

Helis Çapı ve Helisel Plaka Sayısının Taşıma Gücüne Etkisinin Model Deneylerle Araştırılması

Yunus Cerit^{*1}, Murat Örnek¹

^{*1}İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
İskenderun / Hatay

(Alınış / Received: 02.05.2025, Kabul / Accepted: 11.06.2025, Online Yayınlanma / Published Online: 31.07.2025)

Anahtar Kelimeler

Helisel Kazık,
Helisel Plaka Çapı,
Helisel Plaka Sayısı,
Taşıma Gücü,

Öz: Helisel kazıklar geoteknik mühendisliğinin birçok yerinde kullanılan bir kazık türüdür. Helisel kazıklar basınç, çekme ve yanal gibi birçok kuvvete karşı koyabildiğinden geleneksel kazıklara göre daha çok tercih edilir. Bu çalışmada gevşek kum zeminde ve basınç etkisi altında helisel kazıkların taşıma gücü davranışı laboratuvar ortamında model deneyler tasarlanarak incelenmiş ve yük deplasman eğrileri yorumlanmıştır. Bu deneylerde gömülü kazık boyu (L), shaft çapı (d) ve helis aralığı (s) sabit tutulmuştur. Helis çapı (D) ve helisel plaka sayısı (N) değişken parametreler olarak ele alınmıştır. Deney sonuçları helis çapı ve helis sayısı arttıkça taşıma kapasitesinin de arttığını göstermiştir.

Investigation of the Effect of Helix Diameter and Number of Helical Plates on Bearing Capacity by Model Tests

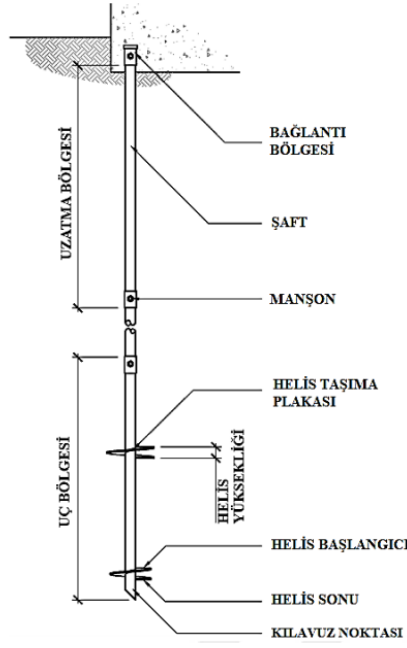
Keywords

Helical Pile,
Helical Plate Diameter,
Helical Plate Number,
Bearing Capacity,

Abstract: Helical piles are a type of pile used in many areas of geotechnical engineering. Helical piles are often preferred over traditional piles because they can resist many forces such as compression, tension, and lateral loads. This study investigated the bearing capacity behavior of helical piles under compression in loose sand soil by designing model tests in a laboratory environment, and the load-displacement curves were interpreted. In these tests, the embedded pile length (L), shaft diameter (d), and helix spacing (s) were kept constant. The helix diameter (D) and the number of helical plates (N) have been selected as variable parameters. The test results showed that the bearing capacity increased as the helix diameter and the number of helices increased.

1. Giriş

Helisel kazıklar, yapıları desteklemek için bir veya daha fazla helisel taşıma plakasına sahip çelik kazıklar olarak adlandırılır. Helisel kazıklar uygulama kolaylığı açısından geoteknik mühendisliğinin birçok alanında kullanılmaktadır. Tipik bir helisel kazık uç ve uzatma bölgelerinden oluşur. Uç bölgesinde helisel taşıma plakaları bulunur. Uzatma bölgesi shaft kısmını da içerir [1]. Tipik bir helisel kazığa örnek Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Tipik Helisel Kazık

Helisel kazıklar batı Kanada ve ABD’de konut binaları, ticari binalar ve endüstriyel tesislerde sıklıkla kullanılan diğer temellere göre birçok avantaja sahip temel sistemleridir. Temellerde yüksek basınç kapasitesi ve hızlı kurulum hızı sebebiyle tercih edilir. Aynı zamanda helisel kazıklar yer altı suyundan etkilenmezler [2]. Manevra kabiliyetleri kazık çakma ve iskele delme makinalarından daha fazladır. Dar alanlarda uygulanabilirliğinden dolayı mevcut binalarda kullanılabilirler. Bu özellikleri sayesinde pratik, çok yönlü ve ekonomiktir [3]. Birçok araştırmacı tarafından helisel kazıklar üzerine çalışma yapılmıştır [4-12]. Lutenegeer yaptığı çalışmada helisel kazıkların tarihsel gelişiminden bahsetmiştir [13]. Thusa ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı yoğunluklardaki kum zeminde helisel kazıkların davranışları model deneylerle incelenmiştir [14]. Emirler tarafından yapılan çalışmada helisel kazıkların taşıma kapasiteleri laboratuvar model deneyleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile ele alınmıştır [15]. Kunduz tarafından yapılan çalışmada laboratuvar model deneyleri ile gevşek kum zeminde farklı helis çapı, farklı helis aralıklı ve farklı helis sayısına sahip helisel kazıkların yanal yük etkisi altındaki davranışları yorumlanmıştır [16]. Mursal tarafından yapılan çalışmalarda helisel kazıkların kum zemin içinde örselenme etkisi sayısal ve analitik yöntemlerle araştırılmıştır [17].

