



Vidalı kazıkların çekme ve basınç kuvveti altında davranışının incelenmesi

Investigation of the behaviour of screw piles under uplift and compressive forces

Talha Sarıcı^{1,*} , Mustafa Özcan² 

^{1,2} İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44210, Malatya Türkiye

Öz

Vidalı kazıklar kullanımı gittikçe yaygınlaşan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada, doğrusal, üçgen ve kare örüntülü grup halindeki vidalı kazıkların çekme ve basınç kuvveti etkisi altındaki davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla, literatürde kazıklar üzerinde gerçekleştirilen model deneyler sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve deneysel sonuçlar ile son derece iyi bir uyum elde edilmiştir. Daha sonra deneysel çalışmada kullanılan kazıkların helezon sayısı ve helezon çapları değiştirilerek, helezon sayısı ve çap değişiminin taşıma gücüne etkisi incelenmiştir. Ayrıca vidalı kazıkların yük altındaki davranış ve yenilme yüzeyleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, helezon sayısını arttırmak taşıma gücü kapasitesini önemli ölçüde arttırmıştır. Öyle ki, taşıma gücünde elde edilen %100'e varan artış sayesinde, helezon sayısındaki artışın kazık sayısını azaltacak mertebeyle geldiği görülmüştür. Ek olarak helezonun çapının 1.8 kat artması ile taşıma gücü değerleri %80 ile %100 arasında artışa neden olmuştur. Bununla birlikte taşıma gücü artışlarının her örüntüde farklı oranda olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Taşıma gücü, Vidalı kazık, Plaxis, Sayısal analiz, Çekme ve basınç kuvveti

1 Giriş

Dünya genelinde artan nüfusun yerleşim ihtiyaçlarını karşılamak üzere şehir merkezleri hızla genişlemekte ve bu merkezlerde yoğunlaşan nüfusun ihtiyaçlarını gidermek için kurulan tesisler imara uygun alanların dışına çıkarak hızla yayılmaktadır. Bu nedenle zemin özellikleri açısından yerleşime uygun bölgeler bu talepleri karşılamakta yetersiz kalabilmektedir. Dolayısıyla taşıma gücü, oturma, şişme vb. parametreler açısından zayıf zeminlere sahip bölgeler de yerleşime açılabilir. Bahse konu zeminlerin yerleşime uygun hale getirilebilmesi amacıyla zemin iyileştirme yöntemlerine başvurulmakta ve bu yöntemler her geçen gün geliştirilmektedir. Zemin enjeksiyonu, jet grouting, forekazıklar ve minikazıklar, taş kolonlar, kompaksiyon vb. zemin özelliklerini iyileştirmeye örnek yöntemlerdir. Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan vidalı kazıklar ise son yıllardaki araştırmalarda kendine daha fazla yer bulmaktadır.

Abstract

The usage of screw piles is one of the increasingly widespread ground improvement methods. In this study, the behaviour of linear, triangular, and square pattern screw piles in groups under tensile and compressive forces is investigated. The model experiments in the literature on screw piles were modelled by finite element method and a reasonably accurate agreement with the experimental results was obtained. Then, the number of helixes and helix diameters of the screw piles used in the experimental study were changed and the effect of the change in the number of helixes and diameter on the bearing capacity was investigated. Also, the behaviour and failure surfaces of screw piles under load were investigated. In conclusion, increasing the number of helixes significantly increased the bearing capacity. In fact, it was observed that the increase in the number of helixes was sufficient to reduce the number of piles as a result of the increase in the bearing capacity up to 100%. In addition, the increasing the diameter of the helixes by 1.8 times resulted an increase in the bearing capacity values between 80% and 100%. However, it was determined that the bearing capacity increases were different in each pattern.

Keywords: Bearing capacity, Screw pile, Plaxis, Numerical analysis, Tensile and compression force

Vidalı kazıklar ilk kez İngiltere'de yaşayan Alexander Mitchell tarafından, 1863 yılında, deniz fenerlerini desteklemek için kullanılmıştır [1]. Fakat buhar çekicinin geliştirilmesiyle beraber, çakma kazıklar daha az insan gücü ihtiyacı sebebiyle, sadece insan gücüyle uygulanabilen vidalı kazıklara göre daha tercih edilir olmuştur. Fakat teknoloji geliştikçe, hidrolik tork uygulamaları dünya genelinde yeniden vidalı kazıkların kullanımının artmasına sebep olmuştur. Vidalı kazıklar ile ilgili ilk literatür çalışması Trofimenkov ve Maruipolshii [2] tarafından tekil helisel kazıklar için taşıma metodu geliştirilmesiyle yapılmıştır. Adams ve Klymn [3] ise bu metodu çoklu helisel kazıklara uygulayan ilk çalışmayı yapmışlardır. Mitsch ve Clemence [4] ile Mooney vd. [5] daha sonralarda silindirik kesme metodu analizi ile bütün taşıma plakalarının beraber işleyişini incelemişlerdir. Ok ve Demir [6], tabakalı zeminlerde helisel kazıkların çekme kapasitelerini araştıran çalışmalar yapmışlardır ve kum sıkılığının taşıma gücüne etki ettiğini belirlemişlerdir. Seifi vd. [7], kıyı zeminlerine

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: talha.sarici@inonu.edu.tr (T. Sarıcı)

Geliş / Received: 24.10.2023 Kabul / Accepted: 07.05.2024 Yayımlanma / Published: 15.07.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1380651

uygulanan helisel, deplasman kazıkları ve çakma kazıkların taşıma kapasitesini inceleyen çalışmalar yapmışlardır ve helisel kazıkların diğer kazık türlerinin sahip olduğu dezavantajlara sahip olup olmadığını araştırmışlardır. Helisel kazıkların bazı avantajlarının olduğunu ve kazık geometrisinin daha fazla araştırma ile ortaya konulması gerektiğini belirtmişlerdir. Wang vd. [8] siltli kum zemine uygulanan helisel kazıkların yatay taşıma kapasitesini incelemek için sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bir paket program üzerinden modellemeler yapmışlardır. Yatay taşıma gücünün, zemin kütlelerinin plastik bölgesinin, zemin kütlelerinin yenilme türünün ve kazık deformasyon türünün etki faktörleri ile varyasyon kurallarını incelemişlerdir. Yuan vd. [9], derin helisel kazıkların çekme ve yanal yük altındaki davranışını incelemek üzere arazi deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında tek helezonlu ve çift helezonlu kazıklar kullanmışlardır. Ayrıca kazıkların grup halindeki davranışını da araştırmak üzere çeşitli kombinasyonlarda kazık grupları oluşturmuşlardır. Araştırmacılar çift helezonlu kazıkların grup verimliliği değerinin 1'in üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Simonenko vd. [10] vidalı kazıkların basınç kuvveti ve yanal yüklemeye altındaki davranışını araştırmak üzere çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında helezon sayısını değişken olarak seçmişler ve helezon konumu ile helezon sayısının taşıma kapasitesine etkisini araştırmışlardır. Ek olarak, en iyi sonuçlara 3 helezon kullanımı ile ulaştıklarını da belirtmişlerdir.

