

Determination of Dynamic Characteristics of High Rise Buildings By Shake Table Tests

*Hakan Öztürk, Gökhan DOK ve Aydın Demir
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Abstract:

Horizontal components of earthquake loads are taken into account in the seismic design of constructions. One of the main structural members resisting horizontal components of earthquake load are shear walls placed in their stiffer direction on a structural system. Because of the fact that direction of the earthquake loads cannot be foreseen, shear walls should be located in both main horizontal directions. In the study, a symmetric 28-story high rise building model consisting of similar shear wall ratio in both horizontal direction is produced by using balsa wood laths and sheets. The model is tested under 3 different earthquake records on a shake table test setup. Moreover it is numerically modeled and analyzed by using SAP2000 finite element (FE) program considering same earthquake records. The damping ratio of the FE model is determined by a free vibration test and modulus of elasticity and unit weight of members are obtained by the tests conducted on the members and structural system. The results of numerical and experimental studies are compared in terms of top acceleration, velocity and displacements. It is deduced from the results that FE model is highly successful to simulate dynamic behavior of the experimental model.

Key words: Finite element analysis, Shake table test, Timber structure, Balsa wood

Yüksek Yapı Dinamik Karakteristiklerinin Sarsma Tablası Deneyleri ile Belirlenmesi

Özet:

Yapıların deprem hesabında deprem yüklerinin yatay bileşenleri dikkate alınmaktadır. Yatay deprem yüklerinin karşılanması en önemli yapı elemanları olan perdeler rijit oldukları doğrultuda yerleştirilmektedir. Deprem yönünün önceden tahmin edilememesi nedeni ile perde elemanlar yapılar her iki doğrultuda yerleştirilmelidir. Bu çalışmada, balsa ağacından elde edilmiş çıta ve levhalar kullanılarak kolon, kiriş, perde ve temel gibi taşıyıcı sistem elemanları yardımıyla, 28 katlı her iki doğrultuda simetrik ve her iki doğrultuda eşit perde oranına sahip yapı modeli oluşturulmuştur. Model yapı sarsma tablası üzerinde 3 farklı deprem kaydı kullanılarak deneysel olarak test edilmiştir. Ayrıca model yapı SAP2000 programı yardımı ile modellenerek aynı deprem kayıtları etkisi altında nümerik olarak analiz edilmiştir. Yapılan sonlu eleman analizlerinde kullanılan sönüm oranı serbest titreşim deneylerinden, elastisite modülü ve birim hacim ağırlık değerleri ise eleman ve sistem üzerinde yapılan deneyler sonucu belirlenmiştir. Nümerik ve deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen yapı dinamik karakteristikleri, tepe noktası ivme, hız ve yer değiştirme değerleri açısından kıyaslanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde oluşturulan sonlu eleman modelinin deneysel model davranışını doğru bir şekilde temsil ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sonlu eleman analizi, sarsma tablası deneyi, ahşap yapı, balsa

1. Giriş

Yanlış ya da bilinçsiz yapı tasarımı tercihi, deprem esnasında birçok yapının hasar görmesine veya yıkılmasına neden olmaktadır [1]. Yaşanılan depremlerin ardından yapılan incelemeler sonucunda, perdeli çerçeve sistem yapıların, sadece çerçeve sistem yapılara oranla deprem performanslarının daha iyi olduğu tespit edilmiştir [2]. Yüksek katlı yapılarda perdeler, yatay deprem yüklerinin karşılanmasında yeterli dayanım ve rijitlik sağlamanın yanı sıra yapılarda önemli hasarlara neden olan görelî kat ötelemelerini de sınırlandırmaktadır. Aynı zamanda perdeler çerçeveler ile birlikte kullanılarak daha sünek taşıyıcı sistemler meydana getirilebilir [3].

