

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET  
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM YALITIMLI ve SABİT TEMELLİ BETONARME BİNALARIN  
DİNAMİK DAVRANIŞ ve EKONOMİ AÇISINDAN KIYASLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selçuk Serdar SERPİL**

**Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**Haziran, 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET  
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM YALITIMLI ve SABİT TEMELLİ BETONARME BİNALARIN  
DİNAMİK DAVRANIŞ ve EKONOMİ AÇISINDAN KIYASLANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Selçuk Serdar SERPİL**

**802121037**

**Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deprem Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Sütçü**

**Haziran, 2018**



İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802121037 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Selçuk Serdar SERPİL** , ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DEPREM YALITIMLI ve SABİT TEMELLİ BETONARME BİNALARIN DİNAMİK DAVRANIŞL ve EKONOMİ AÇISINDAN KIYASLANMASI** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**     **Dr.Öğr.Üyesi Fatih Sütcü**     .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**         **Dr.Öğr.Üyesi Zeynep Tuna Değer**     .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr.Öğr.Üyesi Hasan Özkaynak**     .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi     :**   **04 Mayıs 2018**

**Savunma Tarihi :**   **29 Mayıs 2018**





*Eşime ve aileme,*





## ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübesiyle desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih Sütçü başta olmak üzere, analiz aşamasında değerli bilgilerini paylaşan Dr. Bahadır ŞADAN'a sonsuz teşekkür ederim. Yaşamım boyunca her anlamda yanımda olan, bana maddi manevi desteklerini esirgemeyen eşime, anneme babama ve kardeşlerime saygılarımı sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım. Bana güvenlerini ve desteklerini her an hissettiren tüm arkadaşlarıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mayıs 2018

Selçuk Serdar SERPİL  
(İnşaat Mühendisi)



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
SEMBOLLER .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY .....	xxvii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Türkiyede Depremler .....	1
1.2 Deprem Yalıtımı.....	3
1.3 Deprem Yalıtım Çeşitleri .....	7
1.3.1 Kauçuk esaslı elastomer yalıtım birimleri .....	8
1.4 Deprem Yalıtımı Uygulama Örnekleri.....	15
1.4.1 Makedonya.....	15
1.4.2 Yeni Zelanda .....	16
1.4.3 Amerika Birleşik Devletleri .....	17
1.4.4 Japonya.....	20
1.4.5 İtalya.....	22
1.4.6 Çin.....	24
1.4.7 Türkiyede'deki deprem yalıtım uygulamaları.....	25
<b>2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YAPI MODELİ.....</b>	<b>29</b>
2.1 Yapı Modeli Ve Taşıyıcı Sistem Detayları .....	29
<b>3. SABİT TEMELLİ BİNANIN TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ ....</b>	<b>33</b>
3.1 Yer Hareketi .....	33
3.1.1 BCJ-L2 Yapay yer hareketi.....	33
3.1.2 Kobe 1995 Depremi .....	35
3.1.3 El Centro 1940 EW Imperial Valley yer hareketi.....	37
3.1.4 Tüm yer hareketlerinin kıyaslanması .....	39
3.2 Analiz .....	42
3.2.1 Modal analiz.....	42
3.2.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan Analiz.....	43
3.2.3 Yapısal elamanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin belirlenmesi .....	44
3.2.4 BCJ-L2 yapay yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz.....	46
3.2.5 Kobe 1995 yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz .....	50
3.2.6 El Centro yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz.....	54
3.2.7 Diğer yer hareketleri ile zaman tanım alanında analiz.....	58
<b>4. DEPREM YALITIMI TASARIMI ve ANALİZİ .....</b>	<b>63</b>
4.1 Tasarımda kullanılan spektrum ve sönüme bağlı değişimi .....	63
4.1.1 DBYBHY 2007 ve BCJ-L2 spektrumlarının karşılaştırılması .....	67
4.2 Ön tasarım için hesap adımları.....	69
4.2.1 Yalıtım birimi ön tasarım sayısal çalışma.....	71
4.3 Analiz .....	79
4.3.1 Analiz için yapı modeli .....	79

4.3.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz .....	82
4.4 Maliyet .....	92
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>99</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>105</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>109</b>
<b>ÖĞRENİM DURUMU: .....</b>	<b>109</b>
<b>MESLEKİ DENEYİM :.....</b>	<b>109</b>



## **KISALTMALAR**

<b>LRB</b>	: Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi
<b>NRB</b>	: Doğal kauçuk elastomer yalıtım birimi
<b>HDRB</b>	: Yüksek sönümlü kauçuk elastomer yalıtım birimi
<b>DEABTE-2018</b>	: Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar
<b>DBYBHY-2007</b>	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik



## SEMBOLLER

$A_0$	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$a_i$	: Katlarda oluşan en büyük ivme değeri
$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
$D_d$	: Yalıtım sisteminin etkin rijitlik merkezinde oluşacak
$d_{imaks}$	: Düğüm noktası en büyük deplasman değeri
$h$	: Spektral analizde kullanılan sönüm oranı
$h_{eff}$	: Yalıtım sistemi için hesaplanan sönüm oranı
$I$	: Bina önem katsayısı
$K_d$	: Yalıtım sistemi nominal etkin rijitliği
$k_e$	: Yalıtım biriminde “ $D_d$ ” yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
$k_1$	: Yalıtım birimi başlangıç rijitliği
$k_2$	: Yalıtım birimi ikincil (akma sonrası) rijitliği
$n$	: Yalıtım sistemini oluşturan toplam yalıtım birimi sayısı
$PGA$	: Yer hareketi kaydı en büyük ivme değeri
$S_a$	: Spektral ivme
$S_{a_e}$	: Elastik spektral ivme
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$T_d$	: Deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
$T_r$	: Yalıtım biriminde toplam kauçuk kalınlığı
$T_1$	: Birinci doğal titreşim periyodu
$V_t$	: Taban kesme kuvveti
$W$	: Bina toplam ağırlığı
$W_d$	: Yalıtım birimi çevrimsel davranış modeli içerisinde kalan alan- tüketilen enerji
$W_e$	: Yalıtım birimi “ $D_d$ ” yer değiştirmesine karşılık “ $k_e$ ” etkin rijitliği altında kalan alan- elastik enerji
$\gamma_{s,E}$	: Yalıtım biriminde yer hareketi etkisi altında yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen şekil değiştirme
$\Delta_i$	: Göreli deplasman en büyük değeri
$\text{₺}$	: Türk Lirası, Türkiye Cumhuriyeti para birimi





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Yapı için genel bilgiler.....	<b>29</b>
<b>Çizelge 2.2</b> : Kolon kesit ölçüleri.....	<b>30</b>
<b>Çizelge 2.3</b> : Ölü yük hesaplama tablosu.....	<b>32</b>
<b>Çizelge 3.1</b> : Zaman tanım alanlı analizde kullanılacak yer hareketleri .....	<b>40</b>
<b>Çizelge 3.2</b> : Seçilen yer hareketlerinin ölçeklendirme bilgileri .....	<b>41</b>
<b>Çizelge 3.3</b> : Katlara ait kütle atalet momentleri ve toplam ağırlıklar .....	<b>42</b>
<b>Çizelge 3.4</b> : Yapının doğal titreşim periyodları .....	<b>43</b>
<b>Çizelge 3.5</b> : Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri.....	<b>47</b>
<b>Çizelge 3.6</b> : Nokta y yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri.....	<b>49</b>
<b>Çizelge 3.7</b> : Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri.....	<b>51</b>
<b>Çizelge 3.8</b> : Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri.....	<b>53</b>
<b>Çizelge 3.9</b> : Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri.....	<b>55</b>
<b>Çizelge 3.10</b> : Nokta y yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri.....	<b>57</b>
<b>Tablo 3.11</b> : 7 farklı yer hareketi için zaman tanımlı analiz sonucu x yönü deplasman sonuçları.....	<b>59</b>
<b>Çizelge 3.12</b> : 7 farklı yer hareketi için zaman tanımlı analiz sonucu y yönü deplasman sonuçları.....	<b>61</b>
<b>Çizelge 4.1</b> : Etkin yer ivme katsayısı.....	<b>64</b>
<b>Çizelge 4.2</b> : DBYBHY 2007 farklı periyotlara göre spektral ivme katsayıları.....	<b>64</b>
<b>Çizelge 4.3</b> : YB1 Yalıtım Birimi İçin Parametreler.....	<b>73</b>
<b>Çizelge 4.4</b> : YB2 Yalıtım Birimi İçin Parametreler.....	<b>75</b>

<b>Çizelge 4.5</b> : YB3 Yalıtım Birimi İçin Parametreler.....	<b>78</b>
<b>Çizelge 4.6</b> : Kolon kesit ölçüleri.....	<b>80</b>
<b>Çizelge 4.7</b> : Sabit temelli bina-Deprem yalıtımlı bina deplasman ve ivme kıyaslama tablosu (BCJ-L2 yer hareketi ile).....	<b>84</b>
<b>Çizelge 4.8</b> : Deprem yalıtımlı binada zaman tanım alanlı analiz için kullanılan yer hareketi kayıtları.....	<b>87</b>
<b>Çizelge 4.9</b> : Deprem yalıtımlı bina zaman tanım alanlı analiz sonuçları (Tüm yer hareketleri için).....	<b>88</b>
<b>Çizelge 4.10</b> : Sabit temelli bina-Deprem yalıtımlı bina deplasman ve ivme kıyaslama tablosu (ortalama ivme spektrumu).....	<b>90</b>
<b>Çizelge 4.11</b> : Sabit temelli bina kaba yapı inşaat metrajı.....	<b>93</b>
<b>Çizelge 4.12</b> : Deprem yalıtımlı bina kaba yapı inşaat metrajları.....	<b>94</b>
<b>Çizelge 4.13</b> : Sabit temelli bina keşif özeti.....	<b>95</b>
<b>Çizelge 4.14</b> : Deprem yalıtımlı bina keşif özeti .....	<b>96</b>
<b>Çizelge 5.1</b> : Sabit temelli binanın-deprem yalıtımlı binanın zaman tanım alanında analizi sonucu en büyük görelî deplasman oranları kıyaslama tablosu.....	<b>100</b>
<b>Çizelge 5.2</b> : Sabit temelli bina ve deprem yalıtımlı bina kaba inşaat maliyet karşılaştırılması .....	<b>102</b>





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 1.1:</b> 1932 yılında Sieberg tarafından hazırlanan Deprem Bölgeleri Haritası .....	2
<b>Şekil 1.2:</b> 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası DBYBHY 2007 .....	2
<b>Şekil 1.3:</b> Deprem Kaynak Zonları (Pampal ve diğ., 2007). .....	3
<b>Şekil 1.4:</b> Sabit temelli bina ve deprem yalıtımlı bina hareketi .....	4
<b>Şekil 1.5:</b> Periyot ötelenmesinin mantığını gösteren , 1992 Landers Depremine ait bir ivme spektrumu.....	5
<b>Şekil 1.6:</b> Örnek taban bir binanın ankastre ve taban yalıtımlı modal davranışı .....	5
<b>Şekil 1.7:</b> Artan periyot ve sönümün ivmeye etkisi (Kobe JMA 1995 kaydı için).....	7
<b>Şekil 1.8:</b> Uygulanan düşey yüke karşılık kauçuk esaslı birimin burkulması .....	8
<b>Şekil 1.9:</b> Deprem yalıtımı uygulama seviyeleri .....	9
<b>Şekil 1.10:</b> DBYBHY 2007 Elastik ivme ve deplasman tasarım spektrumu.....	9
<b>Şekil 1.11:</b> Küçük esaslı yalıtım birimleri için kuvvet-deplasman eğrisi .....	10
<b>Şekil 1.12:</b> Kurşun çekirdekli yalıtım birimi (LRB) .....	11
<b>Şekil 1.13:</b> Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım çevrimsel davranış ve enerji dağıtma kapasitesini gösteren kuvvet-yer değiştirme grafiği ( <a href="http://www.oiles.co.jp">http://www.oiles.co.jp</a> )	11
<b>Şekil 1.14:</b> Kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinde sönüm oranı - birim şekil değiştirme ilişkisi .....	12
<b>Şekil 1.15:</b> Kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinin çevrimsel davranış modeli .....	12
<b>Şekil 1.16:</b> Yüksek sönümlü elastomer yalıtım birimleri (HDRB).....	13
<b>Şekil 1.17:</b> Yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimlerine ait kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	13
<b>Şekil 1.18:</b> Düşük sönümlü yalıtım birimi (NRB) .....	14
<b>Şekil 1.19:</b> Doğal kauçuk (NRB) yalıtım birimlerine ait kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	15
<b>Şekil 1.20:</b> Pestalozzi İlkokulu, Üsküp, Makedonya (Naeim & Kelly, 1999, s.2).....	15
<b>Şekil 1.21:</b> Pestalozzi okulunda kullanılan izolatör (Robinson, 2000 , s.329). .....	16
<b>Şekil 1.22:</b> William Clayton bina görünümü b. Kullanılan kurşun çekirdekli yalıtım	16
<b>Şekil 1.23</b> Te Papa müzesi, Wellington, Yeni Zellanda.....	17

<b>Şekil 1.24:</b> Foothill Communities Law and Justice Center, Rancho Cucamonga, California (I.D. Aiken).....	<b>18</b>
<b>Şekil 1.25:</b> Trafik yönetim merkezi, Kearny Mesa, Kaliforniya (Kelly,1997). ....	<b>18</b>
<b>Şekil 1.26:</b> Trafik yönetim merkezinde kullanılan yüksek sönümlü kauçuk izolator. ....	<b>19</b>
<b>Şekil 1.27:</b> a.Hayward belediye binası      b.Sürtünme sarkaçlı yalıtım birimi .....	<b>19</b>
<b>Şekil 1.28:</b> San Fransisko uluslararası havaalanı terminali (Kravchuk ve diğ.,2008).20	
<b>Şekil 1.29:</b> Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı Bilgisayar Merkezi (Asena, 2010)21	
<b>Şekil 1.30:</b> Japonya'da deprem yalıtımlı bina sayısının yıllara göre dağılımı (Takayama,2017). ....	<b>21</b>
<b>Şekil 1.31:</b> Tokyo Skytree East Tower kulesi, Japonya (Enr, Engineering News-Record). ....	<b>22</b>
<b>Şekil 1.32:</b> Park Hino lojistik binası, Japonya (Enr, Engineering News-Record).....	<b>22</b>
<b>Şekil 1.33:</b> Somplago Viyadüğü (Castellano, 2007). ....	<b>23</b>
<b>Şekil 1.34:</b> Yeni itfaiye merkezi (Higashino, 2006).....	<b>23</b>
<b>Şekil 1.35:</b> 297 yüksek sönümleyici kauçuk mesnet, inşaat başlangıcı (Martelli & Forni, 1998). ....	<b>24</b>
<b>Şekil 1.36:</b> Deprem yalıtımı uygulanmış bina sistemleri (Higashino, 2006).....	<b>24</b>
<b>Şekil 1.37:</b> Atatürk Havalimanında deprem yalıtım uygulaması.....	<b>25</b>
<b>Şekil 1.38:</b> 750 yataklı Erzurum Sağlık Kompleksi .....	<b>26</b>
<b>Şekil 1.39:</b> Sabiha Gökçen Havalimanı, İstanbul.....	<b>27</b>
<b>Şekil 2.1:</b> Sabit temelli 4 katlı okul kat kalıp planı .....	<b>30</b>
<b>Şekil 2.2:</b> Kolon en kesit detayları .....	<b>31</b>
<b>Şekil 2.3:</b> Kiriş en kesit detayı .....	<b>31</b>
<b>Şekil 3.1:</b> BCJ-L2 yapay yer hareketi ivme-zaman grafiği .....	<b>34</b>
<b>Şekil 3.2:</b> BCJ-L2 yapay yer hareketi hız-zaman grafiği .....	<b>34</b>
<b>Şekil 3.3:</b> BCJ-L2 yapay yer hareketi spektral ivme grafiği (h=5%) .....	<b>35</b>
<b>Şekil 3.4:</b> BCJ-L2 yapay yer hareketi spektral deplasman grafiği (h=5%) .....	<b>35</b>
<b>Şekil 3.5:</b> Kobe 1995 yer hareketi ivme-zaman grafiği .....	<b>36</b>
<b>Şekil 3.6:</b> Kobe 1995 yer hareketi hız-zaman grafiği .....	<b>36</b>
<b>Şekil 3.7:</b> Kobe 1995 yer hareketi spektral ivme grafiği (h=5%) .....	<b>37</b>
<b>Şekil 3.8:</b> Kobe 1995 yer hareketi spektral deplasman grafiği (h=5%) .....	<b>37</b>
<b>Şekil 3.9:</b> El Centro Imperial Valley 1940 EW ivme-Zaman grafiği (Berkeley University, PEER Ground Motion Database).....	<b>38</b>
<b>Şekil 3.10:</b> El Centro Imperial Valley 1940 EW hız-zaman Grafiği (Berkeley University, PEER Ground Motion Database).....	<b>38</b>
<b>Şekil 3.11:</b> El Centro Imperial Valley EW spektral ivme grafiği(h=5%) .....	<b>39</b>

<b>Şekil 3.12:</b> El Centro Imperial Valley EW spektral hız grafiği (h=5%) .....	<b>39</b>
<b>Şekil 3.13:</b> Seçilen yer hareketleri ivme spektrumları (h=5%).....	<b>40</b>
<b>Şekil 3.14:</b> Ölçeklenmiş yer hareketi seti spekturumu ortalaması ve tasarım spektrumu ile kıyaslanması (h=5%).....	<b>41</b>
<b>Şekil 3.15:</b> Yapı X Yönü (Uzun Doğrultuda ) Mod Şekilleri. ....	<b>43</b>
<b>Şekil 3.16:</b> Yapı Y Yönü (Kısa Doğrultuda ) Mod Şekilleri. ....	<b>43</b>
<b>Şekil 3.17:</b> SAP 2000 “Section Designer” ile giriş kesitinin oluşturulması .....	<b>44</b>
<b>Şekil 3.18:</b> Section Designer ile moment eğrilik bağıntısının elde edilmesi.....	<b>45</b>
<b>Şekil 3.19:</b> SAP 2000’de kesit moment eğrilik sınırlarının tanımlanması .....	<b>45</b>
<b>Şekil 3.20:</b> Section Designer ile kesit akma yüzeylerinin belirlenmesi .....	<b>46</b>
<b>Şekil 3.21:</b> SAP 2000’de P-M2-M3 akma yüzeylerinin tanımlanması.....	<b>46</b>
<b>Şekil 3.22:</b> Yapı x yönü kat en büyük görelî deplasman değerleri BCJ-L2 (cm) .....	<b>47</b>
<b>Şekil 3.23:</b> BCJ-L2 yer hareketi yapı x yönü en büyük görelî deplasman-.....	<b>48</b>
<b>Şekil 3.24:</b> BCJ-L2 yer hareketi x yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiği	<b>48</b>
<b>Şekil 3.25:</b> Yapı y yönü kat maksimum görelî deplasman değerleri BCJ-L2 (cm) ...	<b>49</b>
<b>Şekil 3.26:</b> BCJ-L2 yer hareketi yapı y yönü en büyük görelî deplasman-taban....	<b>50</b>
<b>Şekil 3.27:</b> BCJ-L2 yer hareketi y yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiği	<b>50</b>
<b>Şekil 3.28:</b> Yapı x yönü kat en büyük görelî deplasman değerleri Kobe 1995 (cm).	<b>51</b>
<b>Şekil 3.29:</b> Kobe 1995 yer hareketi yapı x yönü en büyük görelî deplasman- .....	<b>52</b>
<b>Şekil 3.30:</b> Kobe 1995 yer hareketi x yönü en büyük görelî deplasman – .....	<b>52</b>
<b>Şekil 3.31:</b> Yapı y yönü kat maksimum görelî deplasman değerleri Kobe 1995 (cm)	<b>53</b>
<b>Şekil 3.32:</b> Kobe 1995 yer hareketi yapı y yönü en büyük .....	<b>54</b>
<b>Şekil 3.33:</b> Kobe 1995 depremi y yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiği	<b>54</b>
<b>Şekil 3.34:</b> Yapı x yönü kat en büyük görelî deplasman değerleri El Centro (cm) ...	<b>55</b>
<b>Şekil 3.35:</b> El Centro 1940 EW yer hareketi yapı x yönü en büyük görelî .....	<b>56</b>
<b>Şekil 3.36:</b> El Centro 1940 EW yer hareketi x yönü en büyük görelî deplasman –	<b>56</b>
<b>Şekil 3.37:</b> Yapı y yönü kat en büyük görelî deplasman değerleri El Centro (cm) ...	<b>57</b>
<b>Şekil 3.38:</b> El Centro 1940 EW yer hareketi yapı y yönü en büyük görelî .....	<b>58</b>
<b>Şekil 3.39:</b> El Centro 1940 EW yer hareketi y yönü en büyük görelî deplasman –	<b>58</b>
<b>Şekil 3.40:</b> Sabit temelli bina x yönü, zaman tanım alanında analiz.....	<b>60</b>
<b>Şekil 3.41:</b> Sabit temelli bina Y yönü, zaman tanım alanında analiz .....	<b>62</b>
<b>Şekil 4.1:</b> DBYBHY 2007 (Z3) Elastik tasarım ivme spekturumu (h=5%).....	<b>65</b>
<b>Şekil 4.2:</b> Değişen sönüm oranlarına göre hesaplanmış DBYBHY .....	<b>66</b>
<b>Şekil 4.3:</b> Değişen sönüm oranlarına göre DBYBHY 2007 (Z3).....	<b>67</b>
<b>Şekil 4.4:</b> Değişen sönüm oranlarına göre DBYBHY 2007 (Z3).....	<b>68</b>
<b>Şekil 4.5:</b> Değişen sönüm oranlarına göre DBYBHY 2007 (Z3).....	<b>68</b>

<b>Şekil 4.6</b> Yalıtım birimi basitleştirilmiş çevrimsel davranış modeli.....	<b>69</b>
<b>Şekil 4.7:</b> " <i>W<sub>d</sub></i> " alanı şematik gösterimi .....	<b>70</b>
<b>Şekil 4.8:</b> " <i>W<sub>e</sub></i> " alanı şematik gösterimi.....	<b>70</b>
<b>Şekil 4.9:</b> DEABTE-2018 tasarım deplasman spektrumu ( $h=5\%$ ).....	<b>71</b>
<b>Şekil 4.10:</b> DEABTE-2018 tasarım ivme spektrumu ( $h=5\%$ ) .....	<b>72</b>
<b>Şekil 4.11:</b> DEABTE-2018 deplasman spektrumu.....	<b>74</b>
<b>Şekil 4.12:</b> DEABTE-2018 ivme spektrumu.....	<b>74</b>
<b>Şekil 4.13:</b> DEABTE-2018 Deplasman Spektrumu.....	<b>76</b>
<b>Şekil 4.14:</b> DEABTE-2018 İvme Spektrumu.....	<b>77</b>
<b>Şekil 4.15:</b> Yalıtımlı Model Kat Kalıp Planı .....	<b>80</b>
<b>Şekil 4.16:</b> Yalıtım katı yalıtım birimi yerleşim planı .....	<b>81</b>
<b>Şekil 4.17:</b> SAP 2000 Programına Multilinear Plastik Link elaman tanımlanması... ..	<b>81</b>
<b>Şekil 4.18:</b> DEABTE-2018 ve BCJ-L2 ivme spektrumu .....	<b>82</b>
<b>Şekil 4.19:</b> D.E.A.B.T.E 2018 ve BCJ-L2 deplasman spektrumu.....	<b>83</b>
<b>Şekil 4.20:</b> BCJ-L2 yer hareketi altında en büyük göreceli deplasman-zaman ilişkisi..	<b>84</b>
<b>Şekil 4.21 :</b> BCJ-L2 yer hareketi altında ivme-zaman ilişkisi .....	<b>85</b>
<b>Şekil 4.22:</b> En büyük kat göreceli deplasman değeri –taban kesme kuvveti ilişkisi ....	<b>86</b>
<b>Şekil 4.23:</b> BCJ-L2 yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz sonucu deprem.	<b>86</b>
<b>Şekil 4.24:</b> %100 ölçekli kullanılan 7 yer hareketi ivme spektrumu ( $h=14.9\%$ ) .....	<b>87</b>
<b>Şekil 4.25:</b> Zaman tanım alanlı analiz için ortalama ivme spektrumu .....	<b>88</b>
<b>Şekil 4.26:</b> Deprem yalıtımlı bina zaman tanım alanında analiz sonucu ortalama ..	<b>90</b>
<b>Şekil 4.27:</b> Tüm yer yer hareketleri ile zaman tanım alanında analiz sonucu deprem .....	<b>91</b>
<b>Şekil 4.28:</b> Deprem yalıtımının yapıım maliyetine etkisi .....	<b>92</b>
<b>Şekil 4.29:</b> Deprem yalıtımı uygulamasının sabit temelli 4 katlı binaya .....	<b>96</b>
<b>Şekil 5.1:</b> Sabit temelli binanın ve deprem yalıtımlı binanın tasarım ivme spektrumundaki .....	<b>100</b>
<b>Şekil 5.2:</b> Sabit temelli binanın ve deprem yalıtımlı binanın zaman tanım alanında analiz.....	<b>101</b>



## DEPREM YALITIMLI ve SABİT TEMELLİ BETONARME BİNALARIN DİNAMİK DAVRANIŞ VE EKONOMİ AÇISINDAN KIYASLANMASI

### ÖZET

Dünyada aktif faylara sahip deprem kuşağında bulunan bölgelerde, ülkemizde olduğu gibi son yüzyılda bir çok yıkıcı deprem meydana gelmiş, bu depremler nedeniyle can ve mal kaybı trajik seviyelerde yaşanmıştır. Bu maddi ve manevi kayıpların oluşmasında en önemli sebebin binaların depreme karşı yapısal performansının yetersiz olduğu teknik ve akademik çalışmalarla gösterilmiştir.

Binaların depremi en az zararlar veya birçok durumda hiç zarar görmeden atlabilmesi için günümüzde kullanılan en etkili ve yenilikçi yöntem Deprem Yalıtımı yöntemidir. Deprem yalıtımında amaç yapıyı zeminden gelen yatay etkilerden ayırmak, daha teknik bir ifadeyle, yapının etkin titreşim periyodunu artırarak spektral kuvvetleri azaltmak ve deprem hareketinin sebep olduğu yerdeğiştirmelerin ve depremden meydana gelen enerjinin yatayda rijitliği düşük esnek ve sönüm özellikli yalıtım birimleriyle karşılanıp, üst yapıda oluşacak kesit zorlarının çok küçük mertebelerde kalmasını sağlamaktır.

Bu çalışmada az katlı betonarme bir yapının sabit temelli ve deprem yalıtımlı modelinin depreme karşı davranışı kapsamlı olarak irdelenmiş sonuçları gösterilmiştir. İlk bölümde deprem yalıtımı konusu tanıtılmış ve bu konuda yapılmış önemli akademik çalışmalar sıralanmıştır. İkinci bölümde ise çalışmada kullanılan bina modeli tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde bu yapının sabit temelli durumunun doğrusal olmayan analiz yöntemiyle depreme karşı performansı incelenmiştir. Zaman tanım alanında yapılan bu analiz sonucunda yapının görece kat deplasmanları ilgili yönetmeliklerde sınırlanan değerlere oldukça yakın çıkmıştır.

Dördüncü bölümde, az katlı betonarme bir binada yalıtım birimi seçimi için ön tasarım hesapları detaylandırılmış, teşkil edilen deprem yalıtımlı binanın sabit temelli binaya göre dinamik davranışı kıyaslanmıştır. Aynı yer hareketine maruz kalmış sabit temelli yapının etkin periyodu 0.62 sn iken deprem yalıtımlı binada periyot değeri 3.70 sn'e çıkmıştır. Periyodun artmasıyla yapıya etkiyen spektral kuvvetler azalmıştır, aynı zamanda deprem yalıtım birimlerinin sönüm özelliği ile yer hareketlerinden kaynaklanan etkiler üst yapıya çok daha düşük seviyelerde aktarılmıştır. Dört katlı bu yapının deprem yalıtımı sonrası katlarda oluşan ivmelerin, sabit temelli yapıda oluşan ivmelere göre ilk katlarda yarısından daha az değerler

aldığı, görelî deplasmanların % 85 oranında azaldığı, taban kesme kuvvetinin de %40 azaldığı bu çalışmada gösterilmiştir.

Ayrıca sabit temelli olarak tasarlanacak dört katlı bir yapının, deprem yalıtımlı olarak tasarlanmış hali ile yapım maliyeti kıyaslanması yapılmıştır. Maliyetler de taşıyıcı sistem elamanları referans alınmış, sonuçları dördüncü bölümde gösterilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümü olan sonuçlar kısmında sabit temelli ve deprem yalıtımlı modelin zaman tanım alanında analiz sonuçlarından elde edilen karşılaştırma tabloları paylaşılmış, bu iki modelin kaba inşaat maliyet karşılaştırma detayları gösterilmiştir.







# **COMPARISON OF FIXED BASE AND SEISMICALLY ISOLATED REINFORCED CONCRETE BUILDING IN TERMS OF DYNAMIC PERFORMANCE AND CONSTRUCTION COST**

## **SUMMARY**

In last century, many devastating earthquakes have occurred at regions which have active faults, as in our country. Due to these earthquakes, many losses of life and property have been experienced at tragic levels. Academic studies state that most important reason of these losses is the inadequate structural performance against earthquakes.

Recently ,the most effective and innovative method to enable structures to resist against earthquake effects is seismic isolation method. Many buildings designed with this method stand against earthquake effects with minimum damage or in many cases without any damage. Main idea of this method can be defined as separating or decoupling the structure from its foundation. In this way, energy derives from earthquake, is absorbed by isolation devices with great flexibility. These system reduces the spectral forces by increasing effective vibration period of structure.

In this thesis, four-story reinforced concrete building is modeled corresponding two different cases. First one is a fixed base model and another one is a seismically isolated model. Then both models were examined in terms of their dynamic performance against earthquake. To examine these dynamic behavior, these models were subjected to nonlinear time history analysis. In chapter three, time history analysis procedure and analysis results were shown in detail for fixed base model. According to these results, at fixed base structure, value of effective relative story drifts were very close to limit at conditions (2.19) in Turkish Earthquake Code 2007. Moreover due to ground motion, high acceleration values were observed in the upper floors.

In fourth chapter, seismic isolation design procedure is shown. Moreover, for seismically isolated model, calculations steps to select of seismic isolation devices was described. After selection of seismic isolation devices, nonlinear time history analysis is subjected to seismically isolated model. As a results of analysis, joint displacements, story drifts, accelerations in story, base shear forces are obtained. All these results are charted and shown in figures at chapter four. At the same time seismically isolated model analysis results and fixed base model analysis results are

compared. This comparison is detailed in chapter four. Besides, both models are compared in terms of their construction costs in the fourth and fifth chapter.



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Türkiyede Depremler

Dünya üzerinde depremler üç ana kuşak üzerinde gözlenmektedir. 1. Kuşak Şili'den başlayarak Güney ve Kuzey Amerika kıtalarının batı kıyılarından Japonya, Filipinler, Yeni Gine ve Yeni Zelanda'yı içine alan en büyük deprem kuşağıdır ve yeryüzünde gerçekleşen büyük depremlerin %81'i bu kuşakta gözlenmektedir. Endonezya, Himalayalar ve Akdeniz üzerinden Atlantik'e kadar uzanan 2. Kuşakta dünya üzerindeki depremlerin %17'si gerçekleşmekte olup, aktif faylara sahip bir coğrafyada yer alan ülkemiz de bu kuşakta bulunan bir deprem ülkesidir. (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/genel-bilgiler/>)

AFAD Deprem Kataloğuna göre son yüzyılda ülkemizde ve yakın çevresinde 24 adet  $M \geq 7$ , 136 adet  $6 \leq M < 7$ , 1205 adet de  $5 \leq M < 6$  büyüklüğünde deprem meydana gelmiş olup; yılda ortalama 1 adetten fazla yıkım yaratma potansiyeline sahip deprem olasılığı mevcuttur.(Url-1). Bu sebeple, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusu ülkemizde irdelenmekte ve geliştirilmektedir. Sieberg tarafından 1932 yılında hazırlanan, resmi olmayan ilk deprem bölgesi haritası **Şekil 1.1**'de gösterilmektedir.

İlki 1945 yılında yürürlüğe girmekle beraber deprem bölgeleri haritaları güncellenmeye devam etmekte olup, **Şekil 1.2**'deki 1996 yılında yürürlüğe giren harita hali hazırda güncel deprem bölgeleri haritası olarak kullanılmaktadır. Bahse konu harita, **Şekil 1.3**'teki 1881-1980 yılları arasında meydana gelen depremleri içeren katalogla hazırlanan Deprem Kaynak Zonları esas alınarak yapılan olasılıklar tehlike analizi yöntemiyle ortaya çıkmış olup, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olacak şekilde hazırlanmıştır.

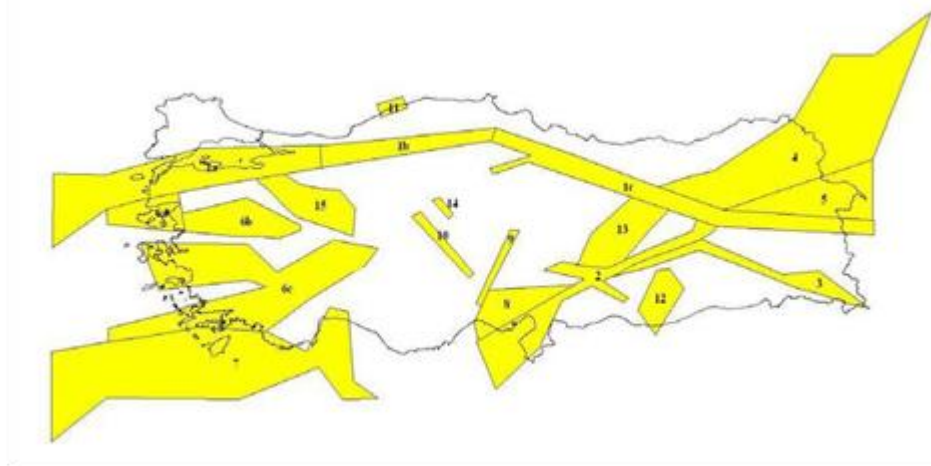


Şekil 1.1: 1932 yılında Sieberg tarafından hazırlanan Deprem Bölgeleri Haritası (Pampal ve diğ., 2007).



Şekil 1.2 : 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası DBYBHY 2007.





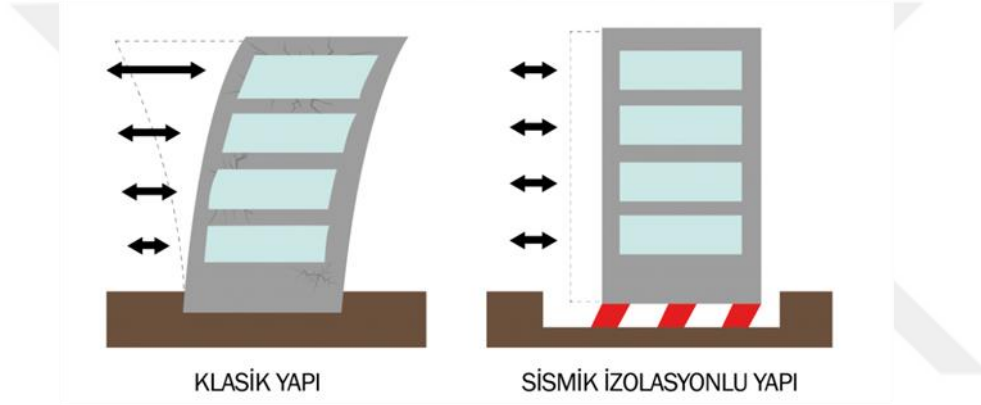
Şekil 1.3 : Deprem Kaynak Zonları (Pampal ve diğ., 2007).

## 1.2 Deprem Yalıtımı

Deprem, yeryüzündeki diğer doğal afetlerle karşılaştırıldığında daha önceden herhangi bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönüyle kendine has bir özelliğe sahiptir. Bu sebeple, yapıların tasarımında depreme karşı davranışının nasıl olduğu büyük önem kazanmaktadır. Yapıların doğal şartlarına uygun ve güvenli olarak tasarlanması gerekmektedir. Deprem anında ve sonrasındaki yapısal ve yapısal olmayan elemanların güvenliğini artırmak amacıyla mühendislikte yeni fikir arayışları deprem gerçeği var olduğu sürece gelişmiş ve gelişmeye devam edecektir. Deprem yalıtımı teknolojisi de yapı sistemlerinin depreme dayanımını artırma arayışlarına cevap olarak doğmuş ve geliştirilmiştir. Bu teknolojinin ana ilkesi ise yapı ve zemin arasına; yatay rijitliği düşük, sönümü yüksek elamanlar yerleştirilerek yapının doğal titreşimini artırmak ve yapının deprem performansını artırmaktır. Bir başka deyişle, deprem yalıtımı, binayı zeminin yatay etkilerinden ayıran bir yöntemdir.

