



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://febed.mehmetakif.edu.tr>

*Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 3 (1): 12-17 (2012)*

**Araştırma Makalesi / Research Paper**

## **Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapıların Deprem Davranışına Etkileri**

Kasım Armağan Korkmaz<sup>1</sup>, Fuat Demir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe, İzmir  
<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çünür, Isparta

*Geliş Tarihi (Received): 30.10.2011, Kabul Tarihi (Accepted): 04.06.2012*

✉ *Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): armagankorkmaz@gmail.com (K.A. Korkmaz)*

☎ 0 232 301 70 77 📠 0 232 453 11 92

### **ÖZET**

Yapıların yapı-zemin etkileşiminin göz önüne alınması deprem davranış çözümlerinde daha doğru sonuçlar elde etmek için oldukça önemlidir. Türkiye'de son yıllarda yaşanan depremler sonucunda yapı sistemlerinin deprem davranışlarının belirlenmesi oldukça önemli bir hale gelmiştir. Özellikle 2007 DBYYHY deprem yönetmeliği ile birlikte, yapı-zemin etkileşiminin çözümlerinde yer alması gündeme gelmiştir. Yapı çözümlerinde genel yaklaşım zemine bağlanan kolonların, sabit veya ankastre mesnetler şeklinde modellenmesi yönündedir. Bu modellemede zeminin üst yapıya etkisi tam olarak gözlenemez. Yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak yapılan çözümlerinde yapı periyodunun ve buna bağlı olarak etkiyen yatay yüklerin zemin özelliklerine bağlı olarak değiştiği görülür. Bu çalışmada kapsamında zemin türü ve özelliklerinin yapı davranışını nasıl etkilediği incelenmiş ve bu amaçla doğrusal olmayan çözümler gerçekleştirilmiştir. Zemin etkisini belirlemek için farklı rijitlikte doğrusal olmayan yay modeli kullanılmış ve bu modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yapı-zemin etkileşimi, Yapısal performans, Zemin davranışının performansa etkileri

### **Soil Structure Interaction Effects on Structural Earthquake Behavior**

#### **ABSTRACT**

To get more accurate results, it is critical to consider soil-structure interaction in the structural earthquake behavior analyses. After recent earthquakes in Turkey, characterizing the structural earthquake behavior became essential and a common interest of earthquake engineers. Especially after the Turkish design code'07 was delivered, soil structure interaction is considered to be taken into account in structural analyses. In general, for structural analyses, columns are assumed to be fixed or simply supported into the ground. In this approximation, the soil structure interaction cannot be defined appropriately. In the analyses, in which soil structure interaction is taken into consideration, the natural periods of the structures and axial forces are changing with soil properties. In the present study, how the soil types and properties effect the structural behavior was investigated. To investigate the effects of soil properties, nonlinear spring models were used and the models were compared to each other.

**Key Words:** Soil-structure interaction, Structural earthquake behavior, Nonlinear analyses, Soil type effect

## 1. GİRİŞ

Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi için yapılan çözümlenmelerde, uzun bir zaman yapı-zemin etkileşimi ihmal edilmiş ve yapının mesnetlerinin daha önceden tanımlanan deprem hareketine uygun olarak davrandığı kabul edilmiştir. İlk olarak tüm mesnetlerin temele tek bir rijit blok ile bağlı olduğu kabul edilmiş ve hareketin tek bir bileşenin bu bloka etki ettiği düşünülmüştür. Ancak zaman geçtikçe sistemlerin karmaşıklığı artmış ve deprem hareketinin iki ve üç boyutlu koordinat sistemlerinde de dikkate alınması gerekliliği gündeme gelmiştir. Yerin altından yayılan deprem hareketlerinin dalga boyu farklılık gösterdiği düşünüldüğünde geniş bir bölgede mesnetlerin farklı hareketler gösterebileceklerini de düşünmek önem kazanmış ve bu konuyla ilgili çalışmalar da hız kazanmıştır.

