



## The Effect of Seismic Base Isolator in Analysis Considering Soil-structure Interaction

Ali Gurbuz<sup>1</sup> and Furkan Yurdakul Kayıkcı<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Recep Tayyip Erdogan University, The Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, 53000 Rize, Türkiye  
ORCID: 0000-0003-1123-9968, 0000-0002-7399-5681

### Keywords

Seismic base isolator, Soil-structure interaction, Time history analysis

### Highlights

\* Differences in the analysis results if the building with seismic isolators is considered as built-in to the soil and modelled together with the soil.  
\* The effect of seismic isolators in analyses that consider the soil-structure interaction

### Aim

The aim of this study is to investigate the effect of the analysis technique that considers the soil-structure interaction in buildings with seismic base isolators

### Location

This study was conducted on a conceptual model

### Methods

The research is quantitative research and was carried out with the finite element method

### Results

It has been shown that considering the soil-structure interaction has a significant impact on the results of the analyses performed on seismic base-isolated structures

### Supporting Institutions

The author(s) declared that this study has used no support data from other institutions

### Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received no financial support

### Peer-review

Externally peer-reviewed

### Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

### Manuscript

Research Article

Received: 31.10.2023

Revised: 01.10.2024

Accepted: 02.10.2024

Printed: 30.12.2024

### DOI

10.46464/tdad.1383585



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

### Corresponding Author

Ali Gurbuz

Email: ali.gurbuz@erdogan.edu.tr

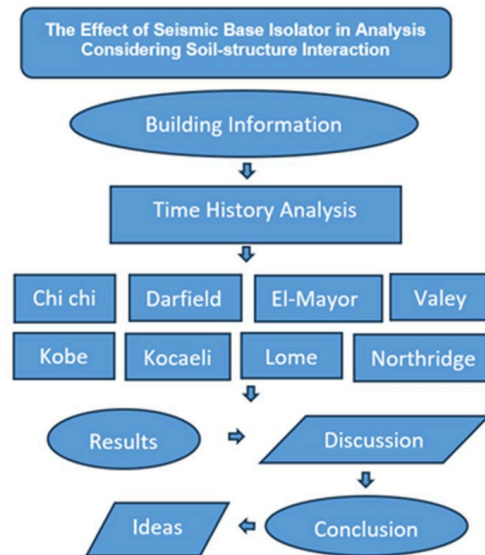


Figure  
Graphical Abstract

### How to cite:

Gurbuz A., Kayıkcı F.Y., 2024. The Effect of Seismic Base Isolator in Analysis Considering Soil-structure Interaction, Turk Deprem Arastirma Dergisi 6(2), 271-285, <https://doi.org/10.46464/tdad.1383585>.



## Zemin-Yapı Etkileşimini Dikkate Alan Analizlerde Sismik Taban İzolatörünün Etkisi

Ali Gürbüz<sup>1</sup> ve Furkan Yurdakul Kayıkcı<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 53000 Rize, Türkiye  
ORCID: 0000-0003-1123-9968, 0000-0002-7399-5681

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı; sismik taban izolatörlü binalarda zemin-yapı etkileşimini dikkate alan analiz tekniğinin etkisini araştırmaktır. Özellikle yumuşak zemine oturan binaların analizinde zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması daha hassas sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte sismik taban izolatörü kullanılan yapılarda zemindeki titreşimler yapıya sönmülenererek etki ettiği için bu fayda azalmaktadır. Bu tür binalarda zemin-yapı etkileşimini dikkate almanın sonuçlar üzerindeki etkisi halen araştırılması gereken bir konudur. Bu amaçla çalışma kapsamında; taban izolatörü kullanımı için uygun özellikleri taşıyan 8 katlı örnek bir yapı planı seçilmiştir. Seçilen yapı için dört farklı model oluşturulmuş. İlk iki modelde taban izolatörü bulunmayan bir yapı zemine ankastre ve daha sonra zemin ile birlikte modellenmiştir. Sonraki iki modelde ise çözüme sismik taban izolatörü dahil edilmiştir. Oluşturulan tüm modellere 11 farklı deprem kaydı için zaman tanım alanında dinamik analiz uygulanmıştır. Analizler sonucunda ankastre modelleme ve zeminin 3 boyutlu modellenmesi ile yapıya etkiyen ivmeler, kesme kuvvetleri, ötelenmeler gibi tepkilerde oluşan değişim incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; taban izolatörü kullanılmadığında zemin-yapı etkileşimini dikkate almak daha fazla önem arz etmektedir.

### Anahtar kelimeler

Sismik taban izolatörü, Zemin-yapı etkileşimi, Zaman tanım alanında dinamik analiz

### Öne Çıkanlar

\* Sismik izolatörlü binanın zemine ankastre kabul edilerek ve zemin ile birlikte modellenmesi halinde analiz sonuçlarında oluşan farklar.

\* Zemin-yapı etkileşimini dikkate alan analizlerde sismik izolatörlerin etkisi

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 31.10.2023  
Düzeltilme: 01.10.2024  
Kabul: 02.10.2024  
Basım: 30.12.2024

### DOI

10.46464/tdad.1383585

### Sorumlu yazar

Ali Gürbüz  
Eposta:  
ali.gurbuz@erdogan.edu.tr

## The Effect of Seismic Base Isolator in Analysis Considering Soil-structure Interaction

Ali Gurbuz<sup>1</sup> and Furkan Yurdakul Kayıkcı<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Recep Tayyip Erdogan University, The Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, 53000 Rize, Türkiye

ORCID: 0000-0003-1123-9968, 0000-0002-7399-5681

### ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the effect of the analysis technique that considers the soil-structure interaction in buildings with seismic base isolators. Taking the soil-structure interaction into consideration, especially in the analysis of buildings sitting on soft soils, provides more precise results. However, in structures where seismic base isolators are used, this benefit decreases as the vibrations in the ground affect the structure by being damped. The effect of considering the soil-structure interaction in such buildings on the results is still an issue that needs to be investigated. For this purpose, within the scope of the study; a 7-storey sample building plan with suitable features for the use of base isolators was selected. Four different models were created for the selected structure. In the first two models, a structure without a base isolator was built into the ground and then modelled with the ground. In the next two models, the seismic base isolator is included in the solution. Dynamic time-history analysis was applied to all created models for 11 different earthquake records. As a result of the analyses, the changes in the reactions such as accelerations, shear forces and drifts acting on the structure were examined in fixed model and in the model with 3D soil. In case of non-base isolated structure, resulting responses are fairly big while in case of base isolated structure, it is seen that resulting responses of the structure are small.

### Keywords

Seismic base isolator, Soil-structure interaction, Time history analysis

### Highlights

\* Differences in the analysis results if the building with seismic isolators is considered as built-in to the soil and modelled together with the soil.

\* The effect of seismic isolators in analyses that consider the soil-structure interaction

### Manuscript

Research Article

Received: 31.10.2023  
Revised: 01.10.2024  
Accepted: 02.10.2024  
Printed: 30.12.2024

### DOI

10.46464/tdad.1383585

### Corresponding Author

Ali Gurbuz  
Email:  
ali.gurbuz@erdogan.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Zemin türü ve zeminde oluşan titreşimler binaların deprem performansını etkileyen başlıca parametreler arasındadır (Yanık ve Ulus 2023). Bilgisayar teknolojisinin nispeten daha düşük olduğu dönemlerde yapısal çözümleri hızlandırmak ve basitleştirmek için binaların zemine ankastre mesnetli şekilde oturduğu varsayımı yaygın olarak kullanılmakta, zemin etkileri ise yapılan teorik kabul ve katsayılarla dikkate alınmaktaydı (Akehasi ve Takewaki 2021). Günümüzde ise gelişen şartlar sayesinde daha gerçekçi modelleme teknikleri kullanma şansı doğmuş ve yapının oturduğu zemin de üst yapı gibi üç boyutlu olarak modellenenilmektedir. Yapının zeminle olan etkileşimini dikkate alan analizlerin daha gerçekçi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Özellikle yumuşak zemine oturan yapılarda zemin etkilerinin daha hassas yöntemlerle incelenmesi gerekmektedir.

Yapı ile zemin arasındaki etkileşim söz konusu olduğunda bir diğer önemli gelişme ise deprem izolatörleridir. Kauçuk mesnetler, sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemleri, saf sürtünmeli sistem, esnek sürtünmeli sistem ve Fransız elektrik sistemi gibi zeminden yapıya etkileyen titreşimleri absorbe etmeyi amaçlayan çeşitli taban izolasyon sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerin çoğu günümüzde başarılı sonuçlar vermekte ve halen uygulanmaktadır. Bu sistemleri analiz ederken de zemin-yapı etkileşimini dikkate almanın önemine ilişkin araştırmalar yapılmış ve yapılmaktadır.