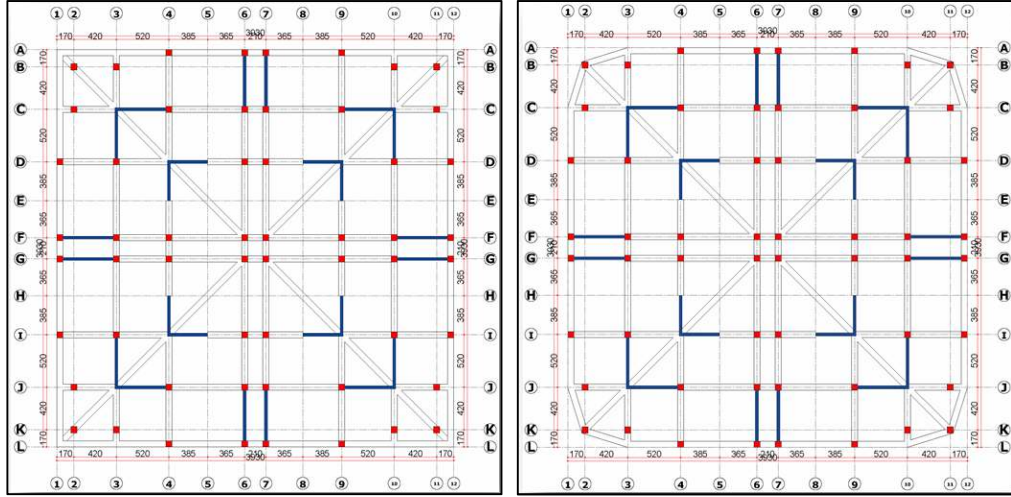
Literatürde, kesme kuvveti etkisindeki yapılarda, perdelerin betonarme yapılarda davranışa etkisi, perde kalınlığının, konumunun ve oranının değişiminin etkisi süneklik, rijitlik ve dayanım açısından incelenmiştir [4, 5, 6, 7, 8]. Ayrıca perdeli ve çerçeve sistemlerde perde sayı ve konumunun davranışa etkisi, deprem yükleri etkisi altında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak da incelenmiştir. Balsa ağacı kullanılarak oluşturulan model yapıların sarsma tablası üzerindeki davranışları farklı yükler etkisinde araştırılmıştır [1, 2, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Gerçek boyutlarda yüksek katlı betonarme yapılar üzerinde deneylerin gerçekleştirilmesi neredeyse imkansızdır. Ölçeklendirilmiş yapılar veya çerçeve sistemler üzerine deneylerin yapılması nispeten daha kolaydır. Bu nedenle bu çalışmada, balsa ağacından elde edilmiş çita ve levhalar kullanılarak kolon, kiriş, perde ve temel gibi taşıyıcı sistem elemanlar yardımıyla, 28 katlı her iki doğrultuda simetrik ve her iki doğrultuda eşit perde oranına sahip bir yapı modeli oluşturulmuştur. Model yapı sarsma tablası üzerinde 3 farklı deprem kaydı kullanılarak deneysel olarak test edilmiştir. Ayrıca model yapı SAP2000 programı [15] yardımı ile de modellenerek aynı deprem kayıtları etkisi altında nümerik olarak incelenmiştir.

2. Malzeme Özellikleri ve Yapı Modeli

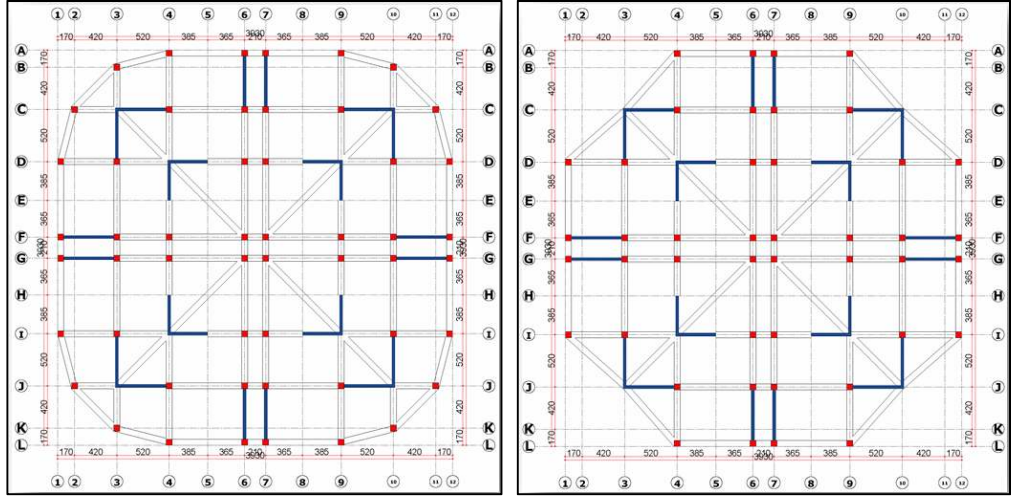
Model yapıya ait kolon ve kirişler, balsa çitaları (60x60 mm) kullanılarak, perde ve temel taşıyıcı elemanlar ise balsa levhalar (30x100 mm) kullanılarak oluşturulmuştur. 1/60 ölçekli oluşturulan model yapıda 4 farklı kat planı oluşturulmuş ve döşeme plakları kullanılmamıştır (Şekil 1). Ancak döşeme yerine toplu kütleli sistem oluşturmak amacıyla 1.5 kg ağırlıklar her üç katta bir olacak şekilde sisteme bağlanmıştır.

