

Kazıklı Radye Temellerin Etkin Tasarımı

Proje No: 103I007

Prof. Dr. M. Ufuk ERGUN
H. Kürşat TÜRKMEN

MART 2007
ANKARA

ÖNSÖZ

Kazıklı radye temelerde yük kazıklar, radye ve zemin aracılığıyla taşınmaktadır. Kazıklı radye temelleri yeterli hassaslıkta ve ekonomik olarak tasarlayabilmek için kazıklar, radye ve zemin arasındaki karmaşık yük aktarım mekanizmasını ve bu mekanizmayı etkileyen faktörleri tam anlamıyla bilmek gerekmektedir. Bu çalışmada, laboratuvar ve arazi deneyleri yapılarak, kazıklı radye temellerin yük taşıma davranışı ve yük-oturma davranışı incelenmiştir. Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
İÇİNDEKİLER.....	2
ŞEKİL LİSTESİ	3
ÖZET.....	4
ABSTRACT	5
BÖLÜM	
1. KAZIKLI RADYE TEMELLER.....	6
1.1 Giriş.....	6
1.2 Literatür Özeti	7
2. ARAZİDE YAPILAN MODEL DENEYİ	9
2.1 Giriş.....	9
2.2 Deneyin Yapıldığı Arazi ve Zemin Özellikleri.....	9
2.3 Model Deney Düzeneği.....	10
2.4 Model Deney ve Sonuçları.....	11
3. LABORATUVAR MODEL DENEYLERİ.....	18
3.1 Giriş.....	18
3.2 Zemin Özellikleri ve Hazırlanması	18
3.3 Model Deney Düzeneği.....	19
3.4 Model Deneyler ve Sonuçları.....	23
4. SONUÇLAR.....	27
KAYNAKLAR.....	28

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	ODTÜ Yerleşkesi ve deney alanının genel uydu görüntüsü	9
Şekil 2.2	Düşey Yük – Zaman ilişkisi	12
Şekil 2.3	Düşey Deplasman – Zaman ilişkisi	12
Şekil 2.4	Yatay Deplasman – Zaman ilişkisi.....	13
Şekil 2.5	Basınç – Zaman ilişkisi	13
Şekil 2.6	Donatılara yapıştırılan birim deformasyon ölçer.....	14
Şekil 2.7	Kazık deliklerinin delgi makinası ile açılması ve donatı kafesinin vinç yardımıyla deliğe yerleştirilmesi.....	15
Şekil 2.8	Zemin basınç ölçerin radye altına yerleştirilmesi.....	15
Şekil 2.9	Radye temellerin kalıp ve demir işçiliği.....	16
Şekil 2.10	Düşey reaksiyon kirişlerinin yerleştirilmesi.....	16
Şekil 2.11	Deney yükleme ve ölçüm sistemi.....	17
Şekil 3.1	Çelik tanka yerleştirilen zemin karışımının hidrolik kriko kullanılarak sıkıştırılması	18
Şekil 3.2	Model kazık, alüminyum kaplama plakası ve sabitleme parçası	20
Şekil 3.3	Pnömatik hava silindiri ve yükleme sistemi	22
Şekil 3.4	Ölçüm düzeneği ve model kazıklı radye	22
Şekil 3.5	Veri toplama sistemi, model kazıklar ve yük hücresi.....	23
Şekil 3.6	Toplam Yük – Birim Oturma ilişkisi.....	24
Şekil 3.7	Toplam Kazık Yüğü – Birim Oturma ilişkisi	24
Şekil 3.8	Radye Yüğü – Birim Oturma ilişkisi.....	25
Şekil 3.9	Kazık Yük Paylaşım Oranı – Birim Oturma ilişkisi.....	25
Şekil 3.10	Radye Yük Paylaşım Oranı – Birim Oturma ilişkisi.....	26

ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvar ve arazi deneyleri yapılarak, kazıklı radye temellerin yük taşıma davranışı incelenmiştir. Deney düzenekleri öncelikle kazıklı radye temellerin yük paylaşım mekanizması ile ilgilidir. Kazıklı radye temellerin yük-oturma davranışı da ayrıca incelenmiştir.

Arazi yükleme deneyinde, model kazıklı radye temel düşey ve yatay doğrultularda yüklenmiştir. Plan boyutları 2.3m x 2.3 m ve kalınlığı 50 cm olan betonarme radye, 4 adet 32 cm çapında ve 5 m uzunluğunda delme kazıkla desteklenmektedir. Radyenin, kazıklı radye yük taşıma kapasitesine dikkate değer bir katkı sağladığı ve toplam düşey yükün %30'unun radye tarafından taşındığı gözlenmiştir.

Laboratuvar deneylerinde, dış çapı 22 mm, iç çapı 18 mm ve uzunluğu 200 mm olan model alüminyum kazıklar kullanılmıştır. Plan boyutları 132 mm x 132 mm ve kalınlığı 35 mm olan radye, çelikten imal edilmiştir. Model kazıklar kazık yüklerini ölçebilmek için birim deformasyon ölçerlerle donatılmıştır.

Uygun bir tasarım yaklaşımı kullanıldığında, radyelerin kazık gruplarının toplam yük taşıma kapasitesine katkıda bulunacağı ve bunun da kazık imalat masraflarını azaltacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı Radye Temel, Yük Paylaşımı, Model Deney

ABSTRACT

In this study, the load bearing behavior of piled raft foundations is investigated performing laboratory and field tests. Test setups were mainly concerned with the load sharing mechanism of piled raft foundations. Load-settlement characteristics of the piled raft foundations were also investigated.

In the field load test, the model piled raft foundation was loaded in vertical and lateral directions. 4 bored piles with a diameter of 32 cm and length of 5 m are supporting a reinforced concrete raft with plan dimensions of 2.3 m x 2.3 m and having a thickness of 50 cm. It has been found that raft has a noticeable contribution to the load bearing capacity of the piled raft foundation and up to 30% of the total vertical load is carried by the raft.

In laboratory tests, model aluminum piles with an outer diameter of 22 mm, an inner diameter of 18 mm and a length of 200 mm were used. The raft was made of steel with plan dimensions of 132 mm x 132 mm and a thickness of 35 mm. The model piles were instrumented with strain gages to monitor pile loads.

It has been found that using an appropriate design approach, rafts can contribute to the load bearing capacity of the pile groups which will reduce costs for pile construction.

Keywords: Piled Raft Foundation, Load Sharing, Model Test

BÖLÜM 1

KAZIKLI RADYE TEMELLER

1.1 Giriş

Kazıklı radye temeller konusu son yıllarda birçok araştırmacının ilgi odağı olmuştur. Zemin şartlarının ve yük büyüklüklerinin uygun olması durumunda, yapı yüklerinin taşınabilmesi için yüzeysel temeller kullanılır. Eğer yapıdan gelen yükler göçmeden veya aşırı oturmalar yapmadan taşınmıyorsa, kazıklı derin temeller kullanılabilir. Kazıklı temeller aracılığıyla yapı yükleri zayıf zeminleri geçerek kuvvetli zeminlere aktarılır. Ayrıca yapıdaki toplam oturma ve radyedeki oturma farkları azaltılır.