Kurniawan ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmalarda kil zemine yerleştirilen helisel kazıkların basınç etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Deneylerde helis çapı ve farklı dizilim seçenekleri analiz edilmiştir. Deneylerde helisler 15-15-15 cm, 20-20-20 cm, 25-25-25 cm, 15-20-25 cm ve 25-20-15 cm çaplarında yerleştirilmiş olup kazıklar üzerindeki helisler arası mesafe sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda helis çapı arttıkça taşıma kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir. Helisel kazık üstten alta doğru helisel çapın azaldığı durumda (25-20-15 cm), helisel kazık alttan üste doğru helis çapının azaldığı duruma (15-20-25 cm) ve üniform helislere göre daha büyük eksenel sıkıştırma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiş ve sonuç olarak farklı helis çaplarına sahip helisel kazık üzerindeki helis yerleşim düzeninin ekonomik olarak bir alternatif olabileceği sonucuna varmıştır [18].

Türedi (2021) tarafından helisel kazıklar üzerinde yapılan çalışmada, basınç yüküne sahip helisel kazıkların gevşek ve sıkı zemin koşullarında tekil ve çoklu helislerin davranışları laboratuvar model deney ve büyük ölçekli arazi deneyleri ile incelenmiştir. Bu çalışmada helisler arası mesafe (s), helis sayısı (N) ve farklı helis çapları (D) gibi parametreler ele alınmıştır. Çalışmalar sonucunda helis çapının artmasıyla hem gevşek hem de sıkı zemin için taşıma yükünde arttığı belirlenmiştir. s/D (helis aralığı / helis çapı) etkisini incelediği deneylerde ise helis çaplarını sabit tutmuş (100 mm), helis aralıklarını değiştirmiştir. Bu deneylerde $s/D = 1 - 1.5 - 2 - 2.5 - 3$ oranlarını kullanmıştır. Deneyler sonucunda helis aralığı (s) değişiminin taşıma kapasitesine önemli derecede bir etkisinin olmadığı sonucuna varmıştır. İncelemiş olduğu bir diğer parametre olan helis sayısı etkisinde, helis çapını sabit tutmuş (100 mm) olup kazıkları helissiz, tek helisli, çift helisli ve üç helisli şeklinde gruplandırmıştır. Bu deneyler sonucunda helissiz kazığa göre artan helis sayısı ile hem gevşek hem de sıkı zemin durumunda taşıma kapasitesinde 3 ile 6 kat arasında artış meydana geldiğini belirlemiştir [19].

Sakr (2009) tarafından yapılan çalışmada tek ve çift helisli kazıkların basınç etkisi altında davranışları incelenmiştir. Deneyler sonucunda çift helisli kazıkların tek helisli kazıklara göre %40 daha fazla direnç gösterdiği belirlenmiştir. Tek helisli kazığa ikinci bir helisi eklemenin direnci önemli ölçüde arttırdığı ve maliyet-fayda açısından yararlı olacağı ortaya konmuştur [2].

Bak ve arkadaşları (2019) tarafından kum zeminde tekil ve grup helisel kazıkların taşıma kapasiteleri deneysel olarak irdelenmiştir. Tekil helisel kazıklarda; helisler arası mesafe, dönme hızı ve eksenel yük miktarı gibi parametreler araştırılmıştır. Bu deneylerde tekil helisel kazıklarda helis çapı sabit tutulmuş (100 mm) helisler arası mesafe 50 mm ve 150 mm olarak alınmıştır. Deneyler sonucunda tekil helisel kazıklarda helis aralığı, dönme hızı ve eksenel yük artışının nihai yükü arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca 50 mm helis aralığına sahip kazıkların kurulum koşullarına karşı daha az duyarlı olduğu, 150 mm helis aralığına sahip kazıkların ise kurulum koşullarından daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir [20].

George ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada kohezyonsuz zeminde deplasman yöntemiyle kurulan helisel kazıkların eksenel basınç ve çekme kapasitesi altındaki davranışları laboratuvar model deneyler ve sayısal yöntemlerle ele alınmıştır. Deneyler sonucunda helis çapı ve shaft çapının arttıkça basınç etkisi altında taşıma kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir [21].

Bu çalışmada, laboratuvar model deneyleri ile gevşek zemine yerleştirilen helisel kazıkların basınç etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Model deneyler shaft çapı $d=22$ mm ve helis çapları $D= 60-80-100$ mm olan helisel kazıklar kullanılarak yapılmış ve bu doğrultuda toplam 7 adet model deney gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalar, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deneyler, 1500 mm x 1200 mm x 1000 mm (uzunluk x genişlik x yükseklik) boyutlarında dikdörtgen kesitli deney kasasında yapılmıştır.

Çalışmalarda kasanın kum ile doldurulması ve boşaltılması helezon sistemi yardımıyla sağlanmıştır. Şekil 2'de helezon sisteminin çalışma prensibi ve deney kasası görülmektedir. Kum kasanın altındaki delikten helezon sistemi vasıtasıyla boşaltılmaktadır. Kumun doldurulması ve boşaltılmasını sağlayan helezon sistemi 25 cm çapında ve 45° eğimli çelik boru mevcuttur. Düzeneğin başında 50 d/dk hızda dönme yapan motor mevcuttur. Sistemin tekerlekli olması ile istenilen yere hareket ettirilip kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 2. Deney Kasası ve Helezon Sistemi

Deneyler gevşek zemin ortamında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kazıklar çelikten olup shaft çapları ($d=22$ mm) sabittir. $D=60-80-100$ mm boyutlarında helisler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan helisel kazıklar Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Helisel Kazıklar

Helisel kazıklar zemine helisel kazık tork motoru montajı düzeneği kullanılarak yerleştirilmiştir. Şekil 4'te helisel kazık tork motoru montaj düzeneği gösterilmiştir. Şekil 5'te ise kazıkların kum zemine yerleştirildikten sonraki hali verilmiştir.



Şekil 4. Helisel Kazık Tork Motoru Montaj Düzeneği



Şekil 5. Kazıklar Çakıldıktan Sonraki Görünüm

Helisel kazıkların kum zemine yerleştirilmesinden sonra kazığın üst kısmına yük hücresi yerleştirilmiştir. Deplasman ölçerler yük uygulanan kısmın iki tarafına yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Deney düzeneğinin görünümü Şekil 6’da yer almaktadır.



Şekil 6. Deney Düzeneği

Deneylerde kullanılan kum İskenderun kum ocağından temin edilmiştir. Yapılan birtakım deneyler sonucunda zemine ait parametreler Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

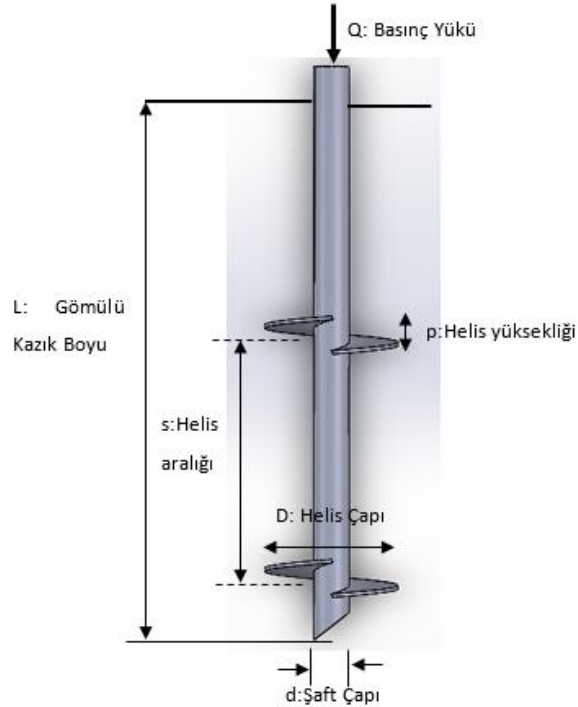
Tablo 1. Deney kumunun zemin parametreleri

Parametre	Değer
Efektif Dane Çapı, D_{10} (mm)	0.260
D_{30} (mm)	0.441
D_{60} (mm)	0.775
Üniformluk katsayısı, C_u	2.981
Süreklilik katsayısı, C_r	0.965
Zemin sınıfı, (USCS)	SP

Tablo 2. Elek Analizi

Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Kümülatif Toplam (gr)	Elek Altına Geçen Toplam (gr)	Elek Altına Geçen Yüzde
No. 10	2.000	0.00	0.00	2000.00	100.00
No. 16	1.180	305.70	305.70	1694.30	84.72
No. 30	0.600	794.60	1100.30	899.70	44.99
No. 40	0.425	320.50	1420.80	579.20	28.96
No. 50	0.300	288.70	1709.50	290.50	14.53
No. 80	0.180	290.50	2000	0.00	0.00
TOPLAM		2000			

Tek bir helisel kazığın kullanıldığı deneylerdeki kazık geometrisi Şekil 7’de ve deney planına ait bilgiler de Tablo 3’te verilmiştir.

