©2017 Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30September 2017 (ISITES2017Baku - Azerbaijan)

Yumuşak Kat Düzensizliği olan Betonarme Binalarda Yapı Zemin Etkileşimi

*[1]Zehra Şule Garip
*[1] Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Karabuk University, Turkey

Özet :

Bu çalışmada, yumuşak ve sert zemin sınıfında inşaa edilen deprem etkisindeki betonarme binalarda kat sayıları ve zemin kat yükseklikleri değiştirilerek yumuşak kat düzensizliği incelenmiştir. Bu amaçla, sonlu elemanlar prensibine dayalı olarak çalışan SAP2000 programında zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerden elde edilen sonuçlara göre ankastre mesnetli sistemler ile yapı zemin modellerinin göreli kat ötelemeleri, tepe noktaları yer değiştirmeleri ve kesme kuvvetleri grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir.. Zemin kat yüksekliğinin artması göreli kat ötelemeleri arttırırken, kat sayısının da göreli kat ötelemelerinde etkili olduğu görülmüştür. Yapı zemin etkisini dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak kat, yapı zemin etkileşimi, zaman tanım alanı

Abstract

In this study, soft storey irregularities were investigated by changing the number of floors and ground floor heights in reinforced concrete buildings affected by earthquake which are constructed in soft and hard ground class. For this purpose, time history dynamic analysis were carried out by Sap2000 package program which is based on the principle of finite elements. According to the results from the dynamic analyzes, the relative floor displacements, peak point displacements and shear forces of fixed in systems and soil-structure models are presented in graphical form. The increase of the ground storey height increased the relative storey displacements, the number of storey was found to be effective in the relative storey displacement. It has been determined that the effect of building ground should be taken into consideration.

Key words: Soft storey, soil-structure interaction, time history

1. Giriş

Yapısal analizlerde genellikle temel sistemi ankastre olarak modellenmekte ve temellerde meydana gelecek yer değiştirme ve dönme etkileri göz ardı edilmektedir. Deprem etkisindeki yapılarda yapı ve zemin birlikte hareket etmektedir. deprem gibi dinamik bir yükleme altında temelde yer değiştirme ve dönmeler oluşmaktadır. Zemin deprem etkisini bazen büyüterek yapılara aktarmaktadır. Yapı zemin ile modellendiğinde özellikle yumuşak ve orta sert zeminlerde ilave kesit tesirleri oluşmaktadır. Ayrıca yapının periyodu ile zeminin periyodunun çakışması durumunda sıklıkla rezonans etkisi görülebilmektedir.

Günümüzde tasarlanan yapıların birçoğunda zemin kat yüksekliği diğer katlara göre daha fazla yapılmaktadır. Tüm katlarda taşıyıcı sistem özellikleri sabit tutularak zemin kat yüksekliğinin

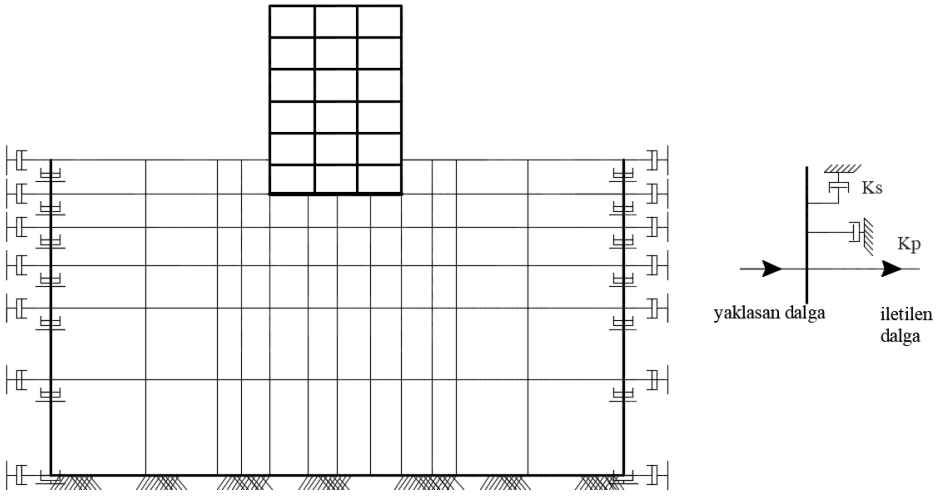
*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Karabuk University, 78050, Karabuk TURKEY. E-mail address: zsulegarip@karabuk.edu.tr, Phone: +903704332021

arttırılması, katlar arası rijitlik farkına yol açarak DBYBHY2007'de belirtilen yumuşak kat düzensizliğinin oluşmasına neden olmaktadır. Depremlerde hasar alan binalar incelendiğinde yumuşak kat düzensizliği olan binaların çökme ya da ağır hasar alma oranlarının arttığı bilinmektedir.