Model yapı 400x400 mm² temel alanı ve 1453 mm yüksekliğe sahip olup 28 kattan oluşmaktadır. Zemin kat yüksekliği 100 mm ve normal kat yüksekliği 50 mm olarak belirlenen yapının toplam alan 41034 cm² olarak hesaplanmıştır. Model oluşturulurken toplam 3132 adet parça birleştirilmiş ve 12728 cm³ balsa malzeme kullanılmıştır. Yapı ağırlığı 1.842 kg olarak ölçülmüştür. Model yapı sarsma tablasına bulonlar yardımıyla ankastre mesnet şartını sağlayacak şekilde bağlanmıştır. Yapı dinamik karakteristiklerini belirlemek amacıyla sarsma tablasına ve yapının tepe noktasına ivmeölçerler yerleştirilmiştir (Şekil 2).



1-9. Kat Planı

10-17. Kat Planı



18-23. Kat Planı

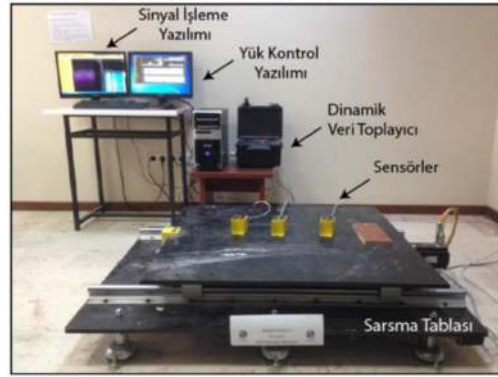
24-28. Kat Planı

Şekil 1. Model Yapı Kat Planları



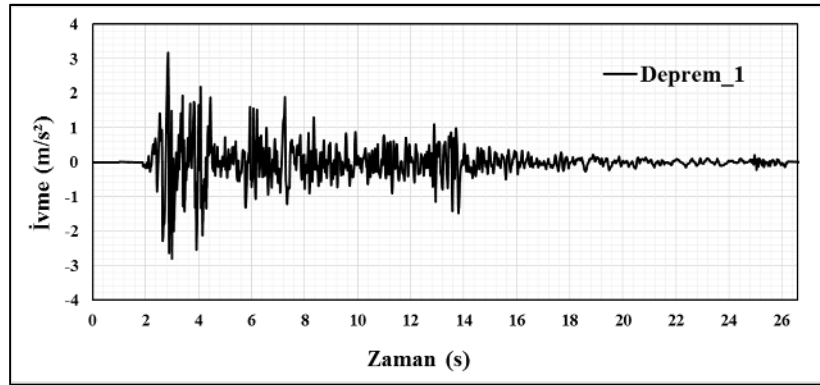
Şekil 2. Model yapı deney düzeneği

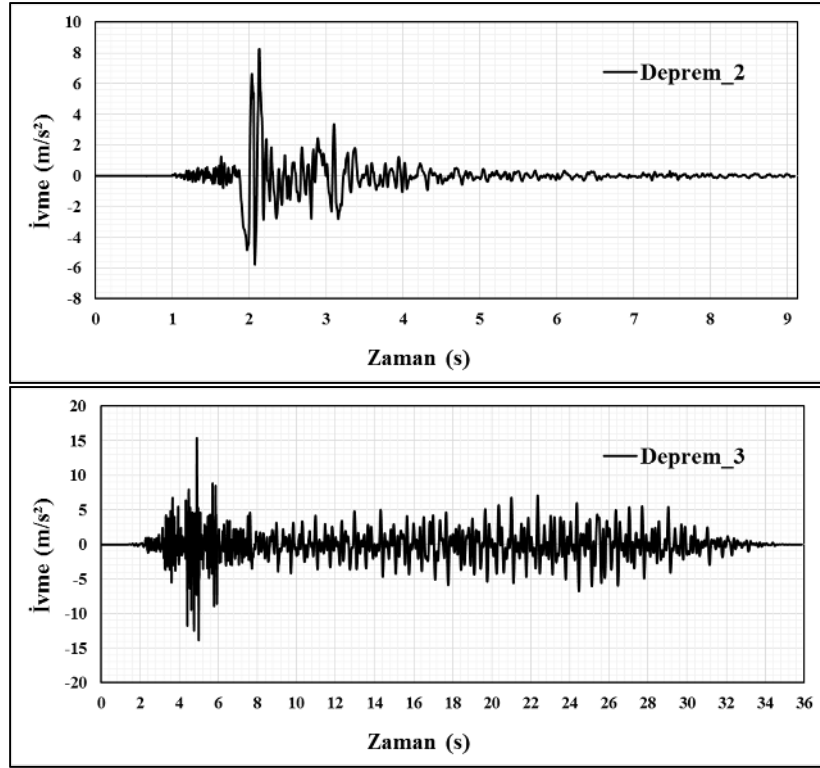
Deprem kayıtlarının yapıya uygulanması amacıyla servo-elektro motorlu 250 N kapasiteli sarsma tablası kullanılmıştır (Şekil 3). 1000x1000 mm boyutundaki sarsma tablası ± 2 g ivme oluşturabilme kapasitesine sahiptir. Sarsma tablası tek eksenli olarak sinüzoidal ve deprem yükleri uygulayabilme kapasitesine sahiptir. Uygulanan yük doğrultusunda yapı tepe noktası ve sarsma tablasına bağlanan ivmeölçerler aracılığı ile elde edilen