



## FARKLI ZEMİNLERDEKİ KAZIKLARIN DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ÖMÜR ÇİMEN<sup>1</sup>, K. ARMAĞAN KORKMAZ<sup>2\*</sup>, S. NİLAY KESKİN<sup>1</sup>, ZEKİ AY<sup>2</sup>,

A. İŞİL ÇARHOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Böl. Geoteknik Anabilim Dalı

<sup>2\*</sup> Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Böl. Yapı Anabilim Dalı

### ÖZET

Bu çalışmada, farklı zeminlerdeki kazıkların deprem etkisi altındaki davranışını incelemek için sonlu elemanlar yöntemiyle dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. 10 m x 10 m zemin içerisinde; 1 m sabit çaplı, 10 m sabit uzunluğundaki bir kazık modeli sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Zemin ve kazık, üç boyutlu katı (solid) modelleme ile modellenmiştir. Kum ve kil tabakalarının farklı kalınlıklarda yerleştirilmesi ile on bir adet farklı zemin profili tanımlanmıştır. Oluşturulan bu zemin-kazık modellerinde zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılarak dinamik analiz yapılmış, zemin- kazık modellerindeki yatay ve düşey maksimum yer değiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda deprem etkisindeki zemin-kazık etkileşiminde, zemin yapısındaki değişikliğin oldukça önemli olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin, Kazık, Sonlu elemanlar, Dinamik analiz.

## INVESTIGATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF PILES IN DIFFERENT SOILS

### ABSTRACT

In this study, the earthquake behaviors of piles in different soil conditions have been investigated by using finite element method. A pile model with 1 m diameter and 10m fixed length in 10m x 10m soil was modeled with finite element methodology. The soil and pile have been modeled in three-dimension. Eleven different soil profiles have been defined with different thickness of the sand and clay layers. Dynamic analysis has been realized by using time history analysis. As a result, maximum horizontal and lateral displacements and base shears have been obtained. It has been observed that the change at the soil structure is significantly important for interacted soil-pile system.

**Keywords:** Soil, Pile, Finite element, Dynamic analysis

\*E-posta: [armagan@mmf.sdu.edu.tr](mailto:armagan@mmf.sdu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Kazıklar, temel elemanı olarak görev yaptıklarında üstyapı yüklerini zemine aktarırlar. Bunun dışında, yan yana yapılmış sıralı kazıklar, gerektiğinde ankraj elemanları ile güçlendirilerek dayanım yapısı olarak projelendirilebilirler [1]. Kazıklar; yükleri iletme şekillerine göre sürtünme ve uç kazığı; imal edildikleri malzemeye göre ahşap, betonarme, çelik; imalat şekline göre; çakma kazıklar, yerinde dökülen kazıklar olarak sınıflandırılırlar. Kazık temeller, bir deprem sırasında temel hareketlerini azaltmanın en etkin yöntemlerinden biridir. Kazık temellerin deprem koşullarında en yaygın kullanılan iki çeşidi, fore kazık ve bağlantı giriş sistemi ve ön gerilmeli kazık temellerdir [2]. Kazıklı radye temellerin kullanımı son yıllarda artmıştır. Kazıklar ve radyenin birlikte çalışması, taşıma kapasitesini arttırmakta, oturmayı azaltmakta ve kazıklar radyenin farklı oturmasını azaltmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kazıklı radye temeller tercih sebebi olmaktadır [3].

Kazık taşıma gücünün belirlenmesi, tasarım aşamasında önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Kazık boyutu, zemin cinsi, yüzeye yakın zemin profili, kazığın imalat şekli, kazık başlığının durumu, tekrarlı yükler, kazık aralıkları vb. kazığın taşıma gücünü etkileyen faktörlerdir [4-10]. Konu ile ilgili çok sayıda kaynak mevcuttur. Konu ile ilgili çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Ordu ve Özkan [6], tabaka dayanımları arasında ani değişimler bulunan iki farklı zemin profili içerisinde aynı kazık yapısını modellemişlerdir. Çalışmalarında farklı katmanlardan oluşan zemin profillerinde deprem etkisindeki kazıklarda kesme kuvveti ile momentlerin büyüklüğünün ve dağılımının, zemin şartları ile deprem yüklerine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Özen ve Özkan [8], tabakalı bir zemin profilinde, üst tabakadaki zeminin sıklığı ve sıkı zemin kalınlığı arttıkça yer değiştirmelerin önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Bartolomei ve Omel'chak [11], kazıkların bulunduğu zeminin yüksek plastisiteli kil olması durumunda aynı yük kademesinde oturma miktarlarının düşük plastisiteli orta sert kil olması durumundan daha fazla olacağını göstermişlerdir. Kathigeyan ark. [12], gevşek ve sıkı kumdaki kazıkların düşey yük etkisindeki yanal tepkilerini göstermişler ve zeminin içsel sürtünme açısı, dilatasyon açısı gibi özelliklerinin önemini belirtmişlerdir. Cow ve Teh [13], homojen olmayan zemin profillerinde,

her bir kazıktaki yük taşıma yüzdeleri artmasına rağmen, kazık başlığının yük taşımasında önemli azalma olduğunu göstermişlerdir.