Türkiye'de özellikle 2007 Deprem Yönetmeliği ile birlikte, yapı zemin etkileşiminin çözümlenmelerde yer alması gündeme gelmiştir. Deprem yönetmeliğinin yeni hazırlanmış olan güçlendirme ile ilgili kısmında bu konuya değinilmiş ve zemin koşullarının yapı çözümlenmesinde dikkate alınmasının uygun olacağı belirtilmiştir (Anonim, 2007). Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi son yıllarda meydana gelen depremler sonrasında oldukça önem kazanmıştır. Yapı sistemlerinin deprem davranışlarının gerçekçi olarak belirlenmesi, yapıların önemli bir parçası olan temellerin modellenmesi ve zemin özelliklerinin çözümlenmelere ilave edilmesiyle ilişkilendirilebilir (Gülkan, 1992).

Yapının temelinde, dinamik etkileşim nedeniyle meydana gelen gerilmeler ve yer değiştirmeleri belirlemek için farklı kabuller altında yapılan çözümlenme sonuçları önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Bu da yapılmış olan çözümlenmelerin gerçekçiliğini yitirmesine neden olur. Yapı ve zemin etkileşimi üzerine kurulan sistem çözümlenmesi, zeminin elastisite modülü, Poisson oranı, çökme ve dönme rijitlikleri gibi belirlenmesi oldukça güç olan parametreler nedeniyle karmaşık bir yapıdadır. Bu parametrelerin belirlenmiş olması durumunda dahi problem karmaşıklığını korumaktadır. Çünkü yapıyı oluşturan elemanların uçlarındaki serbestlik derecesi sayısı artmakta ve çözümlenmeler karmaşıklığını korumaktadır.

Yarı sonsuz elastik bir ortam olarak modellenen zemin, dış yükler altında farklı şekil değiştirmeler göstererek beklenenden farklı davranış gösterecektir. Özellikle deprem yükleri altında yapıların davranışlarını belirlemek oldukça önem kazanmaktadır. Yapıların gerçek davranışlarına en yakın şekilde modellenmesinde zemininde dikkate alınarak çözümlenmelerin yapılması gerekmektedir (Aydinoğlu, 1977).

Çalışma kapsamında ele alınan örnek betonarme yapı üç boyutlu olarak K1, K2, K3, K4 ile gösterilen 4 farklı rijitlikte zemin için her iki yönde yerdeğiştirme ve dönme rijitlikleri dikkate alınarak modellenmiş ve doğrusal olmayan çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen örnek yapının yapı zemin davranışı çözümlenmelere dâhil

edilmiştir. yapının oturduğu zemin yay modelleri kullanılarak modellenmiş, yapı sünekliliği ve dayanımı değişimi incelenmiştir. Farklı zemin türleri için elde edilen sonuçlar grafiklerde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

## 2. DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME

Çalışma kapsamında doğrusal olmayan çözümlenmeler yapının deprem davranışının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan çözümlenmelerin gerçekleştirilmesi sırasında zemin etkilerinin çözümlenmelere dâhil edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla deprem davranışının belirlenmesi sırasında yapı zemin etkileşiminin de belirlenmesi gereklidir. Çalışmada zemin yapı etkileşimini temsil etmek için yay modelleri kullanılmıştır. yapının temel davranışının doğrusal olmayan çözümlenmelere etkisi incelenmiştir.

Doğrusal olmayan çözümlenmelerden, artımsal statik itme çözümlenmesi temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır. yapıda düşey yükler bulunurken, deprem yüklerini temsil eden yatay yükler de aralarındaki oran sabit şekilde artırılmaktadır (Edward, 2000; Li, 1996). Malzemenin doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere plastik mafsallı hipotezi kullanılmıştır. Buna göre, plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır. Ayrıca ikinci mertebe elasto-plastik teoriye göre hesap yapıldığı için geometri değişiminin denge denklemlerine etkisi de göz önüne alınmıştır.

