

Kohezyonsuz Zeminde Kazık Aralığının Belirlenmesi ve Temel Davranışının Deneysel İncelenmesi

Ercan Egemen BAŞAR¹
İlyas Devran ÇELİK²
Münire FINDIK³
Soner UZUNDURUKAN⁴

ÖZ

Bu çalışmada, %50 ve %85 olmak üzere, iki farklı rölatif sıklığa sahip kum zeminde 40 adet model test deneyi yapılmıştır. Model temel sistemleri; uygulanan yükün, sadece radyeye, sadece kazıklara ve kazıklı radye temel sistemine taşındığı durumlar dikkate alınarak oluşturulmuştur. Kazıklı radye temeller radyenin zemine gömülü olduğu ve zemine gömülü olmadığı iki farklı durum için irdelenmiştir. Eksenel statik artımsal yükler altında analiz edilen modellerde; optimum kazık aralığının radyenin gömülü olmadığı durumda daha küçük, gömülü olduğu durumda ise daha büyük S/D oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Optimum kazık aralığı, orta sıkı zeminde, 1.5D ile 4D, çok sıkı zeminde 4.5D ile 6D arasında bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yapı zemin etkileşimi, kazıklı radye temel, optimum kazık aralığı, kazık tasarım parametreleri, model test.

ABSTRACT

Experimental Investigation on Foundation Behaviour and Optimum Pile Spacing in Cohesionless Soil

In this study, 40 model test were conducted with cohesionless soil in two different relative density of 50 % and 85 %. The model tests were categorized into 3 different configurations as only raft, only pile and piled raft foundation. Also the model tests of the piled rafts were

Note:

- Yayın Kurulu'na 17 Mart 2022 günü ulaşmıştır. 24 Ocak 2023 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mayıs 2023 gününe kadar tartışmaya açıktır.
- <https://doi.org/10.18400/tjce.1244594>

- 1 Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye
basarercan1@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0001-8175-6923>
- 2 Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye
devrancelik@sdu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-9011-4041>
- 3 Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye
mnr.dikmen@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0001-7333-8713>
- 4 Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye
soneruzundurukan@sdu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0003-4080-6642>

configured as shallow and surface. During the tests vertical loads were incrementally applied. The results demonstrate that the optimum pile spacing is smaller in the surface case compared to the shallow case. The study demonstrated experimentally that optimum pile spacing is to be between 1.5D to 4D, for 50 % relative density, whereas the optimum pile spacing for 85 % relative density is 4.5D to 6D.

Keywords: Soil-Structure Interaction, Piled Raft Foundation, Optimum Pile Spacing, Pile Designing Parameters, Model Test

1. GİRİŞ

Kazıklı radye temeller, taşıma gücü sınır değerinin yeterli olmadığı veya izin verilen oturma miktarının aşıldığı durumlarda uygulanmaktadır. Kazıklı radye temel sistemlerinde üstyapı yükü kazık ve radye tarafından beraber taşınarak zemine aktarılmakta, bu aşamada zemin-kazık-temel-üstyapı sistemleri birbiriyle etkileşim içerisinde bulunmaktadır. Kazıklı radye temel sistemleri ekonomik açıdan mümkün olan en az kazık sayısı ile üstyapı yükünü taşımayı amaçlamaktadır. Üstyapı yükü altında çalışmaya başlayan kazıklı radye temel sisteminde; kazık ve radye plağı arasındaki yük paylaşım oranları, temel sisteminin zemin ile olan etkileşimine göre şekil almaktadır. Bu noktada; özellikle sürtünme kazıklı sistemlerde üst yapı yüküne maruz temel sistemlerinde ilk mobilizasyon yada ilk oturma başlayınca kadar; üst yapıdan gelen yük, büyük oranda kazıklar tarafından taşınmaktadır. İlk mobilizasyonun tamamlanmasıyla, kazık ucu kotunda yükün büyük bir kısmı zemine transfer olmuş olacak ve temelin oturma değerleri minimize olacaktır. Tam bu noktada kazıklar maksimum taşıma gücüne ulaşacak ve yük, plak temel tarafından da karşılanmaya başlayacaktır. Belirtildiği gibi söz konusu bu sistemin zemin-kazık-radye-üstyapı etkileşimi dahilinde sistemin çalışma mekanizmasını irdelemek, sistemin ekonomik ve güvenli dizayn kriterlerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır [1, 2].

Son yıllarda kazıklı radye temellerin davranışının, farklı yöntemler kullanılarak incelendiği çalışmalarla sıkça karşılaşılmaktadır. Konuyla ilgili çalışmalarda kullanılan yöntemler genel olarak; analitik yöntemler, nümerik yöntemler, analitik-nümerik yöntemler, küçük ölçekli laboratuvar model testleri, saha vaka analizleri şeklinde gruplandırılabilir [3, 4, 5]. Krisnanto ve diğ. [5], bu yöntemler arasında olan küçük ölçekli laboratuvar model testlerinin, özellikle ön tasarım aşamasında nihai yük ve oturma davranışının belirlenmesinde etkili olduğunu belirtmiştir.

Kazıklı radye temel sistemlerinin geleneksel tasarımında temel plağının taşıma kapasitesine katkısı gözardı edilerek sadece kazıkların yük taşıdığı dikkate alınmaktadır. Bununla birlikte bu tip sistemlerde radye plağının taşıma kapasitesine artan yönde, oturmalarda azalan yönde katkı sağladığı bilinmektedir. Kuwabara [6] ve Sharafkhan ve Shooshpasha [7], düşey yüklenmiş kazıklı radye temellerin davranışlarının elastik teoriye dayanan sınır eleman yöntemiyle analiz edildiği çalışmalarda kazık başlığının zemine temas etmediği, sadece kazıkların yük alabildiği temel sistemleri ile kazıklı radye temellerin davranışı karşılaştırmıştır. Kazıklı radyelerde, düşey yükün %20-40 arasındaki kısmının radye tarafından ve kalan %60-80 arasındaki kısmının ise kazıklar tarafından taşınacağı bu çalışmalarda ifade edilmiştir.

Kazıklı radye temel davranışının incelendiği model testlerde kazık çapı, kazık uzunluğu ve zemin sıklığı gibi parametreleri değişken kabul ederek, kazıklı radye temellerde plağın

taşıma gücüne katkısının ve optimum kazık aralığının incelendiği çalışmalar mevcuttur [8, 9, 10]. Bu çalışmalarda sınır koşullarının test sonuçlarına etkisinin minimize edilmesi amacıyla tank boyutları için minimum derinlik ve genişlik tavsiyeleri bulunmaktadır [11]. Nihai taşıma gücünün artmasında kazık uzunluğu, kazık çapı, rölatif sıkılık ve kazıklar arası mesafe v.b. parametreler etkili olmakla birlikte, kohezyonsuz zeminde kazık çapı, kazık uzunluğu, kazıklar arası mesafenin değişken olarak incelendiği bir çalışmada kazıklı radye temellerin sadece radye temele göre gevşek kum zeminlerde %42-129 oranında, sıkı zeminlerde ise %74-124 daha fazla taşıma gücüne sahip olduğu belirtilmiştir [12].

Raut ve Diğ. [13] saha gözlemleriyle kazık uzunluğu, kazık çapı ve temel boyutlarının, kazık radye yük paylaşım oranını nasıl etkilediğini inceleyen bu çalışmada aynı kazık uzunluğunda (L_p), kazık çapındaki (D) artışın kazıklar tarafından karşılanan yükte artışa neden olduğu bulunmuştur. Diğer yandan L_p/D oranının artmasıyla aynı yük altında aynı kazık aralığındaki kazıklı temel tasarımları düşey yük altında daha az oturmaktadır [13,14]. Model testlerde L_p/D oranı ve kazık sayısı arttıkça kazıklı radye temellerin aynı oturma mertebesinde radye temellere göre daha fazla yük aldığı analiz edilmiştir [15]. Ancak üstyapı yükü kaynaklı eksantirisitenin mevcut olduğu durumlarda uzun kazık kullanımının yapı üzerindeki riski büyüteceği yapılan çalışmada belirtilmiştir. Bu tür durumlarda uzun kazıkların zemindeki oturmayı azaltmasına rağmen kısa kazıklı radye temelin kullanımının uygun olacağı da ifade edilmiştir [16]. Kazık başlığının rijit, yarı rijit veya esnek olması durumu göz önüne alındığında temel sistemlerinde kazık başlığı rijitliği ve yatay yönde oluşan gerilme artışlarının oturma davranışlarını artırdığı belirlenmiştir [17].

Kazık yerleşim aralığı dikkate alındığında kazık başının zemine gömülü olduğu veya olmadığı durumda kazıklar arası mesafenin nihai taşıma gücüne etkisi üzerine yapılan çalışmalarla incelenmiştir. Kazık başının zemine gömülü olmadığı durumda, kazıklar arası mesafenin $4D$ 'den daha büyük olmasının nihai taşıma kapasitesinde azalmaya neden olduğu, kazık başının gömülü olduğu durumda ise kazıklar arası mesafenin $4D$ değerinden büyük olması durumunda dahi nihai taşıma kapasitesinde artışın devam ettiği görülmüştür. Kazıklar arası mesafe artsa bile kazık ve temel birlikte çalışmaya devam ettiği için taşıma gücü açısından katkı ortaya koymaktadır. Ancak $1D$ ve $2D$ gibi mesafe aralığında kazıklar arasında zeminde gerilme girişimleri oluşmaktadır. [18]. Tekil kazık, kazık grubu, sadece radye ve kazıklı radye temel yüklemesinde optimum kazık aralığı $3D$ olarak kazıklı radye temel sistemi için elde edilmiştir [19]. Deneysel ve sayısal olarak yapılan analizlerde kazık yerleşim aralığı/kazık çapı oranlarının incelenmesi dışında kazık aralığı/temel genişliği (S/B) oranı dikkate alındığında bu oranın % 0.7 olduğu durumda kazıklı radye sisteminin üstyapı yüküne karşı en yüksek taşıma kapasitesinde olduğu literatürde ifade edilmiştir[1]. Saha çalışmaları ve kazıklı radye temeller için Clancy ve Randolph [20] tarafından önerilen formüllerden elde edilen veriler karşılaştırmalı dikkate alındığında aynı yük altında oturma değeri açısından saha çalışmaları ve formüller arasında % 23'e varan farklar çıkmaktadır [21]. Bu amaçla ön tasarım yaparken model deneyleri dikkate almak bize yol gösterici olmaktadır.

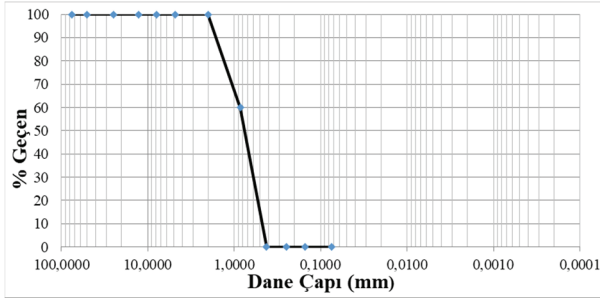
Bu çalışmada, model testlerle optimum kazık yerleşimine, L_p/D oranı, temel ve kazık geometrisi, zemin elastisite modülü v.b. değişkenlerin etkisi araştırılmıştır. Aynı zemin koşulları, sadece radye, sadece kazık, radyenin zemine gömülü olduğu ve olmadığı durumda kazıklı radye temel olarak 4 farklı koşul altında analiz edilmiştir. 0.5-1.0 mm dane çapı dağılımına sahip iki farklı sıklıktaki kum zeminde artan statik yük altında testler yapılmıştır. Çalışmada kazıklı radye temel sistemlerinde, ilk mobilizasyon kaynaklı yük paylaşım

mekanizmasını ayırıştırabilmek için temel plağı zemine gömülü ve plak tabanı zemin kotunda yani temelin gömülü olmadığı durumda olmak üzere iki aşamada değerlendirilmiştir. Model testlerde iki farklı temel boyutu, iki farklı kazık çapı, 1.5D, 2D, 3D, 4.5D ve 6D kazık aralığı için oluşturulan numuneler, çok sıkı ve orta sıkı zemin koşullarında test edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, kazık uzunluğu/çap oranı, temel ve kazık geometrisi, zemin sıklığı, üstyapı yükü, oturmalar v.b. kazıklı radye temel sisteminin taşıma gücü üzerinde etkisi bulunan yapı-zemin unsurlarının katkıları değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler ışığında kazık radye yük paylaşım oranı, optimum kazık aralığı v.b. tasarım parametreleri hakkında literatüre katkı sağlanmıştır.

