



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Üstyapı sönüm oranının deprem etkisindeki kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimli binalardaki etkilerinin araştırılması

## *Investigation of the effects of superstructure damping ratio on buildings with lead rubber bearings under earthquake effect*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Zafer KANBİR<sup>1</sup>, Cenk ALHAN<sup>2</sup>, Gökhan ÖZDEMİR<sup>3</sup>

*ORCID*<sup>1</sup>: 0000-0001-5835-0669

*ORCID*<sup>2</sup>: 0000-0002-6649-8409

*ORCID*<sup>3</sup>: 0000-0002-2962-2327

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Kanbir Z., Alhan C. ve Özdemir G., “Üstyapı sönüm oranının deprem etkisindeki kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimli binalardaki etkilerinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 25(2): 655-665, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.803212

# Üstyapı Sönüm Oranının Deprem Etkisindeki Kurşun Çekirdekli Elastomer Yalıtım Birimli Binalardaki Etkilerinin Araştırılması

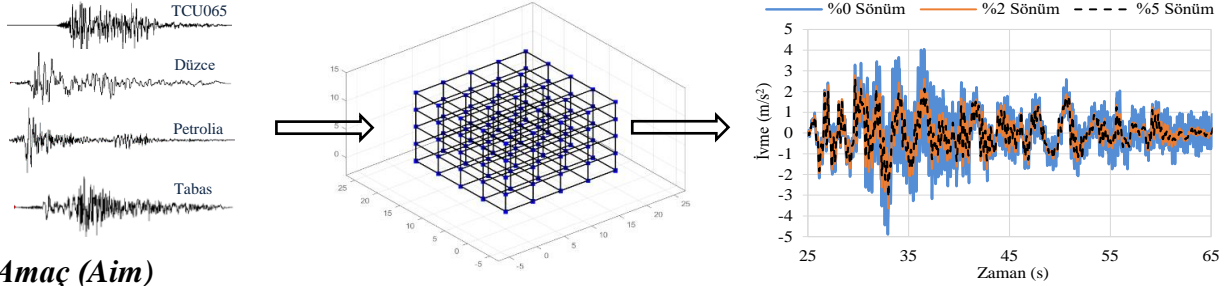
## Investigation of the Effects of Superstructure Damping Ratio on Buildings with Lead Rubber Bearings under Earthquake Effect

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ KÇE yalıtım birimlerinin kurşun çekirdek ısınmasına bağlı dayanım kaybı dikkate alınarak modellenmesi. / Modeling of LRBs considering the strength deterioration due to lead core heating.
- ❖ Farklı üstyapı sönüm oranı değerlerinin dikkate alınması. / Considering different values of superstructure damping ratios.
- ❖ Tarihi deprem kayıtları etkisinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin yapılması. / Conducting nonlinear time history analyzes under historical earthquake records.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Sismik yalıtımlı örnek bir bina OpenSees programında kurşun çekirdek ısınması dikkate alınarak modellenmiştir. Farklı üstyapı sönüm oranları ile zaman tanım alanında yapılan analizlerin sonucu karşılaştırılmıştır. / A benchmark seismically isolated building is modelled in OpenSees program considering lead core heating. The results of time history analysis conducted with different superstructure damping ratios are compared.



### Amaç (Aim)

Üstyapı sönüm oranının, sismik taban yalıtımlı binaların kurşun çekirdek ısınmasına bağlı davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. / It is aimed to investigate the effect of superstructure damping ratio on temperature dependent behavior of seismically isolated buildings.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

KÇE yalıtım birimleri, azalım gösteren bir kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi ile modellenmiştir. Üstyapı sönüm oranı %0, %2 ve %5 alınarak oluşturulan modeller ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. / LRBs are modeled by a deteriorating force-displacement curve. Nonlinear time history analyses are conducted with models created with the superstructure damping ratio of 0%, 2%, and 5%.

### Özgünlük (Originality)

Yalıtımlı binalarda dikkate alınan çeşitli üstyapı sönüm oranlarının, kurşun çekirdek ısınmasına bağlı yapısal tepkilerde yaratacağı farklar ortaya konmuştur. / The variation in temperature dependent structural responses due to different superstructure damping ratios considered in the seismically isolated buildings are revealed.

### Bulgular (Findings)

Kabul edilen üstyapı sönüm oranının, özellikle üstyapı kat ivmeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. / It is determined that the accepted superstructure damping ratio has a significant effect especially on the superstructure floor accelerations.

### Sonuç (Conclusion)

Üstyapı davranışının incelenmesi ve özellikle titreşime hassas cihazlar barındıran hastane, veri merkezi, vb. yapıların kat ivmesi sınırları dikkate alınarak yapılan tasarımları açısından, dikkate alınacak üstyapı sönüm oranının önem kazandığı ortaya konmuştur. / It is revealed that the considered superstructure damping ratio gains importance in case of examination of superstructure behavior and especially design of buildings including vibration sensitive devices like hospitals, data centers etc., taking into account the floor acceleration limits.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Üstyapı Sönüm Oranının Deprem Etkisindeki Kurşun Çekirdekli Elastomer Yalıtım Birimli Binalardaki Etkilerinin Araştırılması

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Zafer KANBİR<sup>1</sup>, Cenk ALHAN<sup>1\*</sup>, Gökhan ÖZDEMİR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 01.10.2020 ; Kabul/Accepted : 13.12.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 18.01.2021)

## ÖZ

Kurşun çekirdekli elastomer (KÇE) yalıtım birimleri yüksek enerji sönümlenme kapasiteleri nedeniyle en çok kullanılan sismik yalıtım birimleri arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, yapılan deneysel çalışmalar; kurşun çekirdekte tersinir yükler altında meydana gelen sıcaklık artışının, kurşunun akma dayanımını düşürerek karakteristik dayanımda azalmaya yol açtığını ve bu etkiyi dikkate almanın önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Sismik yalıtımlı binalarda yalıtım sisteminin yanı sıra, üstyapı da kendi iç sönümü sayesinde bir dereceye kadar enerji sönümlenme özelliğine sahiptir. Ancak, bu yapıların tasarımlarında ve bu tür yapıları ele alan araştırma çalışmalarında üstyapı için farklı sönüm oranlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, üstyapı sönümünün, (i) taban ankastre betonarme binalara benzer şekilde % 5 alınması, (ii) % 2 gibi daha küçük bir değer alınması ya da (iii) tamamen ihmal edilmesi durumunda sismik yalıtımlı binaların kurşun çekirdek ısınmasına bağlı davranışlarının değişimi incelenmiştir. Sismik yalıtımlı betonarme bir bina, OpenSees programında, kurşun çekirdek ısınmasının dayanım üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak modellenmiş ve zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizlerden elde edilen kat ivmeleri, kurşun çekirdekteki sıcaklık artışı, yalıtım birimi kesme kuvvetleri ve deplasmanları gibi tepkiler incelenmiştir. Sonuçlar, özellikle kat ivmelerinin önemli ölçüde değişebildiğini ve farklı üstyapı sönüm oranlarıyla elde edilen kat ivmelerinin farklı sınır aralıklarında olabileceğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri, kurşun çekirdek ısınması, sismik taban yalıtımı, üstyapı sönümü.

## Investigation of the Effects of Superstructure Damping Ratio on Buildings with Lead Rubber Bearings under Earthquake Effect

### ABSTRACT

Lead rubber bearings (LRBs) are among the most commonly used seismic isolation bearing types due to their high energy dissipation capacity. However, the experimental studies reveal that the temperature rise occurring under cyclic loads in the lead core, causes a deterioration in the characteristic strength by decreasing the yield strength of the lead, and it is important to consider this effect. In seismically isolated buildings, in addition to the isolation system, the superstructure also has a degree of energy dissipation capacity thanks to its inherent damping. It is seen that different damping ratios are used in the designs of such structures and research studies dealing with these structures. In this study, the change in the temperature-dependent behavior of seismically isolated buildings is investigated in cases where (i) superstructure damping is taken as 5% similar to fixed base reinforced concrete buildings, (ii) superstructure damping is taken as a smaller value such as 2%, and (iii) superstructure damping is completely neglected. A seismically isolated reinforced concrete building is modeled in the OpenSees program, considering the effect of the lead core heating on the characteristic strength and responses such as floor accelerations, temperature increase in the lead core, bearing shear forces and displacements obtained from nonlinear time history analyses are investigated. The results obtained showed that especially the floor accelerations can vary significantly and the floor accelerations obtained with different superstructure damping ratios can be in different limit ranges.

