

Farklı Özelliklere Sahip Zeminlerin Betonarme Yüksek Yapılarda Yapı Salınım Periyoduna Etkisi

Mehmet Kevser DERDİMAN

Süleyman Demirel Üniversitesi, YTBMYO, İnşaat Bölümü, ISPARTA
mehmetderdiman@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi:29.08.2013; Kabul Tarihi:12.09.2013

Özet

Zemin yapı etkileşimi (ZYE) zemine ve yapıya bağlı olarak yapı üzerinde önemli etkilere neden olabilmektedir. Bu etkilere neden olan ZYE yapı davranışı açısından çoğu zaman olumlu katkı sağlarken yer hareketine bağlı olarak bazı zeminlerde olumsuz olabilmektedir. Zeminin sertlik derecesi bu etkileşimde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada zemin-yapı etkileşimi açısından farklı özelliklere sahip zeminlerin yüksek yapılara etkisi araştırılmıştır. Bunun için 7 farklı elastisite modülüne sahip zemin üzerinde 5, 10 ve 15 katlı yapı modelleri öngörülmüştür. Modellerin tamamı betonarme çerçeveli sistem olarak düşünülmüş ve çözümde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yapıların salınım periyodundaki değişim ve değişik deprem spektrumlarında maruz kalacakları ivme (PSA) farklı zeminler için birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda zeminin düşük elastisite modüllerine bağlı olarak ZYE yüksek yapının salınım periyodunu önemli derecede değiştirebileceği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Zemin-Yapı Etkileşimi;
Zemin Elastisite
Modülü; Betonarme
Yüksek Yapı

Effects of Soils with Different Properties on Natural Period of Structure at RC High Rise Building

Abstract

Soil structure interaction can cause important effects on structure dependent on soil and structure. Soil structure interaction with these effects provides a positive contribution to the behavior of this structure at most of the time. But sometimes these effects make worse structure behavior. Young's Modulus of soil has an important role in this interaction. In this study, effects of soils with different young's modulus on high rise building according to soil structure interaction were investigated. For this, 5-storey, 10-storey and 15-storey building models are created on the soils with 7 different soil properties were analyzed by finite element method. Values of period and acceleration (PSA) according to different earthquake spectrum were compared with each other for different soils. As a result of the comparison, at soft soils (lower values of young's modulus), soil-structure interaction on periods causes important influential changes on dynamic characteristic of RC high-rise building.

Key words

Soil Structure
Interaction; Young's
Modulus of Soil; RC
High-Rise Building

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Yapı dinamiği, dinamik yüklere maruz bir yapının deplasman ve gerilmelerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Yapı boyutları sınırlıdır ve serbestlik derecesi sınırlı bir sayıda dinamik model geliştirmek için oldukça uygundur. Genelde yapı çevresindeki zeminle etkileşecek olmasına rağmen hareketin dinamik denklemleri kurgulanır ve geliştirilmiş yöntemlerle kolayca çözümlenir. Birçok önemli durumda yapının çevresindeki zemine uygulanan yüklemeye göz önüne alınmalıdır. Bu da her

halükarda ilk modellemede yapılmalıdır. Zemin sınırsız bir bölge ve yarı sonsuz bir ortamdır. Statik yüklemeye için yapıdan yeterli uzaklıkta hayali bir sınır tanımlanabilir. Bu da yapıya benzer olarak modellenebilen zemin için sonlu bir bölge sağlar. Bu durumda yapı ve zemini içeren bütün bir sistem açık bir şekilde analiz edilebilir. (Wolf, 1985).

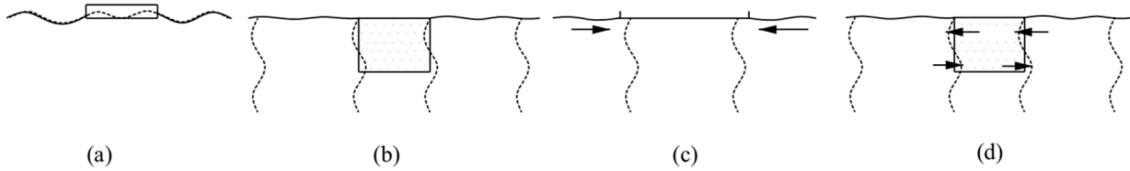
Üzerine yapı bina ettiğimiz zeminlerin birbirlerinden çok farklı özellikleri mevcuttur.

