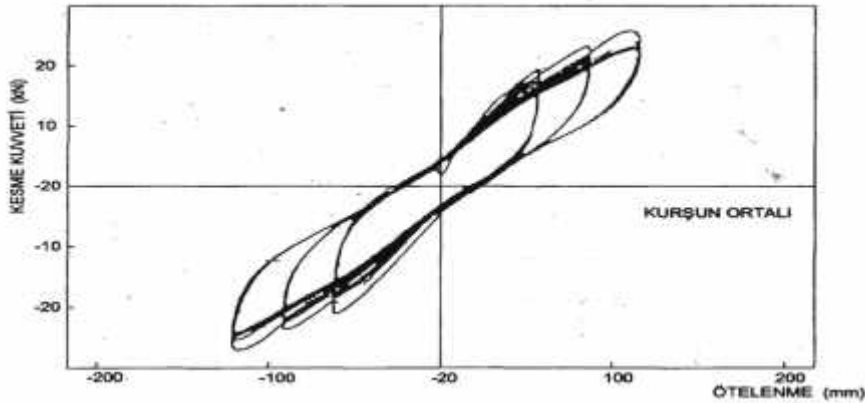
Genellikle dü ük sönümlü kauçuk, kur un çekirdekli elastomer mesnetlerde kullanılmaktadır. % 100-250 arasında bir birim uzamaya kadar lineer bir davranı sergileyen kauçu un çok dü ük kayma modülü sayesinde yatay esnekli e kolayca ula abilmektedir [37].

Uygulanan testlerden, dü ük sönümlü kauçu un mekaniksel özelliklerinin sıcaklıkla, ya la ve yükleme geçmi i ile de i medi i sonucu vurgulanmıştır. Kur un çekirdek, akma sınır gerilmesi, ötesi deformasyonlar altında kendi yapısını geçici olarak de i tiren ve kauçu un kimyasal özelli inden dolayı gerçekte tirdi i geri döndürücü kuvvet sayesinde deformasyonlar kaldırılır kaldırılmaz tekrardan kendi elastik ve orijinal yapısını kazanabilen bir kristal malzemedir. Mesnet merkezinde silindirik bir geometriye sahip olan kur un, çelik plakalar tarafından elastik ötesi bir deformasyon yaratacak bir kesme kuvveti ile zorlandıkça, kendi

akma sınır noktasını geçer geçmez histerik bir döngüde ( ekil 4.14 ve 4.15) enerjiyi da ıtmaktadır. Kur un yakla ık olarak  $\sigma = 10$  Mpa seviyesindeki akma gerilmesinde bir elastoplastik davranı a sahiptir. Ayrıca kur un kendi akma noktasının ötesindeki belli döngüler için oldukça iyi yorulma özelliklerine sahip bir malzemedir.



**ekil 4.14.** Kur un çekirdekli elastomer mesnetlerde histeresis döngü ve enerji da ıtma kapasitesini gösteren kuvvet-yer de i tirme grafi i [98]

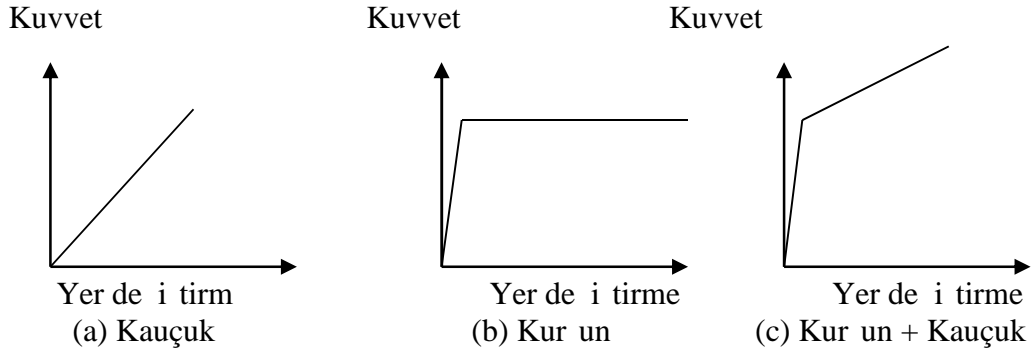


**ekil 4.15.** Kur un çekirdekli kauçuk mesnetlerin tipik histeresis e rileri [39]

Yukarıdaki ekilden anlaşılabildiği gibi elastomer mesnetlerin sönümlendirdi i enerji miktarı, yükleme esnasındaki ve yüklemenin kaldırılması ile oluşan elips biçimli döngüsel alana eşittir. Her bir çevrimde, bu alan ısı ekline dönüşen bir enerji biçimine dönüşmektedir. Bu olay gerçekte yüklemenin kaldırılması esnasında tamamıyla eski seviyesine ulaşamayan ba langıç yüklemelerin yaptığı i ten kaynaklanır, ancak bu olay esnasında kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür ve sönümlendirilir. Kur un çekirdekli plastik deformasyonları sisteme sönüm sağlamasına rağmen, bu deformasyonlardaki lineer,ötesi davranı lar yapının daha yüksek modlarının cezbedilmesine neden olabilir [37]. LRB mesnetlerinin rijitli indeki sürekli ani de iimler yüksek modal etkileri ortaya çıkarabilmektedir.

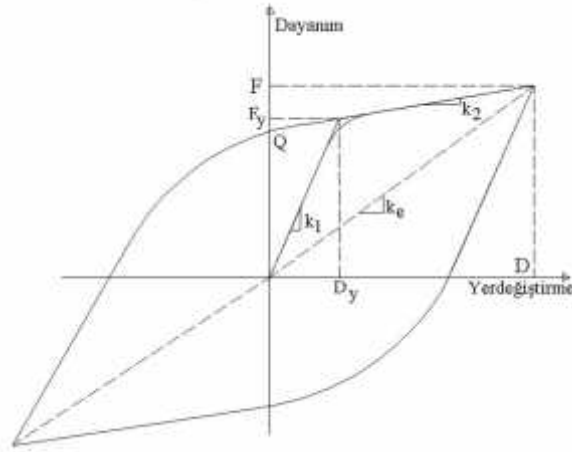


Kur un çekirdekli elastomer mesnetlerin davranı ı ( ekil 4.16), kur un çekirde in varlı ndan kaynaklanan akma öncesi rijitli i  $K_I$  ve kauçu un kayma rijitli i  $K_r$ ' ye e it olan akmadan sonraki peklem e rijitli i  $k_{pl}$ ' nin toplamına e it olan büyük ba langıç rijitli i  $K_I$  tarafından karakterize edilebilir.



**ekil 4.16.** Kauçu un ve kur unun kuvvet-yer de i tirme grafikleri [28]

Genellikle, kur un çekirdekli kauçuk mesnetlerin davranı ları denk bir lineer viskoz olarak sönümlendirilmi sistemin etkili rijitli i  $K_{eff}$  ve denk bir viskoz sönüm oranı  $\eta_{eff}$  tarafından modellenmektedir. Fakat, denk bir viskoz sönüm izolasyon sistemi ve yapının özellikleri gibi, depremin iddeti ve belli karakteristiklerine göre önemli ölçüde de i im gösterebildi i için daima iyi bir yakla ım de ildir. Kur un çekirdekli kauçuk mesnetler, kur unun oldukça yüksek elastik rijitli inden dolayı küçük yatay yükler için gerekli olan ba langıç rijitli ini sisteme sa lamaktadır. Kur un çekirde in ayrıca de i kenlik gösteren etkili bir yatay rijitli inin olması ve bunun yanında aynı ekilde de i kenlik gösteren yapıların etkin periyotlarının varlı ı, yapıyı hasara u ratacak tehlikeli rezonans frekans aralı ının dı nda titre im yapmasını mümkün kılar.



**ekil 4.17.** Kur un çekirdekli elastomer yalıtım birimi için tipik kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi [37]

$Q$  = Karakteristik Dayanım

$k$  = Ba langıç Rijitliği (Elastik Rijitlik)

$k_1$  = Elastik Ötesi Rijitlik

$k_2$  = D yerdeğiştirmesine karşılık gelen efektif rijitlik (Sekant Rijitliği)

$F$  = D yerdeğiştirmesine karşılık gelen dayanım

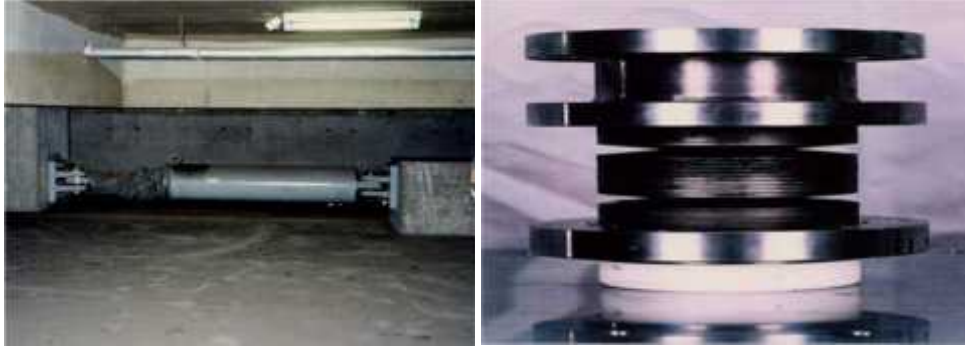
$F_e$  = Etkin Akma Dayanımı

$D_y$  = Etkin Akma Yerdeğiştirme

Kur un çekirdekli kauçuk mesnetlerin (LRB) ba langıç rijitlikleri oldukça yüksektir, fakat ortaya çıkan enerjinin şiddeti arttıkça bu rijitlik düşer ve izolasyon sistemi daha etkin bir hal alır. Ba langıçtaki elastik rijitlik olan  $K_{el}$ , akmadan sonraki ortaya çıkan izolasyon rijitliği olan  $K_{pl}$ ' den yaklaşık 10 kat büyüktür. Kayma birim uzaması arttıkça kur un çekirdekli elastomer mesnetlerinin yatay rijitliği azalır.

%200 - %300 birim uzamalarında, pekileme etkisinden dolayı yatay rijitlik tekrar artı gösterir. A rı deformasyonlar altında bu pekileme etkileri şiddetli bir depreme karşı güvenlik sübabı olarak faydasal olacaktır. Bu tür izolatörlerin kırılma noktası %500 kesme birim uzamaları seviyelerinde gerçekleşir ve bu noktanın, kur un çekirdeğin varlığından ve basınç veya çekme gerilmelerinden bağımsız olduğu deneysel verilerden ispatlanmıştır. Üstelik kayma birim uzaması, düzey yükten bağımsız olarak göz önünde bulundurulabilir. Tam aksine düzey rijitlik, kayma deformasyonlarına bağımlılık göstermektedir.

Kur un çekirde in akma gerilmesinden önceki evredeki servis yükleri altında enerji da ıtma mekanizması kur un çekirdekli mesnetlerde sa lanamaz. Bu durum, hassas ve de erli ekipmanlarda donatılmı yapıların küçük veya çok yüksek frekanslı yatay yüklere kar ı, kur un çekirdekli izolatorlerin enerjiyi sönmümlendirmesini etkisiz kılan bir etkendir. Yardımcı sönmümler (Resim 4.1) bu nedenle elastomer mesnetlerin akma sınır gerilmesine ula madan önceki evrede dı yüklerden meydana gelen enerjiyi da ıtmak için kullanılabilir.



(a) Hidrolik Sönmümler

(b) Sürtünme Esaslı Sönmümler

**Resim 4.1.** Yardımcı sönmümler sistemler [100]

Üstelik, kur un çekirdekli elastomer mesnetlerin (LRB) gerçekte lineer olmayan davranı ı, hem depremin etkin karakteristikleri (iddet, baskın frekans v.b.), hem de izole edilen yapının özellikleri ile de i iklik gösteren sabit olmayan denk bir sönmüml oranına neden olmaktadır. Son olarak, kauçuk ve kur un çekirde in birlikte kullanılması, deprem anında mesnette depolanan uzama enerjisini (elastik enerji) kullanarak, depremden sonra yapıyı ba langıç ko ullarına geri döndürücü bir kuvvet sa lamaktadırlar. Bu geri döndürücü kuvvetin varlı ı, LRB mesnetleri üzerinde izole edilen yapıların, uygulamada deprem etkilerine maruz kaldı ında dinamik özellikleri üzerinde ne denli bir etki bıraktı ı ispatlanmı tır. Ayrıca, sarsma tablası test deneyleri sonuçları, yapıyı ba langıç konumuna geri döndüren bir geri döndürücü kuvvetin varlı ının kur un çekirdekli elastomer mesnetlerce nasıl sa landı ını etkin bir biçimde göstermektedir [38].

#### 4.3.3. Yüksek sönmümlü elastomer mesnetler (HDRB)

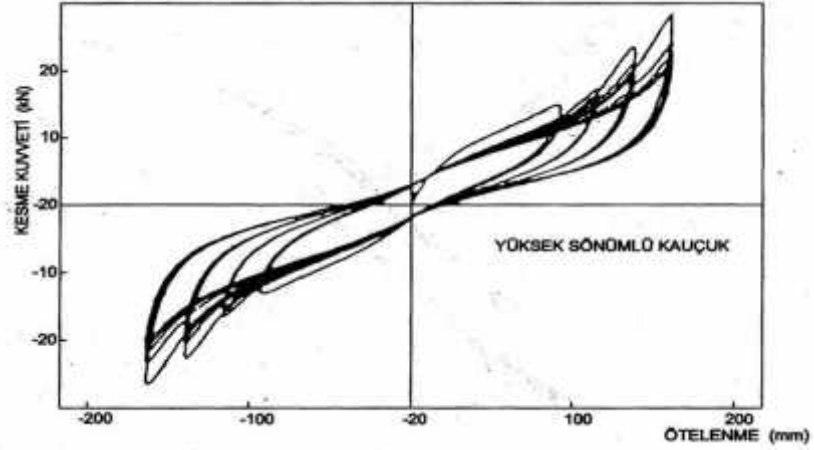
Dü ük sönmümlü mesnetlerdeki ek sönmüml elemanları ihtiyacını gidermek amacıyla, yeteri derecede ekil 4.19' da görülen sönmümlü do al kauçuklar, 1982 yılında

Malaysian 'Rubber Producers' Research Association kurumunda geli tirilmi tir. Karbon blok, ya veya cam sakızı ve özel doldurucular ilave edilerek kauçu un sönümü arttırılır.

Yüksek önümlü kauçuk sistemler, trafik ve yeraltı raylı sistemleri kökenli yüksek frekanslı dü ey titre imleri azaltma uygulamalarında da kullanılırlar.

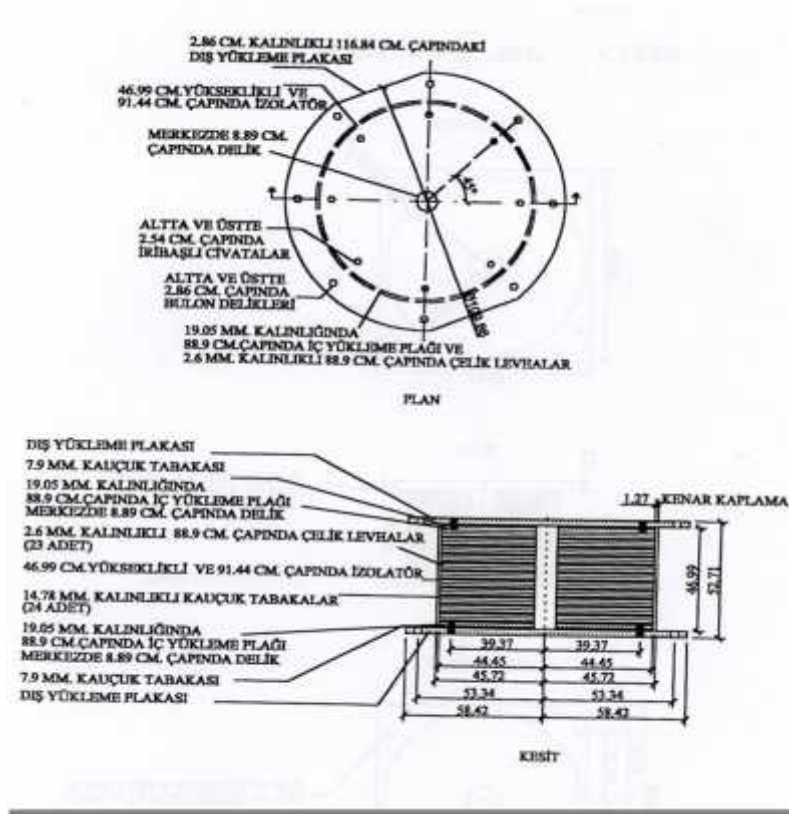
Yeteri kadar bünyesel sönüm içeren ve yapıda ekstra sönüm elemanına ihtiyacı ortadan kaldıran do al kauçuk mesnetler 1982 yılında ngiltere' de geli tirilmi tir. Yüksek sönümlü elastomer mesnetler, çelik plakalar arasında sıkı tırılmı yüksek sönümlü ince kauçuk tabakaların, kur un çekirdekli mesnetlerde oldu u gibi üst üste birbirleri ile yapı tırılarak üretilmektedir. LRB mesnetlerinde kullanılan vulcanizasyon ve yapı tırma metotları aynı zamanda yüksek sönümlü elastomer mesnetlerin (HDRB) üretimi içinde kullanılmaktadır. Aralarındaki tek fark, sisteme yüksek sönüm sa layan do al kauçuk içeri indeki kimyasal katkı maddelerinde görülmektedir.

Yüksek sönümlü kauçuk, gerçekte karbon blok, reçine ve ya gibi özel dolguların kauçu un içerisine eklentisinden dolayı, içsel sönüm özellikleri yüksek oranda arttırılmı bir bile imdir. Bu tür katkıların eklentisi, izolatörün mekaniksel özelliklerini etkilemeksizin kauçu un özündeki sönüm özelliklerini arttırır. Kayma gerilmeleri, yüksek sönüm özelliklerine sahip kauçu a uygulandı ında, enerji sönümlendirme mekanizmasına dönü en sürtünme ısısı moleküllerin birbirleri üzerinde yer de i tirmesi ile üretilir. Bu tür özel karı ımlar olmaksızın üretilen do al kauçuktaki (LRB mesnetlerinde kullanılan) moleküler etkile im fiziksel olarak zayıf çapraz ba lardan olu tu u için sürtünmeden kaynaklanan ısı göz ardı edilir. Yüksek sönümlü bir elastomer mesnedin enerji sönümlenme mekanizması, hem küçük hemde büyük ekil de i tirmeler için eldesi mümkündür, ayrıca de i ken de ildir ve düzgün bir elips e risi eklinde karakterize edilir [38]. ekil 4.18' de bu tip mesnetlerin histeretik döngüsü verilmektedir. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerdeki deneysel çalı malar, tipik olarak lineer elastik modellere denk olan yakla ık % 100 kayma ekil de i tirmelerinde % 10 ile % 20 sönüm oranına e it bir öngörülen enerji sönümlenme kapasitesine sahip oldu unu do rulamaktadır. Ancak, küçük birim uzamalar altında daha büyük rijitlik gösteren yüksek sönümlü kauçuk bile i inin sa ladı ı ba langıç rijitli ine ra men, yüksek sönümlü kauçuk mesnetler (HDRB), servis yükleri ve küçük yatay yükler altında sisteme gerekli olan ba langıç rijitli i sa lamayabilir.



**ekil 4.18.** Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlere ait kuvvet-yer de i tirme grafi i [39]

HDRB ile izole edilen bir yapı, izolasyon sisteminin yatay yöndeki esneklikli inden dolayı sabit ve büyük bir etkin periyoda sahiptir. Ancak, böyle bir sistemin, baskın frekans de eri izolasyon sisteminin etkin frekansına denk olan rüzgar yüklerine maruz kalması durumunda yapıyı rezonansa zorlayaca ıda kaçınılmaz bir gerçektir. Sönüm ve HDRB mesnetlerinin mekaniksel özellikleri, sıcaklı a ba ımlı olarak ortaya çıkmaktadır. Buna kar ın kur un gövdeli mesnetlerin enerji sönümleme mekanizması bu etkiden ba ımsızdır. Bu nedenle, yüksek sönümlü elastomer mesnetler kur un gövdeli mesnetlere oranla sismik izolasyon uygulamalarında daha az kullanılmaktadır.



ekil 4.19. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet [39]

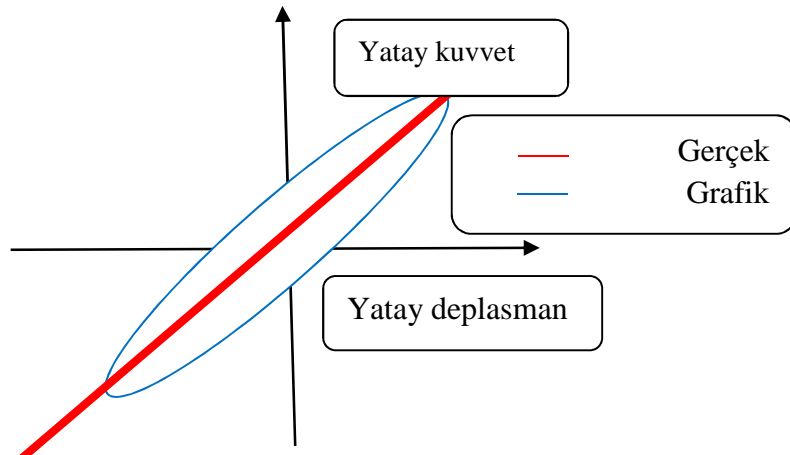
Yüksek sönümlü elastomer mesnetlerin kayma modülü yakla ık olarak 0.3 - 1.5 MPa arasında de i mektedir. Bazı yüksek sönümlü do al kauçuk bile imleri, onları sismik izolasyon için uygun yapan mekaniksel özellikler ve davranı lar sergilerler. Özellikle yüksek sönümlü kauçu un ba langıç rijitli i küçük birim uzamalarda yüksek de erlere ula ır ve kayma birim uzamasının yakla ık 0.5' e e it oldu u, ba langıç rijitli inin yakla ık % 20' sine denk olan minimum bir de ere ula arak artan birim uzamalarda önemli ölçüde azalır. Strain Hardening etkisinden dolayı % 100' den daha büyük birim uzamalar için tekrar artı gösterir. Bu mekaniksel özellik, rüzgar veya küçük ölçekli deprem yükleri için sisteme faydalı olan yüksek ba langıç rijitli i sa lamaktadır. Rijitlikteki ve yüksek ekil de i tirmelerde sönümdeki artma, dü ük sismik yükler altında rijit, tasarım seviyesindeki sismik yükler altında sünek ve lineer, tasarım seviyesini a an sismik yükler altında ise deplasmanların sınırlanabildi i sistemler üretilmek için kullanılır.

Yüksek sönümlü kauçuk sistemlerin bir di er avantajı da çevre titre imlerinin azaltılmasında kullanılabilmesidir. zolatörler, trafik ve kom u yer altı demiryolu hattı gibi unsurların yapı üzerinde yarattı ı yüksek frekanslı dü ey titre imlerinin filtrelenmesinde rol oynar [40].

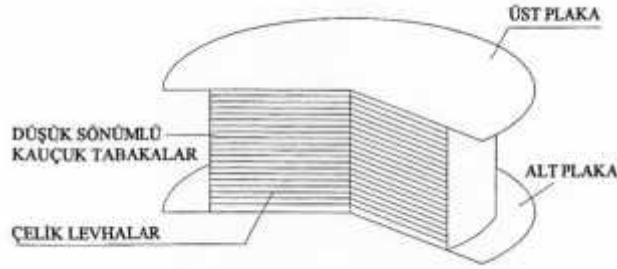
#### 4.3.4. D k sönümlü elastomer mesnetler (LDRB )

D k sönümlü kauçuk izolatorler,  elik ve kauçuk tabakasının tek bir seferde yüksek basınç ve sıcaklık altında birle tirilmesiyle meydana gelir.  zolat r n alt ve üst bölgesinde montaj levhaları (alt ve üst ba lık) mevcuttur. Bu levhalar aynı zamanda yapıdan gelen yükleri homojen bir ekilde izolator n di er tabakalarına iletir. ki ba lık arasında yapının davranı na ve hesap de erlerine uygun olarak  elik ve kauçuk tabakalar mevcuttur.  elik ve kauçuk tabakalarının belirli i levleri vardır ( ekil 4.20).  elik plakaların yatay rijitli e etkisi yoktur. Asıl amacı sistemin d  ey yükleri altında rijit olarak çalı masına yardımcı olmaktır. D  ey yüklerin alt tabakaya geçi bölgesinde bulunması nedeniyle yüklerin homojen olarak alt tabakalara iletilmesini de sa lar. Böylece bölgesel kusurları ortadan kaldırarak sistemin bütün olarak çalı masına yardımcı olur.  elik plakalarının di er bir özelli i ise kayma gerilmelerine kar ı do rusal davranı göstermesidir. Standart izolatorlerde sönüm oranı yakla ık % 4-6 arasındadır (Maurer S hne, 2007).

D k sönümlü do al kauçuk mesnetler ve sentetik kauçuk mesnetler, Japonya' da, geni  l de, ilave sönüm aletleri ile birlikte kullanılmı tır. (viskoz sönümleyiciler,  elik çubuklar, kur un çubuklar, sürtünmeli aletler v.b.). Bazı projelerde elastomer olarak, Japonya' da do al kauçuk kullanılmasına kar ın, Fransa' da neoprene kullanılmı tır. Bu izolatorde, kauçuk volkanize (kau u un sülfürle yüksek ısıda sertle tirilmesi) edilip sıcaklık ve basınç altında tek hamleyle çok sayıda ince  elik levhalar arasına sıkı tırılmı tır. ekil 4.21' de görülen  elik levhalar, kau u un yana bombe yapmasını önler ve yüksek miktarda d  ey rijitlik sa lar.



ekil 4.20. D k sönümlü kauçuk izolator n histeresis e risi [40]



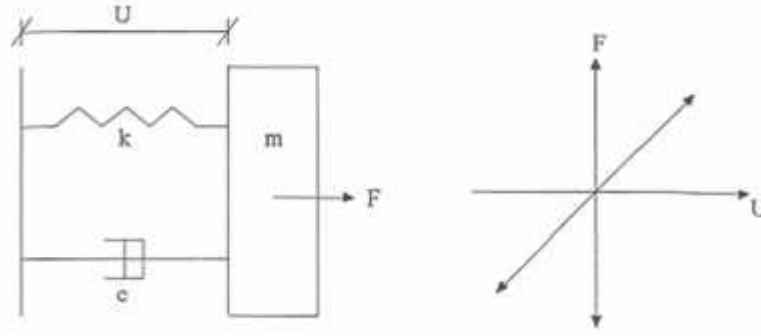
**ekil 4.21.** Düşük sönümlü do al kauçuk mesnet [40]

Kauçuk esaslı dairesel izolatörler u a amalardan geçerek üretilmektedirler [35].

- Kauçuk a ozon dayanımı, mekanik dayanım, çekme dayanımı, rijit ve sönüm artırıcı katkı maddeleri ilave edilir. Rijitlik ve sönüm artışı için do al kauçuk a karbon siyahı konur ve karıştırılır.
- Kauçuk rulo yapılıdır.
- Kauçuk rulo belirli kalınlıklarda daire biçimli kesilir.
- Kauçuk kat kat yerleştirilir ve aralarına birkaç mm kalınlığında çelik levhalar konur. Levhaların kauçuk a iyi yapışması için yüzeyleri parlatılır.
- Yüzeyle yapıştırıcı maddeler sürülür.
- Bir kat kauçuk bir kat çelik sırasındaki elemanlar a ır çelik kalıba konulur. Kalıpla arasına yine kauçuk yerleştirilir. Birleim  $135^{\circ}C$ ' de yaklaşık 14 saat bekletilir.
- Kauçuk vulkanize edilir. Bu işlem sırasında kauçuk kalıptan dırarılabilir. Kalıbın çevresine konulan kauçuk çeliği paslanma ve yangın etkilerinden korur.

Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin pek çok avantajı vardır. Bu mesnetler kolay imal edilebilirler, kolay modellenebilirler ve mekaniksel özellikleri sıcaklıktan ve zamandan etkilenmez. Tek bir dezavantajı ise genellikle bu mesnetlerle birlikte ek bir sönüm sistemine ihtiyaç duyulur. Bu ek sönüm sistemlerinin düüm noktası ba lantıları dikkatli ve özenli hazırlanmalıdır. Metal sönümleyicilerin kullanılması durumunda yorulma etkileri oluabilir. ekil 4.22' de düşük sönümlü kauçuk mesnedin ematik modeli ve kuvvet-yer de i tirme davranışı gösterilmektedir;





**ekil 4.22.** Dük sönümlü kauçuk mesnedin ematik modeli ve kuvvet-yerde i tirme davranı ı [41]

#### 4.3.5. Hibrit (Karma) tip elastomer mesnetler (LRB+HDRB = LHDRB)

Kur un gövdeli, yüksek sönümlü kauçuktan meydana gelen bir hibrit tip elastomer mesnet, çelik plakalar arasına yerle tirilmi yüksek sönümlü kauçuk tabakalarından ve daha küçük çaplı kur un silindir gövdenin mesnedin merkezinde bulunan bir deli e sıkı tırılarak yerle tirilmesinden olu maktadır. Bu tip izolatörler yukarıda bahsi geçen her iki tür elastomer mesnedin avantajlarına sahiptir. LHDRB hem bir ba langıç rijitli e (kur un gövdenin bulunması ile) hemde yüksek sönümlü kauçu un sönüm özelliklerinden dolayı sürekli bir enerji da ıtma mekanizmasına sahiptir.

zolasyon sisteminin bu özelli inden dolayı hem küçük hemde büyük ölçekli iddetli depremlerde ve küçük yatay yükler altında izolasyon sisteminin oldukça iyi performans sergilemesi beklenir. Ayrıca, bu mesnetlerin mekaniksel özellikleri yüksek sönümlü elastomer mesnetlere oranla ısıl de i imlere çok daha az duyarlılık gösterir. Üstelik, hibrit tip izolasyon sistemlerinin kullanımı, üst yapı üzerindeki yüksek frekans etkilerinin cezbedilmesini sa layan izolasyon sisteminin ba langıç rijitli inin azalımını da sa lamaktadır. Son bir avantaj olarak, izolatörlerin etkinli i ve uygun boyutları sismik izolasyon uygulamalarının sınırlı oldu u alanlarda bu tür sistemlerin kullanımını kolayla tırmaktadır. LHDRB mesnetlerinin kullanımı kur un gövdeli ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerinin avantajları ve kısıtlamaları arasında tercihen pratiksel ve yapısal maliyetin azaltımına yönelik bir uygulama alanı sa lamaktadır.

