

## YAKIN SAHA FAY YÖNELİM ETKİSİNE MARUZ TABAN YALITIMLI BİNALARDA BÜYÜK YATAY DEPLASMAN TALEPLERİNİN AZALTILMASI

Çelik M.<sup>1</sup>, Yıldız M.G.<sup>1</sup> ve Fahjan Y.M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Yük. Müh., Sismodinamik Müşavir Mühendisler, İstanbul

<sup>2</sup> Prof. Dr., Mimarlık Fakültesi, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze  
Email: istanbul@sdese.com

### ÖZET:

Yakın saha fay yönelim etkisine maruz sismik taban yalıtımlı binalarda maksimum deprem etkisi altında izolatörlerdeki deplasman talepleri çok yüksek mertebelere ( $D_M > 2m$ ) ulaşabilmektedir. Bu mertebede deplasman kapasitelerine sahip sarkaç tipi izolatörlerin üretilmesi teorik olarak mümkün olabilse de izolatör maliyetleri aşırı yüksek mertebelere ulaşabilmektedir. Bu çalışmada yakın saha fay yönelim etkisine maruz örnek bir yapısal model üzerinde yatay deplasman taleplerinin azaltılabilmesi ve izolatörlerin ekonomize edilebilmesi amacıyla izolasyon ara yüzünde ilave viskoz sönümleyici damperler kullanılmıştır. Damper özelliklerindeki parametrik değişimlerin, deplasman talepleri, tasarım taban kesme kuvvetleri, kat ötelenme oranları ve kat ivmelerine olan etkileri incelenmiş ve bu tür fay yönelim etkilerine maruz sismik taban yalıtımlı binaların tasarımında (bırakılması gerekli sismik boşluk mesafesi, kapasite tasarımı ilkelerinin uygulanması, çarpmaya göre tasarım) dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Sismik Taban Yalıtımı, Sürtünmeli Sarkaç Tip İzolatör, Zaman Tanım Alanında Hesap, Yakın Saha Fay Yönelim Etkisi, İlave Viskoz Sönümleyiciler, Viskoz Damperler.

## REDUCING THE LARGE HORIZONTAL DISPLACEMENT DEMANDS IN BASE ISOLATED STRUCTURES SUBJECTED TO THE FORWARD DIRECTIVITY EFFECTS

### ABSTRACT:

In base isolated buildings exposed to near field forward directivity effects, displacement demands on isolators can reach very high levels ( $D_M > 2m$ ) under the effect of maximum considered earthquake. Although it is theoretically possible to produce pendulum type isolators with such displacement capacities, isolator costs can reach extremely high levels. In this study, additional seismic dampers are used in the isolation interface on a sample structural model exposed to near field forward directivity effect in order to reduce the horizontal displacement demands and to obtain more economical base isolators. The effects of parametric changes in damper properties on displacement demands, design base shear forces, drift ratios and floor accelerations were investigated. In addition, suggestions have been made about the topics that need attention in the design of base isolated buildings exposed to forward directivity effects such as required width of seismic moat gap, application of capacity design principles, design against impact.

**KEYWORDS:** Seismic Isolation, Friction Pendulum Type Isolator, Time History Analysis, Near Field Effects, Forward Directivity Effects, Supplemental Viscous Dampers, Viscous Dampers.

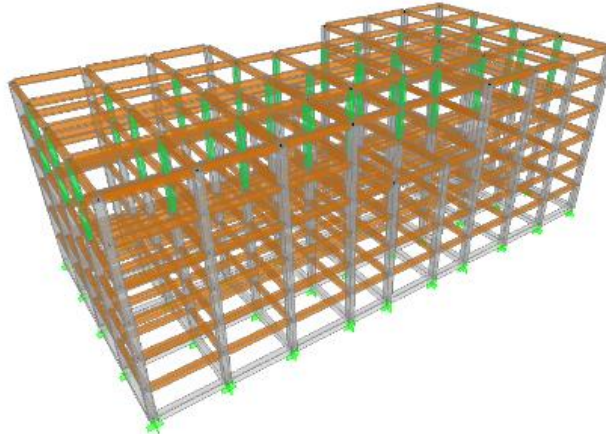
## 1. GİRİŞ

Türkiye’de özellikle son yıllarda deprem tehlikesinin yüksek olduğu bölgelerde büyük ölçekli hastane binaları, deprem risklerinin azaltılması amacıyla sismik taban yalıtımlı binalar olarak inşa edilmektedir. Orta veya büyük ölçekli bir deprem sonrasında hizmete devam edebilir olması bakımından hastane binalarının sismik taban yalıtımlı olarak yapılması öncelikli olarak tercih edilmektedir. Bu tercih Sağlık Bakanlığı’nca 2013 yılında hazırlanan genelge ile zorunlu kılınmış ve sonrasında sismik taban yalıtımlı bina sayısında ani bir artış meydana gelmiştir. Ancak, bu talebe karşılık, taban yalıtımlı yapıların tasarımında yeterli sayı ve nitelikte tecrübeli mimarlar ve mühendis bulunmamaktadır. Taban yalıtımlı binalardaki yapısal tasarım tecrübesi, tasarım yükleniciliğine hak tanınmış firmaların bina projelerini hazırlarken edindiği bilgiler doğrultusunda kazanılmaktadır. Taban yalıtımlı sistemlerin modellenmesi, analizi ve tasarımı standart yapılardan önemli ölçüde ayrılmaktadır. Bu tür yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ve karşılaşılan tasarım sorunlarıyla ilgili çözümler hakkında alternatif tasarım yaklaşımlarına gereksinim duyulabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yakın fay yönelim etkilerine maruz sismik taban yalıtımlı binalarda izolatörlerdeki aşırı yüksek deplasman taleplerinin azaltılabilmesi için izolasyon kotunda sönümleyici damperlerin etkisi araştırılmıştır. Damper özelliklerindeki parametrik değişimlerin, deplasman talepleri, tasarım taban kesme kuvvetleri, kat ötelenme oranları ve kat ivmelerine olan etkileri incelenmiş ve bu tür fay yönelim etkilerine maruz sismik taban yalıtımlı binaların tasarımında (bırakılması gerekli sismik boşluk mesafesi, kapasite tasarımı ilkelerinin uygulanması, çarpmaya göre tasarım) dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