**Keywords:** Lead rubber bearings, lead core heating, seismic base isolation, superstructure damping.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeni inşa edilecek ya da mevcut birçok binanın normal performans hedefi, pek çok diğer deprem yönetmeliğinde olduğu gibi 2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina

Deprem Yönetmeliği'nde de, tasarım deprem yer hareketi etkisi altında, kontrollü hasar düzeyine karşılık gelen Can Güvenliği performans seviyesidir. Ancak veri merkezleri, haberleşme tesisleri ve hastaneler gibi bazı kritik yapılar için çok daha ileri bir performans hedefine ihtiyaç duyulmaktadır. Zira bu binaların işlevlerini kesintisiz olarak sürdürmeleri için hem kendilerinin hem

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : cenkalkan@istanbul.edu.tr

de içlerindeki hassas ekipmanların deprem nedeniyle oluşabilecek yüksek genlikli titreşimlerin olumsuz etkilerinden korunması gerekmektedir. Yapısal ve yapısal olmayan hasarı önlemek için göreceli kat ötelemelerinin sınırlandırılması gerekirken, hassas ekipmanların korunması için kat ivmelerinin belirli sınır değerlerin altında tutulması gerekmektedir. Örneğin veri merkezlerindeki hassas cihazlar arasında yer alan disk sürücülerin (disc drive) hasar görmemesi için maruz kalacakları ivme değerinin üst sınırları, üreticiden üreticiye değişiklik göstermekle birlikte, çalışır durumdaki cihazlar için 0.1g – 0.5g aralığında verilmektedir [1]. Mizuno vd. [2], tıbbi, elektronik ve diğer önemli işletmeleri kapsayan binalar için kat ivmelerinin yaklaşık 0.3g ile sınırlandırılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, içerisinde ivme hassasiyeti yüksek olan cihazların bulunduğu hastane binalarında da kat ivmelerinin sınırlandırılması önemlidir. Bu doğrultuda, ülkemizde inşa edilecek yeni hastane binalarında kat ivmelerinin 0.2g ile sınırlandırılması gerekmektedir [3]. Hem göreceli kat ötelemelerini hem de kat ivmelerini eş zamanlı olarak azaltmanın en etkili yolu sismik taban yalıtımı uygulamaktır. Sismik taban yalıtımı, bina ile temel arasına düşeyde rijit, yatayda ise esnek bir yalıtım sistemi yerleştirilerek kuvvetli yer hareketi neticesinde oluşacak etkin deprem kuvvetlerini azaltmak prensibine dayanır. Yer değiştirmelerin önemli bir kısmı yalıtım sisteminde gerçekleşir ve üstyapı rijit bir blok gibi hareket eder. Sismik taban yalıtımlı binalarda yalıtım periyodunda görülebilecek olası rezonans önlemek için ise yalıtım sisteminde belirli bir oranda sönüm olması yararlıdır [4]. Bu nedenle yalıtım sistemlerinin yatayda sağlayacağı esneklikle birlikte yüksek enerji sönümleme kapasitesine sahip olması beklenmektedir.

Kurşun çekirdekli elastomer (KÇE) yalıtım birimleri, yatayda esneklik sağlayan kauçuk, düşeyde rijitlik sağlayan çelik plakalar ve yüksek enerji sönümüne neden olan kurşunun birlikte kullanılmasıyla çok verimli yalıtım birimleri haline gelmiştir [5]. Bu özellikleri sayesinde KÇE yalıtım birimleri sık kullanılan yalıtım birimi türleri arasında yer almaktadır. KÇE yalıtım birimleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar çevrimli yükler altında bu tür yalıtım birimlerinin dayanımlarının tersinir hareket sırasında kademeli olarak azaldığını göstermiştir ([6], [7]). Bunun nedeni artan sıcaklıkla birlikte kurşunun akma dayanımının düşmesi ve dolayısıyla yalıtım biriminin karakteristik dayanımının azalmasıdır ([7], [8]). Kalpakidis ve Constantinou [9] nümerik analizlerde KÇE yalıtım birimlerinin sıcaklığa bağlı davranışını dikkate alabilmeyi sağlayan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu model kurşun çekirdeğin anlık sıcaklığını belirleme ve sıcaklığa bağlı olarak karakteristik dayanımın değişimini hesaplama esasına dayanır. Son zamanlarda bu konuda yapılan çalışmalar kurşun çekirdek ısınmasının KÇE yalıtım birimlerinden oluşan yalıtım sistemlerinin kullanıldığı sismik taban yalıtımlı yapıların davranışını

etkileyebileceğini ve analizlerde bu etkiyi dikkate almanın önemli olduğunu göstermiştir ([10], [11], [12]). Özdemir [10], kurşun çekirdek ısınmasının dikkate alındığı durumda iki doğrultulu deprem etkisinde KÇE yalıtım birimlerinin tepkisini incelemiş ve daha yüksek kurşun çekirdek ısınmasının ortaya çıktığı durumlarda, karakteristik dayanımdaki azalmanın da daha yüksek olması nedeniyle yalıtım birimi yer değiştirmelerinin arttığını vurgulamıştır. Özdemir vd. [11], kurşun çekirdekdeki ısınmayı dikkate alarak yaptıkları çalışmada, yüklemeye bağlı olarak KÇE yalıtım birimlerinin histerik davranışındaki değişimi araştırmışlar ve KÇE yalıtım birimlerinin yanıtlarının, maruz kaldıkları yüklemenin genliğinden büyük ölçüde etkilendiğini göstermişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, bazı durumlarda limit analizlerin en büyük yalıtım birimi yer değiştirmeleri için bir zarf sağlamak için yetersiz olabileceğini ve bu nedenle sıcaklığa bağlı analizlerin yapılması gerektiğini göstermiştir. Kanbir vd. [12], kurşun çekirdek ısınmasının sismik yalıtımlı binaların davranışı üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, kurşun çekirdek ısınmasının ihmal edilmesi durumunda yalıtım sistemi yer değiştirmeleri, kat ivmeleri ve göreceli kat ötelemeleri gibi yapısal tepkilerin hatalı olarak elde edileceğini ve yapılan hatanın oranının, artan kurşun çekirdek sıcaklığına bağlı olarak arttığını belirlemişlerdir.

Yalıtım sisteminin yanı sıra üstyapı da belirli bir ölçüde enerji sönümleme kapasitesine sahiptir [13]. Ancak bu üstyapı sönüm oranının tam olarak hangi mertebede olacağına ilişkin elde ölçüme dayalı bir veri olmadığından tasarım ve araştırma çalışmalarında farklı değerler dikkate alınmaktadır. Literatürün incelenmesi neticesinde, sismik taban yalıtımlı binalar üzerinde yapılan çalışmalarda üstyapı sönüm oranı için % 2 (Ör. [14], [15]) ile % 5 (Ör. [16], [17]) arasında bir değer kabul edildiği görülmüştür. Dikkate alınan üstyapı sönüm oranının KÇE yalıtım birimlerine sahip sismik taban yalıtımlı binaların deprem yükleri altındaki tepkilerini hangi seviyede etkilediğinin belirlenmesi amacıyla, bu çalışmada [18], ele alınan örnek bir betonarme bina OpenSees Programında [19] ve OpenSees Navigator grafiksel arayüzü [20] kullanılarak modellenmiş, tasarım spektrumuyla uyumlu olarak seçilen ve ölçeklenen dört yakın fay deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Üstyapı sönümü sismik yalıtımlı binaların davranışına uygun şekilde [21], rijitlik orantılı olarak tanımlanmış ve sönüm oranının % 0 , % 2 ve % 5 değerleri için elde edilen kat ivmeleri, kurşun çekirdekdeki sıcaklık artışı, yalıtım birimi kesme kuvvetleri ve deplasmanları gibi üstyapı ve yalıtım sistemi tepkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sismik yalıtımlı binalarda, en yüksek kat ivmeleri genellikle en üst katlarda görüldüğünden ([12], [22]), kat ivmelerinin değerlendirilmesinde en üst katlarda elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır.

## 2. YAPISAL MODEL (STRUCTURAL MODEL)

### 2.1 Üstyapı (Superstructure)

Çalışmada kullanılan sismik yalıtımlı binanın üstyapısı, mevcut bir çalışmadan [23] alınmış olan örnek bir bina olup bu çalışmaya özel bir üstyapı tasarımı/revizyonu yapılmamıştır. Ancak, bu çalışmada kullanılan deprem kayıtları etkisinde elde edilen görelî kat ötelemeleri kontrol edilmiş olup, elde edilen görelî kat ötelemelerinin yönetmeliklerde verilen %0.5 (0.005) sınırının altında kaldığı (en yüksek değer Petrolia kaydı altında ve 1. Kat için 0.0031 olarak elde edilmiştir) belirlenmiştir. Kullanılan üstyapı, her iki yönde beş metrelik dörder açıklığa sahip olan, 4 katlı simetrik bir betonarme binadır. Kolon ve kirişlerle teşkil edilmiş çerçeve taşıyıcı sistemine sahip olan binanın plan boyutları  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 'dir. Kiriş ve kolonları dikdörtgen kesitli olup boyutları sırasıyla  $30\text{ cm} \times 50\text{ cm}$  ve  $45\text{ cm} \times 45\text{ cm}$ 'dir. 3 m'lik kat yüksekliğine sahip olan binanın toplam yüksekliği ise 12 m'dir. Binanın, yalıtım katı da dahil olmak üzere her katının kütlesi 400 tondur. Kat kütlelerinin toplandığı varsayılan ağırlık merkeziyle rijitlik merkezinin çakışması nedeniyle burulma düzensizliği bulunmamaktadır. Binanın taban ankastre durumdaki hakim doğal titreşim periyodu 0.5 sn'dir.