Vidalı kazıkların yaygın avantajları olarak literatürde, sınırlı erişime sahip alanlara uygun olması, sökülebilir ve yeniden kullanılabilir olması, drenaj uygulamasına çok az ihtiyaç duyulması, yüksek çekme ve basınç kapasitelerine sahip olması, eğimli arazilerde kullanılabilmesi, uygulama sırasında minimal düzeyde ses ve titreşim üretmesi ve ekonomik olması şeklinde sıralanmıştır [11-16]. Schmidt ve Nasr [12] vidalı kazıklar için, taşlı zeminlerin, kaya yataklarının ve kaya kütlelerinin dezavantajlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Fakat bu dezavantajların çözümü de mevcuttur. Örneğin, kaya zeminler ile karşılaşıldığında daha keskin bir uç kullanılarak kaya içerisindeki hareket kolaylaştırılabilir [17].

Literatürde vidalı kazıkların çekme ve basınç kuvveti altındaki davranışını inceleyen yeterli çalışma olmadığı düşünülmüştür. Grup örüntüleri ve vidalı kazık aralıkları ile ilgili çalışmalar yapılmış olsa da farklı örüntülerde helezon sayısının ve helezon çapı etkisinin yeteri kadar irdelenmediği görülmüştür. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında çekme ve basınç kuvvetleri altında, farklı örüntülere sahip grup halindeki vidalı kazıkların davranışına helezon çapı ve helezon sayısının etkisi araştırılmıştır.

2 Materyal ve metot

Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, Vignesh ve Muthukumar [18] tarafından helisel kazıklar üzerinde yapılan model yüklemeye deneyi sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis 3D ile modellenmiştir. Vignesh ve Muthukumar [18], kil zeminde vidalı kazıkların çekme kuvveti altında davranışlarını araştırmak üzere deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında

kullandıkları vidalı kazıklar 14 mm shaft çapı, 40 mm helezon çapı, 500 mm kazık boyu ve helezonlar arası 50 mm boşluğa sahiptir. Araştırmacılar kazıkları belirledikleri örüntülerde kil zemine monte ederek vidalı kazıkların üzerine yükü aktarmak üzere bir plaka yerleştirmişler ve kazıkları yüke maruz bırakmışlardır. Sonraki aşamada, model yüklemeye deneyi sonuçları ile Plaxis 3D'den elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak oluşturulan modelin doğruluğu kanıtlanmıştır. Son aşamada ise doğrulanmış model ile çap etkisi ve helezon sayısı etkisini araştırmak üzere parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.1 Araştırma kapsamında modellemede kullanılan zemin

Araştırmadaki modellemelerde Vignesh ve Muthukumar [18] tarafından yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan zemin seçilmiştir. Zemin ile ilgili parametreler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Modellemede kullanılan zemin özellikleri [18]

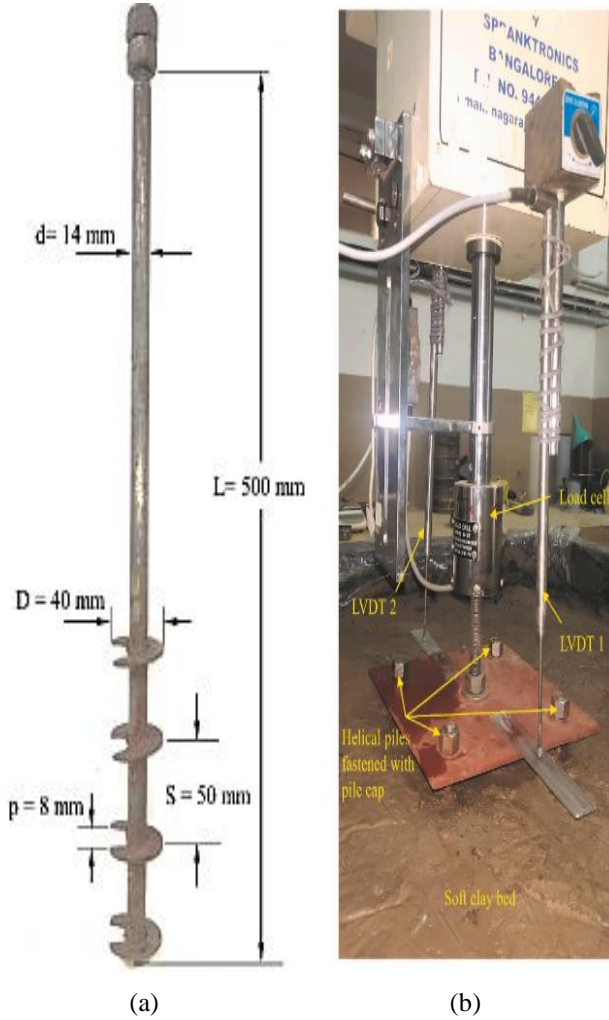
| Parametre | Değer |
|--|---|
| Birim Hacim Ağırlıkları (kN/m ³) | $\gamma_k=16$ $\gamma_{doy}=17$ |
| Young Modülleri (E, kN/m ²) | Sekant Sertliği, $E_{50}^{ref}=24550$ Ödometre Sertliği, $E_{oed}^{ref}=28000$ Boşaltma/Geri Yükleme Sertliği $E_{ur}^{ref}=73650$ |
| Poisson Oranı (μ) | 0.3 |
| Zemin mukavemeti (s_u , kN/m ²) | 7.5 |
| Sürtünme Açısı (ϕ_u) | 0 |

