

## Eğik Kısa Kazıkların Yanal Yük Taşıma Kapasitelerinin Deneysel Olarak İrdelenmesi

Gizem MISIR<sup>1</sup>  
Mustafa LAMAN<sup>2</sup>

### ÖZ

Bu çalışmada, yanal yük etkisindeki kısa tekil kazığın, homojen gevşek kum zemin içerisinde düşey ve eğik olarak yerleştirilmesi durumları, küçük ölçekli laboratuvar model deneyleri ile incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ile kazığın yanal yük taşıma kapasitesi değerleri belirlenmiştir. Ayrıca; rijit kısa kazığın yanal yük taşıma kapasitesini etkileyen parametrelerden birisi olan, dönme noktası derinliği de her bir deney için irdelenmiştir. Sonuçta, kazığı çevreleyen zemin ortamı, kazığın yanal yük taşıma kapasitesini oldukça etkilemektedir. Bununla birlikte, kısa kazığın, zemin içerisine eğik olarak yerleştirilmesi durumunda hem dönme noktası derinliği, hem de yanal yük taşıma kapasitesi, düşey yerleşimli kazık durumuna göre belirgin farklılıklar ortaya çıkarmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kısa kazık, yanal yük, eğik kazık, taşıma gücü, dönme noktası.

### ABSTRACT

#### Experimental Investigation of Lateral Load Bearing Capacity of Short Battered Piles

In this study, a short single pile in homogeneous loose sand environment placed vertically and also obliquely that is under the influence of lateral loading, was investigated by small-scale laboratory model tests. The lateral bearing capacity of the short pile was obtained from the experimental study. In addition; the depth of the pivot point, that is expected to occur in the rigid pile was discussed as one of the main parameters affecting the lateral load capacity of the short pile. As a result, the ground soil conditions surrounding the pile, considerably affects the lateral load-bearing capacity of the pile. However, the depth of the rotation point and the lateral load capacity of the short pile placed obliquely in the sand, reveal significant differences as compared to vertical piles.

**Keywords:** Short pile, lateral load, battered pile, bearing capacity, pivot point.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 13.07.2015 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2017 gününe kadar tartışmaya açıktır.
- DOI: 10.18400/tekderg.333705

1 Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Karaman - gmisir@kmu.edu.tr  
2 Liverpool Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, İngiltere - lamanmustafa@gmail.com

## 1. GİRİŞ

Kazığa etkiyen yanal yük bileşeninin büyüklüğüne göre, kazıklar zemin içerisine düşey veya eğimli olarak inşa edilmektedir. Üstü yapı yükü yatay bileşeninin küçük olduğu durumlarda, yükler, düşey kazıklarla güvenle taşınabilmektedir. Bu çalışmanın da özünü oluşturan, düşey yerleşimli kısa kazıkların yanal yük taşıma kapasiteleri ve zemin basınç dağılımlarının belirlenmesinde, [1] Brinch Hansen (1961), [2] Broms (1964), [3] Meyerhof (1981), [4] Prasad ve Chari (1999) ve [5] Zhang ve Ark. (2005) gibi farklı araştırmacıların analitik çözüm yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

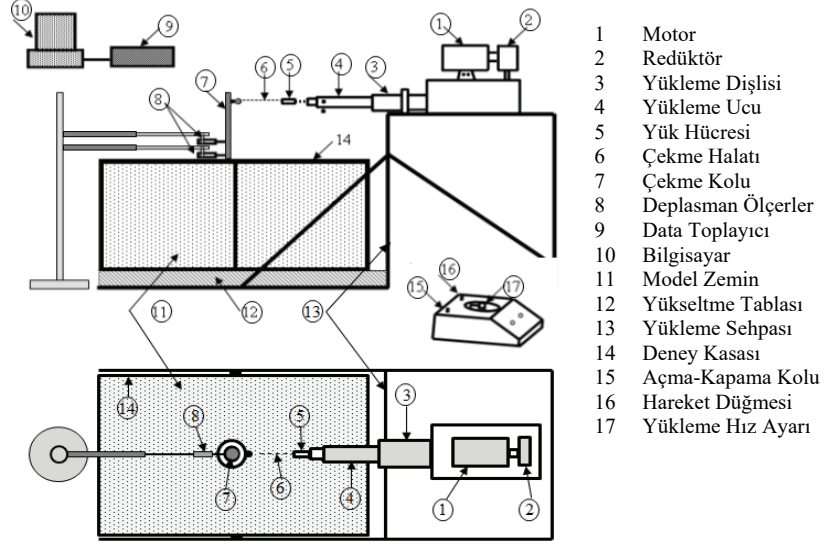
Ancak; rıhtım ve dalgakıranların kazıkları, köprü ayaklarının kazıklı temelleri, petrol arama kule ve vinçlerinin kazıklı temelleri ve yüksek baca yapılarının temelleri, oldukça yüksek mertebelerdeki yatay yük bileşenleri etkisinde kalmaktadır. Düşey kazıkların yanal taşıma gücü açısından yetersiz kaldığı durumlarda ise, eğik kazıklar inşa edilerek, daha yüksek mertebelerdeki yatay yüklere karşı direnç sağlanabilmektedir. [6] **Manoppo (2009)** Homojen kum zemin içerisine  $0^\circ$ ,  $+15^\circ$ ,  $+30^\circ$ ,  $-15^\circ$  ve  $-30^\circ$  lik açılarda yerleştirilen yanal yüklü uzun ve eğik kazığın nihai taşıma gücü değerlerini, deneysel ve analitik olarak araştırmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, negatif açıda yerleştirilen kazığın taşıma kapasitesi, düşey ve pozitif açıda yerleştirilen kazıklardan daha büyük çıkmıştır. [7] **Rajashree ve Sitharam (2001)** yanal yüklü eğik kazıkların statik ve tekrarlı yükler altındaki davranışını modellemek için, kazığın bir kiriş elemanı, zeminin ise, elasto-plastik yay elemanlar olarak modellendiği, bir sonlu elemanlar programı geliştirmiş, statik ve tekrarlı yükler altında yapılmış olan laboratuvar ve arazi deney verilerini doğrulanmıştır. [8] **Zhang ve Ark. (1999)** iki farklı zemin sıklığında gerçekleştirmiş oldukları santrifüj deneylerinde, negatif ve pozitif yönde yerleştirilmiş  $7^\circ$  ve  $14^\circ$  açılardaki uzun kazıkların davranışlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda, kazık açısının, orta sıkı zemin koşulunda, yanal yük taşıma kapasitesi üzerinde belirgin bir etkisi olurken, gevşek kum yerleşimi durumunda ise, kazık açısı etkisi daha sınırlı kalmaktadır. [9] **Rahimi ve Bargi (2010)** yaptıkları çalışmada, sıkı kum içerisnde yer alan, 21 adet düşey ve 4 adet eğik kazıktan oluşan rıhtım temellerinin davranışını incelemek için, ABAQUS programı kullanmıştır.  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $30^\circ$  lik kazık açılarında analizler yapılmış ve kazık açısının artmasıyla, kazık başında meydana gelen deformasyonlar azalırken, eğik kazıklar tarafından taşınan yük değerlerinde belirgin artışlar görülmüştür.

Yanal yüklü kazık problemi, non-lineer bir yapı zemin etkileşimi olup, kazığın yanal taşıma kapasitesi, kazığı çevreleyen zemine ait elastisite modülü, kayma mukavemeti ve kazığın yerleşim açısına bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Bu çalışma kapsamında, literatürde sınırlı sayıda yer bulan eğik yerleşimli kısa kazıkların, yanal yük taşıma kapasiteleri ve kısa kazık üzerinde oluşması beklenen dönme noktası derinliğinin değişimi, homojen gevşek kum zemin koşulu için araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Yükleme Sistemi

Deneyler, Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında, gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, sınır etkisi oluşmadığı sayısal analizlerle görülmüş, 96x48x50 cm boyutlarında deney kasası ve yanal yük uygulayabilen yükleme çerçevesi kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Deney Kasası ve Yükleme Sistemi Şematik Gösterimi [10] (Misir, 2015)

## 2.2. Malzeme Parametreleri

Deneyde kullanılan çelik kazık, silindirik gömülü kazık eleman ve çekme kolundan oluşmaktadır. Kazık elemana ait parametreler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Model Kısa Kazık ve Çekme Koluna ait Parametreler [10] (Misir, 2015)

Çap ( $D-D_{PA}$ ) (mm)	Boy (L) (mm)	Elastisite Modülü (E) (MPa)	Birim H. Ağ. ( $\gamma$ ) ( $kN/m^3$ )
50	200	210000	77
25	300	210000	77

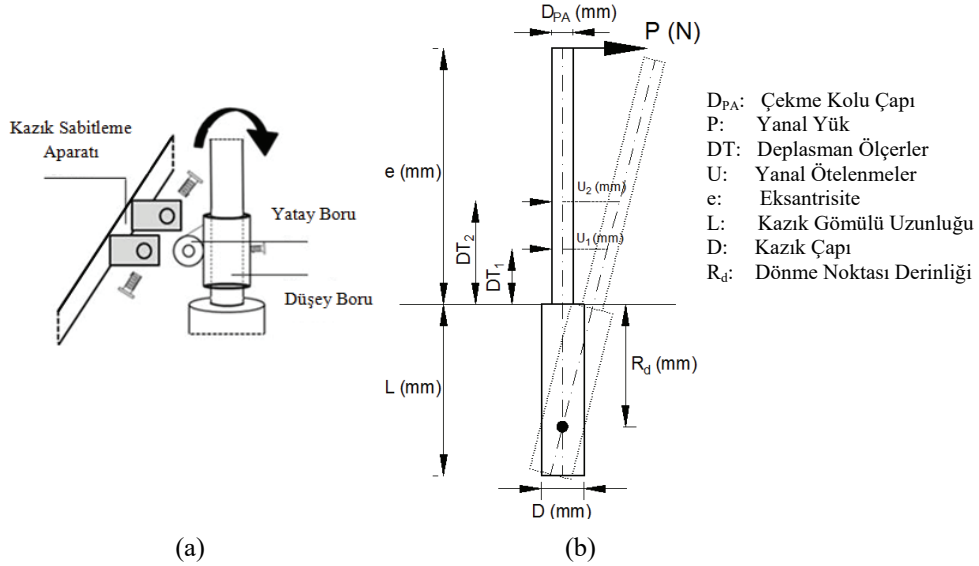
Çalışmada, yapılan elek analizi sonucuna göre, zemin sınıfı kötü derecelenmiş kum (SP) olarak elde edilmiştir. Kum zeminde gerçekleştirilen geleneksel zemin mekaniği deney sonuçlarına göre (rölatif sıklık, kesme kutusu ve konsolidasyonlu-drenajlı (CD) üç eksenli basınç deneyi) elde edilen zemin parametreleri Çizelge 2’ de verilmiştir.

Çizelge 2. Kum Zemin Parametreleri [10] (Misir, 2015)

$\gamma_k$ ( $N/cm^3$ )	E ( $N/cm^2$ )	c ( $N/cm^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	$\gamma_s$ ( $N/cm^3$ )
15.03	2060	$1 \times 10^{-3}$	$39^\circ$	26.80

### 2.3. Deney Düzenegi

Deney düzenegi, yükün uygulama yüksekliğinin, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün ilgili yönetmeliğinde [11] öngörülen yükseklik değerleri (6m) ile uyumlu olması için, 1/20 ölçekte hazırlanmıştır. Gevşek kum zemin yerleşimi, herhangi bir enerji vermeksizin, tabaka üst yüzeyinin deney kasası üzerindeki referans çizgilerine göre hizalanması ile tamamlanmıştır. Kısa kazık yerleşim kotuna ulaşıldığında, kasa kenarına sürülen sabitleme aparatı ve buna vidalı olarak sabitlenen döndürme aparatı ile sisteme dâhil edilmiştir (Şekil 2). Sisteme etkiyen yanal yük, zemin üst kotundan 30 cm yukarıdan uygulanan yanal çekme kuvveti ile verilmiştir. Uygulanan çekme kuvvetini ölçmek için 500 N kapasiteli yük halkası ve kazığın yapacağı rijit dönme hareketini belirleyebilmek için, zemin üst kotundan itibaren 80 mm ve 110 mm yüksekliklerde 2 adet 10 mm kapasiteli deplasman ölçerler kullanılmıştır. Deneylere, en üst kotta yer alan deplasman ölçerin 10 mm'lik kapasitesi tamamlanincaya kadar devam edilmiştir.



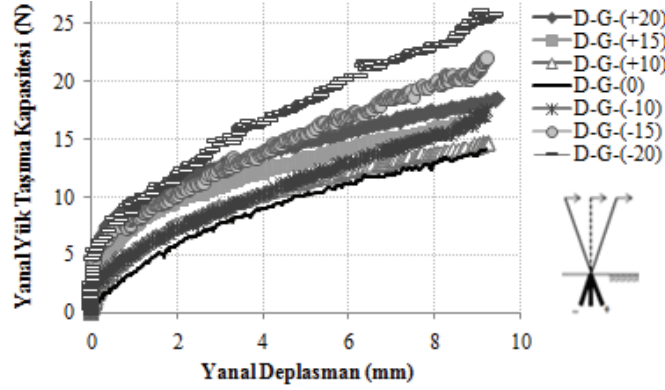
Şekil 2. a. Kazık Döndürme Aparatı [11] (Misir, 2015) ve b. Düşey Kazık için Yükleme Sonrası Kazık Geometrisi [12] (Uncuoğlu, 2009)

### 2.4. Deney Programı

Küçük ölçekli model deney çalışmalarında, kazığın kum zemin içerisine  $-20^\circ$ ,  $-15^\circ$ ,  $-10^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+10^\circ$ ,  $+15^\circ$  ve  $+20^\circ$  lik açılarla yerleşimlerini dikkate alan toplamda 7 deney gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar da dikkate alındığında, kazığın yön kabulü için yanal yükleme yönünde öne doğru eğik olarak yerleştirilmesi negatif, yükleme yönüne zıt doğrultuda yerleştirilmesi ise pozitif yön olarak kabul edilmiştir ([13] Manoppo F. J. ve Koumoto T., 1998, [14] Zhang ve ark 2002, [15] Ghazavi M., 2014). Grafiklerde deney adı olarak yapılan tanımlamada, D, düz zemin yüzeyini, G, homojen gevşek zemin koşulunu ve parantez içerisindeki değerler ise, kazık yerleşim açısını ifade etmektedir.

### 3. KUM ZEMİN DURUMU İÇİN DENEY SONUÇLARI

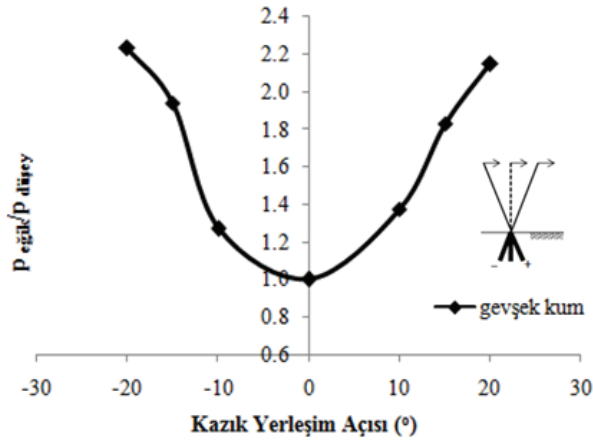
Kum zemin içerisinde yerleştirilen yedi farklı kazık yerleşim açısı için elde edilen yanal taşıma kapasitesi ve deplasman arasındaki ilişki Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kum Zeminde Kazık Yerleşim Açısına Bağlı Yük-Deplasman İlişkisi

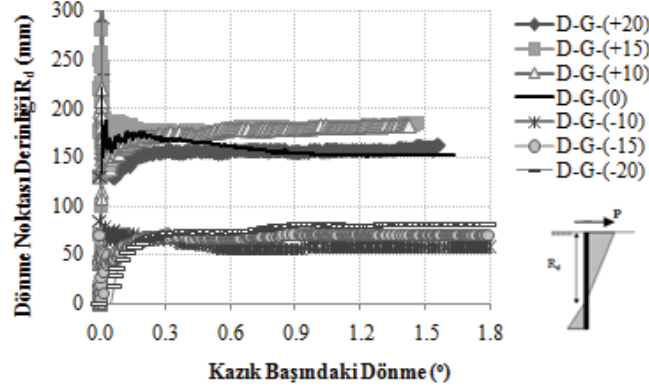
Yüklemeye sonucunda sistemin yanal yük taşıma kapasitesi için, literatürde kabul gören, müsaade (izin) edilebilir servis yükü değeri olarak %3 yanal hareket oranı kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde, yük-deplasman eğrileri birbirlerine yaklaşmakta ve taşıma kapasitesi değerleri çok dar bir bölge ile sınırlı kalmaktadır (Şekil 3).

Çalışmada, düşey yerleşimli kazık durumu, referans deneyleri olarak kabul edilmiş, eğik yerleşimli kazıklarda, kazık yerleşim açısının değeri ve yönünün, rijit kazıkların yanal yük taşıma kapasitesine olan etkileri incelenmiştir. Bu etkileşimi ifade etmek için kullanılan yanal taşıma kapasitesi oranı (YTKO) terimi, eğik durumdaki yanal yük taşıma kapasitesinin, düşey durumdaki yanal yük taşıma kapasitesine oranı olarak tariflenmiştir ([8] Zhang ve ark 1999, [16] Meyerhof G. G. ve Ranjan G., 1973).



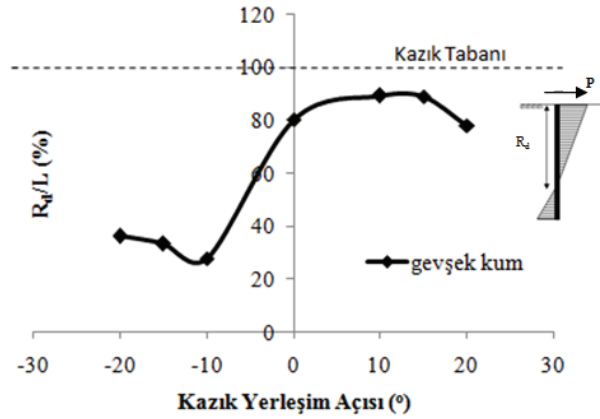
Şekil 4. Kazık Yerleşim Açısı ile YTKO Arasındaki İlişki

Kazık yerleşim açısı ile, yanal taşıma kapasitesi oranının (YTKO), ilişkisi incelendiğinde, düşey kazık yerleşiminde en düşük taşıma kapasitesi değeri elde edilmektedir. Kazığın, hem yükleme yönünde hem de yüklemeye zıt doğrultuda yerleştirilmesi ile, düşey kazık yerleşimine göre, simetrik bir davranış gözlenmekte ve açı değerinin artması ile kısa kazık, daha büyük bir performans ile çalışmaktadır. 20° açı ile yerleştirilen durumda taşıma kapasitesindeki artış, düşey kazığa göre yaklaşık 2.2 kat mertebesinde (Şekil 4).



Şekil 5. Kum Zeminde Farklı Kazık Yerleşim Açılıarı için Dönme Noktası Derinliği

Şekil 5'teki grafikte, dönme noktası derinliği ve kazık başındaki dönme değerleri arasındaki ilişki, düşük dönme açılarındaki kararsızlık göz ardı edilerek 0.6°'lik dönme açısı değeri, tüm grafikler için ortak bir değerlendirme kriteri olarak alınmıştır. 0.6°'lik dönme açısına karşılık gelen dönme noktası derinliğinin, kazık boyuna oranlanması ile dönme noktası derinliğinin kazık üzerindeki yeri, % olarak ifade edilmektedir (Şekil 5). Grafik incelendiğinde, negatif ve pozitif açılardan elde edilen dönme noktası derinliklerinin, grup olarak birbirinden ayrı seviyelerde oluştuğu görülmektedir. Ayrıca, pozitif kazık yerleşimine sahip kazıklarda oluşan dönme noktası derinliği, düşey durumdaki davranışa benzer değerde çıkmıştır.



Şekil 6. Kazık Yerleşim Açısı ile Dönme noktası Derinliği Arasındaki İlişki

Kazık üzerinde oluşması beklenen dönme noktası derinliğinin kazık yerleşim açısına bağlı değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Negatif yönlü açılarda dönme noktası kazık boyunun %28-36'sı arasında değişerek zemin yüzeyine doğru çıkmakta iken, pozitif yönlü kazıklarda ise, düşey kazık yerleşiminde elde edilen derinlik seviyesinin üzerine çıkarak, kazık boyunun %78-89'u arasında değişmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen yanal taşıma kapasitesi oranları (YTKO) ve dönme noktası derinliği ( $R_d$ ) değişimleri, Çizelge 3'te sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 3. Kazık Yerleşim Açısına Göre YTKO ve  $R_d$  Değerleri

Deneysel Adı	U/D=%3	YTKO	$R_d$ (mm)	$R_d/L$
		$P_{eğik}/P_{düşey}$	(0.6° dönme için)	(%)
D-G-(-20)	10.7	<b>2.23</b>	72.1	<b>36.1</b>
D-G-(-15)	9.3	<b>1.94</b>	66.4	<b>33.2</b>
D-G-(-10)	6.1	<b>1.27</b>	55.7	<b>27.9</b>
D-G-(0)	4.8	<b>1.00</b>	160.8	<b>80.4</b>
D-G-(+10)	6.6	<b>1.38</b>	178.4	<b>89.2</b>
D-G-(+15)	8.8	<b>1.83</b>	177.7	<b>88.9</b>
D-G-(+20)	10.3	<b>2.15</b>	155.9	<b>78.0</b>

#### 4. SONUÇLAR

Çalışmada, zemin yüzeyinden belirli bir yükseklikte etkiyen yanal yük etkisindeki, rijit (kısa) tekil kazığın, gevşek kum zemin içerisine düşey ve/veya eğik olarak yerleştirilmesi durumlarında, kısa kazığın yanal yük taşıma kapasitesinde ve dönme noktası derinliğinde meydana gelen değişimler laboratuvar ortamında küçük ölçekli model deneyler ile incelenmiştir. Çalışmalar dâhilinde elde edilen sonuçlar, maddeler halinde sunulmuştur:

- $\pm 20^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$  ve  $0^\circ$  kazık yerleşim açıları elde edilen yük-deplasman ilişkileri non-linear olmakla birlikte, kazık yerleşim açılarına göre nispeten lineere yaklaşan bir davranış sergileyerek, dar bir alanda sınırlı kalmaktadır.
- Deneysel çalışmalar sonucunda, en düşük yanal taşıma kapasitesi değeri, düşey yerleşimli kazık durumunda elde edilmiştir. Kazık yerleşim açısının artması, hem negatif hem de pozitif yerleşimli kazık durumunda benzer davranış göstererek birbirlerine oldukça yakın çıkmakta,  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$  ve  $\pm 20^\circ$  yerleşim açıları için sırası ile, düşey kazığa göre ortalama, %32.2, %88.5 ve %118.3 oranlarında artışlar meydana gelmektedir.
- Düşey yerleşimli kazık durumunda dönme noktası, kazık boyu içerisinde kalarak kazığın boyunun %80'inde oluşmaktadır.
- Negatif ve pozitif yönlü yerleşimlerde ise, dönme noktası derinliği açının sayısal değerinden nispeten bağımsız olarak, negatif yerleşimli kazık durumunda, kazığın

ortalama %32.4'ü ve pozitif yerleşimli durumda ise ortalama, %85.3'ünde oluşmaktadır.

- Özetle, kum zemin durumu ve çalışmada yer alan kazık yerleşim açıları dikkate alındığında, kazık yerleşim yönünden bağımsız olarak, açı değerinin artması, kazığın yanal yük altındaki performansının artmasına neden olmuştur.

**Semboller**

D	: Kazık Çapı
$D_{PA}$	: Çekme Kolu Çapı
DT	: Deplasman Ölçerler
e	: Eksantrisite
E	: Elastisite Modülü
G	: Homojen Gevşek Kum Zemin Koşulu
L	: Kazık Gömülü Uzunluğu
P	: Yanal Yük
$P_{düşey}$	: Düşey Yerleşimli Kazık için Yanal Yük Taşıma Kapasitesi
$P_{eğik}$	: Eğik Yerleşimli Kazık için Yanal Yük Taşıma Kapasitesi
$R_d$	: Dönme Noktası Derinliği
U	: Yanal Ötelenmeler
YTKO	: Yanal Taşıma Kapasitesi Oranı
$\gamma_k$	: Zemin Kuru Birim Hacim Ağırlığı
$\phi$	: Zemin İçsel Sürtünme Açısı
$\gamma_s$	: Dane Birim Hacim Ağırlığı

**Kaynaklar**

- [1] Brinch-Hansen, J., The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces. Geoteknisk Institute (The Danish Geotechnical Institute), 12, 5-9, 1961.
- [2] Broms, B.B., Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 90 (3), 123-156, 1964.
- [3] Meyerhorf, G.G., Mathur, S.K., and Valsangkar, A.J., Lateral Resistance and Deflection of Rigid Walls and Piles in Layered Soils. Canadian Geo. Journal, 18: 159-170, 1981.
- [4] Prasad, Y.V.S.N. and Chari, T.R., Lateral Capacity of Model Rigid Piles in Cohesionless Soils. Soils and Foundations, 39 (2): 21-29, 1999.



- [5] Zhang, L., Silva, F. and Grismala, R., Ultimate Lateral Resistance to Piles in Cohesionless Soils. *Journal of Geotech. and Geoenvironmental Eng.*, 131 (1): 78-83, 2005.
- [6] Manoppo, F.J., Behaviour of the Ultimate Bearing Capacity of Single Flexible Batter Pile Under Horizontal Loads in Homogeneous Sand. *Dinamika Teknik Sipil*, 10(2): 116-119, 2009.
- [7] Rajashree, S. S. and Sitharam, T. G., Nonlinear Finite-Element Modeling Of Batter Piles Under Lateral Load. *Journal Of Geo. and Geoenviron. Eng.*, 127:604-612, 2001.
- [8] Zhang, L., Mcway, M.C., and Lai, P.W., Centrifuge Modelling of Laterally Loaded Single Battered Piles in Sands. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(6): 1074-1084, 1999.
- [9] Rahimi, M.R., and Bargi, K., Efficient Arrangement of Batter Piles of a Pile-Supported Wharf in Sand. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15: 729-738, 2010.
- [10] Misir, G., Yanal Yüklü Kazıkların Farklı Zemin ve Yükleme Koşullarında Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [11] Karayolu Trafik Güvenliğinin Sağlanması Yönünden, Yolun Yapısında Yapılacak Her Türlü Çalışmalarda Alınacak Tedbirlerle Karayolu Dışında, Kenarında veya Üzerindeki Diğer Levhalar, Işıklar ve İşaretlemeler Hakkında Yönetmelik, 1985.
- [12] Uncuoğlu E., Kohezyonsuz Zeminlerdeki Kazıkların Yatay Yük ve Moment Etkisi Altındaki Davranışları, Doktora Tezi, Çukurova Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [13] Manoppo F. J. And Koumoto T., Fitting Method for Determining the Ultimate Bearing Capacity of Flexible Batter Piles in Clay under Lateral Loads. *Trans. of JSIDRE*, (197), 71-78, 1998.
- [14] Zhang L. M., McVay M.C., Han S.J., Lai P.W., and Gardner R., Effects of Dead Loads on the Lateral Response of Battered Pile Groups. *Canadian Geo. Journal* 39: 561-575, 2002.
- [15] Ghazavi, M., Ravanshenas, P., Lavasan, A. A., Analytical and Numerical Solution for Interaction between Batter Pile Group. *KSCE Journal of Civil Eng.* 18(7):2051-2063, 2014.
- [16] Meyerhof G. G. and Ranjan G., The Bearing Capacity of Rigid Piles Under Inclined Loads in Sand, II Batter Piles. *Canadian Geotech. Journal*, 10, 71-85, 1973.