Alsaleh ve Shahrour [14], çalışmalarında zemin kazık yapı ilişkisini incelemişlerdir. Mohr-Coulomb ilişkisini kullanarak yaptıkları modellemede üst yapı, zemin ve kazık üç boyutlu kiriş eleman olarak modellenmiştir. Analizlerde ilk olarak harmonik yükleme, daha sonra gerçek deprem yükleri kullanarak, zemin ve kazığın doğrusal olmayan davranışını incelemişlerdir. Zamana bağlı olarak yer değiştirme değerlerini, kazıklardaki en elverişsiz durumdaki eksenel kuvvet ve burulma momenti değerlerini, elastik ve elasto plastik durumlar için elde etmişlerdir. Zeminin plastikliğinin, üst yapıya enerji geçişini azalttığı ve atalet kuvvetlerindeki artışın önemli olduğunu göstermişlerdir.

Uzuoka ark. [15], çalışmalarında sıvılaşmış bir zeminde grup kazıkların dinamik davranışını incelemişlerdir. Grup kazıklar üç boyutlu zemin-kazık modeli ile modellenmiştir. 1995 Kobe depremi sırasında ortaya çıkan kazık zararlarından dolayı beş katlı bir yapı ele alınarak analiz yapılmıştır. Sıvılaşmadan hemen sonra kazıklarda akmalar oluştuğunu ve yatay yer değiştirmenin 10 cm'ye ulaştığını belirtmişlerdir. Sıvılaşmadan hemen sonra, atalet etkisinin kazık ucu ve zemin tabakasının alt kısmında, kinematik etkinin ise tabaka dibinde görüldüğünü belirtmişlerdir.

Sadek [16], çalışmasında kazık uç ve tabanındaki durumları sismik yüklemeyle göstermiştir. Modellemede üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanmıştır. Üst yapı tek serbestlik dereceli ve yoğunlaştırılmış kütle ve kolon olarak, zemin ise lineer elastik kabul edilerek modellenmiştir. Çalışmada düşey ve eğimli kazıklar kullanılmıştır. Kazıklarda iki eksenel kuvvet ve eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kazıklardaki iç kuvvet değerleri incelenmiştir. Özellikle küçük kazıkların sismik bölgelerdeki katı zeminlerde kullanılmaması gerektiği ve sismik yüklemenin zemin kazık sistemindeki plastikliği azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca, kazık-zemin modellerinde, zeminin elasto plastik olarak analiz edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Sadek ve Isam [17], sismik yüklemeler altında kazıkların davranışlarını incelemişlerdir. Modeller üç boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Zemin elastik, yapı

yoğunlaşmış kütle kolon ve tek serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Kazıkların dinamik etkiler ve sismik atalet kuvvetleri etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sismik yük etkisiyle kesme kuvvetlerinde ve burulma momentlerinde azalma olduğunu göstermişlerdir. Nikolaou ark. [18], çalışmalarında zemin içinde yer alan bir kazığa ait yer değiştirme değerlerini kinematik burulma momentleri üreterek elde etmişlerdir. Bu momentlerin, yumuşak ve katı zemin tabakalarının yüzeyinde yoğunlaştığını göstermişlerdir. Çalışmalarını, a) Kinematik olarak kazığın yüklenmesi b) homojen ve tabakalı zeminlerdeki kazıkların analitik çözümü ve c) Arazi deneyleri şeklinde üç grup olarak ele almışlardır. Çalışmada Winkler temel modeli (BDWF) uygulanarak özellikle kazıklara gelen sismik tepkiler belirlenmiştir. Kazığın sabit ve hareketli uç kısımlarında farklı sınır şartları gözlenmiştir. Kinematik momentlerin büyüklüğünün zemin tabakaları arasındaki rijitliğe bağlı olduğu belirtilmiştir. İki kazık arasındaki altı noktada burulma ve eksenel gerilmeler elde edilerek arazi test sonuçları ve bilgisayar çözümleri karşılaştırılmıştır.