Literatürde, bugüne kadar yapılan çalışmalarda yapı zemin etkileşimi ve yumuşak kat düzensizliği çeşitli analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Bu çalışmaların bir çoğu 2 boyutlu olarak gerçekleştirilmiş ve 3 boyutlu yapı zemin etkileşimi hakkında az sayıda çalışma yapıldığı belirlenmiştir. [1-9]

2. Yapı Zemin Dinamik Etkileşimi

Yapılar genellikle zemine rijit bağlı olarak tasarlanmaktadır. Yapı ile zemin arasındaki etkileşim dikkate alınmadan sadece rijit bağlı olarak modellenmesi yeterli bir çözüm olmayacaktır. Yapı zemin etkileşimi analizlerinde genellikle direkt metot uygulanmaktadır. Bu yöntemde sonsuz zemin ortamı kesim yüzeyleri ile kesilerek yarı sonsuz zemin oluşturulur. Kesim yüzeylerine yarı sonsuz zemin ortamının özelliklerini yansıtacak viskoz sınır şartları konur. Yarı sonsuz zemin ortamı lineer elastik ve dalga yayılışı izotroptur.



Şekil 1. Direkt Metotta Sınır Şartları (Viskoz Sınırlar) [5]

Viskoz sınır şartını belirlemek için efektif rijitlik ve efektif sönüm değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Efektif rijitlik tanımlanırken sonlu eleman ağındaki ilgili her noktanın bir birimlik yerdeğiştirmesi için gereken kuvvet belirlenir. Efektif sönüm değeri, birim hacim kütle (ρ) kayma dalga hızı (V_s), etkili alan (A) değerleri ile $c = \rho V_s A$ denkleminden hesaplanır. Zeminin kayma dalga hızı ve kayma modülü aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmıştır.

$$G = \frac{E}{2(1+\vartheta)} \qquad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

E: Elastisite Modülü

G: Kayma Modülü

2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Hesap

DBYBHY2007'de, bina ve bina türü tapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareket hareketlerinin kullanılması belirtilmektedir. Kaydedilmiş deprem hareketlerinin kullanılabilmesi için aşağıdaki şartları taşıması gerekmektedir.

a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.

b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması $A_g g$'den daha küçük olmayacaktır.

c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

d) Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)}$$

denklemi ile hesaplanacaktır.

e) Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecektir.

f) Zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal elastik olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır [10]

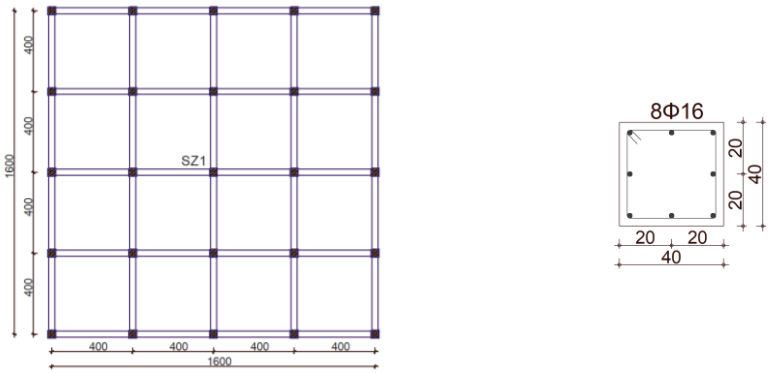
3. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada, deprem etkisindeki betonarme binaların deprem davranışındaki zemin etkisi ve yumuşak kat düzensizliği etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, zemine bağlantısı ankastre olan yapı modeli ve yarı sonsuz zemin modeli oluşturularak yapı- zemin modeli kurulmuştur. Ankastre bağlı yapı ve yapı-zemin modellerinin dinamik analizleri sonlu elemanlar metodunu kullanan SAP2000 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapı-zemin modeli oluşturulurken zemin altyapısının zemin tabaka kalınlığı 30 m ve zemin tabaka genişliği 100 m seçilmiş ve solid elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Dinamik analizlerde 2 farklı zemin altyapı modeli ve iki farklı üstyapı modeli seçilmiştir (Tablo 1).

