

İKİ PLAKALI HELİSEL KAZIKLARDA ÇEKME DİRENCİNİN TORK KORELASYON METODUYLA BELİRLENMESİ

ESTIMATING THE PULL-OUT CAPACITY OF DOUBLE-PLATE HELICAL PILES USING INSTALLATION TORQUE METHOD

Tayfun GÜL¹, Sami ARSOY²

ÖZET

Helisel kazıklar, kazık gövdesine uygulanan burulma momenti yardımıyla zeminde ön delgi işlemine gerek olmadan yerleştirilen, üzerinde helisel formda plakaların bulunduğu çelik elemanlardır. Kazıkların zemine yerleştirilmesi sırasında minimum seviyede titreşim ve gürültü oluşması, gerektiğinde kolayca zeminden çıkarılarak tekrar kullanılabilmesi helisel kazıkların önemli avantajlarıdır. Kazık üzerindeki helisel plakalar, kazığın zemine gömülmesini kolaylaştıran, zemin örselenmesini minimum düzeyde tutan ve eksenel çekme direncinin çok önemli kısmını karşılayan elemanlardır. Helisel kazıklarda çekme direnci, kazığın zemine yerleşimi sırasında uygulanan burulma momentlerinden doğrudan pratik ve ekonomik bir şekilde tork korelasyon metodu kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bu metotta KT katsayısının seçimi önemlidir. Bu çalışma kapsamında iki plakalı helisel kazıkların eksenel çekme direncini etkileyen zemin ve kazık elemanlarıyla ilgili faktörler incelenmiştir. KT katsayısı farklı parametrelere göre değerlendirilerek bağıntılar ve öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eksenel Çekme Direnci, Helisel Kazık, KT Katsayısı, Tork Korelasyon Metodu.

ABSTRACT

Helical piles are steel piles with helical plates attached on their body and they are installed in soils without pre-drilling, by applying torsional moment to the pile body. The minimum amount of vibration and noise generated during the installation of piles in the soil, and their easy removal and reuse when necessary, are important advantages of these piles. The helical plates on the pile are the elements to facilitate the embedding of the pile into the soil, minimize the soil disturbing and provide the most important part of the axial pull-out capacity. The pull-out capacity of helical piles can be estimated directly

¹ Lisansüstü Öğrencisi., Kocaeli Üniversitesi, tayfungl264@gmail.com

² Prof.Dr., Kocaeli Üniversitesi, sarsoy@kocaeli.edu.tr

and practically from the torsional moments applied during the installation of the pile using the method based on the capacity-to-torque ratio. The selection of the K_T coefficient is important for this method. In this study, factors related to the soils and pile elements affecting the axial pull-out capacity of double-helix helical piles are investigated. K_T coefficient was evaluated according to different parameters, and equations and suggestions were developed.

Keywords: Axial Pull-Out Capacity, Helical Pile, K_T Coefficient, Capacity-to-Torque Method.

1. GİRİŞ

Helisel kazıklar kare veya daire kesitli şaft üzerine helisel formdaki plakaların belirli mesafelerde birleştirilmesiyle üretilen çelik elemanlardır. Günümüzde çekme yükleri altında kullanılabilmelerinin yanı sıra basınç ve yatay yük altında da iyi performans gösteren kazıklardır. Kazık gövdesi üzerinde belirli aralıklarla yerleştirilmiş helisel plakalar, kazığın çekme direncinin çok önemli bir kısmını oluşturmakta, düz kazıklara kıyasla daha yüksek çekme direnci sağlamaktadır. Uygulamalarda kullanılan plaka sayısı genellikle 1 - 7 arasında değişmekte olup literatür araştırmaları incelendiğinde aynı kazık üzerinde 2 helisel plakanın uygulamalarda sık tercih edildiği görülmüştür.

Helisel kazıklarda çekme direnci pratik ve ekonomik bir metot olan tork korelasyon metodu ile belirlenebilmektedir. Bu metot kazık yerleşimi sırasında ölçülen tork verilerinden kazığın çekme direncinin hızlıca belirlenebilmesi için geliştirilmiş bir metottur. Tork korelasyon metodu ile kazığın çekme direnci, son gömülme derinliklerinde kazık şaftına uygulanan burulma momentlerinin ortalaması (T) alınıp tork korelasyon katsayısı veya kapasite tork oranı (K_T) olarak ifade edilen bir katsayı dahilinde artırılmasıyla hesaplanmaktadır. Bu katsayı literatürde kazık gövde çapına bağlı seçilen bir katsayı olup kazık üzerinde bulunan helisel plaka sayısı ve kazık gövde kesit tipi, kazığın yerleşim torkunu ve buna bağlı olarak K_T katsayısının büyüklüğünü etkileyen önemli parametrelerdir. Bu çalışma kapsamında plaka sayısı ve kazık gövde kesit tipi kullanılan veriler için sınırlandırılarak, literatürde araştırmacıların yayımladıkları kazık verilerinden sadece düşey yerleştirilmiş, daire gövde kesitli, iki helisel plakalı ve üzerinde çekme testi yapılmış kazıklara ait K_T katsayıları kullanılarak bağıntılar ve öneriler geliştirilmiştir.