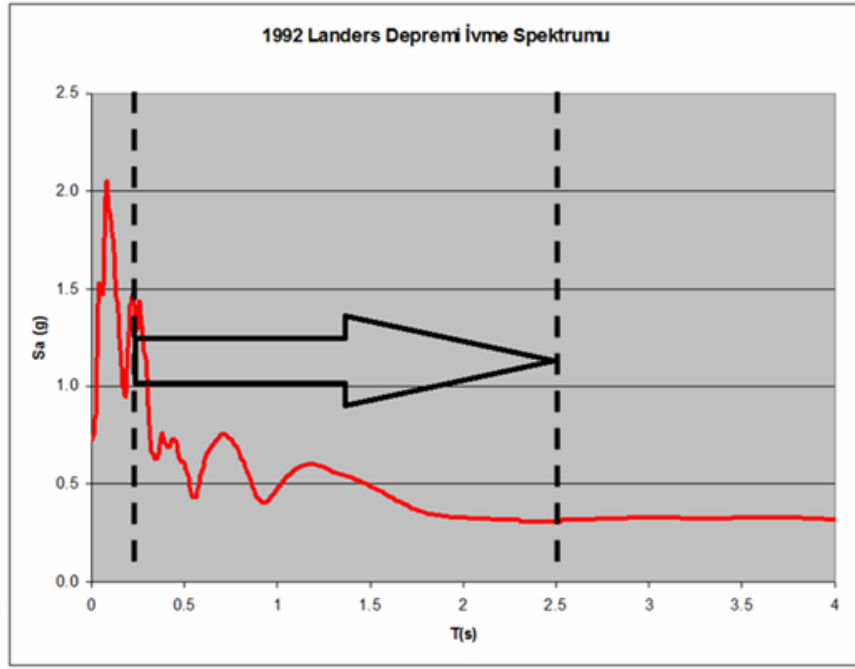
Depreme dayanıklı yapıların tasarımında kullanılan geleneksel hesap yöntemlerinde amaç, öngörülebilir yanal kuvvetleri taşıyıcı elamanların yüksek dayanımlarıyla ya da sünek davranışlarıyla karşılamaktır. Bu yöntemlerin ekonomik açıdan verimliliği tartışılabilirken, bu yöntemlerin dezavantajı, deprem yer hareketi ile uyarılan yapıda oluşan tüm yanal kuvvetlerin yöntemler olmayabilir. Bu yöntemlerin dezavantajı, deprem yer hareketi ile uyarılan yapıda oluşan tüm yanal kuvvetlerin yapısal mekanizmalarla absorbe edilmesidir. Deprem yalıtımı ise yer hareketi etkilerinin yapı katmanlarına ulaşmadan, deprem yalıtımı katmanında karşılanması prensibine göre çalışır ve yapısal elemanlar yüksek kesit zorlarına maruz kalmazlar.

Yapıların tabana ankastre bağlandığı sabit temelli olarak da adlandırılan yapıların geleneksel tasarım yöntemlerinde hedef, deprem etkisinde oluşacak kuvvet talebini karşılayacak şekilde sünekliliğe, yük taşıma ve plastik şekil değiştirme kapasitesine sahip olarak deprem enerjisini karşılayabilmektir. Deprem yalıtımı ise tamamen farklı bir prensiple çalışır. **Şekil 1.4**'te görüldüğü gibi deprem yalıtım sistemleri, üst yapının deprem yüklerine karşı güçlendirilmesinden ziyade deprem etkisinden korunması amacıyla, yapının temelini taşıyıcı sistemden ayrılarak yalıtım biriminin deplasman kapasitesi sayesinde yapı periyodunu yükseltilmesiyle deprem kuvvetlerinin azaltılması, deprem enerjisinin yalıtım birimlerinde oluşacak hareketlerle sönmülmesini amaçlamaktadır. **Şekil 1.5**'te yapı periyodunun artırılmasıyla depremin etkili periyot bölgesinden uzaklaşması görülmektedir.

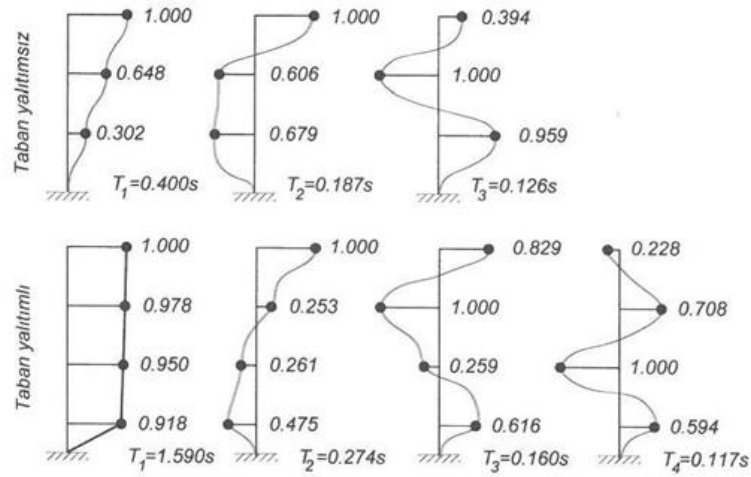


**Şekil 1.4** : Sabit temelli bina ve deprem yalıtımlı bina hareketi.

Taşıyıcı sistemin doğrudan temele bağlı olduğu sabit temelli sistemlerde, deprem etkisiyle oluşan titreşimler doğrudan taşıyıcı sisteme iletilir. Deprem yalıtımlı sistemlerde ise yapının düşey yükleri temele aktarılırken, yatay yüklerin büyük bir kısmı yalıtım birimleri tarafından karşılanır; sonuçta sabit temelli sistemlere oranla çok daha az deprem kuvveti üst yapıya iletilir. Bu prensiple, yapının ilk titreşim modunda deplasman talebinin önemli bir kısmı yalıtım birimleriyle karşılanırken, üst yapı rijit cisim davranışı sergiler. **Şekil 1.6**'da örnek bir 3 serbest derecelikli sabit temelli yapının ve deprem yalıtımlı halinin titreşim modları verilmiştir. Beklenildiği üzere yapının birinci mod şekli taban yalıtımlı sistemde rijit ötelenme şeklinde oluşmaktadır. Yüksek modlarda yüksek periyoda sahip olması nedeniyle düşük spektral ivme değerine sahip olan yalıtım moduna nazaran daha yüksek spektral ivmelere sahip olmalarına rağmen, ihmal edilecek seviyededir. Bu, yalıtım sisteminin sağladığı periyot ötelemesinin taban kesme kuvvetini azaltması ve yalıtım birimi sönmülmesinin deprem enerjisini tüketmesinden kaynaklanmaktadır. (Celep ve diğ., 2004).



Şekil 1.5 : Periyot ötelenmesinin mantığını gösteren , 1992 Landers Depremine ait bir ivme spektrumu.



Şekil 1.6 : Örnek taban bir binanın ankastre ve taban yalıtımlı modal davranışı (Celep ve diğ., 2004).

Deprem yalıtımlı sistemler deprem anında ve sonrasında can güvenliği, taşıyıcı elemanlarda minimum hasar, hemen kullanımı sağlar. Yalıtımlı binalarda üst yapıya etkiyen yükler azaldığından kat arası göreceli yer değiştirmeler düşer, yapısal hasar oluşmaz.

“Deprem Yalıtımı” yönteminde amaç, bina tabanında sönümü yüksek ve esnek yalıtım birimleri yerleştirilerek yapının titreşim periyodu artırmak, bu artış ile yer

hareketinden yapıya aktarılan etkilerin azaltılmasıdır. Deprem hareketinden kaynaklanan ve yapıya etkiyen enerji yalıtım birimlerinin hareketiyle ya ısıya dönüşüp kaybolur ya da potansiyel ve veya kinetik enerjiye dönüşür. Deprem yalıtım birimleri tarafından yapıya etkiyen bu enerjinin önemli bir kısmı yutulur yapıya depreme dayanıklılığı arttırılmaktadır.

Deprem yalıtım yöntemi, zemin ile yapı arasındaki etkileşimi azaltmakta ve yapının tabanında, düşeyde rijit fakat yatayda esnek, belirli ölçülerde deplasman yapabilen donanımlar yerleştirmek suretiyle üst yapıyı yer hareketinden ayırma işlemidir (Priestly, 2007).

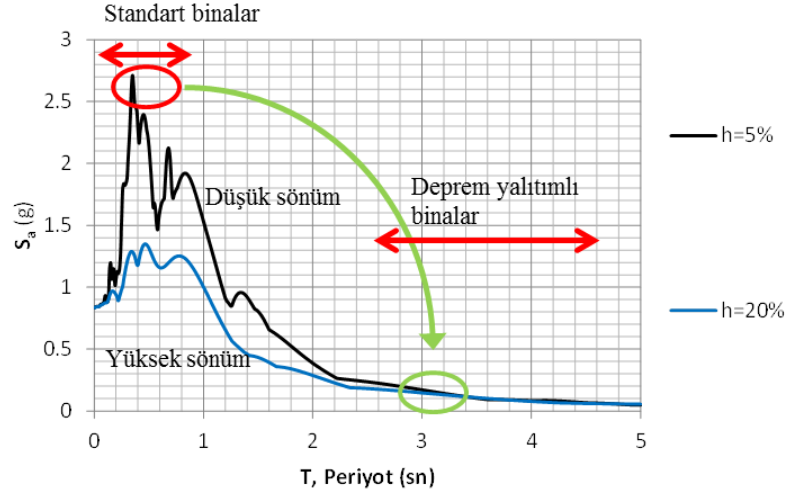
Deprem yalıtımı yönteminde, deprem yalıtım katmanındaki dört temel özelliğe dikkat edilmedilir:

- Yatayda düşük rijitlik
- Düşeyde yüksek rijitlik
- Sönüm
- Esneklik

Yalıtım birimlerinde sönüm viskoz(hıza bağlı olan sönüm) ve çevrimsel (yer değiştirmeye bağlı sönüm) olarak ikiye ayrılmaktadır. Etkili bir yalıtım sistemi, enerji dağılımını sürekli yapacak şekilde hem viskoz hemde çevrimsel sönüme sahip olmalıdır. Gerçek viskoz sönümleyici ya da içsel sönüm özelliklerine sahip kauçuklar tarafından sağlanabilen viskoz sönüm meydana gelen titreşimler için sürekli bir sönüm mekanizması oluşturur. Viskoz sönüm oranı, %20-%30 arasındaki optimum değerlerinin üstünde kat ivmelerinin artışına yol açmaktadır.

Genellikle metal, kurşun, çelik gibi malzemelerin plastik şekil değiştirmeleri sayesinde elde edilen çevrimsel sönüm güçlü titreşimlere karşı etkili olarak, göreceli yer değiştirmeleri azaltmaktadır. Çevrimsel sönüm yapıda servis yükleri için ihtiyaç duyulan yüksek başlangıç (birincil) rijitliği sağlamaktadır, ancak çevrimsel sönüm sürekli bir enerji dağıtma özelliğine sahip değildir. Kat aralarında ani rijitlik değişimleri kat ivmelerini arttırabilmektedir. Bu nedenle, deprem yalıtımı uygulanan yapılarda tasarım yapılırken yukarıda bahsedilen iki sönümleme mekanizmasının en uygun düzeyde yaklaşımı göz önüne alınmalıdır.

**Şekil 1.7'**de görüldüğü gibi periyodun artması ivmede azalmayı sağlarken, artan sönüm ile de ivme değerleri düşmektedir. Tasarlanan taşıyıcı sistem aynı zamanda yapı servis yükleri, sıcaklık etkileri, rüzgar yükleri gibi yüklere karşı yeterince stabil ve rijit olmalıdır.



**Şekil 1.7** : Artan periyot ve sönümün ivmeye etkisi (Kobe JMA 1995 kaydı için).

Bu tez çalışmasında sabit temelli düşük katlı betonarme bir yapının deprem hareketine karşı performansı kapsamlı şekilde incelenmiş, aynı yapıda deprem yalıtımı tasarım hesapları yapılmış, tasarlanan deprem yalıtımlı betonarme yapının dinamik davranışı ile sabit temelli binanın dinamik davranışı birbirine göre kıyaslanmıştır. Ayrıca bu iki yapının kaba inşaat imalat maliyetleri de karşılaştırılmıştır. Analizler SAP 2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada izlenen yol aşağıda sıralanmıştır.

- Yapı modellerinin oluşturulması
- Yer hareketi kayıtlarının seçilmesi
- Sabit temelli binanın analizlerinin tamamlanması ve sonuçların gösterilmesi
- Deprem yalıtımı tasarım ve hesaplarının yapılması
- Deprem yalıtımlı binanın analizlerinin tamamlanması ve sonuçlarının gösterilmesi
- Analiz sonuçlarının ve maliyet kalemlerinin kıyaslanması

### 1.3 Deprem Yalıtım Çeşitleri

Günümüzde kullanılmakta olan deprem yalıtım sistemleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Kauçuk Esaslı Deprem Yalıtım Birimleri
  - Kurşun çekirdekli yalıtım birimleri (LRB)
  - Yüksek sönümlü kauçuk esaslı yalıtım birimleri (HDRB)
  - Doğal kauçuk esaslı yalıtım birimleri (NRB)
2. Kayıcı Yalıtım Birimleri

- Sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım birimleri
- Esnek sürtünmeli deprem yalıtım birimleri

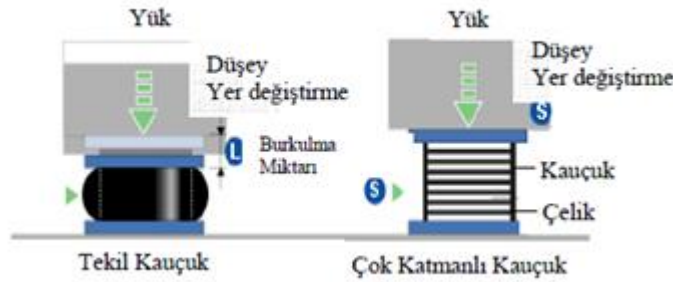
### 3. Yay veya Bilyeli Yatak Tipi Sistemler

- Yüksek sönümlü kauçuk esaslı yalıtım birimleri (HDRB)
- Doğal kauçuk esaslı yalıtım birimleri (NRB)

#### 1.3.1 Kauçuk esaslı elastomer yalıtım birimleri

Kauçuk esaslı yalıtım birimleri, alt ve üstte iki çelik levha ve kalınlıkları 2mm~3mm olan ince çelik plakalara yapıştırılmış kalınlıkları 8mm~20mm arasındaki ince kauçuk levhaların üst üste getirilmesiyle oluşturulmuştur. Ayrıca rijitlik ve sönümü artırmak amacıyla kauçuk esaslı izolatörlerin içine karbon siyahı eklenir. (Celep & Kumbasar, 2004).

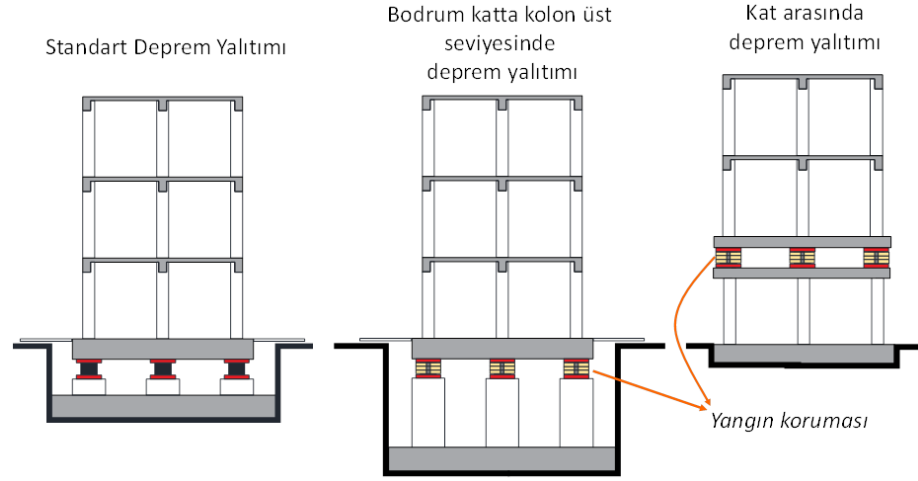
Doğal kauçuk esaslı yalıtım birimleri ilk olarak Makedonya'nın Üsküp şehrinde 3 katlı betonarme bir yapı olan Pestalozzi Okulunda 1969 yılında kullanılmıştır. Fakat bu okulda uygulanan kauçuk esaslı yalıtım biriminde, çelik levhalar kullanılmadan blok halinde kauçuk kullanılmasıyla düşey yönde rijitlik sağlanamamış ve bloklarda yanal burkulma meydana gelmiştir.(Şekil 1.8). Bu durumdan sonra yanal burkulma önlemek için kauçuk aralarına çelik plakalar yerleştirilmiştir. Yalıtım birimi deprem hareketinde düşey etkilere karşı koruyuculuğu yoktur, düşey yükler yapıya aktarılır. Yalıtım birimleri düşeyde rijit yatayda esnek davranış sergilemektedir.



**Şekil 1.8** : Uygulanan düşey yüke karşılık kauçuk esaslı birimin burkulması.

Deprem yalıtım katmanı aşağıda açıklanan şekillerde teşkil edilebilir (Şekil 1.9).:

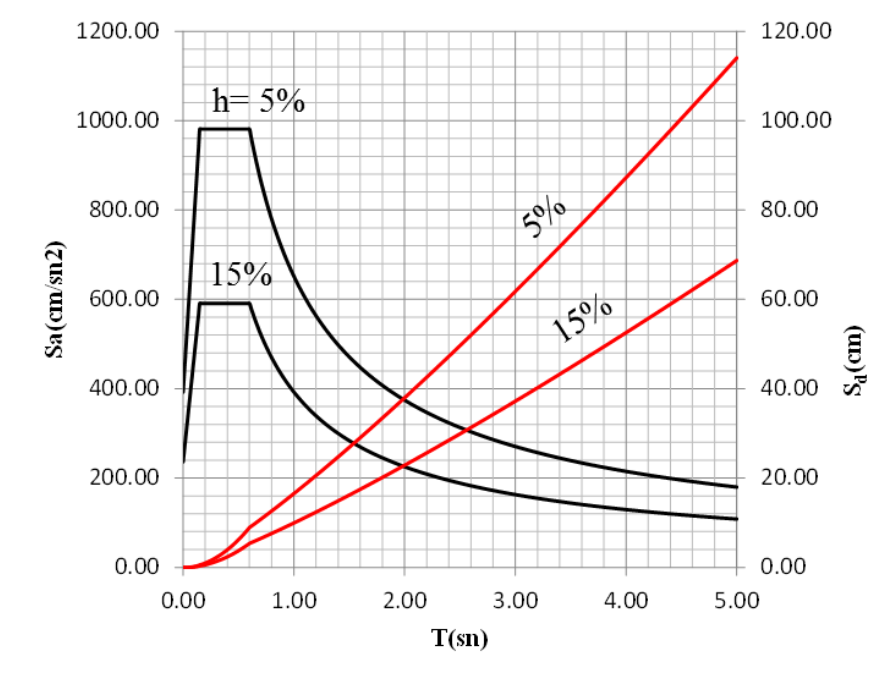
- Bina altında yalıtıma özel bir katta,
- Bodrum katta kolon üst seviyesinde,
- Katlar arasında.



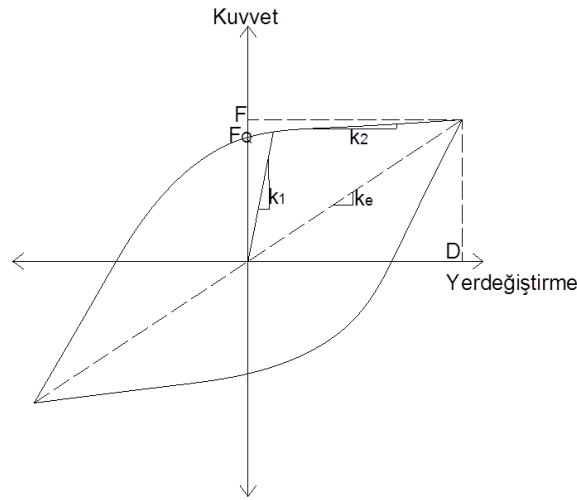
Şekil 1.9: Deprem yalıtımı uygulama seviyeleri

Deprem yalıtımının bodrum katta kolon üstünde veya katlar arasında uygulanması halinde deprem yalıtım birimleri yangın riskine karşı yangın koruma ceketleri veya benzeri uygulama ile korunmalıdır.

Kauçuk esaslı yalıtım birimi bulunan yapılarda oluşan doğal titreşim periyodu, sabit temelli yapının periyodundan daha büyük bir değere çıkar, böylece yapı etkili periyotlardan uzaklaşmış olur. Şekil 1.10' da gösterildiği gibi yapı periyodundaki artış spektral ivmeyi azaltırken ve olası bir depremden kaynaklanan iç kuvvetleri azaltabilmektedir.



Şekil 1.10: DBYBHY 2007 Elastik ivme ve deplasman tasarım spektrumu



**Ŗekil 1.11:** Kuuk esaslı yalıtım birimleri için kuvvet-deplasman eğrisi.

**Ŗekil 1.11**'de:

$F_Q$  = Karakteristik dayanım,

$k_1$  = Birincil (elastik) rijitlik,

$k_2$  = İkincil (elastik ötesi) rijitlik,

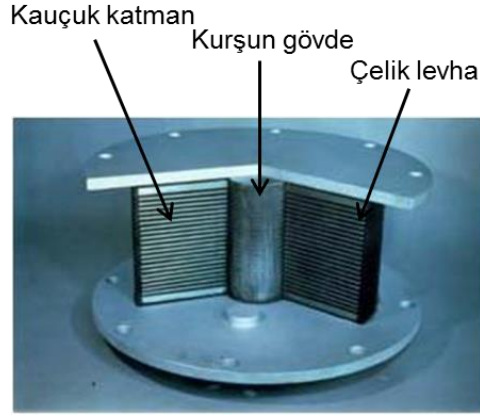
$k_e$  =  $D$  yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik,

$F$  =  $D$  yerdeğiştirmesine karşılık gelen yatay kuvvettir.

### 1.3.1.1 Kurşun ekirdekli yalıtım birimleri (LRB)

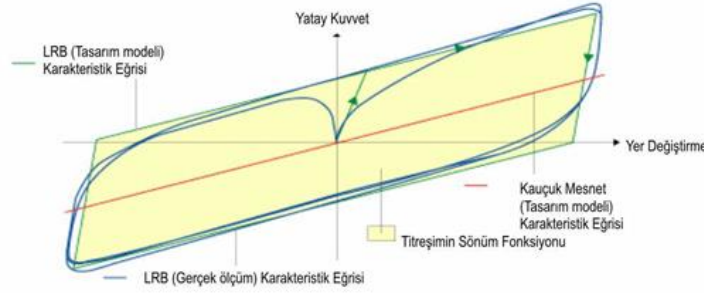
1975 yılında Yeni Zelanda'da icat edilen ve elik plakalar arasına sıkıştırılmış dūřuk sönümlü ince doğal kauçuk katmanlarından oluşan birimin gövdesine, ek rijitlik , uniform Ŗekil değiştirmesi ve sönüm özelliği kazandırmak için kurşun saplanan yalıtım birimidir (**Ŗekil 1.12**).





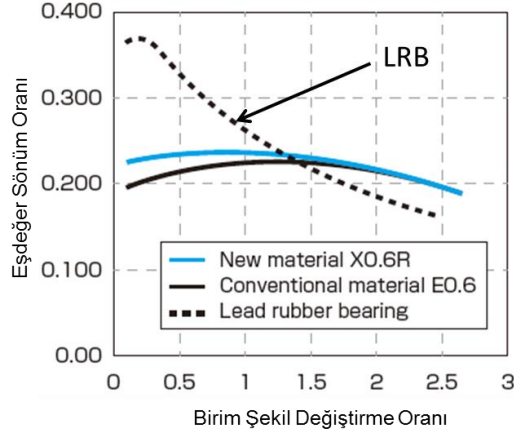
Şekil 1.12 : Kurşun çekirdekli yalıtım birimi (LRB).

Kurşun çekirdek yalıtım biriminde enerji sönümlenmesi ile yalıtım biriminde oluşacak yatay yer değiştirme azalmaktadır. Bu prensip ile kurşun gövde sönümleyici gibi davranıp kuvvet-yer değiştirme davranışını doğrusal olmayacak şekilde davranmasına sebep olmaktadır. Kurşun gövde çelik plakalar ile yatay kuvvet aldıkça, kendi akma sınırına ulaşır, bu sınırı geçer geçmez çevrimsel davranışta enerjini dağıtır.(Şekil 1.13 ve Şekil 1.15). Şekil 1.15'te kurşun gövdeli yalıtım birimlerinde eşdeğer sönüm oranı %12-%13 arasında olabilmektedir.

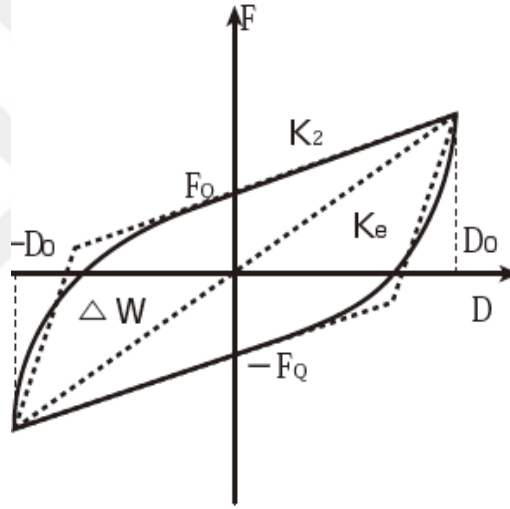


Şekil 1.13: Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım çevrimsel davranış ve enerji dağıtım kapasitesini gösteren kuvvet-yer değiştirme grafiği (<http://www.oiles.co.jp>)

Kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinde eş değer sönüm oranı, birim şekil değiştirme değeri arttıkça azalmaktadır.



**Şekil 1.14 :** Kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinde sönüm oranı - birim şekil değiştirme ilişkisi.



**Şekil 1.15:** Kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinin çevrimsel davranış modeli

Şekil 1.15'te;

$F_Q$  = Karakteristik dayanım,

$K_2$  = İkincil (elastik ötesi) rijitlik,

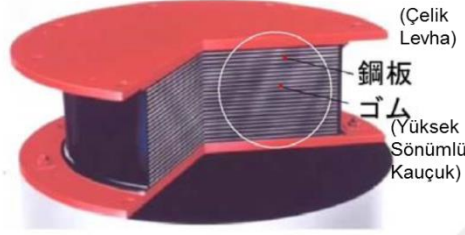
$K_e$  = D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik,

$D_0$  = Yalıtım birimi çevrimsel davranış içerisinde yaptığı en büyük yer değiştirme

### 1.3.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk esaslı yalıtım birimleri (HDRB)

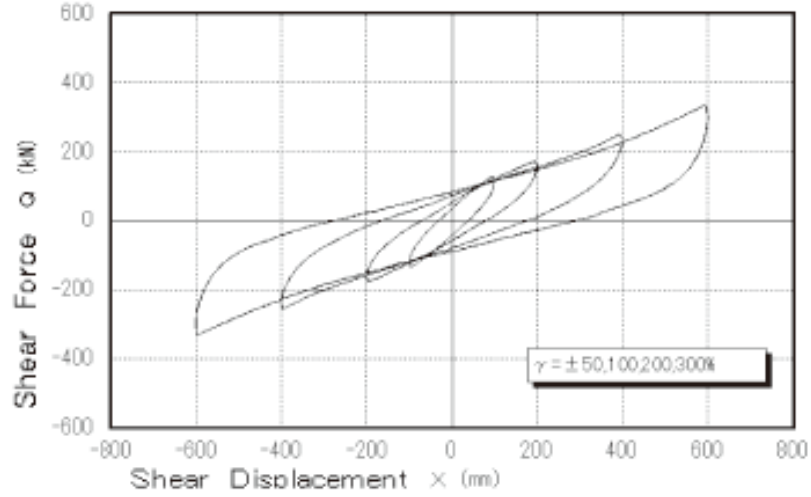
İngiltere de bulunan "Malaysian Rubber Producers' Research Association" (MRPA)" kurumu tarafından 1982 yılında; doğal kauçuk esaslı yalıtım birimlerine ilave ek sönüme ihtiyaç duyulmasıyla, yeterli içsel sönümü olan doğal kauçuktan bir bileşim

geliştirilmiştir. Bu bileşim sonucu meydana gelen yüksek sönümlü kauçuklar ile çelik plakalar çeşitli yapıştırma teknikleri ile birleştirilerek yüksek sönümlü kauçuk esaslı yalıtım birimini (HDRB) oluşturmaktadırlar. Doğal kauçuk ile aralarındaki fark ise sisteme yüksek sönüm özelliği kazandıran aşırı saf karbon blok, yağlar veya reçineler ve diğer patentli katkı maddelerinin kauçuk malzemeye eklenmesidir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16 : Yüksek sönümlü elastomer yalıtım birimleri (HDRB).

HDRB yalıtım birimlerinde sönüm ne viskoz ne de histerik karakterli olup, ikisinin arasında değer alır. Tamamıyla lineer viskoz bir elemandaki enerji yutulması, yer değiştirme durumunda kuadrattir. Histerik sistemde ise enerji yutulması, yer değiştirme durumunda lineer olma eğilimindedir.



Şekil 1.17 : Yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimlerine ait kuvvet-yer değiştirme grafiği.

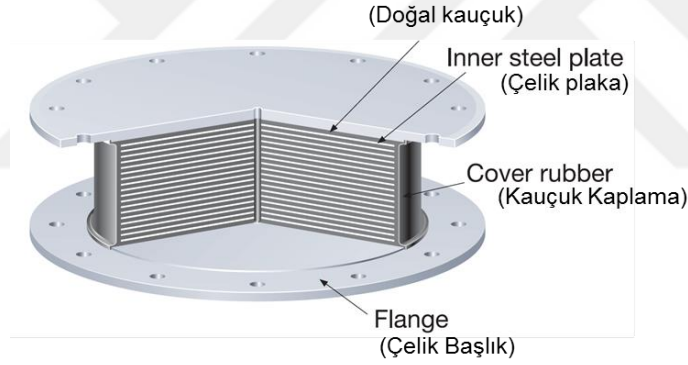
Yüksek sönümlü kauçuk birimleri kullanılmış bir yapıda, yalıtım birimlerinin yatay bileşendeki esnekliği nedeniyle titreşim periyodu büyük değerler alır. Ancak, rüzgar

baskın frekansının bu sistemin frekansına eşit olacak rüzgar yüküne maruz kalması durumunda, yapı rezonans tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir (Yoshida ve diğ.,2004 , s.130)

Aynı zamanda bu birimlerde sönüm ve mekaniksel özellikler sıcaklığa bağımlı olarak çalıştığından yüksek sönümlü yalıtım birimleri, bu etkiden bağımsız olan kurşun çekirdekli izolatörlere göre daha az uygulanmaktadır.

### 1.3.1.3 Doğal kauçuk (düşük sönümlü) esaslı yalıtım birimleri (NRB)

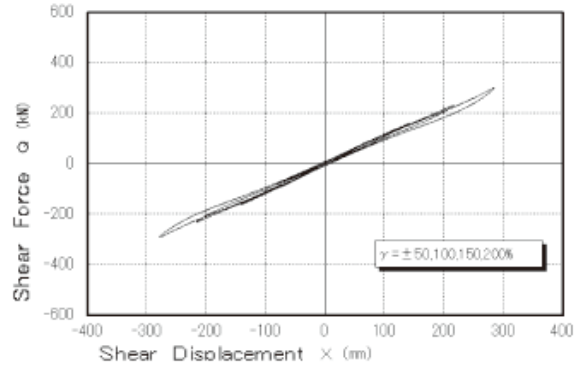
Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk yalıtım birimleri, kauçuk ve çelik plakalardan oluşmaktadır. Doğal sönümü düşük kauçuktan oluşan bu birimlerin iki adet çelik uç levhası ve levhalar arasında bulunan çok sayıda ince çelik levhaları bulunmaktadır. Kauçuk malzeme, özel bir kalıpta imal edilen uygun sıcaklık ve basınç altında tek bir işlem dahilinde, vulkanize edilmiş ve çeliğe bağlanmıştır (**Şekil 1.18**). Düşey yükler altında yükün üniform dağılmasını sağlayan çelik plakalar, burkulma etkilerini önlerken yüksek bir düşey rijitlik sağlamak fakat kauçuk tabaka kalınlığına ve sayısına bağlı olan yatay rijitliğe katkı sağlamamaktadır.



**Şekil 1.18** : Düşük sönümlü yalıtım birimi (NRB).

İmal edilmesi basit, modellenmesi kolay olan bu birimlerinin önemli avantajları, zamanla eskimemesi hız ve sıcaklıktan etkilenmemesi gösterilebilir. Diğer yandan, yalıtım sisteminde LDRB'ye ek sönüm sağlayacak elamanlara ihtiyaç duyulması bu birimlerin tek dezavantajıdır.

Doğal kauçuk esaslı yalıtım sistemlerinde yerdeğiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak lineer değişmektedir. Yalıtım biriminin mekanik davranışı hem viskoelastik hem de histerik davranış gösterir. (**Şekil 1.19**). Malzeme davranışları %100 civarındaki kayma şekil değiştirmelerinde doğrusal olup, sönüm oranı kritik sönümün %2-3 ü oranındadır. Sünme oranı düşük olup uzun süreli yük altında malzemenin eski halini alma davranışı oldukça yüksektir (Baştuğ, 2004).



**Şekil 1.19** : Doğal kauçuk (NRB) yalıtım birimlerine ait kuvvet-yer değiştirme grafiği.

## 1.4 Deprem Yalıtımı Uygulama Örnekleri

### 1.4.1 Makedonya

Kauçuk yalıtım birimi ilk olarak 1969 yılında Üsküp, Makedonya’ da The Pestalozzi School adında üç katlı bir ilkokul binasında İsviçreli mühendisler tarafından tasarlanmış ve inşa edilmiştir (**Şekil 1.20**). Şu anki teknolojinin aksine, kauçuklar blok şeklinde kullanılıp, kauçuk yastıkların arasına çelik plakalar kullanılmadığından bina ağırlığı izolatörlerin bel vermesine sebep olmuştur (**Şekil 1.21**) (Robinson, 2000 , s.329).



**Şekil 1.20** : Pestalozzi İlkokulu, Üsküp, Makedonya (Naeim & Kelly, 1999, s.2).



**Şekil 1.21:** Pestalozzi okulunda kullanılan izolatör (Robinson, 2000 , s.329).

#### 1.4.2 Yeni Zelanda

Yeni Zelanda’da deneysel, teorik ve deprem yalıtım sistemlerinin uygulamasını içeren çalışmalara 1968 yılında başlamıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak tasarımı Yeni Zelanda’da yapılıp, üretilen, ihraç edilen birçok çeşit pasif titreşim kontrol cihazı bulunmaktadır.

Dünyada kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ile depreme karşı güçlendirilen ilk bina yakın fay etkisinde bulunan ve 1981’de inşası tamamlanan William Clayton binasıdır (**Şekil 1.22**). Kullanılan 80 adet kurşun çekirdekli yalıtım birimi ile binanın doğal periyodunun 2.5 sn ve yalıtım birimi deplasman kapasitesinin 15 cm olduğu hesaplanmıştır. (Robinson, 2000 , s.329)



**Şekil 1.22 :** William Clayton bina görünümü b. Kullanılan kurşun çekirdekli yalıtım birimi (Naeim & Kelly, 1999, s.15) .

Bunun yanında Yeni Zelanda’da deprem yalıtımı uygulanmış binaya bir örnek de Te Papa Müzesi gösterilebilir. Kat alanı 3500m<sup>2</sup>, yüksekliği 23 m ve 5 katlı otel olarak tasarlanan binanın inşası 1999 yılında tamamlanmıştır.(**Şekil 1.23**). Bu müzede 142

adet kurşun çekirdekli yalıtım birimi ile perde duvarların altına yerleştirilen teflon kayıcı mesnet kullanılmıştır.



**Şekil 1.23** : Te Papa müzesi, Wellington, Yeni Zellanda

(<https://www.tepapa.govt.nz/>).

### 1.4.3 Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletlerinde deprem yalıtımlı tasarlanmış binalar çoğunlukla deprem faaliyetlerinin yoğun olduğu Kaliforniya Eyaleti'nde bulunmaktadır. Ancak Utah, Oregon, Washington, Nevada ve Tennessee eyaletlerinde de deprem yalıtımı örnekleri bulunmaktadır. (Martelli,2006)

- Foothill Adalet Bakanlığı (FCLJC), Rancho Cucamonga, Kaliforniya

1985 yılında, Amerika Birleşik Devletlerindeki ilk deprem yalıtımlı bina olması özelliği ile beraber dünyadaki ilk yüksek sönümlü kauçuk esaslı yalıtım biriminin kullanıldığı yapıdır (**Şekil 1.24**). Bu yapı önemli bir hat olan San Andreas fay hattına yalnızca 20 km uzaklıktadır. 4 katlı olan yapıda Richter ölçeğine göre 8.3 büyüklüğündeki depreme göre tasarlanan 98 adet yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimi kullanılmıştır (Kelly,1997).



**Şekil 1.24** : Foothill Communities Law and Justice Center, Ranch Cucumonga, California (I.D. Aiken).

- Trafik yönetim merkezi, Kearny Mesa, Kaliforniya

Yapı Kaliforniya Eyalati'nde 1994 yılında yapılmıştır. Trafik yönetim merkezi olarak kullanılan binada yüksek sönümlü kauçuk esaslı yalıtım birimi kullanılmıştır. Yalıtım birimi en büyük yaptığı deplasman değeri 25.4 cm olacak şekilde 40 adet 600 mm çaplı olarak kullanılmıştır.(**Şekil 1.25&Şekil 1.26**) (Kelly,1997).



**Şekil 1.25:** Trafik yönetim merkezi, Kearny Mesa, Kaliforniya (Kelly,1997).





**Şekil 1.26 :** Trafik yönetim merkezinde kullanılan yüksek sönümlü kauçuk izolatör.

- Hayward belediye binası

Bir devlet binası olan Hayward belediye binası 9290 m<sup>2</sup> kat planına sahiptir. İnşası 1998 yılında tamamlanmış olan yapı aktif bir fay hattına yakın olarak 4 kat olarak teşkil edilmiştir.(Şekil 1.27.a). Bina Hayward fayında muhtemel gerçekleşecek büyük bir depremde bile işlevselliğini koruyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Binada 53 adet sürtünme esaslı yalıtım birimi ve 15 sönümleyici ile güçlü yer hareketlerinden korunmuştur(Amerika Deprem Güçlendirme Kurumu,2010). Yalıtım birimleri bodrum kat kolonlarının üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 1.27.b).