## 2. YAPISAL MODEL

Örnek çalışma konusu yapı hastane binası olarak inşa edilecek olup, Sakarya ilinde yer almakta ve aktif fay hattına 5 km uzaklıkta yer almaktadır. Bina oturum alanı 33.2m x 70m ebatlarında olup yapı betonarme karkas moment çerçevelerinden oluşan altı katlı bir bina. Binada aks açıklıkları 8.3m ve 6m olarak teşkil edilmiştir. Kat yükseklikleri tüm katlarda 4.8m olup toplam bina yüksekliği yaklaşık 30m’dir. Binada her bir betonarme kolon altında bir izolatör bulunmakta olup sistemde toplam 50 Adet izolatör mevcuttur. Taban yalıtım katı günlük kullanıma kapalı olup, izolatörlerde bakım veya yenilenme işlerinin gerçekleştirilebilmesi için kat yüksekliği 2.5m olarak tutulmuştur. Yapının bilgisayar modelinde kolon ve kirişler çubuk eleman, perdeler kabuk (shell) eleman, damper ve izolatörler ise link eleman olarak modellenmiştir. İzolatörler düşey ve yatay etkin rijitlikleri ve doğrusal olmayan özellikleri tanımlanarak, damperler ise sadece eksenel yöndeki sönüm katsayıları kullanılarak modellenmiştir. Yapısal model Sap2000 yapısal analiz programı kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 1: Yapısal analiz modeli

### 2.1. Tasarım performans hedefi

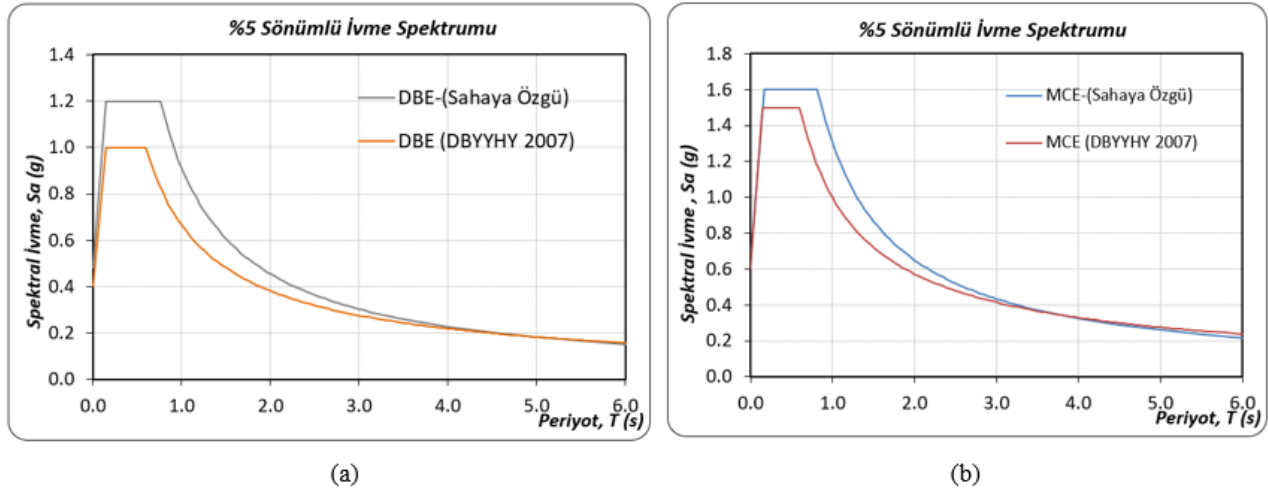
2013 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından yayınlanan tasarım kriterlerine göre üst yapıdaki elastik ( $R=1$ ) tasarım taban kesme oranını etkin bina ağırlığının %20'sinden fazla alınmasına izin verilmemektedir. Rölatif kat ötelenmelerinin oranı maksimum %0.5, kat ivmelerinin ise  $0.30g$ 'yi aşmaması istenmektedir. Tasarımın çerçevesini belirleyen bu kriterler üst yapının depremde elastik davranış göstermesini amaçlamakta ve yapısal olmayan elemanlarda hasar risklerinin azaltılmasını hedeflemektedir.

## 3. DEPREM TEHLİKE ANALİZİ SONUÇLARI

Binanın bulunduğu bölgede deprem spektrum parametreleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir (Erdik vd.).

Tablo 1: Deprem spektrum parametreleri (NEHRP – B)

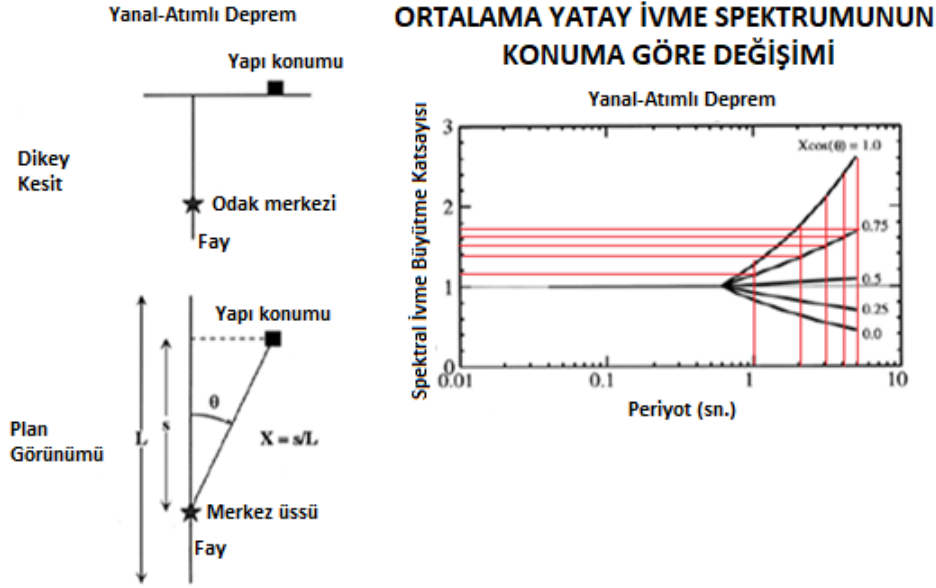
| Deprem Yenileme Süresi<br>ve Aşılma Olasılığı | Spektral İvmeler |            |
|-----------------------------------------------|------------------|------------|
|                                               | $S_s:0.2s$       | $S_1:1.0s$ |
| 475 Yıl, 50 Yılda %10                         | 1.2g             | 0.7g       |
| 2475 Yıl, 50 Yılda %2                         | 1.6g             | 1.0g       |



