

## 2023 Pazarcık Depremine Maruz Kalan Bir Yapının Zaman Tanım Alanında Dinamik Analizi

Furkan Yurdakul KAYIKÇI<sup>1\*</sup>, Ali GÜRBÜZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Türkiye

\*[furkanyurdakul\\_kayikci21@erdogan.edu.tr](mailto:furkanyurdakul_kayikci21@erdogan.edu.tr)  
[ali.gurbuz@erdogan.edu.tr](mailto:ali.gurbuz@erdogan.edu.tr)

**Özet** – Yapı ve zemin depremde birbirlerini etkiler. Bu durumdan dolayı yapıların tabanında ankastre mesnet olduğu varsayımına göre yapılan çözümler gerçekçi sonuçlar vermeyecektir. Depremde zeminin tepkisi yapının hareketini, yapının hareketi de zeminin tepkisi değiştirir. Yapı-zemin etkileşimi yapının ve zeminin dinamik özelliklerinden, zeminin histeretik davranışından, radyasyon sönümünden, zemin sıvılaşmasından, temelin gömülme derinliğinden etkilenir. Bu kadar fazla parametreden dolayı karmaşık bir konudur. Yapı-zemin etkileşim problemlerini çözmek için pek çok mühendisliğin bir arada çalışması gerekir. Bunun içinse literatürde pek çok yöntem ve yaklaşım geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Yapı-Zemin Etkileşimi, Zaman Tanım Alanında Analiz, Betonarme, Deprem, Pazarcık Depremi

### I. GİRİŞ

Yapı ve zemin depremde birbirlerini etkilerler. Bu etkileşim özellikle yumuşak zeminlerde daha belirgindir [1, 2]. Çoğunlukla tasarımlarda temelin rijit zemine oturduğu kabul edilir. Ancak bu tür tasarımlarda zemin etkileri görmezden geldiğinden gerçekçi bir çözüm olmaz [3, 4].

Pek çok mühendislikte kullanılan sonlu elemanlar yöntemi inşaat mühendisliğinde de yapı-zemin etkileşimi dâhil birçok problemi çözmeye de kullanışlı bir yöntemdir [5]. Özellikle bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle kullanımı giderek yaygınlaşmıştır [6].

Zemin sonsuz ortamdır. Ancak yapı-zemin dinamik etkileşimi ve dalga yayılımı problemlerinde zemin üçe ayrılır. Bunlar sınırlı ortam ya da yakın bölge, etkileşim ara-yüzeyi ve sınırsız ortam ya da uzak bölgedir [1]. Yakın bölge yapının davranışında etkilene ve zeminin nonlineer davranış gösterdiği kısımdır [7]. Uzak bölge ise yapının davranışından etkilenmeyen ve lineer davranışın başladığı kısımdır [8]. Uzak bölgenin etkisi etkileşim ara-yüzeyinde eklenen sınır şartlarıyla hesaba katılır. Bu sınır şartlarından bazıları şunlardır; öleşekli sınır sonlu elemanlar

yöntemi [9], viskoz sınır şartı [10], tutarlı sınırlar [11], karma modelleme [12], sınır elemanlar [13], sonsuz elemanlar [14], eğri sınır koşulları [15]. Bu sınır şartları sonlu elemanlar yöntemiyle uyumludurlar.

Yapı-zemin etkileşiminde iki farklı etkileşim türü vardır. Bunlardan biri temelin dönmesinden dolayı yapıya ek ötelenme ve periyot getiren eylemsizlik etkileşimidir. Yüksek katlı yapılarda çok etkilidir [16]. Diğer etkileşim türü ise zeminin içine gömülü rijit yapıdan dolayı serbest saha yer hareketinde değişiklikler olması ve yapının mod şekillerinde değişiklik olmasıdır [17].

Yapı-zemin etkileşimi problemleri çözmek için iki tane modelleme yöntemi kullanılır:

#### A. Alt Sistem Yaklaşımı

Alt sistem yaklaşımı ya da diğer adıyla çok adımlı yaklaşım zemin ve yapıyı ayrı modelleyerek her iki elemanı ayrı eleman kabul ederek zeminin üstyapıya olan etkisini göz önüne alır. Bu yaklaşımın amacı zeminden dolayı temeli tam bağlı yapıdan ayrı bir şekilde oluşan ek serbestlikler ve zeminin kütle, rijitlik ve sönüm etkilerinin hesaba dâhil edilmesidir. Temelin geometrik şekli, ne kadar

oturma yaptığı, zeminin tabakalanması gibi parametreler dikkate alınmalıdır [18].

