

ÇELİK KULE YAPILARIN YAPI ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF STEEL TOWER STRUCTURES

K. Armağan Korkmaz^{1*}, A. Işıl Çarhođlu¹

¹Suleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çünür, Isparta

Geliş Tarihi: 29 Aralık 2008

Kabul Tarihi: 9 Şubat 2009

ÖZET

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışları incelenirken çoğunlukla yapı-zemin bağlantısı tam rijit kabul edilmektedir. Böylelikle zeminin yapı davranışı üzerindeki etkisi ihmal edilmiş olur. Bilindiği gibi bir deprem sırasında zemin ve yapı farklı davranışlar göstermektedir. Çelik yapıların analizlerinde de aynı durum geçerlidir. Analizler gerçekleştirilirken temeller ankastre olarak kabul edilmektedir. Ankastre kabulüyle yer değiştirme ve dönme olmadığı varsayılmaktadır. Bu durum da analiz sonuçlarının gerçek değerlerden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada çelik kule tipi yapıların temellerinin ankastre olarak kabul edilmesinin doğruluğunun incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı özelliklerde zemin tabakaları alınarak farklı modeller tanımlanmıştır. Modeller 12 farklı zemin kombinasyonu için üç boyutlu olarak tanımlanmış ve zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında dinamik analiz için Düzce deprem verisi kullanılmıştır. Analizler sonucunda taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeler elde edilmiştir. Modeller karşılaştırılarak farklı koşulların değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Çelik kule, zaman tanım alanında analiz, zemin yapı etkileşimi

ABSTRACT

In most of the cases, for determination of the earthquake behavior of structures, soil structure relationship is defined as rigid and with full connection. Hence, interaction between soil and structure is neglected. Soil and upper structure behaviors are different. It is the same for steel structures. In general, foundation-soil connections are assumed as rigid for steel structures. With this assumption, no displacement and rotation are allowed for the connection points. It makes the analysis results apart from the real be-

* Sorumlu yazar: armagan@mmf.sdu.edu.tr

havior. In the current study, steel tower structures were investigated considering soil-structure interaction. Different models with different soil types and layers were defined in the analysis part. 12 different soil layer combinations were defined in 3D models. Time history analysis was applied with Duzce earthquake data. In the study, base forces and displacements were determined. The results were compared to evaluate different soil-structure interaction and evaluate the rigid connection assumption.

Key Words: Steel Tower, soil-structure interaction, time history analysis,.

1. GİRİŞ

Deprem etkisi yapıların mesnetlerinde bir yer değiştirme hareketi meydana getirir. Ayrıca deprem etkisi, yapıların alışılan yüklerin dışında zorlanarak olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Yapılar düşey yükler yanında yatay yükleri de güvenle taşımaktadır. Deprem sırasında yapıya etkiyen yükler zemin titreşiminin yapıda oluşturmuş olduğu atalet kuvvetleridir. Deprem sırasındaki yapısal davranışı bölgenin jeolojik ve tektonik yapısındaki farklılıklardan kaynaklanan depremin kaynak özellikleri, zemin şartları ve yapısal özellikler etkilemektedir. Zemin tabakalarının farklılığı deprem özelliklerini değiştirdiği gibi depremlerin oluşturduğu tekrarlı gerilmelerden etkilenmektedir. Yapı aynı bölgede inşa edilmiş olsa bile zemin tabakalarının kalınlığı, cinsi farklı hasarlara yol açmaktadır.

Yapılardaki hasarlar zeminin özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Zemin özellikleri titreşimleri etkileyen faktörlerden biridir. Zemin doğal periyodu ve genlikler yumuşak zemin tabakalarında daha büyüktür. Taban kayada oluşan titreşimler yapıya ulaşana kadar titreşim, genlik ve frekans özellikler değişim gösterir. Bu da yapıyı etkileyen kuvvetlerin değişimine neden olmaktadır. Zemin tabakasının çeşitliliği ve kalınlığı çok etkili olmaktadır. Zemin tabaka kalınlığı yapılardaki hasarları çok etkilemektedir. Bu noktadan, yapı-zemin etkileşiminin incelenmesi oldukça önem taşımaktadır. Zemin yapıyı statik ve dinamik yönden etkilemektedir. Bu nedenle analizlerde yapı ve zemin beraber düşünölmelidir. Zemindeki oturmalar üst yapının titreşim periyodunu ve kesit tesirlerini oldukça etkilemektedir. Özellikle sıkışabilen zeminler üzerine inşa edilen yapılarda bu etki daha fazla görölmektedir (Özçep, 2005).

