

Kazıklı Radye Temel Uygulaması ve Performansı

Ali Ergün¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.
e-posta: aergun@aku.edu.tr

Özet

Yapısal güvenliği sağlanmış olan üst yapı taşıyıcı sistemlerin zaman içerisinde güvenliği ve kullanılabilirliği zemin koşullarına ve temel sistemine bağlıdır. Bu çalışmada, Afyonkarahisar İl merkezinde konut amaçlı bina için tasarlanmış kazıklı radye temel sisteminin uygulama detayları incelenmiş ve uygulama sonrası performansı değerlendirilmiştir. İncelenen projede kazıklı radye temel sisteminin tasarımının, basitleştirilmiş kazıklı radye hesabına göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Kazıkların ve radye temel sisteminin uygulama detay aşamaları verilerek, tasarım aşamasında istenilen yük taşıma kapasitesi ve oturma miktarlarının, kazıkların imalatı sonrası yerinde yapılan kazık yükleme deneyi ile performans düzeyi araştırılmıştır. Uygulaması gerçekleşen gerçek bir kazıklı radye temel sisteminin detaylarının ve performansının ortaya konulması, tasarımcı ve uygulayıcı mühendisler için yol gösterici saha deneyleri ve sonuçları olacaktır.

Anahtar kelimeler

Kazıklı radye temel;
temel tasarım ilkeleri;
uygulama detayları;
kazık performansı.

Construction Details and Performance of Piled Raft Foundation

Abstract

Safety and usability of the bearing systems of superstructure with structural safety in the course of time is dependent on foundation system and ground conditions. In this study, construction details of piled raft foundation system designed for residential building in Afyonkarahisar City center are investigated and post-construction performance is evaluated. In the investigated project design of piled raft foundation is evaluated according to simplified piled raft calculation. Construction detail stages of piles and raft foundation system are provided and the performance level of requested load carrying capacity and settlement of the raft foundation and piles at design phase are investigated by on-site pile loading test conducted after construction of piles. The explications and illustrations of piled raft foundation system performance and construction details will be a guide about how to evaluate on-site tests and their results for the designer and field engineers.

Keywords

Piled raft foundation;
Design fundamentals;
Construction details;
Performance of pile.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Binaların temel sisteminin oturduğu zeminler, yapı yüklerini göçmeden veya aşırı oturmalar yapmaksızın taşıyabilecek bir yüzeysel temel teşkiline uygun olmadığı durumlarda derin temel sistemleri tercih edilir. Kazıklı temeller, yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına taşıtmak amacıyla kullanılan bir çeşit derin temel türüdür. Bu temeller, yüzeysel temellerin derinlik bakımından ekonomik olmadığı, yüzeğe yakın zemin tabakalarının düşük taşıma gücü nedeni ile yüzeysel temel uygulamanın mümkün olmadığı, inşa edilecek yapıların oturmaya hassas olduğu, üst yapıdan temellere büyük yatay yük etkidiği veya sivilaşma potansiyeli bulunan durumlarda

uygulama alanı bulurlar. Kazıklı temellerin tasarımında, göçmeye karşı yeterli güvenlik bulunmalı ve işletme yükleri altında meydana gelebilecek oturmalar kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmalıdır. Kazık tasarımının hassasiyeti, zemin incelemelerinin doğru ve yeterli olmasına bağlıdır. Zemin incelemelerinin neleri içermesi gerektiği, hangi derinliğe kadar sondaj yapılacağı, hangi arazi ve laboratuvar deneylerine gereksinim duyulacağı, çalışmaların başlangıç aşamasında zemin konusunda uzman bir inşaat mühendisi tarafından belirlenmeli ve programlanmalıdır. Kullanım amaçlarına göre uç kazığı, sürtünme kazığı, çekme kazığı ve sıkıştırma kazığı gibi farklı tipte kazık türleri vardır. Kazıklar imal edildikleri

malzemeye göre ahşap kazıklar, çelik kazıklar, betonarme kazıklar ve karma kazıklar şeklinde çeşitlere ayrılırlar. Betonarme uç ve sürtünme kazıkları, açılan silindirik bir çukur içerisine konulan donatıların betonlanması suretiyle elde edilirler ve kısaca sondaj kazığı veya fore kazık olarak adlandırılırlar (Toğrol ve Tan 2009).