**Şekil 1.27:** a.Hayward belediye binası b.Sürtünme sarkaçlı yalıtım birimi

- San Fransisko uluslararası havaalanı terminali

Önemli ve yolcu kapasitesi açısından önemli bir havalimanı özelliği olan San Fransisko havaalanı taşıyıcı sisteminde 21 m açıklıklı kirişler ve 24 m yükseklikli kolonları içermektedir. Bina San Andreas fay hattında oluşabilecek 8.0 büyüklüğündeki depremlere göre, 3.0 sn doğal titreşim periyoduna ve taban kesme kuvvetini %70 azaltacak şekilde tasarlanmış; 267 adet sürtünme esaslı yalıtım birimi kullanılmıştır (Şekil 1.28) (Kravchuk ve diğ.,2008). Aynı zamanda ise 62,300 m<sup>2</sup> iç alana sahip olmasıyla dünyadaki en büyük yalıtım uygulanmış binalarındandır.



**Şekil 1.28** : San Fransisko uluslararası havaalanı terminali (Kravchuk ve diğ.,2008).

- Seahawks futbol stadyumu

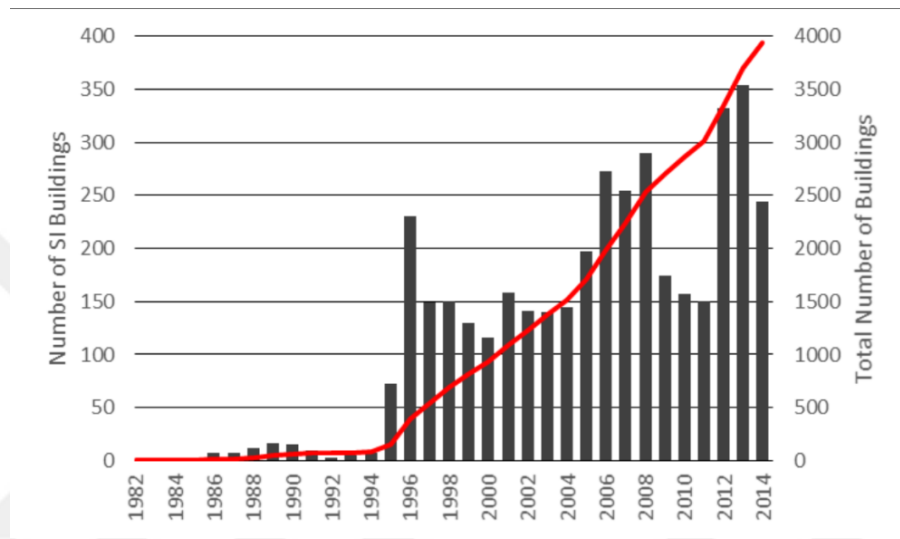
2002 yılında inşası tamamlanmış bu yapı Seattle Washington bölgesinde 7000 koltuk kapasiteli futbol stadyumu olarak tasarlanmıştır. Stadyumda deprem etkisine karşı sürtünme sarkaçlı yalıtım birimi ile deprem yalıtımı yapılmıştır. Bu birimler çatı destek kulelerinin üzerine yerleştirilerek, çatı kafesinin uzun doğrultuda hareket serbestliği sağlanmıştır. Her birim 29400 N'luk yatay yüke karşı gelmektedir (Kravchuk ve diğ.,2008).

#### **1.4.4 Japonya**

Günümüzde deprem yalıtımı teknolojisinin en detaylı araştırıldığı ve en yaygın kullanıldığı ülke tartışılmaz Japonya'dır. Elastomer yalıtım birimleri ve modern deprem yalıtım teknolojileri hakkındaki araştırma geliştirme çalışmaları 1980'li yıllarda üniversiteli araştırmacılar tarafından başlatılmıştır. İlk olarak büyük modern deprem yalıtımlı bina 1986 yılında uygulanmıştır. 17 Ocak 1995 Kobe depremi olduğunda ise Japonya' da yaklaşık 80 adet deprem yalıtımlı yapı bulunmaktaydı. (Naeim, F. & Kelly, 1999; Kelly & Konstantinidis, 2011). Deprem hareketlerinin en yoğun hissedildiği Kobe şehrinde ise iki adet deprem yalıtımlı bina bulunmaktadır. Bunlardan biri 'Computer Center of the Ministry of Post and Telecommunications' diğeri ise bir inşaat şirketine ait olan laboratuvar binasıdır. Bu binalar depreme karşı güçlü bir performans sergilemiş olup, yapısal hasar oluşmamıştır. Böylece Eylül 1995 yılından 1996 yılına kadar deprem yalıtım bina sayısı 200'lere ulaşmıştır (**Şekil 1.30**). Günümüzde Japonya'da deprem yalıtımlı bina sayısı 4000'i geçmiştir. Deprem öncesinde deprem yalıtımı uygulamaları genelde iş dünyasına ofislerde iken etkili yer hareketlerinden sonra apartman şeklindeki kamu binalarında da kullanımı yaygınlaşmıştır (Asena, 2010).



**Şekil 1.29** : Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı Bilgisayar Merkezi (Asena, 2010)



**Şekil 1.30**: Japonya’da deprem yalıtımlı bina sayısının yıllara göre dağılımı (Takayama,2017).

Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığı bilgisayar merkezi betonarme bir yapı ve 6 katlı olarak inşa edilmiştir (Şekil 1.29). Binada 54 adet çapı 2,0 m olan kurşun çekirdekli yalıtım birimi, 46 adet 1,0 m çapında ve 20 adet 0,8 m çapında doğal kauçuk esaslı yalıtım birimi ile 44 çelik sönümleyici ile yapı periyodu 3.9 sn olacak şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır. 1995 yılında Hykogen Nanbu depremine maruz kalan yapı, bu yer hareketi sonucunda yalıtım biriminde deplasman 12 cm ve maksimum yer ivmesi 0.41g iken 6. kattaki maksimum yer ivmesinin 0.31g olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda bu yapının yakınlarındaki ankastre mesnetli yapıların birçok hasar aldığı rapor edilmişken bu yapının hiçbir hasar almadığı belirtilmiştir.

Japonya’da deprem yalıtımı uygulanmış yapılara örnek ‘Tokyo Skytree East Tower’ binası örnek gösterilebilir(Şekil 1.31). 2012 yılında inşası tamamlanmış bina otuz bir kata sahip olup, alışveriş merkezleri, ofis, eğlence merkezleri, tiyatro gibi bölümleri içinde barındırmaktadır. (Enr, Engineering News-Record).

'Park Hino' lojistik binası yine Japonya'da deprem yalıtımı uygulanmış önemli bir başka yapıdır(Şekil 1.32). Beş kattan oluşan binanın inşası 2015 tamamlanmıştır.



Şekil 1.31 : Tokyo Skytree East Tower kulesi, Japonya (Enr, Engineering News-Record).



Şekil 1.32 : Park Hino lojistik binası, Japonya (Enr, Engineering News-Record).

#### 1.4.5 İtalya

- Somplago Viyadüğü

İtalya' daki ilk deprem yalıtımı uygulaması olarak Udine-Tarvisio otoyolu üzerindeki Somplago Viyadüğü gösterilebilir. 1970 yılında deprem yalıtımı uygulanan bu yapı Avrupa' da yalıtım uygulanan ilk köprü örneğidir. Orta ayaklarda kayıcı mesnetler uygulanırken köprü kenar akslarına elastomer takozlar konulmuştur. (Şekil 1.33) (Castellano, 2007). 1976 yılında gerçekleşen Friuli depremi etkisinden konvansiyonel yöntemlerle tasarlanan ve uygulanan diğer yapılar hasar görürken Samlago Viyadüğü depremi hasarsız atlarmayı başarmıştır.



**Şekil 1.33** : Somplago Viyadüğü (Castellano, 2007).

- Yeni itfaiye merkezi, Naples

İtalya'da deprem yalıtımı uygulanmış ilk bina olan itfaiye merkezi 1985 yılında Naples'da çelik- betonarme karma taşıyıcı sistem olarak tasarlanıp uygulanmıştır. (Şekil 1.34) (Hıgashino, 2006). Düşey yük taşıyıcı sistemi merdiven ve asansörlerin bulunduğu betonarme kuleler ve üst grid'den asılı çelik iskelete sahiptir. Zemin katın otopark olması nedeni ile tamamen kolonsuz olması istenmektedir (Antonucci & Medeot, 2003).Tasarımın ilk aşamasında deprem yükleri göz önüne alınmamıştır. Fakat 1980 yılında meydana gelen Campano- Lucana depremi sonrası Naples deprem bölgesi olarak kabul edilmiştir. Bu da orijinal tasarımda değişiklik gerektirmiştir. Yeni deprem yönetmeliği gereğince güçlendirme amacıyla çekiçleme etkisinden yapıyı koruyacak şekilde betonarme kulelerle üst çelik grid arasına enerji sönümleyiciler yerleştirilmiştir.



**Şekil 1.34** : Yeni itfaiye merkezi (Hıgashino, 2006).

- Telekom merkezi, Ankona

1988 yılında inşasına başlanan 1992 yılında tamamlanan, Ankona'da bulunan, betonarme beş adet binadan oluşan Telekom binalarında deprem yalıtımı kullanılmıştır. Binalarda en çok kullanılan yükseklik 25 m olup , 4 ile 7 kat arasında

uygulanmıştır. Binalardak urşun çekirdekli yalıtım birimi temeller üzerine konularak yalıtılmış, bina periyodu yalıtım birimleri sayesinde 0.25 sn.den 1.68 sn.ye çıkarılmış ve yalıtım birimi deplasmanı 14 cm olarak tasarlanmıştır (Şekil 1.35) (Martelli & Forni, 1998).



Şekil 1.35 : 297 yüksek sönümleyici kauçuk mesnet, inşaat başlangıcı (Martelli & Forni, 1998).

#### 1.4.6 Çin

Mayıs 2005 tarihine kadar 490 adet binada pasif sismik titreşim kontrollü yapılmıştır (270 adeti yağma bina) (Şekil 1.36). Diğer yandan deprem yalıtımı teknolojisi köprülerde ve viyadüklerde de kullanılmıştır (Ian ve diğ.,1999).



Şekil 1.36 : Deprem yalıtımı uygulanmış bina sistemleri (Higashino, 2006).

- Shan Tou şehir müzesi

13 katlı ve kat planı 28,000 m<sup>2</sup> olan betonarme Shan Tou şehir müzesinde ilk katta kolonların üzerine deprem yalıtım birimi yerleştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerine göre kıyaslandığında deprem yalıtımı bu yapının taban kesme kuvvetleri 1/4 oranında azalırken, üst yapıdaki kesitler küçülmüş ve yalıtım birimleri ile beraber toplam maliyet %2 artmış ancak güvenlik düzeyi 5 katına çıkmıştır (Higashino, 2006).

#### 1.4.7 Türkiyede'deki deprem yalıtım uygulamaları

Türkiye'de ilk deprem yalıtım uygulamaları 1999 depremi öncesinde köprü ve viyadüklerde başlamıştır: (Ersavaş, 2014)

- 1991 yılında, Bolu Viyadklerinde eğilmeli elik sönümleyici kullanılmıştır.
- 1997 yılında, Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolu zerindeki Atatürk Köprüsü'nde kurşun çekirdekli yalıtım birimi kullanılmıştır.
- 1999 yılında, Düzce depreminde zarar gören viyadklere deprem yalıtımı uygulanmıştır. Yer hareketinden etkilenen viyadklere çapı 3m olan 500 adet yalıtım birimi yerleştirilmiştir.
- 2000 yılında, Atatürk Havaalanı Terminal binasının çatısının deprem yalıtımı için yalıtım periyodu 3 sn; deplasman kapasitesi 30 cm olan 130 adet sürtünme esaslı yalıtım birimi kolon üstlerinde kullanılmıştır(Şekil 1.37).



Şekil 1.37 : Atatürk Havalimanında deprem yalıtım uygulaması.

- 2004 yılında, Kocaeli Üniversitesi Hastanesi'nde 265 adet sürtünme esaslı yalıtım birimi bodrum kat kolonlarının üst kotuna döşeme altında kullanılmıştır.
- 2004 yılında, Antalya Havaalanı Terminal Binası 4. deprem bölgesinden 2. deprem bölgesine alındığından güçlendirme amaçlı 500 adet kurşun çekirdekli yalıtım birimi kullanılmıştır.
- 2005 yılında, Türkiye Ekonomi Bankası'nda deplasman kapasitesi 40 cm olan 87 adet doğal kauçuk esaslı (NRB) ve kurşun çekirdekli yalıtım birimi (LRB) kullanılmıştır.
- Sağlık Bakanlığı'nın, 1.ci ve 2.ci derece deprem bölgelerinde 100 yatak üzerindeki hastane binalarında deprem yalıtımı uygulanması kararı yeni bir süreci başlatmıştır. Bu süreç başlangıcında, 2012 yılında deprem yalıtımlı yeni bir hastane tesisi olarak, 1200 yataklı Erzurum Sağlık Kompleksi gösterilmektedir(**Şekil 1.38**).250.574 m2 inşaat yer almaktadır. İnşaatı halen devam eden bu komplekste, 1248 adet deprem yalıtım birimi kullanılmıştır.



**Şekil 1.38** : 1200 yataklı Erzurum Sağlık Kompleksi.

- Bir diğer deprem yalıtımı uygulanmış bina ise 2008 yılında deprem yalıtım uygulaması yapılan Sabiha Gökçen Havaalanı terminal binasıdır. 160,000 m2 alanı olan bu yapının deprem yalıtımı için 252 adet yalıtım birimi kullanılmıştır.





**Şekil 1.39** : Sabiha Gökçen Havalimanı, İstanbul.

2009 yılından itibaren, Sağlık Bakanlığı Hastane binalarının deprem yalıtımlı olarak yapılması fikri yerleşmeye başlamış ve 2010 yılı içinde bu düşünce kabul görerek o şekilde gerçekleştirme kararı verilmiştir. Sağlık Bakanlığı Hastanelerinde “Bakanlığımız İnşaat ve Onarım Dairesi Bakanlığınca yayınlanan 2012 /6 sayılı genelge ile ‘Sağlıkta Dönüşüm Programı Kapsamında Yapılacak Sağlık Tesisleri için Uyulması Gereken Hususlar’ a ait kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerin Deprem Bölgeleri ile ilgili bölümünün 1. Maddesinde ‘1. Ve 2. Deprem bölgelerinde 100 yatak ve üzeri hastanelerin taşıyıcı sistemleri deprem yalıtımlı olarak projelendirilecektir. Yalıtım modeli seçimi, teknik çalışma ve projelendirme sonrası Bakanlık tarafından onaylanacaktır. Deprem yalıtımlı olarak inşa edilecek yapılara ait proje ve yapım asgari standartları Bakanlığımızca düzenlenmiştir” ifadeleri ile belirtilen 2013/3 Genelgesi itibariyle uygulamaya geçilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2013). Bu karardan itibaren;

- 2012 yılında, 750 yataklı Erzurum Sağlık Kompleksi’nde 1248 adet sürtünme esaslı yalıtım birimi,
- 2012 yılında, Marmara Üniversitesi Başbüyük Hastanesi’nde 832 adet NRB yalıtım birimi,
- 2013 yılında, Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi’nde 506 adet sürtünme esaslı yalıtım birimi,
- 2013 yılında, Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi’nde üç sürtünme yüzeyli yalıtım birimi
- 2013 yılında, Kartal Lütfi Kırdar Eğitim ve Araştırma Hastanesi’nde 855 adet sürtünme esaslı yalıtım birimi kullanılmış olup, sonraki yıllarda ise hastane binaları ve birçok alanda kullanılmış olup ilerlemeye devam edilmiştir.



## 2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YAPI MODELİ

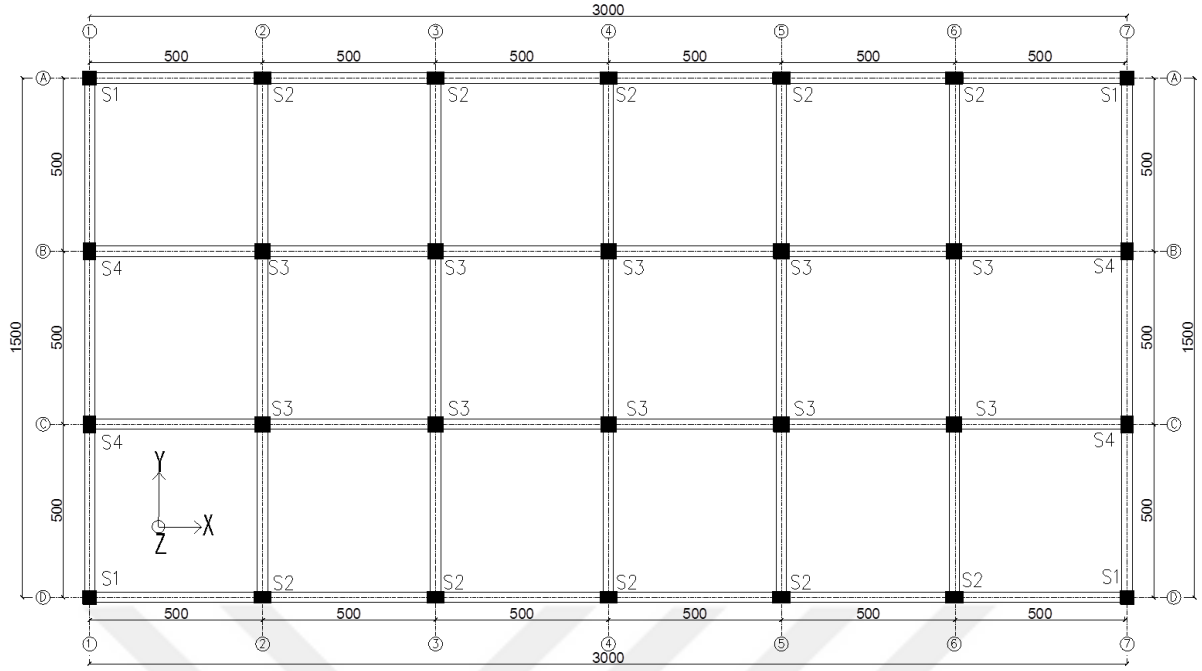
Bu çalışmada kullanılacak “sabit temelli” yapı modeli 4 kattan oluşup her bir katın yüksekliği 3m olarak belirlenmiştir. Yapı kalıp planı uzun doğrultu olarak kabul edilen x yönünde 7, kısa doğrultusu olan y yönünde 4 adet akstan oluşmaktadır. 1. Deprem Bölgesinde tasarlanacak yapı bir okul binasıdır. Yapı analiz ve boyutlandırmada kullanılacak bazı parametreler **Çizelge 2.1**'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1** : Yapı için genel bilgiler.

Kat Adeti	4
Her bir kat yüksekliği (m)	3
X yönü aks sayısı	7
Y yönü aks sayısı	4
Etkin yer ivme katsayısı ( $A_0$ )	0.4
Bina önem katsayısı (I)	1.4
Yerel zemin sınıfı	Z3
Spektrum karakteristik periyotları ( $T_a, T_b$ )	0.15-0.6
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	8
Hareketli yük katsayısı (n)	0.6

### 2.1 Yapı Modeli Ve Taşıyıcı Sistem Detayları

Bu çalışmada değerlendirilecek yapı modeli 4 katlı okul tipi yapı olup, tüm katlar için aynı kalıp planı **Şekil 2.1**'de gösterilmiştir. Sabit temelli bina modelinin aks aralıkları sabit temelli binalarda sık kullanılan, makul değerler seviyesinde seçilmiştir. TS500 ve DBYBHY 2007 yönetmelikleri dikkate alınarak hesap ve boyutlandırma yapılmıştır. Tasarımda Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır.



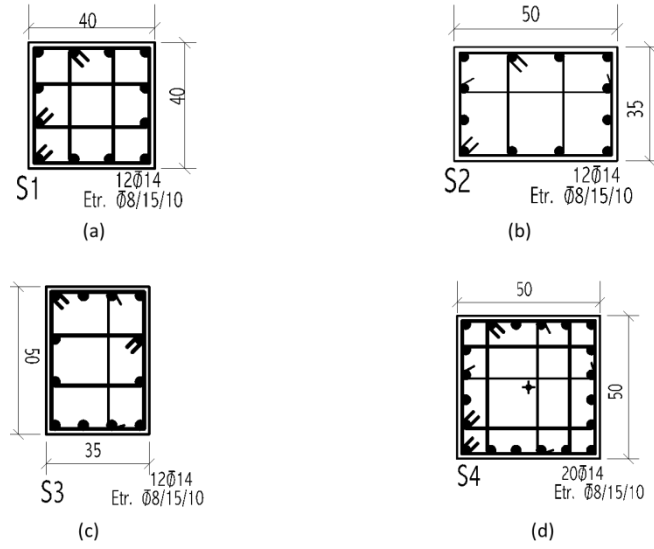
**Şekil 2.1:** Sabit temelli 4 katlı okul kat kalıp planı.

#### Kolonlar:

Yapı sisteminde kullanılan kolon tipleri sırasıyla S1,S2,S3,S4 olmak üzere tanımlanmıştır. Dört farklı kolon tipi ve boyutlar Çizelge 2.2’de gösterilmiştir. Kolonlar için seçilen beton sınıfı C30, donatı çelik sınıfı S420’dir. Dört farklı kolon tipi en kesit detayları **Şekil 2.2**’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2 :** Kolon kesit ölçüleri.

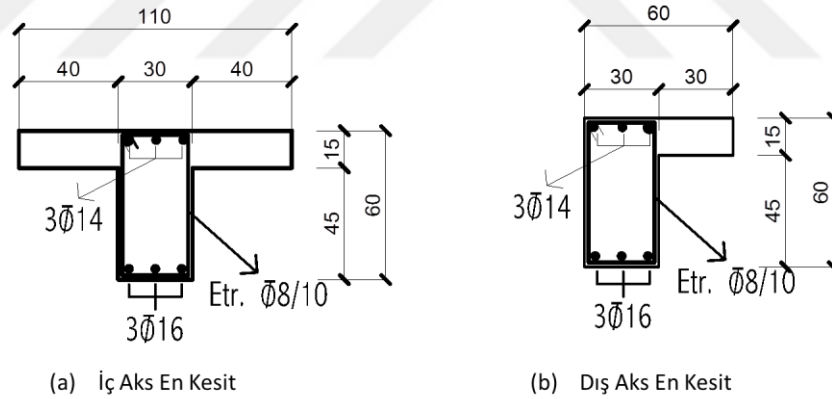
KOLON İSMİ	$L_x$ (cm)	$L_y$ (cm)
S1	40	40
S2	50	35
S3	50	50
S4	35	50



**Şekil 2.2** : Kolon en kesit detayları.

### Kirişler:

Modelde kirişler 30x60 cm olarak teşkil edilmiştir. Türk Standartları (TS500) (6.13)'de belirtilen etkili tabla genişliği belirlenerek oluşturulan kiriş kenar ve iç aks enkesit detayı **Şekil 2.3**'de verilmiştir. Kirişler için beton sınıfı C30, donatı çeliği S420 seçilmiştir.



**Şekil 2.3** : Kiriş en kesit detayı.

### Döşemeler:

Yapı modelinde 15 cm plak döşeme seçilmiştir. Döşemelerde kullanılan beton sınıfı C30, donatı çeliği ise S420 olarak teşkil edilmiştir.

- Döşeme yükleri;

Döşemeler için tüm katlarda ölü yük değeri ,  $g=4.5 \text{ kN/m}^2$  , hareketli yük değeri ise  $q=1.5 \text{ kN/m}^2$  seçilmiştir.

Ölü yük için hesap detayları **Çizelge 2.3**'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.3** : Ölü yük hesaplama tablosu.

KATMAN	YOĞUNLUK ( $kN/m^3$ )	KALINLIK ( $m$ )	YÜK DEĞERİ ( $kN/m^2$ )
Betonarme Döşeme	25	0.15	3.75
Karo Kaplama	22	0.01	0.22
Kaplama Harcı	2.2	0.02	0.044
Tesviye Betonu	2	0.05	0.1
Hesaplanan Toplam Ölü Yük Değeri=			4.114

### 3. SABİT TEMELLİ BİNANIN TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1 Yer Hareketi

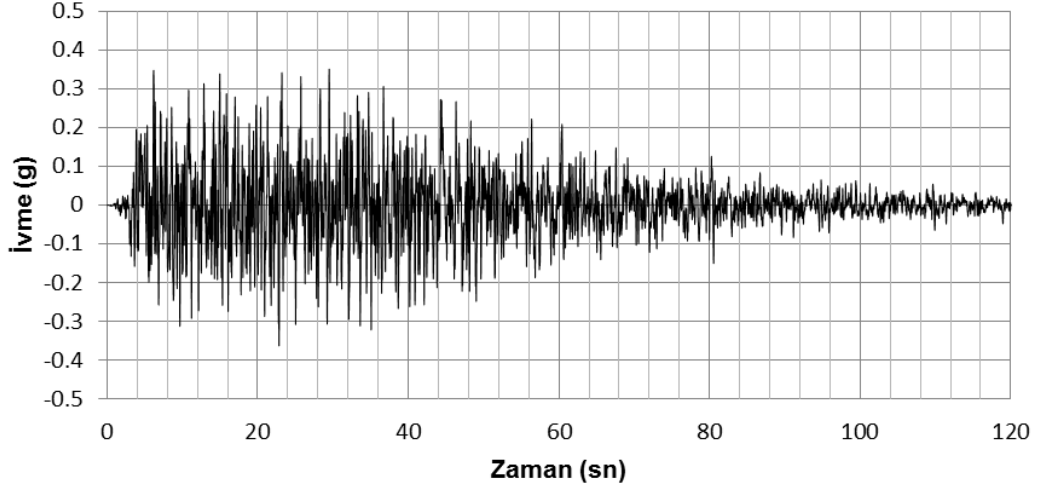
Yapı analizinde ve doğrusal olmayan davranışın değerlendirilmesinde kullanılmak üzere aşağıda belirtilen yer hareketleri göz önüne alınacaktır.

- BCJ-L2 Yapay Yer Hareketi
- JMI Kobe Depremi 1995
- El Centro 1940 EW Imperial Valley Depremi
- Tabas T1 Yer Hareketi 1978
- Northridge RRS Yer Hareketi 1994
- San Fernando PEL Yer Hareketi 1971
- Kocaeli YPT Yer Hareketi 1999
- ChiChi TCU052 Yer Hareketi 1999

Bu yer hareketlerinden ilk 3'ü aşağıda detaylarıyla açıklanmış, diğerleri için ise özet bilgiler tablolar halinde sunulmuştur. İlk 3 yer hareketi sırasıyla, yapay, yakın kaynaklı ve uzak kaynaklı yer hareketlerini temsil etmektedir.

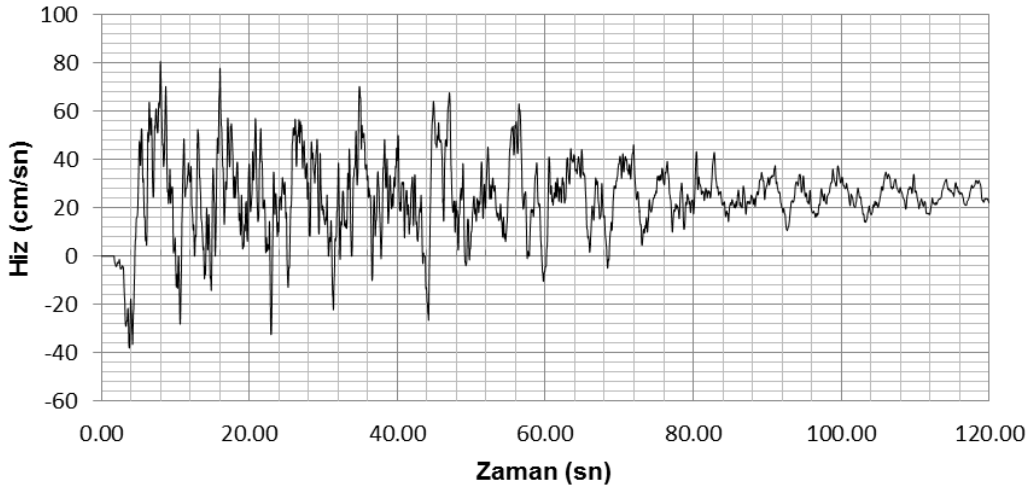
##### 3.1.1 BCJ-L2 Yapay yer hareketi

Building Center Japan, Japonya'nın resmi bina tipi yapı değerlendirme kurumudur. Bu kurumun yayınlamış olduğu ve sentetik bir yer hareketi olan *BCJ-L2*, tasarım spektrumu ile örtüşecek şekilde hesaplanmış olup, Japonya'daki güncel tasarım ve uygulamalarda tasarım seviyesi deprem yer hareketi için sıkça kullanılmaktadır.



**Şekil 3.1:** BCJ-L2 yapay yer hareketi ivme-zaman grafiği

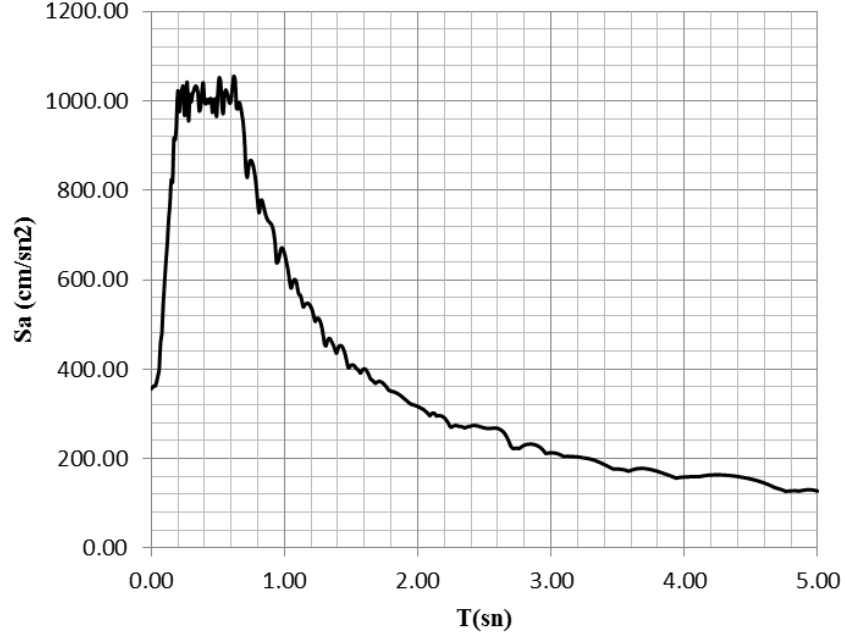
BCJ-L2 hareketinin en büyük ivme değeri  $PGA = 0.362$  g olup , bu değer 22.85 sn'de okunmaktadır.



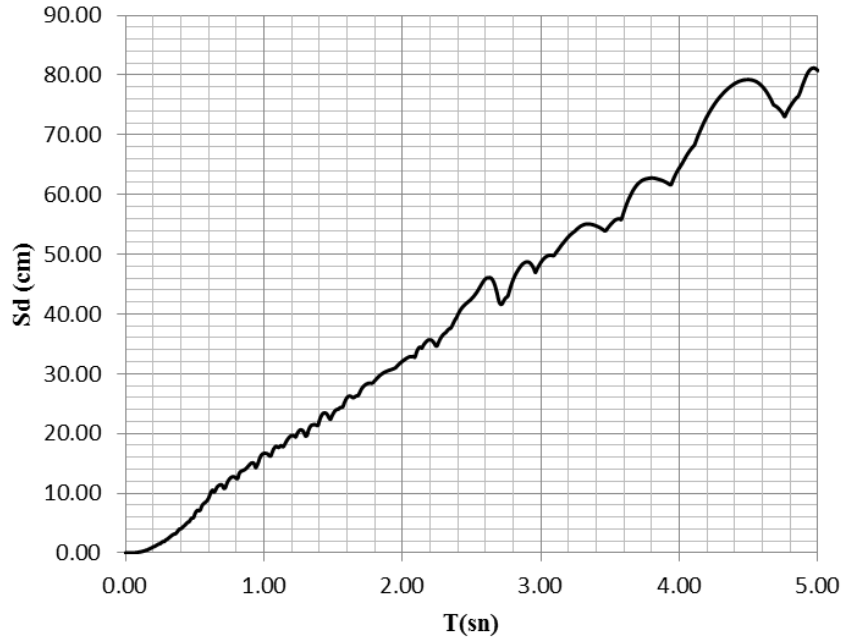
**Şekil 3.2 :** BCJ-L2 yapay yer hareketi hız-zaman grafiği

Hız Zaman grafiğine göre maksimum hız 80 cm/sn olarak 7.97 sn'de okunmaktadır.





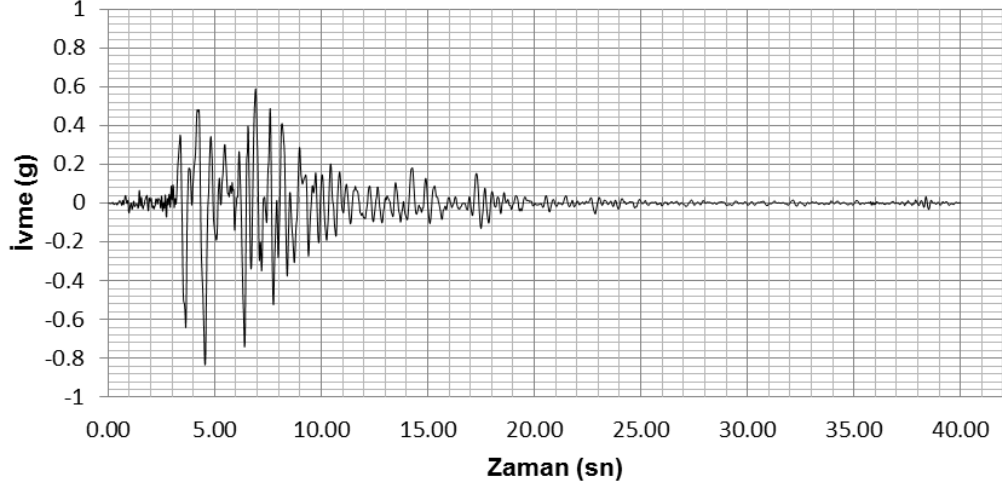
Şekil 3.3 : BCJ-L2 yapay yer hareketi spektral ivme grafiği (h=5%) .



Şekil 3.4 : BCJ-L2 yapay yer hareketi spektral deplasman grafiği (h=5%).

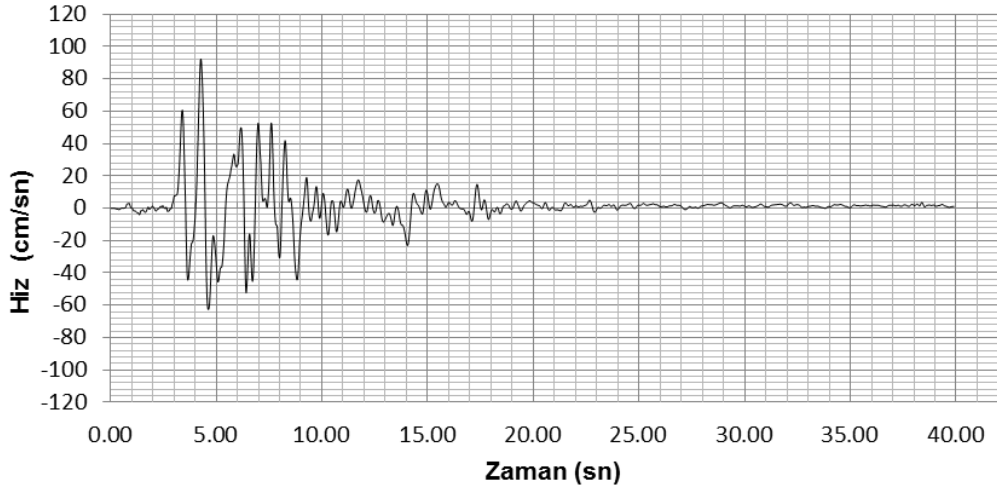
### 3.1.2 Kobe 1995 Depremi

17 Ocak 1995 sabahı saat 5:46 civarında meydana gelen 7.2 ölçeğindeki Hyogo-Ken Nanbu depremi Japonya'nın Kobe liman kentinde ağır hasara neden olmuştur. Deprem merkezinin derinliği 13.3 km ölçülmüştür. Fay kırılması sağ atımlı kayma kırılması şeklindedir.



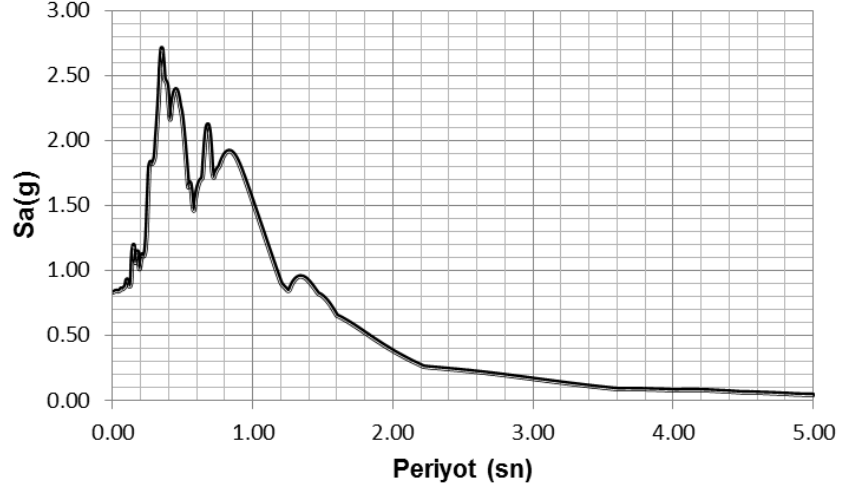
Şekil 3.5 : Kobe 1995 yer hareketi ivme-zaman grafiği.