Pratiksel olarak mümkün olması durumunda, kur un çekirdekli yüksek sönümlü elastomer mesnetlerin tercihen izole edilen yapının rijitlik ve kütle merkezinden

mümkün oldu unca uza ında bulunan yapı çevresindeki kolonların altına monte etmek oldukça etkili olabilmektedir. Kur un gövdeye sahip olmayan yüksek sönümlü kauçuk mesnetler yapının iç kolonları altında kullanılabilir. Bu düzen kur un çekirdeklere akma gerilmelerinden önce daha dü ük seviyede bir ba langıç rijitli i sa lar ve sonucunda akma ve tersinir yüklemeler altında izolatörün yatay yöndeki rijitli indeki de i im daha yumu ak mertebelerde gerçekleşir. Yüksek ba langıç rijitli i ve onun ani de i imleri, yüksek modların etkilerini ve ba langıç rijitlik azaltılarak kaçınılabilecek ivme artı larını tetikler. Üstelik, rijitlikteki de i imin kademeli azaltımı akma sınır gerilmesinden önce izolasyon verimlili inin daha yüksek bir de ere ula masını sa layacaktır. Rijitlik merkezinden uzaktaki dı kolonların alt kademesine kur un gövdeli mesnetlerin yerle tirilmesi, izolasyon sisteminin rijitlik merkezi ve atalet kuvvetlerinin uygulama noktaları arası mesafeden kaynaklanabilecek burulma etkisine kar ın daha büyük direnç sa layabilmesine yardımcı olabilmektedir. Plandaki bu düzenin izolasyon seviyesinde, atalet kuvvetlerini LHDRB mesnetlerine uniform da ıtabilen rijit bir diyafram varlı ı ile sa lanması yoluyla gerçekleştirilece ine dikkat etmek gerekmektedir.

Etkili bir izolasyon sistemi, hem viskoz hemde histerik sönüme sahip olmalıdır ve sürekli bir enerji da ıtım mekanizması sistemde sa lanmalıdır.özellikle hızla ba ımlı olan viskoz sönüm, hem iddetli hemde küçük ölçekli titre imler için sürekli bir sönüm mekanizmasını mümkün kılmaktadır. Viskoz sönüm ya gerçek viskoz sönümleyicilerle yada içsel sönüm özelliklerine sahip kauçuk tarafından sa lanabilir. Optimum viskoz sönüm oranı %20 ile %30 arasında bulunmaktadır; daha yüksek sönüm de erleri kat ivmelerinin artı na yol açmaktadır. Ancak, viskoz sönümleyiciler ile izolasyon seviyesindeki deplasmanları azaltmayı hedefleyen sistemler, iddetli depremler için çok etkili olmamakla beraber genelde rüzgar yükleri gibi küçük yatay yüklemeler için gerekli olan ba langıç rijitli ini sisteme sa layamamaktadır. Daha önceden bahsedildi i gibi, histerik sönüm genellikle bir metalin, tipik olarak kur unun veya çeli in plastik deformasyonu sayesinde sa lanır ve özellikle izolasyon seviyesindeki göreceli deplasmanları önemli ölçüde azaltarak güçlü titre imler için oldukça etkili olmaktadır [28].

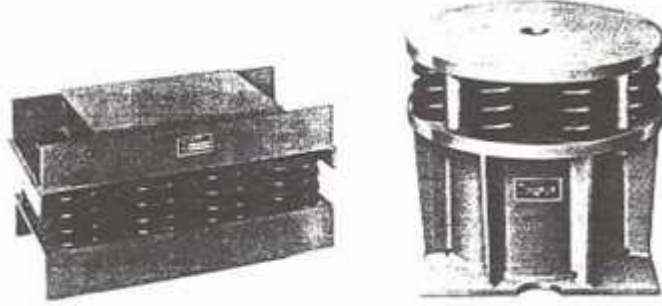
Histerik sönüm servis yükleri için gerekli olan yüksek ba langıç rijitli i sa lamaktadır, ancak viskoz sönümde oldu u gibi sürekli bir enerji da ıtım mekanizması sa layamamaktadır. Ani rijitlik de i imleri kat ivmelerini arttırabilmektedir. Bu nedenle, sismik izolasyon uygulanan yapılar için tasarım

a amasında bu iki sönümlleme sistemi arasında optimum seviyede bir yakla ım dü ünülmelidir.

#### 4.4. Yay tipi sistemler

Kauçuk esaslı ve kayıcı izolasyon sistemleri genellikle yatay yönde izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılır. E er depremin dü ey bile enine kar ı dü ey yönde de izolasyon sağlamak isteniyorsa genellikle kullanılması tercih edilen yalıtım sistemleri helisel yaylardan oluşan yay tipi sistemlerdir. Almanya’ da Gerb firması yay tipi izolatörler ve bunların de i ik kombinasyonları üzerine üretim yapmaktadır. Bu sistemlerde çelik yaylar sönümsüz olup sistem daima viskoz sönümleyicilerle beraber kullanılmaktadır.

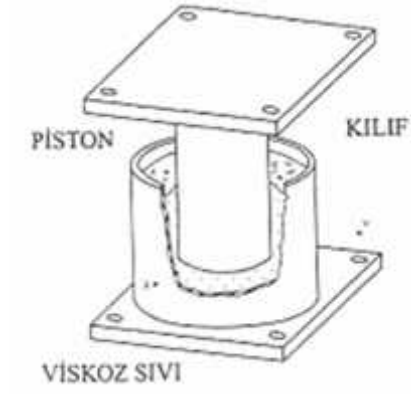
ekil 4.23’ de Gerb salt yay tipi bir izolatör ve viskoz sönümleyici ile birleştirilmiş bir yay tipi izolatör görülmektedir.



ekil 4.23. Gerb yay tipi sistemler [32]

çelik yaylar çekme gerilmesi taşıyamadığı için viskoz sönümleyici ile birleştirilmiş yay sistemleri üretilmiştir. Bunlar hem çekme hemde basınç gerilmeleri taşıyabilir.

Viskoz sönüm iki bile enden oluşmaktadır. Sönümün ilk parçası, yüksek viskoz sıvı ile doldurulmuş çevresel kılıf, diğer parçasıda yaya mesnetlenmiş pistondur ( ekil 4.24). Bu sistemde mekanik enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Viskoz sönümle birlikte sistemin dü ey do rultusunda %20 ile %30 arası kritik sönüm elde edilmektedir. Dü ey frekans genellikle yatay frekansın 3 ile 5 katı arasındadır.



**ekil 4.24.** Viskoz sönümleyicinin bile enleri [35]

Bu sistemlerin daha çok a ır makine ekipmanlarının titre im izolasyonu ve nükleer güç santrallerinin titre im izolasyonunu gibi uygulamaları mevcuttur, ancak konut tipi sistemlerde sık uygulanma alanları olmasada bazı projeleri mevcuttur. Bu sistemlerin matematiksel modellemeleri bir hayli karı ıktır [35].

## 5. KAYNAK ARA TIRMASI

### 5.1. Binalarda sismik taban izolatörü kullanımı konusunda yapılmı çalı malar

Lee (1980), kesme kuvvetlerini azaltarak ve her iki yatay yönde 1940 El-Centro iki yönlü zemin hareketine maruz kalmı simetrik olmayan tek katlı sistemde olu an devrilme momentlerinde bilinear histeritik izolasyon sistemlerinin etkinli ini çalı mı tır. Yapısal devrilme momentleri, yapıda eksantrisite büyük olsa bile taban izolasyonu ile dü mü tür. Bu dü ü izolasyon sisteminin rijitlik merkezinin yapının kütle merkezi ile çakı tı nda en yüksek de erine ula mı tır. Ayrıca Lee, üst yapıda bulunan eksantrisitenin izolatör yer de i tirme büyüklü üne küçük bir etkisi olaca ı sonucuna varmı tır [42].

Wan (1997), elastometrik mesnetler, viskoz sönümleyiciler ve ayarlı kütle sönümleyicilerin performans kar ıla tırmasını yapmı tır. Bu üç koruyucu sistem yerle tirilmi L ekinde 6 katlı bina, El Centro 1940, Orion Blvd 1971 ve Capitol 1989 deprem kayıtlarındaki zemin hareketlerine maruz bırakılmı tır. Deterministik ve stokastik deprem zemin etkileri göz önüne alınmı tır. Pasif koruyucu sistemlerin performansları ve etkileri frekans alanında bazı sınırlamalar yapmak suretiyle zaman tanım alanı analizleri yapılmı tır. Sonuç olarak taban izolasyonlu sistemlerin yapının sismik tepkisini azaltmakta çok ba arılı oldu u görülmü tür. Deprem hareketleri ile olu an strüktürel tepkiyi azaltmada, ayarlı kütle sönümleyiciler viskoz sönümleyicilerden daha az etkili olmu tur. Ayrıca sonuçlar göstermi tir ki deprem hareketlerinin karakteristikleri üç pasif deprem kontrol sistemlerinin performansını etkileyen en önemli faktördür [43].

Tuna (1998), yaptı ı ara tırmada köprülerin depreme dayanıklı projelendirilmesinin can güvenli i esasına yönelik oldu unu açıklamaktadır. Hasar olu umunun kabul edildi ini, ancak çökmenin olu mamasının istendi ini belirtmektedir. Sismik izolasyon mesnetlerin kullanılarak olu acak deprem kuvvetlerinin iddetinin kontrol edilebildi ini açıklamaktadır. Bu mesnetler, köprünün do al periyodunu büyütmede ve çok daha küçük deprem kuvvetleri olu turmaktadır. Ayrıca, köprü ayakları arasında kesme kuvvetlerinin da ılımını da kontrol etmek mümkün olmaktadır [44].

Fujita (1998), binalarda sismik izolasyon uygulamasının en geni çapta uygulandı ı ülkenin Japonya oldu unu belirtmektedir. 17 A stos 1995 Hanshin Awaji depreminde sismik izolasyonun etkisi görüldükten sonra taban izolatörlü binalar Japonya’ da daha da popüler olmu tur. Japonya’ da geli tirilen ve kullanılan sismik izolasyon sistemlerinden bahsedilmektedir [45].

Kelly (1998), zemin hakim titre im frekanslarının deprem enerjisinin en güçlü oldu u frekans aralı ında bulunan ve bu nedenle zemin titre imlerini bylten alçak ve orta yükseklikteki yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımında problem ya andı ını belirtmektedir. Bunun için deprem tasarımı yapılan binada olu acak ivmelenmeyi zemin ivme seviyesinden a a ıya d örmek gerekti ini açıklamı tır. Bu ko ulun sa lanması için binada esneklik olması gerekmektedir. Ancak esnek binalarda yapısal olmayan elemanların hasar görebildi i gemi depremler sırasında görülmü tür. Yapısal olmayan elemanlarda kat ivmelenme de erlerini d ren en etkin sistemin sismik izolasyon oldu unu belirtip Amerika’ da hem yeni binalarda hem de tarihi yapıların güçlendirilmesinde bu sistemlerin kullanıldı ını örneklerle açıklamı tır [46].

Moroni ve arkada ları (1998), yaptıkları çalı mada, deney düzene i olarak Santiago, ile’ de 1992 yılında yüksek sönümleyici kur un izolatrle mesnetlenmi 4 katlı binayı ele almı lardır. Bu yapının yanında ayrıca aynı özellikte ankastre mesnetli 4 katlı bina daha vardır. Binalara dijital ivme ölçerler yerle tirilmi tir. Son üç yılda, kayıt sistemi ile de i ik iddette en az 24 adet deprem kayıt edilmi tir. Ayrıca binalara uygulanan çekme testi ile mesnetlerin karakteristikleri de erlendirilmi tir.

Deprem kayıtlarından elde edilen bilgiye göre ve maksimum zemin ivmesi ile deprem hareketlerinin karakteristiklerine ba lı olarak kur un kauçuk izolatörlü yapının çatı düzeyindeki maksimum ivmenin azalı ının di er binaya göre 1 ve 3,5 katı kadar oldu unu belirtmi lerdir [47].

Chung ve arkada ları (1999), farklı deprem etkilerine maruz bırakılan taban izolasyonlu yapıların sismik performans de erlendirmesi için sarsma tablası ve pseudo dinamik testler yapmı lardır. Bu alı manın amaçları: 1. Sarsma tablası deneylerinde iddetli deprem yüklerine kar ı alçak yapılarda taban izolasyon sistemlerinin etkilerini de erlendirmek 2. Taban izolasyonlu yapılarda st yapıya uygulanan pseudo dinamik test sonuçları ile sarsma tablası deney sonuçlarını kar ıla tırmak 3. Taban izolasyonlu sistemlerin deprem tepkilerini tahmin etmek için

bir analitik metot geli tirmektir. Sarsma tablası deneyinde ¼ ölçe inde lamine kauçuk mesnetli üç katlı yapı denemi tir. Pseudo dinamik testte sadece lamine kauçuk mesnetli yapının üst yapısının sismik tepkileri düzlemsel sayısal integrasyon kullanılarak hesaplanan altyapı tekni i ile denemi tir. Taban izolasyonlu yapıların dinamik tepkilerini tanımlamak için kullanılan pseudo dinamik testler sarsma tablası deneylerinden daha etkili oldu u sonucuna varılmı tır. Taban izolatörleri için bilineer histeritik modelli analitik metot taban izolasyonlu sistemlerin deprem tepkilerini tahmin etmek için uygun bulunmu tur [48].

Robinson (2000), 1968 yılından beri sismik izolasyon sistemlerinin Yeni Zelanda' da bulunup, geli tirilip, uygulanmakta oldu unu belirtmi tir. Deprem zemin hareketlerinden binayı ayıran sismik izolasyonun yeni ve eski binaların, köprülerin korunmasında kullanılacak noktaya geldi ini açıklamaktadır. Wellington' da 1918 yılında yapılan 'The Old Parliament Building' ve 1898 yılında tamamlanmı . 'The Assembly Library' nin güçlendirilmesi kur un kauçuk mesnetlerle yapılmı tır.

Ramirez (2001), pasif enerji sönümleyen sistemli binalar için analiz ve tasarımın basitle tirilmi metotlarının geli mesini ve de erlendirmesini sunmu tur. çerik olarak; %5 kritik sönümlü tepki spektrumunun modifikasyonu için geni letilmi sönümleme katsayılarının geli imi, enerji sönümleyici cihazlarla esnek sistemlerin elastik ve elastik olmayan yer de i tirme ili kilerinin geli imini, viskoz sönümleyici sistemler ile esnek yapıların süneklik talebini, sönümleyici binalar için e de er yatay kuvvet ve model analiz prosedürlerinin geli imini, lineer viskoz, non-lineer viskoz, katı viskoelastik, esnek sönümleyici sistemli 3 ve 6 katlı yapının geli mi analiz prosedürlerinin geçerlili inin sınanmasını içermektedir [49,50].

Süt (2001), çalı masında taban izolasyonlu yapı sistemlerinin deprem davranı mını incelemi tir. Taban izolasyonlu yapıların deprem etkisindeki davranı larının etkisini görmek amacıyla 6 katlı plan ve dü eyde simetrik bir binanın taban izolasyonlu ve izolasyonsuz dinamik analizleri yapılmı tır. Taban izolasyonu olarak yüksek sönümlü kauçuk mesnet kullanılmı ve lineer olmayan bir davranı gösterdi i kabul edilmi tir. Dinamik etki olarak, 1992 Erzincan depremi ve 1999 Düzce depremi Bolu ivme kayıtları kullanılmı tır. Dinamik analizlerde 5 mod kullanılmı ve her bir mod için %5 sönüm oranının oldu u kabul edilmi tir. Tepki büyüklükleri olarak, binanın üst kat yer de i tirmeleri, kolon kesme kuvvetleri ve izolasyon sisteminin yer de i tirmeleri seçilmi tir. Sonuç olarak izolasyonlu sistemin katlararası yer de i tirmelerinin, izolasyonsuz sisteme nazaran oldukça dü ük oldu u görülmü tür.

Buna paralel olarak sistemin d ey ta ıyıcı elemanlarındaki kesit tesirlerinin azaldı ı saptanmı tır. Dolayısıyla izolasyonlu sistemin kat kesme kuvvetleri, izolasyonsuz sistemdeki kat kesme kuvvetlerinden daha k uc k olarak elde edilmektedir. Kat kesme kuvvetlerinin azalmasıyla birlikte taban kesme kuvvetlerinin de azalacak olması izolasyonlu sistemin  st nl   n  ortaya koymaktadır. zolasyonlu sistemde kesit tesirlerinin azalması eleman boyutlarının klasik ankastre tabanlı yapılara göre daha k uc k boyutlarda yapılabilece i anlamına gelmektedir [51].

Mazzolani (2001), Avrupa' yı sismik hareketlilik yönünden ikiye bölerek incelemi tir. Kuzey bölüm jeolojik bakımdan kararlı ve temelde depremlerden etkilenmeyen bölgeler ki burada pasif kontrol teknoloji nükleer santrallerle sınırlı olmaktadır. Güney bölüm ise Akdeniz' in çevresi ve Balkan bölgesi deprem fayları üzerindedir. Avrupa' da pasif izolasyon konusunda lider olan talya' da izolasyon uygulanarak yapılmı yeni binalardan ve g c lendirilmi tarihi binalardan örnekler verilmi tir. talya' da 1998 yılında sismik izolasyonlu yapılarla ilgili ilk standart olu turulmu tur. Ayrıca Avrupa düzeyinde Eurocode 8' in geli imine paralel olarak 1993 yılında teknik komite TC 167/SC1 depreme dayanıklı yapılar için mesnet araçlarını standartla tıran CEN' i kurmu tur. Eurocode 8 (1998)' in ENV versiyonu binaların pasif kontrollü tekniklerinden bahsetmemektedir. 2000 yılında basılan ENV 1998-1-1,1998-1-2, 1998-1-3te Chapter 10 taban izolasyonu ile ilgilidir ama bölüm hala yeterli de ildir ve üzerindeki çalı malar devam etmektedir [52].

Zhou (2001), 2000 yılının sonuna kadar 450 binanın  in' de sismik izolasyonla in a edildi ini belirtmi tir. Sismik izolasyonla, binaların güvenlik düzeyi 2-8 kat arasında artmı , ayrıca maliyetlerde %3-15 arasında d  m  t r.  in' de sismik izolasyonla yapılmı yeni ve eski binalardan örnekler verilmi tir. Üç adet standartdan bahsedilmektedir. Bunlar CECS 2000, lamine kauçuk mesnetler için ulusal standart olan JG 118-2000 ve bina tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönümleyiciler için GB50011' dir [53].

Wu ve Samali (2002), kauçuk mesnet ile izole edilmi 5 katlı benmark modelin sismik karakteristikleri sarsma tablası kullanarak çalı mı tır. Çarpı ma tahriki; HP-VXI data elde etme sistemi ve LMS CADA-X software, kauçuk mesnetli ve mesnetsiz benmark modelin dinamik parametrelerini tespit etmek için kullanılmı tır. Do al frekanslar, sönüm oranları, faz ekilleri ile kütle, rijitlik, sönüm matrisleri gibi yapısal özellikler elde edilmi tir. Taban izolasyon sisteminin etkilerini ve deprem zemin hareketlerinin etkilerini de erlendirmek için izolasyon sistemli ve sistemsiz 4



farklı güçlü zemin hareketine (Norridge, Han in, El-Centro ve Kobe) maruz kalan yapıların hem sayısal analizleri ve hem de sarsma tablası ile deneyleri yapılmı tır. Sayısal analizlerden ve sarsma tablası deneylerinden elde edilen deprem girdilerine göre sismik izolatörlerin etkinli inin çok büyük ölçüde zemin hareketinin cinsine ba lı oldu u belirlenmi tir. Bütün katlardaki maksimum ivmelenme kur un izolasyonun eklenmesi ile dü mü tür. Ancak kauçuk izolasyonlu modeldeki rölatif yer de i tirme deprem tahrikine ba lı olmu tur. Han in depremi kullanıldı ında en belirgin sonuçlar elde edilmi tir. Maksimum ivme, yer de i tirmeler, rölatif kat yer de i tirmeleri, taban kesme kuvvetleri ile burulma momentleri taban izolasyonlu sistemlerde izolasyonsuz sistemlere göre çok azalmı tır. Ayrıca ivmelerin titre im genli i, rölatif kat yer de i tirmeleri kauçuk mesnetsizlere göre çok çabuk azalmı tır. Kullanılan taban izolasyonun etkinli i El Centro depreminde fazla de ildir [54].

Melkumyan (2002), Ermenistan' da 1994' ten beri 24 adet bina ve yapının sismik izolasyon mesnetli tasarlandı nı belirtmi tir. Taban ve çatı izolasyonlu 14 adet bina yapılmı tır. u anda iki adet fabrika yüksek kalitede kauçuk mesnet üretmektedir. Ayrıca çalı mada Ermenistan' da sismik izolasyon uygulanan binaların etkinli i belirtilmi ve istatistiksel olarak gösterilmi tir. Ermenistan' da da halen bir standart olmadı nı ama olu turmak için çalı maların oldu unu belirtip standart için minimum yatay kuvvet hakkında farklı bir yakla ımda bulunulmu tur [55].

Ça lar (2002), çalı masında taban izolasyon sistemlerini kauçuk sistemler ve kayıcı sistemler olarak ikiye ayırmı ve her bir sisteme ait mekanik ve matematik modellemeyi açıklamı tır. Bunlara ba lı olarak hareket denklemlerinin çıkarılı nı sunmu tur [56].

Köseda (2002), çalı masında depremin yıkıcı etkisini azaltan sismik izolasyon teknolojisini incelemi tir. zolatörlerin yapı üzerindeki etkilerini sayısal olarak görmek için, 4 katlı bir model ele alınmı tır. Amerikan standardı UBC 97 ve FEMA ortak esaslarına dayandırılan hesaplarda ele alınan yapıda ilk olarak izolatörlerde boyut hesaplarının ve tahkiklerinin nasıl yapılması gerekti i anlatılmı tır. Hesapların do al kauçuk izolatörler, kur un çekirdekli izolatörler ve sürtünmeli sarkaç sistemi seçilmesi durumunda hesap tekni indeki de i ikliklerden söz edilmektedir. Sistemler son olarak SAP 2000 de yapının zemine ankastre olması, elastometrik izolatörler kullanılması ve sürtünmeli sarkaç türü izolatörler kullanılması durumları için ayrı ayrı kar ıla tırmalar yapılmı tır. Hesaplamalardan sonra ivme zaman spekturumu kullanılarak spektral analiz yapılmı ve yapısal elemanlarda deprem etkilerinde

meydana gelmi de i iklikler incelenmi tir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre sismik izolasyonla mekanik davranı ları de i tirilen yapıların kesit etkileri her bir izolasyon modelinde yakla ık aynıdır. Teoride yakın sonuçlar veren bu sistemlerin kullanımda tercih neden ve önceli inin, uygulama kolaylı ı, maliyet gibi ikinci derece önemli kriterlerce tesbit edilmesi muhtemeldir [57].

Matsagar ve Jangid (2003), taban izolasyon sistemi ile mesnetlenmi çok katlı binaların kom u yapılar ile çarpı ması sırasındaki sismik tepkilerini ara tırmı lardır. Çarpı ma elemanı olarak yay ve amortisör formu kom u strüktürü modellemek için kullanılmı tir. zole edilmi bina her katta yatay serbestlik dereceli kesme tipi strüktür ile modellenmi tir. zolasyonlu sistemler için hareketin ayrı mı diferansiyel denklemleri çıkarılmı ve Newmark' ın adım adım iterasyon metodu ile çözülmü tür. De i ik depremler altında farklı izolasyon sistemler için çarpı ma sırasında üst kat toplam ivme ve mesnet yer de i tirme de i imleri binanın çarpı ma sırasındaki davranı nı ve de i ik izolasyon sistemlerinin kar ıla tırmalı performansını çalı mak için hesaplanmı tir. zole edilmi binanın çarpı ma tepkisi açıklı ın büyüklü ü, çarpı ılan elemanın rijitli i, üst yapının esnekli i, taban izolasyonlu binanın kat sayısı gibi önemli sistem parametrelerinin de i imi ile incelenmi tir. Kom u yapının çarpı ma nedeni ile üst yapı ivmesi artmakta ve mesnet yer de i tirmesi kom u yapı nedeni ile azalmaktadır. Ancak çarpı ma olayı bittikten sonra izolasyonsuz sisteme göre izolasyon sistemli yapı daha iyi durumda kalmaktadır. Ayrıca üstyapı ivmeleri, izolasyon açıklı ının de eri belli bir de ere kadar artarken artmakta ve daha sonra açıklık artsa bile ivmelenme azalmaktadır. Çarpı manın etkileri esnek üst yapıli sistemlerde, kat sayısının artı ı ve kom u yapı rijitli inin artı ı ile iddetlenmektedir [58].

Zhou ve arkadaş ları (2003), taban izolasyonlu yapılarda üst yapının koruyucuları olan kauçuk mesnetlerin kırılmalarının mutlaka önlenmesi gerekti ini belirtmi tir. Çünkü kauçuk mesnetlerin kırılması üst yapıda ciddi hasara neden olabilmektedir.

Bunun için en kolay yol kauçuk mesnetlerde olu an maksimum darbeyi durdurucular ve tamponlarla sınırlamaktır (yumu ak çekiçleme koruması). Di er bir yol korunan kauçuk mesnetlere belli bir mesafede ayaklara ek rijit bile enler yerle tirmektir (rijitlik de i kenli koruma). Üçüncü yol ise, kauçuk mesnetlerin üstlerine yardımcı kaygan sürtünme destekleri yerle tirmektir (yumu ak ini koruması). Çalı mada bu koruma yöntemlerinin etkinli i tartı lımı tir. Sonuç olarak yumu ak çekiçleme

sistemine nazaran di er iki metodun uygulamasının daha basit ve ucuz oldu una karar verilmi tir [59].

Alhan ve Gavin (2004), sismik izolasyonlu sistemlerin pasif sönümleyicilerinin ve zemin hareketlerinin karakteristiklerinin strüktürel tepki hassasiyetini de erlendirmi lerdir. Benmark problem durumunda açıklandı ı üzere prototip sismik izolasyonlu yapıların zaman tanım alanı analizlerinde kullanılan yakın alan ve uzak alan hareketlerini simgeleyen deprem hareketlerinin pasif sönümleyicilerle uygun korunma düzeylerine bakılmı tır. Sonuçlar göstermi tir ki kat ivmeleri ve rölatif yerde i timelere ba lı üstyapı tepkileri lineer izolasyon sistemleri için çok küçülmü ve bu küçülen de erlerin ço u standart de erlerine uygun çıkmı tır [60].

Mezzi ve arkada ları (2004), yaptıkları çalı mada sismik koruma yöntemlerini hesaba katan en uygun yapı konfigürasyonunu incelemi lerdir. Ayrıca binaların sismik tasarımı için hem mimari ve hem de yapısal olarak bir metot geli tirmeye çalı maktadırlar. Çalı ma 4 adımdan olu maktadır. Bunlar veri toplama, gerekliliklerin tanımlanması, performans analizleri ve sonuçların özeti. Amaç sismik korumaya yönelik mimari morfolojinin optimum artikülasyonu için yapısal çözümler içeren organik listeyi elde etmektir [61].

Alhan ve Gavin (2005), deprem tehlikesinde kritik ekipmanın korunması için taban izolasyonunun güvenilirli i hakkındaki çalı malarında; hastaneler, hava trafi i kontrol merkezleri, internet merkezlerinde bulunan ve titre im hassasiyetli ekipmanların güvenli inin giderek büyüyen bir endi e yarattı nı belirtmi lerdir.

kinici kat seviyesinde izolasyon bulunan ve ayrıca ok ve titre im duyarlı bilgisayar ekipmanı bulunan 4 katlı kritik merkezleri simgeledi i kabul edilen yapının korunması için izolasyon sistem bile enleri için güvenilirlik gerekleri çalı ılmı tır. zolasyonun rijitli i, izolasyonun sönümü, üstyapıdaki eksantrisite, iki yönlü zemin hareketlerine maruz kalmı 3 boyutlu yapının zemin hareketi karakteristikleri gibi belirsizlikler için gerçekçi ekilde problemi ortaya koymu lardır. Kırılma olasılıkları için Monte Carlo simülasyonu kullanılmı tır [62].

Bratosin (2005), taban izolasyonunun temel amacının spektrum e risinde bölgenin hakim periyodunun yapınınkinden uzak tutmak oldu unu belirtmi tir. Çalı manın amacı taban izolasyonlu yapıların izolasyon tabakasındaki malzeme ve araçların nonlineer karakteristikleri nedeniyle periyot uzakla tırma de erlendirilmesinin etkilerini incelemektir. Lineer tek serbestlik dereceli ankastre temelli ve nonlineer tek

serbestlik dereceli taban izolasyonlu sistemlerin, nonlinear özellikli izolasyon tabakalarının altında izole edilmiş do al periyot için optimum çözümler sunulmu tur [63].

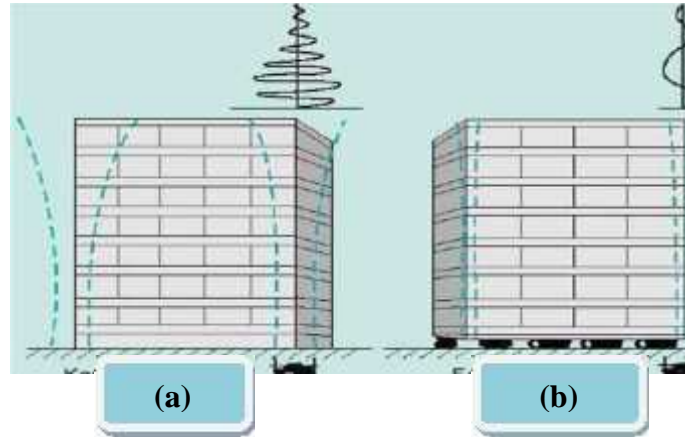
Pavlou (2005), yaptığı ı çalı mada sismik koruyucu sistemli birincil ve ikincil sistemlerinin performansını incelemi tir. Binalar viskoz (lineer ve nonlinear) ve metalik akma enerji sönümleyici sistemler ile kur un-kauçuk ve sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemleri ile korunmu tur. Çalı manın üç amacı vardır. Bunlar, yakın alanda ve yumu ak zemin ko ullarında sönümleyici sistemli binalar için basitle tirilmi analiz metotlarının do rulu unu ve geçerlili ini de erlendirmek, sönümleyici sistemlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanların performansını de erlendirmek ve son olarak sismik izolasyonlu yapılarda yapısal ve yapısal olmayan elemanların performansını belirlemektir. İlk olarak lineer viskoz, nonlinear viskoz ve akma sönümleyici aletli tek serbestlik dereceli sistemlerin nonlinear tepkileri ve daha sonra 2003 NEHRP Recommended Provisions kullanılarak ayrıca lineer viskoz ve nonlinear viskoz sönümleyicili üç katlı çelik moment ileten çerçeveler için yakın alan ve yumu ak zemin ko ullarında basitle tirilmi analiz metotlarının do rulu u hakkında bilgi verilmektedir. Sonuç olarak, binalara sismik izolasyon cihazlarının yerle tirilmesi; pik kat ivmelerinde, pik kat toplam hızında ve kat spektral ivmelerinde önemli dü ü lere neden olmaktadır [64].