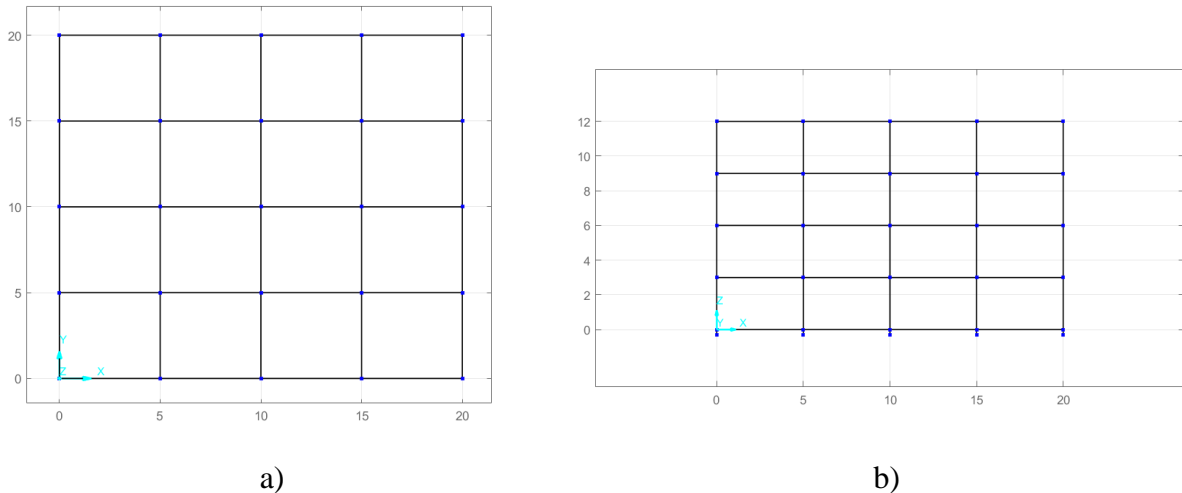
Sismik yalıtımlı binalarda, yalıtım sisteminin sönümü yalıtım birimlerinin kuvvet-yerdeğiştirme döngüsü yardımıyla ayrıca hesaba katıldığından, üstyapı sönümü modellenirken yalıtım sistemine ilave bir sönüm eklenmemesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, kütle orantılı ya da hem kütle hem rijitlik orantılı sönüm yerine sadece rijitlik orantılı sönümün kullanılması daha doğru sonuç vermektedir [21]. Bu nedenle, yapılan çalışmada üstyapı sönümünün modellenmesinde rijitlik orantılı sönüm kullanılmıştır.

Sismik yalıtımlı binaların üstyapısı elastik veya elastik olmayan şekilde modellenmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda (Ör.[24], [25]) üstyapının modellenme şeklinin ve üstyapı dayanımının, yapısal tepkiler

üzerinde etkisi bulunduğu gösterilmiş olmakla birlikte, sismik yalıtımlı binalarda yerdeğiştirmeler yalıtım katında yoğunlaştığından, genellikle üstyapı rijit bir blok hareketi yapmaktadır. Ayrıca, sismik yalıtımın deprem etkilerini üstyapının doğrusal sınırlarda kalacağı şekilde azaltmayı hedeflemesi nedeniyle, makul bir varsayım ile üstyapı taşıyıcı elemanlarının doğrusal davranış göstereceği kabul edilebilir [15]. Bu çalışmada, kolon ve kirişler doğrusal özellikleriyle modellenmiş ve OpenSees programında [19] doğrusal kiriş kolon elemanları (Elastic Beam Column Element) kullanılmıştır. Binanın OpenSees Navigator [20] modeline ait yalıtım katı planı ile x-z düzlemi kesit görünüşü sırasıyla Şekil 1a ve 1b'de verilmiştir.

### 2.2 Yalıtım Sistemi (Isolation System)

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılan sismik taban yalıtımlı binanın yalıtım sistemi toplam 25 adet KÇE yalıtım biriminden oluşmaktadır. Yalıtım birimleri, her bir kolonun altına birer tane gelecek şekilde konumlanmış olup, ayrıca yalıtım birimleri ile zemin kat kolonları arasında tüm yalıtım birimlerini birbirine bağlayan rijit bir döşeme mevcuttur (Şekil 1). OpenSees programında sismik taban yalıtımlı binaları, Kalpakidis ve Constantinou [9] tarafından önerilen matematiksel modele uygun şekilde kurşun çekirdek ısınmasını dikkate alarak modellemek için, yalıtım birimlerinin geometrik boyutları ve malzeme özellikleri ile tanımlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, kullanılacak KÇE yalıtım birimleri, Constantinou vd. [26] tarafından sunulan iterasyona dayalı tasarım yöntemi kullanılarak detaylı geometrik boyutları ve malzeme özellikleri ile tasarlanmıştır [12]. Bu yöntemde göre tasarım, ağırlığın ( $W$ ) belirli bir oranı olacak şekilde karakteristik dayanımın ( $Q$ ) belirlenmesiyle başlar.  $Q/W$  oranı genellikle % 5 veya bundan biraz daha büyük bir değer olarak dikkate alınır. Bu şekilde elde edilen karakteristik dayanım  $Q$  değerine göre kurşun çekirdeğin en kesit alanı  $A_L$  ve buna bağlı



Şekil 1. Binanın sonlu elemanlar modeli görünüşleri a) Yalıtım katı plan görünüşü (x-y düzlemi), b) Kesit görünüşü (x-z düzlemi). Ölçülerin birimi metre'dir. (Finite element model views of the building a) Base floor plan view (x-y plane), b) Section view (x-z plane). The unit of measurements is meter.)

olarak da kurşun çekirdek çapı  $D_L$  hesaplanır. Ardından, hedeflenen izolasyon sistemi özelliklerini elde edecek şekilde KÇE yalıtım birimlerinin çapı  $D_B$  ve toplam kauçuk kalınlığı  $T_r$  belirlenir. Böylece, yalıtım biriminin seçimi üç geometrik parametrenin ( $D_B$ ,  $D_L$  ve  $T_r$ ) seçimine indirgenmiş olur. Bu parametreler için seçilecek uygun kombinasyonlar kullanılarak yalıtım birimine ait eşdeğer rijitlik  $K_{eff}$ , eşdeğer periyot  $T_{eff}$ , eşdeğer sönüm oranı  $\beta_{eff}$  ve en büyük yalıtım sistemi yerdeğiştirmesi  $D_M$  gibi değerler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir ([27], [28]).

$$K_{eff} = K_d + \frac{Q}{D_M} \quad (1)$$

Burada,  $K_d$  akma sonrası rijitlik değerini göstermekte olup kauçuğun kayma modülü  $G$ , kauçuğun en kesit alanı  $A_r$  ve toplam kauçuk kalınlığı  $T_r$ 'ye bağlı olarak Denklem 2 ile hesaplanır.

$$K_d = \frac{GA_r}{T_r} \quad (2)$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} g}} \quad (3)$$

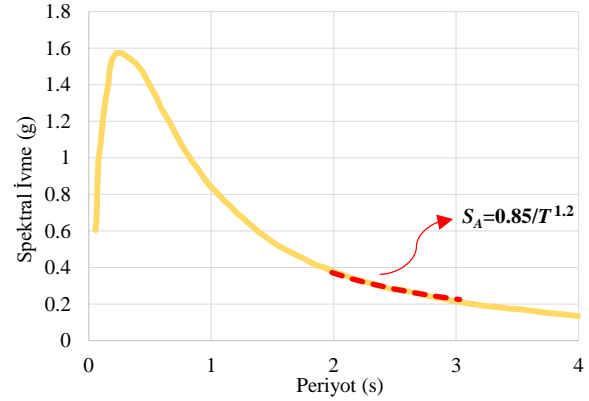
$$\beta_{eff} = \frac{E}{2\pi K_{eff} D_M^2} \quad (4)$$

$E$  bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı,  $g$  yer çekimi ivmesidir.  $\beta_{eff}$  'in hesaplamasında, kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin rijit ikili doğrusal olduğu kabul edilmiştir. Böylece bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı,  $E=4Q(D_M - D_y)$  olur ve  $\beta_{eff}$  şu hali alır;

$$\beta_{eff} = \frac{2Q(D_M - D_y)}{\pi K_{eff} D_M^2} \quad (5)$$

Burada,  $D_y$  yalıtım biriminin akma yerdeğiştirmesini göstermektedir. En büyük yalıtım birimi yerdeğiştirmesi  $D_M$ 'nin hesabı için spektral ivmenin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için sistemin lineer elastik olduğu kabulü yapılarak tasarım spektrumu yardımıyla eşdeğer periyot  $T_{eff}$  değerine karşılık gelen ivme bulunur. İterasyonun her adımında  $T_{eff}$  ve buna bağlı olarak spektral ivme  $S_A$  değişeceğinden, hedef periyot aralığında tasarım spektrumunun denklemi bilinmiyorsa, eğri uydurma yöntemiyle sayısallaştırılmalıdır.