Kazıklı radye temellerin davranışı konusunda birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen bu konuda hala belirsizliğini koruyan noktalar bulunmaktadır. Klasik tasarım yöntemlerinde, radyenin toplam taşıma gücüne etkisi ihmal edilerek, tüm yükün kazıklar tarafından taşındığı kabul edilerek kazıklı temel tasarımı yapılmaktadır. Bu yaklaşım da temelin çok güvenli ve ekonomik olmayan bir şekilde tasarlanmasına neden olmaktadır. Son yıllarda radyenin de taşıma gücüne katkısını göz önüne alan yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar bu yaklaşımın klasik hesap yöntemlerine göre %50 daha ekonomik olduğunu göstermektedir.

Kazıklı radye temellerde yük kazıklar, radye ve zemin aracılığıyla taşınmaktadır. Kazıklar, radye ve zemin arasında karmaşık bir yük aktarım mekanizması vardır. Kazıklı radye temelleri yeterli hassaslıkta ve ekonomik olarak tasarlayabilmek için bu yük aktarım mekanizmasını ve bu mekanizmayı etkileyen faktörleri tam anlamıyla bilmek gerekmektedir.

Bu çalışmada, model arazi ve laboratuvar deneyleri yaparak, kazıklı radye temel davranışı araştırılmıştır. Bu çalışmada öncelikle, radyenin toplam taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Deney hazırlanması ve elde edilen sonuçlar ilerideki bölümlerde verilmiştir.

1.2 Literatür Özeti

Kazıklı radye temellerin yük taşıma davranışı, temel ve zemin elemanları arasındaki karmaşık bir zemin-yapı etkileşimi ile tanımlanabilir (Katzenbach ve diğerleri (1999)). Kazıklı radye temel davranışının karmaşık bir etkileşim problemi olması nedeniyle, geliştirilen tasarım yöntemlerinin farklı kabulleri, kısıtlamaları ve yaklaşımları vardır. Genel olarak bu metodlar basitleştirilmiş analiz metodları ve ileri düzey analiz metodları olarak iki grupta toplanabilir. Bu metodların karşılaştırılması, sonuçların nitelik ve kalitesinin uygulanan hesap metodunun kapasitesine bağlı olduğunu göstermiştir (Randolph (1994), Poulos ve diğerleri (1997), Mandolini ve Viggiani (1997)). Kazıklı-radye temel davranışı konusunda birçok araştırmacı çalışmıştır. Butterfield ve Banerjee(1971) sınır elemanlar metodunu kullanarak kazıklı-radye davranışını incelemiştir. Davis ve Poulos (1972) sınır elemanlar metodunu kullanarak çok sayıda kazık için, etkileşim faktörleri yaklaşımını önermişlerdir. Ottoviani (1975) üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çalışmalar yapmıştır. Poulos ve Davis (1980) bir grup kazığı temsil eden bir elemanın kullanıldığı, eşdeğer eleman metodunu önermişlerdir. Randolph (1983) bir kazık-radye birimi kullanarak kazık grubu ve radye rijitliklerini birleştiren bir metod tanımlamıştır. Poulos (1991) yaylar üstündeki plak yöntemini uygulamıştır. Clancy ve Randolph (1996) birleşik sonlu elemanlar yöntemini kullanarak toplam temel rijitliği ve yük dağılımı hesabı için yaklaşık bir yöntem tanımlamışlardır. Poulos (2001) kazıklı-radye temel tasarımıyla ilgili analiz metodlarını karşılaştırmıştır. Franke, El-Mossallamy ve Wittman (2000) Almanya'daki radye temellerin hesap yöntemlerini ve gelişimini, Katzenbach, Arslan ve Moormann (2000) ise Almanya'da 1983 ve 2001 yılları arasında inşa edilen bazı kazıklı radye temel projelerini incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Frankfurt am Main ve Berlin'deki gerçek kazıklı radye temellerin gözlemlenmesinden elde edilen tecrübeler ve nümerik modellerle yapılan parametrik çalışmalar ışığında, kazıklı radye temeller için yeni bir tasarım ve güvenlik konsepti geliştirilmiştir (Katzenbach ve diğerleri (1996), (1998)). Katzenbach ve diğerleri (2002) kazıklı-radye tasarımının, klasik kazıklı temel tasarımına göre %50 daha ekonomik sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Kazıklı-radye temellerin etkin tasarımı için Kang ve diğerleri (2002) genetik tabanlı bir hesap algoritması önermişlerdir. Kazıklı-radye temel davranışı konusunda birçok teorik çalışma olmasına rağmen, model deney çalışmalarını içeren araştırma sayısı çok sınırlıdır. Whitaker (1961),

Wiesner ve Brown (1980), Cooke (1986), Horikoshi (1995), Gök and Toğrol (2001) bu konuda model deney yapan araştırmacılarından bazılarıdır.

BÖLÜM 2

ARAZİDE YAPILAN MODEL DENEYİ

2.1 Giriş

Raporun bu bölümünde arazide yapılan model deney ve sonuçları sunulacaktır. Model deney ve gözlem aletleri esas olarak kazıklı radye temellerin yük paylaşımını ortaya koyacak şekilde seçilmiştir. Kazıklı radye temellerin oturma davranışı da ayrıca incelenmiştir.

2.2 Deneyin Yapıldığı Arazi ve Zemin Özellikleri

Arazi deneyi Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yerleşkesi içindeki su arıtma tesisi yanındaki boş arazide yapılmıştır. Deney yapılan arazi genellikle sert kilden oluşmaktadır. Deneye başlanmadan önce yüzeydeki ayrışmış ve bitkisel toprak özelliği gösteren tabaka kaldırılarak temelin kil zemine tamamen oturması sağlanmıştır. Şekil 2.1’de deney alanının uydu görüntüsü verilmiştir. Deney alanı görüntüde kırmızı ile işaretlenmiştir.



Şekil 2.1 ODTÜ Yerleşkesi ve deney alanının genel uydu görüntüsü

2.3 Model Deney Düzenegi

Arazide inşa edilen kazıklı radye temel modeli 2 x 2 düzeninde yerleştirilmiş olan 4 adet yerinde dökme betonarme kazıktan meydana gelmektedir. Biri reaksiyon bloğu ve biri de deney bloğu olmak üzere iki adet temel inşa edilmiştir. Model deney düzenegi ve imalatıyla ilgili resimler konu bütünlüğünü bozmaması için bölüm sonunda verilecektir (Şekil 2.6 – Şekil 2.11).