Kobe 1995 yer hareketinin en büyük ivme değeri  $PGA = 0.83 \text{ g}$  olarak 4.54'üncü saniyede okunmuştur.

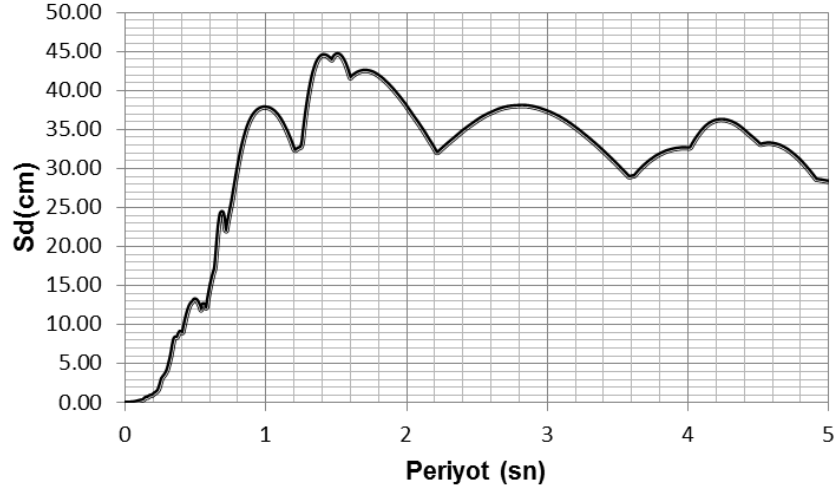


Şekil 3.6 : Kobe 1995 yer hareketi hız-zaman grafiği.

Hız Zaman grafiğine göre en büyük hız  $92.21 \text{ cm/sn}$  olarak 4.34 sn de okunmuştur.(Şekil 3.6).



Şekil 3.7 : Kobe 1995 yer hareketi spektral ivme grafiği (h=5%).

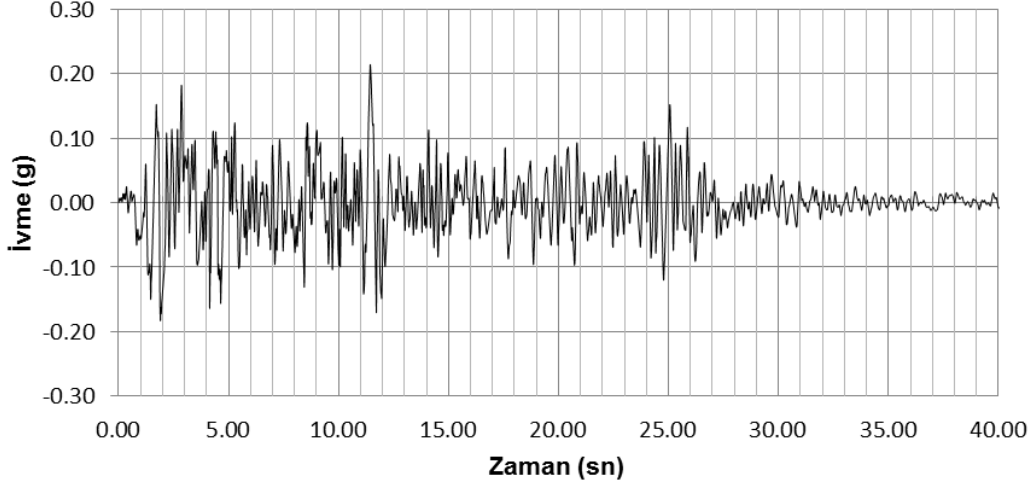


Şekil 3.8 : Kobe 1995 yer hareketi spektral deplasman grafiği (h=5%).

### 3.1.3 El Centro 1940 EW Imperial Valley yer hareketi

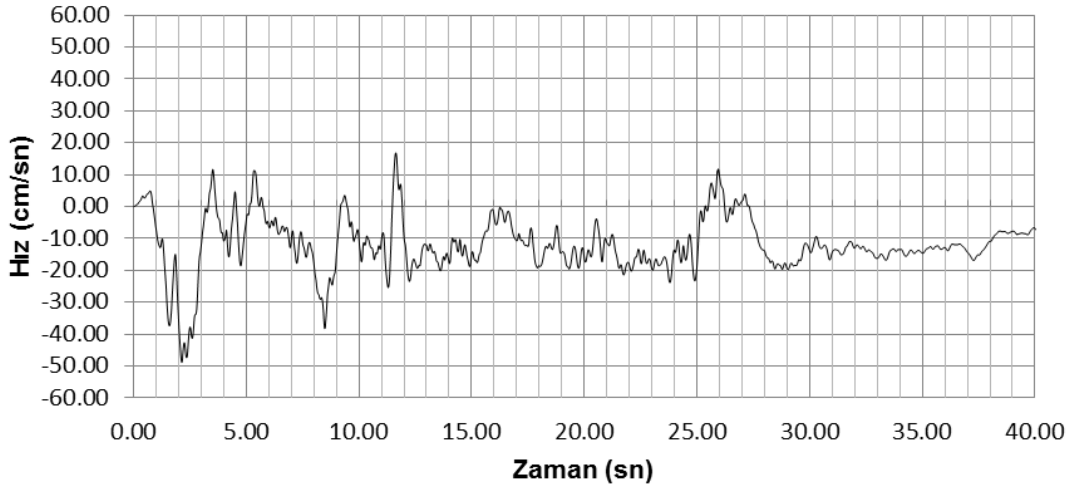
Yer hareketi 18 Mayıs 1940 yılında Pasifik saatine göre 21:35'te gerçekleşmiş olup, merkez üssü Amerika Birleşik Devletlerinin Kaliforniya Eyaleti'nde Kuzey Kaleksiko ilçesine 8 km olarak belirlenmiştir .

El Centro Depremi doğu batı yer hareketi kayıtları El Centro'da devlet sulama bölgelerinde bir kayıt makinesi tarafından elde edilmiştir. Bu deprem fay kırılmasına yakın ölçülen ilk büyük etkin yer hareketi kayıtlarından birisidir.



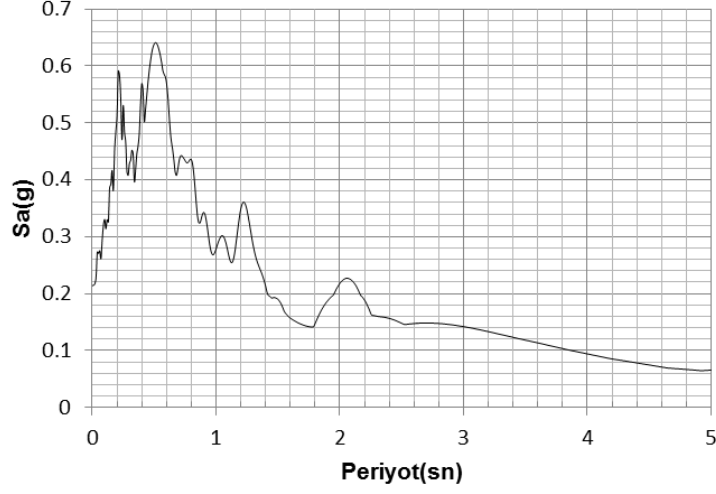
**Şekil 3.9** : El Centro Imperial Valley 1940 EW ivme-Zaman grafiği  
(Berkeley University, PEER Ground Motion Database).

El Centro Imperial Valley 1940 yer hareketine göre en büyük ivme değeri 0.2147 g olup , bu değer 11.44 sn de okunmuştur.

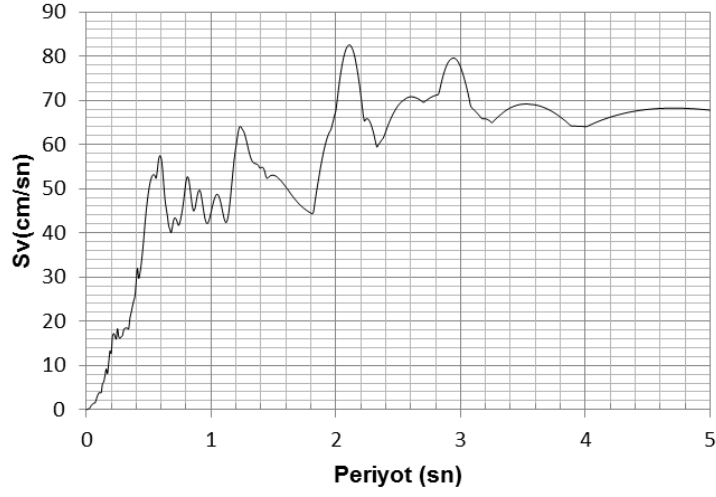


**Şekil 3.10** : El Centro Imperial Valley 1940 EW hız-zaman Grafiği  
(Berkeley University, PEER Ground Motion Database).

Hız zaman grafiğine göre en büyük hız 48.79 cm/sn olarak 2.14 sn de okunmuştur.



Şekil 3.11: El Centro Imperial Valley EW spektral ivme grafiği (h=5%).



Şekil 3.12 : El Centro Imperial Valley EW spektral hız grafiği (h=5%).

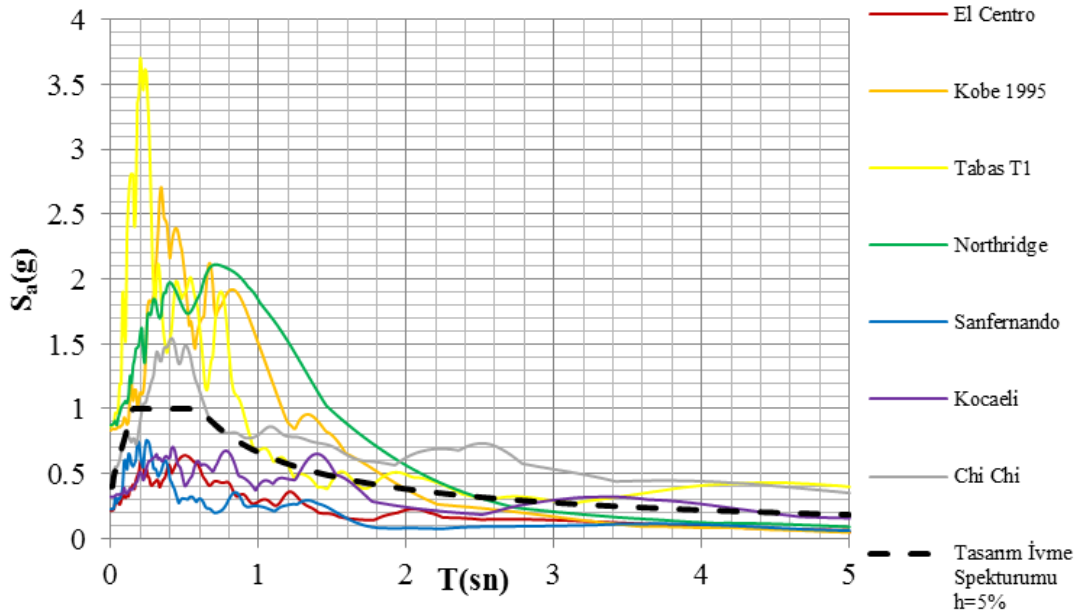
### 3.1.4 Tüm yer hareketlerinin kıyaslanması

Doğrusal olmayan davranışın değerlendirmesinde kullanılacak yer hareketleri ile ilgili parametreler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1:** Zaman tanım alanlı analizde kullanılacak yer hareketleri.

	<i>YER HAREKETİ</i>	<i>PGA (g)</i>	<i>Kayıt Süresi /sn</i>	<i>Tarih</i>
1	EL CENTRO IMP VALLEY	0.21	40	1940
2	KOBE 1995	0.83	40	1995
3	TABAS T1	0.86	33	1978
4	NORTHRIDGE RRS	0.87	20	1994
5	SAN FERNANDO PEL	0.22	79.45	1971
6	KOCAELI YPT	0.32	35	1999
7	CHI CHI TCU 052N	0.45	90	1999
8	BCJ-L2	0.36	120	-

Şekil 3.13'de doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden zaman tanım alanında analiz yöntemi için kullanılacak 7 farklı yer hareketinin %5 sönüm oranlı ivme spektrumları gösterilmiştir.



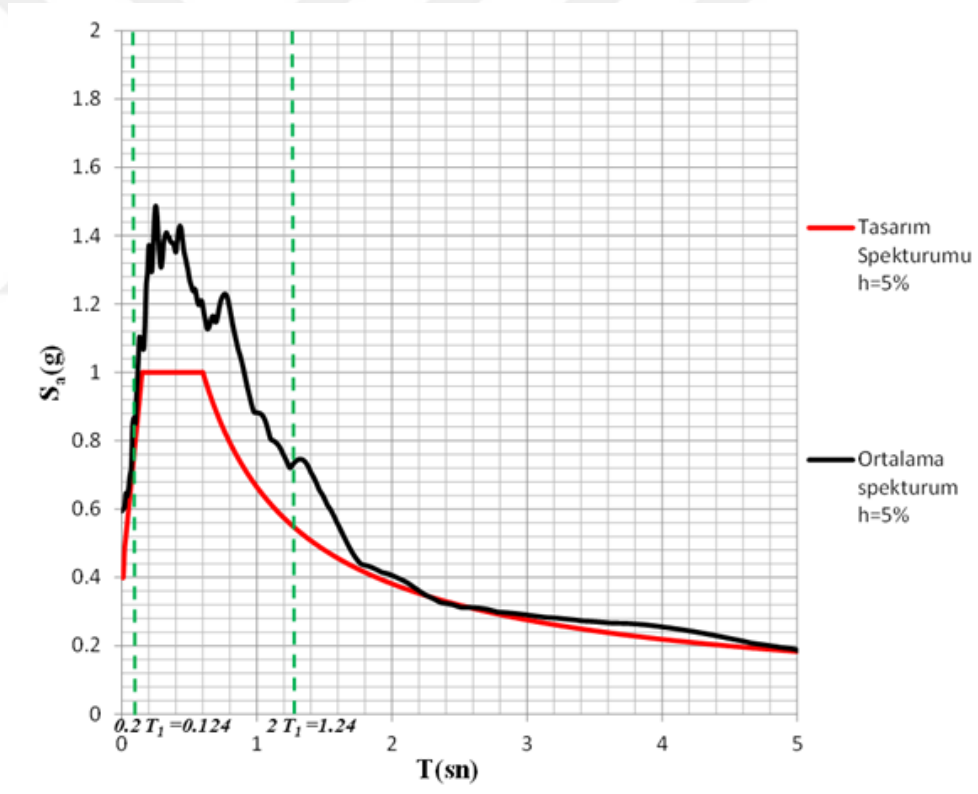
**Şekil 3.13:** Seçilen yer hareketleri ivme spektrumları (h=5%).

Şekil 3.13'te seçilen yer hareket kayıtlarının her biri uygun katsayılarla çarpılıp, ölçeklenerek ortalama spektrum elde edilmiştir. Ortalama spektrumu oluşturan 7 farklı yer hareketinin ölçeklendirme değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2** : Seçilen yer hareketlerinin ölçeklendirme bilgileri.

	<b>YER HAREKETİ</b>	<b>Ölçek</b>	<b>PGA (g)</b>
1	EL CENTRO IMP VALLEY	100%	0.21
2	KOBE 1995	100%	0.83
3	TABAS T1	100%	0.86
4	NORTHRIDGE RRS	100%	0.87
5	SAN FERNANDO PEL	100%	0.22
6	KOCAELI YPT	200%	0.64
7	CHI CHI TCU 052N	100%	0.45

Şekil 3.14'de ise bu 7 farklı yer hareketleriyle ölçeklenerek hesaplanan ortalama spektrum gösterilmiştir. İlgili yönetmelikte de belirtildiği gibi ortalama hesap spektrumu ,  $0.2 T_1 = 0.124$  sn ve  $2T_1 = 1.24$  sn aralığında tasarım ivme spektrumun üzerinde kalmıştır.



**Şekil 3.14** : Ölçeklenmiş yer hareketi seti spektrumu ortalaması ve tasarım spektrumu ile kıyaslanması (h=5%)

### 3.2 Analiz

Sabit temelli bina TS-500 ve DBYBHY 2007'e göre doğrusal mod birleştirme yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca bu yönetmeliklerin tasarım koşulları sağlanacak şekilde boyutlandırılmıştır.

#### 3.2.1 Modal analiz

SAP 2000 yazılımı kullanılarak özdeğer ve özvektör yöntemi kullanılarak modal analiz yapılmıştır. Kütlelerin katlara homojen olarak dağıldığı kabulü ile kat kütle atalet momentleri ( $I_i$ , kütle), aşağıda denk(1.1) yardımıyla hesaplanmıştır. Katlara ait kütle atalet momentleri **Çizelge 3.3**'de verilmiştir.

$$I_{i,kütle} = M_i * [(a^2 + b)^2 / 12] \quad (1.1)$$

$I_{i,kütle}$  : i. kat kütle atalet momenti

$M_i$  : i. katın kütlesi

a : Yapının uzun doğrultusundaki toplam boyu

b : Yapının kısa doğrultusundaki toplam boyu

**Çizelge 3.3** : Katlara ait kütle atalet momentleri ve toplam ağırlıklar.

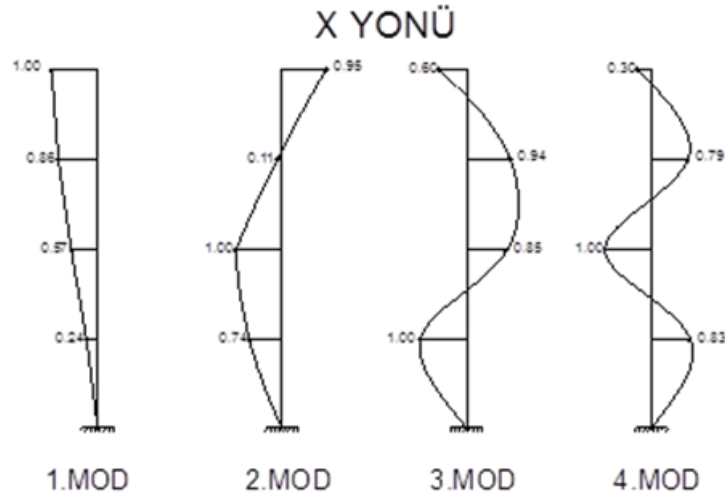
KAT NO	TOPLAM	Kat Kütlesi	Kat Kütle
	KAT AĞIRLIKLARI	( $M_i$ )	Atalet
	( $W_i$ ) (kN)	(kN*s <sup>2</sup> /m)	Momentleri
			(Kn*m*s <sup>2</sup> )
4.Kat	5796.75	590.90	56726.59
3.Kat	5796.75	590.90	56726.59
2.Kat	5796.75	590.90	56726.63
1.Kat	5796.75	590.90	56726.61

Modal analiz sonucunda global eksenler için uzun doğrultuda doğal titreşim periyodu  $T_x$  , kısa doğrultuda doğal titreşim periyodu  $T_y$  , **Çizelge 3.4**'de gösterilmiştir.

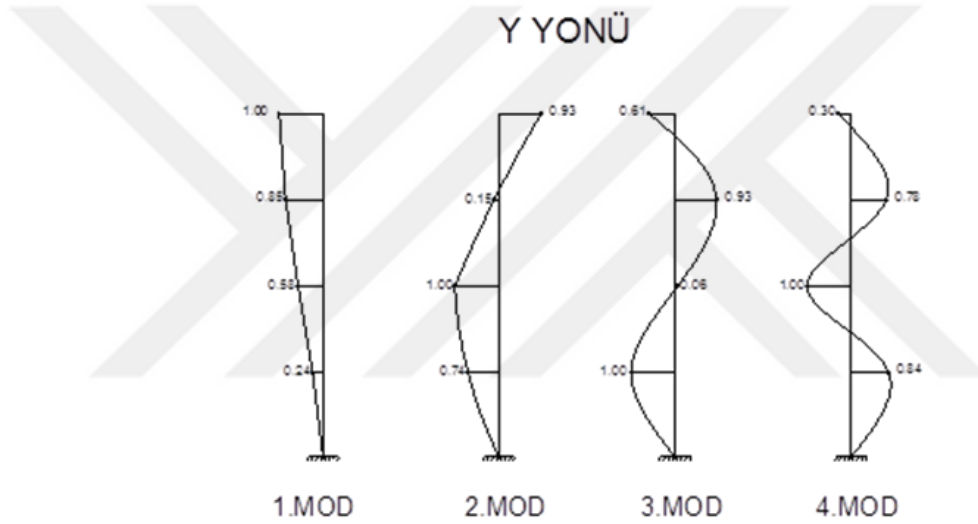
**Çizelge 3.4** : Yapının doğal titreşim periyodları.

	$T_x$ (sn)	$T_y$ (sn)
Doğal Titreşim Periyodu	0.62	0.61





**Şekil 3.15 :** Yapı X Yönü (Uzun Doğrultuda ) Mod Şekilleri.



**Şekil 3.16 :** Yapı Y Yönü (Kısa Doğrultuda ) Mod Şekilleri.

### 3.2.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz

Bu yöntemde, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden differansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu yapılmaktadır. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış sonucu sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimini gözönüne alınır.

D.B.Y.B.H.Y 2007 2.bölüm kurallarına göre her bir deprem doğrultusu için , i'inci katındaki kolon veya perdelerde, hesaplanan etkin görelî kat ötemelerinin en büyük değeri **DBYBHY 2007 Denk.(2.19)**'de verilen koşulu sağlamak zorundadır.

$$\frac{(\delta_i)_{maks}}{h_i} \leq 0.02 \tag{2.19}$$

SAP 2000 yazılımı yardımıyla zaman tanım alanlı analiz öncesi yapımızda eğilme etkisindeki betonarme elamanların akma öncesi doğrusal davranışları için çatlama kesite ait eğilme rijitlikleri hesaplanacaktır, bu hesap için, DBYBHY 2007 7.6.4.6’da verilen aşağıdaki değerler kullanılacaktır.

Kirişlerde : 0.40 EI

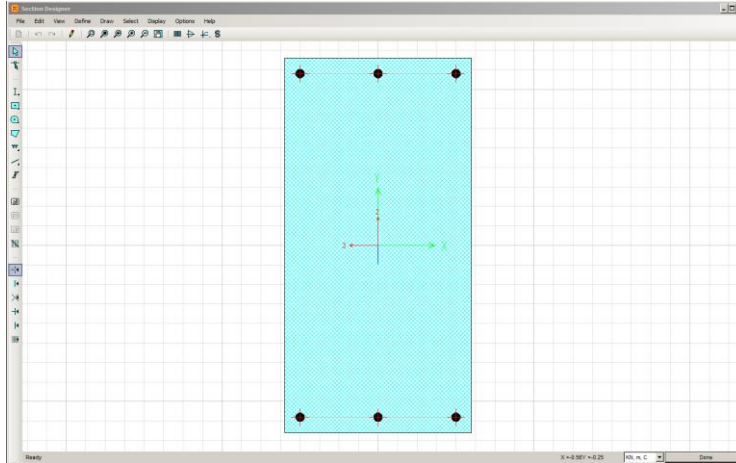
Kolon ve Perdelerde ,  $N_D/(A_c x f_{cm}) \leq 0.10$  olması durumunda : 0.40 EI<sub>0</sub>,

$N_D/(A_c x f_{cm}) \geq 0.40$  olması durumunda : 0.80 EI<sub>0</sub>,

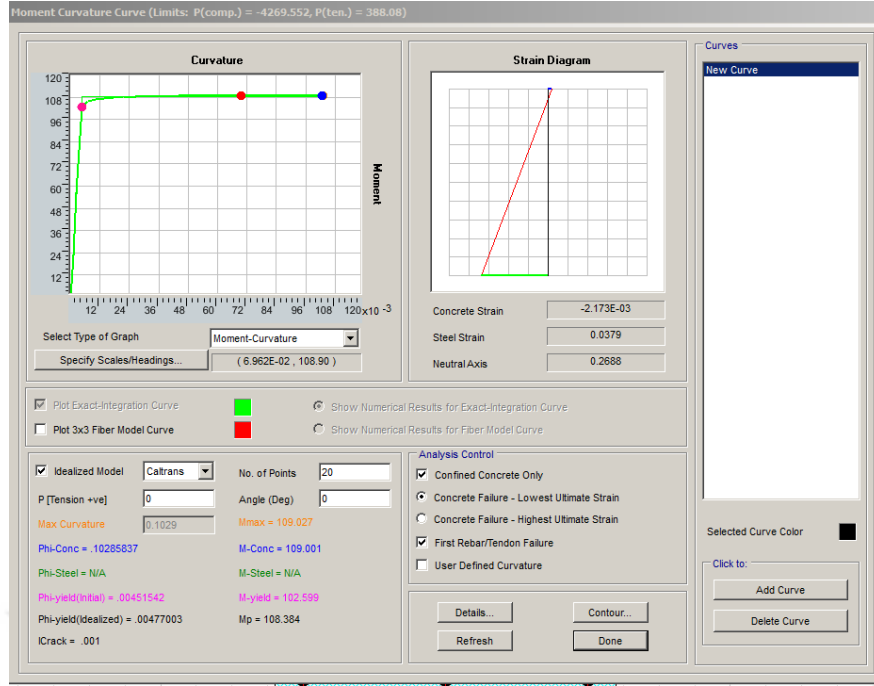
### 3.2.3 Yapısal elamanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin belirlenmesi

Kirişlerin aksenal kuvvet almadığı kabulü ile sadece moment-eğrilik bağıntıları, kolonlarda ise aksenal kuvvet etkisinde olduğu için moment –eğrilik bağıntıları ile birlikte kesit akma yüzeyleri de belirlenmiştir.

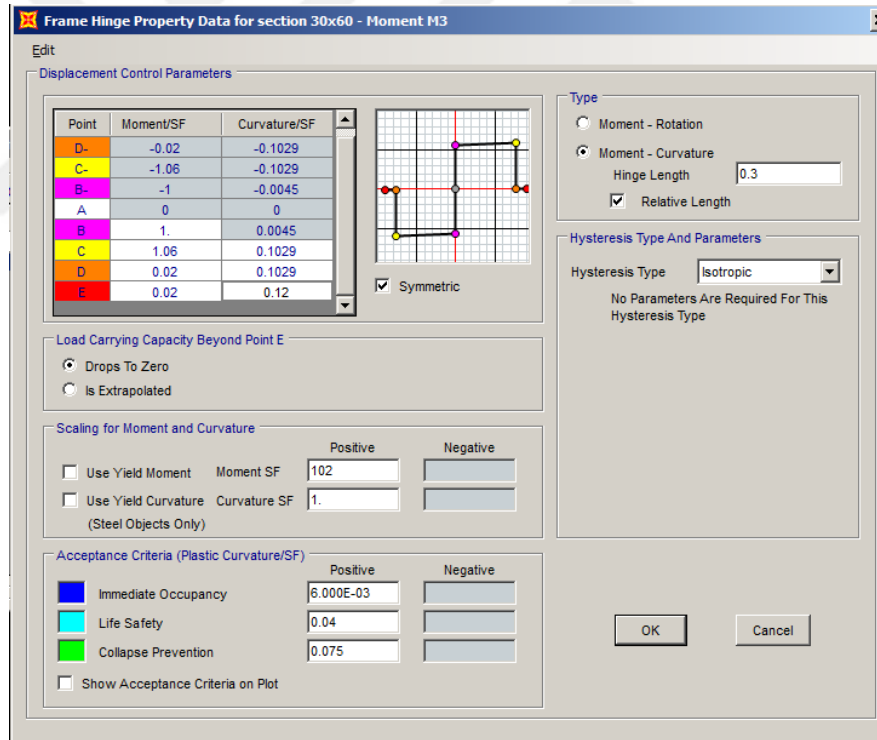
SAP 2000 yazılımı “Section Designer” özelliği kullanılarak yapı sisteminde kullanılan tüm yapı elemanlarının moment eğrilik kapasiteleri hesaplanacaktır(Şekil 3.17). Kesit kapasitelerinin belirlenmesinin ardından SAP 2000’de her farklı kesit için mafsalları tanımlanacaktır. Mafsalları tanımlama “Hinge Properties” sekmesi ile tanımlanıp, daha sonra kesitlere atanacaktır.



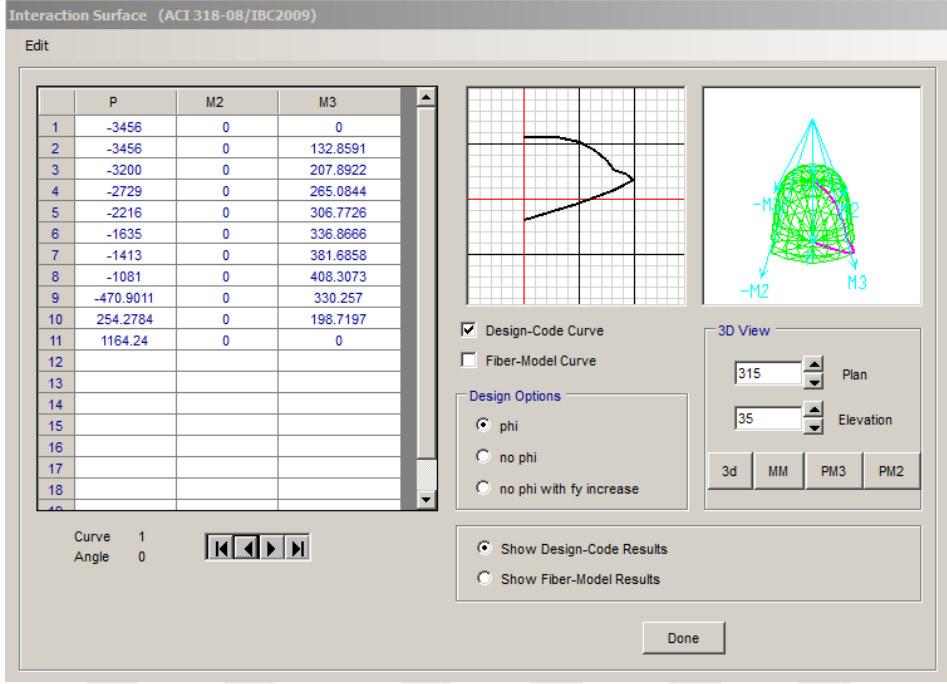
Şekil 3.17 : SAP 2000 “Section Designer” ile kiriş kesitinin oluşturulması.



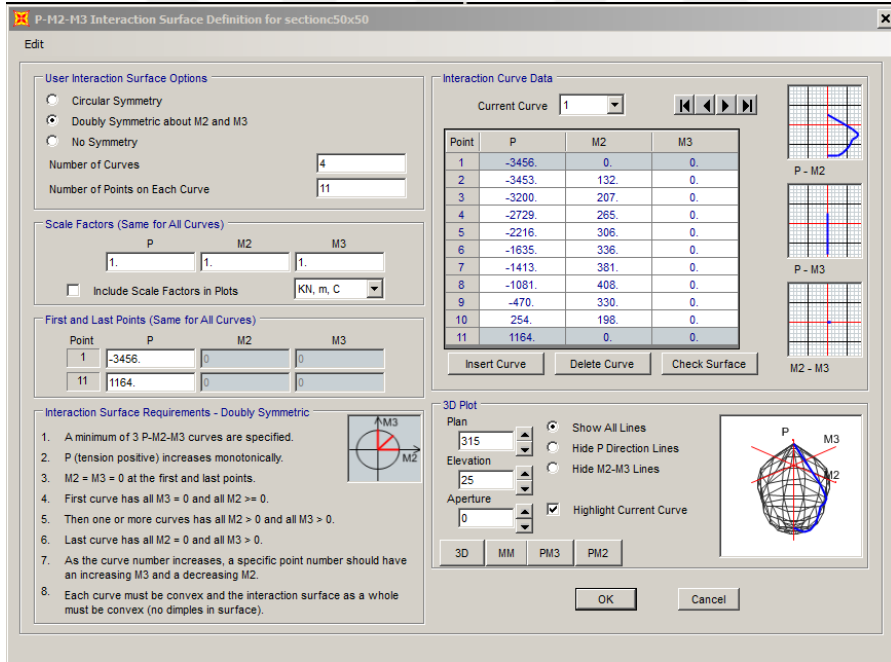
Şekil 3.18 : Section Designer ile moment eğrilik bağıntısının elde edilmesi.



Şekil 3.19 : SAP 2000'de kesit moment eğrilik sınırlarının tanımlanması.



Şekil 3.20 : Section Designer ile kesit akma yüzeylerinin belirlenmesi.



Şekil 3.21: SAP 2000'de P-M2-M3 akma yüzeylerinin tanımlanması.

Taşıyıcı elamanların her biri için kesit moment eğrilik bağıntıları ve akma yüzeyleri belirlenmiş, SAP 2000 yazılımında tüm kesitlere tanımlanmıştır.

### 3.2.4 BCJ-L2 yapay yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz

BCJ-L2 sentetik yer hareket kaydını kullanarak SAP 2000 yazılımı ile zaman tanım alanında analiz yapılmıştır.

### 3.2.4.1 BCJ-L2 yer hareketi ile zaman tanım alanında x yönü analiz

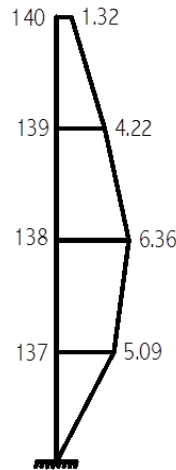
Zaman tanım alanlı analiz verisinde BCJ-L2 sentetik yer hareket kaydı kullanılmış olup analiz sürecinde yapısal sönüm %5 olarak seçilmiştir.

Zaman tanım alanlı analiz sonucu, yapının plandaki uzun doğrultusu olan x yönünde 7 ve A akslarının kesişiminde bulunan ve kat seviyelerini temsil eden 140,139,138,137 numaralı noktaların en büyük deplasman değerleri “ $d_{i(maks)}$ ”, etkin görel kat deplasmanlarının en büyük değerleri “ $\Delta_i$ ”, en büyük kat ivme değerleri “ $a_i$ ” Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görel deplasman değerleri

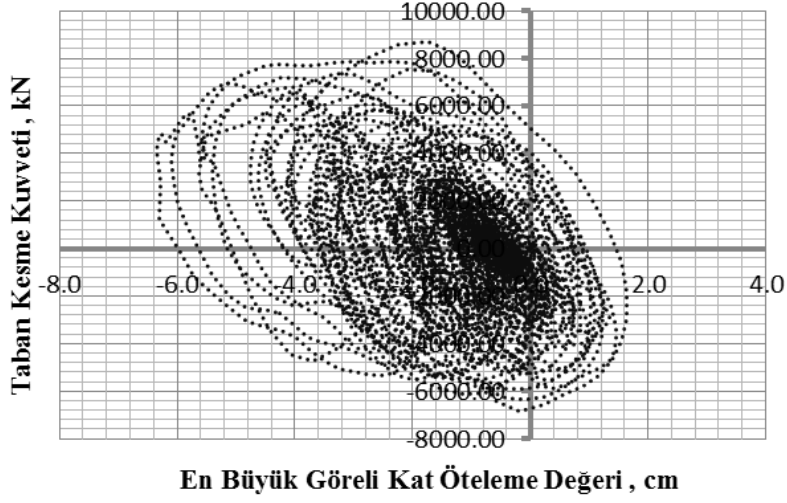
KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$	$a$ ( cm/sn <sup>2</sup> )
	(cm)	(cm)		
4	15.31	1.32	0.004	653.178
3	14.27	4.22	0.014	595.244
2	11.18	6.36	0.021	464.561
1	5.09	5.09	0.017	376.215

Çizelge 3.5’de görüldüğü gibi yapı x yönü analiz sonucunda, ikinci katı temsil eden 138. nokta görel deplasman oranı DBYBHY 2007 denklem 2.19’a göre sınırlanan oran “0.02” değerini aşmaktadır.

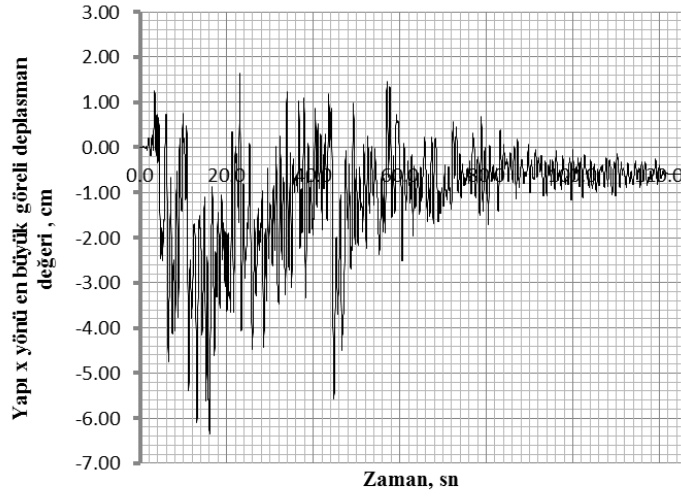


Şekil 3.22 : Yapı x yönü kat en büyük görel deplasman değerleri BCJ-L2 (cm).

Zaman tanım alanlı analiz sonucu yapı x yönü en büyük görelî deplasman ve taban kesme kuvveti bağıntısı Şekil 3.23’de gösterilmiştir. Analiz sonucu y yönü en büyük taban kesme kuvveti 8705 KN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.23 : BCJ-L2 yer hareketi yapı x yönü en büyük görelî deplasman- taban kesme kuvveti ilişkisi.



Şekil 3.24 : BCJ-L2 yer hareketi x yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiğî.