kayıtlar veri toplama sistemi yardımı ile bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır. Çalışmada kullanılan ivmeölçerler 5 mikro-g/Hz gürültü performansına, ± 3 g ölçüm kapasitesine ve 0-400 Hz frekans aralığına sahiptir. Veri toplama sistemi aracılığı ile alınan kayıtlar üzerinde öncelikle düzeltme ve filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gürültüleri en aza indirebilmek amacıyla Butterworth filtreleme işlemi 1.5-15 Hz aralığında alınmıştır [14].



Şekil 3. Deney Düzeneği [14]

DeneySEL ve nümerik olarak gerçekleştirilen çalışmada model yapı dinamik karakteristikleri, tepe noktası ivme ve yer değiştirme değerlerinin belirlenmesi amacıyla üç farklı seviyede deprem kaydı uygulanmıştır. Uygulanan deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri Şekil 4'de verilmiştir. Ayrıca kullanılan deprem kayıtlarına ait en büyük ivme, hız ve yer değiştirme değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.



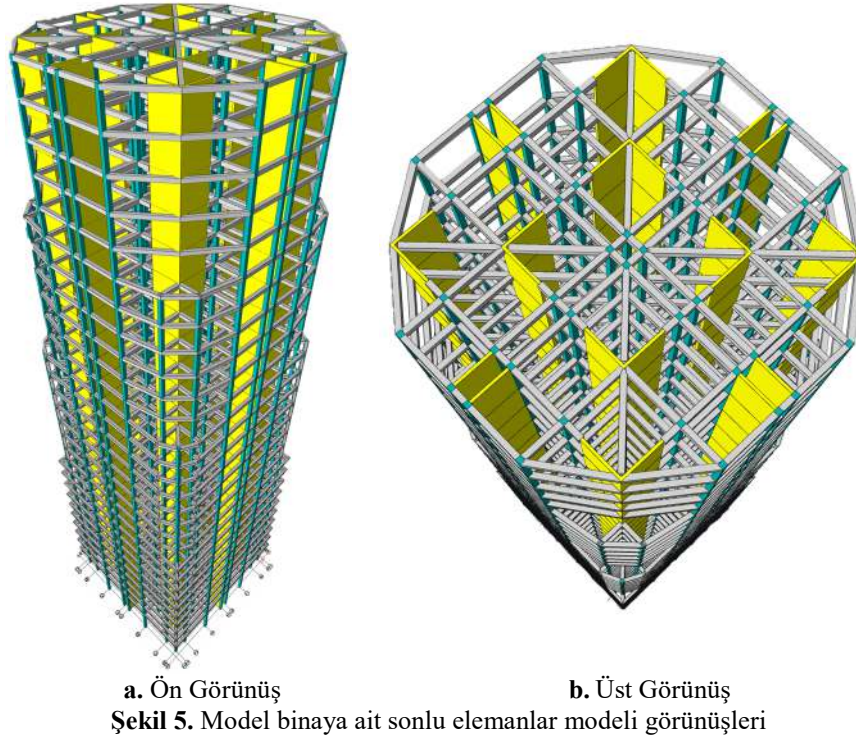


Şekil 4. Model Yapıya Uygulanan Deprem Kayıtları

Tablo 1. Deprem kayıtlarına ait en büyük ivme, hız ve yer değiştirme değerleri

Deprem Kaydı	Süre (s)	Max İvme (m/s ²)	Max. Hız (cm/s)	Max. Yerdeğiştirme (mm)
Deprem 1	26.63	3.179	15.231	30.537
Deprem 2	9.091	8.266	34.906	22.354
Deprem 3	35.866	15.411	36.612	31.003