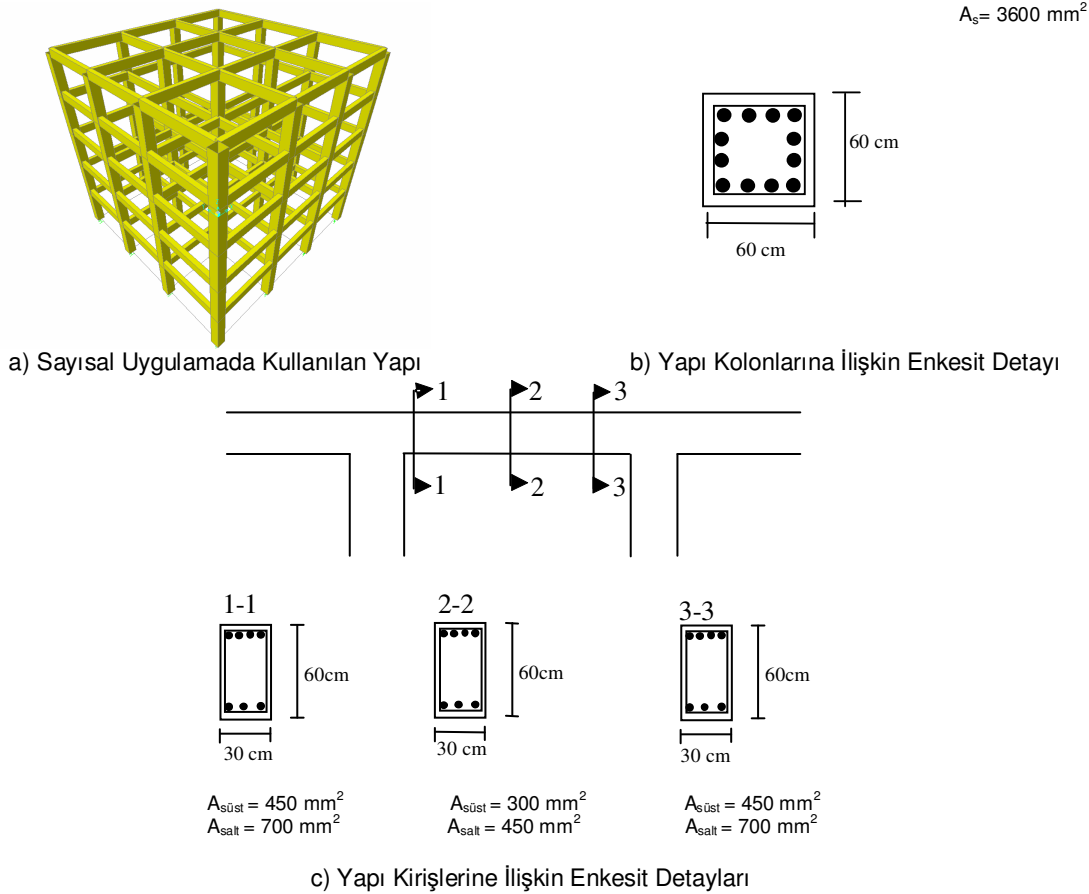
## 3. SAYISAL UYGULAMADA KULLANILAN BETONARME YAPI