## 6. ZOLASYON S STEM N N GEL M A AMALARI

### 6.1. Dünya' daki Geli im

Sismik izolasyon kavramı ilk olarak 1876 yılında Tokyo Üniversitesi maden mühendisliği profesörlerinden John Milne tarafından ortaya atılmıştır. Milne yapının altına izolasyon amaçlı 25cm çapında çelik bilyeler yerleştirilerek 1876-1895 yılları arasında çeşitli deneyler yapmıştır. Bu deneylerde kullanılan 25 cm çaplı demir bilyelerin hafif depremlere karşı yararlı olduğu, buna karşı sürtünme kuvvetlerinin az olmasından dolayı rüzgara karşı yararlı olmadığı gözlemlenmiştir. Sürtünme yüzeylerini arttırmak için bilye çapını 2,5 cm' ye düşürerek yeniden deneyler yapmıştır. Yapılan bu deneyler, küçük çaplı bilyelerin hem depreme karşı hem de rüzgara karşı daha etkili olduğunu göstermiştir.

Yapıların deprem hareketlerinden yalıtılmak ile ilgili ilk bildiri 1891 yılında Japonya'da yayınlanmıştır [65].



**ekil 6.1.** (a) ankastre, (b) izolasyonlu yapının deprem davranışı [65]

1905 yılında ABD' de yapılan silindir sistemle yapılan izolasyon çalışmalarının depreme karşı etkili olduğu ortaya konulmuştur ve bu çalışmaları sonucunda ilk resmi belgeye dayalı patent alınmıştır.

1908 yılında İtalyan hükümeti ilk defa depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı tartışmaya açmıştır. Bu konu üzerine 1909 yılında J. A. Calantarients tarafından bir mektup yazılarak çeşitli çözümler önerilmiştir. Aslen bir tıp doktoru olan Calantarients yazdığı bu mektupta kaymayadaşlı bir sistemden bahsetmiştir. Bu sistemde temel ile zemin arasında kullanılan kum, mika veya talk malzemeleri

yerle tirilerek yapının deprem anında serbest olarak hareket edebilmesi öngörölmü tür. Calantarients yapımı oldu u bu çalı manın Serbest Nokta adı altında patentini almı tır [66] .

1921 yılında Amerikalı Mimar Frank Lyond Wright, Tokyo' daki Imperial Hotel' in temellerinde, taban izolasyon fikrini uygulayan ilk ki i olmu tur. Wright, Yaptı ı ön incelemede binanın altında 3 farklı tabaka oldu unu ve orta tabakanın çamurdan olu tu unu gözlemlemi tir.

Böylece yapı çamur tabakası üzerinde yüzen bir sistem olarak depremden izole edilmi tir. Bu sistemle yapılan Imperial Hotel 1923 yılında meydana gelen Tokyo depremini hasarsız bir ekilde atlattı tır .

1929 yılında Martel tarafından birinci katın esnek yapılması fikri ortaya atılmı tır. Bu konu daha sonra 1935 yılında Gren ve 1938 yılında Jakobsen tafından çalı ılmı tır. Yapılan bu çalı malar sismik izolasyon fikrinin geli mesine ve yaygınla masına sebep olmu tur. Bu konuda ilk bilgisayar programı Chopra tarafından yapılmı tır.

1969 yılında dünyada ilk kauçuk sismik izolasyonlu yapı, sviçreli mühendisler tarafından Makedonya' nın Skobje ehrinde bir ilkokul binasında uygulanmı tır. Kullanılan kauçuk malzeme saf kauçuktan yapılmı ve içine ba ka bir malzeme konulmamı tır. Dolayısıyla depremden meydana gelen yatay ve dü ey kuvvetlere kar ı aynı rijitlikte tepki vermektedir. Bundan dolayı yapı dü eyde harmonik hareket yapmaktadır .

1976 yılında Kalifornia Üniversitesi (Berkeley) Deprem Mühendisli i Ara tırma Merkezi (EERC) kurularak daha detaylı çalı malar yapılmaya ba lanmı tır .

1981 yılında Yeni Zelanda' da in ası tamamlanan William Clayton binası, kur un çekirdekli izolatörlerin kullanıldı ı ilk yapıdır. Bu tarihten sonra Yeni Zelanda' da izolasyonlu yapıların sayısı hızla artmı tır .

1982 yılında Japonya' da ilk izolasyonlu sistem Yachiyodai binasında uygulanmı tır. 2 katlı, 114 m<sup>2</sup> alana sahip bu bina elastomerik kauçuk sistemiyle yapılmı tır .



(a)

(b)

**Resim 6.1.** 1969 yılında yapılan dünyanın ilk kauçuk sismik izolasyonlu binası. (a) genel görünüşü, (b) izolatör görünüşü [66]

1985 yılında ABD’de ilk kez bir adliye binası (Foothill) 96 adet kauçuk izolator kullanılarak sismik izolasyon tekniğine uygun olarak yapılmıştır. Bu tarihten itibaren ABD’de sismik izolasyon teknolojisiyle yapılan binalar hızla artmıştır.

ABD’de sismik olarak izole edilmiş köprü sayısı bina sayısından yaklaşık dört kat fazladır. İzole edilen yapılar ayrıca var olan yapıların güçlendirilmesi ve yeni inşaatlar olarak ikiye ayrılabilir. ABD’de sismik izolasyon tekniği ile inşa edilen yapılar çoğunlukla kritik konutlar, hastaneler ve yüksek teknoloji enstitüleri gibi pahalı ve kıymetli cihaz ve donanımların bulunduğu binalardır.

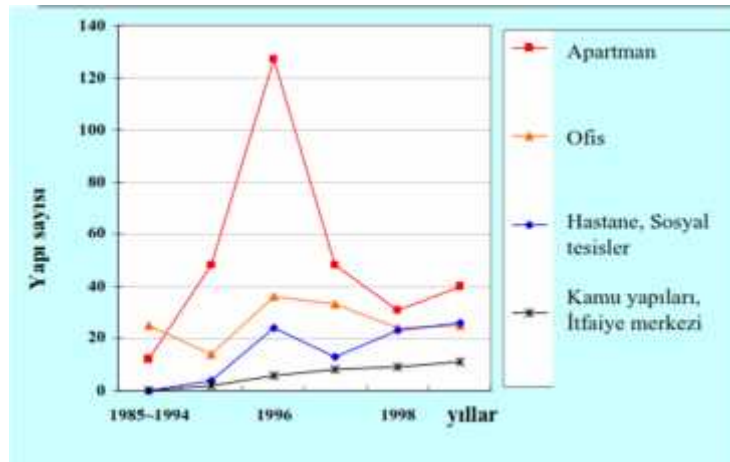
Sismik izolasyon yapılmış yapıların sayısı günden güne artı göstermektedir. Örnek olarak 1989’da sadece 5 adet binada ve 6 adet köprüde bu tasarım tekniği uygulanmış olmasına karşın, 1990’da bu rakam binalarda 20’ye köprülerde 50’ye kadar yükseliş göstermiştir (ekil 6.2) [70].



**ekil 6.2.** Amerika’daki sismik izolasyon uygulamalarının yapılara ve köprülere göre dağılım oranları [70]

Amerikan deprem arnamesi UBC' in 3. düzey durumuna gelebilmesi için binanın iç strüktürünün tamamen yıkılıp orjinal dış cephe içinde yeni bir bina inşa edilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak uzmanlar tarafından binanın taban izolasyonu ile güçlendirilmesine karar verilmiştir [67].

Bilgi birikiminin artması ve teknolojik gelişmeler izolasyon sisteminin teorik ve deneysel çalışmalarının yapılmasını kolaylaştırmıştır. Ayrıca sismik izolasyon yöntemiyle yapılan yapıların depremleri hasarsız şekilde atlattıkları bu sisteme olan güveni arttırmış ve son yıllarda yapılaşma oranı hızlı bir şekilde artmıştır. Ekil 6.3'te görüldüğü gibi Kobe depreminden sonra Japonya'daki izolasyonlu yapıların sayısını hızla artmıştır [69].



**ekil 6.3.** Kobe depreminden sonra Japonya'daki izolasyonlu yapı sayısının değişimi (OBAYASHI, 2005) [68]



## 6.2. Türkiye' deki geli meler

Türkiye aktif fay zonları içinde kalan bir ülkedir. 1900 ile 2005 yılları arasında büyüklü ü 5-6 arasında 1170, 6-6.9 arasında 155, 7-8 arasında 34 adet deprem meydana gelmiştir .

Ülkemiz topraklarının %66' sı 1. ve 2. derecede, %34' ü de di er derecedeki bölgeler üzerinde bulunmaktadır. Nüfuzumuzun ise %70' i 1. ve 2. derecede, %30' u da di er derecedeki bölgeler üzerinde ya amaktadır. Son yüzyılda depremden dolayı yıkılan konut sayısı 495.000 civarındadır. Bu da yılda ortalama 4950 konut yapmaktadır .

Türkiye' de izolasyon kavramı özellikle Marmara depremi sonrasında önem kazanmıştır. Türkiye' de az sayıda üniversite bu konuyla ilgili çalı malar yapmaktadır. Gerekli ekipman ve donanım eksikleri izolasyon kavramının geliştirilmesini zorla tırmaktadır. Yapılan çalı maların büyük bir bölümü yüksek lisans ve doktora tezleridir.

Türkiye' de deprem izolasyonu ile ilgili yönetmelik ve artnameler bulunmamaktadır. 2006 yılının sonbaharında deprem yalıtımı ile ilgilenen firmalar tarafından kurulan Deprem izolasyon derne i (D D) çe itli üniversitelerin ö retim üyelerinden meydana gelen bir kurul olu turarak bu konuda çalı malara ba lamıştır.

1993-1998 yılları arasında ihaleye çıkarılan Tarsus-Adana- Gaziantep (TAG) otoyolu üzerindeki viyadükler, Türkiye' de sismik izolasyon sisteminin kullanıldı ı ilk yapılarıdır. Bu viyadüklerin bir kısmı enerji sönümleyici cihazlarla bir kısmı da izolasyon sistemiyle in a edilmiştir. Buradaki sismik izolasyonlu yapının en önemlisi viyadü üdür. Bu viyadükte kur un çekirdekli izolatörler kullanılmıştır. 1993 yılında yapımına ba lanan Gümü ova-Gerede otoyolu, Ankara- stanbul otoyolunun 114 km ile en uzun kesimini olu turmaktadır. Bu otoyol üzerinde bulunan Bolu Viyadü ü önce elasto-plastik izolatörlerle projelendirilmiştir (resim 6.2). Gerek projenin tamamlanmamı olması gerekse yanlış ba lantılar yapılması nedeniyle 12 Kasım Düzce depreminde ciddi hasar görmü tür. 1999 AASHTO yönetmeli ine göre tekrar hesabı yapılan viyadük, sürtünmeli sarkaç izolatörler kullanılarak güçlendirilmiştir [71].



(a)

(b)

**Resim 6.2.** (a) Bolu Viyadü ü görünü ü, (b) Bolu Viyadü ü izolator uygulaması [71]

2000 yılında faaliyete giren İstanbul Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Binası 20 yıl garantili sürtünmeli izolasyon sistemi ile inşa edilmiştir. Atatürk Havalimanı 365 bin metrekare üzerine kurulu, günde yaklaşık 30 bin yolcunun, 16 bin çalışan, 5 bin karlıyanın ve 8 bin otomobilin bulunduğu bir işletme fabrikasıdır. Atatürk Havalimanı'nın 6 bin tonluk dev çatısı ile, bu çatıyı ayakta tutan 162 adet kolon arasına sürtünmeli sarkaç izolatörler yerleştirilmiştir. Bu çalışmada Amerikan Mühendisler Konseyi'nin (ACEC) akademi ödülüne layık görülen ilk Türk projesi olmuştur [74].



**Resim 6.3.** Atatürk Havalimanı'nın dışarıdan görüntüsü [74]



**Resim 6.4.** Atatürk Havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet detayı [74]

1999 yılında İzmir’ in Aliağa ilçesinde yapımına başlanan ve 2001 yılında tamamlanan Sıvılaştırılmış Gaz Depolama Terminalinde deprem izolasyon sistemleri kullanılmıştır. Depolama tankları 35m yüksekliğinde ve 85 m genişliğindedir. Dünyada 2. büyük LNG deposu olan bu tesis 10 milyon dolar harcanarak güçlü deprem etkilerinden izole edilmiştir. Her bir tank için 112 LRB ve 241 NRB olmak üzere toplam 353 adet izolatör kullanılmıştır.

2003 yılında inşaatına başlanan ve 2005 yılında faaliyete açılan Kocaeli Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesinde sismik izolasyon sistemi kullanılmıştır. Üç blokta temel altına, 5 blokta kolon üstüne yerleştirilen izolatörlerin toplam sayısı 256’dır. Yapı, deprem esnasında 27 cm sağa ve sola hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. Projede sürtünmeli sarkaç izolatörler kullanılmıştır. Kullanılan her bir diskin (izolatörün) boyutu 90x90 cm’dir. Ayrıca bu yapı, Türkiye’de izolasyon sistemiyle yapılan ilk hastanedir [72].



(a)

(b)

**Resim 6.5.** (a) Kocaeli Üniversitesi E itim ve Ara tırma Hastanesi izolasyon bölgesi  
(b) izolasyon yerle tirilmesinden bir görünü [72]

2004-2005 tarihleri arasında güçlendirme çalı malarına ba lanan, büyüklük açısından Türkiye de ilk, dünyada ise ilk 5 proje arasında yer alan Antalya Havalimanı Uluslararası Dı Hatlar Terminali sismik izolasyon sistemiyle yapılmı tır.



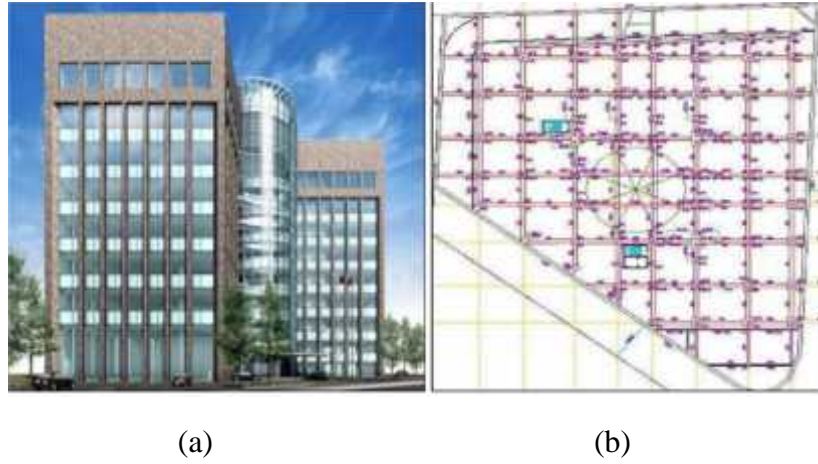
**Resim 6.6.** Antalya Havalimanı [75]

50.000 m<sup>2</sup> alana sahip terminal binasında 411 adet kolon kesilerek kur un çekirdekli izolatörler yerle tirilmi tir. Kesilen perde duvarlara ise Türkiye' de üretilen kayıcı mesnetler monte edilmi tir .

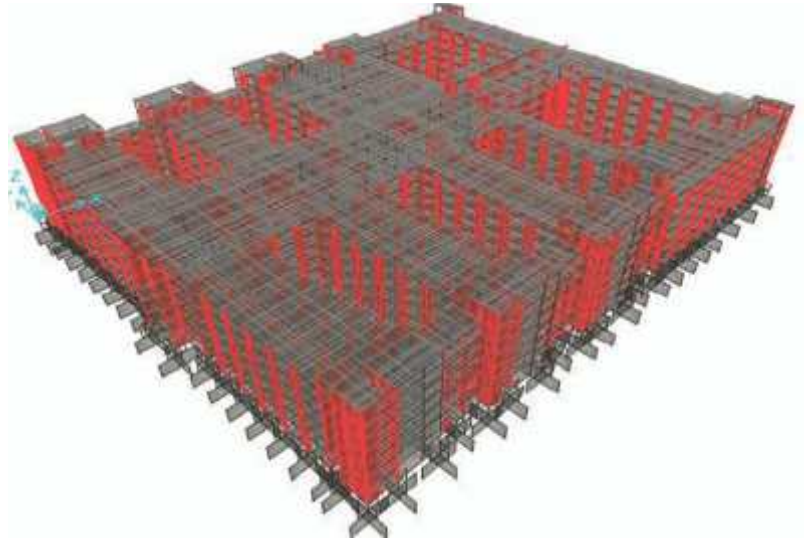
Ayrıca ilk projede derzle birbirinden ayrılmı olan bloklar güçlendirme esnasında kolon bölgesinde özel sistemlerle birle tirilmi lerdir. Böylece tüm blokların deprem anında beraber hareket etmeleri sa lanmı tır. Aynı zamanda proje gere i olarak tüm uzaysal çatı ve elektromekanik sistemler de depreme kar ı izole edilmi tir [75].

Erzurum’ da 2007 yılının sonlarında bitirilmesi planlanan, Bölge E itim ve Ara tırma Hastanesinde 386 adet kur un çekirdekli izolatör kullanılmı tır. Yakla ık 50 milyon dolara mal olan 400 yatak kapasiteli hastanede, 386 izolatör için yakla ık 5 milyon dolar harcanmı tır. 6 katlı ve 106 bin metrekare alana sahip hastanede izolatörler, yapı tabanı ve temel arasına konulmu tır.

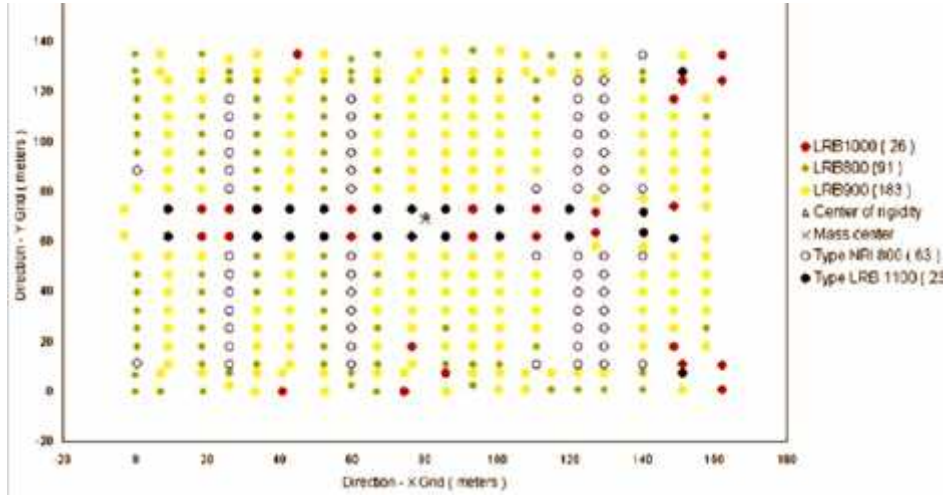
Ayrıca henüz uygulamaya geçmemi Türk Ekonomi Bankası (TEB) Genel Müdürlü ü binasında da deprem izolasyonu tasarımı yapılmı tır ( ekil 6.4). Bu projede 87 adet NRB ve LRB izolatörü kullanılmı tır. Yapılan hesaplar sonucunda çapları 77, 92 ve 112 cm olmak üzere üç farklı izolatör seçilmi tir .



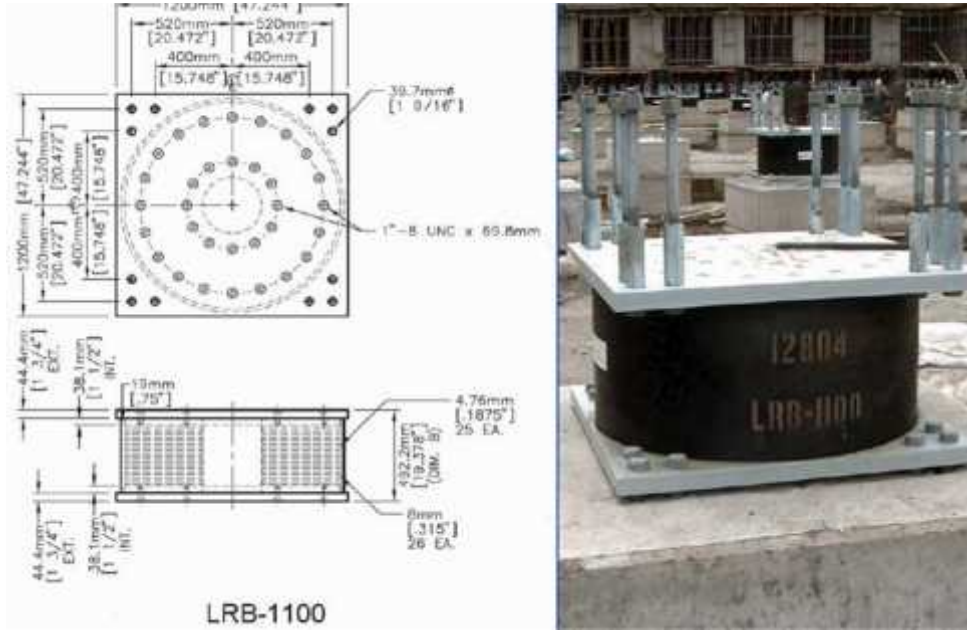
**ekil 6.4.** (a) TEB genel görünü , (b) TEB izolatör uygulaması plan görünü ü [73]



**ekil 6.5.** Erzurum Devlet Hastanesi sonlu elemanlar modeli [72]



**ekil 6.6.** Erzurum Devlet Hastanesi taban izolasyon yerle im planı [72]



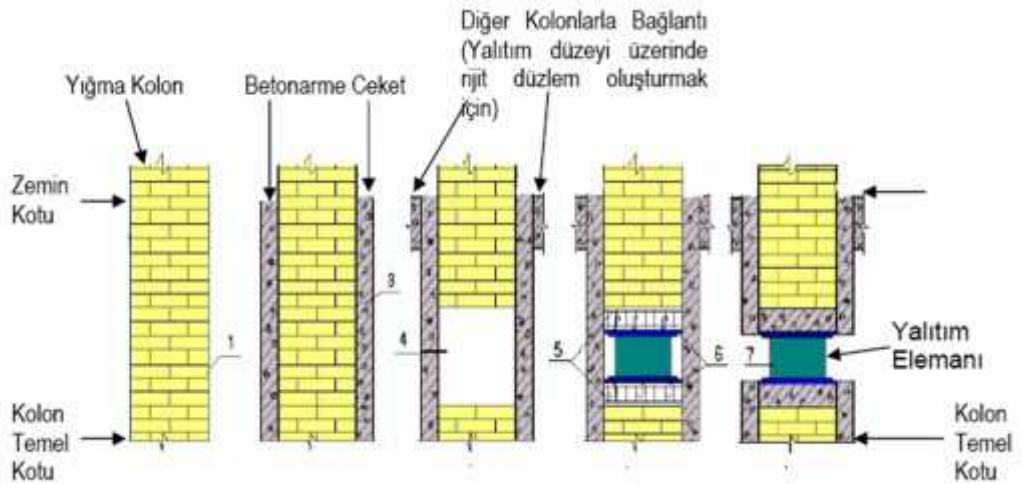
**Resim 6.7.** Erzurum Devlet Hastanesinin temellerine yerle tirilen kur un kauçuk mesnetin boyutları ve yerle tirme detayı [72]

### 6.3. Tarihi yapılarda taban izolasyonu kullanımı

Sismik izolasyon teknolojisinin doğru uygulanması, yapıların şiddetli depremler sırasında elastik ve yakın davranmasını sağlar, yapıya gelen kuvvetler azalır, kat ivmeleri küçülür, katlar arası göreceli deplasmanlar küçülür. Böylece sadece can güvenliği değil, aynı zamanda üst yapının yapısal elemanlarının hasarı ve yapısal olmayan diğer eleman ve ekipmanların maddi hasarları minimuma indirilebilir [76].

Bu tür avantajları nedeniyle zemin yalıtımı uygulamaları, tarihi değer taşıyan yapıların deprem hasarlarından korunması konusunda alternatif bir yöntem olarak görülmektedir.

Tarihi ve diğer mevcut binalara yalıtım uygulanmasında taşıyıcı duvarlar veya kolonlar kesilerek değişik uygulama konfigürasyonlarına başvurulabilmektedir.



**ekil 6.7.** Zemin yalıtımının tarihi kagir duvarlarda uygulanmasınınematik anlatımı [77]

### 6.3.1. Doğal sismik izolasyona sahip en eski yapılar

Kiro Mezarı İran’da ve 2004 yılında 1106 numarası verilerek Dünya Mirası olarak kaydedildi. Kiro Mezarında depreme karşı koruma yollarından biri, yapısal ayrı tırma sistemi kullanılmı tır. Bu sistemde, temeller kendi sismik yükleri için bir yapı kaldırılır. Yapıların ayrılmasında deprem kuvveti absorbesinin payı daha az olabilir. Son yıllarda, bu sistemin kullanımı kapsamlı bir yapısal mühendislik ürünü kur un çekirdek ayırıcı ile elastomerik mesnetler en önemli unsurlardan biridir. Görünü te eski olan sistem, ara tırmalar sonucunda göstermi tir ki orada ki mezar yüzlerce ve belki de binlerce yıllık genel bir konseptdir [78]. Kiro Mezarı dünyada sismik izolasyon sistemine sahip ilk yapılardandır.



**Resim 6.8.** Mezarın bölümleri [79]

M.Ö. 550 yılında inşa edilmiş mimaride büyük kayalar derin ve parlak beyaz kireç, harç veya yapı tıricı olmadan birbirlerine yerle tirilmiş elemanlardan oluşmaktadır. Bu kayaların her basamağı Horasan Harcı’ndan çok binanın temeli olarak hizmet verir ve bir sürtünme sismik izolasyon türüdür. Kiro döneminde depremler sırasında yer hareketi mühendisleri ve mimarlar, bu yöntemi soru olarak kullanır ancak dünyadaki diğer yapılara fikir verdi ini de belirtmek gerekir. Kiro Mezarı mühendislere ıık tutmu tur. Yunanistan Anahita Tapınak, İstanbul Ayasofya ve Batı’da görülebilece i gibi Kız kalesinde Akropolis üzerinde sismik izolasyon belirtileri bulunur. Bu son yıllarda olası hareketleri kayaların mühendislik analiz ve de erlendirmeleri sismik yapısal ayrım dikkate alınarak analiz edilmi tir [79].



## 7. DEPREM YER HAREKET

Tasarımda göz önüne alınacak deprem yer hareketinin öngörülebilir tasarım ve performans kriterleri doğrultusunda frekans (davranış spektrumu) ve zaman tanım alanında belirlenmesi için ilgili artnamelerde aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

- Deprem tehlikesi bölgeleme haritalarından belirlenecek deprem parametrelerine (genellikle en büyük yer ivmesi) bağlı tasarım spektrumları.
- Deprem tehlikesi haritalarından belirlenecek deprem parametrelerine (0.2s ve 1s) periyotlarındaki spektral ivmeler) bağlı tasarım spektrumları.
- Standart tasarım spektrum şekillerinin yer-bağımlı olarak modifikasyonları.

Deprem yalıtımı tasarımı için kullanılacak tasarım spektrumlarının belirlenmesi için öngörülen yüksek yinelenme sürelerine ve periyotları 3-6s arasında değişen spektral değerlerin tasarımı kontrol etmeleri nedeniyle deprem yer hareketinin rasyonel ve güncel yöntemlerle belirlenmesi hususu zorunlu olmaktadır. Artnamelerin izin verdiği kapsam ve sınırlarda yapılacak özel deprem tehlikesi etüdlerinde genellikle kullanılan yöntem aşağıda verilmektedir.

- Her bir performans kriteri ile ilişkilendirilmiş olan ortalama dönüş sürelerine uygun olarak yapılacak probabilistik deprem tehlike analizi.
- Referans zemin için elde edilmiş davranış spektrumunun, ve bu spektrumla uyumlu yer hareketinin zaman tanım alanında belirlenmesi.
- Deprem tehlikesinin ayrıştırılması (deaggregation) ve uygun deprem senaryosunun belirlenmesi.
- Deprem senaryosuna uyumlu ampirik yer hareketinin seçimi ve aynı ölçekte getirilmesi.

- Verilen deprem senaryosu için referans zeminde sentetik yer hareketinin benze imi (simülasyonu).
- Zemin büyütme analizi [80].

Zaman tanım alanında yapılan analizlerde en az üç ivme kaydından elde edilen etkilerin enbüyü ü veya en az yedi ivme kaydı takımının kullanılması ile yapılan analizlerde ise etkilerin ortalaması alınması gerekmektedir. Bu kayıt takımları deprem tehlikesinin ayırımı (deaggregation) ile elde edilen deprem senaryosunun özellikleri (aletsel büyüklük, fay uzaklığı, standart sapma faktörü) ve kaynak mekanizması ile uyumlu olan gerçek (ampirik) deprem kayıtlarının ölçeklenmesi ile belirlenmelidir. Bir takımdaki her spektrum için aynı ölçekleme kullanılmalı, yeterli ampirik kayıt bulunamadı ı durumlarda ise deprem yer hareketi deprem tehlikesinin ayırımı (deaggregation) ile elde edilen deprem senaryosunun özelliklerine dayalı fiziksel yaklaşımlarla simüle edilecek ve-veya spektrum uyumlu yer hareketleri üretilmelidir. Özellikle en büyük deprem senaryosu aletsel büyüklü ünün (moment büyüklü ü) 7' den fazla ve fay uzaklığı nın 20km' den az oldu u durumlarda güncel azalım iliklerinin belirlenmi standart sapma de erleri ile kullanılması ve direktivite etkilerinin belirlenmesi için uygun fiziksel modellere dayalı deprem yer hareketi simülasyonlarının yapılması gerekmektedir.

1. Tasarımda a a ıda belirtilen iki seviyeli deprem yer hareketi göz önüne alınacaktır.

Tasarım Depremi - 50 yılda %10 a ılma olasılı ına sahip deprem yer hareketi

En büyük deprem - 50 yılda %2 a ılma olasılı ına sahip deprem yer hareketi

2. Bu artname kapasamında kullanılan zemin sınıfları Ek A' da tanımlanmıştır.

Referans zemin sınıfı olarak B ve C Zemin Sınıfları ara sınırı (Ek-A, en üst 30 m için tanımlanan e de er kayma dalgası hızı  $V_S=760\text{m/s}$ ) kabul edilmiştir.

3. Göz önüne alınan zemin sınıfı için en büyük depreme karşı gelen %5 sönümlü Yatay vme Spektrumu,  $S_M(T)$ , kısa ve 1s periyotlu spektral genlikler  $S_M(0.2)$  ve  $S_M(1)$  kullanılarak bulunacaktır.

$$S_M(0.2) = F_a S_{MR}(0.2)$$

$$S_M(1) = F_v S_{MR}(1)$$

Burada:

$S_M(T)$  = En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü yatay spektral ivme (g)

$S_M(0.2)$  = En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü kısa periyotlu yatay spektral ivme (g)

$F_a$  = kısa periyot spektral genlik düzeltme katsayısı

$S_{MR}(0.2)$  = En büyük deprem seviyesinde referans zemin için, %5 sönümlü, yatay, kısa periyotlu ( $T=0.2s$ ) spektral ivme (g)

$S_M(1)$  = En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü 1s periyotlu yatay spektral ivme (g)

$F_v$  = 1s' lik periyot spektral genlik düzeltme katsayısı

$S_{MR}(1)$  = En büyük deprem seviyesinde referans zemin için, %5 sönümlü, yatay, 1s periyotlu spektral ivme (g)

En büyük deprem seviyesinde %5 sönümlü kısa periyotlu ve 1s periyotlu yatay spektral ivme de erleri ( $S_{MR}(0.2)$  ve  $S_{MR}(1)$ ) 18 A üstos 2007 Tarihli ve 26617 Sayılı T.C.Resmî Gazete' de yayınlanmı “Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları n aatlarına li kin Deprem Teknik Yönetmeli i - Ek A” da verilmi tir [81].