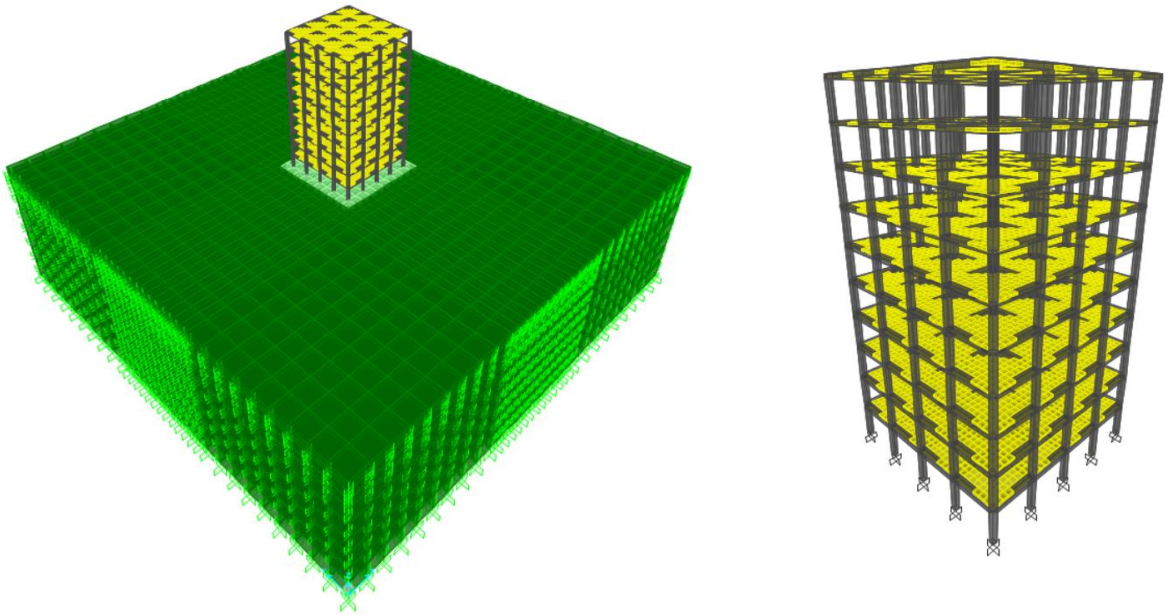
Tablo 1. Zemin Hakim Periyotları

Zemin Türü	Zemin Sınıfı	Elastisite Modülü, E (MPa)	Birim Hacim Ağırlığı, γ $\left({kN}/{m^3}\right)$	Poisson Oranı, υ	Zemin Kayma Dalga Hızı, V_s $\left({m}/{sn}\right)$	Periyot (sn)	
						SAP2000	$T = \frac{4 \times H}{V_s}$
Sert	Z2	1610	20	0,33	545	0,241	0,22
Yumuşak	Z4	122	20	0,33	150	0,876	0,80

Zemin kat hariç tüm katlarda kat yükseklikleri aynı ve 3m olarak alınmıştır. Yapı modelinde kolon ve kiriş kesitleri dikdörtgen ve kat yüksekliği boyunca sabit olup kolonlar 40×40, kirişler 30×60, döşeme kalınlıkları 15 cm ve radye temel kalınlığı 1 m ve ampatmanlar 2m olarak seçilmiştir. Tüm yapıda C25, S420 kullanılmıştır. Yapıdaki hareketli yük 2 kN/m^2 sabit yük 5.87 kN/m^2 ve duvar yükü 6 kN/m olarak alınmıştır. Yapı modellenirken zemin kat yüksekliği 3m ve 6m olarak belirlenmiştir. (Şekil 2-3)

