

TABAN YALITIMLI BİNALARDA DÜŞEY YER HAREKETİNİN TABAN KESME KUVVETLERİNE ETKİSİ

Yıldız M.G.¹, Çelik M.¹ ve Fahjan Y.M.²

¹ İnşaat Yük. Müh., Sismodinamik Müşavir Mühendisler, İstanbul

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

ÖZET:

Türkiye’de son yıllarda binalarda sismik taban yalıtımının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Taban yalıtımlı sistemlerin modellenmesi, analizi ve tasarımı konvansiyonel yapılardan önemli ölçüde ayrılmaktadır. Bu tür yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ve karşılaşılan tasarım sorunlarıyla ilgili çözümler hakkında alternatif tasarım yaklaşımlarına gereksinim duyulabilmektedir. Analizlerde yer ivmesi kayıtlarının düşey bileşeninin kullanılması zaman tanım alanında yapılan analiz sonuçlarını değiştirebilmekte ve sürtünmeli sarkaç tip izolatörlü sistemlerde tasarım taban kesme kuvvetlerini artırabilmektedir. Bu çalışmada, örnek bir yapısal model üzerinde söz konusu artışın mertebesinin belirlenmesi ve bu durumun bina tasarımına olan etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Sismik Taban Yalıtımı, Sürtünmeli Sarkaç Tip İzolatör, Zaman Tanım Alanında Hesap, Düşey Yer İvmesi Bileşeni.

THE EFFECT OF THE VERTICAL GROUND MOTIONS ON DESIGN BASE SHEAR OF BASE ISOLATED BUILDINGS

ABSTRACT:

In recent years, the use of seismic base isolation systems in buildings is becoming widespread in Turkey. Modeling, analysis and design of base isolated systems differ significantly from conventional structures. Alternative design approaches may be required for the design of such structures and solutions to the design problems encountered. Using the vertical component of the ground motion records in the analysis can change the time history analysis results and increase the design base shear forces in friction pendulum type isolator systems. The aim of this study is to determine the degree of the mentioned increase on a sample structural model and to evaluate the effects of this situation on design of the building.

KEYWORDS: Seismic Isolation, Friction Pendulum Type Isolator, Time History Analysis, Vertical Component of Ground Motion.

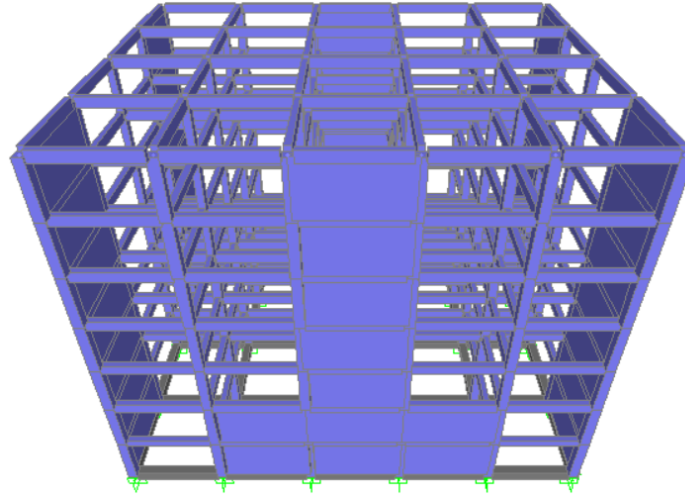
1. GİRİŞ

Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanıldığı taban yalıtımlı yapılarda depremin düşey yer ivmesi bileşeninin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde dikkate alınması tasarım taban kesme oranlarını artırabilmektedir. Bu çalışmada, örnek bir yapısal model üzerinde söz konusu artışın mertebesi belirlenecek ve bu durumun bina tasarımına olan etkileri değerlendirilecektir.

2. YAPISAL MODEL

Örnek çalışma konusu yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve (kolon-kiriş) ve perde duvarlardan oluşmaktadır. Yapıda her iki plan doğrultusunda da rijit betonarme perdeler yer almaktadır. Bina toplamda 7 katlı olup aks açıklıkları her iki plan doğrultusunda da 8.3m olarak teşkil edilmiştir. Kat yükseklikleri tüm katlarda 4.8m'dir. Binada her bir betonarme kolon altında bir izolatör bulunmakta olup sistemde toplam 30 adet eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatör mevcuttur.

Yapının bilgisayar modelinde kolon ve kirişler çubuk eleman, perdeler kabuk (shell) eleman izolatörler ise link eleman olarak modellenmiştir. İzolatörler düşey ve yatay etkin rijitlikleri ve doğrusal olmayan özellikleri tanımlanarak modellenmiştir. Yapısal model Sap2000 yapısal analiz programı kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 1: Yapısal analiz modeli

Zaman tanım alanında analizlerde iki bileşenli yer kayıtlarına ilave olarak deprem kayıtlarının düşey bileşenleri de ilave edilmiştir. Yürütülecek analizler kapsamında depremin düşey bileşenin dahil edildiği ve dahil edilmediği iki farklı model oluşturulmuştur. Depremin düşey bileşeninin bina taban kesme oranlarına etkisi bu iki model için yürütülen analiz sonuçları kıyaslanarak belirlenecektir. Tasarım ivme spektrumuna ilişkin karakteristik spektral ivmeler S_{as} : 0.83g ve S_{d1} : 0.475g olarak belirlenmiştir.