Basu ark. [19], dikdörtgen kesitli kazıkların farklı tabakalı zeminlerdeki durumunu araştırmışlardır. Zemin kazık sisteminde elde edilen yer değiştirme değerlerini elde etmişlerdir. Zemini elastik olarak kabul etmişlerdir. Laman ark. [20], kısa kazıklı temellerin moment taşıma kapasiteleri üzerinde durmuşlardır. Üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle zemin ve kazık yapısını modellemişlerdir. Gevşek ve kohezyonlu zeminler üzerinde çalışmışlardır. Bilgisayarda elde ettikleri değerlerle, deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Zemin basınç değeri olan  $K_0$  değerinin çok hassas değerler aldığını göstermişlerdir. Zhang [21], çalışmasında yatay yüklü kazığın kohezyonlu zemindeki durumunu üç boyutlu sonlu elemanlarla belirlemişlerdir. Yanal eksantrik olarak yüklenmiş bir kazığı kuvvet moment dengesini göz önünde bulundurarak ele almış ve kazığın direncini ölçmüşlerdir. Laboratuvar modelleriyle arazide gerçekleştirilen test modellerini karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada, farklı kalınlıklarda kum ve kil tabakalarının yerleştirilmesiyle oluşturulan farklı zemin profilleri içerisinde 1 m çapında 10 m boyunda sürtünme ve uç direncine sahip olan kazıklar yerleştirilmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle katı (solid) olarak modellenmiştir. Oluşturulan bu zemin- kazık modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT

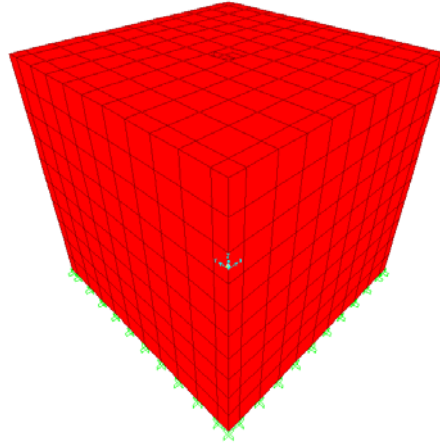
Sonlu elemanlar yöntemi; farklı mühendislik problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Problemin genel bir denkleminin yazımı ve denklemin çözümü yerine önce ortam sonlu elemanlara ayrılır ve her eleman için problemin bütünü göz önüne alınarak denklemler çıkartılır. Mevcut sınır şartları dikkate alınarak elemanlar birleştirilir ve ortamın tamamı için matris şeklinde denklemler elde edilir. Elde edilen denklem takımları çözülerek bilinmeyenler hesaplanır. Bu yöntemde, sürekli ortam önce sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar birbirine düğüm noktaları olarak adlandırılan sonlu sayıda noktalarla bağlıdır [22, 23].

Her elemanın düğüm noktalarına serbestlik derecesi kadar bilinmeyen sayısı vardır. Eleman davranışı bu bilinmeyen serbestlik dereceleri içeren denklemlerle ifade edilir. Gerek düğüm noktalarında gerekse eleman sınır yüzeylerinde bazı süreklilik şartları sağlandığında cismin veya yapının matematiksel bir modeli elde edilmiş olur. Böylece sonsuz serbestlik derecesi olan bir modele dönüştürülür. Bu modele yapının sonlu eleman ağı adı verilir.

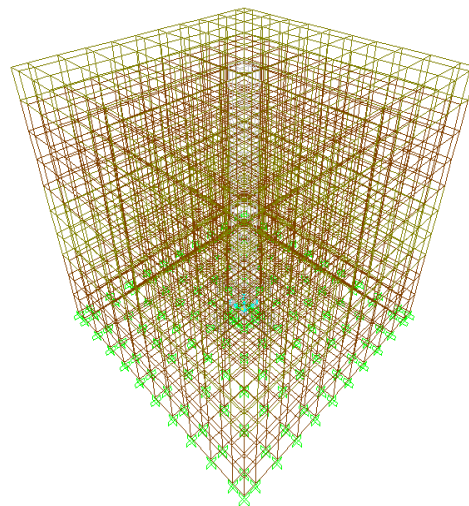
Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar geometrisine göre, (üçgen, paralel kenar, dörtgen), düğüm sayısına göre, düğüm sayısındaki bilinmeyenlere göre ve sürekli ortam probleminin özelliklerine göre (plak, levha, kabuk problemleri) sınıflanır. Ayrıca eleman temel matrislerin elde edilmesine göre de elemanları matematik modelleme açısından sınıflandırmak mümkündür [23,24]. 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 [22].

