

1x2 Dizilimli Grup Helisel Kazıklarda Mesafe Etkisinin Laboratuvar Model Deneyleriyle İncelenmesi

Burak TİNTAŞ^{1,a}, Murat ÖRNEK^{1,b}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

^aORCID: 0009-0009-6427-9665; ^bORCID: 0000-0002-0809-2531

Makale Bilgileri

Geliş : 06.05.2025

Kabul : 18.07.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1692961

Sorumlu Yazar

Burak TİNTAŞ

buraktintas.lee22@iste.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Grup helisel kazık

Taşıma gücü

Kazıklar arası mesafe

Laboratuvar deneyleri

Atf şekli: TİNTAŞ, B., ÖRNEK, M., (2025). 1x2 Dizilimli Grup Helisel Kazıklarda Mesafe Etkisinin Laboratuvar Model Deneyleriyle İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(3), 521-530.

ÖZ

Helisel kazıklar derin temel uygulamalarında popülerliği gittikçe artan sistemlerdir. Bu çalışmada 1x2 diziliminde düzenlenmiş olan helisel kazık grubunda, kazıklar arası mesafenin ve kazıktaki helis varlığının, gevşek kum zeminde, basınç etkisi altında taşıma gücüne etkisi laboratuvar model deneyleri kullanılarak incelenmiş ve yük-deplasman eğrileri yorumlanmıştır. Deneylerde helis çapları ve sayısı sabit tutulmuştur. Kazıklar arası mesafe 200 mm'den 700 mm'ye kadar arttırılmış ve her aralık için yük deplasman grafikleri elde edilmiştir. Helisli ve helissiz kazıklar, kazıklar arası mesafe sabit tutularak kendi aralarında yorumlanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen yük-deplasman eğrilerinin nihai göçme yükünü bulmak için %5D ve %10D limit deplasman kriterleri uygulanmıştır. Sonuçlar, kazıklar arası mesafenin artmasının taşıma gücünde azalmaya sebep olduğunu, helis varlığının ise taşıma gücünü arttırdığını göstermiştir.

Analysis of the Spacing Effect in 1x2 Configured Group Helical Piles using Laboratory Model Tests

Article Info

Received : 06.05.2025

Accepted : 18.07.2025

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1692961

Corresponding Author

Burak TİNTAŞ

buraktintas.lee22@iste.edu.tr

Keywords

Group helical pile

Bearing capacity

Pile spacing

Laboratory tests

How to cite: TİNTAŞ, B., ÖRNEK, M., (2025). Analysis of the Spacing Effect in 1x2 Configured Group Helical Piles using Laboratory Model Tests. Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering, 40(3), 521-530.

ABSTRACT

Helical piles are increasingly popular systems in deep foundation applications. In this study, the effect of the distance between piles and the presence of helices on the load-bearing capacity under pressure in loose sand, within a group of helical piles arranged in a 1x2 configuration, was investigated using laboratory model tests, and the load-displacement curves were interpreted. In the experiments, the helix diameters and numbers were kept constant. The distance between the piles was increased from 200 mm to 700 mm, and load-displacement graphs were obtained for each interval. Piles with helix and without helix were interpreted among themselves while keeping the distance between the piles constant. To find the ultimate failure load from the load-displacement curves obtained from the test results, the %5D and %10D limit displacement criteria were applied. The results showed that the increase in the distance between the piles caused a decrease in load-bearing capacity, while the presence of the helix increased the load-bearing capacity.

1. GİRİŞ

Kazık sistemleri genel olarak zemin taşıma kapasitelerinin artırılması ve oturma miktarlarının azaltılması amacıyla kullanılan ve de özellikle taşıma kapasitesi zayıf zeminlerde fazlaca tercih edilen sistemlerdir. Bir veya daha fazla helisel taşıma plakasına sahip çelik kazık türleri de helisel kazık olarak tarif edilmektedir. Helisel kazıklar, eksenel basınç altında yüksek performans sergileyen alternatif bir temel sistemidir [1]. Helisel kazıklar temellerde, yüksek basınç ve çekme kapasiteleri, hızlı kurulum hızı, zorlu zeminlerde kullanım kolaylığı ve maliyetlerin etkin kullanılması gibi avantajlarla öne çıkmıştır [2]. Helisel kazıklar genel olarak uç ve uzatma bölgelerinden oluşur. Uzatma bölgesi şaft kısmını da içerir. Uç bölgesinde ise helisel taşıma plakaları yer alır [3]. Birçok araştırmacı helisel kazıklar üzerine çalışmalarda bulunmuştur [4-15].