**Şekil 7.** Kazık Geometrisi (Türedi, 2021)

Tablo 3. Laboratuvar Deneyler (LD)

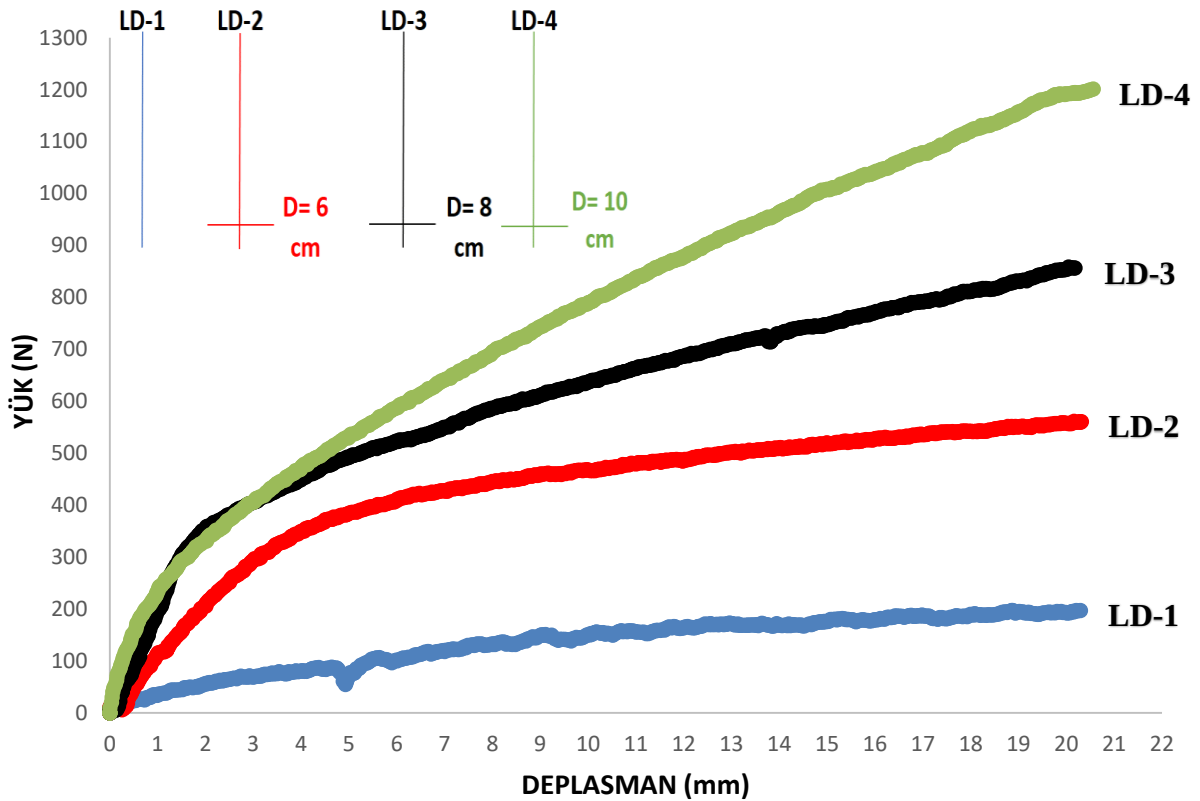
Deney Kodu	Helis aralığı, s (mm)	Helis plaka sayısı, N	Helis çapı, D (mm)	s/D
LD-1	-	0	0	-
LD-2	-	1	60	-
LD-3	-	1	80	-
LD-4	-	1	100	-
LD-5	90	2	60 / 60	1.5
LD-6	120	2	80 / 80	1.5
LD-7	150	2	100 / 100	1.5

3. Bulgular

Kazıkların basınç etkisi altında davranışlarını incelemek amacıyla laboratuvar ortamında toplam 7 adet deney yapılmış ve yük-deplasman eğrileri üzerinden davranışları yorumlanmıştır. Yük-deplasman eğrileri helis çapı etkisi, helisel plaka sayısı parametreleri üzerinden ele alınmıştır.