Konuyla ilgili yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları çalışma kapsamında özetlenmiştir. Konuyla ilgili önemli

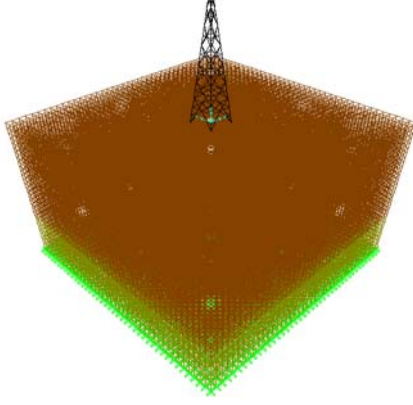
çalışmalardan biri Karabörk vd. (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çok katlı elik yapı sistemlerinin zemin yapı etkileşimi incelenmiştir. Modeller LUSAS sonlu elemanlar analizi paket programında iki boyutlu olarak analiz edilmiş ve zaman tanım alanı yöntemi kullanılmıştır (Karabörk vd., 2007). Karabörk ve Doğuş çok katlı elik yapıların sert ve yumuşak zemin olmak üzere iki farklı zemin ile etkileşimini incelemişlerdir. Modellemeyi SAP 2000 programı ile yaparak zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi uygulamışlardır (Karabörk ve Doğuş, 2005). ağlar vd. (2005), deprem etkisi altındaki betonarme yapılarla zemin etkileşimini incelemişlerdir. 5 farklı betonarme model SAP 2000 programında modellenmiş ve 6 farklı zemin durumu için deprem etkisi altındaki davranışı zaman tanım alanında analiz yöntemi uygulanarak incelenmiştir (ağlar vd., 2005). Livaoğlu ve Doğangün (2005), değiştirme yöntemleri hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla yapı zemin etkileşimini incelemişlerdir. Farklı zemin durumları için analizler yapmışlar ve iç kuvvet ve yer değiştirme değerleri elde etmişlerdir (Livaoğlu ve Doğangün, 2005).

Bu çalışmada farklı zemin kesitlerinde bulunan bir elik kule modellenerek parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bir elik kule ve farklı zemin profilleri SAP 2000 sonlu elemanlar programı (Wilson ve Habibullah, 1998) ile üç boyutlu olarak 12 farklı şekilde modellenmiş ve zaman tanım alanında analiz yöntemi ile yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. şekil 1 ve 2’de modelleme verilmiştir. Zaman tanım alanı yönteminin uygulanması sırasında Düzce depremine ait ivme kayıtları kullanılmıştır. Böylelikle temellerin ankastre olarak kabul edilmesinin doğruluğunun sorgulanması hedeflenmiştir.

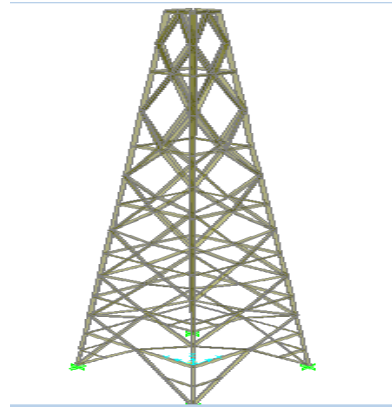
Yapı Zemin Etkileşimi

Yapıların analizlerinde temeller ankastre kabul edilmekte yani temellerde yer değiştirme ve dönme olmadığı kabul edilmektedir. Yapı sistemlerinin statik hesabı sırasında temellerde çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Konut türü yapıların hafif ve esnek oldukları ve rijit bir temel üzerine oturdukları kabul edildiğinden analizleri yapılırken zeminde etkileri bir mesnet hareketi olarak alınabilir ancak yüksek yapılar, nükleer güç santralleri, viyadükler, barajlar, asma köprüler, gibi ağır ve rijit yapılar kendilerine göre daha az rijit ve yumuşak zemin üzerinde bulunduğundan dolayı zeminde yer değiş-

