**ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ**
**B- TEORİK BİLİMLER**

Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology B- Theoritical Sciences

**2018, Cilt:6 - syf. 117 - 123, DOI: 10.20290/aubtdb.490003**
**4.Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı Özel Sayısı**

# UÇ VE SÜRTÜNME KAZIKLARININ DEPREM KUVVETLERİ ALTINDA DAVRANIŞININ MODELLENMESİ

**Pınar Sezin ÖZTÜRK KARDOĞAN [1,*], Mehmet İnanç ONUR [2]**

[1] İnşaat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
[2] İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

## ÖZET

Temeller üst yapı yüklerini zemine güvenle iletmek amacıyla tasarlanırlar. Özellikle taşıma gücü yetersiz kalan veya aşırı oturma potansiyeli olan zemin profillerinde derin temeller inşa edilirler. Üstyapı yükleri göreceli olarak daha derinlerde bulunan zemin tabakalarına aktarılırlar. Kazıklı temeller, derin temeller arasından yaygın olarak kullanılırlar ve uç kazığı veya sürtünme kazığı şeklinde projelendirilebilirler. Bu çalışmada uç ve sürtünme kazıklarının deprem kuvvetleri altında davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla; öncelikle 80 ve 100 cm olarak kazık çapları ile 25 ve 30 metre kazık boyları seçilmiştir. Kumlu zemin içerisinde imal edildiği düşünülen kazıkların taşıma güçleri hesaplanmış ve düşey yük olarak kazık başlıklarına etki ettirilmiştir. Analizlerde 2 farklı gerçek deprem etkisi altında Plaxis ve Flac programı kullanılarak kazıklar araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kazıkların deprem kuvvetleri altında çap ve boy ilişkisine dayalı davranışı sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Uç kazıkları, Sürtünme kazıkları, Deprem kuvvetleri, Plaxis, Flac

# MODELLING OF BAHAVIOUR OF POINT BEARING AND FRICTION PILES UNDER EARTQUAKE FORCES

## ABSTRACT

Foundations are designed to transmit superstructure loads to the subsoil safely. Especially, deep foundations are constructed at soil profiles having insufficient soil bearing capacity or excessive settlement potential. Superstructure loads are transferred to relatively deep soil layers. Pile foundations are used commonly among the deep foundations and are projected as point bearing pile or friction pile. In this study; behavior of point bearing and friction piles under earthquake forces are investigated. For this aim, 80 and 100 cm pile diameters with 25 and 30-meter pile lengths are selected. Pile bearing capacities are calculated with an assumption of piles are made in sandy soil and added on pile caps as vertical load. At the analyses; piles are investigated under two different real earthquake effects by using Plaxis and Flac. At the end of the study, behavior piles are presented based on diameter and length under earthquake forces.

**Keywords:** Point bearing piles, Friction piles, Earthquake forces, Plaxis, Flac

## 1. GİRİŞ

Yapı yükleri; taşıma gücünün yetersizliği yanında çoğu kez oturma şartlarının sağlanamamasından dolayı, derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır [1]. Zayıf zemin tabakasının bulunduğu yerden daha derin ve sağlam zeminlere inmek amacıyla kazık adı verilen yapı elemanları kullanılmaktadır. Kazıklı temeller; düşey doğrultudaki yükler ile rüzgâr, deprem ve benzeri üst yapıya etkiyen yanal yüklerin temel zeminine aktarılmasında kullanılmaktadır [2]. Kazıklar, üst yapı yüklerini zemin profilinin derinliklerinde yer alan taşıyıcılık özelliği yüksek tabakalara aktarmak amacıyla kullanılan ahşap, beton, çelik veya kompozit yapı elemanlarıdır [3]. Kazık temeller düşey ve yatay yüklere maruz kalmaktadır. Kazıkların maruz kaldığı düşey yükler altındaki davranışını basit ampirik yaklaşımlarla anlamak mümkündür. Ancak, kazıkların yatay yükler altındaki davranışını basit ampirik yöntemlerle belirlemek mümkün değildir. Kazık temellerin düşey yüklere maruz kalmasıyla elde edilecek taşıma gücü; kazık ucunda oluşan direnç ile kazık şaftı ile zemin yüzeyi arasındaki yüzeysel