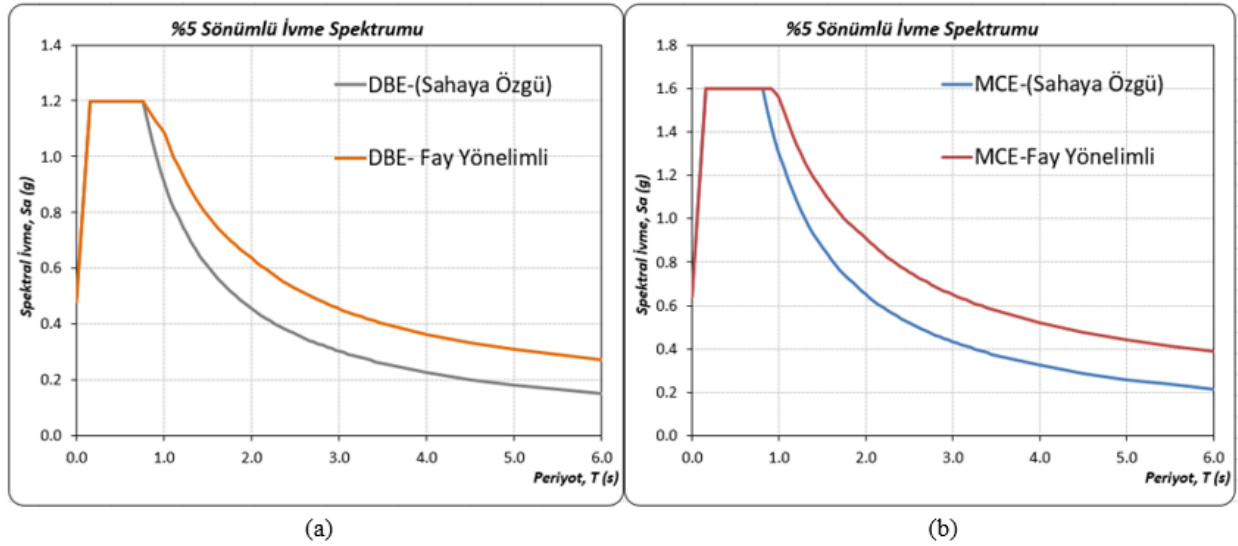
Şekil 2: Tasarım depremi ( $T_r:475$  yıl) (a) ve maksimum deprem ( $T_r:2475$  yıl) (b) spektrumları (zemin sınıfı: c grubu)

Sağlık Bakanlığı Genelgesinde, binaların yakın fay bölgesinde bulunduğu ve yırtılma yönelimi etkisi altına kalabileceği konumlarda fay yırtılma yönelimi içeren yer hareketi özelliklerinin spektrum şekline yansıtılması gerektiği belirtilmektedir. Fay hattı, merkez üssü ve proje mahalli arasındaki geometrik özelliklere bağlı olarak periyodun  $0.6s$ 'den daha yüksek olduğu bölgelerde ortalama spektrum genlikleri büyümektedir.

Yinelenme periyodu 475 (tasarım depremi) ve 2475 yıllık depremler (maksimum deprem) için ortalama bir değer olarak  $L=80km-110km$  (Fay kırılma uzunluğu),  $s=60km-80km$  (Bina ile deprem odağı arasındaki yatay mesafe) ve fay uzaklığı  $5km$  kabul edilirse  $X_{cos}(\theta)=0.75$  olarak bulunur. Bu durumda yer-bağımlı tasarım bazlı deprem spektrumlarındaki spektral genlikleri  $1s$  için 1.2,  $2s$  için 1.4,  $3s$  için 1.5,  $4s$  için 1.6 ve  $5s$  için 1.7 faktörü ile büyütülmesi gerekecektir. Fay yırtılma yönelim etkisi (Directivity) de göz önünde bulundurularak hazırlanmış tasarım spektrumları aşağıdaki şekillerde verilmiştir (bkz. Şekil 4).

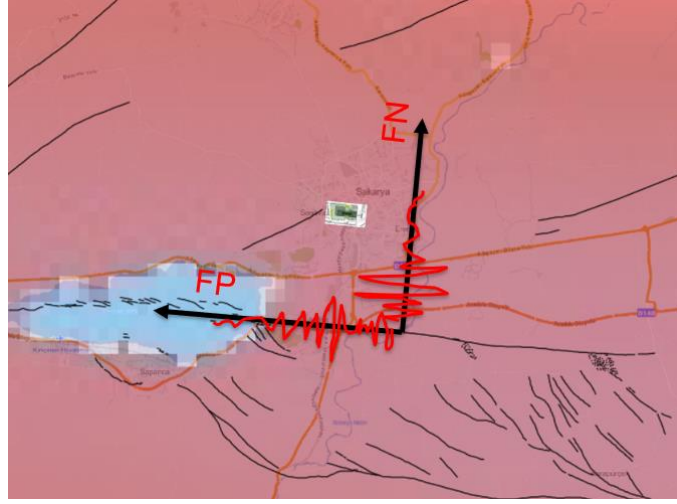


Şekil 3: Spektral ivmelerin fay yırtılma yöneline göre değişimi, Somerville vd. (1997)



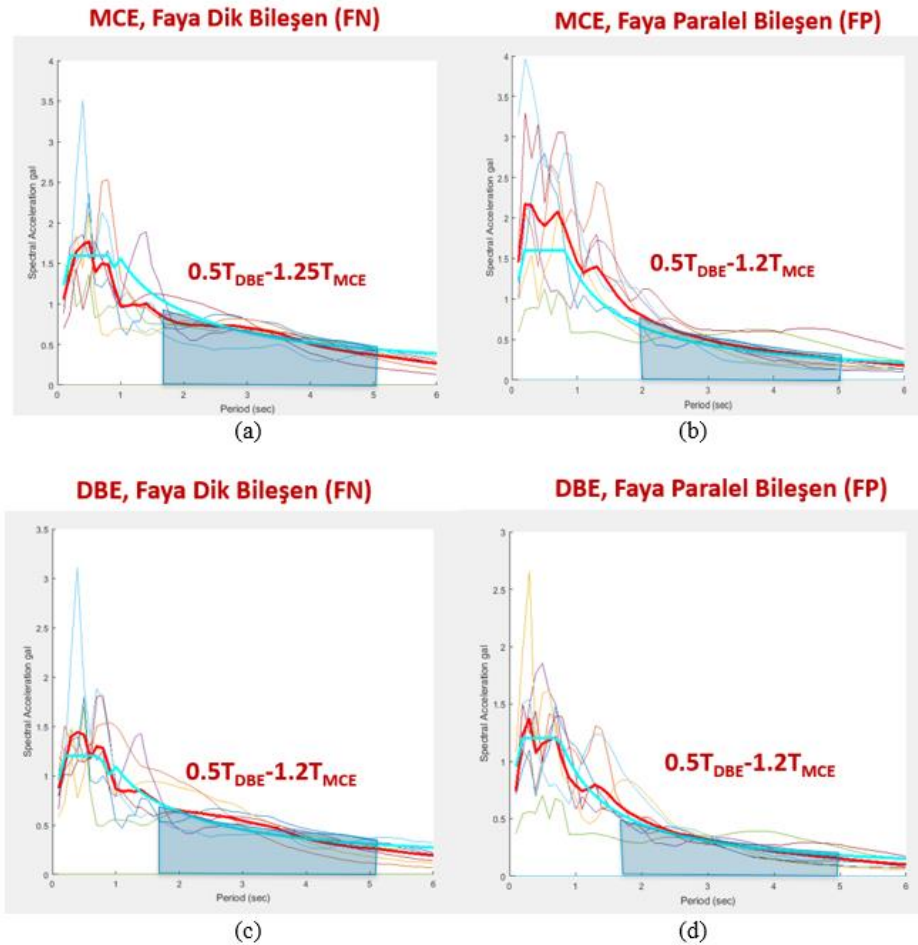
Şekil 4: Fay yönelim çarpanıyla büyütülmüş tasarım depremi (a) ve maksimum deprem (b) ivme spektrumları (zemin sınıfı: c grubu)

