Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
18. Ulusal Konferansı

29-30 Eylül 2022
Erciyes Üniversitesi, Kayseri

DOI:10.5505/2022zmgm.SS-24

STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ HELİSEL KAZIĞIN SAYISAL ANALİZİ

NUMERICAL ANALYSIS OF HELICAL PILE UNDER STATIC LOAD

Yakup TÜREDİ[1], Muhammet DİNGİL[2],
Murat ÖRNEK[3], Abdulazim YILDIZ[4]

ÖZET

Bu çalışmada, dairesel kesite sahip düz kazık ile helisel kazık kapasiteleri sayısal analizlerle araştırılmış ve her iki kazık tipine ait göçme davranışları karşılaştırılmıştır. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemine dayalı PLAXIS yazılımı kullanılmıştır. Helis çapı, sayısı ve helisler arası mesafe oranının etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda, helisel kazığın düz bir kazığa kıyasla daha fazla kapasiteye sahip olduğu belirlenmiştir. Helis çapının ise kapasite ve göçme mekanizmasını etkileyen önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Helisler arası mesafe oranının artmasıyla kazık kapasitesinin arttığı görülmüştür. Mesafe oranının artması, helisel kazığın göçme mekanizmasında da değişikliğe sebep olmuştur. Helislerin birbirine yakın olduğu durumda silindirik bir göçme mekanizması elde edilirken, S/D>2,5 olduğu durumda helisler arası etkileşim azalmış ve ayrık göçme mekanizması elde edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: *helisel kazık, kum zemin, kapasite, göçme mekanizması, sayısal analiz*

ABSTRACT

In this study, the capacities of straight pile with circular section and helical pile were investigated by numerical analyses, and the failure behaviours of both pile types were compared. PLAXIS software based on the finite element method was used in the analyses. The effects of helix diameter, number, and spacing ratio between helixes were investigated. As a result of the analyses, it has been determined that the helical pile has more capacity than a straight pile and the helix diameter is an important parameter that affects the capacity and failure mechanism. It was observed that the pile capacity increased with the increase in the spacing ratio between helixes. The increase in the spacing ratio also caused a change in the failure mechanism of the helical pile. When the helixes are close to each other, a cylindrical failure mechanism is obtained, while in case of S/D>2.5, the interaction between helixes is reduced and an individual failure mechanism is obtained.
Keywords: *helical pile, sandy soil, bearing capacity, failure mechanism, numerical analysis*

[1] Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, yakup.turedi@iste.edu.tr
[2] Yük. İnş. Müh., muhammetdingil@gmail.com
[3] Prof. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, murat.ornek@iste.edu.tr (Sorumlu yazar)
[4] Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, azim@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Helisel kazıklar; gelişen teknolojilere bağlı olarak popülaritesi giderek artan bir derin temel türüdür Yanal, çekme ve basınç kuvvetlerine karşı koyabilen; imalatı kolay, dışarıda hazırlanıp proje sahasına getirilen ve hidrolik tork makinesi yardımı ile eğimli veya dik bir şekilde zemine doğru döndürülerek itilmektedir. Elektrik iletim ve telekomünikasyon kulelerinde, şev üzerinde yapılacak yapıların temellerinde, gömülü boru hatlarında, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynağı yapılarının temellerinde, iksa yapılarında, hasar görmüş veya uzun dönemde hasar görme riski olan yapıların temellerinde, tarihi yapıların temellerinde, su yapılarının temellerinde ve diğer birçok yapının inşasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Tsuha vd., 2012; Nazir vd., 2013; Sakr vd., 2016; Yılmaz, 2016).