Bu çalışma kapsamında yapılan tasarımda, özel bir coğrafi bölge hedeflenmemekle birlikte kurşun çekirdek ısınmasını da ortaya çıkarabilecek yüksek depremselliğe sahip bir bölge tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, Constantinou vd. [26] tarafından da kullanılmış olan, Caltrans Sismik Tasarım Kriterinde [29] yer alan moment büyüklüğü  $M_w=7.25\pm 0.25$  olan depremler için verilen ve en büyük yer ivmesi  $PGA=0.6$  g olan spektrum kullanılmıştır. Kullanılan tasarım spektrumu ve eğri uydurma yöntemiyle elde edilmiş  $S_A$  fonksiyonu Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Tasarım spektrumu [29] ve  $S_A$  fonksiyonu (Design spectrum [29] and  $S_A$  function)

Şekil 2'de paylaşılan tasarım spektrumu % 5 sönüm oranı için çizilmiştir. Ancak sismik yalıtım sisteminin sağlayacağı eşdeğer sönüm oranı  $\beta_{eff}$  %5'ten daha büyük olacağından Şekil 2'de gösterilen spektrum eğrisinin yüksek sönüm oranlarını dikkate alacak şekilde dönüştürülmesi gerekmektedir. Söz konusu dönüşüm için sönüm ölçeklendirme katsayısı  $B$  kullanılır. Bu çalışma kapsamında yapılan tasarımlarda, FEMA 440'da [30] yer alan ve Denklem 6 kullanılarak hesaplanan  $B$  değerleri kullanılmıştır.

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln \beta_{eff} (\%)} \quad (6)$$

Spektral ivme  $S_A$  ve sönüm ölçeklendirme katsayısı  $B$ 'nin belirlenmesinin ardından,  $D_M$ 'nin hesabı için Denklem 7'de gösterilen Spektral ivme  $S_A$  - Spektral yerdeğiştirme  $S_D$  ilişkisi kullanılır.

$$S_A = \omega^2 S_D \quad (7)$$

Bu eşitlikte,  $\omega$  doğal açısal frekansı göstermekte olup değeri  $2\pi/T_{eff}$  (rad/s) ifadesi ile belirlenir. En büyük yalıtım sistemi yerdeğiştirmesi  $D_M$  şu eşitlikle hesaplanır:

$$D_M = \frac{g S_A T_{eff}^2}{4\pi^2 B} \quad (8)$$

Hesaplamaların ilk adımında  $D_M$  için bir öngörü yapmak gerekmektedir. İlk adım sonunda elde edilen  $D_M$  değeri başlangıçta öngörülenden farklı ise, hesap sonucu elde edilen  $D_M$  değeri dikkate alınarak hesaplamalar tekrarlanır. Öngörülen  $D_M$  ile hesap sonucu elde edilen  $D_M$  değeri aynı olduğunda iterasyon tamamlanır. Bu çalışma kapsamında yapılan tasarım sonucunda  $T_{eff}=2.37$  s ve  $D_M=0.39$  m olarak belirlenmiştir. Tasarlanan yalıtım birimlerinin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir ([18], [31]).

### 2.3 Kurşun Çekirdek Isınmasının Modellenmesi (Modeling of Lead Core Heating)

Bu çalışmada, KÇE yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin ısınmasına bağlı olarak ortaya çıkan dayanım kaybının modellenmesinde Kalpakidis ve Constantinou [9] tarafından önerilen matematiksel model kullanılmıştır. Bu modele göre bir KÇE yalıtım birimi yatay çevrimsel bir harekete maruz kaldığında ısı önce



kurşun çekirdekte oluşur ve çelik ara plakalar ile başlık plakalarında yayılır. Teori; kurşun ve çeliğin yoğunluk, özgül ısı, termal iletkenlik katsayısı ve termal yayınma (diffusivity) katsayısı gibi malzeme özellikleri ile yer hareketinin hız-zaman serisini girdi olarak kullanarak sıcaklık artışını ( $T_L$ ) ve buna bağlı olarak kurşunun efektif akma gerilmesini ( $\sigma_{YL}$ ) belirleme esasına dayanır [9]. KÇE yalıtım birimlerinde  $\sigma_{YL}$ , kurşunun anlık sıcaklığına bağlı olarak Denklem 9 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{\sigma_{YL}}{\sigma_{YL0}} = \exp(-E_2 \times T_L) \quad (9)$$

$E_2$ , değeri Kalpakidis ve Constantinou [9] tarafından 0,0069 olarak önerilen sabit bir katsayıdır. Denklem 1'deki tek bilinmeyen olan  $T_L$ , Denklem 10 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{\sigma_{YL}(T_L) \times v(t)}{\rho_L c_L h_L} - \frac{k_s \times T_L}{a \times \rho_L c_L h_L} \times \left( \frac{1}{F} + 1.274 \times \left( \frac{t_s}{a} \right) \times (t^+)^{-1/3} \right) \quad (10a)$$

$$F = \begin{cases} 2 \times \left( \frac{t^+}{\pi} \right)^{1/2} - \frac{t^+}{\pi} \times \left[ 2 - \left( \frac{t^+}{4} \right) - \left( \frac{t^+}{4} \right)^2 - \frac{15}{4} \left( \frac{t^+}{4} \right)^3 \right], & t^+ < 0.6 \\ \frac{8}{3\pi} - \frac{1}{2(\pi \times t^+)^{1/2}} \times \left[ 1 - \frac{1}{3 \times (4t^+)} + \frac{1}{6 \times (4t^+)^2} - \frac{1}{12 \times (4t^+)^3} \right], & t^+ \geq 0.6 \end{cases} \quad (10b)$$

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan KÇE yalıtım biriminin mekanik ve geometrik özellikleri (Mechanical and geometric properties of the LRB used in the study)

Burada  $v(t)$ ; yer hareketinin hız serisi,  $a$ ; kurşun çekirdek yarıçapı,  $h_L$ ; kurşun çekirdek yüksekliği,  $t_s$ ; toplam ara plaka kalınlığı,  $t$ ; hareketin başlangıcından itibaren geçen zaman,  $t^+$  ise boyutsuz zamandır. Denklem 10'da verilen ve girdisi  $v(t)$  olan adi diferansiyel denklem, sıcaklık artışı  $T_L$  için bir başlangıç değeri problemi olarak sayısal yöntemlerle çözülebilir. Burada yer alan malzeme özellikleri Kalpakidis ve Constantinou [9] tarafından şu şekilde verilmiştir: kurşunun yoğunluğu  $\rho_L = 11200$  kg/m<sup>3</sup>, kurşunun özgül ısı  $c_L = 130$  J/(kg°C), çeliğin termal iletkenlik (conductivity) katsayısı  $k_s = 50$  W/(m°C), çeliğin termal yayınma (diffusivity) katsayısı  $\alpha_s = 1.41 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. KÇE yalıtım biriminin anlık karakteristik dayanımı ( $Q$ ) ise  $\sigma_{YL}$  ve kurşun çekirdeğin en kesit alanına ( $A_L$ ) bağlı olarak şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$Q = \sigma_{YL} A_L \quad (11)$$

### 3. DEPREM KAYITLARININ SEÇİMİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ (SELECTING AND SCALING EARTHQUAKE RECORDS)

Uzun periyotlara sahip olan sismik yalıtımlı binalar, tasarım değerlerini aşabilecek yalıtım sistemi yerdeğiştirmelerine yol açabilmeleri nedeniyle yakın-fay yer hareketlerine karşı özellikle savunmasız olabilmektedir [32] ve bu durum sismik yalıtımlı binaların yakın-fay koşulları altındaki davranışlarının araştırılmasını önemli kılmaktadır. Bununla birlikte, bazı

Kurşunun başlangıç akma gerilmesi, $\sigma_{YL0}$	10 MPa
Kauçuğun kayma modülü, $G$	0.5 MPa
Karakteristik dayanım, $Q$	44.18 kN
Akma sonrası rijitlik, $K_D$	399.91 kN/m
Akma sonrası rijitliğin başlangıç rijitliğine oranı, $r$	0.1
Akma kuvveti, $F_y$	49.09 kN
Yalıtım birimi çapı, $D_B$	520 mm
Kurşun çekirdek çapı, $D_L$	75 mm
Toplam kauçuk kalınlığı, $T_r$	260 mm
Kauçuk tabaka sayısı, $n$	18
Kauçuk tabaka kalınlığı, $t_r$	14.4 mm
Çelik plaka kalınlığı, $t_{st}$	2.0 mm

araştırmacılar, KÇE yalıtım birimlerinde kurşun çekirdek ısınmasına bağlı olarak ortaya çıkan dayanım kaybı nedeniyle daha büyük yalıtım sistemi yer değiştirmeleri meydana gelebileceği ve yakın-fay depremleri etkisinde KÇE yalıtım birimli binaların davranışının araştırılmasının daha da önem kazandığını vurgulamışlardır. ([11], [33], [34]). Bu nedenle, yapılan çalışmada zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi için Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research Center, [35]) veri tabanında yer alan kayıtlardan; deprem moment büyüklüğü ( $M_w$ ) 7.0'dan büyük, fay kırılma düzlemine en yakın mesafesi ( $R_{rup}$ ) 10 km'den küçük ve en büyük yer hızı (PGV) 70 m/s'den büyük olan yakın fay deprem kayıtları dikkate alınmıştır. Bu kriterleri sağlayan kayıtlar arasından, hedef periyot aralığında tasarım spektrumuna en çok uyum sağlayan ve ölçek katsayısı bire en yakın olan 4 kayıt seçilmiş ve ölçeklenmiştir. Deprem kaydı spektrumlarının tasarım spektrumuna uyumu, toplam karesel hata (sum of squared error, SSE) değerlerinin minimum olması yöntemine göre belirlenmiştir ([36]). Bu yöntemle göre, öncelikle hedef periyot aralığında belirli bir  $\Delta T$  adım aralığı dikkate alınır. Tasarım (hedef) spektrumu ile deprem kaydının tepki spektrumu arasındaki toplam karesel hatayı belirleyebilmek için, her iki spektrumun belirlenen her  $T_i$  periyot değerlerine karşılık gelen spektral ivmelerin doğal logaritmaları arasındaki farklar alınır ve tüm  $T_i$