2.2 Araştırma kapsamında modellemede kullanılan kazıklar

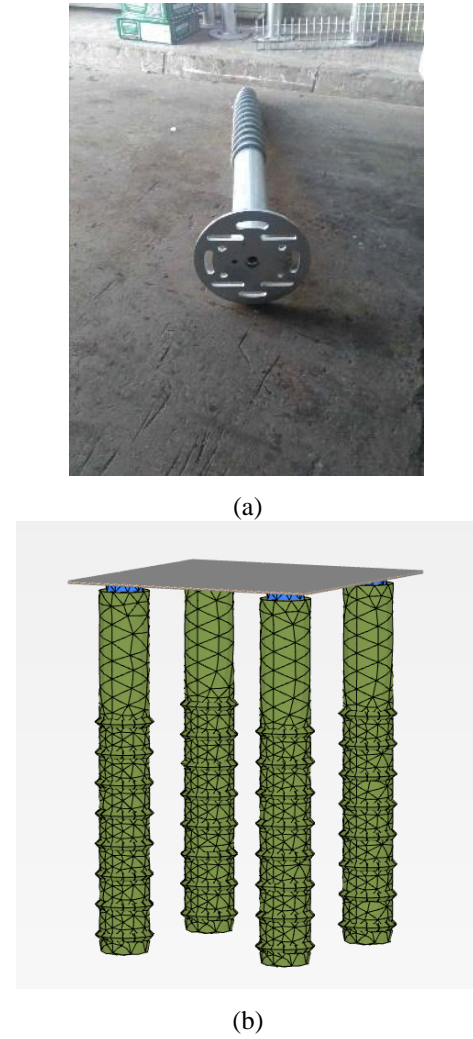
Bu araştırmadaki modellemelerde ilk olarak Vignesh ve Muthukumar [18] tarafından yapılan deneysel çalışmada (Şekil 1b) kullanılan 4 helezonlu helisel kazık (Şekil 1a) modellenmiştir. Sonraki aşamada, bu helisel kazığın helezon sayısının 4 artırılmış hali modellenmiştir. Son aşamada ise Şekil 2'de fotoğrafı ve modellemesi verilen vidalı kazığın modellemesi yapılmıştır. Kazıklar ile ilgili parametreler Tablo 2'de verilmiştir. Plaxis 3D üzerinden modellenen bu kazıklar grup halinde 3 ayrı örüntüde incelenmiştir. 1. örüntü doğrusal yerleşimli 2 adet kazıktan, 2. örüntü üçgen yerleşimli 3 adet kazıktan ve 3. örüntü kare yerleşimli 4 adet kazıktan oluşmaktadır. Örüntüler Şekil 3'te verilmiştir. Modellenen 4 helezonlu kazıklar için deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Plaxis 3D'de yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılarak modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Doğrulama yapıldıktan sonraki aşamada aynı örüntüye sahip kazık gruplarında helezon sayısı 8'e çıkarılmıştır. Deneysel çalışmalar (4 helezonlu) ve 8 helezonlu helisel kazıklarda kullanılan kazıkların shaft çapı 40 mm, helezon çapı 60 mm, deney için oluşturulan zemin ortamının boyutları 1 m x 1 m x 1 m olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Modellemede kullanılan kazık özellikleri [18]

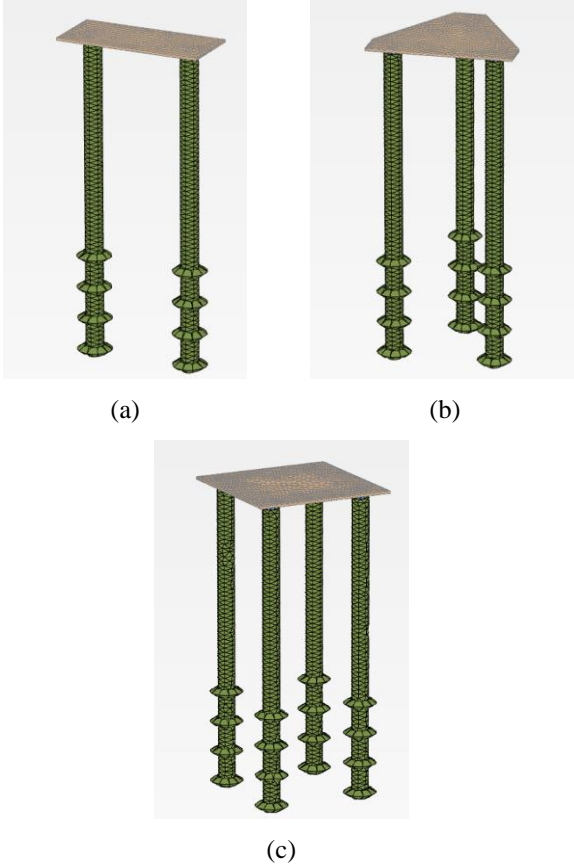
| Parametre | Kazık İçin Oluşturulan Zemin Kütlesi | Kazık Gövdesi Plakası | Helezon Plakaları | Interface için Tanımlamalar | Kazıkları Birlikte Yükleme İçin Kullanılan Plaka |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|--|
| Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3) | 78.5 | 0.0785 | 78.5 | $\gamma_k=17$ $\gamma_{doğ}=17$ | 78.5 |
| Young Modülü (E, kN/m^2) | 200×10^6 | 200 | 200×10^6 | 24550 | 200×10^6 |
| Poisson Oranı μ | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Zemin mukavemeti s_u (kN/m^2) | - | - | - | 7.5 | - |
| Sürtünme Açısı (ϕ_u) | - | - | - | 0 | - |



Şekil 1. Vignesh ve Muthukumar [18] tarafından deneysel çalışmalarda kullanılan kazık (a), model deney seti görüntüsü (b)



Şekil 2. Modellemede tasarlanan vidalı kazık (a) [19] ve modelleme görüntüsü (b)



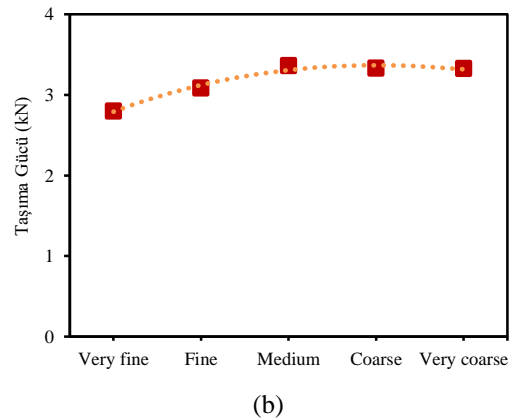
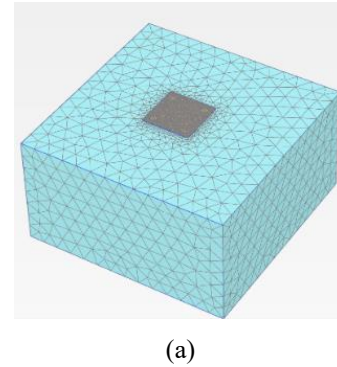
Şekil 3. Kazık grupları: 2 adet kazık lineer örüntü (a), 3 adet kazık üçgen örüntü (b), 4 adet kazık kare örüntü (c)

Burada genişlik değerleri helezon çapının (D) 25 katını, derinlik ise kazık uzunluğunun (L) 2 katını temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Son olarak, Şekil 2a’da modellenen vidalı kazıklarda ise; 60 mm shaft çapı, 74 mm helezon çapı, 600 mm kazık uzunluğu seçilmiştir. Ayrıca zemin ortamı yine 25D olacak şekilde 1.85 m genişlik, 1.85 m uzunluk ve kazık uzunluğunun 2 katı olan 1.2 m derinlik olarak modellenmiştir.