tirmeler oluşmaktadır. Bu nedenle analizlerinde yapı-zemin bağlantısının rijit davrandığı kabulü yapılamaz. Ağır yapılarda zemin yapı etkileşimi göz önüne alınmalıdır (Deneme ve Yerli, 2005). Zemin içinde temeli bulunan yapı zeminle etkileşim halindedir. Deprem etkisi altında yapı bazen zeminle beraber hareket ederken bazen de yapı ve zemin zıt olarak hareket etmektedir. Zemin yapı etkileşimi yapının şekil değiştirmesinin zemindeki gerilmeleri, zemindeki deformasyonlarında yapının iç kuvvetlerini etkilemesidir. Yumuşak zeminlere inşa edilen yapıların en üst kat yer değiştirmesi sert zeminlere göre daha fazladır (Çağlar vd., 2005).



Şekil 1. Zemin yapı sisteminin ağ görünümü



Şekil 2. Rüzgâr türbininin üç boyutlu görünüşü

Örneğin 1985’de meydana gelen Mexico City depreminde özellikle 10 ve 12 katlı yapıların ankastre olarak çözümünde doğal titreşim periyodunun 1 sn olmasına rağmen birçok yapının etkileşim nedeniyle periyotlarının 2 sn değerine çıktığı ve bu nedenle de büyük kayıpların oluştuğu bilinmektedir (Nikolaou vd., 2001; Gazetas, Mylonakis, 1998). Ayrıca ülkemizde meydana gelen son depremler incelendiğinde bu durumla karşı karşıya gelinmiştir.

Yapı temel alanı ve zemin elastisite modülü azaldığında zeminde göre yapı rijitliği artmakta ve yapı zemin frekansı azalmaktadır.

Zemin yapı etkileşimi yapı zemin doğal frekansı yapının doğal frekansından düşük ise meydana gelmektedir (Kimura vd., 1997).

Üst yapı, deprem kaynağı, zemin şartları ve temel özellikleri bir yapının sismik davranışını etkilemektedir. Zemin yapı etkileşimi kütle ve rijitlik dağılımını etkilemektedir buna bağlı olarak mod şekillerini de etkilemektedir. Tasarım aşamasında yapı zemine rijit bağlı olarak analizler yapılmakta fakat dinamik analiz sırasında yapı zemin ile etkileşim halinde olduğundan tek başına düşünülemez.

Yapı zemin etkileşimi zemin tepkisinin ve yapı hareketinin birbirlerini etkilemesi durumudur. Bir deprem meydana geldiğinde yapı ve zemin farklı hareket etmektedir. Zemin ve yapı birbirleri ile karşılıklı etkileşim içindedir. Bir yapının yumuşak bir zemine oturması sırasında göstereceği tepki ile sert bir zemine oturması sırasında göstereceği tepki farklıdır. Yapının davranışı zemine bağlıdır. Zeminin elastisite modülü düştükçe zemin üzerine inşa edilen yapıda dinamik deprem dalgalarının etkisi daha fazla hissedilmektedir. Zeminin özelliğinin yapının dinamik davranışını etkilemesi gibi yapının dinamik tepkisi de zeminde deformasyonlar meydana getirir. Zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde zeminin rijitliği sönüm oranı ve kütle parametreleri dikkate alınmalıdır.

Zayıf kaya olarak bilinen boşluklu kireçtaşları killer, kil taşları vb. be zeminlerde deformasyonlar daha fazla olmaktadır. Alüvyon ortamlarda deprem dalgaları daha fazla hissedilmektedir. Zemin elastisite modülü düştükçe deprem dalgalarının etkisi daha fazla hissedilir. Elastisite modülü düşük olan zeminlerde deprem yükleri altında deformasyonlar fazla olacaktır ve böylece yapılarda farklı oturmalar ve yıkımlar gerçekleşecektir. Deprem dalga hızları farklı olacaktır.