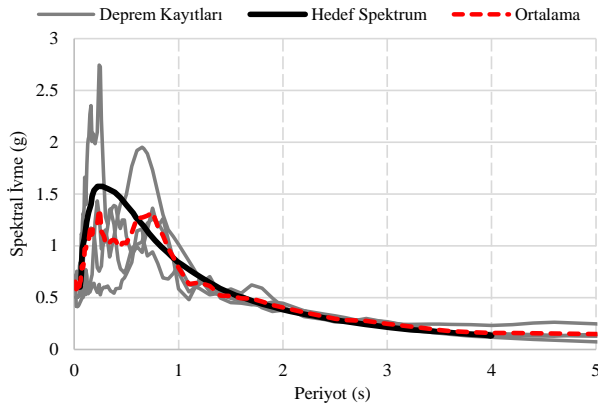
**Çizelge 2.** Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri (Characteristics of selected earthquake records)

Kayıt No	Deprem	İstasyon	Bileşen	$M_w$	$V_{s,30}$ (m/s)	$R_{rup}$ (km)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Ölçek Katsayısı
1	1999, Chi-Chi	TCU065	N	7.6	305.9	0.6	0.58	92.13	50.20	0.72
2	1999, Düzce	Düzce	270	7.1	281.9	6.6	0.51	84.23	48.04	0.98
3	1992, Cape Mendocino	Petrolia	90	7.0	422.2	8.2	0.66	88.51	33.23	1.03
4	1978, Tabas	Tabas	L1	7.4	766.8	2.1	0.86	98.84	37.53	0.82

değerleri için bu farkların toplamı hesaplanır (Denklem 12).

$$SSE = \sum_{i=1}^n (\ln Sa_{kayıt}(T_i) - \ln Sa_{hedef}(T_i))^2 \quad (12)$$

Burada  $Sa_{kayıt}(T_i)$ ,  $T_i$  periyot değerinde deprem kaydı spektrumunun spektral ivmesini,  $Sa_{hedef}(T_i)$  ise yine aynı periyot değerinde tasarım spektrumunun spektral ivmesini göstermektedir. Seçilen deprem kayıtlarının; zemin kayma dalgası hızı ( $V_{s,30}$ ), en büyük yer ivmesi (PGA) ve en büyük yer deplasmanını (PGD) da içeren özellikleri Çizelge 2’de, ölçeklenmiş spektrumları ise hedef spektrum ile birlikte Şekil 3’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Seçilen deprem kayıtlarının ölçeklenmiş spektrumları (Scaled spectra of selected earthquake records)

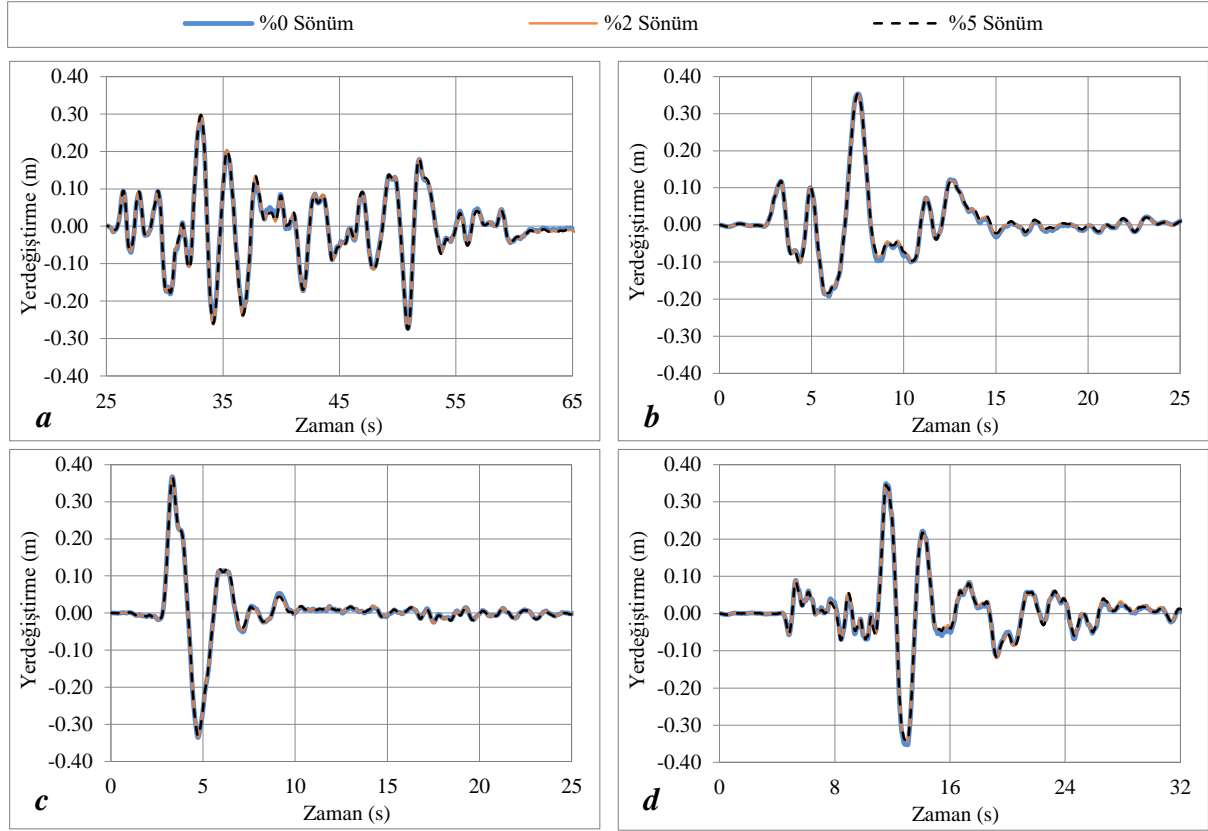
#### 4. SONUÇLAR (RESULTS)

Sismik yalıtımlı binalarda üstyapının büyük oranda doğrusal davranışa yakın bir davranış göstermesi beklendiğinden, taban ankastre betonarme binalarda çoğunlukla kabul edilen % 5 sönüm oranı değerinin sismik taban yalıtımlı yapılar için üst sınır bir değer olduğu düşünülebilir. Üstyapı sönümünün % 2 gibi daha küçük bir değer alınması ya da alt sınır değerini temsilen tamamen ihmal edilerek % 0 alınması durumunda davranışın nasıl etkileneceği bu bölümde incelenmiştir. Bu amaçla ele alınan dört katlı bina OpenSees programında modellenerek 1999 Chi-Chi depremi TCU065 kaydı, 1999 Düzce Depremi Düzce kaydı, 1992 Cape Mendocino Depremi Petrolia kaydı ve 1978 Tabas Depremi Tabas kaydına maruz bırakılmıştır. Zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizler üstyapı sönümünün üç farklı değeri için (%0, %2 ve %5) tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlara ait grafikler Şekil 4 - Şekil 8’de gösterilmiştir.