2.3 Mesh oluşturulması

Modellemeler yapılırken kazık gövdesini temsil etmek üzere Tablo 2’de verilen kazık için oluşturulan zemin parametrelerini programa tanımlayarak kazık gövdesi bir zemin gibi oluşturulmuştur. Helezonlar plate eleman olarak Tablo 2’de verilen değerler ile modellenmiştir. Daha sonrasında helezonlar ile kazık gövdesinin birlikte çalışmasını sağlamak üzere yine Tablo 2’de verilen kazık gövdesi plakası değerlerine göre plate ataması yapılmıştır. Burada tanımlanan plate helezonda kullanılan plate elemanına göre çok daha az dayanıma sahiptir. Dolayısıyla bu plate tabakasının sadece helezonlar ile bağlantı yapması hedeflenmiştir. Yine bu plaka üzerine Tablo 2’de verilen interface parametrelerine göre pozitif yönlü interface tanımlanmıştır. Bu interface komutu üzerine tanımlandığı eleman ile mesh oluşturulurken kopukluk sağlayarak, elemanın, onu çevreleyen zeminden ayrı çalışmasını sağlamaktadır. Helezonların aksine shaft plakasına yalnızca

pozitif interface vererek, plakanın shaft için oluşturulan zeminle etkileşimli fakat shaftı saran zemin ile ayrı çalışması sağlanmıştır. Yine tanımlanan interface parametreleri içerisinde bu parametrelerin çalışma etkisi $R_{interface}$ Vignesh ve Muthukumar [18] tarafından önerildiği üzere 0.65 seçilmiştir. Böylelikle zemin ile kazık elemanlarının davranışının deneysel çalışmalara daha yakın düzeye taşındığı öne sürülmüştür. Daha sonra helezon plakaları oluşturulmuş ve kazık shaft merkezi ile helezonların merkezi çakıştırılmıştır. Helezonlar arası mesafe 50 mm olarak seçilmiştir. Helezonlara pozitif ve negatif olmak üzere iki yönlü interface tanımlanmıştır. Tüm kazık grubu örüntüleri için merkezden merkeze kazık aralığı S_g helezon çapının 4 katı olacak şekilde seçilmiştir. Yine kazık grupları oluşturulduktan sonra kazıklar Tablo 2’de verilen kazık başlığı ile birleştirilmiş ve tanımlı deplasman bu kazık başlığına uygulanmıştır. Çekme ve basınç kuvveti altında nihai dayanımı belirlemek üzere helezon çapının yüzde 10 değerine karşılık gelen deplasmanlar tanımlanmıştır. Analizler gerçekleştirilmeden önce doğru mesh boyutunu belirlemek üzere “mesh sensitivity” analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı tane büyüklüklerine karşılık gelen taşıma kapasiteleri belirlenmiş aralarında optimum olan “medium” mesh seçilmiştir. Analizler için oluşturulan modelin mesh görüntüsü ve “mesh sensitivity” grafiği Şekil 4’te görülmektedir.

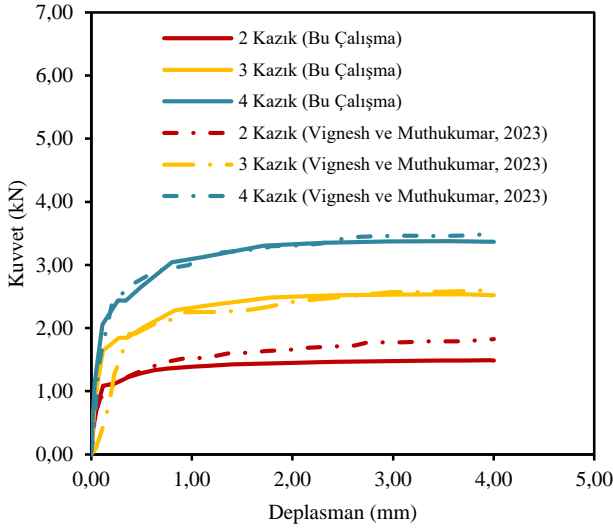


Şekil 4. Sonlu elemanlar yönteminde oluşturulan mesh görüntüsü (a) ve mesh sensitivity grafiği (b)

3 Bulgular ve tartışma

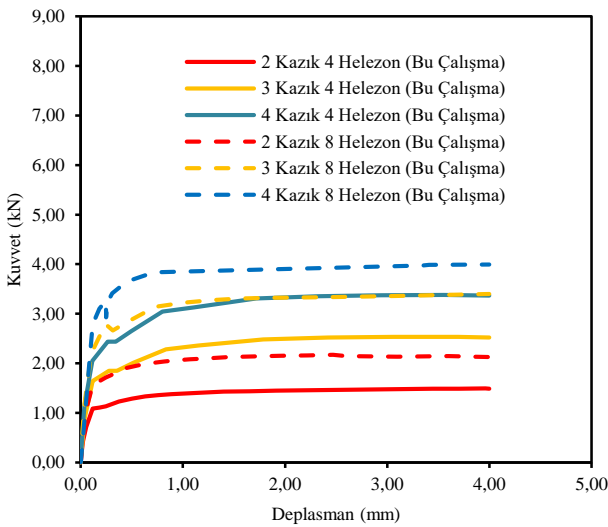
3.1 Kazık gruplarının çekme kuvveti altındaki davranışı

Modellenen kazıklar ilk aşamada çekme kuvvetine maruz bırakılarak modelin doğruluğu araştırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen yük deplasman davranışları ile Plaxis 3D analizlerinden elde edilen davranışlar karşılaştırılmış ve önemli derecede uyum gözlemlenmiştir. İlgili grafik Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Deneysel çalışma [18] sonuçları ile sayısal analiz (Bu çalışma) sonuçlarının karşılaştırılması