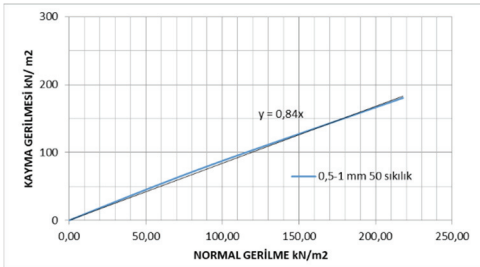
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Model Testlerde Kullanılan Zeminin Mühendislik Özellikleri

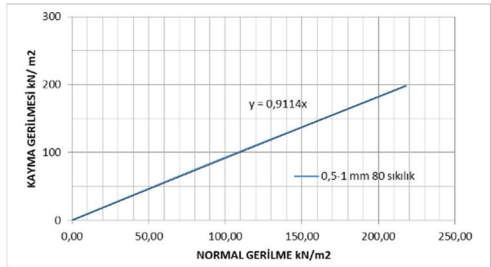
Bu çalışmada kullanılan zemin Kocaeli ilinden temin edilmiş olan kötü derecelenmiş (SP) kuvars kumudur. İki farklı rölatif sıklıkta (% 50 ve % 85) hazırlanan kum zemin üzerinde model deneyleri yapılmıştır. Model testlerde kullanılan zeminin indeks özelliklerinin belirlenmesi için ASTM D6913 [22] standardıyla elek analizi, ASTM D854-14 [23] Standartıyla Piknometre, ASTM D4253-16 [24] standardıyla maksimum ve minimum boşluk oranı, ASTM D3080 [25] Standardıyla direkt kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. İlgili zemin deneylerinin sonuçları Şekil 1 ve Tablo 1,2 ve 3'te verilmiştir.



a) Kum Zemin Dane Çapı Dağılımı



b) % 50 Sıklıkta Kesme Kutusu Kayma Gerilmesi Normal Gerilme Değerleri



c) % 85 Sıklıkta Kesme Kutusu Kayma Gerilmesi- Normal Gerilme Değerleri

Şekil 1 - Zemin Dane Çapı Dağılımı ve Direkt Kesme Kutusu Kayma-Normal Gerilme Grafikleri

Tablo 1 - Kumun Fiziksel Özellikleri

Granülometri Parametreleri	Birim	Değer
Kaba Kum Yüzdesi	%	0
Orta Kum Yüzdesi	%	100
İnce Kum Yüzdesi	%	0
D ₁₀	mm	0.48
D ₃₀	mm	0.65
D ₆₀	mm	0.85
D ₅₀	mm	0.75
Üniformluk Katsayısı C _u	-	1.77
Derecelenme Katsayısı C _c	-	1.03
Zemin Sınıfı	-	SP

Tablo 2 ve 3'te kum zemine ait sıklık özellikleri verilmiş olup, % 50 ve % 85 sıklıkta model test tankına yerleşimi için gerekli mühendislik parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 2 - Kum Zemine Ait Sıklık Değerleri

Rölatif Sıklık Parametreleri	Birim	Değer
Dane Birim Hacim Ağırlığı	kN/m ³	26.8
Maksimum Boşluk Oranı(e _{maks})	-	0.85
Minimum Boşluk Oranı(e _{min})	-	0.51
γ _{kmaks}	kN/m ³	17.41
γ _{kmin}	kN/m ³	14.21

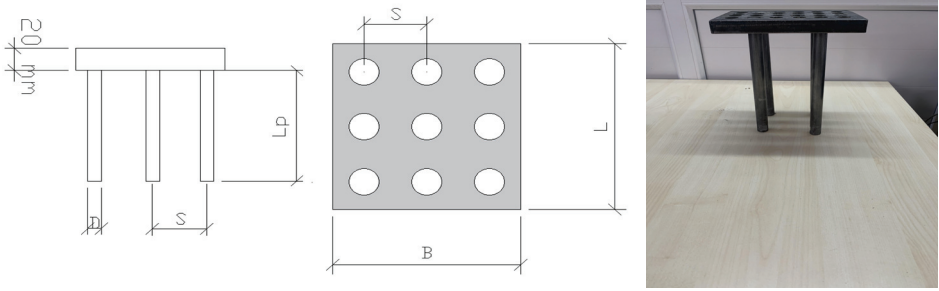
Tablo 3 - Kum Zeminin Çok Sıkı ve Orta Sıkı Durumdaki Malzeme Özellikleri

	%85 Sıklık	%50 Sıklık
γ _{kuru} (kN/m ³)	17	15.8
E(kN/m ²)	36010	21060
v	0.3	0.3
G(kN/m ²)	13850	8100
φ(°)	42	38
c(kN/m ²)	0	0

Tablo 3'te yer alan elastisite, kayma modülü ve Poisson oranı Şekil 1 b ve c'de yer alan başlangıç aşamasındaki direkt kesme kutusu deneylerinden elde edilen kayma gerilmesi yatay birim şekil değiştirme oranlanarak kayma modülü elde edilmiş buna göre literatürde Noonan ve ark. [26] ve Çetin [27]'de yer alan formüllerden yararlanılarak elastisite modülü ve Poisson oranı hesaplanıp, Tablo 3 oluşturulmuştur.

2.2. Model Test Deneylerinde Kullanılan Temel ve Kazıklara Ait Özellikler

Model deneylerde kullanılan temel plakları ve kazıklar çelik malzemeden imal edilmiştir. Çalışmada, uzunlukları aynı olan iki farklı çapa sahip kazık tipi, kalınlıkları aynı olan iki farklı boyuttaki temel tipi kullanılmıştır. Temel plaklarının cidar kalınlığı 20 mm dir. Kazıklara ve temellere ait malzeme özellikleri ve boyutsal parametreler Şekil 2 ve Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 2 - Temel plağı ve kazık elemanların boyutsal parametreleri

Şekil 2'de temel genişliği (B), temel uzunluğu (L) ve kazık uzunluğu (L_p) ve kazık çapı (D) görsel olarak yer almaktadır.

Tablo 4. Temel ve Kazık Geometrik Ölçüleri ve Kazık Malzeme Özellikleri

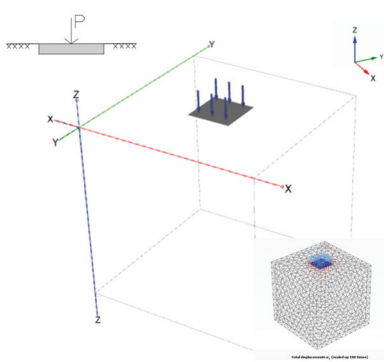
Malzeme Cinsi	Malzeme Niteliği	B(mm.)	L(mm.)	D(mm.)	L_p (mm.)	L_p/D	γ (kN/m ³)	E(kN/m ²)	ν
Çelik	Birinci Temel	120	120	-	-	-	77	$2 \cdot 10^8$	0.30
	İkinci Temel	200	160	-	-	-	77	$2 \cdot 10^8$	0.30
	Birinci Temel Kazığı	-	-	7.5	230	30.7	77	$2 \cdot 10^8$	0.30
	İkinci Temel Kazığı	-	-	20	210	10.5	77	$2 \cdot 10^8$	0.30

Çalışmada kullanılan tanklar çelik levhalar kullanılarak tasarlanmış, tank duvarında yeterli rijitliği sağlayabilmek için tankın yarı kotunda (250mm'de) kuşaklama yapılmıştır. Yükleme esnasında zemin tabakasında sıkışmaya bağlı olarak meydana gelebilecek hareketliliğin gözlemlenebilmesi amacıyla model test tankının cam kaplamalı gözlem boşlukları bulunmaktadır ve Şekil 10'da görülmektedir. Statik yükleme koşullarındaki model testlerde, sınır koşullarının test sonuçlarına etkilerini değerlendirmek amacıyla 500 mm derinliğe

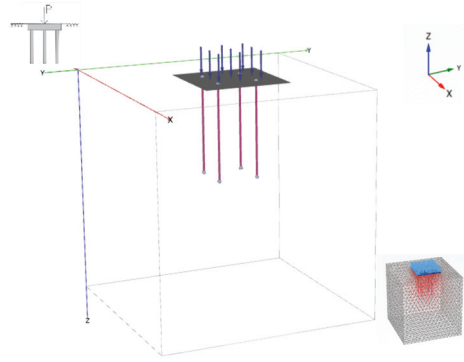
sahip, 500x500 mm ve 500x750 mm boyutlarında iki farklı kum tankı üzerinde referans model test deneyleri yapılmıştır. Referans deneylerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve Plaxis 3D sonlu elemanlar programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sınır koşulları etkisi bir sonraki bölümde değerlendirilmiştir.

2.3. Sınır Koşulları Etkisi

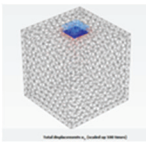
Statik yüklemeye tabi tutulan model testlerde, sınır koşullarının test sonuçlarına etkilerini inceleyebilmek için derinlikleri 50 cm sabit kalmak kaydı ile yatay ölçüleri 50x50 cm ve 50x75 cm boyutlarındaki iki adet kum tankında referans model testler (Şekil 9, Durum 1) yapılmıştır. Durum 1 ve Durum 2 (Şekil 3 a ve b) için iki farklı temel boyutunda (12*12 cm ve 20*16 cm) Tablo 2 ve Tablo 3'te bulunan rijitlik parametreleri kullanılarak Plaxis 3D programında sayısal modeller oluşturulmuştur. Sayısal analizlerde sınır koşullarının sonuçlara olan etkisini irdeleyebilmek amacıyla, sonlu modeller 50x50x50cm(Şekil 3c), 50x75x50cm(Şekil 3d) ve saha koşulları (Şekil 3e) için tekrarlanmıştır. Literatürde de yer aldığı gibi [12], yapılan referans deneylerden elde edilen sonuçlar birbirleri ve Plaxis 3D sonlu elemanlar programı ile karşılaştırılmıştır. Her üç durumda da oturma ve taşıma kapasitesi sonuçlarının birbiri ile benzer olması sebebi ile çalışmada kullanılan tankların deney sonuçları için yeterli olduğu anlaşılmıştır.



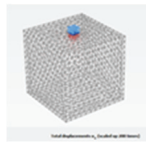
a. Sadece Temel Durum 1 3D Plaxis Modeli



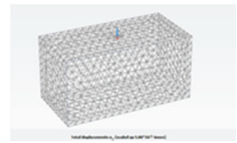
b. Kazıklı Radye Temel 2. Temel Durum 2 3D Plaxis Modeli



c. (x,y,z)50*50*50 cm.



d. (x,y,z)50*75*50 cm

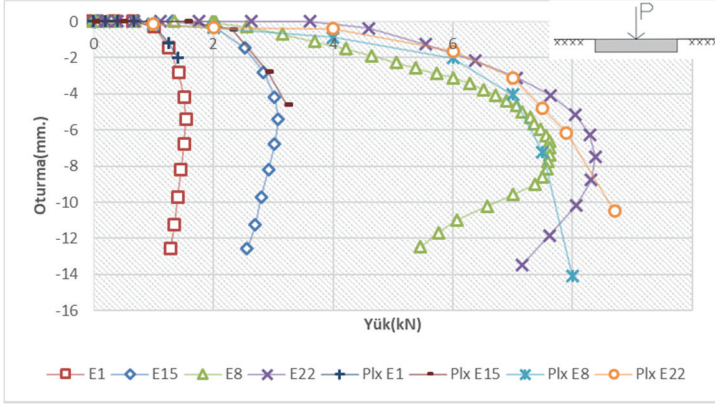


e. (x,y,z)10*20*10 m.