### B. Ortak Yöntem

Ortak yöntem ya da diğer adıyla doğrudan yöntemde yapı ve zemin birlikte modellenir. Alt sistem yaklaşımından daha gerçekçi sonuç verir. Hem ataletsel hem de kinematik etkileşimleri dikkate almak için iterasyon yapılır. İlk önce serbest zemin hareketi ana kayaya indirilir. Bunda dekonvolüsyon işlemi yapılır. Böylelikle anakaya üzerindeki deprem hareketi elde edilir ve dinamik analiz için kullanılır [19].

Yapı-zemin etkileşim problemlerinde yapının deprem performansını incelemek için iki farklı doğrusal olmayan analizler uygulanır:

#### A. Statik İtme Analizi

Statik itme analizi yapıda aşağıdan yukarıya artacak şekil de etkiyen yükler karşısında yapıda oluşan plastik şekil-değiştirmeleri, her adımda artımsal olarak göstermektedir. Sonucunda yapının yerdeğiştirmelere karşı toplam taban kesme kuvvetlerini gösteren kapasite eğrisi elde edilir. Bu eğride talep eğrisiyle birleştirilerek performans noktası belirlenir [20].

#### B. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan doğrudan bütünleşme analizi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan doğrudan bütünleşme analizi deprem etkisindeki yapının hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonudur. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranıştan dolayı sistemin rijitlik matrisinin zamanla değişimi göz önüne alınır. Bu analiz için hem x yönü için hem de y yönü için en az on bir adet gerçek ya da yapay deprem ivme kaydı kullanılır. Aynı deprem kaydı için en fazla üç farklı istasyon kaydı kullanılabilir. Yüksek binalar için zorunludur [21].

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu sunum için betonarme bir binanın yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında deprem analizi yapılmıştır. Bunun için SAP2000 programı kullanılmıştır. Ortak sistem yöntemiyle modellenmiştir ve uzak bölge etkileşim arayüzüne viskoz sınır şartlarının atanmasıyla hesaba katılmıştır. Ancak hesap kolaylığı olsun diye sadece yalnızca ilk 10 saniye dikkate alınmıştır.

Ayrıca deprem analizinde P-dalgaları dikkate alınmamıştır. Sonrasında yatay elastik tasarım spektrumuyla eşleşme yapılmıştır.

Analiz yapmak için programda kullanılacak yapı ve zeminle alakalı girdi parametreleri Tablo 1’de deprem analizi için gerekli girdi parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

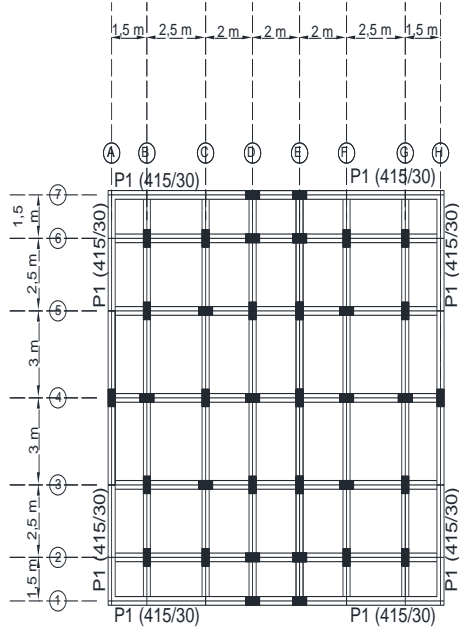
Tablo 1. Analizde kullanılacak yapı ve zeminin özellikleri