2.1. İzolatör ve izolasyon sistemi eşdeğer özellikleri

Sismik yalıtım sisteminde iki yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılmış olup, izolatör efektif eğrilik yarıçapı R_{eff} : 4.5m, izolatör başlangıç yatay rijitliği k_1 : 7,700 kN/m, nominal sürtünme katsayısı $\mu_{nominal}$: 0.042 olarak seçilmiştir. Binanın toplam sismik ağırlığı ($G+0.5Q$) W_T : 194,140 kN, bir izolatör için ortalama düşey ağırlık W_i : 6470 kN olarak bulunmuştur. Üst yapı kütlelerinin tek serbestlik dereceli bir sistemde yığılı olduğu kabulüne dayanarak izolasyon sistemi eşdeğer sistem karakteristikleri belirlenmiştir. Tasarım deprem etkisi altında

taban yalıtım sisteminde oluşan deplasman talepleri ve taban kesme oranı, izolatörlerin nominal özellikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Seçilen izolatör özellikleri için tasarım deprem etkisi altında yürütülen eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem analizlerine göre taban yalıtım sistemi tasarım deplasman talebi D_D : 0.215 m, etkin sönüm ξ_D : %30, etkin periyot T_D : 3.10 s., taban kesme oranı ise V_D/W = %9.0 olarak hesaplanmıştır.

2.2. Taban yalıtımlı sistemin titreşim modları

Bina yapısal modeli için yürütülen modal analiz sonuçlarına göre düşey doğrultudaki titreşim modlarının kütle katılım oranları toplamının %99 oranına yakın elde edilebilmesi için ilk 100 modun dinamik analizlerde dikkate alınması yeterli bulunmuştur. Düşey titreşim modlarının kütle katılım oranlarının %97'sini kapsayan (ilk 36 mod) modlara ilişkin katılım oranları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

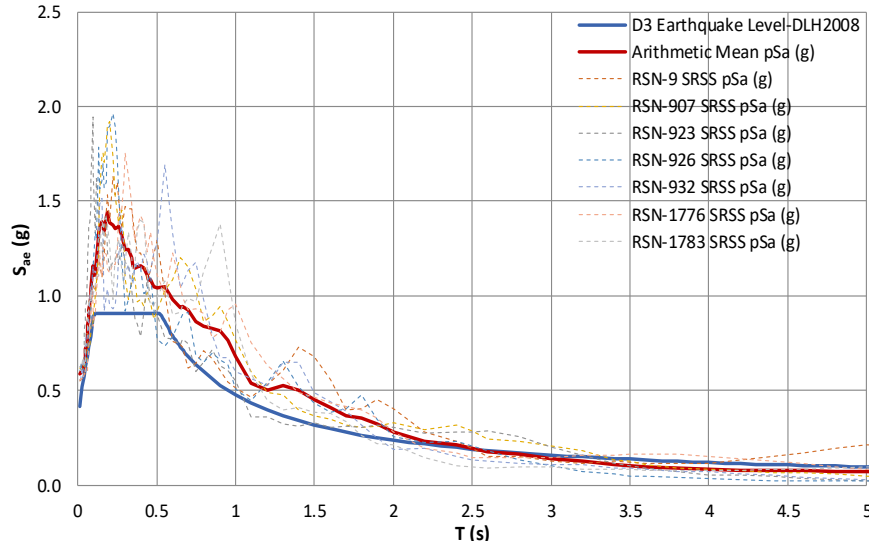
Tablo 1: Yapısal model modal analiz sonuçları

Etkin Modlar	Periyot (s.)	Modal Kütle Katılım Oranı			
		U_x	U_y	U_z	R_z (Burulma)
1	3.26	0.14%	99.16%	0.00%	40.25%
2	3.23	97.50%	0.23%	0.00%	46.56%
3	3.12	2.34%	0.51%	0.00%	13.14%
4	0.49	0.00%	0.10%	0.00%	0.04%
7	0.17	0.00%	0.00%	52.94%	0.00%
8	0.16	0.00%	0.00%	2.16%	0.00%
10	0.14	0.00%	0.00%	8.96%	0.00%
11	0.14	0.00%	0.00%	1.76%	0.00%
13	0.13	0.00%	0.00%	6.81%	0.00%
17	0.13	0.00%	0.00%	8.02%	0.00%
18	0.12	0.00%	0.00%	2.87%	0.00%
19	0.12	0.00%	0.00%	1.80%	0.00%
22	0.12	0.00%	0.00%	3.45%	0.00%
27	0.11	0.00%	0.00%	2.45%	0.00%
36	0.06	0.00%	0.00%	2.11%	0.00%
	Σ	100.00%	100.00%	97.53%	100.00%