### 3.2.4.2 BCJ-L2 yer hareketi ile zaman tanım alanında y yönü analiz

Zaman tanım alanlı analiz verisinde BCJ-L2 sentetik yer hareket kaydı kullanılmış olup analiz sürecinde yapısal sönüm %5 olarak seçilmiştir.

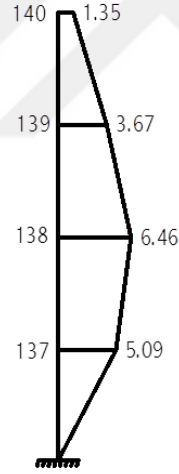
Zaman tanım alanlı analiz sonucu, yapının plandaki kısa doğrultusu olan y yönünde 7 ve A akslarının kesişiminde bulunan ve kat seviyelerini temsil eden 140,139,138,137 numaralı noktaların en büyük deplasman değerleri “*d<sub>imaks</sub>*” , etkin

görelî kat deplasmanlarının en büyük değerleri “ $\Delta_i$ ”, en büyük kat ivme değerleri “ $a_i$ ” Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.6** : Nokta y yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri

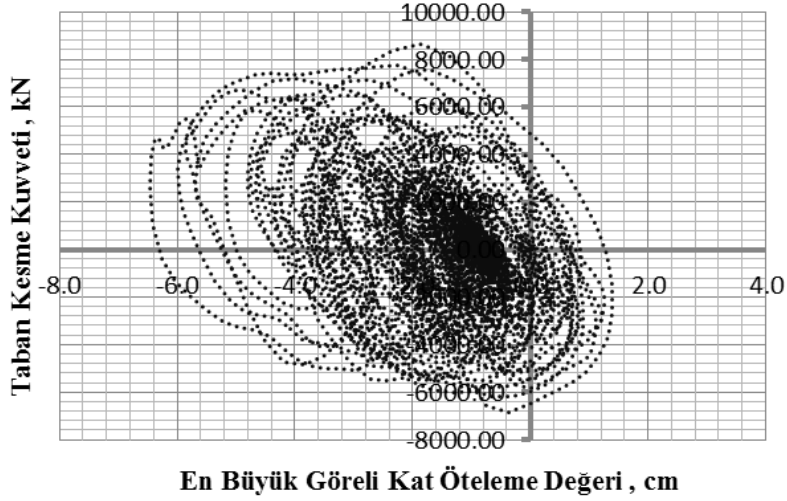
KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$	$a$ ( cm/sn <sup>2</sup> )
	(cm)	(cm)		
4	16.40	1.35	0.005	653.178
3	15.17	3.67	0.012	595.244
2	11.53	6.46	0.022	464.561
1	5.09	5.09	0.017	376.215

Çizelge 3.6’de görüldüğü gibi yapı x yönü analiz sonucunda, ikinci katı temsil eden 138.nokta görelî deplasman oranı DBYBHY 2007 *denklem 2.19*’a göre sınırlanan oran “0.02” değerini aşmaktadır.

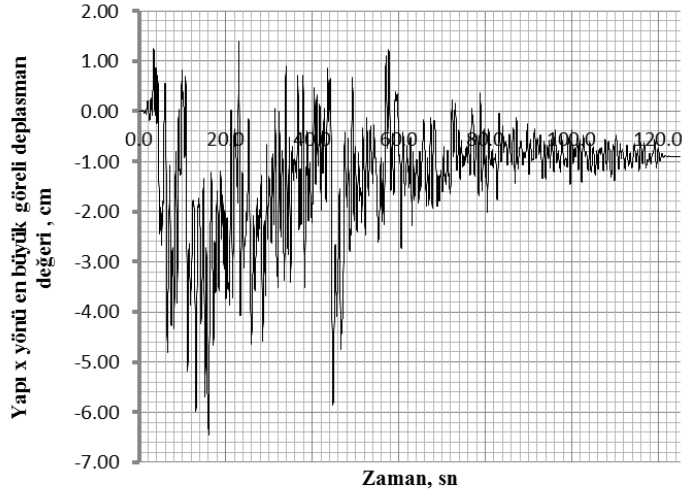


**Şekil 3.25** : Yapı y yönü kat maksimum görelî deplasman değerleri BCJ-L2 (cm).

Zaman tanım alanlı analiz sonucu yapı y yönü en büyük görelî deplasman ve taban kesme kuvveti bağıntısı Şekil 3.26’de gösterilmiştir. Analiz sonucu y yönünde oluşan en büyük taban kesme kuvveti 8606 KN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.26 : BCJ-L2 yer hareketi yapı y yönü en büyük görelî deplasman-taban kesme kuvveti ilişkisi.



Şekil 3.27 : BCJ-L2 yer hareketi y yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiği

### 3.2.5 Kobe 1995 yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz

Kob 1995 depremi yer hareket kaydını kullanarak SAP 2000 yazılımı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. En büyük kat ötelemesi ve kat ivmesi gibi sonuçlar yapının uzun doğrultusu olan x ve kısa doğrultusu olan y için ayrı ayrı açıklanmıştır.

#### 3.2.5.1 Kobe 1995 yer hareketi ile zaman tanım alanında x yönü analiz

Zaman tanım alanlı analiz verisinde Kobe 1995 depremi kayıtları kullanılmış olup, analiz sürecinde yapısal sönüm %5 olarak seçilmiştir.

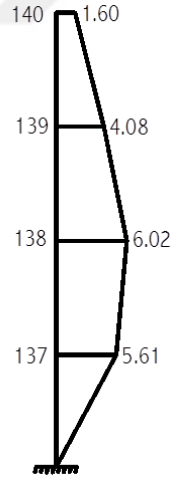


Zaman tanım alanlı analiz sonucu, yapının plandaki uzun doğrultusu olan x yönünde 7 ve A akslarının kesişiminde bulunan ve kat seviyelerini temsil eden 140,139,138,137 numaralı noktaların en büyük deplasman değerleri “ $d_{i(maks)}$ ”, etkin görelî kat deplasmanlarının en büyük değerleri “ $\Delta_i$ ”, en büyük kat ivme değerleri “ $a_i$ ” **Çizelge 3.7**’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7:** Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri.

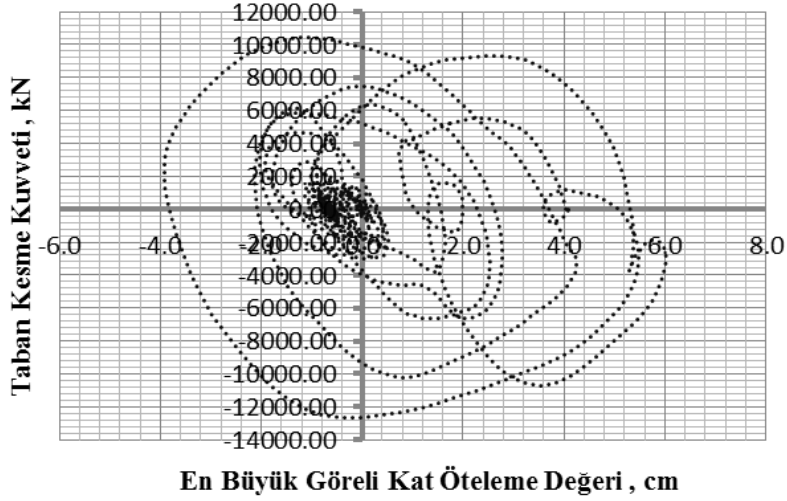
KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$	$a$ ( cm/sn <sup>2</sup> )
	(cm)	(cm)		
4	17.21	1.60	0.005	812.273
3	15.61	4.08	0.014	715.171
2	11.57	6.02	0.020	543.694
1	5.61	5.61	0.019	303.116

**Çizelge 3.7**’de görüldüğü gibi yapı x yönü analiz sonucunda, ikinci katı temsil eden 138.nokta görelî kat deplasman oranı DBYBHY 2007 **denklem 2.19**’a göre sınırlanan oran “0.02” değerine eşittir.

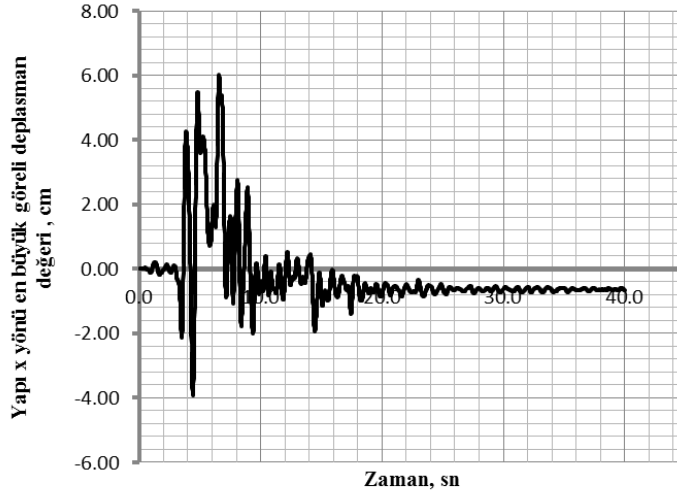


**Şekil 3.28 :** Yapı x yönü kat en büyük görelî deplasman değerleri Kobe 1995 (cm).

Zaman tanım alanlı analiz sonucu yapı x yönü en büyük görelî deplasman ve taban kesme kuvveti bağıntısı **Şekil 3.29**’de gösterilmiştir. Analiz sonucu x yönü en büyük taban kesme kuvveti 12680 KN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.29 : Kobe 1995 yer hareketi yapı x yönü en büyük görelî deplasman-taban kesme kuvveti ilişkisi



Şekil 3.30 : Kobe 1995 yer hareketi x yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiği.

### 3.2.5.2 Kobe 1995 yer hareketi ile zaman tanım alanında y yönü analiz

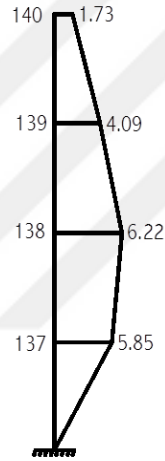
Zaman tanım alanlı analiz verisinde Kobe 1995 yer hareketi kayıtları kullanılmış olup, analiz sürecinde yapısal sönüm %5 olarak seçilmiştir.

Zaman tanım alanlı analiz sonucu, yapının plandaki kısa doğrultusu olan y yönünde 7 ve A akslarının kesişiminde bulunan ve kat seviyelerini temsil eden 140,139,138,137 numaralı noktaların en büyük deplasman değerleri " $d_{i_{maks}}$ ", etkin görelî kat deplasmanlarının en büyük değerleri " $\Delta_i$ ", en büyük kat ivme değerleri " $a_i$ " Çizelge 3.8 gösterilmiştir.

**Çizelge 3.8** : Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri

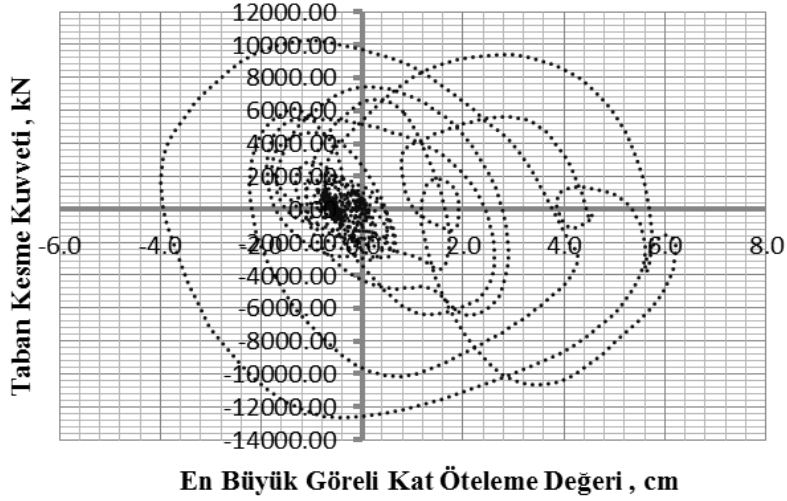
KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$	$a$ ( cm/sn <sup>2</sup> )
	(cm)	(cm)		
4	17.82	1.73	0.006	798.757
3	16.09	4.09	0.014	707.611
2	12.03	6.22	0.021	538.280
1	5.85	5.85	0.019	294.587

**Çizelge 3.8**'de görüldüğü gibi yapı x yönü analiz sonucunda, ikinci katı temsil eden 138.nokta görelî kat deplasman oranı DBYBHY 2007 **denklem 2.19**'a göre sınırlanan oran "0.02" değerini aşmaktadır.

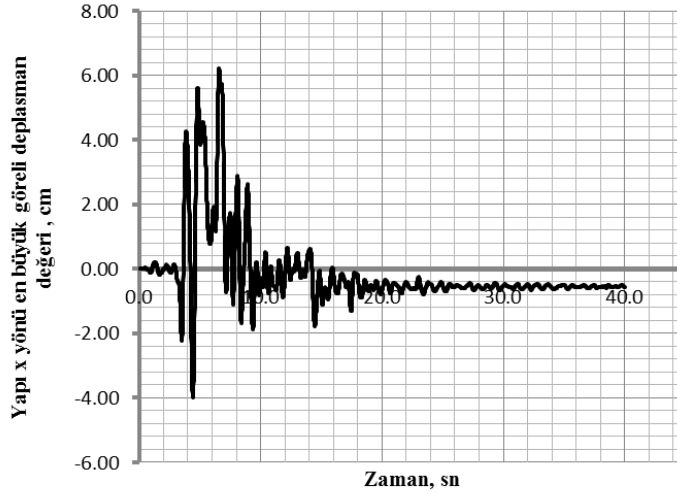


**Şekil 3.31**: Yapı y yönü kat maksimum görelî deplasman değerleri Kobe 1995 (cm).

Zaman tanım alanlı analiz sonucu yapı y yönü en büyük görelî deplasman ve taban kesme kuvveti bağıntısı **Şekil 3.32**'de gösterilmiştir. Analiz sonucu y yönünde oluşan en büyük taban kesme kuvveti 12670 KN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.32 : Kobe 1995 yer hareketi yapı y yönü en büyük görelî deplasman-taban kesme kuvveti ilişkisi



Şekil 3.33 : Kobe 1995 depremi y yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiğî.

### 3.2.6 El Centro yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz

El Centro Depremi yer hareket kaydını kullanarak SAP 2000 yazılımı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. En büyük kat ötelemesi ve kat ivmesi gibi sonuçlar yapının uzun doğrultusu olan x ve kısa doğrultusu olan y için ayrı ayrı açıklanmıştır.

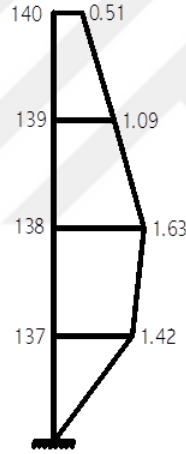
#### 3.2.6.1 El Centro yer hareketi ile zaman tanım alanında x yönü analiz

Zaman tanım alanlı analiz verisinde El Centro Imperial Valley 1940 doğu-batı kayıtları kullanılmıştır. Analiz sürecinde yapısal sönüm %5 olarak seçilmiştir.

Zaman tanım alanlı analiz sonucu, yapının plandaki uzun doğrultusu olan x yönünde 7 ve A akslarının kesişiminde bulunan ve kat seviyelerini temsil eden 140,139,138,137 numaralı noktaların en büyük deplasman değerleri “ $d_{i(maks)}$ ”, etkin görelî kat deplasmanlarının en büyük değerleri “ $\Delta_i$ ”, en büyük kat ivme değerleri “ $a_i$ ” Çizelge 3.9’de gösterilmiştir.

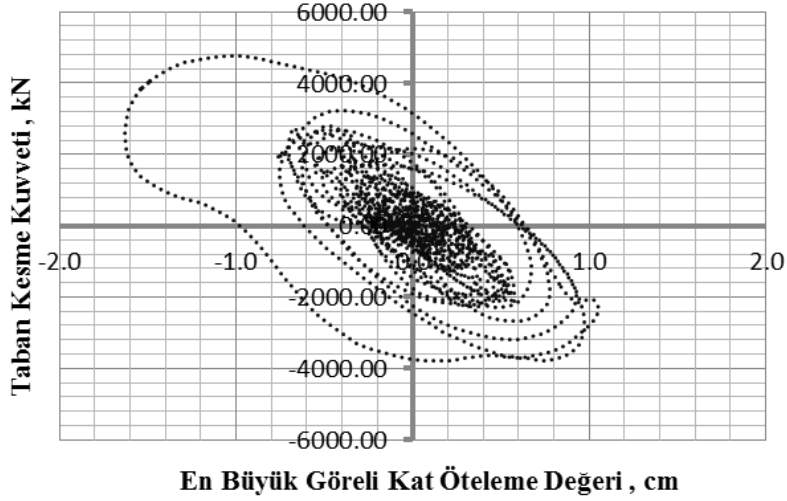
**Çizelge 3.9** : Nokta x yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri

KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$	$a$ ( cm/sn <sup>2</sup> )
	(cm)	(cm)		
4	4.63	0.51	0.002	358.554
3	4.12	1.09	0.004	320.908
2	3.04	1.63	0.005	246.031
1	1.42	1.42	0.005	164.508

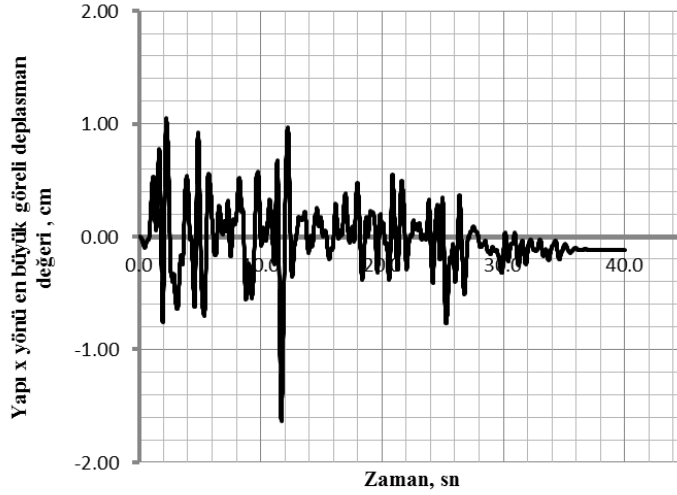


**Şekil 3.34** : Yapı x yönü kat en büyük görelî deplasman değerleri El Centro (cm).

Zaman Tanım Alanlı analiz sonucu yapı x yönü en büyük görelî deplasman ve taban kesme kuvveti bağıntısı Şekil 3.35’de gösterilmiştir. Analiz sonucu x yönünde oluşan en büyük taban kesme kuvveti 4752 KN olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 3.35:** El Centro 1940 EW yer hareketi yapı x yönü en büyük görelî deplasman-taban kesme kuvveti ilişkisi.



**Şekil 3.36:** El Centro 1940 EW yer hareketi x yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiğî

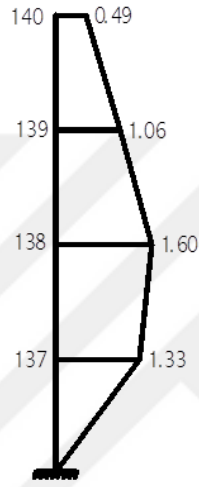
### 3.2.6.2 El Centro yer hareketi ile zaman tanım alanında y yönü analiz

Zaman tanım alanlı analiz verisinde El Centro Imperial Valley 1940 doğu-batı kayıtları kullanılmıştır. Analiz sürecinde yapısal sönüm %5 olarak seçilmiştir.

Zaman tanım alanlı analiz sonucu, yapının plandaki kısa doğrultusu olan y yönünde 7 ve A akslarının kesişiminde bulunan ve ,kat seviyelerini temsil eden 140,139,138,137 numaralı noktaların en büyük deplasman değeri " $d_{i_{maks}}$ ", etkin görelî kat deplasmanlarının en büyük değeri " $\Delta_i$ " değeri, en büyük kat ivme değeri " $a_i$ " Çizelge 3.10'de gösterilmiştir.

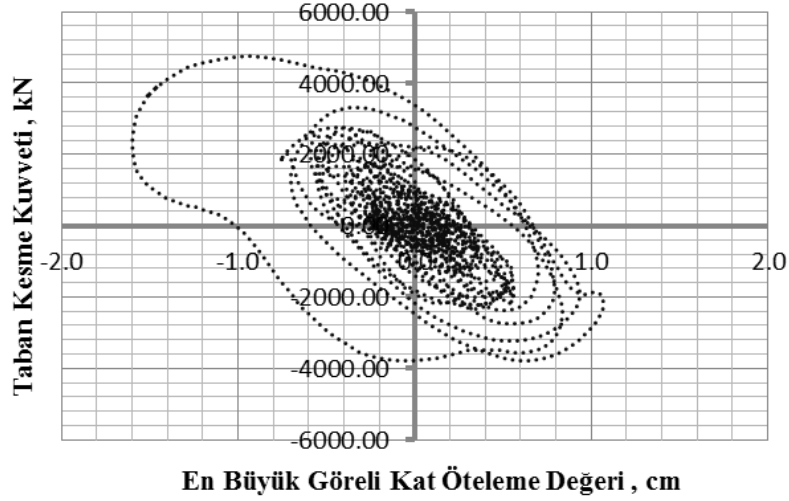
**Çizelge 3.10** : Nokta y yönü en büyük deplasman ve en büyük görelî deplasman değerleri

KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta m_{aks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$	$a$ ( cm/sn <sup>2</sup> )
	(cm)	(cm)		
4	4.46	0.49	0.002	356.321
3	3.97	1.06	0.004	318.074
2	2.92	1.60	0.005	242.601
1	1.33	1.33	0.004	145.277

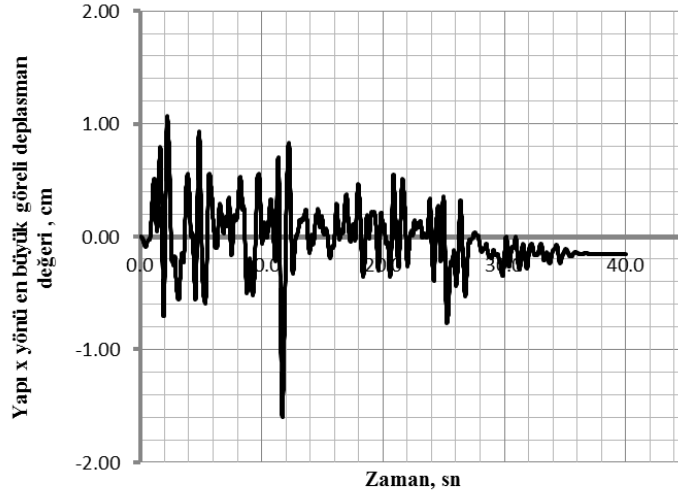


**Şekil 3.37** : Yapı y yönü kat en büyük görelî deplasman değerleri El Centro (cm).

Zaman Tanım Alanlı analiz sonucu yapı y yönü en büyük görelî deplasman ve taban kesme kuvveti bağıntısı **Şekil 3.38**'de gösterilmiştir. Analiz sonucu y yönünde oluşan en büyük taban kesme kuvveti 4761 KN olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 3.38** : El Centro 1940 EW yer hareketi yapı y yönü en büyük görelî deplasman-taban kesme kuvveti ilişkisi



**Şekil 3.39** : El Centro 1940 EW yer hareketi y yönü en büyük görelî deplasman – zaman grafiği.

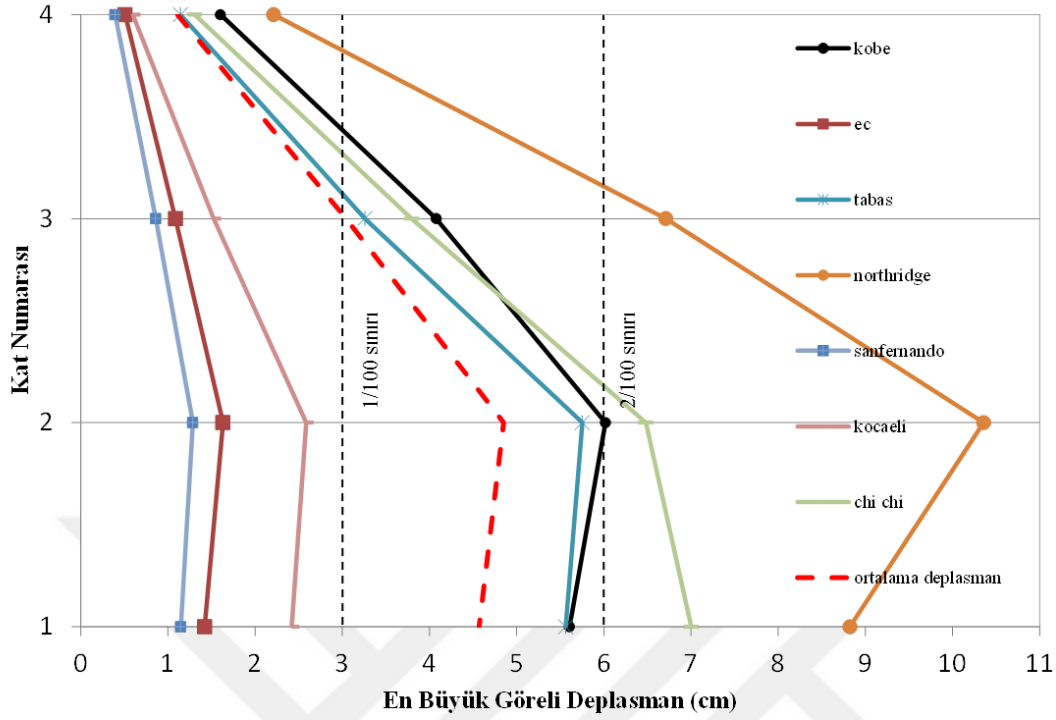
### 3.2.7 Diğer yer hareketleri ile zaman tanım alanında analiz

Çizelge 3.1’de açıklanan diğer yer hareketleri içinde zaman tanım alanında analiz adımları tekrarlanmıştır. 7 farklı yer hareketi ile yapılan analizde x yönü sonuçları Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.



**Çizelge 3.11** : 7 farklı yer hareketi için zaman tanımlı analiz sonucu x yönü  
deplasman sonuçları

#	YER HAREKETİ	KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$
			(cm)	(cm)	
1	KOBE 1995	4	17.21	1.60	0.005
		3	15.61	4.08	0.014
		2	11.57	6.02	0.020
		1	5.61	5.61	0.019
2	EL CENTRO	4	4.63	0.51	0.002
		3	4.12	1.09	0.004
		2	3.04	1.63	0.005
		1	1.42	1.42	0.005
3	TABAS	4	15.69	1.14	0.004
		3	14.55	3.26	0.011
		2	11.31	5.75	0.019
		1	5.56	5.56	0.019
4	NORTHRIGGE	4	27.96	2.21	0.007
		3	25.75	6.71	0.022
		2	19.09	10.36	0.035
		1	8.82	8.82	0.029
5	S.FERNANDO	4	3.68	0.39	0.001
		3	3.29	0.86	0.002
		2	2.43	1.29	0.004
		1	1.15	1.15	0.003
6	KOCAELİ	4	7.07	0.60	0.002
		3	6.48	1.53	0.005
		2	4.95	2.59	0.008
		1	2.42	2.42	0.008
7	CHI CHI	4	17.78	1.31	0.004
		3	16.61	3.80	0.012
		2	13.47	6.48	0.216
		1	7.00	7.00	0.023
	ORTALAMA	4	13.43	1.11	0.004
		3	12.34	3.05	0.010
		2	9.41	4.87	0.016
		1	4.57	4.57	0.015



**Şekil 3.40** : Sabit temelli bina x yönü, zaman tanım alanında analiz en büyük görece deplasman değerleri

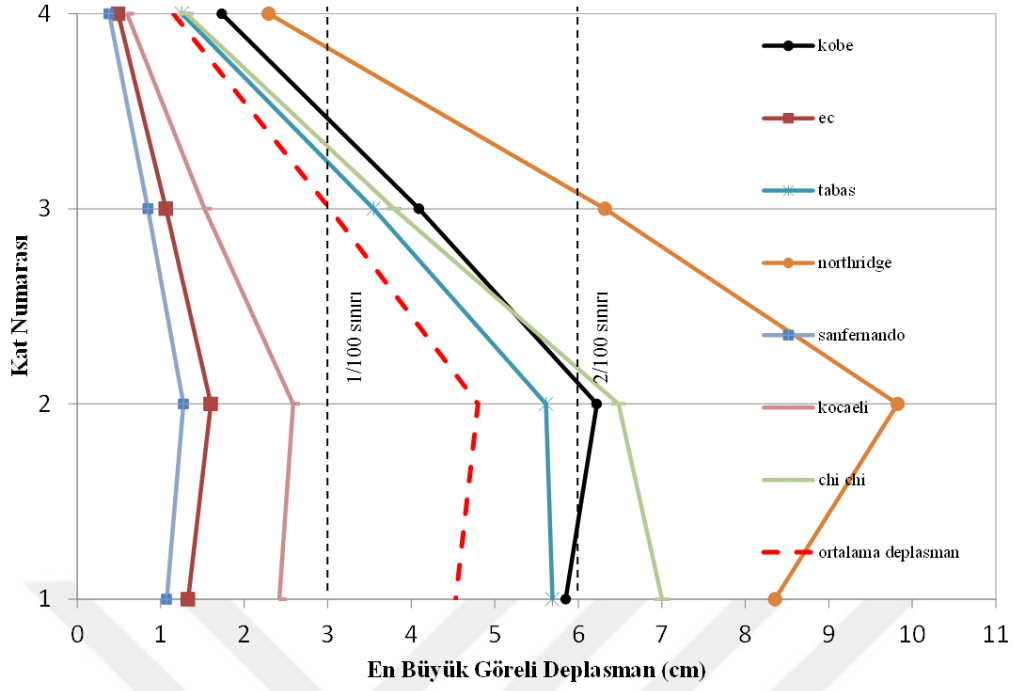
Şekil 3.40’de 7 farklı yer hareketi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her bir yer hareketi için katlarda oluşan en büyük görece deplasman grafiğı çizilmiştir. Ayrıca bu grafikte DBYBHY 2007 yönetmeliğı 7.5.3’de minimum hasar bölgesi sınırı olarak belirtilen görece kat ötelemesi sınırı 1/100 sınırı ve **DBYBHY 2007 Denk.(2.19)**’da verilen 2/100 sınırı gösterilmiştir. Şekil 3.40’e göre minimum hasar sınırını geçen yer hareketleri sırasıyla Tabas, Kobe, Chi Chi, Northridge yer hareketleridir.

X yönünde zaman tanım alanlı analiz sonucu elde edilen deplasmanların aritmetik ortalamaları Çizelge 3.11’de gösterilmiştir. Bu sonuçlarda görece kat deplasmanlarıyla DBYBHY 2007 denklem 2.19’a göre sınırlanan oran “2/100” değeri aşılmassa da , yapı 1. ve 2. katında bu sınıra oldukça yakın deplasmanlar oluştuğı gözlemlenmektedir.

7 farklı yer hareketi ile yapılan analizde y yönü sonuçları Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.12** : 7 farklı yer hareketi için zaman tanımlı analiz y yönü deplasman sonuçları

#	YER HAREKETİ	KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$
			(cm)	(cm)	
1	KOBE 1995	4	17.81	1.73	0.006
		3	16.09	4.09	0.014
		2	12.03	6.22	0.021
		1	5.85	5.85	0.019
2	EL CENTRO	4	4.46	0.49	0.002
		3	3.97	1.06	0.004
		2	2.92	1.60	0.005
		1	1.33	1.33	0.005
3	TABAS	4	15.00	1.25	0.004
		3	13.75	3.55	0.011
		2	10.96	5.61	0.019
		1	5.69	5.69	0.019
4	NORTHRIGGE	4	26.68	2.29	0.008
		3	24.39	6.32	0.021
		2	18.11	9.82	0.033
		1	8.36	8.36	0.028
5	S.FERNANDO	4	3.56	0.38	0.001
		3	3.18	0.85	0.003
		2	2.34	1.27	0.004
		1	1.07	1.07	0.004
6	KOCAELİ	4	7.07	0.60	0.002
		3	6.48	1.53	0.005
		2	4.95	2.59	0.009
		1	2.42	2.42	0.008
7	CHI CHI	4	17.78	1.31	0.004
		3	16.61	3.80	0.013
		2	13.47	6.48	0.022
		1	7.00	7.00	0.023
	ORTALAMA	4	13.20	1.15	0.004
		3	12.07	3.03	0.010
		2	9.25	4.80	0.016
		1	4.53	4.53	0.015



**Şekil 3.41:** Sabit temelli bina Y yönü, zaman tanım alanında analiz en büyük görelî deplasman değerleri.

Y yönünde zaman tanım alanlı analiz sonucu elde edilen deplasmanların aritmetik ortalamaları Çizelge 3.12’de gösterilmiştir. Bu sonuçlarda görelî kat deplasmanlarıyla DBYBHY 2007 denklem 2.19’a göre sınırlanan oran “0.02” değeri aşılmasa da , x yönü analiz sonuçlarında olduğu gibi yapı 1. ve 2. katında bu sınıra oldukça yakın deplasmanlar olduğu gözlemlenmektedir.

#### 4. DEPREM YALITIMI TASARIMI VE ANALİZİ

Bu bölümde daha önce doğrusal olmayan davranış ile değerlendirilen sabit temelli yapı modeline deprem yalıtımı uygulaması ile ilgili ön tasarım hesap esasları anlatılacaktır. Hesaplarda ve analizlerde kullanılacak yalıtım birimi tipi kurşun çekirdekli birim olan “LRB” tipi yalıtım birimi seçilmiştir.

Deprem yalıtımının amacı deprem etkisi altında taşıyıcı sistemde oluşacak deplasmanların büyük bir kısmının yalıtım katında oluşmasını ve üst katlardaki ivmelenmenin yine yalıtım birimlerinin sisteme katkıda bulunacağı sönüm ile azalmasını sağlamaktır.

Deprem yalıtım katmanının ön tasarımında esas olarak ivme ve deplasman tasarım spektrumu kullanılacaktır. Spektral değerlere dayanarak ön boyutlama yapıldıktan sonra tasarım spektrumuna oldukça yakın değerler veren sentetik yer hareketi olan BCJ-L2 yer hareketi ile yapılan tasarımın doğruluğu teyit edilecek ve sonrasında 7 yer hareketi kaydı ile zaman tanım alanında analizler yapılacaktır.

Tasarım ivme spektrumunun tanımlanması, sentetik hareket olan BCJ-L2 ile kıyaslanması ve sönüm oranına bağlı olarak ivme ve deplasman spektrumlarındaki değişimler aşağıdaki bölümde açıklanmıştır.

İlgili Japon yönetmeliğine göre, 60m’den kısa deprem yalıtımlı binaların tasarımında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılabilir. (Kani ve diğ.2010) bu yöntemi incelemiş ve bir örnek hesaplamayı paylaşmıştır. Bu tez çalışmasında da benzer ve basitleştirilmiş bir hesaplama yöntemi önerilmektedir.

##### 4.1 Tasarımda kullanılan spektrum ve sönüme bağlı değişimi

Deprem yalıtımının ön tasarımında ivme ve deplasman spektrumu kullanılmıştır. İvme spektrumunun tanımlanması, sentetik hareket olan BCJ-L2 ile kıyaslanması ve sönüm oranına bağlı olarak ivme ve deplasman spektrumlarındaki değişimler bu bölümde açıklanmıştır.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan spektral ivme katsayısı,  $A(T)$ , DBYBHY 2007 de tanımlanmış ve, Denk (6.1) ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu’nun ordinatı olan Elastik spektral İvme,  $S_{ae}(T)$ , spektral ivme katsayısı ile yerçekimi ivmesi  $g$ ’nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_o I S (T )$$

$$S_{ac} (T ) = A(T ) g \quad (6.1)$$

Denk.(6.1)'de yer alan Etkin Yer İvmesi Katsayısı,  $A_o$  ,Çizelge 4.1'de tanımlanmıştır.

**Çizelge 4.1** : Etkin yer ivme katsayısı

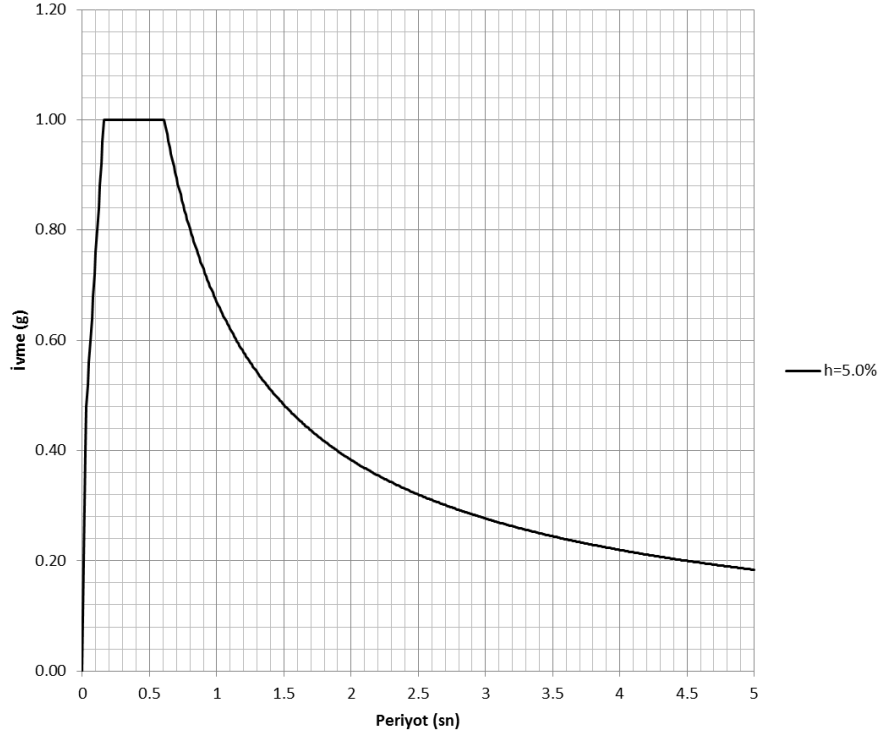
Deprem Bölgesi	$A_o$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

1.Derece deprem bölgesi ve “Z3” zemin sınıfı için spektral ivme katsayıları Çizelge 4.2'de hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.2** : DBYBHY 2007 farklı periyotlara göre spektral ivme katsayıları

$T (sn)$	$S(T)$	$S_{ac}(T) g$	$T (sn)$	$S(T)$	$S_{ac}(T) g$
0	1.000	0.400	4.91	0.465	0.186
0.02	1.200	0.480	4.92	0.464	0.186
0.03	1.300	0.520	4.93	0.464	0.185
0.04	1.400	0.560	4.94	0.463	0.185
0.05	1.500	0.600	4.95	0.462	0.185
0.06	1.600	0.640	4.96	0.461	0.185
0.07	1.700	0.680	4.97	0.461	0.184
0.08	1.800	0.720	4.98	0.460	0.184
0.09	1.900	0.760	4.99	0.459	0.184
0.1	2.000	0.800	5	0.458	0.183
0.11	2.100	0.840			
0.12	2.200	0.880			
0.13	2.300	0.920			
0.14	2.400	0.960			
0.15	2.500	1.000			
0.16	2.500	1.000			
0.17	2.500	1.000			
0.18	2.500	1.000			
0.19	2.500	1.000			

...