Şekil 3 - Plaxis 3D Sayısal Modelleri Genel Görünümü ve Tank Boyutları

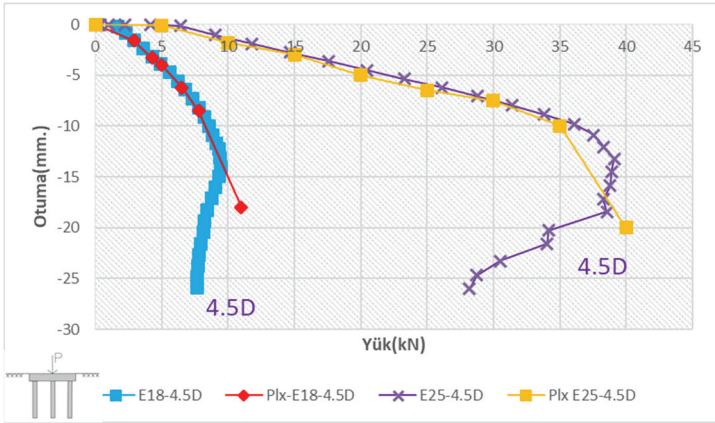
Çalışmada tablo 5'te yer alan E1,E8,E15,E18,E22,E25 model test deneyleri ve Şekil 3 c,d,e'de yer alan 3 farklı sınır koşuluna göre yapılan tüm Plaxis 3D sonlu elemanlar

analizlerinde elde edilen yük-oturma davranışlarının örtüşmekte olduğu Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4 - E1,E8,E15,E22 Durum 1 için yapılan Deneysel ve Sonlu Elemanlar Karşılaştırma Grafikleri

Bu çalışmadaki model testler arasında en yüksek taşıma kapasitesine ulaşan 2. Temel boyutlarında ve 4.5D kazık aralığına sahip E18 (orta sıkı kum) ve E25 (çok sıkı kum) deneyleri sonlu eleman analizi ve model test deneyi grafiği Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5 - E18,E25 Durum 2 4.5D Kazık Aralıklı Kazıklı Temel İçin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Karşılaştırma Grafikleri

Şekil 5'ten görüleceği üzere bahsedilen tank boyutlarında, sonlu eleman analizleri ve model test sonuçları birbiri ile uyum içerisindedir. Elde edilen bu sonuçlar çalışmada kullanılan 50x50x50 cm boyutlarına sahip tank ile yapılan deneylerin sınır koşullarından etkilenmeyeceğini göstermiştir. Bu nedenle model test çalışmalarında ve analizlere 50x50x50 cm boyutlarındaki tank kullanılarak devam edilmiştir.

2.4. Model Test Deneylerinin Uygulanması ve Test Programı

Farklı boyutsal parametrelerin mevcut olduğu model testlerin sonuçlarının aynı düzlemde değerlendirilebilmesi, tekrarlanabilirlik ve sonuç olarak çalışmanın etkinliği açısından, yükleme hızı, sınır koşulları ve özellikle zemin koşullarının standart hale getirilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle, zeminin kum tankına doldurulması esnasında azami özen gösterilmiştir. Kum zeminin tanka doldurulması için bir yağmurlama kulesi kullanılmış ve zemin danelerinin tankın içine aynı yükseklikten serbestçe düşürülmesi sağlanmıştır. Tankın yağmurlama kulesinden yükleme ünitesine taşınması sırasında olası sarsıntıların zemin sıklılığını değiştirmesini engellemek amacıyla kayar vinç hattı tasarlanmıştır. Şekil 6'da gösterilen düzenek sayesinde kum tankı içindeki zemin tabakasının yağmurlama hattından yükleme ünitesine istenilen koşula en yakın durumda olacak şekilde geçişi sağlanmıştır.



(a) Model Testin Hazırlanışındaki İlk Aşama



(b) Model Testin İkinci Aşaması

Şekil 6 - Model Testlerin Hazırlanış ve Yapılma Görseli

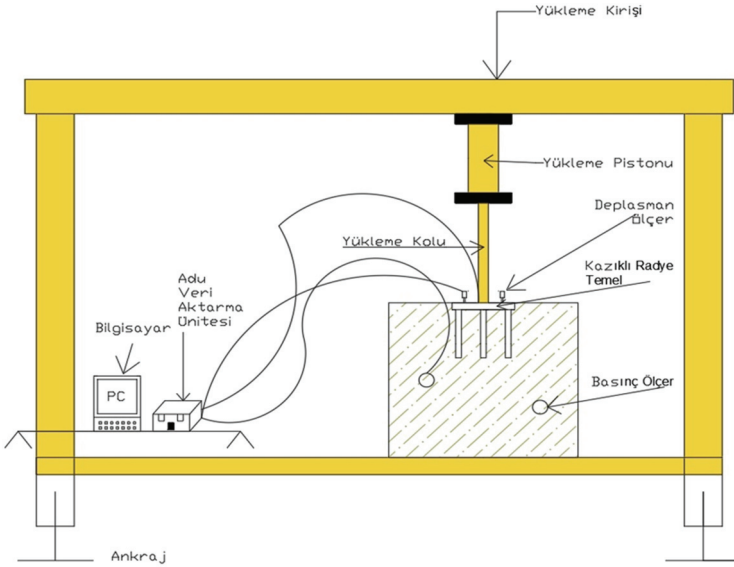
Şekil 6a'da yer alan yağmurlama kulesinden düşen kum, boru içinde hızlanarak boru ağzında model tankının içine 5 cm yükseklikten düşmektedir. Bu doğal akış ile kum tankındaki zemin tabakasının % 50 rölatif sıklıkta yerleşmesi sağlanmaktadır. Tankın 500mm olan derinliği, 50mm kalınlığında 10 zemin tabakası halinde yerleştirilmiştir. Tankın alt ve üst kısmına yerleştirilen 30mm çapında 20mm derinliğinde numune alma kapları yardımıyla her dolumda iki defa olmak üzere rölatif sıklık kontrolü yapılmıştır [12, 28, 29].

Çalışmada dikkate alınan ikinci sıklık değeri olan %85 rölatif sıklığa ulaşabilmek için vibrasyonla sıkıştırma tekniği kullanılmıştır [28, 29]. Sıkıştırma işlemi yukarıda bahsedilen her 50 mm'lik serim işlemi gerçekleştirildikten sonra uygulanmıştır. Şekil 7'de bu

uygulamaya ait genel görünüm verilmiştir. Vibrasyon işleminin zemin granülometrisinde olası etkilerini değerlendirebilmek açısından sıkıştırma işlemi öncesi ve sonrasında yapılan elek analizleri vibrasyonla sıkıştırmanın zemin granülometrisinde kayda değer bir değişime neden olmadığı işlem öncesi ve sonrası her iki elek analizi sonuçlarının çok yakın çıkmasından dolayı göstermiştir.



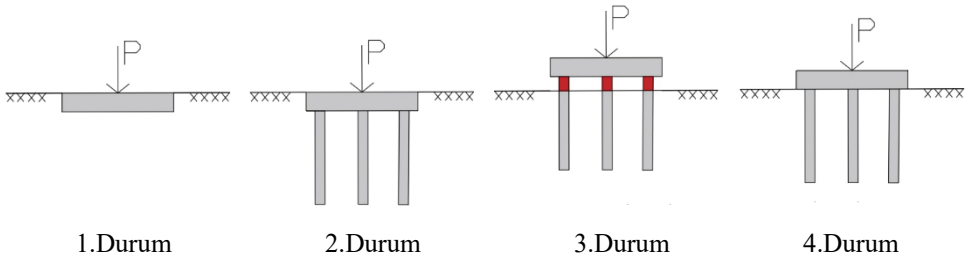
Şekil 7 - Kohezyonsuz Zemini İstenilen Rölatif Sıklığa Getirmek için Titreşim Cihazı



Şekil 8 - Deney Düzeneginin Şematik Olarak Gösterimi

Şekil 8’de deney düzeneginin genel şeması yer almaktadır. Düzenekte; yükleme kirişi, yükleme pistonu, yükleme kolu, deplasman ölçer, kazıklı radye temel, basınç ölçer, veri

aktarma ünitesi ve bilgisayar yer almaktadır. Yükleme pistonu 20 ton kapasiteli olup 0.5 mm/dk'lık yükleme hızına sahiptir. Yükleme kolunun içinde 5 tonluk 0.01 kN hassasiyetinde yük hücresi bulunmaktadır. Deplasman ölçerler 50 mm'ye kadar 0.01 mm hassasiyetinde ölçüm alabilmektedir. Buna göre Şekil 8'den görüleceği üzere kazıklı radye temel kum tankının içine 0.5 mm/dk'lık hız ile yerleştirilmekte daha sonra yük oturma eğrileri bu sistemler yardımıyla oluşturulabilmektedir. Şekil 8'de görülen basınç ölçerler sayesinde kazıklı temelin alt bölgesinde, diğer bir deyişle literatürde [11, 30, 31] eşdeğer radye olarak tanımlanan bölgede basınç değerleri ölçülebilmektedir. Bu sistem ve değerleri belirtildiği gibi literatürde yer alan çalışmalara [32,33] hassasiyet ve yükleme hızı olarak uyum sağlamaktadır. Diğer yandan bu standartlar dışına çıkılması halinde kazıkların yerinde dökme veya çakma kazık olarak davranması söz konusudur, bu durumlar için de benzer biçimde yerleştirme ve yükleme standartları bulunmaktadır [32, 33]. Çalışmada kullanılan radye temel ve kazıklı temel sistemleri dört farklı durumda incelenmiştir. Şekil 9'da model testlerde dikkate alınan başlangıç koşulları gösterilmiştir. Buna göre Durum 1'de sadece radye temel, Durum 2'de kazıklı radye (radye plağının zemine gömülü olduğu durum), Durum 3'te sadece kazık temel (kazık başlığının zemin üst kotundan 25 mm. yüksekte bulunduğu durum), Durum 4'te plak tabanı zemine (radye temelin gömülü olmadığı durum) temaslı kazıklı radye dikkate alınarak yükleme testlerine tabi tutulmuştur.



Şekil 9 - Model Testlere Yerleştirilen Temel Sistemlerinin Gösterimi

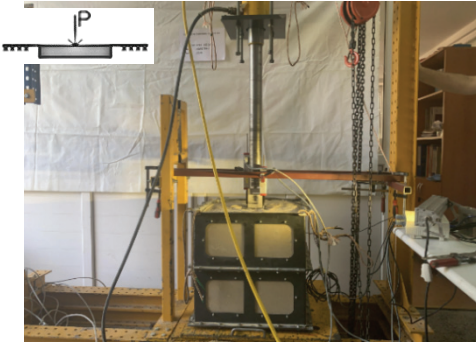
Testlerde kullanılan temel, kazık ve zemin sıklık varyasyonlarına bağlı olarak parametre sayısının artırıldığı bu çalışmada, oluşturulan deney düzeneklerinin isimleri ve dikkate alınan parametrelerin değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Tabloda boyutsal açılımları ve zemin durumları ifade edilen toplam 40 adet model test deneyi yapılmıştır. Çalışmada dikkate alınan temel sistemi durumlarına ait test görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir.