Elde edilen uyum neticesinde ikinci aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada vidalı kazıkları temsil etmesi için deneysel çalışmalarda kullanılan kazıklara 4 adet helezon daha eklenerek 8 helezonlu kazıklar oluşturulmuş ve aynı çekme kuvveti etkisine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



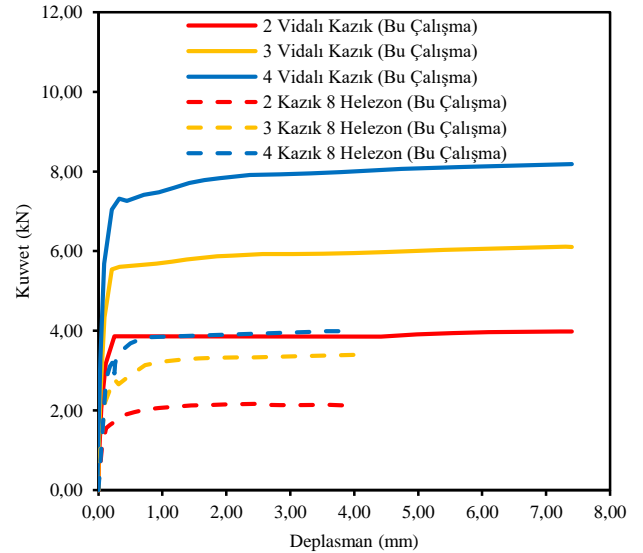
Şekil 6. Sayısal analizlerde modellenen 4 helezonlu ve 8 helezonlu kazıkların karşılaştırılması

Şekil 6'da görüldüğü üzere 4 helezon daha eklemek nihai taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırmıştır. Bu değerler 2 adet kazık grubu için %43, 3 adet kazık grubu için %35, 4 adet kazık grubu için ise %18 olarak ölçülmüştür. Ayrıca helezon artışı sebebiyle 8 helezonlu 2'li kazık grubu 4 helezonlu 3'lü kazık grubunun taşıma kapasitesinin %85'ine, 8 helezonlu 3'lü kazık grubu 4 helezonlu 4'lü kazık grubunun taşıma kapasitesinin %100'üne ulaşmıştır.

Helezon sayısındaki artış ile taşıma kapasitesindeki artış belirlendikten sonra üçüncü aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada hedeflenen vidalı kazık çapı ve uzunluğunda aynı örüntüye sahip vidalı kazıklar sayısal analizlere tabi tutulmuştur. Sayısal analizlerin sonucunda 8 helezonlu kazıkların sonuçları ile vidalı kazıkların sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7 incelendiğinde, 8 helezonlu daha geniş çaplı vidalı kazık olarak modellenen kazıkta, 2'li kazık grubu, 8 helezonlu deney kazık grubunda 4'lü kazık grubuna karşılık gelen dayanımı göstermiştir. Örüntüler içerisinde önceki kazık deney setlerine oranla artışlar gözlemlenmiştir ve bu artışlar sırasıyla 2'li kazık grubu için %100, 3'lü kazık grubu için %79, 4'lü kazık grubu için ise %100 mertebesindedir.

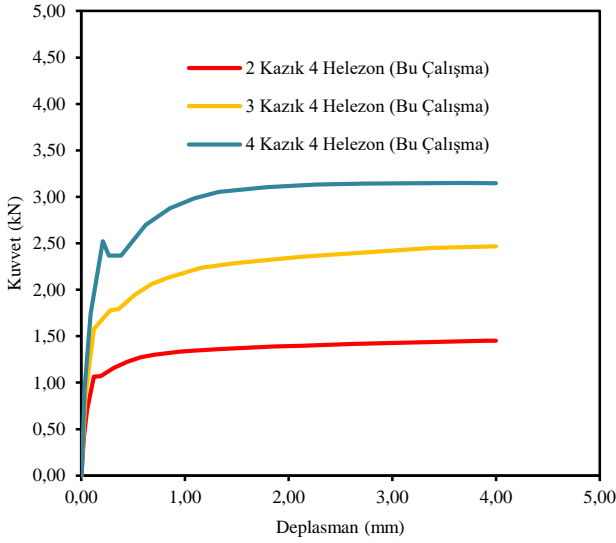
Çekme kuvveti altında yapılan tüm analiz sonuçları incelendiğinde, helezon sayısının ve helezon çapının artırılması, yani diğer bir deyişle helisel kazıktan vidalı kazığa geçiş, aynı örüntülü kazık grupları için taşıma kapasitesinde önemli derecede artışa neden olmuştur. Bu duruma, yenilme yüzeylerinin helezonlar boyunca gerçekleşmesi sebebiyle artan helezon sayısının ve çapının fazladan gerilme alanları oluşturmasının sebep olduğu düşünülmüştür.



Şekil 7. Oluşturulan 8 helezonlu kazıkların vidalı kazıklar ile karşılaştırılması

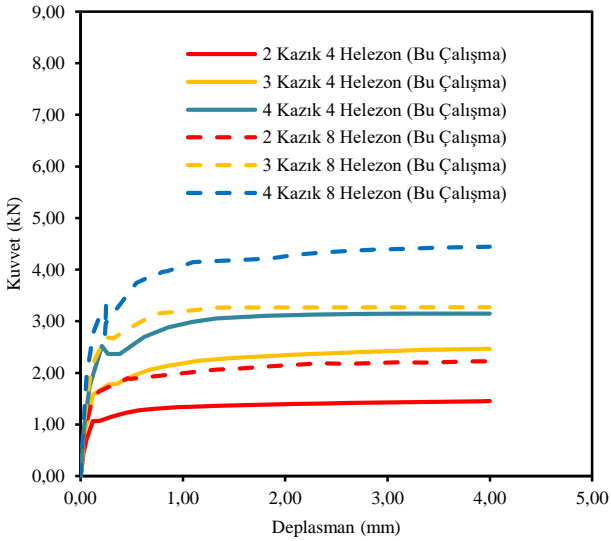
3.2 Kazık gruplarının basınç kuvveti altındaki davranışı

İlk aşamada 2'li, 3'lü ve 4'lü örüntüdeki 4 helezonlu kazıklar basınç kuvvetine maruz bırakılmıştır. İlgili grafik Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Modellenen kazıkların basınç altındaki yük deplasman eğrileri