Belirtilen bu kullanım alanlarının çokluğu, uygulamadaki artışlar ve sağladığı avantajlara karşın, helisel kazıklarla ilgili çalışmaların araştırma ve tasarım metodolojilerinin geleneksel kazık temeller ile karşılaştırıldığında nispeten sınırlı olduğu ve literatürde daha çok çekme davranışı üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Elsherbiny ve El Naggar (2013) tarafından kil ve kum zemindeki helisel kazıkların basınç davranışı arazi deneyleri ve sayısal analiz modellemeleri ile ele alınmıştır. Kum zemin için nihai yükler helis çapının %5'ine karşılık gelen oturma miktarına göre belirlenmiştir. Bu durumda teorik taşıma kapasitesi sayısal modele göre daha fazla çıkmıştır. Bu fark sıkı ile çok sıkı kumlar için daha belirgin olarak elde edilmiştir. Kil zemin için teorik nihai taşıma kapasitesi, sayısal modelden elde edilen nihai taşıma kapasitesinden daha düşük çıkmıştır. Mittal ve Mukherjee (2015) tarafından yapılan çalışmada tek, çift ve üç sıra helisel kazıkların basınç yükü etkisindeki davranışı deneysel ve sayısal olarak ele alınmıştır. Çalışmada gömülme oranı ve yerleşim düzenindeki değişim araştırılmıştır. Helis sayısı ve gömülme oranının artmasıyla kazık kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Deney ve sayısal analizden elde edilen sonuçların uyumlu olduğu ve aradaki farkın maksimum %10 civarında kabul edilebilir düzeyde çıktığı ifade edilmiştir. Ayrıca tek helisli kazık kapasitesi yardımıyla birden fazla helise sahip kazığın kapasitesinin hesabı için bir eşitlik önerilmiştir. Li ve Deng (2019) tarafından kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminde basınç ve çekme yüküne maruz helisel kazıkların davranışı arazi deneyleri ve sayısal analizlerle araştırılmıştır. Tork direncinin zemin tipi, şaft çapı ve yükleme yönü gibi faktörlerden etkilendiği ve homojen zeminde büyük şaft çapına sahip kazıklarda daha düşük tork dirençleri elde edildiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmanın başarılı bir şekilde modellenebilmesi için etkisiz uzunluk değerinin belirlenmesi gerektiği ifade edilmiş ve yapılan parametrik çalışmada bu değer helis çapının 4 katı olarak elde edilmiştir. Ayrıca, sayısal analiz verilerinin kazık kapasitesini yaklaşık %11-33 civarında fazla tahmin ettiği tespit edilmiştir. George vd. (2019) tarafından kohezyonsuz zemine gömülü helisel kazığın çekme ve basınç davranışı laboratuvar deneyleri ve sayısal analiz çalışmaları yapılarak incelenmiştir. Sonuçlar, zemin sıkılığının kazığın kapasitesini etkileyen helis ve şaft çapı parametreleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Deney ve sayısal analizden elde sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Deplasman yöntemi ile yerleştirilen kazıkların kapasitesinde iyileşmelerin olduğu tespit edilmiş ve bu iyileşmenin çekme kapasitesinde basınç kapasitesine kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Türedi ve Örnek (2020) tarafından kum zemine yerleştirilen helisel kazıkların davranışı laboratuvar deneyleri ve sayısal analizler yapılarak araştırılmıştır. Helis sayısı, çapı ve helisler arası mesafenin kazığın taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Her iki yöntemle elde edilen

sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Çift helisli kazıkların, tek helisli kazıklara kıyasla daha fazla dayanıma sahip olduğu ve helis çapının artmasıyla kazık kapasitesinin doğrusal artmadığı görülmüştür. Helisler arası mesafe oranının 1,5 ve daha fazla olduğu durumda helisler arası etkileşimin ortadan kalktığı ve her bir helisin tekli helis davranışı sergilediği belirlenmiştir. Nowkandeh ve Choobbasti (2021) kumlu ve killi zeminlere gömülü helisel kazıkların eksenel basınç davranışını sayısal analizlerle araştırmışlardır. Doğrulanmış sayısal modellerde, göçme mekanizmaları incelenmiş ve sayısal olarak elde edilen nihai taşıma kapasiteleri teorik oranlarla karşılaştırılmıştır. Orta sıkı ve sıkı kumdaki teorik yöntemin taşıma kapasitesini fazla tahmin ettiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada, helisel kazıkların eksenel basınç yüklemesi etkisinde davranışı sayısal analizlerle araştırılmıştır. Dairesel kesite sahip düz kazık ile helisel kazık kapasiteleri ve göçme davranışları karşılaştırılmıştır. Analizlerde, sonlu elemanlar yöntemine dayalı PLAXIS yazılımı kullanılmıştır. Helis çapı (D=60, 80, 100 ve 120 mm), sayısı (N=0, 1 ve 2) ve helisler arası mesafe oranının (S/D=1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0) etkisi incelenmiş, sonuçlar kapasite ve göçme mekanizmalarıyla yorumlanmıştır. Helis varlığının kazık kapasitesini önemli oranda iyileştirdiği ve çapın büyümesiyle bu etkinin daha da olumlu hale geldiği görülmüştür. Birden fazla helis kullanımında helisler arası mesafenin sonuçlar üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca düz kazık ve helisel kazık göçme mekanizmaları karşılaştırıldığında, helisel kazıkta mekanizmanın plaka etrafında yoğunlaştığı ve bu yoğunlaşmanın helis plakaları arasındaki mesafeye bağlı olarak silindirik/ayrık bir hal aldığı sonucuna ulaşılmıştır.