3. YAPISAL MODEL ve ANALİZ SONUÇLARI

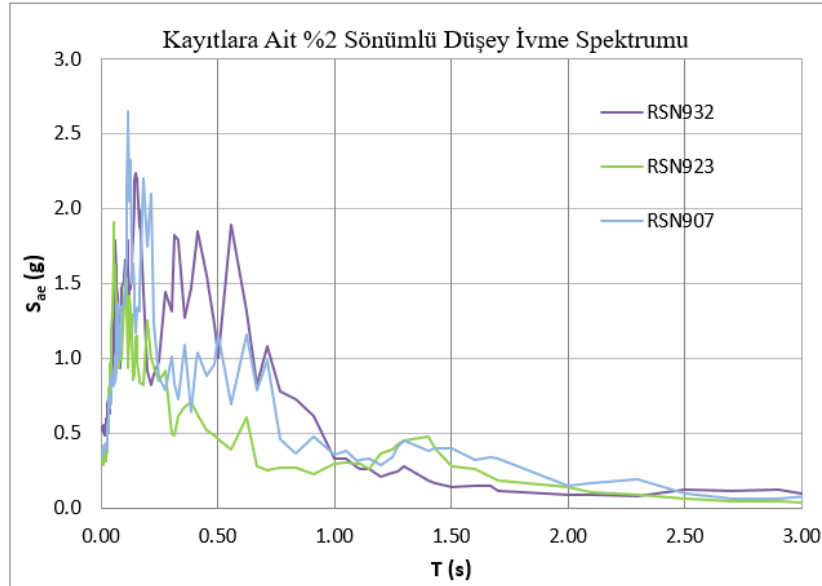
Yalıtımlı yapıda taban kesme oranlarının zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerle belirlenmesi kapsamında tasarım spektrumuyla uyumlu ölçeklendirilmiş yedi adet yer hareketi seçilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler düşey yer bileşeninin taban kesme oranlarına etkisinin belirlenmesi

amacıyla gerçekleştirileceğinden ölçeklendirilmiş yedi kayıt çifti yerine üç kayıt çiftinin (RSN-907, RSN-923 ve RSN 932 İvme Kayıtları) kullanılması yeterli görülmüştür.



Şekil 2: Tasarım depremine uyumlu olarak seçilen yer hareketi kayıtlarının %5 sönümlü ivme spektrumları.

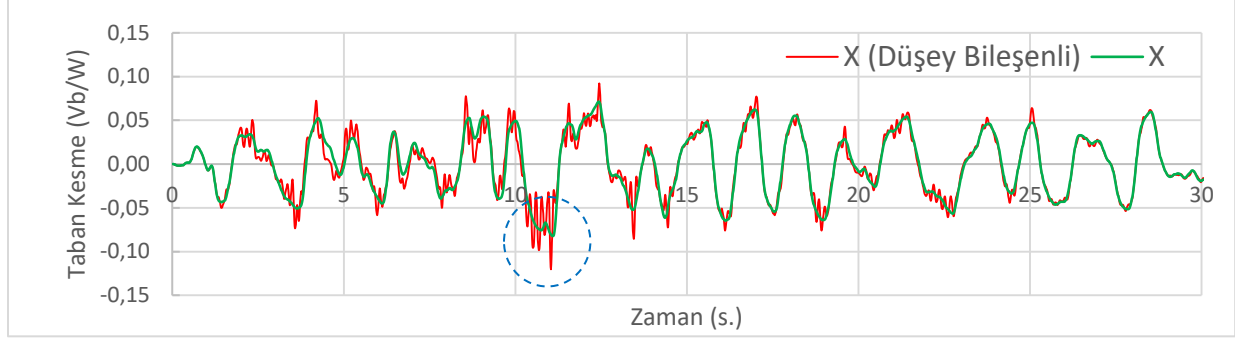
Seçilen üç kayıt çiftinin (RSN-907, RSN-923 ve RSN 932 İvme Kayıtları) düşey bileşenlerine ilişkin %2 sönümlü ivme spektrumları aşağıdaki grafikte verilmiştir. Düşey yer ivme kayıtlarına uygulanan ölçek katsayıları, yatay yer bileşenleri için uygulanan katsayılarla eşit alınmıştır.



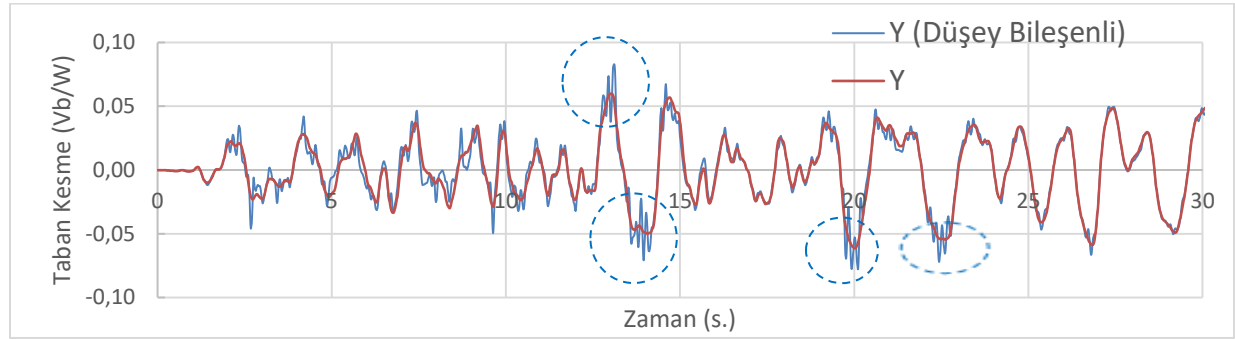
Şekil 3: İvme kayıtlarının düşey bileşenine ait %2 sönümlü ivme spektrumu.