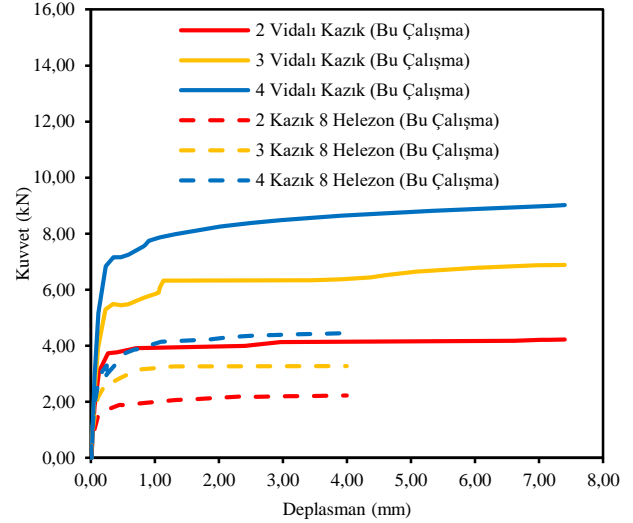
İkinci aşamada vidalı kazıkları temsil etmesi için deneysel çalışmalarda kullanılan kazıklara 4 adet helezon daha eklenerek 8 helezonlu kazıklar oluşturulmuş ve aynı basınç kuvveti etkisine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Modellemede kullanılan 4 helezonlu ve 8 helezonlu kazıkların karşılaştırması

Şekil 9'da görüldüğü üzere 4 helezon daha eklemek nihai taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırmıştır. Bu değerler 2 adet kazık grubu için %54, 3 adet kazık grubu için %32, 4 adet kazık grubu için ise %41 olarak ölçülmüştür. Ayrıca helezon artışı sebebiyle 8 helezonlu 2'li kazık grubu 4 helezonlu 3'lü kazık grubunun nihai taşıma kapasitesinin %70'ine, 8 helezonlu 3'lü kazık grubu 4 helezonlu 4'lü kazık grubunun nihai taşıma kapasitesinin %104'üne ulaşmıştır.

Helezon sayısındaki artış ile taşıma kapasitesindeki artış belirlendikten sonra üçüncü aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada hedeflenen vidalı kazık çapı ve uzunluğunda aynı örüntüye sahip vidalı kazıklar sayısal analizlere tabi tutulmuştur. Sayısal analizlerin sonucunda 8 helezonlu kazık ve vidalı kazıkların karşılaştırılması Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Oluşturulan 8 helezonlu kazıkların vidalı kazıklar ile karşılaştırılması

Şekil 10 incelendiğinde, 8 helezonlu daha geniş çaplı vidalı kazık olarak modellenen kazıkta, 2'li kazık grubu 8 helezonlu deney kazık grubunda neredeyse 4'lü kazık grubuna karşılık gelen dayanımı göstermiştir. Örüntüler içerisinde önceki kazık deney setlerine oranla artışlar gözlemlenmiştir ve bu artışlar sırasıyla 2'li kazık grubu için %89, 3'lü kazık grubu için %110, 4'lü kazık grubu için ise %102 mertebesinde dir.

Basınç kuvveti altında yapılan tüm analiz sonuçları incelendiğinde, helezon sayısının ve helezon çapının artırılması, yani diğer bir deyişle helisel kazıktan vidalı kazığa geçiş, aynı örüntülü kazık grupları için taşıma kapasitesinde önemli derecede artışa neden olmuştur. Bu etkiye çekme durumunda yorumlanan gerilme alanlarının neden olduğu öngörülmüştür.

3.3 Taşıma kapasitesi oranı

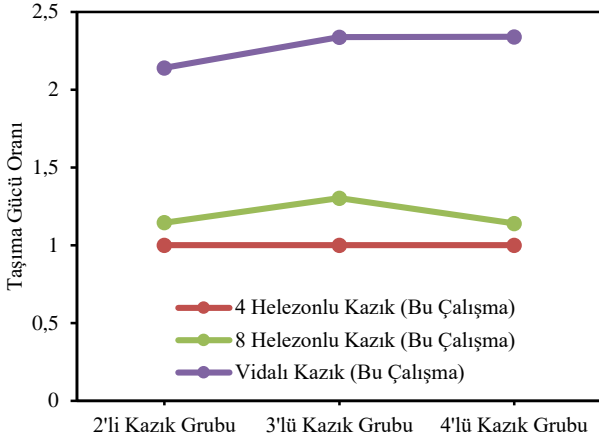
Çalışma içerisinde gerçekleştirilen analiz sonuçlarının anlaşılabilirliğini arttırmak üzere taşıma kapasitesi oranları hesaplanarak kıyaslanmıştır. Hesaplama için Binquet ve Lee [20] tarafından önerilen ve Denklem 1'de verilen formül değiştirilerek kullanılmıştır.

$$\text{Taşıma Kapasitesi Oranı} = \frac{q_u}{q_o} \quad 1$$

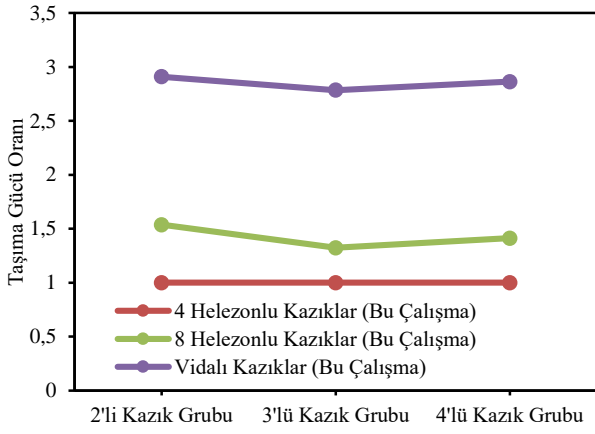
Bu formülde q_u taşıma kapasitesi oranı hesabı yapılacak olan kazık için nihai taşıma kapasitesini ve q_o ise referans alınan kazığın nihai taşıma kapasitesini temsil etmektedir.

Çekme ve basınç kuvvetinde Plaxis 3D'de modellenen 4 helezonlu helisel kazıkların nihai taşıma kapasiteleri

hesaplamalarda referans olarak alınmıştır. Hesaplanan oranlar Şekil 11 ve Şekil 12’de sunulmuştur



Şekil 11. Çekme kuvveti için taşıma gücü oranı grafiği



Şekil 12. Basınç kuvveti için taşıma gücü oranı grafiği

Buna göre çekme kuvveti için helezon sayısı 8’e çıkarıldığında nihai taşıma gücü değerleri 2’li, 3’lü ve 4’lü kazık grubu için sırasıyla 1.15, 1.30 ve 1.14 katına çıkmış, vidalı kazık kullanımında ise nihai taşıma gücü değerleri deneysel çalışmalara oranla 2’li, 3’lü ve 4’lü kazık grubu için sırasıyla 2.14, 2.33 ve 2.34 katına çıkmıştır.