Deprem yakın saha etkilerini içeren (fay yönelimi vb.) tehlike analizlerinde faya normal ve faya paralel yer hareketi bileşenleri için ayrı ivme spektrumları tanımlanmaktadır (Somerville vd.). Yakın saha fay etkilerine maruz bölgelerden alınmış kayıtlardan faya dik yöndeki (Fault Normal) yer hareketi faya paralel (Fault Parallel) yöndeki yer hareketine göre çok daha büyük olmaktadır. Bu nedenle faya dik ve faya paralel ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesinde her iki bileşen için de farklı ivme spektrumlarına göre ölçekleme yapılmaktadır.



Şekil 5: Fay hattına göre konum ve yer hareketi ivme bileşenleri

Yakın saha fay etkilerini içeren ivme kayıtlarının ölçeklenmesinde faya dik ve faya normal yer hareketi bileşenlerinde ayrı ölçekleme katsayılarının kullanılması tercih edilmiştir (Somerville vd.). İvme kayıtlarının ölçeklendirilmesinde basit ölçekleme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 6: Faya paralel ve faya normal tasarım depremi ve maksimum deprem için seçilen yer kayıtlarının ivme spektrumları

#### 4. İZOLASYON SİSTEMİ ÖN TASARIMI

Genelge doğrultusunda tasarım kriterlerinin sağlanabilmesi için tasarım deprem etkisi altında kabul edilebilir maksimum taban kesme oranının 0.2g ile sınırlı olması gerekmektedir. Bu doğrultuda çeşitli sönüm oranları için elde edilen tasarım spektrumlarına göre %40 sönümlü bir sistemde etkin yapı periyodu 3.5s, %30 sönümlü sistemde ise etkin yapı periyodu 4.3s olmaktadır. Maksimum deprem etkisinde (MCE) izolatör deplasman talepleri ise %40 sönümlü sistemde 1.00m, %30 sönümlü sistemde ise 1.2m olarak elde edilmektedir. Sönüm oranlarına ilişkin ivme ve deplasman azaltma katsayıları için ASCE7-16 yönetmeliği esas alınmıştır.

Bu mertebedeki deplasman talepleri kauçuk tipteki izolatörler için uygun olmamaktadır. Ancak, söz konusu deplasman talepleri sürtünmeli sarkaç tip (FPS) izolatörlerle (1, 2 veya 3 yüzeyli) karşılanabilmektedir. Bu nedenle inceleme konusu örnek yapıda izolatörler çift yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörler olarak seçilmiştir. Çift yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörlerin eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem olarak idealize edilmesi için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

$$Q_d (\mu_1=\mu_2) = \mu W \quad (1)$$

$$k_d = \frac{W}{2(R_1-h_1)} = \frac{W}{2R_{eff}}, (h_2=h_1, R_1=R_2) \quad (2)$$

$$F = (\mu + 1/R_{eff}) W \quad (3)$$

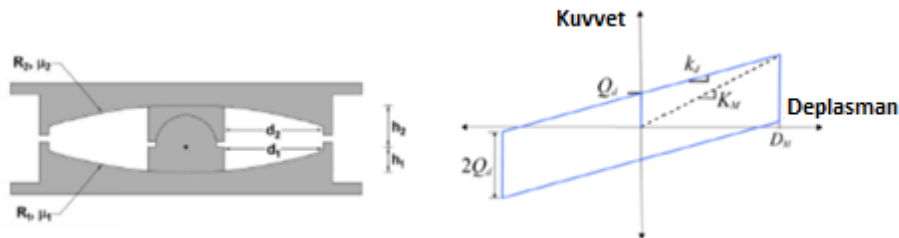
$$K_D = F/D \quad (4)$$

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K_D}} \quad (5)$$

$$\xi_D = \frac{2\mu}{\pi(\frac{D_D}{R_{eff}} + \mu)} \quad (6)$$

$$D_{maks} = \frac{2(R_1 - h_1)}{2R_1} 2d_1 = \frac{R_{eff}}{R_1} d_1 \quad (7)$$

$$R_{eff} = (R_1 + R_2 - h_1 - h_2) \quad (8)$$



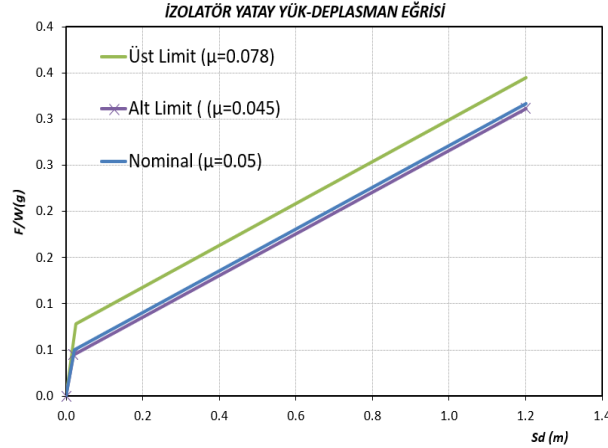
Şekil 7: Sürtünmeli sarkaç izolatör karakteristik parametreleri

Burada  $Q_d$  karakteristik akma dayanımı,  $k_d$ , ikincil rijitlik,  $F$ , yalıtım biriminde  $D$  yerdeğiştirmesine karşı gelen dayanım,  $K_D$ , tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin etkin rijitliği,  $T_D$ , deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu,  $\xi_D$ , tasarım depremi yer hareketi

düzeyinde sürtünmeli sarkaç izolatörler için hesaplanan etkin sönüm yüzdesi,  $D_{maks}$ , Yalıtım biriminin maksimum yatay deplasman kapasitesi  $R_1$ - $R_2$ , çift yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörün alt ve üst kaidesi yüzey eğrilik yarıçapları ve  $R_{eff}$ , çift yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörün eşdeğer eğrilik yarıçapını göstermektedir.