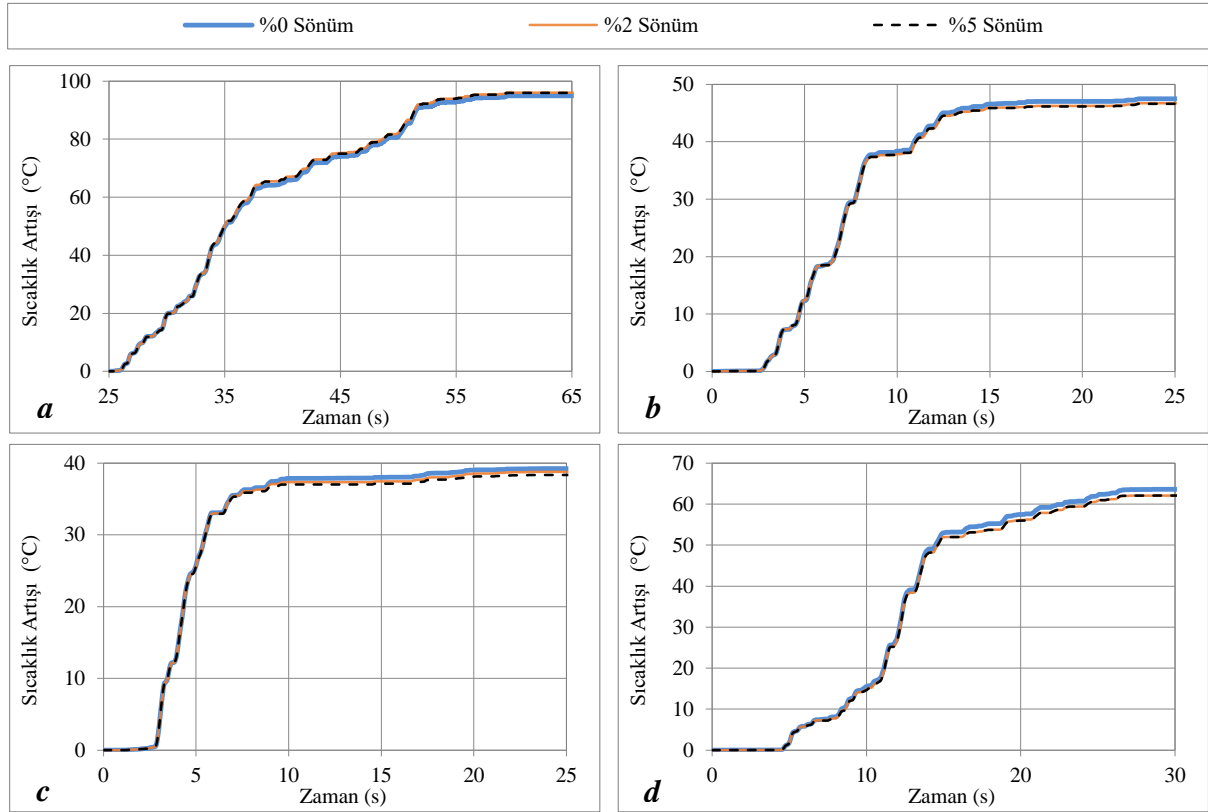
Şekil 4’de gösterilen yalıtım birimi deplasmanının zamanla değişimine göre, üstyapı sönümünde dikkate alınan farklılığın yalıtım birimi deplasmanı üzerinde dikkate değer bir etkisi olmadığı görülmektedir. Her üç durumda da elde edilen yalıtım birimi deplasmanı değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu durum, kullanılan dört deprem kaydı için de geçerlidir. Kurşun çekirdekte meydana gelen sıcaklık artışlarına bakıldığında (Şekil 5) her üç durumda elde edilen sonuçların birbirlerine oldukça yakın olduğunu ve üstyapı sönümünün kurşun çekirdek ısınması üzerinde sınırlı bir etkisi olduğunu göstermiştir. Karakteristik dayanımdaki azalma da sıcaklık artışına bağlı olduğundan, yalıtım birimlerine ait kesme kuvveti-deplasman grafiklerinde de üç farklı durum arasında önemli farklılıklar bulunmamaktadır (Şekil 6).

Öte yandan, sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilen en üst kat ivmelerinin zamana bağlı değişimleri ve en büyük değerlerine bakıldığında, üstyapı sönüm oranının değişimine bağlı olarak sonuçlarda kayda değer farkların ortaya çıktığı görülmektedir. Burada, ivmenin en büyük değeri incelenirken hareketin yönüne bakılmaksızın mutlak değerce en büyük olan değer, bir başka deyişle tepe değerinin dikkate alındığını vurgulamak gerekir. Chi-Chi depreminin TCU065 kaydı ile elde edilen sonuçlara göre; en üst kat ivmelerinin en büyük değeri, üstyapı sönüm oranının %2 değeri için  $3.63 \text{ m/s}^2$  iken, sönüm oranının %5 olması durumunda yaklaşık %15 farkla  $3.1 \text{ m/s}^2$  ye düşmektedir. Üstyapı sönüm oranının sıfır kabul edilmesi durumunda ise %2 sönüm oranına göre yaklaşık %34 artışla  $4.87 \text{ m/s}^2$  ye çıkmaktadır. Düzce kaydı sonuçlarına göre, üstyapı sönüm oranının %2 değeri için  $2.79 \text{ m/s}^2$  olan en büyük üst kat ivmesinin, %5 sönüm değeri için yaklaşık %13 farkla  $2.43 \text{ m/s}^2$  ’ye düştüğü, sönüm oranının sıfır kabul edilmesi durumunda ise yaklaşık %62 farkla  $4.53 \text{ m/s}^2$  ’ye çıktığı görülmektedir. Petrolia ve Tabas kayıtlarına göre, sönüm oranının %2 den %5 e çıkarılması durumunda, en üst kat ivmesinin en büyük değerlerinde önemli bir fark ortaya çıkmamakla birlikte, sönüm oranının %2 den %0’a düşürülmesi durumunda görülen farklar önemli seviyededir. Petrolia kaydında, sönüm oranının %2 den %0’a düşürülmesi durumunda en üst kat ivmesinin en büyük değerleri yaklaşık %27 artışla  $3.15 \text{ m/s}^2$ ’den  $3.99 \text{ m/s}^2$ ’ye çıkmaktadır. Tabas kaydında ise, sönüm oranının %2 den %0’a düşürülmesi durumunda, en üst kat ivmesinin en büyük değerlerinin

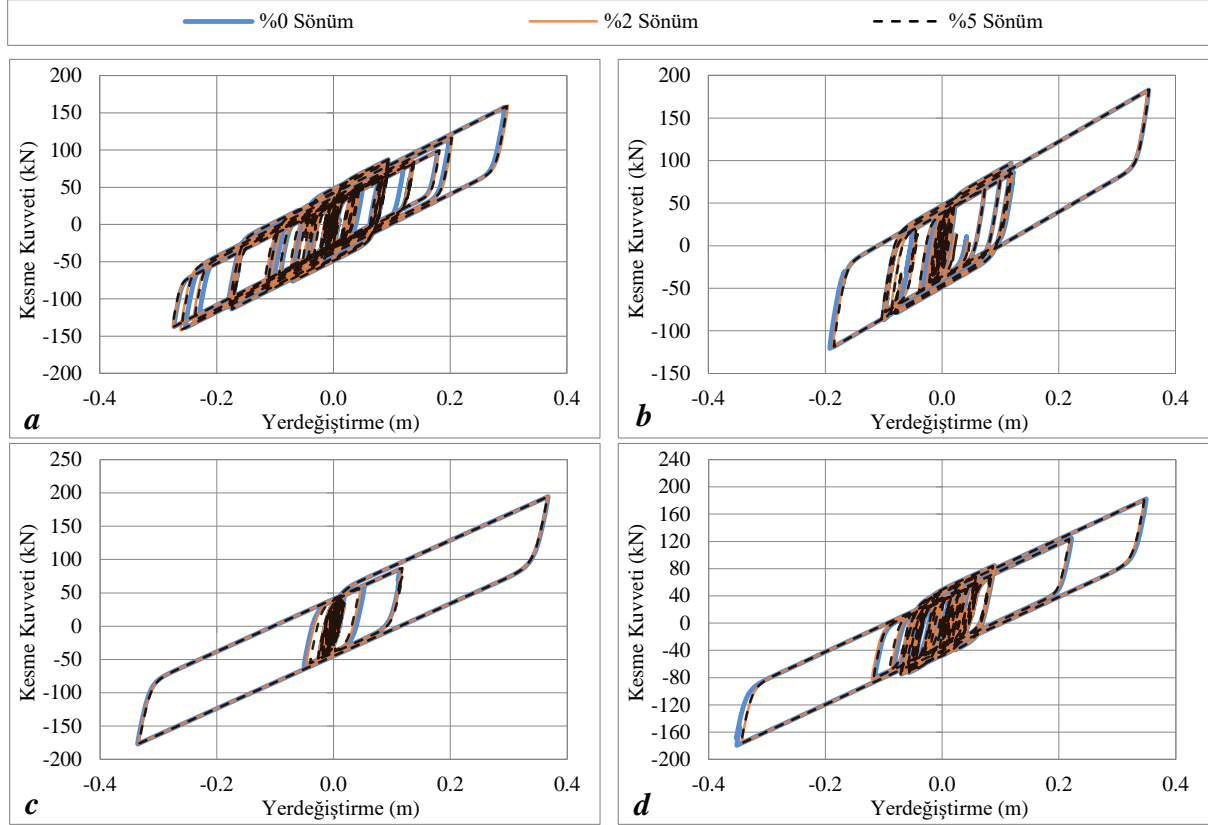




**Şekil 4.** Farklı üstyapı sönüm oranları için yalıtım birimi deplasmanının zamana bağlı değişimi a) TCU065, b) Düzce, c) Petrolia, d) Tabas kaydı (Bearing displacement time histories for different superstructure damping ratios)



**Şekil 5.** Farklı üstyapı sönüm oranları için sıcaklık artışının zamana bağlı değişimi a) TCU065, b) Düzce, c) Petrolia, d) Tabas kaydı (Temperature rise time histories for different superstructure damping ratios)



**Şekil 6.** Farklı üstyapı sönüm oranları için yalıtım birimi kuvvet-deplasman histeretik çevrimleri a) TCU065, b) Düzce, c) Petrolia, d) Tabas kaydı (Bearing force-displacement hysteretic loops for different superstructure damping ratios)

yaklaşık %62 artışla  $3.25 \text{ m/s}^2$ 'den  $5.26 \text{ m/s}^2$ 'ye çıktığı görülmektedir.