**Şekil 4.1** : DBYBHY 2007 (Z3) Elastik tasarım ivme spektrumu (h=5%).

Genelde yönetmeliklerde verilen tasarım spektrumları %5 sönümlü olarak sunulmaktadır. Ancak yapıda kullanılan sönümleyiciler gibi eklenen sistemlerle farklı sönüm oranlarıyla da tasarım spektrumları hesaplanabilmektedir. Sönüm oranı % 5'in dışında bir tasarım spektrumu elde etmek için en yaygın prosedür, bir sönüm modifikasyon faktörü ile %5 sönümlü spektral ordinatların büyütme işlemleridir. Newmark and Hall (1982), FEMA-356 (2000), EC8, Abrahamson and Silva(1996), Shibata A. (2010), The Newmark Hall(1982), FEMA-356 (2000), EC8 and Shibata A. (2010) gibi bir çok farklı prosedür ile sönüm modifikasyon faktörleri ile işlemler yapılabilir. Newmark ve Hall (1982) ve FEMA-356 (2000), ivme duyarlı, hız duyarlı ve yer değiştirmeye duyarlı bölgeler için farklı modifikasyon faktörlerinin kullanılmasıyla elde edilen değerler önermektedir. FEMA 356 (2000) 'de verilen değiştirme faktörleri Newmark ve Hall (1982)' e çok benzemektedir. Bu çalışmada Shibata A. (2010) yöntemi kullanılarak spektrumların farklı sönüm oranlarıyla modifikasyonu yapılmıştır. Değişen sönüm oranlarına göre spektral değerlerin hesabı aşağıda belirtilen Denklem (3.1)'de gösterilen bağlantı ile yapılacaktır.

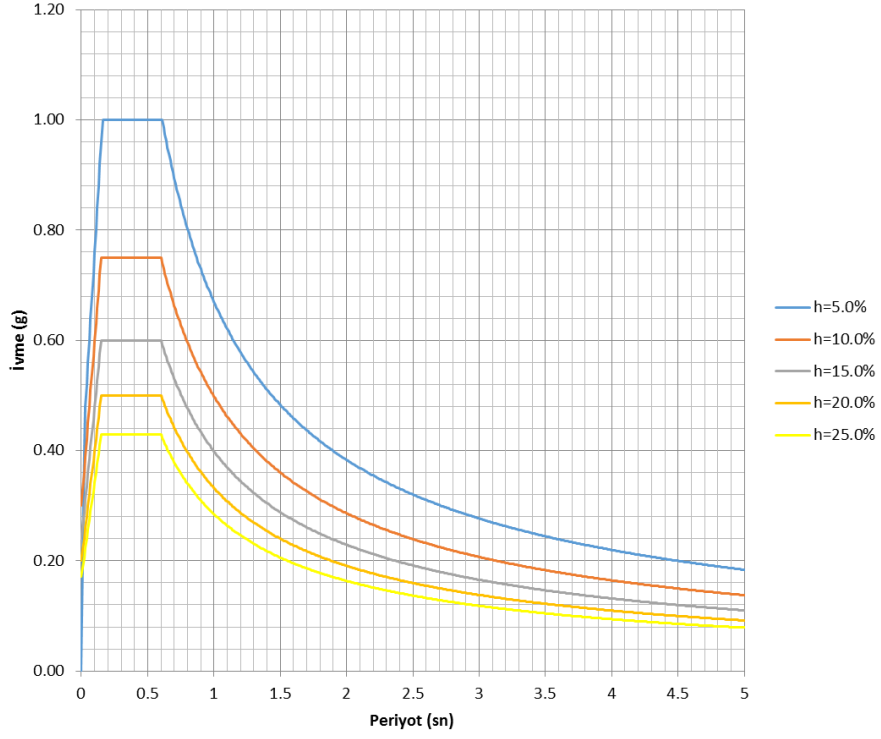
$$S_h/S_{0.05} = 1,5/(110h) \quad (3.1)$$

$S_h$  : Modifikasyon yapılan spektral değer

$S_{0.05}$  : %5 sönümlü spektral değer

h : Sönüm Oranı

Şekil 4.2’de değişen sönüm oranlarıyla elde edilmiş elastik ivme spektrumu gösterilmiştir.

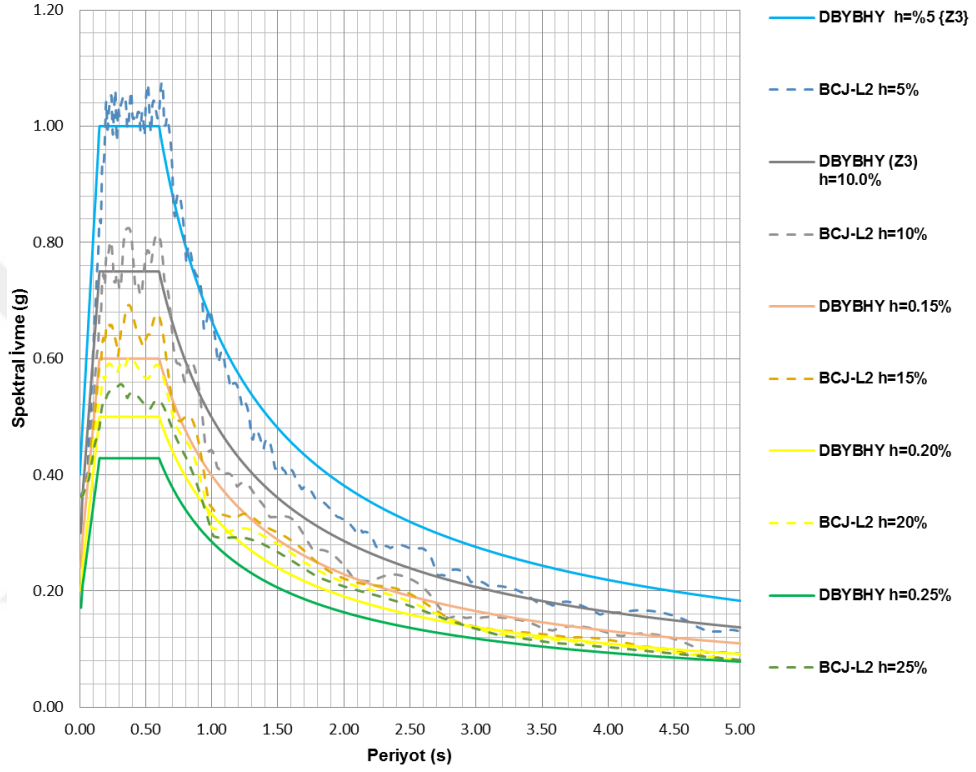


Şekil 4.2 : Değişen sönüm oranlarına göre hesaplanmış DBYBHY 2007 elastik ivme spektrumları.

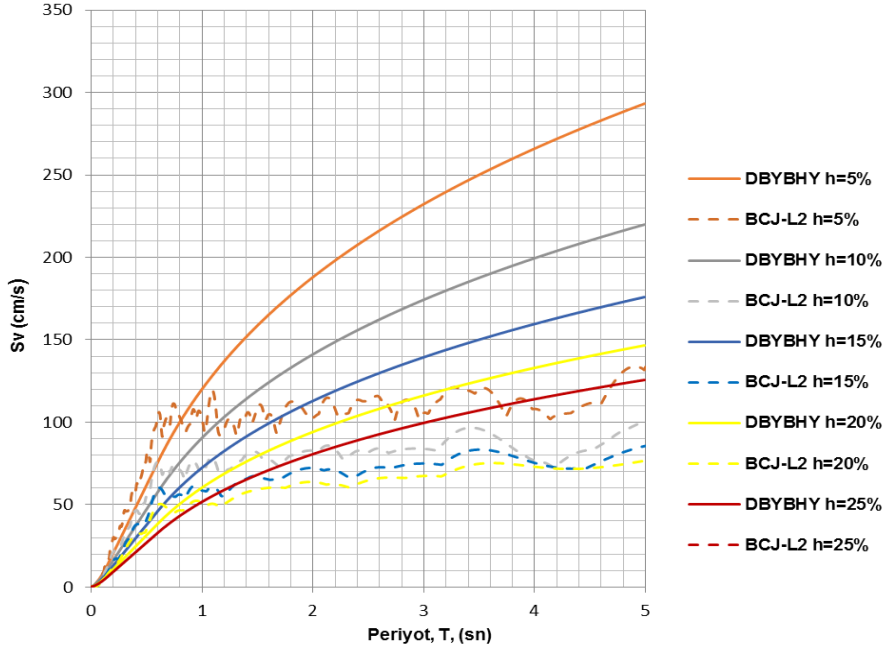


#### 4.1.1 DBYBHY 2007 ve BCJ-L2 spektrumlarının karşılaştırılması

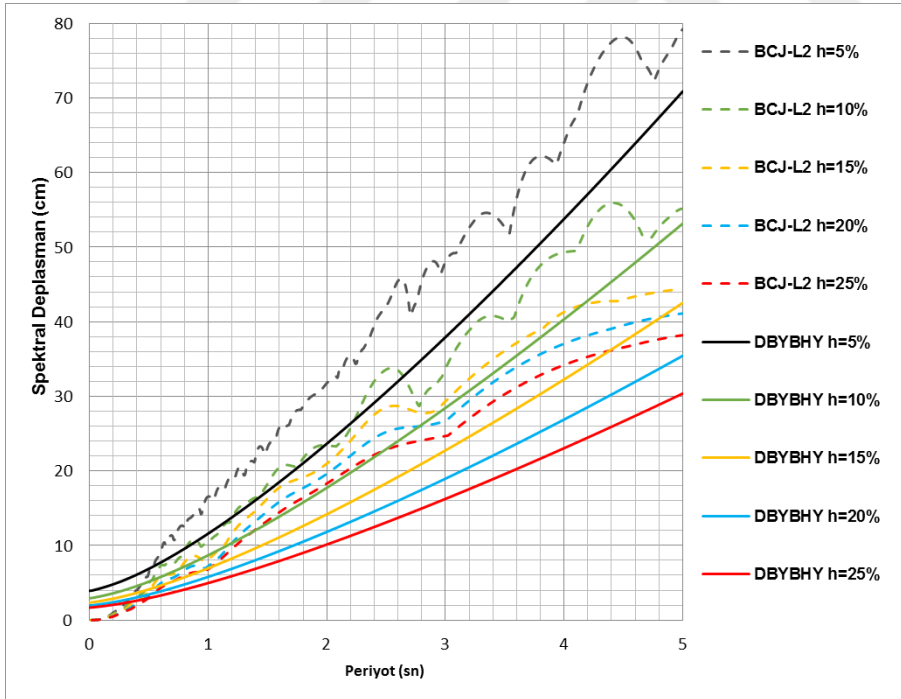
Building Center Japan kurumunun yayınlamış olduğu sentetik yer hareketi *BCJ-L2* , DBYBHY 2007 2.4.4'te açıklanan özel tasarım ivme spektrumu ile oldukça benzeşmektedir. Bu benzerlik değişen sönüm oranlarına göre **Şekil 4.3**'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.3** : Değişen sönüm oranlarına göre DBYBHY 2007 (Z3) ve BCJ-L2 ivme spektrumları.



Şekil 4.4 : Değişen sönüm oranlarına göre DBYBHY 2007 (Z3) ve BCJ-L2 spektral hız spektrumu karşılaştırılması.



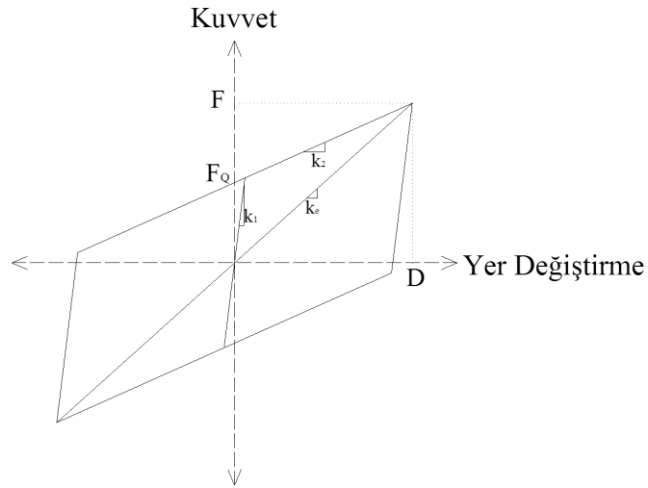
Şekil 4.5 : Değişen sönüm oranlarına göre DBYBHY 2007 (Z3) ve BCJ-L2 spektral deplasman spektrumu karşılaştırılması.

## 4.2 Ön Tasarım İçin Hesap Adımları

- Tasarım deplasman spektrumu oluşturulur.
- Tasarım için öngörülen, yalıtım sisteminin etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme değeri olan “ $D$ ” değeri belirlenir. Bu değer için tasarım spektrumunda deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu “ $T_d$ ” değeri okunur.
- Denklem 6.1’e göre “ $K_D$ ” yalıtım sistemi nominal etkin rijitliği hesaplanır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K_D}} \quad (4.1)$$

- Hesaplanan yalıtım sistemi nominal rijitlik değeri, yalıtım sisteminde kullanılan “ $n$ ” adet yalıtım birimi sayısına bölünerek, kullanılacak her bir yalıtım biriminin “ $D$ ” yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik değeri “ $k_e$ ” hesaplanır.
- Hesaplanan “ $k_e$ ” değerine göre uygun yalıtım birimi seçimi yapılır. Bu seçim doğrultusunda yalıtım birimi basitleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme (çevrimsel davranış modeli ) oluşturulur (Şekil 4.6).



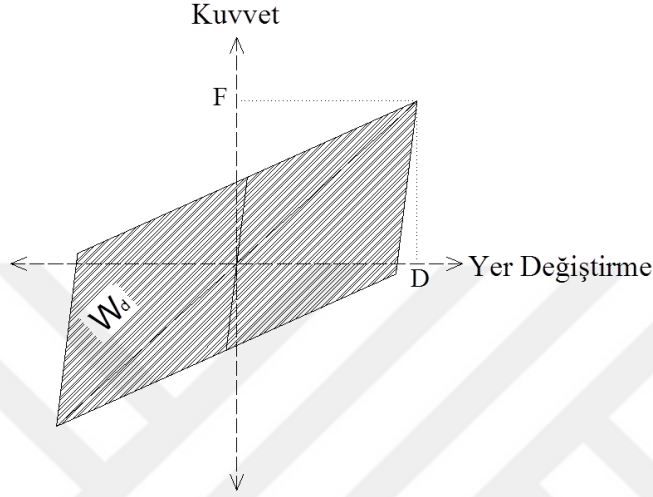
Şekil 4.6 : Yalıtım birimi basitleştirilmiş çevrimsel davranış modeli.

- Çevrimsel davranış modeli oluşturulan yalıtım birimi için etkin sönüm oranı” $h_{eff}$ ” Denklem 4.2’e göre hesaplanır. (Jacobsen 1960)

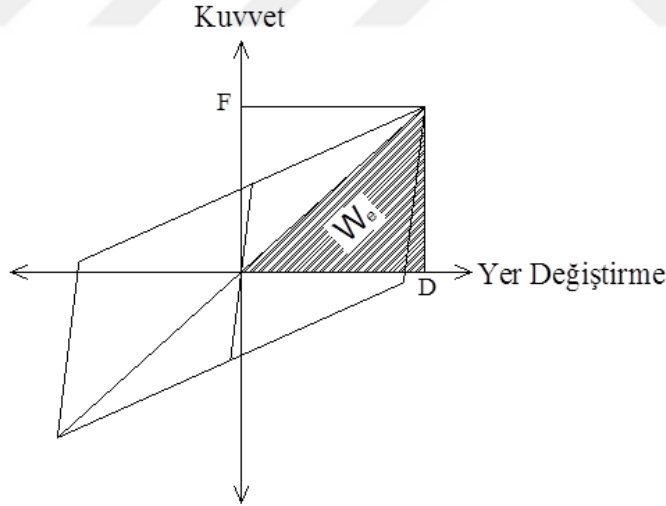
$$h_{eff} = \frac{W_d}{4\pi W_e} \quad (4.2)$$

$W_d$ : Yalıtım birimi çevrimsel davranış modeli içinde kalan alan-tüketilen enerji (Şekil 4.7)

$W_e$ : Yalıtım biriminin “D” yerdeğiştirmesine karşılık “ $k_e$ ” etkin rijitliği ile oluşturduğu üçgenin alanı (Şekil 4.8)



Şekil 4.7 : " $W_d$ " alanı şematik gösterimi.



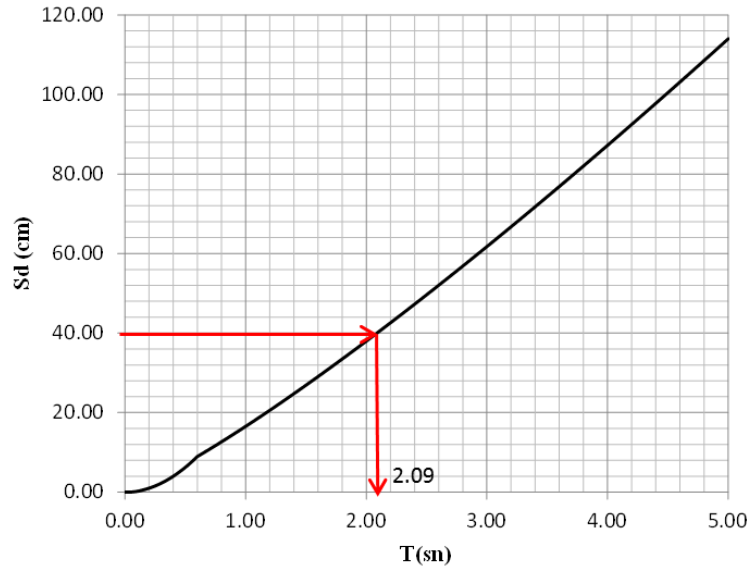
Şekil 4.8 : " $W_e$ " alanı şematik gösterimi.

- g) Hesaplanan " $h_{eff}$ " yalıtım birimi etkin sönüm oranı değeri, başlangıçta seçilen tasarım spektumunun sönüm oranına eşit olup olmadığı kontrol edilir ve bu değer yeterli yaklaşıklıkta elde edilene kadar iterasyon ile tüm adımlar tekrarlanır.

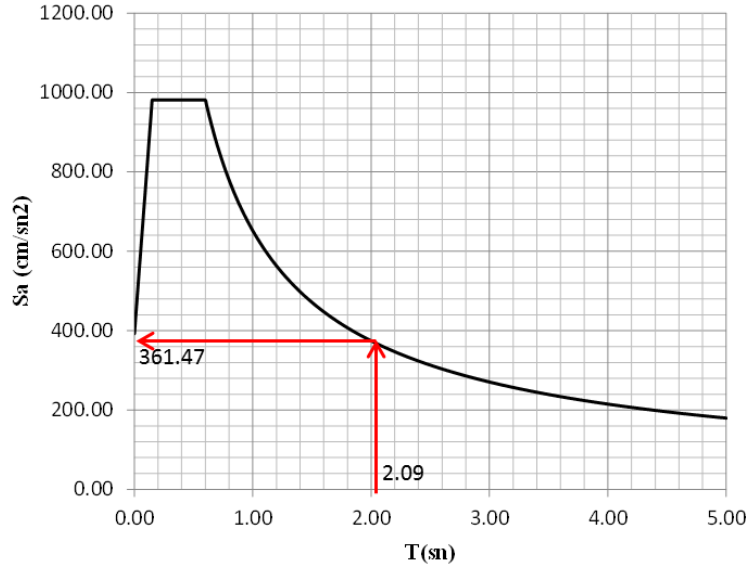
- h) Yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar elde edildikten sonra, spektral değerleri tasarım spektrumuna oldukça yakın olan BCJ-L2 yer hareketi kullanılarak zaman tanım alanında analiz yapılır ve ön tasarım hızlı şekilde teyit edilir. Daha sonra yönetmeliklerin ön gördüğü şekilde 7 farklı yer hareketi uygun şekilde ölçeklenir ve bu set kullanılarak zaman tanım alanında analiz yapılır.

#### 4.2.1 Yalıtım birimi ön tasarım sayısal çalışma

- a) Güncel deprem yönetmeliği olan DEABTE-2018 deplasman spektrumunu 5% seçilmiştir.(Şekil 4.9). Yalıtım birimi toplam kauçuk kalınlığı " $T_r$ " değeri 200mm seçilecektir. Yalıtım arayüzünde yatay yer değiştirmeden ve dönmeden meydana gelen toplam birim şekil değiştirme değeri sınır değer olan  $\gamma_{s,E}=2.0$  seçilmiş yatay yer değiştirme " $\Delta_s=40cm$ " olarak öngörülmüştür.(DEABTE-2018,Bölüm 14.12.2.4-b)



Şekil 4.9 : DEABTE-2018 tasarım deplasman spektrumu (h=5%).



**Şekil 4.10** : DEABTE-2018 tasarım ivme spektrumu (h=5%).

- b) Şekil 4.9’te de gözlemlendiği gibi DEABTE-2018 Tasarım deplasman spektrumunda  $S_d=40cm$  değerine karşılık okunan periyot değeri “ $T_D$ ” 2.09 sn olarak okunmuştur. Bu periyot değerine göre ivme tasarım spektrumunda “ $S_a$ ” değeri yaklaşık 362  $cm/sn^2$  okunmuştur.
- c)  $m=3410 KNsn^2/m$  olarak daha önce hesaplanan yapı kütlesi , “ $T_d$ ” değerleri denklem (4.1)’de yerine konursa, yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği “ $K_d$ ” ;

$$K_D = \frac{m \times 4\pi^2}{T_D^2}$$

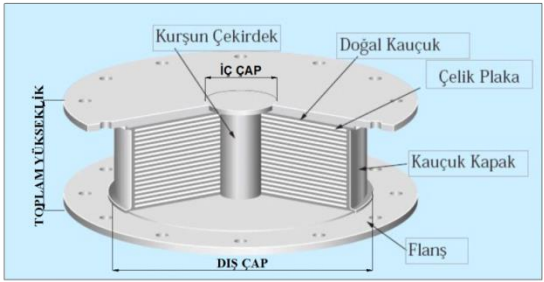
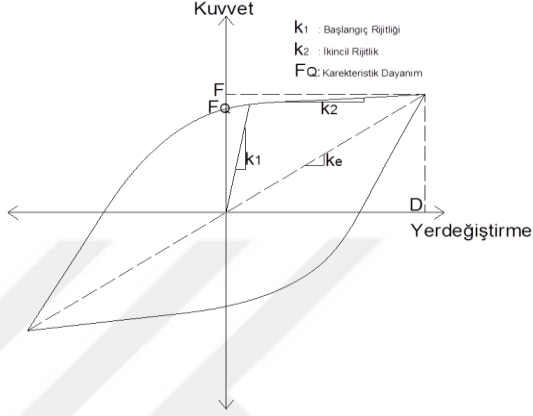
$$K_D = 30819 \text{ KN/m olarak hesaplanır.}$$

- d) Yalıtım sistemini oluşturan yalıtım birimlerinin toplam sayısı olan “ $n$ ” değeri, plandaki kolon sayısı olan 15 olarak seçilerek, tek bir yalıtım birimi etkin rijitlik değeri  $k_e = \frac{K_d}{n}$  denkleminde

$$k_e = 30819/15 = 2054 \text{ KN/m olarak hesaplanır.}$$

- e) Hesaplanan  $k_e$  değerine uygun yalıtım birimi “ $YBI$ ” seçilmiş olup , bu birim için bazı özellikler aşağıdaki Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3 : YB1 Yalıtım Birimi İçin Parametreler**

SSFİZİKSEL ÖLÇÜLER	DIŞ ÇAP	(m)	0.95	
	İÇ ÇAP	(m)	0.2	
	TOPLAM ELASTOMER KALINLIĞI	(m)	0.2	
	YÜKSEKLİK	(m)	0.402	
	BASINÇ RİJİTLİĞİ	(KN/m)	4210000	
BASINÇ	EKSENEL YUK KAPASİTESİ	(KN)	8810	
	Başlangıç Rijitliği	(KN/m)	18300	
KAYMA	İKİNCİL RİJİTLİK	(KN/m)	1410	
	KAREKTERİSTİK DAYANIM	(KN)	250	

- f) Çevrimsel davranış modeli oluşturulan yalıtım biriminin etkin sönüm oranı “ $\beta_e$ ” değeri aşağıda hesaplanmıştır.

$$h = \frac{359112}{4\pi \times 162672}$$

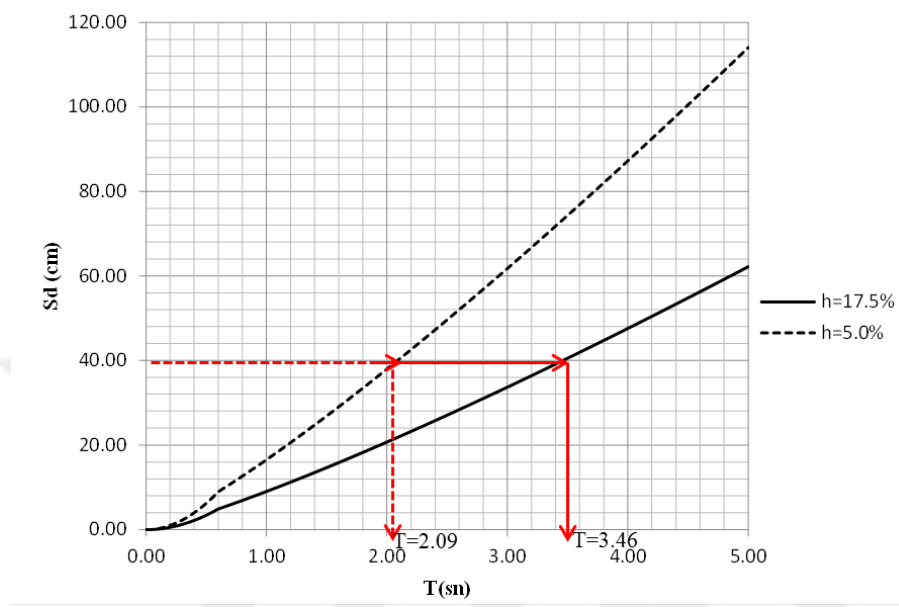
= 0.175. Yani yalıtım birimi, yönetmelik ile belirlenen şekil değiştirme sınırında bir çevrim yaptığı zaman, çevrimsel sönüm oranı 17.5% olarak hesaplanmıştır.

- g)  $h = 0.175$  başlangıçta kullanılan spektrum sönüm oranı olan  $h^{(1)} = 0.05$  değerine eşit değildir.

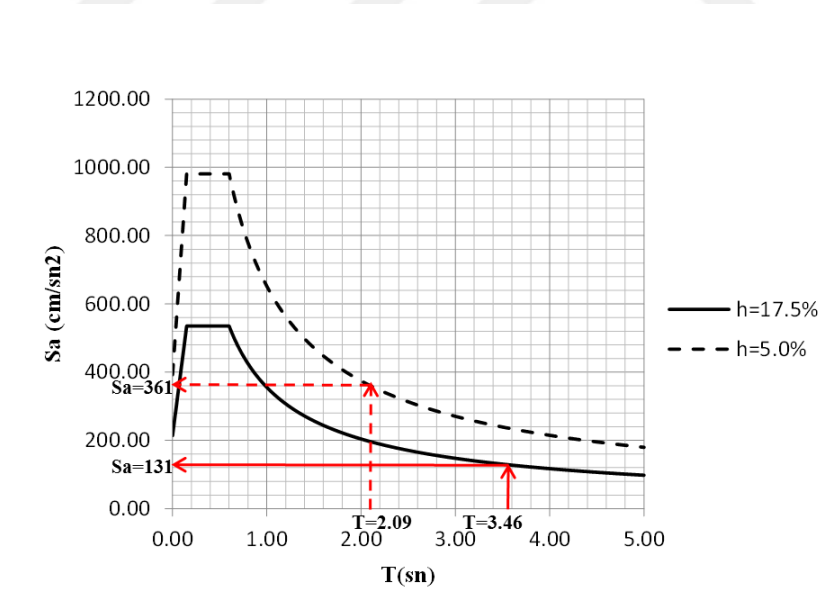
Yukarıdaki adımlarda hesaplanan “ $h$ ” yalıtım sistemi sönüm oranı, başlangıç kabulü olarak belirlenen tasarım spektrum oranı “ $h^{(1)}$ ” değerine yakınsayacak şekilde iterasyon yapılacaktır.

#### 4.2.1.1 İterasyon 1

- a) İlk seçilen yalıtım birimi hesapları sonucunda sistemin elde edilen sönüm oranı %17.5 olarak hesaplanmıştır. Aynı sönüm oranında tasarım spektrumu elde edilir.



Şekil 4.11 : DEABTE-2018 deplasman spektrumu.



Şekil 4.12 : DEABTE-2018 ivme spektrumu.

- b) Şekil 4.11’da gözlemlendiği gibi DEABTE-2018 deplasman spektrumunda  $S_d=40\text{cm}$  değerine karşılık okunan periyot değeri “ $T_D$ ” 3.46 sn olarak okunmuştur. Bu periyot değerine göre ivme tasarım spektrumunda “ $S_a$ ” değeri  $131\text{ cm/sn}^2$  okunmuştur.



- c)  $m=3410 \text{ KNsn}^2/m$  olarak daha önce hesaplanan yapı kütlesi , “ $T_d$ ” değerleri denklem (4.1)’de yerine konursa, yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği “ $K_D$ ” ;

$$K_D = \frac{m \times 4\pi^2}{T_D^2}$$

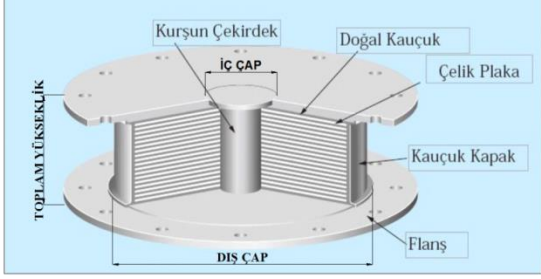
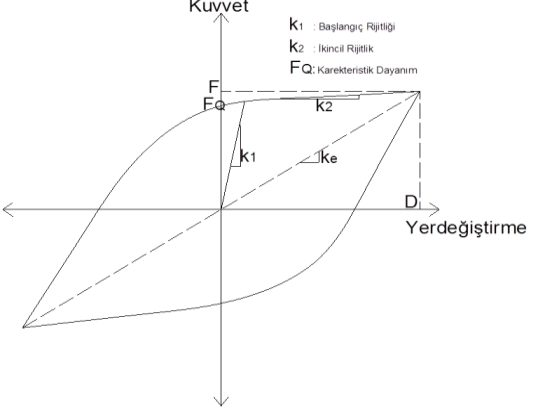
$K_d = 11245 \text{ KN/m}$  olarak hesaplanır.

- d) Yalıtım sistemini oluşturan yalıtım birimlerinin toplam sayısı olan “ $n$ ” değeri, plandaki kolon sayısı olan 15 olarak seçilerek, tek bir yalıtım birimi etkin rijitlik değeri  $k_e = \frac{K_D}{n}$  denkleminde

$k_e = 11245/15 = 750 \text{ KN/m}$  olarak hesaplanır.

- e) Hesaplanan  $k_e$  değerine uygun yalıtım birimi “YB2” seçilmiş olup , bu birim için bazı özellikler aşağıdaki Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4 : YB2 Yalıtım Birimi İçin Parametreler**

SS FİZİKSEL ÖLÇÜLER	DIŞ ÇAP	(m)	0.60	
	İÇ ÇAP	(m)	0.11	
	TOPLAM ELASTOMER KALINLIĞI	(m)	0.2	
	YÜKSEKLİK	(m)	0.408	
	BASINÇ RİJİTLİĞİ	(KN/m)	1670000	
BASINÇ	EKSENEL YUK KAPASİTESİ	(KN)	1640	
	KAYMA	BAŞLANGIÇ RİJİTLİĞİ	(KN/m)	
KAYMA	İKİNCİL RİJİTLİK	(KN/m)	554	
	KAREKTERİSTİK DAYANIM	(KN)	250	

- f) Çevrimsel davranış modeli oluşturulan yalıtım biriminin etkin sönüm oranı “ $h$ ” değeri aşağıda hesaplanmıştır.

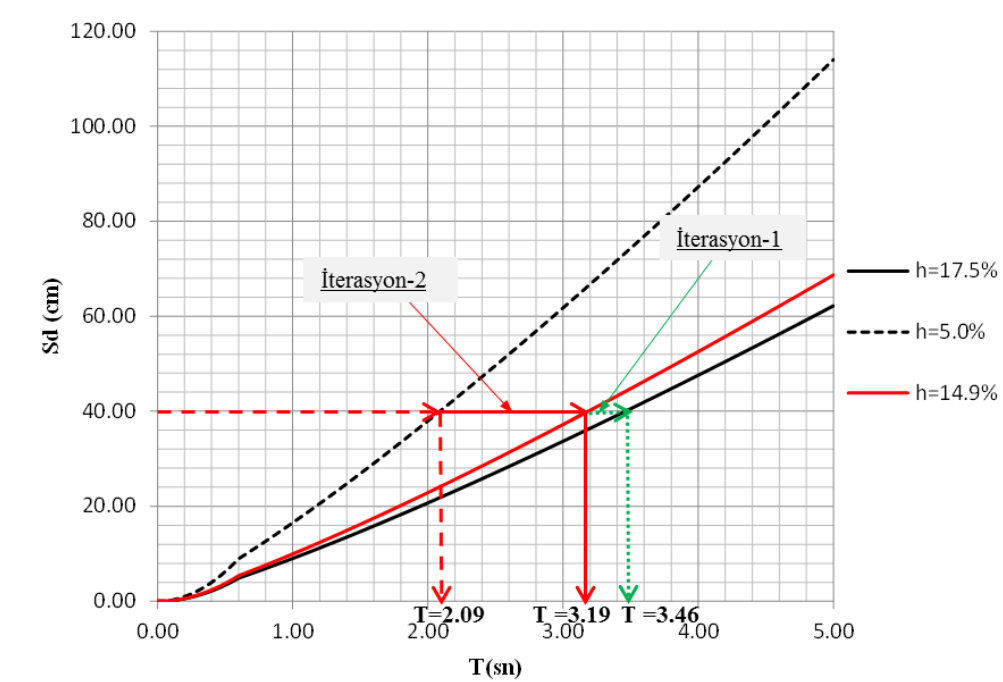
$$h = \frac{109345}{4\pi \times 58356}$$

= 0.149. Yani yalıtım birimi, yönetmelik ile belirlenen şekil değiştirme sınırında bir çevrim yaptığı zaman, çevrimsel sönüm oranı 14.9 % olarak hesaplanmıştır.

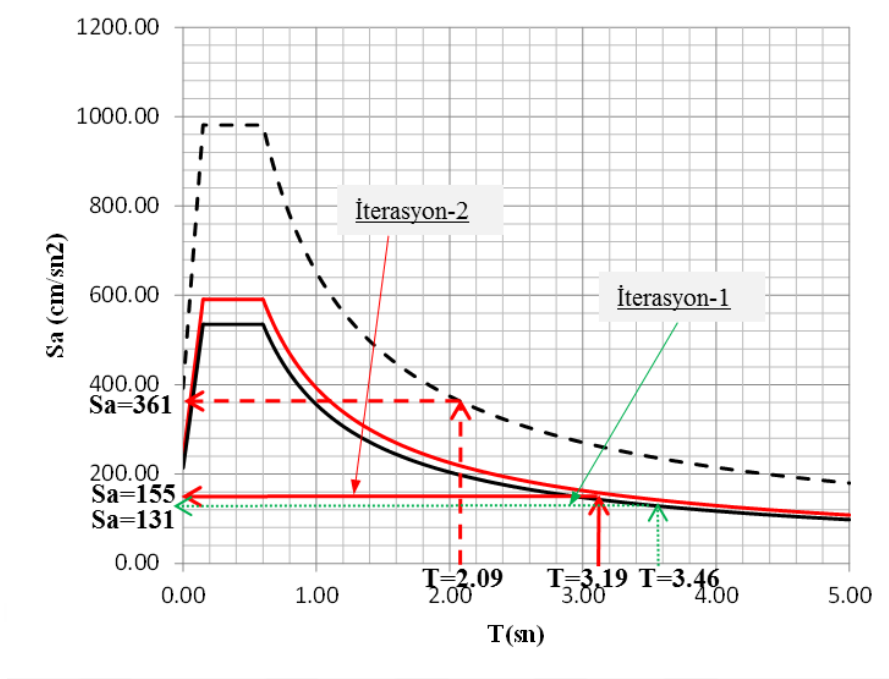
- g)  $h = 0.149$  başlangıçta kullanılan spektrum sönüm oranı olan  $h^{(2)} = 0.05$  değerine eşit değildir. Bu durumda başlangıç koşulu bu iterasyonun sonucu olan  $h = 0.149$  sönüm oranı ile oluşturulmuş deplasman spektrumu ile yeni bir iterasyona başlamak gerekmektedir.