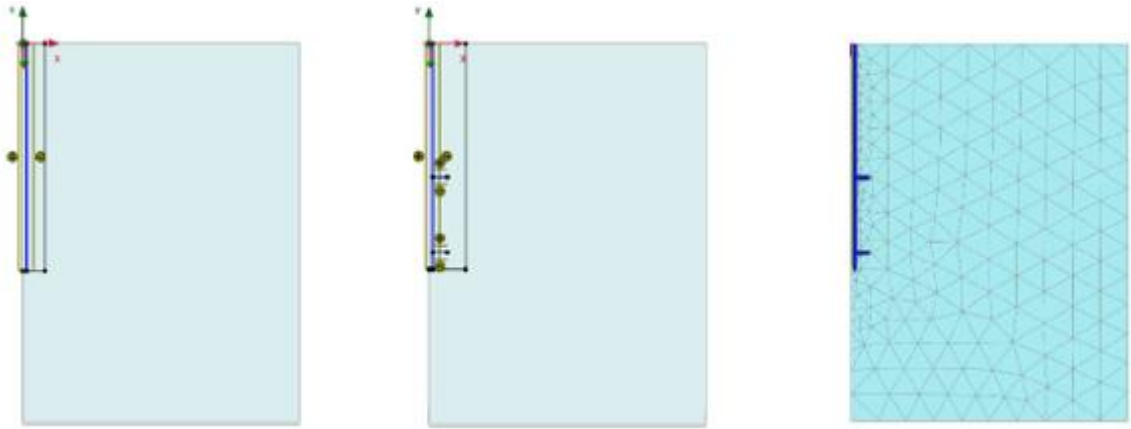
2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, kum zemine gömülü helisel kazıkların basınç yükü etkisindeki davranışı sonlu elemanlar yöntemine dayalı PLAXIS yazılımı ile sayısal olarak incelenmiştir. Helis çapı, sayısı ve helisler arası mesafe oranının kazık kapasitesi ile göçme mekanizmasına olan etkileri araştırılmıştır.

Modellemede, uzunluk x=750 mm ve yükseklik y=1000 mm değerlerinde tanımlanmış ve geometrik model eksenel simetri (axisymmetry) olarak seçilmiştir. Dilatasyon içermeyen ve hacimsel azalma gösteren gevşek kumlarda Mohr-Coulomb modelinin iyi sonuç vermemesi nedeniyle (Bahadır ve Onur, 2017) analizlerde, kum zemin davranışı için MC modele göre daha gelişmiş bir model olan Hardening Soil (HS) bünye modeli kullanılmış ve bu modelin gerektirdiği parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Kazık şaftı; 22 mm dış çapında ve 600 mm uzunluğunda, helis çapı (D) ise 60, 80, 100 ve 120 mm çaplarında, "plate" yapısal elemanı kullanılarak modellenmiştir. Helis plakası, kazık şaftının alt ucundan 45 mm yukarıda konumlandırılmıştır. Kazık eleman malzemesi olarak çelik kullanılmış ve girdi parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Geometrik modelde zemin yüzeyi hareket serbestliğine sahipken, taban sınırının her iki doğrultuda da hareketi engellenmiştir (u_X=u_Y=0). Buna karşın modelin düşey sınırlarının X doğrultusundaki hareketi engellenirken (u_X=0), düşey yönde hareket serbestliğine sahiptir. Analizler, sonlu eleman ağ sıkılığının orta (medium) olduğu durumda gerçekleştirilmiş ve yapısal eleman etrafında ağ sıklaştırılması yapılmıştır (Şekil 1). Başlangıç gerilme durumu, problemin uygunluğundan dolayı (yatay ve sürekli zemin yüzeyi) "K_0 procedure" kullanılarak tanımlanmıştır. Kazık elemana uygulanan basınç yükü, Y doğrultusunda etkiyen deplasman (prescribed displacements) olarak modellenmiştir.