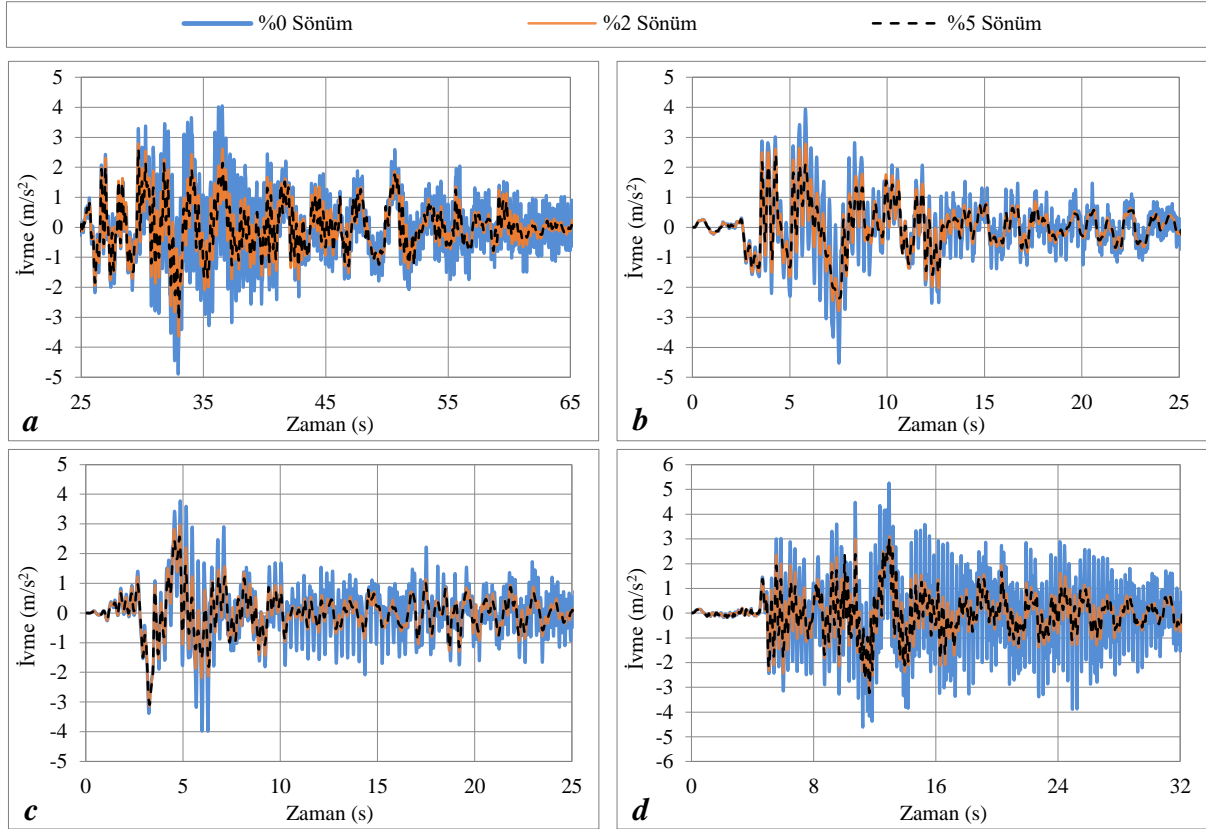
Bölüm 1'de belirtildiği gibi, ivme hassasiyeti yüksek cihazlar için çeşitli sınır değerler önerilmiştir. Bu doğrultuda, sunulan bu çalışmada  $0.2g$  ile  $0.4g$  (yaklaşık  $2 \text{ m/s}^2 - 4 \text{ m/s}^2$ ) aralığındaki sınır değerler  $0.5 \text{ m/s}^2$  aralıklarla Şekil 8 üzerinde gösterilmiştir. Buna göre; dikkate alınan üstyapı sönüm oranının, hesaplanan kat ivmesinin bulunduğu sınır aralığını değiştirebildiği görülmektedir. Bir başka deyişle, içinde barındıracağı cihazların hassasiyetine göre, yapı için belirlenen kat ivmesi sınır değerlerinin dikkate alınan bir üstyapı sönüm oranı için sağlanırken, farklı bir üstyapı sönüm oranı için geçilebileceği yani üstyapı sönüm oranının bu açıdan tasarıma etkisinin olabileceği görülmektedir. Örneğin, TCU065 kaydı ile elde edilen sonuçlara göre; en üst kat ivmelerinin en büyük değeri, üstyapı sönüm oranının %5 değeri için  $3.50 \text{ m/s}^2$  sınır değerinin altında iken, sönüm oranının %2 olması durumunda bu sınır değer üstüne çıkmaktadır. Üstyapı sönüm oranının çok küçük (sıfır) kabul edilmesi durumunda ise elde edilen sonucun,  $4.0 \text{ m/s}^2$  sınırının oldukça üstüne çıktığı görülmektedir. Benzer şekilde, Düzce kaydı sonuçlarına göre, en üst kat ivmelerinin tepe değeri üstyapı sönüm oranının %5 değeri için  $2.50 \text{ m/s}^2$  sınır değerinin altında iken, sönüm oranının %2 olması durumunda bu sınırın üstüne çıkmaktadır. Üstyapı sönüm oranının sıfır kabul edilmesi durumunda ise elde edilen sonucun  $4.00 \text{ m/s}^2$  sınır

değerini de aşarak  $4.53 \text{ m/s}^2$  ye çıktığı görülmektedir. Petrolia ve Tabas kayıtları sonuçlarına göre, üstyapı sönüm oranının %2 ve %5 değerleri için elde edilen ivme değerleri  $3.50 \text{ m/s}^2$  sınır değerinin altında kalırken, sönüm oranının %0 alınması durumunda bu sınırı aşmakta, Petrolia kaydında yaklaşık olarak  $4.00 \text{ m/s}^2$  sınırına kadar yükselirken Tabas kaydında bu sınırı da aşarak  $5.26 \text{ m/s}^2$  ye kadar çıkmaktadır.

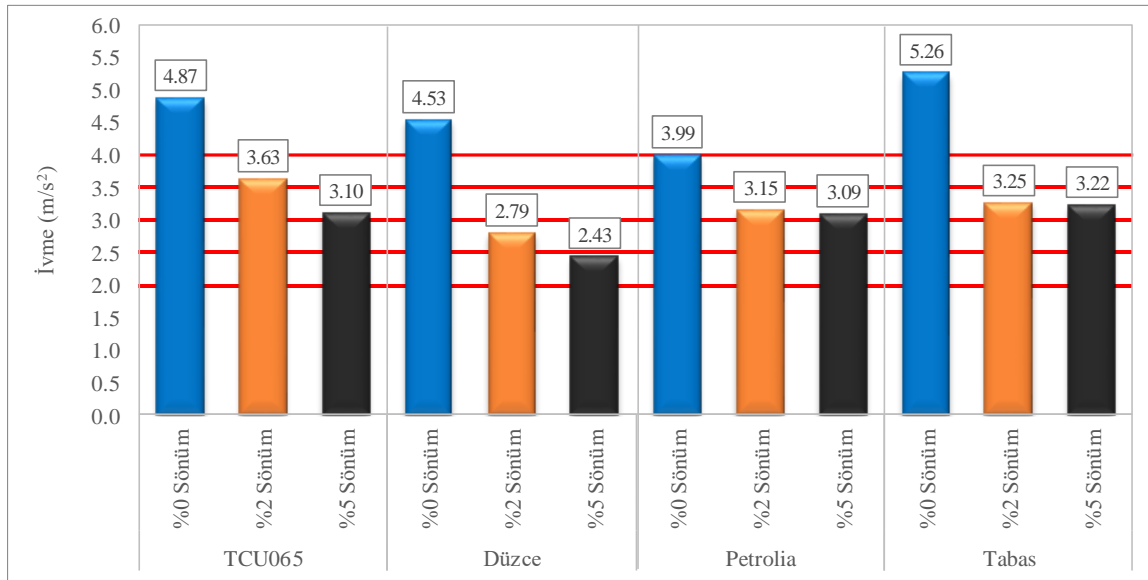
#### 4. DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

Sismik izolasyonlu binaların tasarımında veya bu tür binaları ele alan araştırma çalışmalarında farklı üstyapı sönüm oranlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada sismik taban yalıtımlı binaların modellenmesinde kabul edilen üstyapı sönüm oranı değerinin binanın tepkileri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, ele alınan örnek bir betonarme bina OpenSees Programında modellenmiş; TCU065, Düzce, Petrolia ve Tabas kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Üstyapı sönümünün % 0, % 2 ve % 5 değerleri için elde edilen kat ivmeleri, kurşun çekirdeklerdeki sıcaklık artışı, yalıtım birimi kesme kuvvetleri ve deplasmanları gibi yapısal tepkiler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, üstyapı sönüm oranının değiştirilmesi yalıtım birimi deplasmanları üzerinde kayda değer bir farka yol açmamıştır. Bunun