Alwalan ve Alnuaim [16] tarafından yapılan çalışmada, kum zemine yerleştirilmiş farklı geometri ve konfigürasyonlardaki helisel kazık gruplarının davranışını değerlendirmek için sayısal modelleme yoluyla bir dizi analiz yapılmıştır. Bu analizlere göre kazıklar arası mesafe S ve helis çapı D 'nin oranları; $S/D \leq 4$ olduğunda helisel kazık grubu, helis bölgesinde oluşan derin bir toprak bloğuyla birlikte bütünsel davranış sergilerken; $S/D > 4$ durumunda kazıklar bireysel davranmaya başlamış ve geçiş noktası $S/D = 4$ olarak belirlenmiştir. $S/D > 5$ olduğunda ise grup içindeki kazık gömülme oranının helis çapına oranı L/D_h etkisi ihmal edilebilir düzeye ulaşmıştır. Eksenel basınç yükleri altındaki helisel kazık gruplarının performansını değerlendirmek için Elsherbiny ve El Naggar [17] tarafından helisel kazıklar üzerinde kapsamlı bir sonlu elemanlar analizi (FEA) çalışması yapılmıştır. Parametrik analizler, performansın esas olarak kazıklar arası mesafeye bağlı olduğunu, helisler arası mesafenin ise sınırlı etkide kaldığını göstermiştir. Lanyi-Bennett ve Deng [18] tarafından yapılan çalışmada buzul kil zemine gömülü eksenel basınç yükü altındaki tek ve 2x2 grup helisel kazıklar üzerinde saha deneyleri gerçekleştirilmiştir. Grup kazık davranışında ayrı kazık göçmesinin baskın olduğu ve grup veriminin düşük aralıklarda azaldığı belirlenmiştir. Mittal ve Mukherjee [19] tarafından yapılan çalışma eksenel yüklerin etkisi altındaki farklı sayıda helisel plakalı ankrajların (1, 2, 3 ve 4) performansının deneysel araştırmasını içermektedir. Ankraj sayısı arttıkça taşıma kapasitesinde artış gözlenmiş, ancak artış oranı daha yüksek değerlerde azalmaya başlamıştır.

Nowkandeh ve Choobbasti [20] tarafından sonlu elemanlar (FE) modellemesi kullanılarak hem kumlu hem de killi zeminde tek ve grup helisel kazıkların eksenel basınç davranışının kapsamlı bir araştırması yapılmıştır. Çalışma, zemin tipine bağlı olarak helisel kazıklar arasında önerilen minimum aralığın farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Shaheen ve Demars [21] tarafından yapılan çalışmada granüler zemine gömülü helisel ankraj grubunun davranışı incelenmiştir. Sıkı kumda grup davranışını etkileyen kritik aralık belirlenebilmişken, gevşek kumda bu aralık bölgesel kayma nedeniyle net tanımlanamamıştır. Vignesh ve Muthukumar [22] tarafından yapılan çalışmada, yumuşak kil zemine yerleştirilen grup helisel kazıkların çekme ve yanal davranışları sonlu elemanlar modeli kullanılarak kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışma, grup verimliliğinin sadece geometriye değil, aynı zamanda yükleme kriterlerine ve kazık düzenine de bağlı olduğunu göstermiştir.

Bak ve arkadaşları [23] tarafından yapılan çalışmada eksenel basınç yükü altında model grup ve tekil helisel kazıkların kum zemin davranışları incelenmiştir. Grup helisel kazık deneyleri, değişken helis aralığı (d , $3d$ ve şaft çapı) ve kazıklar arası mesafe ($3D$, $5D$, $6D$, $9D$, $12D$ ve $15D$) şeklinde gerçekleştirilmiştir. Grup helisel kazık deneylerinde $1d$ ve $3d$ helis aralığındaki kazıkların taşıma gücü yüklerinin $5D$ ve $6D$ kazık aralığında maksimum noktaya ulaştığı gözlenmiştir. Elsherbiny [24] tarafından yapılan çalışmada helisel kazık gruplarının performans özellikleri eksenel basınç ve yanal yüklere maruz iken birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Kum zemin ve kil zeminden oluşan iki farklı zeminde gerçekleştirilen beş adet eksenel basınç ve üç adet yanal yük deneyleri tam ölçekli şekilde yapılmış ve sonuçlar modellenmiştir. Çalışmada kazık yerleşimleri, helis çapının 1, 2 ve 3 katı kadar helisler arası mesafeye sahip çift helisli kazıklar ile tekil ve helis çapının 2, 3, 4, 5 ve 10 katında olmak üzere beş farklı kazık aralığına sahip grup kazıklar olarak seçildiği görülmektedir. Helisel kazıklar için tipik grup aralıklarında grup etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Mendoza ve arkadaşları [25] tarafından yapılan çalışmada Brezilya Federal Bölgesi'nin tipik zemininde kurulan helisel vidalı kazıklarla inşa edilen standart grupların ve kazıklı radyelerin davranışı incelenmiştir. Deney sonuçları sonlu elemanlar yöntemine dayanan Abaqus yazılımı ile modellenmiştir. Grup içi kazıklar arasında gerilme-soğanı çakışması sınırlı düzeyde olup, sistem genelinde bireysel kazık davranışı ön plana çıkmıştır. Mukherjee ve Mittal [26] tarafından kum zeminde aynı seviyede yerleştirilmiş grup helisel ankrajların davranışlarını incelemek için bir deney serisi araştırmalar sunulmuştur. Deneyler farklı gömülme derinliklerinde gerçekleştirilmiş ve sıg ve derin temel

davranış biçimleri gözlemlenmiştir. Nihai çekme kapasitesinin, ankrajın montaj derinliği ve ankraj sayısı ile önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca Plaxis 3D sonlu elemanlar yöntemi ile model deney sonuçları doğrulanmış ve mükemmel bir uyum sağladığı belirtilmiştir.