Çalışmanın nümerik aşamasında ise 28 katlı yapının sonlu eleman modeli SAP2000 programı yardımı ile hazırlanmıştır (Şekil 5). Nümerik modelde döşeme ve temel oluşturulmayıp, kolonların ankastre mesnetlendiği ve rijit diyafram davranışı kabul edilmiştir. Deneysel aşamada toplu kütleli sistemi tanımlamak için yerleştirilen ağırlıklar nümerik modelde de tanımlanmıştır. Ayrıca deney sırasında kullanılan ivmeölçerin ağırlıkları da nümerik modele ilave edilmiştir (Şekil 2).

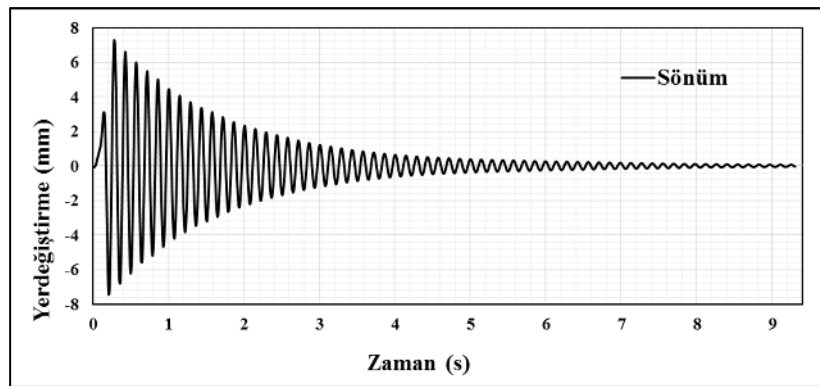


Balsa çita ve levhalar üzerinde yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucunda malzemenin elastisite modülü ve birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Model yapı sarsma tablası üzerinde başlangıç deplasmanı verilerek serbest titreşime maruz bırakılarak sönüm değeri hesaplanmıştır (Şekil 6). Sönüm oranı hesaplanırken Denklem 2.1. göz önüne alınmıştır [16].

$$\xi = \frac{1}{2\pi j} \ln \frac{u_i}{u_{i+j}} \quad (2.1.)$$

Burada;

ξ ; sönüm oranını, j ; salınım sayısını, u_i ; herhangi bir salınımdaki yer değiştirmeyi ve u_{i+j} ise bir sonraki salınımda gerçekleşen yer değiştirmeyi göstermektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda model yapının ortalama sönüm oranı %1.6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Model yapı serbest titreşim grafiği

Malzeme karakteristik özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler ve hesaplar sonucu elde edilen ve sonlu eleman modelinde kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Balsa çita ve levha karakteristik özellikleri

Parametre	Değer
Elastisite modülü	2000 N/mm ²
Birim hacim ağırlık	185 kg/m ³
Poisson oranı	0.23
Sönüm oranı	0.016

3. Analiz Sonuçları

Sarsma tablası üzerine bulonlar aracılığı ile ankastre olarak bağlanan model yapının öncelikle serbest titreşim hareketi yapması sağlanmıştır. Serbest titreşim verileri yardımıyla yapıya ait sönüm ve periyot değerleri belirlenmiştir. Yapının sönüm ve periyot değerleri SeismoSignal programı [17] kullanılmıştır. Daha sonra yapı üç farklı deprem kaydı ile zorlanmış titreşime maruz bırakılmıştır. Nümerik çalışma kısmında ise yapının hem modal analizi hemde deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmiştir. (Tablo 3).