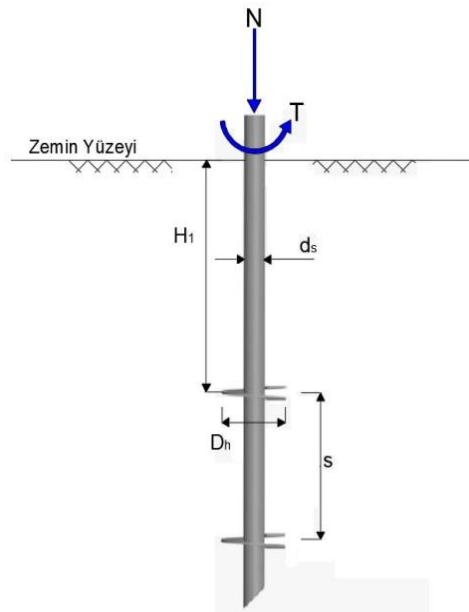
2. HELİSEL KAZIKLAR

Helisel kazıklar, çelik gövde üzerinde belirli mesafelerde helisel plakaların yerleştirilmesiyle üretilen kazıklardır (Şekil 1). Bu kazıklar, ilk kez 19. yüzyılın ortalarında İrlandalı tuğla imalatçısı Alexander Mitchell (1780-1868) tarafından sığ deniz koşullarında deniz feneri temellerinin desteklenmesi amacıyla tasarlanmıştır (Lutenegger, 2013). Kazıkları zemine hızlı ve kolayca yerleştirebilmenin sağladığı avantajlar ve yüklemelerin kazık yerleşiminden hemen sonra yapılabilmesi geleneksel inşaat mühendisliği çalışmalarında bu tip kazıkların tercih edilmesini kolaylaştırmıştır (Merifield, 2011).

Helisel kazıkların zemine yerleştirilmesi sırasında hem gerekli ekipman, hem de işçilik son derece ekonomik olup işlemler kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlem kazık şaftına

tork cihazlarında aktarılan burulma momentleri/tork yardımıyla yapılmakta, uygulanan tork vasıtasıyla kazık vida gibi döndürülerek zemin içerisinde istenilen derinliğe yerleştirilmektedir. Yerleşim sırasında kazık şaftı uygulanan torkun transfer edilmesini, helisel plakalar ise kazığın zemin içerisinde ilerlemesini sağlamaktadır.

Helisel kazıkların uygulamalarda birçok avantajından söz etmek mümkündür. Özellikle yüksek kesitli olan kazıklar bile düşey ve açılı olarak zemine kısa sürede yerleştirilebilmektedir. Kazığın yerleştirilebilmesi için ortamdaki suyun tahliyesinin gerekmemesi, basit korozyon önlemleri ile uzun yıllar hizmet verebilmesi, kısıtlı alanlarda küçük ekipmanlar kullanılarak kazıkların yerleştirilebilmesi, ilave şaft elemanlarıyla kazık boyunun arttırılabilmesi, yerleşim sırasında minimum seviyede gürültü ve titreşim oluşması, istenildiğinde yerlerinden sökülerek farklı uygulamalarda kullanılabilmesi ve elemanların hurda değerinin olması bu kazıkların diğer önemli avantajlarıdır.



Şekil 1. Helisel kazığın yapısı ve zemine yerleştirilmesi sırasında gerekli kuvvetler

3. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Helisel kazıklarda eksenel kapasitenin çok önemli bölümü helisel formdaki plakalardan sağlanmaktadır. Eksenel yükleme altında bu tip kazık elemanlarının davranışı incelendiğinde, eksenel çekme kapasitesinin basınç kapasitesine kıyasla daha küçük olduğu literatür çalışmalarında ifade edilmektedir. Sakr (2010) kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde yaptığı çalışmada, helisel kazıkların tipik olarak çekme kapasite değerinin basınç kapasitesinin en az %60-70'i kadar olduğunu ifade etmiştir. Kohezyonsuz zeminlerde helisel kazık davranışını incelediği başka bir çalışmada ise Sakr (2011) kazığın çekme kapasite değerinin basınç kapasitesinin yaklaşık %80'i olduğunu belirlemiştir.

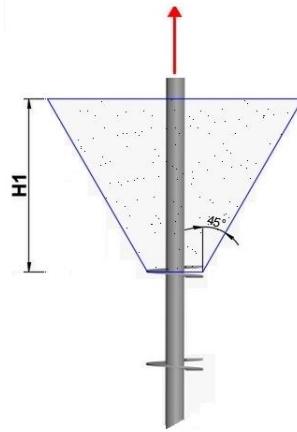
Helisel kazıklarda çekme altında iki farklı yenilme mekanizması görülür. Bunlar yenilmenin gerçekleştiği derinliğe bağlı olarak sığ ve derin yenilme koşullarıdır. Sığ yenilmeye durumunda, kapasitede azalma çok hızlı gerçekleşirken, derin şartlarda dirençte düşüş aniden meydana gelmemektedir. Derin koşul, yüzeye en yakın helisel plakanın plaka çapının en az 6 katı kadar derine gömüldüğünde elde edilmektedir (ECP, 2005). Schiavon ve diğ., (2014) helisel kazık

davranışını fotoelastik metotlarla incelediği çalışmasında bu değer in plaka çapının 5.5 katı olduğunu ifade etmiş, bu koşulda yükleme altında oluşan gerilmelerin helisel plaka çevresinde yoğunlaşmasına rağmen zemin yüzeyine ulaşmadığını belirleyerek bunun derin yenilme davranışı olduğunu ifade etmiştir.

Çekme etkisinde zeminlerdeki deformasyon mekanizmasına bakıldığında, tepe kısmı kesik ters koni şeklinde yenilme geometrisinin oluştuğu yapılan araştırmalarda gözlenmiştir (Şekil 2). Konik yapı, kritik nokta aşıldığında yüzeye en yakın helisel plakanın üzerinde kalan bir kısım zemin bölümünün yüzeye doğru hareket etmesiyle oluşmaktadır. Ghaly ve diğ., (1991)'nin kum zeminde yaptığı çalışmada yenilme geometrisinin kazık yerleşim derinliği, helisel plaka eğim açısı ve kumun karakteristiğine bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Sığ derinlikte yenilme etkisiyle oluşan deformasyonlar zemin yüzeyinde kabarma şeklinde gözlemlenebilmekte, derin koşullarda ise zemin deformasyonu sırasında oluşan kabarma etkisi yüzeyde net olarak görülememektedir. Sığ koşullarda yenilme ile birlikte kazığın çekme direncinde hızlı bir azalma gerçekleşerek sıfıra düşmekte, derin koşullarda ise kapasitede azalış süreci dağılmaktadır.