*Sorumlu Yazar: sezinozturk@gazi.edu.tr
Geliş Tarihi: 27.03.2018 Kabul: 30.03.2018

sürtünme direncinin bileşke kuvveti olarak tanımlanabilir. Ortam koşullarına bağlı olarak uç taşıma ve yüzeysel sürtünme kuvvetlerinin nihai taşıma gücü içindeki payları değişkendir [3]. Bu değişkenleri etkileyen faktörler; kazığın bulunduğu zemin özellikleri, kazığın geometrik koşulları ve kazık üzerine uygulanan yüklerin büyüklükleridir.

Kazıkların yük altındaki davranışlarının tespiti için tasarım esasları ile yük iletim mekanizmalarının belirlenmesi gerekmektedir [4]. Ayrıca; deprem yükü altında kazık davranışının belirlenebilmesi için ilave analizlere ihtiyaç duyulmaktadır. Geçmişte ve günümüzde deprem yükleri altında kazık davranışı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Dobry ve Gazetas (1988), yapmış oldukları çalışmada düşey, yatay ve deprem yükleri altında kazık grupları üzerinde nümerik bir çalışma yapmış ve basit bir metot önermişlerdir [5]. Sen, Davies ve Banerjee (1985), düşey ve yatay yükle yüklenen tekil kazık ve kazık gruplarının dinamik analizleri için sınır koşulları formülleri sunmuş ve sonuçları sonlu elamanlar metodu gibi alternatif analiz metotları ile karşılaştırmışlardır [6]. Ettouney, Brennan ve Forte (1983), düşey kazık gruplarının dinamik davranışını anlamak için yarı analitik bir çözümleme sunmuş ve önerilen yöntemin sonlu elemanlar yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. İlave olarak kazık-zemin etkileşiminin öneminden bahsetmişlerdir [7]. Erdemir ve Okur (2011), çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sismik yükler altındaki kazıkların zaman tanım alanında hesap yöntemine dayalı davranışını incelemişlerdir [8]. Kimura ve Zhang (2000), yaptıkları çalışmada kazık temellerin sismik etkiler altında üç boyutlu elasto-plastik sonlu elemanlar analizi yapmış ve üç farklı yöntem kullanarak kazık davranışını incelemişlerdir [9]. Boulanger ve diğerleri (1999), sismik yükler altında zemin-kazık-yapı etkileşimini belirlemek için p-y eğrileri yöntemi ile santrifüj deneyi sonuçlarını karşılaştırmışlardır [10]. Brown, Reese ve O'Neill (1987), çelik kazık örnekleri üzerinde tekrarlı ve yatay yükler altında kil zeminde yapmış oldukları deneylerde; tekil kazıklarda oluşan moment ve deplasman değerlerinin kazık gruplarında elde edilenlerden daha küçük çıktığını belirtmişlerdir [11].

Dutta ve Roy (2002), zemin-temel-yapı etkileşiminin çözümü için bir çalışma yapmışlardır. Zemin-yapı etkileşimi problemleri çözerken hem statik yükler hem de dinamik yükler altında çözümleme yapılması gerektiğinde bahsetmişlerdir [12]. Basile (2012), sismik yükler altında kazık gruplarının kinematik ve ataletsel etkileşim altında nümerik analiz yapmıştır ve Winkler modelinin kazık gruplarının çözümü için kullanılabilir bir yöntem olduğundan bahsetmiştir [13]. Wakai ve Ugai (1997), deprem büyüklükleri düşünülmeden, maksimum yatay zemin ivmesine göre yapılan analizlerin, kısa süreli sismik kuvvetlerin sürekliği etkidiği düşünüldüğü için elde edilen sonuçların tutucu olduğundan söz etmişlerdir [14]. Kimiaei ve diğerleri (2004), deprem yükleri altında, kazıkların doğrusal olmayan davranışının açık deniz yapıları için önemli olduğu belirtmiş, açık deniz kazıklarının tasarımı için gerekli olan nicel ve nitel bulguları ayrıntılı bir şekilde ele almışlardır [15]. Mazak (2016), sonlu farklar programı kullanarak kohezyonsuz zemin içerisinde kazıklı temel davranışını irdelemiştir [16].