Deprem hareketinin bileşenleri ilk modele üç doğrultuda, ikinci modele ise iki yatay doğrultuda eş zamanlı olarak etkilmiştir. İlk üç izolasyon titreşim modu sönümsüz olarak dikkate alınmıştır. Üst yapılarla ilişkili diğer titreşim modlarında %2 modal sönüm oranı kullanılmıştır.

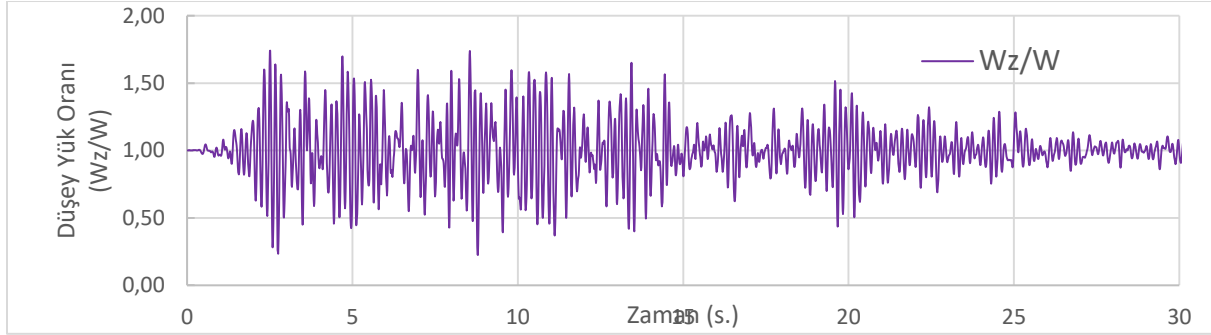
Analizler sonucu depremin düşey bileşeninin dahil edildiği ve dahil edilmediği modeller için elde edilen “X” ve “Y” yönü taban kesme kuvveti oranı değişimi ve düşey yükün düşey bileşen etkisiyle değişimi (W_z/W) karşılaştırmalı olarak aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



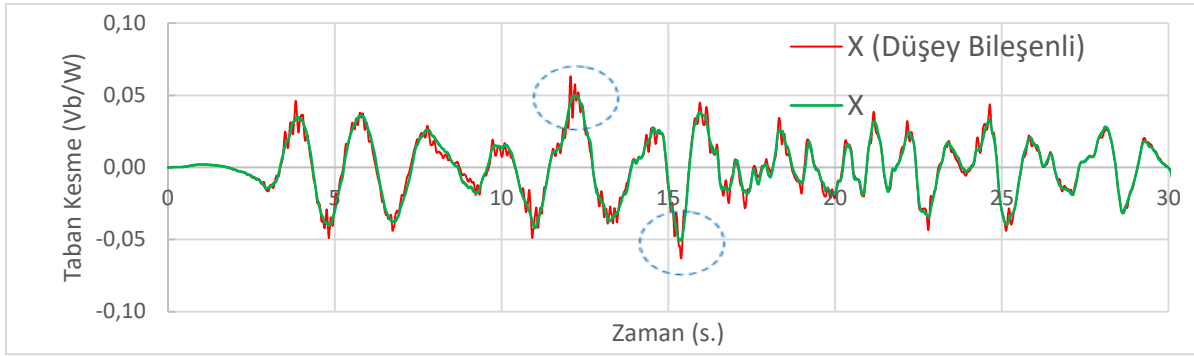
Şekil 4: RSN-932, düşey bileşen var/yok “X” yönü taban kesme oranı



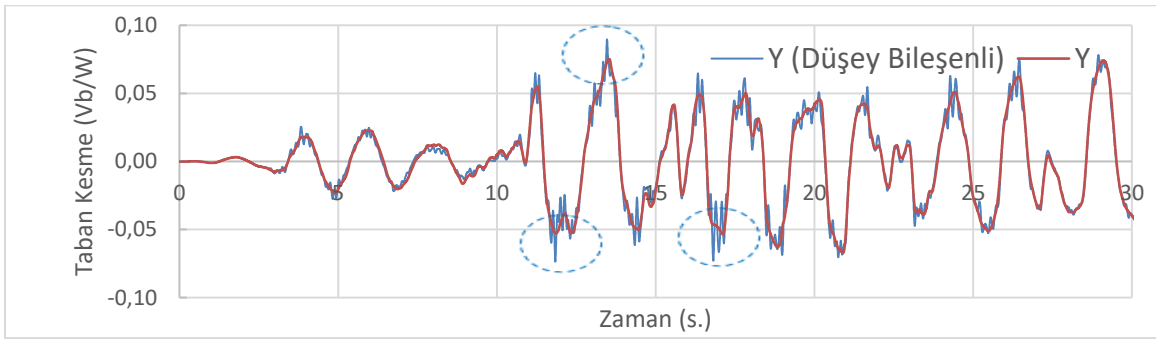
Şekil 5: RSN-932, düşey bileşen var/yok “Y” yönü taban kesme oranı