Helisel kazıklarda çekme direncinin çok önemli bir kısmı helisel plakalardan karşılandığı için yüzeye en yakın helisel plakanın üst bölümünde kalan zemin kütlesi, çekme direncini kontrol eden önemli bir faktördür. Ayrıca kazık elemanın gömülme derinliği arttıkça plaka üzerinde yer alan konik zemin yapısının boyutu büyümekte, plaka ve zemin yüzeyi arasındaki mesafe (H_1) içerisinde kalan zemin, helisel plakanın üst yüzeyinde düşey yönlü tepki oluşturarak elemanın yukarı yönlü hareketini daha fazla engellemektedir. İki helisel plaka kullanılması durumunda ise yüzeye en yakın helisel plakanın derindeki ikinci plakaya kıyasla çekme direncine katkısı daha yüksektir ve çekme direncinin önemi kısmı yüzeye yakın plakadan karşılanmaktadır.



Şekil 2. Konik yenilme yüzeyi (Perko, 2009)

Helisel kazıklarda çekme direncini kazık geometrisi ve zemine bağlı birçok faktör etkilemektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde çekme direncine etki eden parametrelerin kazık gömülme oranı (H_1/D_h), plakalar arası boşluk oranı (s/D_h), kazık uzunluğu, çap oranı (D_h/D_s), helisel plakaların gömülme derinliği, zeminin mukavemeti, zeminin birim hacim ağırlığı, zeminin içsel sürünme açısı, zeminin rölatif yoğunluğu, şaft geometrisi, helisel plaka sayısı, plaka çapı ve çekme yükünün kazığa etkiye açısına bağlı olduğu belirlenmiştir.

Niroumand ve diğ., (2012), helisel kazığın çekme direncinde H_1/D_h oranı, zeminin karakteristiği ve yoğunluğu, kazık gövde çapı, kazık boyu ve çekme yükünün kazığa etkiye açısının önemli parametreler olduğunu, bunlar arasından kum zeminlerde yerleştirilen kazıklar için H_1/D_h oranı ve zeminin rölatif sıklığının en önemlileri olduğunu belirlemiştir. Likhitha ve Ramesh (2016) siltli zeminlerde helisel kazıkların çekme davranışını laboratuvarında incelediği çalışmada, çekme direncinin kazık boyu ile kazık gövde çapı arasındaki oran arttıkça yükseldiğini ve daha büyük helisel plaka çapı kullanıldığında daha yüksek çekme dirençlerinin elde edildiğini belirlemiştir. Ayrıca kullanılan helisel plakaların, plakasız düz kazıklara kıyasla daha yüksek çekme dirençleri oluşturduğunu ve oluşan zemin deplasmanlarının helisel plaka çapı tarafından kontrol edildiğini söylemiştir. Rawat ve Gupta (2017) helisel kazık davranışını Plaxis sonlu elemanlar programı kullanarak incelemiş, helisel plaka sayısının artması ve daha büyük çapta helisel plaka kullanılmasının eksenel çekme kapasitesini artırdığını, s/D_h ve D_h/D_s oranları büyüdükçe kazığın çekme direncinin kritik noktaya kadar yükseldiğini ve plakalar arasındaki mesafenin çekme direncini önemli derecede etkilediğini belirlemiştir. Garakani ve Maleki (2020) sonlu elemanlar analizlerinde çekme altında kazık elemanın gövde uzunluğunu artırdıkça kumlu ve killi zeminlerde aynı deplasmanın daha büyük çekme yükleri altında görüldüğünü belirlemiştir.

4.TORK KORELASYON METODU

Helisel kazıklarda, eksenel çekme kapasitesinin belirlenebilmesi için teorik metotlar, arazi tam ölçekli çekme testleri ve tork korelasyon metodu kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında bu metotlar arasından tork korelasyon metodu iki helisel plakalı kazıklar için incelenecektir.

Uygulanan tork ve eksenel kuvvet altında kazığın döndürülerek zemine yerleştirildiği yöntem helisel kazıkların önemli bir özelliğidir (Hambleton ve diğ., 2014). Bu yöntemle kazık elemanı hızlı bir şekilde zemine yerleştirilip, yerleşim sırasında zemin örselenmesi minimize olmaktadır (Likhitha ve diğ., 2017). Ancak kazık elemanlarının çelikten üretilmiş olması, elemanın zemine yerleştirilmesi sırasında uygulanabilecek maksimum torku sınırlandırmaktadır. Uygulanabilecek maksimum burulma momenti malzemenin tork kapasitesini aştığında kazığın deforme olması kaçınılmaz bir durumdur. Bu nedenle kazığın yapısal bütünlüğünün bozulmadan zemine yerleştirilebilmesi için kazık gövdesine aktarılan torkların belirli aralıklarla ölçülmesi gerekmektedir.

Ölçülen tork verileri ve çekme testlerinden elde edilen kapasite değerlerinden yararlanılarak çekme direncinin tahmin edilebileceği tork korelasyon metodu geliştirilmiştir. Tork korelasyon metodu, pratik ve ekonomik bir metottur. Bu metot kullanılarak hesaplanan kapasite değerleri, tüm metotlarda olduğu gibi tam ölçekli çekme testlerinin yerini tutmasa da özellikle yerleşim sırasında kazık kapasitesinin yaklaşık olarak tahmin edilebilmesinde oldukça faydalı bir metottur. Tek başına kapasite hesaplarında kullanılabileceği gibi farklı metotlar ile hesaplanan kapasite değerlerinin karşılaştırılması amacıyla da kullanılabilen oldukça pratik bir metottur.