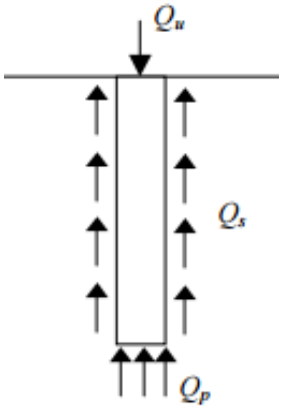
Bu çalışmada, 2 farklı deprem kaydı altında 80 cm ve 100 cm çaplarında, 25 ve 30 m boylarında kazık örnekleri ele alınmıştır. Kazık boy ve çap değişiminin deprem yükleri altında kazık tepe deplasmanı ve kazık boyunca moment dağılımlarını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Öncelikle; kazık taşıma gücü hesaplanmış ve düşey yük olarak etkitilmiştir. Numerik analizler; sonlu farklar yöntemi tabanlı FLAC2D ve sonlu elemanlar yöntemi tabanlı Plaxis2D programları ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda, deprem yükleri altında çap ve boy ilişkisine dayalı kazık davranışı karşılaştırılmıştır.

## 2. KAZIK TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Kazıkların çalışma prensibi bulunduğu zemin ortamına, kazık mekanik özelliklerine ve yükleme durumlarına göre değişim göstermektedir. Kazık tasarım ve imalatı konusundaki geniş birikime göre kazık taşıma gücünün belirlenmesi için geçerli belli başlı yaklaşımlar şunlardır [17]:

- Mühendislik analizi-Statik taşıma gücü formülleri: Temel zemin etüd verileri ve laboratuvar deneyleri sonuçları ile uygun parametreler tayin edilir. Kazık davranış mekanizmasına göre geliştirilmiş ve genel kabul görmüş taşıma gücü denklemleri kullanılır. Bu yaklaşım yüzeysel temeller için uygulanan yaklaşıma benzerdir.
- Arazi yükleme deneyleri: Tüm kazık temel sisteminin inşa edilmesinden önce farklı zemin özellikleri gösteren noktalarda deney kazıkları öngörülen boyutta ve yöntemle inşa edilerek yükleme deneyine tabi tutulur.
- Kazık çakma direncini esas alan dinamik kazık formülleri uygulanarak taşıma gücü elde edilir.
- Uygulama standartları ve tecrübe doğru tasarımın önemli bileşenlerindendir.
- Nümerik analiz yöntemleri ile bilgisayar programlarından faydalanılarak modelleme ve tahmin çalışması yapılır.

İlk yaklaşıma göre; kazık taşıma gücü, kazık şaftı ve zemin arasında sürtünmeyle taşınan toplam yük (Qs) ve kazık ucu tarafından taşınan toplam yük (Qp) toplanarak elde edilir. Yaklaşım Şekil 1 ve Denklem 1'de gösterilmiştir.




**Şekil 1.** Kazık taşıma gücü bileşenleri [11]

$$Qu = Qs + Qp \quad (1)$$

## 3. ÖRNEK MODEL

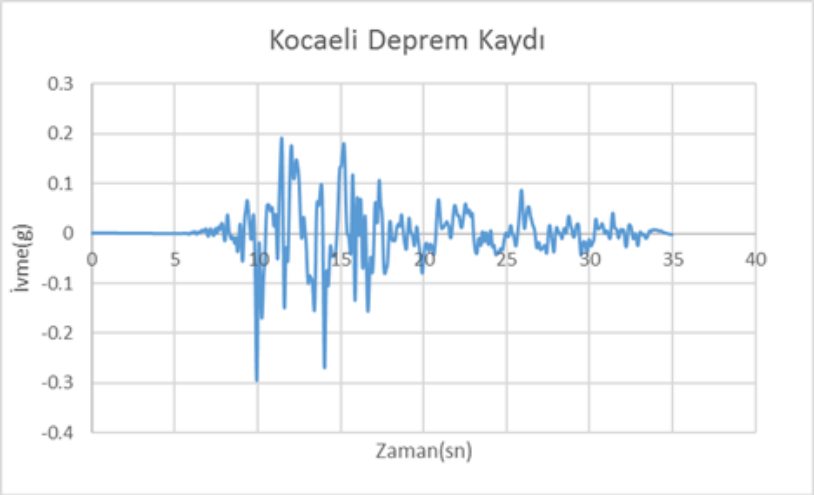
Çalışmada farklı çapta ve boyda, farklı deprem yükü altında ki kazık davranışının irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 8 farklı kazık modeli için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada kazık taşıma gücü hesabı Denklem 1'e göre yapılmıştır Analizlerde kullanılan zemin özellikleri ise Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, Rayleigh tipi bir sönüm uygulanmış olup zeminin sönüm sabiti %5 seçilmiştir.