Oldukça heterojen bir yapıya sahip olmaları sebebi ile neredeyse hiçbirinin fiziksel özellikleri bir diğerininkine eşit değildir. Dolayısıyla her zeminin elastisite modülü gibi Zemin-Yapı etkileşiminde rol oynayan özellikleri de farklılık arz etmektedir.

Zemin-Yapı etkileşiminin (ZYE) geleneksel olarak sismik davranışa yararlı katkı sağladığı düşünülür. Çoğu çalışmada da ZYE' nin dinamik açıdan olumlu etkileri üzerinde durulmuştur. Dolayısıyla birçok ülkenin deprem yönetmeliklerinde ihmal edilmiştir. Fakat bunun her zaman böyle olmadığı son yaşanan bir takım depremlerde ortaya çıkmıştır. 1985 Mexico City depreminde en büyük hasar ve göçme 20-25 katlı binalarda görülmüştür. Şehrin kurulduğu zeminin yumuşak olması, ivme değerlerini büyük ölçüde artırmıştır. Bu depreme ait ivme tepki spektrumu, hakim yapı salınım periyodunun $2s_n$ civarında olduğunu göstermektedir (Int Kyn. 1). Mexico City depreminde yapı salınım periyodu 1 saniye civarında olan birçok yapı ZYE nedeni ile 2 saniye civarlarına yükselerek altındaki zemin ile rezonansa girmiş ve ağır hasar görmüştür (Mylonakis ve Gazetas 2000). Bahsi geçen örnekte olduğu gibi hakim zemin periyodunun büyük olduğu durumlarda "ZYE in etkisi" yapı salınım periyodu orta ve büyük olan yapılar için çok önemli olabilir (Avilés ve Pérez-Rocha 1998). Mylonakis ve Gazetas (2000) ZYE nin yapı davranışına her zaman olumlu katkı sağlamayacağını, bazı durumlarda davranışı olumsuz etkileyebileceğini tartışmışlardır. Fakat bazı deprem tasarım yönetmelikleri hakim

yapı salınım periyodundaki herhangi bir artışın yapı davranışına yararlı katkı sağlayacağını rapor etmişlerdir. (Pitilakis, et al, 2008)

Zemin yapı etkileşimini uzunca bir açıklama vermeksizin kısaca tanımlamak oldukça güçtür. Dinamik ZYE teorisi ilk defa 1936 yılında Erich Reissner tarafından dillendirilmiştir (Kausel, 2010). Dinamik zemin yapı etkileşimi yapı rijitliğine yapının kütle özelliklerine, zeminin rijitliğine ve zeminin sönüm özelliklerine bağlıdır. Dinamik yapı zemin etkileşimi kinematik ve atalet olmak üzere iki etkileşim içermektedir. Kinematik etkileşim yapı rijitliğinin bir sonucu iken atalet etkileşimi yapı kütlelerinin bir sonucudur. Yerüstü ve yeraltı yapıların sismik analizi için ZYE'nin düşünülmesi zeminin veya temelin çok sağlam olmaması durumunda önem kazanabilir. Yapı deprem etkisi sürecinde çevresindeki zemini deforme ederek onunla bir etkileşime girer (Datta, 2010). Bir deprem açık arazideki zeminde hem yatay hem de düşey yönde yer değiştirmelere neden olur. Zemin yüzeyine oturan veya bir miktar zemine gömülü yapı açık arazi deformasyonlarına ayak uyduramayacak kadar rijit ise açık arazi dalga hareketinin özelliklerini değiştirecektir. Buna kinematik etkileşim denir. Kinematik etkileşim temel sistem rijitliğinin açık arazi hareketlerini engellediği durumlarda ortaya çıkar. Kinematik etkileşim yapılarda farklı titreşim modlarını da oluşturabilmektedir (Kramer, 2003). Ayrıca kinematik etkileşim temele rotasyonel bir hareketi de verebilir (Datta, 2010).