Sismik yalıtım birimi olarak çift yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılacak olup, izolatörlere ilişkin seçilen karakteristik özellikler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- $R_1$  ve  $R_2$ : 2.46 m.
- $R_{eff}$ : 2 (2.46-0.21)  $\rightarrow$  4.5 m.
- $\mu_{nominal}$ : 0.05
- $\mu_{üst limit}$ : 0.078 (DBE için  $\lambda_{maks}$ : 1.56)
- $\mu_{alt limit}$ : 0.045 (MCE için  $\lambda_{min}$ : 0.9)
- $W$ : 239,130.0 kN
- Toplam FPS adedi: 50
- $D_{maks}$ :  $(4.5/2.46) \times 0.67 \rightarrow 1.23$  m. (İzolatör maksimum deplasman kapasitesi)
- $W_i$ : 4782.6 kN



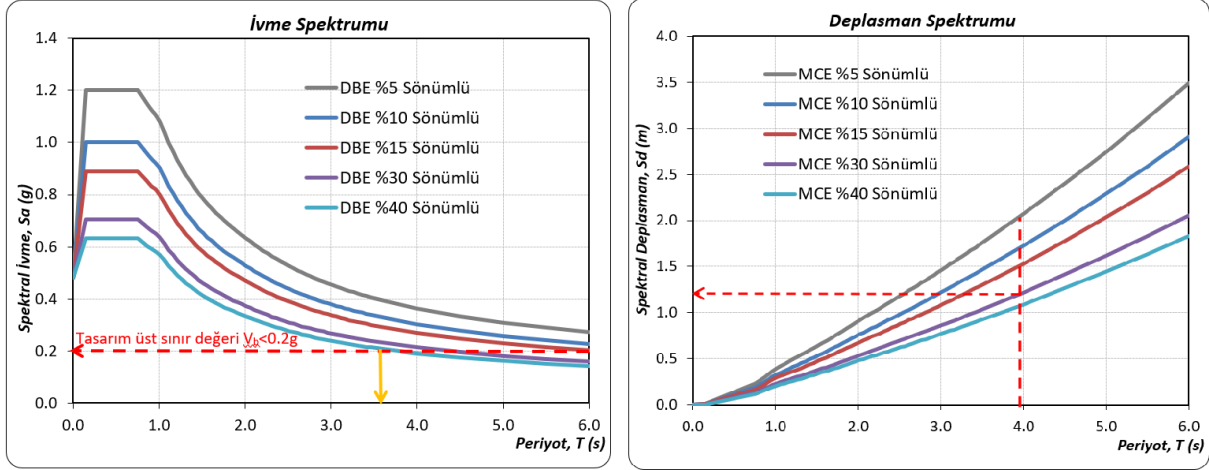
Şekil 8: İzolatör alt limit ve üst limit yük-deplasman eğrileri

Tablo 2: Tasarım ve maksimum deprem etkisi altında deplasman ve taban kesme oranlarının belirlenmesi

| DBE Deplasmanı ve Taban Kesme Oranı<br>(İzolatör Üst Limit Özellikleri)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | MCE Deplasmanı ve Taban Kesme Oranının<br>Belirlenmesi (İzolatör Alt Limit Özellikleri)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>D_D</math>: 0.88 m.</li> <li>• <math>V_D</math>: <math>(0.078 + 1/4.5 \times 0.88) W \rightarrow 0.273W</math></li> <li>• <math>K_D</math>: <math>0.273 W / 0.88 \text{ m.} \rightarrow 0.310 W/m.</math></li> <li>• <math>T_D</math>: <math>2\pi \sqrt{\frac{1}{9.81 \times 0.31}} \rightarrow 3.6 \text{ sn.}</math></li> <li>• <math>\xi_D</math>: <math>\frac{2 \times 0.078}{\pi(\frac{0.88}{4.5} + 0.078)} \rightarrow 0.18</math></li> <li>• <math>\beta_D</math>: 1.44 (<math>\xi_D</math>: 0.18 için)</li> <li>• <math>V_D/W</math>: 0.273 (<math>T_D</math>: 3.6 sn. için)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>D_M</math>: 2.045 m.</li> <li>• <math>V_M</math>: <math>(0.045 + 1/4.5 \times 2.054) W \rightarrow 0.50 W</math></li> <li>• <math>K_M</math>: <math>0.50 W / 2.045 \text{ m.} \rightarrow 0.244 W/m.</math></li> <li>• <math>T_M</math>: <math>2\pi \sqrt{\frac{1}{9.81 \times 0.244}} \rightarrow 4.06 \text{ sn.}</math></li> <li>• <math>\xi_M</math>: <math>\frac{2 \times 0.045}{\pi(\frac{2.045}{4.5} + 0.045)} \rightarrow 0.057</math></li> <li>• <math>\beta_M</math>: 1.03 (<math>\xi_M</math>: 0.057 için)</li> <li>• <math>V_M/W</math>: 0.500 (<math>T_M</math>: 4.06 sn. için)</li> </ul> |

Seçilen izolatör özellikleri için yürütülen eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem analizlerine göre tasarım deprem etkisi altında taban kesme oranı 0.27g, maksimum deprem etkisi altında izolatör deplasman talebi 2.05m hesaplanmıştır. Sağlık bakanlığı genelgesi şartlarına göre bina taban kesme oranı üst limiti olan 0.2g değeri %35 oranında aşılmaktadır. Ayrıca, maksimum deprem etkisi altındaki deplasman talebi oldukça yüksek bulunmuştur.

Taban kesme oranı şartlarının sağlanabilmesi ve maksimum deplasman taleplerinin azaltılması için sisteme ilave viskoz sönümleyiciler eklenecektir.



Şekil 9: Tasarım ve maksimum deprem için %5-%40 sönümlü ivme-deplasman spektrumu

Sisteme ilave edilecek sönümleyici miktarı seçilen izolatörlerin maksimum yatay deplasman kapasitesi dikkate alınarak eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem özelliklerine göre aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Maksimum izolatör deplasman kapasitesi  $D_{maks}$ : 1.23m,
- Kütle merkezindeki deplasman kapasitesi:  $1.23m / 1.1 \rightarrow 1.12m$
- Burulma düzensizliği katsayısı 1.1 alınmıştır.
- $D_M$ : 1.12 m. İçin gereken ilave sönüm hesaplanacaktır;
- $V_M$ :  $(0.045 + 1/4.5 \times 1.12) W \rightarrow 0.294 W$
- $K_M$ :  $0.294 W / 1.12 m \rightarrow 0.263 W / m$ .
- $T_M$ :  $2\pi \sqrt{\frac{1}{9.81 \times 0.263}} \rightarrow 3.91$  sn.
- $\omega_M$ : 1.607 rad./sn.
- $T_M$ : 3.91 sn. için  $V_M \rightarrow 0.528g$  (%5 Sönümlü Spektrum)
- $\beta_M$ :  $0.528 g / 0.294 g \rightarrow 1.795$
- $\beta_M$ : 1.795 için gerekli eşdeğer sönüm oranı  $\xi_{M, (FPS+VD)}$ : %34.7 (ASCE7-16)
- $\xi_{M, FPS}$ :  $\left( \frac{2 \times 0.045}{\pi \left( \frac{1.12}{4.5} + 0.045 \right)} \right) \rightarrow 0.097$  (FPS Eşdeğer Sönüm Katkısı)
- $\xi_{M, VD}$ : %34.7-%9.7  $\rightarrow$  %25 (Gerekli İlave Eşdeğer Viskoz Sönüm Katkısı)

Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemi özellikleri dikkate alınarak yürütülen hesaplar sonucunda sönümleyiciler ile sağlanması gerekli ilave eşdeğer sönüm oranı %25 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1. Viskoz damper özelliklerinin belirlenmesi

Viskoz damperler ile sağlanacak %25 eşdeğer sönüm oranı için kullanılacak damper özellikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

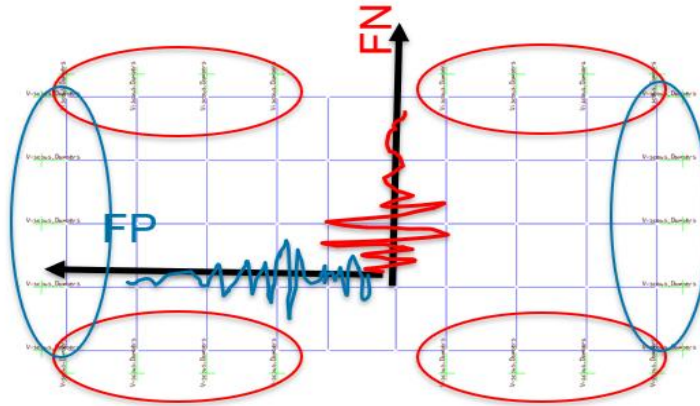
- Eşdeğer sistem kritik sönüm değeri,  $C_{cr, M}$ :  $2 \times K_M / \omega_M \rightarrow 78,219.0 KN \times sn./m$ .
- Gerekli ilave eşdeğer viskoz sönüm,  $C_{M, VD}$ :  $\xi_{M, VD} \times C_{cr, M}$
- $C_{M, VD}$ : 19,555.0  $KN \times sn./m$ .
- Maksimum spektral hız,  $S_{v, M}$ :  $\omega_M \times D_M \rightarrow 1.79 m./sn$ .
- Maksimum damper kuvveti,  $F_{VD, maks}$ :  $C \times S_v^\alpha$  ( $F_{VD, maks}$ :  $C \times V^\alpha$ )

- $F_{VD,maks}$ : 35,139.0 kN ( $\alpha=1.0$ )
- $F_{VD,maks} < 2500kN$ ,  $0.4 < \alpha < 1.0$  ( $\pm 1200mm$  deplasman kapasiteli viskoz damper yaklaşık üretim sınırları)
- Proje için seçilen damper adedi: 16 Adet
- $F_{VD,maks}$ : 35139 kN / 16  $\rightarrow$  2196 kN (Bir adet damperde maksimum kuvvet)
- C: 19.555 / 16  $\rightarrow$  1220 KN.sn/m (Bir adet damper için sönüm katsayısı)

Yapılan hesaplar sonucunda, faya dik doğrultuda yerleştirilmek üzere, 16 adet,  $\pm 1200$  mm. deplasman kapasiteli, 2200 kN eksenel yük kapasiteli viskoz damper kullanılması yeterli bulunmuştur. Damper hız katsayısı C: 1220 KNxsn./m. olarak belirlenmiş olup damper üstel katsayısı  $\alpha$ : 1.0 seçilmiştir. Seçilen bu damper özelliklerine göre eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin tasarım deplasman talebi ve taban kesme oranı aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- $D_D$ : 0.605 m.
- $V_D$ :  $(0.078 + 1/4.5 \times 0.605) W \rightarrow 0.212 W$
- $K_D$ :  $0.212 W / 0.605 m \rightarrow 0.350 W / m$ .
- $T_D$ :  $2\pi \sqrt{\frac{1}{9.81 \times 0.350}} \rightarrow 3.38$  sn.
- $\xi_{D,FPS}$ :  $\left(\frac{2 \times 0.078}{\pi(\frac{0.61}{4.5} + 0.078)}\right) \rightarrow 0.23$  (Üst limit sürtünme için FPS eşdeğer sönüm katkısı)
- C:  $1.220 \times 16 \rightarrow 19.520$  KN.sn/m,
- $\xi_{D,VD}$ :  $C / (2 \times K_D / \omega_D) \rightarrow 0.22$
- $\xi_{D, (FPS+VD)}$ : %45 (0.23 + 0.22)
- $\beta_D = 1.95$  (ASCE7-16)
- $V_D/W = 0.212$  ( $T_D$ : 3.38 sn. için)

Seçilen damper özelliklerine göre tasarım depremi etkisi altında elde edilen etkin sönüm oranı  $\xi_{D, (FPS+VD)}$ : %45 taban kesme oranı ise 0.21g olarak hesaplanmıştır. Yapısal modelde faya dik yön doğrultusunda 16 adet viskoz damper sisteme ilave edilmiştir. Faya paralel yöndeki yer hareketi büyüklüklerinin faya dik yöne nazaran düşük olması nedeniyle faya paralel doğrultuda aynı özelliklere sahip 10 adet viskoz damper kullanılmıştır.

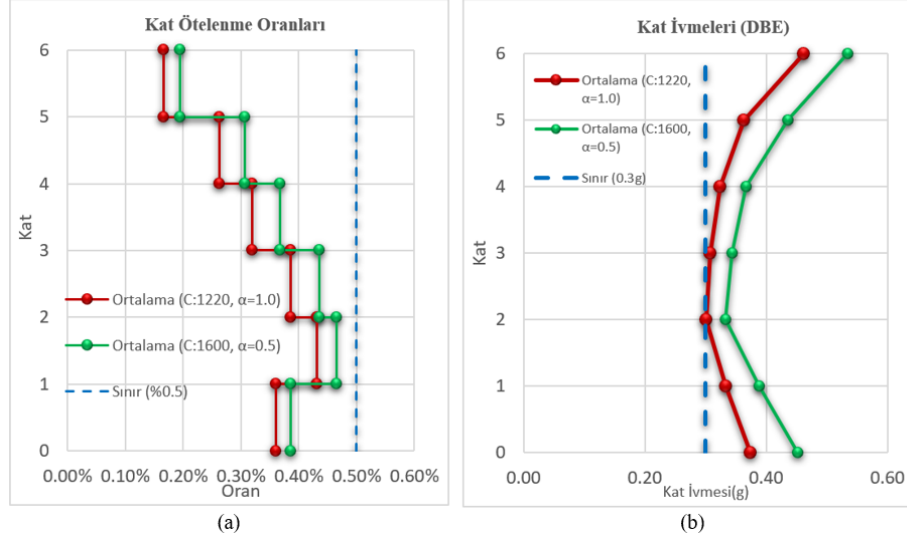


Şekil 10: Modele ilave edilen viskoz damper link elemanları

## 5. ANALİZ SONUÇLARI

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler farklı damper özellikleri için de kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Damper özelliklerinin farklı tanımlandığı modelde damper hız katsayısı  $C = 1600KN.sn/m$  olarak

belirlenmiş olup üstel damper katsayısı  $\alpha=0.5$  seçilmiştir. Toplam damper sayısında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 11: C:1220 $\alpha=1$  ve C:1600 $\alpha=0.5$  damperli modellerde maks. kat ötelenme oranları (a) ve maksimum kat ivmeleri (b)