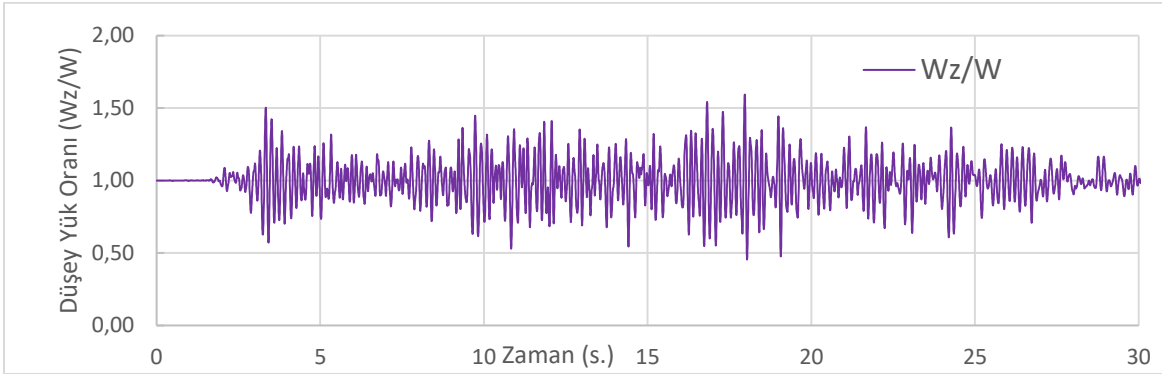
Şekil 6: RSN-932, düşey bileşenli model düşey yük değişim oranı



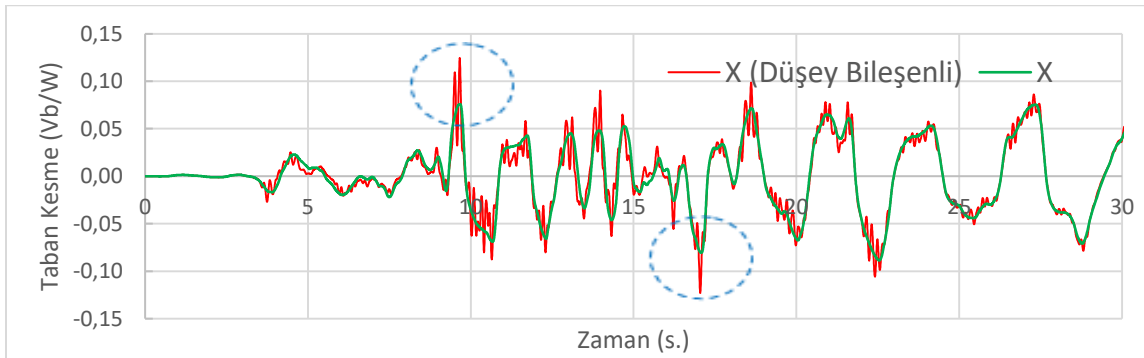
Şekil 7: RSN-923, düşey bileşen var/yok "X" yönü taban kesme oranı



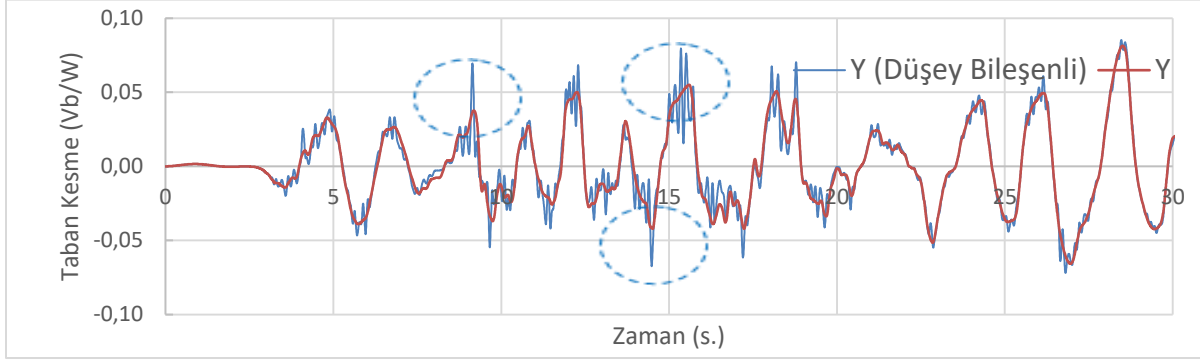
Şekil 8: RSN-923, düşey bileşen var/yok "Y" yönü taban kesme oranı