Tasarımı yapılan ve uygulanan kazıkların zemin içerisindeki belirsizliklere göre performansının belirlenmesine yönelik sahada deneyler yapılması gerekir. Bu amaçla en gerçekçi ve uygulanabilir yöntemlerin başında statik kazık yükleme deneyleri gelir. Statik kazık yükleme deneyleri, kazıkların belirli zaman aralıklarında yüklenerek bu yüklerin neden olduğu deplasman değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar İl merkezinde ilk defa, konut amaçlı tasarlanmış binanın kazıklı radye temel sisteminin uygulama detayları incelenmiş ve uygulama sonrası performansı değerlendirilmiştir. İncelenen binanın bulunduğu parselin imar durumu, 4 kat ve taban alan katsayı (TASK) 0.3'dür. Bu alanda çağdaş bir yaşam merkezi projelendirilmesi amacıyla, ilgili parsel adasında taban alan katsayısını (TASK) 0.30'dan daha düşük alınması, bloklar arası boşlukların artırılması, binaların cephe aydınlıklarının sağlanması ve yeterli bahçe alanlarının oluşturulması için katlar arası kullanım alanı(KAKS) korunarak 7 kata çıkartılması ile ilgili imar izni değişiklikleri İdare tarafından yapılmıştır. Bu değişiklikte kat artırımına bağlı olarak inşa edilecek yapının temel sisteminin üst yapı yüklerini yeterli güvenlik içerisinde mevcut zemine aktarması için gerekli teknik özelliklerin sağlanması ön koşul olarak verilmiştir. Bu kapsamda, parsel üzerinde yapılan sondajlı zemin etüt raporuna göre zeminin taşıma gücü yetersiz, oturmalar izin verilen sınırların üzerinde çıkmıştır. Yetersiz zemin şartlarının iyileştirilmesine yönelik zemin iyileştirme çalışmalarının yapılması kaçınılmaz olmuştur. 7 normal kat ve bodrum katı bulunan binada radye temel sistemi altında zemin taşıma gücünü artırmak ve olası oturmaları azaltmak için fore kazıklar kullanılarak kazıklı radye temel sistemi tasarımı gerekli hale gelmiştir. Kazıklı

radye temel sistemi, yüzeysel temel sistemi olan radye (plak) temel ile derin temel sistemi olan kazık temel sisteminin birleştirilmesi ile oluşmaktadır.

Kazıklı radye temel sisteminin klasik yöntemlerle hesaplanmasında yapı yükünün tamamının kazıklar tarafından taşındığı kabul edilir. Oysaki; radye temelin yüzeye temas ettiği durumda yapı yükü radye ve kazık grubu arasında paylaşarak zemine aktarılır. Bu davranış biçimi temel tasarımında dikkate alınırsa daha ekonomik çözümler elde edilebilir. Ekonomik çözümler, Ülkemizde fazla uygulama alanı bulmayan zemin iyileştirme yöntemlerinin yaygınlaşmasına katkılar sağlayabilir (Gök ve Toğrol 2009).

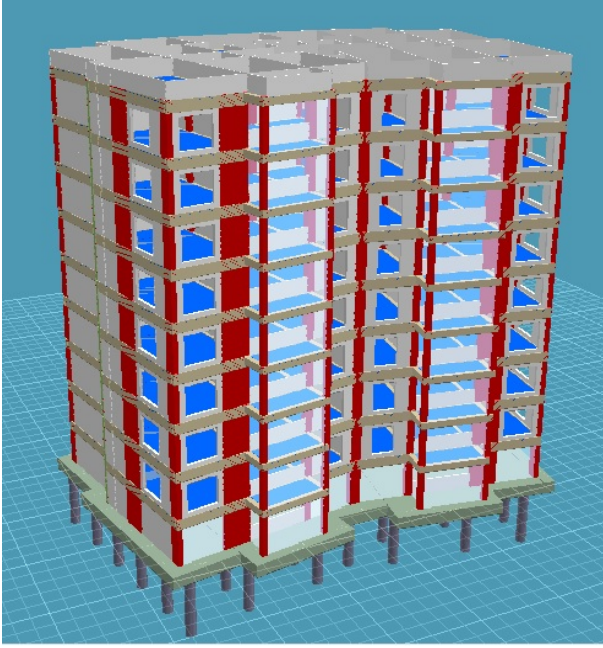
Bu çalışmada, incelenen projede kazıklı radye temel sisteminin tasarımının, klasik yöntemlerle hesaplanması ile Gök ve Toğrol (2009) tarafından önerilen basitleştirilmiş kazıklı radye hesabına göre ayrıca değerlendirilmesi yapılmıştır. Kazıkların ve radye temel sisteminin uygulama detay aşamaları verilerek, inşa teknikleri anlatılmıştır. Tasarım aşamasında istenilen yük taşıma kapasitesi ve oturma miktarlarının, kazıkların imalatı sonrası yerinde yapılan kazık yükleme deneyi ile gerçekleşip gerçekleşmediğini belirleyen performans düzeyi araştırılmıştır. Uygulaması yapılan gerçek bir kazıklı radye temel sisteminin detaylarının ve buna bağlı performansının ortaya konulması, tasarımcı ve uygulayıcı mühendisler için yol gösterici saha deneyleri ve sonuçları olacaktır.

