

THE EFFECT OF PILE SURFACE ROUGHNESS ON UPLIFT CAPACITY OF PILE

A. DEMİR

Res. Assist.

M. LAMAN

Prof. Dr.

A. YILDIZ

Assist. Prof. Dr.

M. ÖRNEK

Res. Assist.

Cukurova University The Faculty of Engineering And Architecture,
Civil Engineering Department, Adana, TURKEY

ABSTRACT

In the present study, uplift capacity of pile foundations embedded in sandy soils was investigated using laboratory model tests. Experimental study consists measurement of ultimate uplift capacity under tractive loads of small scale pile foundations embedded in sandy soils. In laboratory model tests, the change of ultimate uplift capacity of pile foundations which depend on sand density, embedment ratio (L/D) and the friction level of interface between sand-pile was studied. Laboratory model tests were carried out in Cukurova University, Civil Engineering Department, Geotechnics Laboratory, using square shaped metal box. Sands were placed by layers in the box with two different densities. During tests, a metal pile with 17mm diameter was used as a pile foundation. During uplift tests vertical displacements that occurred on the center of pile foundation were measured by displacement transducers, and uplift force was measured by load cells. After laboratory tests, it was seen that uplift capacity of pile foundations increases significantly with the friction level of interface between sand and pile and embedment ratio (L/D).

KAZIK YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN KAZIK ÇEKME KAPASİTESİNE ETKİSİ

A. DEMİR
Arş. Gör.

M. LAMAN
Prof. Dr.

A. YILDIZ
Yrd. Doç. Dr.

M. ÖRNEK
Arş. Gör.

Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Adana, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, kum zeminlere inşa edilen kazık temellerin çekme kapasitesi laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneysel çalışma, kum zeminlere gömülü model kazık temellerin çekme yükü altındaki nihai çekme kapasitelerinin ölçülmesini içermektedir. Model deneylerde, kazık temellerin nihai çekme kapasitesinin, kum sıkılığına ve gömülme oranı (L/D)'ye bağlı olarak kum-kazık arasında kalan ara yüzeyin sürtünme derecesi ile olan değişimi araştırılmıştır. Model deneyler, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kazık temel olarak 17mm çapında metal kazık kullanılmıştır. Çekme deneyleri sırasında kazık temel merkezinde meydana gelen düşey yer değiştirmeler deplasman ölçerler yardımıyla, çekme yükleri ise yük hücresi ile ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar sonunda, kazık temellerin çekme kapasitesinin yüzey pürüzlülüğü ve gömülme oranı (L/D) ile önemli mertebede arttığı görülmüştür.

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeye paralel olarak, yüksek ve özellikli yapıların inşa edilebilir olması ile temel sistemlerinin çok daha dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Bu tip yapılarda, yapıdan zemine aktarılacak yüklerin çok büyük değerlere ulaşması nedeniyle, çoğu zaman yüzeysel temeller ile temel sisteminin çözümü mümkün olmamakta ve böyle durumlarda kazık temel sisteminin seçilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Kazık temeller genellikle basınç yükleri altında çalışırlar. Bazı durumlarda da çekme kuvvetine maruz kalmaktadırlar. Bu durum özellikle yüksek gerilim hatları, haberleşme kuleleri (radyo ve televizyon kuleleri vb.), fabrika bacaları, deniz platformları (deniz yüzeyinde inşa edilen rıhtım yapıları, su altındaki platformlar, dalgakıran vb. yapılar), otoban ve demiryollarındaki işaret levhaları, reklam panolarını taşıyan direkler ve boru hatları gibi özel yapıların tasarımını yakından ilgilendirmektedir. Bu tür yapıların temelleri, suyun kaldırma kuvveti, kablo yükleri ya da rüzgar kuvveti gibi dış etkilere dolaylı olarak çekme kuvvetlerine maruz kaldığından çekme kapasitesi yönünden de irdelenmelidir.