Tork korelasyon metodu kullanılarak eksenel çekme kapasitesi bağıntısı ilk defa A.B.Chance Şirketi (1977) tarafından önerilmiş ve çekme kapasitesinin kazık yerleşim torkunun doğrudan 2.44 katı alınarak belirlenmesi önerilmiştir (Denklem 1)(Ghaly vd., 1991). Ancak daha sonraki

yıllarda Hoyt ve Clemence (1989) 91 adet kazık elemanı kullanarak 24 farklı uygulama alanında kumlu, siltli ve killi zeminleri temsil edecek koşullarda, üzerinde 2 ile 14 arasında değişen sayıda helisel plaka bulunan, düşeyle yaptığı açı 0-50° arasında değişen kazık ve ankraj elemanlarına ait kapasite ve tork verilerini kullanarak yaptığı çalışmada, daha önce önerilen bağıntıyı güncellemişlerdir (Denklemler 2). Kazığın çekme kapasitesini uygulanan torkun doğrudan 2.44 katına eşitlemek yerine kullanıcı tarafından ve kazık geometrisinin de dikkate alınarak belirlenebileceği K_T katsayısını önermişlerdir. Önerilen katsayılar; tüm kare gövde kesitli kazıklar ve çapı <89 mm olan daire gövde kesitli kazıklar için 33 m^{-1} , daire gövde kesitli ve çapı 89 mm olan kazıklar için 23 m^{-1} , daire gövde kesitli ve çapı 219 mm olan ilave kazık şaftı için 9.8 m^{-1} 'dir.

Bu konuda Perko (2009) tarafından yapılan başka bir çalışma da mevcuttur. Perko helisel kazıklar üzerine yazdığı kitabında K_T katsayılarının çekmede basınca göre ortalama %10 daha küçük olduğunu söylemiştir. 98 adet kare ve daire gövde kesitli, farklı sayıda helisel plakaya sahip kazıklardan oluşan veri setinden yararlanarak K_T katsayısını efektif kazık gövde çapına (d_{eff}) bağlı incelemiştir. Önerdiği katsayılar; d_{eff} değeri 54 mm olan kazıklar için 35 m^{-1} , 63 mm olan kazıklar için 30 m^{-1} , 73 mm olan kazıklar için 26 m^{-1} , 76 mm olan kazıklar için 25 m^{-1} , 89 mm olan kazıklar için 21 m^{-1} , 114 mm olan kazıklar için 16 m^{-1} , 152 mm olan kazıklar için 12 m^{-1} , 203 mm olan kazıklar için 9 m^{-1} , 254 mm olan kazıklar için 7 m^{-1} 'dir.

$$Q_{\text{ult}} = 2.44 T \quad 1$$

$$Q_{\text{ult}} = K_T T \quad 2$$

Tork korelasyon metodu bağıntılarında T parametresi, kazığın yerleştirilmesi sırasında son gömülme derinliklerine uygulanan tork değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Hoyt ve Clemence (1989) kazık üzerinde bulunan en büyük helisel plaka çapının üç katı mesafeye denk gelen son gömülme derinliklerinde uygulanan torkun ortalama değerinin kullanılmasını önermiştir.

Yerleşim torku ile kazığın çekme kapasitesi arasında doğrudan ilişki bulunmakta, ölçülen yerleşim torku büyüdükçe kazık elemanı daha büyük çekme direncine ulaşmaktadır. Kazığın istenilen derinliğe yerleştirilmesi için gereken tork büyüdüğü durumda da kullanılması gereken K_T katsayısının değeri küçülmektedir. Kazığın çekme direnci, helisel plakaların gömülme derinliği arttıkça yükselmektedir. Derinlik arttıkça kazığın zemine yerleştirilmesi sırasında zemin-kazık arasındaki temas alanı artmakta ve oluşan zemin direncinin aşılması için uygulanması gereken tork yükselmektedir. Ghaly vd., (1991) yerleşim torkunun plaka geometrisi, kazık yerleşim derinliği ve zemin mukavemetinden etkilendiğini, zeminin mukavemeti ve/veya kazık gömülme derinliği arttıkça daha yüksek torkların kazığa uygulanması gerektiğini ifade etmiştir. Helisel plaka eğim açısının da kazığın yerleşim torkunu belirleyen bir parametre olduğunu, yerleşim sırasında son derinliklerde uygulanan burulma momentlerinin çekme direncinin tahmininde iyi bir gösterge olduğunu ifade etmiştir.

5. YÖNTEM

Bu çalışmada sadece iki helisel plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı K_T katsayılarını sadece kazık gövde çapına bağlı seçmenin dışında kazığın yerleştirildiği tork ve kazık gövde kesit tipinin de dikkate alınarak incelenmesidir. Aynı zamanda kazığın yerleştirildiği zemin grubunun K_T üzerinde çok büyük değişim oluşturup oluşturmadığı da kullanılan verilerden yararlanılarak belirlenmeye çalışılacaktır.

Çalışmada sadece daire gövde kesitli kazıkların seçilmesinin nedeni kazık gövde kesit tipinin kazık yerleşimi sırasında uygulanan tork üzerinde etkili olmasıdır. Kare gövde kesitli kazıkların yerleştirilmesi sırasında zemin ile temas eden gövde yüzey alanı, daire gövde kesitli kazıklara kıyasla daha küçük olması nedeniyle kare gövde kesitli kazıkların daire gövde kesitli kazıklara kıyasla daha küçük torklarda zemine yerleştirildiği belirlenmiştir. Bu nedenle çalışma kapsamında sadece tek bir kazık gövde kesit tipi seçilmiştir. Kazık üzerinde bulunan helisel plaka sayısı da kazık yerleşim tokunu etkileyen diğer bir parametredir. Bu nedenle çalışma kapsamında plaka sayısı da sınırlandırılmış ve sadece 2 plakalı kazıklar kullanılmıştır.