Tablo 5 - Deney Programı

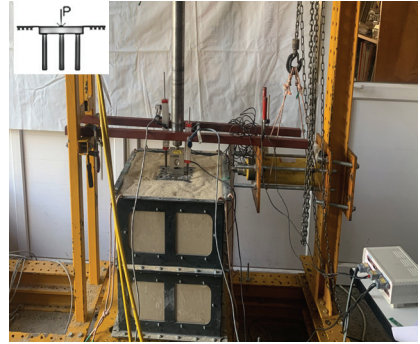
*G Orta Sıkı		Deney No	B(mm.)	L(mm.)	Lp(mm)	d(mm)	Lp/D	S
*S Sıkı Durum								
Durum 1	G	E1	120	120	-	-	-	-
	S	E8	120	120	-	-	-	-
	G	E15	200	160	-	-	-	-
	S	E22	200	160	-	-	-	-

Tablo 5 - Deney Programı (devam)

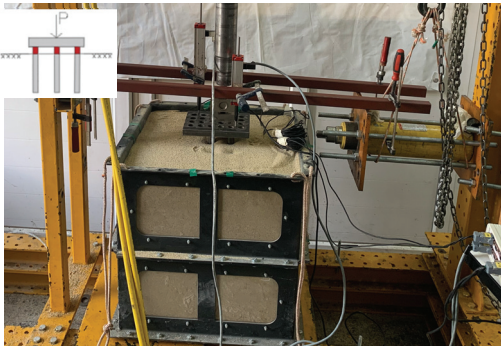
*G Orta Sıkı		Deney No	B(mm.)	L(mm.)	Lp(mm)	d(mm)	Lp/D	S
*S Sıkı Durum								
Durum 2	G	E2,E3,E4	120	120	230	7,5	30,7	2D, 4D, 6D
	S	E9,E10,E11	120	120	230	7,5	30,7	2D, 4D, 6D
	G	E16,E17,E18	200	160	210	20	10,5	1.5D, 3D, 4.5D
	S	E23,E24,E25	200	160	210	20	10,5	1.5D, 3D, 4.5D
Durum 3	G	E5,E6,E7	-	-	230	7,5	30,7	2D, 4D, 6D
	S	E12,E13,E14	-	-	230	7,5	30,7	2D, 4D, 6D
	G	E19,E20,E21	-	-	210	20	10,5	1.5D, 3D, 4.5D
	S	E26,E27,E28	-	-	210	20	10,5	1.5D, 3D, 4.5D
Durum 4	G	E29,E30,E31	120	120	230	7,5	30,7	2D, 4D, 6D
	S	E32,E33,E34	120	120	230	7,5	30,7	2D, 4D, 6D
	G	E35,E36,E37	200	160	210	20	10,5	1.5D, 3D, 4.5D
	S	E38,E39,E40	200	160	210	20	10,5	1.5D, 3D, 4.5D



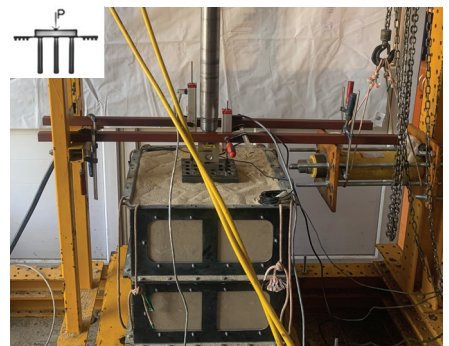
a)Durum 1 E8 Deney Düzenegi



b)Durum 2 E23 Kazıklı Radye Temel Deney Fotoğrafi



c)Durum 3 E26 Deney Fotoğrafi



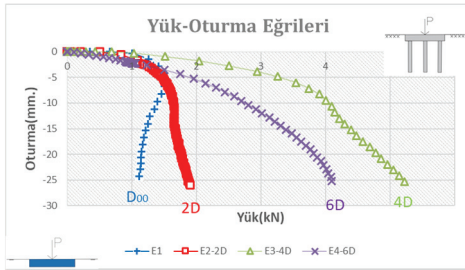
d)Durum 4 E29 Deney Fotoğrafi

Şekil 10 - Durum 1,2,3,4 gösteren model test deneyleri

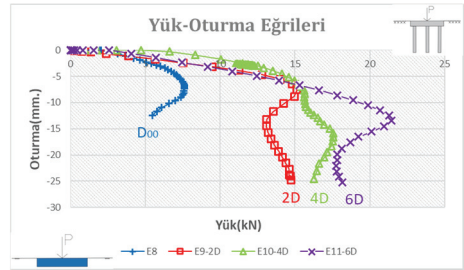
Şekil 10'da çalışmada temel sistemi test durumlarına ait örnek görünüm verilmektedir. Model test kutusunun üzerine yerleştirilen cam kaplamalı gözlem boşlukları sayesinde deney esnasında zemin tabakasında sıkışmaya bağlı hareketlilik gözlemlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

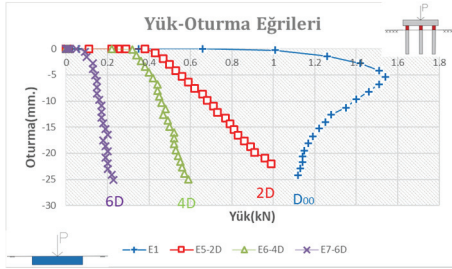
Kazıklı radye temellerin davranışının deneysel olarak incelendiği bu çalışmada, orta sıkı ve çok sıkı olmak üzere iki farklı sıklıkta hazırlanan kötü derecelenmiş kum zemin için model deneyler yapılmıştır. Deneylerde kazık çapı, kazık uzunluğu, kazıklar arası mesafe ve temel boyutları değişken olarak seçilmiştir. Kazık-temel plak etkileşiminin daha net olarak



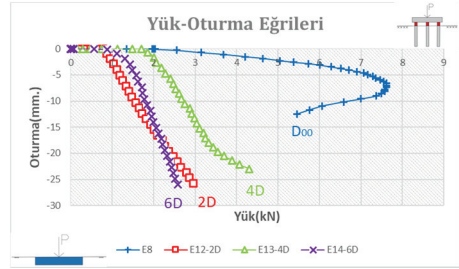
a) %50 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 2 Karşılaştırması



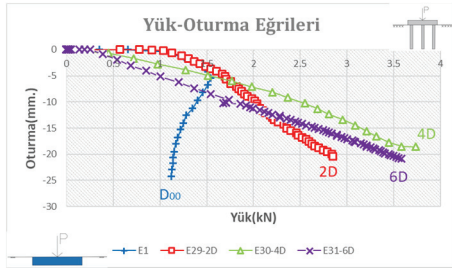
b) %85 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 2 Karşılaştırması



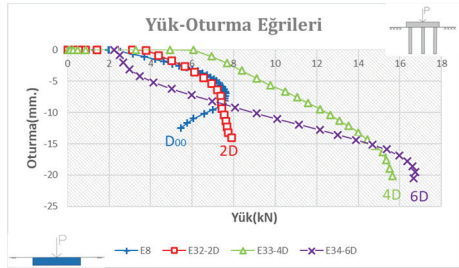
c) %50 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 3 Karşılaştırması



d) %85 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 3 Karşılaştırması



e) %50 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 4 Karşılaştırması



f) %85 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 4 Karşılaştırması

Şekil 11 - 120x120x20mm plak, D7,5 mm kazık çapı durumuna ait model test sonuçları

anlaşılabilmesi için deneyler, Şekil 9’da gösterilen dört farklı durum için aynı koşullarda tekrarlanmıştır. Bu kapsamda yapılan model testlerden elde edilen yük oturma değerleri grafiklendirilmiştir. Grafiklerde iki farklı boyuttaki temel geometrisi, orta sıkı ve çok sıkı zemin koşulunda dört farklı başlangıç durumu için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı olarak sunulmuştur. Şekil 11’de 120x120x20 mm boyutlarındaki birinci temel durumuna ait sonuçlar gösterilmiştir. Şekilde kazıklı radye temel durumlarını (Durum 2, 4) ve sadece kazık temel (Durum 3) temsil eden sonuçlar, sadece radye temel (1. Durum) için elde edilen referans değer ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Şekil 11’de sol sütunda yer alan grafikler zeminin %50 rölatif sıklılık değerindeki orta sıkı yerleşimine, sağ sütundaki grafikler %85 rölatif sıklılıktaki çok sıkı yerleşime aittir.

Tablo 6 - 1. Temel İçin Durum 1,2 ve 4 Kendi İçinde Kazık Temel Yük Paylaşma Oranları

Referans Deney		Karşılaştırma Deneyi			
Deney No	Temel Nihai Taşıma Kapasitesi(kN)	Deney No(S)	Kazıklı Temel Nihai Taşıma Kapasitesi(kN)	Kazık Taşıma Yüzdesi(%)	Temel Taşıma Yüzdesi(%)
E1	1.5	E3(4D)	5.2	71.15	28.84
E8	7.62	E11(6D)	21.44	64.45	35.54
E1	1.5	E30(4D)	3.73	60	40
E8	7.62	E34(6D)	16.61	54.12	45.87

Tablo 6’da Durum 1, 2 ve 4’ün kazık ve temelin yük paylaşma oranları yer almaktadır. 1.durum radye temelin göçme anındaki nihai yük diğer kazıklı radye temelin birlikte çalıştığı durum 2 ve 4’ün nihai taşıma kapasitelerine bölünerek kazık radye yük paylaşım oranları yüzde olarak tabloda verilmiştir.

$$\text{Temel Taşıma Yüzdesi} = \frac{\text{Temel taşıma kapasitesi}}{\text{Kazıklı temel Taşıma Kapasitesi}} * 100 \quad (1)$$

Birinci temel tipi için yapılan model testlere ait sonuçların verildiği Şekil 11 incelendiğinde; orta sıkı ve çok sıkı zemin koşullarında kazık aralıklarının, temel sisteminin düşey deplasmanları ve nihai taşıma kapasiteleri üzerinde belirleyici sonuçları olduğu görülmektedir. Şekil 11a’da orta sıkı kumda referans deney yani sadece radye temelin nihai durumu olan 1,5 kN taşıma kapasitesi dikkate alınarak, Durum 2 için kazık-radye yük paylaşım oranları karşılaştırılmıştır. Kazıklar arası mesafenin 4D olduğu E3 no’lu kazıklı temel sistemi, -25 mm düşey deplasman değerinde 5,2 kN nihai taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu değer, E1 nolu referans deneyde elde edilen kapasite değerinin (1,5 kN) 3,46 katına karşılık gelmektedir. Bu deney için sisteme eklenen kazıkların etkili olduğu nihai durum dikkate alındığında temel sistemine gelen yükün %71.15 oranında kazıklarca karşılandığı hesaplanmıştır. 6D aralığındaki E4 nolu deneydeki kazıklı temel sisteminde 4 kN nihai kapasite değeri elde edilmiş, bu durum için kazıklar %62.5 oranında yükü üstlenmiştir. 2D aralığındaki E2 nolu deney için elde edilen sonuçlar incelendiğinde; orta sıkı zemin durumu için radye ve kazıklı radye taşıma kapasiteleri açısından belirgin bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Kumdaki kazıklı temellerde kazıklar arası mesafe için önerilen sınır

değerlerin altında kaldığı bu durumda, literatürde belirtilen gerilme girişiminin [20, 30, 31, 34], gelişmesiyle temel sisteminin taşıma kapasitesi düşmüştür ve referans deney(durum 1) ile neredeyse aynı değerde nihai yük dayanım değeriyle karşılaşılmıştır Sadece 4D aralıktaki E3 deneyinde kazıkların yük paylaşımına %71.15 oranında katkı sağladığı, diğer kazık yerleşimlerinde sürtünme direncinin yeterli seviyede mobilize olamaması nedeniyle bu oturma değerinde kazıkların yük paylaşımına katkı sağlayamadığı gözlenmektedir [30]. İlerleyen yükleme aşamalarında nihai sınırdaki 6D aralıktaki E4 deneyinde kazıkların yük paylaşımına olan katkısı %62.5 mertebesine ulaşmaktadır. Ancak 2D aralığındaki E2 deneyinde kazık-zemin etkileşim bölgesinde gerilme girişimi[6, 35, 36, 37, 38], nedeniyle taşıma gücü azalırken, kazıklar arası mesafenin oldukça fazla olduğu 6D durumunda blok davranış söz konusu olamamış, 4D durumunda ise kazık grubu blok olarak davrandığından taşıma gücü daha yüksek çıkmış diğer bir deyişle kazıklar en etkin şekilde çalışmıştır.