Kulhawy vd. (1987) doğal zemin ile dolgunun sıkışma derecesinin, kazık çekme kapasitesi üzerindeki etkisini laboratuvar model deneyleri yaparak araştırmışlardır. Bu çalışmada, farklı sıklıkta hazırladıkları kum zeminde oluşan göçme mekanizmasını gömülme oranına bağlı olarak incelemişlerdir.

Chattopadhyay ve Pise (1986) yapmış oldukları çalışmada, kum zemin içerisine gömülü dairesel kesitli kazıkların nihai çekme kapasitesini hesaplamak için analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu analitik yöntemde, zemin içerisindeki yenilme yüzeyinin eğrisel olduğu varsayılarak, dairesel kazığın net çekme kapasitesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilmiştir.

$$P_u(\text{Net}) = A_1 \times \pi \times D \times L^2 \quad (1)$$

Burada $P_u(\text{Net})$ kazık net çekme kapasitesini, A_1 kazık net çekme kapasitesi faktörünü, D kazık çapını, L ise, kazık gömülme derinliğini ifade etmektedir.

Das (1986) suya doymuş orta ve sıkı kum zemin içerisine gömülü tekil ve grup metal kazıkların nihai çekme kapasitelerini belirlemek için laboratuvar model deneyleri yapmıştır. Ayrıca, deney sonuçlarını mevcut teorilerle de karşılaştırmıştır. Sonuçta tekil bir kazığın nihai çekme kapasitesini aşağıdaki denklemle ifade etmiştir.

$$Q_u = Q_o + W \quad (2)$$

Bu ifadedeki Q_u kazık nihai çekme kapasitesini, Q_o kazık net çekme kapasitesini, W ise, kazık ağırlığını ifade etmektedir.

Dickin ve Leung (1990) laboratuvarında yapmış oldukları santrifüj deneylerde, kum zemine gömülü geniş tabanlı kazıkların çekme davranışı üzerinde gömülme oranı, kazık taban çapı ve kum sıklığının etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca, karşılaştırma yapmak amacıyla düz

kazıklar üzerinde de deneyler yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, çan şeklindeki kazıkların çekme kapasitesinin, kazığın gömülme oranı ve kum sıkılığından önemli derecede etkilendiği gözlenmiştir. Yine, Dickin ve Leung (1992) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, kum zemin içerisine gömülü geniş tabanlı kazıkların çekme kapasitesi üzerinde kazık gövde çapının taban çapına oranı ve kazık taban açısının etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta, çap oranındaki ve kazık taban açısındaki artışın, kazığın net çekme kapasitesinde ve yenilme anındaki yer değiştirmesinde bir azalmaya sebep olduğu ifade edilmiştir.

Ilamparuthi ve Dickin (2001) model kazık ile kum arasındaki kenetlenmeyi artırmak için kazık çevresine yerleştirilen iri daneli malzemenin kazığın çekme davranışı üzerindeki etkisini ayrıntılı bir şekilde araştırmışlardır.

Dash ve Pise (2003) kazık temelin çekme kapasitesinin özellikle kazık ile zemin arasındaki yüzey sürtünmesine bağlı olduğunu ve model deneylerde, kum sıkılığının, gömülme oranının ve ilave basınç yüklerinin kazık çekme kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Shanker ve Ark. (2007) kum içerisine gömülü kazıkların çekme kapasitesinin hesabı için, basit yarı-amprik bir analitik model geliştirmişlerdir. Yapmış oldukları analizlerde, zeminin birim hacim ağırlığı (γ), zemin-kazık arayüzey sürtünme açısı (δ) zeminin sürtünme açısı (ϕ) ve kazık uzunluğu (L) ve kazık çapı (d) gibi bir takım kazık ve zemin parametrelerinin kazığın çekme kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, ilk olarak literatürde yapılmış deneysel veriler toplanmış ve ayrıca mevcut araştırmanın bir parçası olarak model deneyler de yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, kum içerisine gömülü kazıkların çekme kapasitesinin hesabı için ileri sürülen analitik model sonuçlarının, model kazık deney sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

$$P_u = \frac{C_1}{2} \times L^2 + \frac{C_2}{6} \times L^3$$

$$P_{nu} = P_u - \frac{\pi \times d^2}{4} \times L \times \gamma \quad (3)$$

Bu ifadedeki P_{nu} kazık net çekme kapasitesini, P_u kazık nihai çekme kapasitesini, C_1 ve C_2 integral sabitlerini ifade etmektedir.