Tablo 3. Model yapı periyot değerleri

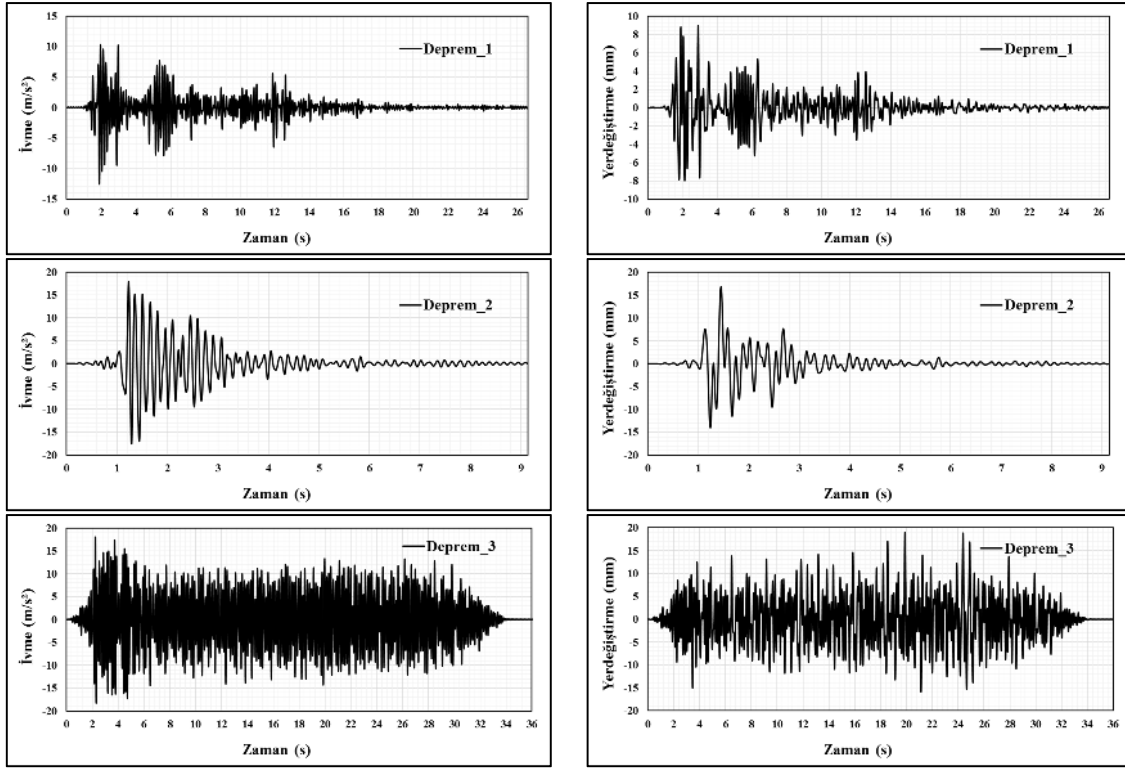
Yöntem	Periyot (s)
Serbest Titreşim	0.14322
Zorlanmış Titreşim	0.14787
Sap2000	0.14247

Sarsma tablası üzerinde üç farklı deprem kaydı uygulanan yapının tepe noktası ve sarsma tablasına bağlanan ivmeölçerler yardımı ile elde edilen kayıtlara filtre işlemi uygulanmıştır. Şekil 7.’de üç deprem kaydına ait model yapı tepe noktası ivme ve yerdeğiştirme kayıtları görülmektedir. Yerdeğiştirmeler elde edilen ivme kayıtları kullanılarak belirlenmiştir. Model yapı tepe noktası yerdeğiştirme değerleri sonlu eleman modelinden elde edilen tepe noktası yerdeğiştirme değerleri ile Tablo 4.’de kıyaslanmıştır.