Bu amaçla literatür çalışmalarında yayımlanmış helisel kazık yükleme test sonuçları kullanılarak oluşturulmuş veri havuzundan, sadece düşey yerleştirilmiş, iki helisel plakalı, daire gövde kestli ve üzerinde eksenel çekme testi yapılan kazıklara ait veriler kullanılmıştır (Tablo 1). Toplamda kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiş 36 adet kazık verisi kullanılmış olup, veriler Zhang (1999), Tappenden ve Sego (2007), Perko (2009), Sakr (2010), Sakr (2011a), Sakr (2011b), Sakr (2012), Ruberti (2015)'nin çalışmalardan alınmıştır. Her bir kazığa ait K_T katsayısı dikkate alınarak, kazık gövde çapı ve yerleşim torkuna bağlı katsayılar analiz edilmiş, dağılım grafikleri üzerinden bağıntılar geliştirilmiştir.

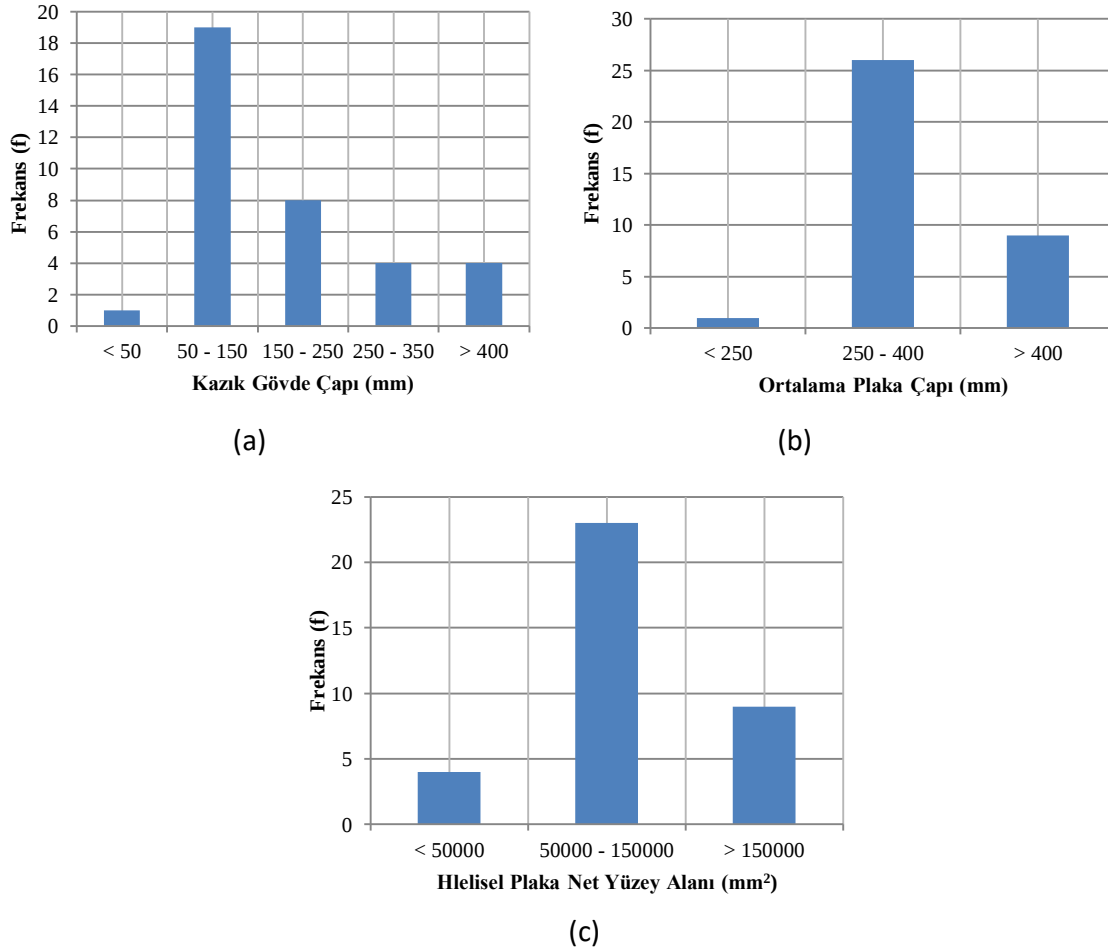
Tablo 1. Çalışma kapsamında kullanılan veriler

Referans	Kohezyonsuz Zemin	Kohezyonlu Zemin
Zhang (1999)	1	1
Tappenden ve Sego (2007)	1	2
Perko (2009)	7	7
Sakr (2010)	1	-
Sakr (2011a)	3	-
Sakr (2011b)	1	-
Sakr (2012)	-	3
Ruberti (2015)	-	9

6. BULGULAR

Analizlerde kullanılan 36 adet kazıktan 14 tanesi kohezyonsuz, 22 tanesi ise kohezyonlu zemine yerleştirilmiştir. Kullanılan kazıklarda en büyük gövde çapı 406 mm, en küçük 31.75 mm'dir. Gövde çapına bağlı histogram grafiği Şekil 3(a)'da verilmiştir. Kazık üzerinde bulunan helisel plakaların ortalama çapı en büyük 813 mm, en küçük 228.6 mm'dir. Helisel plakaların ortalama çapına göre kazıklar incelendiğinde Şekil 3(b)'de verilen histogram grafiği elde edilmiştir. Helisel plakaların net yüzey alanı çekme direncini belirleyen önemli bir