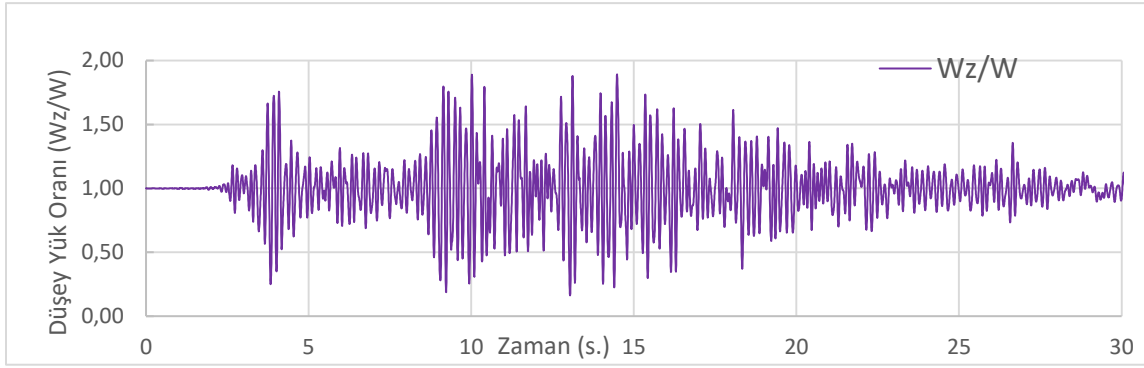
Şekil 9: RSN-923, düşey bileşenli model, düşey yük değişim oranı



Şekil 10: RSN-907, düşey bileşen var/yok "X" yönü taban kesme oranı



Şekil 11: RSN-907, düşey bileşen var/yok “Y” yönü taban kesme oranı



Şekil 12: RSN-907, düşey bileşenli model düşey yük değişim oranı

Düşey ivme bileşeninin yatay kesme oranlarında sıçrama yarattığı bölgeler grafiklerde daire içinde gösterilmiştir. Bu sıçramaların frekansı, yapının düşey hâkim periyodunu ($T_v = 0.17\text{sn}$) yansıtmaktadır. Grafiklerden, tüm yer kayıtlarında depremin düşey ivme bileşeninin bina taban kesme oranlarını belli mertebelerde değişikliğe uğrattığı görülmektedir. Bu etki RSN 932 ve RSN 907 kayıtları için daha belirgin olarak elde edilmiş olup, düşey bileşenin dahil edildiği modelde taban kesme oranının 1.5 kat (RSN 932 kaydı) mertebesine kadar artış gösterdiği görülmektedir.

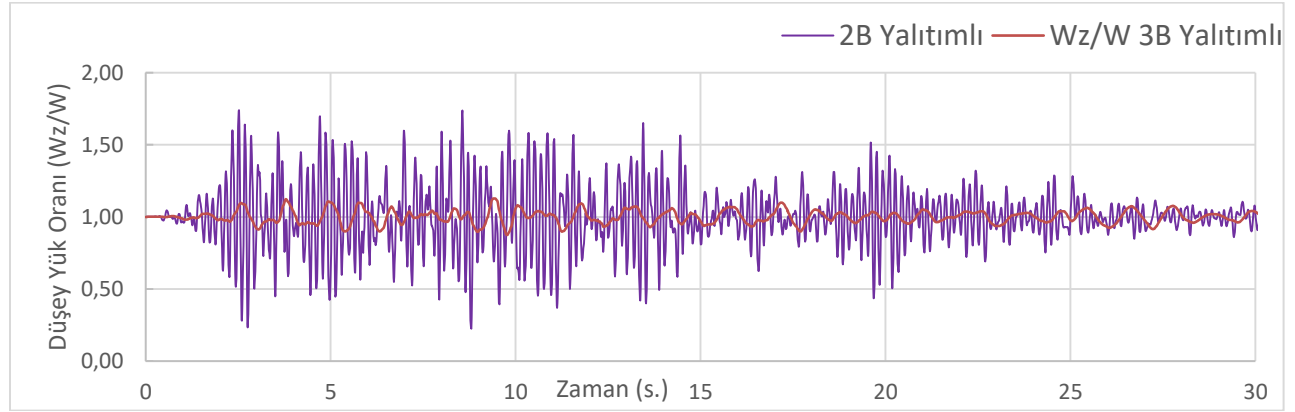
Tablo 2: Düşey bileşenli ve düşey bileşenin olmadığı modellerde elde edilen taban kesme oranları.