Normal kat yüksekliği	3 m	
Çatı katı yüksekliği	2,35 m	
Kiriş boyutları	Genişlik	25 cm
	Yükseklik	50 cm
Kolon boyutları	Genişlik	30 cm
	Yükseklik	60 cm
Perde duvarların kalınlığı	30 cm	
Döşeme kalınlığı	15 cm	
Radye temel	Kalınlık	100 cm
	Ambatman	100 cm
Beton sınıfı	C40/50	
Beton elastisite modülü	33000 N/mm <sup>2</sup>	
Donatı sınıfı	B420C	
Donatı elastisite modülü	200000 N/mm <sup>2</sup>	
Zemin	Birim hacim ağırlık	19,5 kN/m <sup>3</sup>
	İçsel sürtünme açısı	34°
	Kayma modülü	1100 N/mm <sup>2</sup>
	Poisson oranı	0,3

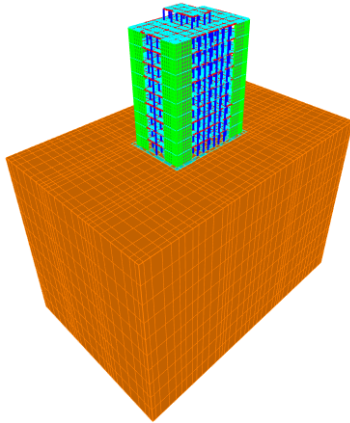
Tablo 2. Deprem analizlerinde kullanılacak bilgiler

Deprem yer düzeyi	DD-2
Yapı tipi	Konut
Yapı yüksekliği	29,35 m
Enlem	36,19117°
Boylam	36,1343°
Yerel zemin sınıfı	ZA
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S <sub>s</sub> )	1,382
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S <sub>1</sub> )	0,345
Pik yer ivmesi (PGA)	0,4 g
Bina kullanım sınıfı (BKS)	3
Bina önem faktörü (I)	1
Deprem tasarım sınıfı (DTS)	2
Bina yükseklik sınıfı	4
Deprem ivme kaydı	6 Şubat 2023 Pazarcık depremi

Normal kat kalıp planı Şekil 1’de, yapı-zemin etkileşimli model Şekil 2’de gösterilmektedir.

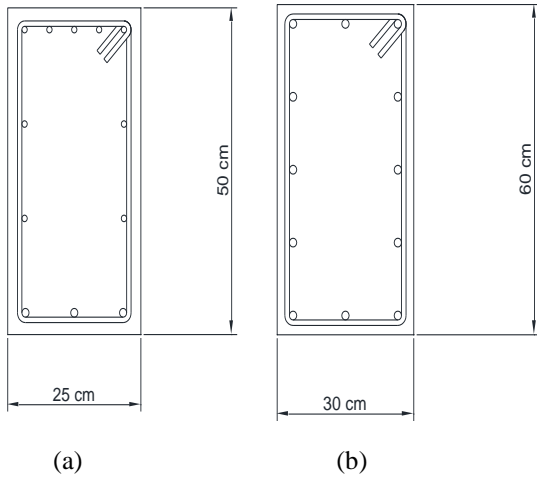


Şekil 1. Normal kat kalıp planı



Şekil 2. Yapı-zemin etkileşimli modelin yandan görünümü

Modelleme için gereken kiriş ve kolonların en kesitleri Şekil 3’de gösterilmektedir.



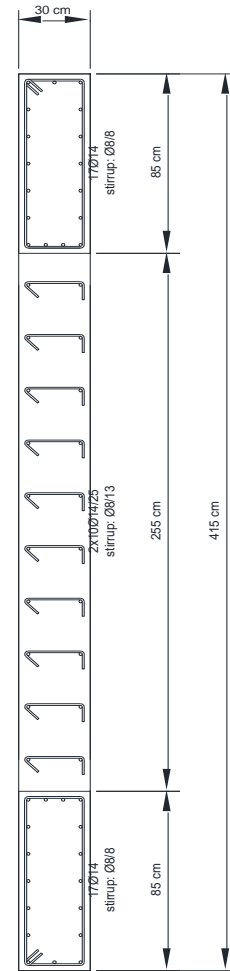
Şekil 3. (a) Kiriş enkesiti (b) Kolon enkesiti

Kolon ve kirişe yerleştirilecek donatılar Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Kolon ve kiriş donatıları

Kiriş donatıları			
Boyuna donatı		Etriye	
Üst	5Ø12	Ø8/15	
Montaj	3Ø16		
Kolon donatıları			
Boyuna donatı		Etriye	
12Ø14		Ø8/15	