#### 4.2.1.2 İterasyon 2

- a) İterasyon-1 hesaplarında yalıtım birimi hesapları sonucunda sistemin elde edilen sönüm oranı  $h = \%14.9$  olarak hesaplanmıştır. Aynı sönüm oranında tasarım deplasman spektrumu elde edilir.



Şekil 4.13 : DEABTE-2018 Deplasman Spektrumu.



Şekil 4.14 : DEABTE-2018 İvme Spekturumu.

- b) Şekil 4.13’de gözlemlendiği gibi DEABTE-2018 deplasman spektrumunda  $S_d=40cm$  değerine karşılık okunan periyot değeri “ $T_D$ ” 3.19 sn olarak okunmuştur. Bu periyot değerine göre ivme tasarım spektrumunda “ $S_a$ ” değeri  $155 cm/sn^2$  okunmuştur.
- c)  $m=3410 KNsn^2/m$  olarak daha önce hesaplanan yapı kütlesi, “ $T_d$ ” değerleri Denklem 4.1’de yerine konursa, yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği “ $K_D$ ” ;

$$K_D = \frac{m \times 4\pi^2}{T_D^2}$$

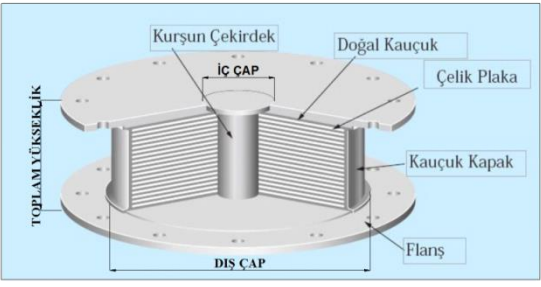
$K_D = 13230 KN/m$  olarak hesaplanır.

- d) Yalıtım sistemini oluşturan yalıtım birimlerinin toplam sayısı olan “ $n$ ” değeri, plandaki kolon sayısı olan 15 olarak seçilerek, tek bir yalıtım birimi etkin rijitlik değeri  $k_e = \frac{K_D}{n}$  denkleminde

$k_e = 13230/15 = 882 KN/m$  olarak hesaplanır.

- e) Hesaplanan  $k_e$  değerine uygun yalıtım birimi “YB3” seçilmiş olup , bu birim için bazı özellikler aşağıdaki Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5 : YB3 Yalıtım Birimi İçin Parametreler**

SSFİZİKSEL ÖLÇÜLER	DIŞ ÇAP	(m)	0.65	
	İÇ ÇAP	(m)	0.12	
	TOPLAM ELASTOMER KALINLIĞI	(m)	0.2	
	YÜKSEKLİK	(m)	0.408	
	BASINÇ RÜJİTLİĞİ	(KN/m)	1970000	
EKSENEL YUK KAPASİTESİ	(KN)	2330		
KAYMA	BAŞLANGIÇ RÜJİTLİĞİ	(KN/m)	8530	
	İKİNCİL RÜJİTLİK	(KN/m)	657	
	KAREKTERİSTİK DAYANIM	(KN)	90	

- f) Çevrimsel davranış modeli oluşturulan yalıtım biriminin etkin sönüm oranı “h” değeri aşağıda hesaplanmıştır.

$$h = \frac{129472}{4\pi \times 69180}$$

= 0.149. Yani yalıtım birimi, yönetmelik ile belirlenen şekil değiştirme sınırında bir çevrim yaptığı zaman, çevrimsel sönüm oranı 14.9 % olarak hesaplanmıştır.

- g)  $h = 0.149$  başlangıçta kullanılan spektrum sönüm oranı olan  $h^{(3)} = 0.149$  değerine eşit olup İterasyon-2 ile hesabı tamamlanan yalıtım birimi uygun seçim olarak nitelendirilebilir.

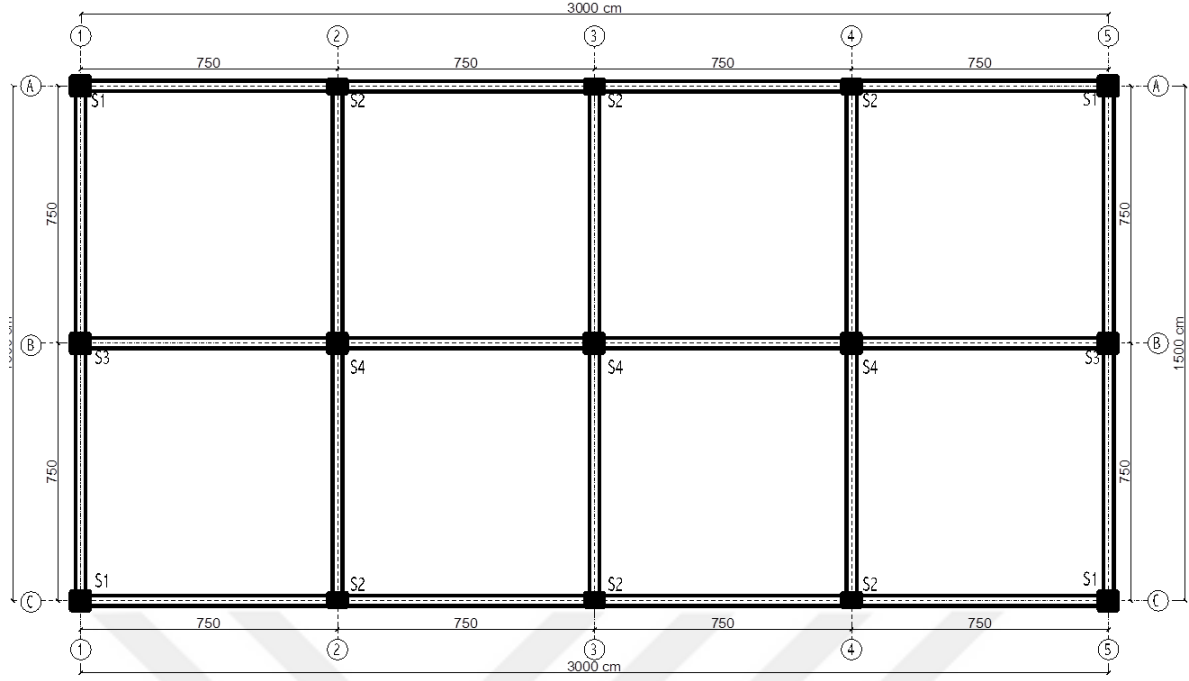
### 4.3 Analiz

Yalıtım sistemi ön hesapları yapıp, yalıtım birimi seçimi yapıldıktan sonra deprem yalıtımı uygulanacak bina için önce zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılacaktır. Bu analiz sonucunda katlarda oluşan deplasman ve ivme değerleri sabit temelli yapının sonuçları ile kıyaslanıp ilgili yönetmelik DEABTE-2018'te açıklanan sınır değerlere göre kontrolü yapılacaktır. Değerlendirme ve karşılaştırma için analizlerde önce *BCJ-L2* sentetik yer hareketi ile hızlı bir kontrol yapılacak ve daha sonra ise sabit temelli binanın doğrusal olmayan analizi için kullanılan 7 farklı yer hareketlerinin kayıtları kullanılacaktır.

#### 4.3.1 Analiz için yapı modeli

Deprem yalıtımının sağladığı en önemli avantajlardan birisi, yer hareketinin neden olduğu kesit zorlarının büyük kısmının deprem yalıtım katmanında karşılanması ve üst yapıya iletilmemesidir. Bu bakımdan sabit temelli binaların ve deprem yalıtımlı binaların yapısal sistem tasarımı önemli farklılıklar gösterir. Deprem yalıtımlı binalarda depreme bağlı kesit zorlarının önemli ölçüde azalması nedeniyle yapısal elemanların kesitleri küçültülebilir ve daha büyük açıklıklar geçilebilir.

Bu durumu yansıtmak adına çalışmada kullanılan deprem yalıtımlı binada aks aralıkları arttırılarak 7.5x7.5 m açıklıklardan oluşan döşeme sistemi tercih edilmiştir. Böylece kolon sayısı azaltılmış ve deprem yalıtım maliyeti de buna bağlı olarak azalmıştır. Statik hesap ve boyutlandırma Şekil 4.15'da gösterilen yapısal sistem esas alınarak tamamlanmıştır. Yalıtımlı binada bina önem katsayısı DEABTE 2018 14.3.2'de gösterildiği gibi  $I=I$  alınmıştır.



Şekil 4.15 : Yalıtımlı Model Kat Kalıp Planı.

#### Kolonlar:

Yapı sisteminde kullanılan kolon tipleri sırasıyla S1,S2,S3,S4 olmak üzere tanımlanmıştır. Dört farklı kolon tipi ve boyutlar Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Kolonlar için seçilen beton sınıfı C30, donatı çelik sınıfı S420 seçilmiştir.

Çizelge 4.6 : Kolon kesit ölçüleri

KOLON İSMİ	$L_x$	$L_y$
	(cm)	(cm)
S1	40	40
S2	50	35
S3	35	50
S4	50	50

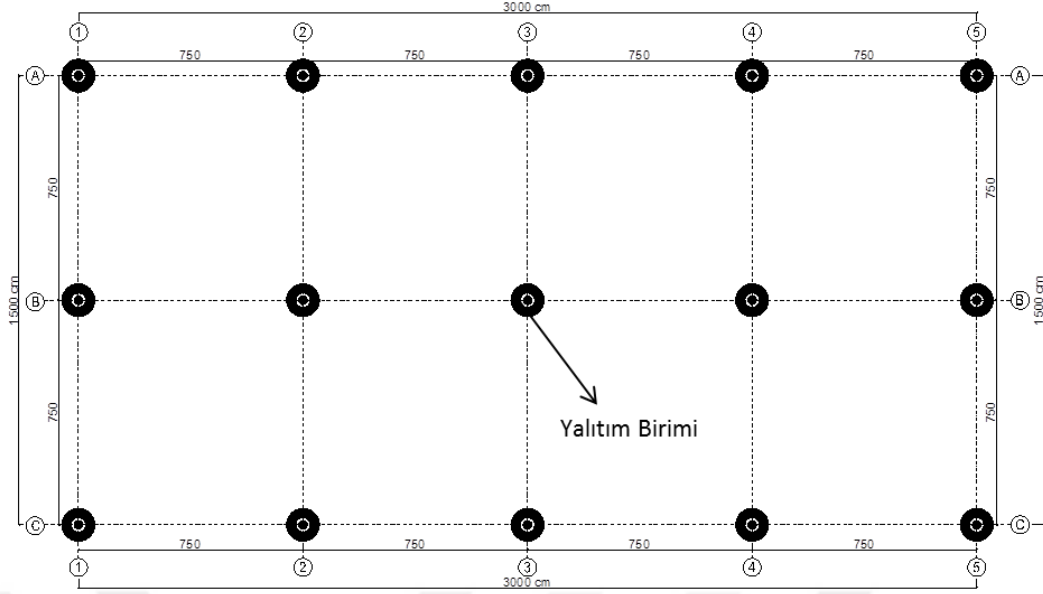
#### Kirişler:

Kirişler 30x60 cm olarak teşkil edilmiştir. Beton sınıfı C30, donatı çeliği S420 seçilmiştir.

#### Döşemeler:

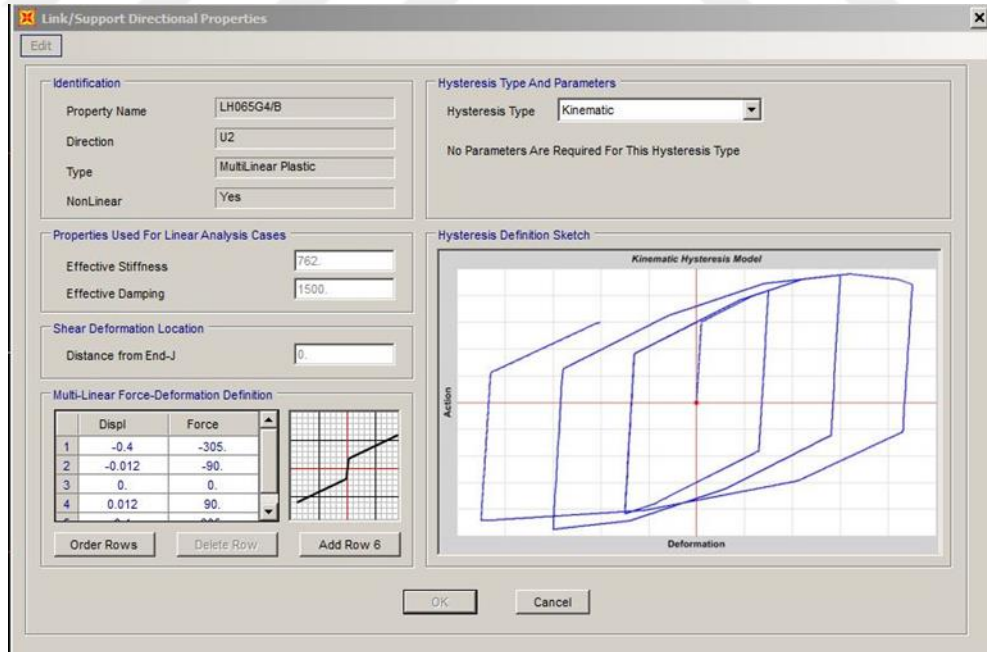
Yapı modelinde 17 cm plak döşeme seçilmiştir. Döşemelerde kullanılan beton sınıfı C30, donatı çeliği ise S420 olarak teşkil edilmiştir.

Yalıtım katında “YB3” yalıtım birimi yerleşim planı Şekil 4.16’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Yalıtım katı yalıtım birimi yerleşim planı.

Seçimi yapılan “YB3” yalıtım birimi modeli SAP 2000 ‘de “Multilinear Plastic Link ” eleman olarak tanımlanmıştır. Daha önce Çizelge 4.5’de parametreleri verilen yalıtım biriminin SAP 2000 programında çevrimsel davranış modeli tanımlanması gösterilmiştir.(Şekil 4.17)



Şekil 4.17 : SAP 2000 Programına Multilinear Plastik Link eleman tanımlanması.

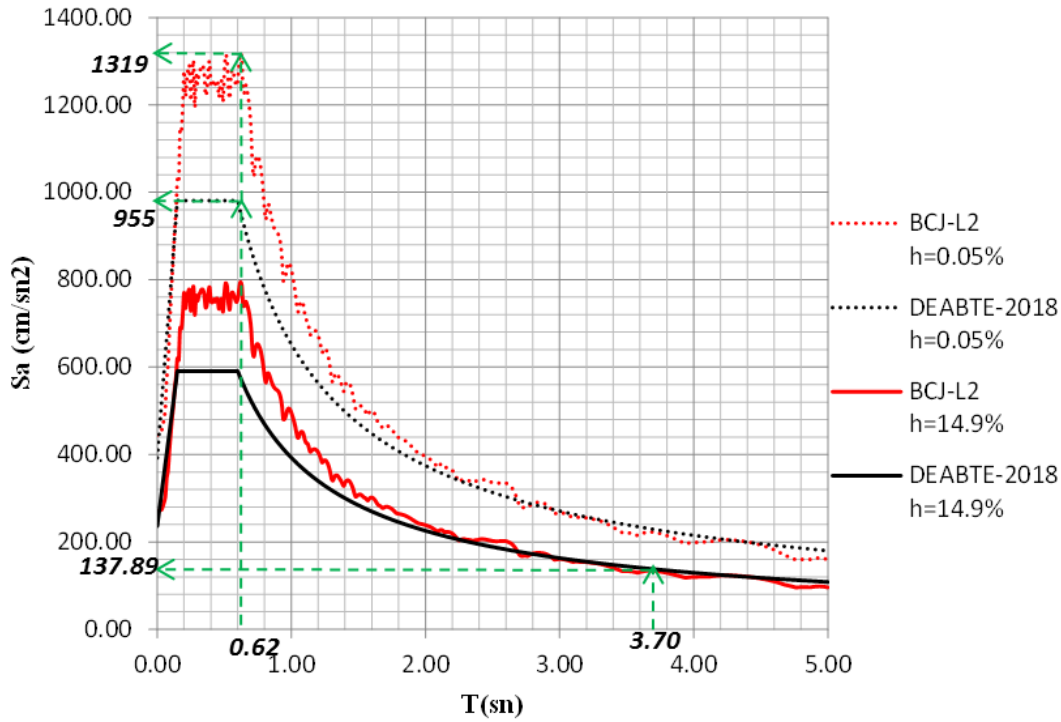
### 4.3.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz

Deprem yalıtımı uygulanmış yapı modeline SAP 2000 programı ile önce Bölüm 3.1.1’de tanımlanan BCJ-L2 sentetik yer hareketi kullanılarak zaman tanım alanlı analiz yapılacak sonuçları detaylı grafik ve tablolarla açıklanacaktır. Daha sonra aynı analiz ve işlemler Bölüm 3.1.4 ‘te seçilen yer hareketleri ile yapılacak olup, sonuçlar özetlenecektir.

#### 4.3.2.1 BCJ-L2 sentetik yer hareketi ile yapılan analiz ve sonuçları

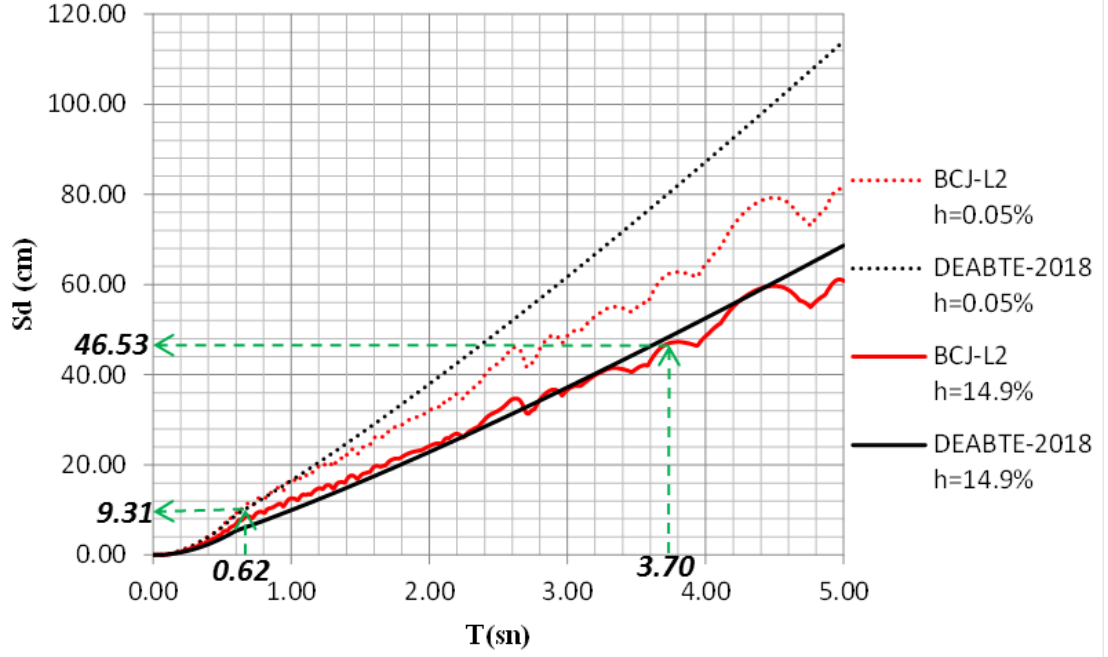
Sabit temelli yapının uzun doğrultuda etkin periyot değeri  $0.62$  sn iken deprem yalıtımlı binada bu değer  $3.70$  sn olarak hesaplanmıştır.

Deprem yalıtımı uygulanmış binada eşdeğer sönüm oranı  $h= 0.149$  olarak hesaplanmıştır, bu oran için DEABTE-2018 ivme ve deplasman spektrumları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.18 : DEABTE-2018 ve BCJ-L2 ivme spektumu.





**Şekil 4.19** : D.E.A.B.T.E 2018 ve BCJ-L2 deplasman spektrumu.

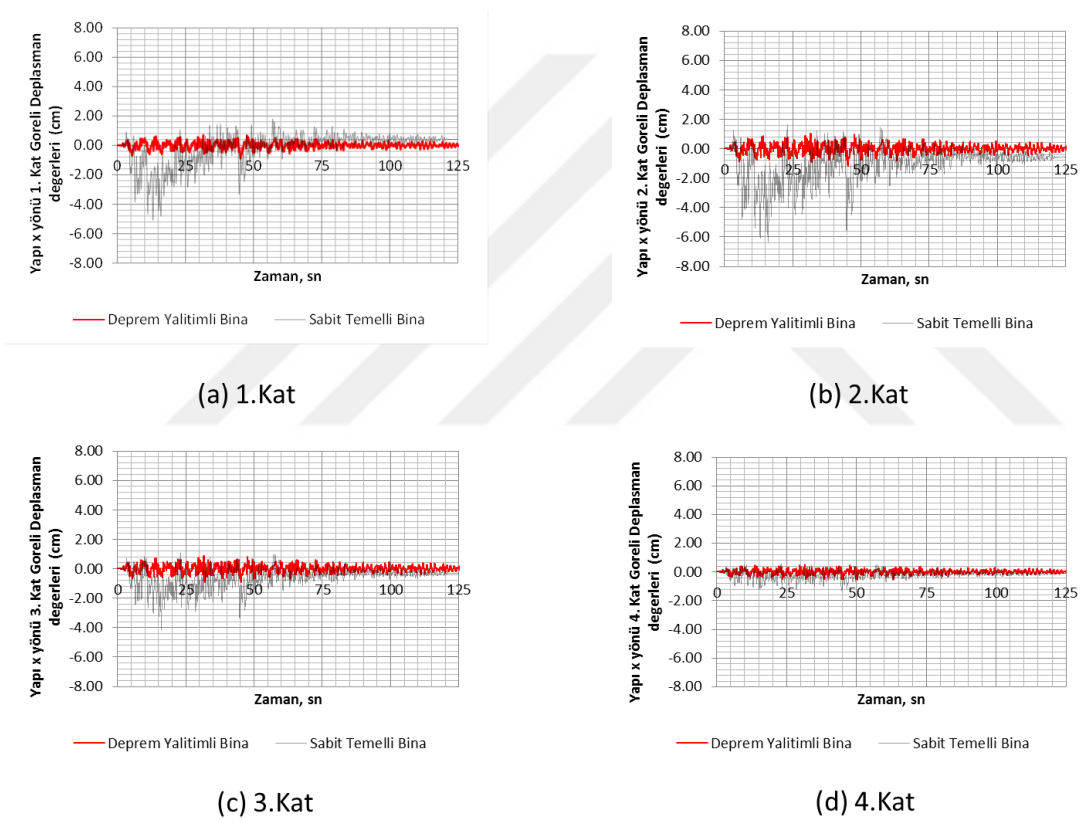
Şekil 4.18’te ivme spektrumunda görüldüğü gibi sabit temelli yapının yapı etkin periyodu  $T=0.62$  sn’e karşılık gelen tasarım ivme spektrumunda spektral ivme değeri  $S_a=955$   $cm/sn^2$  gözlemlenmiştir, yalıtım sonrası yapının etkin periyot değeri  $T_D=3.70$  sn’ye çıkarken ivme spektrumunda spektral ivme değeri  $S_a=137.89$   $cm/sn^2$  değerine azalmıştır. BCJ-L2 yer hareketi  $h=14.9\%$  sönüm oranlı ivme spektrumunda  $T_D=3.70$  sn’ye karşılık gelen spektral ivme değeri ise  $S_a=134.84$   $cm/sn^2$  olarak okunmuştur.

**Şekil 4.19**’te gösterilen deplasman spektrumunda ise sabit temelli yapıda yapı etkin periyodu  $T=0.62$  sn’e karşılık tasarım deplasman spektrumunda spektral deplasman değeri  $S_d=9.31$   $cm$  okunmuştur, yalıtım sonrası yapının etkin periyot değeri  $T_D=3.70$  sn’ye çıkarken deplasman spektrumunda spektral deplasman değeri  $S_d=46.53$   $cm$  değerine ulaşmıştır. BCJ-L2 yer hareketi  $h=14.9\%$  sönüm oranlı deplasman spektrumunda  $T_D=3.70$  sn’ye karşılık gelen spektral deplasman değeri ise  $S_d=45.24$   $cm$  olarak gözlemlenmektedir.

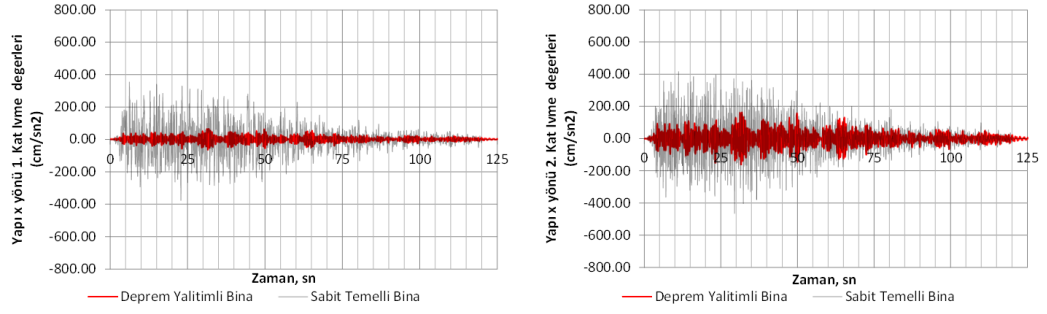
Analiz sonucunda **sabit temelli bina** da tabanda oluşan en büyük kesme kuvveti  $8705$   $KN$  , **deprem yalıtımlı bina** da ise bu değer  $4809$   $KN$  olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.7** : Sabit temelli bina-Deprem yalıtımlı bina deplasman ve ivme kıyaslama tablosu (BCJ-L2 yer hareketi ile)

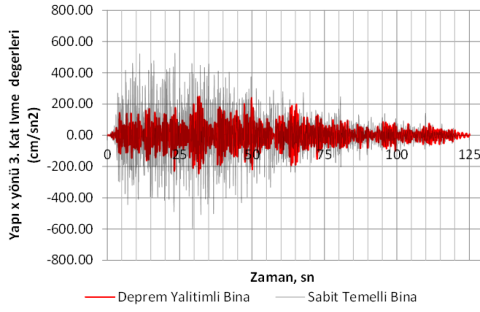
KAT	$d_{maks}$		$\Delta_{maks}$		En büyük ivme	
	(cm)		(cm)		(cm/sn <sup>2</sup> )	
	SABIT TEMELLİ	DEPREM YALITIMLI	SABIT TEMELLİ	DEPREM YALITIMLI	SABIT TEMELLİ	DEPREM YALITIMLI
4	15.31	<b>44.70</b>	1.32	<b>0.51</b>	653.18	<b>302.79</b>
3	14.27	<b>44.38</b>	4.22	<b>0.89</b>	595.24	<b>248.22</b>
2	11.18	<b>43.97</b>	6.36	<b>1.15</b>	464.56	<b>161.50</b>
1	5.09	<b>43.39</b>	5.09	<b>0.90</b>	376.21	<b>65.33</b>
Yalıtım Katı		<b>42.86</b>	-	-	-	<b>495.90</b>



**Şekil 4.20** : BCJ-L2 yer hareketi altında en büyük görelî deplasman-zaman ilişkisi.

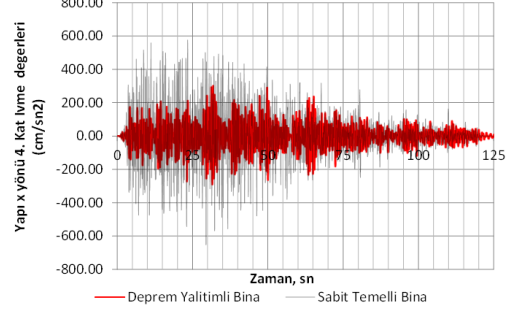


(a) 1.Kat



(c) 3.Kat

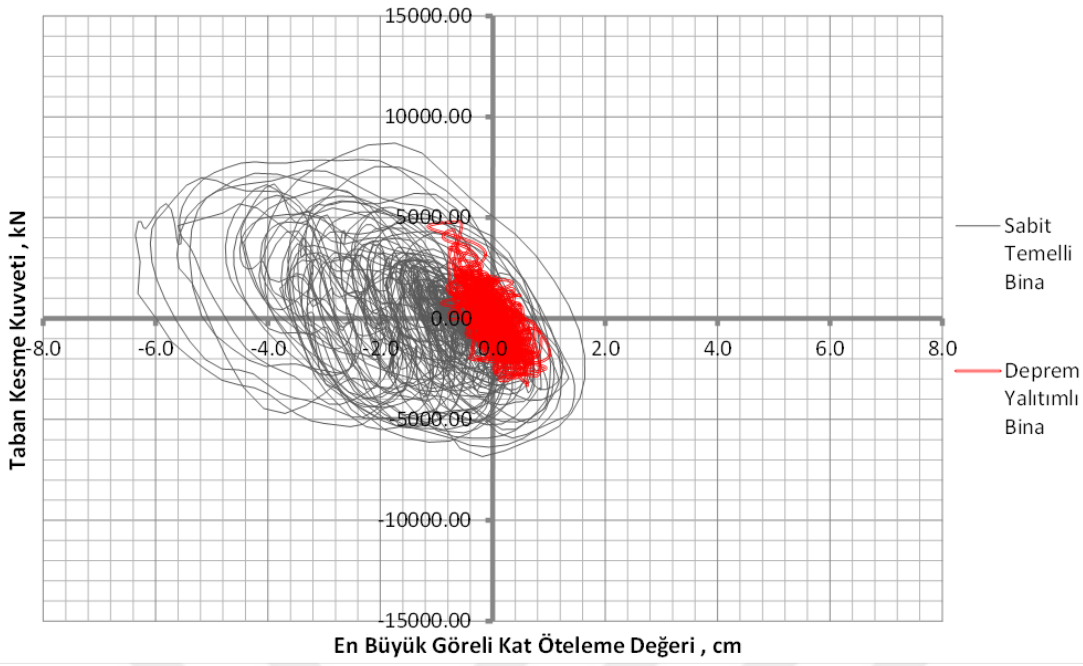
(b) 2.Kat



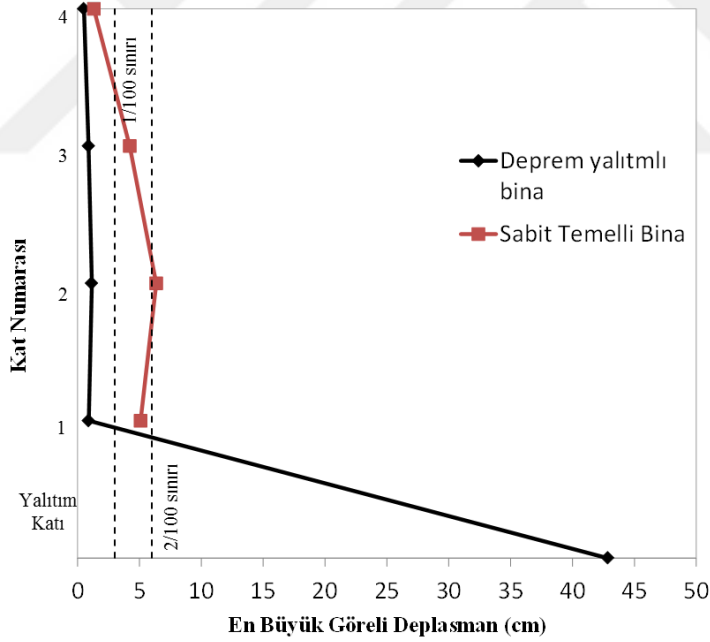
(d) 4.Kat

Şekil 4.21 : BCJ-L2 yer hareketi altında ivme-zaman ilişkisi.

Taban kesme kuvveti-en büyük görelî deplasman değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Sabit temelli yapıda maksimum görelî deplasman değeri 6.3 cm iken, deprem yalıtımlı bina da bu değeri 1.15 cm değerine kadar düşmüştür.



Şekil 4.22 : En büyük kat göreldeplasman değeri –taban kesme kuvveti ilişkisi (BCJ-L2 yer hareketi ile).

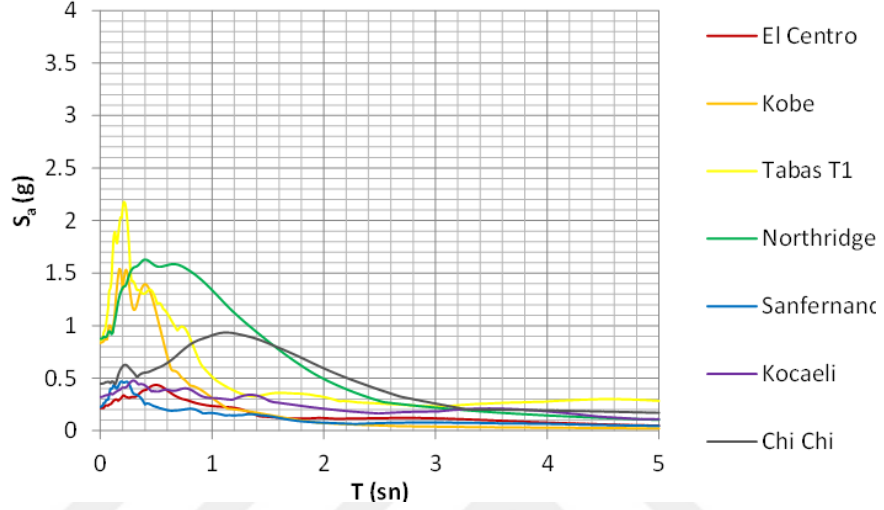


Şekil 4.23: BCJ-L2 yer hareketi ile zaman tanım alanında analiz sonucu deprem yalıtımlı bina en büyük görelde kat deplasmanları.

Şekil 4.23'de görüldüğü gibi deprem yalıtımı uygulanmış binada yalıtım katı, 42.86 cm zemine göre öteleme yaparken üst yapıda oluşan en büyük görelde deplasman değeri 1.15 cm olarak okunmaktadır.

#### 4.3.2.2 Yer hareketi seti kullanılarak yapılan analizler ve sonuçları

Sabit temelli binada zaman tanım alanında analiz için kullanılan ve bu çalışmada 3.1.4'te belirtilen yer hareketlerinin, deprem yalıtım hesapları sonrası elde edilen sistemin sönüm oranı olan %14.9 sönüm oranlı spektrumları oluşturulmuştur. %100 ölçekli olarak oluşturulan 7 farklı yer hareketinin  $h=14.9\%$  sönüm oranlı ivme spektrumları Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



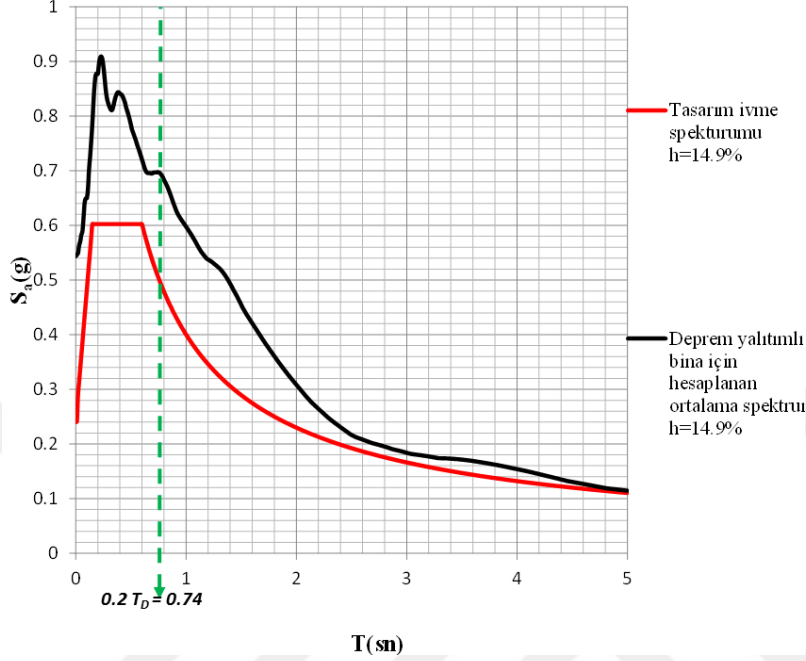
Şekil 4.24 : %100 ölçekli kullanılan 7 yer hareketi ivme spektrumu ( $h=14.9\%$ ).

Şekil 4.24'de kullanılan yer hareketlerinin ivme spektrumlarının her biri belirli katsayılarla yeniden ölçeklendirilerek ortalama spektrum elde edilir. Bu ortalama spektrum ilgili yönetmeliğin koşulunda belirtildiği gibi yapı etkin titreşim periyodunun ( $T_1=3.70$  sn) 0.2 ve 2 katı aralığında, yani  $0.74$  sn- $7.4$  sn aralığında tasarım ivme spektrumunun üzerinde kalacak şekilde hesaplanmalıdır. Bu hesaplamalarda seçilen her bir deprem kaydının parametreleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Deprem yalıtımlı binada zaman tanım alanlı analiz için kullanılan yer hareketi kayıtları

	<i>Yer Hareketi</i>	<i>Ölçek</i>	<i>PGA (g)</i>
1	EL CENTRO IMP VALLEY	100%	0.21
2	KOBE 1995	100%	0.83
3	TABAS T1	45%	0.38
4	NORTHRIDGE RRS	100%	0.87
5	SAN FERNANDO PEL	100%	0.22
6	KOCAELI YPT	200%	0.64
7	CHI CHI TCU 052N	140%	0.63

Seçilen yer hareketi kayıtları ile hesaplanan ortalama ivme spektrumu Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Deprem yalıtımlı binanın doğal titreşim periyodu “ $T_D$ ” değerinin 0.2 katı olan 0.74 sn değeri spektrumda gösterilirken , periyot değerinin 2 katı olan 2.0 sn değeri 7.40 sn değeri spektrum dışında kalmıştır.