Sakr ve arkadaşları [27] tarafından yapılan çalışmada çekme yüklemesi altında toplam 60 adet model deney, grup ve tekil helisel kazıklar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada grup etkinliği, farklı sayıda kazık ve kazık aralığında sabit helis aralığı, gömülme derinliği, helis sayısı ve helis çapı gibi farklı parametrelerle değerlendirilmiştir. Ayrıca kazık gruplarının verimliliği etkisinin, zemin yoğunluğuna önemli ölçüde bağlı olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak grupta kazık aralığı, kazık sayısı arttıkça grup etkinliğinin de arttığı ve kum bağlı yoğunluğu arttıkça grup etkinliğinin düştüğü belirlenmiştir.

Literatür verileri grup helisel kazıklarda kazık aralığının incelendiği çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğunu göstermiştir. Bu çalışma kapsamında büyük bir veri setinde kazık aralığının incelenmiş olması ve kazıklarda taşıma gücünün farklı yöntemlerle bulunmuş olmasının, çalışmanın özgün değerini ortaya çıkardığı düşünülmektedir.

Literatürde, grup helisel kazıkların taşıma kapasitesine etki eden en önemli parametrelerinin kazıkta helis varlığı ve kazıklar arası mesafe olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, sadece 1x2 dizilimindeki grup helisel kazıklar için helisli ve helissiz sistemlerin ve kazıklar arası mesafelerin, taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi laboratuvar model deneyleri ile incelenmiştir. Bu doğrultuda toplam 9 adet model deney yapılmıştır. Deneylerde, kazıklar arası mesafe sabit 20cm 30cm ve 40cm iken helis varlığının etkisi ve kazıklar arası mesafeler 20 cm'den 70 cm'ye kadar arttırılmış ve taşıma kapasitesindeki değişim yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada deneyler İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney için 1500mm x 1200mm x 1000 mm boyutlarında Şekil 1'de görüldüğü üzere metal kum deney havuzu kullanılmıştır.



Şekil 1. Kum havuzu ve helezonik sistem

Çalışma esnasında kullanılan kum taş ocağından temin edilmiş ve laboratuvar ortamında 0.18 mm ile 2.00 mm arasında ölçülen özel eleklerden geçirilerek işlenmiştir. Bu kum zeminin özellikleri ve parametreleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Burada D_{30} danelerin %30'unun, D_{60} ise danelerin %60'ının geçtiği elek çapını ifade etmektedir.

Çizelge 1. Kum zemin parametreleri

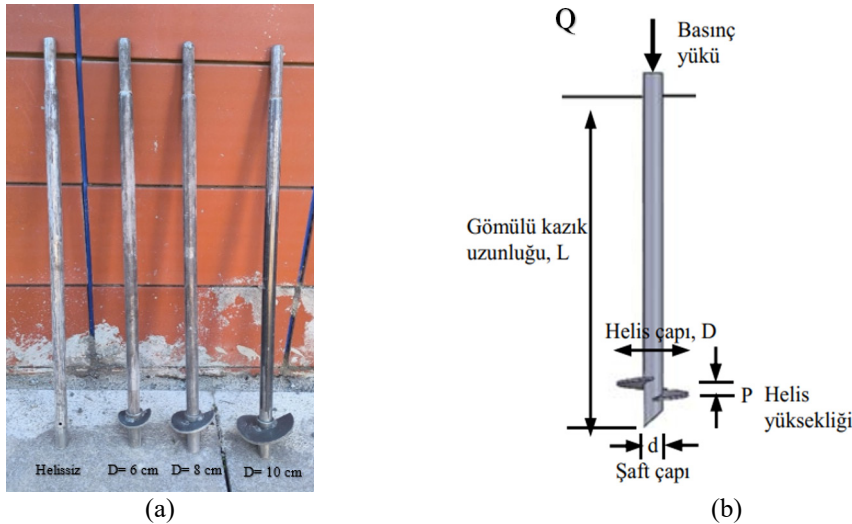
Parametreler	Değerler
Efektif dane çapı, D_{10} (mm)	0.260
D_{30} (mm)	0.441
D_{60} (mm)	0.775
Üniformluk katsayısı, C_u	2.972
Süreklilik katsayısı, C_r	0.962
Zemin sınıfı, (USCS)	SP

Rölatif sıklık, zeminin mevcut sıklığının en gevşek ve en sıkı durumları arasındaki konumunu gösteren, genellikle yüzde (%) cinsinden ifade edilen bir parametredir. Temel olarak, zeminin doğal hâlindeki sıklığı veya gevşekliliği hakkında bilgi verir. Deneylerde kullanılan kumun rölatif sıklığı %30–35 aralığında olup bu değer, ASTM D4253 ve D4254 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Bu değer aralığı, zeminin gevşek sınıfta olduğunu göstermektedir. Kohezyonsuz zeminlerde rölatif sıklık değerlerine göre yapılan sınıflama Çizelge 2’de verilmiştir:

Çizelge 2. Kohezyonsuz zeminlerde sıklık [28]

Rölatif sıklık, D_r (%)	Sıklık
0-15	Çok gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok sıkı