Radyelerin altındaki kazıklar hidrolik delgi makinası ile kazık çapı 32 cm, uzunluğu 5 m ve kazık aralığı 150 cm olacak şekilde imal edilmiştir. Reaksiyon kazıkları ise aynı çaplı ve 9 m uzunluğunda inşa edilmiştir. Betonarme radye temellerin uzunluğu 230 cm, genişliği 230 cm ve kalınlığı da 50 cm dir. Betonarme kazık ve temel boyutları ve donatıları, radye ve kazık elamanlarının plastik hale geçmesine izin vermeyecek ve elastik durumda kalmasını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Hazır demir olarak araziye getirilen betonarme demirler donatı projesine uygun olarak arazide bağlanıp donatı kafesi oluşturulduktan sonra, kazığa gelecek tesirleri ölçebilmek için, kazıkların önceden belirlenmiş noktalarına folyo tipi birim deformasyon ölçerler yapıştırılmıştır. Bu işlem için öncelikle demir yüzeyi düzeltilerek zımparalanmış, temizlenmiş ve uygun yapıştırıcı maddeler ile birim deformasyon ölçerler betonarme demirlere kazık orta eksenine göre simetrik olacak şekilde yapıştırılmıştır. İki seviyede ölçüm planlandığından kazık ile radyenin birleştiği seviyede ve o seviyeden kazık ucuna doğru 1 metre daha aşağıda birim deformasyon ölçerler kullanılmıştır. Her seviyede 4 adet olmak üzere kazık başına toplam 8 adet birim deformasyon ölçer kullanılmıştır. Birim deformasyon ölçerlerin kabloları betonarme demirine çeşitli noktalarda sabitlenerek korumaya alınmıştır. Ayrıca birim deformasyon ölçerler üzerine özel koruyucu maddeler sürülerek mekanik tesirlere ve su etkilerine karşı korunmaları sağlanmıştır. Kazıklar hidrolik delgi makinasının kule vinci ile önceden açılan deliklere yerleştirilerek beton döküm işlemi tamamlanmıştır. Beton dökümü sırasında da ölçüm alınmak istenen iki seviyede betona gömülebilen birim deformasyon ölçerler kazığa yerleştirilmiş ve kabloları emniyete alınmıştır.

Kazık betonu yeterince sertleştikten sonra radyenin betonarme demir işlerine başlanmış ve projesine göre imal edilmiştir. Radyede oluşan moment tesirlerini ölçebilmek için temelin enine ve boyuna doğrultusunda olmak üzere tam ortadaki alt ve üst demirler, yukarıda

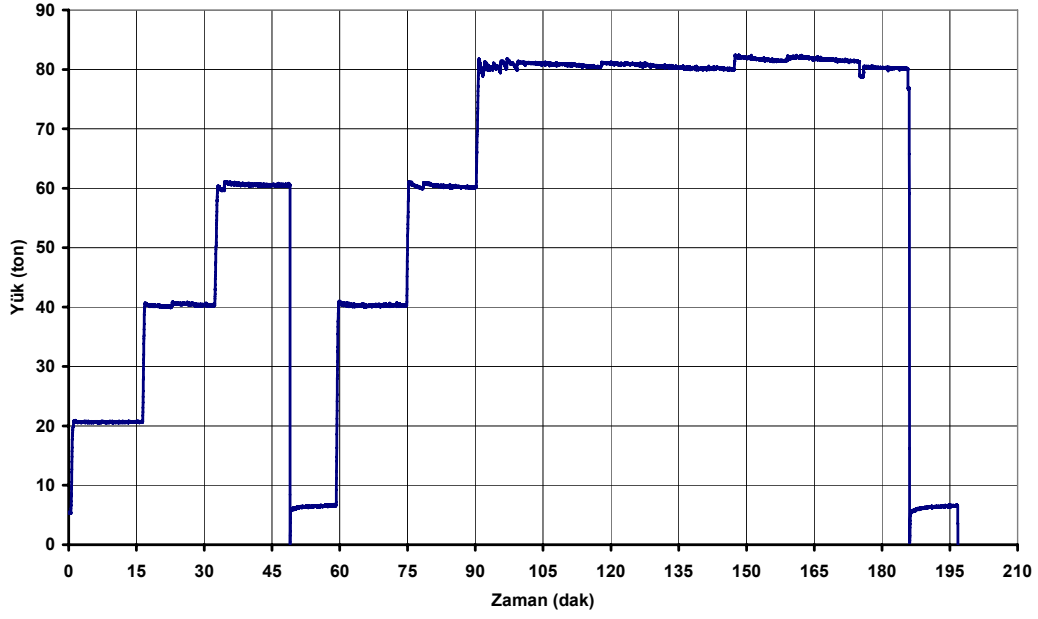
anlatılan işlemler tekrarlanarak birim deformasyon ölçerlerle donatılmıştır. Radyede demir işleri başlamadan önce temelin tam orta noktasına zemin basınç ölçer yerleştirilmiştir. Cihazın betonla aderansının tam olarak sağlanabilmesi ve mekanik tesirlere karşı korunabilmesi için çelik bir parça imal ettirilmiştir. Beton dökümünden sonra bu parça yardımıyla zemin basınç ölçer radyenin bir parçası gibi davranacak ve ölçüm için yeterli hassasiyet sağlanmış olacaktır. Beton dökümünden sonra temel ve kazıkların yeterli rijitliğe ulaşabilmesi için yüklemmeden önce 4 hafta beklenilmiştir.

Reaksiyon sistemi olarak düşeyde reaksiyon kazıkları ve çelik kirişler, yatayda ise betorname kazıklı temel bloğu kullanılmıştır. Reaksiyon kazıklarının betonunun dökümü sırasında beton içine bir şablon kullanılarak bırakılan bulonların üzerine yaklaşık 2 ton ağırlığındaki iki adet çelik yapma kiriş bir vinç yardımıyla monte edilerek düşey reaksiyon sistemi tamamlanmıştır. Model temele düşeyde ve yatayda hidrolik krikolar kullanılarak yük verilmiştir.