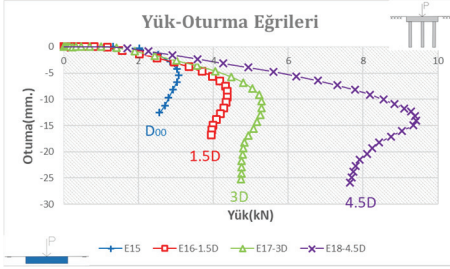
Şekil 11b'de %85 rölatif sıklık değerinde hazırlanan kumda Durum 2 için yapılan model test sonuçları sunulmuştur. Şekil 11a ve 11b karşılaştırıldığında tüm kazık aralıkları için zemin sıklığındaki artışa paralel olarak taşıma kapasitelerinde artış olduğu görülmektedir. Bu sıklık durumunda, referans deneyinin nihai taşıma kapasitesinin elde edildiği oturma değerinde (-7.5mm) tüm kazık yerleşimleri için kazıklı radyenin taşıma kapasitesinin radye temelin 2 katı mertebesinde olduğu görülmektedir. Kazıklı radye temellerin nihai kapasiteleri dikkate alındığında kazık yük paylaşım oranları 2D ve 4D için %50, 6D durumu için %70 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, kazıklar arası mesafenin kazıklı radye performansı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ve optimum aralığının zemin sıklığından önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle zemin sıklığına bağlı olan optimum kazık aralığına sahip kazıklı radye temellerde, etkileşimde bulunan kazık-zemin bölgesinde sürtünme ve uç direncini artırıcı yönde kazanımlar geliştiği ve temel sisteminin taşıma kapasitesinde kayda değer artışlar meydana geldiği görülmektedir. Bu bulgular Poulos [30] ve Nyugen vd. [32] tarafından elde edilen bulgularla örtüşmekte ve geleneksel oturmadan bağımsız temel taşıma ve sadece kazıkların yük taşıma kapasitesini sürtünme ve uç direncince hesaplayan söz konusu formüllerin literatürde[38] gelişmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmada Durum 3 olarak tanımlanan ve sadece kazıkların sürtünme ve uç direncinin sistem davranışına olan etkisinin ayrıştırılması amacıyla oluşturulan model testlere ait sonuçlar Şekil 11 c ve d'de gösterilmiştir. Bu bölüm 120x120x20 mm boyutlarındaki temel sistemi ve 7,5mm çapındaki kazık aralığına ait sonuçları kapsamaktadır. Deneylerde temel tabanı, zemin üst kotundan 25 mm yukarıda yerleştirilmiştir (Şekil 11c). Bu duruma ait deneylerde uygulanan yük; plak tabanı ve zemin arasında temas sağlanıncaya kadar, kazık yüzey alanı boyunca sürtünme direnci ve kazık alt ucunda uç direnci tarafından karşılanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kazık taşıma kapasitelerinin referans deneyin çok altında kaldığı görülmektedir. Kazık aralığı sistemin yük oturma davranışını doğrudan etkilemektedir. Orta sıkı kumda 6D aralığındaki E7 nolu deneyde yükleme boyunca 0,2 kN nihai kapasite değerine ulaşıldıktan sonra sistem yük alamamıştır. Orta sıkı durumda kazıklar arasındaki mesafe azaldıkça, kazıkların etkileşime zorlandığı, kazık-zemin sisteminin blok davranışa geçerek nihai kapasiteye pozitif yönde katkı sağladığı görülmektedir. Bu bulgular Nyugen vd. [32] ve Reese vd. [36] tarafından elde edilen bulgularla örtüşmektedir.

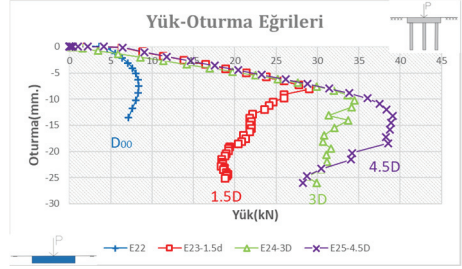
Bununla birlikte sırasıyla 2D ve 4D kazık aralıklarının incelendiği E5 ve E6 deneylerinde temel sistemi oturmadaki artışla yük almaya devam etmiş ancak temel zemine temas edene kadar referans deney taşıma kapasitesine ulaşamamıştır.

Şekil 11d'de %85 rölatif sıklığa sahip kumda Durum 3 için yapılan deneylerin sonuçları sunulmuştur. Zemin sıklığındaki artış, bekleneceği üzere, hem referans deneyde hem de Durum 3'e ait deneylerde yük taşıma kapasitesine artışa neden olmuştur. Çok sıkı kumda kazık sürtünmesinden kaynaklanan düşey yük kapasite kazanımı, orta sıkı kuma göre ortalama 4 kat artmıştır. Ancak hiçbir kazık aralığı için referans deneyin nihai taşıma kapasitesine ulaşamamıştır. Çok sıkı kumda, orta sıkı kumdan farklı olarak en büyük kazanım 4D aralık olan E13 için sağlanmıştır, maksimum sürtünme direncine 2 kN yükleme mertebesinde ulaşıldığı görülmektedir. 2D ve 6D aralıklarda ise 1,12k N ve 1,35 kN mertebesindeki yüklemenin ardından mobilizasyona geçilmiştir. Sonuç olarak orta sıkı zeminde optimum kazık aralığı çok sıkı zemine göre daha düşük çıkmıştır. Buna göre çok sıkı durumda mobilizasyon daha geç başlamıştır. Bu bulgular, Hadi vd. [2] tarafından elde edilen araştırma bulgularıyla örtüşmektedir. Optimum kazık aralıkları, Durum 3'te Durum 2'ye kıyasla hem sıkı hem de orta sıkı durumda daha az çıkmıştır. Benzer biçimde El Samee [18] kazık başlıklarının gömülü olmadığı, sadece kazıkların çalıştığı durumda optimum kazık aralığının, kazık başlığının gömülü olması durumuna göre daha yakın yani daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Radye temel dahil olması (Durum 4) ve kazık başlıklarının gömülmesi (Durum 2) durumlarında yapılan deneylerde nihai yük taşıma kapasitesini kazık başlıklarının gömülü olmadığı yani sadece kazıkların çalıştığı duruma (Durum 3) göre daha yüksek bulmuştur.

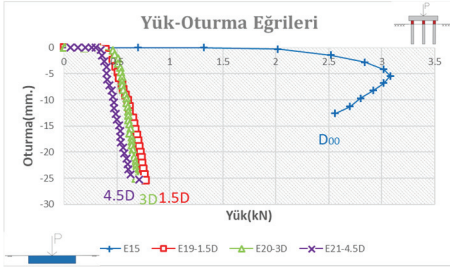
Çalışmada Durum 4 olarak tanımlanan radye plağının zemin üst kotuna temas ettiği duruma ait deneyler Şekil 11 e ve f'de sunulmuştur. Durum 4'ü Durum 2'den ayıran temel fark, temel plağı düşey yerdeğiştirmeye başladığında, kazık-radye yük paylaşımının başlayacak olmasıdır. Orta sıkı durum için yapılan test sonuçları incelendiğinde; 2D aralığına sahip E29 nolu deneyde, plak yük paylaşımına yükleme başından itibaren dahil olmuştur. E29 yük oturma grafiği referans deney yani E1 ile örtüşmektedir. Referans deneyde olduğu gibi zeminde belirgin bir oturma meydana gelmeksizin temel sistemi bir miktar yük alabilmiştir. Bununla birlikte E29 modelinde temel sistemi referans deney nihai kapasite sınırını takiben yük almaya devam etmiş ve düşey yük kapasite kazanımı E1'e göre 1,86 katına çıkmıştır. Bu sınır durum için kazık radye yük paylaşım oranı kazıklar için %49 mertebesinde. 4D ve 6D aralığına ait E30 ve E31 nolu deneylerde başlangıç kısmında referans deneye göre daha büyük deplasmanların gerçekleştiği görülmektedir. Referans deneyin nihai taşıma kapasitesinde meydana gelmiş olan oturma değerleri dikkate alınarak şekil 11e incelendiğinde; E30 ve E31 için daha yüksek oturma değerleri kayda alınmıştır. Oturma sınırını, kazıklar sayesinde temel gömülü olduğu duruma göre daha üst seviyeye çekebilmiştir. Yükleme devam ettirildiğinde nihai kapasite E30 deneyi için -18mm düşey yerdeğiştirmede 3,5kN ve E31 deneyi için -20mm düşey yer değiştirmede 3,4kN olarak gerçekleşmiştir. Yükleme başlangıcında radye plak tabanı referans deneyde olduğu gibi zemin ile temas halinde olmasına rağmen, E30 ve E31 deneylerinde daha düşük yük değerlerinde referans deneye kıyasla büyük oturmalar meydana gelmiştir. Ayrıca yerdeğiştirme direncinin özellikle ilk oturma değerleri diğer bir deyişle mobilizasyon başlangıcında durum 2'ye göre farklı olduğu görülmektedir. Bu durum sistemin ilk mobilizasyonunun kazık aralığı ve radye plak derinliğinden etkilendiğini göstermektedir.



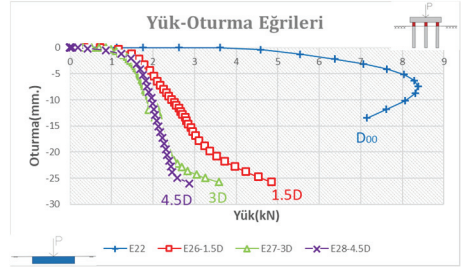
a) %50 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 2 Karşılaştırması



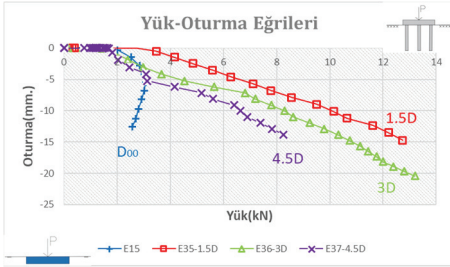
b) %85 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 2 Karşılaştırması



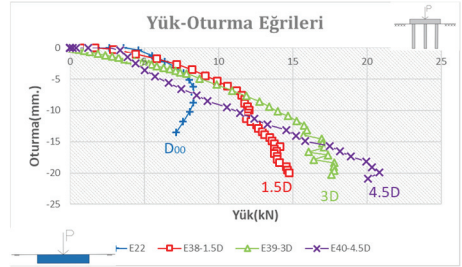
c) %50 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 3 Karşılaştırması



d) %85 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 3 Karşılaştırması



e) %50 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 4 Karşılaştırması



f) %85 Rölatif Sıklık Durum 1-Durum 4 Karşılaştırması

Şekil 12 - 200x160x20mm plak, D20mm. kazık çapı durumuna ait model test sonuçları

Çok sıkı zemindeki 2D aralığına sahip E32 deneyinde yük oturma davranışı E8 deneyinde gözlenen davranışı ile örtüşmektedir. Orta sıkı zemindeki aynı aralığa sahip E29 deneyinde olduğu gibi referans deneyin nihai taşıma kapasitesine ulaşılan kadar referans deneyin yük oturma davranışını takip etmiştir. bununla birlikte referans deneyin nihai taşıma kapasitesi aşıldıktan sonra E29 ile E32 deneyinin davranışı farklılaşmıştır. E32 deneyinde referans deneyin nihai taşıma kapasitesi aşıldıktan sonra temel sisteminde oturmalar devam etmesine rağmen kayda değer bir yük kazanımı gözlenmemiştir. Kazıklar arası mesafenin 4D olduğu E33 deneyinde ise optimum davranış gözlenmiştir. Bu deneyde, referans deney olan E8 deneyindeki nihai kapasite değeri 7,5 kN yük değerine daha küçük oturma seviyelerinde

ulaşmıştır. E33'de -7,5 mm oturma seviyesinde 12,5 kN yük değeri için kazıklar %39.04 oranında yük almıştır. E33 deneyinde temel sistemindeki oturma artıkça referans deneyde gözlenen nihai değerin üzerine çıkan taşıma kapasiteleri gerçekleşmiştir. Bu, radye temelin gömülü derinliğinin daha az olması veya hiç olmaması durumunda kazıklı temel sisteminin daha yüksek oturma değerlerinde nihai yüke daha geç ulaşacağı anlamına gelmektedir. Benzer şekilde sadece kazık temel durumunda oturmadaki artışla sistem göçmeden yük almaya devam etmiştir. Bu nedenle kazıklar vasıtasıyla, zeminde göçme oluşmaksızın daha büyük oturma mertebelerine karşı konulduğu görülmektedir. Çalışmada en yüksek kazık aralığı aralığına sahip E34 nolu deneyde, referans deney nihai taşıma kapasitesine daha büyük bir oturma değerinde ulaşılrken, E34 deneyinin nihai yük taşıma değeri E33'ten daha yüksek çıkmıştır. E33 ve E34 nihai durumu dikkate alındığında kazıkların yük paylaşımına %54.12 oranında katkı sağladıkları hesaplanmıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi radyenin altında kalan bölgede temel derinliği yada kazıkların sık aralıkta küçük oturma mertebelerinde daha fazla yük taşıyabilmekte ancak nihai durumda daha büyük kazık aralığında daha büyük kapasite değerleri çıkmaktadır. Bu durum, Poulos [30] tarafından da belirtildiği üzere eşdeğer radye bölgesinde oluşan kazık-temel-zemin etkileşimine bağlı oturma davranışının tasarımda dikkate alınması gerektiğini göstermekte ve oturma değerlerinden bağımsız bir taşıma kapasitesinin gerçekten uzak olduğunu söz konusu bu çalışmalar ifade etmektedir.