Bugüne kadar yapılan araştırmalar; deprem izolatörü bulunmadığı hallerde binayı zemine ankastre kabul ederek kurulan bir analiz modeli ile zemini üç boyutlu olarak ele alan bir analiz modeli arasında sonuçların önemli ölçüde değişebildiğini göstermiştir (Ates ve Yurdakul 2021, Kayıkcı ve Gürbüz 2023). Yapıda izolatör bulunması durumunda ise iki yöntem sonuçlarının ne ölçüde değiştiği ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Karabörk ve diğ. 2010, Luco 2014, Radkia ve diğ. 2020). Sınırlı sayıdaki bu çalışmalar genellikle az katlı ve küçük yapı modelleri üzerinde denenmiş, çalışmaların sonuçları ekseriyetle gelecekte konuya ilişkin daha farklı yapı tipleri üzerinde ve daha kapsamlı araştırmaların yapılmasını öneren cümlelerle bitirilmiştir. Bu makale çalışması konuya ilişkin literatürün genişletilmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla taban izolatörlü 8 katlı betonarme bir hastane projesi örnek alınarak, yapının dört farklı durumu (taban izolatörlü zemine ankastre, izolatörsüz zemine ankastre, izolatörlü ve zeminle modellenmiş, izolatörsüz ve zeminle birlikte modellenmiş) için 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir model 11 farklı deprem ivme kaydı kullanarak zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemiyle analiz edilerek kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada örnek bir yapı birçok yer hareketi altında ele alınarak 4 farklı durum değerlendirilmiştir. Birinci durumda yapı zemine ankastre kabul edilerek analiz edilmiştir, ikinci durumda aynı yapı zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Üçüncü durumda yapının zemine ankastre kabul edildiği ancak yapıda sismik izolatör bulunması halinde analizler tekrarlanmıştır. Son durumda ise izolatörlü bina; zemin-yapı etkileşimi ile analiz edilmiştir. tüm analizler için SAP2000 v23.0.0 paket programından faydalanılmıştır. Örnek yapı ilk 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Binada kolon ve kirişler çubuk eleman olarak, döşemeler ve temeller kabuk eleman olarak, kauçuk mesnetler çizgili link eleman olarak ve zeminler katı eleman olarak modellenmiştir (Gürbüz ve Tekin 2017). Binada taban izolasyonları zemin katta bulunan kolonların üstüne yerleştirilmiştir (TBDY 2018). Sonlu eleman analizlerinde gerçeğe en yakın sonucu elde etmek için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlere ilave olarak doğrusal zaman tanım alanında analizlerden de faydalanılmıştır. Ortak sistemde tek bir adımda zemin yapı etkileşiminin doğrusal olmayan tepkisinin simülasyonu elde edilmiş, zemin yakın bölge, etkileşim arayüzü ve uzak bölge denilen üç kısma ayrılmıştır. Yakın bölge bina için zemin-yapı etkileşiminin etkili olduğu alanı temsil etmiş ve doğrusal olmayan davranış tanımlanmıştır. Yakın bölge ile uzak bölgenin

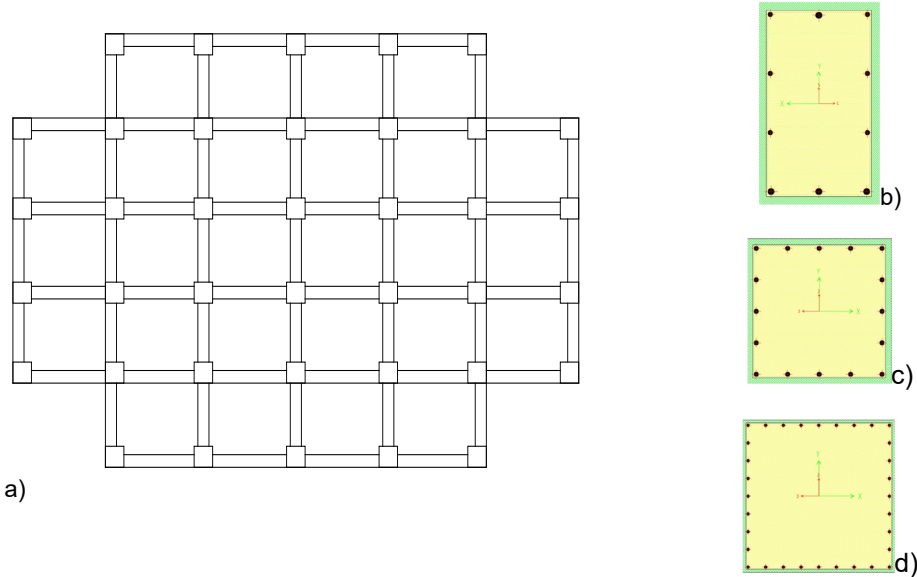
arasında kalan etkileşim arayüzü ise sonlu elemanlarla uyumlu olan emici sınır şartları eklenerek deprem dalgalarının uzak bölgeye geçmesi sağlanmıştır. Uzak bölge zemin-yapı etkileşiminin model için çok belirgin olmadığı kabul edilerek lineer davranış gösteren zemin bölgesi olarak tanımlanmıştır (Yıldız ve diğ. 2021, Abdulkadir ve diğ. 2022).

## 2.1. Binaya İlişkin Bilgiler

Örnek yapı 8 kattan oluşmakta ve tüm katlar 3m standart yüksekliktedir. Yapının tipik kat planı ve yapı elemanlarına (kiriş, kolon ve kaide) ait enkesitler sırasıyla Şekil 1a, Şekil 1b, Şekil 1c ve Şekil 1d'de görüldüğü gibidir. Binanın tasarımında ve analizlerinde kullanılan betonarme özellikleri, zemin özellikleri ile eleman boyutlarına ilişkin tüm veriler ise Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'deki parametreler yapının sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Binanın yalıtım katı DD1 deprem düzeyine göre, üstyapısı ise DD2 deprem düzeyine göre tasarlanmıştır (TBDY 2018).

Tablo 1: Yapı parametreleri  
Table 1: Parameters of the structure

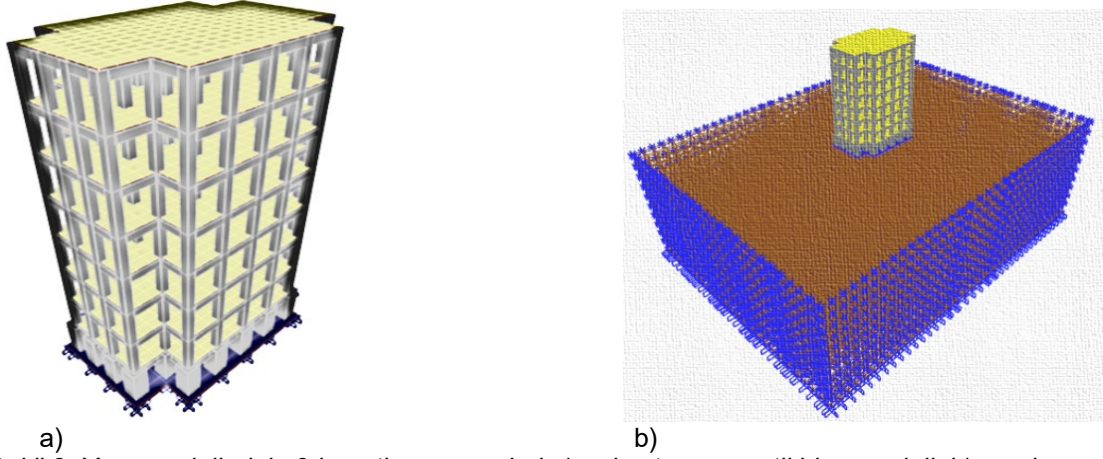
|   |           |   |           |
|---|-----------|---|-----------|
| Beton Sınıfı                                    | C30/37    | Yerel Zemin Sınıfı                              | ZD        |
| Beton Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> ) | 25        | Zemin Birim Hacim Ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> ) | 23        |
| Beton Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )    | 33000000  | Zemin Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )    | 804440    |
| Beton Kayma Modülü (kN/m <sup>2</sup> )         | 13750000  | Zemin Kayma Modülü (kN/m <sup>2</sup> )         | 287300    |
| Beton Poisson Oranı                             | 0.2       | Zemin Poisson Oranı                             | 0.4       |
| Donatı Sınıfı                                   | B420C     | Üst 30 metre kayma dalga hızı (m/s)             | 350       |
| Donatı Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )   | 200000000 | Kiriş Boyutları (m)                             | 0.30x0.50 |
| Donatı Akma Dayanımı (kN/m <sup>2</sup> )       | 420000    | Kolon Boyutları (m)                             | 0.50x0.50 |
| Donatı Çekme Dayanımı (kN/m <sup>2</sup> )      | 567000    | Kaide Boyutları (mm)                            | 1.00x1.00 |
| Beklenen Donatı Akma Day. (kN/m <sup>2</sup> )  | 504000    | Döşeme Kalınlığı (m)                            | 0.15      |
| Beklenen Donatı Çekme Day. (kN/m <sup>2</sup> ) | 680400    | Radye Temel Kalınlığı (m)                       | 0.50      |
| Donatı Akma Birim Şekil Değişirmesi             | 0.0021    | Zemin Tabakası Eni (m)                          | 56.50     |
| Pekleşmeye Başladığı Andaki Şekil Değişirmesi   | 0.008     | Zemin Tabakası Boyu (m)                         | 73.50     |
| Kopma Birim Şekil Değişirmesi                   | 0.08      | Zemin Tabakası Yüksekliği (m)                   | 30        |