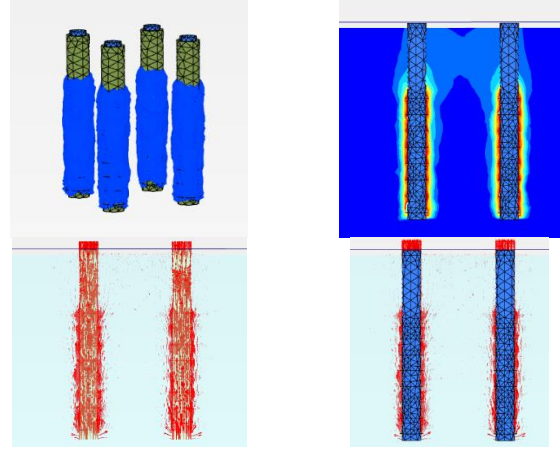
Basınç kuvveti için ise helezon sayısı 8’e çıkarıldığında nihai taşıma gücü değerleri 2’li, 3’lü ve 4’lü kazık grubu için sırasıyla 1.54, 1.33 ve 1.41 katına, vidalı kazık kullanımında ise nihai taşıma gücü değerleri 4 helezonlu kazıklara oranla 2’li, 3’lü ve 4’lü kazık grubu için sırasıyla 2.91, 2.78 ve 2.86 katına çıkmıştır.

3.4 Vidalı kazıkların yenilme yüzeyleri

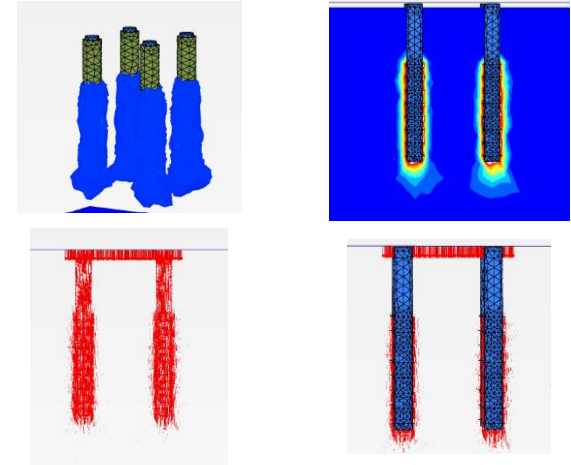
Sayısal analizlerde vidalı kazıkların yük altında yenilme yüzeyleri araştırılmış ve ilgili yenilmelere ait görüntüler Şekil 13 ve Şekil 14’te görülmektedir. Şekil 13 ve 14 incelendiğinde, çekme ve basınç kuvvetleri altında vidalı kazıkların helezon boyunca zeminden sıyrıldığı görülmektedir. En alt helezondan en üst helezona kadar bu yenilme silindirik bir kayma düzlemi boyunca oluşmaktadır.

Bu bağlamda helisel kazıklar için kullanılan silindirik kayma yenilmesi bağıntılarının vidalı kazıklar içinde geçerli olabileceği düşünülmektedir.

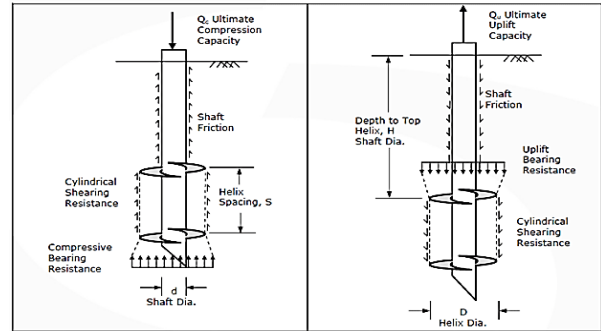
Bununla birlikte Plaxis 3D analizleri sonucunda elde edilen yenilme yüzeylerinin de literatürde önerilen davranışa benzediği dolayısıyla bu analizlerin de Şekil 15’te de görüldüğü üzere literatürle uyduğu görülmüştür [21,22].



Şekil 13. Çekme kuvveti etkisi altında vidalı kazık yenilme yüzeyleri



Şekil 14. Basınç kuvveti etkisi altında vidalı kazık yenilme yüzeyleri



Şekil 15. Helezona sahip kazıklarda silindirik kayma yenilmesi [21,22]

4 Sonuçlar

Bu çalışmada vidalı kazıkların basınç ve çekme kuvveti altındaki davranışlarını belirlemek için Plaxis 3D kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler için model oluşturulurken literatürdeki bir çalışmada yapılan deneysel çalışma dikkate alınmıştır. Gerçekleştirilen sayısal analiz sonuçları ile deneysel çalışma sonuçları arasında uyum elde edildikten sonra parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Analizler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Plaxis 3D ile yapılan modellemeler ile gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarının deneysel çalışma sonuçları ile iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür. Ayrıca analiz çıktıları incelendiğinde modellenen kazıkların yük altındaki davranışının da deneysel çalışmalar ile benzer olduğu görülmüştür. Bu bağlamda gerekli parametreler mevcut olduğunda bu tarz kazıkların davranışının Plaxis 3D ile belirlenebileceği düşünülmektedir.

Aynı örüntülü kazık grupları için helezon sayısının 2 katına çıkarılması taşıma kapasitesinde %100'ü aşan artışlara neden olmuştur. Hatta bu artış sayesinde helezon ekleyerek örüntüdeki kazık sayısının azaltılabileceği görülmüştür. Böylelikle sınırlı proje alanlarında kazık etkileşimlerinin önüne geçmek üzere daha az kazık kullanarak optimum kazık aralıkları elde edilebileceği ve kazık maliyetinden tasarruf edilebileceği düşünülmektedir.

Helezon çapının taşıma kapasitesine etkisi için yapılan analizlerde, helezon sayısı sabit tutularak kazık çapını 1.8 kat büyütmenin, taşıma kapasitesinde farklı örüntüler için %80 ile %100 mertebelerinde artışlara neden olduğu belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada helezon sayısındaki ve kazık çapındaki artışın basınç yükü altında çekme yükü altındaki kazıklara göre daha fazla taşıma gücü artışına neden olduğu bulunmuştur. Bu duruma basınç kuvveti altında, silindirik yenilme yüzeyine ek olarak kazık uç kuvvetlerinin de devreye girmesinin neden olduğu düşünülmektedir.