2. İncelenen Binanın Özellikleri

Afyonkarahisar İl merkezinde konut amaçlı tasarlanan ve temel sistemi olarak kazıklı radye temel uygulaması yapılan binanın taşıyıcı sistem modeli Şekil 1'de verilmiştir. Derinlikleri 25-40 m arasında değişen sondaj çalışmaları sonrasında, zemin profili, 0.00-11.00 m düşük plastiteli kil (CL), 11.00-13.00 m yüksek plastiteli kil (CH), 13.00-16.00 m siltli kum (SM) ve 17.00-40.00 m düşük plastiteli kil (CL) den oluşmaktadır. Zemin ortalama doğal birim hacim ağırlığı $\gamma=1.87 \text{ ton/m}^3$ ve $c=5.25 \text{ ton/m}^2$ dir. Yeraltı su seviyesi 5 m. dir. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 07) için gerekli olan zemin

parametreleri ise; zemin grubu D, yerel zemin sınıfı Z4, zemin emniyet gerilmesi $\sigma_{zem} = 9.0 \text{ ton/m}^2$ ve yatak katsayısı $K_0 = 1080 \text{ t/m}^3$ dür. Bina, bodrum + 7 normal kattan oluşan, kat alanı 425 m^2 olan perde + çerçevesel bir taşıyıcı sistemli bir yapıdır. Binanın ağırlığı, zati yükten $N_G = 5050 \text{ ton}$, hareketli yükten $N_Q = 970 \text{ ton}$ olmak üzere toplam $\Sigma N = 6020 \text{ tondur}$.

Şekil 1.İncelenen binanın 3D görüntüsü



Radye temel alanı 585 m^2 dir. Ortalama zemin gerilmesi 10.30 t/m^2 ve temel planı ve boykesit detayları Şekil 2'de verilen kazık grubunda, 65 cm çapında 17 m uzunluğunda 68 adet fore kazık mevcuttur. Ortalama kazık yükü ise 88.5 ton/adet olarak hesaplanmıştır.

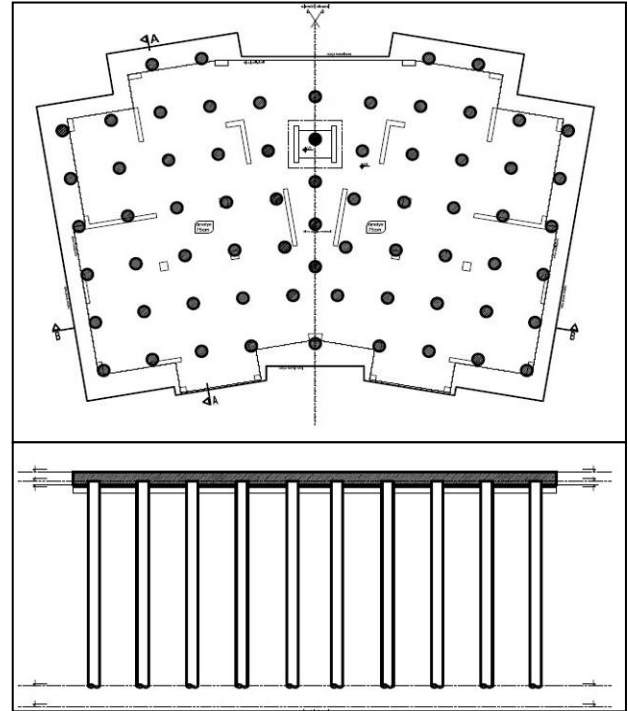
Kazıklı radye hesabında kullanılmakta olan farklı yöntemler bulunmaktadır (Poulos, 2001). Klasik yöntemlerde kazıklı temel hesabı, yapı yükünün tamamen kazıklar tarafından taşındığı kabulüne göre yapılmasına karşılık, yapı yükünün radye ve kazık grubu arasında paylaşarak zemine aktarıldığını dikkate alan yaklaşımlar da vardır. İncelenen projede yapı yükünün tamamının kazık grubu tarafından taşındığı esaslarına göre hesap yapılmıştır. Killi zeminler içindeki kazıklar için taşıma gücü (Toğrol ve Tan 2009);