Şekil 1: Yapının tipik planı ve eleman enkesitleri a) Plan görünüşü, b) Kiriş kesiti, c) Kolon Kesiti, d) Kolon kaidesi kesiti

Figure 1: Typical plan of the structure and structural element cross-sections a) Plan view, b) Beam cross-section, c) Column cross section, d) Pedestal cross-section

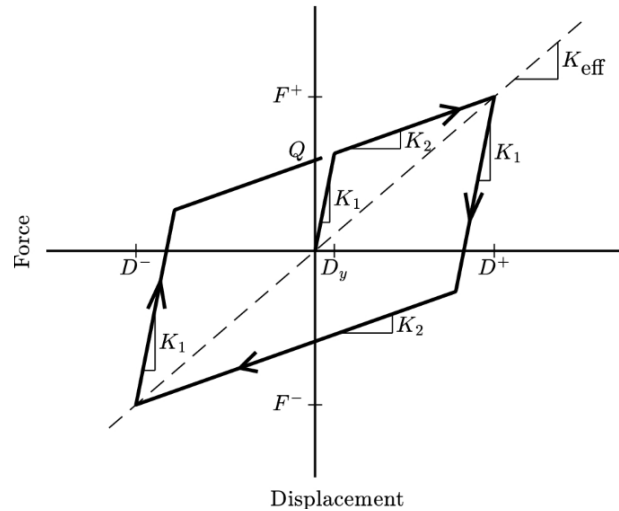
Şekil 1’de tipik kat planı ve betonarme elemanlara ait enkesit görünüşleri verilen yapıdaki tüm kirişler 30x50 cm, tüm kolonlar 50x50 cm, kolon kaideleri 100x100 cm boyutlarındadır. Planda düşey olarak görülen akslara yerleştirilen kirişler 6Ø12+4Ø16 donatıya sahiptir. Planda yatay olarak görülen akslara yerleştirilen kirişler ise 2Ø12+4Ø16 donatıya sahiptir. Kolonların tamamında 16Ø16 donatı bulunurken kaidelerde ise 32Ø20 donatı kullanılmıştır. Yapının zemine ankastre olarak çalıştığı davranış kabulü için oluşturulan analiz modeli Şekil 2a’da, yapı altında bulunan zeminin katı eleman olarak düşünüldüğü analiz modeli ise Şekil 2b’de yer almaktadır. Her iki modelin oluşturulmasında kullanılan boyut, malzeme, katsayı gibi tüm veriler Tablo 1’den alınmıştır.



a) b)  
Şekil 2: Yapı modellerinin 3 boyutlu görünüşleri a) ankastre mesnetli bina modeli, b) zemin-yapı etkileşimli bina modeli

Figure 2: 3D views of structure models a) the structure model fixed-based, b) the model with soil-structure interaction

Şekil 2’deki modellerde üstyapı DD2 deprem düzeyine göre, altyapı ise DD1 deprem düzeyine göre tasarlanmıştır (TBDY 2018, Çerçevik 2019). Taban izolasyonlu modellerde deprem izolatörü olarak kurşun kauçuk mesnet kullanılmıştır. Modellerde kullanılan kurşun kauçuk mesnet ve her iki deprem düzeyi için seçilen zemin parametreleri Tablo 2’deki gibi alınmıştır. Şekil 3’te tipik bir kauçuk mesnete ait histeretik eğrisi verilmiştir.



Şekil 3: Kauçuk mesnete ait tipik bir histeretik eğrisi (Çerçevik 2019)  
Figure 3: Typical hysteresis curve belongs to rubber bearing (Çerçevik 2019)

Tablo 2: Deprem analizlerinde kullanılacak zemin parametreleri ve kurşun kauçuk mesnet özellikleri  
 Table 2: Soil features using in earthquake analyses and Lead rubber bearing features

| Yerel zemin sınıfı |                 | ZD      | Kurşun kauçuk izolatör modelinde kullanılan parametreler |        |
|--------------------|-----------------|---------|--|--------|
| DD1                | S <sub>s</sub>  | 1.049   | Q (kN)   | 42     |
|                    | S <sub>1</sub>  | 0.228   | K <sub>1</sub> (kN /m)                                   | 5510   |
|                    | F <sub>s</sub>  | 1.0804  | K <sub>2</sub> (kN /m)                                   | 551    |
|                    | F <sub>1</sub>  | 2.144   | K <sub>eff</sub> (kN /m)                                 | 764    |
|                    | S <sub>DS</sub> | 1, .133 | F (m)  | 46.67  |
|                    | S <sub>D1</sub> | 0.4888  | D <sub>y</sub> (m)                                       | 0.0085 |
| DD2                | S <sub>s</sub>  | 0.515   | D (m)  | 0.20   |
|                    | S <sub>1</sub>  | 0.124   | Ağırlığı (kN)  | 7.2    |
|                    | F <sub>s</sub>  | 1.388   | İzolatör periyodu (s)                                    | 10.3   |
|                    | F <sub>1</sub>  | 2.152   | β <sub>eff</sub>   | 0.17   |
|                    | S <sub>DS</sub> | 0.7148  | c <sub>b</sub> (kN*s/m)                                  | 425.37 |
|                    | S <sub>D1</sub> | 0.2916  | W <sub>D</sub> (kN)                                      | 31.704 |

Tablo 2'deki değerlerden W<sub>D</sub> histerisiz döngü enerjisini, K<sub>eff</sub> D yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği, β<sub>eff</sub> etkin sönüm oranını, D<sub>y</sub> akma yer değiştirmesini, D hedef yer değiştirmesini, F<sub>y</sub> akma dayanımını, Q karakteristik dayanımı, K<sub>1</sub> başlangıç rijitliğini, K<sub>2</sub> ikincil rijitliğini, T<sub>b</sub> izolatör etkin periyodunu temsil etmektedir. Bu değerlerin elde edilmesinde Denklem 1,2,3,4,5,6 ve 7'den faydalanılmıştır (TBDY 2018, Deringöl ve Güneyisi 2021).

$$W_D = 2\pi K_{eff} \beta_{eff} D^2 \quad (1)$$

$$F = \frac{Q}{1 - \frac{K_2}{K_1}} \quad (2)$$

$$D_y = \frac{F_y}{K_1} \quad (3)$$

$$D = \frac{Q}{K_{eff} - K_2} \quad (4)$$

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{m_t}{K_{eff}}} \quad (5)$$

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (6)$$

$$c_b = 2m_t \omega_b \beta_{eff} \quad (7)$$

Bu denklemlerde c<sub>b</sub> sönüm katsayısını, ω<sub>b</sub> açısal frekansı, T<sub>b</sub> etkin periyodu m<sub>t</sub> toplam yapı kütleini temsil etmektedir.