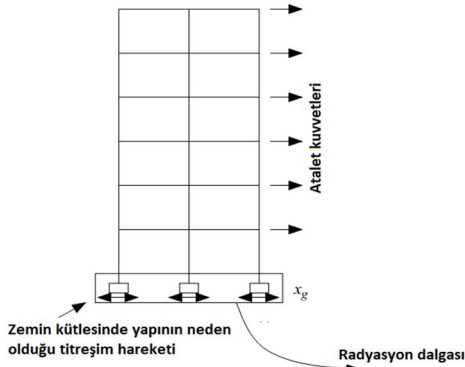
Şekil 1. Kinematik etkileşim a) yüzeydeki temel rijitliği oranında deprem dalgasının düşey bileşenini değiştirmektedir, b) temel zemin içerisine gömülmesiyle deprem dalgasının yatay bileşenini değiştirmektedir, c) temel altındaki zeminin dağılmasını engeller, d) beşiklemeyi (sallanmayı) başlatabilir (Datta, 2010).

Zemin üzerine oturan bir miktar veya tamamen zemine gömülü olabilen temel rijitliğine bağlı olarak açık arazi hareketlerine ayak uyduramayacak dolayısıyla kinematik etkileşime girecektir. Kinematik etkileşimde Şekil 1'de görüldüğü gibi açık

arazi hareketinin değişmesine neden olacaktır. Yapı titreşimi sürecinde yapı kütlelerinin hareketinden dolayı ortaya çıkan atalet etkileri atalet kuvvetlerine sebep olur. Bu kuvvetler temel yolu ile zemine aktarılır. Eğer temelin

mesnetlendiği zemin yumuşak ise temel zemin üzerinde dinamik deplasmanlara neden olur. Bu durumda yapı zemini dinamik olarak deforme ederken titreşim enerjisinden yarar. Bu enerji kaybı yaygın olarak (atalet etkileşiminin en önemli yönü olan) zeminin radyasyon sönümü olarak bilinir. Bu durum Şekil 2'de görülmektedir. Buna da atalet etkileşimi denir (Datta, 2010).

ZYE'li sistem sabit tabanlıyla kıyaslandığında yapısal davranış üzerinde 2 temel etki söz konusu olur. Birincisi, ZYE'li sistem daha fazla serbestlik derecesine sahiptir ve dolayısıyla dinamik karakteristikleri değişmektedir. İkincisi, ZYE'li sistemin titreşim enerjisinin önemli bir kısmını histerezis sönümleme yoluyla veya radyasyon dalga yayılımı yoluyla zemine geri aktarmasıdır. Sonuç olarak ZYE'li sistem sabit tabanlı sisteme göre daha uzun salınım periyoduna sahip olacaktır (Pitilakis, et al, 2008). Sonuç olarak ZYE yapı salınım periyodunu artıracak şekilde bir etki yaptığı bilinmektedir. Bu bağlamda eğer altındaki zeminin periyodu ile örtüşerek rezonans durumuna getirmese yapının davranışına olumlu katkı yaptığı söylenebilir.



Şekil 2. Atalet etkileşimi (Datta, 2010)

ZYE yapı ve zemine göre farklılık göstermektedir. Bunun yanında ZYE açısından yumuşak zeminlerin diğer zemin türlerine göre daha fazla ön plana çıktığı da bilinmektedir.

Klasik yapı analizinde yapılar sabit tabanlı olarak düşünülür ve çözüm bu kabulün üzerinden gerçekleştirilir. Bu varsayım sağlam kaya zeminler için gerçeğe çok yakın olmasına karşın zemin sağlamlığı azaldıkça gerçeklikten uzaklaşmaktadır.

Bu çalışmada değişen zemin özelliklerinin yapı salınım periyodu üzerine olan etkisi ve bunun çeşitli deprem spektrumları kullanılarak yapıya etki eden ivme(PSA) değişimleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bir yapının sismik davranışı üst yapı, deprem kaynağı, zemin şartları ve temelin özellikleri ile yakından ilgilidir. Zemin ve yapının karşılıklı etkileşimi, üst yapı ve yerel zeminin dinamik karakteristiklerini etkiler. ZYE problemlerinin çözümünde genellikle "Direkt Metot" kullanılır (Çağlar et al., 2005).