Bu çalışmada farklı tabakalaşma gösteren zemindeki sabit çap ve uzunluktaki bir kazık sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi, SAP2000 sonlu elemanlar programı ile uygulanmıştır [25]. Kum ve kil tabakalarının farklı kalınlıklarda yerleştirilmesi ile 11 farklı zemin profili elde edilmiştir. Bu profillerde 10 m x 10 m zemin sınırı içerisinde; 1 m sabit çaplı, 10 m sabit uzunlukta kazık modellenmiştir. Şekil 1’de kullanılan model verilmiştir.

Bu modelde oluşturulan farklı zemin profilleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu zemin profillerinde açık renkli kısımlar kil tabakalarını, koyu renkli tabakalar ise kum tabakalarını simgelemektedir. Tablo 1’de analizlerde kullanılan zemin tabakalarının kalınlıkları verilmiştir. Kullanılan kum ve kil zemin özellikleri bütün tabakalarda aynı kil ve kum, kazık ise betonarme olarak düşünülmüştür. Zemin parametreleri Spundwand Handbuch [26]’dan alınmış olup, poisson oranları Poulos ark. [27] tarafından önerilen değerlerden seçilmiştir. Bu özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Oluşturulan zemin-kazık modellerinde zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Kazıklara her bir kazığın kendi taşıma gücü değerlerinden belirlenen gerilmeler etki ettirilmiştir.



a. Zemin kazık üç boyutlu modeli



b. Zemin kazık ağ modeli

Şekil 1. Kullanılan zemin- kazık modeli.

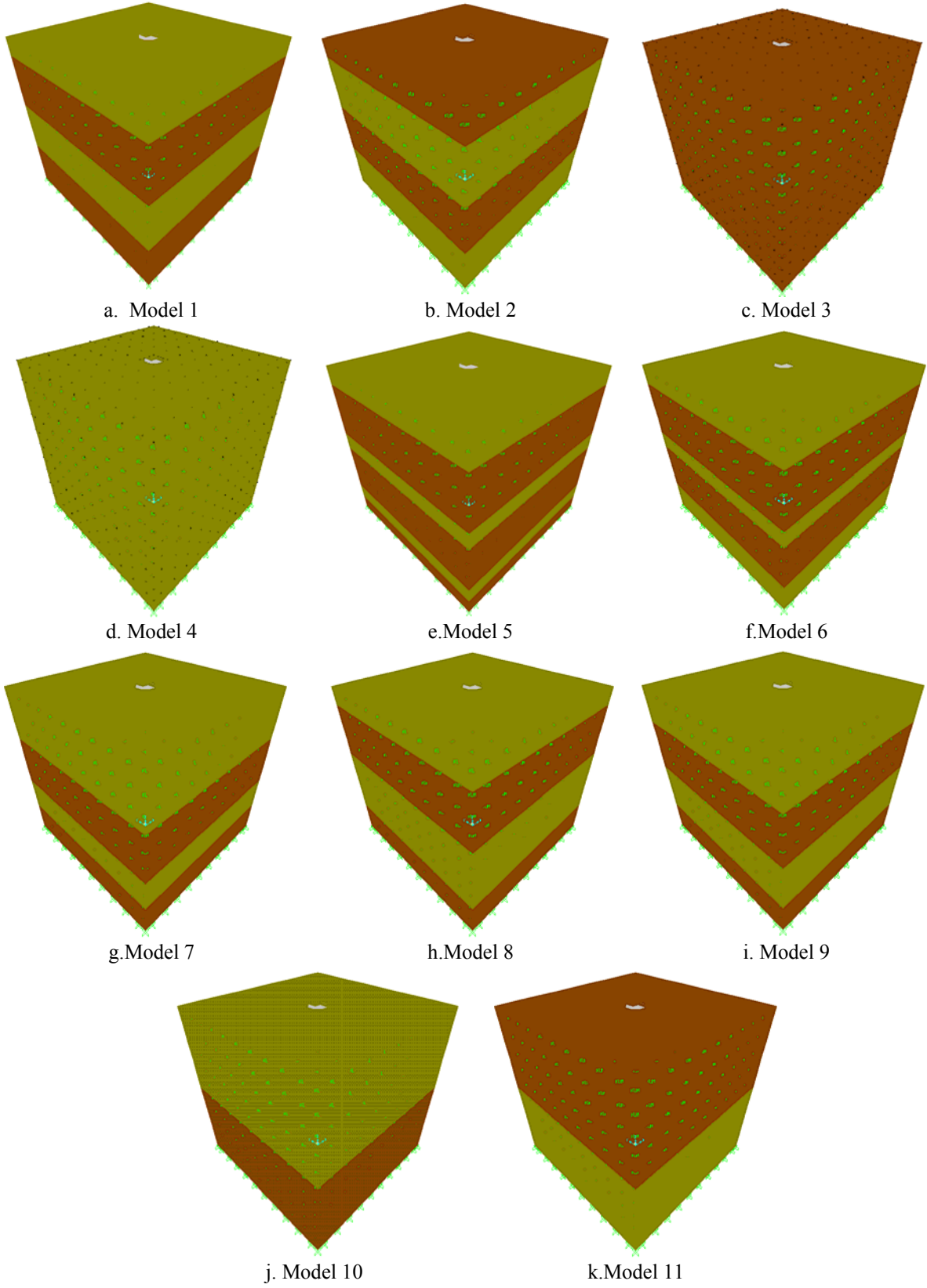
Modelde tüm yapısal elemanlar doğrusal sınırı aşmayan ve akma gerilmelerine yaklaşmayan elastik malzemeler olarak tanımlanmıştır. Kazık çapı 1 m olduğundan ağlar arası mesafe tüm sistemde 1 m alınmış, ağ sıkılaştırılması yapılmamıştır. Zemin-kazık ara yüzeyinde ara eleman olarak yay elemanlar kullanılmıştır. Bu ara elemanlar yapılan analizlerde multilineer plastik yay (plastik rijit) olarak alınmıştır. Kazık uç ve kazık çevre gerilmelerinin hesaplanması ile belirlenen kazık taşıma gücünün hesaplanmasından elde edilen gerilmeler kazığa etki ettirilmiştir. Buna göre her model için kazığa verilen yük sırasıyla 3359 kN, 4613 kN, 4811 kN, 2613 kN, 3740 kN, 5710 kN, 3174 kN, 3174 kN, 4212 kN, 2945 kN, 4251 kN olarak bulunmuştur.