Tablo 7 - 2. Temel İçin Durum 1,2 ve 4 kendi içinde kazık temel yük paylaşma oranları

Referans Deney		Karşılaştırma Deneyi			
Deney No	Temel Nihai Taşıma Kapasitesi(kN)	Deney No(S)	Kazıklı Temel Nihai Taşıma Kapasitesi(kN)	Kazık Taşıma Yüzdesi(%)	Temel Taşıma Yüzdesi(%)
E15	3.08	E18(4.5D)	9.42	67.3	32.7
E22	8.38	E25(4.5D)	38.9	78.45	21.54
E15	3.08	E35(1.5D)	12.74	75.82	24.17
E22	8.38	E40(4.5D)	20.85	59.81	40.19

Tablo 7'de Durum 1,2 ve 4'ün kazık ve temelin yük paylaşma oranları yer almaktadır. 1.durum radye temelin göçme anındaki nihai yük diğer kazıklı radye temelin birlikte çalıştığı durum 2 ve 4'ün nihai taşıma kapasitelerine bölünerek kazık radye yük paylaşım oranları yüzde olarak tabloda verilmiştir.

İkinci temel tipi kullanılarak yapılan model deneylerinin sonuçları Şekil 12'de verilmiştir. Bu deneylerde radye plağının boyutları 200X160X20 mm, kazık boyu 210 mm ve kazık çapı 20 mm dir. Burada L_p kazık uzunluğu, birinci temel ile neredeyse aynı kalırken kazık çapı 7.5 mm'den 20 mm'ye çıkmış, 2.66 kat büyümüştür. Şekil 12 incelendiğinde; orta sıkı ve çok sıkı zemin koşullarında kazık aralıklarının, temel sistemi nihai taşıma kapasitesi ve oturma rijitliği üzerinde birinci temelle benzer ve belirleyici etkileri olduğu görülmektedir. Ancak L_p/D oranının 10,5 olması nedeniyle eşdeğer radye bölgesinde [31, 37] zemin-kazık etkileşiminde farklılıklar bulunmaktadır. Şekil 12a'da orta sıkı kumda Durum 2 için elde edilen sonuçlar, referans değer olan 1. Durum (E 15) ile kıyaslandığında maksimum düşey

yük taşıma kapasitesine 4,5D kazık aralığına sahip E18 nolu kazıklı temel sisteminde ulaşıldığı görülmektedir. Kazık çapının 7,5 mm olduğu birinci temel tipinin kullanıldığı E3 deneyinde 25 mm düşey deplasman değerinde 4.5 kN nihai taşıma kapasitesine ulaşılırken, 20 mm kazık çapının kullanıldığı E18 deneyinde 15 mm düşey deplasman değerinde 8,65 kN taşıma kapasitesi değerine ulaşılmıştır. Bu değer E15 nolu referans deney için elde edilen düşey yük kapasite değerinin (3,08 kN) 2,80 katıdır. Bu nedenle E18 nolu model için nihai yük taşıma kapasitesi dikkate alındığında yükün %67.30 oranında kazıklarca karşılandığı hesaplanmıştır. 3D aralığındaki E17 deneyinde 5,5 kN nihai yük değeri elde edilmiş, bu durum için kazıklar %44 oranında yükü üstlenmiştir. Bu deney için en düşük kapasite değerine ulaşan 1.5D aralığındaki E17 nolu deneyde 7,5mm kazık çapındaki temsil model olan E2 deneyi kadar sistem mobilize olmamış, 4,8 kN'da nihai taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu deneyde %35.83 oranında kazıklarca yük paylaşımı sağlanmıştır. Diğer yandan aslında kazıklı radye temel sistemlerinde Tomlinson [38] tarafından ifade edildiği gibi geleneksel yöntemde temellerin yük almadığı varsayılarak tasarım yapıldığında güvenli tarafta kalınmakta ancak sahadaki gerçek olan durum bu olmamaktadır.

İkinci temel boyutu nihai oturma değeri referans alınarak grafikler incelendiğinde (5mm oturma için 3,1 kN kapasite değeri) E16 deneyinde aynı oturma miktarı için aynı yük taşıma kapasitesine, E17 deneyi 3,7 kN'da , E18 deneyi 4,8 kN'da ulaşmıştır. E16 ve E17 nolu deneyler 10mm düşey yer değiştirmede göçme durumuna geçerken optimum sonuç olan E18 nolu deney aynı yer değiştirmede en yakın sonuca göre 1,5 kat fazla düşey yük alabilme kapasitesi göstermiştir. Bu sonuçlar optimum kazık aralığındaki aralığında, sistemin yükleme başından itibaren oturma rijitliği sergilediğini, diğer kazıkların oturma artışı ile referans deney sınırını aştıklarını göstermektedir.

Şekil 12b'de ikinci temel, 2. Durum, %85 rölatif sıklık değeri için yapılan model test sonuçları sunulmuştur. Şekil incelendiğinde birinci temel tipinde olduğu gibi tüm deneylerde zemin sıklığındaki artışa paralel olarak taşıma kapasitelerinde artış görülmektedir. Bu sıklık durumu için 1,5D, 3D ve 4,5D aralığındaki tüm deneylerde, referans deneyin nihai durumu için elde edilen oturma miktarı -4 mm. civarı dikkate alındığında; düşey yük kapasite kazanımı 2,5 katı mertebesinde. Bu kazanım için kazık yük paylaşım oranları tüm deneylerde %58 olarak hesaplanmıştır. Bu temel sisteminde birinci temele göre, farklı kazık aralıklarına sahip tüm deney düzenekleri nihai sınırlarına kadar aynı rijitlikte yük oturma davranışına devam etmiştir. Modeller sadece nihai kapasite olarak birbirinden ayrılmıştır. Bu kapsamda 4,5D aralığındaki E25 deneyinde 38.9 kN, 3D aralıktaki E24 deneyinde 34 kN, 1,5D aralıktaki E23 deneyinde 28 kN nihai taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Nihai durumdaki kazık-radye yük paylaşımı dikkate alındığında E25 deneyinde %78.45, E24 deneyinde %75 ve E23 deneyinde %70 oranında yük kazıklar tarafından karşılanmıştır. Benzer biçimde El Samee [18] 2. Durum yüklemesi olan kazık başlığı ve radye temelin sisteme dahil olması durumunda sistemin optimum kazık aralığının büyüyeceği ve yük oturma davranışının belli bir sınırdan göçmeye maruz kalacağını belirtmiştir.

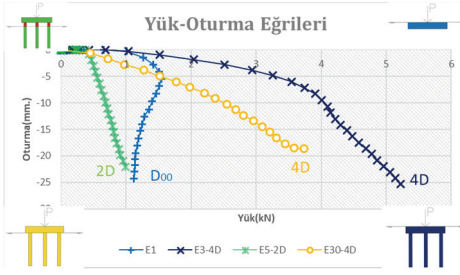
Kazıkların kazık temel sistemine sıkı zeminlerde kazandırdığı en önemli özellik optimum aralığın oturma değerini diğer aralıklara göre daha üst sınıra çekebilmesidir. Çok sıkı zeminde birinci temel deneylerinde E9,E10,E11'de olduğu gibi neredeyse tüm kazık aralıklarında yük oturma davranışı benzer trend izlemiş ancak nihai dayanıma yakın bölgelerde kazık aralığındaki artış yük taşıma kapasitene olumlu katkı sağlamıştır [16, 18, 34].

Çalışmada Durum 3 olarak tanımlanan ve sadece kazıkların sürtünme direncinin sistem davranışına olan etkisinin ayrıştırılması amacıyla ikinci temel tipi ve 20 mm çapında kazıklar için oluşturulan model testlere ait sonuçlar Şekil 11c ve d’de gösterilmiştir. Şekil 12 c’de %50 rölatif sıklık, şekil 12 d’de ise %85 rölatif sıklık değeri için sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde hem orta sıkı kum hemde çok sıkı kumda kazık taşıma kapasitelerinin birinci temel tipinde olduğu gibi referans deneyin çok altında kaldığı görülmektedir. Bu temel tipinde orta sıkı zeminde yapılan deneylerde çalışmada kullanılan kazık aralığının deplasman rijitliği üzerine bir fark ortaya koymadığı görülmektedir.

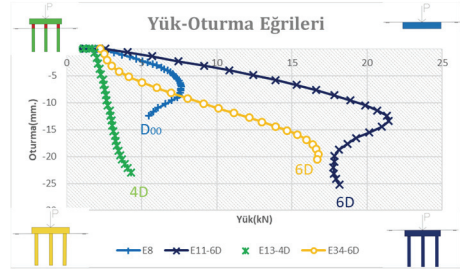
İlk yükleme direnci olan 0,5 kN aşıldıktan sonra tüm kazıklarda mobilizasyon gerçekleşmiştir. Çok sıkı zemin durumunda tüm kazık aralıkları için ilk yükleme direnci 1,5 kN olarak sağlanmıştır. Bunu takip eden yüklemelerde, tüm kazık durumları mobilize olmuştur. Deneylerde etkili sürtünme direnci 23mm mertebesinde devreye girmiştir. Temel tabanının, 25mm yerdeğiştirme sonucunda zeminle teması sağlanmış buna bağlı yükleme direncindeki artış sonuçlara yansımıştır. Durum 3 çok sıkı durum için yapılan model testlerde 4,5D ve 3D dizilimdeki E28 ve E27 nolu modeller aynı ötelenme rijitliği sergilerken, 1,5D lik aralığındaki E26 nolu model 5mm düşey yerdeğiştirmeden itibaren diğer modellerden rijitlik kazanımı yönünde ayrılmıştır.

Durum 4 yükleme koşullarındaki deneyler şekil 12 e ve f’de sunulmuştur. Orta sıkı durum için yapılan test sonuçları incelendiğinde; birinci temel tipinde olduğu gibi bu deneylerde de en küçük kazık aralığına sahip 1,5D dizilimi E35 nolu deneyde, referans deney ile aynı oturma rijitliği referans deney nihai kapasitesine kadar sergilemiştir. Bunu takip eden yüklemelerde oturma ile birlikte artan zemin etkileşimi bu aralıkta yük-oturma rijitliğinde artış yönünde katkı sağlamıştır. E35 nolu deney 15mm düşey yerdeğiştirme için 12.74 kN kapasite değerine ulaşmıştır. Kazıklar, bu değer için %75.82 oranında yük paylaşımında rol üstlenmiştir. 3D ve 4,5D aralığındaki E36 ve E37 nolu deneyler 1,5 kN ötelenme rijitliğini takiben, mobilize olmuş, referans deney ve E35 nolu model testten ayrılmıştır. E36 nolu test 7,5mm oturmada, E35 nolu test oturma rijitliğine yaklaşırken, E37 nolu deney rijitlik kazanımı 20mm yer değişimine için sağlanmıştır. Çok sıkı durum için elde edilen sonuçlar incelendiğinde referans deney nihai taşıma kapasitesi orta sıkı duruma göre 2 kat artış sağlamıştır. Sıkı durumda 1,5D ve 3D aralığındaki modeller referans deney ile aynı rijitlik ile yüklemeye tepki vermiş, oturma arttıkça kazık yük paylaşımı pozitif yönde sisteme katkı sağlamıştır. Bu sebeple referans değer nihai taşıma kapasitesinin ölçüldüğü 7,5mm oturma değerinde 1,5D ve 3D aralığındaki modeller 1,6 kat düşey yük kapasite kazanımı sergilemişlerdir. 1,5D aralığındaki E38 nolu deney 20mm oturma değerinde 14 kN nihai taşıma kapasitesine, 3D aralığındaki E39 nolu deney 18mm oturma için 17,5 kN taşıma kapasitesine kadar yük almıştır. 4,5D dizilimdeki E40 nolu model 3,5 kN ilk ötelenme rijitliğine kadar referans deneyi sağlarken, bu değere müteakip mobilize olmuştur. 15mm oturma miktarına kadar diğer modellerin altında kalmasına rağmen, en büyük nihai düşey yük değeri olan 21 kN’a ulaşmıştır.