Yapının zemin davranışının çözümlenmelere dahil edilmesi bu çalışmanın temel amacı olmuştur. Bu nedenle çözümlenmeleri gerçekleştirmek için 5 katlı betonarme bir yapı ele alınmış ve ele alınan bu yapı TS500 ve DBYYHY'e göre boyutlandırılmıştır (Anonim, 2000; 2007). Boyutlandırma için SAP 2000 çözümlenme programı kullanılmıştır (Wilson and Habibullah, 1998). Çalışmada esas alınan beton sınıfı C30, çelik sınıfı ise S420'dir. yapı birinci derece deprem bölgesinde etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0=0.40$  olup, yapı önem katsayısı  $I=1.0$  olarak alınmıştır. 5 katlı yapı süneklilik düzeyi yüksek (taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R_a=8$ ) olarak kabul edilmiştir. Yapının temeli radye temel olarak tasarlanmış ve K1, K2, K3, K4 dönme rijitlikleri 8000-2000 kN/m arasında alınmıştır. Bu zeminlere ilişkin farklı rijitlik değerleri kullanılarak sistemin özel periyodundaki, yatay yer değiştirmelerindeki ve belirli elemanlarındaki iç kuvvetlerindeki değişim incelenmiş ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Kolon en kesit boyutları 60x60cm, kiriş en kesit boyutları 30x60cm olarak belirlenmiştir. Yapının uygulama modeli Şekil 1'de verildiği gibidir. Donatı detayı da aynı şekil üzerinde sunulmuştur.

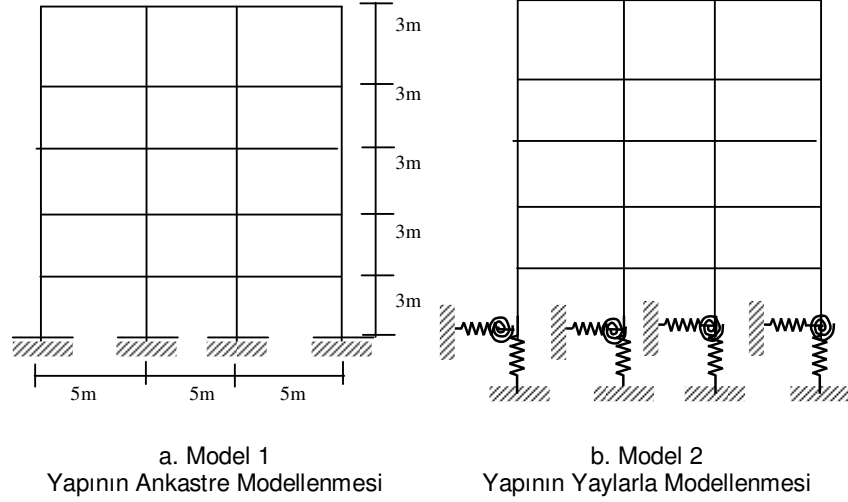
#### 4. SAYISAL UYGULAMADA KULLANILAN BETONARME YAPININ MODELLENMESİ VE DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEMESİ

Seçilen örnek yapı zemine ankastre mesnetlenmiş olarak ve yaylarla modellenmiş olarak ele alınmıştır. Bu iki model, 4 farklı dönme rijitlikleri için doğrusal olmayan çözümleme sonuçlarına göre karşılaştırılmıştır. Şekil 2'de bu yapının modellenme şekilleri verilmiştir. Yapının her iki doğrultusunda kat yüksekliği 3 m, açıklığı ise 5 m olarak alınmıştır. Kolon ve kiriş elemanlarındaki plastik mafsallaşma FEMA 440 (FEMA, 2005) ve FEMA 273 (FEMA, 1997) 'da verilen esaslar çerçevesinde dikkate alınmıştır.

Çizelge 1'de yapının farklı zemin sınıfları için 1. doğal periyotları verilmiştir. Çizelge 2'de ele alınan iki modele göre ilk plastik mafsall oluşumunda meydana gelen yer değiştirme değerleri ve sistemin kapasitesine ulaştığı andaki en büyük yer değiştirme değerleri verilmiştir. Çizelge 3'de ise farklı zeminler için temeldeki dönme değerleri verilmiştir. Şekil 3'de yapının ankastre ve yaylarla modellenmesi ile K1, K2, K3 ve K4 zeminleri için artımsal itme çözümleme sonuçları verilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'de K1, K2, K3 ve K4 zeminleri için sırasıyla yatay yer değiştirme değerleri ve kat ötelemeleri verilmiştir. Doğrusal olmayan çözümlemelerin gerçekleştirilmesinde SAP 2000 çözümleme programı kullanılmıştır (Wilson and Habibullah, 1998).