**Tablo 1.** Analizlerde kullanılan zemin tabakalarının kalınlıkları

Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11
1m kil	1m kum	10m kum	10m kil	1m kil	1m kil	3m kil	1m kil	2m kil	5m kil	5m kum
3mkum	3m kil			3m kum	3m kum	3mkum	3m kum	3mkum	5m kum	5m kil
3m kil	3m kum			1m kil	1m kil	2m kil	4m kil	3m kil		
3mkum	3m kil			3m kum	3m kum	2mkum	2m kum	2mkum		
				1m kil	2m kil					
				1m kum						

**Tablo 2.** Analizlerde kullanılan zemin ve kazık malzeme özellikleri

Malzeme Cinsi	Elastisite Modülü (E) (kN/m <sup>2</sup> )	Birim Hacim Ağırlığı (γ <sub>n</sub> ) (kN/m <sup>3</sup> )	Poisson oranı (ν)
Kum	60000	20	0,3
Kil	30000	19	0,3
Kazık (C25)	30000000	24	0,2



**Şekil 2.** Tüm modellerin üç boyutlu görünümü.

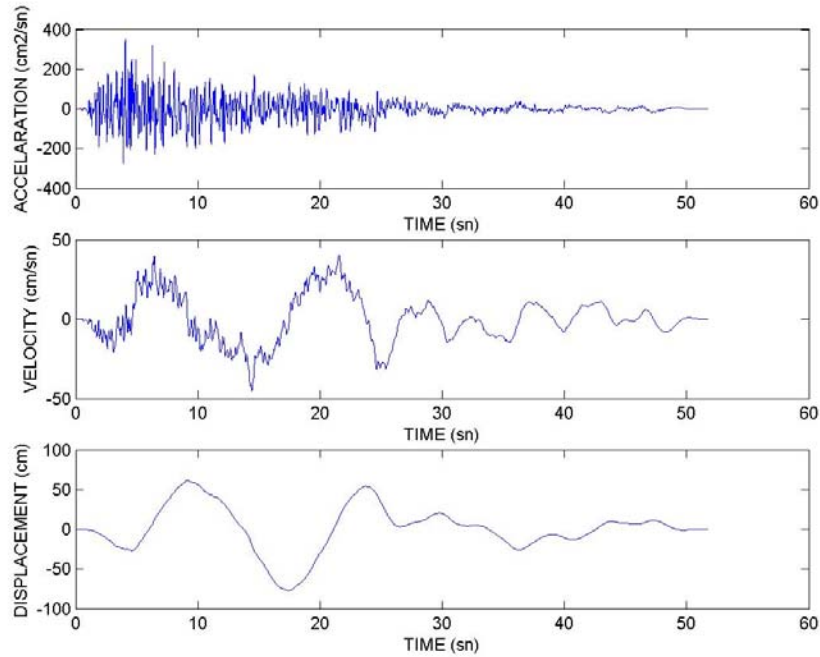


Sismik tasarım, sadece yapıyla ilgili olmayıp, bunun yanında hem temel, hem de temel zemini ile ilgilidir. Temel ve yapının oluşturduğu sistemin, temel zemini olarak, zaman tanım alanında dinamik analiz sırasında birlikte ele alınması uygun bir yaklaşım olacaktır [28]. Hareket denklemi:

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

Burada;  $[P(t)]$ : zamana bağlı kuvvetler,  $\{\ddot{x}\}$ : ivme,  $\{\dot{x}\}$ : hız,  $\{x\}$ : yer değiştirmeler,  $[M]$ ,  $[c]$ ,  $[k]$ : Kütle, sönüm, rijitlik matrisleridir [29].

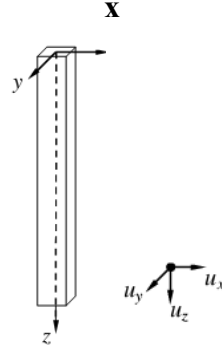
Analizlerde her bir zaman artımında zemin kazık sisteminde deprem etkisine karşı gelen maksimum yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Dinamik analizde DÜZCE/DZC-UP kayıtlı Düzce-Erd veri kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynaktan alınan, Düzce depremi ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 3. Düzce Erd depremi ivme-zaman, hız- zaman, yer değiştirme- zaman grafiği.

### 3. BULGULAR

Analiz sonucunda her zemin-kazık modeli için maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum yatay ve düşey yer değiştirmeler elde edilmiştir. Modelde kullanılan yönler Şekil 4’de gösterilmiştir.



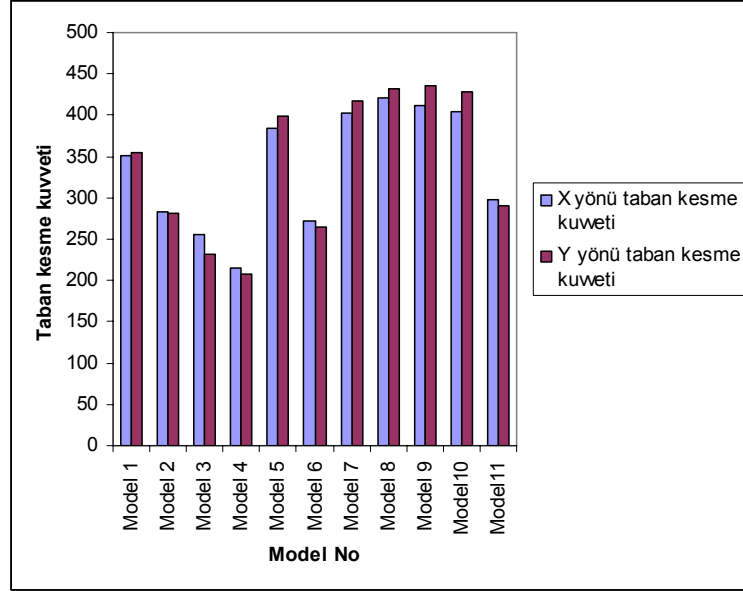
Şekil 4. Zemin kesitindeki yer değiştirme yönleri.

Tablo 3. Zemin –kazık modelindeki maksimum taban kesme kuvveti ve yer değiştirme değerleri

