

## YANAL YÜKLÜ KAZIKLARDA KOMBİNE YÜKLEMENİN KAZIK DAVRANIŞINA ETKİSİ

### THE EFFECT OF THE COMBINED LOAD RESPONSE ON LATERALLY LOADED PILES

Yusuf KAYAN<sup>1</sup>, Selçuk BİLDİK<sup>2</sup>, Eren VURAN<sup>3</sup>, Özer ÇİNİCİOĞLU<sup>4</sup>, Suat AKBULUT<sup>5</sup>

#### ÖZET

Açık deniz yapıları, yüksek katlı binalar, köprü ayak temelleri gibi yapılar düşey yüklere ek olarak rüzgâr, dalga, deprem hareketi ve toprak yükü gibi yanıl etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle bu yapılarda derin temel (kazıklı temel) kullanımı zorunlu olmaktadır. Bu tip yapılarda tasarlanan kazıklar aynı anda düşey ve yatay yüklere maruz kalmaktadırlar. Mevcut uygulamalara göre kazıkların taşıma kapasiteleri ve yer değiştirmeleri elastik yarım-uzay (half-space) metodu veya doğrusal olmayan yatak katsayısı yöntemi ile belirlenmektedir. Bu iki yaklaşım da yanıl ve eksenel yükün birbirinden bağımsız olduğu ve aralarında etkileşimin olmadığı varsayımına dayalıdır. Farklı araştırmacılar bu konu üzerine analitik, yarı-analitik, ampirik ve kapalı form gibi çözüm yöntemleri getirmiş olup güncel teknolojik imkanlarla deneysel ve nümerik analizlerle bu etkileşim problemini çözmeye çalışmışlardır. Deneysel olarak eksenel ve yanıl yükün aynı anda uygulanması zorluk gerektirdiğinden dolayı literatürde bu konu hakkında yapılmış çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Ayrıca bu teorik ve deneysel çalışmalarda araştırmacılar birbirlerinden farklı ve tutarlı olmayan sonuçlar ortaya koymuşlardır. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada farklı sıklıkta oluşturulan kuru kum zeminlerde eksenel yükün kazıkların yanıl taşıma kapasitesi ve hizmet görevlilik durumu deneysel çalışmalar ve 3 boyutlu sonlu elemanlar analizleri ile incelenmiştir. Sadece yanıl yüklü, eksenel-yanıl yüklü (kombine) kazıklarla deneyler yapılmış sonuçlar birbirleriyle ve sonlu elemanlar analizleriyle karşılaştırılmıştır.

*Anahtar Kelimeler: Yanıl yüklü kazık, ölçekli model deney, nümerik analiz*

<sup>1</sup> İnş. Müh., Yıldız Teknik Üniversitesi, [yusuf.kayan@std.yildiz.edu.tr](mailto:yusuf.kayan@std.yildiz.edu.tr) (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Doç. Dr., İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, [selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr](mailto:selcuk.bildik@nisantasi.edu.tr)

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Yeditepe Üniversitesi, [eren.vuran@yeditepe.edu.tr](mailto:eren.vuran@yeditepe.edu.tr)

<sup>4</sup> Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi, [ozet.cinicioğlu@boun.edu.tr](mailto:ozet.cinicioğlu@boun.edu.tr)

<sup>5</sup> Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, [sakbulut@yildiz.edu.tr](mailto:sakbulut@yildiz.edu.tr)

## ABSTRACT

Structures such as offshore structures, high-rise buildings, bridge foundation, are exposed to lateral effects such as wind, waves, earthquake movement, and earth loads, in addition to vertical loads. Therefore, the use of a deep foundation in these structures is mandatory. The piles designed for this type of structure are simultaneously exposed to vertical and horizontal loads. According to existing applications, the bearing capacity and displacements of the piles are determined by elastic half-space method or the non-linear coefficient of soil reaction method. Both approaches take into account the assumption that the lateral and the vertical load are independent of each other and that there is no interaction between them. Different researchers have come up with solutions in analytical, semi-analytical, empirical and closed forms and have tried to solve the problem of interaction with experimental and numerical analyzes using current technological possibilities. Since it is difficult to apply axial and lateral loads simultaneously experimentally, studies on this subject in the literature are quite limited. In addition, in these theoretical and practical studies, the researchers have come up with different and inconsistent results. For these reasons, in this study, the lateral bearing capacity and serviceability of piles under axial load in dry sand soils of different density were examined by experimental studies and 3D finite element analyses. The results were compared with each other and with finite element analyses in experiments with only lateral loaded, axial-lateral loaded piles.

*Keywords: Laterally loaded pile, scaled model test, numerical analysis*

## 1. Giriş

Zemin taşıma gücünün yapıdan gelen yükleri karşılamada yetersiz kaldığı durumlarda, yapı temeli kazıklarla teşkil edilerek bu yüklerin taşıma kapasitesi daha yüksek zemin tabakalarına aktarılması sağlanır. Açık deniz yapıları, köprüler, yüksek katlı binalar gibi yapılardaki kazıklı temeller sıklıkla eşzamanlı olarak eksenel ve yanal yüklere maruz kalmaktadır. Hesaplamalarda kolaylık olması amacıyla kazıklar üzerine gelen bu yatay ve düşey kuvvetler arasındaki etkileşim genellikle ihmal edilmektedir, yanal ve eksenel yükleme altındaki kazık davranışı ayrı ayrı ele alınır ve tasarım sürecinde etkileşim durumu dikkate alınmaz. Gelen yükler altında kazık kapasitesi nihai sınır durumu (ULS) ve hizmet güvenilirlik sınır durumu (SLS) bakımından hesap edilir.