Modelleme için kullanılacak perde en kesitleri Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Perde enkesiti

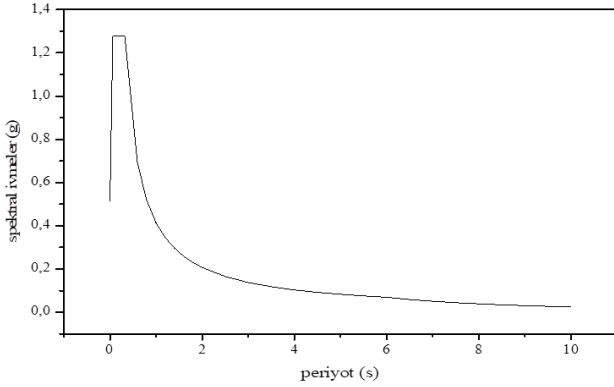
Perdelere yerleştirilecek donatılar Tablo 4’de gösterilmektedir.

Tablo 4. Perde donatıları

Perde donatıları			
	Sol uç	Gövde	Sağ uç

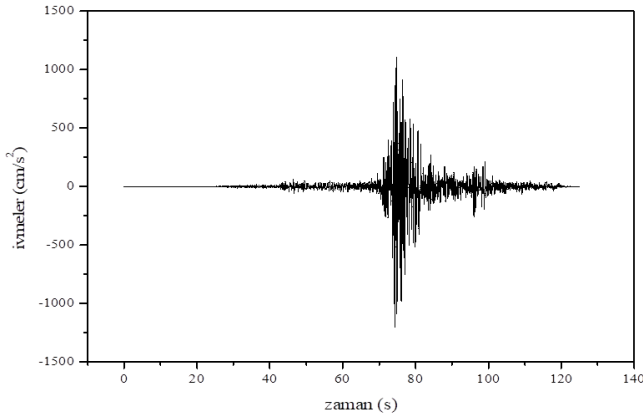
Boyuna donatı	17Ø14	2x10Ø14/25	17Ø14
Etriye	Ø8/8	Ø8/13	Ø8/8

Yapının zemin koşullarına göre oluşturulan yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 5’de gösterilmektedir. Daha sonra bu elastik tasarım spektrumu ile deprem ivme kaydı arasında spektral uyuma yapılmıştır.

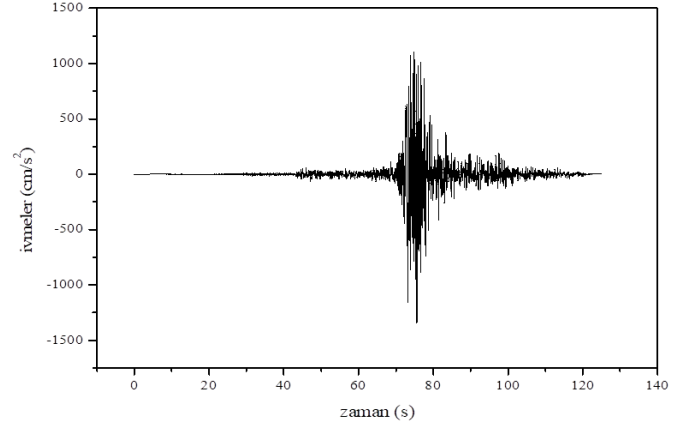


Şekil 5. Yatay elastik tasarım spektrumu

Zaman tanım alanında analiz için kullanılacak deprem ivme kayıtlarının doğu ve kuzey bileşenleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmektedir. Bu deprem kayıtları 3129 nolu istasyondan alınmıştır.