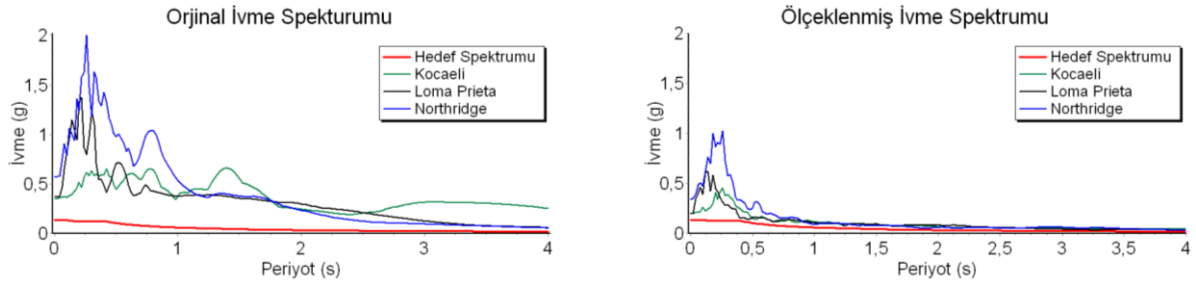


Şekil 2. Analiz Modeli Kat Planı , Kolon Kesiti ve Donatı Özellikleri

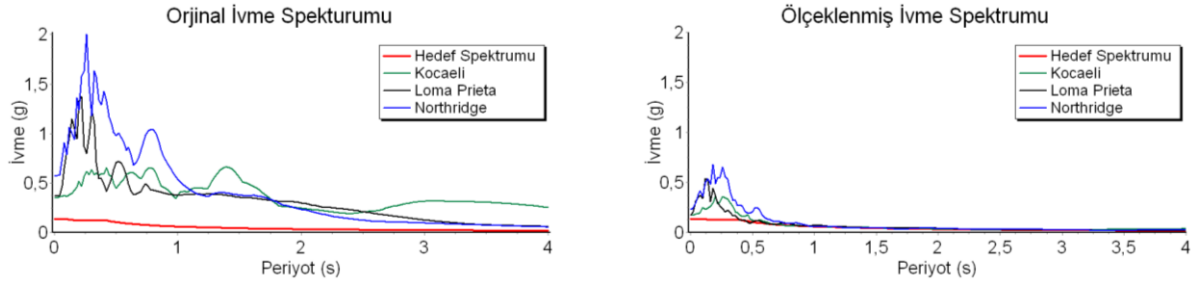


Şekil 3. Ankastre Sistem ve Yapı-Zemin Analiz Modeli 3B Görünüşleri

Zemin kat yüksekliği değiştirilen (hz=3m, hz=6m) 3-10 katlı betonarme bina modellerinin, DBYBHY2007'de belirtilen Z4 ve Z2 zemin sınıfları için ölçeklendirilmiş 3 farklı deprem ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap ile dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4-5) [12-13]. Bina modellerine x ve y yönlerinde deprem ivmeleri etki ettirilmiştir. 1. derece deprem bölgesinde tasarlanan yapıların bina önem katsayısı 1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Dinamik analizlerde kullanılan Z2 zemin sınıfı deprem ivme spektrumları



Şekil 5. Dinamik analizlerde kullanılan Z4 zemin sınıf deprem ivme spektrumları

Z2 ve Z4 zemin sınıfları için ölçeklendirilen deprem ivme spektrumları kullanılarak yapılan dinamik analizler sonucunda elde edilen ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvvetleri Tablo 2 de sunulmuştur.

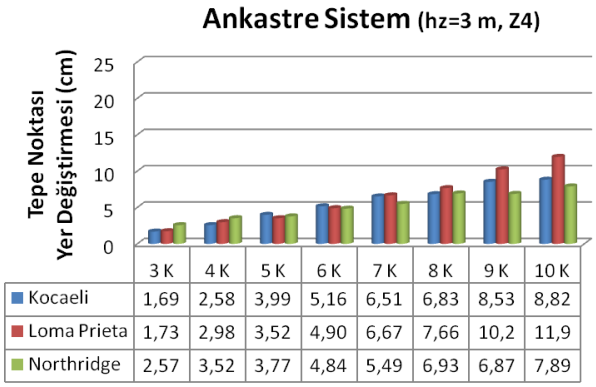
Tablo 2. 10 Katlı ve hz=3m olan Ankastre Sistemde Taban Kesme Kuvvetleri

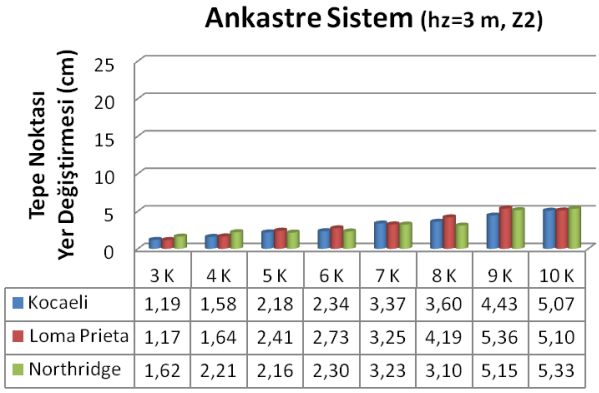
Zemin Sınıfı	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	SAP2000		
		Kocaeli	Loma Prieta	Northridge
Z2	2140,367	2014,784	2004,709	2356,716
Z4	4094,825	3353,687	4417,899	3428,916