Şekil 1. Sayısal uygulamada kullanılan yapı modeli, kolon ve kirişlere ilişkin enkesit detayları



Şekil 2. Yapının Ankastre Olarak ve Yaylarla Modellenmesi

Çizelge 1. Yapının farklı zeminler için 1. doğal periyotları

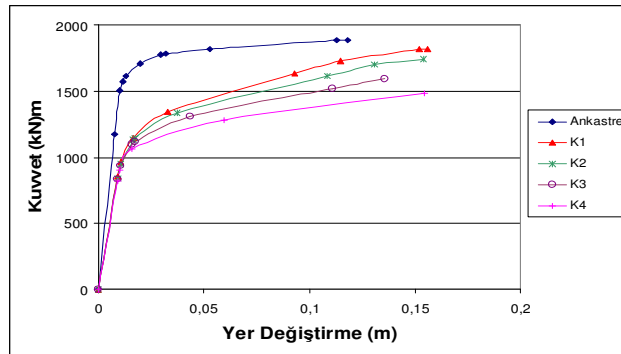
Yapı-Zemin Modeli	Periyot
Model 1	0.31
K1	0.47
Model 2	0.49
K3	0.53
K4	0.64

Çizelge 2. Farklı zemin sınıfları için çatı katı görelî yer değiştirmeleri

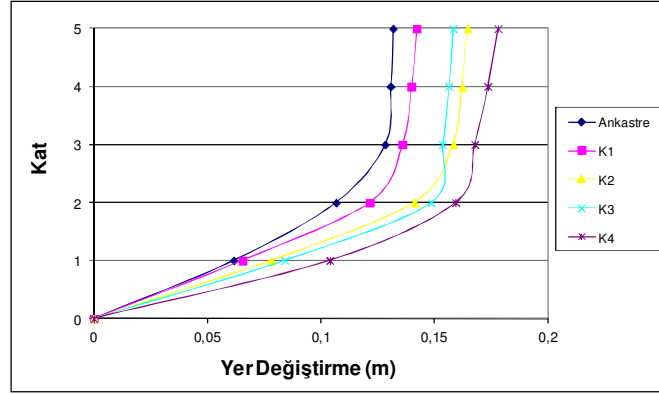
	İlk plastik mafsâl oluşumunda meydana gelen çatı katı yer değiştirme değeri (m)	Sistemin kapasitesine ulaştığı andaki çatı katı yer değiştirme değeri (m)
Model 1 (Ankastre)	0.008	0.13
K1	0.013	0.14
Model 2 (Yay)	0.014	0.16
K3	0.016	0.16
K4	0.023	0.18

Çizelge 3. Farklı Zeminler İçin Temeldeki Dönme Değerleri

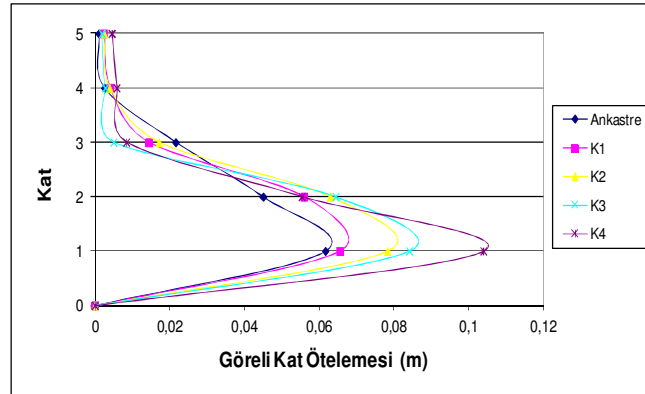
	Temel Dönmeleri
Model 1	0
K1	0.021
K2	0.025
Model 2	0.027
K3	0.027
K4	0.033



Şekil 3. Yapının ankastre ve yaylarla modellenmesi ile K1, K2, K3 ve K4 için artırsal itme zmlenme sonuçları