4.  $F_a$  ve  $F_v$  Spektral Genlik Düzeltme Katsayıları sırası ile çizelge 7.1 ve çizelge 7.2' de verilmi tir. Bu tablolarda kullanılan zemin sınıfları Ek A' de tanımlanmı tir.

**Çizelge 7.1.** Kısa periyotlu spektral genlik düzeltme katsayısı,  $F_a$  [82]

Zemin sınıfı*	Kısa Periyotlu Spektral vme (g) <sub>a</sub>				
	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.50$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1.0$	$S_1 \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	1.1	1.0
F	- <sup>b</sup>	- <sup>b</sup>	- <sup>b</sup>	- <sup>b</sup>	- <sup>b</sup>

\* B<sub>kz</sub>. Ek A  
a Kısa Periyotlu Spektral vmenin ara de erleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.  
-<sup>b</sup> Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranı analizi yapılacaktır.

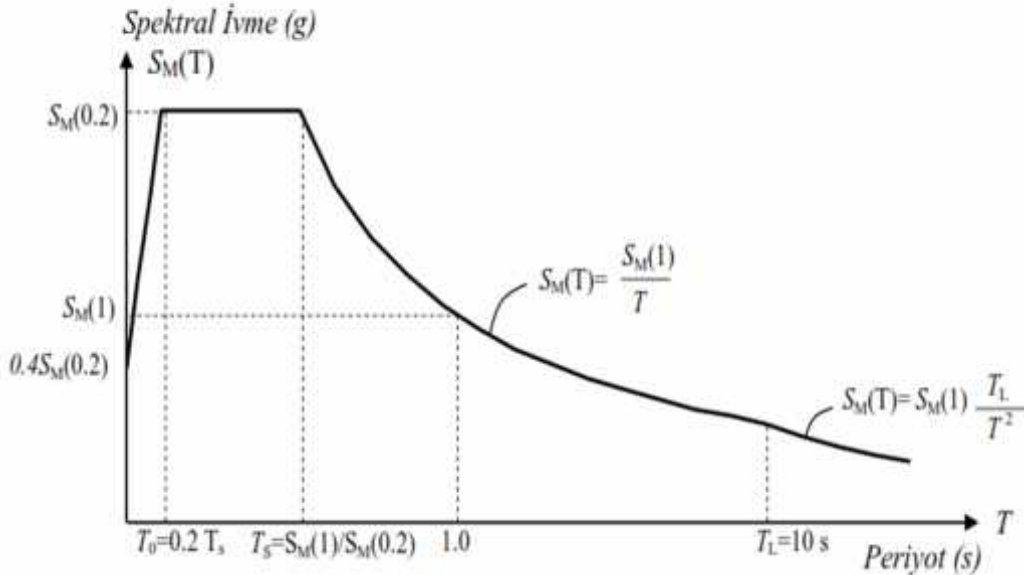
**Çizelge 7.2.** 0<sub>s</sub> periyotlu spektral genlik düzeltme katsayısı, F<sub>v</sub> [82]

Zemin sınıfı*	1.0 <sub>s</sub> Periyotlu Spektral vme (g) <sup>a</sup>				
	S <sub>1</sub> ≤ 0.1	S <sub>1</sub> = 0.20	S <sub>1</sub> = 0.3	S <sub>1</sub> = 0.4	S <sub>1</sub> ≥ 0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	<sup>-b</sup>	<sup>-b</sup>	<sup>-b</sup>	<sup>-b</sup>	<sup>-b</sup>

\* Bkz. Ek A  
<sup>a</sup> 1.0s Periyotlu Spektral vmenin ara de erleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.  
<sup>-b</sup> Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranı analizi yapılacaktır.

5. En büyük depreme kar ı gelen %5 sönümlü Yatay vme Spektrumu, S<sub>M</sub>(T), ekil 7.1' da sunulmu spektruma göre belirlenecektir. Bu spektrum ekli S<sub>M</sub>(0.2 )ve S<sub>M</sub>(1), spektral ivme genlikleri ve T<sub>0</sub>, T<sub>S</sub> ve T<sub>L</sub> kö e periyotları tarafından belirlenmektedir.

Spektrumun 0 periyodundaki spektral ivme de eri (en büyük yer ivmesi) 0.4 S<sub>M</sub>(0.2 ) de eri ile verilmektedir.



**ekil 7.1.** En büyük deprem ivme spektrumu [83]

## 7.1 Elastik deprem yüklerinin tanımlanması

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral ivme Katsayısı,  $A(T)$ , Denk.(7.1) ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik ivme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral ivme,  $S_{ac}(T)$ , Spektral ivme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi  $g$ 'nin çarpımına karşılık gelmektedir.

$$\begin{aligned} A(T) &= A_o I_S(T) \\ S_{ac}(T) &= A(T)g \end{aligned} \quad (7.1)$$

### 7.1.1. Etkin yer ivmesi katsayısı

Denk.(7.1)'de yer alan etkin yer ivmesi katsayısı,  $A_o$ , çizelge7.3'te tanımlanmıştır.

**Çizelge 7.3.** Etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_o$ ) [84]

Deprem bölgesi	$A_o$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

### 7.1.2. Bina önem katsayısı

Denk.(7.1)'de yer alan Bina önem katsayısı,  $I$ , çizelge7.4'te tanımlanmıştır.

**Çizelge 7.4.** Bina önem katsayısı (I) [84]

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

### 7.1.3. Spektrum katsayısı

Denk.(7.1)'de yer alan spektrum katsayısı,  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ 'ye bağlı olarak Denk.(7.2) ile hesaplanacaktır (ekil 7.2).

$$\begin{aligned} S_T &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \ll T \ll T_A) \\ S_T &= 2.5 & (T_A \ll T \ll T_B) \\ S_T &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^2 & (T_B \ll T) \end{aligned} \quad (7.2.)$$

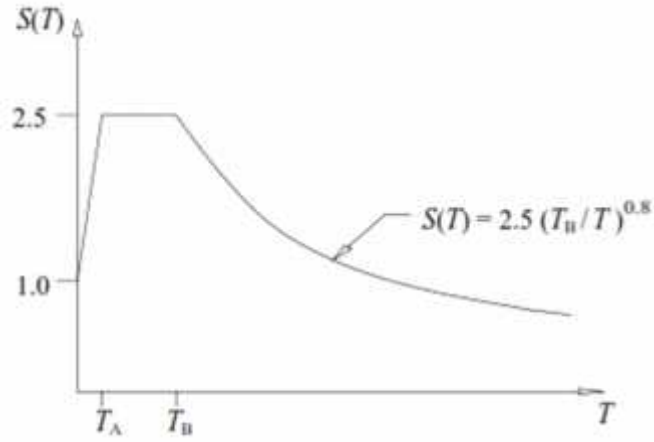
Denk.(7.2)'deki spektrum karakteristik periyotları,  $T_A$  ve  $T_B$ , çizelge 7.4 ile tanımlanan yerel zemin sınıfları'na bağlı olarak çizelge 7.5' te verilmiştir [84].

**Çizelge 7.5.** Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ ,  $T_B$ ) [84]

çizelge 7.4' ye göre Yerel Zemin Sınıfı	$T_A$ (saniye)	$T_B$ (saniye)
$Z_1$	0.10	0.30
$Z_2$	0.15	0.40
$Z_3$	0.15	0.60
$Z_4$	0.20	0.90

#### 7.1.4. Özel tasarım ivme spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları gözönüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşılık gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, çizelge 7.5' deki ilgili karakteristik periyotlar gözönüne alınarak Denk. (7.1)' den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır [85].



**ekil 7.2.** spektral ivme katsayıları [85]





## 8.5 SİSMİK İZOLASYON UYGULANACAK YAPILARDA UYULMASI GEREKEN KOŞULLAR

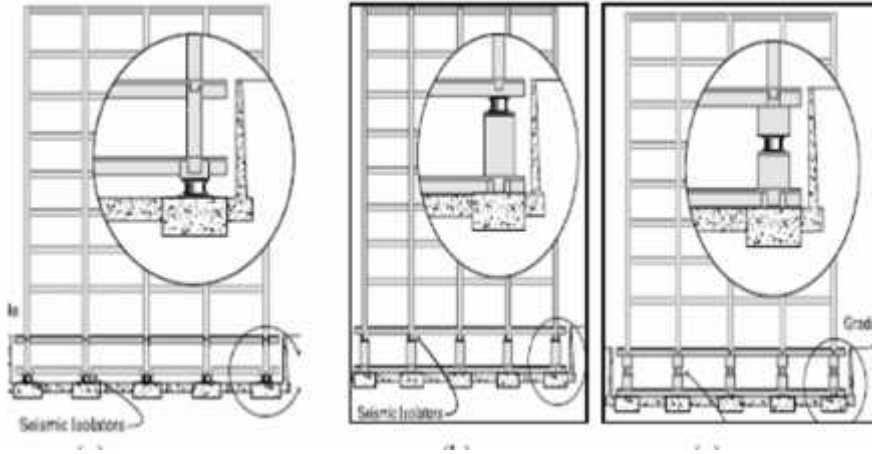
Sismik izolasyon uygulanacak yapıda, sağlanması gereken bazı koşullar bulunmaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde belirtilmektedir. Özellikle bu şartların mimarlarca bilinmesi tasarımda sismik taban izolatörü kullanımında etkili olacaktır.

- Sismik izolasyon uygulanmış yapı yatay yönde belli bir miktar deplasman yapmaktadır. Bu nedenle yapının etrafında izolatörlerin yer deşirme kapasitesi kadar boşluk olmalıdır. Örneğin deprem derzine sahip olmayan bitişik nizam yapılarda, taban izolasyonu tekniğini uygulamak mümkün değildir. Çünkü bu tür yapılarda deprem enerjisini sönmüleyecek boşluk olmadığı (yapının salınımına izin verilmediği) için izolasyon uygulamakta mümkün olamamaktadır [84].
- Bu boşluğun üzerinin insanlar ve diğer canlılar için tehlike yaratmaması için mutlaka kapatılması gerekmektedir.
- Yapının tesisat bağlantıları düzenlenmelidir. Depremler sırasında yapının dairesiyle bağlantısını sağlayan elemanların, elektrik, telefon, içme suyu, kanalizasyon, doğalgaz vs. bağlantıların yapının deprem hareketiyle yapacağı yer deşirme sonrasında herhangi bir tahribat göstermemeleri gerekmektedir. Bu nedenle tesisat ekipmanlarının hepsinin deplasman için bırakılan boşluk kadar esneme kapasitesine sahip olması gerekmektedir [84].
- Süneklik düzeyi yüksek yapılar için sismik izolasyon gerekli olmamaktadır. Bunun en önemli nedeni, bu tür yapıların sahip oldukları etkin periyotları genellikle rezonans frekansı sınırları dışında kalmaktadır. Sismik izolasyonun başlıca özelliği olan yapı periyodunu uzatarak katlara etkileyen ivmelerin azaltımı ve zeminin baskın frekansı ile üst üste düşen yapı etkin titreşim frekansının neden olduğu rezonanstan kaçınmak için bu tür sünek yapılarda sismik izolasyon önemli bir etki alanına sahip değildir.

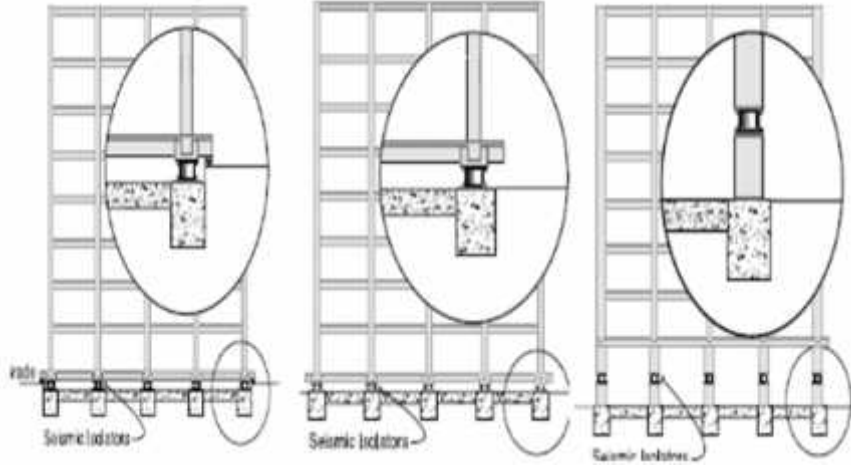
- Taban izolasyonu, etkin frekansı depremin baskın frekans sınırları içerisinde en orta yükseklikteki (10-12) katlı yapılar için uygundur [84].
- Yapıların periyotlarının uzatılması yumu ak zeminler üzerine in a edilmi yapılar için zararlı olmaktadır. Yer hareketinin uzun periyotlardaki bile enlerinin daha büyük olabildi i yumu ak zeminlerde sismik izolasyon konularak yapı periyodunun artırılması halinde yapıya gelecek deprem yükü artacaktır [85].

### 8.1. Taban izolatörlerinin uygulamasına yönelik örnekler

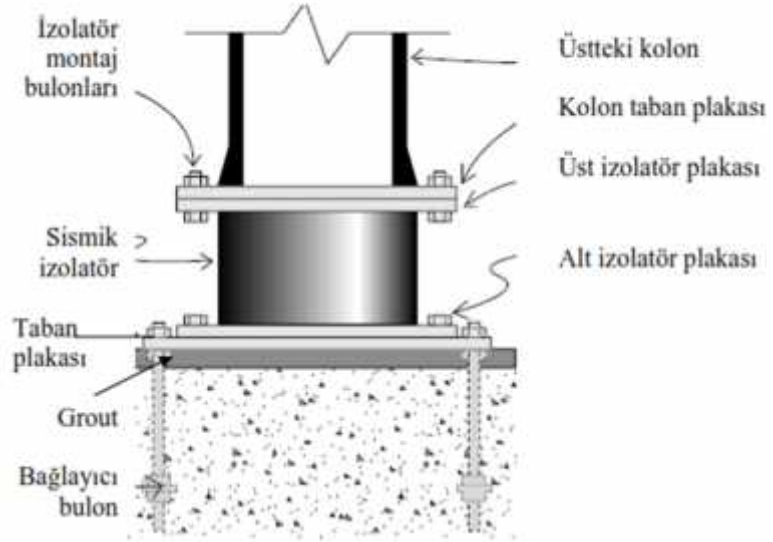
Bu bölümde taban izolatörlerinin bir yapı sistemine yerle im alternatiflerine ait örnekler verilmektedir. ekil 8.1’ de sismik izolatörler temelin altında, alt kolonların üstünde, alt kolonların ortasında yerle imi gösterilmi tir. ekil 8.2’ de ise sismik izolatörler ilk kat kolonlarının altında, temelin üstünde, temelin üstündeki kolonların ortasında yerle im detayı verilmi tir. ekil 8.3 ve ekil 8.4’ de sismik izolatörlerin yeni in a edilecek binalar için birle im önerileri verilmi tir. Bu bölümdeki detayların tümü DIS-inc’ den alınmı tır [85].



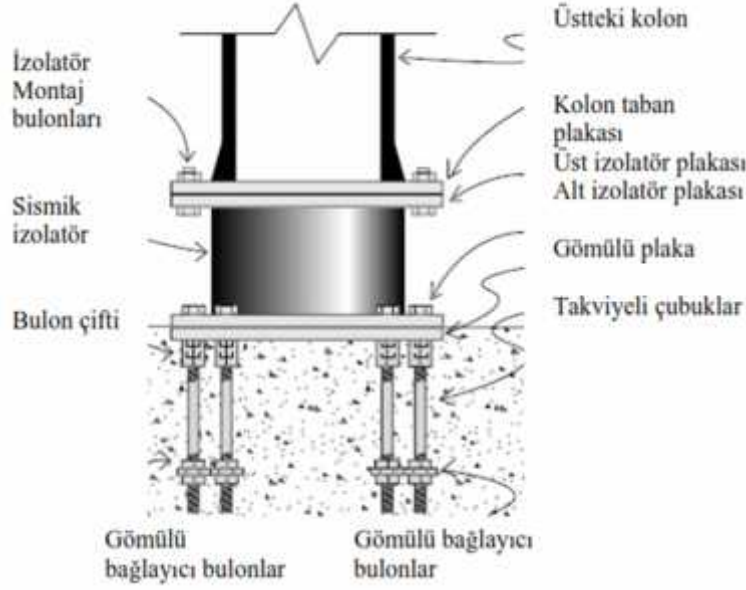
**ekil 8.1.** Sismik izolatörler temelin altında, alt kolonların üstünde, alt kolonların ortasında yerle imi [85]



**ekil 8.2** Sismik izolatörler ilk kat kolonlarının altında, temelin üstünde, temelin üstündeki kolonların ortasında yerle imi [85]



**ekil 8.3.** Sismik izolatörlerin yeni in a edilecek binalar için birle im önerisi-1 [85].



**ekil 8.4.** Sismik izolatörlerin yeni in a edilecek binalar için birle im önerisi-2 [85]

## 8.2. Sismik taban izolasyonunda yönetmelik artları

Ülkemizde henüz sismik izolasyon uygulanmı binalar için geli tirilen mevcut bir standartın olmaması nedeniyle çalı malar Uniform Building Code-97 [86]' e göre yapılacaktır. UBC-97' nin temel izolasyonu için tasarım ko ullarının kısa bir özeti a a ıda verilmektedir.

### 8.2.1. Sismik tasarım düzeyi

Hesaplanacak tasarım düzeyi, olu abilecek deprem tehlikesi için iki seviyeli olarak yapılmaktadır [83, 84]. Bunlar;

#### Temel deprem dizaynı (DBE):

50 yılda bir %10 a ılma olasılıklı ve 475 yılda bir dönü periyodu olan zemin sarsıntıları düzeyini temsil etmektedir.

#### Maksimum deprem kapasitesi (MCE):

Binanın bulundu u alanda beklenebilecek en yüksek seviyedeki deprem hareketidir. 100 yılda bir %10 a ılma olasılıklı ve 1000 yılda bir dönü periyodu olan zemin sarsıntıları düzeyini temsil etmektedir.

Tüm sismik izolasyon tasarımları için statik analiz yapmak zorunludur. Statik analiz sayesinde dizayn deplasmanları ve taban kesme kuvvetleri için minimum koşullar saptanmaktadır. Bu bakımdan statik analiz ön boyutlama ve tasarım öngörüsü için gerekli olmaktadır [86].

### 8.2.2. Statik analiz

Statik analiz formülleri, 1-3 sn periyod aralığında sabit hız spektrasına göre hesaplanan yer de i tirme ve kuvvetleri kapsamaktadır. UBC-94 ve OSHPD-96’ da sabit hız spektrumu, ‘ Applied Technology Council ATC-3-06’ ko ulundan belirlenmi  $Z=0,40$ , zemin faktörü  $S=1$  ve %5 sönüm için  $0,60\text{m/s}$ ’ dir [65].

$$SD = \frac{sv}{\omega} = \frac{T Z}{2\pi 4}(0,60) \approx 0,25ZTm \quad (8.1)$$

Spektrum, zemin ve sönüm faktörleri ile di er sismik bölgeler içinde düzenlenerek gereken tasarım yer de i tirmesi  $D$  elde edilmektedir.

A a ıda belirtilen yer de i tirmenin üç düzeyi de hesaplanmalıdır [65].

- $D$  tasarım yer de i tirmesi olarak adlandırılan, DBE düzeyinde rijitlik merkezindeki yer de i tirme yönündeki burulma yer de i tirmesi bile enlerini de içeren, binanın kö esindeki bir mesnetin yer de i tirmesidir.
- $D_{TM}$ . toplam maksimum yer de i tirmesi olarak adlandırılan, MCE düzeyinde hesaplanan toplam tasarım yer de i tirmesi hesabını da zorunlu kılmaktadır.
- $D_T$  ,toplam tasarım yer de i tirmesi olarak adlandırılan  $D$  yer de i tirmesi [65].



## 9. SONLU ELEMANLAR YÖNTEM

### 9.1. Genel tanımlama

Sonlu elemanlar yöntemi fizik ve mühendislikte karılaılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Bu yöntemde yapı, sonlu boyutta çok sayıda elemana bölünerek analizler yapılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar daha sonra düüm noktası adı verilen noktalarda tekrar birleştirilir. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. İncelenen probleme bağlı olarak binlerce denklem takımı elde edilebilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımı zorunlu kılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla çoğu mühendislik problemlerinin çözümünde karılaılan çözüm bölgesinin düzensiz geometriye sahip olması, karışık ve süreksiz sınır koşullarının varlığı, yüklemenin düzgün olmaması, süreksiz ve tekil yüklerin varlığı, malzemenin heterojen (beton gibi) olması, anizotrop (ahap gibi) olması gibi problemler kolaylıkla çözülebilir. Sonlu elemanlar yöntemi lineer ve lineer olmayan sistemlere, statik ve dinamik problemlere uygulanabilir. Yukarıda sayılan önemli üstünlükler yanında yöntemin genellikle kapasiteli bilgisayarlara ve özellikle amaca yönelik yada genel bilgisayar programlarına gereksinimi olduğu unutulmamalıdır. Zaten sonlu elemanlar yönteminin gelişmesi ve yaygın olarak kullanılabilmesi, teorisi eski olsa bile ancak bilgisayar kapasitelerinin artması ile mümkün olmuştur.

Sonlu elemanlar yönteminde, çözümü aranan sistem bir a ile idealleştirilir. Bu a ile belirleyen çizgiler arasında kalan iki veya üç boyutlu sonlu büyüklükteki elemanlara sonlu eleman denir. Elemanların birbirlerine sınırları üzerinde yerleşmiş olan düüm noktaları ile bağlı oldukları varsayılır. Her bir eleman için gerekli eleman denklemleri elde edildikten sonra bu eleman problemin tanım bölgesini tamamlayacak şekilde birleştirilir. Böylece problemin bütünü ile ilgili denklem sistemleri elde edilir. Bu geçi te kullanılan ve temel de ikenin belirli düüm noktalarındaki noktasal değerlerini bu düüm noktaları ile tanımlanan bölge içindeki

sürekli bir de i ime çeviren ve bu bölge içinde tanımlanmış olan yardımcıfonksiyonlara ekil fonksiyonu adı verilmektedir. Dolayısı ile sonsuz sayıdaki sonsuz küçük elemanların bir bütünü olarak dü ünülebilecek sürekli ortam sonlu sayıda ve sonlu büyüklükteki elemanların olu turdu u yarı sürekli bir ortam ekline dönü ür.

Sonlu elemanlara ayrılması problemin tanım bölgesi sonlu eleman a 1 olarak tanımlanır [87].

Sonlu eleman analizinde izlenen yol a a ıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çözüm aranan bölgenin sonlu elemanlara bölünmesi.
2. ekil fonksiyonlarının seçilmesi.
3. Eleman rijitlik matrisinin olu turulması.
4. Eleman denklemlerinin bir araya getirilip sistem rijitlik matrisinin belirlenmesi [K] ve sınır ko ullarının uygulanması.
5. Tüm sistemin çözümlenerek bilinmeyenlerin elde edilmesi.
6. Tasarım veya kontrol amacına yönelik olarak di er büyüklüklerin dü üm nokta bilinmeyenlerinden hareketle hesabı.

## 9.2. Sonlu eleman çe itleri

Sonlu elemanlar yönteminin esası çözüm aranan yapıyı, bölgeyi veya cismi çok sayıda küçük sonlu elemanlara bölmektir. Bir, iki veya üç boyutlu olabilen bu elemanlar dü üm yada dü üm noktası adı verilen noktalarda birbirlerine ba lanmaktadırlar. Do ru eleman tipini seçmek, analiz i leminin çok önemli bir parçasıdır. Çözümü istenen cismin geometrisi, analizin tipi (dinamik analiz, ısı transferi, nonlinear analiz vb) ve sınırları eleman tipinin seçimini belirler. A a ıdaki kullanılabilecek sonlu eleman türleri genel olarak verilmektedir [88].

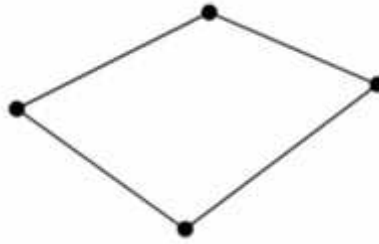
Bir boyutlu (1-D) çubuk eleman: Yay, kafes, kiri , boru, vb. gibi elemanlar bir boyutlu çubuk elemanlardır ( ekil 9.1)





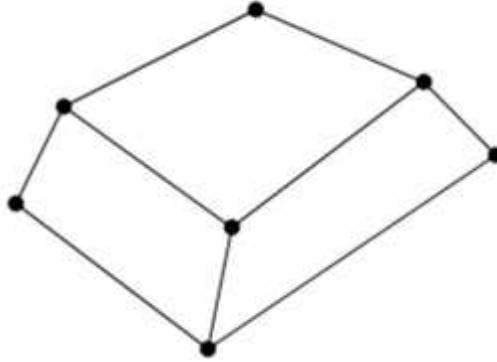
**ekil 9.1.** Bir boyutlu çubuk eleman [88]

ki boyutlu (2-D) düzlem eleman: Membran, plak, kabuk, vb gibi elemanlar iki boyutlu düzlem elemanlardır ( ekil 9.2).



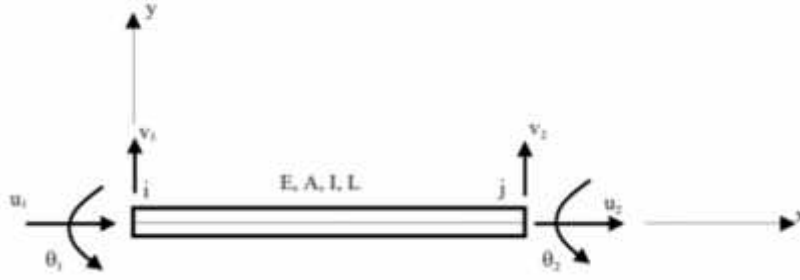
**ekil 9.2.** ki boyutlu düzlem eleman [88]

Üç boyutlu (3-D) katı eleman: Asimetrik yüklü zeminler, kütle betonları, vb gibi elemanlar üç boyutlu katı elemanlardır ( ekil 9.3).



**ekil 9.3.** Üç boyutlu katı eleman [88]

2D problemler için kiri eleman: ekil 9.4' te verilen çubuk elemanın serbestlik dereceleri a a ıda gösterilmektedir.



ekil 9.4. Bir boyutlu çubuk eleman [88]

L : Çubuk uzunlu u

I : Kesit atalet momenti

E : Elastisite modülü

A : Kesit alanı

$u, v, \theta$  : i ve j dü üm noktalarındaki serbestlik dereceleri

2D problemler için düzlem elemanlar :

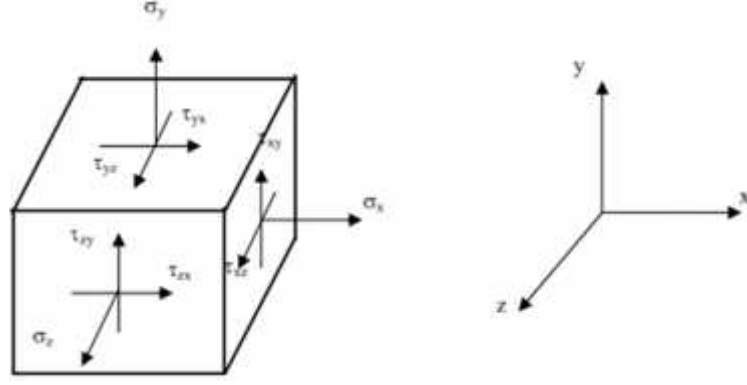
Bir elemandaki gerilme ve ekillerde i tirmeler için genellikle 6 bile en söz konusudur:

Gerilmeler için ekillerde 50' ten de görülebilece i gibi

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{pmatrix} \quad (9.1)$$

ekilde i tirmeler için,

$$\epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{pmatrix} \quad (9.2)$$



**ekil 9.5.** Üç boyutlu bir elemanın gerilmeleri [88]

Belirli artlarda gerilme ve eilde i tirme durumu basitle tirilebilir. Bu durumda 3D bir analiz, 2D analize indirgenebilir.

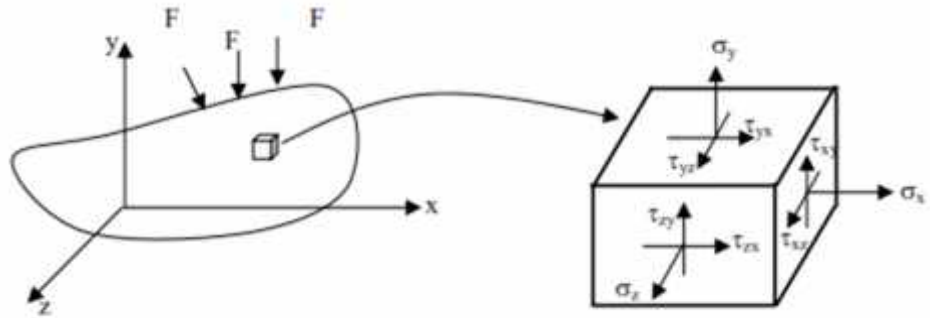
Düzlem gerilme durumunda:

$$\tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad (z \neq 0) \quad (9.3)$$

Düzlem eilde i tirme durumunda:

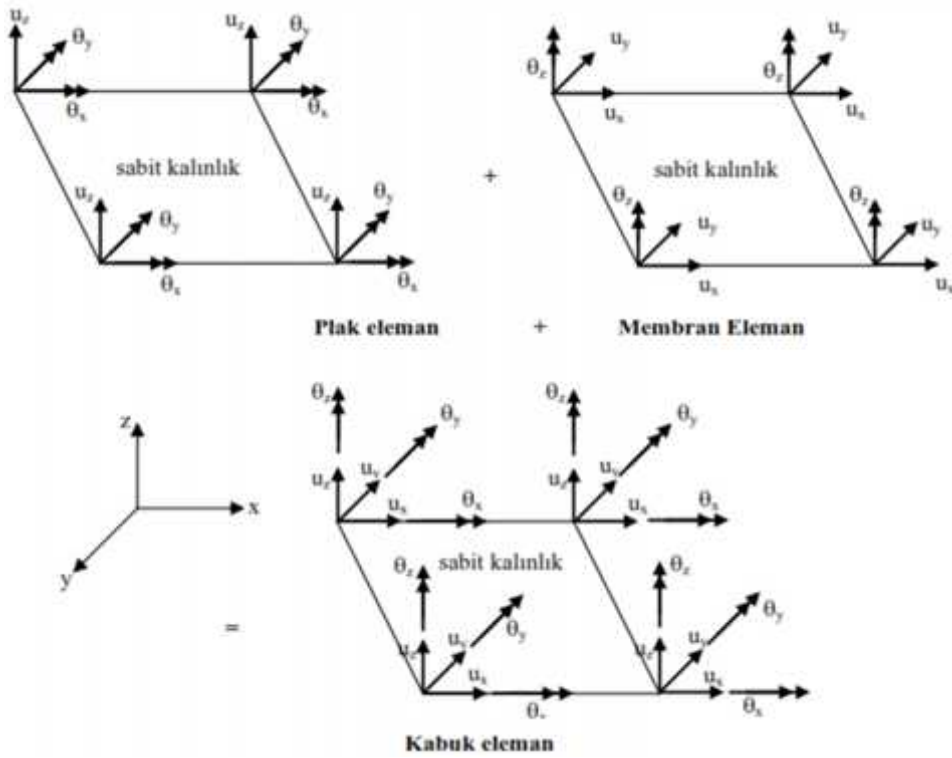
$$\tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad (z \neq 0) \quad (9.4)$$

3D problemler için katı eleman ekil 9.6' da görülmektedir.