Tablo 1. Zemin ve kazık için malzeme parametreleri

Parametreler	**Değerler**
Zemin	
Doygun olmayan durumdaki birim hacim ağırlık, γ_{unsat} (N/mm^3)	15,2×10^{-6}
Doygun durumdaki birim hacim ağırlık, γ_{sat} (N/mm^3)	18,0×10^{-6}
Sekant modülü, E_{50}^{ref} (N/mm^2)	9,0
Tanjant modülü, E_{oed}^{ref} (N/mm^2)	9,0
Boşaltma/yeniden yükleme modülü, E_{ur}^{ref} (N/mm^2)	27,0
Poisson oranı, ν	0,3
Kohezyon, c (N/mm^2)	0,21×10^{-3}
İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	30
Dilatasyon açısı, ψ (°)	0
Güç, m	0,68
Göçme oranı, R_f	0,99
Dayanım azaltma faktörü, R_{inter}	0,4
Kazık	
Kalınlık, d (mm)	2,5
Birim hacim ağırlık, γ (N/mm^3)	77×10^{-6}
Elastisite modülü, E (N/mm^2)	2×10^8
Poisson oranı, ν	0,3



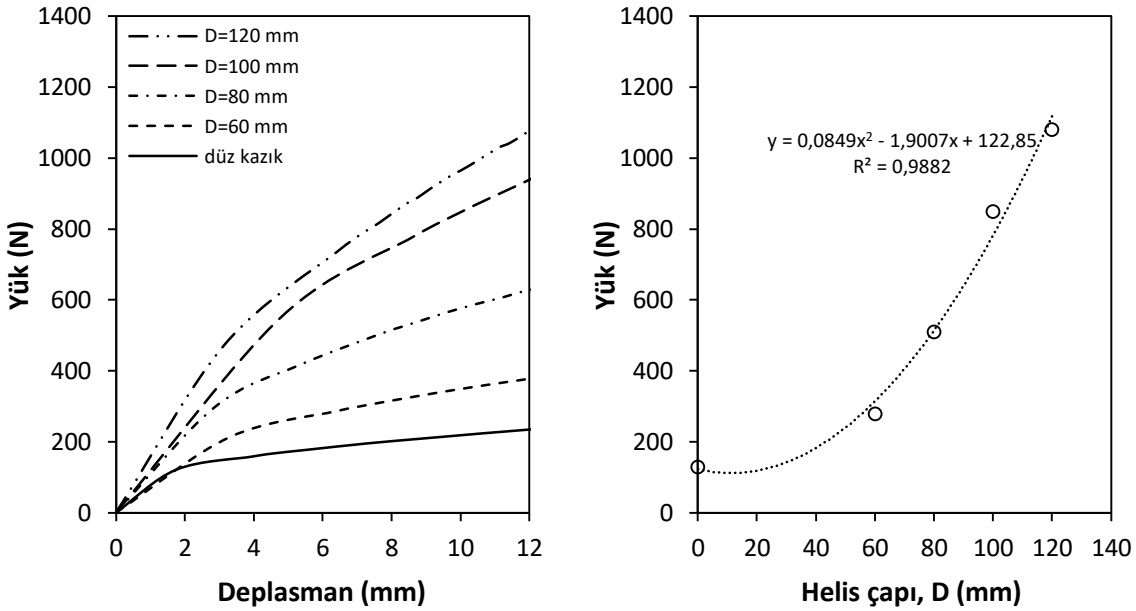
Şekil 1. Probleme ait sayısal model görüntüsü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sayısal analizler düz ve helisel kazıklar için gerçekleştirilmiş, helis çapı (D), sayısı (N) ve helisler arası mesafe oranının (S/D) sonuçlara etkisi kapasite ve göçme mekanizmalarıyla sunulmuştur. Analizlerde göçme yükü; düz kazık için şaft çapının, helisel kazık için ise helis çapının %10'u deplasmana karşılık gelen yük olarak belirlenmiştir.