**Tablo 1.** Zemin Özellikleri

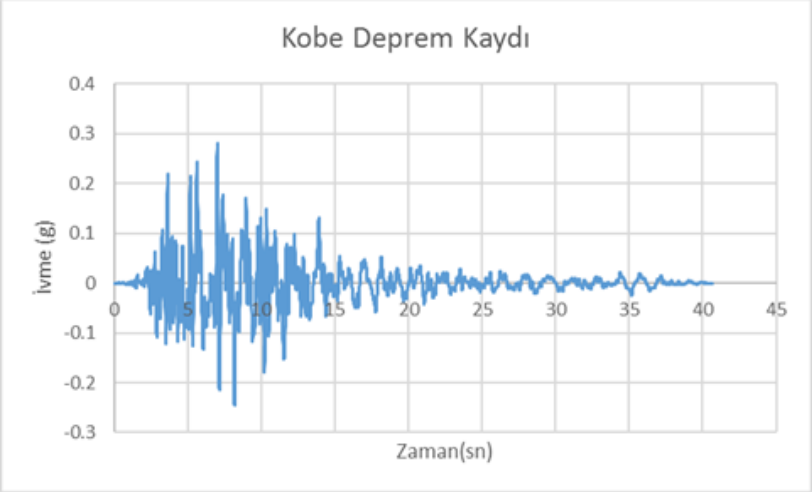
| Birim hacim ağırlığı kN/m$^3$ | Bulk Modülü (kN/m$^2$) | Kayma Modülü (kN/m$^2$) | Kohezyon | Sürtünme Açısı (◦) | Malzeme Modeli |
|---|---|---|---|---|---|
| 17.0 | 32500 | 15000 | 0.01 | 34 | Mohr-Coulomb |

Kazıklarda C20 betonu kullanılmıştır. Farklı özellikteki kazıklar için taşıma gücü hesabı yapılmış FLAC2D ve Plaxis2D analizinde düşey yük olarak eklenmiştir. Deprem yükü olarak Kocaeli ve Kobe deprem kayıtları kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan deprem kayıtları Şekil 2 ve 3' de gösterilmiştir. Kocaeli depremi;1999 yılında meydana gelmiş Richter ölçeğine göre deprem büyüklüğü Mw=7.4'dür.

1995 yılında Kansai Bölgesinde Kobe kentinde meydana gelen Kobe depreminin Richter ölçeğine göre Mw=7.2'dir.




**Şekil 2.** Kocaeli Depremi İvme-Zaman Kaydı




**Şekil 3.** Kobe Depremi İvme-Zaman Kaydı

### 3.1. Uç Kazık Modeli

Uç kazık modelleri için kazık boyutları ve yapısal özellikleri ile hesaplanan taşıma güçleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Uç kazık boyutları mekanik özellikleri

| Kazık Çapı (cm) | Kazık Boyu (m) | Kazık Elastisite modülü (kPA) | Kazık Uç Direnci (kN) |
|---|---|---|---|
| 80 | 25 | $28x10^6$ | 1258 |
| 80 | 30 | $28x10^6$ | 1258 |
| 100 | 25 | $28x10^6$ | 1963 |
| 100 | 30 | $28x10^6$ | 1963 |

### 3.2. Sürtünme Kazığı Modeli

Sürtünme kazığı modelleri için kazık boyutları ve yapısal özellikleri ile hesaplanan taşıma güçleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Sürtünme kazık boyutları mekanik özellikleri.