Yapı modellerini zaman tanım alanında dinamik analize tabi tutmak için basit ölçeklendirme metodu kullanılmış, ölçekli deprem ivme kayıtları Kaliforniya Berkeley Üniversitesi deprem arşivinden temin edilmiştir (PEER 2023). Taban izolasyonlu binalar için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) koşulları dikkate alınarak en yüksek yerdeğiştirme altında ölçeklendirme yapılmıştır. Yönetmelik koşulları dikkate alınarak taban izolasyonlu yapılarda üst sınır değerler ile hesaplanmış etkin titreşim periyodunun yarısı ile alt sınır değerler ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu 1.25 katı arasındaki değerlere göre ölçeklendirme işlemi yapılmış ve bulunan değerler Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3: İzolatör parametrelerinin üst sınır ve alt sınır değerleri  
 Table 3: Upper limit and lower limit values of parameters of isolator

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| $\lambda_{üst} (F_Q)$ | 1.831375 |
| $\lambda_{üst} (k_2)$ | 1.9435   |
| $\lambda_{alt} (F_Q)$ | 0.595    |
| $\lambda_{alt} (k_2)$ | 0.765    |

Oluşturulan yapı modellerinin deprem performanslarına göre birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için ölçeklendirilmiş 11 farklı deprem ivme kaydı ile zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında analizler yapmak için basit ölçeklendirme metodu yapılmıştır. Bunun için "<https://ngawest2.berkeley.edu>" sitesinden yararlanılmıştır (PEER 2023). Taban izolasyonlu yapılarda yönetmelikte 14.14.4.2 maddesinde bulunan en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu yarısı ile en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu 1.25 katı arasındaki değerlere göre ölçeklendirme işlemi yapılacaktır. En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu ile en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodunu bulmak için TBDY (2018)'de madde 14.12.1.'de önerilen denklemler aracılığıyla bulunacaktır. Analizlerde düşey deprem periyodu 0.1 saniyeden büyük hesaplandığı için tüm analizlerde düşey deprem bileşenleri de hesaba dahil edilmiştir.

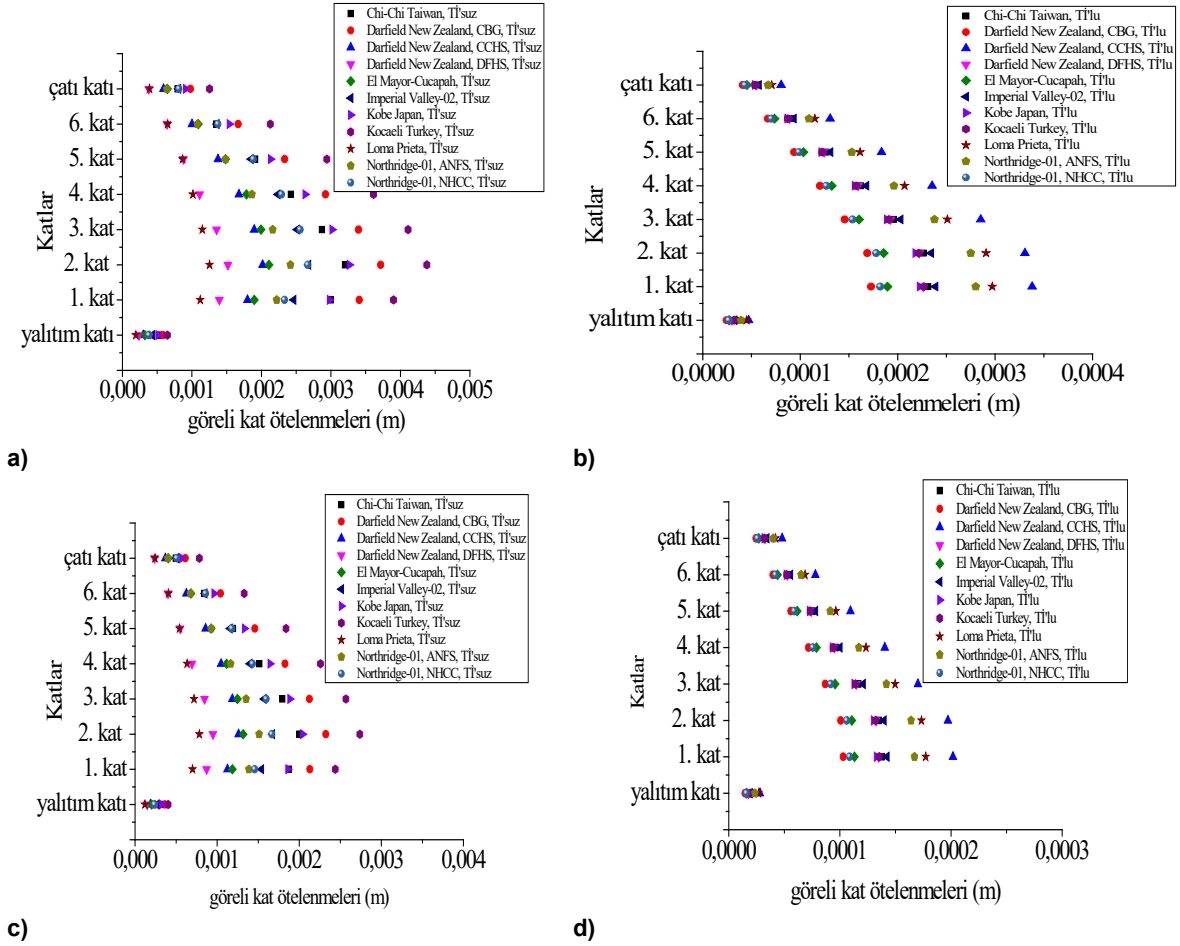
Tablo 4: DD1 Deprem ölçek katsayıları  
 Table 4: Earthquake scale factors

| Deprem adı           | İstasyon                          | DD1 Ölçek katsayıları | DD2 Ölçek katsayıları |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Chi-Chi Taiwan       | CHY036                            | 0.9329                | 0.5566                |
| Darfield New Zealand | Christchurch Botanical Gardens    | 1.4926                | 0.8905                |
| Darfield New Zealand | Christchurch Cashmere High School | 1.3328                | 0.7952                |
| Darfield New Zealand | DFHS                              | 1.407                 | 0.8395                |
| El Mayor-Cuapah      | Chihuahua                         | 1.3955                | 0.8326                |
| Imperial Valley-02   | El Centro Array 9                 | 1.2878                | 0.7683                |
| Kobe Japan           | Takarazuka                        | 0.4802                | 0.2865                |
| Kocaeli Turkey       | Duzce                             | 0.8403                | 0.5014                |
| Loma Prieta          | Gilroy Array 3                    | 1.1933                | 0.712                 |
| Northridge-01        | Arleta- Nordhoff Fire Sta         | 1.1684                | 0.6971                |
| Northridge-01        | N Hollywood- Coldwater Can        | 1.5269                | 0.911                 |

### 3. BULGULAR

Depreme karşı taban izolasyonu uygulanmış bir yapının zemine ankastre mesnetli olarak analiz edilmesi ile 3 boyutlu olarak modellenmiş zemin üzerinde (zemin-yapı etkileşimli) analiz edilmesi arasında oluşan farkları ortaya koymak amacıyla; görel kat ötelenmeleri, maksimum kat ivmeleri, titreşim periyotları, en büyük mutlak ötelenmeler ve taban kesme kuvvetleri açısından karşılaştırmalar yapılmıştır.

11 farklı deprem yer hareketi altında taban izolasyonlu ve taban izolasyonsuz yapıların DD1 ve DD2 deprem ölçeğine göre katlarda oluşan görel kat ötelenme değerleri Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 4'te yapının zemine ankastre mesnetlendiği kabul edilirken, Şekil 5'te ise zemin-yapı etkileşimli olarak analiz gerçekleştirilmiştir.