**Şekil 7.** Farklı üstyapı sönüm oranları için en üst kat ivmesinin zamana bağlı değişimi a) TCU065, b) Düzce, c) Petrolia, d) Tabas kaydı (Top floor acceleration time histories for different superstructure damping ratios)



**Şekil 8.** Farklı üstyapı sönüm oranları için en üst kat ivmesinin en büyük değerleri. Tasarımda dikkate alınabilecek örnek kat ivmesi sınır değerleri grafik üzerinde kırmızı yatay çizgilerle gösterilmiştir (Peak values of top floor acceleration for different superstructure damping ratios. Sample floor acceleration limit values that can be taken into consideration in the design are shown with red horizontal lines on the plot)

nedeninin, üstyapı sönümünün kurşun çekirdek sıcaklığı ve dolayısıyla karakteristik dayanımı çok az etkilemesi olduğu ortaya konmuştur. Kat ivmeleri üzerinde ise, üstyapı sönümünün özellikle yapı içerisindeki titreşime hassas cihazlar açısından önemli

farklılıklara neden olabileceği belirlenmiştir. Üstyapıda sönümün ihmal edilmesi durumunda, en üst kat ivmelerinin en büyük değerinde üstyapı sönüm oranının % 2 alınması durumuna göre % 62 gibi büyük bir oranda artış görülebilmektedir. Üstyapı sönüm oranının % 2'den

% 5'e çıkarılması durumunda ise, en üst kat ivmelerinin en büyük değerinde % 15'e kadar çıkan farkların görülebileceği anlaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlar neticesinde, sadece yalıtım sisteminin kurşun çekirdek ısınmasına bağlı davranışı incelenecek veya tasarımı yapılacaksa üstyapı sönümünün sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Ancak, üstyapı davranışının incelenmesi ve özellikle titreşime hassas cihazlar barındıran hastane, veri merkezi, vb. yapıların kat ivmesi sınırları dikkate alınmak suretiyle yapılan tasarımları açısından dikkate alınacak üstyapı sönüm oranının önem kazandığı ortaya konmuştur. Daha genel sonuçların ortaya konabilmesi için, çok sayıda deprem kaydının kullanıldığı deneysel araştırmaların da yapılmasına ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Zafer KANBİR:** Modelleme ve analizleri gerçekleştirmiş; sonuçların değerlendirilmesi, makalenin yazımı, düzenlenmesi ve revize edilmesinde katkı sağlamıştır.

**Cenk ALHAN:** Sonuçların değerlendirilmesi, makalenin kontrolü, düzenlenmesi ve revize edilmesinde katkı sağlamıştır.

**Gökhan ÖZDEMİR:** Sonuçların değerlendirilmesi, makalenin kontrolü, düzenlenmesi ve revize edilmesinde katkı sağlamıştır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Worksafe Technologies, "ISO-Base Seismic Isolation Platform Brochure" <http://www.powerprotection.co.nz/wp-content/uploads/2018/03/IsoBase-Brochure.pdf> [Ziyaret Tarihi: 20.09.2020].
- [2] Mizuno H., Iiba M., Yamaguchi N. and Okano H., "Shaking table testing on earthquake resistance of medical equipments", Report of the Building Research Institute, *Building Research Institute*, Ministry of Construction, (1986).
- [3] T.C. Sağlık Bakanlığı, "Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar" Genelge 2013/3, (2013).
- [4] Naeim F. and Kelly J. M., "Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice", *JohnWiley & Sons*, New York, (1999).
- [5] Skinner R. I., Robinson W. H. and McVerry G. H., "An Introduction to Seismic Isolation", *Wiley*, Chichester, UK, (1993).
- [6] Robinson W. H., "Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes", *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 10(4):593-604 (1982).
- [7] Constantinou M. C., Whittaker A. S., Kalpakidis Y., Fenz D. M., and Warn G. P., "Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading", Technical Rep. No. MCEER-07-0012; *Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research*, Buffalo, N.Y., (2007).
- [8] Kalpakidis I. V., and Constantinou M. C., "Effects of heating and load history on the behavior of lead-rubber bearings", Technical Rep. No. MCEER-08-0027; *Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research*, Buffalo, N.Y., (2008).
- [9] Kalpakidis I. V. and Constantinou M. C., "Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearing. I:theory", *J Struct Eng.*, 135(12):1440-1449, (2009).
- [10] Özdemir G., "Lead core heating in lead rubber bearings subjected to bidirectional ground motion excitations in various soil types", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 43(2):267-285, (2014).
- [11] Özdemir G., Bayhan B., and Gülkan P., "Variations in the hysteretic behavior of LRBs as a function of applied loading", *Structural Engineering and Mechanics*, 67(1):69-78, (2018).
- [12] Kanbir Z., Alhan C., and Özdemir G., "Influence of Superstructure Modeling Approach on the Response Prediction of Buildings with LRBs Considering Heating Effects" *Structures*, 28:1756-1773, (2020).
- [13] Chopra A. K., "Dynamics of Structures", Fourth Ed., *Prentice Hall*, Boston, MA, (2012).
- [14] Fan F. G. and Ahmadi G., "Seismic response of secondary system in base isolated structures", *Engineering Structures*, 14:35-48, (1992).
- [15] Matsagar V. A. and Jangid RS., "Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures", *Engineering Structures*, 26:1735-1749, (2004).
- [16] Providakis C. P., "Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations", *Engineering structures*, 30(5):1187-1198, (2008).
- [17] Kilar V. and Koren D., "Seismic Behavior of Asymmetric Base Isolated Structures with Various Distributions of Isolators", *Engineering Structures*, 31:910-921, (2009).
- [18] Kanbir Z., "Kurşun Çekirdekdeki Isınmanın Sismik İzolasyonlu Yapıların Davranışına Etkisi", *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, (2020).
- [19] McKenna F., Fenves G. and Scott M., "OpenSees: Open System for Earthquake Engineering Simulation", *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley, CA, USA, (2006). <http://opensees.berkeley.edu>
- [20] Schellenberg A., Yang T. and Kohama E., "OpenSees Navigator: MATLAB based graphical user interface", *Pacific Earthquake Engineering Research Center*,

- Berkeley, CA, (2016). <http://openseesnavigator.berkeley.edu>
- [21] Hall J. F., “Problems encountered from the use (or misuse) of Rayleigh damping”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35(5):525-545, (2006).
- [22] Alhan C. and Şahin F., “Protecting vibration-sensitive contents: an investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings”. *Bull Earthquake Eng*, 9:1203–26, (2011).
- [23] Alhan C. and Sürmeli M., “Shear building representations of seismically isolated buildings”, *Bull Earthquake Eng*, 9(5):1643-1671, (2011).
- [24] Shao B. and Mahin S.A., “A probabilistic design method to achieve targeted levels of reliability for seismically isolated structure”, *Earthquake Spectra*, 36(2):741-766, (2020).
- [25] Güneş N. ve Ulucan Z. Ç., “Farklı tasarlanmış iki sismik yalıtımlı binanın karşılaştırılması”, *Fırat Üniversitesi Müh Bül Dergisi*, 32:37–46, (2020).
- [26] Constantinou M. C., Whittaker A. S., Fenz D. M., and Apostolakis G., “Seismic Isolation of Bridges”, New York, *Report Submitted to the State of California Department of Transportation*, University at Buffalo, Version 2, (2007).
- [27] AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials “Guide Specification for Seismic Isolation Design” Washington, DC, (2010).
- [28] ASCE, American Society of Civil Engineers “Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures” Standard ASCE/SEI 7-16, Reston, VA., (2017).
- [29] Caltrans, California Department of Transportation, “Caltrans Seismic Design Criteria”, Version 1.3., (2004).
- [30] FEMA 440, Applied Technology Council “Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures” Report Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., (2005).
- [31] Kanbir Z., Özdemir G. and Alhan C., “Modeling of Lead Rubber Bearings via 3D-BASIS, SAP2000, and OpenSees Considering Lead Core Heating Modeling Capabilities”, *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 7(4):294-301, (2018).
- [32] Heaton T. H., Hall J. F., Wald D. J., and Halling M. W., “Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical Mw 7.0 blind thrust earthquake” *Science*, 267: 206-211, (1995).
- [33] Kalpakidis I. V., Constantinou M. C., and Whittaker A. S., “Modeling strength degradation in lead-rubber bearings under earthquake shaking” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39(13):1533-1549, (2010).
- [34] Özdemir G. and Dicleli M., “Effect of lead core heating on the seismic performance of bridges isolated with LRB in near-fault zones” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41(14):1989–2007, (2012).
- [35] PEER Pacific Earthquake Engineering Research Center Ground Motion Database; University of California, Berkeley, CA, (2013). <http://ngawest2.berkeley.edu>
- [36] Baker J. W., “Conditional mean spectrum: Tool for ground-motion selection”, *Journal of Structural Engineering*, 137(3): 322–331, (2011).