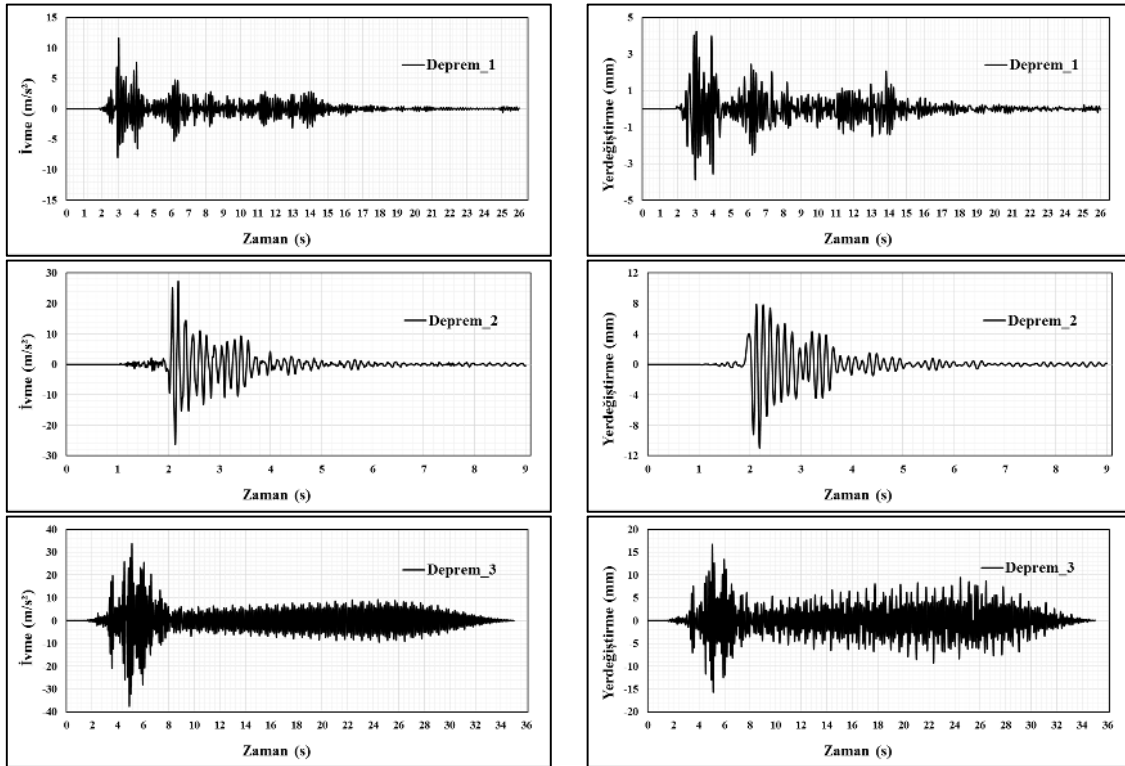
Tablo 4. Model yapı ve Sap2000 tepe noktası yerdeğiştirme sonuçları

Deprem Kaydı	Model Yapı (mm)	Sap2000 (mm)
Deprem_1	8.991	4.234
Deprem_2	16.836	10.987
Deprem_3	18.999	16.684

Sonlu eleman modeline uygulanan üç deprem kaydına ait tepe noktası ivme ve yer değiştirme kayıtları ise Şekil 8.’de sunulmuştur.



Şekil 7. Model Yapı Tepe Noktası İvme ve Yerdeğiştirme Kayıtları

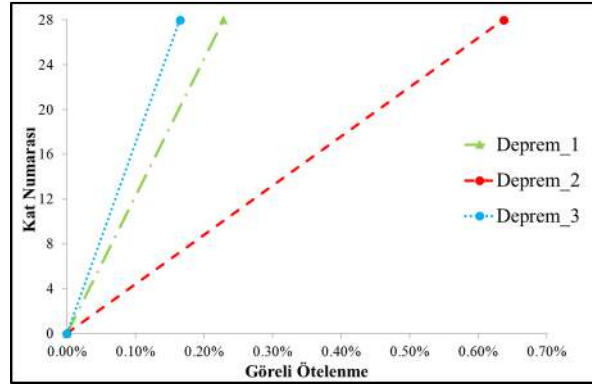


Şekil 8. Sonlu Eleman Modeli Tepe Noktası İvme ve Yerdeğiştirme Kayıtları

Model yapı tepe noktasından ve sarsma tablasından alınan yerdeğiştirme değerleri arasındaki fark dikkate alınarak yapı görelî kat ötelenmeleri Tablo 5. ve Şekil 9.'da sunulmuştur.

Tablo 5. Model yapı tepe noktası, sarsma tablası ve yapı görelî kat ötelenmesi

Deprem Kaydı	Tepe Noktası (mm)	Sarsma Tablası (mm)	Görelî Ötelenme
Deprem_1	8.991	5.672	0.00228
Deprem_2	16.836	7.582	0.00637
Deprem_3	18.999	16.603	0.00165