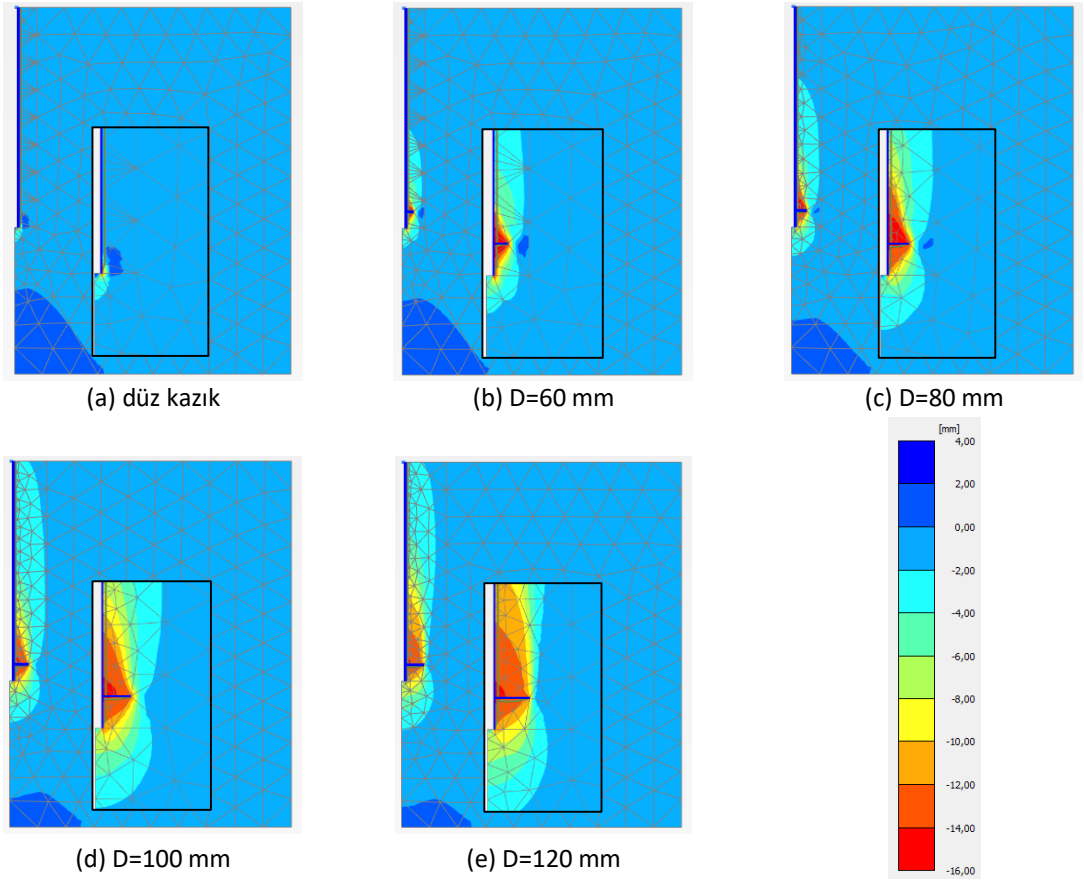
3.1. Tekli Helisel Kazık

Tekli helisel kazığın kapasitesi ve göçme mekanizması üzerinde helis çapının etkisi araştırılmıştır. Helis çapı, D=60, 80, 100 ve 120 mm olarak modellenmiştir. Sonuçlar, yük-deplasman ve yük-parametre ilişkini gösteren grafiklerle sunulmuştur (Şekil 2). Tekli helisel kazık için elde edilen kapasitenin düz kazığa kıyasla oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Düz kazık ile D=100 mm çaplı helisel kazık arasındaki kapasite farkı yaklaşık 6,5 kat olmuştur. Helis çapının artması da kapasiteyi önemli ölçüde artırmıştır. Bu artış miktarı, D=60 mm ile 100 mm çaplı helisel kazık için yaklaşık 3,9 kattır. Helis çapının artmasıyla direnç gösterilen ve kapasiteye katkı sağlayan zemin kütlesinin büyümesinin, kapasite artışına sebep olduğu düşünülmüştür.