$$Q_F = Q_b + Q_s = q_b \times A_b + q_s \times A_s \quad (1)$$

$$q_s = \sigma_v' \times K_s \times \tan \delta = \beta \times \sigma_v' \quad (2)$$

$$q_b = \sigma_v' \times N_q = s_u \times N_c \quad (3)$$

bağıntıları ile hesaplanır. Burada, Q_F kazığın nihai taşıma gücü, Q_b uç direnci, Q_s toplam çevre sürtünmesi, q_b kazık ucunun oturduğu zeminin birim alanına gelen taşıma gücü, q_s kazık birim çevre alanına etkiyen sürtünme gerilmesi, A_b kazık uç kesit alanı, A_s kazık toplam çevre alanıdır. σ_v' düşey efektif zemin gerilmesi, değişken zemin profili ve su seviyesi dikkate alınarak 17 m boyunca hesaplanarak $0-5 \text{ m}$ arası $\sigma_v' = 9.4 \text{ t/m}^2$, $5-10 \text{ m}$ arası $\sigma_v' = 13.6 \text{ t/m}^2$, $10-15 \text{ m}$ arası $\sigma_v' = 17.9 \text{ t/m}^2$, $15-17 \text{ m}$ arası $\sigma_v' = 19.6 \text{ t/m}^2$ bulunmuştur. $\beta = (1 - \sin \phi') \times \tan \phi' = (1 - \sin 7) \times \tan 7 = 0.108$ alınır ve N_c taşıma gücü faktörü (kazık taşıyıcı tabaka üstüne oturmuş $N_c = 6.5$), s_u kazık ucunun girdiği zeminin drenajsız kayma mukavemeti ($s_u = c_u = 5.25 \text{ t/m}^2$) dir.



Şekil 2. Fore kazık yerleşimi ve boykesiti

$\beta = (1 - \sin \phi') \times \tan \phi' = (1 - \sin 7) \times \tan 7 = 0.108$ alınır ve N_c taşıma gücü faktörü (kazık taşıyıcı tabaka üstüne oturmuş $N_c = 6.5$), s_u kazık ucunun girdiği zeminin drenajsız kayma mukavemeti ($s_u = c_u = 5.25 \text{ t/m}^2$) dir.

$$q_s = (9.4 \times 5 + 13.6 \times 5 + 17.9 \times 5 + 19.6 \times 2) \times 0.108 =$$

$$f_s = 26.25 \text{ t/m}$$

$$q_b = 6.5 \times 5.25 = 34.125 \text{ t/m}^2$$

$$Q_F = \pi \times 0.65 \times 26.25 + \frac{\pi \times 0.65^2}{4} \times 34.125 = 124.5 \text{ t/adet} \quad (6)$$

$$\text{Kazık sayısı } n = \frac{6020}{124.5} = 48.3 \approx 49 \text{ adet} \quad (7)$$

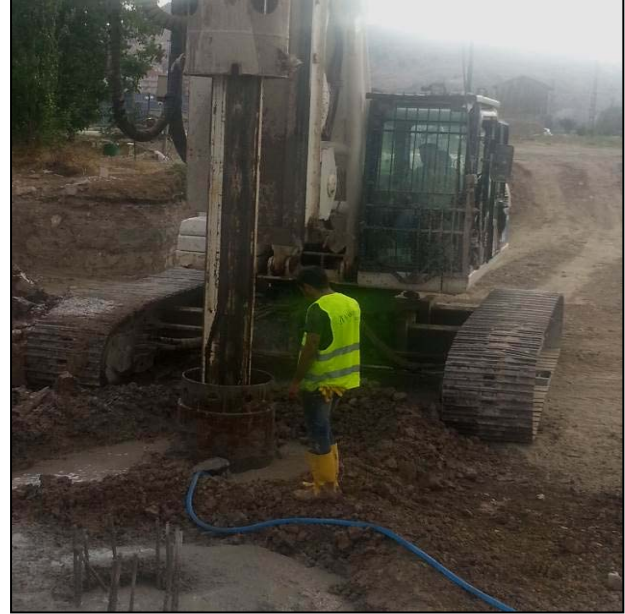
İncelenen projede yapı yükünün kazıklar tarafından taşınması durumunda 49 adetten oluşan kazık grubuna ihtiyaç vardır. Tasarımda simetrik yerleşime uygun olması bakımından 68 adet fore kazık yapılması uygun görülmüştür. Bu durumda, bir fore kazığa düşen yük taşıma kapasitesi ise 88.5 ton'dur. Projede depremde meydana gelen devirici momentler 6752 tonxm'dir. Kazık grubu yerleşimine bağlı olarak devirici momentlerin kazık grubunun oluşturduğu çekme-basınç kuvvet çifti yaklaşımı ile bir kazığa depremde dolayı gelen normal kuvvetler ortalama 20 ton seviyelerinde olmaktadır. Depremlili durumda ise yük taşıma kapasitesi 108.5 ton olacaktır.

3. Kazıklı Temel Uygulama Detayları

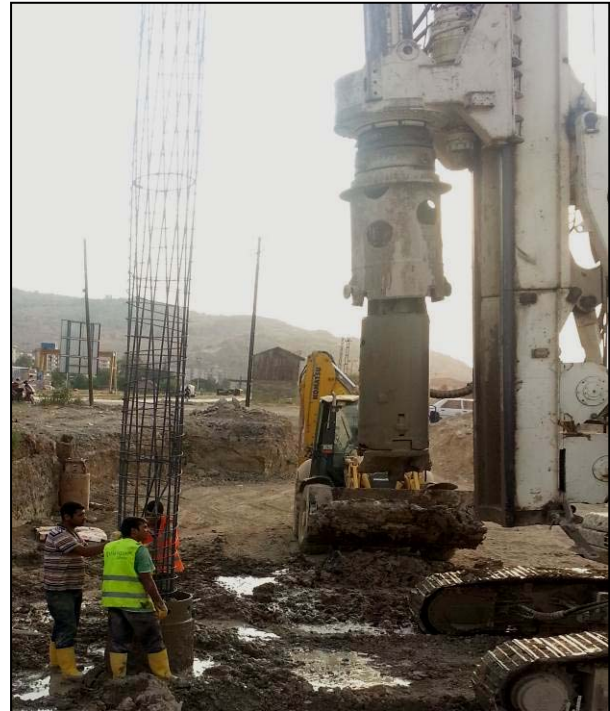
Afyonkarahisar il merkezinde yukarıda tasarım ilkeleri verilen S.S. Afyon Akademi Kooperatifi tarafından yaptırılan konutların kazıklı radye temel uygulaması ve detayları aşamaları aşağıda verilmiştir.

1. Fore kazık sondajı yapılması (Şekil 3).
2. Açılan fore kazık çukuruna donatı yerleştirilmesi (Şekil 4).
3. Donatısı yerleştirilen fore kazık içerisine tremi yöntemi kullanılarak betonların dökülmesi (Şekil 5).
4. Fore kazık imalatları tamamlandıktan sonra kazık başlarının üst bölümünde mukavemeti düşük olan beton kısımlar kırılarak kazık başları düzeltilmiştir. Düzeltilen kazık başları sonrası, radye temel imalatı için zemin hazırlanmıştır. Öncelikle stabilize malzeme serilerek zemin düzeltilmesi yapılmış, grobeton dökümü ile su yalıtım malzemesi serilmesi için altlık oluşturulmuştur. Yalıtım üzerine

koruyucu şap dökümü sonrası radye temel donatıları hazırlanmıştır. Radye temel donatıları ile fore kazık başlık donatılarının kenetlenmesi sağlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 3. Fore kazık sondajı



Şekil 4..Fore kazık donatısı yerleşimi



Şekil 5..Fore kazık beton dökümü

4. Basitleştirilmiş Kazıklı Radye Temel Hesabı

Kazıklı radye temel, radye (veya kazık başlığı) ve kazıklardan oluşan iki sistemin birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Gök ve Toğrol, (2009) tarafından önerilen hesap yönteminde, yapı yükünün radye ve kazıklar tarafından paylaşarak taşınacağı kabul edilerek yük paylaşım oranına göre radyenin ve kazık grubunun oturmaları hesaplanmaktadır. Bu yöntemde, önce radye kendi başına ($Q_{kazık}/Q_{toplamlam}=0$) ele alınır ve temas ettiği zeminin özelliklerine bağlı olarak ne kadar oturacağı hesaplanır. Sonra, radyenin zemine temas etmediği, yükün tamamen kazıklar tarafından taşındığı kabul edilerek ($Q_{kazık}/Q_{toplamlam}=1$), kazık grubunun ne kadar oturacağı hesaplanır. Hesaba yükün farklı oranlarda radye ve kazık grubu tarafından taşınması hallerinde, radyenin ve kazık grubunun oturması ayrı ayrı hesaplanarak devam edilir. Çeşitli $Q_{kazık}/Q_{toplamlam}$ oranları için elde edilen oturmalar karşılaştırılarak, radye ve kazık grubunun oturmalarının eşit olduğu paylaşım oranı belirlenir (Gök ve Toğrol 2009).

Yapılan örnek çalışmalarda, yük paylaşım oranı zemin cinsi, kazık çapı ve boyu ile ilişkili olmak

üzere % 70-80 civarında olabileceği ortaya



Şekil 6. Kazıklı radye temeli hazırlanışı

çıkılmaktadır. İncelenen projede, basitleştirilmiş hesaba göre paylaşım oranının % 25 mertebesinde olduğu kabulü ile kazık grubundan istenilen taşıma kapasitesi düşey yük durumunda $0.75 \times 6020 = 4515$ ton seviyelerinde olacaktır. Bu durumda, bir fore kazığa düşen yük taşıma kapasitesi ise 67 ton'dur. Depremli durumda ise yük taşıma kapasitesi 87 ton

olacaktır.

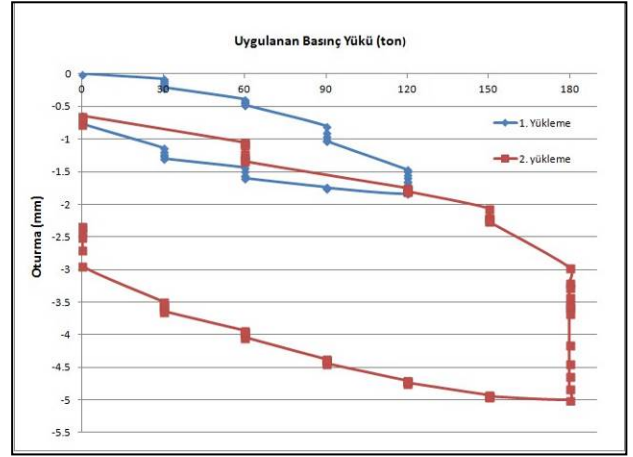
5. Kazık Yükleme Deneyi

Kazıklı temellerin tasarımı, kazık zemin etkileşimini içeren deneysel ve kısmi teorik analiz içeren ampirik bağıntılara dayandırılarak yapılır. Tasarımda kullanılan verilerdeki belirsizlikler ve tasarım yöntemlerinin hassasiyetinin istenen düzeyde olmaması, kazıklı temel tasarımının arazi deneyleriyle doğrulanmasını zorunlu kılmaktadır (Çiftçi, 2010). Kazık kapasitesi ve sağlamlığının belirlenmesine yönelik deney yöntemlerinden en güvenilir olanı statik kazık yükleme deneyidir. Bu deney tekniği kazığın belirli zaman aralığında yüklenerek kazıkta meydana gelen oturmaların ölçülmesi esasına dayanır.