Deprem Kaydı	Düşey Bileşenli Analiz Modeli			Düşey Bileşensiz Analiz Modeli	
	Maksimum Taban Kesme Oranı "X" Yönü	Maksimum Taban Kesme Oranı "Y" Yönü	Maks. ve Min. Düşey Yük Oranı	Maksimum Taban Kesme Oranı "X" Yönü	Maksimum Taban Kesme Oranı "Y" Yönü
RSN932	12.00%	8.00%	22% - 174%	8.00%	6.00%
RSN923	9.00%	9.00%	45% - 159%	9.00%	8.00%
RSN907	12.00%	9.00%	16%- 189%	9.00%	8.00%

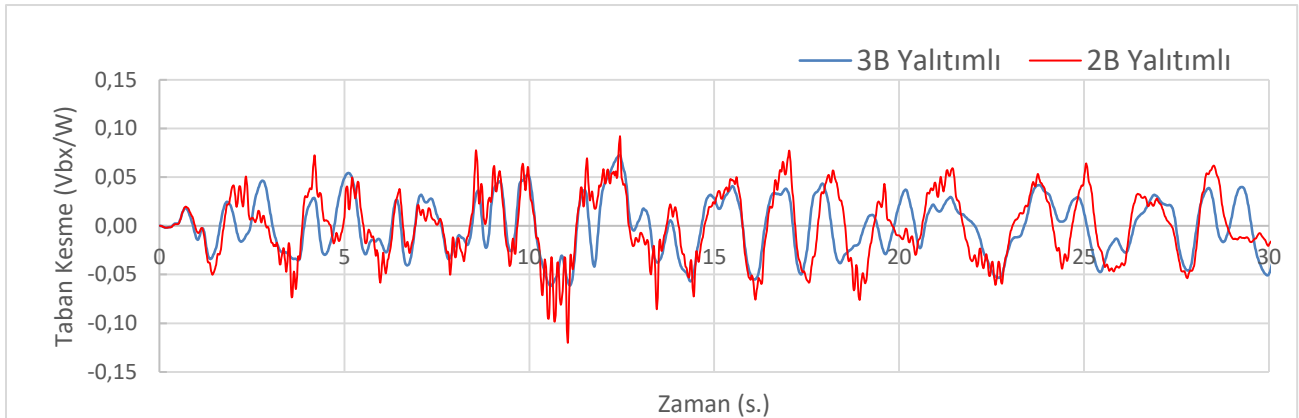
4. ÜÇ BOYUTLU SİSMİK YALITIM

Yürütülen analizler neticesinde düşey yer hareketinin binadaki düşey yükleri 0.2~1.8 kat mertebesinde değişikliğe uğrattığı görülmektedir. Düşey yüklerde oluşan artışlar izolatördeki sürtünme nedeniyle taban kesme oranlarını da önemli ölçülerde etkilemektedir. Düşey yük değişimleri izolatörlerdeki sürtünme ile sağlanan sönümü de önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı yapıda düşey yönde de sismik yalıtım yapılmasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu doğrultuda yapısal modelde her bir sürtünmeli sarkaç izolatör kaidesine bağlı dikey doğrultuda çalışan helisel yaylar kullanılarak düşey yönde de yalıtım uygulamasına gidilmiştir. Düşey yalıtım sisteminde helisel yaylara paralel olarak çalışan viskoz damperler de kullanılmıştır.

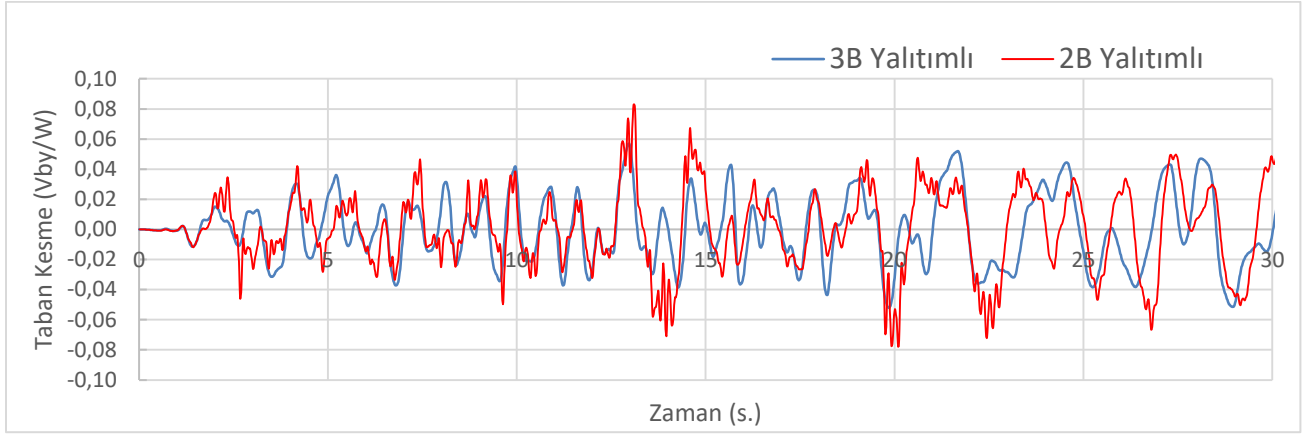
Kullanılan ivme kayıtlarının düşey bileşenine ait %2 sönümlü ivme spektrumu (bkz. Şekil 3) incelendiğinde $T_v:1\text{sn}$ periyodu sonrasındaki spektral ivmelerin büyük oranda azalım gösterdiği görülmektedir. Bu doğrultuda her bir sürtünmeli sarkaç izolatör kaidesine bağlı helisel yay sisteminin düşey rijitliği 20.000kN/m olarak seçilmiştir. Düşey yalıtım sisteminin hakim titreşim periyodu $T_v:1.15\text{ sn}$ olarak hesaplanmıştır. Düşey yalıtım sisteminde helisel yaylara paralel olarak çalışan ilave viskoz damperlerin sönüm katsayısı $C:1000\text{ kN.s/m}$ olarak seçilmiş olup bu damperlerin yalıtım sistemine sağladığı kritik sönüm oranı $\xi:\%14$ olarak hesaplanmıştır. Sistem düşey yük değişiminin ve taban kesme oranı artışının nispeten daha yüksek olduğu RSN-932 yer kaydı kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 13: RSN-932 kaydı, 3B ve 2B yalıtımlı yapı modellerinde düşey yük değişim oranı

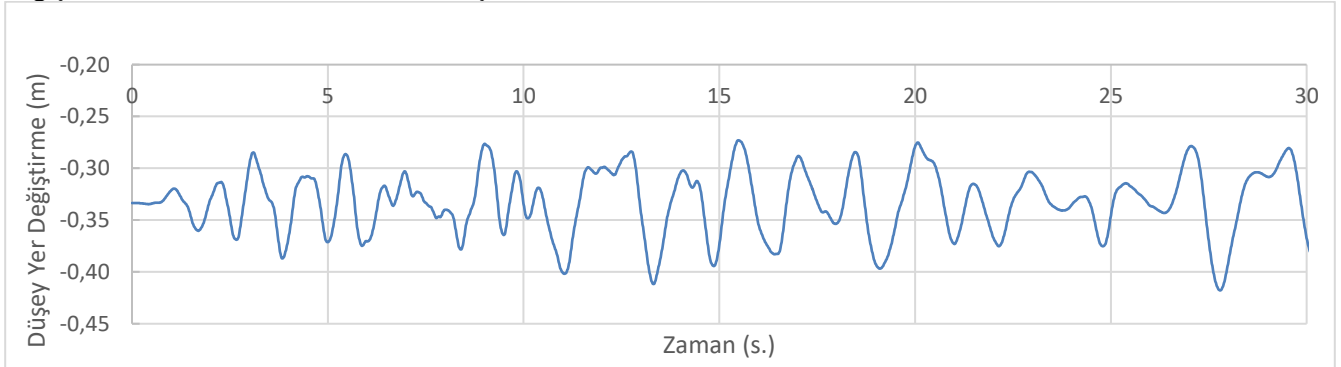


Şekil 14: RSN-932 kaydı, 3B ve 2B yalıtımlı yapı modellerinde "X" yönü taban kesme oranı



Şekil 15: RSN-932 kaydı, 3B ve 2B yalıtımlı yapı modellerinde “Y” yönü taban kesme oranı

3B yalıtımlı modelin analiz sonuçlarına göre düşey yer hareketinin bina üzerindeki etkinliğinin önemli ölçülerde azaltılabildiği görülmektedir. 2B yalıtımlı modelde düşey yer hareketinin binadaki düşey yükleri 0.2~1.8 kat mertebesinde değişikliğe uğrattırken bu oran 3B yalıtımlı modelde 0.87~1.13 kat mertebesinde elde edilmiştir. 3B yalıtımlı modelde maksimum taban kesme oranı ise %7 olarak elde edilmiş olup düşey yer bileşeninin taban kesme kuvvetine etkisi tamamen ortadan kalkmıştır. Düşey yalıtım sisteminde oluşan maksimum düşey yer değiştirme değişimleri ise ± 8 cm olarak elde edilmiştir.



Şekil 16: RSN-932 kaydı, 3B yalıtımlı yapıda oluşan düşey yer değiştirme

5. SONUÇLAR

Sürtünmeli sarkaç izolatorlerin kullanıldığı taban yalıtımlı yapılarda depremin düşey yer ivmesi bileşeninin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde dikkate alınması yer ivmesi kayıtlarına bağlı olarak tasarım taban kesme oranlarını 1.1~1.5 kat mertebesinde artırdığı, düşey yüklerde ise 0.2~1.8 kat mertebesinde değişiklik meydana getirdiği görülmüştür. Düşey yer bileşeninin üst yapıda yarattığı bu olumsuz etkinin düşey yönde de sismik yalıtım yapılarak elimine edilmesinin mümkün olabileceği görülmüştür.

Özellikle faya yakın bölgelerde maksimum düşey yer ivmesi genliklerinin yatay bileşenlerden yüksek olabildiği bilinmektedir (22/02/2011 Mw6.9 Christchurch Depremi). Bu çalışma neticesinde özellikle yakın saha fay etkisine maruz sürtünmeli sarkaç izolatorlerden oluşan taban yalıtımlı yapı sistemlerinde düşey bileşeninin, yapı sisteminin düşey salınım özelliklerinden bağımsız olarak, analizlerde dikkate alınmasının gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

ASCE-7-16 (2016), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, United States of America

ASCE/SEI 41/17 (2017), Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, United States of America

Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. EN 1998-1:2005. Comitee Europeen de Normalisation, Brussels; 2005

TBDY (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete

Architectural Institute of Japan, AIJ, (2016), 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