Tablo 3: C:1220 $\alpha=1.0$  ve C:1600 $\alpha=0.5$  modellerde MCE NLTHA sonuçları

| MCE Deprem Kayıtları | C=1220 $\alpha=1.0$<br>Maksimum<br>Deplasman<br>(m) | C=1600 $\alpha=0.5$<br>Maksimum<br>Deplasman<br>(m) | C=1220 $\alpha=1.0$<br>Maksimum<br>Dampere<br>Kuvveti<br>(kN) | C=1600 $\alpha=0.5$<br>Maksimum<br>Dampere<br>Kuvveti<br>(kN) |
|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1176                 | 1.06                                                | 0.90                                                | 2280                                                          | 2091                                                          |
| 1605                 | 1.11                                                | 0.95                                                | 2107                                                          | 2037                                                          |
| 170                  | 1.27                                                | 1.13                                                | 2325                                                          | 2098                                                          |
| 171                  | 0.90                                                | 0.83                                                | 2083                                                          | 2062                                                          |
| 173                  | 1.00                                                | 0.92                                                | 2153                                                          | 2159                                                          |
| 179                  | 0.94                                                | 0.89                                                | 2111                                                          | 2065                                                          |
| 182                  | 1.02                                                | 0.92                                                | 2003                                                          | 2098                                                          |
| <b>Ortalama</b>      | <b>1.04</b>                                         | <b>0.94</b>                                         | <b>2152</b>                                                   | <b>2087</b>                                                   |

Tablo 4: C:1220 $\alpha=1.0$  ve C:1600 $\alpha=0.5$  damperli modellerde taban kesmeler

| DBE Deprem Kayıtları | C=1220 $\alpha=1.0$<br>Maksimum<br>Taban Kesme<br>Oranı<br>( $V_y/W$ ) | C=1600 $\alpha=0.5$<br>Maksimum<br>Taban Kesme<br>Oranı<br>( $V_y/W$ ) |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1176                 | 0.22                                                                   | 0.23                                                                   |
| 1605                 | 0.17                                                                   | 0.20                                                                   |
| 170                  | 0.29                                                                   | 0.30                                                                   |
| 171                  | 0.23                                                                   | 0.23                                                                   |
| 173                  | 0.27                                                                   | 0.27                                                                   |
| 179                  | 0.27                                                                   | 0.27                                                                   |
| 182                  | 0.26                                                                   | 0.25                                                                   |
| <b>Ortalama</b>      | <b>0.24</b>                                                            | <b>0.25</b>                                                            |

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

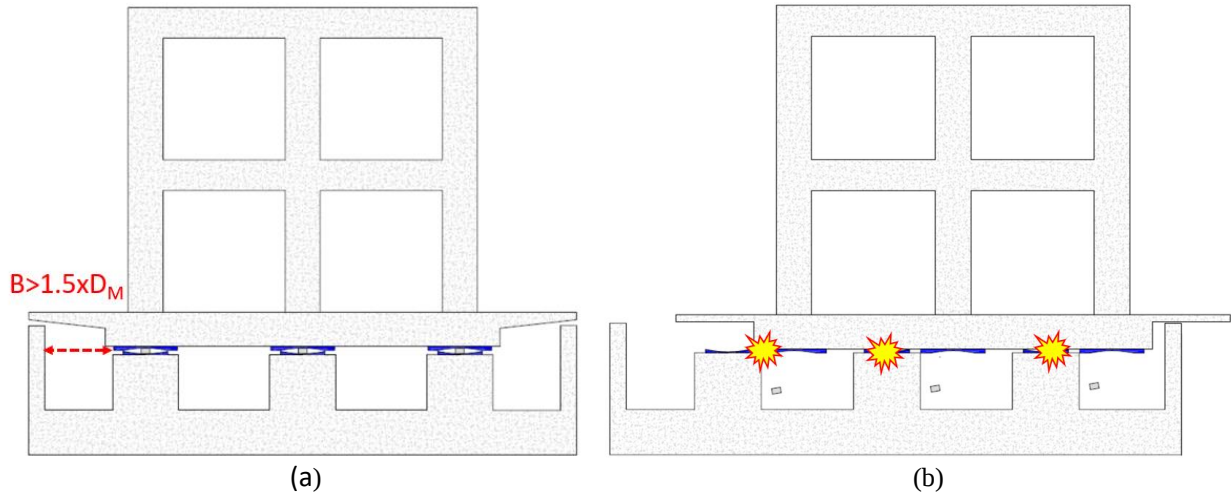
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin ortalama sonuçlarına göre tasarım taban kesme oranı her iki modelde de 0.24g~0.25g olarak elde edilmiştir. Maksimum deplasmanlar ise birinci damper modelinde ( $C:1220$   $\alpha=1.0$ ) 1.05m, ikinci modelde ( $C:1600$   $\alpha=0.5$ ) ise 0.94m olarak elde edilmiştir. Kat ivmeleri her iki modelde de 0.3g-0.5g aralığında hesaplanmış, katlardaki ötelenme oranları ise %0.5 oranının altında bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre kat ivmeleriyle ilgili tasarım sınırları ~%50 mertebesinde aşılmış, taban kesme oranında ise izin verilen maksimum üst sınır %25 oranında aşılmıştır. Analiz sonuçlarına göre yakın saha fay etkilerine maruz bir binada genelde tarafından özellikle kat ivmeleri için şart koşulan ivme sınırlarının sağlanabilmesinin kolaylıkla mümkün olmadığı anlaşılmaktadır.

Yatay kat ivmelerinin ve taban kesme oranlarının Sağlık Bakanlığı Genelgesince verilen sınır değerlere indirgenebilmesi için izolatör periyotlarının daha fazla uzatılmasına (4.5s~5s) gereksinim oluşacaktır. Bu durumun izolatörlerdeki maksimum deplasmanları %20~%30 oranında artırması ve sismik izolasyon sistemi maliyetlerini 1.5~2.0 kat mertebesinde artırması beklenmektedir.