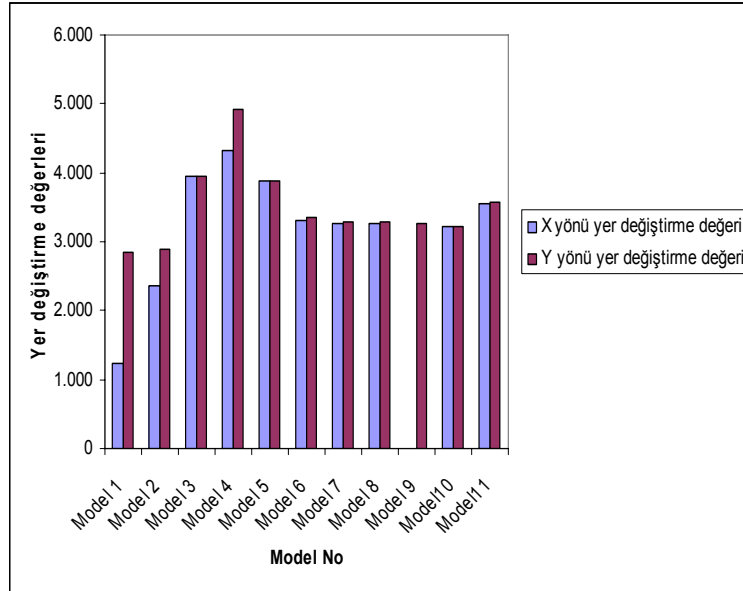
Model No	Maksimum taban kesme kuvveti(KN)		Maksimum yer değiştirme(cm)	
	X	Y	X	Y
Model 1	352	355	1.245	2.835
Model 2	283	281	2.369	2.885
Model 3	255	231	3.945	3.939
Model 4	215	208	4.321	4.918
Model 5	385	398	3.884	3.889
Model 6	272	265	3.299	3.356
Model 7	402	417	3.259	3.276
Model 8	421	432	3.268	3.281
Model 9	412	435	3,265	3.275
Model10	405	428	3.214	3.225
Model11	297	291	3.558	3.574

Şekillerdeki taban gerilmesi ve yer değiştirmelerin maksimum değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Dinamik analiz yapıldığından z yönündeki taban kesme kuvvetleri ve yer değiştirmeler diğer yönlere göre çok az olduğundan, bu yöndeki değerler Tablo 3’de verilmemiştir. On bir model

için elde edilen maksimum taban kesme kuvveti ve maksimum yer değiştirme değerleri ayrıca grafik olarak da Şekil 5 ve 6'da verilmiştir



Şekil 5. Tüm modellere ait maksimum taban kesme kuvveti değerleri.



Şekil 6. Tüm modellere ait maksimum yer değiştirme değerleri.

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında farklı özelliklerdeki zeminlerde bulunan bir kazık modelinin deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarından deprem etkisi altında zemin tabakalaşmasının kazık davranışı için etkisi sunulmuştur. Deprem etkisi altında, tamamen kil ve kum ve farklı kalınlıklarda kil- kum tabakaları şeklinde dizilmiş zemin profillerinde kazık davranışının oldukça farklı olduğu görülmektedir.

1. ve 2. modelin karşılaştırılmasından, tabakalaşma birbirinin tersi olduğunda 1. modelde taban kesme kuvveti 2. modele göre daha fazla olmuştur. Aynı şekilde 1. ve 2. modeldeki yer değiştirmeler karşılaştırıldığında Y yönündeki yer değiştirmelerde fark görülmezken, X yönündeki yer değiştirmelerde çok büyük farklar olduğu görülmüştür. Bu da deprem etkisi altında zemin tabakalarının etkisinin zemin kazık davranışında oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Zeminin tamamen kum veya kil olması durumunda elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin diğer modellerde elde edilen değerlerden daha küçük olduğu görülmüştür. Zeminin tamamen kil olması durumunda en küçük taban kesme kuvveti ve büyük yer değiştirme değeri elde edilmiştir. Model 10 ve Model 11'in karşılaştırılmasından, kil tabakasının üst kısımda veya alt kısımda olmasının taban kesme kuvveti ve maksimum yer değiştirmedeki önemi görülmektedir. 5 m' lik kil tabakasının kazığın üst kısımda yer alması sonucunda taban kesme kuvveti alt kısımda yer almasına göre daha büyük olarak elde edilmiştir.

Deprem etkisi kazık zemin davranışında oldukça önemli etkiler meydana getirmektedir. Zemin şartları frekans özelliklerini, yer ivmesinin genliğini, atalet kuvvetlerini etkilemektedir. Deprem sırasında zemin profilleri farklılaştıkça farklı davranışlar görülmektedir. Zemin profillerindeki farklılaşma farklı hasarlara yol açmaktadır. Yapısal davranıştaki değişiklik, kazık modellemesi sırasında farklı deprem etkilerinin de mutlaka dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Deprem etkisi dikkate alınmadan boyutlandırılan kazıklar, istenen davranışı ortaya koyamayacaktır. Ülkemizdeki yapıların önemli bir kısmının deprem etkisi altında olduğu düşünüldüğünde kazıklı yapıların tasarımında deprem etkinin dikkate alınması gerekliliği ve zemin profilinin önemi anlaşılmaktadır.