Şekil 4. Ankastr ve yaylarla modellenen yapı sisteminin K1, K2, K3 ve K4 için yatay yer değiştirme değerleri



Şekil 5. Ankastr ve yaylarla modellenen yapı sisteminin K1, K2, K3 ve K4 için elde edilen kat ötelemeleri değerleri

## 5. SONUÇLAR

Çözömler sırasında birçok durumda yapı-zemin etkileşimi ihmal edilerek zemin "rijit" bir ortam olarak kabul edilmektedir. Ancak gerçekte zemin dış yükler altında şekil değiştiren bir ortamdır. Zemini rijit bir ortam kabulü ile yapılan çözümlerinin zemin koşullarının kötü olduğu durumlarda yetersiz kalacağı açıktır. Çalışmada elde edilen doğrusal olmayan statik itme çözümlerinin sonuçları da bu durumu desteklemektedir. Deprem yüklerinin dikkate alınmadığı durumlarda bu kabul çok fazla hata vermeyebilir ancak deprem etkisinden meydana gelen yatay yükler söz konusu olduğunda yapının zeminle etkileşimli davranışı çok farklı olabilmektedir.

Yatay yükler sistemin davranışını belirleyen önemli bir etken olduğunda zemin etkisinin önemini arttırmaktadır. Yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak yapıların doğrusal olmayan çözümlerinin sonuçlarından özellikle zemin koşullarının kötü olduğu durumlarda yapının özel periyodu oldukça değiştiği görölmüştür. Bu durum sistemdeki kesit etkisi dağılımını da etkilenmektedir. Buna bağlı olarak artan yatay yüklerden ötürü artan yatay yer değiştirmeler sisteme ikinci mertebeye kesit etkilerinin etkimesine neden olmaktadır. Önemli bir etken olan toplam taban kesme kuvveti yapı-zemin etkileşimi dikkate alındığında K1 türü zeminde K4 türü zemine doğru oldukça önemli bir değişim

göstermektedir. Düşük dayanımlı zeminlerde yapı davranışı oldukça değişmekte ve birinci kattaki kolonların dönmelerinin daha fazla olması nedeniyle yumuşak kat davranışına benzer bir davranış ortaya çıkmaktadır. Bu zemin türünde yapının taşıma kapasitesine erişmesi, birinci kattaki mafsallaşmaların etkili olduğunu göstermektedir. K1 türü zeminde kolon alt kesitlerinde mafsallaşma görölmürken, K4 türü zeminde temelde daha büyük dönmeler ortaya çıkması nedeniyle bu mafsallaşmalar sadece birinci kat kolonunun üst kesitlerinde ortaya çıkmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen doğrusal olmayan çözümlerler göstermektedir ki yapıların deprem çözümlerleri oldukça çok parametreye bağlı karmaşık bir çözümlerdir. Yapıların tam etkileşim halinde bulunduğu zemin de bu çözümlerlerde yer alması gereken bir unsurdur. Betonarme elemanlarda çözümlerinin yanında davranışın da önemli bir yeri olduğundan yapıların gerçek davranışını yansıtmak amacıyla yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak yapıların yatay yükler altındaki çözümlerinin yapılması gerekmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

Anonim (2000). TS 500. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Anonim (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Ankara.
- Aydınöğlü, M.N. (1977). Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Edward, L.W. (2000). Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures. CA, ABD.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (1997). NEHRP Guildelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (Rapor No. FEMA 273), Washington DC, ABD.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2005). Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures. FEMA-440, Washington DC, ABD
- Gülkan, P. (1992). Influence of Different Soil Modelling Criteria in SSI Analysis. Developments in Dynamic SSI, Antalya, Turkey.
- Li, Y.R. (1996). Non-linear Time History and Pushover Analyses for Seismic Design and Evaluation. PhD Thesis, University of Texas, Austin, ABD.
- Wilson E., Habibullah A. (1998). Sap 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis, Kullanım Klavuzu Computers and Structures, Berkeley, CA, ABD
-