Kum havuzu sistemini doldurma ve boşaltma işlemleri helezonik makine ile yapılmıştır. Bu sistem, 50 rpm hızında dönebilme kapasitesine sahip bir elektrik motoru, 250 mm çapında ve 45° eğime sahip bir helisel boru ve 25° eğime sahip bir besleme haznesinden oluşmaktadır [29-30]. Zemin aktarma düzeneğinden zeminin deney kasasına yağmurlama şeklinde aktarılması için 1190 mm x 1190 mm ebatlarında göz açıklığı 5 mm x 5 mm olan bir ahşap çerçeve hazırlanmıştır. Bu sistem, deney kasasının üst kısmına yerleştirilen bir caraskal ile istenilen seviyede durabilmektedir. Kullanılan kazıklar çelikten imal edilmiş olup, şaft çapları sabit 22 mm olacak şekilde üretilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan kazıklar helissiz düz kazık ve 100 mm çapında helisli kazık şeklindedir. Laboratuvardaki kazık tipleri ve kazık geometrisi Şekil 2a ve 2b’de gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Model helisel kazıklar, (b) Helisel kazık geometrisi

Bu kazıklar özel üretilen bir tork motoru vasıtasıyla Şekil 3(a)’da görüldüğü üzere önceden kum ile doldurulmuş havuza yerleştirilmiştir. Yerleştirilen grup kazıkların üzerine 780 mm uzunluğunda delikli giriş sistemi eklenmiş ve onun üzerine hidrolik basınç sistemi monte edilmiştir. Yükleme işlemlerinde 5 ton kapasiteli S tipi bir yük hücresi kullanılmış ve taşıma gücü bu sayede ölçülmüştür. Sistemin kurulu hali Şekil 3(b)’de yer almaktadır.

Hidrolik basınç sistemi ile kazıkların oturma miktarı 20mm olana dek basınç kuvveti uygulanmış ve deplasman ölçerlerden oturma miktarı tespit edilmiştir. Yük hücresi ve deplasman ölçerden veri kaydetme ünitesi vasıtasıyla bilgisayara veriler çekilmiş ve alınan sonuçlar ile yük deplasman grafikleri oluşturulmuştur.



(a) Tork sistemi



(b) Kiriş ve hidrolik sistem

Şekil 3. Laboratuvar model deney sistemleri

Kazık yükleme deneylerinin sonuçlarından elde edilen yük-deplasman eğrileri; 20 mm'lik oturma altında, FHWA (%5D) ve ISSMFE (%10D) yöntemleri gibi farklı yöntemler kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu yöntemler sayesinde kazıkların eksenel basınç kapasitelerini belirlenmekte ve yorumlanmaktadır.

FHWA (%5D) yöntemiyle belirlenen nihai eksenel basınç kapasitesi, kazık uç çapının %5'i kadar deplasmana karşılık gelen yük değeridir. Helisel kazıklar için uç çap helis çapına, çakma kazıklar için şaft çapına eşittir [31]. ISSMFE (%10D) yaklaşımı ise, kazık çapının %10'undaki deplasman değerini sağlayan yük miktarını nihai kazık kapasitesi olarak tanımlar. Bu yöntemin büyük çaplı kazıkların ve diğer kazık türlerinin kapasitesini yüksek tahmin ettiği söylenmektedir [1].

Bu çalışmada, deney sonuçlarından elde edilen yük-deplasman eğrileri hem kendi aralarında hem de nihai göçme yükünü belirlemek için 20mm'lik oturma altında, FHWA (%5D) ve ISSMFE (%10D) yöntemleri kullanılarak değerler elde edilmiştir. Bu değerler ışığında sonuçlar yorumlanmıştır.

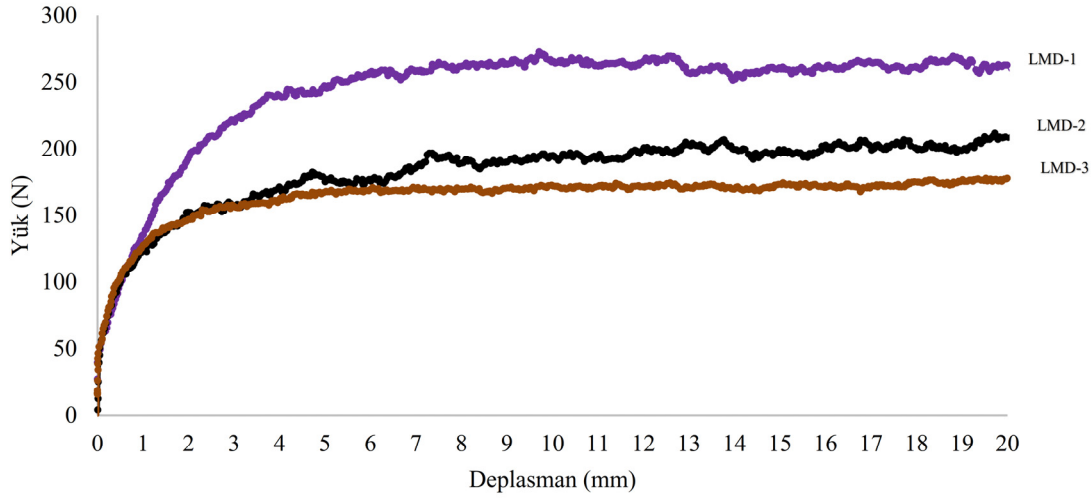
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Grup helisel kazık deneyleri 1x2 yerleşim düzeninde gerçekleştirilmiş ve Helisel Plaka Sayısı (N), Helisel Plaka Çapı (D) ve Kazıklar Arası Mesafe (S) değişken parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler ışığında 9 farklı laboratuvar model deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler ve deney isimleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