Doğrusal olmayan viskoz damperlerin seçildiği ikinci modelde ( $C:1600$   $\alpha=0.5$ ) elde edilen maksimum ortalama deplasman talepleri %10 oranında daha düşük bulunmuştur. Bu durum izolatör ve damper maliyetlerinde belli bir ölçüde ekonomi sağlayabileceğinden nihai tasarım da damper özelliklerinin ikinci model doğrultusunda belirlenmesi tercih edilebilir.

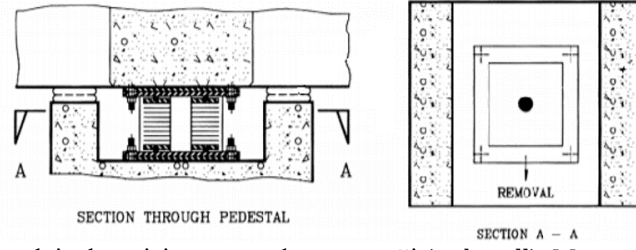
### 6.2. Öneriler

Maksimum senaryo depremi veya olası maksimum deprem büyüklüğüne ( $T_r=2475$  Yıl) göre izolatörler için hesaplanan deplasman taleplerinin aşılma ihtimali söz konusu olabilmektedir. Özellikle yakın saha fay etkilerine maruz bölgelerde deplasman taleplerinin izolatörlerin maksimum deplasman kapasitesinden daha yüksek olması her zaman olası görülmelidir.

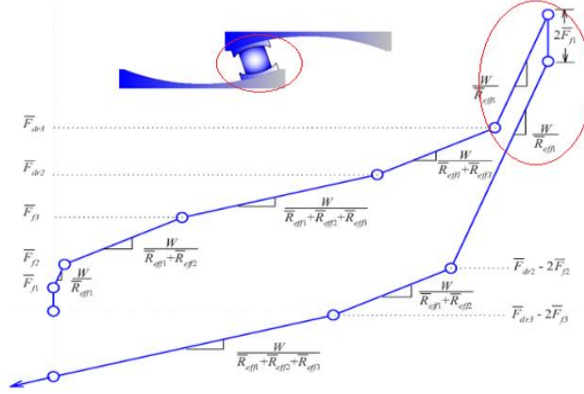


Şekil 12: Genelde istenen sismik boşluk (a) ve deprem talebinin izolatör deplasman kapasitesini aştığı durum

Bu nedenle, taban izolasyonlu binaların izolatörler üzerinden kayıp düşmemesi (kayıcı tip izolatörler) veya izolatörlerin düşey stabilitesinin yitirilmemesi (kauçuk esaslı izolatörler) için deplasman durdurucu duvar veya tamponlarla (buffer stopper) veya bünyesinde deplasman sınırlayıcı bir mekanizmaya sahip izolatörler (Örneğin Triple Pendulum, EPS) kullanılarak gerekli önlemlerin alınması sağlanmalıdır.

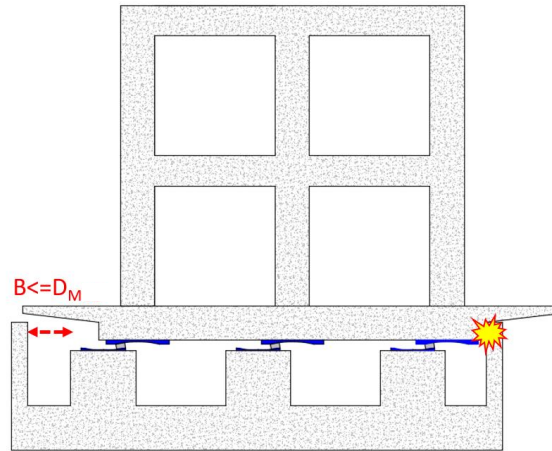


Şekil 13: Kauçuk izolatör için çarpma duvarı örneği (stub wall), Mayes ve Naim (2001)



Şekil 14: Deplasman sınırlayıcı mekanizma, ileri deformasyonlarda rijitleşen izolatör

Çevre duvarı ile yalıtımlı bina arasındaki boşluk mesafesinin, izolatörlerin deplasman kapasitesine eşit veya bir miktar daha düşük bırakılması ( $\sim 5\text{cm}$ ) söz konusu riske karşı alınabilecek en ekonomik önlemdir. Ancak, böyle bir durumda üst yapının olası çarpışma etkileri nedeniyle hasar alması söz konusu olsa da kapasite tasarım ilkesi yaklaşımıyla binada can güvenliği performans seviyesi halen sağlanabilir. Buna göre maksimum depremde deplasman taleplerinin sismik boşluktan fazla olduğu bir durumda, bina çevre duvarlarına çarparak üst yapı taşıyıcı sisteminde elastik ötesi deplasman talepleri oluşturacaktır. Benzer plastikleşme talepleri, deplasman sınırlayıcı mekanizması bulunan izolatörler veya durdurucu tampon sisteminin kullanıldığı sistemler için de geçerli olup, bu durum üst yapının her koşulda kapasite tasarım ilkelerine göre tasarlanmasını gerekli kılmaktadır.



Şekil 15: Sürtünmeli sarkaç tip izolatörlü yapının çevre duvarına çarpma durumu

Sağlık Bakanlığı'nın taban yalıtımlı sistemlerin tasarımıyla ilgili genelgesi 3.2.4 maddesi, bırakılacak sismik boşluklarla ilgili burada değinilenin tam tersi bir yaklaşımı içermektedir. Bu maddenin değiştirilmesi veya uygulanmaması önerilir.

## KAYNAKLAR

- 10.0.SYG.0.07.00.00 Sayılı Genelge (2013), T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü, Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar
- ASCE-7-16 (2016), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
- TBDY (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete
- AIJ, (2016), Architectural Institute of Japan, Design Recommendation for Seismically Isolated Buildings, 5-26-20, Shiba
- Chopra A. K. (2012), Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey
- Zayas V.A. (1990), A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation, Earthquake Spectra, 6(2), 317-333
- Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., and Abrahamson, N. A. (1997), "Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity." Seismological Research Letters, Vol. 68, No.1, pp.199-222.
- Bradley, B. A., M. Cubrinovski, (2011). Near-source strong ground motions observed in the 22 February 2011 Christchurch earthquake, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 44, 181-194.
- Mayes R. L. and Naeim, F., (2001): Seismic Design Handbook, "Design of Structures with Seismic Isolation" pp: 723-755
- Erdik, M., M.Demircioğlu, K.Şeşetyan, E.Durukal ve B.Siyahi, (2004), "Assessment of Probabilistic Earthquake Hazard in the Marmara Region", Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Vol: 24, pp: 605-631.