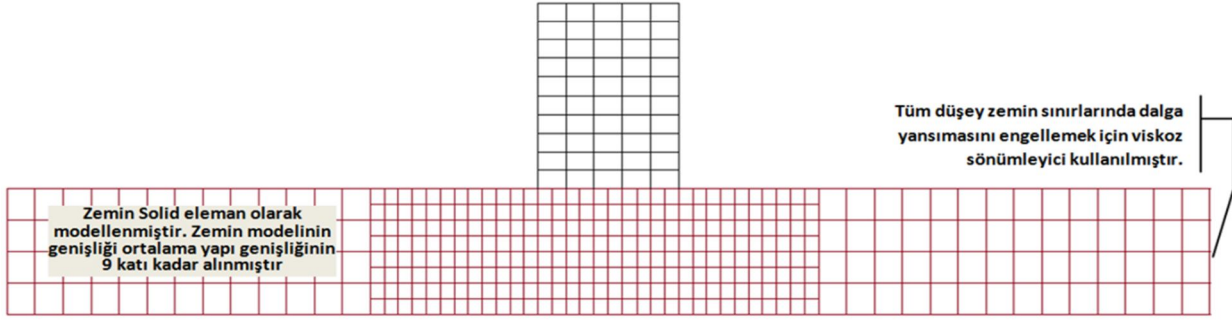
Bu metotta, dinamik yükleme etkisi altında zemin yapı sisteminde, yer değiştirme, mod şekilleri ve kesit tesirleri zaman ve frekansa bağlı olarak tek adımda Sonlu Elemanlar Modeli kullanılarak bulunmaktadır. Belirli yönlerde sonsuza uzanan zemin, kesim yüzeyleri ile kesilerek kesim yüzeylerine yarısonsuz zeminin özelliklerini yansıtacak özel sınır şartları konur. Yapılan parametrik çalışmalarda, zemin sonlu eleman ağının, özellikle radyasyon sönümünün önemli olduğu yüksek frekanslı yer hareketlerinde ve zeminin sönümünün büyük olması gibi özel durumlarda, yapı temel taban genişliğinin 8~10 katına kadar sağ ve solunda uzatılmasının yeterli olacağı belirtilmektedir. Viskoz sınır şartı, yapıdan belirli bir mesafeden sonra kesilerek elde edilen zeminin sınır yüzeylerine uygulanmaktadır (Garip et al, 2007).

Analiz için 5, 10 ve 15 katlı betonarme çerçeveli yapılar modellenmiştir. Betonarme malzemesi olarak C25 betonu ve S420 betonarme çeliği kullanılmıştır. Bütün modellerde kirişler 25x60 cm², döşemeler ise 14 cm kalınlığında seçilmiştir. Kolonlar ise 5 katlı modellerde 40x40 cm², 10 katlı modellerde 70x70 cm², 15 katlı modellerde 90x90 cm² seçilmiştir. Temel plağı ise tüm modellerde 70 cm'dir. Tüm betonarme elemanlar kütleli tanımlanmış ve kütle kaynağını döşeme üzerinde tanımlanan yüklerden almaktadır. Analizde kullanılan zemin özellikleri Tablo 1 de verilmiştir. Modeller sonlu elemanlar yöntemi ile kurgulanmış, analizlerde SAP2000 (Int Kyn. 3) programı ile yapılmıştır.

Tablo 1. Modellerde kullanılan zemin özellikleri

Zemin Tipi	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Özgül Ağırlık (kN/m ³)	Kayma Modülü (kN/m ²)	Poisson Oranı	Varsayılan Sönüm Oranı
E1	3.000.000	21	1.000.000	0,25	0,05
E2	1.500.000	20	600.000	0,25	0,10
E3	750.000	19	288.462	0,30	0,10
E4	375.000	18	144.231	0,30	0,20
E5	187.500	18	69.444	0,35	0,20
E6	93.750	17	34.722	0,35	0,30
E7	46.875	17	17.361	0,35	0,40

Modeller isimlendirilirken ilk sayı kat adedini göstermektedir. Alt çizgiden sonraki ST ifadesi sabit tabanlı modeli, ZYE ifadesi de zemin yapı etkileşimli modeli temsil etmektedir. ZYE ifadelerini takip eden E1, E2,.. ifadeleri zemin tipini göstermektedir. Bu çalışma içinde “yapı salınım periyodu” ifadesi zaman zaman “yapı periyodu” veya yalnızca “periyot” olarak kullanılmıştır.