Şekil 4.25 : Zaman tanım alanlı analiz için ortalama ivme spektrumu.

SAP 2000 yazılımında, ortalama spektrumu oluşturan yer hareketleri kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Deprem yalıtımlı binanın uzun doğrultusu olan x yönünde, ölçekleri daha önce belirlenmiş tüm yer hareketleri kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her bir yer hareketi için elde edilen deplasman değerleri Çizelge 4.9’da paylaşılmıştır. Ayrıca sabit temelli yapı ile deprem yalıtımlı binanın analiz sonucunda elde edilen ortalama deplasman ve ivme değerleri Çizelge 4.10’da kıyaslanmıştır.

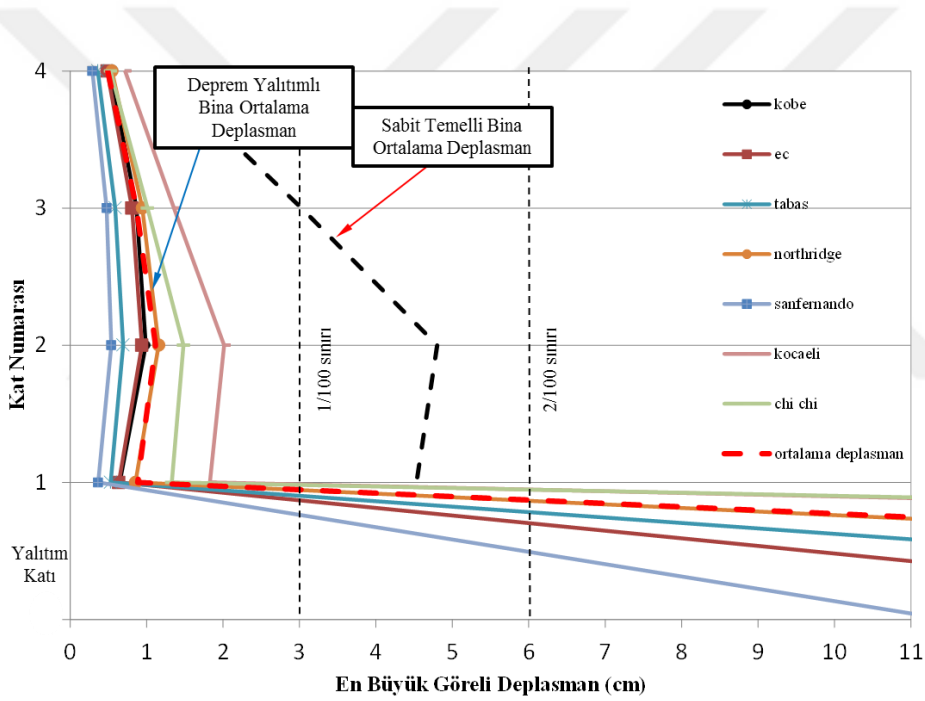
Çizelge 4.9 : Deprem yalıtımlı bina zaman tanım alanlı analiz sonuçları  
(Tüm yer hareketleri için)

#	YER HAREKETİ	KAT	$d_{i(maks)}$	$\Delta_{maks}$	$\Delta_{(maks)}/h_i$
			(cm)	(cm)	
1	KOBE 1995	4	22.65	0.52	0.002
		3	22.24	0.87	0.003
		2	21.55	0.99	0.003
		1	20.72	0.65	0.002
		Y.KATI	20.11	-	-
2	EL CENTRO	4	20.05	0.48	0.002

		3	19.86	0.81	0.003
		2	19.51	0.94	0.003
		1	19.05	0.64	0.002
		Y.KATI	18.68	-	-
3	TABAS	4	27.57	0.36	0.001
		3	27.32	0.59	0.002
		2	26.86	0.69	0.002
		1	26.24	0.53	0.002
		Y.KATI	25.74	-	-
4	NORTHRIGGE	4	41.90	0.55	0.002
		3	41.51	0.94	0.003
		2	40.81	1.16	0.004
		1	39.88	0.85	0.003
		Y.KATI	39.12	-	-
5	S.FERNANDO	4	12.60	0.29	0.001
		3	12.42	0.48	0.002
		2	12.12	0.54	0.002
		1	11.75	0.37	0.001
		Y.KATI	11.49	-	-
6	KOCAELI	4	85.73	0.72	0.002
		3	84.98	1.36	0.005
		2	84.61	2.01	0.007
		1	83.30	1.83	0.006
		Y.KATI	81.70	-	-
7	CHI CHI	4	94.15	0.53	0.002
		3	93.63	1.01	0.003
		2	92.62	1.48	0.005
		1	91.14	1.33	0.004
		Y.KATI	89.82	-	-
	ORTALAMA	4	43.52	0.49	0.002
		3	43.14	0.86	0.003
		2	42.40	1.12	0.004
		1	41.31	0.88	0.003
		Y.KATI	40.95	-	-

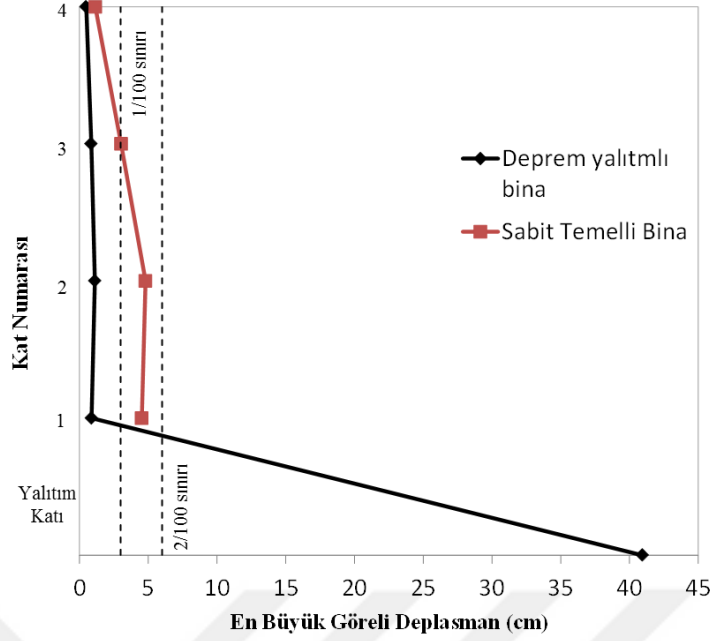
**Çizelge 4.10** : Sabit temelli bina-Deprem yalıtımlı bina deplasman ve ivme kıyaslama tablosu (ortalama ivme spektrumu)

KAT	$d_{maks}$		$\Delta_{maks}$		En büyük ivme	
	(cm)		(cm)		$(cm/sn^2)$	
	SABIT TEMELLİ	DEPREM YALITIMLI	SABIT TEMELLİ	DEPREM YALITIMLI	SABIT TEMELLİ	DEPREM YALITIMLI
4	14.23	<b>43.52</b>	1.15	<b>0.49</b>	727.71	<b>235.66</b>
3	13.05	<b>43.14</b>	3.03	<b>0.86</b>	664.98	<b>195.07</b>
2	9.88	<b>42.40</b>	4.80	<b>1.12</b>	544.88	<b>127.47</b>
1	4.72	<b>41.31</b>	4.53	<b>0.88</b>	328.15	<b>50.53</b>
Yalıtım Katı		<b>40.95</b>	-	-	-	<b>582.17</b>



**Şekil 4.26** : Deprem yalıtımlı bina zaman tanım alanında analiz sonucu ortalama deplasman değerleri.





**Şekil 4.27** : Tüm yer yer hareketleri ile zaman tanım alanında analiz sonucu deprem yalıtımlı bina ortalama en büyük görece kat deplasman değerleri

Deprem yalıtımlı ve sabit temelli yapıların depreme karşı performanslarını kıyaslamak gerekirse, sabit temelli yapıda son katta ölçülen en yüksek ivme değeri  $0.74 g$  iken, yalıtımlı binada bu değer  $0.24g$  olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde en büyük görece deplasman kıyaslamasında, sabit temelli binada en büyük görece deplasman değeri  $4.8cm$  iken, yalıtımlı binada bu değer  $1.12'e$  kadar düşmektedir. **Çizelge 4.9**'da karşılaştırma detaylarında açıklandığı gibi, sabit temelli yer hareketinden kaynaklanan etkiler üst katlarda elamanları doğrusal olmayan davranışa iteklerken, yalıtımlı bina da yalıtım arayüzü üzeri (üst yapı) neredeyse rijit hareket etmektedir. Başka bir deyişle sabit temelli yapıda depremden kaynaklanan enerji taşıyıcı elamanların doğrusal olmayan davranışı ile karşılanırken, yalıtımlı bina da yalıtım arayüzünde bu enerjinin büyük bir kısmı karşılanmış, üst yapı doğrusala yakın bir davranış göstermiştir.

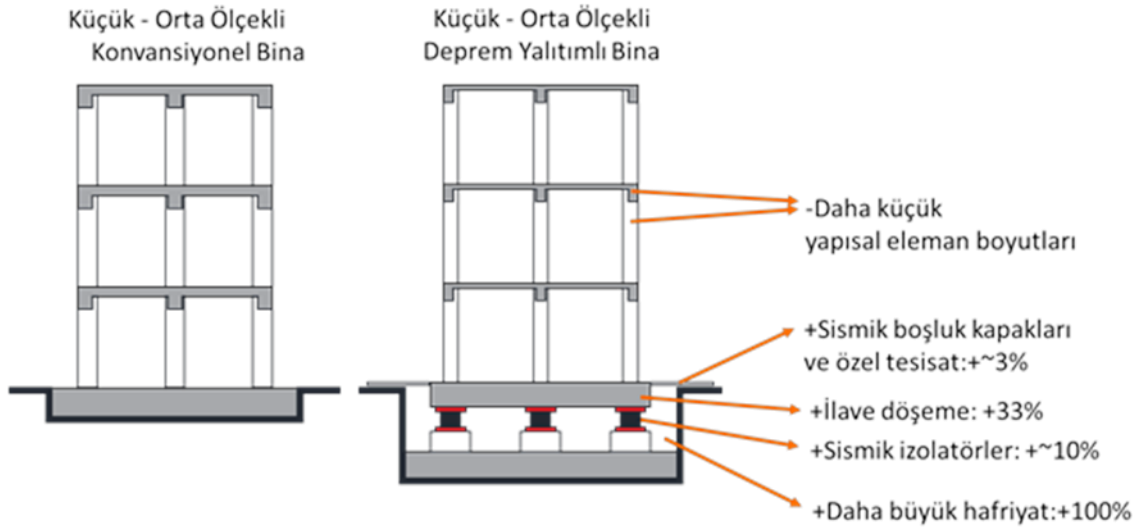
#### 4.4 Maliyet

Konvansiyonel bina yapım yöntemlerine kıyasla, deprem yalıtımının bazı ek maliyetler getireceği açıktır. Bu ek maliyetler deprem yalıtım katmanının teşkili için gereken ilave hafriyat, deprem yalıtım birimleri, sismik boşluk kapakları (veya geçişleri), deprem yalıtımlı binaya uygun özel tesisat bağlantıları ve en önemlisi de deprem yalıtım briminin üzerindeki ilave kat döşemesi olarak sıralanabilir. Söz konusu ilave döşeme, diğer kat döşemelerine göre daha büyük zorlamalara maruz kalmaktadır ve oldukça büyük kesitli kirişlerle teşkil edilir.

Bununla birlikte deprem yalıtımı uygulaması ile birlikte, üst yapıda depreme bağlı kesit zorları önemli ölçüde azalır ve bu şekilde yapısal eleman boyutları azalır ve/veya aks aralıkları büyüyebilir. Kat adedinin artması durumunda bu etki daha da belirginleşir. Özellikle de deprem yalıtım biriminin üzerindeki kuvvetli döşeme, az katlı binalarda kaba inşaat maliyetini önemli derecede etkilerken, çok katlı binalarda bu ilave döşemenin etkisi azaldığı gibi, üst yapıdaki elemanların azalmasının/küçülmesinin mali avantajıyla birlikte, döşeme maliyetinin etkisi azalır ve bazı durumlarda yok olur.

Deprem yalıtımının yapım maliyetine etkisi aşağıdaki şekilde özetlenmektedir.

##### Deprem Yalıtımının Yapım Maliyetine Etkisi



Şekil 4.28 : Deprem yalıtımının yapım maliyetine etkisi .

Deprem yalıtımlı bina ve sabit temelli binanın kaba yapı yapım maliyetlerinden taşıyıcı sistem metrajları ve keşif özetleri referans alınarak maliyet karşılaştırılması yapılacaktır. Birim maliyet analizlerinde ise T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı'nca hazırlanan 2018 Yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları kullanılmıştır.

Metraj hesaplarında, sabit temelli ve deprem yalıtımlı binada uygulanacak radye temel boyut ve detayı benzer olacağı düşünülerek göz ardı edilmiştir.

**Çizelge 4.11**'de sabit temelli binanın metraj tablosu gösterilmiştir.

**Çizelge 4.11:** Sabit temelli bina kaba yapı inşaat metrajı

Kat	Taşıyıcı Elaman	Metraj Kalemleri		
		Beton (m <sup>3</sup> )	Donatı (kg)	Kalıp(m <sup>2</sup> )
1.Kat	Kolon	16.77	3163	134.4
	Kiriş	36.71	4722	256.95
	Döşeme	59.64	2812	397.62
2.Kat	Kolon	16.77	3163	134.4
	Kiriş	36.71	4445	256.95
	Döşeme	59.64	2812	397.62
3.Kat	Kolon	16.77	3163	134.4
	Kiriş	36.71	3918.5	256.95
	Döşeme	59.64	2812	397.62
4.Kat	Kolon	16.77	3163	134.4
	Kiriş	36.71	3498.2	256.95
	Döşeme	59.64	2812	397.62
<b>Toplam =</b>		<b>C30/37 Beton (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Donatı(kg)</b>	<b>Kalıp (m<sup>2</sup>)</b>
		<b>452.48</b>	<b>40483.7</b>	<b>3155.88</b>

Deprem yalıtımlı bina için kaba yapı inşaat metrajı

**Çizelge 4.12**'de gösterilmiştir. Yalıtımlı bina da yalıtım arayüzünde rijit diyafram oluşturmak için ara bir kat oluşturulmuştur. Ayrıca üst yapıda döşeme açıklıkları artırıldığı dolaylı döşeme kesitleri büyümüştür. Bu nedenlerle sabit temelli yapı ya göre yalıtımlı binada taşıyıcı sistem metrajları artmıştır.

**Çizelge 4.12** : Deprem yalıtımlı bina kaba inşaat metrajları

<b>KAT</b>	<b>Taşıyıcı Elaman</b>	<b>Metraj Kalemleri</b>		
		<b>Beton (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Donatı (kg)</b>	<b>Kalıp(m<sup>2</sup>)</b>
Y.Katı	Kolon	1.056	215	9.051
	Kiriş	39.6	4703	277.2
	Döşeme	70.5	3556	414.72
1.Kat	Kolon	8.37	1789	70.08
	Kiriş	27.95	3686	192.23
	Döşeme	70.5	3556	414.72
2.Kat	Kolon	8.37	1759	70.08
	Kiriş	27.95	3686	192.23
	Döşeme	70.5	3556	414.72
3.Kat	Kolon	8.37	1714	70.08
	Kiriş	27.95	3686	192.23
	Döşeme	70.5	3556	414.72
4.Kat	Kolon	8.37	1594	70.08
	Kiriş	27.95	3686	192.23
	Döşeme	70.5	3556	414.72
<b>Toplam =</b>		<b>C30/37 Beton (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Donatı(kg)</b>	<b>Kalıp (m<sup>2</sup>)</b>
		<b>538.436</b>	<b>44298</b>	<b>3409.091</b>

Sabit temelli bina için keşif özeti **Çizelge 4.13** 'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.13** : Sabit temelli bina keşif özeti

<b>Sıra</b>	<b>Poz no</b>	<b>İmalatın Cinsi</b>	<b>Birim</b>	<b>2018 B.Fiyat</b>	<b>Metraj</b>	<b>Toplam Maliyet</b>
1	Y.15.001/1A	Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması (Serbest kazı)	m <sup>3</sup>	4.01 ₺	<b>570</b>	<b>2,285.70 ₺</b>
2	Y.16.050/16	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m <sup>3</sup>	192.15 ₺	452.48	<b>86,944.03 ₺</b>
3	Y.21.001/03	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m <sup>2</sup>	45.50 ₺	3155.88	<b>143,592.54 ₺</b>
4	Y.23.014	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	kg	3.55 ₺	22670.00	<b>80,452.20 ₺</b>
5	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	kg	3.47 ₺	17813.70	<b>61,742.28 ₺</b>

**Σ= 375,016.76 ₺**

Deprem yalıtımlı bina için keşif özeti **Çizelge 4.14**'de gösterilmiştir. Deprem yalıtımlı binada maliyet hesabında sabit temelli binanın hesabına ilave olarak deprem yalıtım arayüzü oluşumu için özel tesisat montajları, ek hafriyat, sismik boşluk geçişi , deprem yalıtım birimleri ve montajı maliyetlere eklenmiştir.

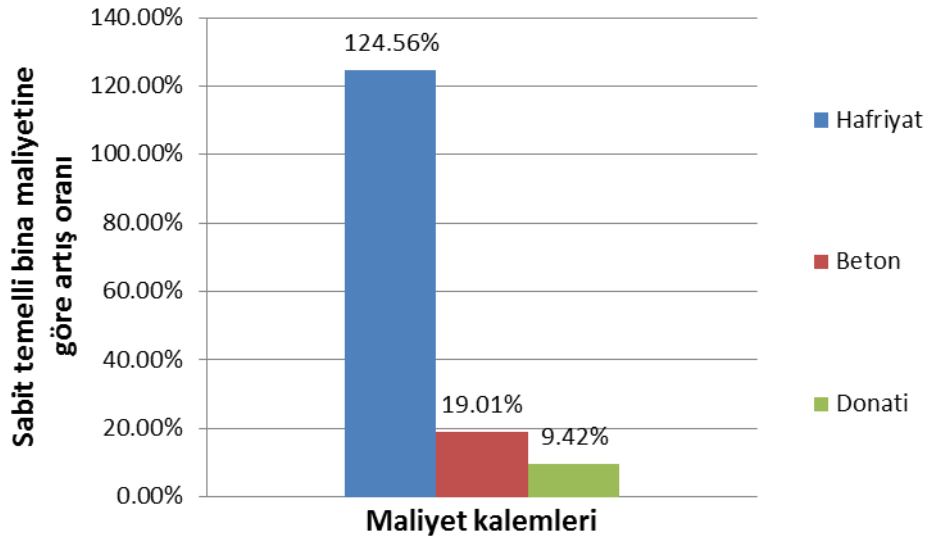
**Çizelge 4.14** : Deprem yalıtımlı bina keşif özeti

<b>Sıra</b>	<b>Poz no</b>	<b>İmalatın Cinsi</b>	<b>Birim</b>	<b>2018 B.Fiyat</b>	<b>Metraj</b>	<b>Toplam Maliyet</b>
1	Y.15.001/1A	Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması (Serbest kazı)	m <sup>3</sup>	4.01 ₺	<b>1280</b>	<b>5,132.80 ₺</b>
2	Y.16.050/16	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m <sup>3</sup>	192.15 ₺	538.49	<b>103,470.08 ₺</b>
3	Y.21.001/03	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m <sup>2</sup>	45.50 ₺	3410.00	<b>155,155.00 ₺</b>

4	Y.23.014	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	kg	3.55 ₺	24807.00	<b>88,036.07 ₺</b>
5	Y.23.015	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	kg	3.47 ₺	19491.00	<b>67,555.81 ₺</b>
6		Sismik boşluk geçişi	adet	8,320.00 ₺	1.00	<b>8,320.00 ₺</b>
7		Standart binada bulunan tesisatlara ilave özel tesisatın imalatı	adet	25,430.00 ₺	1.00	<b>25,430.00 ₺</b>
8		Deprem yalıtım birimleri ve montajı	adet	12,780.00 ₺	15.00	<b>191,700.00 ₺</b>

$\Sigma =$  **644,799.76 ₺**

**Çizelge 4.14'**da listelenen, deprem yalıtımlı binanın imalat cinslerine göre hesaplanan kaba inşaat maliyeti, sabit temelli binanın **Çizelge 4.13'**de gösterilen maliyetine göre artış oranı %71.94'dür. Hafriyat beton ve donatı kalemlerinin sabit temelli modeldeki maliyetlerine göre artış oranları **Şekil 4.29'**de gösterilmiştir. Bu grafiğe göre 4 katlı deprem yalıtımlı yapının hafriyat maliyeti sabit temelli yapıninkine göre %124 artmıştır.



**Şekil 4.29** : Deprem yalıtımı uygulamasının sabit temelli 4 katlı binaya göre kaba inşaat maliyetlerinde artış oranları.



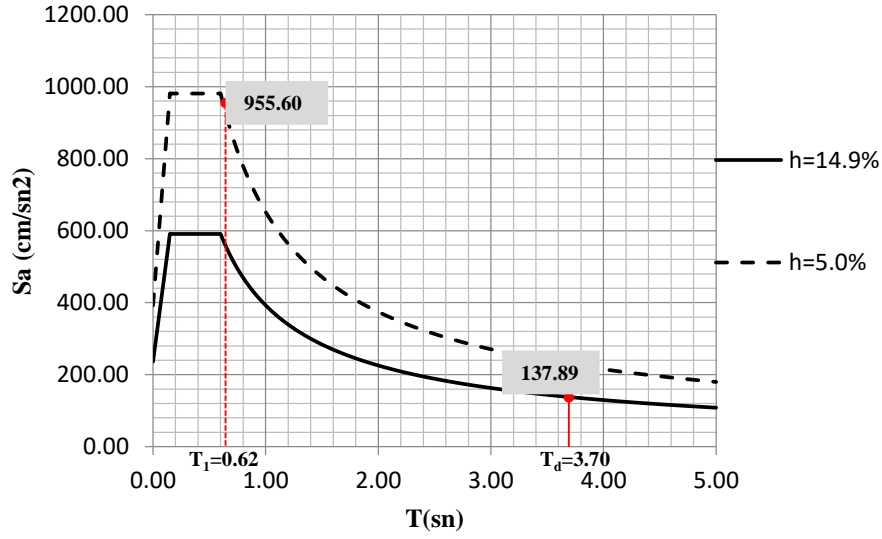




## 5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında 4 katlı betonarme bir yapının dinamik davranışının incelenip, aynı binaya deprem yalıtımı uygulanmış modeli ile hem dinamik davranış hem de ekonomi açısından kıyaslaması yapılmıştır. Deprem yalıtımı tasarımı için ön tasarım hesapları yapılmış, bu hesaplara uygun yalıtım birimi seçilmiştir. Dinamik davranışın değerlendirilmesi için DBYBHY 2007’de Bölüm 7.6.7’de açıklanan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Seçilen yer hareketlerine karşı sabit temelli olarak da adlandırılabilen, tabana ankastre bağlı yapıda analiz sonucunda kiriş ve kolonlarda plastik şekil değiştirmelerin ve önemli hasarların meydana geldiği görülmüştür. Deprem yalıtımlı binada deprem enerjisinin büyük bir kısmı yatayda düşük rijitliğe sahip, esnek ve sönüm özellikli yalıtım birimleri tarafından karşılanarak üst yapıda oluşacak kesit zorlarının çok küçük mertebelerde kalmasını sağlamıştır. Analizlerden elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

- 4 katlı betonarme sabit temelli yapıda modal analiz sonucu uzun doğrultuda elde edilen etkin titreşim periyodu  $T_1 = 0.62$  sn iken, deprem yalıtımlı binada yalıtım birimlerinin deplasman talebinin önemli bir kısmını karşılamasından dolayı periyot değeri artarak  $T_d = 3.70$  sn değerine çıkmıştır. Periyodun ve yalıtım biriminin yapı taşıyıcı sisteme katkısı olan sönüm oranının artmasıyla da yalıtımlı bina da spektral kuvvetler azalmıştır. Analiz ve hesaplamalar sonucu deprem yalıtımlı binada sönüm oranı %14.9 olarak hesaplanmıştır. Tasarım ivme spektrumunda sabit temelli bina periyodu  $T_1 = 0.62$  sn’e karşılık gelen spektral ivme değeri  $S_a = 955.60$  cm/sn<sup>2</sup> iken, deprem yalıtımlı binanın periyot değeri  $T_d = 3.70$  sn’e karşılık gelen spektral ivme değeri  $S_a = 137.89$  cm/sn<sup>2</sup> değerine azalmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Sabit temelli binanın ve deprem yalıtımlı binanın tasarım ivme spektrumundaki yerlerinin karşılaştırılması.

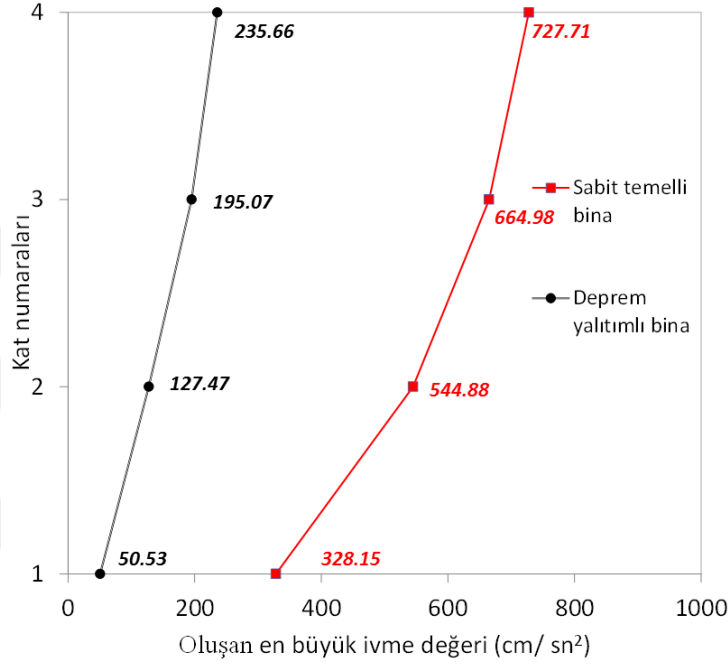
- 4 katlı betonarme sabit temelli yapı analiz sonucunda seçilen 7 farklı yer hareketi kullanılarak elde edilen ortalama en büyük göreceli deplasmanlarda, DBYBHY 2007 Denk(2.19)'da belirtilen koşul sağlansa da sınır koşula oldukça yakın deplasman değerleri olduğu görülmüştür. Deprem yalıtımlı binada ise bu oranlar en üst katta %75, en alt katta %80 oranında azalmıştır(Çizelge 5.1).

$$\frac{(\delta_i)_{maks}}{h_i} \leq 0.02 \quad (2.19)$$

Çizelge 5.1 : Sabit temelli binanın-deprem yalıtımlı binanın zaman tanım alanında analiz sonucu en büyük göreceli deplasman oranları kıyaslama tablosu

KAT	SABİT TEMELLİ BİNA	DEPREM YALITIMLI BİNA
	$\Delta_{(maks)}/h_i$	$\Delta_{(maks)}/h_i$
4	0.004	0.001
3	0.010	0.003
2	0.016	0.004
1	0.015	0.003

- 4 katlı betonarme yapının sabit temelli modelinde zaman tanım alanlı analiz sonucunda katlarda oluşan en büyük ivme değeri sabit temelli binanın 4 katında oluşmuş ve bu değer  $a = 727.705 \text{ cm/sn}^2$  olarak hesaplanmıştır. Deprem yalıtımlı yapı modelinde üst yapıda oluşan en büyük ivme değeri 4. katta oluşmuş olup, ivme değeri  $a = 235.663 \text{ cm/sn}^2$  olarak hesaplanmıştır. **Şekil 5.2**'de sabit temelli ve deprem yalıtımlı binada katlarda oluşan en büyük ivme değerlerinin detayları gösterilmiştir.



**Şekil 5.2 :** Sabit temelli binanın ve deprem yalıtımlı binanın zaman tanım alanında analiz sonucu katlarda oluşan en büyük ivme değerleri kıyaslama grafiği.

- 4 katlı betonarme yapının sabit temelli modelinde zaman tanım alanlı analiz sonucunda, taban kesme kuvveti  $V_t = 9417 \text{ KN}$  olarak hesaplanırken, yapının deprem yalıtımlı modelinde bu değer  $V_t = 5208 \text{ KN}$  değerine azalmıştır.
- İki farklı modelin karşılaştırılması yapılırken, zaman tanım alanlı analizde kullanılmak üzere 7 farklı yer hareketine ek olarak Building Center Japan kurumunun yayınlamış olduğu sentetik bir yer hareketi olan BCJ-L2 ile analiz yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre sabit temelli binada oluşan en büyük göreceli deplasman yapı ikinci katında oluşmuş olup, bu değer  $\Delta_{maks} = 6.360 \text{ cm}$ 'dir. DBYBHY 2007 Denk (2.19)'da belirtilen göreceli deplasman sınır koşulunu sağlamamaktadır. Buna karşılık yalıtımlı model analiz sonucunda yapıda oluşan en büyük göreceli deplasman yapı ikinci katında oluşmuş olup, bu değer  $\Delta_{maks} = 1.153 \text{ cm}$ 'e gerilemiştir. Yönetmelik sınır koşulunun çok çok altında

kalmıştır. Aynı şekilde BCJ-L2 yer hareketi ile yapılan analiz sonucunda, sabit temelli yapıda en büyük ivme değeri 4.katta oluşmuş, bu değer  $a= 653.178 \text{ cm/sn}^2$  olarak hesaplanmıştır. Deprem yalıtımlı binada üst yapıda oluşan en büyük ivme değeri 4. katta oluşmuş olup, ivme değeri  $a= 302.787 \text{ cm/sn}^2$  olarak hesaplanmıştır.

- 4 katlı betonarme yapının sabit temelli ve deprem yalıtımlı modelinin ekonomi açısından kıyaslanması da bu çalışmada yapılmıştır. Sabit temelli bina da beton, donatı, hafriyat, ve kalıp iş kalemleri dikkate alınarak çıkarılan metraj ve keşif özetleri sonucunda hesaplanan kaba inşaat yapım maliyeti 375,016.76 ₺ olarak hesaplanmıştır. Buna karşın deprem yalıtımlı binanın kaba inşaat maliyet hesabı yapılırken beton, donatı, hafriyat, kalıp iş kalemlerinin yanında, yalıtım katında uygulanacak ilave tesisat, sismik geçiş boşluğu ve 15 adet kullanılan deprem yalıtım birimlerinin montajı maliyetleri de eklenmiş olup, yalıtımlı bina toplam kaba inşaat maliyeti 644,799.76 ₺ olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.2’de sabit temelli bina ve deprem yalıtımlı binanın maliyet kalemleri ile ilgili detaylar verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Sabit temelli bina ve deprem yalıtımlı bina kaba inşaat maliyet karşılaştırılması

Sıra	Kaba inşaat yapımı maliyet kalemleri	Maliyet		
		Sabit Temelli Bina	Deprem Yalıtımlı Bina	Artış Oranı
1	Makine ile yumuşak ve sert toprak kazılması (Serbest kazı)	2,285.70 ₺	5,132.80 ₺	124.56%
2	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	86,944.03 ₺	103,470.08 ₺	19.01%
3	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	143,592.54 ₺	155,155.00 ₺	8.05%
4	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	80,452.20 ₺	88,036.07 ₺	9.43%
5	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	61,742.28 ₺	67,555.81 ₺	9.42%
6	Sismik boşluk geçişi	-	8,320.00 ₺	-
7	Standart binada bulunan tesisatlara ilave özel tesisatların imalatı	-	25,430.00 ₺	-
8	Deprem Yalıtım Birimleri ve montajı	-	191,700.00 ₺	-
$\Sigma=$		<b>375,016.76 ₺</b>	<b>644,799.76 ₺</b>	

Sabit temelli düşük katlı betonarme bir binaya deprem yalıtımı uygulandığında oluşan maliyet değişikliği incelenmiştir. Sabit temelli bir binaya deprem yalıtımı uygulaması daha maliyetli bir durum olsa da , bu iki sistemin deprem etkisine karşı davranışı tamamen farklıdır. Sabit temelli bir yapı da deprem sonrası yapısal hasar oluşurken, deprem yalıtımlı

binada depremden kaynaklanan etkinin büyük bir kısmı yalıtım arayüzünde karşılanır ve üst yapıda yapısal hasar oluşmamaktadır. Bu nedenle maliyeti karşılaştırılan binaların deprem performansı tamamen farklı olduğu göz ardı edilemeyecek bir gerçektir.





## KAYNAKLAR

- Aiken Ian D., Nakashima M., Miyazaki M. ve Midorikawa M.** (1999). The 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu) Earthquake as a Trigger for Implementing New Seismic Design Technologies in Japan, Peter W. Clark, Lessons Learned Over Time. Learning from Earthquakes. Volume III Earthquake Engineering Research Institute
- Antonucci, R. ve Medeot, R.** (2003). Seismic protection of buildings through energy dissipation and the base isolation system: The Italian experience, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, (s.55-60). İstanbul
- Baştuğ, B.K.** (2004). *Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması*, (Yüksek Lisans Tezi), Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Celep,Z. Ve Kumbasar , N.,** (2004). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep,Z. Ve Kumbasar , N.,** (2011). Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY** (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, DEABTE** (2018). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Ersavaş, T.** (2014). Türkiye de Binalarda Deprem İzolasyon Uygulamalarının Dünü, Bugünü ve Geleceği, Deprem İzolasyon Derneği, Power Point Sunumu, Erişim adresi: <http://www.did.org.tr/wp-content/uploads/2014/12/Turgut-Ersavas.pdf>
- Higashino, M. ve Okamoto, S.** (2006) Response Control and Seismic Isolation of Buildings, *Taylor and Francis*, Oxon, 154-175.
- Jacobsen L.S.,** (1960) Damping in Composite Structures. 2nd World Conference on Earthquake Engineering, Japan, pp. 1029-1044 .
- Kani N., Feng D., Sera S.** (2010) Performance Based Design of Seismically Isolated Buildings in Japan, *Bridges seismic isolation and large scale modeling, Workshop, St.-Petersburg, Russia.*
- Kravchuk, N., Colquhoun, R. ve Porbaha, A.** (2008). Development of a friction pendulum bearing base isolation system for earthquake engineering education, *American Society for Engineering Education Annual Conference*, (s. 1-16). Pasific Southwest.

- Martelli, A. ve Forni, M.** (1998). Seismic isolation of civil buildings in Europe, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 1(3), 286-294
- Naeim, F., ve Kelly, J.M.** (1999). Design of seismic isolated structures: From theory to practice. *John Wiley & Sons* (s. 2-3). New York.
- Pampal S., Özmen B.,** (2007), Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Gelişimi, İstanbul.
- PEER Ground Motion Database**, NGA-West2 Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regimes <http://ngawest2.berkeley.edu>.
- Priestley M.J.N., Calvi G.M. ve Kowalsky M.J.** (2007). Displacement-Based Seismic Design of Concrete Structures, *Proc. 3rd Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Girona, Spain.
- Robinson, W. H.** (2000). Seismic isolation of civil buildings in New Zealand, *Progress in Structural Engineering and Materials*, (2: s.328-324).
- SAP 2000, Integrated Software for Structural Analysis and Design Program**, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- SEISMOSIGNAL**, Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy .
- Shibata A.,** (2010) Dynamic Analysis of Earthquake Resistant Structures, Tohoku University Press, Sendai, Japan.
- Takayama, M.** (2017) Development and Application of Seismic Isolation and Response Control of Buildings in Japan, 2017 NZSEE Conference. Fukuoka University, Japan.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı.** (2011). Deprem İzolatör Sistemleri, *İnşaat Teknolojisi*, Ankara.
- T.C. Sağlık Bakanlığı-Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü,** (2013). *Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar (Genelge 2013/3)*, Ankara.
- Yoshida, J., Abe, M., Fujino, Y. and Watanabe, H.** (2004). Three-Dimensional Finite-Element Analysis of High Damping Rubber Bearings, *Journal of Engineering Mechanics*, 130, 607-620.



**Url-1** < <http://www.deprem.gov.tr/tr/depremkatalogu>> erişim tarihi: 07.03.2018.

**Url-2** < <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>> erişim tarihi: 17.03.2018.

**Url-3** < <http://www.oiles.co.jp/en/menshin/building/menshin/products/lrb//>> erişim tarihi:  
04.04.2018.

**Url-4** < <http://www.tepapa.govt.nz/visit/plan-your-visit>> erişim tarihi: 04.04.2018.

**Url-5**<<http://www.enr.com/articles/42366-the-10-largest-base-isolated-buildings-in-the-world>> erişim tarihi: 04.04.2018.





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Selçuk Serdar SERPİL  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 17.09.1987 / Kayseri  
**E-posta** : serpils@itu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Çukurova Üniversitesi , İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM :

- Temmuz, 2010-Şubat, 2016 tarihleri arasında Oğuz-Özer Mimarlık Müh. firmasında proje mühendisi, aynı zamanda saha mühendisi olarak görev aldım.
- Şubat, 2016'dan itibaren Esküp Yapı Mimarlık Mühendislik Ltd. Şti. şirket ortağı olarak görev yapmaktayım.