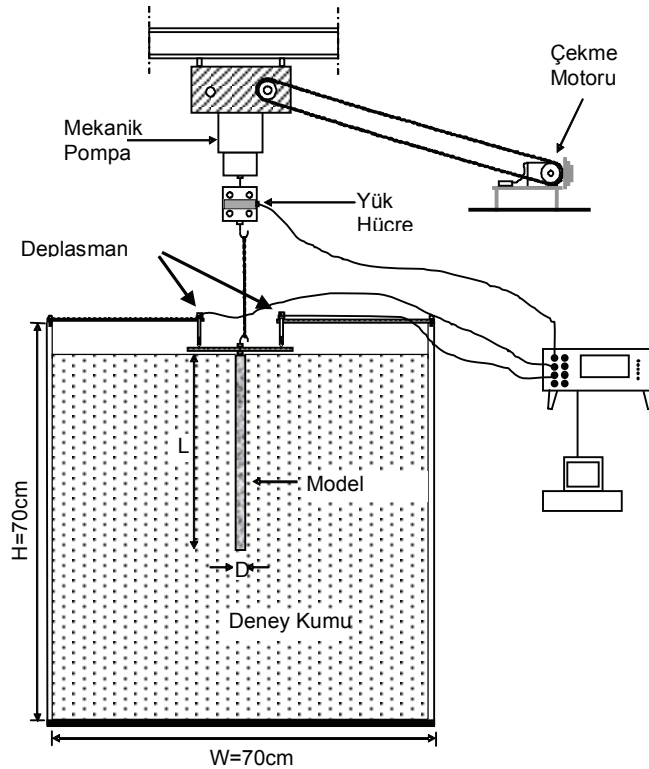
Bu çalışmada, kum zeminlere inşa edilen kazık temellerin çekme kapasitesi laboratuvar ortamında model deneyler yapılarak araştırılmıştır. Deneysel çalışma, kum zeminlere gömülü model kazık temellerin çekme yükü altındaki nihai çekme kapasitelerinin ölçülmesini içermektedir. Model deneylerde, kazık temellerin nihai çekme kapasitesinin, kum sıkılığına

ve gömülme oranı L/D 'ye bağılı olarak kum-kazık arasında kalan ara yüzeyin sürtünme derecesi ile olan değişimi araştırılmıştır.