Düzenli bina olarak modellenen zemin kat yüksekliği 3 m olan referans bina modeli ile zemin kat yüksekliği 6 m olan bina modelinin yumuşak kat oluşması durumunda göreli kat ötelemeleri ve tepe noktası yer değiştirmeleri belirlenmiştir (Şekil 6-7-8-9). Ayrıca zemin katta yer alan SZ1 kolonunda meydana gelen kesme kuvveti etkileri değerlendirilmiştir. (Şekil 10).

4. Sonuçlar

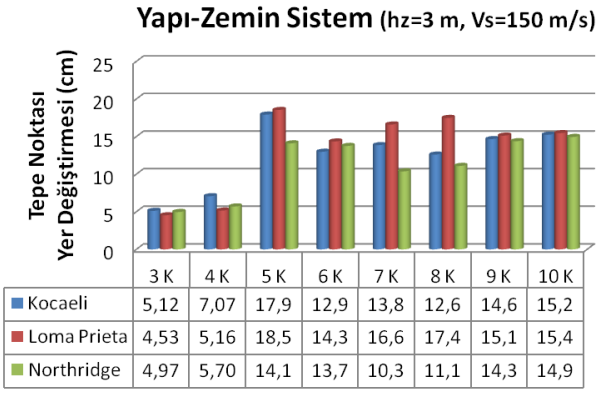
Deprem etkisindeki yapı davranışının belirlenebilmesi amacıyla, 3 farklı deprem ivme kaydı kullanılarak, zemin kat yükseklikleri 3m ve 6 m olan betonarme yapı modellerinin tepe noktası yer değiştirmeleri farklı kat sayıları için belirlenmiş ve maksimum değerler ile elde edilen grafikler sunulmuştur (Şekil 6-7-8).

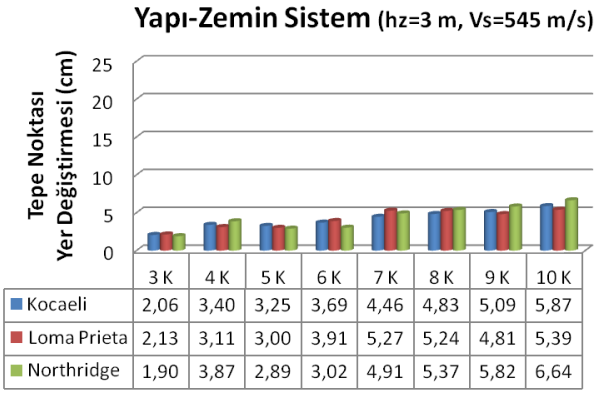




Şekil 6 Ankastre Sistemlerin Tepe Noktası Yerdeğiştirmelerinin Karşılaştırılması

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda, 10 katlı ankastre sistemlerde Z4 zemin sınıfı için Loma Prieta Deprem ivme kaydı ve Z2 zemin sınıfı için Northridge deprem ivme kaydı ile meydana gelmektedir. Ankastre sistemlerde zemin sınıfının Z2 ve Z4 olması durumu incelendiğinde, Z4 zemin sınıfında tepe noktası yer değiştirmesi %55 oranında artmaktadır. Kat sayısının artması tepe noktası yer değiştirmesini arttırmaktadır. (Şekil 6).