**ekil 9.6** Üç boyutlu problemler için katı eleman [89]

Bu tez çalı masında dikkate alınan düzensiz bina sistemi için ETABS [89] bilgisayar programı ile sonlu eleman modeli olu turulurken, çubuk eleman (frame), kabuk eleman (shell) ve katı (solid) eleman kullanılmı tır.



ekil 9.7. Kabuk (shell) eleman [89]

Shell eleman için her bir düüm noktasında üç ötelenme ve üç dönme serbestli i olmak üzere toplam altı serbestlik derecesi mevcuttur.

### 9.3. Statik analiz

Statik analizde zaman ba ımsız bir de i ken olarak göz önüne alınmaz. Deformasyonların sabit veya yava ça de i ti i kabul edilir. Bazı problemlerde titre im frekansı çok düük olabilmektedir (en düük do al frekansın 1/3' ünden daha küçük). Bu durumlarda problem "quasi-statik" olarak düünülebilir. Yani atalet kuvvetleri hesaplanarak, bunlar sanki birer statik yükümü gibi yapıya uygulanarak, yapı statik olarak analiz edilebilir [88].

Bir statik analiz için a a ıdaki adımların yerine getirilmesi gerekmektedir:

1.Sonlu elemanlar modelinin hazırlanması

- Yapının sonlu elemanlara bölünerek ayrık hale getirilmesi.
- Yapıya etkileyen yüklerin tanımlanması.
- Yapının mesnetlenme ekleinin tanımlanması.

2. Hesaplamalar gerçekte yapılır.

- Rijitlik matrisi  $[K]$  her bir eleman için hesaplanır.
- Elemanlar birbirleriyle birleştirilerek, tüm sistem için sistem rijitlik matrisi  $[K]$  elde edilir.
- Yük vektörü,  $\{F\}$ , oluşturulur.
- Mesnet koşulları uygulanır.
- Denklem takımı  $[K]\{U\} = \{F\}$ , çözülerek bilinmeyen  $\{U\}$  değerleri belirlenir.

Burada;

$[K]$  : Sistem rijitlik matrisi

$\{U\}$  : Yer deplasman vektörü

$\{F\}$  : Kuvvet vektörü

Daha sonra hesaplanan  $\{U\}$  yer deplasman vektörüne bağlı olarak iç kuvvetler belirlenir.

Genel olarak rijitlik matrisi  $[K]$  bir eleman için aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$[K] = ([B]^T [D] [B])d_v \quad (9.5)$$

Burada  $[B]$  ekil deplasman matrisi,  $[D]$  sabitler matrisi olup, malzeme özelliklerini göstermektedir.  $d_v$  ise eleman hacim elemanıdır. Rijitlik matrisi eleman tipine bağlı olarak, eleman deplasman alanını tarif eden ekil fonksiyonları kullanılarak her tip eleman için ayrı ayrı hesaplanabilirler [89].

#### 9.4. Dinamik analiz

Yükün periyodunun sistemin periyodundan küçük olduğu deprem etkisi gibi durumlarda dinamik hesap yapılmalıdır. Dinamik analizde de statik analizde olduğu gibi rijitlik matrisi kullanılmakta, fakat bir kütle ve sönüm matrisine de analiz için gerek duyulmaktadır. Her bir sistemi etkileyen yük, dinamik özelliğe sahipse zamana bağlı olarak meydana gelecek kütlelerin yer deplasmanlarının ivmeleri, atalet kuvvetleri meydana getirecektir. Bu durumda sistem iki tür yükün etkisi altında düşünülebilir. Bunlardan biri harekete neden olan dış yük, diğeri ise hareketin ivmelenmesine karşı duran atalet kuvvetleridir. D'Alambert prensibine göre; bu kuvvetler her an denge halinde olmalıdır. Oluşan iç kuvvetleri hesaplayabilmek için,

atalet kuvvetlerinin belirlenmesi olması gerekir. Atalet kuvvetleri de, yer de i tirmelere ve dolayısıyla iç kuvvetlere ba lıdır. Bu problemi çözebilmek, sistemin hareketi için yazılacak diferansiyel denklemin uygun sınır ve ba langıç ko ulları altında çözülmesi ile mümkün olur [90].

Dinamik yükleme etkisindeki çok serbestlik dereceli bir sisteme ait hareket denklemleri,

$$[M]\{\ddot{U}\}+[C]\{\dot{U}\}+[K]\{U\}=\{F(t)\} \quad (9.6)$$

eklinde dir. Bu denklemde,

[K] rijitlik matrisini,

[C] sönüm matrisini,

[M] kütle matrisini,

{u} yer de i tirme vektörünü,

{u} hız vektörünü

{ü} ivme vektörünü ve

[F(t)] kuvvet vektörünü temsil etmektedir.

Dinamik yüklemenin deprem hareketi olması durumunda çok serbestlik dereceli bir sisteme ait hareket, denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}\}+[C]\{\dot{U}\}+[K]\{U\}=-[M]\{1\}\ddot{u}_g(t) \quad (9.7)$$

eklinde dir. Bu denklemde,

{1} do rultu vektörünü ve  $\ddot{u}_g(t)$  yer hareketi ivmesini göstermektedir.

Yer de i tirme vektörü {u}' nun çözümü için yaygın olarak modların Süperpozisyonu yöntemi uygulanır. Bu yöntemde önce sistemin sönümsüz serbest titre imi ele alınır [90].

## 10. ZOLATÖR TASARIM METODOLOJİSİ

### 10.1. Analiz metodunun seçimi

#### 10.1.1. Sağlam zeminler

Sağlam kabul edilen (DBYBHY için  $Z_1, Z_2, Z_3$ , UBC için  $S_A, S_B, S_C$  ve  $S_D$ ) zeminlerde aşağıdaki belirtilen koşullar sağlandı takdirde elastomerik izolasyon sistemleri için “Eğer Deprem Yüğü Yöntemi” uygulanabilir.

- Depreme neden olan fayın uzaklığı 10 km’den büyük olmalı
- Yapı yüksekliği 20 km’den küçük olmalı veya yapı 4 kattan küçük olmalı
- İzolasyonlu yapının hedeflenen periyodu  $T_D$ , ankastre mesnetli durumdaki periyodunun  $T_{fix}$  3 katından büyük olmalı.

$$T_D \geq 3 T_{fix}$$

- Hedeflenen maksimum periyot  $T_M$  3 saniyeden küçük olmalı.

$$T_M \geq 3 \text{ saniye}$$

Eğer bu koşullardan herhangi biri sağlanıyorsa “Eğer Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılamaz [91].

#### 10.1.2. Zayıf zeminler

Zayıf kabul edilen (DBYBHY için  $Z_4$ , UBC için  $S_E$  ve  $S_F$ ) zeminler için depreme neden olan fayın uzaklığı 10 km’den büyük ise “Zaman Tanım Alanında Çözüm” metodu uygulanmalıdır. Ancak bu uzaklık 10 km.’den küçük ise zemin çalışması yapılmalıdır. Bu çalışmada aşağıdaki maddeleri içermelidir:

- Kapsamlı bir yapı yeri ve laboratuvar zemin incelemeleri
- Kaya zeminden serbest yüzeye S dalgalarının ilerleyişinin analitik incelenmesi .
- Olabilecek maksimum deprem büyüklüğünün olasılık hesapları ile tahmin edilmesi.

- Maksimum zemin ivmesi, deprem süresi, zeminin hakim periyodu ve beklenen enerji zarfının belirlenmesi için yapay bir deprem kaydının olu turulması [91].

## 10.2. UBC 97 terminolojisi

UBC-97' de geçen bazı tanımlar a a ıdaki gibidir. Tasarım Depremi (Design-Basis Earthquake, DBE): Yüzde 10 olasılık ile 50 yıl içinde a ılması beklenen deprem (dönü üm peiyodu 475 yıl). Beklenen Maksimum Deprem (Maximum Capable Earthquake, MCE): Yapının bulundu u bölgede olması beklenen en iddetli yer sarsıntısıdır.100 yıl içinde a ılma olasılı ı yüzde 10 olarak alınabilir. (dönü üm periyodu 1000 yıl).

Efektif sönümlenme ( $\beta_{eff}$ ): Bu de er, izolasyon sistemin, çevrimsel cevabı sırasında sönümlenen enerji de erine ba lı viskoz sönümlenme de eridir.

Efektif rijitlik ( $K_H$ ): zolasyon sisteminin yanal yer de i tirmesine ba lı olan yanal kuvvet de eridir.

Tasarım yer de i tirmesi ( $d_D$ ): Bu de er, burulma etkisindeki yer de i tirmeyi kapsam

dı ı tutan, Dizayn depremi sırasında meydana gelecek yer de i tirme de eriidir.

Maksimum yer de i tirme ( $d_M$ ): Bu de er, burulma etkisindeki yer de i tirmeyi kapsam dı ı tutan, Beklenen Maksimum Deprem sırasında meydana gelecek yer de i tirme de eridir.

Tasarım peiyodu ( $T_D$ ): Bu de er, sismik izolasonlu yapının tasarım yer de i tirmesi sırasındaki ele alınan yöndeki efektif periyot de eridir.

Beklenen maksimum periyod (Maksimum Capable Level Period,  $T_M$ ): Bu de er, sismik izolasyonlu yapının maksimum yer de i tirmesi sırasındaki ele alınan yöndeki efektif periyod de eridir [92] .



### 10.2.1. UBC-97' de sismik katsayılar ve yakın fay etkisi

Sismik Bölge Katsayısının Bulunması: UBC-97' de verilen tablolarla sismik bölge ve

sismik bölge katsayısı  $Z$ , bulunabilir.

Bölge Zemin Profil Kategorisinin Bulunması: UBC-97' de bölge zemin profil kategorisi için de i ik tanımlamalar yapılmı tır.

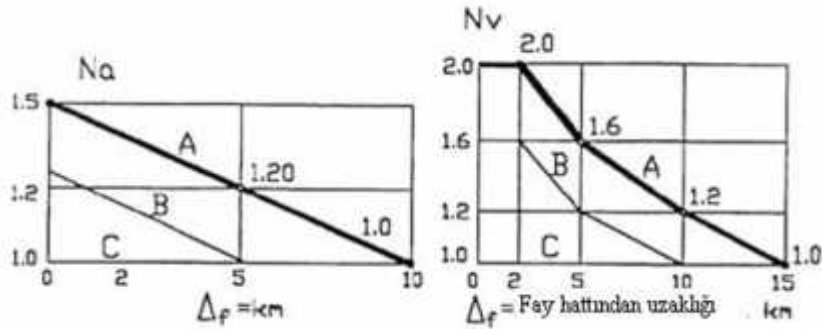
Sismik Kaynak Tipinin Bulunması: UBC-97' de de i ik bölgeler için sismik kaynak tiplerini yapılmı tır.

Yakın Fay Etkisi Katsayılarının Bulunması: Sismik kaynak tipine ba lı olarak, sismik kaynak çarpanlarının ( $N_a$  ve  $N_v$ ) bulunması için ekil 10.1 kullanılmalıdır. Dizayn Depremine Sarsıntı Gücünün Hesaplanması: Bu güç  $Z$  ve  $N_v$ ' nin çarpımına e ittir.

Beklenen Maksimum Deprem' de davranı katsayısının ( $M_M$ ) bulunması:  $M_M$  EK A' da Çizelge A.1 ile bulunabilir.

Sismik katsayıların hesaplanması: sismik katsayılar  $C_a$  ve  $C_v$  EK A' da verilen çizelgeler ile hesaplanabilir.

$M_M$ ,  $Z$ ,  $N_a$  ve  $M_M$ ,  $Z$ ,  $N_v$  çarpımları ile ve ' bulunur. Daha sonra  $C_{VM}$  ve  $C_{AM}$  EK A' da verilen çizelgeler ile hesaplanabilir. Çizelge 10.1 ile de fay tipi belirlenir.



ekil 10.1. Sismik kaynak faktörü  $N_a$  ve  $N_v$  [9]

zolasyon sisteminin efektif sönümlenme katsayısı: Efektif sönümlenme,  $\beta_{eff}$  UBC 97' de verilen formül ile hesaplanabilir.

**Çizelge 10.1.** Fay tiplerine göre fayın yıllık kayma miktarı [9]

Fay tipi	M=Aletsel büyüklük	Yıllık kayma miktarı
A Tipi	$M>7$	$SR \gg 5\text{mm}$
Btipi	$6.5<M<7$	$2<S_R<5\text{mm}$
Ctipi	$M<6.5$	$S_R<2\text{mm}$

Yapı Davranış Katsayısı (R)' nin Bulunması: Sismik izolasyonlu sistemler için  $R=2$  alınması uygun görülmektedir [9].

### 10.2.2. Hedeflenen periyot ve malzeme özellikleri

2 saniye ile 3 saniye arasındaki periyot değerleri, izolasyon sisteminin titreşim periyodu için arzu edilen değerlerdir. Elastisite modülü E, kayma modülü G ve maksimum kayma deformasyonu,  $\gamma_{\max}$  seçilen izolatör tipine göre değerlendirilmelidir.

### 10.2.3. Tasarım ve maksimum yer deşirmenin hesaplanması

izolasyon sisteminin yatay yöndeki tasarım yer deşirmesi aşağıdaki gibi hesaplanır. Burada g yerçekimi ivmesi,  $C_{VD}$  sismik katsayı,  $T_D$  tasarım periyodu,  $B_M$  sönümleme katsayısıdır. Yardımıyla kritik sönümleme değeri  $\beta_{\text{eff}}$  değeri kullanılarak hesaplanır. izolasyon sisteminin yatay yöndeki maksimum yer deşirmesi hesaplanırken ise  $C_{VD}$  yerine  $C_{VM}$ ,  $T_D$  yerine  $T_M$ ,  $B_D$  yerine  $B_M$  değerleri kullanılır.

$$D_d = \frac{\beta \times C_{vd} \times T_d}{E_d \times 4\pi^2} \quad (10.1)$$

#### 10.2.4. Efektif yatay rijitli inin hesaplanması

Ele alınan yönde izolasyon sisteminde tek bir izolatörün yatay rijitli i a a ıdaki gibi hesaplanır.

$$K_H = K_{eff} = \frac{W}{\theta} \times \frac{2\pi^2}{T_D} \quad (10.2)$$

Burada W tek bir izolatöre etkiyen normal kuvvettir ve yapı toplam a ırlı ının izolatör sayısına bölünmesiyle hesaplanır.

#### 10.2.5. Her çevrimde sönümlenen enerji miktarının hesaplanması

Her bir çevrim için sismik izolatörün sönümlendi i enerji a a ıdaki formül ile hesaplanabilir. Bu de er karakteristik dayanım  $Q_d$ ' nin hesaplanmasında kullanılır.

$$W_D = 2 \times K_{eff} \times (d_D)^2 \times B_{eff} \quad (10.3)$$

#### 10.2.6. Karakteristik dayanımın hesaplanması

$D_y$  akma durumundaki yer de i tirme olmak üzere bu de er  $d_D$  tasarım yer de i tirmesine göre çok küçük oldu undan ihmal edilerek tek bir izolatörün karakteristik dayanımı a a ıdaki gibi hesaplanır.

$$W_D = 4 \times Q_d \times d_D - d_y$$
$$Q_D = \frac{W_D}{4 \times d_D} \quad (10.4)$$

### 10.2.7. Akma yer de i tirmesinin hesaplanması

Sismik izolatörün yatay rijitli indeki de i imin meydana geldi i kesme akması durumundaki yer de i tirme a a ıdaki gibi hesaplanır.

$$D_y = \frac{Q_d}{K_u - K_d}$$
$$K_u = 10 \times K_d$$
$$d_y = \frac{Q_d}{9 \times K_d}$$
$$K_d = K_{eff} - \frac{Q_d}{d_d} \quad (10.5)$$

Burada,  $K_u$  akma öncesi rijitlik,  $K_d$  ise akma sonrası rijitliktir.

### 10.2.8. zolatörün dü ey rijitli inin hesaplanması

$E_c$  basınç elastisite modülü olmaküzere dü ey rijitlik a a ıdaki gibi hesaplanır.

$$K_V = \frac{(E_c \times A_s)}{t_f} = \frac{6 \times G \times S^2}{t_f} \quad (10.6)$$

### 10.2.9. Akma dayanımının hesaplanması

Akma dayanımı a a ıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$F_y = Q_d + D_d \times d_y \quad (10.7)$$

### 10.2.10. Kayma ekil de i tirmelerinin hesaplanması

Yataydaki ve dü eydeki ekil de i tirmeler a a ıdaki gibi hesaplanabilir.

$$v = 6 \times S \times z$$

$$z = \frac{t}{h_{\text{top}}}$$

$$t = \frac{W}{K_v}$$

(10.8)

Burada  $\Delta_t$  düey yerdeki tirme,  $h_{\text{top}}$  ise izolatör yüksekliğidir.  
Yatayda;

$$s = \frac{V_D}{A_s \times G} = \frac{K_d \times d_d}{A_s \times G}$$

maksimum eğilimdeki tirme ise;

$$\max = \psi + s$$

(10.9)

### 10.2.11 Kritik burkulma yükünün hesaplanması

Tek bir izolatörün burkulma meydana getirmeden taşıyabileceği yükün ağırlığındaki formül ile hesaplanır[9].

$$P_{\text{kritik}} = \frac{A \times G \times \pi^2 \times E_c \times I}{\epsilon l^3}$$

$$I = \frac{1}{4} \times \left(\frac{d}{2}\right)^4$$

(10.10)



## **11. ETABS LE YAPI TASARIM VE ZOLATÖRLER N MODELLENMES**

### **11.1. ETABS programının genel özellikleri**

ETABS, kullanıcılara de i ik ülke yönetmeliklerine göre kesit hesabı (check) ve tasarım (design) yapma imkanı sa layan bir sonlu eleman programıdır. ETABS' ın betonarme çerçeve eleman boyutlama özelli i akademik çevrelerce de onaylanmı tır [93]. Buna göre ETABS' in boyutlama yönetmeliklerinden olan ACI 318-11 yönetmeli i birtakım düzenlemelerle TS 500 ve DBYBHY, 2007 ile uyumlu hale getirilebilir.

### **11.2. DBYBHY, 2007 uyumlulu u**

ACI 318-99 yönetmeli i deprem davranı ları bakımından yapıları “sıradan”, “orta” ve “özel” moment kar ılayıcı çerçeveler olarak sınıflandırmı tır. DBYBHY, 2007' de yer alan süneklik düzeyi yüksek ta ıyıcı çerçeve tanımı ACI 318-99 yönetmeli inde yer alan “özel” moment kar ılayıcı çerçeve tanımıyla uyu maktadır. Hangi süneklik düzeyinin boyutlandırma safhasında nasıl ele alınabilece i her ne kadar ETABS' ın akademik çevrelerce de desteklenen; ACI 318-99' un TS500 ve DBYBHY 2007' e göre uyarlanması adına yapılan çalı mada net bir ekilde belirtilmemi olsa da, ACI 318-99' un devamı niteli inde olan ETABS' in ACI 318-05/IBC 2003 yönetmeliklerine göre boyutlama kılavuzunda incelenen yapının süneklik düzeyi ETABS programının tercihler (preferences) kısmında yer alan sismik tasarım kategorilerinin (seismic design category) seçimine ba lı olarak belirlenebilmektedir. Buna göre A, B, C, D, E ve F harfleriyle simgelenen altı sismik tasarım kategorisi vardır ve bu kategorilerden A yada B seçiliyken “sıradan”, C seçiliyken “orta”, D, E veya F seçiliyken ise “özel” moment kar ılayıcı çerçeve boyutlaması yapılmaktadır [14]. ETABS programınınACI 318-99 yönetmeli ine göre boyutlama seçene i

aktifken tercihler kısmında bu tasarım kategorileri gözükmemektedir. Burada bilinmesi gereken ACI 318-99 yada ACI 318-05/IBC 2003' a göre tasarım yaparken mevcut (default) durumda tasarımın “özel” moment karılayıcı çerçeve yada ba ka bir deyi le süneklik düzeyi yüksek sistem kabulüyle yapıldı ıdır. ACI 318-99 yada ACI 318-05/IBC 2003 yönetmelikleri süneklik düzeyini eleman bazında de erlendirmeyi gerekli kılar yada ba ka bir deyi le kullanıcıya eleman bazında süneklik düzeyi belirleme imkanını sa lar. Buna göre eleman türü “sway special” ya da “sway intermediate” seçiliyken sünek yapı, “sway ordinary” yada “non-sway” seçiliyken ise sünek olmayan eleman tasarımı yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken husus deprem yönetmeli imizde süneklik düzeyi yüksek olarak tanımlanan sistemin sadece eleman özellikleri “sway special” yada “sway intermediate” iken geçerli oldu u ve boyutlama içeri inden dolayı “sway special” ın seçiminin süneklik düzeyi yüksek sistem tanımı için daha yakın sonuçlar verece inin hatırdan çıkarılmaması gerekti idir [93].

### **11.3. ACI 318-99 yönetmeli i ile betonarme tasarım**

ETABS ile kiri ve kolon elemanları için boyuna ve enine donatı hesabı, çerçeve dü üm noktaları için güçlü kolon, ku atılmı kolon kontrolleri ve perde elemanları için boyuna ve enine donatı hesabı yapılabilmektedir. Donatı hesabı malzeme dayanımı azaltma katsayısı;  $\phi = 1$  alınarak, beton karakteristik basınç dayanımı;  $f_{ck}$  yerine  $f_{cd}$  ve donatı akma dayanımı;  $f_y$  yerine  $f_{yd}$  hesap dayanımını kullanarak, TS500 ve DBYBHY 2007 ilkelerine uygun olarak yapılır [13]. Çizelge A.6 ' da ETABS programıyla tercihler (preferences) kısmında ACI 318-99 Yönetmeli i seçiliyken betonarme çerçeve boyutlama bilgileri özetlenmi tir. Buna göre ETABS programı çerçeve elemanı tasarım a masında, kullanıcı tarafından önceden belirlenen kadar yükleme kombinasyonu arasından gene bu yükleme kombinasyonlarının en elveri sizini otomatik olarak seçer ve elemanın sıradan moment karılayıcı çerçeve, orta derecede moment karılayıcı çerçeve yada özel moment karılayıcı çerçeve gruplarından hangisine ait oldu una ba lı olarak da gerekli boyutlama adımlarını izler. DBYBHY 2007' de belirtilen süneklik düzeyi yüksek ta ıyıcı sistem tanımı buradaki özel moment karılayıcı çerçeve tanımıyla örtü mektedir. Çizelge 11.1' de görülece i üzere; DBYBHY 2007' de süneklik düzeyi yüksek ta ıyıcı



çerçevesel için kontrol edilmesi zorunlu olan kolon kiriş birleşim bölgelerindeki kayma kontrolü, güçlü kolon kontrolü, kiriş ve kolon kayma donatılarının kapasite tasarımı ilkeleri uyarınca artırılmış yükler ve kesit kapasitesi göz önünde bulundurularak hesaplanması gibi boyutlama safhasındaki birçok hesap kontrolü sadece özel moment taşıyıcı çerçeveler için ve sadece sismik yük birleşimleri altında değerlendirilmektedir [94] .

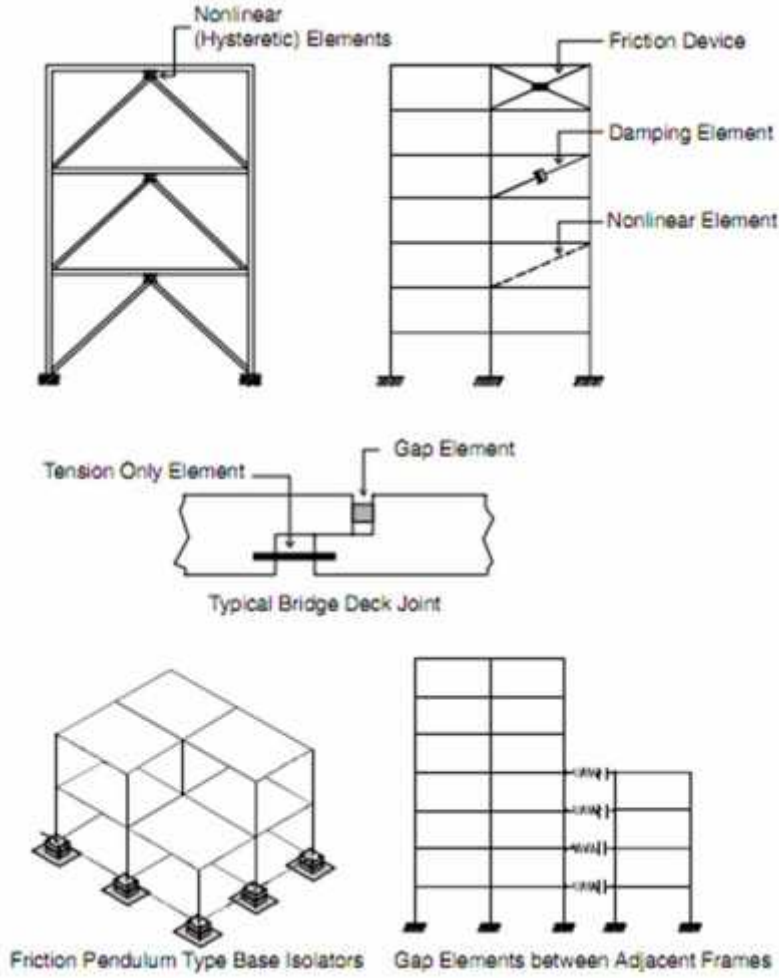
<b>Çizelge 11.1. ETABS ile betonarme çerçeve boyutlandırma bilgileri [94]</b>			
<b>Kontrol/ Boyutlama tipi</b>	<b>Sıradan Moment Kar ılayıcı Çerçevesel (Sismik olmayan)</b>	<b>Orta Derecede Moment Kar ılayıcı (Sismik)</b>	<b>Özel Moment Kar ılayıcı Çerçevesel (Sismik)</b>
<b>Kolon kontrolü (kar ılıklı etki)</b>	NLD <sub>a</sub> Kombinezon	NLD <sub>a</sub> kombinezon	NLD <sub>a</sub> Kombinezon
<b>Kolon boyutlamsı (kar ılıklı etki)</b>	NLD <sub>a</sub> kombinezn % 1<ρ<% 8	NLD <sub>a</sub> kombinezon % 1<ρ<% 8	NLD <sub>a</sub> kombinezon α=1.0 % 1<ρ<% 6
<b>Kolon kayma Hesabı</b>	NLD <sub>a</sub> Kombinezon	De i tirilmi NLD <sub>a</sub> kombinezon (deprem yükleri iki kat alınır) Kapasitesi α=1.0 ve φ=1.0	NLD <sub>a</sub> kombinezon kolon kayma kapasitesi φ =1.0 ve α=1.25
<b>Kiri e ilme hesabı</b>	NLD <sub>a</sub> Kombinezon	NLD <sub>a</sub> kombinezon	NLD <sub>a</sub> kombinezon ρ ≤ 0.025 ρ $\frac{0.25}{f_c} \overline{f_c}$ ρ $\frac{1.4}{f_y}$
<b>Kiri minimum moment kontrolü</b>	Gerekmiyor	$M_{\bar{a},end}^+ \frac{1}{2} M_{\bar{a},end}^-$	$M_{\bar{a},span}^- \frac{1}{4} \max M_{\bar{a}}^+, M_{\bar{a}}^-_{max}$  $M_{\bar{a},span}^+ \frac{1}{4} \max M_{\bar{a}}^+, M_{\bar{a}}^-_{end}$
<b>Kiri kayma Donatısı Hesabı</b>	NLD <sub>a</sub> Kombinezon	De i tirilmi NLD <sub>a</sub> kombinezon (deprem yükü iki kat alınır) α=1.0 ve φ=1.0 ile bulunan kiri kesme kuvveti kapasitesi (V <sub>p</sub> ) ve V <sub>D+L</sub> ile	NLD <sub>a</sub> kombinezon α=1.25 ve φ=1.0 bulunan kiri kesme kuvveti kapasitesi (V <sub>p</sub> ) ve V <sub>D+L</sub> ile , V <sub>C</sub> =0
<b>Birle im bölgesi Hesabı</b>	Gerekmiyor	Gerekmiyor	Kayma kontrolü hesabı
<b>Kiri -kolon Kapasite Oranı</b>	Gerekmiyor	Gerekmiyor	Çıkı dosyasında Bildirilir

#### 11.4. ETABS ile Sismik izolatörlerin modellenmesi

ETABS programında “NLink Element” ve “Nlprop Properties” adı verilen ve yapıların lineer olmayan davranışını modellemede kullanılan seçenekler vardır. Bunların ilki modellemede kullanılacak elemanın seçilebilmesi için kullanılır. Bu elemanlar

ekil 11.1’ de görüldüğü üzere:

- Linear element (Multilinear elastic)
- Damper (Viscous damper with nonlinear exponent on velocity term)
- “Gap” (sadece basınç) ve “hook” (sadece çekme)
- “Uniaxial plasticity” (tüm altı serbestlik derecesiyle)
- Isolator1 (Base isolator with biaxial plasticity behavior)
- Isolator2 (Base isolator with friction and/or pendulum behavior) [94].



**ekil 11.1.** ETABS ile kullanılan nonlineer eleman örnekleri [94]

İkinci seçenek ise yukarıda belirtilen elemanların yerle tirilece i yeri belirtmek için kullanılır. Link elemanların kütle, a rlık ve polar atalet momentleri programda ayrıca tanımlanabilir. Link elemanlarına lineer ve lineer olmayan özellikler atanabilir. Bir lineer link elemanının altı serbestlik derecesinin tamamı için belirlenen lineer özellikler için etkin rijitli i olu turulur. Bu esasında bir yay rijitli idir. Lineer olmayan özellikler de gene altı serbestlik derecesi için tanımlanabilir. Lineer olmayan davranı sadece zaman tanım alanında nonlineer analiz (time history analysis) ile incelenebilir. Di er tüm analizlerde “NLink element” adı verilen elemanlar lineer davranı gösterirler [94] .