Şekil 2. Helis çapının kazık kapasitesine etkisi

Analizler sonucunda elde edilen göçme mekanizmaları incelendiğinde, düz kazıkta mekanizmadaki yoğunluğun kazık ucunda toplandığı görülmüştür (Şekil 3). Helisel kazıkta ise literatürde yer alan basınca maruz helisel kazığın göçme mekanizmasını yansıtmış, helis çapının büyümesiyle göçme mekanizması daha geniş bir alanda etkili olmuştur. Çapın artması ile kazığın etkilediği alan ve helis üzerindeki zemin bölgesinin büyümesi mekanizmada yoğunluğa ve kapasitede artışa sebep olmuştur. D=60 ve 80 mm helis çaplarında mekanizma, helis plakası etrafında yoğunlaşmış ve zemin yüzeyine ulaşmamıştır. Diğer bir ifadeyle derin bir ankraj plakasına benzer göçme davranışı sergilemiştir. Daha büyük helis çaplarında ise göçme mekanizması, şaft boyunca etkili olmuştur (Şekil 3). Ayrıca çapın büyümesiyle göçme mekanizması, kazık uç bölgesinde hem düşeyde hem de yatayda daha geniş bir alana yayılmıştır.



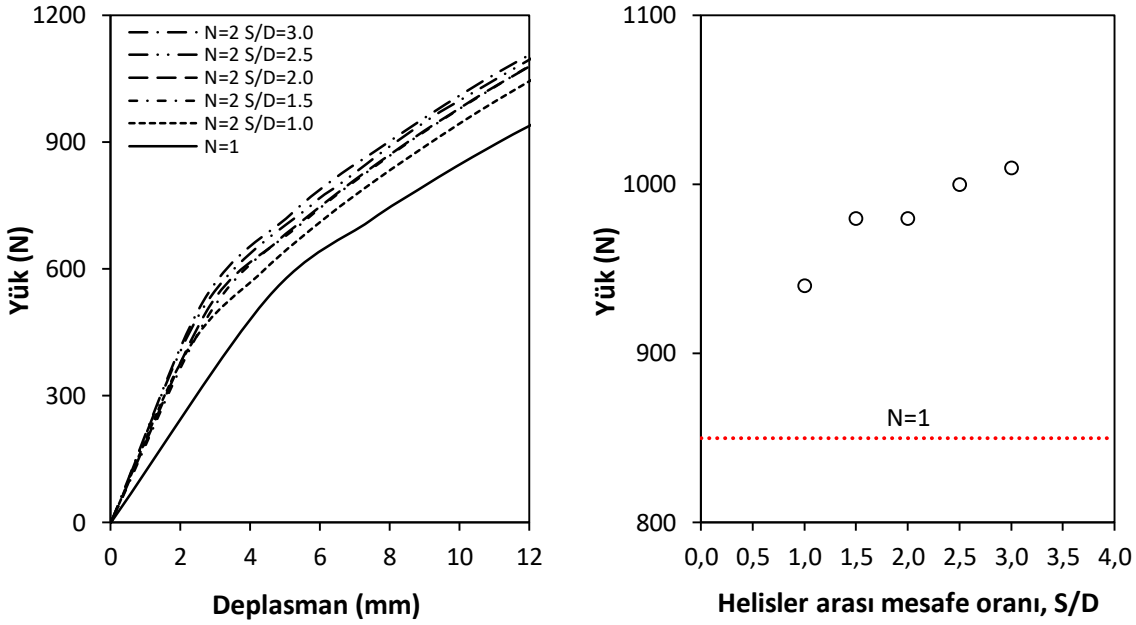
Şekil 3. Düz ve tekli helisel kazığa ait göçme mekanizması