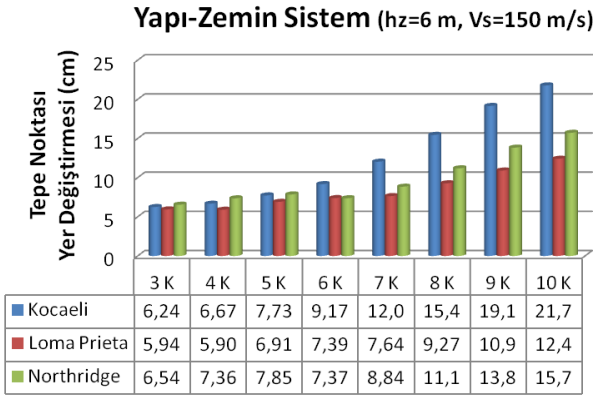


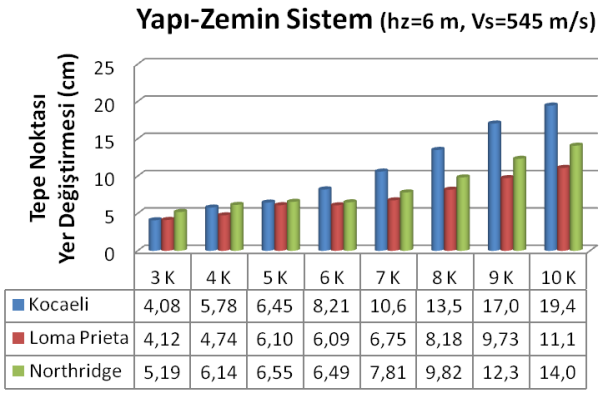


Şekil 7 Yumuşak Zeminde Yapı-Zemin Modellerinin Tepe Noktası Yerdeğiştirmelerinin Karşılaştırılması

Yumuşak zeminde tasarlanan yapı zemin modeli analiz sonuçları incelendiğinde; hz=3m olan binalarda 5 katlı binada en büyük tepe noktası yer değiştirmesinin Loma Prieta deprem ivme kaydı ile oluştuğu görülmektedir. Yapının periyodu ile zeminin periyodunun çakışmasından dolayı rezonans etkisi görülmektedir. 3 katlı ve 4 katlı binalarda meydana gelen yer değiştirmeler 5-6-7-8-9-10 katlı binalara göre daha azdır. Zemin kat yüksekliği 6m olan yapı zemin analiz

modellerinin yapmış olduğu tepe noktası yer değiştirmeleri değerlerinin en büyüğü 10 katlı binada ve Kocaeli deprem ivme kaydı ile oluşmaktadır. (Şekil 7).

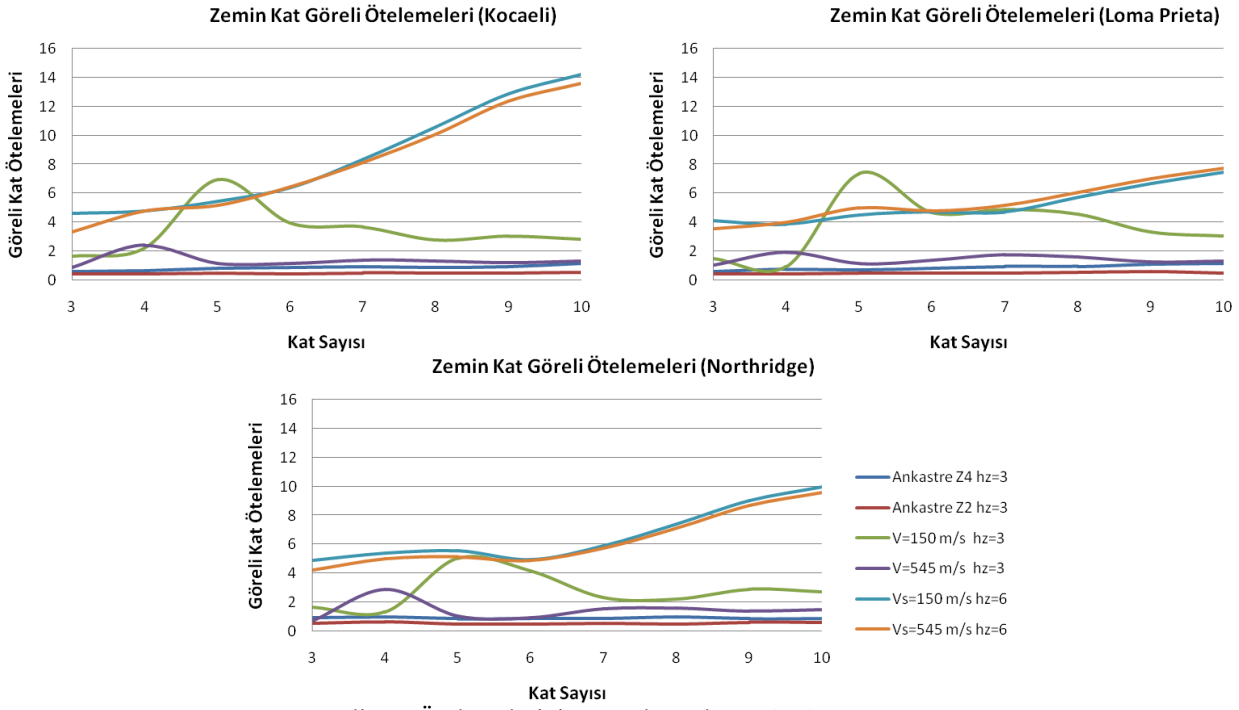




Şekil 8 Sert Zeminde Yapı-Zemin Modellerinin Tepe Noktası Yerdeğiştirmelerinin Karşılaştırılması