| Kazık Çapı (cm) | Kazık Boyu (m) | Kazık Elastisite modülü (kPA) | Kazık Sürtünme Direnci (kN) |
|---|---|---|---|
| 80 | 25 | $28x10^6$ | 1528 |
| 80 | 30 | $28x10^6$ | 1834 |
| 100 | 25 | $28x10^6$ | 1910 |
| 100 | 30 | $28x10^6$ | 2292 |

## 4. SONUÇLAR

Analizler sonunda farklı deprem yükleri altında kazık davranışları farklılık göstermiştir. Elde edilen moment ve deplasman değerleri Tablo 4 ve Tablo 5'de detaylı olarak gösterilmiştir. Flac2D ve Plaxis2D programlarından elde edilen değerler tabloya ayrı ayrı eklenmiş olmasına rağmen, sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. %10 dan küçük farkların ihmal edilebilir olduğu düşünülmüştür.

**Tablo 4.** Uç kazıkları için analiz sonuçları

| Kazık Çapı (cm) | Kazık Boyu (m) | Maksimum Moment (kN.m) Flac2D / Plaxis2D | Maksimum Deplasman (cm) Flac2D / Plaxis2D | Deprem Kaydı |
|---|---|---|---|---|
| 80 | 25 | 120/130 | 30/33 | Kocaeli |
| 80 | 30 | 120/130 | 30/33 | Kocaeli |
| 100 | 25 | 390/425 | 37/40 | Kocaeli |
| 100 | 30 | 390/425 | 37/40 | Kocaeli |
| **Kazık Çapı (cm)** | **Kazık Boyu (m)** | **Maksimum Moment (kN.m) Flac2D / Plaxis2D** | **Maksimum Deplasman (cm) Flac2D / Plaxis2D** | **Deprem Kaydı** |
| 80 | 25 | 90/100 | 9/10 | Kobe |
| 80 | 30 | 95/100 | 9/10 | Kobe |
| 100 | 25 | 300/325 | 10/12 | Kobe |
| 100 | 30 | 307/330 | 11/12 | Kobe |

**Tablo 5.** Sürtünme kazıkları için analiz sonuçları

| Kazık Çapı (cm) | Kazık Boyu (m) | Maksimum Moment (kN.m) Flac2D / Plaxis2D | Maksimum Deplasman (cm) Flac2D / Plaxis2D | Deprem Kaydı |
|---|---|---|---|---|
| 80 | 25 | 130/140 | 31/34 | Kocaeli |
| 80 | 30 | 200/220 | 31/34 | Kocaeli |
| 100 | 25 | 380/400 | 36/40 | Kocaeli |
| 100 | 30 | 400/430 | 39/42 | Kocaeli |
| **Kazık Çapı (cm)** | **Kazık Boyu (m)** | **Maksimum Moment (kN.m) Flac2D / Plaxis2D** | **Maksimum Deplasman (cm) Flac2D / Plaxis2D** | **Deprem Kaydı** |
| 80 | 25 | 98/115 | 9/10 | Kobe |
| 80 | 30 | 150/160 | 9/10 | Kobe |
| 100 | 25 | 300/320 | 10/12 | Kobe |
| 100 | 30 | 310/325 | 13/15 | Kobe |

Nümerik analiz sonuçları irdelendiğinde düşey yükler altında Kocaeli ve Kobe depreminin uygulandığı 100 cm çaplı kazık örneklerinde oluşan maksimum moment değerleri, 80 cm çaplı kazık örneklerinde oluşan maksimum moment değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Bu farkın 100 cm çaplı kazık örneğinin deprem yükleri altında daha rijit davrandığı için meydana geldiği düşünülmektedir.

Diğer yandan kazık başları serbest olduğu için zeminle aynı oranda hareket etmiş, oluşan deplasman değerleri yakın mertebelerde oluşmuştur. Kocaeli deprem kaydında elde edilen maksimum moment ve deplasman değerleri, Kobe deprem kaydına göre daha yüksek deplasman ve moment değerleri oluşturmuştur. Buda depreminin daha yüksek ivme ile etkimesinden yanal yükün daha fazla olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Kazık ucundaki zeminin birim nihai taşıma kapasitesi (qp) ile birim sürtünme direnci (qs) 20D derinlikten sonra sabit kaldığı durumu için yapılan kazık taşıma gücü hesabına göre kazık taşıma gücü arttıkça oluşan moment değeri ve deplasman değerinin arttığı görülmüştür. Ancak her kazık çapı ve deprem kaydı kendi içinde değerlendirildiğinde elde edilen sonuçların yakın mertebelerde çıktığı belirlenmiştir.