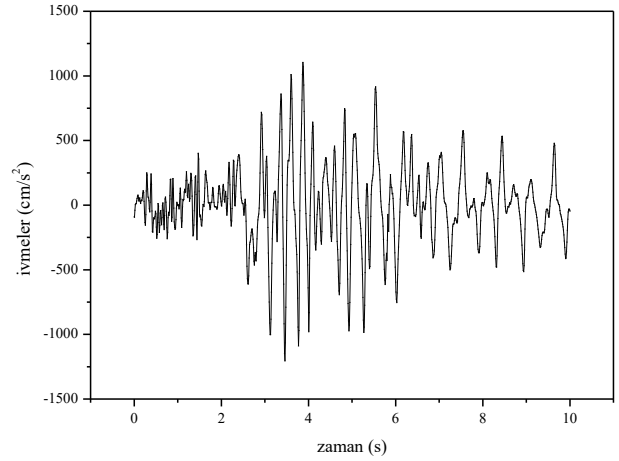


Şekil 6. Deprem ivme kaydının doğu bileşeni

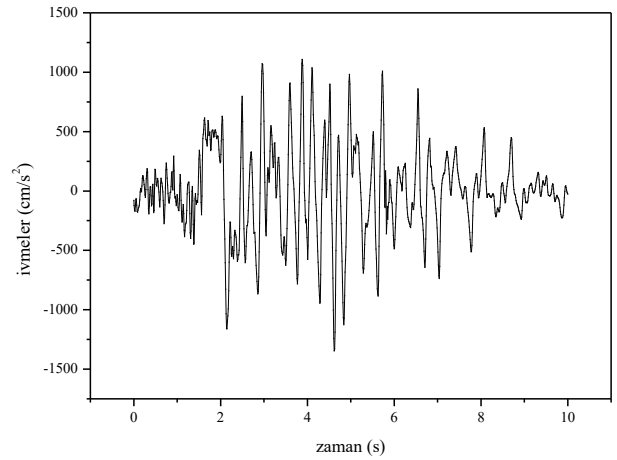


Şekil 7. Deprem ivme kaydının kuzey bileşeni

Ancak analiz süresi dikkate alındığında analizde daha yüksek ivmelerle çalışmak için P-dalgalarının etkisi çıkarılmış ve kolaylık olması için ilk 10 saniye dikkate alınmıştır. Bu grafikler sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmektedir.



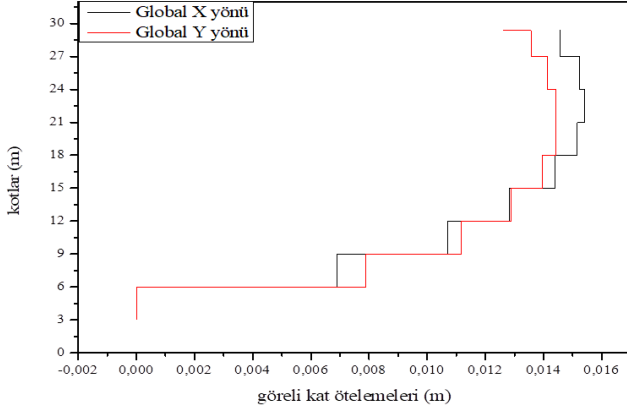
Şekil 8. P dalgaları çıkarılmış deprem ivme kaydının doğu bileşeninin ilk 10 saniyesi



Şekil 9. P dalgaları çıkarılmış deprem ivme kaydının kuzey bileşeninin ilk 10 saniyesi

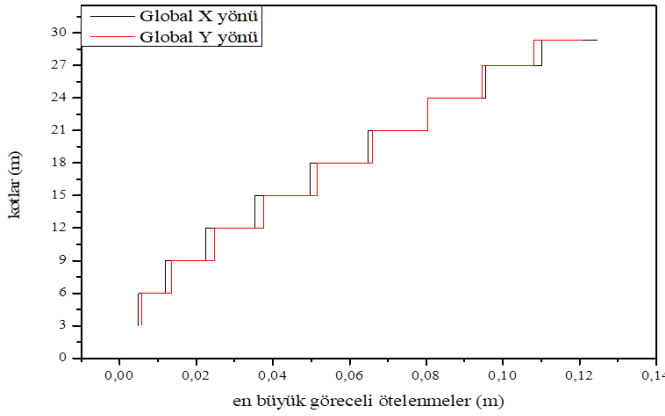
### III. BULGULAR

Katlarda oluşan görece kat ötelenmeleri Şekil 10'da gösterilmektedir.