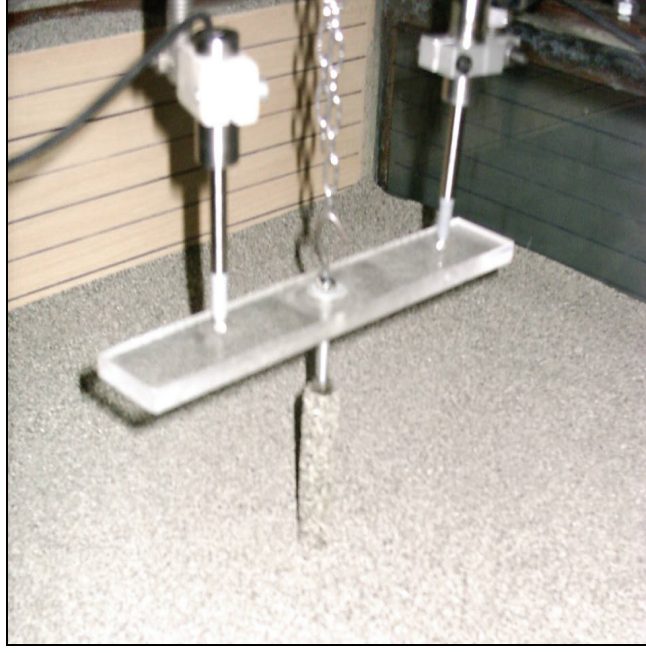
DENEYSEL ÇALIŞMA

Model deneyler, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında kare kesitli bir kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Deneylerde, kazık temel olarak 17mm çapında hem pürüzlü hem de pürüzsüz metal kazık kullanılmıştır. Kazık yüzey pürüzlülüğü, epoksi yapıştırıcısı ile kum daneleri kazık yüzeyine tutturularak sağlanmıştır. Çekme deneyleri sırasında kazık temel merkezinde meydana gelen düşey yer değiştirmeler deplasman ölçerler yardımıyla, çekme yükleri ise, yük hücresi ile ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan yükleme sistemi, laboratuvarında mevcut yükleme çerçevesine, 45 kN kapasiteli mekanik krika monte edilerek oluşturulmuştur. Deney sırasında kazık temele uygulanan yük değerlerini okumak için ESİT firması tarafından imal edilen 100 kg kapasiteli yük halkası kullanılmıştır. Çekme nedeniyle model kazık temelinde meydana gelen düşey deplasmanları ölçmek için ELE firması tarafından üretilen 0.0-9.9mm arasında okuma alabilen deplasman ölçerler (transducerler) kullanılmıştır (Şekil 2). Deneylere başlamadan önce yük halkası ve deplasman ölçerlerin kalibrasyonları yapılmıştır. Yük ve deplasman okumaları, 8 kanal girişli ADU (Autonomous Data Acquisition Unit) data logger cihazı yardımıyla sayısal değerlere dönüştürülerek bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzenneği

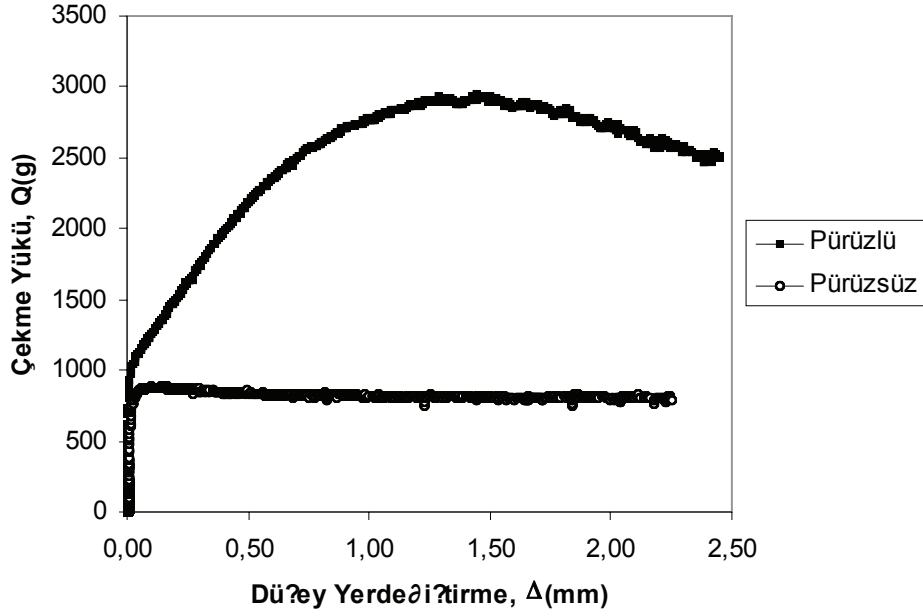


Şekil 2. Düşey deplasman transducerleri

Deneylerde öncelikle model kazık, deney kasasının merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kum numuneleri, deney kasası içerisine birim hacim ağırlığı, gevşek kum için $\gamma_k=1.50\text{g/cm}^3$ olacak şekilde 2.50cm'lik tabakalar halinde dinamik yöntem kullanılarak yerleştirilmiştir. İstenilen sıklığı sağlamak amacıyla, deney kasasının kenarları ölçeklendirilmiş ve her bir tabaka için gerekli olan kum ağırlığı önceden hesaplanarak kontrollü bir şekilde sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Ayrıca, her bir tabakada dolgu yüzeyinin düzgünlüğü su terazisi yardımıyla kontrol edilmiştir. Çekme yükü, yük hücresi ile model kazık arasında yerleştirilen bir zincir yardımıyla sağlanmıştır. Çekme yükü, kum zeminde göçme (sıyırılma) meydana gelene kadar 0.022mm/sn'lik sabit bir hızla uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada kum zeminlere inşa edilen kazık temellerin çekme kapasitesine, kum sıklığı, kazık gömülme oranı ve kazık yüzey pürüzlülüğünün etkileri laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Birinci grup deney serisinde, kum zeminlerdeki pürüzlülüğün model kazığın çekme kapasitesine etkisi araştırılmıştır. $L/D=20$ için gevşek kum numuneler üzerinde yapılan model deneylerden elde edilen deney sonuçları Şekil 3' te görülmektedir.