İncelenen projede kazık grubu için geliş güzel seçilen bir kazıkta statik basınç yükleme deneyi yapılmıştır. ASTM D-1123 (1994) de tanımlanan biçimde fore kazık başlarında 1.0 m x 1.0 m büyüklüğünde beton yükleme basınç bloğu yapılarak test düzeneği, Şekil 7'de verildiği şekliyle hazırlanmış ve sonrasında statik yükleme yapılmıştır. Deney basınç yükü, yüklenen kazığa komşu 4 adet kazığı çekme kazığı olarak kullanan yükleme çerçevesi aracılığıyla, blok üzerine yerleştirilen hidrolik piston tarafından verilmiştir. Yük altında kazıkta meydana gelen düşey yer değiştirmeler, kazık başı çevresine yerleştiren deplasman ölçer saatlerle belirlenmiştir. Deney



sonuçlarına göre ortaya çıkan yük-oturma grafiği Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7..Statik kazık yükleme deneyi

Şekil 8. Yük-oturma grafiği

Birinci yüklemeye 120 tonluk basınç yükü altında oluşan oturma 1.84 mm, kalıcı oturma ise 0.64 mm dir. İkinci yüklemeye 180 tonluk yüklemeye karşılık 5.00 mm oturma oluşmuş yük boşaltıldıktan sonra kalıcı oturma miktarı 2.35 mm olarak ölçülmüştür. Kazıklarda kazık çapının(D) %2.5 D kadar kalıcı oturma meydana getiren yük, kazık için sınır yük kabul edilir. Burada incelenen kazığın çapı 650 mm olduğundan kazıklar için 16.25 mm'ye kadar nihai kalıcı oturmalara izin verilmektedir. Yükleme deneyinde bu kalıcı oturmaya kadar yükleme yapılmamış, bu miktarın ise grafik eğiliminden 350 ton civarında olabileceği tahmin edilmiştir. Projede kullanılan kazıklı temel sisteminde düşey yükler altında yükün tamamen kazıklar tarafından taşındığı hesap yöntemine göre güvenlik katsayısının yaklaşık 4 olduğu, basitleştirilmiş yöntem kullanılarak $Q_{kazık}/Q_{toplamlam} = 0.75$ oran kabulü durumunda ise güvenlik katsayısının yaklaşık 5.2 olduğu belirlenmiştir.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada uygulaması gerçekleşen gerçek bir kazıklı radye temel sisteminin uygulama detay aşamaları verilerek, tasarım kriterleri ile yerinde yapılan yükleme deneyi ile kazıkların performans düzeyi karşılaştırılmıştır. İnceleme sonuçlarına göre aşağıda belirtilen sonuçlar çıkartılabilir;

1.) Kazıklı radye tasarımında yapı yükünün radye ve

kazıklar tarafından paylaşarak taşınacağı kabulü ile daha ekonomik kazık modellemesi yapılabilir.

2.) İyi bir projelendirme ve tasarımı yapılmış ve yüklerin tamamen kazıklar tarafından taşındığı fore kazık imalatı sonrasında, düşey yük durumunda gerçekleşen güvenlik katsayısı 4, depremli durumda 3.2 mertebesinde çıkabilmektedir.

3.) Zemin iyileştirme gerektiren temel sistemlerinde, hem eksenel yüklerin iletilerek taşınabilme hem de kesme kuvveti taşıyabilme kapasitesine sahip betonarme fore kazık uygulaması diğer iyileştirme yöntemlerine göre daha yüksek güvenlik gösterebilecektir.

Kaynaklar

- Toğrol, E. ve Tan O., 2009. Kazıklı Temeller. ss 142, ISBN 978-975-511-327-4.
- Gök S., Toğrol E., 2009. Basitleştirilmiş kazıklı radye hesabı. itüdergisi/d mühendislik, **cilt 8**, sayı 5, 149-156.
- Poulos H.G., 2001. Piled Raft Foundations – Design and Applications. Geotechnique, **Vol. 50, (2)**: 95-113.
- Düzceer İ. R., 2002. Kazık yükleme deneyleri ile nihai kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 371.
- Çiftçi, E.A., 2010. Türkiye’de yetiştirilen bazı buğday çeşitlerinde genetik farklılıkların RAPD-PCR yöntemi ile belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 118.
- ASTM D 1143-81, 1994. Standard test method for piles under static axial compressive load, American National Standards Institute, Philadelphia.