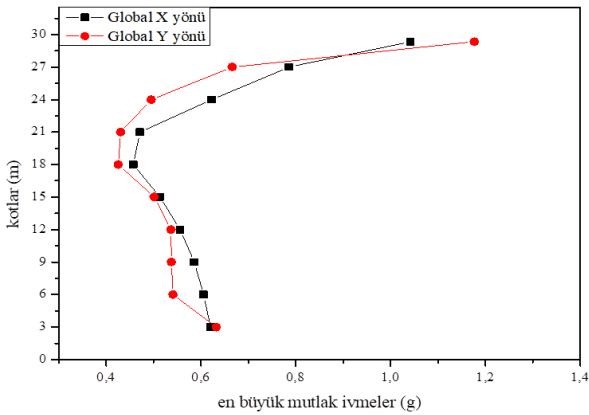
Şekil 10. Yapıda oluşan görece kat ötelenmeleri

Yapıda oluşan katlara göre en büyük göreceli ötelenmeler Şekil 11'de gösterilmektedir.



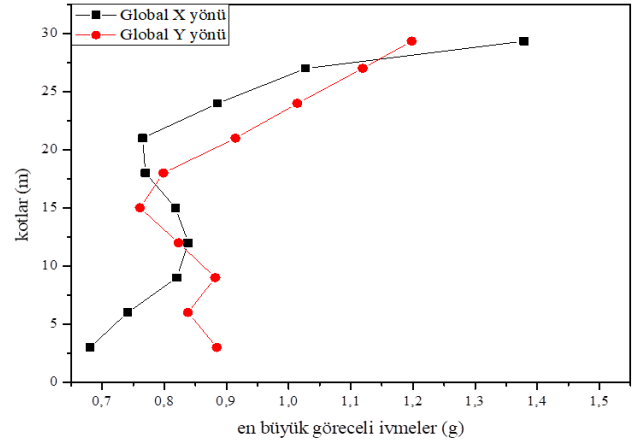
Şekil 11. Yapıda oluşan en büyük göreceli ötelenmeler

Katlarda oluşan en büyük mutlak ivmeler Şekil 12'de gösterilmektedir.



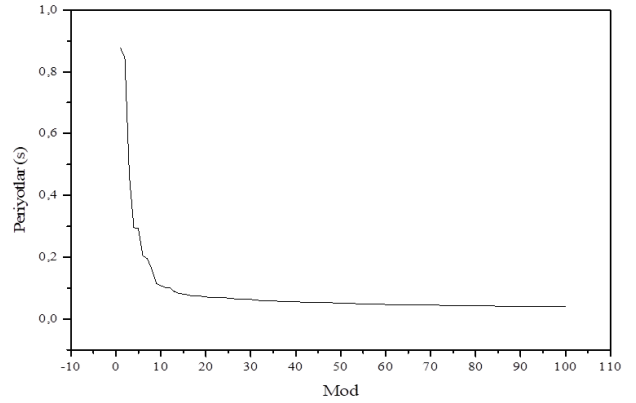
Şekil 12. Katlara gelen en büyük mutlak ivmeler

Katlarda oluşan en büyük göreceli ivmeler Şekil 13'de gösterilmektedir.



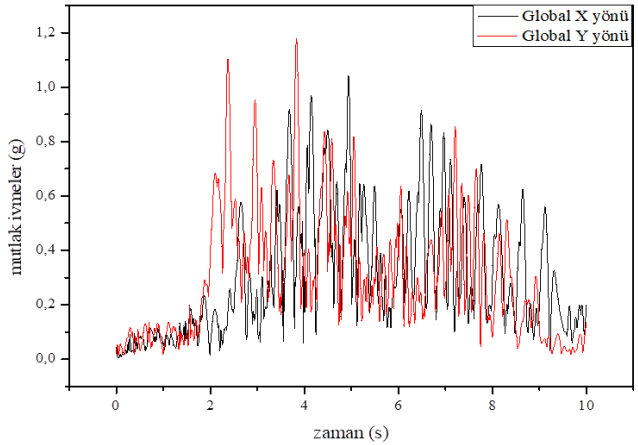
Şekil 13. Katlara gelen en büyük göreceli ivmeler

Yapıda oluşan ilk 100 moda ait periyotların grafiği Şekil 14'de gösterilmektedir.