Sismik kuvvetler kohezyonsuz zeminin sıkışmasına neden olur tabakalar sıkışırken zemin yüzeyinde oturmalar meydana gelir. Bu oturmalar yapıda çatlaklar şeklinde hasarlara ve daha büyük hasarlara yol açmaktadır. Çok yumuşak zeminlerde farklı oturmalar meydana gelmektedir. Deprem sırasında zemindeki titreşim yapıyı etkilemektedir. Yapının periyodu olduğ u gibi zemininde bir titreşim periyodu bulunmaktadır. Kaya, sıkı kumlu çakıllı zeminde periyot küçük iken yumuşak killi ve dolgu zeminlerin periyotları büyüktür. Yapıdan bağımsız olan bu periyot (zemin hakim periyodu) tabaka

kalınlığı arttıkça artmaktadır. Zemin hakim periyodu olarak ivme spektrumunda bulunan periyot değeri kullanılmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

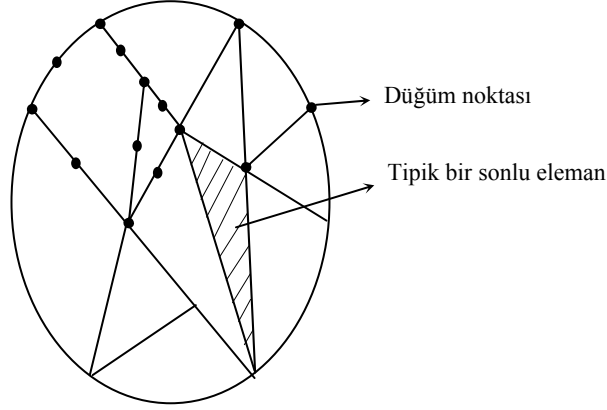
Çalışma kapsamında sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi; kısmi diferansiyel denklemlerle ilgili olan problemleri çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde cisim sonlu boyutta çok sayıda elemana ayrılmaktadır (Zienkiewicz, 1988; Cook, 1989).

Sonlu elemanlar yönteminde ortam sonlu elemanlara ayrılır ve her eleman için problemin bütünü göz önüne alınarak denklemler çıkartılır. Mevcut sınır şartları göz önüne alınır ve elemanlar birleştirilerek ortamın tamamı için matris şeklinde denklemler elde edilir. Elde edilen denklem takımları çözülerek bilinmeyenler hesaplanır (Bathe, 1967)

Sonlu elemanlar yönteminde, ortam önce Şekil 3'de görüldüğü gibi sonlu sayıda elemana bölünür. Bu elemanlar birbirine düğüm noktaları olarak bilinen sonlu sayıda noktalarla bağlıdır. Her elemanın düğüm noktalarında serbestlik derecesi kadar bilinmeyen sayısı vardır. Düğüm noktalarında ve eleman sınır yüzeylerinde bazı süreklilik şartları sağlanarak cismin veya yapının matematiksel bir modeli elde edilmiş olur. Bu şekilde sonsuz serbestlik derecesi olan bir model elde edilmiş olur. Bu modele yapının sonlu eleman ağı adı verilir.

Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar geometrisine göre (üçgen, paralel kenar, dörtgen), düğüm sayısına göre düğüm sayısındaki bilinmeyenlere göre ve sürekli ortam probleminin özelliklerine göre (plak, levha, kabuk problemleri) elemanlar sınıflanır. Ayrıca eleman temel matrislerin elde edilmesine göre de elemanları matematik modelleme açısından sınıflandırmak mümkündür (Zienkiewicz, 1988; Cook, 1989). Yapının davranış sisteminin serbestlik dereceleri bilinmeyenler olarak kabul edildikten sonra bir denklemler silsilesi ile ifade edilmesi mümkündür. Modeldeki doğruluk ve kesinlik, alınan elemanların davranışlarının kabulüne ve ağıdaki eleman sayısına bağlıdır. Genel olarak, eleman sayısı arttıkça bilinmeyenlerin sayısında

da bir artış olur ve neticede sonuçların doğruluk ve kesinliği de artar (Bathe, 1967).