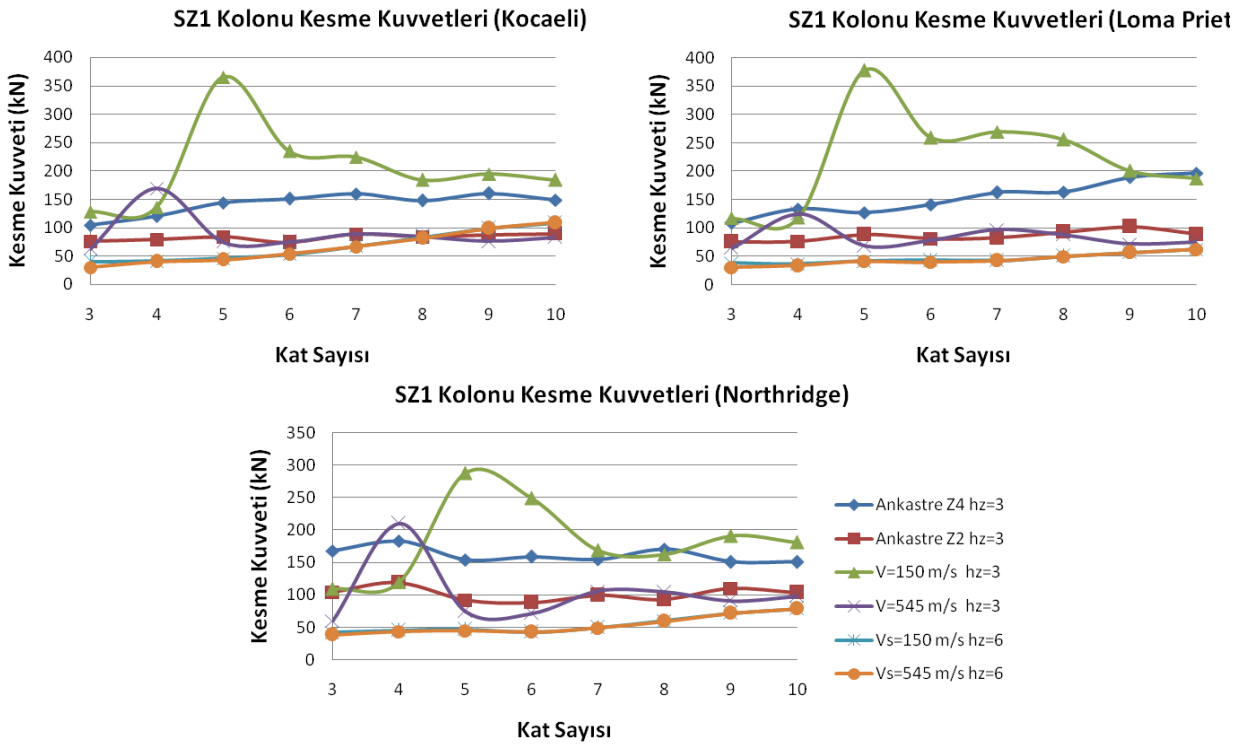
Sert zeminde tasarlanan yapı zemin modeli analiz sonuçları incelendiğinde; hz=3m olan binalarda 10 katlı binada en büyük tepe noktası yer değiştirmesinin Northridge deprem ivme kaydı ile oluştuğu görülmektedir. Zemin kat yüksekliği 6m olan yapı zemin analiz modellerinin yapmış olduğu tepe noktası yer değiştirmeleri değerlerinin en büyüğü 10 katlı binada ve Kocaeli deprem ivme kaydı ile oluşmaktadır. (Şekil 8).