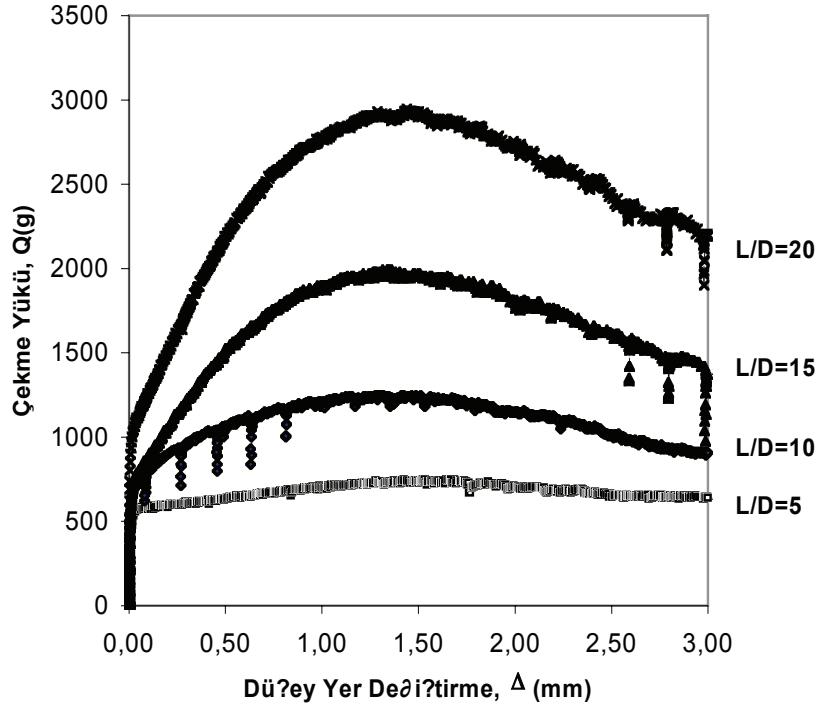


Şekil 3. Kazık yüzey pürüzlülüğüne bağı yük-deplasman eğrileri

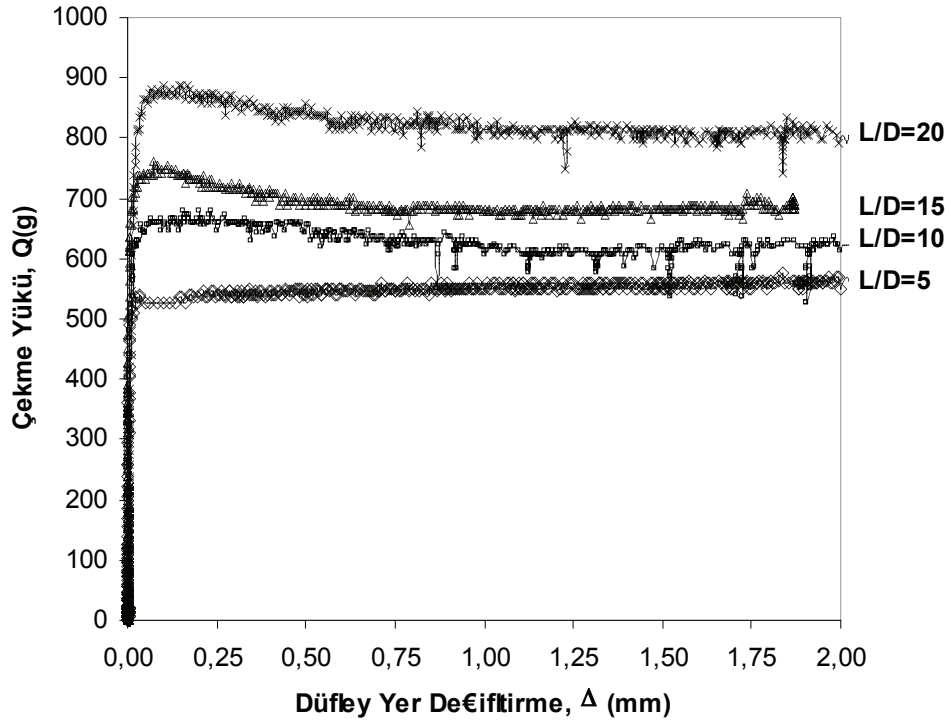
Şekil 3'te görüldüğü gibi, model kazığın nihai çekme kapasitesi, kazık yüzey pürüzlülüğüne bağı olarak değişmektedir. Pürüzlü kazığın nihai çekme kapasitesi 2930g olurken, pürüzsüz kazığın nihai çekme kapasitesi, 887g olarak elde edilmiştir.

Göçme anında elde edilen yer değıştirme değerleri incelendiğinde, pürüzlü halde elde edilen yer değıştirmelerin pürüzsüz halde elde edilen yer değıştirme değerlerinden çok daha büyük olduğı gözlenmektedir.

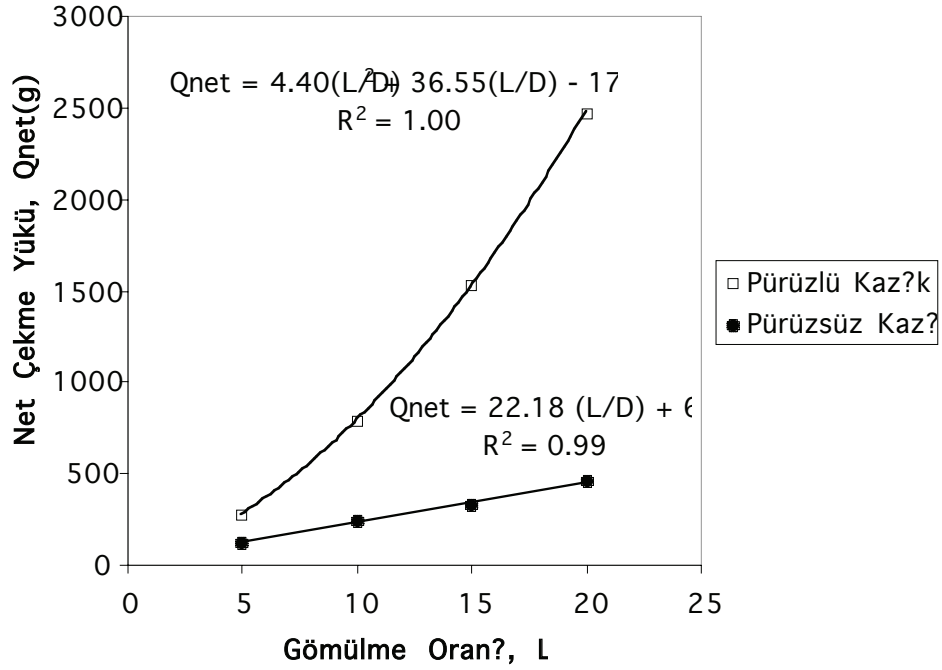
İkinci grup deney serisinde ise, gömülme oranı L/D 'ye bağı olarak pürüzlülüğün kazık çekme kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneylerde L/D oranı sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar pürüzlü ve pürüzsüz kazık için sırasıyla Şekil 4 ve 5'te verilmektedir.