**Şekil 3.** 10 katlı modele ait yan görünüş.

3. Bulgular

Tablo 2. 5 katlı modellere ait periyot değerleri ve sabit tabanlıya göre değişim yüzdeleri

Modeller	Tx	Ty	Tz	Tx	Ty	Tz
				değişim %	değişim %	değişim %
5_ST	0,89	1,00	0,86	-	-	-
5_ZYE_E1	0,88	1,00	0,85	-0,16	-0,17	-0,51
5_ZYE_E2	0,89	1,01	0,86	0,20	0,17	-0,41
5_ZYE_E3	0,89	1,01	0,86	0,86	0,85	-0,22
5_ZYE_E4	0,90	1,03	0,86	2,13	2,20	0,10
5_ZYE_E5	0,92	1,05	0,86	4,40	4,77	0,65
5_ZYE_E6	0,96	1,10	0,87	8,80	9,93	1,57
5_ZYE_E7	1,04	1,20	0,89	17,19	19,84	3,16

5 katlı modellere ait periyot değerleri Tablo 2 de verilmiştir. Zeminin elastisite modülündeki azalma ile yapı periyot değerinde artış olduğu görülmektedir. Zeminin sertliği azaldıkça periyot değişimindeki oranda artmaktadır.

10 katlı modellere ilişkin periyot değerleri ve değişim oranları Tablo 3 de verilmiştir. Tablodan anlaşılacağı üzere kat sayısı arttıkça zeminin yapı periyodunun değişim oranı artmaktadır. 10_ZYE_E6 modelinde periyottaki değişim %28 iken 10_ZYE_E7 modelinde periyottaki değişim %52 değerlerine ulaşmıştır. Bu değişim Şekil 4 te de görülmektedir.

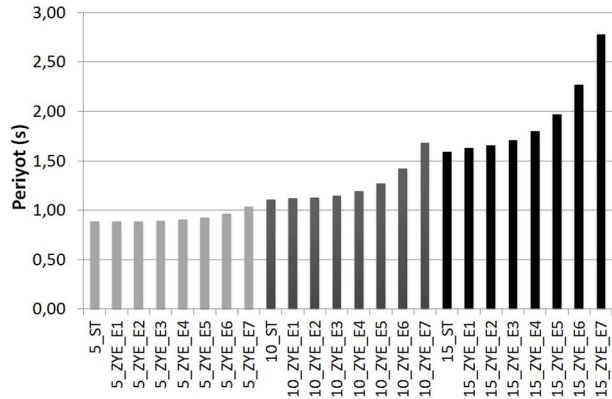
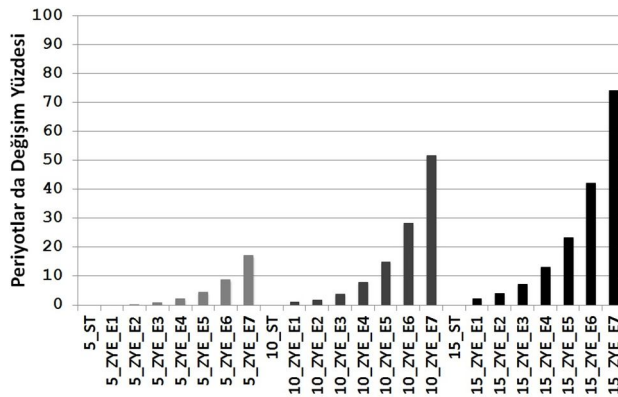
Tablo 3. 10 katlı modellere ait periyot değerleri ve sabit tabanlıya göre değişim yüzdeleri

Modeller	Tx	Ty	Tz	Tx	Ty	Tz
				değişim %	değişim %	değişim %
10_ST	1,11	1,40	1,10	-	-	-
10_ZYE_E1	1,12	1,42	1,11	1,18	1,88	1,60
10_ZYE_E2	1,13	1,44	1,12	1,79	2,96	2,27
10_ZYE_E3	1,15	1,47	1,13	3,87	5,03	2,52
10_ZYE_E4	1,20	1,53	1,13	7,87	9,14	2,89
10_ZYE_E5	1,27	1,63	1,14	14,96	16,64	3,49
10_ZYE_E6	1,42	1,83	1,15	28,33	30,79	4,47
10_ZYE_E7	1,68	2,17	1,17	51,82	55,49	6,19

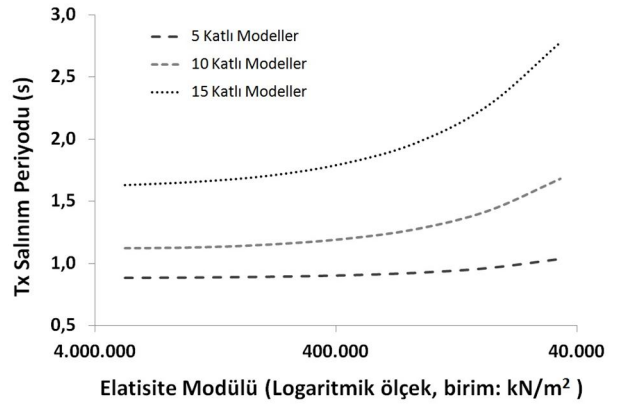
15 katlı modellere ilişkin veriler Tablo 4 de yer almaktadır. Periyot değerleri incelendiğinde, 15_ZYE_E5 modelinde değişim %23, 15_ZYE_E6 modelinde değişim %42 ve 15_ZYE_E7 modelin periyodunda değişim %74 olmuştur. 5 katlı ve 10 katlı modellere göre değişim daha da artmıştır. 15 katlı modellerde zeminin periyot değişimi üzerindeki etkisinin daha büyük olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Tablo 4. 15 katlı modellere ait periyot değerleri ve sabit tabanlıya göre değişim yüzdeleri

Modeller	Tx	Ty	Tz	Tx	Ty	Tz
				değişim %	değişim %	değişim %
15_ST	1,59	2,07	1,55	-	-	-
15_ZYE_E1	1,63	2,13	1,58	2,38	2,89	1,63
15_ZYE_E2	1,66	2,16	1,58	4,07	4,55	1,78
15_ZYE_E3	1,71	2,23	1,58	7,18	7,71	2,03
15_ZYE_E4	1,80	2,35	1,59	13,10	13,87	2,39
15_ZYE_E5	1,97	2,58	1,60	23,44	24,76	2,95
15_ZYE_E6	2,27	2,99	1,61	42,35	44,68	3,88
15_ZYE_E7	2,78	3,68	1,64	74,26	78,08	5,58

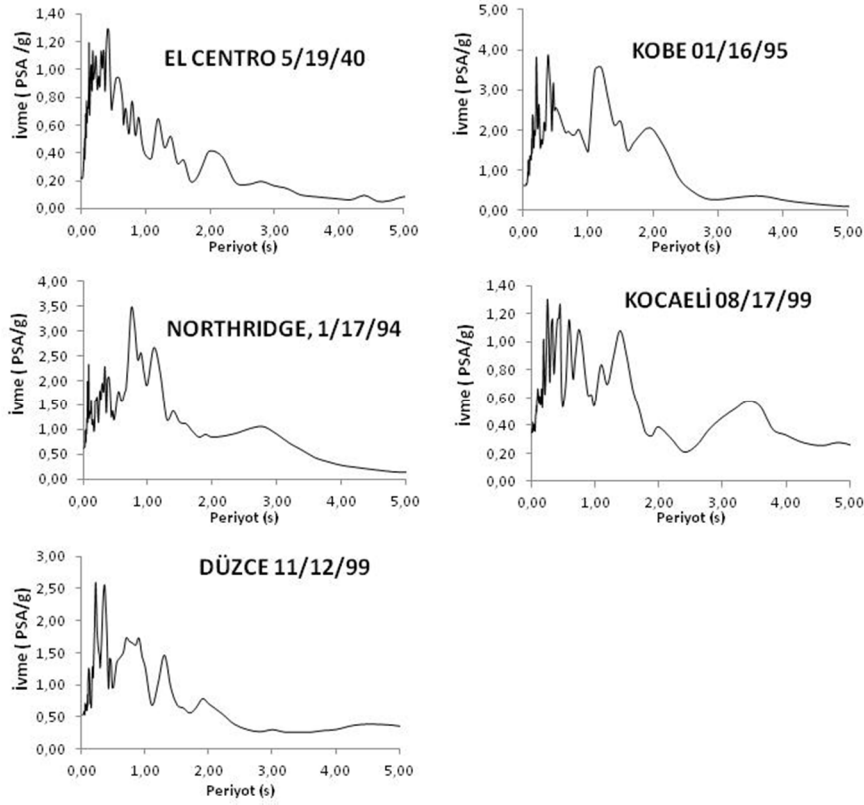
**Şekil 4.** Modellere ait T_x periyot grafiği**Şekil 5.** Modellerin periyotlarındaki değişim yüzdelerini gösteren grafik

Şekil 4'de zeminin çok katlı yapılardaki periyot değişimine etkisini görebilmek için 5 kat, 10 kat ve 15 katlı modeller aynı grafikte gri tonlamalı olarak verilmiştir. Ayrıca Şekil 5'de Tx değişim oranları, Şekil 6'da Zemin elastisite modülünün Tx salınım periyodu üzerine etkisini gösteren grafik yer almaktadır. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere 15 katlı modellerdeki periyot değişimi aynı zemin üzerindeki 10 katlı modele göre çok daha fazla olmuş, aynı şekilde 10 katlı modeldeki değişimde 5 katlı modele göre daha fazla olmuştur.