Vidalı kazıklarda da helisel kazıklar gibi kayma düzleminin silindirik bir yüzey boyunca oluştuğu gözlemlenmiştir. Kazık örüntüleri için kullanılan zemin ortamının literatürde belirtilen 25D sınırlarında olması, vidalı kazıklar için de geçerli olmuş ve gerilmeler zemin sınırlarında kalmıştır. Yine zemin derinliği için önerilen 2L değerinde de gerilmeler bu sınırlar içerisinde kalmış ve vidalı kazıklar için de uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir. Ancak vidalı kazıklarda helezonların sarmal bir halde bulunması zemin içerisinde oluşan gerilme alanlarını değiştirmektedir. Bu bağlamda helisel kazıklarda olduğu gibi vidalı kazıklarda da helezonlar arası mesafe vidalı kazık davranışını etkilemektedir.

Örüntülerde kazıklar arasındaki merkezden merkeze mesafe olan Sg değeri helezon çapının literatürde önerildiği gibi 4 katı seçilmiş ve kazıklar arasında etkileşim görülmemiştir.

İlerleyen çalışmalarda, gömülme derinliği ve vidalı kazıklarda çap arttırmanın taşıma kapasitesine etkisi ile yanal yüklemeler altında vidalı kazıkların davranışı ve kazık taşıma gücü formüllerinin vidalı kazıklara uygunluğunun daha fazla araştırılması önerilmektedir.

Vidalı kazıkların taşıma kapasitelerinin yüksek olması, sökülebilir, kolayca stoklanabilir, kolayca uygulanabilir olması ve farklı kotlara sahip arazilerde dahi yarma/dolgu işlemleri olmadan kullanılabilmesi vb. avantajları sebebiyle tercih edilebilirliğinin artması beklenmektedir. Hatta bu avantajları sebebiyle afet sonrası acil eylem planlarında, yerleşim ihtiyaçlarını gidermek üzere kullanılabileceği düşünülmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %6

Kaynaklar

- [1] H.A. Perko, Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation. 1st ed. John Wiley & Sons Inc, USA, 2009.
- [2] J. G. Trofimenkov and L. G. Maruipolshii, Screw piles used for mast and tower foundations. Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2, pp. 328–332, Montreal, Canada, 1965.
- [3] J. I. Adams and T. W. Klym, A study of anchorages for transmission tower foundations. Canadian Geotechnical Journal, 9(1), 89-104, 1972. <https://doi.org/10.1139/t72-007>.
- [4] M. P. Mitsch and S. P. Clemence, The uplift capacity of helix anchors in sand. In: Uplift Behaviour of Anchor Foundations in Soil. American Society of Civil Engineers, pp. 26–47, New York, USA, 1985.
- [5] J.S. Mooney, S. Adamczak and S.P. Clemence, Uplift capacity of helix anchors in clay and silt. American Society of Civil Engineers, 48–72, 1985.
- [6] B. Ok ve A. Demir, Helisel ankraj plakalarının tabakalı zeminlerdeki çekme kapasitelerinin incelenmesi. Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology, 3(2), 25-25, 2015. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2015211035>.
- [7] S. Seifi, A. Nayeri and S.H. Lajevardi, Field and numerical studies on bearing capacity of helical screw piles in Caspian Sea coast soil. Innov. Infrastruct. Solut., 8, 54, 2023. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-01019-z>
- [8] H. Wang, H. Zhang and W. Zhang, Research on pile parameters of screw pile based on horizontal bearing capacity. Journal of Innovation and Development, 3(1), 168-174, 2023. <https://doi.org/10.54097/jid.v3i1.8476>
- [9] C. Yuan, D. Hao, S. Ding and M. Ding, Field experimental study on the uplift and lateral capacity of deep helical anchors and grouped helical anchors in clays. Buildings, 14(3), 662, 2024. <https://doi.org/10.3390/buildings14030662>
- [10] S. Simonenko, J.A. Loya and M. Rodriguez-Millan, An experimental and numerical study on the influence of helices of screw piles positions on their bearing capacity in sandy soils. Materials, 17(2), 525, 2024. <https://doi.org/10.3390/ma17020525>
- [11] D. J. Y. Zhang, R. Chalaturnyk, P. K. Robertson, D. C. Segó, and G. Cyre, Screw anchor test program (Part I

- & II): instrumentation, site characterisation and installation. In: Proceedings of the 51st Canadian Geotechnical Conference, Edmonton, Canada, 1998.
- [12] R. Schmidt and M. Nasr, Screw piles: uses and considerations. *Struct. Mag.*, 29–31, 2004.
- [13] B. Livneh and M.H.M. Naggar, Axial testing and numerical modelling of square shaft helical piles under compressive and tensile loading. *Can. Geotech. J.*, 45 (8), 1142–1155, 2008. <https://doi.org/10.1139/T08-044>.
- [14] M. Sakr, Performance of helical piles in oil sand. *Can. Geotech. J.*, 46(9), 1046–1061, 2009. <https://doi.org/10.1139/T09-044>.
- [15] M. Sakr, Installation and performance characteristics of high capacity helical piles in cohesionless soils. *Deep Found. J.*, 5(1), 39–57, 2011. <http://dx.doi.org/10.1179/dfi.2011.004>
- [16] B. Ok, Ankraj plakalarının farklı zemin koşullarındaki çekme kapasitelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2014.
- [17] Arup Geotechnics, Design of Screw Piles: Assessment of Pile Design Methodology. Ove Arup & Partners Ltd, London, 2005.
- [18] V. Vignesh and M. Muthukumar, 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, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113500>.
- [19] His Teknik Çelik, Vidalı kazık galeri, <https://histeknik.com/galeri/>, Erişim 10 Kasım 2023.
- [20] J. Binquet and K.L. Lee, Bearing capacity analysis of reinforced earth slabs. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 101(12), 1257-1276, 1975.
- [21] H.M. Bak, A.M. Halabian, H. Hashemolhosseini and M. Rowshanzamir, Axial response and material efficiency of tapered helical piles. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(1), 176-187, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.04.007>
- [22] Y. Abdelghany, P. Eng, E. Hesham, and P. Naggar, Helical screw piles performance – a versatile efficient foundation system alternative for rehabilitation. *New Sustainable Structures Construction and Infrastructure Delivery Sharjah, UAE*, 2016.