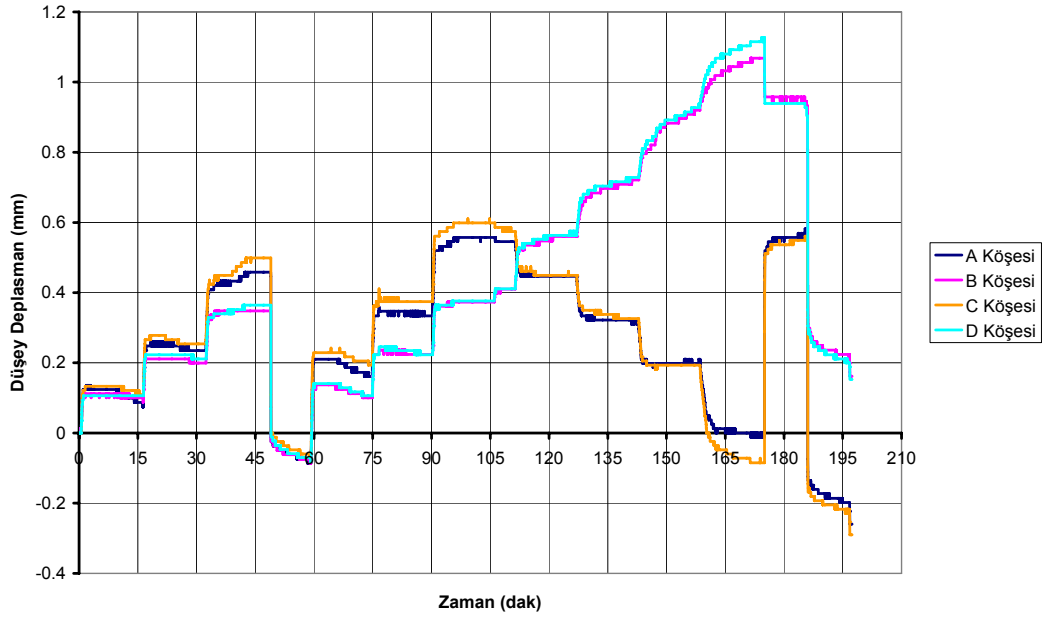
2.4 Model Deney ve Sonuçları

Model kazıklı temele düşey ve yatay yükleme yapılmıştır. İlk önce düşey yükleme yapılmış, maksimum yüke erişilince düşey yük sabit tutularak yatay yük uygulanmıştır. Düşey ve yatay doğrultuda oluşan deplasmanlar deplasman ölçerler aracılığıyla ölçülmüştür. Yük hücresi, birim deformasyon ölçer ve deplasman ölçerlerden gelen veriler 32 kanallı bir veri toplama sistemi kullanılarak okunmuş ve kayıt edilmiştir.

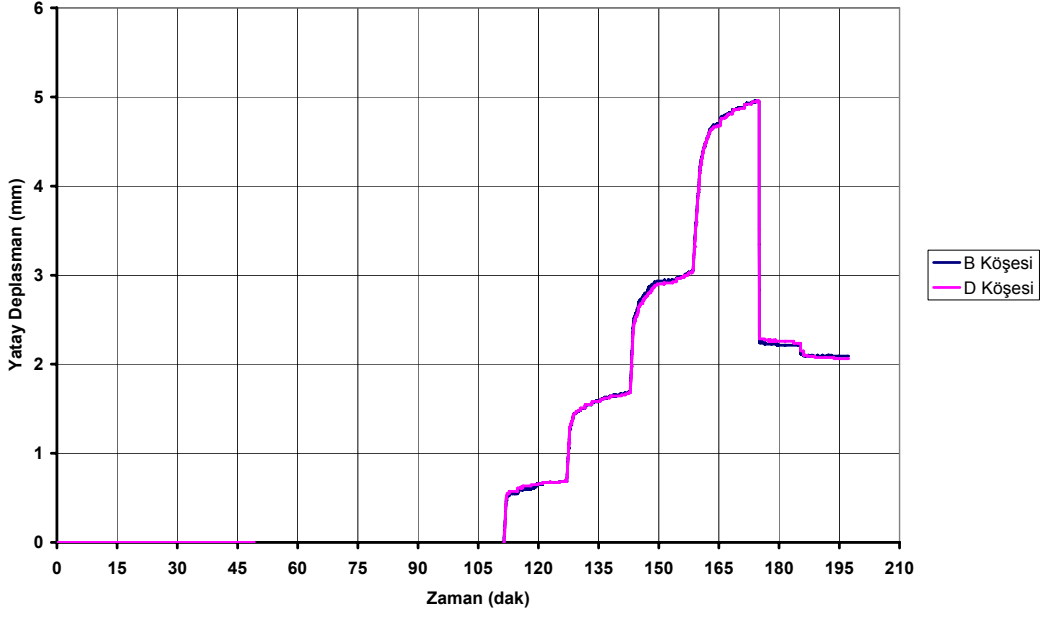
Şekil 2.2’de, uygulanan düşey yükün zaman göre değişimi gösterilmiştir. Maksimum düşey yük uygulanıp 15 dakika beklendikten sonra yatay doğrultuda sırası ile 20, 30, 40 ve 50 ton yük 15 dakika ara ile uygulanmıştır. Radye kazıklı temelde düşey ve yatay yüklerden dolayı oluşan oturmalar, deplasman ölçer kullanılarak veri toplama sistemi aracılığıyla kaydedilmiştir. Şekil 2.3’de düşey deplasmanın zamana göre değişimi, Şekil 2.4’de ise yatay deplasmanın zaman göre değişimi gösterilmiştir. Yatay yük altında temelin orta eksenini etrafında dönmeye başladığı, bir kenardaki deplasmanlar artarken karşı taraftaki deplasmanların aynı miktarda azalmasından kolaylıkla anlaşılmaktadır (Şekil 2.3).