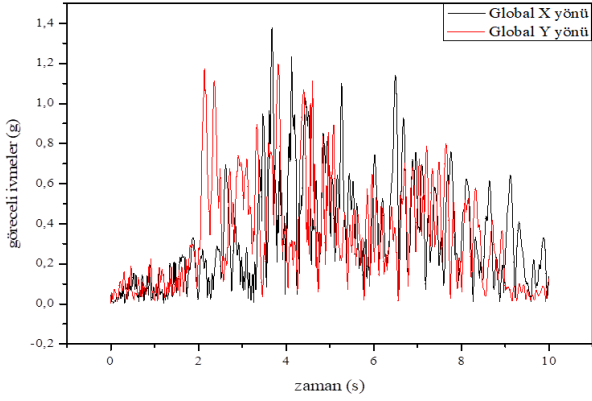
Şekil 14. İlk 100 moda oluşan periyotlar

Zamana göre yapıda oluşan en büyük mutlak ivmeler Şekil 15'de gösterilmektedir.



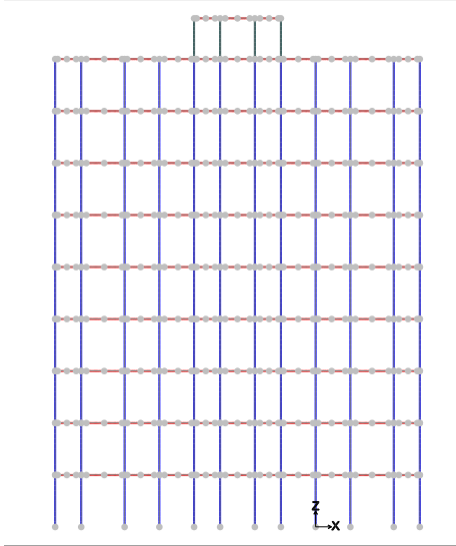
Şekil 15. Zamana göre yapıda oluşan en büyük mutlak ivmeler

Zamana göre yapıda oluşan en büyük göreceli ivmeler Şekil 16’da gösterilmektedir.

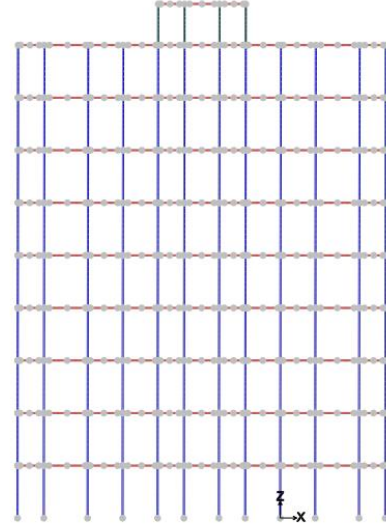


Şekil 16. Zamana göre yapıda oluşan en büyük göreceli ivmeler

Yapı 4 nolu aks boy kesitinde ilk anda ve son anda yapıda oluşan plastik mafsallar şekil 17 ve Şekil 18’de gösterilmektedir.



Şekil 17. 0. Saniyede 4 nolu aksın boy kesitinde yapıda oluşan plastik mafsallar



Şekil 18. 10. Saniyede 4 nolu aksın boy kesitinde yapıda oluşan plastik mafsallar

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada 10 katlı betonarme bir konut binası 6 Şubat 2023 Pazarcık deprem kaydı kullanılarak Hatay konumu için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları özetle aşağıdaki gibidir:

- Yapı mevcut yönetmelik koşullarına uygun olarak projelendirilmiştir.
- Yapının bulunduğu koordinatlar için ölçeklenmiş deprem spektrumuna göre analiz edilmesi halinde deprem performans düzeyi “KK” kesintisiz kullanım çıkmaktadır.
- En üst katta 1,2g’ye kadar çıkan ivme değerlerine rağmen yapıda yıkıcı hasar gözlenmemiştir.
- Yapı köşelerine yerleştirilen perde duvarlar sistemin maksimum yerdeğiştirme değerlerini 150 mm’de sınırlamayı başarmıştır.

#### ÖNERİLER

Bu makale çalışmasında ölçeklenmiş deprem kaydı kullanılmıştır. Pazarcık depremi için ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş ivme kayıtlarına göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması faydalı olacaktır.