Mevcut mühendislik uygulamalarında, eksenel ve yanal yönlerdeki deformasyonlar yalnızca ilgili yönlerdeki yükler dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Zemin yatak katsayısı yaklaşımı uygulanır yani zemin desteği genellikle doğrusal olmayan, zemin tipine ve derinliğe bağlı yük-deplasman özelliklerine sahip yanal yükleme için "p-y", eksenel yükleme için "t-z" yay elemanları ile modellenir (American Petroleum Institute (API), 2000). Dolayısıyla eksenel veya yanal yönde etkiyen yükün yay özellikleri diğer yöndeki etkiden bağımsız olduğu varsayılmıştır.

Farklı araştırmacılar eksenel yüklemenin kazıkların yanal kapasitesine etkisini araştırmak için teorik, deneysel ve nümerik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Literatür incelendiğinde laboratuvarında küçük ölçekli ve sahada yapılan tam ölçekli deneyler eş zamanlı yükleme koşullarının uygulanması bakımından zorluk gerektirdiğinden dolayı bu konu üzerine

yapılmış çalışmalar kısıtlı olup birbirinden farklı sonuçların çıkartıldığı Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Kombine yüklemenin etkisini araştırmak için kum zeminlerde yapılmış çalışmalar

Metod	Araştırmacılar	Eksenel Yükün Yanal Taşıma Kapasitesine Etkisi	Kazık Sayısı
Deneysel Çalışmalar	Pise (1975)	Artırmıştır	Grup (6)
	Jain ve diğ. (1987)	Azaltmıştır	Tekil ve Grup (2, 4)
	Lee, J. ve diğ. (2011)	Azaltmıştır	Tekil
	Li F. ve diğ. (2021)	Etkilememiştir	Tekil
Teorik Çalışmalar	Davisson ve Robinson (1965)	Artırmıştır	Tekil
	Goryunov (1973)	Artırmıştır	Tekil
	Reddy ve Ramasamy (1973)	Artırmıştır	Tekil
	Valsangkar ve diğ. (1973)	Artırmıştır	Tekil
	Karthigeyan ve diğ. (2006)	Azaltmıştır	Tekil
	Zheng ve Wang (2008)	Artırmıştır	Tekil
Nümerik Çalışmalar	Karthigeyan ve diğ. (2007)	Kumda artırmıştır, kilde azaltmıştır	Tekil
	Judi ve Rabe (2009)	Artırmıştır	
	Jegatheeswaran ve Muthukkumaran (2016)	Artırmıştır	Tekil
	Zormpa ve Comodromos (2018)	Çok az artırmıştır	Tekil

Eksenel yükün kazık yanal kapasitesini olumsuz etkilediğine dair birçok analitik çalışma yapılmıştır (Davisson and Robinson 1965; Ramasamy 1974; Goryunov 1975). Bazı deneysel çalışmalar (Pise 1975; Sarochan ve Bykov 1976) ve sahada yapılan çalışmalar (McNulty 1956; Bartolomey 1977; Zhukov ve Balov 1978) kombine yüklemenin kazık yanal deplasmanlarını azalttığını araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Kum zeminler için kazık gruplarında yapılan deneylerde, eksenel yükün kazık yanal deplasmanlarını azalttığı fakat fakat bu etkinin kazığın grup içindeki konumuna bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir (Hussien et al., 2012). Zormpa vd. (2018) 3 boyutlu nümerik analizlerde eksenel yükün yanal kapasiteye etkisini parametrik olarak değişik sıklıkta kumlarda ve farklı yumuşaklıkta killerde incelemiştir. Kum zeminler için eksenel yükün az miktar da olsa kazık yanal kapasitesini artırdığını belirtmiştir.

Karthigeyan vd. (2007) homojen kum ve kil zeminlerde eksenel yükün kazıkların yanal kapasitesi ve eğilme momenti üzerine etkilerini 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Çalışmada eksenel yükün kum zeminlerde yanal kapasiteyi %40 oranında artırdığı kil zeminlerde ise %20 oranında düşürdüğü gösterilmiştir. Kazık narinlik oranına ve zemin tipine bağlı olarak eğilme momenti değerlerinin yüzde 10 ile 35 arasında değiştiği belirtilmiştir. Jain vd. (1987) ise geliştirdikleri büyük ölçekli model deneyde farklı gömülme derinliğine sahip 4,5 metre uzunluğunda tekil kazıklarda eksenel yüklemenin yanal kapasiteyi düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Anagnostopoulos ve Georgiadis (1993) bu davranışı iki boyutlu sonlu elemanlar analizi ile doğrulanan deneysel bir modelle açıklamaya çalışmış ve kombine düşey ve yanal yükler altında zemin gerilmelerinin sabit kalmadığı ve zeminde plastik hacim değişimi gerçekleştiğinden dolayı geleneksel yatak katsayısı, elastik yarım uzay ve iki boyutlu

yaklaşımların doğru sonuç vermediğini belirtmişlerdir. Bu nedenle doğrusal olmayan 3 boyutlu sonlu elemanlar analizlerin en uygun yaklaşım olduğu vurgulanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Laboratuvar Deney Düzenegi

Laboratuvarda gerçekleştirilen küçük ölçekli model deneyler ile model kazığın homojen sıkı ve gevşek zeminlerde kombine yükleme altında davranışı incelenmiştir. Kazığa sabitlenmiş çekme kolu yardımıyla, sisteme yanal yük uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan model kazığa ve çekme koluna ait çap (D), uzunluk (L), birim hacim ağırlık ( $\gamma$ ), elastisite modülü (E) ve poisson oranı ( $\nu$ ) bilgileri Tablo 2’de verilmiştir.