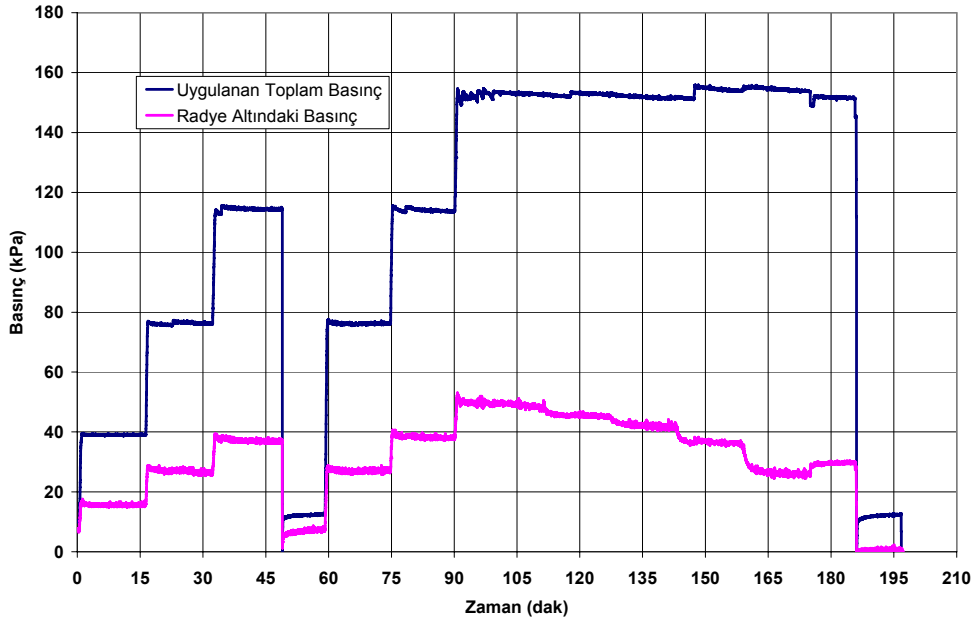
Şekil 2.2 Düşey Yük – Zaman ilişkisi



Şekil 2.3 Düşey Deplasman – Zaman ilişkisi



Şekil 2.4 Yatay Deplasman – Zaman ilişkisi



Şekil 2.5 Basıncı – Zaman ilişkisi

Radye altında zemine aktarılan basınç ise temelin altına ve temel orta noktasına yerleştirilen zemin basınç ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 2.5’de radyeye uygulanan toplam basıncın ve radye altında zemin basınç ölçer cihazın bulunduğu noktadaki basıncın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Bu grafikten yükün zemine, değişik yük seviyelerinde değişmekle birlikte, yaklaşık %30 oranında radye aracılığı ile aktarıldığı anlaşılmaktadır. Yatay yük uygulanmaya başlandıktan sonra radyenin orta eksenini etrafında dönmesi nedeniyle zemin basınç ölçerlerde okunan basınç değeri bir miktar azalmıştır. Kazık ve radye donatılarına yapıştırılan birim deformasyon ölçerlerden sağlıklı veri alınmadığı için onlardan toplanan veriler burada gösterilmemiştir.



Şekil 2.6 Donatılara yapıştırılan birim deformasyon ölçer



Şekil 2.7 Kazık deliklerinin delgi makinası ile açılması ve donatı kafesinin vinç yardımıyla deliğe yerleştirilmesi



Şekil 2.8 Zemin basınç ölçerin radye altına yerleştirilmesi



Şekil 2.9 Radye temellerin kalıp ve demir işçiliği



Şekil 2.10 Düşey reaksiyon kirişlerinin yerleştirilmesi



Şekil 2.11 Deney yükleme ve ölçüm sistemi

BÖLÜM 3

LABORATUVAR MODEL DENEYLERİ

3.1 Giriş

Raporun bu bölümünde ilk seri laboratuvar model deneyleri ve sonuçları sunulacaktır. Model deneyler ve gözlem aletleri esas olarak kazıklı radye temellerin yük paylaşımını ortaya koyacak şekilde seçilmiştir. Kazıklı radye temellerin oturma davranışı da ayrıca incelenmiştir.

3.2 Zemin Özellikleri ve Hazırlanması

Deneylerde kullanılan zemin karışımı ağırlıkça %50 kil ve %50 kumdan oluşmaktadır. Hazırlanan zemin karışımının birim hacim ağırlığı 19 kN/m^3 , su muhtevası ise %17 dir. Bu su muhtevası karışımın optimum su muhtevasıdır. Zemin karışımı, kil ve kumun bir karıştırıcı kullanılarak uniform bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılıp, bu karışıma optimum su muhtevası sağlanana kadar su eklenmesiyle elde edilmiştir.



Şekil 3.1 Çelik tanka yerleştirilen zemin karışımının hidrolik kriko kullanılarak sıkıştırılması

Testler çapı 410 mm ve derinliği 380 mm olan çelik dairesel bir tank içinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan zemin karışımı çelik tanka tabakalar halinde yerleştirilmiş ve her tabaka Şekil 3.1’de gösterildiği gibi hidrolik bir kriko ile sıkıştırılmıştır. Uygulanan basınç bir yük hücresi ile kontrol edilmiştir. Yerleştirilen zemin tabakalarını sıkıştırmak için gereken basıncı kolaylıkla uygulayabilmek için 56 mm kalınlığında tahta takozlar imal ettirilmiştir.

Tankın dolumu için birkaç dolum denemesinden sonra bir yerleştirme ve sıkıştırma metodu belirlenmiştir. Dolum sonunda elde edilmek istenen zemin rijitliğine göre, farklı miktarlardaki zemin tabakalar halinde tanka yerleştirilmiştir. Hedeflenen zemin rijitliğine ulaşabilmek için her tabaka eşit ağırlıkta hazırlanmış ve eşit basınç altında sıkıştırılmıştır. Yerleştirme ve sıkıştırma metodu şöyledir: İlk olarak, her tabakanın eşit ağırlıkta olması için zemin tartılmaktadır. Daha sonra tartılan bu zemin tanka boşaltılarak çelik bir seviyeleme aracı ile üst kısmı düzlenmektedir ve doğruluğu bir su terazisi kullanarak kontrol edilmektedir. Zemin seviyelendikten sonra tankın üstüne ulaşmaya yetecek kadar tahta takoz tank içine yerleştirilmektedir. Seviye tekrar kontrol edilerek tahta takozların üzerine hidrolik kriko yerleştirilmektedir. Zemin istenen basınç altında sıkıştırılmaktadır. Basınç seviyesi bir yük hücresi kullanarak ölçülmektedir. Ani oturmaların oluşmasından sonra basınç 5 dakika boyunca sabit tutularak tüm oturmalara izin verilmektedir. Bu zaman aralığı tüm oturmaların oluşması için yeterli olmaktadır.

Bütün bu aşamalardan sonra, aynı metod uygulanarak yeni bir tabaka hazırlanmaktadır. Zemin, tankın üst kısmından 56 mm aşağısına kadar doldurulmaktadır. Son tabakanın yerleşiminden sonra muhtemel oturmaların oluşmasına izin vermek için 1 saat boyunca basınç uygulanmaktadır. Uygulanan basınç, tabaka sayıları ve her tabakanın ağırlığı hedeflenen zemin rijitliğine göre değiştirilmektedir ve bu miktarlar tank yerleştirme ve doldurma metodunun önceden yapılan denemelerine göre belirlenmiştir.

3.3 Model Deney Düzenegi

Model kazıklar dış çapı 22 mm ve iç çapı 18 mm olan alüminyum borulardan hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Model kazıkların toprak altında kalan uzunlukları 200 mm’dir. Alüminyum model kazıkların pürüzsüz olan yüzeyi tornada pürüzlendirilmiş ve açık olan uç kısımları kapatılmıştır. Radyeden kazıklara geçen yükü ölçebilmek için, kazıkların üst kısmına birim

deformasyon ölçerler yapıştırılmıştır. Kazıkların bu kısmı tornada işlenerek birim deformasyon ölçerlerin ve terminallerinin yapıştırılabilmesi için uygun bir yer açılmıştır. Her bir kazık için 4 adet folyo tipi birim gerilme ölçer ve terminali kullanılmıştır. Birim deformasyon ölçerler su etkisine karşı özel kaplama maddeleriyle kaplanmıştır. Dış etkilere karşı koruma için ise özel alüminyum parçalar imal ettirilmiştir. Bu parçalar da alüminyum kazıkların diğer kısımları gibi pürüzlendirilmiştir. Birim gerilme ölçerlerin kabloları, birim gerilme ölçerlerin yapıştırıldığı yere açılan küçük delikler vasıtasıyla kazığın üst kısmına çıkarılmıştır. Birim gerilme ölçerler tam köprü düzeneği ile birbirine bağlanmıştır. Bu tip köprü yapısı aksel kuvvet ölçümlerinde kullanılmakla beraber, eğilme yüklerine karşı hassas değildir.