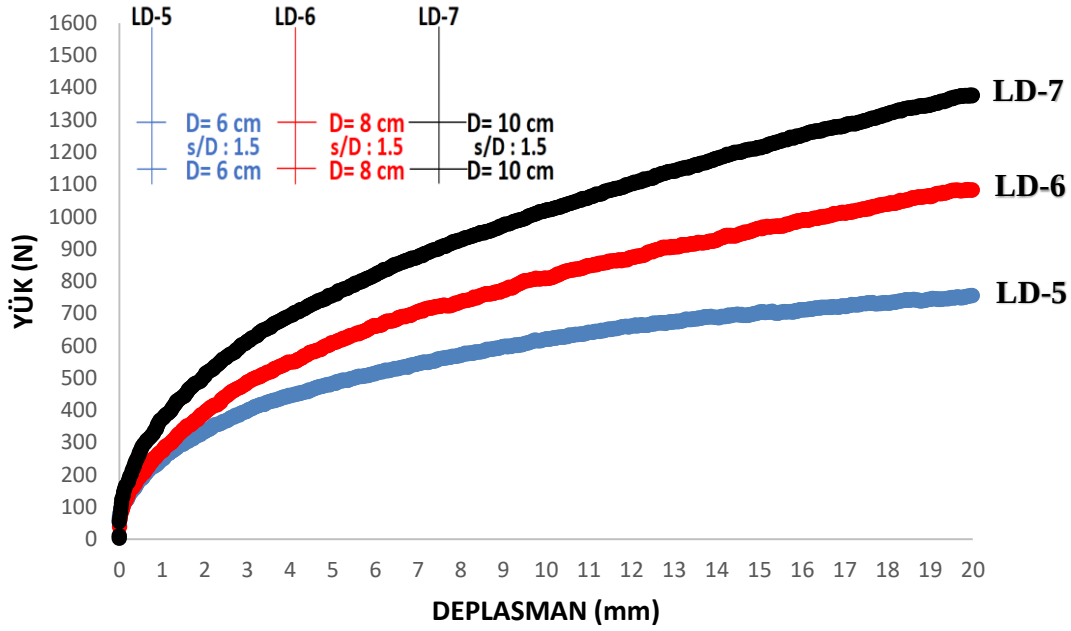
3.1. Helis çapı etkisi

Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen helis çapı etkisine ait yük-deplasman eğrisi Şekil 8'de kazıklara ait geometri ile birlikte verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde helis çapının artmasına bağlı olarak yük değerlerinde büyük artışlar meydana geldiği görülmektedir. 8 cm çaplı kazığın 6 cm çaplı kazığa göre yaklaşık % 53 daha fazla yük taşıdığı, 10 cm çaplı kazığın da 8 cm çaplı kazığa göre yaklaşık % 40 daha fazla yük taşıdığı belirlenmiştir.

**Şekil 8. Helis Çapı Etkisi**

İki helis plakasının kullanıldığı deneylere ait yük-deplasman ilişkileri Şekil 9'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde çift helisli kazıklarda helis çapı arttıkça yükün de arttığı tespit edilmiştir. LD-7'nin taşıdığı yük LD-6'ya göre yaklaşık %27 daha fazla ve LD-6'nın da LD-5'e göre yaklaşık %43 daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir.

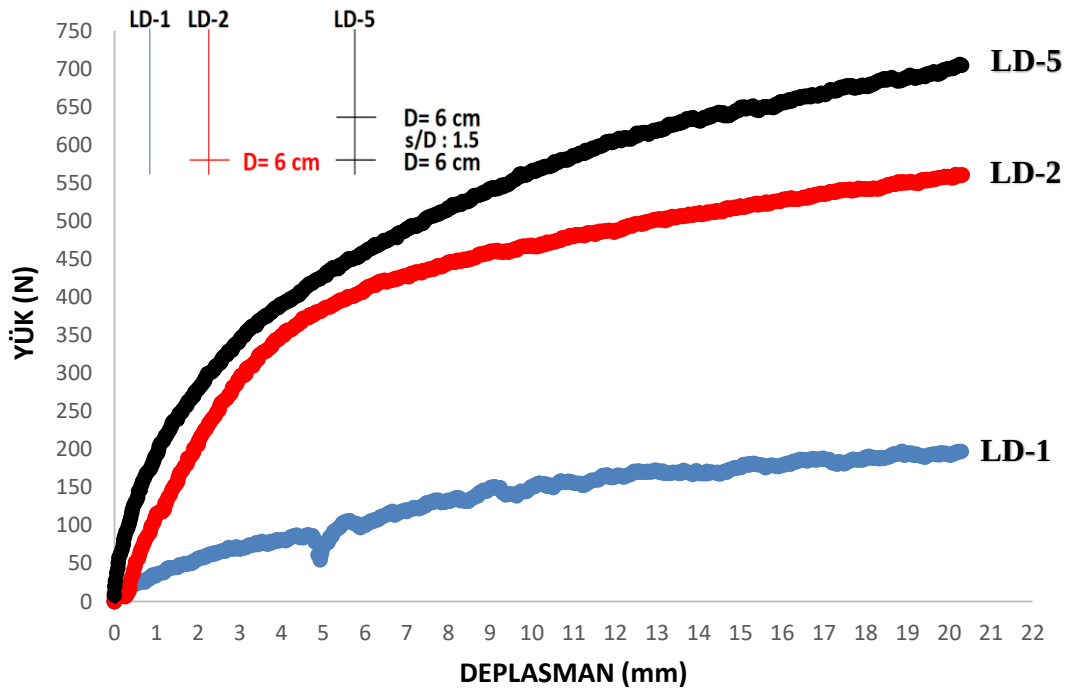
Bu artışların sebebinin kazıklardaki helislerin kum ile temas eden yüzey alanlarının artması ve basınç etkisi altında sürtünmeye bağlı olarak taşıma gücünün artması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. Çift Helisli Kazıklarda Helis Çapı Etkisi