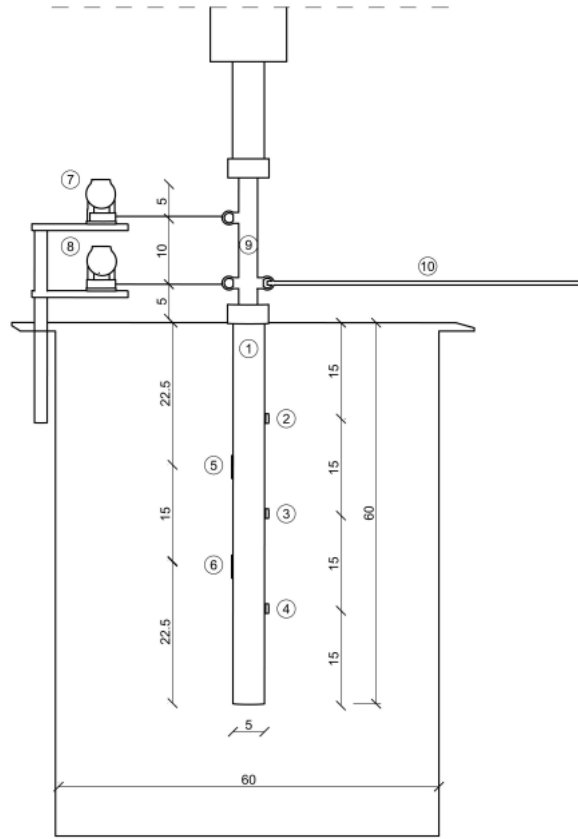
Tablo 2. Kazık ve çekme koluna ait parametreler

	Model Kazık	Çekme Kolu
Malzeme Cinsi	Alüminyum	Alüminyum
Çap (mm)	50	25
Boy (mm)	600	200
Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	27	27
Elastisite Modülü (GPa)	70	70
Poisson Oranı ( $\nu$ )	0,30	0,30

Deneylerin yükleme koşullarında sınır durumlarından etkilenmemesi için 60x60x80 cm ölçülerinde deney kasası ve 5 cm çapında 60 cm uzunluğunda alüminyum malzemeden kazık imal edilmiştir. Eksenel ve yanal yüklemeler için 10 mm/dk hızla yükleme yapabilen 2 adet servo motor kullanılmıştır. Yükleme değerlerinin alınabilmesi için 2 adet yük hücresi, kazık hareketlerinin tespiti için 2 adet ipli potansiyometre, 2 adet gerinim pulu kullanılmış olup zemin gerilmelerinin ölçümü için 3 adet gerilme sensörü kazık üzerine yerleştirilmiştir. Kazık üzerine yerleştirilen gerinim pulları ve gerilme sensörleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Toplanan verilerin işlenmesi için 1-200 Hz arası örnekleme yapabilen 16 kanallı data logger kullanılmıştır. LabVIEW programı kullanarak toplanan veriler grafiklere dönüştürülmüştür. Deney düzenegi şematik olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Model kazık üzerine yerleştirilen gerinim pulları ve gerilme sensörleri



- |                     |                     |                    |                           |                |
|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|----------------|
| ① Model Kazık       | ③ Gerilme Sensörü 2 | ⑤ Gerinim Pulu Üst | ⑦ İpli Potansiyometre Üst | ⑨ Çekme Kolu   |
| ② Gerilme Sensörü 1 | ④ Gerilme Sensörü 3 | ⑥ Gerinim Pulu Alt | ⑧ İpli Potansiyometre Alt | ⑩ Çekme Halatı |

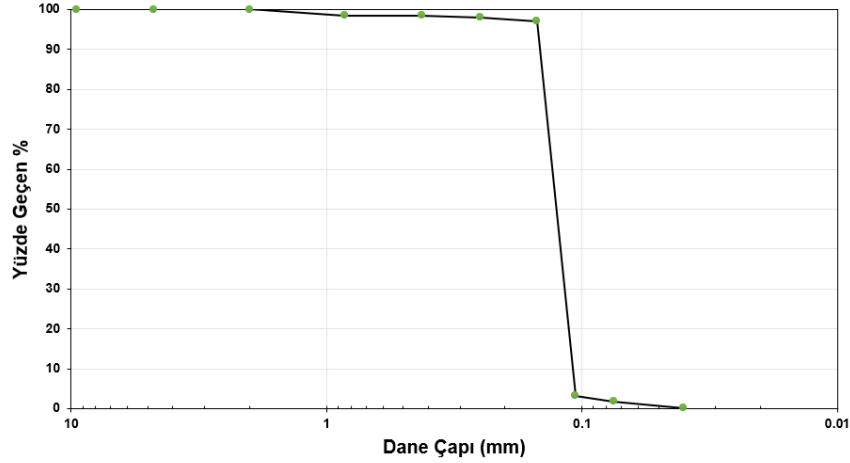
Şekil 2. Deney kasası ve yükleme düzeneği şematik gösterimi

### Deneylerde Kullanılan Kum

Deneylerde zemin sınıflandırması SP (kötü derecelenmiş kum) olan kuru Kilyos kumu kullanılmıştır. Fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenmiş olan kumun istenen sıklığa getirilebilmesi için 5 cm tabakalarla kompaksiyon cihazı yardımıyla sıkıştırılmıştır. Kilyos kumuna ait fiziksel özellikler Tablo 3'te, gradasyon eğrisi Şekil 3'de sunulmuştur.