Şekil 3. Sürekli ortam ve sonlu eleman ağı

Bu çalışmada kil, kum ve kaya zemin türleri Şekil 4’de verildiği gibi 12 kombinasyon halinde değişik tabaklar olarak ele alınmıştır. Zeminler SAP 2000 programında üç boyutlu solid eleman olarak modellenmiştir. Solid elemanın boyutu her iki yönde de yapı taban genişliğinin yaklaşık sekiz katı derinliği ise 30 m’dir. Zemin sonlu elemanlar ayrılmış ağ aralıkları tüm zeminde eşit olarak alınmış fakat çelik kulenin yer aldığı zemin bölgesinde ağlarda sıkılaştırma yapılmıştır. Zeminlerin elastisite modülü, poisson oranı, birim hacim ağırlık değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 2’de kullanılan çeliğin elastisite modülü, birim hacim ağırlığı ve poisson oranı verilmiştir. Analizlerde kullanılan çelik kule 24 m yüksekliğinde ve 8 katlıdır. Rüzgâr yükleri diyagonal ve aksel olmak üzere iki şekilde verilerek boyutlandırılma yapılmış ve yapılan hesaplar sonucu kolon, kiriş ve çapraz elemanlarda 90x90x9 profiller kullanılmıştır. Tablo 3’de de analizlerde kullanılan 12 farklı zemin kombinasyonu tablo halinde sunulmuştur. Analizlerde zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Zaman tanım alanı yöntemi sırasında Düzce depremi ivme kayıtları kullanılmıştır.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan zemin malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Poisson oranı
Kum	60000	20	0,3
Kil	30000	19	0,3
Kaya	50000000	26	0,28

Tablo 2. Analizlerde kullanılan çelik malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Poisson oranı
Çelik	60000	20	0,3

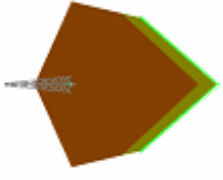
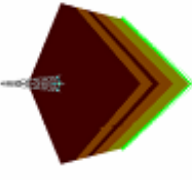
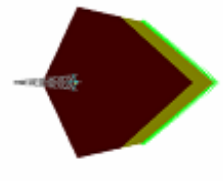
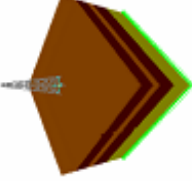
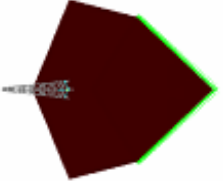
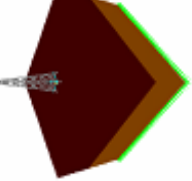
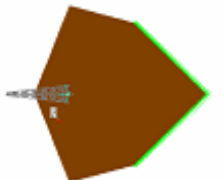
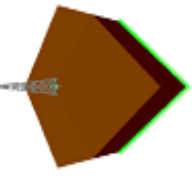
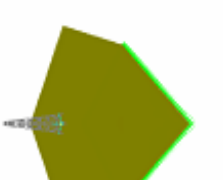

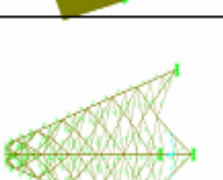

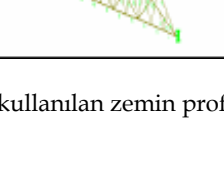
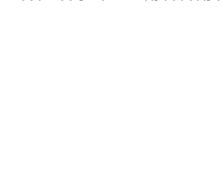

Zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ile sistemin doğrusal olmayan davranışı sistemin hareket denkleminin artımsal olarak entegre edilmesi ile elde edilmektedir. Hareket denklemi Denklem 1’de verilmiştir.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = [P(t)] \quad (1)$$

Burada; [P(t)]: zamana bağlı kuvvetler, $\{\ddot{x}\}$: ivme, $\{\dot{x}\}$: hız, $\{x\}$: yer değiştirme, [M], [c], [k]: Kütle, sönüm, rijitlik matrisleridir (Hart ve Wong, 1999).

Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz yönteminde farklı özellikteki ivme kayıtlarının kullanılması güvenilir bir değerlendirme için ön koşuldur. Benzer özellikte ivme kayıtlarının kullanılması, doğru bir davranış değerlendirmesi için yetersiz kalabilmektedir.

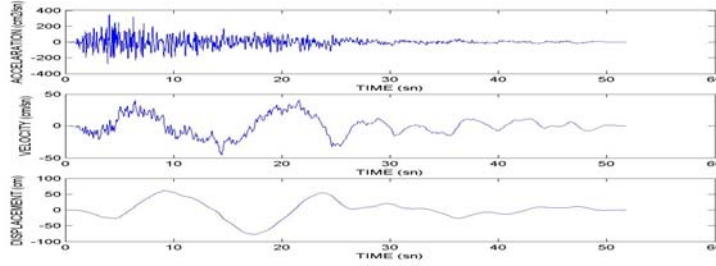
Tablo 3. Analizlerde kullanılan zemin profil tablosu