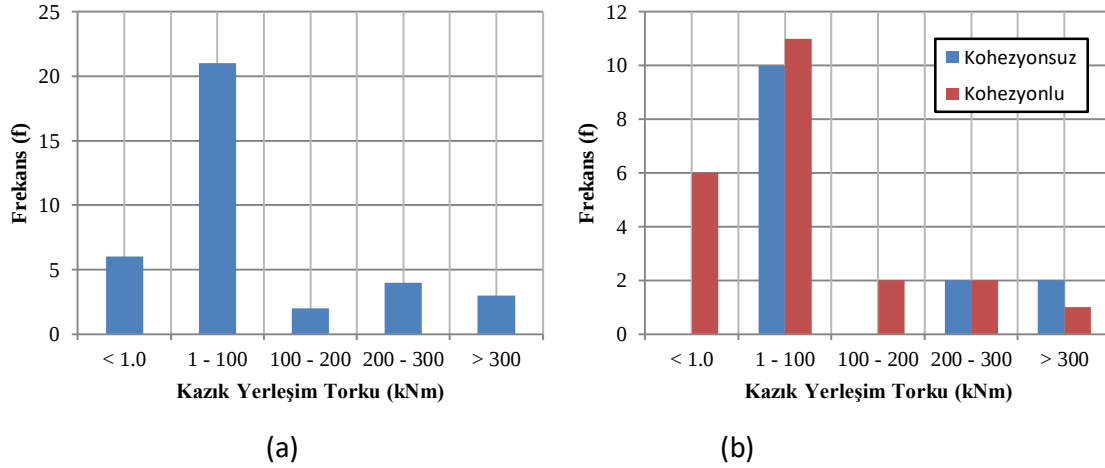
parametredir. Kullanılan helisel plakalar 40250-418400 mm² arasında değişen net yüzey alanına sahiptir (Şekil 3(c)).



Şekil 3. Kazıkların geometrik özelliklerine ait histogram grafikleri

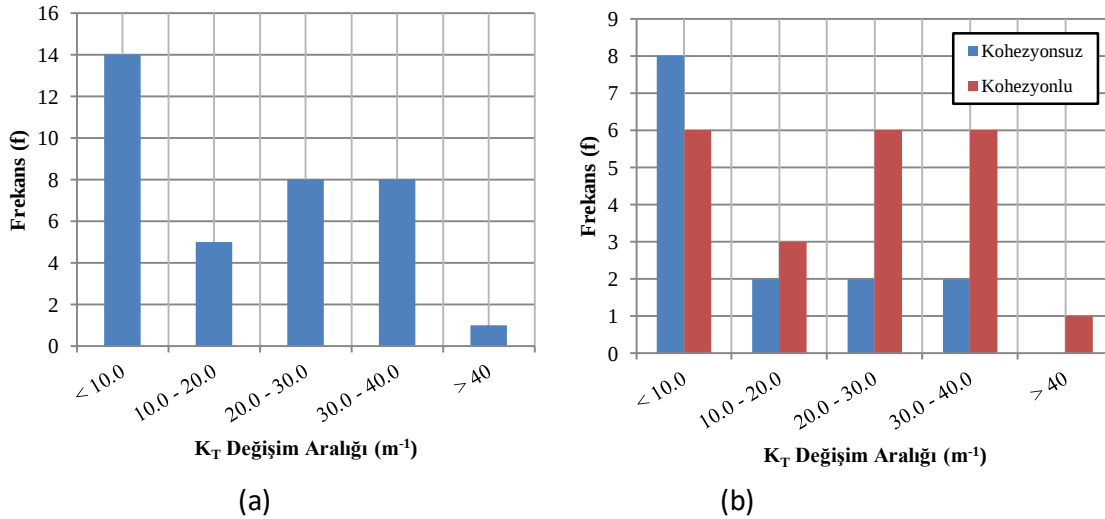
Kazığın çekme direnci kullanılan helisel plaka çapı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Üzerinde daha büyük çapta helisel plaka bulunan kazıkların daha yüksek çekme direncine sahip olduğu literatür çalışmalarında ifade edilmektedir. Bunun nedeni kullanılan daha büyük plaka çapı ile helisel plakanın net yüzey alanı arttırıldıkça, çekme etkisinde plaka yüzeyinde daha büyük düşey yönlü zemin dirençlerinin oluşmasıdır. Ayrıca plaka yüzey alanının artması zemin direncinin aşılması ve kazık elemanının zemine yerleştirilmesi için gerekli torku da yükseltmektedir. Bunun yanı sıra kazık gövde çapı da yüzey alanıyla ilişkili olarak yerleşim torkunu artıran veya azaltan bir faktördür.

Kazık verileri incelendiğinde helisel plaka çapı ve gövde kesiti daha büyük kazıkların daha yüksek torklarda yerleştirildiği, daha yüksek tork ile yerleştirilen kazıkların da daha yüksek çekme direncine sahip olduğu görülmüştür. Kazıkların yerleştirildiği tork değerleri incelendiğinde kazık yerleşim torklarının 0.4-338.3 kNm arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4).



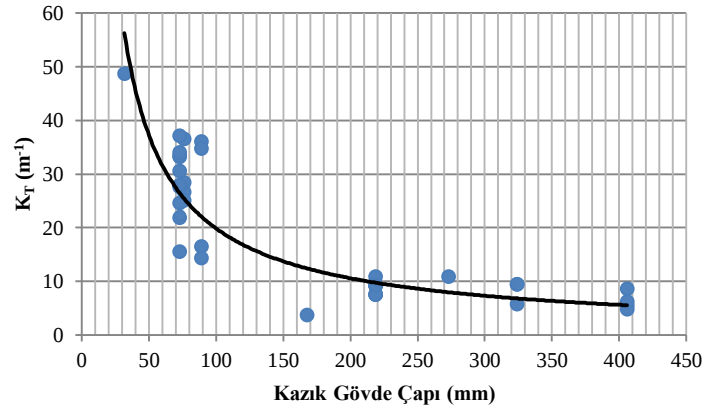
Şekil 4. Kazık yerleşim tork verilerine ait histogram grafikleri

Kazıklara ait K_T katsayıları incelendiğinde K_T değerlerinin en büyük 48.6 m^{-1} , en küçük 3.7 m^{-1} olduğu görülmüştür. Kazıkların yerleştirildiği zemin grubu dikkate alındığında kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklara ait K_T katsayılarının kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklara kıyasla daha büyük olduğu belirlenmiştir. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıklar için en büyük K_T katsayısı 37.1 m^{-1} , en küçük 3.7 m^{-1} iken kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar için en büyük 48.6 m^{-1} , en küçük 4.8 m^{-1} 'dir. K_T katsayılarının değişim aralığı dikkate alındığında elde edilen histogram grafikleri Şekil 5'de verilmiştir. Ancak K_T katsayıları zemin grubuna göre incelendiğinde değerlerin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. İleriki çalışmalarda kullanılan veri sayısı artırılırsa zemin grubuna göre K_T katsayıları arasındaki farklılıklar daha net görülebilir.