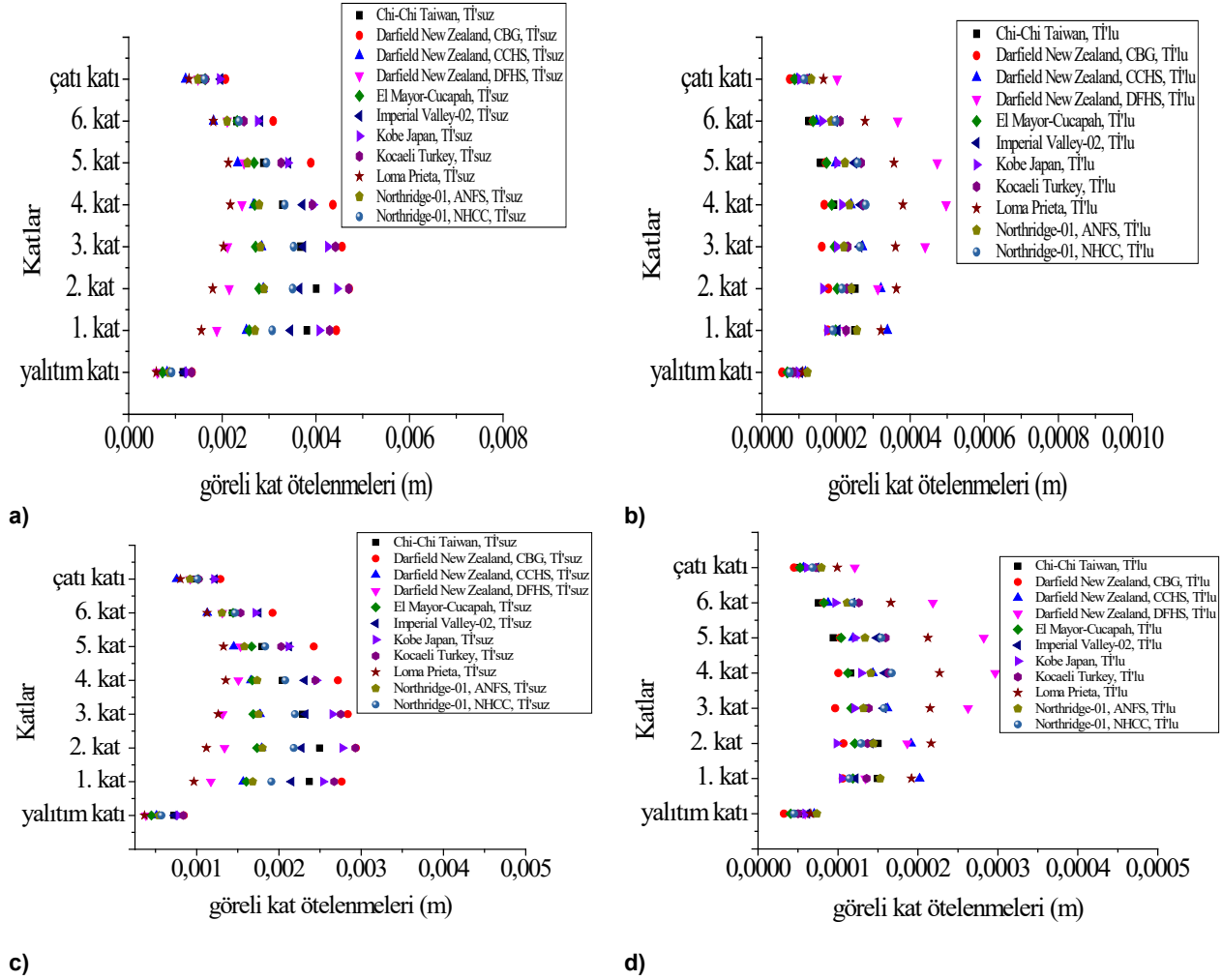


Şekil 4: Ankastr mesnetli modellerin görel kat ötelenmeleri. a) DD1 depremi, taban izolasyonsuz, b) DD1 depremi, taban izolasyonlu, c) DD2 depremi taban izolasyonsuz, d) DD2 depremi taban izolasyonlu model

Figure 4: Interstory drifts of fixed based models a) DD1 earthquake, without base isolation, b) DD1 earthquake, with base isolation, c) DD2 earthquake, without base isolation, d) DD2 earthquake, with base isolation

Analizler yapının hem X hem Y yönü için yapılmakla birlikte Şekil 4 ve Şekil 5'teki grafiklerde her bir ivme kaydından elde edilen maksimum değerlere yer verilmiştir. Ankastr mesnetli modelde taban izolasyonu olmadığına en fazla görel kat ötelenmesine sebep olan deprem Kobe (Japonya) depreminde görülürken taban izolasyonu olduğunda en fazla görel kat ötelenmesine sebep olan deprem Darfield (Yeni Zelanda) CCHS depremi olmuştur. Zemin-yapı etkileşimli modelde taban izolasyonu olmadığına en fazla görel kat ötelenmesine sebep olan deprem Darfield (Yeni Zelanda) CBG depremi iken taban izolasyonu olduğunda en fazla görel kat ötelenmesine sebep olan deprem Darfield (Yeni Zelanda) DFHS depremi olmuştur. Taban izolasyonunun davranışı depremden depreme değiştiği görülmüştür. Her iki şekilde yer alan grafikler birlikte ele alındığında taban izolasyonu görel kat ötelenmelerini büyük oranda düşürmüştür. Taban izolatörü kullanılmayan modellerde oluşan görel kat ötelenmesi değerleri, izolatörlü modellere göre 8 ile 18 kat arasında daha büyük değerler almıştır. Değişim oranları incelendiğinde, ankastr mesnet kabulüyle kurulan analiz modelinden elde edilen ivme değerleri zemin-yapı etkileşimli analiz modelinden elde edilen görel kat ötelenme değerlerinden %5-%20 oranında daha düşük çıkmıştır. Sismik taban izolatörü kullanıldığında katlar arası ötelenme değerleri çok küçüktür (0-5 mm) ve farklı deprem kayıtları altında değerlerin dağılımı çok değişkendir. Bu nedenle iki analiz yöntemi arasında oluşan görel ötelenme artışında taban izolatörünün etkisi tam olarak belirgin değildir. Yapı modellerinin titreşim periyotlarına bakıldığında benzer bir tablo söz konusudur. Bu çalışmada ele alınan yapı modellerine ait hâkim titreşim periyotları Şekil 5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

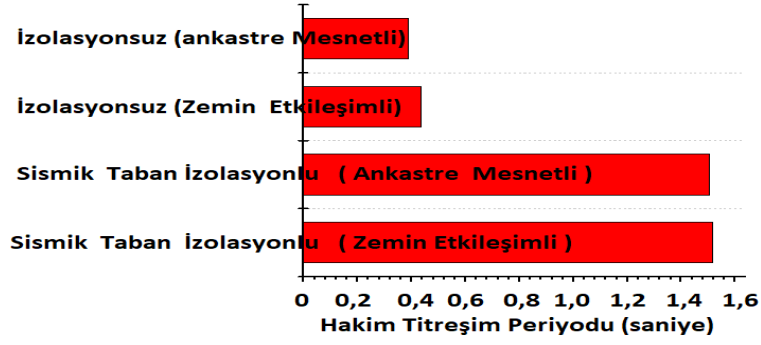




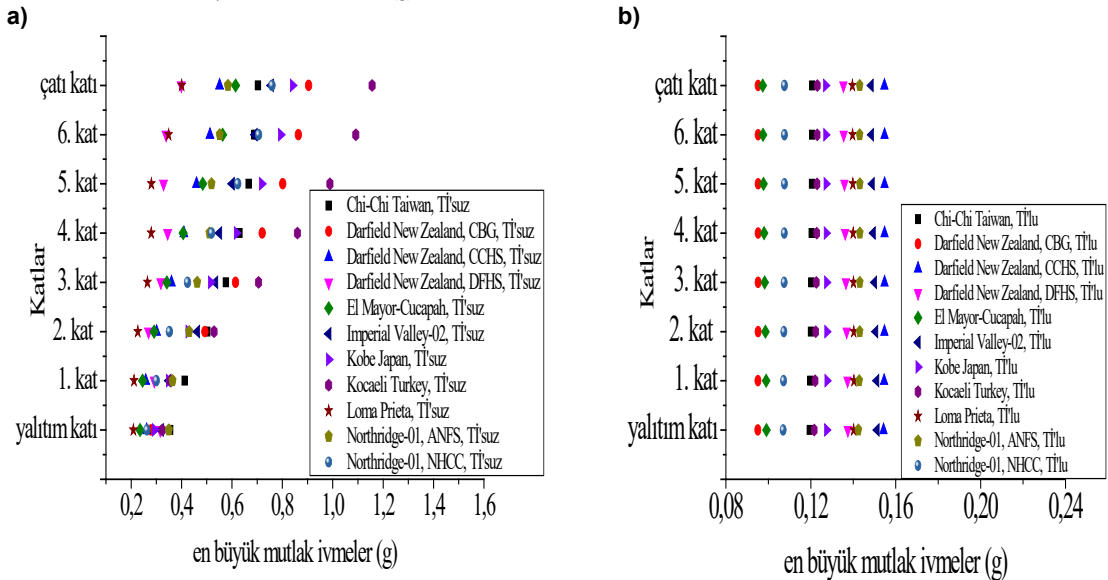
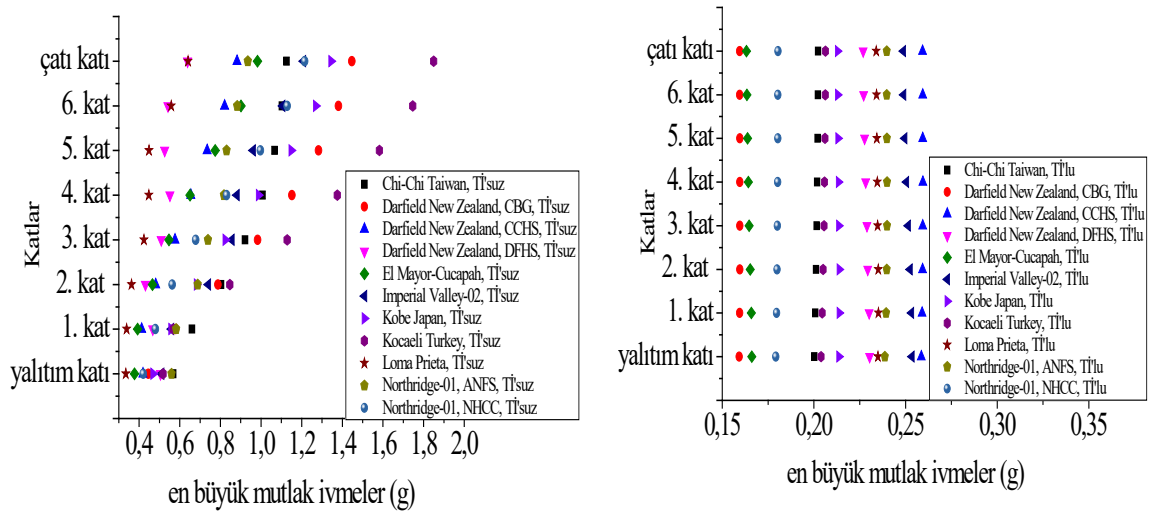
Şekil 5: Zemin-yapı etkileşimli modellerin görel kat ötelenmeleri a) DD1 depremi, taban izolasyonsuz, b) DD1 depremi, taban izolasyonlu, c) DD2 depremi taban izolasyonsuz, d) DD2 depremi taban izolasyonlu model