12	5m Kum 5m Kil 5m Kum 5m Kil 10m Kaya		Mödel 6		Mödel 12
11	5m Kum 5m Kum 5m Kum 10m Kaya		Mödel 5		Mödel 11
10	15m Kum 15m Kil		Mödel 4		Mödel 10
9	15m Kil 15m Kum		Mödel 3		Mödel 9
8	10m Kum 10m Kil 10m Kaya		Mödel 2		Mödel 8
7	10m Kil 10m Kum 10m Kaya		Mödel 1		Mödel 7
6	20m Kil 10m Kaya				
5	20m Kum 10m Kaya				
4	30m Kum				
3	30m Kil				
2	30m Kaya				
1	Ankast mesnet				
ModelNo	Zemin Durumu				

Şekil 4. Analizlerde kullanılan zemin profil tabakaları

Zaman tanım alanı bir ana ait bilinen büyüklüklere bağlı olarak zaman artımı yöntemi ile bir sonraki adıma ait değerlerin belirlenmesidir. Yapının elastik olmadığı düşünülerek genel davranış incelenmektedir. Belli bir deprem kaydı ele alınarak küçük zaman aralıklarında entegrasyon yapılmaktadır ve gerekli değerler elde edilmektedir. Bu hesapta sönüm kuvvetleri malzemenin lineer olmayan bünye denklemleri ve ikinci mertebe etkileri göz önüne alınmaktadır. Doğrusal ya da doğrusal olmayan analizlerde daha önce kaydedilen deprem verileri veya yapay yollarla üretilen benzeştirilmiş deprem verileri kullanılabilir (Irtem, 2002).

Sap2000 programında, Düzce deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında yapılan dinamik analizler sonucunda modellerde oluşan X ve Y yönünde maksimum taban kesme kuvveti, maksimum taban eğilme momenti, birinci moda ait periyot, X ve Y yönünde maksimum yer değiştirmeler, temel ile en üst kat arasındaki görelî yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5’de kullanılan deprem verisi için kayıt özellikleri verilmiştir.



Şekil 5. Düzce 11.12.1999, DÜZCE, UP (ERD) depremi ivme kaydı

3. BULGULAR

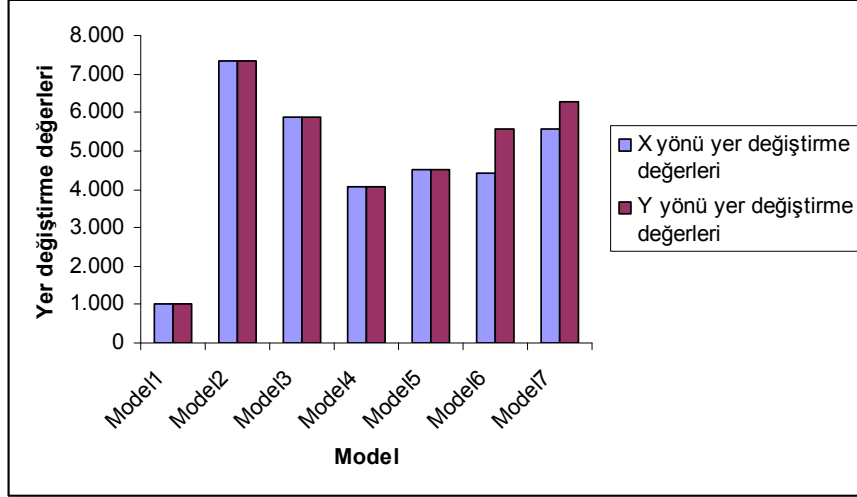
Analiz sonucunda her zemin yapı modeli için maksimum taban kesme kuvvetleri ve maksimum yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Taban kesme kuvveti ve yer değiştirmelerin maksimum değerleri Tablo 4 ve 5’de verilmiştir. Dinamik analiz yapıldığında z yönündeki taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmelerin diğer yönlere göre oldukça az olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Analiz sonuçlarında elde edilen X ve Y yönü en büyük taban kesme kuvveti değerleri