## 5. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada farklı çapta ve boyda kazıkların farklı deprem kayıtlarındaki davranışları irdelenmiştir. Hazırlanan modeller Flac2D ve Plaxis2D programları ile nümerik olarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda sonlu farklar ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı iki farklı programın birbirine benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kazık boyu ve çapı arttıkça kazıkların daha rijit davrandığı gözlemlenmiştir. İlave olarak deprem büyüklüğü, süresi gibi deprem karakteristiklerinin kazık davranışı üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu sonuçlar, çalışma içerisinde verilen özel model parametreleri için geçerlidir ve kesin yargılara varabilmek için daha fazla analize ve arazi ölçümleri ile sarsma tablası gibi deneysel araştırmalara gereksinim olduğu açıktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen 1603F117 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. İkinci yazar bu destek için Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkürlerini sunmaktadır.

## KAYNAKLAR

[1] Ordu E, Özkan MT. Kazıklı temellerin deprem performanslarının üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. itüdergisi/d, mühendislik 2006, Cilt:5, Sayı:2, Kısım:2.

[2] Kulaç FH, Durgunoğlu HT. Yatay yüklü kazık analiz yöntemlerinin karşılaştırılması," Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 3ncü Ulusal Kongresi, İTÜ, 1992, İstanbul, s. 235-250.

[3] Alkaya D, Yeşil B. Kazık Temellerin Bilgisayar Destekli Analizi. Akademik Bilişim, Akdeniz Üniversitesi, 2013.

[4] Öztürk PS, Işık NS. Sıvılaşan zeminlerde kazik davranışının p-y yöntemi ile incelenmesi. ISBS2015, 2nd, International Sustaniable Building Symposium, 2015, 349-354.

[5] Dobry R, Gazetas G. Simple method for dynamic stiffness and damping of floating pile groups. Géotechnique 38, 1988, No. 4, 557-574.

[6] Sen R, Davies TG, Banerjee PK. Dynamic analysis of piles and pile groups embedded in homogeneous soils", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, The Journal of Association for Earthquake Engineering, Volume 13, Issue 1, Pages 53–65, 1985.

[7] Ettouney MM, Brennan JA, Forte MF. Dynamic Behavior of Pile Groups. Journal of Geotechnical Engineering, 1983, Volume 109, Issue 3.

[8] Erdemir N, Okur V. Kazık Gruplarının Sismik Etki Altındaki Performansı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2011,Cilt: XXIV.

[9] Kimura M, Zhang F. Seismic evaluations of pile foundations with three different methods based on three-dimensional elasto-plastic finite element analysis. Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, 2000,Vol.40, No. 5, p.113-132.

[10] Boulanger RW, Curras CJ, Kutter BL, Wilson DW, Abghari A. Seismic Soil-Pile-Structure Interaction Experiments and Analyses" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1999, Volume 125 Issue 9.

[11] Brown DA, Reese LC and O'Neill MW. Cyclic lateral loading of a large-scale pile group. Journal of Geotechnical Engineering, 1987, 113(11), 1326-1343.

[12] Dutta SC and Roy R. A critical review on idealization and modeling for interaction among soil-foundation-structure system. Computers and Structures, 2002; 80(20-21), 1579-1594,

[13] Basile F. II International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, 28-30 - Taormina, Italy, May 2012.

[14] Wakai A and Ugai K. Three-dimensional seismic analysis of bridge-foundation-ground system, Proc. 6th Intern Sympos. On Numerical Models in Geomechanics., Canada, July 2-4, pp 2177-2182, 1997.

[15] Kimiaei M, Shayanfar MA, El Naggar MH and Aghakouchak AA. 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, 2004, B.C., Canada August 1-6, Paper No. 3056.

[16] Mazak E, Kazık Davranışının İki ve Üç Boyutlu Olarak Araştırılması. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

[17] Çinicioğlu SF. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. Seminer- İMO, İstanbul, 2005.