3.2. Çoklu Helisel Kazık

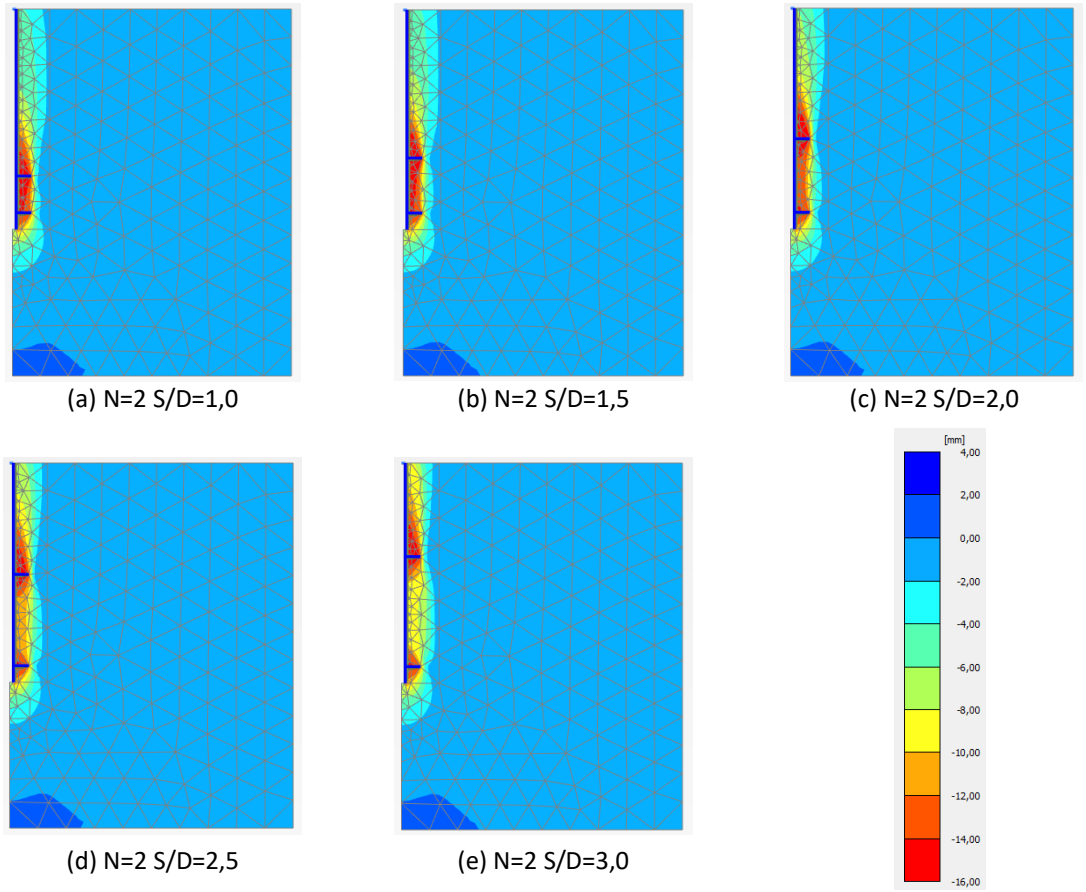
Çoklu helisel kazığın kapasitesi ve göçme mekanizması üzerinde helisler arası mesafe oranının etkisi araştırılmıştır. Helis çapı, D=100 mm olarak sabit tutulmuştur. Helisler arası mesafe oranı, S/D=1,0; 1,5; 2,0; 2,5 ve 3,0 olarak seçilmiş ve bu oranın kapasitede meydana getirdiği değişimin incelendiği analizler, N=2 çoklu helisel kazık için yapılmıştır. Analizlerde göçme yükü, helis çapının %10'u deplasmana karşılık gelen yük olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, yük-deplasman ve yük-parametre ilişkisini gösteren şekillerle sunulmuştur (Şekil 4). Tek helisten (N=1), helisler arası mesafe oranı S/D'nin 3,0 olduğu çoklu helise (N=2) geçilmesi durumunda, kapasite artışı %20 civarında olmuştur. S/D=1,0 ile 3,0 arasında ise kapasite artışı yaklaşık %8'dir. Bu sonuçlara istinaden, tekli helisten çoklu helise geçişin kapasiteye olumlu etkisinin olduğu söylenebilir. Ancak birden fazla helis kullanılacak ise üstte yer alan helis çapının daha büyük olarak seçilmesi, daha fazla verim alabilmek için uygun olabilir.