Figure 5: Interstory drifts of models considering soil-structure interaction a) DD1 earthquake, without base isolation, b) DD1 earthquake, with base isolation, c) DD2 earthquake, without base isolation, d) DD2 earthquake, with base isolation

Şekil 6; sismik taban izolasyonunun yapı hâkim titreşim periyodunu önemli ölçüde (3.5 – 4 kat) artırdığını göstermektedir. Grafikte dikkat çeken bir nokta ise görel kat ötelenmesi değerlerinde olduğu gibi sismik taban izolasyonu kullanılmayan modellerde periyot değerleri birbirine yakın seyretmişken, analizlerin yapıyı zemine ankastre kabul etmek yerine üç boyutlu zemin modeliyle birlikte gerçekleştirilmesi durumunda periyot değerinde %10'a yaklaşan bir değişim görülmüştür. Hem sismik taban izolatörü hem de zemin-yapı etkileşimli analiz sonuçları üzerindeki etkisini daha iyi değerlendirebilmek için Şekil 7 ve Şekil 8'de yapı modellerinin kat seviyelerine gelen mutlak ivme değerleri görülmektedir. 11 farklı deprem ivme kaydı Şekil 7'de ankastre mesnetli model için DD1 ve DD2 deprem düzeyinde ölçeklenmişken, Şekil 8'de ise zemin-yapı etkileşimli model için yine DD1 ve DD2 deprem düzeyine göre ölçeklenmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10'da sırasıyla ankastre mesnetli ve zemin-yapı etkileşimli modellerde hem DD1 hem de DD2 deprem düzeylerinde taban izolasyonunun en büyük mutlak ivmelerini yüzde kaç azalttığını gösteren grafikler verilmiştir.

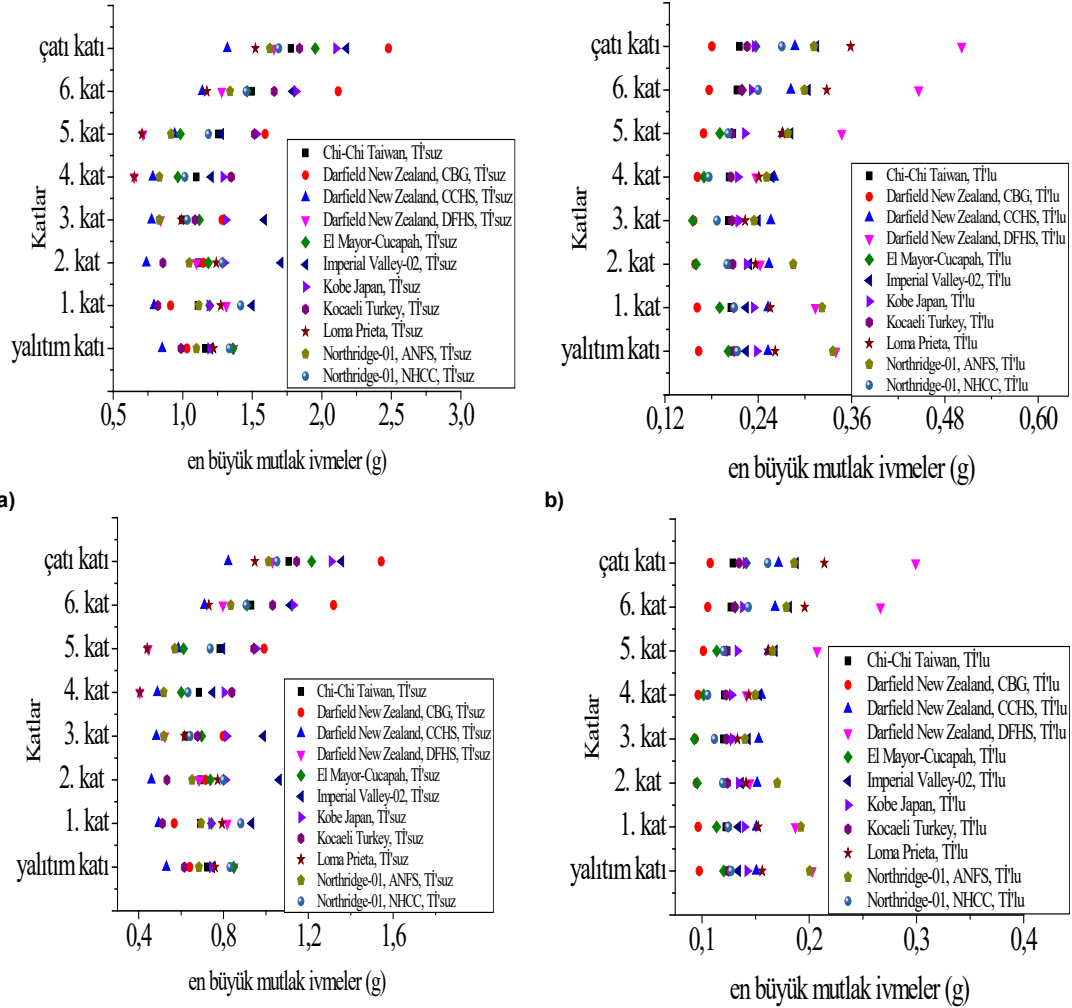


Şekil 6: Hâkim titreşim periyotları  
Figure 6: Dominant vibration periods



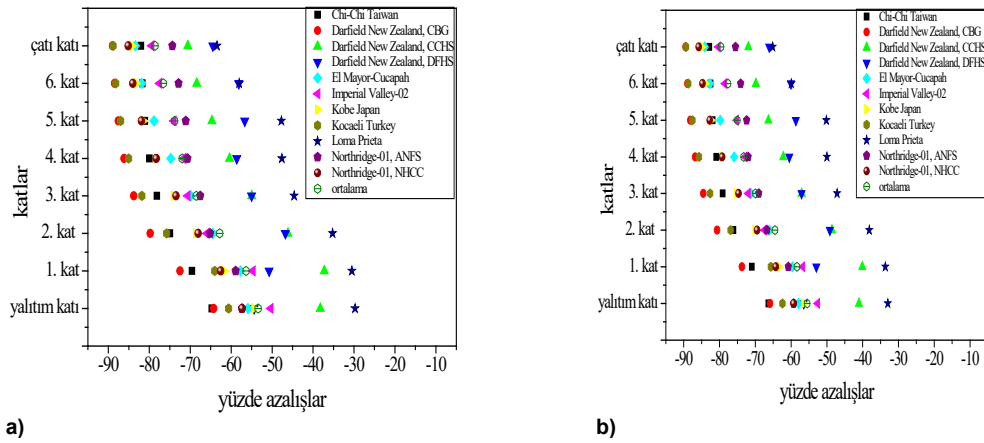
Şekil 7: Ankastre mesnetli modeller için katlarda oluşan en büyük mutlak ivmeler a) DD1 depremi, taban izolasyonsuz, b) DD1 depremi, taban izolasyonlu, c) DD2 depremi taban izolasyonsuz, d) DD2 depremi taban izolasyonlu model

Figure 7: Peak absolute accelerations occurred in stories for fixed based models a) DD1 earthquake, without base isolation, b) DD1 earthquake, with base isolation, c) DD2 earthquake, without base isolation, d) DD2 earthquake, with base isolation