**KAYNAKLAR**

1. Birand A.A., Kazıklı Temeller, Teknik yayınevi, Ankara, 2001.
2. Coduto D.P., Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, Gazi Kitabevi, 816, 2005.
3. Small J.C., Liu, H.L.S., Time-settlement behaviour of piled raft foundations using infinite elements, Computers and Geotechnics, 35, 187-195, 2008.
4. Bea R., Pile Capacity for axial cyclic loading, Journal of Geotechnical Engineering, 118, 1, 34-50, 1992.
5. Önalp A., Sert S., Arel E., Kazıklı yayılı temellerin deprem yükü alan aluviyal ortamda kullanımı. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi, 7-8 Eylül, Trabzon, 2006.
6. Ordu E., Özkan T., Kazıklı Temellerin Deprem Performanslarının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, İTÜ Dergisi, Cilt: 5, Sayı: 2, 27-34, 2006.
7. Ng C.W.W., Zhang L., Nip D.C.N., Responce of laterally loaded large-diameter bored pile groups, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127,8, 658-669, 2006.
8. Özen M., Özkan M.T., Yatay yüklü kazıkların davranışlarının sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenmesi hakkında bir inceleme, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül, İstanbul, 2004.
9. Keleşoğlu M.K., Özkan M.T., Boran E., Yatay yüklü kazıkların yük deformasyon davranışının sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, 21-22 Ekim, Eskişehir, 2002.
10. Reul O., Randolph M.F., Design Strategies for piled rafts subjected to nonuniform vertical loading, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130,1, 1-13, 2003.
11. Bartolomei A.A., Omel'chak I.M., Effect of loading character on analysis of pile and pile-foundation settlements, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 40, 5, 153-160, 2003.
12. Karthigeyan S., Ramakrishna V.V.G.S.T., Rajagopal K., Influence of vertical load on the lateral response of piles in sand, Computers and Geotechnics, 33, 121-131, 2006.
13. Cow Y.K., Teh C.I., Pile-Cap- Pile-Group interaction in nonhomogeneous soil, Journal of Geotechnical Engineering, 117,11,1655-1668, 1992.
14. Alsalerh H., Shahrour I., Influence of plasticity on the seismic soil-micropiles-structure interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2008.
15. Uzuoka R., Sento N., Kazama M., Zhang F., Yashima A., Oka F., Three-dimensional numerical simulation of earthquake damage to group-piles in a liquefied ground, 27, 395-413, 2007.
16. Sadek M., Shahrour I., Influence of the head and tip connection on the seismic performance of micropiles, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 461-468, 2005.
17. Sadek M., Shahrour I., Three-dimensional finite element analysis of the seismic behavior of inclined micropiles, 24, 473-485, 2004.
18. Nikolaou S., Mylonakis G., Gazetas G., Tazoh T., Kinematic pile bending during earthquakes: analysis and field measurements, Geotechnique, 51, 5, 425-440, 2001.

19. Basu D., Prezzi M., Chakraborty T., Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils, *Computers and Geotechnics*, 35, 563-575, 2008.
20. Laman M., King G.J.W., Dickin E., A., Three-dimensional finite element studies of the moment-carrying capacity of short pier foundations in cohesionless soil, 25, 141-155, 1999.
21. Zhang L., Nonlinear analysis of laterally loaded rigid piles in cohesionless soil, *Computers and Geotechnics*, (in press), 2009.
22. Bathe K. The finite element method Publisher, Journal of the University of Cape Town Engineering Society, 57-61, 1967.
23. Cook, R., Malkus D., Plesha M., Concepts and applications of finite element analysis Publisher, John Wiley & Sons, Canada, 1989.
24. Zienkiewicz C., Taylor L., The finite element method, Publisher, Mcgraw-Hill, England, V.22, 1988.
25. Wilson E., Habibullah A., Sap 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, Berkeley, 1998.
26. Spundwand Handbuch Teil-1, Trade Arbed, p.75, Luxembourg, 1986.
27. Poulos H.G., Davis E.H., Pile foundation analysis and design, John Wiley & Sons Inc. New York, 1980.
28. Kimura M., Natsukawa K. and Tanaka A., Seismic evaluation of pile foundations, Proc. 6th Intern Sympos. On Numerical Models in Geomechanics, Canada, 2-4, 545-548, 1997.
29. Hart G.C., Wong K., Structural Dynamics for Structural Engineers; John Wiley & Sons, Canada, 591, 1999.