Tablo 3. Kilyos kumu fiziksel özellikleri

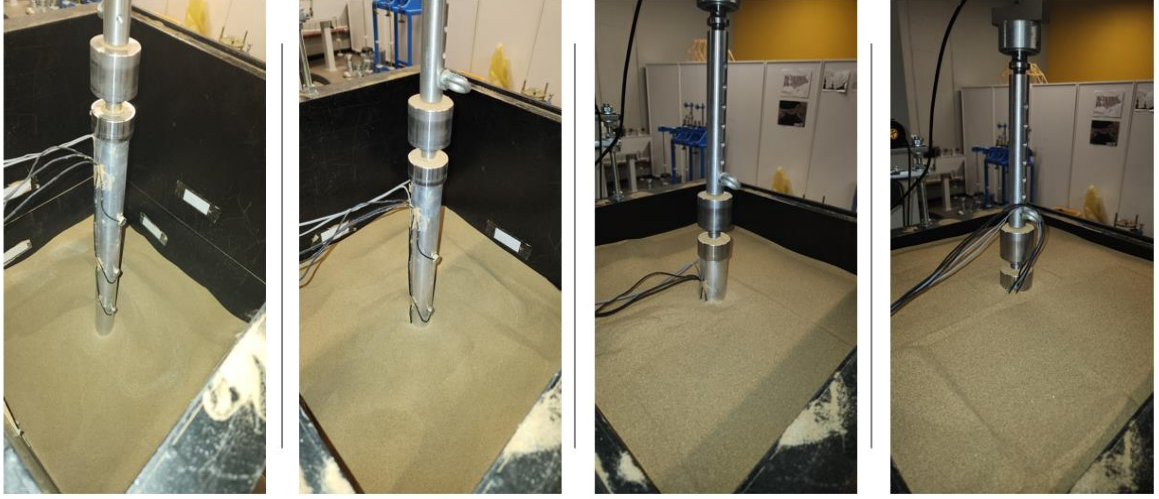
Fiziksel Özellik	Kilyos Kumu
Zemin Sınıflandırması	SP
Ortalama Dane Çapı ( $D_{50}$ )	0,26
Uniformluluk Katsayısı ( $C_u$ )	1,24
Süreklilik Katsayısı ( $C_c$ )	0,97
Özgül Ağırlık ( $G_s$ )	2,66
Maksimum Boşluk Oranı ( $e_{max}$ )	0,77
Minimum Boşluk Oranı ( $e_{min}$ )	0,44



Şekil 3. Kilyos kumu granülometri eğrisi

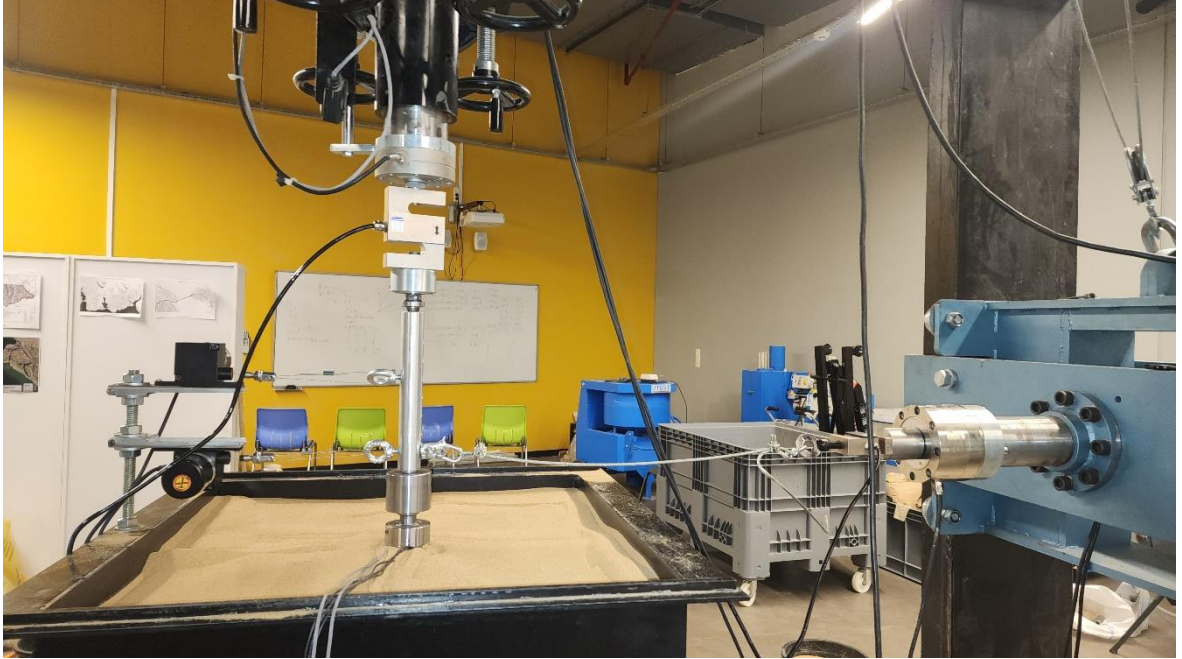
### Deneylerin Hazırlanışı

Deney kasası doldurulmadan önce istenilen sıklığa bağlı birim hacim ağırlığı hesap edilerek her 5 cm tabakaya gelecek kum miktarı belirlenmiştir. Homojenliği sağlamak amacıyla kasa içerisinde işaretler konularak eşit sıklık oluşturulmaya çalışılmıştır. Öncelikle kazık altına gelecek kum zemin kompaktör yardımıyla sıkıştırılmıştır, kum yüksekliği kazık seviyesine ulaştığı zaman sadece yanal yükleme durumu için sabitleme aparatı yardımıyla kazık deney kasası içerisinde sabitlenmiştir. Kombine yüklemede sabitleme aparatına ihtiyaç duyulmadan kazık düşey yükleme sistemine bağlanmıştır.



Şekil 4. Kombine yükleme sistemi kum yerleştirme aşamaları

Deneyler öncelikle sadece yanal yükleme durumu için yapılmış, daha sonra kombine yükleme sistem aktif edilmiştir. Kazığın düşey yüke ek olarak yanal hareket yapabilmesi için çekme kolunun alt ve üst kısımlarına yanal harekete izin verecek mafsal yerleştirilmiştir. Yükleme öncesine ait deney düzeneği Şekil 5'te gösterilmiştir. Kombine yükleme aşamasında önce düşey yükleme kazık çapının yüzde 10'u kadar (0,1D) kadar yani 5 mm deplasman olacak şekilde uygulanmış sonrasında yanal yükleme aşamasına geçilmiştir.



Şekil 5. Yükleme öncesi deney düzeneği

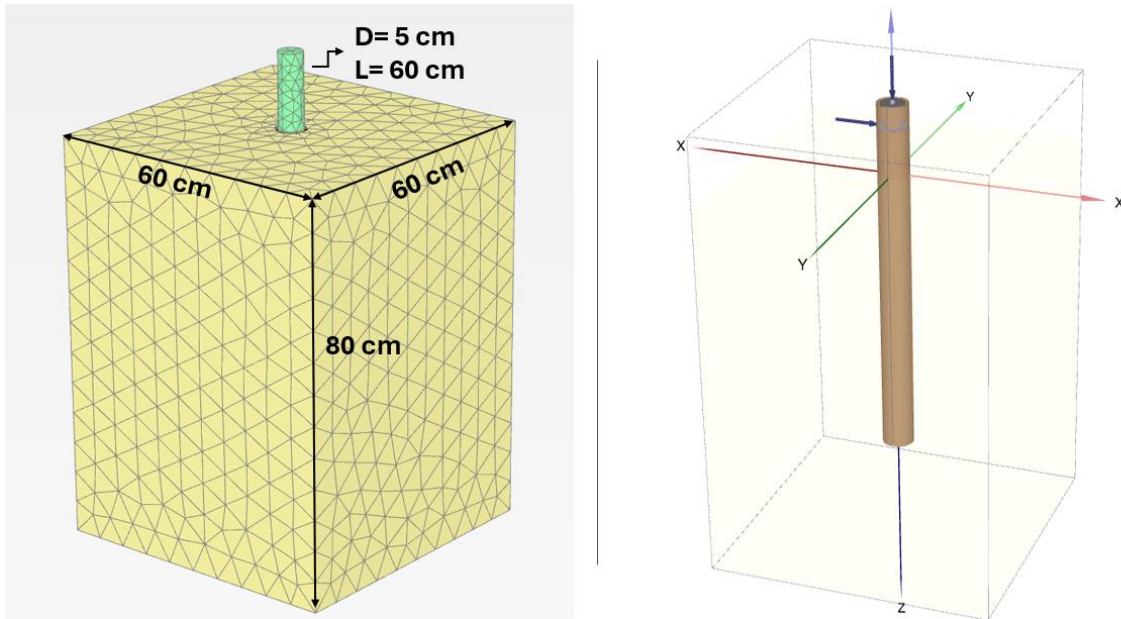
## 2.2. Nümerik Analizler

Laboratuvar deneylerini simüle edebilmek ve deneylerin doğrulamasını yapmak amacıyla sonlu elemanlar yöntemiyle 3 boyutlu nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler PLAXIS 3D v2024 programı kullanılarak deney kasası, zemin ve kazık modellenmiştir. Zemin kazık etkileşimini tanımlamak amacıyla arayüzey elemanlar kullanılmıştır. Arayüzey

sürtünme katsayısı ( $R_{inter}$ ) değeri literatürde deneysel çalışmalardan elde edilen verilere göre 0,7 alınmıştır. Numerik analizlerde kum zemin için pekleşen zemin modeli (Hardening Soil Model) kullanılmıştır, kazık ise hacimsel (soil volume) olarak modellenmiştir, davranış olarak lineer elastik model kullanılmıştır. Elastik model parametreleri olarak elastisite modülü 70 GPa, poisson oranı 0,3 girilmiştir. Kilyos kumuna ait parametreler Tablo 4'te, nümerik model Şekil 6'da görülmektedir.

Tablo 4. Numerik analizlerde kullanılan Kilyos kumu mukavemet parametreleri

Mekanik Özellik	Gevşek	Sıkı
Bünye Modeli	HS Model	HS Model
Relatif Sıklık, %	35	75
Kuru Birim Hacim Ağırlık ( $\gamma$ ), KN/m <sup>3</sup>	16,1	17,5
Sekant Elastisite Modülü ( $E_{50}$ ), MPa	10	30
Yükleme-boşaltma Elastisite Modülü ( $E_{ur}$ ), MPa	30	90
İçsel Sürtünme Açısı	32	38
Dilatansi Açısı	0	7
Arayüzey Sürtünme Katsayısı ( $R_{inter}$ )	0,7	0,7

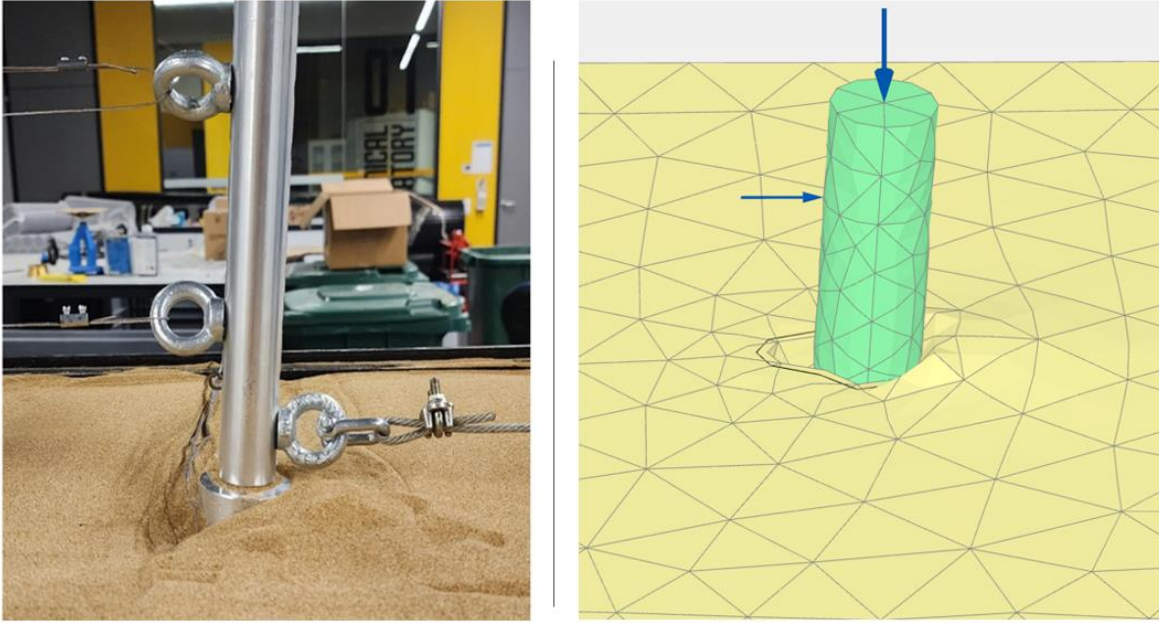


Şekil 6. Zemin-kazık sonlu eleman modeli

### 3. BULGULAR

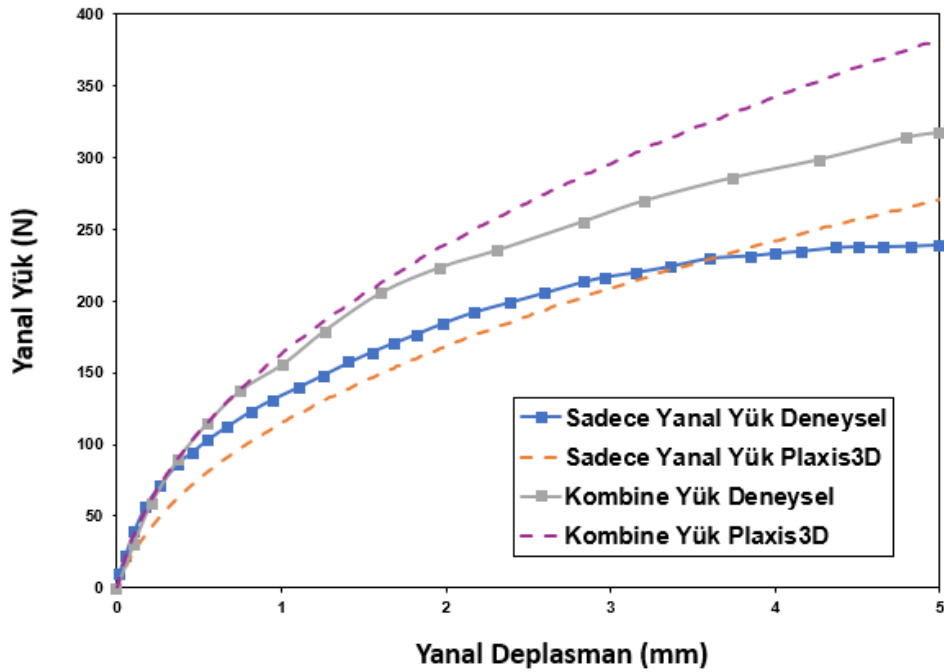
Küçük ölçekli laboratuvar testleri ile elde edilen sonuçlar 3 boyutlu sonlu elemanlar analizleri ile karşılaştırılmıştır. Her iki çalışma için kazık tepe noktasının yanal hareketi ve uygulanan yanal yük grafikleri çıkartılmıştır. Çalışmada kazık çapının yüzde 10'u mertebesinde hareket nihai deplasman kriteri olarak alınmıştır. Şekil 7'de deneysel çalışmadan ve nümerik analizden elde edilen yanal yüke bağlı kazık ve zemin hareketleri gösterilmiştir.



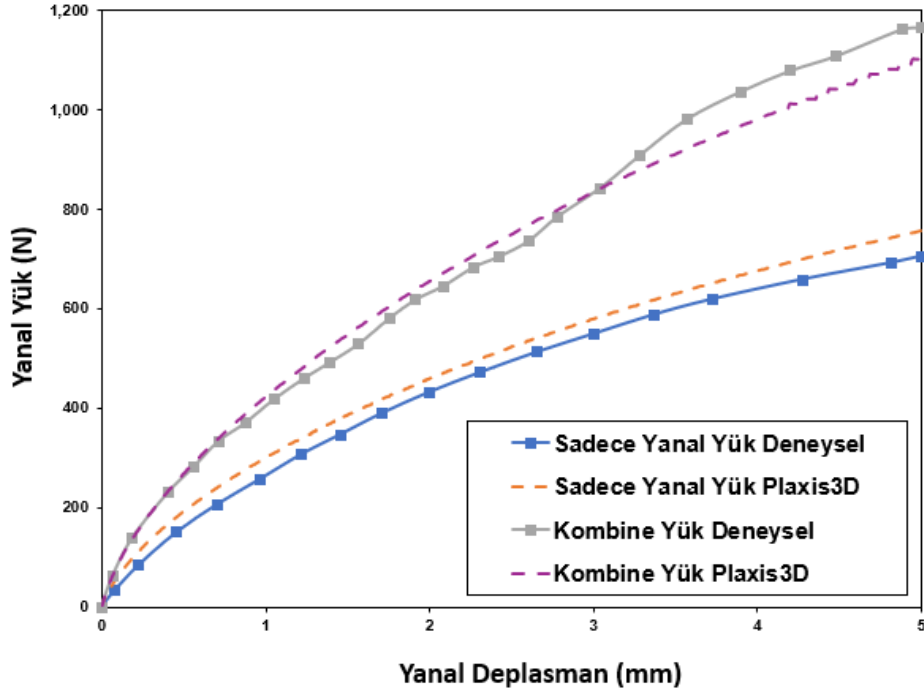


Şekil 7. Kazık ve zemin deformasyon şekli

Gevşek ve sıkı kumda gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ve sonlu elemanlar analizlerinin sonuçları Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Kumlarda sıklık derecesinin artmasıyla kazık kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. Laboratuvar deneyleri için gevşek kumda kazık yanıl kapasitesi sadece yanıl yüklü durumda ve kombine yüklü durumda sırasıyla 240 N ve 318 N olmuştur. Nümerik analiz sonuçlarında da yanıl kapasitede benzer artış gözlemlenmiştir.

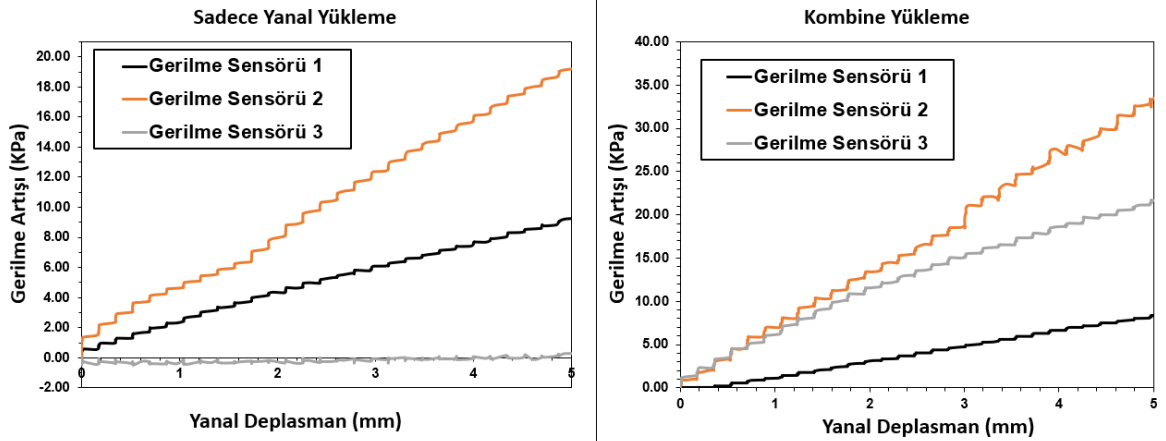


Şekil 8. Gevşek kum yanıl yük ve yanıl deplasman grafiği

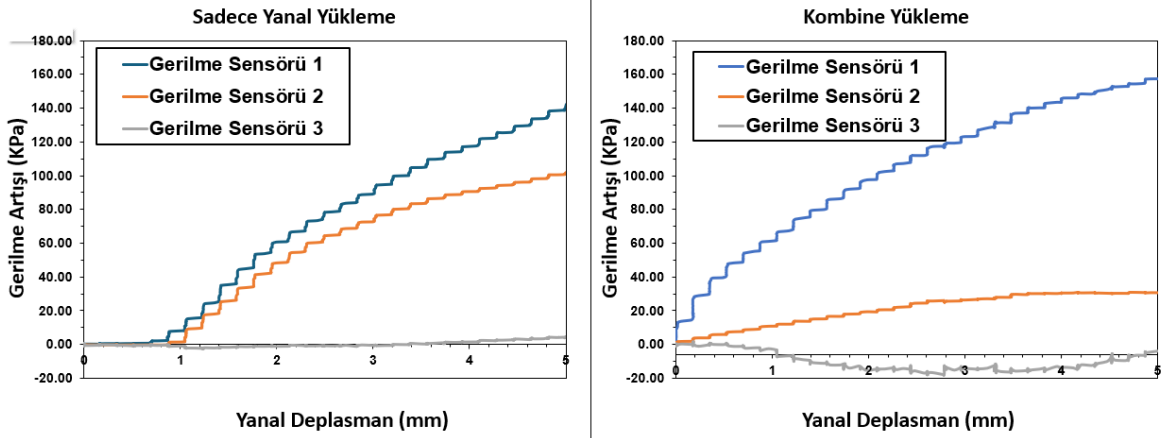


Şekil 9. Sıkı kum yanal yük yanal deplasman grafiği

Kazık üzerinde yerleştirilen hassas ölçüm alabilen gerilme sensörleri kullanarak yanal yüklemeye bağlı kazık üzerine gelen gerilmeler ölçülmüştür. Kum sıklığının artmasıyla kazık üzerine gelen gerilmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla yüklemeye bağlı kazık kapasitesi daha fazla olmuştur. Şekil 10'da gevşek kumda gerilme artışı grafiği, Şekil 11'de ise sıkı kumda gerilme artışı grafiği görülmektedir.



Şekil 10. Yükleme türüne göre gevşek kumda gerilme artışı grafiği



Şekil 11. Yükleme türüne göre sıkı kumda gerilme artışı grafiği

Laboratuvar deney sonuçları ve nümerik analizlerde elde edilen nihai yük değerleri farklı parametreler etkisi altında Tablo 5'te özet olarak sunulmuştur.

Tablo 5. Deney ve analizlerin karşılaştırılması

Yükleme Tipi	Zemin Sıklığı	Nihai Yük (N)	
		DeneySEL	Nümerik
Sadece Yanal	Gevşek	239.53	271.00
Kombine	Gevşek	317.89	382.00
Sadece Yanal	Sıkı	702.66	755.00
Kombine	Sıkı	1164.55	1100.00

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı sıklıkta oluşturulan kuru kum zeminlerde eksenel yükün kazıkların yanal taşıma kapasitesi ve hizmet görebilirlik durumu deneysel çalışmalar ve 3 boyutlu sonlu elemanlar analizleri ile incelenmiştir. Uzunluk-çap oranı (L/D) 12 olan kazıkta, sadece yanal yüklü, eksenel-yanal yüklü kazıklarla deneyler yapılmış sonuçlar birbirleriyle ve sonlu elemanlar analizleriyle karşılaştırılmıştır. Kazık çapının yüzde 10'u kadar deplasman nihai deplasman kriteri olarak alınmış bu deplasman değerine göre nihai yükler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde deneysel ve nümerik çalışmaların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Kum zeminlerde sıklığın artmasına bağlı olarak kazıkların yanal taşıma kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. Eksenel yükün varlığı, sadece yanal yüklü duruma göre relatif sıklığı yüzde 35 olan gevşek kum zemin için yanal kazık kapasitesini deneysel çalışmada %32, nümerik analizlerde %40 artırmıştır. Sıkı zeminde ise, eksenel yükün olması yanal kazık kapasitesini deneysel çalışmada %66, nümerik analizlerde %45 artırmıştır.

Çalışmada gerilme sensörlerinden elde edilen verilere göre sıklık derecesi gevşek olan kumda kazık orta bölgesi en fazla gerilmeye maruz kalırken sıkı kumda kazık üst bölgesi en fazla gerilmeye maruz kalmıştır.

Deneysel ve nümerik çalışmalarla, eksenel yük etkisi altında kazık çevresindeki ortalama efektif gerilme değerleri yükselmiş, dolayısıyla kazık rijitliğinde artış meydana geldiği görülmüştür. Kazıkların yanal kapasitesi kazık narinliğine yani L/D oranına, uygulanan eksenel yük değerine ve yanal yükün kazık tepesinde oluşturduğu eksantirisite değerlerine de bağlı olduğundan tasarım aşamasında bu parametrelerin dikkate alınması gerektiği tavsiye edilmektedir.

## TEŞEKKÜR

*Bu çalışma, "Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi Probleminin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması" başlıklı ve 221M157 numaralı TÜBİTAK Projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup yazarlar katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür etmektedirler.*

## KAYNAKLAR

- American Petroleum Institute (API) (2000) Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms. Working Stress Design. API Recommended Practice 2A-WSD (RP2A-WSD), 21st edn, Dallas.
- Anagnostopoulos, C., and Georgiadis, M. (1993), "Interaction of axial and lateral pile responses." J. Geotech. Engrg., 119(4), 793–798.
- Bartolomey, A. A. (1977). "Experimental analysis of pile groups under lateral loads." Proc., Special Session 10 of the 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., 187–188.
- Davison, M. T., and Robinson, K. E. (1965), "Bending and buckling of partially embedded piles." Proc., 6th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., Montreal, 243–246.
- Goryunov, B. F. (1975), "Discussion on analysis of piles subjected to the combined action of vertical and horizontal loads." J. Soil Mech. Found. Eng., 10(1), 10.
- Hussien, M. N., Tobita, T., Iai, S., & Rollins, K. M. (2012). Vertical loads effect on the lateral pile group resistance in sand. Geomechanics and Geoengineering, 7(4), 263-282.
- Jain, N. K., Ranjan, G., and Ramasamy, G. (1987), "Effect of vertical load on flexural behaviour of piles." J. Geotech. Engrg., 18, 185–204.
- Karthigeyan, S., Ramakrishna, V. V. G. S. T., & Rajagopal, K. (2007). Numerical investigation of the effect of vertical load on the lateral response of piles. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(5), 512-521.
- McNulty, J. F. (1956), "Thrust loading on piles." J. Soil Mech. and Found. Div., 82(SM2), 1–25.
- Pise, P. J. (1975), "Investigation on laterally loaded pile groups." Symp. on Recent Developments in the Analysis of Soil Behaviour and its Application to Geotechnical Structures, Univ. of New South Wales, Australia, 129–144.
- Ramasamy, G. (1974), "Flexural behaviour of axially and laterally loaded individual piles and group of piles." Ph.D. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India.
- Sarochan, E. A., and Bykov, V. I. (1976), "Performance of groups of cast in place piles subjected to horizontal loading." J. Soil Mech. Found. Eng., 13(3), 157–161.
- Zhukov, N. V., and Balov, I. L. (1978), "Investigation of the effect of a vertical surcharge of horizontal displacements and resistance of pile columns to horizontal loads." J. Soil Mech. Found. Eng., 15(1), 16–21.