Analizler sonucunda elde edilen göçme mekanizmaları, literatürde ter alan basınca maruz çoklu helisel kazığın göçme mekanizmasını yansıtmış ve davranış, silindirik göçme mekanizmasıyla uyumlu olmuştur (Perko, 2009; Mohajerani vd., 2016). Bu silindirik oluşum kazık boyunca devam etmiştir. Helisler arası mesafe oranının artmasıyla plakalar arası etkileşimin azaldığı ve S/D>2,5'te plakaların ayrık davranışa yaklaşmaya başladığı görülmüştür. Kazık verimini azaltıcı yönde çalışan bu etkileşimden kurtulabilmek ve

maksimum verim elde edebilmek için helislerin birbirine yakın konumlandırılmasından kaçınılması önerilebilir (Şekil 5).



Şekil 4. Helisler arası mesafe oranının kazık kapasitesine etkisi



Şekil 5. Çoklu helisel kazığa ait göçme mekanizması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kum zemine gömülü helisel kazıkların taşıma kapasitesi ve göçme mekanizması, sonlu elemanlar yöntemine dayalı PLAXIS yazılımıyla sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Kazık şaftına helis plakası yerleştirmek, düz kazıkla kıyaslandığında önemli oranda kapasite artışına sebep olmuştur. Helis çapının artması kazık kapasitesini önemli oranda artırmıştır. Ayrıca çapın artmasıyla göçme mekanizması, daha geniş bir alanda etkili olmuş ve derin göçme davranışından zemin yüzeyine kadar ulaşan bir davranışına dönüşmüştür. Çoklu helis kullanımı ve helisler arası mesafenin artması da kapasiteyi artırmıştır. Göçme mekanizmaları incelendiğinde, helisler arası mesafenin artmasıyla plakalar arası etkileşim azalmış ve plakalar ayrık davranışa yaklaşmıştır. Analizler sonucunda elde edilen göçme mekanizmaları, sayısal analizin basınç yükü etkisindeki helisel kazık davranışını başarıyla yansıttığını göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmayı 218M571 no'lu proje kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

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.

Bahadır, A.A., Onur, M.İ. (2017), "Derin Kazı Destek Sistemi Tasarımında Zemin Modeli Seçimi: Bir Vaka Analizi", 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 583-590.

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.

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.

Mittal, S., Mukherjee, S.(2015), "Behaviour of Ground of Helical Screw Anchors under Compressive Loads", Geotechnical and Geological Engineering, 33(3), 575-592.

Mohajerani, A., Bosnjak, D., Bromwich, D. (2016), "Analysis and Design Methods of Screw Piles: A review", Soils and Foundations, 56(1), 115-128.

Nazir, R., Chuan,H.S., Niroumand, H., Kassim, K.A. (2013), "Performance of Single Vertical Helical Anchor Embedded in Dry Sand", Measurement, 49, 42-51.

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, 80(5), 4001-4023.

Perko, H.A. (2009), "Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation", John Wiley & Sons.

PLAXIS 2D(2020), PLAXIS CONNECT Edition V20.02. Plaxis-Bentley Systems.

Sakr, M.A., Nazir, A.K., Azzam, W.R., Sallam, A.F. (2016), "Behavior of Grouted Single Screw Piles under Inclined Tensile Loads in Sand", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 18T.

Tsuha, C.H.C., Aoki, N., Rault, G., Thorel, L. ve Garnier, J. (2012), "Evaluation of the Efficiencies of Helical Anchor Plates in Sand by Centrifuge Model Tests", Canadian Geotechnical Journal, 49(9), 1102-1114.

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.

Yılmaz, B. (2016), "Helisel Kazıklar", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.