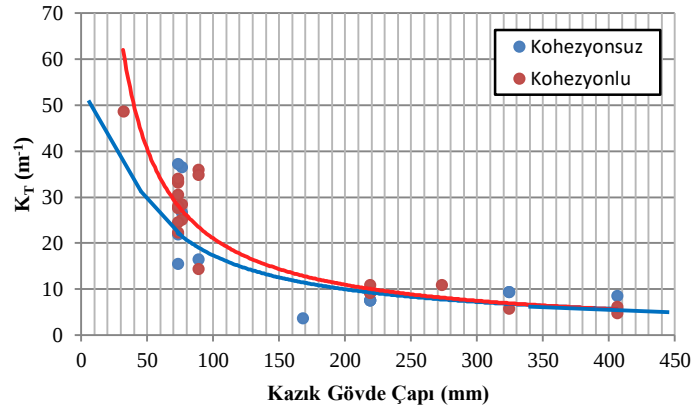
Şekil 5. K_T katsayılarına ait histogram grafikleri

En son aşamada ise K_T katsayıları kazık gövde çapı ve kazık yerleşim torkuna bağlı dağılım grafikleri üzerinden incelenmiş, kazık gövde çapı ve torka bağlı bağıntılar geliştirilmiştir. Elde edilen dağılım grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Dağılım grafiklerinden de görüleceği gibi kazık gövde çapı büyüdükçe K_T katsayısının değeri küçülmekte, daha küçük gövde çapına sahip kazıklar için daha büyük K_T katsayılarının seçilmesi gerekmektedir. Ancak katsayılar

zemin grubuna bağlı incelendiğinde aralarında çok büyük farklılıkların elde edilemediği görülmüştür.

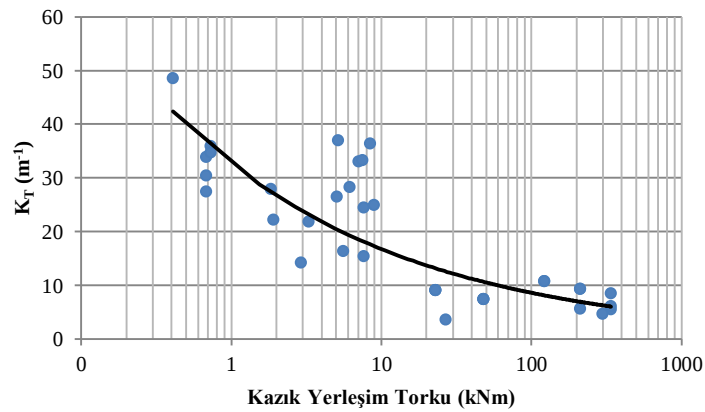


(a)

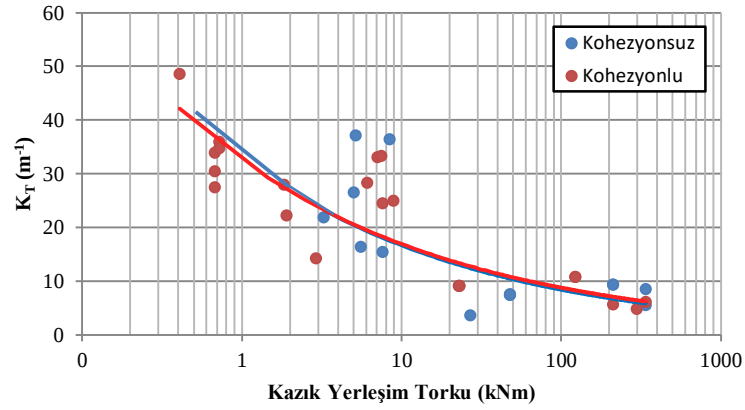


(b)

Şekil 6. K_T katsayılarının kazık gövde çapına bağlı dağılımı; a)genel, b)zemin grubu



(a)



(b)

Şekil 7. K_T katsayısının yerleşim torkuna bağlı dağılımı; a)genel, b)zemin grubu

Elde edilen dağılım grafikleri üzerinden uygun eğriler geçirilerek elde edilen bağıntılar Tablo 2 'de verilmiştir.

Tablo 2. K_T katsayısı için geliştirilen denklemler

Bağıntı	r ²	Zemin Tipi
1296.2 d ^{-0.91}	0.792	Genel
32.7 T ^{-0.29}	0.704	
1607.9 d ^{-0.94}	0.902	Kohezyonlu zemin
32.6 T ^{-0.29}	0.787	
676.3 d ^{-0.80}	0.612	Kohezyonsuz zemin
33.1 T ^{-0.30}	0.510	
d: kazık gövde çapı (mm), T: kazık yerleştirilme torku (kNm)		