Şekil 4. Pürüzlü kazık üzerinde farklı gömölme oranı için yük-deplasman eğrileri



Şekil 5. Pürüzsüz kazık üzerinde farklı gömölme oranı için yük-deplasman eğrileri



Şekil 6. Kazığın net çekme kapasitesinin yüzey pürüzlülüğü-gömölme oranı ile değişimi

Bu çalışmada kullanılan pürüzlü ve pürüzsüz kazık için yüzey pürüzlülüğü koşulları ve kazık geometrisi dikkate alınarak, kazık gömölme oranı ile net çekme kapasitesi arasında aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir.

$$Q_{net} = 4.40\left(\frac{L}{D}\right)^2 + 36.55\left(\frac{L}{D}\right) - 17.00 \quad (\text{Pürüzlü kazık}) \quad (4)$$

$$Q_{net} = 22.18\left(\frac{L}{D}\right) + 6.50 \quad (\text{Pürüzsüz kazık}) \quad (5)$$

Çizelge 1. Kazık çekme kapasitesinin kazık yüzey pürüzlülüğü ve gömölme oranı ile değişimi

Kazık Yüzey Pürüzlülüğü	D (mm)	L/D	Q _U (g)	Q _U Net(g)	Δ _U (mm)
Pürüzlü Kazık	17	5	743.0	278.0	1.440
	17	10	1246.0	781.0	1.300
	17	15	1992.4	1527.4	1.264
	17	20	2935.0	2470.0	1.400
Pürüzsüz Kazık	17	5	547.0	117.0	0.040
	17	10	666.0	236.0	0.213
	17	15	755.0	325.0	0.130
	17	20	887.0	457.0	0.140

SONUÇLAR

Bu çalışmada, kum zeminlere inşa edilen kazık temellerin çekme kapasitesine, kazık yüzey pürüzlülüğü ve kazık gömülme oranının etkileri laboratuvar model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Sonuçta kazık yüzey pürüzlülüğü ile pürüzsüz duruma göre kazık çekme kapasitesinin arttığı görülmüştür. Pürüzlü kazıkta göçme anında pürüzsüz kazığa göre daha büyük yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, gömülme oranı arttıkça kazığın çekme kapasitesi de artmıştır. Pürüzlü ve pürüzsüz kazık için, bu çalışmada dikkate alınan gömülme oranlarına göre, kazık net çekme kapasitesini veren parametrik denklemler yüksek korelasyon katsayıları ile elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Chattopadhyay, B. C., and Pise, P. J., 1986. Uplift Capacity of Piles in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 112, No. 9 pp. 20919.
- Das, B. M., 1986. Uplift Capacity of Piles and Pile Groups in Sand. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.
- Dash, B. K., and Pise, P. J., 2003. Effect of Compressive Load on Uplift Capacity of Model Piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 129, ASCE, 987.
- Demir, A., 2006. Temel Mühendisliğinde Çekme Dayanımının İrdelenmesi ve Kazık Temellerin Çekme Dayanımının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Dickin, E. A. and Leung, C. F., 1990. Performance of Piles With Enlarged Bases Subject to Uplift Forces. *Canadian Geotech. J.*, Vol. 27, pp. 546-556.
- Dickin, E. A. and Leung, C. F., 1992. The Influence of Foundation Geometry on The Uplift Behaviour of Piles With Enlarged Bases. *Canadian Geotech. J.*, Vol. 29, pp. 798-505.
- Ilamparuthi, K., and Dickin, E. A., 2001. The Influence of Soil Reinforcement on The Uplift Behaviour of Belled Piles Embedded in Sand. *Geotextiles and Geomembranes* Vol. 19, pp. 1-22.

- Kulhawy, F. H., Trautman, C. H., and Nicolaides, C. N., 1987. Spread Foundations in Uplift: Experimental Study, Foundation for Transmission Towers, Geotech. Spec. Pub. 8, ASCE, 110.
- Shanker, K., Basudhar P. K., and Patra N. R., 2007. Uplift Capacity of Single Piles: Predictions and Performance. Geotech. Geol. Eng. Vol. 25, pp. 151-161.
- Yıldız, A. A., 2002. Donatılı Zemin Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.