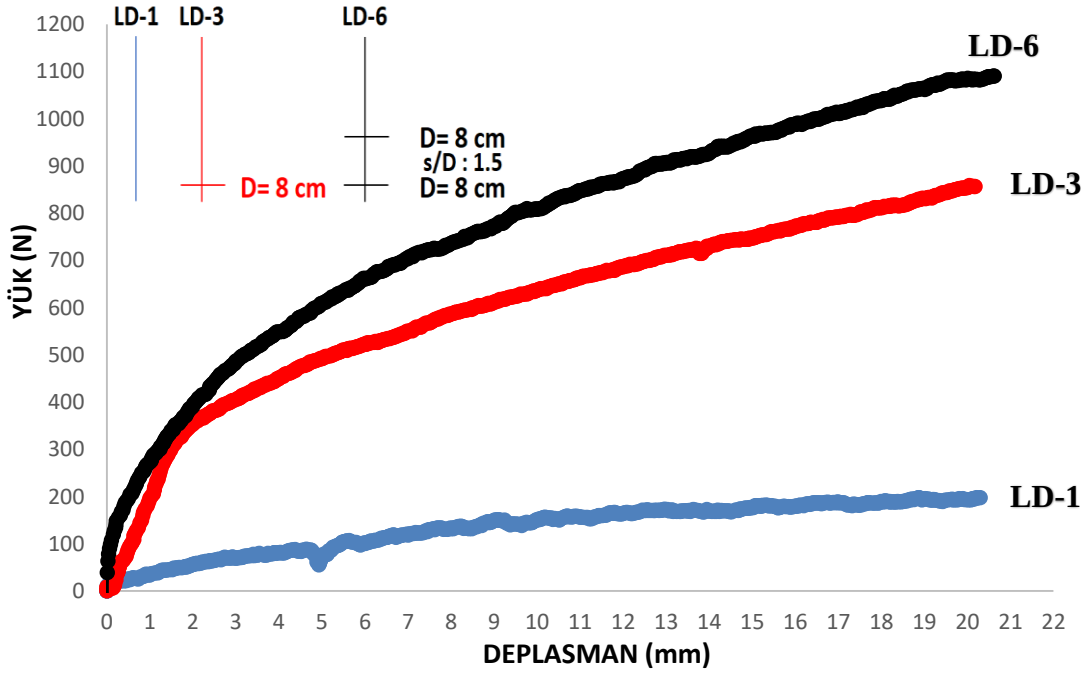
3.2. Helis sayısı etkisi

Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde ($D=6\text{ cm}$) helis sayısı etkisi yük-deplasman eğrisi üzerinden incelenmiştir. Kazıklardaki helis sayısı arttıkça taşıma gücünün arttığı ve helisli kazıkların helissiz kazıklara göre çok daha fazla yük taşıdığı sonucuna varılmıştır. Şekil 10 incelendiği zaman LD-5'in LD-2'ye göre yaklaşık % 35 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.