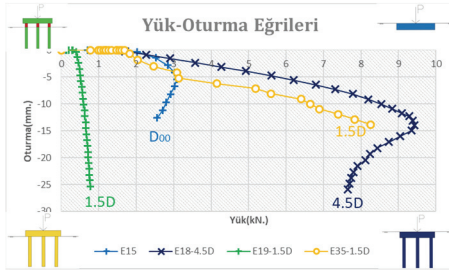
İki farklı temel boyutu, iki farklı kazık boyutundaki model test düzeneklerinin orta sıkı ve çok sıkı zemin durumlarında, dört farklı başlangıç durumu için yapılan yük-oturma analizlerinin yapıldığı bu çalışmada; Şekil 13’de tüm durumların maksimum kapasite değerlerinin elde edildiği test sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Şekil 13 a ve b’de birinci temel sisteminde orta sıkı ve sıkı duruma ait sonuçlar, Şekil 13 c ve d’de ikinci temel sisteminde orta sıkı ve çok sıkı duruma ait sonuçlar sunulmuştur.



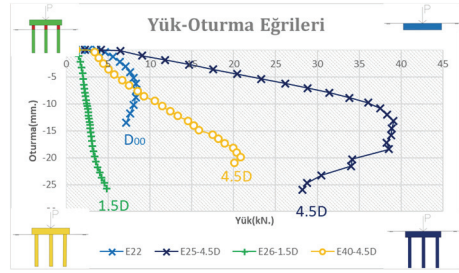
a. % 50 Rölatif Sıklık 1. Temel



b. % 85 Rölatif Sıklık 1. Temel

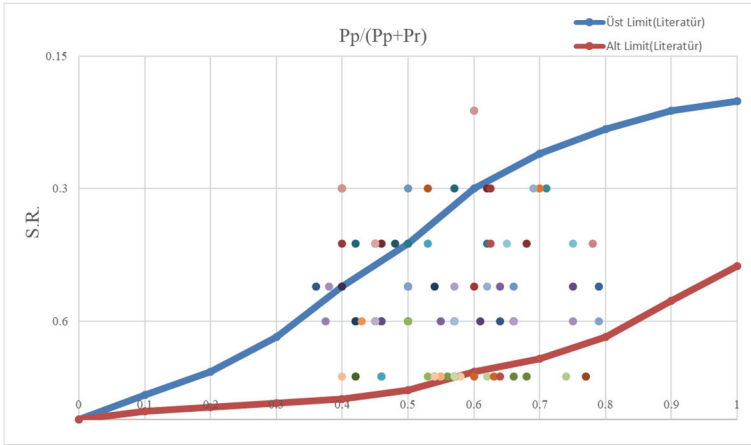


c. % 50 Rölatif Sıklık 2. Temel



d. % 85 Rölatif Sıklık 2. Temel

Şekil 13 - Dört Durumun Karşılaştırması



Şekil 14 - 25mm. Sınır Değer için Oturma-Sistemdeki Kazık Yük Taşıma Oranı

Maksimum kapasite değerlerinin karşılaştırıldığı bu grafiklerde; sadece radye sisteminin olduğu referans durumlar karşılaştırma düzlemi seçildiğinde; Durum 2 ve Durum 4'te kazık kapasitesinin artan oturma ile birlikte taşıma kapasitesine olan pozitif katkısı açıkça görülmektedir. Birinci temel sisteminde Durum 2 ve Durum 4 için orta sıkı zemin durumunda

4D kazık aralıkları en yüksek nihai yük değerini verirken, sıkı zeminde 6D kazık aralığı en yüksek nihai yük sonucunu vermiştir. İkinci temel sisteminde aynı durum orta sıkı zeminde 1,5D aralığı için, çok sıkı zeminde 4,5D aralık için optimum sonucu vermiştir. Bu durum orta sıkı zeminde; düşük kazık aralığının etkili olduğunu, sıkı zeminde ise daha geniş kazık aralığının etkili olduğu göstermektedir. Kazıklı radye temel durumunda gevşek ve sıkı zemin için yapılan testlerde, ilk oturma rijitliğince daha iyi olan, hatta referans deneyin üzerinde kalan, yani deney başından itibaren kazık yük paylaşımının etkili olduğu test sonuçları genellikle plağın zemine gömülü olduğu Durum 2 için elde edilmiştir. Ancak Durum 4 için nihai yük taşıma değeri söz konusu olduğunda, sistem ilk başlarda oturma yaparak mobilize olsa da, artan oturma ile birlikte daha büyük taşıma kapasitelerinin elde edilmektedir. Ayrıca plağın gömülü olduğu Durum 2'ye nihai yük olarak orta sıkı durumda yaklaşılmaktadır.

$$S.R. = \frac{\text{Düşey Deplasman Değeri}}{25\text{mm.}} \quad (2)$$

Şekil 14'te S.R. oturma oranını, $\frac{Pp}{(Pp + Pr)}$, kazıklı radye temel sistemlerinde kazıkların yük taşıma yüzdesini temsil etmekte ve literatürde yer alan [15] 25 mm sınırına göre bu grafik oluşturulmuştur. Oturma oranı, kazıkların yük taşıma yüzdesi grafiği, literatürde yer alan saha çalışmalarına [15, 39, 40, 41] göre karşılaştırma grafiği olarak Şekil 14'te sunulmuş bu saha çalışmaları grafiklerde üst limit ve alt limit olarak yer almaktadır. Buna göre saha çalışmalarının neredeyse tamamı yük oturma grafiğinin değersel olarak güvenli kalan bölgelerinden alınan rakamlarla dizayn edilmiş, diğer bir ifadeyle yük oturma grafiğinin göçme veya mobilizasyon başlangıcı bölgelerinden uzak kalan, kazıklı radye temelin güvenli bir biçimde oturma aldığı bölgelerde dizayn ve uygulaması gerçekleşmiştir. Kazıklı radye temellerin oturma oranı-kazık yük taşıma oranı grafiği kazıklı radye temellerin ön tasarım aşamasında kullanılabilir [33, 35]. Sharafkakh ve Shooshpasha [7]'e göre kazıklı radye temelin nihai ve izin verilebilir yani nihai yükten güvenlik sayısı ile üç kat azaltılmış yükte yapılan dizaynlarda kazıklı radye temellerin kazık veya radyesinden yeterince verim alınamamakta buna göre ekonomik dizayn olmamaktadır. Diğer bir deyişle kazıklı radye temellerde kazık ve radye üstyapı yüküne beraber karşı koymakta ve bu durum oturma değerine bağlı olarak, zemin, kazık, temel geometrisi ve özelliklerine bağlı olarak değişmekte buna göre ekonomik tasarımlar yapılmalıdır. Diğer yandan literatürde, Ateş ve Şadoğlu [12] iyi derecelenmiş ve dane çapı dağılımı 1-5 mm arasında değişen kum ile beton kazıklar ile bu çalışmaya benzer kazık çapı, uzunluğu ve radye temel ölçülerinde deneyler yapmıştır. Bu çalışmada ise 0.5-1.0 mm aralığında kötü derecelenmiş kum zemin ile çelik kazık ve radye ile çalışılmıştır. Ateş ve Şadoğlunun [12] değindiği üzere literatürde optimum kazık aralığı çok geniş bir aralıkta olup 2D ile 12D arasında değişmektedir. Bu çalışmada ise Optimum kazık aralığı orta sıkı zeminde 1.5D ile 4D arasında çıkmış, çok sıkı zeminlerde ise 4.5D ve 6D arasında çıkmıştır. Diğer yandan orta sıkı zeminde kazıklı radye temel, radye temele göre optimum kazık aralığında % 233-300 arasında yük taşımada artışa çok sıkı zeminde ise optimum kazık aralığında kazıklı radye temel radye temele göre yük taşıma kapasitesinde % 275-400 artışa sebep olmuştur. Diğer bir deyişle kazıklı radye sistemlerinde radye temel derinliği olmasa dahi radyenin taşıyabileceği yüzde bu çalışmada yer alan tüm sistemler için nihai yüklemeye sınırlarında %21.54 ile %60 arasında kalmaktadır. Benzer biçimde El-Wakil ve Azzam [1] yapmış olduğu çalışmada kazıklı temellerde radyelerin

sisteme katkısını genel olarak % 30 civarında bulmuş ve % 55'in üzerine çıkamayacağını belirtmiş ancak çalışmada temel kalınlığına dair bir parametre bulunmadığı için bu yüzdeleri sonuç olarak vermiştir. Bulgular ve tartışma kısmında bahsedildiği üzere radye kalınlığı parametresi bu sonuçları etkileyebilmekte ve kazıklı radye temel sistemlerinde temelinde taşıma gücüne katkısı aşıkardır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kazıklı radye temellerin yük oturma davranışları, nihai taşıma kapasitesi ve her bir temel elemanın (kazık,radye ve radye gömülü derinliğinin) zemin ile etkileşimi araştırılmıştır. Toplam 40 adet model test deneyi yapılmıştır. Model testlerde % 50 ve % 85 sıklıkta kumda sadece radye temel, sadece kazık temel, kazıklı radye temel sistemleri için deneysel analizler yapılmıştır. Çalışmada kazıklı radye temel sistemi, plağın zemine gömülü olduğu ve plak tabanının zemine teması olduğu iki farklı başlangıç durumu için incelenmiştir. Yük-oturma davranışı, kazık radye yük paylaşım oranı, optimum kazık aralığı, rölatif sıklığın etkisi irdelenmiştir. Buna göre yapılan deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

Optimum kazık aralığı 2. Durum deneylerinde 1. Temel boyutları için çok sıkı zeminde 6D, orta sıkı zeminde 4D olarak 2. Temel boyutları içinse orta sıkı zeminde 1.5D çok sıkı zeminde 4.5D olarak bulunmuştur. Radyenin zemine gömülü olmadığı 4. Durum içinde analizlerde optimum kazık aralığının sıklık azaldıkça azaldığı analizlerde görülmüştür. Diğer bir deyişle zemin sıkılaştıkça optimum kazık aralığı artmakta ancak yük oturma davranışı daha geniş bir sahanlıkta seyretmektedir.

1.5D'den başlayarak 6D'ye kadar artan kazık aralıklarında, kazıklı radye temellerin yük oturma davranışı başlangıçta benzer gitsede özellikle sıkı zeminlerde daha geniş aralıklarda davranış daha fazla nihai yük taşıma kapasitesiyle sonuçlanmıştır. Burada oturma değerlerine göre optimum kazık aralığı bulunmalı veya sistemin en performanslı çalıştığı oturma değerleri baz alınarak tasarım yapılmalıdır. Diğer bir deyişle güvenlik faktörü katsayısına bölünerek ve oturma değerlerinden bağımsız olarak tasarıma giden geleneksel yöntemler, ekonomi açısından ve sahadaki kazıklı radye temellerin davranışından uzak kalabilmektedir.

Bu çalışmada yer alan tüm model testler için, kazıklı radye sistemlerinde, radyenin yük paylaşım oranı, nihai yükleme sınırlarında %21.54 ile %60 arasında kalmaktadır. Kazıklı radye temeller nihai yük taşıma kapasitesinde sadece radye temellere göre orta sıkı kum zeminlerde % 233-300 arasında, çok sıkı kum zeminlerde ise % 275-400 arasında artışa sebep olmaktadır. Kazıklı radye temeller, radye temellerle kıyaslandığında nihai taşıma kapasitesinde artış sağlarken, oturma sınırlarını da daha yüksek yük seviyelerinde ulaşmıştır. Çok sıkı zeminlerde radye plağının zemine gömülü olmadığı durumda, plağın gömülü olduğu duruma göre daha yüksek oturma değerlerinde daha düşük taşıma kapasiteleri gözlenmiştir.

Optimum kazık aralığı kavramı literatürde 1.5D ile 12D arasında yer almaktadır. Bu kavramın çakma kazık, yerinde dökme kazık, betonarme kazık, beton kazık, çelik kazık, ahşap kazık v.b. ve zeminin tipine göre kadar bu yapı malzemeleriyle etkileşimi değerlendirilebilir. Çünkü kazıklı radye temel uygulanan zemin artık sade zemin davranış olmaktan çıkmakta kazıklar ve temelle birlikte kompozit malzemeye dönüşmekte ve kazıklı

radye temelin altında kalan bölge(eşdeğer radye bölgesi), zemin ile yapının beraber çalıştığı davranıştan oluşmaktadır.

Model test sonuçları incelendiğinde, literatürde yer alan [1, 12] optimum kazık aralığı yaklaşımının sabit olmadığı, aslında yük başlangıcında ve sistemin taşıyabileceği nihai yük değerine yakın olduğu durumda değiştiğini göstermektedir. Kazıklı radye temel sistemlerinde mobilizasyonun toplam düşey oturmaya yansıyan optimum bir seviyesi bulunmakta ve bu seviyede sistem ekonomik ve yüksek performanslı çalışmaktadır. Burada oturma değerlerine göre optimum kazık aralığı bulunmalı veya sistemin en performanslı çalıştığı oturma değerleri baz alınarak tasarım yapılmalıdır. Diğer bir deyişle güvenlik faktörü katsayısına bölünerek ve oturma değerlerinden bağımsız olarak tasarıma giden geleneksel yöntemler, ekonomik ve sahadaki kazıklı radye temellerin davranışından uzak kalabilmektedir

Sonuç olarak, orta sıkı zeminlerde düşük kazık aralığında, kazık-zemin etkileşimi arttıkça, oturma rijitliğinde pozitif yönde kazanım sağlanmaktadır. Ancak sıkı zeminlerde ise kısa kazık aralığı durumu zaten yeter sıklıkta olan zemin tanelerinin, kazık yerdeğiştirilmesi ile birlikte göçme sınırına getirmesi süreci kapasite ve davranışta belirleyicidir. Bu durumun kazık taşıma gücü problemlerinde önemli etkisi olduğu bilinen genleşme davranışı ile ilişkili olduğu düşünülebilir. Sıkı zeminlerde düşük kazık aralığındaki sistemler, oturma arttıkça, ilk başlarda daha büyük kapasite değerlerine ulaşmakta ancak bu durum zeminin daha önce göçmesine sebep olmaktadır. Geniş dizilimli kazık aralıklarında ise zemindeki sıkışma kaynaklı göçme durumu, daha büyük oturma değerlerinde gerçekleşmektedir. Bu durum başlarda daha düşük oturma rijitliğine sahip kazıkların daha büyük nihai kapasiteye ulaşmasını sağlamakta, söz konusu bu dört durumun özellikle radye temelin dahil olup olmamasına göre oturma yaparak düşey yük alma kabiliyetine yansımaktadır. Bu sonuç; oturma sınırları daha üst değerlere ulaşmasına izin verilen tasarımlarda kapasite bazlı yaklaşım yerine oturma bazlı yaklaşım izlenerek nihai kapasite limitlerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Kazık aralığının aynı zeminde sık olması veya daha aralıklı olması temelin altında kalan literatürde[30, 31] eşdeğer radye denilen bölgede, zeminle-yapı elemanlarının etkileşimi burada kompozit bir davranış durumu oluşturmaktadır. Bu nedenle kazıklı radye temellerin daha güvenli ve ekonomik tasarımı için araştırmaların eşdeğer radye bölgesindeki sistem davranışı üzerine odaklanması literatür ve mühendislik uygulamaları açısından faydalı olacak ve bu çalışmada davranış bu nedenle sadece radye, kazıklı radye ve sadece kazık gibi yapı elemanlarına parçalanarak model test deneyleri ve bunların birbirleri ile olan mukayesesi açıklanmıştır.

Semboller

ϕ	İçsel Sürtünme Açısı
γ_{kmax}	Maksimum Birim Hacim Ağırlık
γ_{kmin}	Minimum Birim Hacim Ağırlık
V	Poisson Oran
B	Temel Genişliği
C	Kohezyon

C_c	Derecelenme Katsayısı
C_u	Üniformluk Katsayısı
D	Kazık Çapı
dk	Dakika
D_{10}	%10'a Karşılık Gelen Çap
D_{30}	%30'a Karşılık Gelen Çap
D_{50}	%50'a Karşılık Gelen Çap
D_{60}	%60'a Karşılık Gelen Çap
E	Elastisite Modülü
E_{min}	Minimum Boşluk Oranı
E_{maks}	Maksimum Boşluk Oranı
G	Kayma Modülü
H	Eşdeğer Radye Bölgesinin Yüzeyden İtibaren Düşey Yönde Etki Ettiği Son Derinlik
kN	Kilonewton
L	Temel Genişliği
L_p	Kazık Uzunluğu
P	Düşey Yük
P_p	Kazıkların Taşıdığı Yük
P_r	Radyenin Taşıdığı Yük
S	Kazıklar Arası Mesafe
S/D	Kazık Aralığı
SP	Kötü Derecelenmiş Kum
S.R.	Oturma Yüzdesi

Teşekkür

Bu çalışma S.D.Ü Bap birimi tarafından Yök 100/2000 öncelikli alanlar kapsamında FDK-7456 numaralı proje olarak desteklenmiştir. Yök 100/2000 ve S.D.Ü bap biriminin değerli çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Elwakil, A., Azzam, W., Experimental And Numerical Study Of Piled Raft System. Alexandria Engineering Journal. 55. 10.1016/j.aej.2015.10.001, 2015.

- [2] Hadi, Dheyaa & Fattah, Mohammed & Waheed, Mohanned. Effect of Pile's Number on the Behavior of Piled Raft Foundation. 39. 1080-1091. 10.30684/etj.v39i7.1795 2021.
- [3] Hamderi, M., Kazıklı Radye Temellerin Oturma Tahmini İçin Yeni Bir Yöntem, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, c. 9, sayı. 2, ss. 881-893, 2018.
- [4] Hamderi, M., New Approach to Group Pile Load Estimation. International Journal of Geomechanics. 04019013-1. 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001374, 2019.
- [5] Krisnanto, S., Sengara, I., Adelina, F., Advancement of Bearing Capacity and Settlement Analyses of Piled Raft Foundation, Proceeding SEAGC 3rd AGSSEA Conference in conjunction with 22nd Annual Indonesian National Conference on Geotechnical Engineering. Indonesia, 81-84,2018.
- [6] Kuwabara, F., An Elastic Analysis for Piled Raft Foundations in Homogeneous Soils, Soils and Foundations, Vol. 29, No:1, pp. 82-92, 1989.
- [7] Sharafkhan, M., Shooshpasha, I., Physical Modeling Of Behaviors Of Cast-In-Place Concrete Piled Raft Compared To Free-Standing Pile Group In Sand. Journal of Rock Mechanics Geotechnical Engineering, 10:703–16 2018, <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.12.007>.
- [8] Ersoy, Ç. Ö., Yıldırım, S., Experimental Investigation of Piles Behavior Subjected to Lateral Soil Movement. Teknik Dergi 25, 2014.
- [9] Al-Neami, M., & Rahil, F., A., K., Effect of Relative Density on Behavior of Single Pile and Piles Groups Embedded with Different Lengths in Sand. Engineering Technology. 34. 1206 2015 .
- [10] Hama, S., Soran S., Nihad, N., D., Optimum design of steel piles in different sandy soil configurations. Geomechanics and Geoenvironment. 17. 1-11. 10.1080/17486025.2020.1755461 2020.
- [11] Babagiray, G., Akbaş, S. O., Sığ Rijit Tabaka Üzerinde Yer Alan Kohezyonsuz Zeminlerdeki Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü Hakkında Sayısal Modelleme Esaslı Parametrik Bir Çalışma. Teknik Dergi 29 8185-8198, 2018.
- [12] Ateş, B., Şadoglu, Erol., Kum Zeminlerdeki Kazıklı Radye Temellerin Optimum Kazık Aralığının Deneysel Olarak İncelenmesi. Teknik Dergi, 10.18400/tekderg.644885, 2021.
- [13] Raut, J., Khadeshwar, S., Bajad, S., Kadu, M., Simplified Design Method for Piled Raft Foundations. Geotechnical Special Publication. 462-471. 10.1061/9780784413425.047, 2014.
- [14] Butterfield, R., and Banerjee, P. K., The Problem of Pile Group-Pile Cap Interaction, Géotechnique, Volume 21, No:2, pp. 135-142, 1971.
- [15] El Garhy, B., Galil, A. A., Youssef A. F., Raia, M. A., Behaviour Of Raft On Settlement Reducing Piles Experimental Model Study. J Rock Mech Geotech Eng 389–99, 2013 .

- [16] El Sawwaf, M., Experimental Study of Eccentrically Loaded Raft with Connected and Unconnected Short Piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 136. 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000341 2010.
- [17] Dung N.T., Chung S.G., Kim S.R., Settlement of large-scale piled foundations using equivalent raft approach, *ICE Proceedings Geotechnical Engineering*, 163 2010.
- [18] Abd Elsamee, W., Analysis Of Pile- Raft Foundations Non- Rested And Directly Rested On Soil. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 9. 418-439, 2018.
- [19] Lee, S. H., and Chung, C. K., An Experimental Study Of The Interaction Of Vertically Loaded Pile Groups In Sand, *Canadian Geotechnical Journal*, 42, 1485–93, 2005.
- [20] Clancy, P., and Randolph, M., F., Simple Design Tools For Piled Raft Foundations, *Geotechnique* 46, No.2, 313-328. 1996.
- [21] Yamashita, K., Tanikawa, T., Hamada, J., Applicability Of Simple Method To Piled Raft Analysis In Comparison With Field Measurements. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*. 46. 43-53, 2015.
- [22] A.S.T.M., Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis, D-6913, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 34, 2017.
- [23] A.S.T.M., Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, D-854, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 8, 2006.
- [24] ASTM D4253-16, Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org, 2016.
- [25] ASTM D3080 / D3080M-11, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org, 2011.
- [26] Noonan, D. K. J., Nixon, J., F., The Determination of Young's Modulus from the Direct Shear Test. *Canadian Geotechnical Journal*, 9(4), 504–507. doi:10.1139/t72-049 1972.
- [27] Çetin, K., Ö., Geoteknik ve Sayısal Modelleme, İmo Meslek İçi Eğitim Kursu Raporu, 2018.
- [28] Tabaroei, A., Abrishami, S., Seyedi H., Ehsan., Comparison between Two Different Pluviation Setups of Sand Specimens. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 29. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001985, 2017 .
- [29] Hariprasad, C., Mekala, R., Umashankar, B., Preparation of Uniform Sand Specimens Using Stationary Pluviation and Vibratory Methods. *Geotechnical and Geological Engineering*. 34. 10.1007/s10706-016-0064-0, 2016.
- [30] Poulos, H., Piled Raft Foundations Design And Applications. *Geotechnique*. 51. 95-113. 10.1680/geot..51.2.95 2001.

- [31] Poulos, H., Randolph, M., Pile Group Analysis A Study of Two Methods. Journal of Geotechnical Engineering. 109. 10.1061/(ASCE)0733-9410109:3(355) 1983.
- [32] Nguyen, D. D. C., Jo, S. B., and Kim, D. S., Design Method Of Piled-Raft Foundations Under Vertical Load Considering Interaction Effects, Computers and Geotechnics, 47, 16-27, 2013.
- [33] Bajad, S., P., and Sahu, R., B., An Experimental Study On The Behavior Of Vertically Loaded Piled Raft On Soft Clay, The 12th Intl. Conf. Of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), 84–90. 2008.
- [34] Birand, A. A., Kazıklı Temeller Teknik Yayınevi Ankara, 2007.
- [35] Nguyen, T., Chung, S., Kim, S., R., Settlement Of Piled Foundations Using Equivalent Raft Approach. ICE Proceedings Geotechnical Engineering, 163. 65-81. 10.1680/geng.2010.163.2.65, 2010.
- [36] Reese, L. C., William, M. I., Shin, T. W., Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations, John Wiley Sons, Inc 2006.
- [37] Bowles, J.E., Foundation Analysis and Design. 5th Edition, McGraw-Hill, New York, 2001,
- [38] Tomlinson, M., J., Pile Design and Construction Practice, Chapman and Hall, London, UK, 2004.
- [39] Phung, L., Piled Raft A Cost-Effective Foundation Method For High-Rises. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS AGSSEA. 41. 1-12. 2010.
- [40] Schmitt, A. J., Turek, R. K., Reducing The Costs For Deep Foundations Of High-Rise Buildings By Advanced Numerical Modeling, Arı The Bulletin of the Istanbul Technical University, 35 (2), pp. 81-87, 2003.
- [41] El-Mossallamy Y., , Lutz, T. B., Richter Innovative Application Of Piled Raft Foundation To Optimize The Design Of High-Rise Buildings And Bridge Foundations In: Proc. 10th Intl. Conf. on Piling and Deep Foundations, Amsterdam 2006.