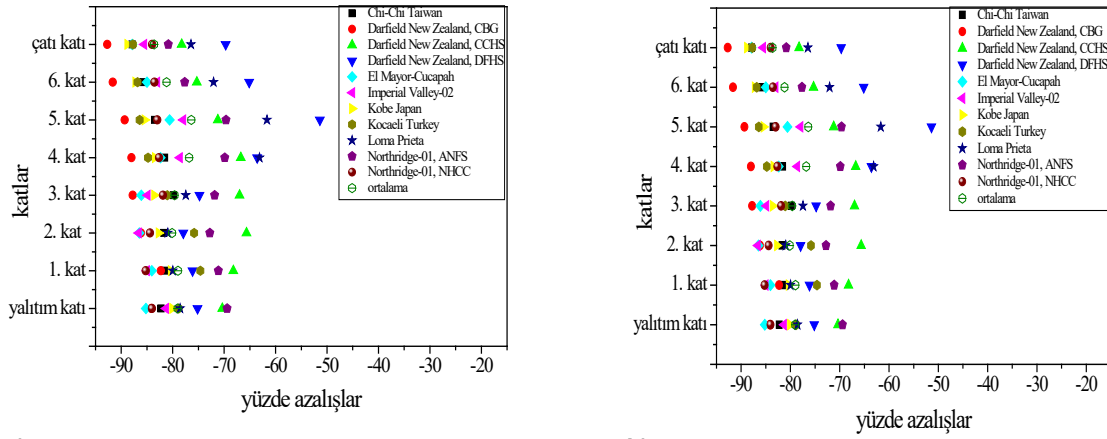


Şekil 8: Zemin-yapı etkileşimli modeller için katlarda oluşan en büyük mutlak ivmeler a) DD1 depremi, taban izolasyonsuz, b) DD1 depremi, taban izolasyonlu, c) DD2 depremi taban izolasyonsuz, d) DD2 depremi taban izolasyonlu model

Figure 8: Peak absolute accelerations occurred in stories for the models considering soil-structure interaction a) DD1 earthquake, without base isolation, b) DD1 earthquake, with base isolation, c) DD2 earthquake, without base isolation, d) DD2 earthquake, with base isolation

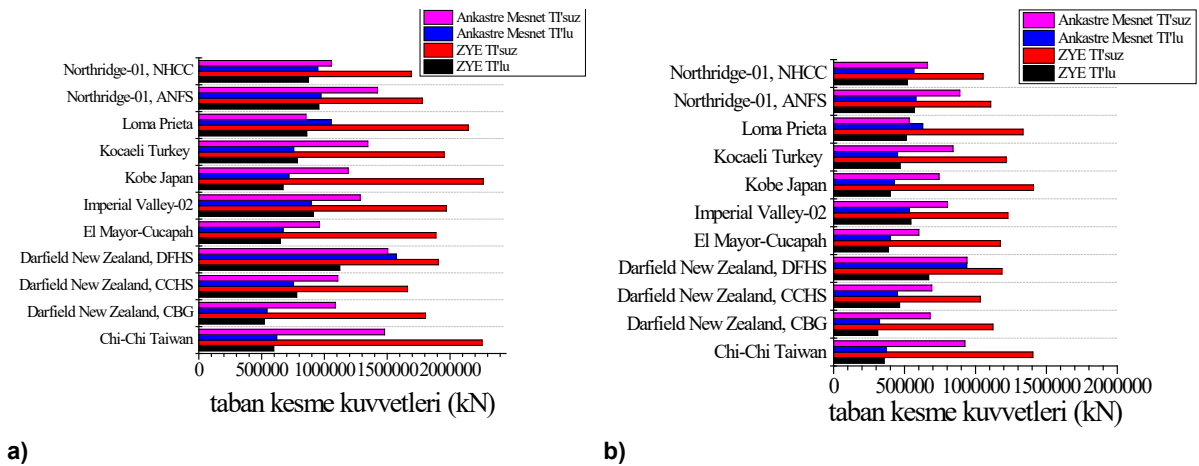


Şekil 9: Ankastre mesnetli modellerde taban izolasyonunun en büyük mutlak ivme azalışını yüzde cinsinden gösteren grafikler a) DD1 deprem düzeyi, b) DD2 deprem düzeyi  
Figure 9: In fixed base models, graphics showing in percent reduction of peak absolute acceleration of base isolation a) DD1 earthquake level, b) DD2 earthquake level



a) **Şekil 10: Zemin-yapı etkileşimli modellerde taban izolasyonunun en büyük mutlak ivme azalışını yüzde cinsinden gösteren grafikler a) DD1 deprem düzeyi, b) DD2 deprem düzeyi**  
 Figure 10: In soil-structure interaction models, graphics showing in percent reduction of peak absolute acceleration of base isolation a) DD1 earthquake level, b) DD2 earthquake level

Şekil 7, 8, 9 ve 10'da yer alan grafikler sismik taban izolasyonunun katlara gelen ivme değerlerini önemli ölçüde (3-10 kat) azalttığını göstermektedir. Taban izolatörü bulunmayan modellerde ivme değerleri yükseklik arttıkça (üst katlara çıkıldıkça) büyük artış gösterirken, sismik taban izolatörü kullanılan modellerde katlardaki ivme değerleri hem çok daha düşük hem de birbirine çok daha yakın seyretmektedir. Yükseklik arttıkça, ivme değerlerini azaltmada sismik taban izolatörünün etkisi daha fazla olmuştur. 11 farklı deprem kaydından elde edilen maksimum ivmelerin medyan değerleri hesaplandığında sismik taban izolatörünün ankastre analiz modelinden bir miktar daha etkili görüldüğü anlaşılmaktadır. Sismik izolatör kullanımı ankastre analiz modelinin çatı katında 7 kat, zemin-yapı etkileşimli modelin çatı katında ise yaklaşık 6 kat azaltmıştır. Zemin katlarda ise ankastre modelde 3 kat, zemin-yapı etkileşimli modelde yaklaşık 4 azaltmıştır. Ölçeklenmiş deprem ivmeleri sonucu modellere etkileyen taban kesme kuvvetleri ise Şekil 11'de verilmiştir.



a) **Şekil 11: Taban kesme kuvvetleri a) DD1 depremi, b) DD2 depremi**  
 Figure 11: Base shear forces a) DD1 earthquake, b) DD2 earthquake

Şekil 11'deki grafikler taban izolatörü kullanımının taban kesme kuvvetlerini önemli ölçüde (deprem ivme kaydı ve deprem ölçeğine göre 3 kata kadar) azalttığını göstermektedir. Grafiklerde ortaya çıkan önemli bir nokta da sismik izolatör kullanılan modellerde analiz yönteminin sonuçlar üzerindeki etkisinin sınırlı olmasıdır. İzolatörlü modellerde ankastre yapı ile 3 boyutlu zemin kütleleri üzerine oturan yapıda oluşan taban kesme kuvvetleri birbirine yakın

değerler almıştır. İzolatör kullanılmayan modellerde ise analiz yöntemine göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan modeller ve deprem ivme kayıtları için zemin-yapı etkileşimli modellerin yapının zemine ankastre modellendiği analizlerinde taban kesme kuvvetleri yapının zemine ankastre modellendiği durumlara göre çok daha yüksek (2 kata kadar) değerler almıştır.

#### 4. TARTIŞMA

Birbirinden çok farklı yer hareketi kayıtları altında analiz edilmiş ve birbirinden çok farklı boyut ve taşıyıcı sistem planlarına sahip binalar için birebir örtüşen sonuçlar elde etmek mümkün olmasa da literatürde bu makaledeki örnek yapıya en yakın çalışmaların sonuçlarına göz atılmış ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçların oluşturduğu aralıklar değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme bu makale sonuçlarının literatürde öngörülen aralıklarda kaldığını göstermektedir.