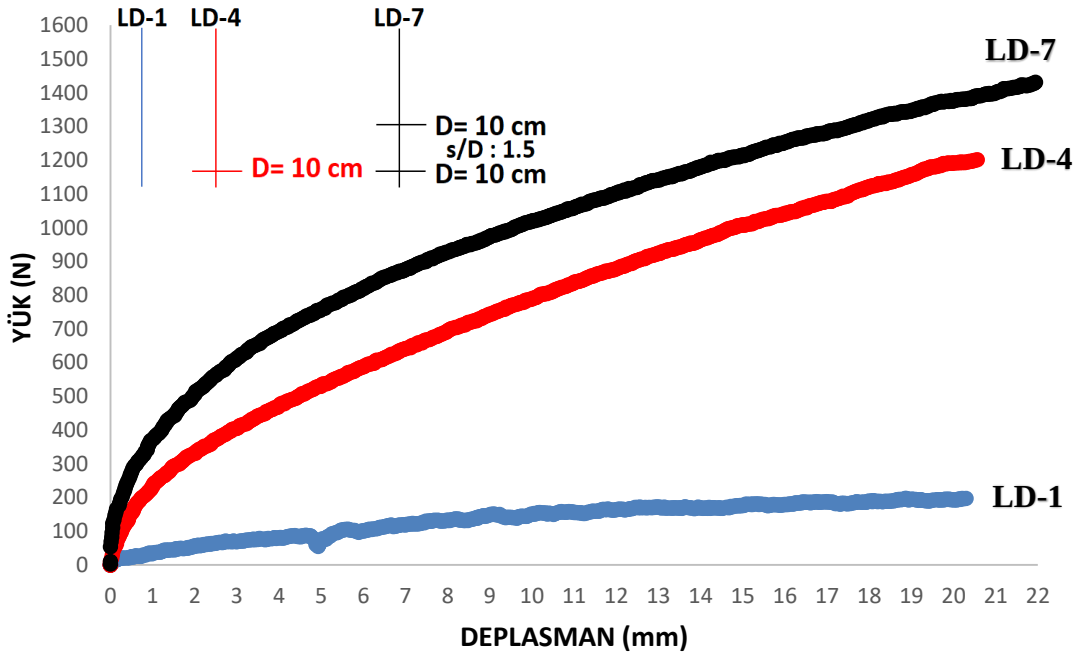
Şekil 10. 6 cm Çaplı Kazıklardaki Helis Sayısı Etkisi

Helisel plaka çapının 8 cm olarak alındığı deneylerde helis sayısı etkisi Şekil 11’de ele alınmıştır. İlgili grafikler incelendiğinde de LD-6’nın LD-3’e göre yaklaşık % 27 oranında daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 11. 8 cm Çaplı Kazıklardaki Helis Sayısı etkisi

Şekil 12’de verilen grafiklerde helisel plaka çapının 10 cm olarak kullanıldığı deneyler ele alınmıştır. Şekil 12 incelendiği zaman 10 cm çaplı çift helisli kazığın 10 cm çaplı tek helisli kazığa göre yaklaşık % 15 daha fazla taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 12. 10 cm Çaplı Kazıklardaki Helis Sayısı etkisi

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada gevşek kum zeminine yerleştirilen helisel kazıkların basınç etkisi altında davranışları laboratuvar model deneyleri ile incelenmiştir. Bu doğrultuda helisler arası mesafe ($s/D = 1.5$) sabit tutulmuş, farklı helis çapları ($D = 60$ mm, 80 mm, 100 mm) ve helis sayısı ($N = 0, 1, 2$) seçilmiş ve bu parametrelerin yük-deplasman eğrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilere dayanarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Helis sayısı etkisinde; helissiz kazığın tek helisli kazıklara göre çok az yük aldığı, 6 cm çaplı kazığın helissiz kazığa göre yaklaşık 2.9 kat, 8 cm çaplı kazığın helissiz kazığa göre yaklaşık 4.4 kat ve 10 cm çaplı kazığın helissiz kazığa göre yaklaşık 6.22 kat daha fazla yük aldığı belirlenmiştir.
- Çift helisli kazıklarda helis sayısı etkisinde ise, çift helisli 8 cm çaplı kazığın çift helisli 6 cm çaplı kazığa göre yaklaşık 1.43 kat, çift helisli 10 cm çaplı kazığın çift helisli 6 cm çaplı kazığa göre yaklaşık 1.88 kat ve çift helisli 10 cm çaplı kazığın çift helisli 8 cm çaplı kazığa göre yaklaşık 1.31 kat daha fazla yük aldıkları tespit edilmiştir.
- Helis çapı etkisinin incelendiği veriler ele alındığı zaman, helis sayısı arttıkça yük taşıma kapasitesinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Çift helisli 6 cm çaplı kazığın tek helisli 6 cm çaplı kazığa göre yaklaşık 1.35 kat, çift helisli 8 cm çaplı kazığın tek helisli 8 cm çaplı kazığa göre yaklaşık 1.26 kat ve çift helisli 10 cm çaplı kazığın tek helisli 10 cm çaplı kazığa göre yaklaşık 1.19 kat yük taşıma kapasitesinde artış gösterdiği elde edilmiştir.