#### 11.4.1. “NLprop” özellikleri

Nlprop, Nllink elemanların davranışının tanımlanması için kullanılan yapısal özellikler setidir. Her Nlprop altı adet dahili deformasyon için lineer olmayan kuvvet- deformasyon ilişkisini belirtir. Bu nonlineer özellikler sadece zaman tanım alanında nonlineer analizlerde kullanılır. Ayrıca efektif rijitlik ve efektif sönümlenme de belirtilebilir. Bu özellikler lineer olan analizlerden, statik analiz, P- analiz, modal analiz, hareketli yük analizi, davranış spektrumu analizi, zaman tanım alanında lineer analiz gibi analizlerde kullanılabilir.

Efektif rijitlik, nonlineer özellikleri belirtilmemiş bütün serbestlik dereceleri için zaman tanım alanında nonlineer analizde de kullanılabilir. Efektif sönümlenme özelliği zaman tanım alanında nonlineer analizde hiçbir zaman kullanılmaz. Kütle ve atalet özellikleri de tipe uygun olarak belirlenebilir [93] .

#### 11.4.2. Dahili nonlineer yaylar

Her Nlprop, altı adet dahili nonlineer yaydan oluşur. Bu yayların kuvvet- deformasyon ilişkisi birleştirebilir veya birbirinden bağımsız olabilir. Yaylar 3 ayrı deformasyon tipi için çalışmaktadır; aksiyel, 1-2 düzleminde kesme ve 1-2 düzleminde eğilme. Kayma yayının deformasyonu düğüm noktalarındaki aktarımlar kadar rotasyonlardan da oluşabilir. Bu yaydaki kuvvet boy boyunca lineer olarak değişen bir moment oluşturur. Bu moment kayma yayında sıfır olarak alınır ve davranış mafsalsı gibidir.

#### 11.4.3. Yay kuvvet-deformasyon ilişkileri

Aşağıdaki kuvvet- deformasyon ilişkileri mevcuttur:

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

- Burada  $f_{u1}$ ,  $f_{u2}$  ve  $f_{u3}$  iç-yay kuvvetleri;  $f_{r1}$ ,  $f_{r2}$  ve  $f_{r3}$  iç yay momentleridir .

#### 11.4.4. Temel denge denklemleri

Bilgisayar modelinin herhangi bir t zaman aralı ındaki en temel denge denklemi a a ıdaki matris denklemiyle açıklanabilir:

$$Mu(t)+Cu(t)+ Ku(t)+R(t)_{NL} =R(t) \quad (11.1)$$

Burada M, C ve K sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini ifade etmektedir. Bu üç kare matrisin büyüklü ü toplam nokta deplasmanı ile yakından ilgilidir. Burada elastik rijitlik matrisi yazılırken nonlinear elemanların rijitlikleri ihmal edilir.

Zamana ba lı olarak elde edilen  $u(t)$  ,  $\dot{u}(t)$  ,  $\ddot{u}(t)$  ve  $R(t)$  fonksiyonları sırasıyla ivme, hız, yer de i tirme ve dı yükü ifade eder .

E er bilgisayar modeli nonlinear elemanlar olmadan stabilitesini yitiriyorsa e itli in her iki tarafına da “efektif elastik eleman” rijitli i,  $K_e$  eklenir. Son halde en genel hali:

$$Mu(t)+Cu(t)+(K + K_e )u(t)+R(t)_{NL} =R(t) + k_{eu}(t) \quad (11.2)$$

Bu nedenle nonlinear bilgisayar modeli için dinamik denge denklemi a a ıdaki gibi yazılabilir:

$$Mu(t)+Cu(t)+ Ku(t)=R (t) \quad (11.3)$$

Elastik rijitlik matrisi,  $K$  ,  $K + K_e$  toplamına e ittir ve de eri bilinir. Efektif dı yük  $R(t)$  ,  $R(t)$  ,  $R(t)_{NL} + k_{eu}(t)$  toplamına e ittir ve de erinin iterasyon yoluyla elde edilmesi gerekir [95, 96].

#### 11.4.5. Nonlinear kuvvetlerin hesaplanması

Herhangi bir t anındaki L nonlinear deformasyonları nonlinear elemanları içermekle birlikte a a ıdaki yer de i tirme dönü üm denklemiyle elde edilebilir:

$$d(t)= b_u(t) \quad (11.4)$$

Ayrıca zamana ba lı olarak de i en nonlinear deformasyonlardaki de i im oranı,  $d(t)$  de va a ıdaki gibi belirlenebilir:

$$d(t) = b_u(t) \quad (11.5)$$

Burada dikkat edilmesi gereken küçük deplasmanlar için, yer de i tirme dönü üm matrisi  $b'$  nin zamanın bir fonksiyonu olmadığıdır. E er zaman ba ımlı deformasyonlar ve hızlar bütün nonlinear elemanlar için biliniyorsa nonlinear elemanlardaki nonlinear kuvvetler,  $f(t)$  tam bir do rulukla belirlenebilir. Bu ise her bir zaman aralı ındaki iterasyonun gerçekleştirilmesine ba lıdır [94] .





## 12. YAPININ TANIMI VE KLASİK YÖNTEME GÖRE İNCELENMESİ

### 12.1. Yapının tanımı

Bu çalışmada incelenecek olan yapı bir normal bina projesine aittir. Yapı, 3 normal kat ve 1 zemin katı olmaktadır. Yapı öncelikle DBYBHY, 2007 uyarınca yeni yapı olarak tasarlanmıştır ardından belirlenen kesit ölçüleri baz alınarak sismik izolatör tasarımı yapılmıştır. Buna göre ETABS' in boyutlama yönetmeliklerinden olan ACI 318-11 tasarlanmıştır.



### ekil 12.1. Yapının tasarımı

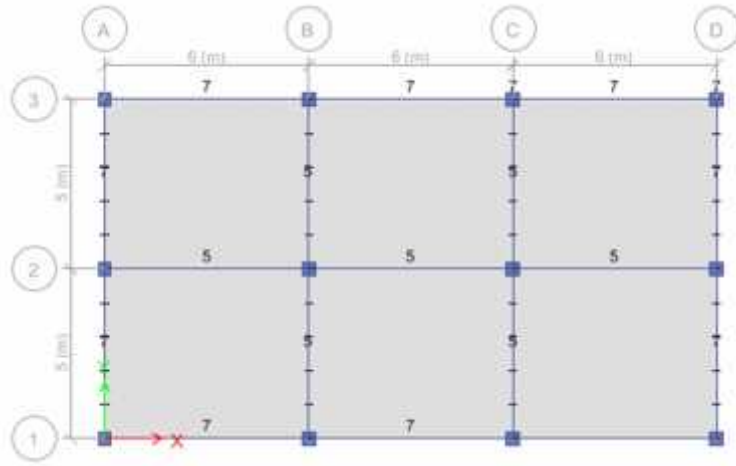
Çözümlenmelerde ETABS 2013 programından faydalanılmıştır. Yapının, kapasite tasarım ilkeleri uyarınca, klasik yöntemle göre tasarımı için yapılan statik ve dinamik çözümlenmeler sonucunda yapıda DBYBHY, 2007' de belirtilen planda yada düeydeki düzensizlik durumlarından herhangi birine rastlanmamıştır.

Yapı tipik kolon boyutları 50x50 , yapı tipik kiriş boyutları 30x50' tir. Yapının genel bilgileri Çizelge 12.1' de özetlenmektedir.

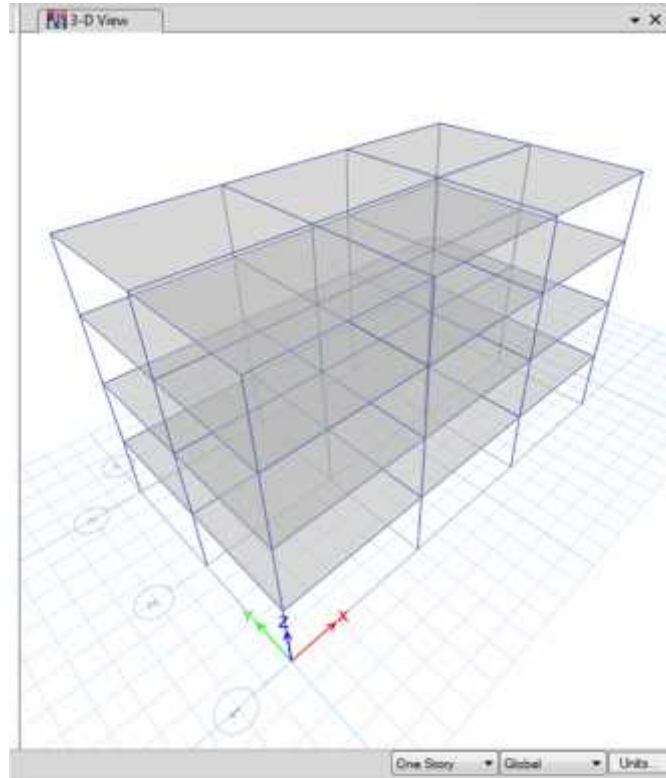
**Çizelge 12.1.** Yapının genel bilgileri

<b>Bina bilgileri</b>	
Kat adedi	4
Bina kat yüksekli i	3 m
Toplam Bina Yüksekli i, H	12 m
Alt kat yüksekli i	3 m
X Yönünde açıklıkların sayısı	4
Y Yönünde açıklıkların sayısı	3
X yönünde açıklıkların aralı ı	6
Y yönünde açıklıkların aralı ı	5
<b>Malzeme Bilgileri</b>	
Beton	C25/30
Donatı Çeli i	S420
Betonarme Elastisite Modülü, $E_c$	31000 Mpa
Donatı Çeli i Elastisite Modülü, $E_s$	210000 Mpa
Do emenin yoğunlu u	150 mm
<b>Proje Parametreleri</b>	
Deprem Bölgesi	1. Derece Deprem Bölgesi
Etkin Yer vmesi Katsayısı, $A_0$	0.4
Bina Önem Katsayısı, I	1
Yerel Zemin Sınıfı	1
Ta ıyıcı Sistem Davranı Katsayısı, R	8
Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_A=0.1$ s $T_B =0.15$ s
<b>Yükler</b>	
Beton yo unlu u	24.9926 KN/m <sup>3</sup>
Dı Duvar Yükü	7 KN/m
ç Duvar yükü	5 KN/m

Yapı tipik kat kalıp planı ekil 12.2' de, yapı 3 boyutlu ETABS modeli ise ekil 12.3' te görülmektedir.



**ekil 12.2.** Yapı tipik kat kalıp planı



**ekil 12.3.** Yapı 3 boyutlu ETABS modeli

**Çizelge 12.2.** Kat bilgileri

<b>Kat</b>	<b>yükseklik</b>	<b>Dikey kesit</b>	<b>Ana kat</b>	<b>Benzer</b>	<b>Ek kat</b>	<b>Ek yüksekli i</b>
kat4	3	12	Evet	Hayır	Hayır	0
Kat3	3	9	Hayır	kat4	Hayır	0
kat2	3	6	Hayır	kat4	Hayır	0
kat1	3	3	Hayır	kat4	Hayır	0
Taban		0				

## 12.2. Tasarım yükleme birle imleri

Yapıların deprem hesapları sırasında, gerekli ek dı merkezlikler de göz önüne alınarak, gerekli tüm yükleme birle imlerinin yapılması ve tasarımda en elveri siz sonucu veren iç kuvvetlerin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla yapılması gereken dört adet temel yükleme Çizelge 12.4’ de gösterilmi tir. Çizelge 12.3’ te görüldü ü üzere temel deprem yüklemeleri, deprem yüklerinin her iki deprem do rultusu için ritlik merkezinin sa ına ve soluna %5 kaydırılmasıyla elde edilir.

**Çizelge 12.3.** Temel deprem yüklemeleri

<b>Yükleme adı</b>	<b>Yükleme özelli i</b>
EXP	x YÖNÜNDE +%5 dı merkezlikli
EXN	x YÖNÜNDE - %5 dı merkezlikli
EYP	y YÖNÜNDE +%5 dı merkezlikli
EYN	y YÖNÜNDE -%5 dı merkezlikli

DBYBHY, 2007 uyarınca ta ıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y do rultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, ta ıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen do rultularındaki iç kuvvetler, en elveri siz sonucu verecek ekilde Çizelge 12.4’ deki yük birle im katsayıları kullanılarak hesaplanacaktır. Çizelge 12.3’ te x- do rultusunun  $\pm\%5$  dı merkezlikli ve y- do rultusunun %30 katkısı alınarak hazırlanan 32 yük birle imi görülmektedir. Bu yük birle imleri bir de y- do rultusu için tekrarlanırsa toplamda 64 adet yük birle imi elde edilmi olur.

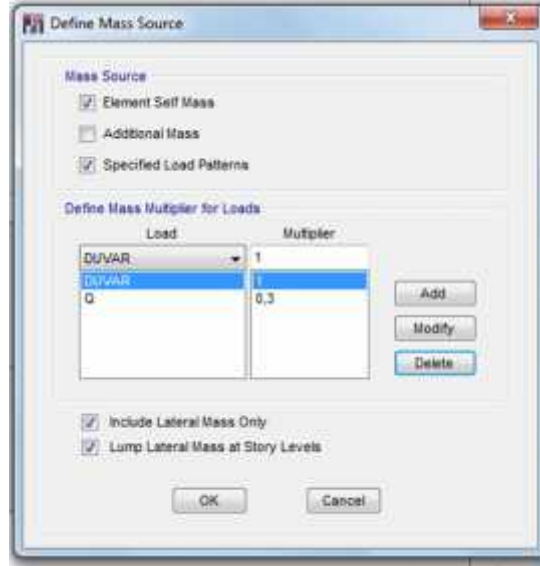
**Çizelge 12.4.** Yükleme birle imleri katsayıları

<b>Birle im No.</b>	<b>EXP</b>	<b>EXN</b>	<b>EYP</b>	<b>EYN</b>
1	1		0.30	
2	1		-0.30	
3	1			0.30
4	1			-0.30
5	-1		0.30	
6	-1		-0.30	
7	-1			0.30
8	-1			-0.30
9		1	0.30	
10		1	-0.30	
11		1		0.30
12		1		-0.30
13		-1	0.30	
14		-1	-0.30	
15		-1		0.30
16		-1		-0.30

<b>Birle im No.</b>	<b>EXP</b>	<b>EXN</b>	<b>EYP</b>	<b>EYN</b>
17	0.30		1	
18	-0.30		1	
19		0.30	1	
20		-0.30	1	
21	0.30		-1	
22	-0.30		-1	
23		0.30	-1	
24		-0.30	-1	
25	0.30			1
26	-0.30			1
27		0.30		1
28		-0.30		1
29	0.30			-1
30	-0.30			-1
31		0.30		-1
32		-0.30		-1

### 12.3. Kütle kayna 1

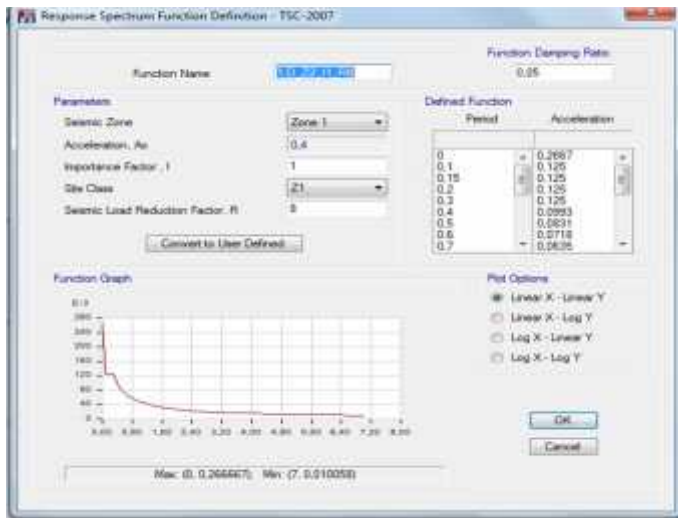
Bu kısımda sadece X ve Y yönünde, duvarların yüklerini yazıp ve ondan sonra duvarların yükleri de çift yükler gibi girer. (Q =hareketli)



ekil 12.4. Kütle hesaplamak

Sonra spektrum davranı 1 olu turur ve TSC-2007 kurallara göre tasarlanmı ve onu 1.D\_Z2\_I1\_R8 ismine ( a a ıdaki gibi) olu turarak , sistemde kayıtır .

Define  $\Rightarrow$  functions  $\Rightarrow$  response spectrum  $\Rightarrow$  define response spectrum functions .



ekil 12.5. Spektrum davranı 1

#### 12.4. Yük bilgileri

Yükleri tam a a ıdaki çizelge gibi kurar.

**Çizelge 12.5. Yük bilgileri**

adı	Yük tipi	Yükün adı	Fonksiyon	ölçek faktörü	modal sönüm
U1	ivme	EX_SPEK	1.D_Z2_I1_R8	9806.65	0.05
U2	vme	EY_SPEK	1.D_Z2_I1_R8	9806.65	0.05

#### 12.5. Yükleri birle tirme

Bu kısımda Yükleri birle tirir ve 6 tane kombinasyon olu turur.Ayrıca kombinasyonları ayrı ayrı yazılır .Tam kombinasyon a a ıda gösterilmi tir .

**Çizelge 12.6. Kombinasyon 1**

Yükün adı	Ölçek faktörü
Zati	1
Hareket	0.3
Duvar	1

**Çizelge 12.7. Kombinasyon 2**

Yükün adı	Ölçek faktörü
Zati	1.4
Hareket	1.6
Duvar	1.4

**Çizelge 12.8.** Kombinasyon 3

<b>Yükün adı</b>	<b>Ölçek faktörü</b>
Zati	1
Duvar	1
Hareket	1
EX_SPEK	1
EY_SPEK	0.3

**Çizelge 12.9.** Kombinasyon 4

<b>Yükün adı</b>	<b>Ölçek faktörü</b>
Zati	1
Duvar	1
Hareket	1
EX_SPEK	0.3
EY_SPEK	1

**Çizelge 12.10.** Kombinasyon 5

<b>Yükün adı</b>	<b>Ölçek faktörü</b>
Zati	0.9
Duvar	0.9
EX_SPEK	1
EY_SPEK	0.3

**Çizelge 12.11.** Kombinasyon 6

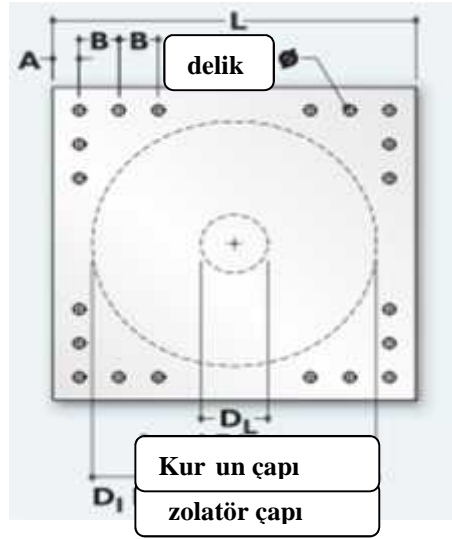
<b>Yükün adı</b>	<b>Ölçek faktörü</b>
Zati	0.9
Duvar	0.9
EX_SPEK	0.3
EY_SPEK	1



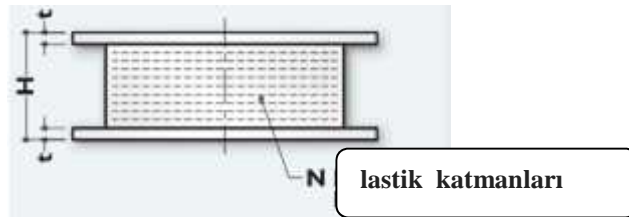
## 13. ZOLATÖR TASARIMI

### 13.1 Analiz metodunun seçimi

Sismik izolasyon tasarımı UBC 1997 Yönetmeli i' ne göre yapılacaktır. Yapı yüksekli i 12 oldu u için ve yapı kat sayısı 4 için izolasyon sisteminin tasarımında zaman tanım alanında çözüm metodu (time historyanalysis) uygulanacaktır



ekil 13.1. zolatör ekli [97]



ekil 13.2. zolatör katmanları [97]

**Çizelge13.1.** zolatörün tasarım özellikleri [97]

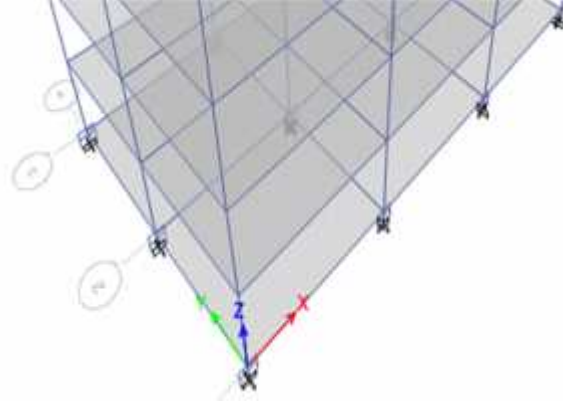
zolatör çapı DI(mm)	Tasarım özellikleri			maksimum yer de i tirme D <sub>max</sub> (mm)	eksenel yük kapasitesi P <sub>max</sub> (KN)
	Akma sonrası rijitlik K <sub>a</sub> (KN/mm)	karakteristik dayanımı Q <sub>d</sub> (KN)	Basınç rijitlik K <sub>y</sub> (KN/mm)		
305	0.2-0.4	0-65	>50	150	450
355	0.2-0.4	0-65	>100	150	700
405	0.3-0.5	0-110	>100	200	900
455	0.2-0.7	0-110	>100	250	1150
520	0.2-0.7	0-180	>200	300	1350
570	0.3-0.9	0-180	>500	360	1800
650	0.2-1.1	0-220	>700	410	2700
<b>700</b>	<b>0.2-1.4</b>	<b>0-220</b>	<b>&gt;800</b>	<b>460</b>	<b>3100</b>
750	0.7-1.6	0-265	>900	460	3600
800	0.7-1.6	0-265	>1000	510	4000
850	0.7-1.8	0-355	>1200	560	4900
900	0.7-1.8	0-355	>1400	560	5800
950	0.7-2.0	0-490	>1800	610	6700
1000	0.8-2.0	0-490	>1900	660	7600
1050	0.9-2.1	0-580	>2100	710	8500
1160	1.1-2.1	0-665	>2800	760	13800
1260	1.2-2.3	0-755	>3700	810	20500
1360	1.4-2.5	0-890	>5100	860	27600
1450	1.6-2.5	0-1025	>5300	910	33400
1550	1.8-2.5	0-1025	>6500	910	40000

Bu çali mada izolatörün kütlesi ve a ırlı ı a a ıda gösterir .

**Çizelge 13.2.** zolatörün özelli i

zolatör tipi	Kütlesi (kg)	A ırlı ı (KN)
Kuaçuk izolatör	200	2

ekil 13.3' te ETABS programı ile belirlenen ve izolatör tasarımında kullanılacak olan gösterilmektedir.



**ekil 13.3.** Tanımlanmış 3 boyutlu görünümü

## 13.2 zolatörlü model ve sonuçların kar ıla tırılması

### 13.2.1 Sistemin izolatörlü olarak modellenmesi

Önceki bölümlerde tasarımı detaylı bir ekilde gerçekleştirilen izolatörlerin dinamik özellikleri Çizelge 13.3’ te özetlenmiştir. Yapıda 12 tane kauçuklu izolatör kullanılmıştır. Ayrıca yüklerin üst yapıdan izolatörlere homojen bir şekilde aktarımını sağlamak ve yatayda da izolatörlerin birbirlerine göre olan bağımsız yer de i tirmelerini sınırlamak bakımından izolatörlerle yapı arasında 15 cm kalınlığında rijit bir döşeme tabakası oluşturulmuştur.

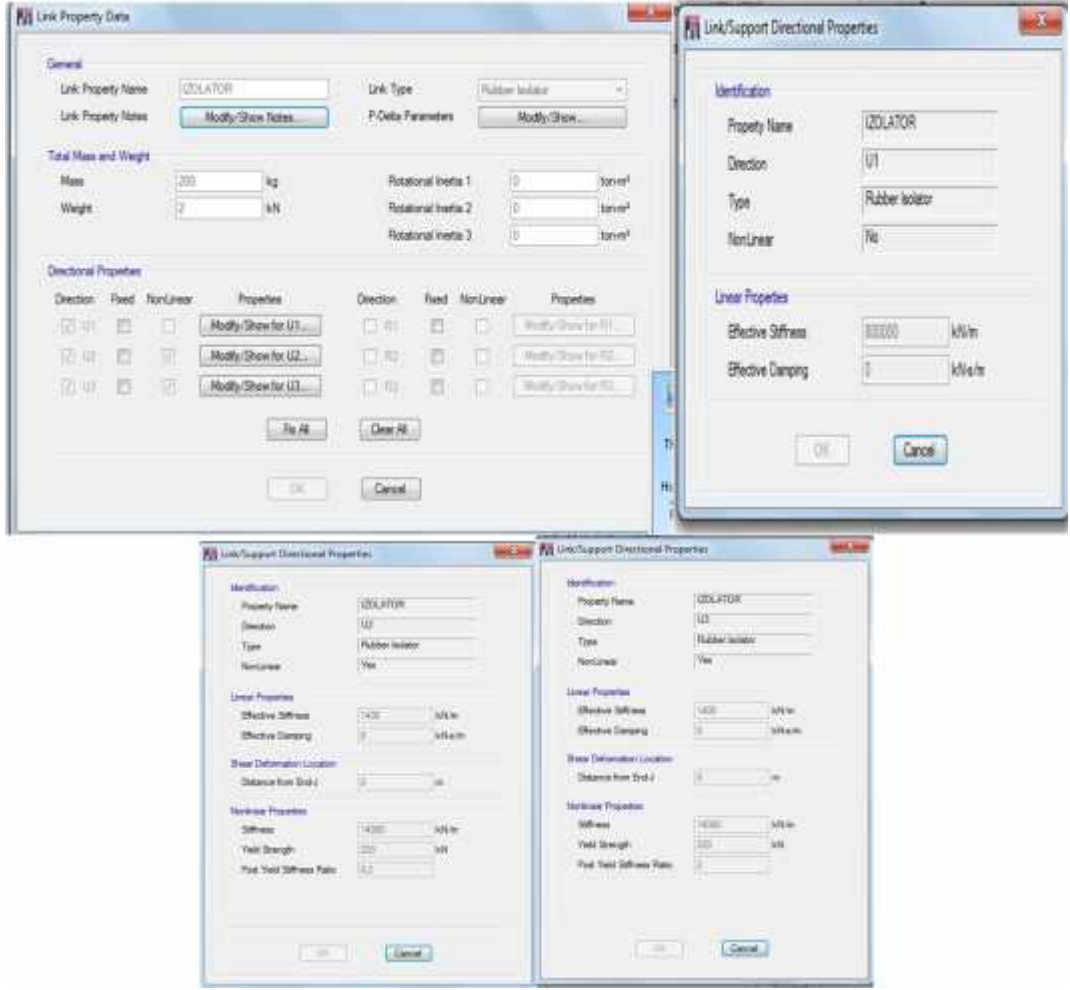
**Çizelge 13.3.** zolatör tipi özellikleri

Parametre	
U1(düey) yönünde nonlineer rijitlik [kN/m]= $K_v$	800000
U2(yatay) yönünde nonlineer rijitlik [kN/m]= $K_h$	1400
U2(yatay) yönünde akma dayanımı [kN]= $F_y$	220
U2 yönünde akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı = $K_d/K_u$	0.2
U3(yatay) yönünde nonlineer rijitlik [kN/m]= $K_H$	1400
U3(yatay) yönünde akma dayanımı [kN]= $F_y$	220
U3(yatay) yönünde akma sonrası rijitliğin akma öncesi oranı = $K_d/K_u$	2

izolatörlerin ETABS programıyla nasıl tanımlanacağına dair detaylar ise ekil 13.4’ de özetlenmiştir.

Define  $\Rightarrow$  section properties  $\Rightarrow$  Link Properties  $\Rightarrow$  Modify – Show property.

adımlarını aşağıdaki ekillerdeki adımlar takip eder.



ekil 13.4. ETABS ile izolatör özelliklerinin tanımlanması

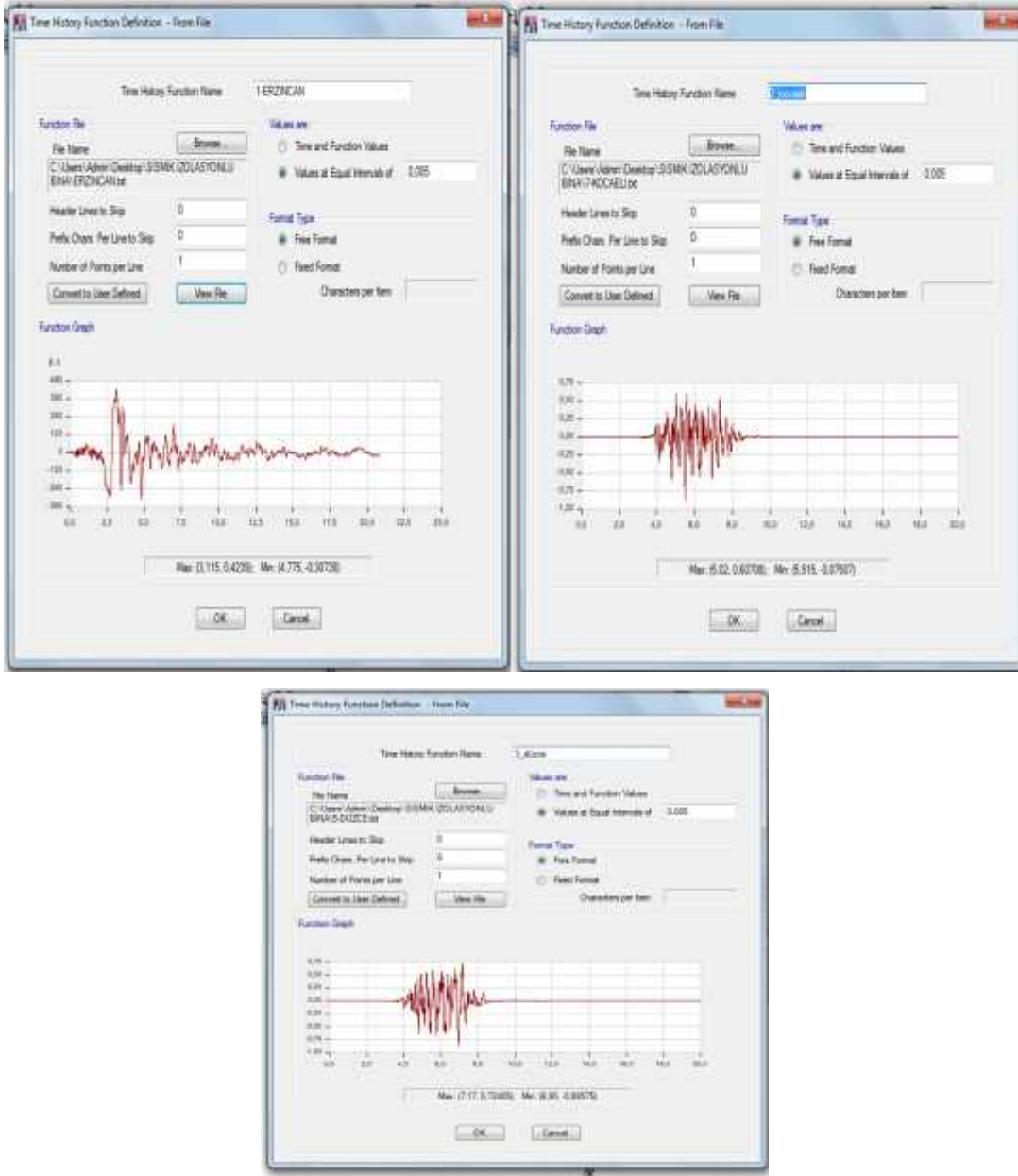
### 13.2.2 Zaman tanım alanında çözüm ile analiz

Yapı yüksekli i 11 m' den fazla oldu u için ve yapı kat sayısı 3' ten fazla oldu u için izolasyon sisteminin tasarımında zaman tanım alanında çözüm metodu (time history analysis) uygulanacaktır. Bu çalı mada 50 yılda a ılma olasılı ı %10 olan tasarım depremi seviyesinin özelliklerini kar ılayan ve en büyük ivme de erleri sırasıyla kullanmı tir.