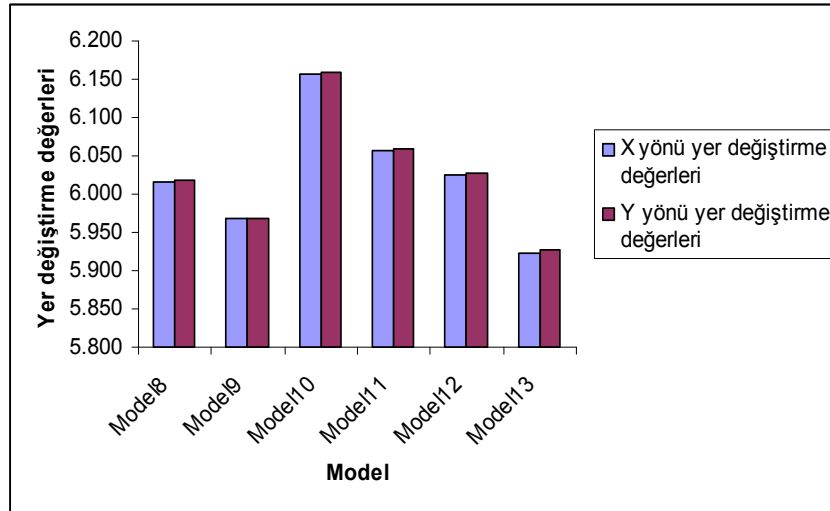
		Modeller											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Taban Kesme Kuvvetleri	X (kN)	430,2	368,07	248,36	410,32	407,65	402,3	407,4	381,5	392,6	386,6	395,9	407,9
	Y (kN)	766,8	632,3	602,3	705,2	698,5	685,3	701,2	645,2	661,5	641,11	669,7	701,2

Tablo 5. Analiz sonuçlarında elde edilen X ve Y yönündeki en büyük yer değiştirme değerleri

		Modeller											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yer değiştirme değerleri	X (mm)	1.023	7.347	5.874	4.055	4.498	4.436	5.586	6.017	5.968	6.157	6.056	6.024
	Y (mm)	1.024	7,348	5,875	4,056	4,499	5,587	6,285	6,019	5,969	6,159	6,058	6,028



şekil 6.a. Model 1-model 7



şekil 6.b. Model 8- Model 12

şekil 6. Analiz sonuçlarında elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri

Tablo 6. Analiz sonuçlarında elde edilen periyot değerleri

Model	T1	T2	T3	T4
1	0.12457	0.12457	0.0895	0.0894
2	0.12465	0.12465	0.10114	0.0856
3	0.6359	0.6359	0.52085	0.29732
4	1,46886	1,46886	1,20397	0.68685
5	0.6056	0.6056	0.4889	0.2876
6	0.405764	0.405764	0.363415	0.239390
7	0.28925	0.28925	0.2658	0.20504
8	0.6587	0.6587	0.5776	0,3067
9	0.49406	0.49406	0.41198	0.25175
10	0.6987	0.6987	0.5997	0.3243
11	0.6756	0.6756	0.5567	0.2678
12	0.6365	0.6365	0.5032	0.218

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucunda, farklı zeminlere oturan aynı plan ve rijitliğe sahip çelik kule yapı modelleri için belli bir deprem etkisinde farklı yer değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin elde edildiği gözlemlenmiştir.

Zemin türleri deprem hasarlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Zemin şartları yer ivmesinin genliğini, frekans özelliklerini, atalet kuvvetlerini etkilemektedir. Deprem sırasında zemin profilleri farklılaştıkça aynı yapıda farklı davranışlar görülmektedir. Farklı zeminler farklı hasarlara yol açmaktadır. Yumuşak zeminlerde sert zeminlere göre hasarların arttığı görülmektedir. Örneğin, ankastre mesnet ve kaya durumunda elde edilen yer değiştirme değerlerinin zeminin kum ve kil olması durumunda elde edilen değerlerden küçük olduğu en büyük yer değiştirme değerinin zeminin kil olması durumunda elde edildiği görülmüştür. En küçük yer değiştirme zeminin ankastre mesnet olması durumunda veya kaya olması durumunda elde edilmiştir. Yüzeydeki zeminin katı olması durumunda zemin yer değiştirmelere izin vermez ve harekette kinematik etkileşimle karşılaşır. Yapının temele ankastre kabulü yumuşak zeminlerde uygun olmadığı

bu zeminlerde zemin üst yapının davranışını değiştirdiği görölmektedir. Zemin yapı etkileşimi yumuşak zeminlerde önemli olduğu görölmektedir. Sağlam zeminlerde zemin yapı etkileşiminin küçük olduğu görölmektedir.

Zemin profili farklılaştıkkça sismik titreşimleri farklı şekilde iletmektedir. Yapı altındaki zemin ana kayanın deprem etkisini değiştirmektedir. Zemindeki farklı tabakalaşmadan dolayı yapı periyodu ve mod şekilleri değişmektedir. Zeminin rijitliği azaldıkça yapının periyodu artmaktadır.

Yapının rijitliğinin bir ölçüsü doğal periyotdur. Bu birinci moda ait olan periyotdur. Analiz sonuçlarında en büyük periyot killi zeminde en küçük periyot ise çok yakın değerler elde edilmiş olan ankastre mesnet durumunda ve kayada elde edilmiştir. Periyot değeri arttıkkça deprem etkisinden dolayı oluşan yer değiştirme miktarlarında da artma meydana gelmiştir.. Yapı bu yer değiştirmeleri karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Yapı periyodunun azalması, daha az yer değiştirmeye yol ağmasına rağmen taban kesme kuvvetleri yüksek değerlere ulaşabildiğinden güvenlidir denilemez. Taban kesme kuvvetleri incelendiğinde en büyük kesme kuvvet değerinin en küçük yer değiştirme değerinin elde edildiği kaya ve ankastre mesnet durumunda elde edildiği görölmüştür. En küçük kesme kuvvetinin en büyük yer değiştirmenin elde edildiği zeminin kil olması durumunda elde edildiği görölmüştür.

5. KAYNAKLAR

- Bathe, K., 1967, The Finite Element Method, Publisher, *Journal of the University of Cape Town Engineering Society* ,57-61 pp
- Cook, R., Malkus D., Plesha M., 1989, Concepts and Applications of Finite Element Analysis, Publisher, John Wiley& Sons ,Canada, 3 pp.
- Çağlar, N.,Garip Z.S.,Yaman Z.D., 2005, 'Deprem etkisindeki betonarme yapılarında yapı-zemin etkileşimi', Deprem Sempozyumu, Kocaeli ,.1089-1096.
- Deneme İ.Ö. , Yerli H., R., 2005, İki boyutlu statik zemin-yapı etkileşimi problemleri için süreksiz kuadratik sınır eleman formölasyonu, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye.

- Gazetas, G. ve Mylonakis, G., 1998, Seismic soil structure interaction, new evidence and emerging issues. *Geotechnique Earthquake Eng. And Soil Dynamics* 3, (2), 1119-1174, ASCE
- Hart, G. C. and Wong, K. 1999, *Structural Dynamics for Structural Engineers*, Wiley
- Irtem, E., Turker K., 2002, "Yapıların Deprem Yüklere Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması", Balıkesir, Türkiye.
- Karabörk, T., Doğuş S., Bilgehan R.P. , 2007, Çok katlı çelik yapı sistemlerinin yapı-zemin etkileşimi ile doğrusal olmayan analizi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendiliği 1.Özel Konulu Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- Karabörk, T.,Doğuş, S., 2005, "Zemin özelliklerinin çok katlı yapıların dinamik davranışı üzerine etkisi" Deprem Sempozyumu , Kocaeli ,1108-1113.
- Kimura, M., Natsukawa, K. ve Tanaka, A.,1997, "Seismic evaluation of pile foundations, Proc.6 th Intern Sympos. On Numerical Models in Geomechanics", Canada, July 2-4, pp 545-548.
- Livaoğlu, R., Doğangün, A., 2005, 'Yapı zemin etkileşiminde değiştirme yöntemleri' Deprem Sempozyumu , Kocaeli, Türkiye.
- Nikolaou, S., Mylonakis, G., Gazetas, G. Ve Tazoh, T., (2001), *Geotechnique* 51, No. 5., 425-440
- Özçep, F., Aşçı M., Alparslan N., Yas T., Gündoğdu D., 2005, Statik ve dinamik etkiler altında zemin davranışı' Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye.
- Wilson, E. ve Habibullah A., 1998, *SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis, Kullanım Klavuzu*.
- Zienkiewicz, C.,Taylor L., 1988, *The finite element method*, Publisher, McGraw- Hill, England,V.22

* * * *