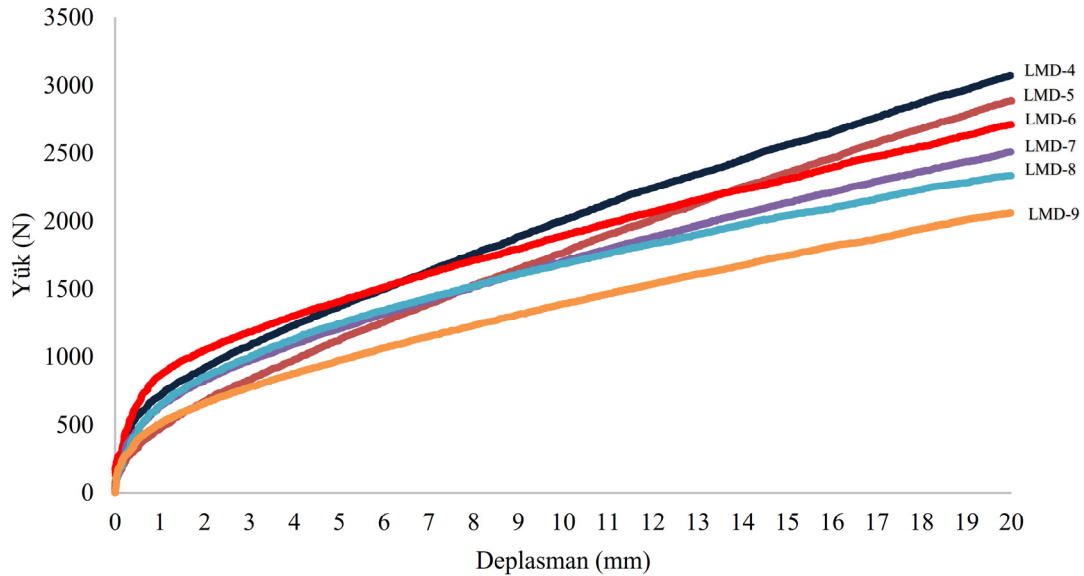
Çizelge 3. Laboratuvar model deneyleri

Deney adı	Helisel plaka sayısı, N (adet)	Helisel plaka çapı, D (mm)	Kazıklar arası mesafe, S (mm)
LMD-1	Helissiz	-	200
LMD-2	Helissiz	-	300
LMD-3	Helissiz	-	400
LMD-4	1	100	200 = 2D
LMD-5	1	100	300 = 3D
LMD-6	1	100	400 = 4D
LMD-7	1	100	500 = 5D
LMD-8	1	100	600 = 6D
LMD-9	1	100	700 = 7D

Deney sonuçları ile çeşitli yük deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Model kazıklar ile yapılan deneylerde kazıklar arası mesafe, helis etkisi sabit tutularak Şekil 6'da sunulan helissiz durum için ve Şekil 4'te sunulan helisel kazıklı durum için grafiklerde incelenmiştir.



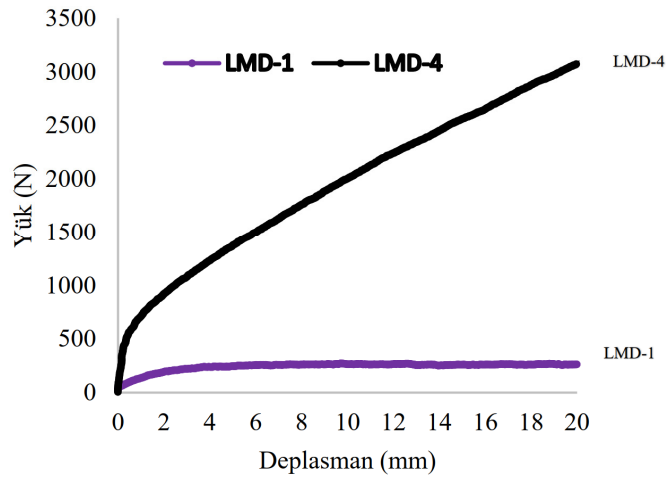
Şekil 4. Kazıklar arası mesafenin etkisi (Helissiz kazıklı durum)



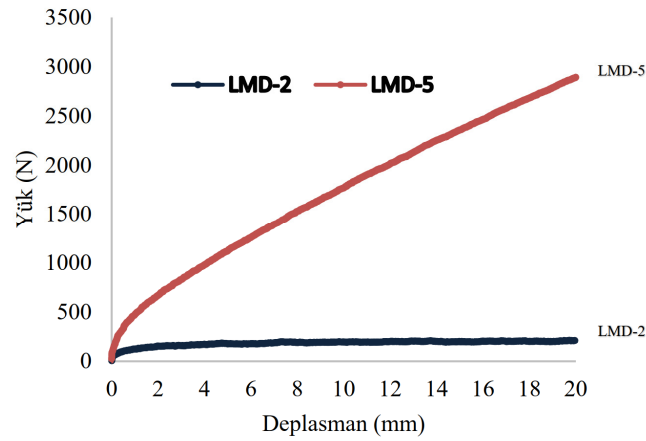
Şekil 5. Kazıklar arası mesafenin etkisi (Helisel kazıklı durum)

Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde laboratuvar model deney eğrileri için kazıklar arası mesafe azaldıkça taşıma gücünde artış meydana geldiği görülmüştür. Kazıklar arası mesafesi 200 mm olan helissiz kazık grubu; 300 mm olana göre 1.28 kat ve 400 mm olana göre 1.46 kat daha fazla taşıma kapasitesi sağlamıştır. Kazıklar arası mesafesi 200 mm (2D) olan helisel kazık grubu; 300 mm (3D) olana göre 1.06 kat, 400 mm (4D) olana göre 1.14 kat, 500 mm (5D) olana göre 1.22 kat, 600 mm (6D) olana göre 1.32 kat ve 700 mm (7D) olana göre 1.49 kat daha fazla taşıma kapasitesine sahiptir. Bu durumun sebebinin kazıklar arası mesafe arttıkça grup etkisinin azalması ve kazıkların daha bağımsız çalışmaya başlaması olduğu düşünülmektedir. Zemin içindeki gerilme dağılımı geniş bir alana yayıldığı için, aralarındaki zemin göçme mekanizmasından dolayı daha az sıkışmaktadır.

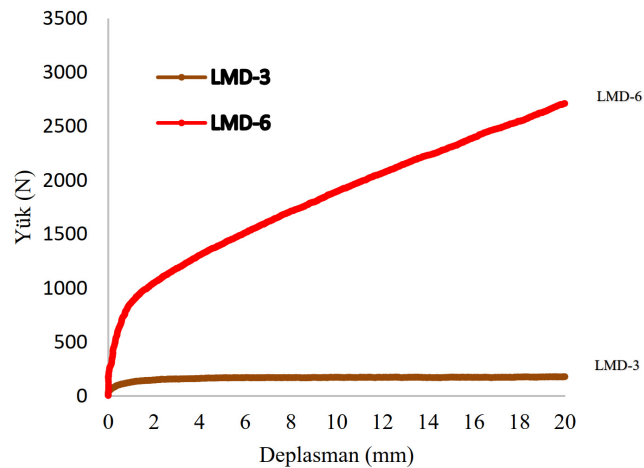
Farklı helisel kazık arası mesafeleri (S) için helissiz ve helisel durumları temsil eden yük-deplasman ilişkileri Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 6(a) kazıklar arası mesafenin 200 mm olduğu durumu, Şekil 6(b) kazıklar arası mesafenin 300 mm olduğu durumu ve Şekil 6(c) kazıklar arası mesafenin 400 mm olduğu durumu ifade etmektedir.



(a) S = 200mm



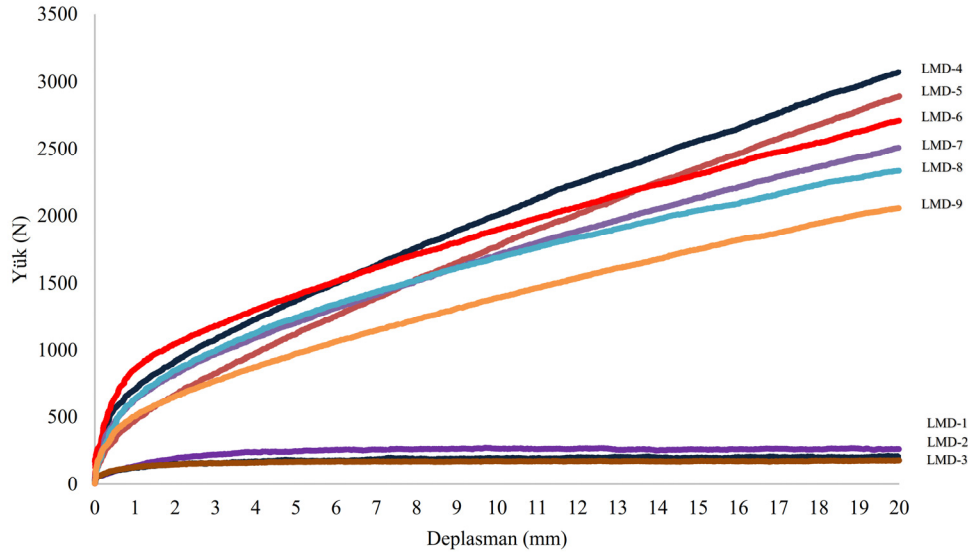
(b) S = 300mm



(c) S = 400mm

Şekil 6. Helisli ve helissiz durumlar için kazıklar arası mesafe etkisi

Şekil 6 incelendiğinde kazıklar arası mesafenin sabit olduğu durumlarda kazıkta helis bulunmasının taşıma gücünü önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Buna göre 200 mm aralıkta (Şekil 6(a)) helisli kazık, helissiz kazığa göre yaklaşık 12 kat, 300 mm aralıkta (Şekil 6(b)) yaklaşık 14.5 kat, 400 mm aralıkta (Şekil 6(c)) 15.4 kat daha fazla taşıma kapasitesi sağlamıştır. Bu durumun sebebi kazıkta helis varlığının, zeminde ilave yatay kesme yüzeyleri oluşturması ve göçme yüzeyinin daha geniş bir alana yayılması ile açıklanabilir.



Şekil 7. 1x2 dizilimli grup helisel kazıklarda kazıklar arası mesafe etkisi

Şekil 7’de yapılan tüm deneylerden elde edilen yük deplasman eğrileri toplu olarak tek bir grafikte verilmiştir. Deney sonuçları, helis varlığının taşıma gücünü artırma etkisini net bir şekilde ortaya koymuştur.

Çizelge 4. DeneySEL nihai yük kapasiteleri

Deney adı	Helisel plaka çapı, D (mm)	Kazıklar arası mesafe, S (mm)	Nihai yük (% 5D) (N)	Nihai yük (%10D) (N)
LMD-1	-	200	141.921	200.086
LMD-2	-	300	126.216	152.391
LMD-3	-	400	131.103	150.646
LMD-4	100	200	738.685	952.438
LMD-5	100	300	497.436	704.341
LMD-6	100	400	886.771	1075.281
LMD-7	100	500	654.08	856.016
LMD-8	100	600	662.781	884.822
LMD-9	100	700	525.572	678.950

Literatürde grup helisel kazıkların basınç etkisi altındaki durumları incelendiğinde; kazıklar arası mesafe arttıkça yük taşıma kapasitesinin azaldığı ve kazığın helisli olmasının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı, %5D ve %10D yöntemleri ışığında optimum değerin 400 mm’de sağlandığı belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler literatürdeki önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir [32-33].

4. SONUÇLAR

Bu çalışma verileri ile literatürde grup kazıkların deneysel çalışma eksikliğine katkı sağlaması amaçlanmıştır. Çalışmada gevşek kum zeminde 1x2 dizilimli grup helisel kazıklarda helis varlığı ve kazıklar arası mesafenin etkisi laboratuvar model deneyleri ile incelenmiştir. Bu amaçla helis sayısı sabit tutulup kazıklar arası mesafenin etkisine ve kazıklar arası mesafe sabit tutulup helis etkisine ait çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Bu parametreler ışığında elde edilen verilerle yük-deplasman eğrileri elde edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Kazıklar arası mesafe etkisinde, helis sayısının 1 adet 10 cm çapında helis ile sabit tutulduğu durumda, 20 mm’lik kazık gömülme deplasman değeri sabit tutularak taşıma gücü değerlendirilmesi yapılmış, kazıklar arası mesafe arttıkça taşıma gücünün azalma gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerlendirmelere göre kazıklar arası mesafesi 20 cm olan kazık grubu; 30 cm olana göre % 5.6, 40 cm olana göre %

13.7, 50 cm olana göre % 22.4, 60 cm olana göre % 31.6 ve 70 cm olana göre % 49.4 daha fazla taşıma kapasitesine sahiptir.

- Kazıklar arası mesafe etkisinde, helis sayısının helissiz düz kazık ile sabit tutulduğu durumda, 20 mm'lik kazık gömülme deplasman değeri sabit tutularak taşıma gücü değerlendirmesi yapılmış, kazıklar arası mesafenin etkisinin helissiz kazıklarda da daha az farkla aynı sonuçları verdiği gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre kazıklar arası mesafesi 20 cm olan kazık grubu; 30 cm olana göre % 28.1 ve 40 cm olana göre de % 46.3 daha fazla taşıma kapasitesi sağlamıştır.
- Helis varlığı etkisi incelendiğinde, kazıklar arası mesafe sabit 20 cm, 30 cm ve 40 cm olarak belirlenmiş, 10 cm çapında sabit helisli ve helissiz düz kazığın 20 mm göçmede ne kadar taşıma gücüne sahip olduğu değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre 20cm aralıkta helisli kazık helissize göre yaklaşık %1200, 30 cm aralıkta yaklaşık % 1450 ve 40 cm aralıkta % 1540 daha fazla taşıma kapasitesi tespit edilmiştir.
- Kazıklar arası mesafe azaldığında ve helis sabit 10 cm çaplı tutulduğunda % 50'lere varan taşıma gücü artışı gözlenmiştir. Helis plakası olmayan durumda kazıklar arası mesafe azaldığında ise % 47'lere varan taşıma gücü artışı elde edilmiştir. Kazıkta helis bulunması da kazığın taşıma gücünü yaklaşık %1400 kadar artırmaktadır.
- %5D yöntemine göre yorumladığımızda, Helissiz kazıklarda taşıma gücü oldukça düşüktür ancak helisli kazıklarda, %5D kriterine göre nihai yük optimum değer için %600 - %700 kadar artmıştır. Optimum değere ulaşmasının ardından sabit kalma ve azalma eğilimine girmiştir. Bu durum, helisel plaka varlığının taşıma gücünü optimum değere kadar önemli ölçüde artırdığını, optimum değerden sonra bir miktar sabit kalma ve azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

%10D yönteminde helisel plaka çapı 100 mm olan kazıklarda, taşıma gücü helissizlere göre optimum değer için %400 - %500 kadar artmıştır. Optimum noktadan sonra sabit kalma ve azalma eğilimine girmiştir. Bu veri, helisel plakaların taşıma gücünü optimum değere kadar önemli ölçüde artırdığını, optimum değerden sonra bir miktar sabit kalma ve azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Türedi, Y. (2021). Basınç yüküne maruz helisel kazık davranışının laboratuvar ve arazi deneyleri ile araştırılması. *Doktora Tezi*, İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hatay, 194.
2. Sakr, M. (2009). Performance of helical piles in oil sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(9), 1046-1061.
3. Yılmaz, B. (2016). Helisel kazıklar. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 165.
4. Livneh, B. & El Naggar, M.H. (2008). Axial testing and numerical modeling of square shaft helical piles under compressive and tensile loading. *Canadian Geotechnical Journal*, 45(8), 1142-1155.
5. Sakr, M. (2011). Installation and performance characteristics of high-capacity helical piles in cohesionless soil. *DFI Journal - The Journal of the Deep Foundations Institute*, 5(1), 39-57.
6. Tsuha, 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.
7. Lutenege, A.J., Robson, D. & Mohan, P. (2013). Preservation of historic structures and monuments using minimally invasive screw piles and helical anchors – two cases. geotechnical engineering for the preservation of monuments and historic sites (Bilotta, Flora, Lirer & Viggiani, Eds.). *Taylor & Francis Group*, London, 515-522.
8. Harnish, J.L. (2015). Helical pile installation torque and capacity correlations. *MSc Thesis*, The University of Western Ontario London. 123.
9. Khan, M.U.S. (2016). Estimation of compressive load bearing capacity of helical piles using torque method and induced settlements. *MSc Thesis*, The University of British Columbia, 103.
10. Pérez, Z.A., Schiavon, J.A., Tsuha, C.H.C., Dias, D. & Thorel, L. (2018). Numerical and experimental study on influence of installation effects on behavior of helical anchors in very dense sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 55(8), 1067-1080.

11. 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.
12. Shahbazi, M., Cerato, A.B., El Naggar, M.H. & Elgamal, A. (2020). Evaluation of seismic soil–structure interaction of full-scale grouped helical piles in dense sand. *International Journal of Geomechanics*, 20(12), 04020228.
13. Ali, K., Ullah, S., Nawaz, H., Ahmad, M., Safdar, M. & Ullah, W. (2022). Experimental modelling of helical piles under axial loading. *Pakistan Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 128-132.
14. Kaya, B. (2022). Kil zeminlerde helisel kazıkların davranışı. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 101.
15. Çolak, A. (2023). Helisel kazıkların taşıma gücü kapasitelerinin analitik yöntemler ve sayısal analiz yöntemleri kullanılarak araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 61.
16. Alwalan, M. & Alnuaim A. (2022). Axial loading effect on the behavior of large helical pile groups in sandy soil. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47, 5017-5031.
17. Elsherbiny, Z.H. & El Naggar, M.H. (2013). Axial compressive capacity of helical piles from field tests and numerical study. *Canadian Geotechnical Journal*, 50(12), 1191-1203.
18. Lanyi-Bennett S.A. & Deng, L. (2019). Axial load testing of helical pile groups in a glaciolacustrine clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(2), 187-197.
19. Mittal, S. & Mukherjee, S. (2013). Vertical uplift capacity of a group of helical screw anchors in sand. *Indian Geotechnical Journal*, 43(3), 238-250.
20. Nowkandeh, M.J. & Choobbasti, 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*, 4001-4023.
21. Shaheen, W.A. & Demars, K.R. (1995). Interaction of multiple helical earth anchors embedded in granular soil. *Marine Georesources and Geotechnology*, 13, 357-374
22. Vignesh, V. & Muthukumar M. (2023). Experimental and numerical study of group effect on the behavior of helical piles in soft clays under uplift and lateral loading. *Ocean Engineering*, 268, 113500.
23. 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.
24. Elsherbiny, Z. (2011). Axial and lateral performance of helical pile groups. *MSc Thesis*, The University of Western Ontario, London, Canada. 172.
25. Mendoza, C.C., Cunha, R. & Lizcano, A. (2015). Mechanical and numerical behavior of groups of screw (type) piles founded in a tropical soil of the Midwestern Brazil. *Computers and Geotechnics*, 67, 187-203.
26. Mukherjee, A. & Mittal, S. (2015). Vertical uplift capacity of a group of equally spaced helical screw anchors in sand. *6th International Conference on Structural Engineering and Construction Management*, 11-13 December, Kandy, Sri Lanka, 25-31.
27. Sakr, M., Nazir, A., Farouk, A. & Ads, A. (2015). Uplift capacity of helical piles in sand. *International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering (ICASGE'15)*, 6-9 April 2015, Hurgada, Egypt, 20.
28. Özyayın, K. (2016). *Zemin mekaniği*. Birsen Kitabevi, 326.
29. 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.
30. Türedi, Y. ve Örnek, M. (2016). Kare temeller altında gerilme ve taşıma gücü analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 59-66.
31. O'Neill, M.W. & Reese, L.C. (1999). Drilled shafts: construction procedures and design methods. Publication No. FHWA-IF-99-025, *Office of Infrastructure, Federal Highway Administration*, Washington D.C., 537.
32. Örnek, M., Yıldız, A. Emirler, B. & Türedi, Y. (2023) Arazide farklı yüklemelere maruz helisel kazıklar için optimum tasarım parametrelerinin önerilmesi. *TÜBİTAK Destekli Bilimsel Araştırma Projesi (TÜBİTAK 1001-No:218M571)*, 395.
33. Türedi, Y. & Örnek, M. (2020). Analysis of model helical piles subjected to axial compression, *Građevinar. Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 9, 759-769.