Şekil 9. Model yapı görelî kat ötelenmesi

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, balsa ağacından elde edilmiş çita ve levhalar kullanılarak kolon, kiriş, perde ve temel gibi taşıyıcı sistem elemanlar yardımıyla, 28 katlı her iki doğrultuda simetrik ve her iki doğrultuda eşit perde oranına sahip bir yapı modeli oluşturulmuştur. Deneysel ve nümerik çalışma öncesinde balsa çita ve levhalar üzerinde deneyler yapılarak elastisite modülü ve birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Model yapı sarsma tablasına ankastre olacak şekilde sabitlenerek serbest titreşim yapması sağlanmış ve böylece nümerik analizde kullanılmak üzere yapının sönüm oranı belirlenmiştir. Model yapı ile aynı özelliklere ve boyutlara sahip nümerik model SAP2000 programı yardımıyla oluşturulmuştur. Model yapı sarsma tablası üzerinde 3 farklı deprem kaydı kullanılarak deneysel olarak test edilmiştir. Nümerik çalışmada ise aynı deprem kayıtları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler ve analizler sonucunda elde edilen tepe noktası ivme ve yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde oluşturulan sonlu eleman modelinin deneysel model davranışını doğru bir şekilde temsil ettiği görülmüştür. Ancak unutulmamalıdır ki balsa çita ve levhaların karakteristik özellikleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle sonlu eleman modellerinde kullanılacak veriler için mutlaka deneysel çalışma yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Kullanılan model yapının imalatında emeği geçen Burak Fındıkçı, Hasan Egin, Safa Demirbaş, Ercan Yılmaz, Kadir Coşkun'a, katkılarından dolayı DASK'a ve sinyal işleme konusunda değerli yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Yasin Fahjan'a çalışma ekibi olarak teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Aktaş M, Küyük HS, Yaman Z. Planda düzenli-düzensiz çok katlı model yapıların sarsma tablası üzerindeki deprem performansının incelenmesi. Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), s. 264-268, 2-4 Mart 2016, Karabük, Türkiye.
- [2] Yaman Z, Aktaş M, Küyük HS. Perde sayısı farklı, çok katlı model yapıların sarsma tablası üzerindeki deprem performansı. Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), s. 269-273, 2-4 Mart 2016, Karabük, Türkiye.
- [3] Canbay E, Ersoy U, Özcebe G, Sucuoğlu H, Wasti ST. Binalar için deprem mühendisliği temel ilkeler. Ankara: ODTÜ Yayıncılık; 2008.
- [4] Aktan S, Kırac N. Betonarme binalarda perdelerin davranışa etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXIII, Sayı:1, 2010.
- [5] Terzi M, Elçi H. Perde-çerçeve betonarme yapılarda A2 türü düzensizliğin kesit tesirlerine etkisi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt:11 Sayı:1, 2016.
- [6] Şahin H, Alyamaç KE, Erdoğan AS. Perdeli çerçeve yapılarında zemin sınıfı ve kat adedi dikkate alınarak gerekli perde oranının tespiti. SDU International Technologic Science. Cilt:5, sayı:1 s:74-86, 2013.
- [7] Özsoy AE, Özgen K. Perdelerdeki boşlukların yatay ötelenmeye etkisi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.
- [8] Sayın E, Yön B, Calayır Y. Perde konumunun ve zemin sınıfının betonarme yapılardaki hasar oranına etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt:26, Sayı:1, s:1-6, 2010.
- [9] Altunışık AC. Shaking table test of wooden building models for structural identification. Earthquakes and Structures, Vol. 12, No. 1, 2017, p. 67-77.
- [10] Miculas C, Modovan M, Ciocan A. Earthquake Resistant Multi Storey Structures. C60 International Conference, 7-9 November, Cluj-Napoca, ROMANIA.
- [11] Özkaynak H, Özsoy AE, Şentürk M, Çağlar M. Effect of small scale sliding pendulum isolator on a small scale structure made up of balsa wood. International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015), 7-9 May 2015, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur-Türkiye.
- [12] Özkaynak H, Özsoy AE. Yapı dinamiği deneylerinin inşaat mühendisliği eğitimindeki rolü: küçük ölçekli yapı modellerinin sarsma masası ile test edilmesi. 3. İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, 24-25 Ekim 2015, Ankara.
- [13] Gebman M, Brandenburg SJ, Cheng L, Chang D, Lee W, Pi M, Ugalde J, Ashford S. Promoting undergraduate interest in earthquake engineering and seismic design through a shake table competition. UCLA Previously Published Works, 2016.
- [14] Küyük HS, Yaman Z, Aktaş M. Düşeyde düzenli ve düzensiz çok katlı model yapıların sarsma tablası üzerindeki deprem performansının incelenmesi. Uluslararası Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16), s. 291-295, 2-4 Mart 2016, Karabük, Türkiye.
- [15] SAP2000 (2015) Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures, Inc. California, USA.
- [16] Chopra AK. Yapı Dinamiği teori ve deprem mühendisliği uygulamaları. 4. Baskıdan çeviri. Ankara: Palme Yayıncılık; 2015.