**Şekil 6.** Zemin elastisite modülünün Tx periyodu üzerine etkisini gösteren grafik

Bir tasarım spektrumu incelendiğinde yapı üzerine etki eden ivmelerin belirli bir değerden sonra periyot artışı ile azalacağı kolaylıkla görülebilir. Fakat herhangi bir depreme özgü spektrum incelendiğinde bunun hep böyle olmadığı görülecektir. Şekil 7'de bu çalışmada kıyaslama örneği olarak kullanılan deprem spektrumları görülmektedir. Spektrum verileri (Int Kyn. 2) tüm periyot değerlerini kapsamadığı için ara değerler Excel Hesap Tablosu programında eğilim fonksiyonu kullanılarak enterpole edilmiştir. Kıyaslanmanın yapıldığı veriler Tablo 5'de verilmiştir.

Tablodaki negatif değerler ivmelerdeki azalmaları göstermekte olup yapı davranışı için olumlu anlamına gelmektedir. Tabloda görüldüğü üzere yapı periyodundaki değişim farklı depremlerde farklı etkiler oluşturmaktadır. Örneğin El Centro ve Düzce depremlerine göre 10 katlı modellerin 10_ZYE_E7 hariç hepsinde ivme değerlerinin artışı söz konusudur. 15_ZYE_E2, 15_ZYE_E3, 15_ZYE_E4 ve 15_ZYE_E5 modelleri ise Kobe depreminde ivme artışı varken diğer kıyaslanan depremlerin çoğunda ivme değerlerinin azalışı söz konusudur.



Şekil 7. Çeşitli depremlere ait %5 sönümlü sözde ivme spektrumları

Tablo 5. Modellerin farklı deprem spektrumlarında maruz kalacağı ivme ve değişim oranları

Modeller	Tx	İvme değerleri (PSA/g) ve sabit tabanlıya göre değişim oranları									
		Elcentro	Değişim %	Kobe	Değişim %	Northridge	Değişim %	Kocaeli	Değişim %	Düzce	Değişim %
5_ST	0,89	0,631	-	1,873	-	2,532	-	0,650	-	1,707	-
5_ZYE_E1	0,88	0,604	-4,3	1,910	2,0	2,504	-1,1	0,683	5,1	1,686	-1,3
5_ZYE_E2	0,89	0,631	0,0	1,873	0,0	2,532	0,0	0,650	0,0	1,707	0,0
5_ZYE_E3	0,89	0,631	0,0	1,873	0,0	2,532	0,0	0,650	0,0	1,707	0,0
5_ZYE_E4	0,9	0,658	4,3	1,835	-2,0	2,561	1,1	0,617	-5,1	1,729	1,3
5_ZYE_E5	0,92	0,588	-6,8	1,749	-6,6	2,388	-5,7	0,620	-4,6	1,613	-5,6
5_ZYE_E6	0,96	0,465	-26,3	1,611	-14,0	2,731	7,9	0,419	-35,5	1,858	8,8
5_ZYE_E7	1,04	0,379	-39,9	2,283	21,9	2,216	-12,5	0,663	2,1	1,034	-39,4
10_ST	1,11	0,391	-	3,508	-	2,614	-	0,823	-	0,720	-
10_ZYE_E1	1,12	0,419	4,5	3,516	0,4	2,561	-2,1	0,808	-2,2	0,754	2,0
10_ZYE_E2	1,13	0,448	9,0	3,523	0,8	2,508	-4,2	0,794	-4,3	0,787	3,9
10_ZYE_E3	1,15	0,504	18,0	3,537	1,6	2,402	-8,4	0,766	-8,7	0,854	7,9
10_ZYE_E4	1,2	0,646	40,4	3,574	3,5	2,136	-18,9	0,696	-19,5	1,023	17,7
10_ZYE_E5	1,27	0,500	17,3	3,058	-24,0	1,479	-44,8	0,839	2,5	1,332	35,9
10_ZYE_E6	1,42	0,479	14,0	2,147	-72,7	1,329	-50,8	1,048	34,6	0,907	11,0
10_ZYE_E7	1,68	0,227	-26,1	1,646	-99,4	0,985	-64,3	0,546	-42,6	0,579	-8,2
15_ST	1,59	0,344	-	1,572	-	1,112	-	0,687	-	0,646	-
15_ZYE_E1	1,63	0,302	-6,8	1,555	-0,9	1,062	-2,0	0,619	-10,5	0,618	-1,6
15_ZYE_E2	1,66	0,257	-13,9	1,610	2,0	1,016	-3,8	0,575	-17,3	0,595	-3,0
15_ZYE_E3	1,71	0,199	-23,1	1,703	7,0	0,943	-6,7	0,500	-28,8	0,572	-4,3
15_ZYE_E4	1,8	0,216	-20,3	1,884	16,7	0,837	-10,9	0,351	-51,8	0,650	0,3
15_ZYE_E5	1,97	0,385	6,4	2,020	23,9	0,855	-10,1	0,371	-48,6	0,729	4,9
15_ZYE_E6	2,27	0,305	-6,2	1,245	-17,4	0,885	-8,9	0,275	-63,4	0,498	-8,6
15_ZYE_E7	2,78	0,190	-24,4	0,314	-67,2	1,046	-2,6	0,362	-50,0	0,277	-21,6