7.Sonuçlar

- 1.Helisel kazıkların çekme direnci üzerinde zemin yüzeyine en yakın helisel plaka ve plaka üzerinde kalan zemin kütlelerinin karakteristiği önemlidir.
2. H_1/D_h oranı, kazık gövde çapı, çekme yükünün helisel kazığa etkime açısı, kazık elemanı üzerinde kullanılan plaka sayısı, kullanılan helisel plaka çapı, iki helisel plaka arasındaki mesafe, s/D_h oranı, D_h/D_s oranı ve kazık gövde uzunluğunun çekme direncini etkileyen parametreler olduğu literatür çalışmaları incelenerek belirlenmiştir.
- 3.Kazık elemanın çekme kapasitesi için yerleşim torku iyi bir göstergedir.
- 4.Tork korelasyon metodu kullanılarak pratik bir şekilde çekme direnci tahmin edilebilmektedir. Bu metot ile hesaplanan çekme kapasitesi, diğer metotlarla hesaplanan kapasite değerlerinin karşılaştırılması amacıyla da kullanılabilir. Bu nedenle pratik ve ekonomik bir metottur.
- 5.Yüksek torklarda yerleştirilen iki helisel plakalı kazıklar için daha küçük K_T katsayısı seçilmelidir.
- 6.İki helisel plakalı kazıklarda kullanılan plaka çapı ve buna bağlı olarak plakaların net yüzey alanı arttıkça kazık yerleşim torku yükselmektedir. Bu durumda seçilmesi gereken K_T katsayısının değeri küçülmektedir.
- 7.İki plakalı kazıklarda kullanılan kazık gövde çapı büyüdükçe K_T katsayısı küçülmektedir.

8.Kazığın yerleştirildiği zemin grubuna göre K_T katsayıları incelendiğinde bu çalışma kapsamında önemli farklılıklar elde edilememiştir. İleriki çalışmalarda veri sayısı artırılarak zemin grubuna göre K_T katsayıları arasında olabilecek farklılıklar ortaya konulabilir.

Semboller

D_h : Helisel plaka çapı (mm),

d_s : Kazık gövde çapı (mm),

H_1 : Yüzeye en yakın helisel plakanın gömülme derinliği (m),

K_T : Tork korelasyon katsayısı (m^{-1})

N : Kazığın yerleştirilmesi sırasında kazığı zemine bastıran düşey kuvvet (kN),

Q_{ult} : Helisel kazığın çekme kapasitesi (kN)

s : İki helisel plaka arasındaki mesafe (m).

T : Kazık yerleştirilme torku (kNm),

Kaynaklar

- [1]ECP (2005), Utility Industry Anchor Design and Maintenance Manual, Basic Helical Screw Pile Desing, Earth Contact Product, Texas.
- [2]Garakani, A. A., & Maleki, J. (2020). Load Capacity of Helical Piles with Different Geometrical Aspects in Sandy and Clayey Soils: A Numerical Study, Latest Advancements in Underground Structures and Geological Engineering (1st ed.). Springer Nature Switzerland AG.
- [3]Ghaly A., Hanna A. Hanna M. (1991), Installation Tork of Screw Anchors in Dry Sand, Soils and Foundations, Soils and Foundations, 31(2), 77-92.
- [4]Hambleton J.P., Stanier S.A., Gaudin C., Todeshejoei K. (2014), Analysis of Installation Forces for Helical Piles in Clay, Australian Geomechanics Journal, 49(4), 73-79.
- [5]Hoyt R.M., Clemence S.P. (1989), Uplift Capacity of Helical Anchors in Soil, 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundationl Engineering, Rio De Jenerio, Brazil, August 13-18.
- [6]Likhitha H., Ramesh B.R. (2016), The Experimental Study on Uplift Bearing Capacity of Helical Piles in Silty Deposits, International Journal of Engineering Technology Science and Research, 5(6), 9363-9369.
- [7]Likhitha H., Raghavendra H.N., Rakesh K. P., Uday, S. P. (2017). The Compression Capacity of Helical Piles in Black Cotton Soil. International Journal of Engineering Technology Science and Research, 6(7), 12666-12673.
- [8]Lutenegger A. J., Historical Application of Screw-Piles and Screw-Cylinder Foundations for 19th Century Ocean Piers. Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering and Symposium in Honor of Clyde Baker, Chicago, April 29-May 4.
- [9]Merifield R. S. (2011). Ultimate Uplift Capacity of Multiplate Helical Type Anchors in Clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(7), 704–716.
- [10]Niroumand H., Kassim K. A., Ghafooripour A., Nazir R., Chuan H. S. (2012). Performance of Helical Anchors in Sand. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 17(2012), 2683–2702.
- [11]Perko H.A. (2009), Helical Piles A Practical Guide to Design and Installation, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [12]Rawat S., Gupta A. K. (2017), Numerical Modelling of Pullout of Helical Soil Nail, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 9(4), 648–658.

- [13]Ruberti M.N. (2015), Investigation of Installation Torque and Torque-to-Capacity Relationship of Screw - Piles and Helical Anchors”, Master of Science, University of Massachusetts.
- [14]Sakr M. (2010), High Capacity Helical Piles - A New Dimension for Bridge Foundations, Proceedings of 8th International Conference on Short and Medium Span Bridges, Niagara Falls, August 3-6.
- [15]Sakr M. (2011), Helical Piles - An Effective Foundation System for Solar Plants”, 64th Canadian Geotechnical Conference and Pan-AM CGS Geotechnical Conference, Toronto, October 2-6.
- [16]Sakr M. (2011), Installation and Performance Characteristics of High Capacity Helical Piles in Cohesionless Soils, DFI Journal, 5(1), 39-57.
- [17]Sakr, M. (2012). Installation and Performance Characteristics of High Capacity Helical Piles in Cohesive Soils, The Journal of the Deep Foundations Institute, 6(1), 41–57.
- [18]Schiavon J.A., Tsuha C.H.C., Esquivel E.R. (2014). Experimental Stress Analysis in Helical Pile Foundations by the Photoelastic Method, Physical Modelling in Geotechnics - Proceedings of the 8th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, January 14-17.
- [19]Tappenden K., Sego D. (2007), Predicting the Axial Capacity of Screw Piles Installed in Canadian Soils, the Diamond Jubilee: 60th Geotechnical Conference, Ottawa, October 21-25.
- [20]Zhang, D.J.Y. (1999), Predicting Capacity of Helical Screw Piles in Alberta Soils, Master of Science, University of Alberta.