DeneySEL veriler göçme mekanizması açısından değerlendirildiğinde taşıma gücündeki artışların sebebinin kazıklarda yer alan helisel plakalarda kum ile temas eden yüzey alanlarının artması ve basınç etkisi altında sürtünmeye bağlı olarak direnç kazanması olduğu düşünülmektedir. Laboratuvar model deneyleri sonucu elde edilen veriler ile literatür taraması sonucu elde edilen veriler karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir. Helisel kazıklar günümüzde birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır. Kolay kurulumu ve ucuz maliyete sahip olması tercih edilmesini sağlamaktadır. Deney sonuçlarından kazıklardaki helis sayısı ve helis çapını arttırarak taşıma kapasitesinin kolay, ucuz ve basit bir şekilde artabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynakça

- [1] Yılmaz, B. 2016. Helisel kazıklar. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 165s, İstanbul.
- [2] Sakr, M. 2009. Performance of helical piles in oil sand. Canadian Geotechnical Journal, 46(9), 1046-1061.
- [3] Perko, H. A., 2009. Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation. John Wiley & Sons, New Jersey, 512
- [4] Vijayalakshmi, R. 2019. Analysis of Helical Piles with Case Study in Medium Stiff Clay. Indian Journal of Science and Technology, 12(6), 1-10.
- [5] Türedi, Y., Örnek, M. 2020. Analysis of model helical piles subjected to axial compression. Gradevinar, Journal of the Croatian Association of Civil Engineers, 72(9), 759-769.
- [6] Li, W., Deng, L. 2019. Axial load tests and numerical modeling of single-helix piles in cohesive and cohesionless soils. Acta Geotechnica, 14(2), 461-475.
- [7] Türedi, Y., Emirler, B., Örnek, M., Yıldız, A. 2023. Helisel Kazıklarda Helis Çapının Basınç Yüküne Etkisinin Laboratuvar Deneyleri ile Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 1013-1022.
- [8] Sakr, M. 2012. Installation and performance characteristics of high-capacity helical piles in cohesive soils. DFI Journal – The Journal of the Deep Foundations Institute, 6(1), 41-57.
- [9] Hussein, M. M. 2013. Numerical and Experimental Modeling of Helical Piles. Zagazig University, Faculty of Engineering, Master thesis, 137
- [10] Nowkandeh, M. J., Choobasti, A. J. 2021. Numerical study of single helical piles and helical pile groups under compressive loading in cohesive and cohesionless soils. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 80(5), 4001-4023.
- [11] Malik, A. A., Kuwano, J. 2020. Single Helix Screw Pile Behavior Under Compressive Loading/Unloading Cycles in Dense Sand. Geotechnical and Geological Engineering, 38(5), 5565-5575.

- [12] Bashiri, M., Ghazavi, M., Bourne-Webb, P. J. 2024. Small-scale physical modelling of vertically loaded, cyclically thermally-activated helical piles. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 40, 100589.
- [13] Lutenege, A. J. 2011. Historical Development of Iron Screw-Pile Foundations: 1836-1900. *The International Journal for the History of Engineering & Technology*, 81(1), 108-128.
- [14] Thusa, C. H. C., Aoki, N., Rault, G., Thorel, L., Garnier, J. 2012. Evaluation of the efficiencies of helical anchor plates in sand by centrifuge model tests. *Canadian Geotechnical Journal*, 49(9), 1102-1114.
- [15] Emirler, B. 2024. Physical and Finite Element Models for Determining the Capacity and Failure Mechanism of Helical Piles Placed in weak Soil. *Applied Sciences*, 14(6), 2389.
- [16] Kunduz, S. 2020. Gevşek zeminlerde yanal yüklü helisel kazık davranışının laboratuvar deneyleriyle araştırılması. İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Hatay.
- [17] Mursal, U. 2022. Kum Zeminde Gömülü Helisel Kazıklarda Örselenme Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 161s, Adana.
- [18] Kurniawan, Y., Iqbal, M. M., & Dewi, R. 2016. Effect of Helical Geometry on the Axial Compressive Capacity. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 5(6), 717-723.
- [19] Türedi, Y. 2021. Basınç yüküne maruz helisel kazık davranışının laboratuvar ve arazi deneyleri ile araştırılması. İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, 194s, Hatay.
- [20] Bak, J., Choi, B. H., Lee, J., Bae, J., Lee, K., Kim, D. 2019. Behaviour of single and group helical piles in sands from model experiments. 2nd International Conference on Building Materials and materials Engineering (ICBMM 2018), 278.
- [21] George, B. E., Banerjee, S., Gandhi, S. R. 2019. Helical piles installed in cohesionless soil by displacement method. *International Journal of Geomechanics*, 19(7), 04019074.