4. Tartışma ve Sonuç

Yumuşak zeminlerin yapı periyodunu değiştirme oranı sert zeminlere oranla daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla yumuşak zeminler üzerine oturan yapılarda ZYE dikkate alınarak dinamik karakteristikler daha doğru belirlenebilir.

Yapının kat sayısı arttıkça yapı periyodu üzerine zeminin etkisi daha da artmaktadır. Yüksek yapıların zaten uzun olan periyodu yumuşak zemin etkisi ile daha fazla büyümektedir. Bunun sonucunda yapı periyodu zemin periyoduna yaklaşabilir ve rezonans ihtimalini doğurabilir. Yumuşak zemine oturan yüksek yapılar için mevcut olan bu risk tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır.

Kurgulanan modellerin bir kısmında yapı periyodu büyüyerek deprem spektrumlarına bağlı olarak riskli bölgede kalan modellerin ivmelerinde artış söz konusu iken; yine deprem spektrumlarına bağlı olarak riskli bölgeden uzaklaşan modellerin ivmelerinde azalma yani iyileşme söz konusudur.

Kaynaklar

- Wolf, J.P., 1985. Dynamic Soil-Structure Interaction, Prentice Hall, New Jersey
- Mylonakis, G., Gazetas, G., 2000. Seismic soil-structure interaction: beneficial or detrimental?, Journal of Earthquake Engineering, **4:3**, 277-301.
- Datta, T., 2010. Seismic analysis of structures, John Wiley & Sons, Singapore
- Kausel, E., 2010. Early history of soil-structure interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, **30**, 822-832.
- Kramer, S. L., 2003. Geoteknik Deprem Mühendisliği, Fersa Matbaacılık, Ankara
- Avilés J., Pérez-Rocha L., 1998. Site effects and soil-structure interaction in the Valley of Mexico, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, **17**, 29-39
- Çağlar, N., Garip Z.Ş., Yaman, Z.D., 2005. Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi, 2005 Deprem Sempozyumu, Kocaeli
- Garip, Z.Ş., Çağlar N., Pala, M., Ala, N., 2007. Adapazarındaki zemin şartlarında betonarme yapıların yapı-zemin etkileşimi, 2007 Deprem Sempozyumu, Kocaeli

- Pitilakis, D., Dietz, M., Wood, D.M., Clouteau, D., Modaressi, A., 2008. Numerical simulation of dynamic soil-structure interaction in shaking table testing, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, **28**, 453-467
- SAP2000, 1995. Computers and Structures Inc., Berkeley

İnternet kaynakları

1. <http://www.yildiz.edu.tr/~degunev/>, (4-4-2012)
2. <http://peer.berkeley.edu/smcat/>, (4-4-2012)
3. <http://www.csiberkeley.com/sap2000> (4-4-2012)