Şekil 3.2 Model kazık, alüminyum kaplama plakası ve sabitleme parçası

Radye uzunluğu ve genişliği 132 mm, kalınlığı 35 mm olan çelik bir plakadan imal edilmiştir. Radye üzerinde kazıkları sabitlemek için dört delik açılmıştır. Kazıklar radyeye imal edilmiş civatlarla bağlanmaktadır. Kazık eksenleri arasındaki uzaklık 4D (88 mm) dir. Radyenin ortasına yük hücresinin takılabilmesi için bir parça monte edilmiştir. Kazıklı radye modele uygulanan toplam yükü ölçebilmek için bu parçaya 5 ton kapasitesinde bir yük hücresi

takılmıştır. Yük hücresinin üzerine ise pnömatik hava silindirinden yük aktarılmasını sağlayan bir parça takılmıştır.

Zemini tanka yerleştirip, 1 saat sıkıştırıldıktan sonra basınç sıfırlanarak çapı 16 mm ve derinliği 215 mm olan delikler açılmaktadır. Bu delikler kazıkların yerleşiminde kullanılacak deliklerdir ve bu yerleştirme metodu yerinde dökme kazıkları temsil etmektedir. Delikler kazık yerleşiminde gerekli hassasiyeti sağlamak ve yerleşim hatalarını önlemek için çelik şablon kullanılarak delinmiştir. Yanal zemin basıncının negatif etkilerini önleyebilmek için, birim gerilme ölçerlerin yerleştirildiği kısımdaki delik çapının kazık çapına eşit olması sağlanmıştır. Delikler iki farklı çapta el burgularıyla delinmiştir. Zemin karışımının su muhtevasını belirleyebilmek için, deliklerin değişik derinliklerinden zemin örnekleri alınmıştır. Delik delme işlemi bittikten sonra kazıklar radyeye bağlanmış ve model kazıklı radye deliklerin üzerine yerleştirilmiştir. Kazıklı radyenin üzerine hidrolik kriko yerleştirildikten sonra, kazıklı radye hidrolik kriko kullanılarak zemine batırılmıştır. Radyenin seviyesi değişik batırma seviyelerinde kontrol edilmiştir. Radye zemine temas ettiğinde batırma işlemi durdurulmuş ve hidrolik kriko sistemden çıkarılmıştır.

Yük hücresi ve pnömatik hava silindiri sisteme takıldıktan sonra, yük hücresi ve birim deformasyon ölçerlerin kabloları veri toplama sistemine bağlanarak kayıt yapmaya hazır hale getirilmiştir. Yük Şekil 3.3 de gösterildiği gibi sisteme uygulanmıştır. Yük uygulamak için gücünü hava kompresöründen alan tek etkili hava silindiri kullanılmıştır. Uygulanan basınç bir valf yardımıyla kontrol edilmiştir.

Oturmalar deformasyon ölçerler kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.4). Deney boyunca oturmalar ve kazıklara gelen kuvvetler veri toplama sistemi kullanılarak kayıt edilmiştir. Veri toplama sistemi Şekil 3.5'te görülmektedir. Yük hücreleri ve model kazıklar laboratuvarında mekanik pres kullanılarak bilinen yükler altında kalibre edilmişlerdir. Deplasman ölçerler de kalibre edilerek kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Pnömatik hava silindiri ve yükleme sistemi



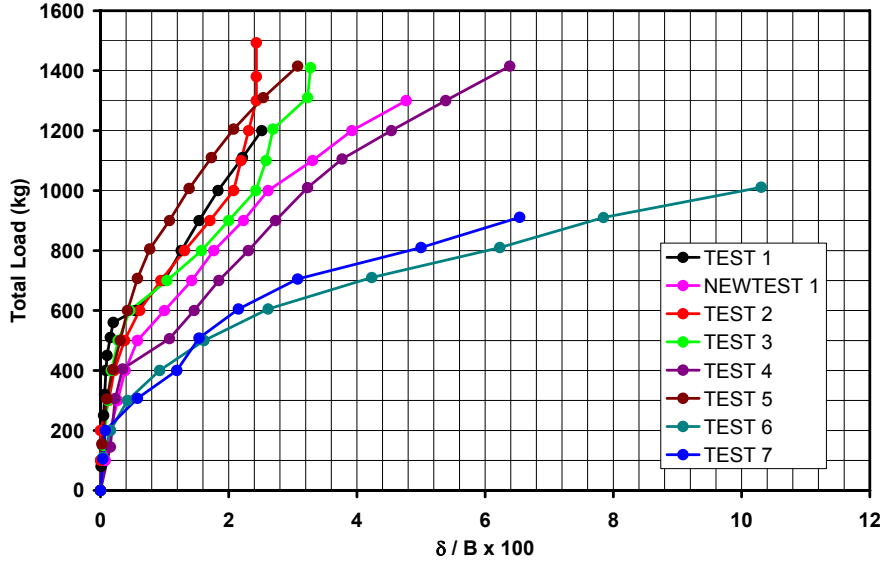
Şekil 3.4 Ölçüm düzeneği ve model kazıklı radye



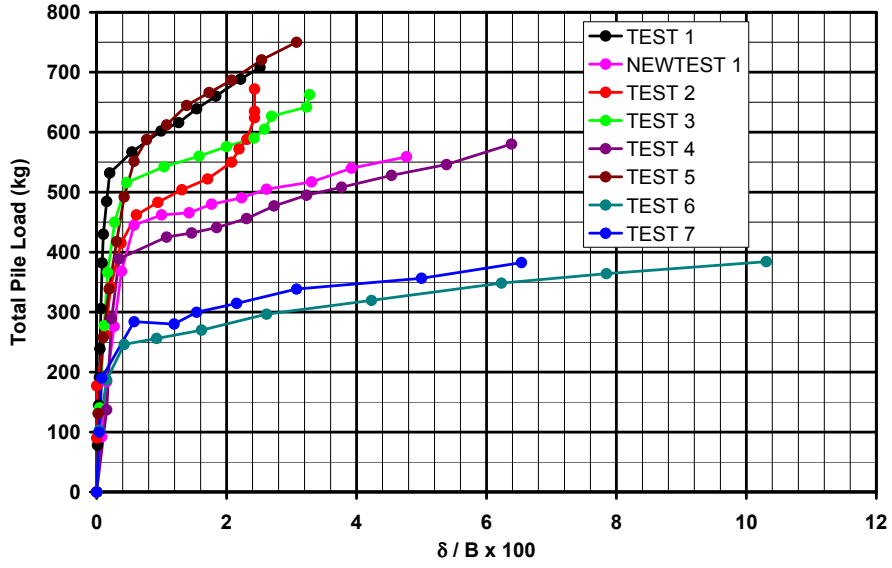
Şekil 3.5 Veri toplama sistemi, model kazıklar ve yük hücresi