Bu çalışmada yapı zemin etkileşimi dikkate alınarak çözüm yapılmıştır. Çalışmanın geliştirilmesi için yapı zemin etkileşimi dikkate

alınmadan yapılan çözüm ile sonuçların karşılaştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] T. Karabörk, İ. Ö. Deneme, and R. P. Bilgehan, "Temeli izole edilen yapılarda dinamik yapı-zemin etkileşimi," 26, Article 2010.
- [2] M. Kutanis, "YAPI-ZEMİN DİNAMİK ETKİLEŞİMİ," Doktora Tezi, SAKARYA ÜNİVERSİTESİ, 2001.
- [3] N. Çağlar, Z. Ş. Garip, and Z. D. Yaman, "Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi," 2005.
- [4] Z. Ş. Garip, "Yumuşak Kat Düzensizliği olan Betonarme Binalarda Yapı Zemin Etkileşimi," in *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan)*, 2017.
- [5] M. Grbac, "Three-node flat shell finite elements based on the cubic linked interpolation and the assumed strain method," University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering, 2022.
- [6] P. Žur, A. Kołodziej, and A. Baier, "Finite elements analysis of pla 3d-printed elements and shape optimization," *J European Journal of Engineering Science Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 59-64, 2019.
- [7] M. Fattah, T. Schanz, and S. Dawood, "The Role of Transmitting Boundaries in Modeling Dynamic Soil-Structure Interaction Problems," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 2, pp. 236-258, 01/01 2012.
- [8] Z. Tonyali and S. Ates, "The coupling finite-boundary element method for soil-structure interaction under spatially varying ground motion," *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, vol. 1, no. 1, pp. 6-21, 2018.
- [9] Hirshikesh, A. L. N. Pramod, R. K. Annabattula, E. T. Ooi, C. Song, and S. Natarajan, "Adaptive phase-field modeling of brittle fracture using the scaled boundary finite element method," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 355, pp. 284-307, 2019/10/01/ 2019.
- [10] F. ÖZEL, "COMPARISON OF MICROTREMOR MEASUREMENTS AND 3-D SOIL STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS FOR A HISTORICAL MASONRY ARCH BRIDGE UNDER NEAR-FAULT AND FAR-FAULT EARTHQUAKES," M.Sc. Thesis, Civil Engineering, Gaziantep University, 2019.
- [11] S. L. Kramer, *Geotechnical earthquake engineering*. Pearson Education India, 1996.
- [12] T.-J. TZONG and J. PENZIEN, *Hybrid modelling of soil-structure interaction in layered media*. Berkeley, CA: Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1983.
- [13] M. Ghalandari, S. Bornassi, S. Shamshirband, A. Mosavi, and K. W. Chau, "Investigation of submerged structures' flexibility on sloshing frequency using a boundary element method and finite element analysis," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 13, no. 1, pp. 519-528, 2019/01/01 2019.
- [14] K. Edip, A. Bogdanovic, M. Stojmanovska, A. Poposka, and E. N. Farsangi, "A new approach in simulation of soil-structure interaction problems including damper effects," *International Journal of Earthquake Impact Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1-14, 2020.
- [15] T. Phuor, I. S. H. Harahap, C. Y. Ng, and M. A. M. Al-Bared, "Development of the skew boundary condition for soil-structure interaction in three-dimensional finite element analysis," *Computers and Geotechnics*, vol. 137, p. 104264, 2021/09/01/ 2021.
- [16] M. BENELDJOUZI, M. HADID, and N. LAOUAMI, "Evidence of Combined Site Effects and Foundation-Soil-Structure Interaction Effects on Seismic Response of Rc Buildings," *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering Mathematics*, vol. 11, pp. 77-88, 2020.
- [17] M. K. Derdiman, "Effects of Soils with Different Properties on Natural Period of Structure at RC High Rise Building," *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 9-15, 2013.
- [18] R. Wankhade and Y. Ghugal, "Study on Soil-Structure Interaction: A Review," *International Journal of Engineering Research*, vol. 5, pp. 737-741, 02/28 2016.
- [19] R. Villaverde, *Fundamental concepts of earthquake engineering*. CRC press, 2009.
- [20] Z. KURT and Z. TONYALI, "Performance Analysis of a Reinforced Concrete Frame System According to TBEC-2018," *Sciennovation*, vol. 1, no. 2, pp. 6-22, 2020.
- [21] P. Fajfar, "Structural analysis in earthquake engineering—a breakthrough of simplified non-linear methods," in *12th European conference on earthquake engineering*, 2002.