Farklı zemin kat yüksekliğine sahip yapı modellerinin deprem etkisindeki dinamik analizlerinden elde edilen en büyük zemin kat göreli ötelemeleri grafikler sunulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Göreli Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması (cm)

Analiz modellerinin deprem ivme kayıtlarına göre zemin kat göreli ötelemeleri karşılaştırıldığında, hz=3m olan yapılarda yumuşak zeminde 5 katlı olması ve sert zeminde 4 katlı olması durumunda en yüksek değere ulaşılmaktadır. Ankastre sistemlerde en düşük göreli ötelemeler meydana gelmektedir. hz=6m olan yapılarda ise yumuşak ve sert zeminde yaklaşık değerler elde edilmekte olup en yüksek değerler bu tip yapılarda oluşmaktadır. Göreli kat ötelemeleri Kocaeli deprem ivme kaydı ile en yüksek değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 10. Zemin Kat SZ1 Kolonu Kesme Kuvvetleri (kN)

Zemin kat SZ1 kolonunda meydana gelen kesme kuvvetleri incelendiğinde Kocaeli deprem ivme kaydından elde edilen sonuçlarda yumuşak zeminde tasarlanan 5 katlı zemin kat yüksekliği 3m olan yapı-zemin modelinde en yüksek değerler meydana gelmektedir. Sert zeminde 4 katlı yapı zemin modelinde en yüksek değerlere Northridge deprem ivme kaydı ile ulaşılmaktadır (Şekil 10).

5. Değerlendirme

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal elastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında ve değerlendirildiğinde;

a. Sert ve yumuşak zeminlerde tasarlanan yapı zemin modellerinin analizlerinden elde edilen verilere göre en büyük tepe noktası yer değiştirmesi yumuşak zeminde zemin kat yüksekliği 6 m olan 10 katlı yapıda meydana gelmektedir.

b. Yumuşak zeminlere inşa edilen yapıların rijitliklerinin azalması tepe noktası yer değiştirmelerinin artmasına neden olmaktadır.

c. 3 boyutlu dinamik analizler göreli ötelemelerde yapı zemin etkileşiminin etkisini göstermiştir.

d. Yapının periyodu ile zeminin periyodunun çakışması ile yumuşak zeminde 5 katlı yapıda rezonans etkisi meydana gelmiştir.

e. Kat sayısı arttıkça yapının tepe noktası yer değiştirmesinde önemli artışlar gözlemlenmiştir.

f. Yapı zemin sistemlerinden elde edilen veriler incelendiğinde yumuşak kat düzensizliğinin yapının göreli kat ötelemelerinde önemli bir artış meydana getirdiği görülmektedir.

g. Depreme dayanıklı yapı modellenirken yapı zemin etkileşiminin önemi açıkça ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Gökhan Dok'a ölçeklendirilmiş ivme kayıtlarının temininde yardımcı olduğu için teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

[1] H. Öztürk, G. Dok, A. Demir, "Farklı Zemin Koşullarındaki Betonarme Yapıların Davranışının Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi" ISITES 2015, Valencia-Spain

[2] T. Seçme, "Zaman Tanım alanında Davranış Spektrumunun İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eylül 2009

[3] D. Başlı, "2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre Yapı Düzensizliğinin Betonarme Binaların Deprem Davranışlarına Olan Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 2011

[4] T.O. Karasu, "Yumuşak Kat Düzensizliği Bulunan Betonarme Bir Yapının TDY 2007'ye Göre Performans Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2011

[5] Z.Ş. Garip, "Deprem Etkisindeki Betonarme Yapılarda Yapı-Zemin Etkileşimi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşşat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2005

[6] M. Sayar, "Doğrusal Elastik Deprem Hesabı Yöntemlerinin Taban Kesme Kuvveti ve Göreli Kat Ötelemesi Açısından Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2013

[7] F. Mamuk, "Üç Boyutlu Dinamik Zemin-Yapı Etkileşimi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran, 2010

[8] T. Karabörk, "Yapı-Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan 3 Boyutlu Dinamik Analizi

[9] N.Çağlar, Z.Ş. Garip, Z.D. Yaman, "Deprem Etkisindeki Betonarme Yapılarda Yapı-Zemin Etkileşimi", Deprem Sempozyumu, Kocaeli,2005

[10] *DBYBHY,* Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete No:26454,Yayın Tarihi: 06.03.2007

[11] SAP2000, *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Inc.,* California, 2012.

[12] PEER, «PEER Strong Ground Motion Database,» Pasific Earthquake Research Center , 2006. [Çevrimiçi]. Available: http://peer.berkeley.edu/smcat/.. [Erişildi: 12 01 2014].

[13] Y. Fahjan, «Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi,» *İMO Teknik Dergi,* pp. 4423-4444, 2008.