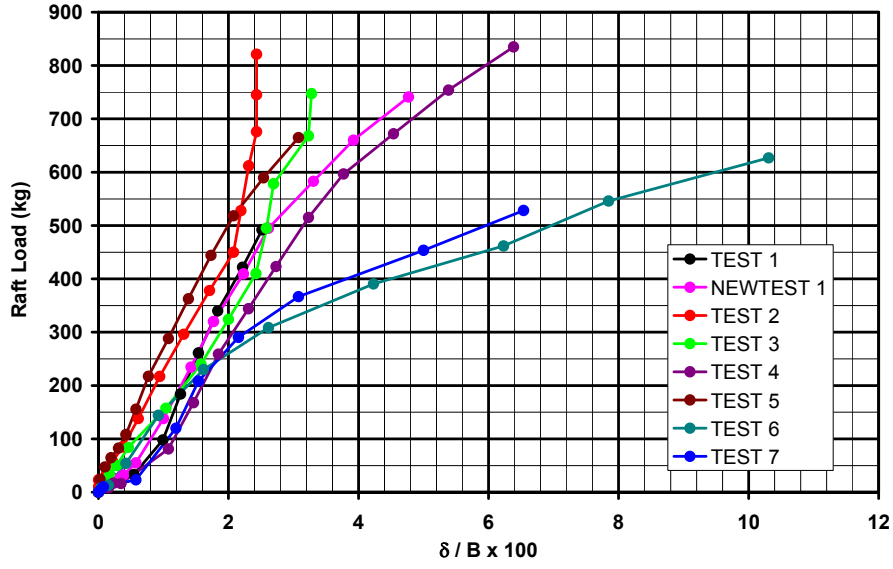
3.4 Model Deneyle ve Sonuçları

Model deney serilerinde sıkı, orta ve yumuşak zemin karışımları kullanılmıştır. Her deneyde uygulanan toplam yük, model kazıkların üst kısmındaki kuvvetler ve oturmalar veri toplama sistemi ile kayıt edilmiştir. Radyenin zemine aktardığı yük, uygulanan toplam yükten kazık başlarındaki kuvvetlerin toplamının çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Model kazıklı radyeler zeminin göçmesinden sonrasına kadar yüklenmiştir. Şekil 3.6’da toplam düşey yük birim oturma ilişkisi görülmektedir. Birim oturma düşey deplasmanın radye genişliğine oranı olarak ifade edilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi oturmalar azalan zemin rijitliği ile artmaktadır. Şekil 3.7 de görüldüğü gibi yüklemenin ilk aşamalarında yükün tamamı kazıklar tarafından taşınmaktadır. Oturmalar artmaya başladıkça radye yük taşımaya başlamaktadır ve yük kazıklarla radye arasında paylaşılmaktadır (Şekil 3.8).



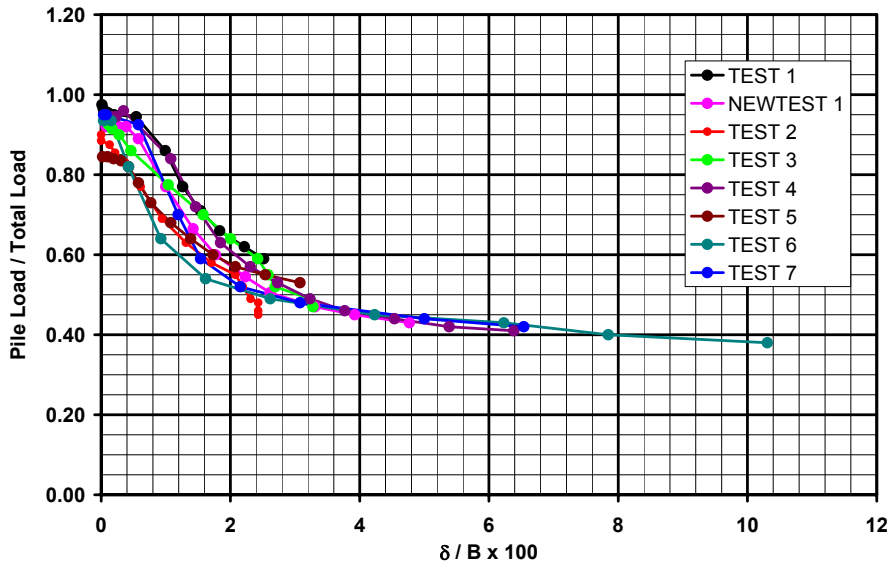
Şekil 3.6 Toplam Yük – Birim Oturma ilişkisi



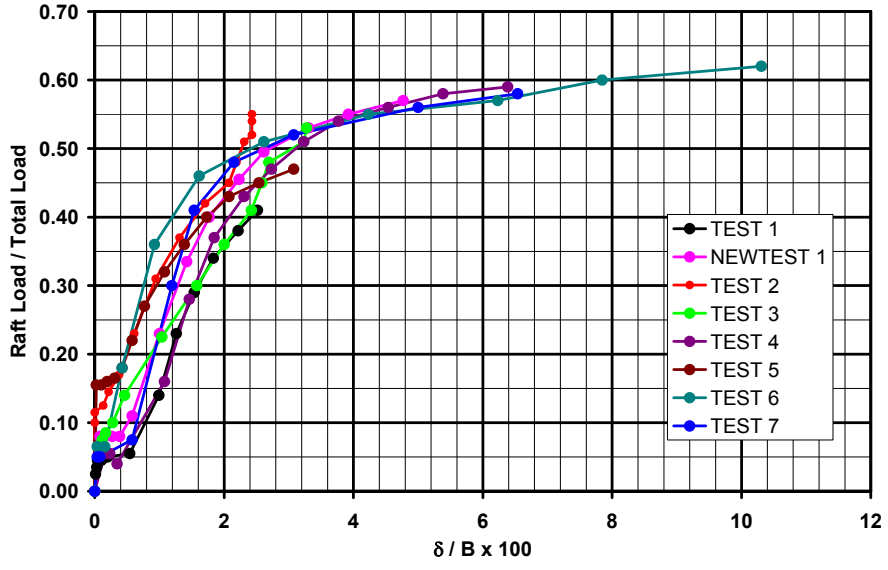


Şekil 3.8 Radye Yüğü – Birim Oturma ilişkisi

Şekil 3.9 ve 3.10’da, kazıkların ve radyenin yük paylaşım oranları görülmektedir. Belirli bir birim oturmada, kazıkların taşıdığı yük artan zemin rijitliği ile artmaktadır.