Bu ivme kayıtlarına ilave olarak sisteme bir de dü ey yük ivme fonksiyonu tanımlatılacaktır. Zaman tanım alanında çözüm için tanımlanan ivme fonksiyonları ekil 13.5' te özetlenmektedir.

Bu ivme kayıtları 0.005 saniyelik zaman artımları ekinde yapıya etkilecektir.

Define  $\Rightarrow$  Time history functions  $\Rightarrow$  Add new function from file seçene i ile önceden tanımlanmış olan ivme kaydı text dosyası seçilir.



**ekil 13.5.** ETABS ile kullanılan Erzincan ve Düzce ve Kocaeli deprem ivme fonksiyonları

Deprem yüklemesi 0.005 saniyelik zaman artımlarının 5000 kez iterasyonu ile toplamda 25 saniyelik bir deprem süresini oluşturacak şekilde tanımlanmıştır.

ivme fonksiyonları için de 1\_ERZINCAN\_THA ,2\_KOCAELI\_THA ,3\_DÜZCE\_THA modelde tanımlanmıştır. Burada unutulmaması gereken husus;

sistemin izolatörlü olarak tasarlanma a amasında zaman tanım alanında tanımlanan tüm deprem yük birle imlerinin I/R katsayısı oranında büyütülmesi gerekti idir. Burada I, bina önem katsayısı hastane yapısı için 1 , R süneklik düzeyi katsayısı ise 2 alınırsa yük artırım katsayısı (scale factor) 0.75 olur. Burada yük artırım katsayısının 1 alınmasının sebebi yalıtımlı model ile yalıtımsız model arasındaki dinamik kar ıla tırlmaların yapılmasını kolayla tırmak içindir.

### 13.3 Analiz sonuçlarının kar ıla tırılması

#### 13.3.1 Yapının birinci, ikinci ve üçüncü mod do al titre im periyotları

Yapının klasik yöntemle göre ve sismik izolatörlerle modellenmi sistemlerin analizi sonucunda elde edilen birinci ve ikinci mod do al titre im periyotları Çizelge 13.4' de verilmi tir. Buna göre yapı sismik izolatörlü olarak tasarlandı nda yapının do al titre im periyodu klasik yöntemle tasarıma kıyasla 3.5 kat mertebesinde artmaktadır.

**Çizelge 13.4.** Yapı birinci, ikinci ve üçüncü mod do al titre im periyotları

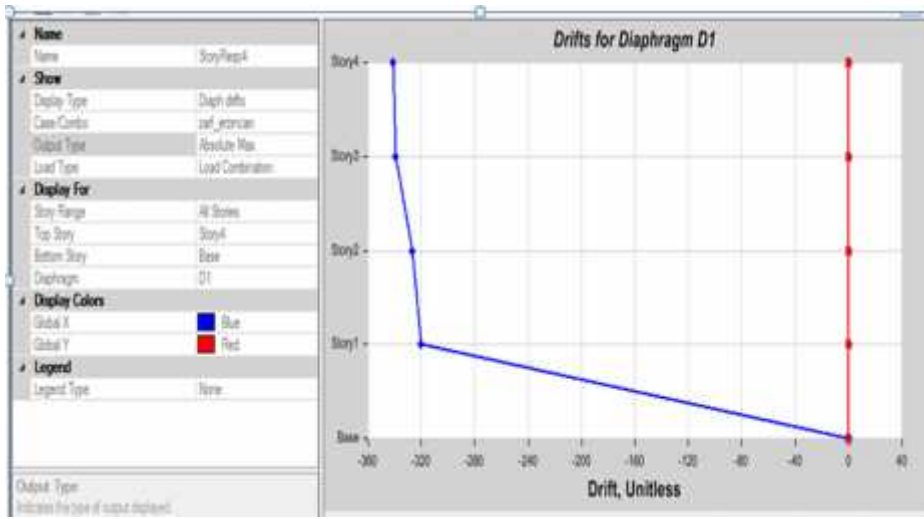
Klasik Yöntem Uygulanmı Durum			Sismik zolatör Uygulanmı Durum		
Modlar	Periyot (saniye)	Do rultu	Modlar	Periyot (saniye)	Do rultu
1	0.537	Burulma	1	1.574	Burulma
2	0.526	Y	2	1.572	Y
3	0.459	X	3	1.368	X

#### 13.3.2 Göreli kat yer de i tirmeleri

Yalıtımlı model ve yalıtımsız model için R=1 alınarak 50 yılda a ılma olasılı ı %10 olan tasarım depremi seviyesindeki üç adet benze tirilmi ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında lineer olmayan çözüm yapılmı ve bu ivme fonksiyonlarının yapı için en elveri siz olanı ETABS programının zarf (envelope) yük birle tirmesi özelli i kullanılarak bulunmu tur. Zarf (envelope)yük birle tirmesi ile göreli kat yer

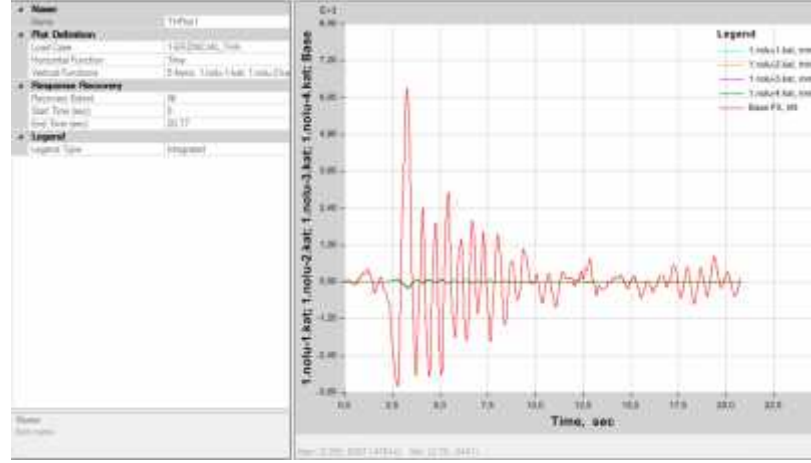
de i tirmeleri kontrolü ETABS tarafından otomatik olarak yapılabilmektedir. Bunun için zarf (envelope) yük birle tirmesinde seçilen herhangi bir nokta (point) üzerine gelinerek sa tıklanır ve story drift sütunu okunur. Göreli kat yer de i tirmeleri ETABS' ın yapı analiz sonuç tabloları bölümünden de okunabilir.

ekil 13.6 ve ekil 13.7' den de görülece i üzere; sismik yalıtım uygulanan modellerde yapı her iki do rultu için de hemen hemen bir rijit cisim gibi davranmı ve göreli kat ötelemeleri oranı birbirine çok yakın ve dü ük seviyelerde çıkmı tır.



ekil 13.6. Yalıtımlı göreli kat yer de i tirmeleri oranı (zarf\_Erzincan)

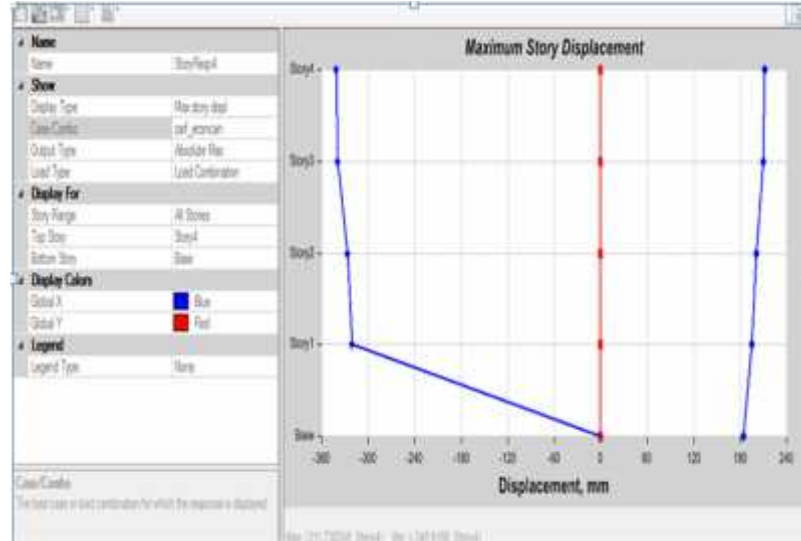




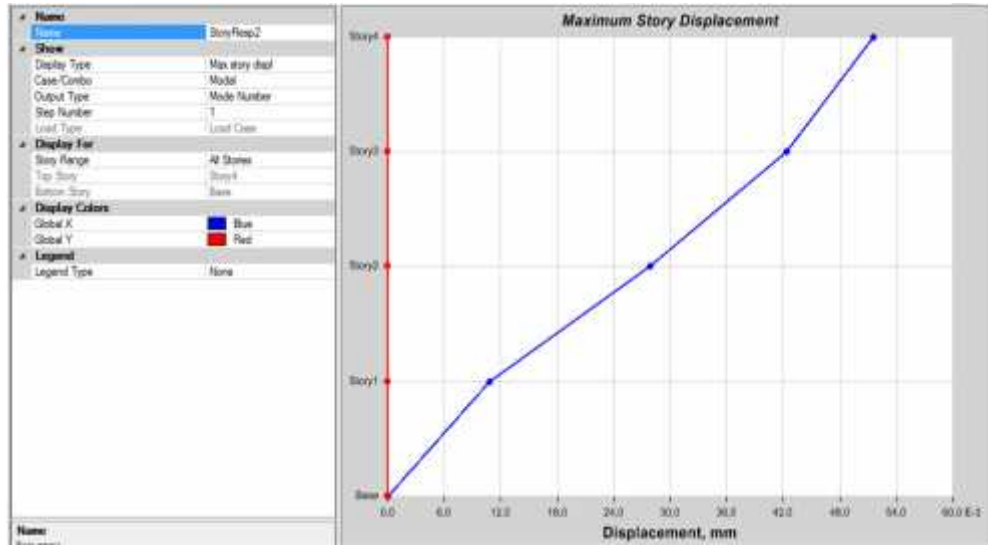
ekil 13.7. Yalıtımlı yapı -diyafram sürüklenmesi (1\_Erzincan\_THA)

### 13.3.3 Maksimum kat yer de i tirmeleri

ekil 13.8 ve ekil 13.9' dan de görülece i üzere yalıtımsız modele göre yalıtımlı modeldeki toplam kat yer de i tirmelerinin zemin kattan en üst kata kadar homojen bir ekilde yayılarak ciddi bir ekilde arttı ı görülmektedir.



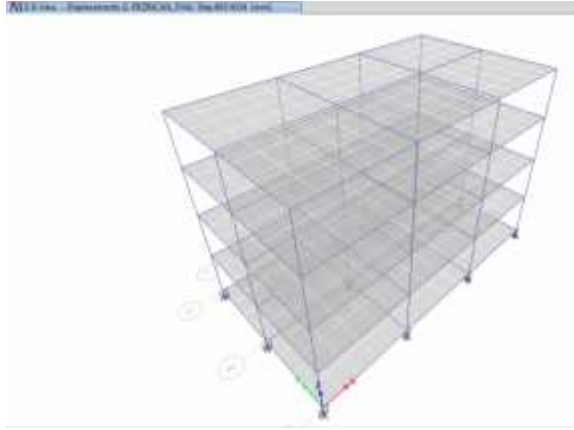
ekil 13.8. Yalıtımlı model maksimum kat yer de i tirmeleri (Erzincan)



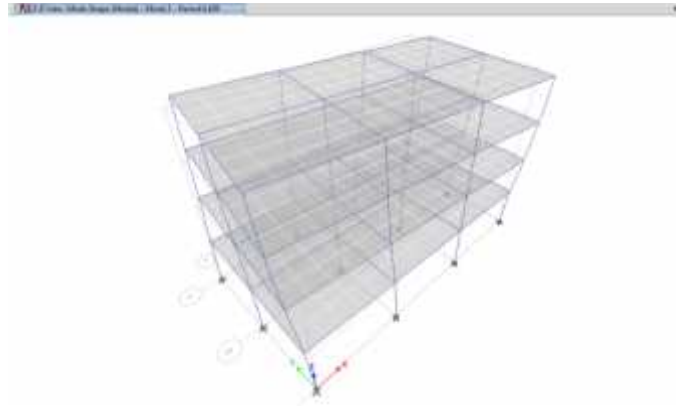
ekil 13.9. Yalıtımsız model maksimum kat yer de i tirmeleri

### 13.3.4 Deprem yer hareketleri

ekil 13.10 ve ekil 13.11’ den görülece i üzere yalıtımlı ve yalıtımsız modeldeki deprem yer hareketleri de erlerinin görülmektedir. Tasarım a amasındaki en önemli arametrelerden biri olan period de erindeki bu azalım sismik izolatör uygulamanın avantajını çok belirgin bir ekilde ortaya koymaktadır.



ekil 13.10. Deprem yer hareketleri (yalıtımlı)



ekil 13.11. Deprem yer hareketleri (yalıtımsız)

Bunların dı ında ayrıca EK B’ de yalıtımlı ve yalıtımsız modelle ilgili olarak a a ıda belirtilen grafikler sunulmu tur.

- Yalıtımsız yapı 3 boyutlu ETABS modeli.
- Yalıtımlı yapı 3 boyutlu ETABS modeli.
- Yalıtımsız model ilk üç mod deformasyon ekileri.
- Yalıtımlı model ilk üç mod deformasyon ekileri.

- Yalıtımsız model kat yer de i tirmesi.
- Yalıtımlı model kat yer de i tirmesi.
- Yalıtımlı model zati yer de i tirmesi.

## 14. SONUÇLAR VE TARTI MA

Bu tez çalışmasında, çerçevesel bir yapı taşıyıcı sistemine sahip 4 katlı bir betonarme yapı öncelikle klasik yöntemle (kapasite tasarımı ilkesi) göre tasarımı yapılmı ; ardından ise klasik yöntemle göre tasarımı tamamlanmış olan yapının kesit ölçüleri baz alınarak kaydıyla mevcut yapı bir kez de kur un çekirdekli kauçuklu izolatörler kullanılarak tasarlanmıştır. Böylelikle hem sismik yalıtım uygulanarak hem de sismik yalıtım uygulanmadan tasarlanan yapının zaman tanım alanında lineer olmayan analizleri baz alınarak dinamik karakteristiklerinin karşılaştırılmasının yapılması ve sismik yalıtıcıların karakteristik özelliklerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Zaman tanım alanında lineer analizde kullanılmak üzere 50 yılda aılma olasılığı %10 olan tasarım depremi seviyesindeki 25 saniye süreli ivme kaydından faydalanılmıştır. Ayrıca zaman tanım alanında lineer olmayan analiz yapılırken izolatör tasarımı için  $R=2$ , taban ankastreli çözüm için  $R=8$  alınmıştır. Taban izolasyonlu çözüm için bulunan iç kuvvetler taban izolasyonsuz çözüm için bulunan iç kuvvetlerden daha büyük çıkmaktadır. Bunun sebebi  $R$  deprem yükü azaltma katsayısının taban izolasyonlu çözüm için taban izolasyonsuz çözüme göre çok daha küçük olmasıdır. Bu nedenle deprem yükü azaltma katsayısı  $R=1$  alınarak karşılaştırılmanın kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

- Sismik izolasyon uygulanmış modelde yapı periyodu ciddi bir oranda büyüyerek hem deprem taban ciddi bir azalma olmuş hem de zemin periyodundan uzaklaşarak rezonans riski çok büyük bir oranda engellenmiştir. Taban ankastreli çözüm için yapı periyodu 0.537 saniye iken taban izolasyonlu durum için yapı periyodu 1.574 saniyedir.
- Sismik izolasyon uygulanmış modelde katların rölatif ötelemeleri birbirlerine göre çok yakınsa toplam kat yer de i tirmelerinde yalıtımsız yapıya oranla belirgin bir artış olmuştur.
- Sismik izolasyon uygulanmış modelde katların rölatif ivmelerinde azalma olduğu görülmüştür.

- Sismik izolatör tasarımı için  $R=2$ , taban ankastreli çözüm için ise  $R=8$  alındığında izolasyonlu çözüm için bulunan iç kuvvetlerde izolasyonsuz çözüme kıyasla belirgin bir artış olmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] Mayes, R.L., Jones, L.R. and Kelly, T.E., “Impediments to the Implementation of Seismic Isolation”, *Earthquake Spectra*, 6, 2, 283-296, 1990.
- [2] Giuliani, G., C., “Structural design, analysis and full-scale tests of seismically isolated buildings” *Engineering Structures*, 15, 2, 102-116, 1993.
- [3] Komodromos, P., “Seismic Isolation for Earthquake-Resistant Structures”, WIT Press, Southampton, Boston, 2000, 1-199.
- [4] Pekgökgöz, R.K., “Deprem Yükleri Etkisi Altındaki Yapı Davranımının Yarı-Aktif Akı kanlı Sönümleyiciler ve Sismik Taban Yalıtım Sistemleri Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, .T.Ü., 2005.
- [5] ALDEM R, Ü., AYDIN, E., 2005, Depreme Dayanlı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435:81-88.
- [6] ASHER, J., W., YOUNG, R., P., EWING, R., D., 2001, Seismic Isolation Design Of The Arrowhead Regional Medical Center, *The Structural Design Of Tall Buildings*, 10:321-334.
- [7] Bayülke, N., 2002. Yapıların Deprem Titreşiminden Yalıtımı, Sistem Ofset Yayınları, İstanbul.
- [8] Pınarbaşı, S., Akyüz, U., 2005. Sismik izolasyon ve Elastomerik Yastık Deneçleri, *MO Teknik Dergi*, 237, 3581-3598.
- [9] Tezcan, S. ve Cimilli, S., 2002. Seismic Base Isolation. Yüksek Öğretim ve Araştırma Vakfı, İstanbul.
- [10] Hoşbaşı, A.B., 2006. Çok katlı betonarme yapının sismik izolatörlerle modellenmesi ve yapının perdelerle güçlendirilmiş durumu ile karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Güneş, N., 2011, .Binaların Sismik Taban Yalıtımı, İnşaat Mühendisleri Odası Meslekçi Eğitim Seminerleri.
- [12] Erdik, M., Binalarda Deprem Yalıtımı ve Ülkemizdeki Uygulamalar .
- [13] Kelly, T., 2001. Base Isolation Design Of Structures; Design Guidelines, Wellington, New Zealand.
- [14] Love, J., Tait, M., and Toopchi-Nezhad, H. (2011). "A hybrid structural control system using a tuned liquid damper to reduce the wind induced motion of a base isolated structure." *Engineering Structures*, 33(3), 738-746.
- [15] Soong, T.T., Dargush G. H., “Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering” John Wiley & Sons, Inc. New York NY., 1997.
- [16] Soong, T.T., Constantinou, M. C., “Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering” Springer-Verlag, New York, Inc., 1994.

- [17] Tushar kanti datta , sismik analysis of structures.2010.9,369-375.
- [18] G. D. Hahn ve K. R. Sathiavageswara “Effects of Added-Damper Distribution on The Seismic Response of Building” *Comp. Struct.* 43(5), 941-950 (1992) .
- [19] Mahendra P. Singh ve Luis M. Moreschi “ Optimum Seismic Response Control With Dampers” *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 30: 553-572 (2001).
- [20] E. Aydin, M. H. Boduroglu, 2008. Optimal Placement of Steel Diagonal Braces for Upgrading The Seismic Capacity of Existing Structures and Its Comparison With Optimal Dampers, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 64, Issue 1, pp 72-
- [21] Tyler, R.G., Further Notes On A Steel Energy-Absorbing Element For Braced Frameworks, *Bulltein of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 18(3), 270-279, 1985.
- [22] Whittaker A.S., Bertero V.V., Alonso J.L. and Thompson C.L., *Earthquake Simulator testing of Steel Plate Added Damping and Stiffness Elements*. Report no: UCB/EERC-89/02, University of California, Berkeley, 1989 .
- [23] Aiken, I.D. and Kelly, M., *Earthquake Simulator Testing and Analytical Studies of Two Energy-Absorbing Systems For Multistory Structures*, Report No: UCB/EERC-90/03, University of California, Berkeley, U.S.A., 1990.
- [24] Pall, A:S. and Marsch C., *Response of Friction Damped Braced Frames*, *J: Struc. Engrg.*, ASCE, 108(6), 1313-1323, 1982 .
- [25] Aiken, I.D., *Proceedings, Los Angeles County and Seasc Symposium on Passive Energy Dissipation Systems for New and Existing Buildings*, Los Angeles, July 1996.
- [26] KÖSEDA , S.B., 2002,Yapılarda Sismik zolasyon, Yüksek Lisans Tezi, YıldızTeknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, n aat Mühendisli i Anabilim Dalı, YapıProgramı, stanbul.
- [27] BAYÜLKE Nejat , *Yapıların Deprem Titre imlerinden Yalıtımı*, Martı, stanbul, 2002.
- [28] Komodromos, P., 2000. *Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures*, *Advances in Earthquake Engineering*, WIT Press, Southampton, Boston.
- [29] Furukawa, T., Ito, M., Izawa, K. and Noori, M. N., 2005. System Identification of Base-Isolated Building Using Seismic Response Data, *Journal of Engineering Mechanics*, 131, 268-275.
- [30] SEAOC, 1989. *General Requirements for the Design and Construction of Seismic Isolated Structures*,*Structural Engineers Association*, California.
- [31] *Uniform Building Code (UBC)*, 1994. *Earthquake Regulations for SeismicIsolatedStructures*.
- [32] Naeim, F., Kelly, J.M., 1999. *Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice*, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [33] Ryan, K.L. and Chopra, A.K., 2006. Estimating Seismic Demands for Isolation Bearings with Building Overturning Effects, *Journal of Structural Engineering*, 132, 1118-1128.
- [34] Madden, G.J., Symans, M.D. and Wongprasert, N., 2002. Experimental Verification of Seismic Response of Building Frame with Adaptive Sliding Base-Isolation System, *Journal of Structural Engineering*, 128, 1037-1045.



- [35] Ba tu , B.K., 2004. Yapı Sistemlerinde Depreme Kar ı Sismik zolatör Kullanılması,Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, stanbul.
- [36] Celep, Z., Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisli ine Giri ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Da ıtım, stanbul.
- [37] Ryan, K.L., Kelly, J.M. and Chopra, A.K., 2005. Nonlinear Model for Lead–Rubber Bearings Including Axial-Load Effects, Journal of Engineering Mechanics, 131,1270-1278.
- [38] Yoshida, J., Abe, M., Fujino, Y. and Watanabe, H., 2004. ThreeDimensional Finite-ElementAnalysisof High Damping Rubber Bearings, Journal of Engineering Mechanics,130,607-620.
- [39] Stewart, J.P., Conte, J.P. and Aiken, I.D., 1999. Observed Behaviour of Seismically Isolated Buildings, Journal of Structural Engineering, 125, 955-964.
- [40] Tezcan, S.S. and Cimilli, S., 2002. Seismic Base Isolation, Yüksek Ö renim E itim ve Ara tırma Vakfı, stanbul.
- [41] Ayhan, O., 2006. Binaların depreme kar ı güçlendirilmesinde klasik yöntem ile sürtünmeli sarkaç sistemlerin kar ıla tırılması,Yüksek LisansTezi, .T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, stanbul.
- [42] Lee, D. M., “Base isolation for torsion reduction in asymmetric structures under earthquake loading”,Earthquake And Engineering Structural Dynamics, 8:349-359 (1980).
- [43] Wan, Y., “Modelling, analysis and comparative study of several seismic passive protective systems for structures”, Master of Science,Rice University, Hoüston, 193-196 (1997).
- [44] Tuna, M. E., “Köprüler ve dinamik izolasyon mesnetleri”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi., 11(2): 401-411 (1998).
- [45] Fujita, T., “Seismic isolation of civil buildings in Japan”, Progress In Structural Engineering And Materials, 1: 295-300 (1998).
- [46] Kelly, J.M., “Seismic isolation of civil buildings in the USA”, Progress In Structural Engineering And Materials, 1(3): 279-285 (1998).
- [47] Moroni, M. O., Sarrazin, M. And Boroschek, R., “Experiments on a base-isolated building in Santiago, Chile”,Engineering Structures, 20(8): 720-725(1998).
- [48] Chung, W., Yun, C., Kim, N. And Seo, J. W., “Shaking table and pseudodynamic tests for the evaluation of the seismic performance of baseisolated structures”,EngineeringStructures, 24(4): 365-379 (1999).
- [49] Robinson, W. H., “Seismic isolation of civil buildings in New Zealand”, Progress In Structural Engineering And Materials, 2: 328-324 (2000).
- [50] Ramirez, O. M., “Development and evaluation of simplified procedures for the analysis and design of buildings with passive energy dissipation systems”, Ph.D.Thesis,Faculty Of The Graduate School Of State University Of New York,Buffalo, 100-110 (2001).
- [51] Süt, S., “Taban izolasyonlu yapıların dinamik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Elazı , 71-73 (2001).
- [52] Mazzolani, F. M., “Passive control technologies for seismic-resistant buildings in Europe”,Progress In Structural Engineering And Materials, 3: 277-287 (2001).

- [53] Zhou, F. L., “Seismic isolation of civil buildings in The People’ s Republic Of China”,*Progress In Structural Engineering And Material*, 3: 268-276 (2001).
- [54] Wu, Y. M. And Samali, B., “Shake table testing of a base isolated model”,*Engineering Structures*, 24: 1203-1215 (2002).
- [55] Melkumyan, M. G., “Seismic isolation of civil buildings in Armenia”, *Progress In Structural Engineering And Materials*, 4: 344-352 (2002).
- [56] Çalır, C. M., “Yapılarda taban izolasyon sistemleri”, Yüksek Lisans Tezi, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 76-79 (2002).
- [57] Köseada, S. B., “Yapılarda sismik izolasyon”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 133-181 (2002).
- [58] Matsagar, V. A. And Jangid, R. S., “Seismic response of base-isolated structures during impact with adjacent structures”,*Engineering Structures*, 25 (10): 1311-1323(2003).
- [59] Zhou, X.Y., Han, M. And Yang, L., “Study on protection measures for seismic isolation rubber bearing”,*ISET Journal Of Earthquake Technology*, 40(2): 137-160 (2003).
- [60] Alhan, C., And Gavin, H. P., “Parametric analysis of passive damping in base isolation”,*16th ASCE Engineering Mechanics Conference*, Seattle, 1-8 (2003).
- [61] Mezzi, M., Parducci, A. And Verducci, P., “Architectural and structural configurations of buildings with innovative aseismic systems”,*13th WorldConference On Earthquake Engineering*, Canada, 1-6 (2004).
- [62] Alhan, C., Gavin, H. P., “Reliability of base isolation for the protection of critical equipment from earthquake hazards”,*Engineering Structures*, 27(9): 1435-1449(2005).
- [63] Bratosin, D., “Seismic base isolation- non linear implication in period-shift choice”,*Proceedings Of The Romanian Academy -Series A: Mathematics,Physics,Technical Sciences*, 6(3): 249-258, 2005.
- [64] Pavlou, E., “Performance of primary and secondary systems in buildings with seismic protective systems”, Ph.D. Thesis,*Faculty Of The Graduate School Of State University Of New York, Buffalo*, 161-168 (2005).
- [65] Naeim, F. And Kelly, J.M., “Design of Seismic Isolated Structures”, John Wiley and Sons, New York, 12-23,63-80, 93-100 (1999).
- [66] Komodromos, P., ‘ Seismic Isolation For Earthquake- Resistant Structures”,*Witpress*, Boston, 10-30, 62-85, 98-109 (2000).
- [67] Jangid, R. And Datta, T., “Seismic behaviour of base isolated buildings: a state of art review”,*Proc. Instn Civil Engineers Structures And Buildings*, 110: 186-203(1985).
- [68] Aldemir, Ü. Ve Aydın, E., “Depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar”,*TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435 (1): 81-89 (2005).
- [69] Robinson, W.H., “Passive control of structures, the New Zealand Experience”,*ISET Journal of Earthquake Technology*, 35(4); 63-75 (1998).
- [70] Komodromos, P., 2000. *Seismic Isolation for Earthquake Resistant Structures*, Advances in Earthquake Engineering, WIT Press, Southampton, Boston.

- [71] İnternet: İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülteni, “Köprü ve viyadüklerin depreme dayanıklı olarak projelendirilmesi ve deprem izolatörleri”, (2010).
- [72] Erdik, M., “Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar”, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 181-205 (2007).
- [73] Roussis, C. P., Constantinou, M. C., Erdik, M., Durukal, E., And Dicleli, M., “Assesment of performance of seismic isolation system of Bolu viaduct”, Journal of Bridge Engineering, 8 (4), 182-190 (2003).
- [74] Mceer Buffalo Üniversitesi, “ Seismic Evalution and Retrofit of the Ataturk International Airport terminal building”,(2007).
- [75] Yılmaz, Ç., Booth, E. And Sketchley, C., “ Retrofit of Antalya airport international terminal building, Turkey using seismic isolation”,Fifth European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, 1-10 (2006).
- [76] Sadek, F.,Mohraz, B.,Taylor, A., Chung, R.M., “Passive energy dissipation devices for seismic applications”,NISTIR 5923, Gaithersburg, 11-45 (1996).
- [77] Aydın, E.Ö., Fahjan, Y.M. Ve Çömlekçio lu, R., “Deprem bölgelerindeki tarihi kagir yapıların güçlendirilmesinde yeni teknikler”,International EarthquakeSymposium, Kocaeli, 636-644 (2007).
- [78] Georges Perrot, Charles Chipiez (1892). İnan’ da sanat tarihi . Chapman and Hall, sınırlı. pp 336-43 ve diğ erleri.
- [79] Ali Sami (1956) Pasargadae: eski imparatorluk baş kenti . Musavi Matbaası. pp 90-94.
- [80] YOZGAT, E., HÜSEM, M., 2005, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında KullanılabilenYapı Kontrol Sistemleri,TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası zmir şubesi HaberBülteni, 121(4), 21-26.
- [81] SUCUO LU, H., 1999, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı,Bilim ve Teknik Dergisi,382:58-62.
- [82] YOZGAT, E., HÜSEM, M., 2005, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında KullanılabilenYapı Kontrol Sistemleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası zmir şubesi HaberBülteni, 121(4), 21-26.
- [83] SKINNER, R., I., KELLY, J., M., HEINE, A., J., 1975, Hysteretic Dampers for Earthquake Resistant Structures,Earthquake Engineering and Structural Dynamics,3:287-296
- [84] KOMODROMOS, P., 2000,Seismic Isolation For Earthquake-Resistant Structures, WIT Press, ISBN: 1-85312-803-1.
- [85] KELLY, E.T., 2001, In-Structure Damping And Energy Dissipation, Design Guidelines, Holmes Consulting Group.
- [86] International Conference Of Building Officials, “Earthquake Regulations For Seismic-Isolated Structures”,Uniform Building Code, Chapter 23, Whittier, CA,(1997).
- [87] Koçak, A., “Tarihi yapıların statik ve dinamik yükler altında lineer ve non-lineer analizi,: Küçük Ayasofya Camii örne ği”, Doktora Tezi,Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-30 (1999).
- [88] Yang, T.Y., “Finite Element Structural Analysis”, Pearson Education, New Jersey, 80-100 (1986).

- [89] Sap2000, “Integrated Structural Analysis and Design Software”, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, (2005).
- [90] Celep, Z. Ve Kumbasar, N., “Yapı Dinami i ve Deprem Mühendisli ine Giri ”, Sema Matbaacılık, stanbul, 12 (1996)
- [91] Avcı, Y., 2007. Çerçevelerden olu an bir okul binasının taban izolatörleri kullanılarak güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, stanbul.
- [92] Do an, Ö., 2007. Sismik taban izolasyon sistemleri ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- [93] Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000.ETABSBetonarme Çerçeve Boyutlama Klavuzu, CSI, Berkeley.
- [94] T.Y., ETABS Betonarme Çerçeve Boyutlama Klavuzu ACI 318-05/ IBC 2006, CSI, Berkeley.
- [95] Kasimzade A.A.,Tuhta S., Estimation of Sensitivity and Reliability base Isolation Buildings under Earthquake Action, International Symposium on Network and Center-Based for SMART STRUCTURE TECHNOLOGIES AND EARTHQUAKE ENGINEERING, July, 2004 Osaka, Japan.
- [96] Kasimzade A.A., Structural Dynamics: Fundamentals and Application on Earthquake Engineering, Second Edition, 2005, p.527.
- [97] <http://www.dis-inc.com/technical.html> .
- [98] <http://www.oiles.co.jp/en/menshin/building/index.html>.
- [99] <http://www.robinsonseismic.com/products/lrb.html>.
- [100] <http://www.emke.com.tr>.

## **EKLER**

**EK A:** UBC 97' de yer alan izolatör tasarımıyla ilgili çizelgeler.

**EK B:** Yalıtımsız ve yalıtımlı model betonarme sonuçları.

**EK C:** Maksimum yer de i tirme.

**EK A:****Çizelge A.1. Sismik Bölge Faktörü**

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

**Çizelge A.2. Zemin Profili Tipi**

Zemin profili tipi	Zemin profili tanımı	Zemin yüzeyinden 30,5 içindeki tabakanın ortalama zemin özellikleri		
		Kayma dalgası hızı, $v_s$ (m/s)	Standart penetrasyon test, N(Darbe /30 cm)	Drenajsiz kesme Direnci, $s_u$ (Kpa)
S <sub>A</sub>	Sert kaya	>1500	-	-
S <sub>B</sub>	Kaya	760-1500	-	-
S <sub>C</sub>	Sıkı toprak ve yumu ak kaya	360-760	>50	>100
S <sub>D</sub>	Sert toprak	180-360	15-50	50-100
S <sub>E</sub>	Yumu ak toprak	<180	<15	<50
S <sub>F</sub>	Yerel zemin sınıfına ba lı de erlendirme gerekir . sıvıla ma tehlikesi bulunan zayıf zeminleri temsil eder,			

**Çizelge A.3. Sismik Kaynak Tipleri**

Sismik kaynak tipi	Sismik kaynak özellikleri	Sismik kaynak tanımı	
		Maksimum moment büyüklü ü (M)	Kayma hızı, SR(mm/yıl)
A	Büyük depremler olu turabilecek yüksek oranda sismik aktiveye sahip fay hatları	$M \gg 7,0$	$S_R \gg 5$
B	Tip A ve C' nin 1 indaki tüm fay hatlar	$M \gg 7,0$ $M < 7,0$ $M \gg 6,5$	$S_R < 5$ $S_R > 2$ $S_R > 2$
C	Büyük depremler olu turamayacak ve dü ük oranda sismik aktiveye sahip fay hatları	$M < 6,5$	$S_R < 2$

**Çizelge A.4. Sismik Katsayı,  $C_a$** 

Zemin profili tipi	Sismik bölge faktörü				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
S <sub>A</sub>	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32N <sub>a</sub>
S <sub>B</sub>	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N <sub>a</sub>
S <sub>C</sub>	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40 N <sub>a</sub>
S <sub>D</sub>	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44 N <sub>a</sub>
S <sub>E</sub>	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36 N <sub>a</sub>
S <sub>F</sub>	S <sub>F</sub> zemin profiline sahip bölgelerde C <sub>a</sub> sismik katsayısı bölgenin geoteknik incenlenmesi ve dinamik tepki analizinin yapılması sonucu elde edilir .				

**Çizelge A.5. Sismik Katsayı,  $C_v$** 

Zemin profili tipi	Sismik bölge faktörü				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
S <sub>A</sub>	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32N <sub>a</sub>
S <sub>B</sub>	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 N <sub>a</sub>
S <sub>C</sub>	0,13	0,25	0,32	0,45	0,56 N <sub>a</sub>
S <sub>D</sub>	0,18	0,32	0,40	0,54	0,64 N <sub>a</sub>
S <sub>E</sub>	0,26	0,50	0,64	0,84	0,96 N <sub>a</sub>
S <sub>F</sub>	S <sub>F</sub> zemin profiline sahip bölgelerde C <sub>v</sub> sismik katsayısı bölgenin geoteknik incenlenmesi ve dinamik tepki analizinin yapılması sonucu elde edilir .				

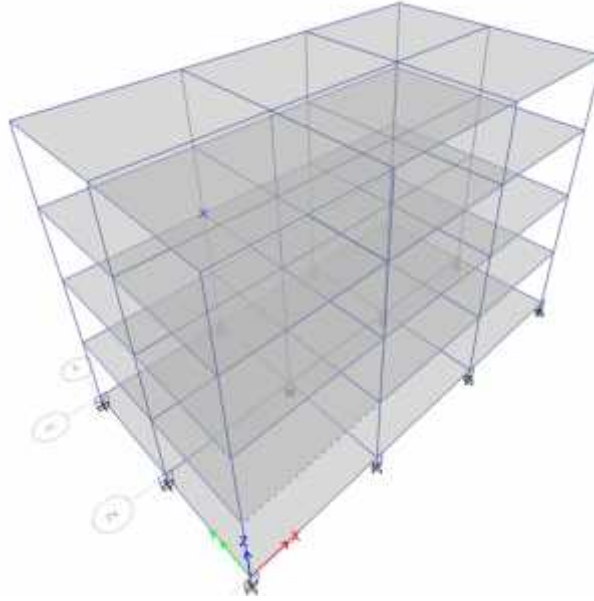
**Çizelge A.6. Beklenen maksimum depremde davranış katsayısı,  $M_M$** 

Tasarım deprem sarsıntı iddeti Z <sub>N<sub>v</sub></sub>	M <sub>m</sub>
0,075	2,67
0,15	2,0
0,20	1,75
0,30	1,50
0,40	1,25
0,50	1,20

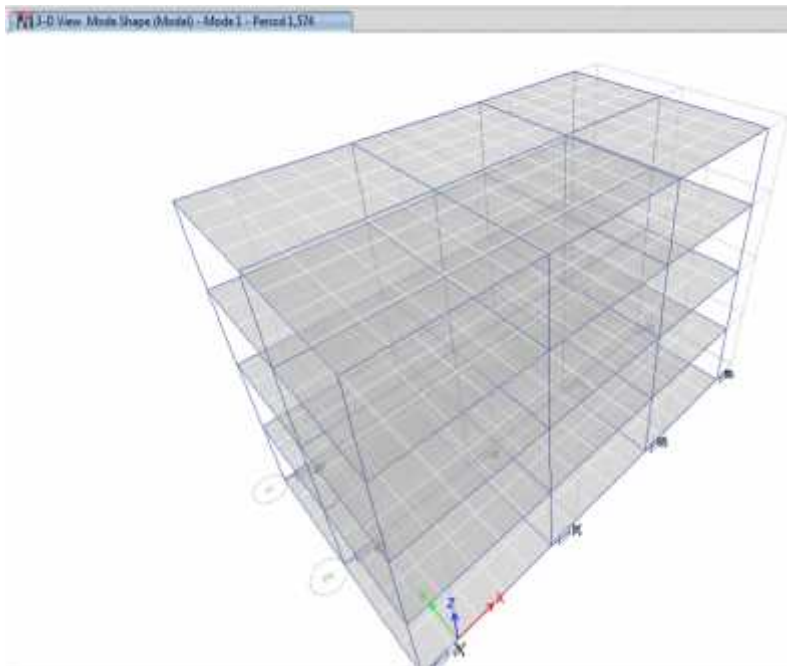
**Çizelge A.7. Ta 1yıcı sistem davranış katsayıları, R<sub>I</sub>, R**

Ta 1yıcı sistem	R <sub>I</sub>	R
Moment aktaran çerçeve	2	8,5
Perde duvar	2	5,5
Merkezi çaprazlı çerçeve	1,6	5,6
Dı merkez çaprazlı çerçeve	2	7

**EK B :**

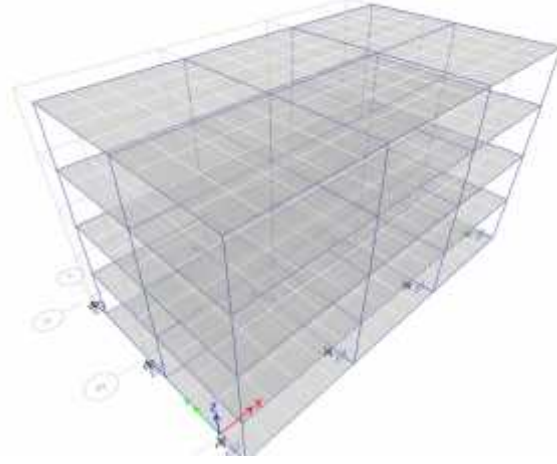


**ekil B.1.** Yalıtımlı yapı 3 boyutlu ETABS modeli

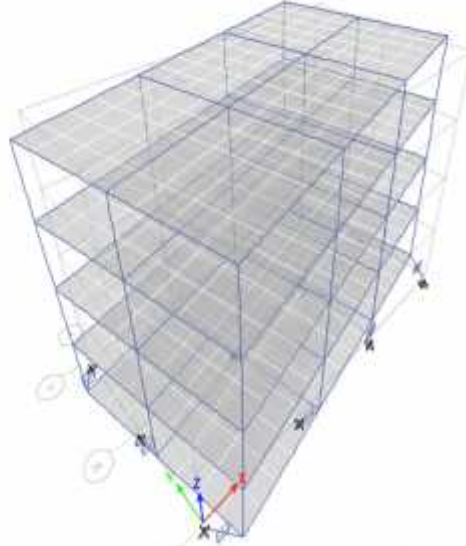




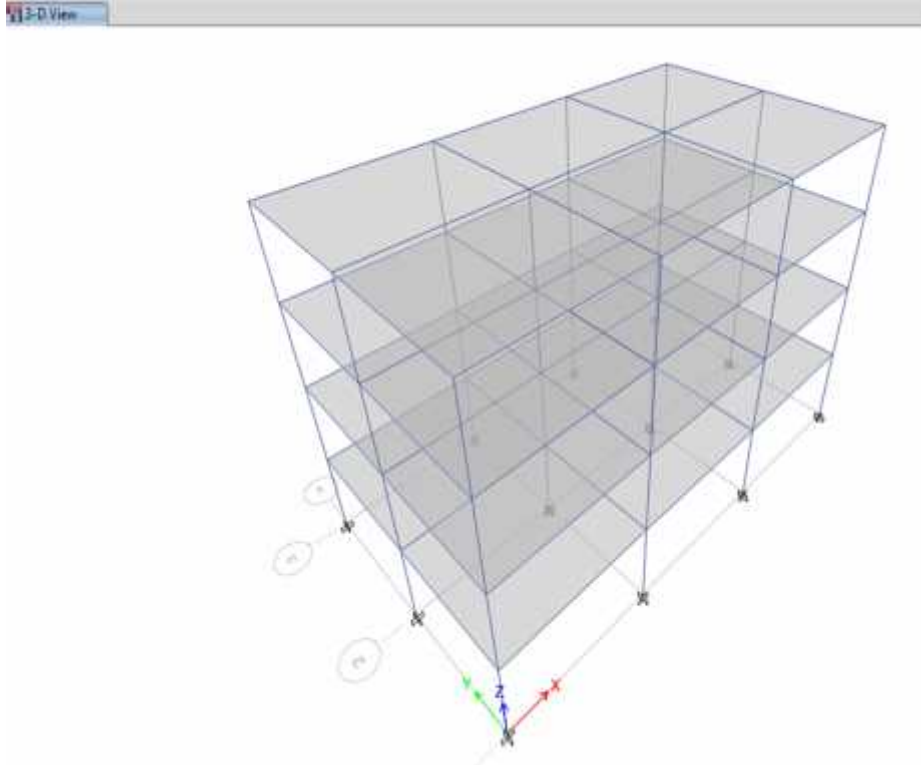
3-D View Mode Shape (Modal) - Mode 2 - Period 1.175



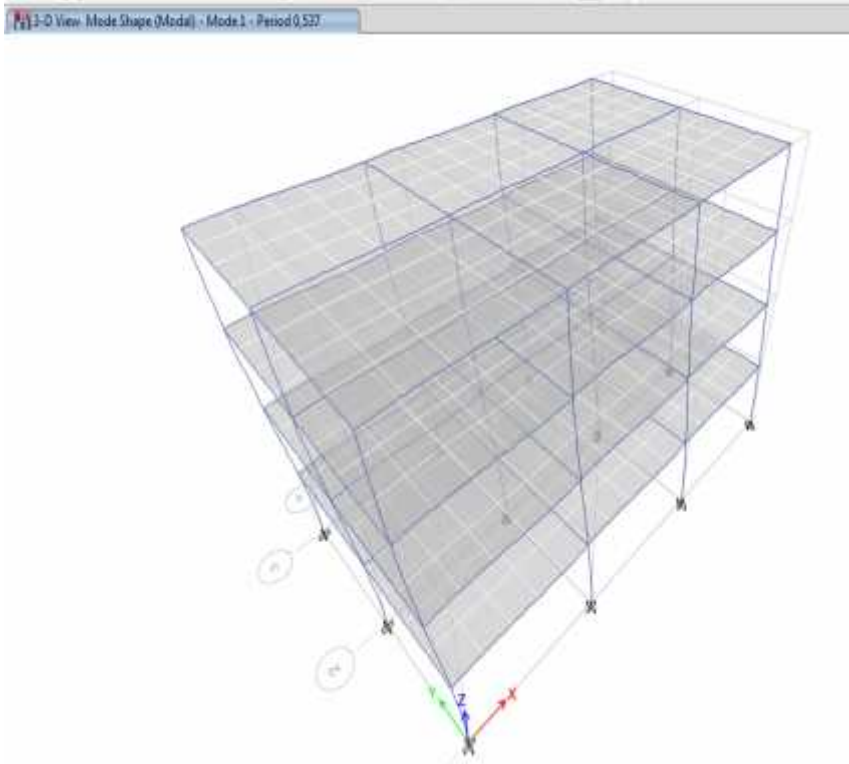
3-D View Mode Shape (Modal) - Mode 3 - Period 1.368

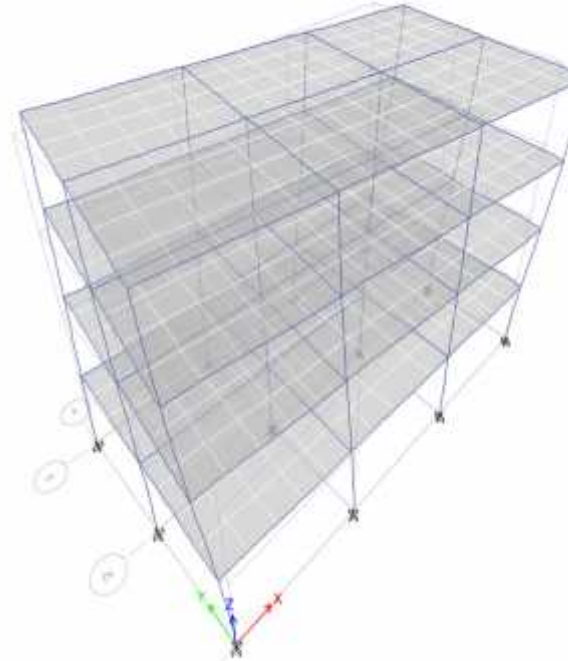
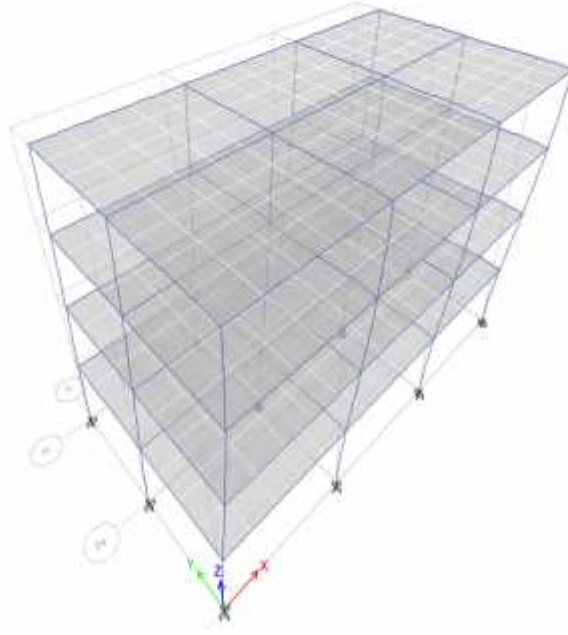


ekil B.2. Yalıtımlı yapı ilk üç mod do al titre im periyotları

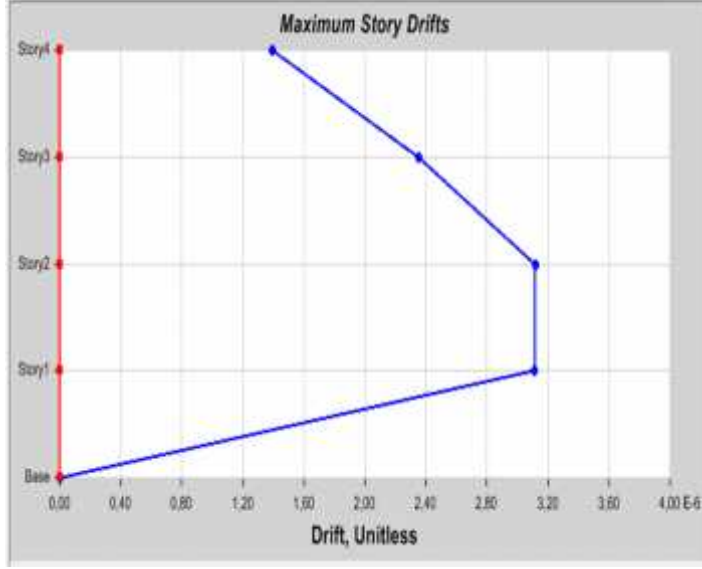


**ekil B.3.** Yalıtımsız yapı 3 boyutlu ETABS modeli

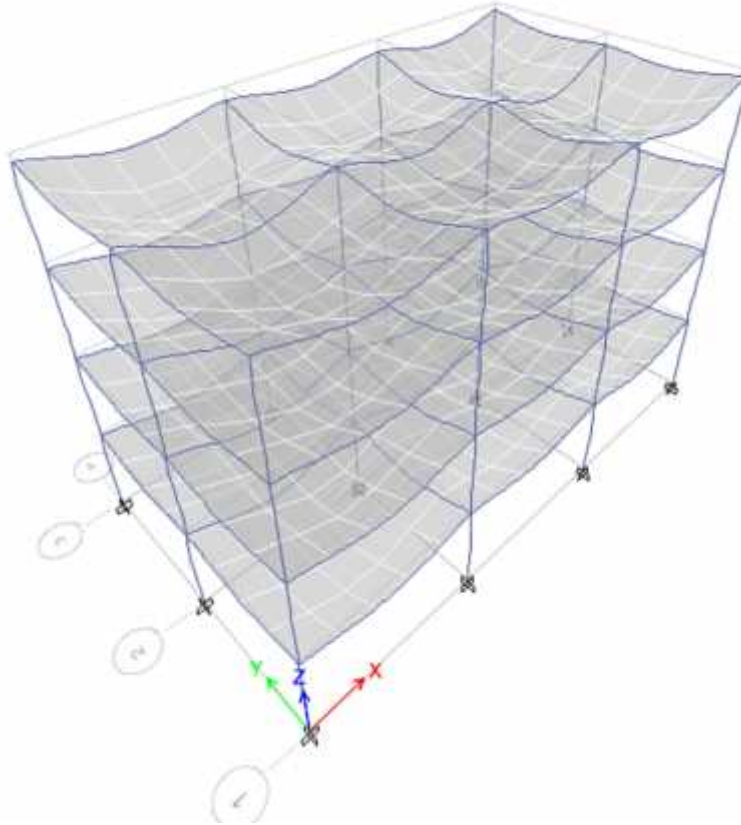




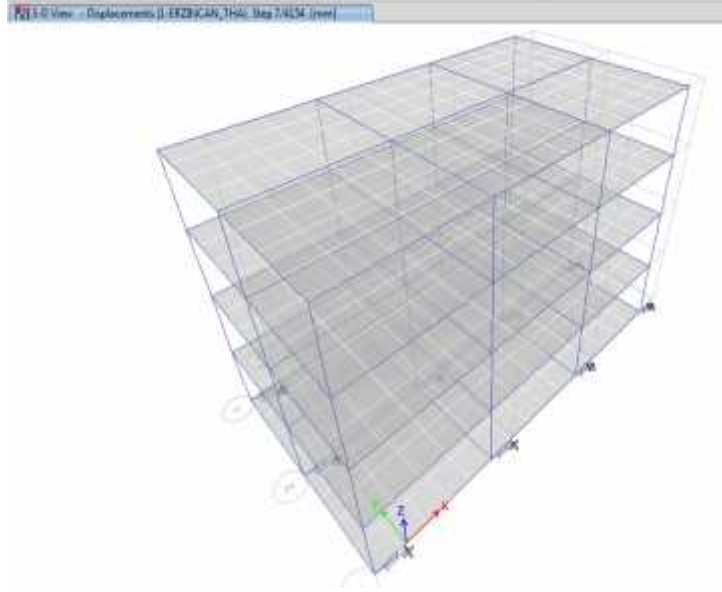
**ekil B.4.** Yalıtımsız yapı ilk üç mod do al titre im periyotları



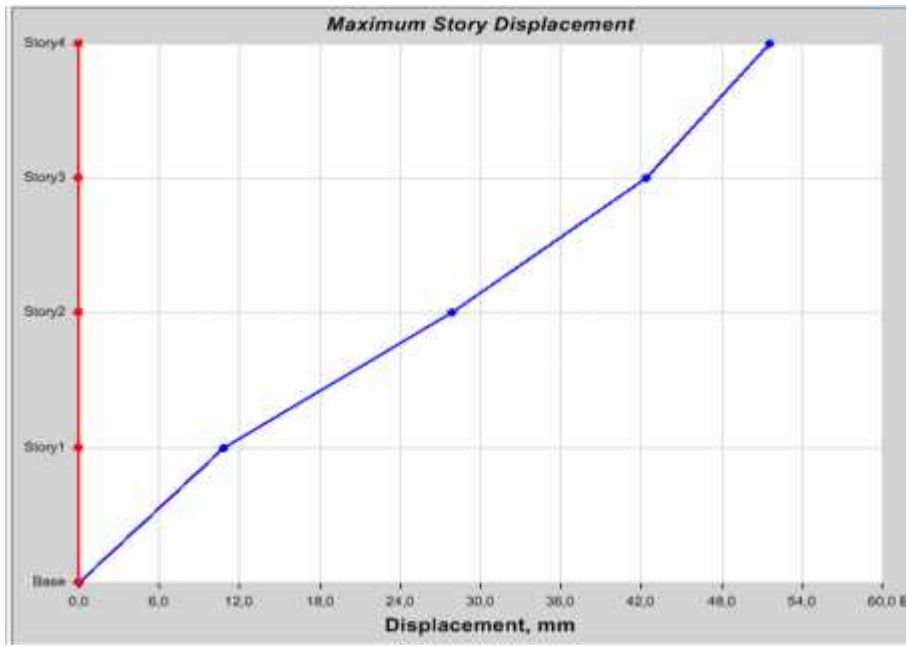
**ekil B.5.** Yalıtımlı model maksimum kat sürüklenmesi



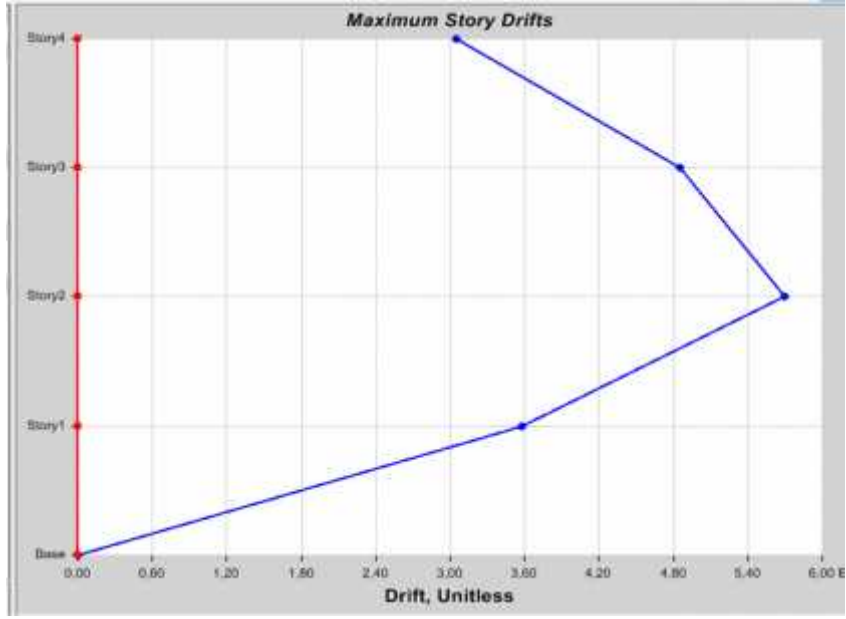
**ekil B.6.** Yalıtımlı model zati yer de i tirmesi



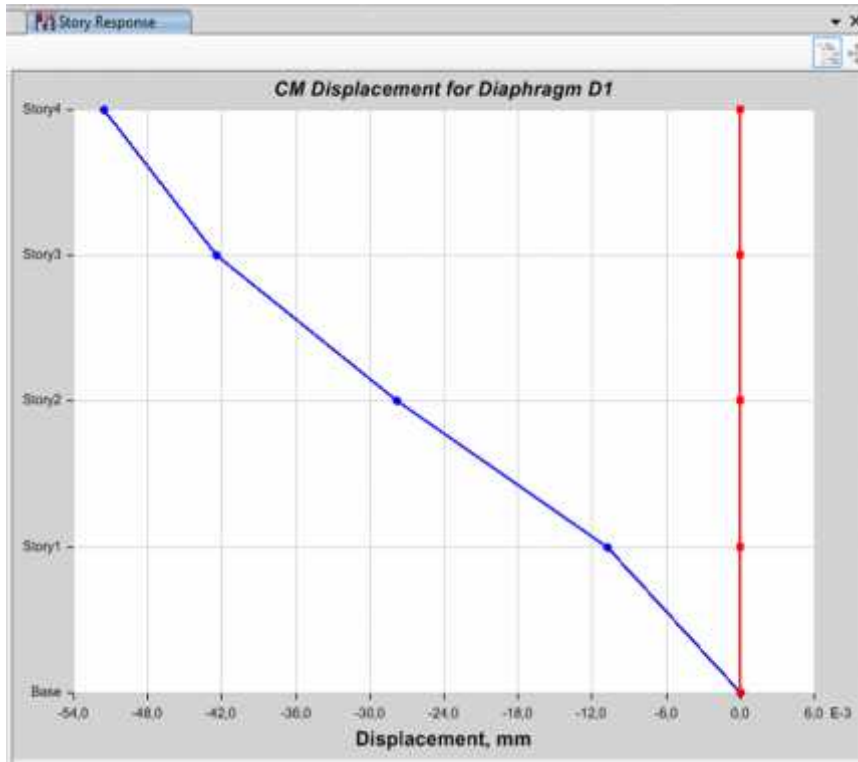
**ekil B.7.** Yalıtımlı model Erzincan yer de i tirmesi



**ekil B.8.** Yalıtımsız model maksimum kat yer de i tirmesi



**ekil B.9.** Yalıtımsız model maksimum kat sürüklenmesi



**ekil B.10.** Yalıtımsız model  $C_M$  yer de i titmesi diyafram için

**EK C :**

**Çizelge C.1.** Maksimum yer de i tirmesi (kat tepkisi\_yalıtımlı)

<b>Kat</b>	<b>Yükseklik</b>	<b>Yer</b>	<b>X-Yön</b>	<b>Y-Yön</b>
	M		mm	mm
4	12	En üst	0,03458	7,526E-11
3	9	En üst	0,0339	7,374E-11
2	6	En üst	0,0327	7,117E-11
1	3	En üst	0,03103	6,762E-11
taban	0	En üst	0,02928	6,391E-11





## ÖZGEÇM

**Adı Soyadı:** Sanaz MORADI

**Do um Yeri veTarihi :** Qazvin /IRAN . 19/12/1986

**Adres:** smet önü Cad , No: 182/2 Yeni Mahalle Atakum/SAMSUN

**Lisans:** School of Engineering Islamic Azad University of Zanjan, Departman of Urban Engineering (2010).

**E-Posta:** Sanazmoradi87@gmail.com

**Yüksek Lisans:** Ondokuz Mayıs Üniversitesi , n aat Mühendisli i, Yapı ,2015 .

## TEZDEN TÜRET LEN YAYINLAR

RAN ,Qazvin , <http://www.qeng.ir>