Bu çalışmadaki örnek yapı için taban izolasyonu kullanımı, yapının doğal titreşim periyodunu yaklaşık 3.5 kat artırmıştır. Literatürde benzer çalışmalar taban izolasyonunun yapı periyodunu 2.5 kattan 4 kata kadar artırdığını doğrulamaktadır. Benzer planlara sahip çalışmalardan Tena-Colunga ve diğ. (2015) çalışmasında zemin-yapı etkileşimli yapıda taban izolatörünün yapının periyodunu yaklaşık 2.5 katına çıkardığını hesaplarken, Polat (2019) çalışmasında kullandığı örnek yapı için taban izolatörünün periyodu yaklaşık 3 katına çıkardığını belirtmiştir. Namous ve diğ. (2022) çalışmalarında ankastre mesnetli yapı modelinde yakın fay depremi altında üst kat en büyük mutlak ivmeyi sismik taban izolatörü ile ortalama olarak %70.3 oranında azaltmıştır. Yapılan çalışmada ise taban izolasyonu ankastre mesnetli yapıda üst kat en büyük mutlak kat ivmelerini DD1 deprem düzeyinde ortalama %78.62 azaltırken, DD2 deprem düzeyinde ise ortalama %79.60 azaltmıştır. Taban izolasyonunun üst kat en büyük mutlak kat ivmelerini azaltma yüzdeleri depremden depreme değişmiştir. Zemin-yapı etkileşimini araştıran çalışmalar incelendiğinde Yanık ve Ulus (2023) çalışmasında taban izolatörünün ortalama mutlak ivmeyi %60 azalttığını göstermektedir. Yapı yüksekliği ve yapı tipi olarak benzer çalışmalarda benzer sonuçlar gözlenmesi taban izolatörünün hesaplanabilir faydalar sunduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır. Örneğin; bu makaledeki modellerde taban izolatörü kullanımı en üst katın ötelenme değerini ortalama %25 oranında azaltırken, Abdeddaim ve diğ. (2022) taban izolatörünün en üst katın ortalama en büyük ötelenmesini yaklaşık %30 azalttığını bulmuştur. Ötelenmeler katlara göre görece hesaplandığında, bu çalışmada taban izolasyonlu modellerin görece kat ötelenmeleri ortalama %92 azalırken, benzer boyut ve taşıyıcı sistem türüne sahip Symans ve diğ. (2002)'nin çalışmalarında taban izolasyonunun görece kat ötelenmelerini %95 azalttığını gözlenmektedir. Taban kesme kuvvetleri bakımından zemin-yapı etkileşimli analizlerin literatürle daha uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Genel olarak zemin-yapı etkileşimli analizlerde izolatör kullanımı taban kesme kuvvetini %55'e yakın azaltmıştır. Namous ve diğ. (2022) çalışmalarında ankastre mesnetli yapıda ortalama taban kesme kuvvetini %46 azalttığını bulmuştur. Papadrakakis ve diğ. (2020) ise zemin-yapı etkileşimi dikkate aldığı anda taban izolatörünün ortalama taban kesme kuvvetini %74'e kadar azalttığını bulmuştur.

#### 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada 8 katlı betonarme bir yapı üzerinde taban izolatörünün etkisi ve yapıyı zemine ankastre mesnetli olarak kabul eden analiz yöntemi ile zemin-yapı etkileşimli analiz yönteminin sonuçlara etkisi incelenmiştir. 2 farklı ölçekte ele alınan 11 farklı yer hareketi kaydı ile gerçekleştirilen analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Sismik taban izolatörü kullanımı yapının periyodunu artırarak yapıda oluşan taban kesme kuvveti, maksimum ivme ve görece kat ötelenmesi gibi etkileri önemli ölçüde sınırlandırmaktadır.
- Sismik taban izolatörü kullanılmayan yapılarda yükseklik arttıkça ivme değerleri önemli ölçüde artarken izolatör kullanıldığında tüm katlarda birbirine yakın ivme değerleri oluşmaktadır.

- Yapıların analizinde zemin etkileşiminin dikkate alınması sonuçları önemli ölçüde değiştirmektedir. Ancak sismik taban izolatörü kullanılması halinde bu değişim ötelenme değerlerinde önemini korurken ivme ve taban kesme kuvvetlerinde sınırlı seviyede kalmaktadır.

## 6. ÖNERİLER

Bu makale çalışmasında yumuşak zemine oturan 8 katlı betonarme bir yapı örneği ele alınmıştır. Farklı zemin ve yapı türlerini dikkate alan çalışmalarla bu makalede ulaşılan sonuçların yaygınlaştırılması faydalı olacaktır.

## KAYNAKLAR

Abdeddaim M., Djerouni S., Ounis A., Athamnia B., Noroozinejad Farsangi E., 2022. Optimal design of Magnetorheological damper for seismic response reduction of Base-Isolated structures considering Soil-Structure interaction, *Structures*, 38, 733-752. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.02.039>.

Abdulkadir G., Kuvat A., Sesli H., 2022. A study on efficiency of perfectly matched layer (PML) for seismic soil-structure interaction, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(1), 467-486.

Akehashi H., Takewaki I., 2021. Critical Analysis of Nonlinear Base-Isolated Building Considering Soil-Structure Interaction under Impulsive and Long-Duration Ground Motions, *Geotechnics*, 1(1), 76-94. <https://www.mdpi.com/2673-7094/1/1/5>.

Ates S., Yurdakul M., 2011. Site-response effects on RC buildings isolated by triple concave friction pendulum bearings, *Computers and Concrete*, 8(6), 693-715, <https://doi.org/10.12989/cac.2011.8.6.693>.

Çerçevik A.E., 2019. Bina ve köprü tipi yapılarda pasif yapısal kontrol sistemlerin sezgisel algoritmalar ile optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.

Deringöl A.H., Güneyisi E.M., 2021. Influence of nonlinear fluid viscous dampers in controlling the seismic response of the base-isolated buildings, *Structures*, 34, 1923-1941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.106>.

Gürbüz A., Tekin M., 2017. Farklı tip betonarme binalar için geliştirilmiş hasar tahmin yöntemleri, *Teknik Dergi*, 28(4), 8051-8076.

Karabörk T., Deneme İ.Ö., Bilgehan R.P., 2010. Temeli izole edilen yapılarda dinamik yapı-zemin etkileşimi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1): 77-87.

Kayıkçı F.Y., Gürbüz A., 2023. Evaluation of 10-Storey Reinforced Concrete Building by Nonlinear Dynamic Analyses Considering Soil-Structure Interaction, *Sciennovation*, 4(2), 16-25.

Luco J.E., 2014. Effects of soil-structure interaction on seismic base isolation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 167-177.

Namous R.M., El Korany T.M., Khalifa T., ELkhoreby S.R., 2022. Seismic Response of Seismic Isolated Structures subject to Near Fault & Far Fault Ground Motions, *Journal of Engineering Research*, 6(5), 75-82.

Papadrakakis M., Fragiadakis M., Papadimitriou C., 2020. The Role of Non-Linearity in the Seismic Assessment of a Base Isolated Benchmark Building with Soil Structure Interaction Effects, XI International Conference on Structural Dynamics, Athens, Greece.

PEER, 2023. PEER Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), University of California, Berkeley, Erişim adresi: <https://ngawest2.berkeley.edu>.

Polat H.İ., 2019. Betonarme Bir Yapıda Geleneksel Yöntem ve Taban İzolatörü Kullanımının Karşılaştırmalı Analizi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 43-54.

Radkia S., Rahnavard R., Tuwair H., Gandomkar F.A., Napolitano R., 2020. Investigating the effects of seismic isolators on steel asymmetric structures considering soil-structure interaction, *Structures*, 27, 1029-1040, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.019>.

Symans M.D., Cofer W.F., Fridley K.J., 2002. Base Isolation and Supplemental Damping Systems for Seismic Protection of Wood Structures: Literature Review, *Earthquake Spectra*, 18(3), 549-572, <https://doi.org/10.1193/1.1503342>.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

Tena-Colunga A., Eduardo Pérez-Rocha L., Avilés J., Cordero-Macías C., 2015. Seismic isolation of buildings for power stations considering soil-structure interaction effects, *Journal of Building Engineering*, 4, 21-40, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.08.001>.

Yanik A., Ulus Y., 2023. Soil-Structure Interaction Consideration for Base Isolated Structures under Earthquake Excitation, *Buildings*, 13(4), 915. <https://doi.org/10.3390/buildings13040915>.

Yıldız Ö., Doğan E., Yamak F.B., 2021. Seismic Soil-Structure Interaction of a Masonry Structure: Sungurbey Mosque, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 237-249.

#### **ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)**

Çalışma kapsamında kullanılan bina ve zemin verileri yazarlar tarafından oluşturulmuş. Çalışmada alıntılanan malzeme ve teorik veriler ise atıf verilerek referanslarda belirtilmiştir.

#### **ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)**

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması ve çıkar ilişkisi bulunmamaktadır. Araştırma kapsamında yer alan bilgiler; herhangi bir kişiye, kuruma, ekipmana ait değildir. Çalışma kurgusal bir model üzerinde gerçekleştirilmiştir.

#### **YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)**

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): A.G.
- Literatür araştırması (*Literature research*): F.Y.K.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): A.G., F.Y.K.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): F.Y.K., A.G.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): F.Y.K.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): A.G.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): F.Y.K.