Şekil 3.9 Kazık Yük Paylaşım Oranı – Birim Oturma ilişkisi



Şekil 3.10 Radye Yük Paylaşım Oranı – Birim Oturma ilişkisi

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

Bu raporda kazıklı radye temel davranışını incelemek amacıyla yapılan model arazi ve laboratuvar deneyleri ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Deneylerde özellikle radyenin toplam taşıma gücüne katkısını öne çıkaran gözlemler ve ölçümler yapılmıştır. Araştırma ile laboratuvar deneyleri halen devam etmekle birlikte, şu ana kadar elde edilen sonuçlar radyenin toplam taşıma gücüne katkısının ihmal edilemeyecek kadar önemli ve kayda değer olduğunu göstermiştir.

Arazi deneyi sonuçlarına göre, yükün zemine, değişik yük seviyelerinde değişmekle birlikte, yaklaşık %30 oranında radye aracılığı ile aktarıldığı gözlemlenmiştir. Laboratuvar deneylerine göre yüklemenin ilk aşamalarında yükün tamamı kazıklar tarafından taşınmaktadır. Oturmalar artmaya başladıkça radye yük taşımaya başlamaktadır ve yük kazıklarla radye arasında paylaşılmaktadır. Radyenin taşıdığı yük, toplam yüke oranla %40 seviyelerine kadar çıkabilmektedir. Toplam yük seviyesiyle oturmalar, buna bağlı olarak da yük paylaşım oranları doğrudan ilgilidir. Bu sonuçlar yapılan diğer araştırmaların sonuçlarıyla desteklenmektedir.

Devam eden laboratuvar deneylerinde kazık sayısı artırılarak ve yerleşimleri değiştirilerek kazıklı radye temel davranışını etkileyen diğer faktörler de araştırılmaktadır. Ayrıca, bu model deneyler üç boyutlu sonlu elemanlar programı MIDAS-GTS ile de modellenerek analitik ve deneysel davranışın tutarlı olup olmadığı araştırılmaktadır. Ek parametrik analizlerle kazıklı radye temel davranışı hakkında ilave bilgilere ulaşılmaya çalışılacaktır.

KAYNAKLAR

- Butterfield, R. & Banerjee, P. K. (1971). The elastic analysis of compressible piles and pile groups. *Géotechnique* 21, No. 1, 43-60
- Clancy, P. & Randolph, M. F. (1996). Simple design tools for piled raft foundations. *Géotechnique* 46, No. 2, 313-328
- Cooke, R. W. (1986). Piled raft foundations on stiff clay-a contribution to design philosophy. *Géotechnique* 36, No. 2, 160-213
- Davis, E. H. & Poulos, H. G. (1972). The analysis of piled raft systems. *Aust. Geomech. Journal*. 2, 21-27
- Franke, E., El-Mossallamy, Y. & Wittman, P. (2000) Calculation methods for raft foundations in Germany. *Design Applications of Raft Foundations*, J. A Hemsley (ed.), 283-322, Thomas Telford, London
- Gök, S. & Toğrol, E. (2001). Kazıklı radye temellerin tasarımı üzerine. *Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, Kasım 2001
- Horikoshi, K. (1995). Optimum design of piled raft foundations. Ph. D. Thesis: University of Western Australia
- Katzenbach, R., Arslan, U. & Moormann, C. (1996). Nachweiskonzept für die Kombinierte Pfahl-Plattengründung (KPP). *Geotechnik*, 280-290
- Katzenbach, R., Arslan, U. & Moormann, C. (1998). Design and safety concept for piled raft foundations. *Proc. 3rd Int. Geotech. Sem. On Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent, Oct. 1998, 439-448, Balkema, Rotterdam
- Katzenbach, R., Arslan, U., Moormann, C., & Reul, O. (1999). Piled raft foundation: interaction between piles and the raft. *Proc. Int. Conf. On Soil-Structure Interaction in Urban Civil Engineering*, Oct. 1998, Darmstadt Geotechnics, 279-296
- Katzenbach, R., Arslan, U. & Moormann, C. (2000) Piled raft foundation projects in Germany. *Design Applications of Raft Foundations*, J. A Hemsley (ed.), 323-391, Thomas Telford, London
- Kim, H. T., Yoo, H. K., Kang, I. K. (2002). Genetic algorithm-based optimum design of piled raft foundations with model tests. *Journal of the Southeast Asian Geotechnical Society*, April , 1-9

Mandolini, A. and Viggiani, C. (1997). Settlement of piled foundations. *Géotechnique* 47, No. 4, 791-816

Ottaviani, M. (1975). Three dimensional finite element analysis of vertically loaded pile groups. *Géotechnique* 25, No. 2, 159-174

Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile foundation analysis and design*. Wiley, New York

Poulos, H. G. (1991). Analysis of piled strip foundation. *Computer methods and advances in geomechanics* (eds Beer et al.), pp. 183-191. Balkema, Rotterdam

Poulos, H. G., Small, J. C., Ta, L. D., Sinha, J. & Chen, L. (1997) Comparison of some methods for analysis of piled rafts. *Proc. 14th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng, Hamburg*, 2, 1119-1124. Balkema, Rotterdam

Poulos, H. G. (2001). Piled raft foundations: design and applications. *Géotechnique* 51, No. 2, 95-113

Randolph, M. F. (1983). *Design of piled foundations*, Research Report Soils TR143. Cambridge: Cambridge University Engineering Department

Randolph, M. F. (1994). Design Methods for pile groups and piled rafts. *Proc. 13th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng, New Delhi*, 5, 61-82. Balkema, Rotterdam

Schmitt, A., Turek, J., Katzenbach, R. (2002). Reducing the costs for deep foundations of high-rise buildings by advanced numerical modelling. *Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, İstanbul*, 223-232

Whitaker, T. (1961). Some experiments on model piled foundations in clay. *Proc. of Symp. Pile Foundations, 6th Congr. Int. Assn. Bridge and Structural Eng., Stockholm*, 124-139

Wiesner, T. J. & Brown, P. T. (1980). Laboratory tests on model piled raft foundations. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 106, No. 6, GT7, 757

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 1031007
Proje Başlığı: Kazıklı Radye Temellerin Etkin Tasarımı
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. M. Ufuk ERGUN, H. Kürşat TÜRKMEN
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK, ODTÜ
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.07.2003 – 15.05.2005
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada, laboratuvar ve arazi deneyleri yapılarak, kazıklı radye temellerin yük taşıma davranışı incelenmiştir. Deney düzenekleri öncelikle kazıklı radye temellerin yük paylaşım mekanizması ile ilgilidir. Kazıklı radye temellerin yük-oturma davranışı da ayrıca incelenmiştir. Uygun bir tasarım yaklaşımı kullanıldığında, radyelerin kazık gruplarının toplam yük taşıma kapasitesine katkıda bulunacağı ve bunun da kazık imalat masraflarını azaltacağı belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Kazıklı Radye Temel, Yük Paylaşımı, Model Deney
Projeden Yapılan Yayınlar: