

**OCAK 2018**

**Yüksek Lisans - İnşaat Mühendisliği**

**MUSTAFA ÖZBEK**

**GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YUMUŞAK ZEMİNLERDE FORE KAZIK TASARIMININ  
OPTİMİZASYONU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
YÜKSEK LİSANS**

**MUSTAFA ÖZBEK  
OCAK 2018**

**YUMUŞAK ZEMİNLERDE FORE KAZIK TASARIMININ  
OPTİMİZASYONU**

**Gaziantep Üniversitesi**

**İnşaat Mühendisliği**

**Yüksek Lisans**

**Danışman**

**Prof. Dr. Hanifi ÇANAKCI**

**Mustafa ÖZBEK**

**Ocak 2018**



© 2018 [Mustafa Özbek]

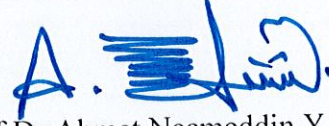
T.C.  
GAZIANTEP ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT ANABİLİM DALI

Tezin Adı:Yumuşak Zeminlerde Fore Kazık Tasarımının Optimizasyonu

Öğrencinin, Adı Soyadı:Mustafa Özbek

Tez Savunma Tarihi: 26.01.2018

Fen Bilimleri Enstitüsü onayı



Prof.Dr.Ahmet Necmeddin YAZICI

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.

Prof.Dr.Hanifi ÇANAKCI

Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Hanifi ÇANAKCI

Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri:

Prof.Dr.Hanifi ÇANAKCI

Yrd.Doç.Dr.Fatih ÇELİK

Yrd.Doç.Dr.M.Eren GÜLŞAN

İmzası

.....

.....

.....

**İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.**

**Mustafa ÖZBEK**

## ÖZET

### YUMUŞAK ZEMİNLERDE FORE KAZIK TASARIMININ OPTİMİZASYONU

ÖZBEK, Mustafa

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Hanifi ÇANAKCI

Ocak 2018

57 sayfa

Günümüz yapı mühendisliğinde özellikle çok katlı yapılarda ekonomik tasarımlar üretme yolunda çokca çalışma bulunmaktadır. Yapı mühendisliğinde sığ ve derin temel sistemleri, yapının inşasının yapılacağı zemin parametrelerine göre ve üst yapı yüküne göre belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında kazıklı temel sistemleri ve radyejeneral temel sistemleri çalışılmış bu sayede temel sistemlerinin kabul gören yayınlardan sağlanan formülizasyonlarıyla ve günümüz uygulama mühendisliği ile bağı tartışılmaktadır. Ayrıca, örnek bir üst yapı tasarımının yumuşak killi bir zemin üzerindeki kazıklı temel sistemi modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen tasarımlar ile kazıklı sistemlerin çapı, boyu ve zemin alanı içerisindeki dağılımları gibi parametreleri değiştirilerek farklı fraksiyonlar elde edilmiştir. Bu sayede uygun ergonomide ve stabiliteye sahip tasarımlar sağlanmıştır. Yapı mühendisliğinde kullanılan kazıklı sistemlerde üst yapı yükü göreceli olarak duraysız olan zemine değil, bu zemin altında bulunan anakayaya taşınması esas alınmaktadır. Fakat radyejeneral sistemlerde üst yapıdan doğan yük temel üzerine yayılarak temel sistemi tarafından taşınması planlanmıştır. Elde edilen üç farklı modelde kazık boylarının ve temel planındaki kazık dağılımlarının farklılıkları üzerinde durulmuş, bu sayede yükün homojen bir şekilde taşınabilmesini sağlamak için farklı denemeler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Temel Tasarımı, Kazık Uygulamaları, Zemin Stabilitasyonu, Statik, Sta4CAD

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF FORE PILE IN SOFT GROUNDS**

**ÖZBEK, Mustafa**

**M.Sc. in Civil Eng.**

**Supervisor: Prof. Dr. Hanifi ÇANAKCI**

**January 2018**

**57 page**

Recent construction engineering contains quite studies on economical designs that especially occur on multi-storey buildings. Shallow and deep groundwork systems in construction engineering is related to soil parameters and building load. In this study, piled footing and spread footing have been examined therefore it has been discussed for the connection between formulizations which have been derived from esteemed previous studies and recent engineering practices. Moreover, piled footing on a sample structure construction has been performed in soft clay-bearing soil. Produced designs contains fractions of radius, length and distribution of the piling system on the groundwork. Thus, appropriate stability and ergonomical designs have been provided. On piled footing, using construction engineering does not aim to make the groundwork to carry the system however, system is carried by the hard rock beneath the unconsolidated soil. On contrary, spread footing aims to carry the load of the building itself. Three estimated models stand on the difference between pile length and distribution thus, there are several tryouts to provide homogenous carrying on the groundwork system.

**Key Words:**Substructure, Pile Applications, Soil Stabilization, Static, Sta4CAD

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak ta bana çok şey katan Gaziantep Üniversitesi öğretim üyelerinden danışman hocam, sayın Prof.Dr.Hanifi ÇANAKCI'ya sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mesleki ve sosyal hayatım boyunca yardımlarını esirgemeyen, tez çalışmalarım ve eğitimim konusunda anlayışla destek olan Abdulkadir SÖKÜCÜ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatıma kattığı değerler ve tez çalışmam boyunca her koşulda desteğini esirgemeyen İrem YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca ilgi,sevgi ve desteklerini esirgemeyen,sahip olduğum maddi ve manevi herşeyde büyük katkıları olan, benim bugünlere gelmemde en önemli paya sahip annem ve ablama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BÖLÜM 1</b> .....	<b>1</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2</b> .....	<b>4</b>
<b>ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>4</b>
<b>BÖLÜM 3</b> .....	<b>12</b>
<b>KAZIK GRUPLARI, KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL SİSTEMLERİ</b> ...12	
3.1 Kazıklı Temel Sistemlerinin Genel Tanımı.....	12
3.2 Kazıkların Yük Aktarım Şekline Göre Sınıflandırılması.....	15
3.2.1 Sürtünme Kazıkları.....	15
3.2.2 Uç Kazıkları.....	16
3.2.3 Kompaksiyon Kazıkları.....	16
3.3 Tekil Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü.....	17
3.3.1 Statik Kazık Formülleri.....	20
3.3.1.1 Zeminlerde Kohezyon Değişkeni ve Uç Direnci.....	20
3.3.2 Dinamik Kazık Formülleri.....	24
3.3.3 Kazık Gruplarının Tasarımı.....	25

<b>BÖLÜM 4.....</b>	<b>29</b>
<b>RADYEJENERAL TEMELLER.....</b>	<b>29</b>
4.1 Radyejeneral Temellerde Taşıma Gücü.....	32
<b>BÖLÜM 5.....</b>	<b>36</b>
<b>KAZIKLI TEMELLERİN TASARIM PRENSİPLERİ, BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLEME ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>36</b>
5.1 Modelleme Öncesi Yapılan Ön Hazırlık Çalışmaları.....	36
5.2 Üst Yapıya Ait Modelleme Çalışmaları.....	38
<b>BÖLÜM 6.....</b>	<b>54</b>
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>54</b>
<b>BÖLÜM 7.....</b>	<b>56</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>56</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Temellerin basit sınıflaması.....	1
Şekil 2.1 Kazıkların kolon yükleri dikkate alınarak yerleştirilmesi.....	5
Şekil 2.2 Ölçüm cihazları bağlanmış model kazık.....	7
Şekil 3.1 Das ve diğ. (1999) tarafından kullanım alanlarına göre sınıflandırılan kazık temelleri.....	15
Şekil 3.2 Kazık ucunda oluşan kayma yüzeyleri.....	18
Şekil 3.3 Kazık davranışlarına yönelik ve Dass (1999) tarafından türetilen bağıntılar kümeleri.....	19
Şekil 3.4 Uç direncinin homojen ortamda derinlik ile değişimi.....	23
Şekil 3.5 Tomlinson (2004) tarafından belirlenen $N_q$ 'nun değişimine yönelik parametre grafiği.....	23
Şekil 3.6 Tipik bir kazık grubu modeline ait basitleştirilmiş plan ve kesitleri.....	26
Şekil 3.7 Fleming ve diğ. (2009) çalışmasında açıklamalı olarak kazık gruplarında blok hareketinin formülasyonuna ait model.....	27
Şekil 3.8 Kazıkların biçimlendirilmesine yönelik oluşturulan şekil faktörü ve taşıma gücü katsayısının değişimine yönelik oluşturulan grafik.....	28
Şekil 4.1 Düz plak radye temelinin basitleştirilmiş gösterimi.....	30
Şekil 4.2 Kolonlar altında kalınlaştırılmış sistemin basitleştirilmiş gösterimi.....	31
Şekil 4.3 Kaset radye temel sisteminin basitleştirilmiş gösterimi.....	32
Şekil 4.4 Terzaghi ve Peck (1968) tarafından geliştirilen ve günümüz altyapı tasarım modelleme işlemlerinde kullanılan yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması.....	33
Şekil 5.1 Üst yapı bilgileri, kat bilgileri ve ölçekli kat planı.....	39
Şekil 5.2 Üst yapı tasarımı ile temel ile uyuşmayan elemanların gösterimi.....	40
Şekil 5.3 Lineer olmayan kiriş, kolon ve donatı düzenleme analizi.....	40

<b>Şekil 5.4</b> Yapıda güçlü kolon kontrolü.....	41
<b>Şekil 5.5</b> Yapıdaki güçlü kolonların kat kesme güvenliği.....	41
<b>Şekil 5.6</b> Modelleme kapsamında oluşturulan başlangıç modeline ait radyejeneral temel modeli.....	42
<b>Şekil 5.7</b> Oluşturulan modele ait temel analiz sonuçları.....	42
<b>Şekil 5.8</b> Yapı üzerindeki yük dağılımı diyagramı.....	43
<b>Şekil 5.9</b> Tasarlanan ilk modele ait homojen kazık sistemi.....	44
<b>Şekil 5.10</b> Tasarlanan ilk sisteme ait kazıkların yerleşimi ve yazılım üzerinde modelleme çalışmasının sonucunda kazıkların üzerine düşen yük miktarı.....	45
<b>Şekil 5.11</b> Oluşturulan ikinci modele ait kazık tasarımı.....	47
<b>Şekil 5.12</b> Tasarlanan ikinci modele ait kazık yerleşimi ve üzerlerine düşen yük dağılımları.....	48
<b>Şekil 5.13</b> Tasarlanan üçüncü modelde kazıkların dağılımı ve üzerlerine düşen yük miktarları.....	51

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 4.1</b> Taşıma gücü katsayıları.....	34
<b>Tablo 4.2</b> Şekil, derinlik ve eğim katsayılarının ampirik değerleri.....	35
<b>Tablo 5.1</b> Tasarlanan ilk modele ait kazık elemanlarının fiziksel parametreler bazında aldığı değerler.....	46
<b>Tablo 5.2</b> Tasarlanan ikinci modele ait kazık elemanlarının fiziksel parametreler bazında aldığı değerler.....	49
<b>Tablo 5.3</b> Tasarlanan üçüncü modele ait kazık elemanlarının fiziksel parametreler bazında aldığı değerler.....	52

## SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\theta_x, \theta_y, \theta_z$	1. sabitlenmiş nokta etrafında sırasıyla $M_x, M_y$ momentleri ve z ekseninin yönünde radyejeneral temelin dönme miktarı
$[I_r]$	sabitlenmiş radyejeneral temelin etki matrisi
$[I_{sp}]$	kazık+zemin bloğunun etki matrisi
$\{a\}, \{f\}$	radyejeneral temel geometrine bağlı olarak değişen tamamlayıcı vektörler
$\{Pr\}$	radye ve kazık+zemin bloğu arasında oluşan arayüz kuvvetlerinin vektörü
$\{Pr\}$	radyejeneral temeli oluşturan elemanlara etkiyen arayüz kuvvetlerinin ve momentin vektörü
$\{\delta r_0\}$	radyejeneral temeli oluşturan elemanların herbirinin orta noktasında sabitlenmiş radyeye uygulanan dış yükler sonucu oluşan oturma değeri
$\{\delta sp\}$	kazık elemanlarının en üst noktasındaki oturma değeri
$A$	radyejeneral temelin alanı
$a$	radyenin karakteristik uzunluğu
$A_p$	kazığın uç alanı
$A_s$	kazığın gövde alanı
$B$	temelin genişliği
$c$	kohezyon
$D_f$	temel kazı derinliği
$D_x, D_y, D_z$	1. Sabitlenmiş nokta etrafında sırasıyla x, y ve z eksenleri doğrultusunda radyejeneral temelin yatay ötelenmesi
$E_m$	zeminin sıkışabilirlik modülü
$E_p$	kazığın elastisite modülü
$E_r$	radyejeneral temelin elastisite modülü
$E_s$	zeminin rijitlik modülü
$F_{cd}, F_{qd}, F_{yd}$	derinlik katsayıları

<b>F<sub>ci</sub>, F<sub>qi</sub>, F<sub>yi</sub></b>	yük eğim katsayıları
<b>F<sub>cs</sub>, F<sub>qs</sub>, F<sub>ys</sub></b>	şekil katsayıları
<b>K</b>	toprak basıncı katsayısı
<b>k</b>	yatak katsayısı
<b>k<sub>0.3</sub></b>	arazideki plaka yükleme deneyinden elde edilen yatak katsayısı
<b>k<sub>pr</sub></b>	kazıklı radyejeneral temelin rijitliği
<b>kr</b>	radyejeneral temelin rijitliği
<b>Kr</b>	radyejeneral temel-zemin rijitlik oranı
<b>k<sub>x</sub></b>	yatay yatak katsayısı
<b>Q<sub>din</sub></b>	zeminin dinamik direnci
<b>Q<sub>g(u)</sub></b>	kazık grubunun nihai taşıma gücü
<b>Q<sub>p</sub></b>	uç direnci
<b>Q<sub>s</sub></b>	sürtünme direnci
<b>q<sub>u</sub></b>	nihai taşıma gücü
<b>R</b>	yatak katsayısı derinlik boyunca sabit zeminler için rijitlik faktörü
<b>R<sub>s</sub></b>	cephe oranı
<b>sr</b>	radyejeneral temelin oturması
<b>st</b>	kazığın toplam oturması
<b>t</b>	radyejeneral temelin kalınlığı
<b>T</b>	yatak katsayısı derinlik boyunca değişken zeminler için rijitlik faktörü
<b>U</b>	normalize kolon yükü
<b>W</b>	kazığın ağırlığı
<b>α</b>	kazıklı radyejeneral temel katsayısı
<b>α<sub>cp</sub></b>	kazık-radye etkileşim faktörü
<b>α<sub>h</sub></b>	kazıklı radyejeneral temel yatay yük katsayısı
<b>β</b>	radyejeneral temellerin esnekliğini belirleyen katsayı
<b>γ</b>	Zeminin birim hacim ağırlığı
<b>δ</b>	kolonun orta noktasının radyejeneral temelin kenarına olan uzaklığı
<b>δ</b>	zemin kazık arasındaki sürtünme açısı

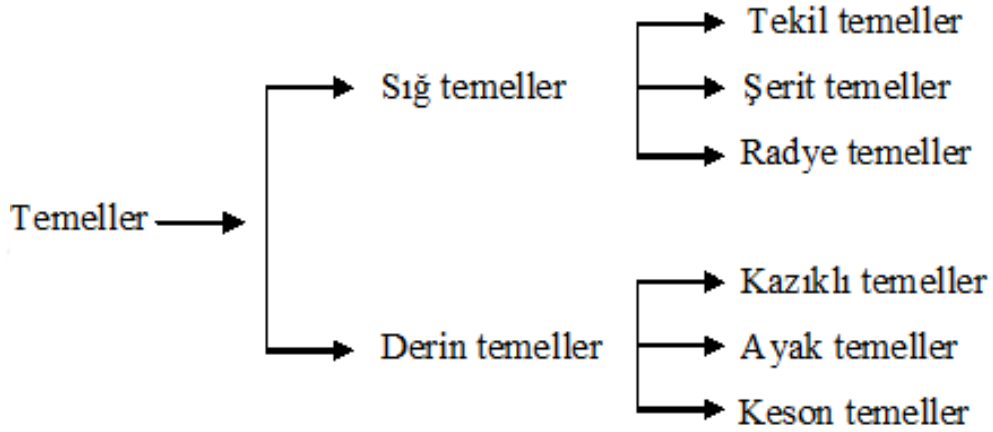
$\Delta E$	zemine kazık çakılması sırasında oluşan enerji kayıpları
$\eta$	kazık grubunun verimliliği
$\Sigma P_{h,p}$	kazıkların taşıdığı yatay yük
$\Sigma P_p$	kazıkların taşıdığı yük
$\sigma_v'$	efektif gerilme
$\nu_p$	kazığın poisson oranı
$\nu_r$	radyejeneral temelin poisson oranı
$\omega$	oturma faktörü



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüz yapı mühendisliğinde ekonomik tasarımlar güvenlik kriterleri kadar önemli hale gelmiştir. Özellikle çok katlı yapılarda, yapı maliyetinin yüksek olması, temel sistemlerinin tasarımında güvenliğin yanı sıra daha ekonomik yöntemlerin gerekliliğini şart kılmıştır. Bu nedenle geleneksel derin ve yüzeysel temel türleri bu doğrultuda geliştirilmiş ve günümüz piyasa taleplerine daha uygun düzenlemelere ayak uydurmuştur.



**Şekil 1.1** Temellerin basit sınıflaması (Uzuner, 2011)

Temeller, üst yapıyı etkileyen, sabit veya hareketli, yatay ve düşey yükleri taşıyabilen, kolon ve taşıyıcı duvarların altına inşa edilen ve bahsi geçen yükleri taşıyıp zemine aktarabilen yapı elemanlarıdır. Yapı yükleri taşıyıcı sistem aracılığıyla yapı temeline oradan da temel zeminine aktarılırlar. Seçilen temel tipi yapı yüklerini güvenli bir şekilde taşımalıdır. Ayrıca, zemine aktarılan gerilmelerden dolayı temel zemininde oturmalar meydana gelmektedir. Bu oturma miktarlarının da mevcut tasarıda yer alan yapıya ait kullanım amacının izin verilebilir seviyelerde olması istenilmektedir. Temel zemininin taşıma gücünün yetersiz olduğu veya oturmaların istenilenden fazla olması durumunda veya her iki koşulun birden sağlanmadığı durumlarda doğrudan yüzeysel temel uygulanamaz. Temele ait zeminin iksa adı verilen zemine yönelik dayanım

kapasitelerinin iyileştirilmesini amaçlayan yöntemler ile veya derin temellerin mevcut problemleri zeminin ardında bırakarak anakayaya kurulumunu amaçlayan uygulamalar günümüze yapı teknolojileri seçenekleri arasındadır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, tekil temeller, şerit temeller, radye temeller, kazıklı temeller, ayak temeller ve keson temellerin gerek literatür ve gerekse uygulama alanlarındaki kullanımı anlatılarak, bu temel tiplerinin yük taşıma kabiliyetleri, uygulama mühendisliğindeki yerleri ve farklı zemin tiplerine getirdiği çözümler açıklanmıştır. Tez kapsamında kazıklı temel çeşitleri ayrıcalıklı olarak incelenmiştir. Bu bağlamda yapılan çalışmada, taşıma gücü hesaplarının yanı sıra oturma hesapları da fiziksel parametre bazlı açıklanmıştır. Kazıklı temel türleri yük taşıma şekillerine göre sınıflandırılmıştır. Yine bu bağlamda, statik kazık formülleri verilmiş, zeminlerdeki kohezyon değişimleri ve uç dirençleri irdelenmiştir. Kazık grubu olarak adlandırılan çoklu kazık sistemlerinin tasarımı incelenmiş, günümüz mühendislik kullanımına örnekler getirilerek ergonomik modeller düzenlenmiştir.

Kazıklı temel çeşitlerinin yanı sıra radyejeneral temel sistemleri tez kapsamında işlenmiştir. Gerek konunun temelini oluşturan kabul görmüş yayınlar gerekse bu yayınlardan elde edilen formülasyon, deney ve gözlemlerin günümüz mühendisliğindeki kullanımı hakkında bilgiler verilmiştir. Radyejeneral temel sistemleri yükü temele yayarak taşıma gücünü karşılamayı esas almış temel taşıma sistemidir. Nitekim, kazık sistemi yükü anakayaya aktararak üst yapıyı zemine taşıma ilkesi ile çalışan bir sistemdir. Kazıklı sistemin tercih edildiği ortamlar radyejeneral temel sistemlerine göre farklılık göstermektedir. Kazık sistemi genelde kil miktarı fazla olan, bu kil düzeyinin getirisi olan porozite değeri yüksek zeminlerde tercih edilirken, radyejeneral temel sistemleri üst yapının yükünü temele yayarak taşıdığı ve genelde sağlam zeminlerde kullanılması öngörülen bir temel çeşitidir.

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında örnek bir saha modelinin “sta4CAD” yazılımı kullanılarak kazıklı temel tasarımlarının farklı varyasyonlarda ve dizilim geometrilerinde modellenmesiyle, ergonomik çözümlerin tasarımlarda kullanılması amaçlanmıştır. Derin ve yüzeysel temellerin literatürde geçen ve uygulama mühendisliğinde kullanılan tüm türleri bu tez kapsamında açıklanmış, geçmiş çalışmalarda bu tür yapı temellerinin kullanımı ile ilgili bilgiler ortaya konulmuştur. Yumuşak killi bir zemin üzerinde tasarlanan üst yapının temel sistem yazılım ile

yapılarak üç farklı kazıklı temel sistem modeli üzerinde hesaplanmış, bu hesaplar üzerinden ergonomi ve üst yapı güvenliği konulu yorumlar getirilmeye çalışılmıştır. Kazıklı temel türünün yapı mühendisliğindeki uygulanma teknikleri gösterilmiştir. Sonuç olarak kazıklı temel modellerinin sağladığı farklı fraksiyonlar ile temel taşıma güçleri hesaplanmış olup bu sistemlerin kullanılabilirliği tartışılmıştır.



## BÖLÜM 2

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Lee ve Chung (2005) yayınında, siltten büyük tane boyu içeren ortamlarda model deneyler oluşturmuşlardır. Zemin ile kazık arasındaki etkileşimleri incelemeyi amaçlayan bu çalışmada, kazıklar hem tek şekilde hem de gruplar halinde sisteme yükleyerek kazıkların yük-oturma işleyişi incelenmiştir. Yük transferi ve kazık başlığının sisteme olan etkisi de ayrıca deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerde, 1 m x 1.4 m x 2.5 m boyutlarında bir tank kullanılmış, içerisine uniform kum boyutunda malzeme kullanılmıştır. Kum boyutundaki malzeme ( $G_s = 2.66$   $\phi = 35^\circ$ ) 1 mm/dk yükleme hızı ile deneye tabi tutulmuş olup, 32 mm çapında ve 600mm boyutunda olan kazıkların 3x3 yerleşim planına göre deney ilerletilmiştir. Kazık başlığı olarak rijit çelik plaka ( $B \times L \times t = 365 \text{ mm} \times 365 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ) kullanılmıştır. Bu deney sonucunda kazık çapının %10 civarında bir değerde oturma miktarı gözlenmiştir.

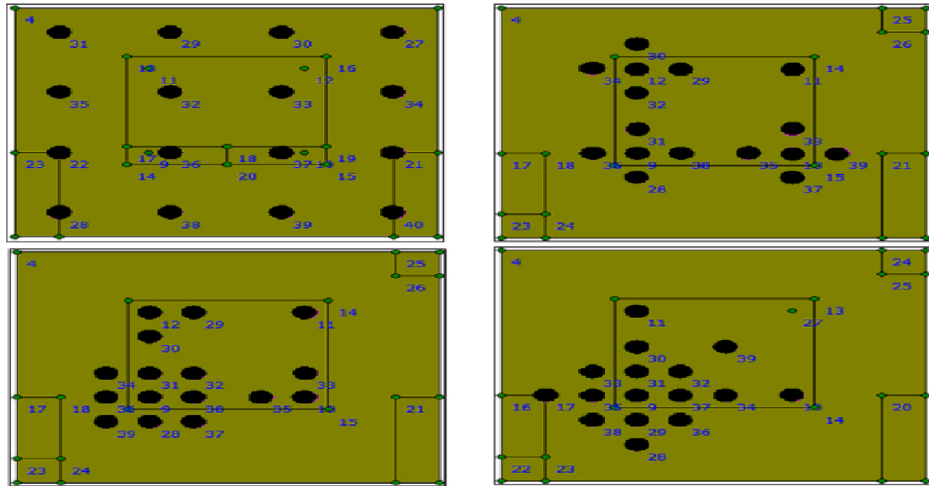
Ismael (2001) in-stu (yerinde) olarak üretilmiş betonarme kazıkların üzerinde yükleme deneyleri yaparak bu kazıklar arası grup etkisini araştırmıştır. Arazideki zeminin özelliklerine ( $c=20 \text{ kPa}$ ,  $\phi=35^\circ$ ) göre 0.1 m çapında ve 2.25 m boyutlarındaki tekil kazıklar üzerinde yapılan yükleme testi ve 20cm çapında ve 2.65 m uzunluğundaki kazıklar kullanılarak çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonucunda elde edilen sonuçlara göre, tekil kazıklar üzerinde 91 kPa çevre sürtünmesine tekabül eden bir direnç ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, yükleme testinin uygulandığı tekil kazıklarda ise %70 çevre sürtünmesi ve %30 uç direnci tarafından taşındığı gözlemlenmiştir. Kazık başlığı kazıklara etkileyen yanıl sürtünmede kazıklar arası mesafe 2D ve 3D iken artmış, 4D ve 5D iken azalmıştır. 2D kazık aralığında verim 1.22 iken 3D aralıkta ise 1.93 olarak bulunmuştur. Bu nedenle yayında, kum boyutunda malzeme içeren zeminlerde in-stu ortamda üretilen betonarme kazık sisteminde verim 1'den büyük

çıkmasını beklemiştir. Bununla beraber 2D ve 3D sistemlerde bu beklenti karşılanmıştır.

Gevşek kumlu zeminlerde ise porozitenin artışına bağlı olarak yer altı suyunun penetrasyonu artacağından, bu tür durumlarda verimin 1'den küçük olması yayında öngörülmüştür.

Zhang ve Small (2000) yayınında, fore kazık sistemlerinin kusurlarını incelemiştir. 2m çapında ve 15m uzunluğunda olan kazıklardaki santrifuj modellemeleri ile daha küçük ölçekte kazıklar kullanarak iki imal edilen sistem arasındaki farklardan kusurların belirlenmesi amaçlanmıştır. Rijit bir tabakalı sistem ( $\gamma=23.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $q_u=26 \text{ MPa}$ ) üzerine uygulanan deneyde, 15m kalınlığa sahip su muhtevası yüksek seviyede iken ( $\gamma_k=23.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $e=0.53$ ,  $\phi=38.7^\circ$ ) in-stu üretilen tekil kazık gruplarında taşıma gücünün %15-65 arasında azaldığı gözlemlenmiştir.

Randolf ve diğ. (2004) yayınında, kolon yüklerine bağlı oluşan oturmaların radye temel kullanarak sistemdeki yük dağılımını incelemiştir (Şekil 2.1). Bu deney için kazık boyu ve çapı, temel kalınlığı ve yükleme koşullarını etkileyen parametreler kullanılmış olup, Plaxis yazılımı ile test etmiştir. Deneyde silisli kum kullanılmış olup ( $D_r=\%40$ ,  $\phi=40^\circ$ ,  $\gamma_k=1.37 \text{ t/m}^3$ ) iki ayrı fraksiyonda deney gerçekleştirilmiştir.

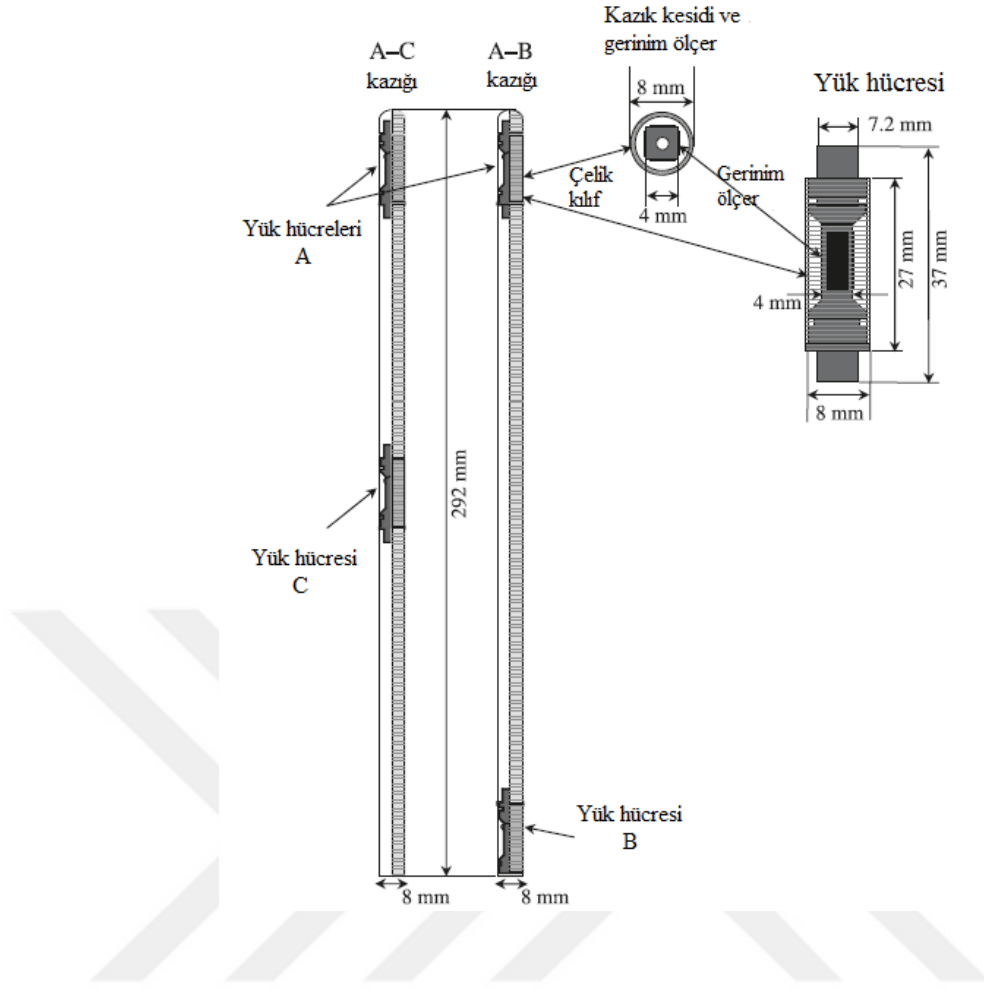


Şekil 2.1 Kazıkların kolon yükleri dikkate alınarak yerleştirilmesi  
(Nguyen ve diğ., 2013)

Birinci deneyde, radye temel sistemine kazıklar homojen şekilde yerleştirilmiştir. Fakat, ikinci deneyde sistem sıkıştırılarak işlenmiş ve kazıklar bir bölgeye toplanarak modellenmiştir. Sonuç olarak, ikinci modelde, oturma oranı %30'a ulaşmıştır ve temeldeki bükülme momenti ise %50 oranında azalma göstermiştir. Kullanılan yazılım kaynaklı 3D modellemesi, yapılacak sistemdeki kazık sayısının artırılmasının oturma oranını düşürdüğünü göstermiş, bununla beraber zemine etkiyen momentleri de azalttığı gösterilmiştir.

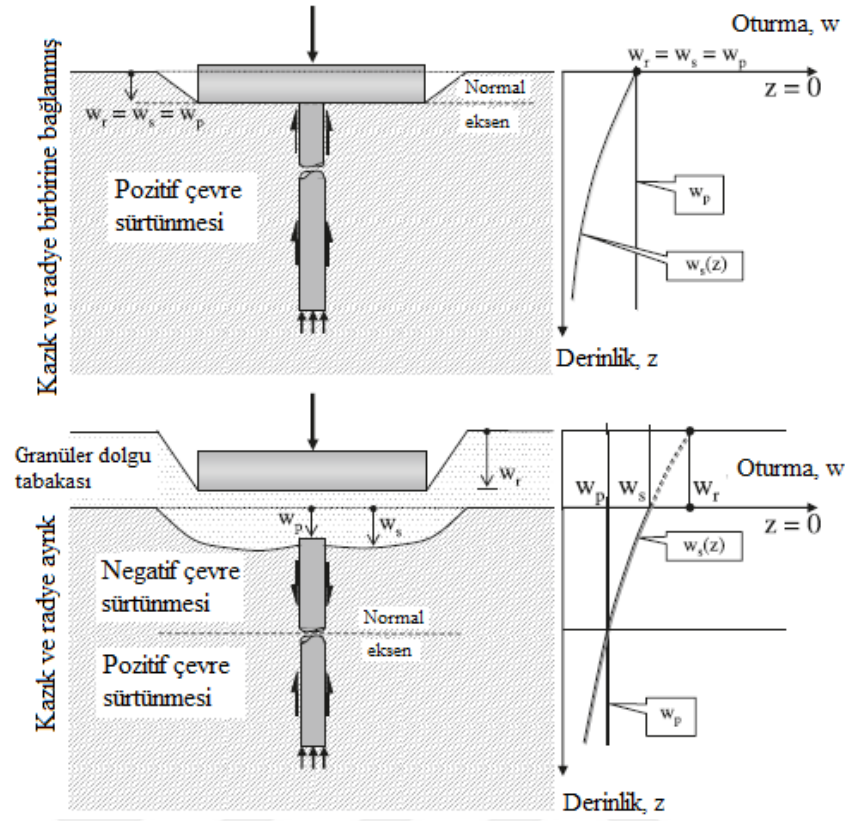
Sawwaf (2010) yayınında, kum boyutlu malzeme içeren zemin ortamlarında radye sistemlerin bağlantılı olup olmama durumlarının mekanik davranışlarını ve göçme mekanizmalarını incelemiştir. Deney için 0.4mx0.9m.0.5m boyutlarında tank kullanılmıştır. Ayrıca deneyde kullanılan diğer malzemeler; radye temel (BxLxH = 200mmx398mmx10mm), kazıklar (D =12mm, L = 60mm-120mm-180mm, E=0.207x10<sup>6</sup> MPa) çelikten imal edilmiştir. Kumlu zemin gevşek, orta sıkı ve sıkı olacak şekilde farklı fraksiyonlarda kullanılmıştır. Farklı porozite gösteren bu zeminlerinde gerçekleşen deneylerde içsel sürtünme açıları gevşek için 34°, orta sıkı zeminler için 37.5° ve sıkı zeminler için 43° hesaplanmış ve sırası ile 15000, 30000, 40000 kN/m<sup>3</sup> elastisite modülü bulunmuştur. Deney sonuçlarında, radye sistemlerin kazıklı sisteme oranla daha fazla yük taşıdığı ve daha az oturmaya mahal verdiği gözlemlenmiştir. Üstüne üstlük, radye temellerin özellikle zeminin porozitesi azaldıkça performansının arttığıda ortaya çıkmıştır.

Fioravante ve diğ. (2008), porozitesi yüksek, silisli kum boyutlu malzemeye sahip zemin sistemlerinde kazıklı radye sistemini denemiş ve modelleme yardımı ile kazıkların üzerine gelen yük dağılımlarını, bunlar üzerindeki oturma oranlarını ve yine kazıklar arası yük paylaşımını incelemiştir.



Şekil 2.2 Ölçüm cihazları bağlanmış model kazık (Fioravante ve Giretti, 2010)

Silisli kum ( $\phi=33^\circ$ ,  $G_s=2.61$ ,  $D_{50}=0.09$  mm ve  $D_r=\%30$ ) kullanılan bu deneylerde radye sistem 88mm çapında ve 15mm yüksekliğinde plakalar halinde oluşturulmuştur ( $E=2.1 \times 10^5$  MPa). Yükleme işleminde kazıklar temelin orta üst ve alt kısımlarına yerleştirilmiş ve kazık sayıları 1, 3, 7, 13 olarak seçilmiştir. Sonuç olarak kazıkların sayısı dikkate alınmadan bile kazık kullanımının radye temele göre oturma değerlerini  $\%35-95$  arasında azalttığı görülmektedir. 1, 3, 7 kazık kullanılan sistemlerde radye temelin aldığı yük sırası ile  $\%57$ ,  $\%30$ ,  $\%12$  olduğu görülmüştür.(Şekil 2.2)



**Şekil 2.3** Kazık grubu ve radye temelin birbirine bağlanmış ve ayrıık olma durumları ile her iki durumdaki kazık, radye ve zemindeki oturmalar (Fioravante ve Giretti, 2010).

Katzenbach ve diğ. (2005) yayınında, Almanya'da yüksek katlı binalar üzerinde gerçekleşen vaka analizlerini incelemiştir. Kazıklı radye sistemle temelle oluşturulan bu yapılarda, zemin genelde konsolide kil veya kireçtaşı üzerine oturtulmuştur. 30 katlı bir bina ele alındığında eğer yüzeysel bir temel sistemine sahip olsaydı, yaklaşık oturmaların 40-50 cm olacağı belirlenmiştir. Fakat, kazıklı radye uygulaması ile bu oran 12 cm de kalmıştır. Yine kazık sistemi toplam yükün %80'ini yüklenmiştir. Sonuç olarak, köşe kazıklarda 140 kN/m sürtünme direnci bulunurken, iç kazıklarda ise 60 kN/m yük bulunmaktadır.

Prakoso ve diğ. (2001) yayınında, oturmaları azaltmak için radye tasarım sistemlerinde zeminin elastik ve elasto-plastik olması durumlarını incelemiş ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analizler yapmıştır. Plaxis 3D yazılımı ile kullanılan bu yayında, zemin parametreleri  $E=20$  MPa,  $\nu=0.495$  olarak alınmıştır. Yapılan deneylerde oturma değerlerinde %5 ila %25 arasında bir düşüş sergilenmiş fakat, kazık ucundaki taşıma

gücü neredeyse aynı çıkmıştır. Bu yapılan deneylerin yanında,  $B_g/B_r$  kazık sistemi capının radye genişliğine oranı incelenmiştir.

Sonuçta kazık boyu artırıldıkça  $B_g/B_r$  oranında artma görülmüş ve oturma seviyeside %60 kadar azalmıştır. Yine aynı bağıntı üzerinden, kazık sistem aralığı düşürüldüğünde (20d'den 4d'ye) oturma oranı %40 oranında azalmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda yayında, radye temel sistemlerini etkileyen ve pratikliğini gösteren parametrenin  $B_g/B_r$  oranı ve kazık boyu olduğu belirtilmiştir. Bunların ışığında Son olarak  $B_g/B_r \approx 1$  ise ortalama oturmaların düşük olacağı, fakat  $B_g/B_r$  oranı 1'in altına düştüğünde ise farklı oturmaların en az olacağı sonucu öngörülmüştür.

Chow ve diğ (2001) yayınında, kazıklı radye sistemlerini çok değişkenli analiz yöntemini kullanarak kullanmışlardır. Minimum potansiyeli sağlayan enerji prensibi üzerinden bu radye sistemin ve kazık grubunun temel üzerindeki davranışını incelemiştirler. Zemin üzerinde tahmin edilen rijitlik seviyesini gösteren bir matris yazılmış ve radye temel sistemi olarak kabul edilmiştir. Sistemin özelliklerine ( $E=280$  MPa ve  $\nu=0.4$ ) göre yapılan sayısal analizlerde oturma miktarı 82mm ve kazık sisteminin yük oranı %45 olarak hesaplanmıştır. Yayında ileri sürülen sistem arazide kazıklı radye sisteme uygulandığında oturma oranınının 38 mm olduğu ve kazık grubuna etkileyen toplam yük yapının %47'sine denk geldiği bulunmuştur. Yayın sonuçta minimum potansiye enerji denklemlerinin radye kazıklı sistemlerinde özellikle önermekte ve güvenilirliği arttırdığını öne sürmektedir.

U. Ergun ve K. Türkmen (2007) kazıklı radyejeneral sistemde kazık grubu ve taşıdıkları yük oranları ile sistemin yaptığı oturma miktarını arazi ve laboratuvar deneyleri ile araştırdılar. Arazide yapılan deneyler sert killi bir zeminde yapılmıştır. Yerinde dökme betonarme kazıklar, deney kazığı ( $D=32$  cm,  $L=5$  m,  $s=150$  cm ) ve reaksiyon kazığı ( $D=32$  cm,  $L=9$  m) olarak imal edilmiştir. Yükleme yapılarak kazıkların tek başına taşıdığı yük belirlendikten sonra radyejeneral temel imal edilerek sistem yüklenmiş ve sistemin taşıdığı yük ile oturmalar ölçülmüştür. Kazıklı radyejeneral sistemi ilk olarak düşey yönde yüklenmiş ve maksimum yüke ulaşıncaya yatay yük uygulanmıştır. Bu deneylerde radyejeneral temelin yaklaşık olarak toplam yükün %30'unu aldığı görülmüştür. Ayrıca radyejeneral temeldeki düşey deformasyon 1.15 mm ve yatay deformasyon 5 mm olmuştur. Laboratuvarda yapılan model deneylerde ise %50 kum ve %50 çakıl karışımından

oluşan zemin ( $\gamma_n=19$  kN/m<sup>3</sup>,  $w=17$ ) tabakalar halinde sıkıştırılarak deney tankına yerleştirilmiştir. Sıkı, orta sıkı ve yumuşak zemin karışımları hazırlanmıştır. Kazıklar (D dış=22 mm, D iç=18 mm L=200 mm, s=4D) alüminyumdan üretilmiş ve dış yüzeyleri pürüzlendirilmiştir. Kazıkların iç yüzeyine folyo tipi gerilme ölçerler yerleştirilip su etkilerine karşı koruyucu maddelerle kaplanmıştır. Radye temel (BxLxH=132mmx132mmx132mm) çelik plakadan üretilmiş olup 5 ton kapasiteli yük hücresi ile yükleme yapılmıştır. Oturmalar da deformasyon ölçerlerle ölçülmüştür. Laboratuvar deneylerinde ise radye temelin aldığı yük %40 'a kadar çıkmıştır ve bu yük oranındaki oturma değeri radye genişliğinin %2'si kadardır.

Programlama konulu yapılan çalışmalarda ise özellikle son yıllarda de Sanctis ve Mandolini (2006) yumuşak killi zeminlerde kazıklı radyejeneral sisteminin davranışını sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Analizlerde zeminin drenajsız şartlardaki özellikleri dikkate alınmıştır ( $E_u=400c_u$ ,  $\nu=0.49$ ). Kazık çapı ve boyu ( $L/d=20$ ,  $L/d=40$ ), kazık sayısı ( $n=9, 25, 49$ ) ve kazıklar arası mesafenin ( $s=4d$ ,  $s=8d$ ) değişken olduğu 14 farklı analizde kazıklı radyejeneral sisteminin taşıdığı yük kazık grubunun taşıdığı yükün 1.2 ile 5.8 kat fazlası çıkmıştır. Ayrıca yazarlar radyejeneral temelin %10B oturma değerinde sınır taşıma gücüne ulaşırken, kazık grubunun %25d oturma değerinde sınır taşıma gücüne ulaştığını belirtmişlerdir. Yazarlar bu çalışmalarında; kazıklı radyenin taşıma gücünü, radyejeneral temel ve kazık grubunun taşıma güçlerini ayrı ayrı toplayıp bu değeri göçme durumunu temsil eden bir katsayıyla çarparak elde etmişlerdir.

Reul (2004) aşırı konsolide kil zeminlerde kazıklı radye sisteminin taşıma gücü davranışını üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmiştir. Bu analizlerde zeminin uzun dönem davranışı etkili olduğu için zeminin drenajlı kayma mukavemeti parametreleri kullanılmıştır. Analizlerde 69 m Frankfurt kili ( $c'=20$  kPa,  $\phi=20^\circ$ ,  $\nu=0.15$ ) ve onun altında da kireçtaşı ( $c'=1000$  kPa,  $\phi=15^\circ$ ,  $\nu=0.25$ ) olan bir zemin profili kullanılmıştır. Zeminlerin elastisite modülü ise belirli bir derinliğe kadar sabit kalırken bu seviyeden sonra lineer olarak artmaktadır. Bu çalışmada kare temeller ( $B=14$  m, 38 m ve 62m,  $t=2.5$  m, 3 m ve 4 m) altına farklı geometriye sahip kazıklar ( $L=10$  m, 20 m, 30 m, 40 m ve 50 m,  $d=0.5$  m, 1 m ve 1.5 m,  $n=13-441$ ,  $s=2d-15d$ ) yerleştirilerek parametrik bir çalışma yapılmıştır. Kazıklı radye sisteminin davranışı sistem geometrisinin yanında yükleme koşullarına ve ilgili yüklemdeki

oturma miktarına göre değişmektedir. Bu alışma sonucunda, kazık grubunun taşıdığı yük farklı durumlar için

%35 ile %91 arasında değişmektedir. Analizlerde oturma miktarı arttıa kazık grubunun aldığı yük de artmıştır fakat sınır taşıma gücüne hiçbir zaman ulaşmamıştır.

Hwank ve diğ. (2011) alışmasında ise esas amaç olarak inşaat maliyetlerini en aza indirebilen bir köprü temeline ait grup kazıklarının tasarlanması amacıyla pratik bir yöntem sunulmaktadır. Tasarlanan yığın grubunun kısıtlama fonksiyonları, yerel mühendislik uygulamasında şu anda benimsenen tasarım koduna göre oluşturulmuştur. Optimal zm aramak için ayrık Lagrange arpanı (DLM) yöntemine dayanan yeni bir yöntem önerilmiştir. Hesaplamalı verimlilikteki parametrelerinin kullanıldığı bu sistemler, bu çalışma kapsamında yer alan sonlu farklılara ait yazılımın temelini oluşturmasının yanı sıra bu çalışma içerisinde yer alan farklı st yapı modellerine ait incelemelerinde, DLM yönteminin kullanımı ile bağlantılı olarak inşaat maliyetleri, küresel minimum maliyetlerden% 6.0'dan daha az farklılık gösteriyor ancak zgn tasarımlar üzerindeki tasarruflar% 13 ila% 56 kadar yüksek olabilmektedir.

Son olarak bu kapsamda incelenen K.Z. Truman ve A.S. Hoback (1992) alışmasında ise elik kazık temeller en az ağırlıklı sistemler bulmak için optimize edilmiştir. Kazık en kesitleri ve yönlendirmeleri (vuranlar), bir optimumluk kriteri yaklaşımı kullanılarak optimize edilerek matriks açılımlarında Lagrange arpanları, hangi sınırlamaların aktif olduğunu varsaymak için yenilikçi bir yaklaşımla doğrusal eşzamanlı denklemler kullanılarak bulunmuştur. Optimalite kriter yaklaşımıyla topolojik değişkenlerin kullanımı iyice tartışılmıştır.

Topolojik değişkenler için yerel koordinat sistemlerinin yerleştirilmesi tasarımın yakınlışmasını etkiler. Örnekler, duvarın bir bölümünü temsil etmek için iki boyutlu bir yığın düzeninin kullanılabileceği istinat duvarı için örneklerdir. Algoritma, hızlı bir şekilde son bir tasarıma dönüşür. Uygulanan tüm sınırlamalar tam olarak kontrol edilir. Kazık eğim probleminin yerel olarak en uygun tasarımları olduğu gösterilmiştir.

## BÖLÜM 3

### KAZIK GRUPLARI, KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL SİSTEMLERİ

Bölüm 1 ve Bölüm 2’de belirtilen yüzeysel temelerde taşıma gücü, oturma, sıvılaşma veya stabilite problemlerinden biri ya da birden fazlası üst yapı modeline yönelik uygulamalar öncesi sağlanamaz ise zemin iyileştirme veya derin temel uygulamalarının uygulamalarının ilgili yapı alanında gerçekleştirilerek üst yapı inşasına yönelik uygulamaların devam edilmesi ve bu yönde uygulamala planlanlarının yapılması günümüz inşaat uygulamalarında bir rutin iş takvimi uygulaması olarak yerini almıştır. Belirtilen bu hususlarda en yaygın kullanılan derin temel çeşidi gerek yüksek yük kapasiteli, gerekse ülkemizde gözlenen alüvyon kökenli zemin gruplarının güncel kot sınırlarını oluşturması sebebiyle kazıklı temellerdir. Kazıklar, en basit uygulama amacıyla temel elemanı olarak görev yaptıklarında üst yapıya ait statik ve dinamik yükleri ilgili düşük dayanıma sahip zemin grupları yerine daha derinde olan ve yüklenmeye karşı göreceli olarak daha yüksek dayanımına sahip kaya veya yüksek dayanımlı zeminlere aktarırlar. Bu asıl uygulama sebebinin dışında, yan yana yapılan sıralı kazıklar gerektiğinde ankraj elemanları ile güçlendirilerek dayanım yatay yönlü dayanımına yönelik destek yapısı olarak işlev görmektedirler. Ayrıca ilgili uygulama sahasında çekme kuvvetlerini ve yanal yükleri de taşımaları çok çeşitli uygulamalara yönelik yapı tasarımında kazık uygulamalarını zorunlu kılmaktadır.

#### 3.1 Kazıklı Temel Sistemlerinin Genel Tanımı

Dünya şehirleşme trendlerinde artan nüfusa oranla artan ihtiyaçların kısıtlı alan ve imkanlar dahilinde yüksek verimlilik değerlerinin yanı sıra gündün güne azalan enerji sarfiyatını sunan konvratif bir yaşam ortamının ön planda olduğu metropol tipi şehirleşme günümüzde kabul görmüş şehirleşme tipini oluşturmaktadır. Bu hususta geçmişte de var olan yaşam alanlarının yanı sıra şehirleşmeye ve artan kent insanı profiline ait nüfusun gündelik hayatında var olan çalışma, ulaşım, sosyal faaliyetlere yönelik yapıların bu kısıtlı alanlarda azami verimlilik değerleri ile üretilmesi yapı

mühendisliğinin başlıca görevlerini oluşturmaktadır. Geçmişten günümüze özellikle üst yapıda gözlenen yüksek taleplerin karşılanma isteği, bir yapı içerisinde metropol konseptine yönelik çoğu talebin gerçekleştirilmesini tasarlayan projelerin hayata geçirilmeye çalışılması, üst yapı şeklinde tasvir edilen yapıların (konut, iş merkezi gibi yaşam alanlarının yanı sıra köprü, otoyol, liman vb. ana görevi dışında ek görevlere sahip yapıların oluşturulmasına yönelik üst yapı geliştirmeleri) üretilme talebi üst yapı içerisinde çok çeşitli yüklerin barındırılmasına neden olmaktadır.

Üstyapıdan gelen yüklerin gelişen yapı teknolojisine rağmen zamanla başta belirtilen bu sebepler sonucunda artması, yapı altında yer alan zeminin bu yükleri yenilmeden ya da aşırı miktarda oturmaya maruz kalmadan taşıyamayacak olması ve sağlam tabaka şeklinde tabir edilen yüksek dayanıma sahip rijit tabakaların göreceli olarak derinde yer alması veya sığ temel için yapılacak zemin iyileştirmesinin daha maliyetli olması durumunda üstyapıdan gelen yükler kazıklı temeller vasıtasıyla zemine aktarılır. Kazıklı temellerin kullanıldığı durumlar ve kazık tipine ait betimlemeler ile adlandırılmalar Das ve diğ. (1999) tarafından yapılan çalışma sonucunda belirlenmiş olup aşağıda maddelenerek kısaca özetlenmiştir.

Üst tarafta yer alan zemin tabakalarının sıkışabilirliğinin yüksek olması ve üstyapıdan gelen birim alana düşen yük kapasitesini taşıyamayacak kadar zayıf olması durumunda, bu yüklerin derinde yer alan ana kayaya veya taşlaşmış zemin şeklinde ifade edilen sıkışabilirliği kaya kalitesine denk zemin birimlerine kazıklar vasıtasıyla aktarılması sağlanır (Şekil 3.1a). Uç taşıma gücünün ağırlık kazandığı bu durumlarda bu kazık tipi çu kazığı olarak tanımlanmaktadır.

Zemin yüzeyinden itibaren belirli bir derinliğe kadar yüksek taşıma gücüne sahip zemin ile karşılaşmadığı takdirde, kazıklar zemine yüklerini kademeli olarak aktarmaktadır. Yükler yüklendikten belirli bir zaman sonra üst ve altyapı durağan bir konumda bulunduğunda zemin ve kazık yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvveti tarafından aşınabilmektedir. Bu tip kazıklar ise sürtünme kazığı veya bazı durumlarda yüzen kazık olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.1b).

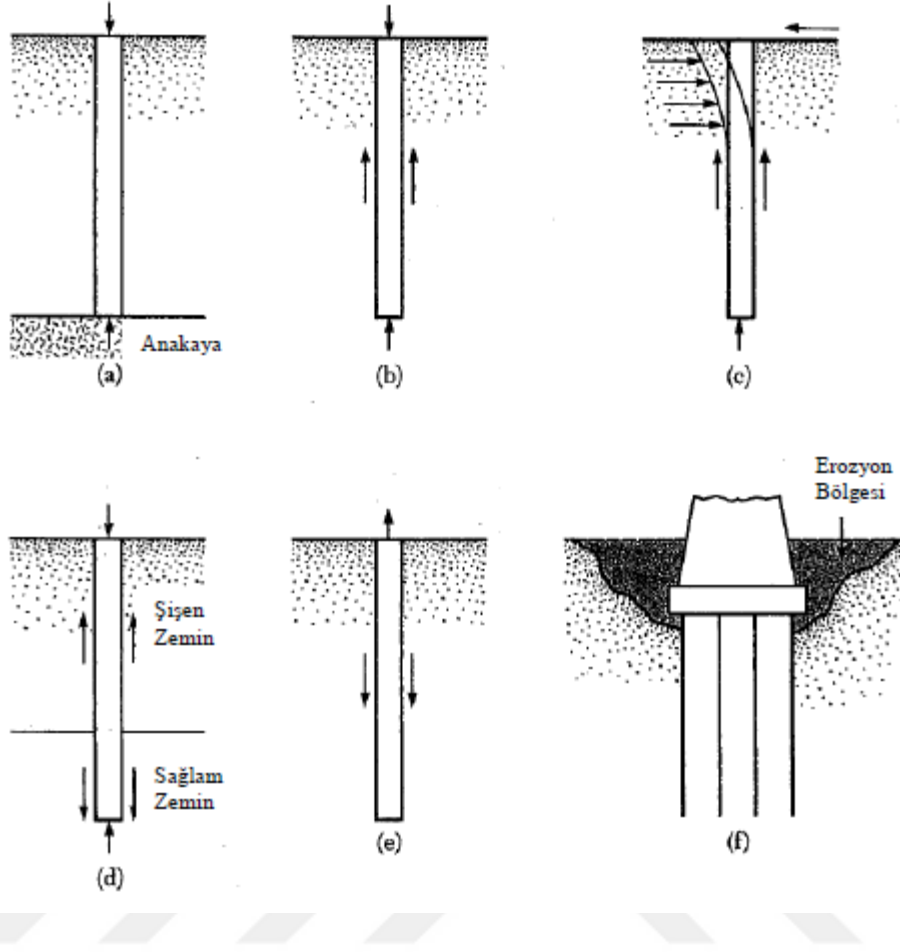
Yanal yüklere maruz kalınması durumunda, kazıklar bir yandan eğilmeye zorlanırken aynı zamanda düşey yükleri de karşılayabilmektedir. Bu temel tipine ait durumlar genelde yüksek yanal yüklerin oluştuğu istinat yapılarının tasarımı ya da yüksek

rüzgar ya da deprem yüküne maruz kalan çok katlı yapılar ile kule, baca gibi yapıların temellerinde görülmektedir (Şekil 3.1c).

Başta belirtilen yapıların bulunduğu alanlara ait yer altı jeolojisinin homojen bir dağılım göstermemesinden ötürü, yapıların inşa edileceği alanlarda kaya veya kaya benzeri yüksek sıkışmazlık gösteren zemin birimlerinin arasında alüvyonal zeminin bir göstergesi olan kil içerikli yapıların egemen olduğu ve üst yapının oluşturulması esnasında bu yapıların yer altı su kaynağı ile birlikte şişme durumunun yaşandığı gözlenmektedir. Özellikle şişen zeminlerde su muhtevasının değişimine bağlı olarak büyük hacim değişiklikleri gözlenmektedir. Bu durumda şişme basıncının mutlaka göz önüne alınması gerekmektedir. Bu tabakaların derinliğinin çok fazla olduğu durumlarda, yüzeysel temellerin kullanımından kaçınılmalıdır, aksi takdirde farklı oturmalara bağlı büyük yapısal hasarlar meydana gelebilmektedir. Kazıklı temellerin kullanımı halinde, kazık derinliğinin söz konusu aktif tabakanın derinliğinden fazla olması durumunda, kazıklar gerektiğinde çekme kuvvetine çalışabilmektedir (Şekil 3.1d).

Ticari veya turistik kullanım amacına yönelik tasarlanan liman, iskele, deniz kulesi, deniz üstüne yapılması planlanan diğer gibi hafif tasarım/yapılar ya da temel alt kotu yer altı su seviyesinin altında yer alan radyejenaral temeller belirtilen şekilde üçüncü eksenden kaldırma kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu durumda kazık temeller çekme kazığı olarak bu kuvvetlerin karşılanması amacıyla yapılarda tercih edilmektedir (Şekil 3.1e).

Metropol tipi yapılaşmanın önemli bir ayağını oluşturan ve ulaşım konularında kritik konumda olan yapıların oluşturulmasında zemin yüzeyinin denizel ortamlarda gözlenen dalga, deniz seviyesinin mevsimsel veya periyodik aralıklarla hareketi, deniz içerisinde gözlenen vb. denizel hareketler kaynaklı zemin yüzeyinde oyulma sebebiyle taşıma gücü kaybına uğrama tehlikesi, denizel ortamların bir getirisi olan ve geçmişte oluşan alüvyonal yapıtaşlı tabakaların günümüzde çoğu temel kotunu oluşturması sebebiyle günümüzde öncelikle bu tip kritik konumda yapılar olmak üzere konut, iş yeri, sosyal alanlar vb. metropol kentleşmesinde önemli yerlere sahip yüksek üst yapı yüküne sahip diğer kritik yapılarda kazıklı temellerin tercih edilmesine neden olmaktadır (Şekil 3.1f).



Şekil 3.1 Das ve diğ. (1999) tarafından kullanım alanlarına göre sınıflandırılan kazık temelleri

### 3.2 Kazıkların Yük Aktarım Şekline Göre Sınıflandırılması

#### 3.2.1. Sürtünme Kazıkları

Şekil 3.1b'de basitleştirilmiş kesitinin yer aldığı bu kazık tipinde belirli bir derinlik boyunca ana kayaya ya da ana kayaya yakın taşıma gücüne sahip boşluksuz yüksek dirençli (ilgili yüksek dayanıma sahip zemin grubuna ait detaylı mühendislik jeolojisine ait fiziksel parametreler ve zeminlerin detaylı olarak sınıflandırılması çeşitli konu başlıklarında verilmiştir.) zemin ortamına ulaşamamakta, bu sebeple yük kazık gövdesi boyunca içerisinde bulunan zemin sınıfı içerisinde yer alan jeolojik birimlere sürtünme direnci yoluyla aktarılmaktadır. Sürtünme kazıklara ait uygulanan yük ve dayanım hesaplarında, kazığın uç direnci ihmal edilecek değerlerde olmakla birlikte

kullanım alanı olarak genellikle kısa vadeli kullanıma yönelik yapıların temelini oluşturmaktadır.

### **3.2.2 Uç Kazıkları**

Bölüm 3.1’de bahsedildiği şekilde; yükün kazık tarafından derinde yer alan taşıma gücü çok yüksek zemine ya da ana kayaya ait birimlere kazık tarafından uç gerilmeleri ile aktarılması işlevine dayanan kazık uygulama işlemine uç kazıklama, bu işlevsel uygulamada görev alan kazıklar da uç kazığı olarak isimlendirilmektedir. Bu kazıklarda da sürtünme kazığına benzer şekilde çevre sürtünmesi kaynaklı çevre direnci hesaplamalarda ihmal edilecek mertebelere sahiptir. Kazık uygulamalarına yönelik tasarım safhalarında genellikle ilk karşılaşılan kazık tipi belirleme aşamasında, dayanımsız zemin grupları içerisinde kazığın ilerlemesi esnasında göreceli olarak temel kayaya yakın derinliklerde taşıma gücü nispeten yüksek zeminlerle (yüksek çimento içerikli kireçtaşı kökenli karbonatlı yapılar veya sert kil, kum, taşlaşmış silt birimleri gibi ülkemizin yüzeye yakın morfolojisini ve temel derinliklerine ait jeolojik birimlerinin ~%80’ini oluşturan jeolojik birimler) karşılaşılmamasına rağmen kazıklar bu tabaka ve birim sınırları içerisinde belirli bir uzantıyla soketlenmektedir. Bu durumda üst yapıdan inşaatı tamamlanan kazıklara yönlendirilen yükler ilgili zemin/kaya ortamda hem sürtünme hem de uç dirençleri tarafından karşılanmaktadır.

### **3.2.3 Kompaksiyon Kazıkları**

Özellikle çakıl, silt ve iri taneli kum, kil, killi kum içerikli konglomera adı verilen, içerdiği karbonat veya kalsiyum kökenli yapıların yer altı suları tarafından çözünmesiyle oluşan çeşitli boyutlarda karstik boşluk içeren iri taneli zeminler içerisinde, yüzeye yakın bölgedeki zeminin ilgili yük birimlerinin aktarımının sağlanması amaçlı sıkıştırılmasını sağlamak amacıyla zemine üst yapıya kıyasla uzunluğu fazla olmayan kazıklar çakılmaktadır. Kompaksiyon kazığı adı verilen kazıkların ilgili zemin gruplarında yük dayanımını heterojen olarak artırılması hedeflenerek hem altyapının kurulduğu birimlere ait birim hacim yoğunluklarında hem de kazık uygulamasının uygulandığı kotlarda yer alan yük mukavemetlerinde artış gözlenmektedir. Kompaksiyon (sıkışma) kazıklarının uzunlukları, ilgili zeminin sıkışmadan önceki ve sonraki yoğunluklar ve istenen sıkışma miktarı, zemin içerisinde sıkışmanın derinliğine bağlı olarak bir fonksiyonu şeklinde belirlenmiş olup uygulama

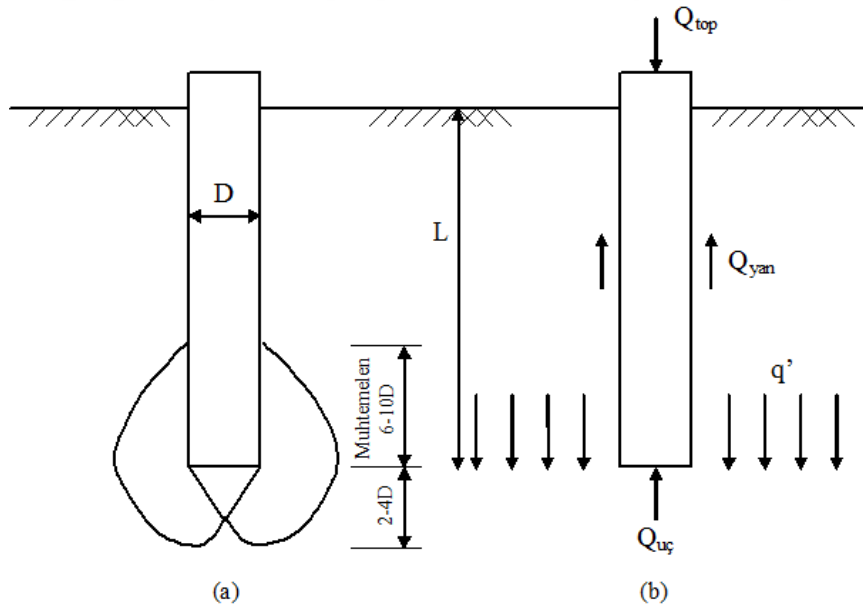
bölgesinde gözlenen zemin parametreleri ile değişiklik göstermektedir (Prakash, 1990).

### **3.3 Tekil Kazıklı Temellerin Taşıma Gücü**

Kazık uygulamaları belirlenen altyapı inşaatı öncesi üretim safhasından önce yer alan tasarım aşamasında, belirli bir grup/küme vb. çoklu elemanlar şeklinde tasarlanırlar, bununla birlikte gerek sahada gerekse saha verilerinin bilgisayar ortamında üst yapıdan gelen yüklerin modellenmesi ile belirlendiği şekilde tek bir kazığın ilgili zemin içerisinde davranışı, birden fazla üretimi planlanan kazık gruplarının davranışından farklı şekilde işlemektedir. Ancak tasarım aşamasında kazık grubunun taşıma gücü tespit edilirken öncelikle tek bir kazığın üstlendiği taşıma gücünü bilmek gerekmektedir. İlgili tasarıda tek bir kazığın taşıma gücü, kazık üzerinde yüke etki eden negatif sürtünme kuvvetleri ile tasarıda belirlenen grup etkisinin incelenmesiyle kestirilmektedir.

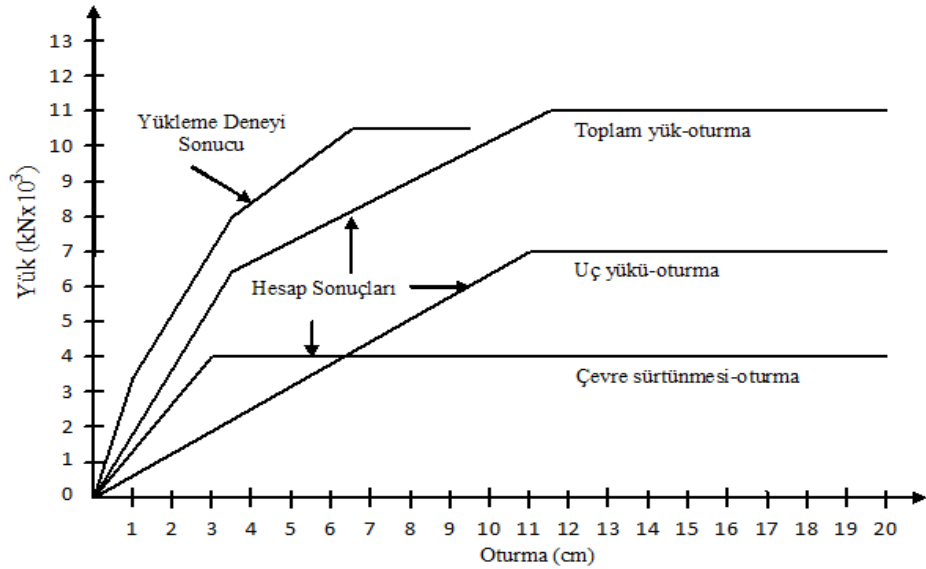
Üst yapının oluşturulmasına yönelik hazırlanan uygulamalar kapsamında spesifikleştirilmiş kazıkların üst yapıya ait statik ve dinamik yükleri karşılama ve uzun zaman periyotlarında yenilmeme prensibi ile taşıma kapasitelerinin belirlenmesi ve bu belirlemeye yönelik çeşitli formülasyonların yer aldığı hesaplamalarda aşağıda belirtilen metotlar küresel ölçekli (örneğin EUTEC, ASTM vb. küresel şartnamelerin yanı sıra İnşaat Mühendisleri Odası tarafından oluşturulan yapı şartnameleri tarafından yapı üretim uygulamalara giriş aşamalarında belirlenen ve günümüzde yapıların çevre ortam, jeoloji, hidroloji ve kayaç/zemin ile kurduğu statik ve dinamik yüklere ait ilişkilerin formülize edildiği bağıntılar ilk olarak Prakash ve diğ., (1991) tarafından modellenerek oluşturulmuştur. Ancak geçmişte yapıların temellerinin oturduğu zemin biriminin tek tip homojen olarak sabit bir fiziksel dokuya sahip olduğu kabul edilerek işlem gören bu formüller, günümüzde geliştirilerek porozite, sıkışmazlık, kohezyon ve zeminlerde yer alan ekstren durumlara (faya yakınlığı, bölgede yer alan karstik boşluklar vb.) yönelik farklı formülasyon değerleri olarak farklılaştırılmıştır. Ayrıca günümüzde zeminin mukavemetine dayalı statik analizler, jeoloji ve jeofizik bazı arazi deneylerinden elde edilen sonuçlardan oluşturulan amprik bağıntı kümeleri, SPT ve CPT uygulamalarından elde edilen direnç eğrileri ile altyapının oluşturulacağı arazi üzerinde düzenlenen kazık yükleme deneyleri bu kapsamda belirtilen statik formülasyonlara ilgili fiziksel parametre akışını sağlamaktadır.

Uygulama sahası içerisinde yer alan zemin grubu içerisinde tasarı sonrası uygulanan kazıklama işlemi içerisinde üretimi tamamlanan kazık üzerine üst yapıya ait yüklerin belirli bir ivme ile yüklenmesinin ardından hem zemin birimleri hem de kazık uygulaması bir miktar oturmaktadır. Ancak kazıklar, ilgili zemin birimlerine göre daha fazla oturma oluşturdukları için kazıklar ile zemin birimleri arasında ve oturma istikametinin ters yönünde bir direnç, bu direncin ise üst yapı yükünün devamlı olması sebebiyle de hareket ekseninin ters istikametinde sürtünme kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvetler toplamına çevre sürtünmesi adı verilmektedir. Bu yüklerin artan bir ivme ile artması sonucu oluşan hareketler toplamı sırasında kazığın tabanı da kazık ucundaki zemini aynı istikametli vektörel bir kuvvet ile sıkıştırır. Bu sıkıştırma sonucunda yüzeysel temellerde olduğu gibi kazık tabanında gerilmeler ve kayma yüzeyleri oluşmakta olup bu oluşuma da uç direnci adı verilmektedir. Kazık çevresinde oluşan çevre sürtünmesi ile belirtilen uç direncine ait yüklerin toplamı ilgili üretim sahasında üretilen kazığa ait taşıma gücünün toplamını vermektedir. Şekil 3.2’de Bowles (1998) tarafından hazırlanan, kayma yüzeyleri ve direnç noktalarının oluşumuna yönelik şematik bir kesit verilmiştir.



**Şekil 3.2** (a) Kazık ucunda oluşan kayma yüzeyleri (Bowles, 1998), (b) Kazığın sınır yük taşıma kapasitesine ait demonstrasyon şekli.

Kazıkların uygulama sahasında yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı inşaa sahasında oturmaya devam etmesiyle çevre sürtünmesi ve uç direnci artarak sınır değerlerine ulaşırlar. Her iki parametrenin de sınır değeri farklı olmakla birlikte bu değerlere farklı oturma miktarlarında ulaşmaktadırlar. Şekil 3.3’de çevre sürtünmesi ile uç direncinin ilgili sınır değerleri arasındaki ilişki verilmiştir. Bu konu üzerine modelleme ve model eğrilerinden kestirim çalışmaları üreten Das (2007), kazıkların yüzeyindeki maksimum sürtünme direncinin ~5-10 mm oturma miktarına seviyelerinde mobilize olduğunu, kazık ucunun ~%10-25’i kadar oluşan düşey hareketlerinde ise azami uç direncinin mobilize olamadığını belirtmiştir. 2012 yılında Berlin Üniversitesi’nde yapılan laboratuvarda fiziksel parametrelerin belirlenmesi bazlı çalışmaların yer aldığı uygulamalarda ise çevre sürtünmesinin kazığın zemine çapın yüzde biri kadar, uç direncinin ise kazığın zemine çapın yüzde onu kadar hareketi sonucunda sınır değere ulaştığı belirlenmiştir. Fakat bu hareket değerlerini tanımlayan  $V_p/V_s$ , SPT, CPT ve Presiyometre deneylerinden elde edilen sonuçlara ait regresyon dağılımlarının yer aldığı kestirim modellerini üretmiş olup, lokal jeolojilere ait zeminlerin cinsine ve birimlerin tabakalara göre dağılımına yönelik değişebilmektedir.



**Şekil 3.3** Kazık davranışlarına yönelik ve Dass (1999) tarafından türetilen bağıntılar kümelerinin Birand (2007) tarafından sadeleştirilmiş ve yenilenmiş zemin parametreleri ile anlatımından elde edilen Yük ve Oturma grafiği.

### 3.3.1 Statik Kazık Formülleri

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan ve Toğrol ve Tan (2009) tarafından bu çalışma ile benzer şekilde kazık uygulamalarının modellenmesine yönelik teorik ve pratik uygulamaların barındıran çalışmalarda kullanılmak üzere formülasyonlar uygulama konularının yanı sıra çalışma ortamlarına göre klasifiye edilmektedir. Geçmiş çalışmalarda statik kazık formülleri kullanılırken kum, çakıl gibi iri taneli zeminler için hesap efektif gerilmelere göre yani altyapı inşasına yönelik ortamlar içerisinde drenajlı şartlar için; kil, silt gibi ince taneli zeminlerde ise toplam gerilmelere göre yani drenajsız şartlar için formüller öznelştirilmiştir.

#### 3.3.1.1 Zeminlerde Kohezyon Değişkeni ve Uç Direnci

Uç direncinin hesaplanmasına yönelik uygulamalar uç kazıklarında ve sürtünme kazıklarında olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Uç kazıklarının uçları diğer başlıklarda da belirtildiği üzere  $D_r > 0.85$  dolaylarında sert bir kaya tabakası veya kaya niteliğine yakın taşıyıcı yüksek oranda taşlaşmış sıkı çakıl veya kum olabilmektedir. Taşıyıcı zemin en geniş kapsamda kaya ortamı ifade ettiği ortamlar içerisinde taşıma gücü kazığın yapıldığı malzemenin serbest basınç mukavemetinden büyük ise kazık uç direnci için kazığın dayanımı dikkate alınmaktadır. Taşıyıcı zemin çok sıkı kum veya çakıl boyutunda silt, kil ve yer yer kum içerikli malzemelerden oluşmakta ise zeminin göçmesi dikkate alınmaktadır. Son olarak çevre sürtünmesi, kazığın düşey hareketi çok küçük olduğundan veya olmadığından dolayı uç kazıklarında dikkate alınmamaktadır.

Sürtünme kazıklarında uç direnci, kazık ucunun yüzeysel bir temel gibi düşünülmesiyle, kazık uç direnci Terzaghi (1967) taşıma gücü teorisi kullanılarak daire kesitli bir kazık için;

$$Q_{uç} = p d^2 / 4 (1.3 c N_c + g L (N_q - 1) + 0.3 g d N_g) \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

L = Uygulama içerisinde kullanılması planlanan kazığın zemin içinde kalan boyu,

C = Zemin içerisinde yer alan kohezyon kuvveti,

$\gamma$  = Zeminin efektif birim hacim ağırlığı,

$d$  = Uygulama içerisinde kullanılması planlanan kazığın zemin içerisinde yer alan çap miktarı

$N_c, N_q, N_\gamma$  = Uygulama içerisinde altyapı inşasında yer alan ortama ait içsel sürtünme açılarına bağlı taşıma gücü katsayılarını ifade etmektedir.

Taşıma gücü katsayıları içerisinde yer alan  $N_q$  katsayısı denklem içerisinde  $N_q-1$  olarak alınması, uygulama esnasında kazığın net taşıma gücünü bulmak için alınmakta olup, kazık imal edilirken çıkarılan veya yer değiştirilen zemin miktarının taşıma gücünden azaltılması amacı taşımaktadır. Bağıntı 3.1'de verilen yer alan kohezyon sabitinin, kohezyonsuz zeminlerde sıfır değerine sahip olduğu durumlarda ise ilgili Bağıntı 3.2'de verildiği şekilde ilgili hesaplama modüllerine aktarılır.

Üstyapıdan aktarılan düşey yüklerin Bölüm 3.2'de bahsedildiği şekilde kısmı, uç direnci tarafından, diğer kısmı da sürtünme direnci tarafından karşılanmaktadır. Buna göre tekil durumda bulunan kazık, düşey yükler altında göstereceği taşıma gücü şu şekilde ifade edilmektedir;

$$Q_d = Q_p + Q_s - W \quad (3.2)$$

Denklem takımlarında kazığın taşıma gücü toplamı  $Q_d$ , uç kısmında yer alan direncini  $Q_p$ , sürtünmeye yönelik direncini  $Q_s$  ve kazığın ağırlığını da  $W$  birimi ile ifade edilmektedir. Ancak altyapı uygulamalarında yer aldığı şekilde kazık ağırlığı kıyı ve liman yapıları gibi kazıkların zemin ortamın dışında üretildiği edildiği yapılar dışında ihmal edilmektedir (Tomlinson, 2004). Bu durumda formülü oluşturan ilk iki terimi elde etmekte kullanılan denklemler Bağıntı 3.3 ve 3.4'teki gibidir.

Uç direncine yönelik;

$$Q_p = A_p [cN^{1/2} + \gamma DN_g + gLN] \quad (3.3)$$

oluşturulan denklem takımı içerisinde  $A_p$  kazığa ait uç alanı,  $c$  kasık ucunun bulunduğu zemine ait kohezyon miktarı,  $\gamma$  kazığın bulunduğu zemine ait birim hacim ağırlığı ve  $N_c, N_\gamma, N_q$ : boyutsuz ve zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişen taşıma gücü parametrelerini oluşturmaktadır. Kazığın ucu ve gövdesinde farklı zemin parametrelerine yönelik tabaka farklılaştırılmaları var ise bu tabakalar ayrı olarak hesaplamalara tabii tutulmaktadır. Bununla birlikte ilgili inşa alanında uygulanması

tasarlanan kazıklara ait çap miktarı  $D$ , kazıkların taban kotundan itibaren gömülme miktarı  $L$ , birimler arasında çevre sürtünme miktarı  $Q_s$  olarak verilmektedir. Çevre sürtünmesinde yer  $p$  değişkeni ise kazık kesitinin çevre uzunluğu olmakla birlikte,

$$Q_s = p \Delta L \cdot f_s \quad (3.4)$$

olarak ifade edilmektedir.  $f_s$  ve  $p$  değerlerinin sabit kaldığı uzunluk  $\Delta L$ ,  $\Delta L$  uzunluğu boyunca sabit alınan birim gövde sürtünmesi ise  $f_s$  olarak ilgili bağıntılarda yer yer almıştır.

Kohezyonsuz zeminlerde ise  $c$  sabiti sıfır değerini aldığından ve 2. terim kazık çapının uzunluğa nispeten küçük değer almasından dolayı 3. terime göre çok küçük olduğundan kazık uç direnci formülü aşağıdaki şeklini almaktadır;

$$Q_p = A_p g \cdot L \cdot N_q - W \quad (3.5)$$

Kazıkların üretiminde kullanılan malzemelerin ağırlık miktarı, zemin ağırlığına eşit veya yakın değerler aldığından dolayı formül kohezyonlu zeminler için;

$$Q_p = A_p g \cdot L \cdot (N_q - 1) \quad (3.6)$$

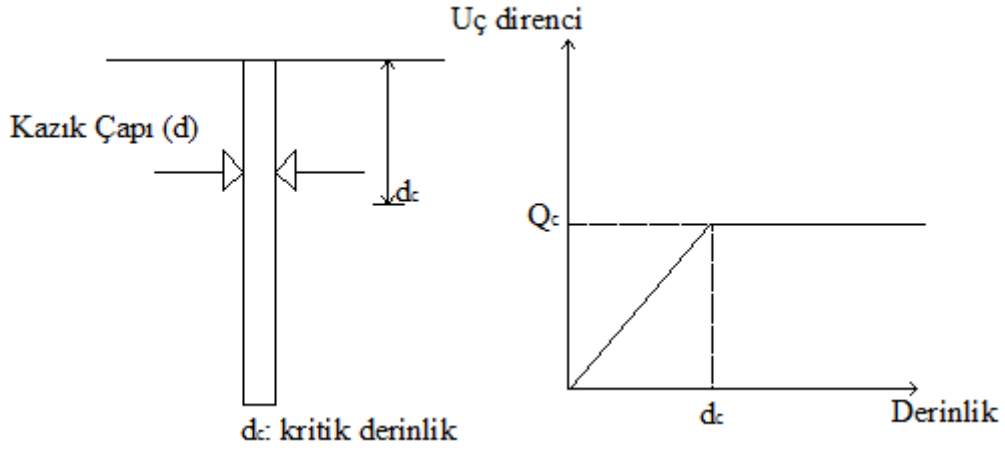
şeklini almaktadır. Kumbasar ve Kip (1999) çalışmasında ise formülasyon içerisinde,  $N_q$  değerinin modern uygulamalarda 20 ve üzeri değerler almasından dolayı denklemde  $(N_q - 1)$  yerine  $N_q$  gelmektedir. Efektif gerilme cinsinden de aynı denklem takımı oluşturulabilir,

$$Q = A \sigma_v' \cdot N_q \quad (3.7)$$

Bağıntıda yer alan  $\sigma_v'$  kazık uygulamasının yapıldığı alanda yer alan jeolojik birimlere ait yükü temsil etmektedir.

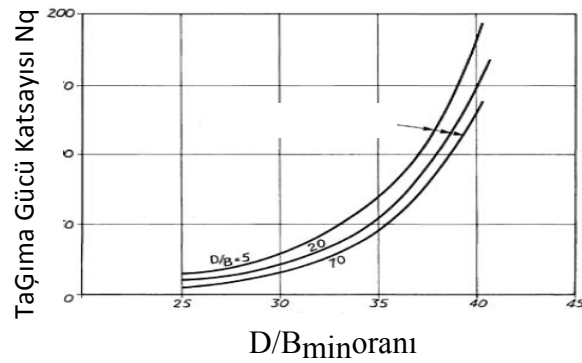
Temellerinin Meyerhof (1976) tarafından oluşturulduğu ve günümüzde yer alan modernizasyonları Rajapakse (2008) tarafından da işlenen yöntemle göre kazıklarda uç direnci ve çevre sürtünmesi belli bir derinliğe kadar artmakta, ancak belirli bir derinlikten sonra sabit olarak değerler almaktadır. Bununla birlikte kumlu zemin içerisinde gerçekleştirilen ve kazık uzunluğunun kazık çapına oranı  $(D_f/B)$  2 ile 48 arasında gerçekleştirilen kazık yükleme testlerinde bu kritik derinliğin genelde yaklaşık olarak kazık

çapının  $\sim 20$  katı civarında olduğu tespit edilmiştir (Coyle ve Castello, 1981). Şekil 3.4’de kumlu bir zemin içerisinde uç direncinin derinlikle değişimi tasvir edilmiştir.



**Şekil 3.4** Uç direncinin homojen ortamda derinlikle değişimi (Meyerhof, 1976; Coyle ve Castello, 1981)

Kazıklara ait taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılan  $N_q$  değeri Şekil 3.5’de yer alan kestirim grafiğinde de belirtildiği şekilde,  $D_f/B$  oranına, kazığın yerleştirilme şekline ve taşıyıcı tabakaya ait içsel sürtünme açısına bağlıdır.



**Şekil 3.5** Tomlinson (2004) tarafından belirlenen  $N_q$ 'nin değişimine yönelik parametre grafiği.

Başta belirtilen yapıların bulunduğu alanlara ait yer altı jeolojisinin homojen bir dağılım göstermemesinden ötürü, yapıların inşa edileceği alanlarda kaya veya kaya benzeri yüksek sıkışmazlık gösteren zemin birimlerinin arasında alüvyonal zeminin bir göstergesi olan kil içerikli yapıların egemen olduğu ve üst yapının oluşturulması esnasında bu yapıların yer altı su kaynağı ile birlikte şişme durumunun yaşandığı gözlenmektedir. Özellikle şişen zeminlerde su muhtevasının değişimine bağlı olarak büyük hacim değişiklikleri gözlenmektedir. Bu durumda şişme basıncının mutlaka göz önüne alınması gerekmektedir. Bu tabakaların derinliğinin çok fazla olduğu durumlarda, yüzeysel temellerin kullanımından kaçınılmalıdır, aksi takdirde farklı oturmalara bağlı büyük yapısal hasarlar meydana gelebilmektedir. Kazıklı temellerin kullanımı halinde, kazık derinliğinin söz konusu aktif tabakanın derinliğinden fazla olması durumunda, kazıklar gerektiğinde çekme kuvvetine çalışabilmektedir

Kohezyonlu zeminlerde, özellikle killerde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, killerin zamana bağlı oturma sonucu kayma mukavemetinin zamanla artacağıdır. Bu nedenle kısa dönem bazında  $\phi=0$  durumuna göre hesaplamalar yapılmaktadır. (Prakash ve Sharma, 1990). Bağıntı 3.3'de yer alan denklemde verilen kazık uç direnci formülü kohezyonlu zeminlerde içsel sürtünme açısının sıfıra eşit olması sebebiyle aşağıdaki gibi türetilebilmektedir;

$$Q_p = A. [cN_c + gLN_q] \quad (3.8)$$

Kohezyonlu zeminlerde  $\phi=0$  ve buna göre  $N_q=1$  olduğundan, zeminlerde kazık uç direncinin hesaplanmasında aşağıdaki bağıntıdan yararlanılır.

$$Q_p = A_p cN_c \quad (3.9)$$

### 3.3.2 Dinamik Kazık Formülleri

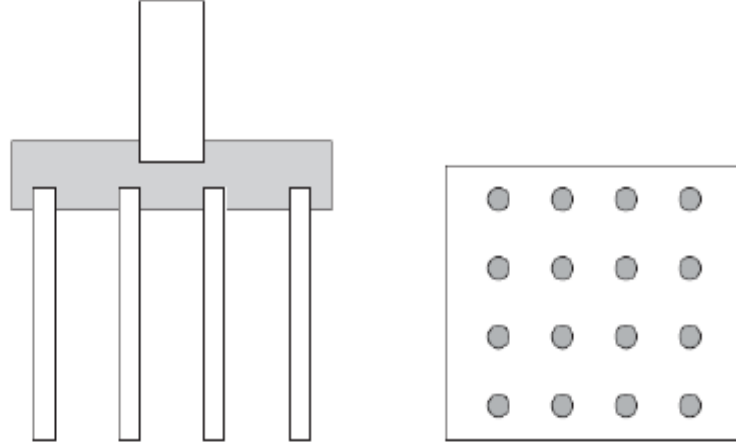
Üstyapıya ait yüklerin iletimine yönelik üretilmesi tasarlanan kazıkların sahip olduğu taşıma kapasitesinin dinamik yollarla elde edilmesi amacıyla iki adet metot geliştirilmiş ve günümüzde kullanılmaktadır. Bu metotlar kazık çakma formülleri ve dalga denklem çözümleri şeklinde adlandırılmıştır. Kazık çakılması sırasında kazık değişken zemin profili nedeniyle her zaman hedeflenen derinliğe ve kotlara ulaşamadığından dolayı kazığın zemine penetrasyonu boyunca taşıma gücünü belirleyebilmek ya da kazığın belirlenmiş derinlikte istenen taşıma gücüne erişip erişmediğinin kontrol edilmesi prensibine dayanmaktadır (Das, 1999). Dinamik

formüllerle elde edilen sonuçlar statik formüllere göre farklıdır ve durağan olmayan yapısından dolayı mevcut üretimlerde daha az güvenilirdir. Bu formüller kum ve çakıl zeminlerde hem dinamik, hem de statik yüklere göre elde edilecek direnç hemen hemen aynı olmakta, ancak kil ve siltli zeminlerde zeminin sertliğine göre statik yöntemlerle hesaplanan taşıma gücüne göre çok farklı değerler elde edilmektedir.

### **3.3.3 Kazık Gruplarının Tasarımı**

Günümüzde çok çeşitli üretim ve tasarım gruplarını içerisinde barındıran inşaat sektöründe çoğu zaman kazıklı temeller üstyapıdan gelecek yükü karşılayabilmek için grup olarak projelendirilirler, bu projelendirmeye ait kazıkların tasarlanmasının ardından gerek çevresel kökenli fiziksel etkilerden korumu gerekse üst yapının tasarlanmasında yüksek esneklik kazandırılması bakımından üretilen kazık başlığı bu kazıkların hepsini kapsayacak şekilde bir plak olarak imal edilmektedir (Şekil 3.6). Bu durumlarda kazık grubu için tasarım yapmak gerekebilir. Tasarım aşamasında göz önüne alınması gereken kriterler ile ilgili detaylı bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

Literatürde kazıklar arasındaki uzaklığın kazık çapının üç ila yedi katı arasında olması halinde bu kazıkların kazık grubu olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Kazıklar arası uzaklık imalat sırasında güçlük yaşanmasını engellemek ve kazıkların birbirini negatif etkilemesini engellemek için kazık çapının üç katından daha az olmamalıdır (Vesic, 1977). Ayrıca pratikte bazı uygulamalarda imal edilen kazıkların düşeyden sapma göstererek uç seviyesinde birbirine yakınlaştığı ve bu yüzden bu seviyede gerilmelerin çok arttığı, sonuç olarak bu bölgede özellikle killi zeminlerde aşırı miktarda oturma gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu yaklaşmanın gerilme artışına



**Şekil 3.6** Tipik bir kazık grubu modeline ait basitleştirilmiş plan ve kesitleri  
(Rajapakse, 2008)

sebebiyet vermemesi için kazıkların merkezden merkeze uzaklığının kazık çapının en az üç katı ve bir metreden az olmaması gerektiği belirtilmektedir (Tomlinson, 2004). Bir kazık grubuna ait taşıma gücünün alt yapı inşasının tamamlanmasının ardından göstermesi gereken verimlilik değerleri;

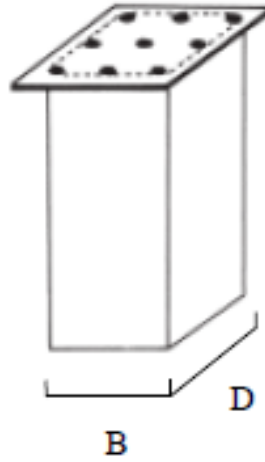
$$n = Q_{g(u)} / \Sigma Q_u \quad (3.10)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada,  $Q_{g(u)}$  kazık grubunun taşıma kapasitesini,  $\Sigma Q_u$  kazık grubundaki her bir kazığa ait taşıma güçlerinin kazık grubu içerisinde toplamını simgelemektedir. Ayrıca bu verimlilik değerlerinin hesaplanmasında Şekil 3.6'da belirtilen figür veya benzeri planlamalar esas alınmaktadır. Kohezyonsuz zeminlerde pratikte tekil kazıkların taşıma güçlerinin toplamı kazık grubunun taşıma gücüne eşit kabul edilmektedir. Kohezyonlu zeminlerde ise tam tersi bir durum geçerlidir, yani kazık grubunun taşıma gücü, tekil kazıkların taşıma güçlerinin toplamına eşit olmamaktadır. Kohezyonlu zeminlerde kazık grubunun yumuşak killer veya gevşek kum içinde imal edilmesi, ancak sert kil tabakasında sonlanması halinde imal edilen kazıkların tek bir kazığa göre uygun güvenlik katsayısı ile dizayn edilmesi durumunda kazık grubunda toptan kayma göçmesi durumuna rastlanmamaktadır. Ancak oturma için gerekli tahkikler mutlaka yapılmalıdır.

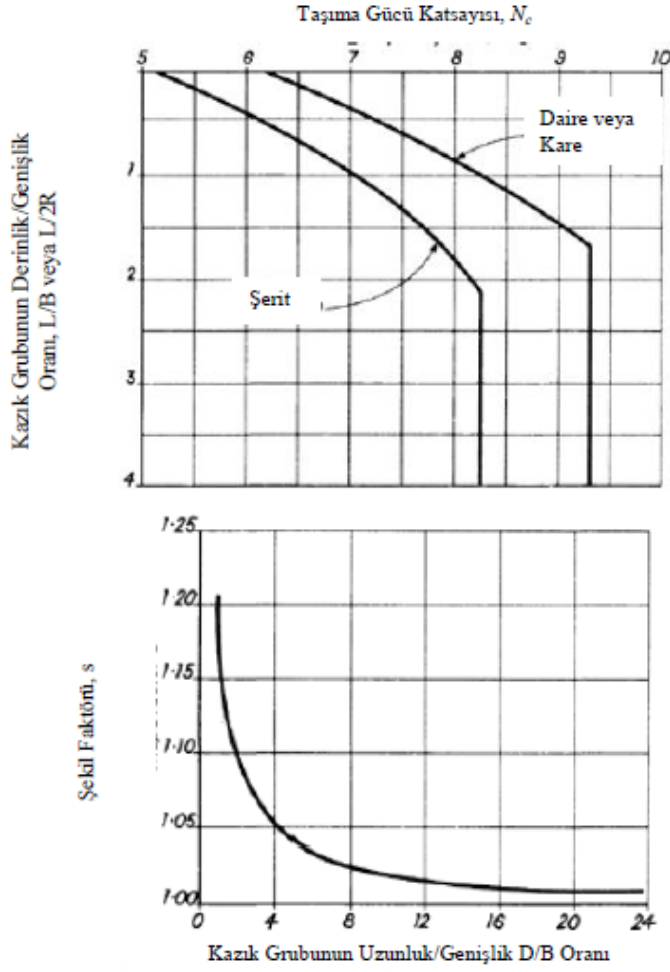
Ancak pratikte istenmeyen bir durum olmasına rağmen eğer kazıkların yumuşak kil tabakası içerisinde sonlanması gerekiyorsa, bu durumda kazık grubu için “blok göçmesi” durumuna karşı jeofiziksel ölçümler ile tabaka sınırlarının kot bazında derinliklerinin tespitli yapılarak ilgili tasarımlar bu yönde değiştirilmelidir. Blok hareketine bir örnek Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Bu durumda kazık bloğunun taşıma gücü;

$$Q_{BL}[g(u)] = p.L.c + 1,3.c_b .s.N_c .A_b \quad (3.11)$$

şeklindedir. Fleming ve diğ. (2009) çalışmasına ait belirlenen tasarım elemanlarına yönelik hazırlanan formülasyonda kazık bloğunun çevresi (Şekil 3.8’de verilen formülasyona istinaden oluşturulan modelde  $2(B+D)$  şeklinde belirtilen kısım)  $P$  ile, kazıklara ait uzunluklar  $L$  ile, kazık gövde uzunluğu boyunca kil içerikli zemine ait laboratuvar ve arazi deneylerinden elde edilen ortalama kohezyon değerleri  $c$  ile, kazıkların ucunda yer alan zemine ait kohezyon değeri ise  $c_b$  ile ifade edilmektedir. Kazıkların üstyapı veya altyapı tasarımına göre şekillendirilebilen yapılarına ait faktörün  $s$  olarak ifade edildiği formülasyonda, taşıma gücü katsayısı olarak  $N_c$  ve kazık bloğuna ait kesitin alanına ise  $B.D$  çarpımından elde edilen  $A_b$  değeri ile karşılanmaktadır.



**Şekil 3.7** Fleming ve diğ, (2009) çalışmasında açıklamalı olarak kazık gruplarında blok hareketinin formülasyonuna ait model.



**Şekil 3.8** (a) Kazıkların biçimlendirilmesine yönelik oluşturulan şekil faktörü ve (b) taşıma gücü katsayısının değişimine yönelik oluşturulan grafik (Tomlinson, 2004)

## BÖLÜM 4

### RADYEJENAL TEMELLER

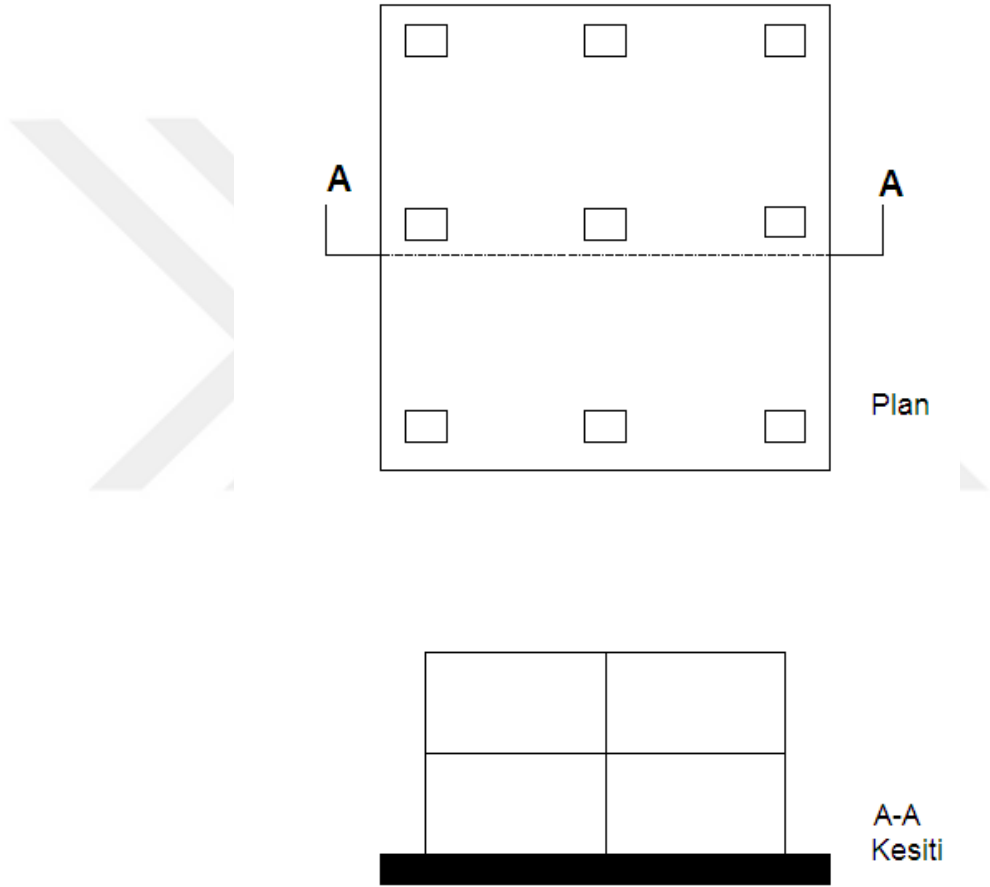
Radyejeneral temeller, gevşek zeminlerde taşıma kapasitesi düşük olan ortamlarda, üst yapıdan gelecek yükleri bir alana dağıtarak oturmayı azaltan sığ bir temel çeşitidir. Kolon sistemlerinin yakınlığı, buna bağlı olarak kolonlardan aktarılan yük taşınımına yönelik oluşacak komplikasyonlarda tercih edilen bir temel sistemidir. Yapının genelinde zemini tamamen örten ve tersine çalışan bir döşeme üzerine oturtulur. Radyejeneral temelin bir diğer özelliği ise sıkışabilirliği yüksek bölgeleri temelin diğer bölgelerine bağlayabildiği için bina temelinde yüksek rijidite değerleri sağlamaktadır.

Das (1999) tarafından yapılan ve günümüzde kullanılan temel geometrileri konusunda geçerliliğini koruyan araştırma sonucunda radye temellerin kullanıldığı durumlar;

- 1) Yapının zemininin taşıma kapasitesi düşük ve sıkışabilirliği fazla ise,
- 2) Tekil temellerin ebatları ve kapladıkları alan büyük ise,
- 3) Yapı temelini toplam alanı bina oturma alanının yarısından fazla ise,
- 4) Temel zeminin profili değişken ise, (Oturma limitlerinin zemin boyunca farklılık göstermesi durumuna ithafen)
- 5) Yanal yüklerin yapı boyunca homojen olmaması durumlarında,
- 6) Kaldırma kuvvetinin tekil temellerde beklenen yük miktarından fazla olması durumlarında,
- 7) Bina temelini yer altı su seviyesinden aşağılardaki kotlarda bulunması durumunda su izolasyonu sağlamak amaçlı radyejeneral temeller kullanılır.

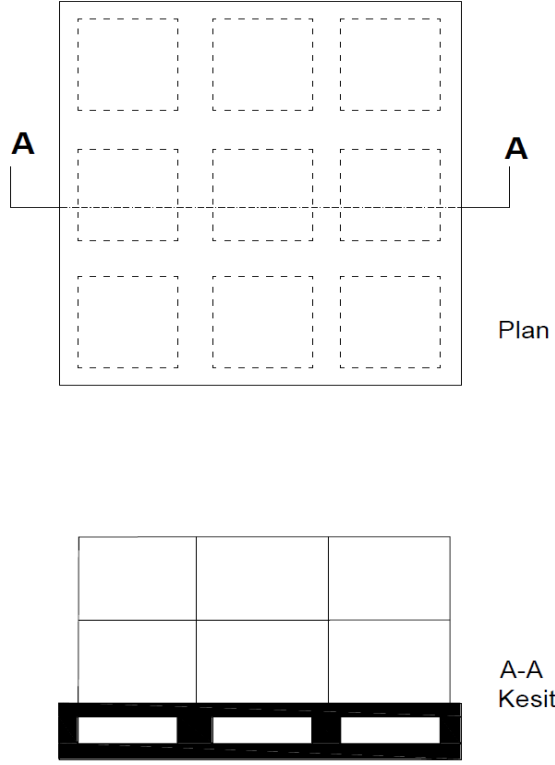
Radye temellerin artan rijitlik düzeyine göre:

- 1) Düz Plak Radye Temel,
- 2) Kirişli Radye Temel,
- 3) Mantar Şekilli Radye Temel,
- 4) Ters Kemer Şekilli Radye Temel,
- 5) Kaset Temel şeklide beş adet ana kategoride toplanmaktadırlar.



**Şekil 4.1** Düz Plak Radye temelin basitleştirilmiş gösterimi

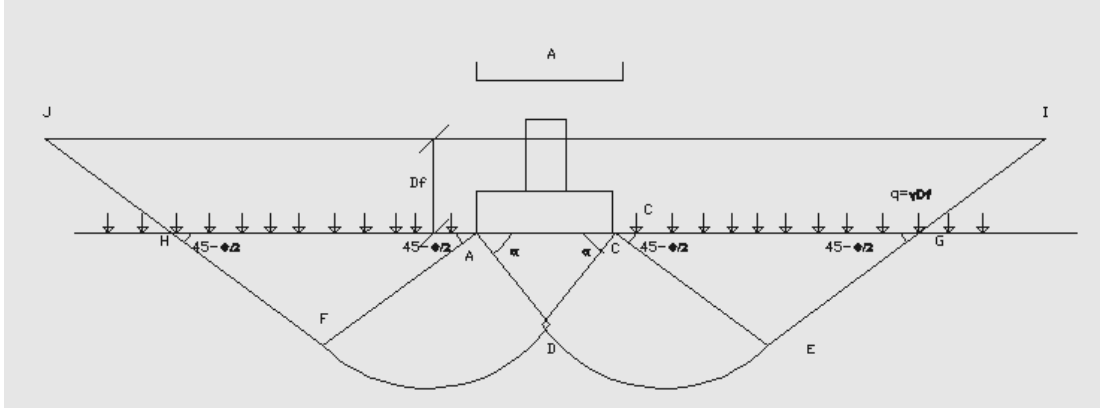




**Şekil 4.3** Kaset radye temel sisteminin basitleştirilmiş gösterimi

#### **4.1 Radyejeneral Temelerde Taşıma Gücü**

Sürekli temel altında çökme ve göçme mekanizması Şekil 4.4’ de yer alan demonstrasyon grafiği şeklinde uygulama sahalarında gözlenmesi beklenmekte, Terzaghi ve Peck (1968) çalışmasında ise belirtilen bu sisteme ve sistem içerisinde kaydırılan kuvvetlere karşı mukavemet gösteren kuvvetler ile dengelenerek limit durum için inşaat alanlarında çözümlenmeler yapılmaktadır.



**Şekil 4.4** Terzaghi ve Peck (1968) tarafından geliştirilen ve günümüz altyapı tasarım modelleme işlemlerinde kullanılan yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması.

Terzaghi ve Peck (1968) çalışması içerisinde verilen, üstyapıdan aktarılan nihai taşıma gücü formülü radyejeneral temeller için özelleştirilmiş olup;

$$q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + 1/2 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_y \cdot F_{\gamma s} \quad (4.1)$$

şeklindedir. İlgili formülasyonda görev alan elemanlar:

$c$ : Temel altındaki zeminin kohezyonu ( $\text{kN/m}^2$ ,  $\text{t/m}^2$ )

$\gamma$ : Zeminin birim hacim ağırlığı ( $\text{kN/m}^3$ ,  $\text{t/m}^3$ )

$D_f$ : Temel çevresindeki zemin yüzeyinden temelin alt taban kotuna metre cinsinden düşey uzaklık

$B$ : Radye temelin metre cinsinden genişliği (daireseel temellerde ise çap kullanılmaktadır)

$N_c, N_q, N_y$ : Taşıma gücü katsayıları (boyutsuz)

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ : şekil katsayıları (boyutsuz)

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ : Derinlik katsayıları (boyutsuz)

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ : Yük eğim katsayıları (boyutsuz) şeklindedir. Taşıma gücü katsayılarının  $f$  değerinin değişmesi ile aldığı değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1** Taşıma gücü katsayıları

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.14	1.0	0.0
5	6.50	1.6	0.5
10	8.30	2.5	1.2
15	11.0	3.9	2.6
20	14.8	6.4	5.4
25	20.7	10.7	10.8
30	30.1	18.4	22.4
32	35.5	23.2	30.2
34	42.2	29.4	41.1
36	50.6	37.7	56.3
38	61.4	48.9	78.0
40	75.3	64.2	109.4
42	93.7	85.4	155.6
44	118.4	115.3	224.6
46	152.1	158.5	330.4
48	199.3	222.3	496.0
50	266.9	319.1	762.9

Eğim, derinlik katsayısı ve biçim için De Beer ve Hansen (1970) yayınında, laboratuvar sonuçlarına dayanarak yapılan sentez üretimler sonucunda radyejeneral temellerin kullanımına yönelik formüller üretilmiştir. Terzaghi taşıma gücü denklemi kare ve daire şeklinde tasarlanan temeller için aşağıdaki gibidir:

$$q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \text{ (Kare temellerde)} \quad (4.2)$$

$$q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \text{ (Dairesel temellerde)} \quad (4.3)$$

Toplam taşıma gücü ise :

$$q_{net(u)} = q_u - q \quad (4.4)$$

devamında gelen bağıntıdan hesaplanmakta,

$$q = \gamma \cdot D_f \quad (4.5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Taşıma gücü problemlerinde ilgili yapıların kullanım amacına yönelik norm ve şartnamelerde belirtilen güvenlik katsayıları kullanılarak tasarı ve üretime yönelik işlemler uygulanmaktadır. Net taşıma gücü (güvenli), toplam taşıma gücünün güvenlik

katsayısına bölümü ile bulunmakta, özellikle porozitesi yüksek kil zeminlerde radyejeneral temeller sabit yük ve yüksek hareketli üst yapı kaynaklı yükler altında güvenlik katsayısı 3'ten az olarak kullanılmalıdır (Bağıntı 4.6). Büyük daneli zemin ortamları, ortam şartlarına bağlı başka bir parametre sunulmadığı takdirde 3 alınarak işlem uygulanmalıdır (Çizelge 4.2).

$$Q_{all(net)} = Q_{u(net)} / F_S \quad (4.6)$$

**Tablo 4.2** Şekil, derinlik ve eğim katsayılarının ampirik değerleri

Şekil Katsayıları	Derinlik Katsayıları a) $D_f/B \leq 1$	Derinlik Katsayıları b) $D_f/B > 1$	Eğim katsayıları
$F_{cs} = 1 + \left( \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c} \right)$	$F_{cd} = 1 + \left( 0.4 \cdot \frac{D_f}{B} \right)$	$F_{cd} = 1 + \left( 0.4 \cdot \tan^{-1} \frac{D_f}{B} \right)$	$F_{ci} = \left[ 1 - (\beta^\circ / 90^\circ)^2 \right]$
$F_{qs} = 1 + \left( \frac{B}{L} \cdot \tan \phi \right)$	$F_{qd} = 1 + \left[ 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot \frac{D_f}{B} \right]$	$F_{qd} = 1 + \left[ 2 \cdot \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \cdot \tan^{-1} \frac{D_f}{B} \right]$	$F_{qi} = \left[ 1 - (\beta^\circ / 90^\circ)^2 \right]$
$F_{\gamma s} = 1 - \left( \frac{B}{L} \cdot 0.4 \right)$	$F_{\gamma d} = 1$	$F_{\gamma d} = 1$	$F_{\gamma i} = \left[ 1 - (\beta / \phi)^2 \right]$

## BÖLÜM 5

### KAZIKLI TEMELLERİN TASARIM PRENSİPLERİ, BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLEME ÇALIŞMALARI

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında derin ve yüzey temel tipleri tartışılmıştır. Özellikle radyejeneral temel ve kazıklı temel tipleri gerek literatürü oluşturan teorik hesaplama ve formülasyon bağıntılarına ait sonuçların ortaya konduğu çalışmalar gerekse bu çalışmalara ait çeşitli küçük ve orta ölçekli inşa uygulamalarına ait çalışmalar incelenmiş, yük taşıma prensipleri bu kapsamda irdelenmiştir. Bu çalışmanın tasarım bölümünde ise kazıklı temeller üzerinde STA firmasına ait lisanslı sta4CAD yazılımı kullanılarak farklı fraksiyonlarda temel tipleri tasarlanmıştır. Bu temeller çap genişlikleri ve kazık boyları gibi parametrelerin değiştirilmesi ile farklı taşıma gücüne ve ergonomikliğe erişmiş olup her bir tasarım sonucunun birbirine göre avantajlı konumları tespit edilmeye çalışılmıştır.

#### 5.1 Modellenme Öncesi Yapılan Ön Hazırlık Çalışmaları

Temel sistemine ait modellenme çalışmalarından önce yapıların tasarlandığı lokasyonlara ait zemin etüdü raporlarının hazırlanması gerekmektedir. Bu raporlar içerisinde yer alan zeminin fiziksel özelliklerine ait çeşitli parametrelerden elde edilen zeminin taşıma gücünü belirlemek gerekmektedir. Zemin etüdü raporlarında uygulama kapsamında çok çeşitli ve farklı mühendislik çalışmaları yer alabilmekte olup, azami ölçüde bir yapı tasarısına gerekli olacak şekilde aşağıda yer alan başlıkların bulunması gerekmektedir. Bu başlıklar;

*Genel Bilgiler:* Yapı inşasının tasarlandığı bölge veya parsel hakkında morfolojik bilgilendirmelerin yer aldığı gözlem veya araştırma çukurlarına ait bulguların kaynaklarını oluşturduğu genel bilgiler başlığı altında jeolojik unsurların genel olarak tanıtımı yapılmaktadır.

*Etüdüün Amacı ve Kapsamı:* Zemin etüdü raporu içerisinde, inşası düşünülen yapı hakkında mühendislik veri tabanlarının oluşturulması amaçlı bilgilendirmeler

kapsamlı veya özet şeklinde verilmektedir. Bu bilgiler, üst yapının ne amaçla yapılacağı, geometrik biçim bilgileri, çevre ile olan etkisi, üst yapıya ait yüklenmenin ilerde ne şekilde değişebileceği gibi konu ve kapsamlara ait durumlar incelenmektedir.

*İncelenecek Alan Tanıtımı:* Zemin etüdü raporunun, bölge jeolojisi ile ilgili olan kısmı olup alt başlıkları halinde bölgenin jeolojisi incelenmektedir. Bölgede mevcut yer altında bulunan zemin ve kaya gruplarına ait kayaç ve zemin birimleri incelenerek sınıflandırılır. Daha önce yapılan çalışmalarda bölge kayası hakkında nümerik olmayan fakat kayaç oluşumu ve üzerinde bulunan yapısal unsurlar tanıtılmaktadır. Yapıların inşasına yönelik tasarlanan planlar dahilinde bölgeye yakın olası fay ve kıvrım sistemleri anlatılarak, çevresel etkinin yapı üzerindeki etkisine ait mühendislik parametrelerini (depremlerin kaynaklı ivme değer aralıkları, deprem sıklığı haritaları vb.) yapının tasarımı aşamasında ilgili tasarım sahibine iletir.

*Arazi Araştırmaları ve Deneyler:* Bölge jeolojisi genel anlamı ile incelenmesinin ardından, inşaa alanı haritası çıkartılır. Bu haritalar tasarımın ölçeğine bağlı olarak 1/1000 ölçekli veya parsel bazlı olabilmektedir. Elde edilen ilk bulgulardan yola çıkılarak bölge üzerinde dikey olarak farklı metraj bantlarından numune edinimi amaçlı sondaj işlemleri yapılmaktadır. Bu sayede bölgede yer alan ve zemin/kaya ortamlara ait taşıma gücü hakkındaki ilk nümerik bilgiler elde edilmiş olunur. SPT, CPT, Presiyometre gibi arazi deney ve ölçümleri yapının tasarımı öncesi veya sırasında uygulanmaktadır. Arazi ölçüm deneyleri ayrıca yapı tasarımı veya inşası sırasında aralıklarla tekrarlanabilir. Ayrıca karotlu sondajların öncesi veya sonrası parsel bazında çeşitli jeofizik teknikler uygulanır. Hasarsız numune alımı alt başlığında yer alan jeofizik çalışmalarda taşıma gücünü ait tek bir noktadan örnek alımı yerine inşaat alanına ait her noktadan bilgi sahibi olmayı amaçlayan jeofizik çalışmalar, içerdiği sismik ve elektrik direnç yöntemleri ile ilgili zemin veya kaya ortamlara ait ampirik bağıntı kümelerini oluşturur. Bu sayede tasarlanan yapıya ait yer altına yönelik mühendislik parametreleri P-S dalga hızları, elektrik direnç ve karotlardan elde edilen tek-çok eksenli basınç testleri, fiziksel modüller vb. yapı tasarım unsurları bu başlık altında toparlanarak tasarım kısmında inşaat uygulamalarında kullanılmaktadır.

*Yer Altı ve Yer Üstü Suları:* Bölgede hidrojeolojik çalışmaları kapsayan bu bölümde, uygulanan jeofizik teknikler çerçevesinde yer alan elektrik özdirenç ve sismik

teknikleri ve kuyu sondajları ile bölgedeki yeraltı su seviyeleri belirlenmektedir. Çalışılacak alan çevresindeki drenaj sistemleri belirlenerek bölgedeki yıllık yeraltı su muhtevası ve debisi belirlenir. Bu hesaplamalar sondaj verileri ve genel jeoloji araştırmaları sonucunda litolojiden alınan verilerle birleştirildiğinde bölgedeki yer altı su seviyesi belirlenmektedir. Eğer sorun teşkil edecek kadar yüksek seviyelere ulaşan yeraltı suyu varlığı belirlenir ise tasarım aşamasında iksa yöntemleri ile su seviyesi aşağı kotlara indirilir. Su seviyesinin inşaa sırasında yüksek olması temel sistemi yerleştirilirken ve üst yapı inşaa sırasında çok çeşitli problemlere yol açmaktadır. Ayrıca üst yapı tamamlandığında artacak yer altı su seviyesi yapıda bölgesel veya yapının tümünü etkileyen çökmelere yol açabilmekte, yapının kullanım süresinde daimi bir risk içermektedir. Yüksek yer altı su seviyesi, bölge depremselliği incelendiğinde gerçekleşecek bir deprem anında alt kotlarda yer alan kumlu zemin ile birlikte zemin sıvılaşmasına sebep olabilecek nitelikte olabilmekte olduğundan su seviyeleri gerek tasarım gerekse yapı inşaa sırasında yüksek periyotlarda kontrol edilerek raporlanması gerekmektedir.

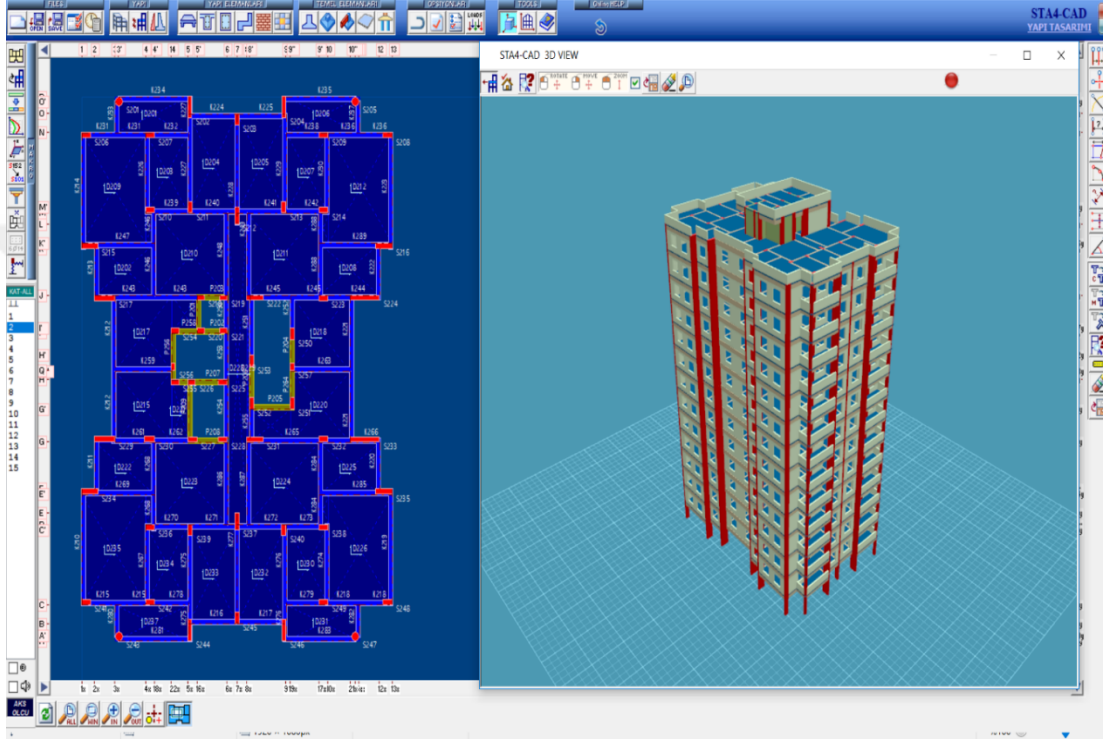
*Laboratuvar Deneyleri:* Arazide yapılan yerinde (in-stu) deneylerin yanı sıra, tek yönlü ve üç yönlü basınç, çekme, konsolidasyon, su muhtevası, bulk yoğunluğu, permeabilite, porozite vb. fiziksel parametrelere ait deneyler alınan karotların laboratuvar vasıtasıyla gerçekleştirilerek tasarım esnasında parametre bilgisi sağlamaktadır.

*Değerlendirme, Sonuç Ve Öneriler:* Bahsi geçen tüm parametreler göz önüne alındığında ve üst yapının öngördüğü taşınacak yük miktarına göre zemin etüt raporu değerlendirmesi yapılmaktadır. Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları, bölge jeolojisi, depremselliği, yeraltı su seviyesi tümü ile incelenerek üst yapıdan sorumlu birimi bilgilendirecek varsa öngörülen ek ısla teknikleri raporda belirtilir. Bu rapor sonucunda üst yapıdan sorumlu birim ya da kişiler temel sistemini ve taşıyacağı yükü, zemine yapacağı etki hesaplanmaktadır. Zemin parametreleri, zemin emniyet gerilmesi, zemin yatak katsayısı hesaplanarak yapı inşaatına başlanır.

## **5.2 Üst Yapıya Ait Modelleme Çalışmaları**

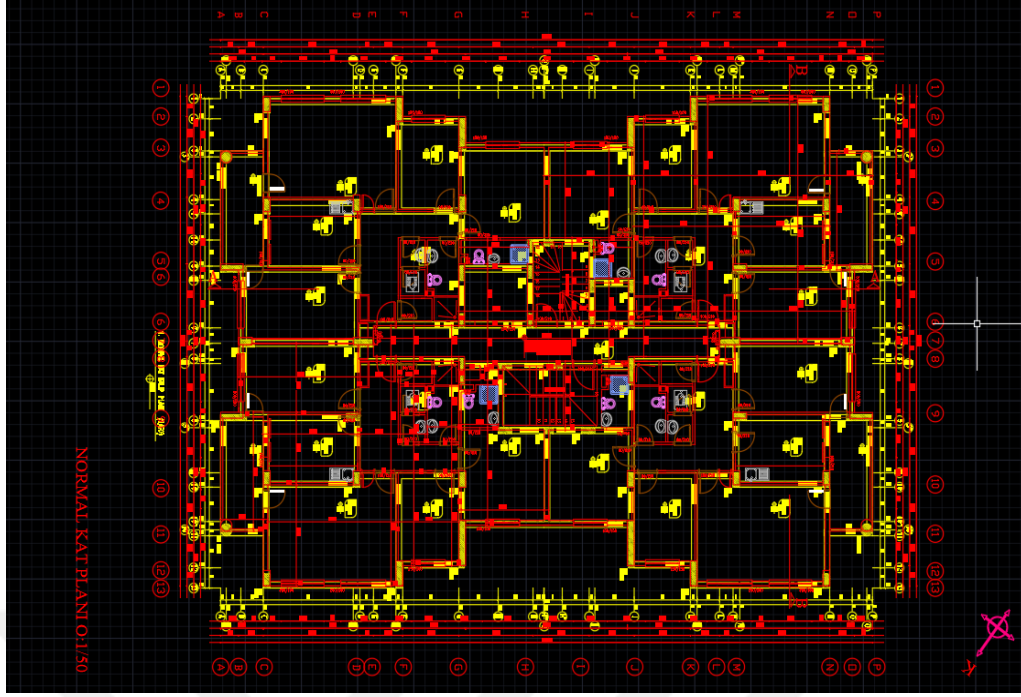
Tez kapsamında modellemesi yapılacak yapının üst yapı bilgilerine göre sta4CAD programında farklı aplikasyonlarda, kazık çapları ve boyları kullanılarak

modellenecektir (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Uygulama alanının zemin raporlarından elde edilen verileri, zemin emniyet gerilmesi  $15 \text{ ton/m}^2$  ve zemin yatak katsayısı  $1500 \text{ ton/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Zemin su muhtevası yüksek yumuşak kilden oluştuğu varsayılmaktadır. Üst yapı 15 katlı bir bina olarak tasarlanmıştır. Kat başına düşen yükseklik 3 m olmakta ve üst yapı uzunluğu 45m'dir. Kat başına  $527.75 \text{ m}^2$  alana sahip bir konut projesidir (Şekil 5.1)

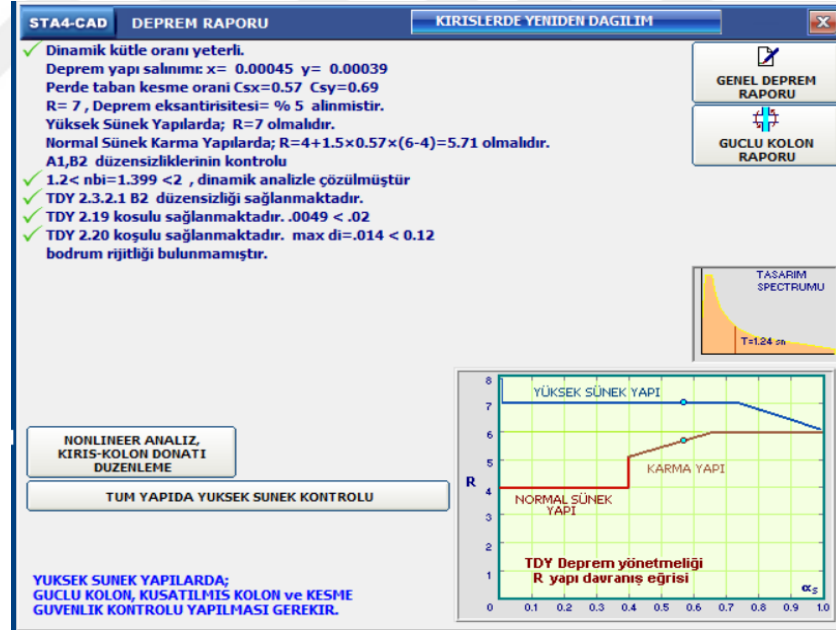


**Şekil 5.1** Üst yapı bilgileri, kat bilgileri ve ölçekli kat planı.

Tasarımın öngördüğü temele binecek yükler hesaplanır. Üst yapıdan gelecek yükler, kolonların aplikasyonu ve zeminde oluşabilecek etkileri temel tasarımı için birincil öneme sahiptir. İnşa edilecek yapının temel sistemi mimari ve statik hesaplamalarda uyum göstermelidir (Şekil 5.2). Bu uyuma ait lineer olmayan kiriş-kolon ve donatıya ait düzenleme analizi Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.2 Üst yapı tasarımı ile temel ile uyuşmayan elemanların gösterimi.



Şekil 5.3 Lineer olmayan kiriş, kolon ve donatı düzenleme analizi.

Tasarlanan modelde, üst yapı modeli güçlü kolon ve zayıf kiriş esasına göre düzenlenmiştir. Yapılan modelde 22.6m genişliğinde ve 31m uzunluğunda radyejeneral temel sistemi düşünülmüştür (şekil 5.3). Radyejeneral temel için gereken

toplam alan 700.6 m<sup>2</sup>'dir ve 150 cm yükseklikte olması kat kesme güvenliği analizleri sonucunda öngörülmüştür (Şekil 5.4).

Kat	Dy f	Vsx	Vkx	$\alpha_x=V_{sx}/V_{kx}$	Vsy	Vky	$\alpha_y=V_{sy}/V_{ky}$
1	1	253.97	253.97	1.00 > 0.70 ✓	286.91	286.91	1.00 > 0.70 ✓
2	2	249.84	249.84	1.00 > 0.70 ✓	282.61	282.61	1.00 > 0.70 ✓
3	3	241.48	241.48	1.00 > 0.70 ✓	273.85	273.85	1.00 > 0.70 ✓
4	4	230.49	230.49	1.00 > 0.70 ✓	262.39	262.39	1.00 > 0.70 ✓
5	5	217.94	217.94	1.00 > 0.70 ✓	249.09	249.09	1.00 > 0.70 ✓
6	6	204.81	204.81	1.00 > 0.70 ✓	234.73	234.73	1.00 > 0.70 ✓
7	7	191.80	191.80	1.00 > 0.70 ✓	219.86	219.86	1.00 > 0.70 ✓
8	8	179.10	179.10	1.00 > 0.70 ✓	204.73	204.73	1.00 > 0.70 ✓
9	9	166.32	166.32	1.00 > 0.70 ✓	189.00	189.00	1.00 > 0.70 ✓
10	10	152.52	152.52	1.00 > 0.70 ✓	171.80	171.80	1.00 > 0.70 ✓
11	11	136.37	136.37	1.00 > 0.70 ✓	151.82	151.82	1.00 > 0.70 ✓
12	12	116.31	116.31	1.00 > 0.70 ✓	127.58	127.58	1.00 > 0.70 ✓
13	13	90.61	90.61	1.00 > 0.70 ✓	97.61	97.61	1.00 > 0.70 ✓
14	14	57.30	57.30	1.00 > 0.70 ✓	60.26	60.26	1.00 > 0.70 ✓
15	15	14.02	14.02	1.00 > 0.70 ✓	13.89	13.89	1.00 > 0.70 ✓

**YAPI GUCLU KOLON KONTROLU YAPILMISTIR.**

**YAPI GUCLU KOLON KONTROLU**

**GUCLU KOLONLARDA, TASARIM MOMENTLERINI (1/α) ile ÇARPILARAK YAPI GENELİNDE GUCLU KOLON KONTROLU YAPILIR.**

Şekil 5.4 Yapıda güçlü kolon kontrolü

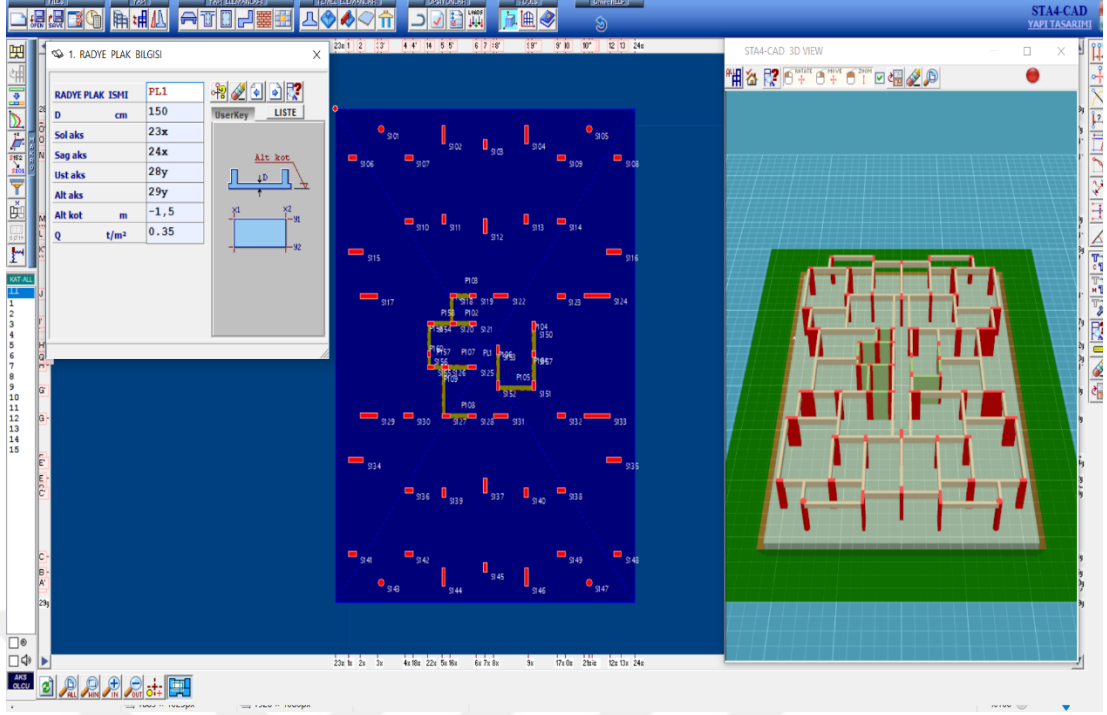
Kat	Dy f	Vsx	Vkx	$\alpha_x=V_{sx}/V_{kx}$	Vsy	Vky	$\alpha_y=V_{sy}/V_{ky}$
1	1	253.97	253.97	1.00 > 0.70 ✓	286.91	286.91	1.00 > 0.70 ✓
2	2	249.84	249.84	1.00 > 0.70 ✓	282.61	282.61	1.00 > 0.70 ✓
3	3	241.48	241.48	1.00 > 0.70 ✓	273.85	273.85	1.00 > 0.70 ✓
4	4	230.49	230.49	1.00 > 0.70 ✓	262.39	262.39	1.00 > 0.70 ✓
5	5	217.94	217.94	1.00 > 0.70 ✓	249.09	249.09	1.00 > 0.70 ✓
6	6	204.81	204.81	1.00 > 0.70 ✓	234.73	234.73	1.00 > 0.70 ✓
7	7	191.80	191.80	1.00 > 0.70 ✓	219.86	219.86	1.00 > 0.70 ✓
8	8	179.10	179.10	1.00 > 0.70 ✓	204.73	204.73	1.00 > 0.70 ✓
9	9	166.32	166.32	1.00 > 0.70 ✓	189.00	189.00	1.00 > 0.70 ✓
10	10	152.52	152.52	1.00 > 0.70 ✓	171.80	171.80	1.00 > 0.70 ✓
11	11	136.37	136.37	1.00 > 0.70 ✓	151.82	151.82	1.00 > 0.70 ✓
12	12	116.31	116.31	1.00 > 0.70 ✓	127.58	127.58	1.00 > 0.70 ✓
13	13	90.61	90.61	1.00 > 0.70 ✓	97.61	97.61	1.00 > 0.70 ✓
14	14	57.30	57.30	1.00 > 0.70 ✓	60.26	60.26	1.00 > 0.70 ✓
15	15	14.02	14.02	1.00 > 0.70 ✓	13.89	13.89	1.00 > 0.70 ✓

**Vs/Vk> .70 KOSULU SAGLANMAKTADIR.**

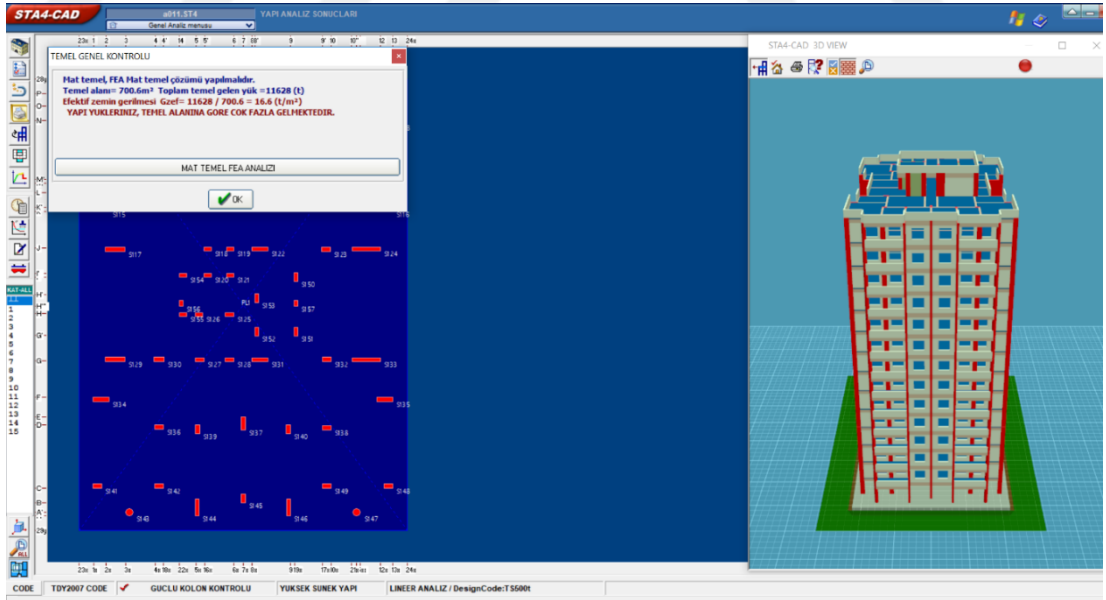
**YAPI GUCLU KOLON KONTROLU**

**GUCLU KOLONLARDA, TASARIM MOMENTLERINI (1/α) ile ÇARPILARAK YAPI GENELİNDE GUCLU KOLON KONTROLU YAPILIR.**

Şekil 5.5 Yapıdaki güçlü kolonların kat kesme güvenliği.



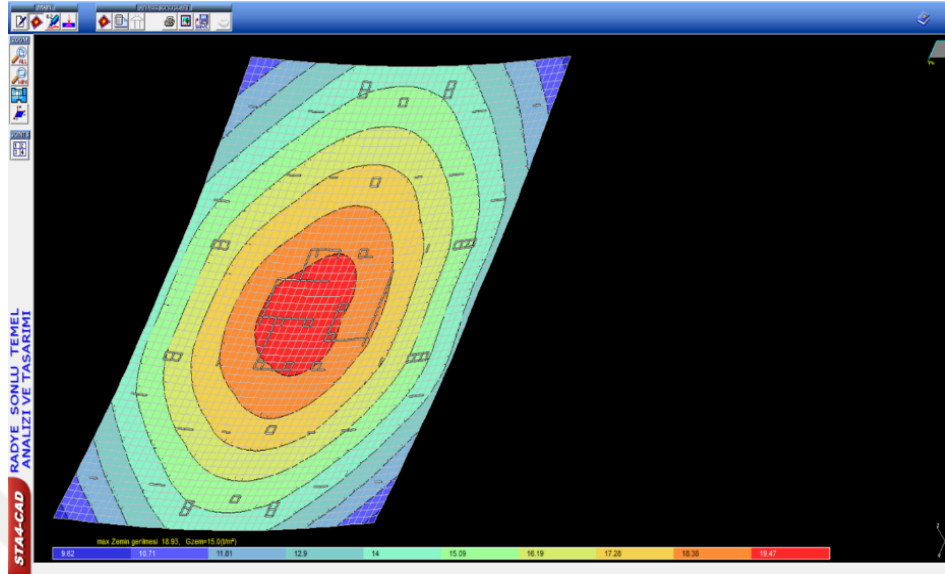
Şekil 5.6 Modelleme kapsamında oluşturulan başlangıç modeline ait radyejeneral temel modeli



Şekil 5.7 Oluşturulan modele ait temel analiz sonuçları

Yapılan üst yapının temele yüklediği miktar 11628 tondur. Temel alanının 700.6 m<sup>2</sup> olacağı düşünüldüğünden, 16.60 ton/m<sup>2</sup> birim alana düşen yük miktarıdır. Zemin

emniyet gerilmesi 15 ton /m<sup>2</sup> olduğundan olayı şu anki sistemle temel üst yapıyı güvenle taşıyamamakta olduğu görülmektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Yapı üzerindeki yük dağılımı diyagramı.

Üst yapıyı güvenle taşıyabilecek kazık sistemi, 1 m çapında 26 m uzunluğunda olduğu öngörülmüştür. Maksimum taşıma kapasiteleri ve buna bağlı kazık sayısı hesaplaması;

$$Q_{\text{çap}} = 100 \text{ cm ve } C_u = 45$$

$$Q_{\text{çevre}} = \pi \times D = 3,14 \times 1 = 3,14 \text{ cm}$$

$$Q_n = Q_s + Q_u$$

$$C_u < 50 \text{ olduğundan } \alpha = 1$$

$$Q_s = \alpha \times C_u \times A_s$$

$$Q_s = 1 \times 45 \times 3,14 \times 26 = 3673,8 \text{ Kn}$$

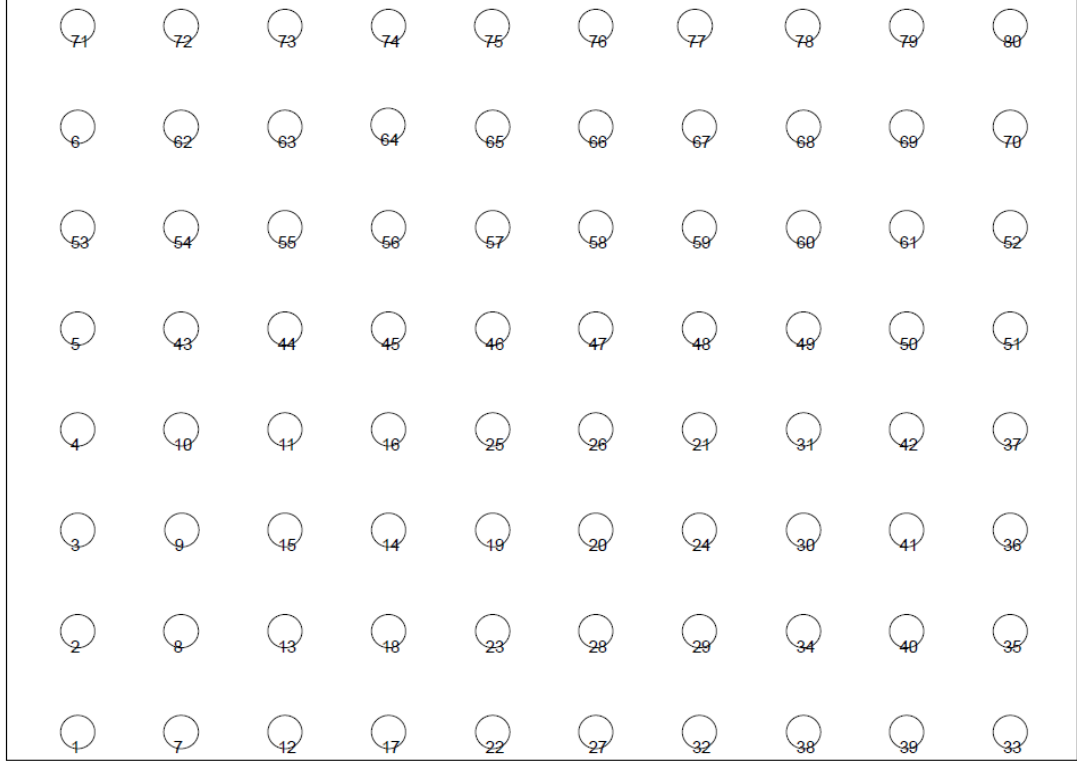
$$Q_{uc} = 9 \times C_u \times A_{\text{taban}} = 9 \times 45 \times 3,14 \times 0,5^2 = 315,9 \text{ kN}$$

$$Q_n = Q_s + Q_u = 3673,8 + 315,9 = 3989,7 \text{ kN}$$

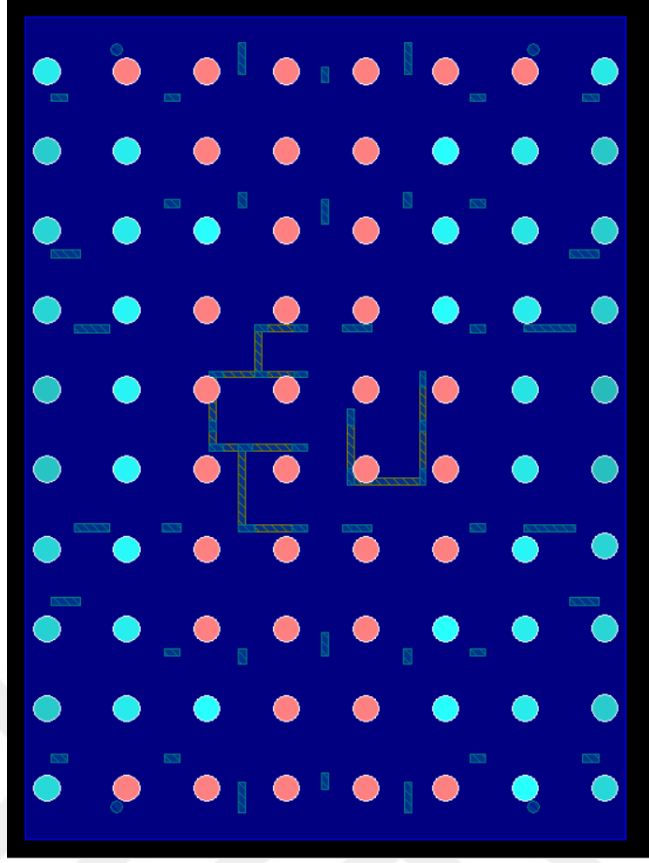
İşlemler sonucunda  $Q_{uc}$  taşıma kapasitesi çok düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle modelleme kapsamında hazırlanan kazıklar sürtünme kazığı olarak tasarlanacaktır. Ayrıca Bölüm 3'de belirtildiği üzere bu kazık tipinin seçilmesinin ardından tasarıma  $Q_n = Q_s$  kabulü ile devam edilecektir.

$$Q_{\text{all}} = Q_n / G_s = 3673,8 / 2,5 = 1469,52 \text{ kN} = 146,95 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Gereken kazık sayısı} &= \text{Temele gelen toplam yük} / \text{Kazık başı taşınacak yük miktarı} \\ &= 11627 / 146,95 = 79,12 \text{ adet} = 80 \text{ ADET} \end{aligned}$$



**Şekil 5.9** Tasarlanan ilk modele ait homojen kazık sistemi.



**Şekil 5.10** Tasarlanan ilk sisteme ait kazıkların yerleşimi ve yazılım üzerinde modelleme çalışmasının sonucunda kazıkların üzerine düşen yük miktarı.

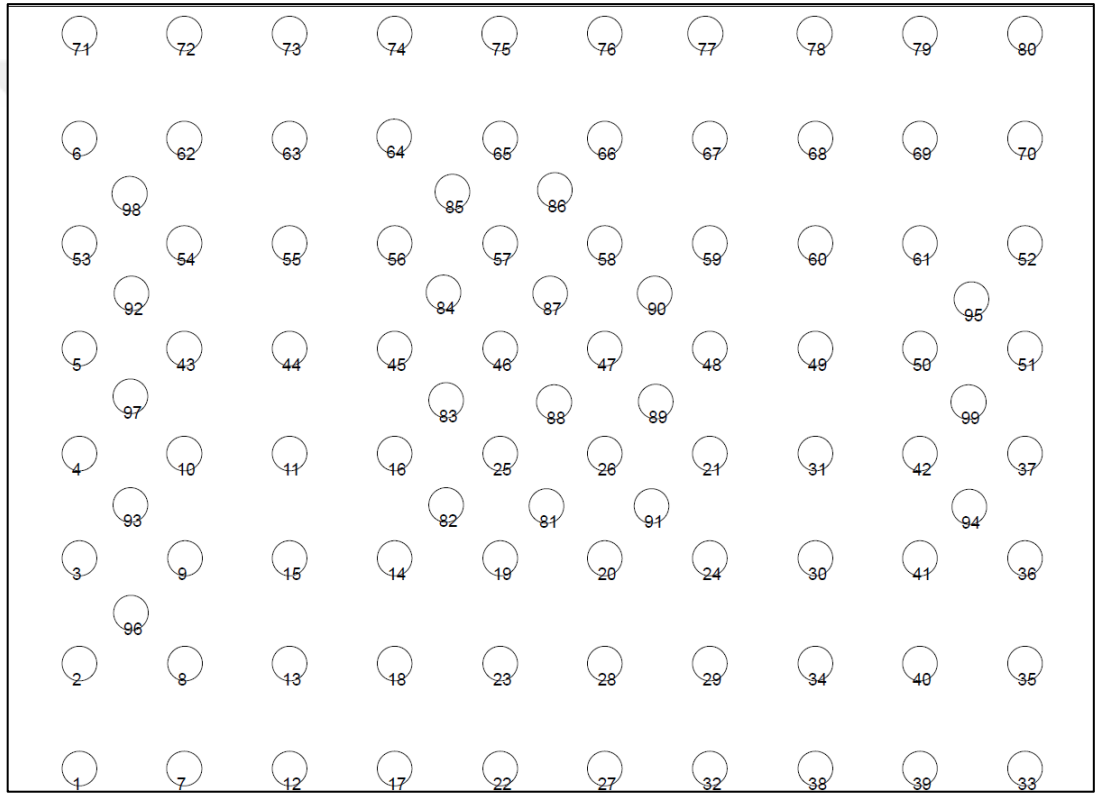
**Tablo 5.1** Tasarlanan ilk modele ait kazık elemanlarının fiziksel parametreler bazında aldığı değerler

KAZIK YÜKLERİ (t)																
Kazık no	1 g	2 q	3 q	4 q	5 q	6 q	7 q	8 s	9 e	10 e	11 e	12 e	13 w	14 w	15 t	max. Np
1	111.16	17.26	14.44	14.24	17.25	17.23	17.27	0.00	-17.3	-22.3	-13.2	-9.10	-8.95	-3.31	0.00	150.81 ✓
2	147.18	24.39	20.12	19.98	24.39	24.41	24.41	0.00	-11.9	-13.9	-18.1	-16.4	-5.72	-5.05	0.00	189.70 ×
3	165.54	28.51	23.45	23.38	28.51	28.53	28.53	0.00	-5.47	-5.58	-21.2	-21.1	-2.34	-6.20	0.00	215.32 ×
4	168.52	29.43	24.26	24.26	29.44	29.45	29.45	0.00	-1.83	-2.21	-24.2	-23.9	-0.84	-7.07	0.00	222.20 ×
5	168.20	29.40	24.19	24.27	29.40	29.40	29.41	0.00	-0.09	-1.92	-25.3	-23.8	-0.51	-7.25	0.00	222.95 ×
6	145.12	23.93	19.70	19.70	23.93	23.94	23.96	0.00	10.11	10.41	-14.9	-15.2	4.50	-4.39	0.00	184.26 ×
7	80.52	12.92	10.73	10.76	12.94	12.95	12.94	0.00	-13.6	-17.7	-5.34	-1.95	-7.09	-1.10	0.00	111.15 ✓
8	111.39	19.05	15.58	15.57	19.07	19.07	19.08	0.00	-9.06	-10.7	-9.53	-8.14	-4.41	-2.61	0.00	141.18 ✓
9	128.91	22.93	18.64	18.62	22.93	22.92	22.95	0.00	-3.65	-3.50	-12.6	-12.7	-1.51	-3.75	0.00	164.62 ×
10	132.23	23.80	19.40	19.38	23.80	23.78	23.79	0.00	0.11	0.69	-14.7	-15.2	0.27	-4.44	0.00	171.30 ×
11	133.99	23.71	19.04	18.89	23.64	23.52	23.59	0.00	0.94	3.00	-24.3	-26.0	1.02	-7.58	0.00	183.74 ×
12	87.63	14.78	12.07	12.27	14.80	14.79	14.79	0.00	-16.4	-20.0	-5.39	-2.45	-8.28	-1.21	0.00	122.41 ✓
13	110.41	18.93	15.32	15.35	18.93	18.90	18.94	0.00	-11.7	-12.7	-11.6	-10.8	-5.56	-3.40	0.00	142.11 ✓
14	141.50	22.82	18.16	17.88	22.70	22.52	22.66	0.00	-13.4	-10.7	-34.3	-36.5	-5.73	-10.7	0.00	200.87 ×
15	126.26	22.10	17.74	17.69	22.06	21.99	22.06	0.00	-5.43	-4.25	-19.7	-20.7	-2.16	-6.10	0.00	169.11 ✓
16	158.54	25.87	20.43	20.01	25.66	25.41	25.55	0.00	0.09	4.34	-45.5	-49.0	1.17	-14.3	0.00	233.41 ×
17	89.05	14.60	11.97	12.04	14.62	14.56	14.62	0.00	-19.9	-22.9	-6.53	-4.07	-9.85	-1.64	0.00	126.60 ✓
18	119.70	19.46	15.71	15.59	19.42	19.35	19.42	0.00	-18.9	-19.3	-16.7	-16.4	-8.87	-5.04	0.00	158.46 ×
19	170.91	26.64	20.91	20.46	26.40	26.20	26.31	0.00	-28.3	-26.4	-24.6	-26.2	-13.2	-7.75	0.00	225.86 ×
20	168.80	26.57	20.72	20.29	26.19	26.18	26.12	0.00	-24.4	-25.5	16.10	17.01	-12.0	5.00	0.00	220.93 ×
21	162.04	27.01	21.08	20.66	26.59	26.61	26.47	0.00	-2.39	-4.97	47.20	49.33	-1.72	14.73	0.00	238.38 ×
22	71.93	10.78	8.94	8.93	10.79	10.75	10.78	0.00	-20.3	-21.4	-3.59	-2.66	-9.66	-0.98	0.00	104.13 ✓
23	118.96	18.33	14.69	14.49	18.23	18.15	18.19	0.00	-25.2	-25.2	-10.7	-10.7	-11.9	-3.30	0.00	162.55 ✓
24	148.52	24.50	19.15	18.86	24.05	24.26	24.06	0.00	-13.0	-15.3	36.76	38.66	-6.65	11.49	0.00	211.68 ×
25	185.10	29.13	22.68	22.12	28.77	28.51	28.59	0.00	-6.86	-3.44	-26.8	-29.7	-2.40	-8.58	0.00	243.93 ×
26	186.62	29.69	23.02	22.45	29.23	29.12	29.05	0.00	-8.98	-9.02	23.30	23.34	-4.30	7.07	0.00	239.65 ×
27	72.31	10.69	8.75	8.72	10.65	10.67	10.64	0.00	-24.9	-23.8	2.67	1.76	-11.2	0.65	0.00	107.90 ✓
28	121.08	18.76	14.86	14.66	18.54	18.59	18.51	0.00	-27.0	-26.9	6.90	6.84	-12.6	2.06	0.00	166.86 ✓
29	123.29	20.12	15.86	15.71	19.80	20.01	19.84	0.00	-23.9	-23.5	17.63	17.34	-10.8	5.30	0.00	167.32 ✓
30	131.44	23.24	18.34	18.23	22.86	23.14	22.99	0.00	-6.74	-7.98	23.61	24.63	-3.32	7.31	0.00	179.31 ×
31	139.07	24.93	19.82	19.55	24.66	24.75	24.67	0.00	-0.56	-2.28	27.28	28.69	-0.62	8.49	0.00	192.69 ×
32	88.13	13.99	11.28	11.20	13.99	13.97	13.93	0.00	-29.7	-26.9	7.24	4.98	-12.8	1.84	0.00	131.84 ✓
33	93.77	14.19	11.80	11.86	14.18	14.20	14.19	0.00	-16.6	-12.6	8.66	5.36	-6.53	2.07	0.00	124.63 ✓
34	112.37	19.17	15.21	15.18	18.86	19.13	19.00	0.00	-15.8	-15.1	14.32	13.72	-6.95	4.23	0.00	147.37 ✓
35	129.52	21.31	17.42	17.49	21.20	21.34	21.31	0.00	-9.11	-7.79	15.19	14.11	-3.69	4.28	0.00	166.02 ×
36	145.97	25.09	20.53	20.53	24.97	25.14	25.09	0.00	-1.13	-1.51	19.49	19.79	-0.49	5.73	0.00	190.86 ×
37	149.32	26.08	21.48	21.40	26.03	26.12	26.10	0.00	1.92	2.00	22.94	22.88	0.93	6.72	0.00	198.34 ×
38	85.01	13.79	11.19	11.13	13.69	13.78	13.78	0.00	-23.8	-20.8	6.53	4.01	-10.0	1.60	0.00	122.70 ✓
39	78.85	12.33	10.13	10.18	12.26	12.33	12.34	0.00	-17.9	-14.3	5.27	2.28	-7.21	1.13	0.00	109.14 ✓
40	109.23	18.53	14.92	14.99	18.32	18.53	18.47	0.00	-10.6	-9.39	10.85	9.84	-4.42	3.07	0.00	138.61 ✓
41	126.50	22.45	18.03	18.04	22.22	22.44	22.37	0.00	-3.33	-3.81	15.05	15.45	-1.53	4.52	0.00	164.40 ×
42	129.71	23.37	18.91	18.83	23.24	23.31	23.30	0.00	0.61	-0.08	16.95	17.52	0.16	5.12	0.00	170.59 ×
43	130.93	23.61	19.21	19.21	23.59	23.55	23.55	0.00	1.71	1.61	-13.8	-13.7	0.75	-4.07	0.00	168.35 ×
44	129.79	23.14	18.52	18.40	23.06	22.89	22.92	0.00	3.77	4.69	-19.9	-20.7	1.99	-6.14	0.00	173.63 ×
45	146.10	24.20	19.02	18.69	23.97	23.69	23.72	0.00	4.85	5.96	-35.3	-36.2	2.62	-10.9	0.00	206.59 ×
46	167.13	26.63	20.66	20.14	26.23	25.94	25.91	0.00	0.81	2.00	-22.3	-23.2	0.72	-7.03	0.00	217.04 ×
47	177.07	28.59	22.07	21.46	28.05	27.81	27.76	0.00	-6.15	-4.28	21.53	19.99	-2.45	6.36	0.00	227.19 ×
48	153.78	26.04	20.32	19.81	25.63	25.46	25.40	0.00	-1.91	-1.84	35.34	35.29	-0.86	10.81	0.00	215.16 ×
49	136.13	24.64	19.55	19.34	24.43	24.33	24.36	0.00	0.94	0.20	20.78	21.39	0.25	6.40	0.00	182.15 ×
50	129.00	23.34	18.86	18.84	23.28	23.21	23.30	0.00	1.55	1.58	14.96	14.93	0.68	4.44	0.00	167.31 ×
51	148.93	26.07	21.40	21.48	26.06	26.07	26.11	0.00	1.93	3.63	23.91	22.52	1.22	6.85	0.00	198.92 ×
52	144.90	25.03	20.39	20.61	25.03	24.99	25.07	0.00	4.38	6.37	21.10	19.47	2.32	5.98	0.00	191.03 ×
53	164.36	28.31	23.21	23.30	28.31	28.31	28.32	0.00	3.47	1.50	-22.3	-20.6	0.97	-6.33	0.00	214.97 ×
54	125.92	22.43	18.16	18.15	22.41	22.31	22.35	0.00	4.55	4.45	-9.76	-9.67	1.95	-2.86	0.00	158.11 ✓
55	119.17	21.13	16.81	16.72	21.06	20.79	20.86	0.00	7.01	7.34	-11.5	-11.7	3.20	-3.53	0.00	152.08 ✓
56	125.27	20.87	16.33	16.09	20.66	20.26	20.31	0.00	9.76	8.98	-21.3	-20.7	4.22	-6.50	0.00	167.48 ✓
57	136.45	21.93	17.02	16.63	21.58	21.22	21.20	0.00	11.58	10.08	-16.7	-15.5	5.01	-5.07	0.00	175.11 ×
58	141.07	22.95	17.78	17.29	22.50	22.22	22.18	0.00	9.48	9.45	8.14	8.16	4.47	2.47	0.00	173.51 ×
59	133.76	22.84	17.80	17.41	22.47	22.20	22.24	0.00	5.57	5.43	16.28	16.40	2.50	5.01	0.00	173.01 ×
60	126.93	22.96	18.07	17.99	22.77	22.51	22.70	0.00	4.93	4.19	10.33	10.94	2.00	3.21	0.00	160.83 ✓
61	125.39	22.50	18.04	18.12	22.45	22.29	22.47	0.00	4.41	4.44	10.36	10.34	1.91	3.04	0.00	158.26 ✓
62	107.90	18.32	14.92	14.85	18.33	18.20	18.27	0.00	9.75	11.19	-4.03	-5.21	4.66	-1.30	0.00	137.41 ✓
63	104.40	17.90	14.28	14.16	17.87	17.56	17.67	0.00	13.25	14.79	-3.36	-4.63	6.26	-1.18	0.00	137.08 ✓
64	110.39	18.35	14.38	14.22	18.23	17.76	17.90	0.00	17.47	18.51	-6.56	-7.42	8.05	-2.14	0.00	147.25 ✓
65	102.50	16.25	12.71	12.49	16.05	15.65	15.72	0.00	16.57	16.21	-6.36	-6.07	7.45	-1.95	0.00	135.32 ✓
66	106.80	17.26	13.47	13.21	17.00	16.67	16.71	0.00	16.09	14.67	-0.52	0.65	7.02	-0.01	0.00	140.15 ✓
67	119.12	20.32	15.85	15.62	20.08	19.74	19.83	0.00	16.30	14.18	2.44	4.19	6.84	0.98	0.00	155.74 ✓
68	111.91	19.63	15.53	15.43	19.51	19.23	19.42	0.00	12.94	10.94	2.43	4.08	5.32	0.94	0.00	144.48 ✓
69	109.23	18.79	15.15	15.15	18.76	18.60	18.76	0.00	10.79	9.41	5.17	6.31	4.47	1.63	0.00	138.81 ✓
70	128.48	21.25	17.41	17.47	21.25	21.24	21.29	0.00	11.53	11.64	15.32	15.24	5.10	4.45	0.00	165.05 ✓
71	107.98	16.47	13.84	13.66	16.47	16.51	16.51	0.00	16.15	19.97	-4.13	-7.27	8.16	-1.94	0.00	144.43 ✓
72	76.63	11.93	9.93	9.78	11.96	11.88	11.92	0.00	15.14	19.07	3.52	0.28	7.76	0.70	0.00	107.63 ✓
73	81.71															

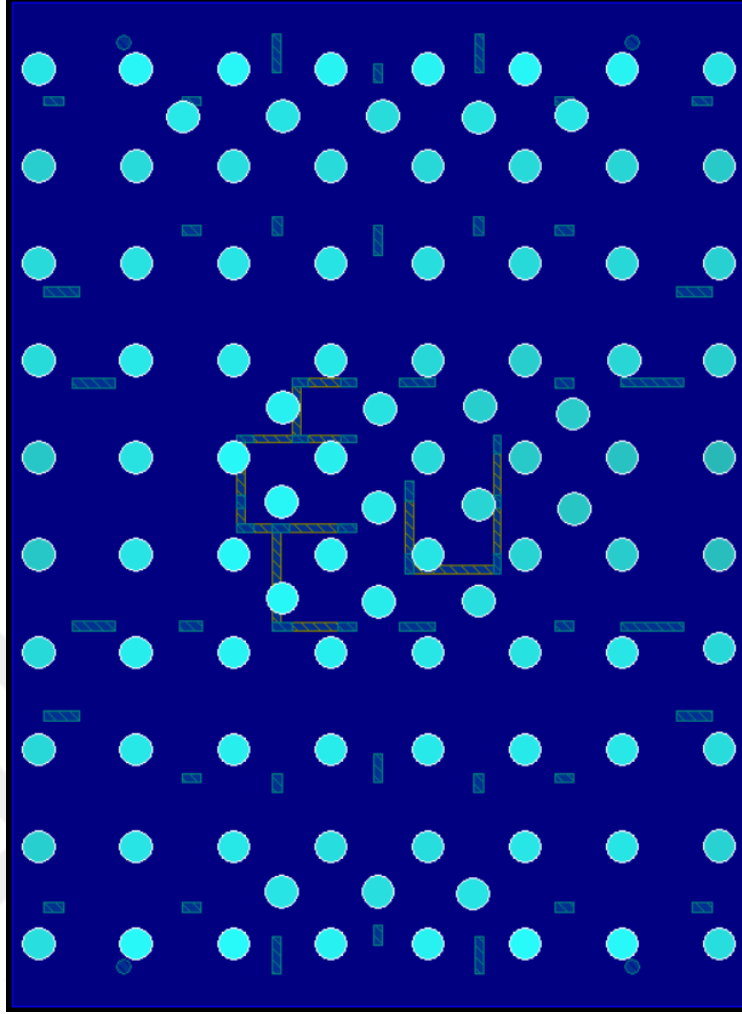
sürtünme kazıklarına üst yapı yükünün temele homojen olarak dağılmadığı görülmektedir. Temelin farklı noktalarında farklı gerilmeler oluşmuş kazık başına düşen taşıma kapasiteleri farklılaşmıştır (Şekil 5.10).

Modelden elde edilen sonuçlarda 3 m aralıklı kazıklar tasarlanmış minimum 95 maksimum 227 ton yük karşılayacak bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır.(Şekil 5.11).

Bu işlem sonucunda tasarlanan ikinci modele ait kazık yerleşimi ve üzerlerine düşen yük dağılımları Şekil 5.12’de verilmektedir.



Şekil 5.11 Oluşturulan ikinci modele ait kazık tasarımı



Şekil 5.12 Tasarlanan ikinci modele ait kazık yerleşimi ve üzerlerine düşen yük dağılımları

**Tablo 5.2:** Tasarlanan ikinci modele ait kazık elemanlarının fiziksel parametreler bazında aldığı değerler

KAZIK YÜKLERİ (t)																
Kazık no	1 g	2 q	3 q	4 q	5 q	6 q	7 q	8 s	9 e	10 e	11 e	12 e	13 w	14 w	15 t	max. Np
1	105.68	16.28	13.62	13.42	16.27	16.25	16.29	0.00	-16.8	-21.8	-13.0	-8.96	-8.74	-3.27	0.00	143.79 ✓
2	119.02	19.47	16.07	15.94	19.47	19.48	19.48	0.00	-10.6	-12.6	-15.2	-13.6	-5.16	-4.23	0.00	153.71 ✓
3	119.97	20.52	16.88	16.82	20.51	20.52	20.52	0.00	-4.16	-4.11	-16.1	-16.2	-1.74	-4.72	0.00	156.69 ✓
4	116.39	20.23	16.69	16.69	20.23	20.23	20.24	0.00	-1.27	-1.46	-18.1	-17.9	-0.56	-5.30	0.00	154.73 ✓
5	115.27	20.05	16.51	16.58	20.05	20.05	20.05	0.00	-0.45	-2.00	-19.1	-17.8	-0.60	-5.47	0.00	154.48 ✓
6	117.61	19.12	15.75	15.74	19.12	19.12	19.14	0.00	9.13	9.58	-12.3	-12.6	4.12	-3.64	0.00	149.43 ✓
7	81.24	13.02	10.79	10.82	13.03	13.03	13.02	0.00	-13.4	-17.4	-5.40	-2.06	-7.01	-1.13	0.00	111.75 ✓
8	92.98	15.87	12.96	12.96	15.88	15.88	15.88	0.00	-8.15	-9.79	-7.12	-5.77	-4.01	-1.91	0.00	118.64 ✓
9	95.56	17.15	13.91	13.91	17.15	17.14	17.17	0.00	-2.60	-2.45	-8.08	-8.20	-1.06	-2.40	0.00	120.91 ✓
10	92.14	16.82	13.69	13.68	16.82	16.80	16.82	0.00	0.54	1.13	-9.04	-9.52	0.45	-2.74	0.00	118.48 ✓
11	100.47	18.14	14.59	14.50	18.10	18.02	18.07	0.00	1.44	3.21	-18.0	-19.4	1.18	-5.64	0.00	138.09 ✓
12	92.81	15.65	12.76	12.95	15.66	15.65	15.65	0.00	-16.4	-20.0	-5.57	-2.64	-8.29	-1.27	0.00	128.47 ✓
13	100.16	17.23	13.94	13.99	17.23	17.21	17.24	0.00	-11.0	-12.1	-9.60	-8.66	-5.25	-2.76	0.00	129.54 ✓
14	106.79	17.28	13.82	13.63	17.22	17.09	17.20	0.00	-11.4	-9.29	-28.4	-30.2	-4.90	-8.89	0.00	154.28 ✓
15	101.96	18.07	14.51	14.50	18.05	18.00	18.06	0.00	-4.39	-3.47	-15.1	-15.9	-1.75	-4.69	0.00	135.97 ✓
16	105.99	17.44	13.82	13.55	17.32	17.15	17.27	0.00	1.38	4.92	-36.6	-39.5	1.60	-11.5	0.00	162.98 ✓
17	94.74	15.56	12.74	12.80	15.57	15.52	15.57	0.00	-19.9	-22.9	-6.55	-4.07	-9.84	-1.64	0.00	133.24 ✓
18	107.44	17.53	14.19	14.11	17.51	17.45	17.51	0.00	-17.7	-18.3	-14.5	-14.0	-8.38	-4.33	0.00	143.35 ✓
19	122.32	18.95	14.91	14.61	18.81	18.66	18.76	0.00	-24.9	-23.5	-21.1	-22.3	-11.7	-6.62	0.00	166.20 ✓
20	121.72	19.08	14.90	14.61	18.81	18.84	18.78	0.00	-21.0	-22.3	13.95	14.98	-10.4	4.37	0.00	163.13 ✓
21	113.34	19.12	14.94	14.66	18.81	18.87	18.74	0.00	-0.34	-2.90	40.41	42.52	-0.74	12.66	0.00	174.98 ✓
22	76.20	11.51	9.53	9.52	11.52	11.47	11.50	0.00	-20.1	-21.2	-3.58	-2.64	-9.58	-0.97	0.00	108.97 ✓
23	101.89	15.66	12.61	12.47	15.59	15.53	15.56	0.00	-23.5	-23.7	-9.51	-9.34	-11.1	-2.89	0.00	141.30 ✓
24	116.17	19.29	15.09	14.89	18.92	19.13	18.95	0.00	-10.8	-13.1	32.20	34.02	-5.62	10.09	0.00	169.47 ✓
25	113.23	17.68	13.77	13.43	17.48	17.32	17.38	0.00	-4.16	-1.45	-21.6	-23.9	-1.28	-6.90	0.00	154.83 ✓
26	115.41	18.30	14.17	13.82	18.01	17.97	17.91	0.00	-5.83	-6.15	19.66	19.92	-2.86	6.00	0.00	153.63 ✓
27	76.25	11.36	9.29	9.25	11.31	11.33	11.30	0.00	-24.7	-23.5	2.50	1.57	-11.1	0.60	0.00	112.33 ✓
28	104.35	16.14	12.82	12.67	15.95	16.01	15.93	0.00	-25.3	-25.3	6.17	6.16	-11.8	1.85	0.00	145.84 ✓
29	112.10	18.34	14.48	14.36	18.05	18.25	18.09	0.00	-22.8	-22.4	15.89	15.56	-10.3	4.76	0.00	153.28 ✓
30	111.07	19.81	15.63	15.54	19.47	19.75	19.60	0.00	-5.95	-7.09	19.92	20.86	-2.92	6.19	0.00	151.74 ✓
31	108.41	19.75	15.71	15.50	19.53	19.63	19.55	0.00	0.16	-1.50	22.05	23.42	-0.26	6.91	0.00	151.59 ✓
32	93.05	14.82	11.94	11.85	14.71	14.78	14.74	0.00	-29.7	-26.9	7.09	4.80	-12.8	1.79	0.00	137.56 ✓
33	98.08	14.90	12.37	12.42	14.89	14.91	14.90	0.00	-16.8	-12.8	9.33	6.02	-6.61	2.27	0.00	129.82 ✓
34	105.78	18.06	14.34	14.32	17.77	18.03	17.90	0.00	-15.4	-14.6	12.79	12.12	-6.74	3.76	0.00	139.26 ✓
35	122.61	20.04	16.37	16.44	19.94	20.07	20.03	0.00	-9.24	-7.88	14.36	13.24	-3.74	4.03	0.00	157.01 ✓
36	123.76	21.11	17.27	17.27	21.00	21.15	21.10	0.00	-1.31	-1.62	16.63	16.89	-0.57	4.89	0.00	161.76 ✓
37	115.02	19.94	16.46	16.38	19.90	19.97	19.95	0.00	1.56	1.65	18.51	18.44	0.76	5.42	0.00	153.46 ✓
38	90.45	14.70	11.91	11.83	14.59	14.67	14.67	0.00	-24.0	-20.8	6.65	4.10	-10.0	1.62	0.00	129.15 ✓
39	83.66	13.13	10.77	10.81	13.06	13.12	13.13	0.00	-18.1	-14.4	5.66	2.66	-7.28	1.25	0.00	114.90 ✓
40	102.73	17.37	13.98	14.04	17.17	17.37	17.31	0.00	-10.5	-9.29	9.64	8.59	-4.39	2.70	0.00	130.67 ✓
41	104.35	18.55	14.86	14.88	18.33	18.54	18.47	0.00	-3.21	-3.60	11.66	11.98	-1.46	3.50	0.00	134.87 ✓
42	95.25	17.28	13.97	13.90	17.18	17.24	17.23	0.00	0.57	-0.07	11.86	12.39	0.16	3.61	0.00	124.92 ✓
43	89.81	16.44	13.36	13.36	16.43	16.40	16.40	0.00	1.27	1.29	-8.04	-8.06	0.58	-2.38	0.00	114.31 ✓
44	94.95	17.33	13.89	13.82	17.29	17.17	17.19	0.00	3.17	3.96	-13.7	-14.4	1.68	-4.25	0.00	126.68 ✓
45	91.39	15.37	12.12	11.93	15.25	15.07	15.09	0.00	3.99	4.71	-26.7	-27.3	2.12	-8.25	0.00	134.13 ✓
46	92.92	14.73	11.41	11.12	14.50	14.34	14.31	0.00	0.55	1.31	-17.1	-17.7	0.50	-5.38	0.00	125.38 ✓
47	104.17	16.85	12.97	12.59	16.50	16.37	16.33	0.00	-5.53	-3.94	18.56	17.25	-2.21	5.50	0.00	139.59 ✓
48	104.71	18.05	14.10	13.74	17.77	17.64	17.61	0.00	-1.20	-1.23	29.21	29.23	-0.54	8.95	0.00	151.98 ✓
49	105.59	19.46	15.45	15.29	19.31	19.22	19.26	0.00	1.16	0.38	15.89	16.53	0.35	4.93	0.00	141.58 ✓
50	94.78	17.29	13.95	13.94	17.24	17.18	17.25	0.00	1.25	1.22	10.05	10.08	0.54	2.99	0.00	122.15 ✓
51	114.82	19.95	16.40	16.46	19.94	19.95	19.97	0.00	1.41	3.01	19.58	18.26	0.97	5.59	0.00	154.35 ✓
52	123.32	21.14	17.21	17.41	21.14	21.10	21.17	0.00	3.95	5.83	18.45	16.90	2.11	5.21	0.00	162.90 ✓
53	118.22	20.21	16.57	16.64	20.21	20.21	20.21	0.00	2.40	0.71	-17.3	-15.9	0.57	-4.91	0.00	155.73 ✓
54	91.09	16.38	13.23	13.22	16.37	16.28	16.32	0.00	3.48	3.54	-5.28	-5.33	1.52	-1.55	0.00	112.80 ✓
55	91.06	16.44	13.07	13.03	16.40	16.18	16.24	0.00	5.62	6.00	-6.96	-7.27	2.57	-2.16	0.00	114.78 ✓
56	81.57	13.78	10.80	10.67	13.66	13.38	13.41	0.00	7.21	6.45	-15.1	-14.5	3.05	-4.60	0.00	110.52 ✓
57	77.95	12.50	9.70	9.48	12.30	12.07	12.05	0.00	8.61	7.14	-12.5	-11.3	3.65	-3.76	0.00	102.98 ✓
58	86.99	14.21	11.00	10.69	13.92	13.74	13.71	0.00	7.60	7.52	7.20	7.27	3.58	2.21	0.00	108.80 ✓
59	99.37	17.23	13.43	13.16	16.94	16.74	16.79	0.00	4.95	4.73	12.86	13.04	2.19	3.98	0.00	129.64 ✓
60	106.59	19.51	15.34	15.29	19.36	19.12	19.30	0.00	4.70	3.91	7.28	7.93	1.89	2.30	0.00	134.03 ✓
61	103.95	18.70	14.96	15.03	18.65	18.50	18.67	0.00	4.08	4.02	7.32	7.37	1.75	2.15	0.00	130.02 ✓
62	88.82	15.02	12.23	12.15	15.03	14.91	14.97	0.00	8.81	10.35	-1.79	-3.05	4.27	-0.65	0.00	114.19 ✓
63	90.09	15.51	12.38	12.28	15.50	15.22	15.33	0.00	12.02	13.64	-1.14	-2.47	5.72	-0.51	0.00	119.24 ✓
64	89.14	14.90	11.70	11.59	14.83	14.43	14.56	0.00	15.31	16.47	-3.65	-4.61	7.09	-1.25	0.00	120.51 ✓
65	71.22	11.21	8.80	8.67	11.09	10.79	10.86	0.00	13.60	13.41	-3.92	-3.77	6.13	-1.20	0.00	96.03 ✓
66	80.43	13.01	10.18	10.00	12.82	12.56	12.61	0.00	13.99	12.66	-0.26	0.84	6.07	0.07	0.00	107.43 ✓
67	104.71	17.97	14.04	13.86	17.78	17.47	17.57	0.00	15.45	13.34	1.39	3.13	6.45	0.67	0.00	138.14 ✓
68	105.13	18.48	14.62	14.53	18.37	18.10	18.29	0.00	12.68	10.66	1.29	2.95	5.20	0.60	0.00	136.29 ✓
69	103.33	17.72	14.28	14.28	17.69	17.53	17.68	0.00	10.65	9.22	4.17	5.34	4.40	1.34	0.00	131.70 ✓
70	122.16	20.08	16.44	16.49	20.08	20.06	20.11	0.00	11.36	11.40	14.57	14.54	5.01	4.24	0.00	156.81 ✓
71	104.05	15.76	13.24	13.04	15.76	15.79	15.78	0.00	15.89	19.74	-4.12	-7.29	8.06	-1.55	0.00	139.55 ✓
72	77.91	12.13	10.08	9.92	12.15	12.07	12.10	0.00	14.94	18.89	3.33	0.08	7.68	0.63	0.00	108.92 ✓
73	85.24	13.93	11.23	11.16												

**Tablo 5.2 (devamı):** Tasarlanan ikinci modele ait kazık elemanlarının fiziksel parametreler bazında aldığı değerler

KAZIK YÜKLERİ (t)																
Kazık no	1 g	2 q	3 q	4 q	5 q	6 q	7 q	8 s	9 e	10 e	11 e	12 e	13 w	14 w	15 t	max. Np
84	81.94	13.42	10.48	10.29	13.27	13.05	13.04	0.00	5.83	4.88	-22.2	-21.5	2.50	-6.78	0.00	117.65 ✓
85	78.19	12.81	9.97	9.82	12.66	12.32	12.38	0.00	10.58	9.84	-10.1	-9.50	4.56	-3.06	0.00	101.58 ✓
86	73.80	11.75	9.16	8.96	11.55	11.32	11.33	0.00	10.46	9.56	-2.61	-1.88	4.61	-0.73	0.00	96.00 ✓
87	87.89	14.05	10.84	10.55	13.78	13.61	13.56	0.00	4.02	3.74	-5.15	-4.93	1.87	-1.62	0.00	107.10 ✓
88	107.07	16.86	13.03	12.66	16.58	16.46	16.44	0.00	-4.32	-2.72	-0.58	-1.89	-1.62	-0.41	0.00	128.25 ✓
89	109.79	17.98	13.91	13.53	17.66	17.58	17.50	0.00	-4.12	-4.13	32.03	32.04	-1.93	9.80	0.00	159.81 ✓
90	96.86	16.09	12.45	12.08	15.76	15.60	15.58	0.00	1.50	2.47	20.28	19.49	0.99	6.13	0.00	133.23 ✓
91	121.78	19.57	15.21	14.91	19.25	19.31	19.21	0.00	-9.59	-11.9	32.92	34.82	-5.18	10.31	0.00	176.18 ✓
92	99.19	17.48	14.29	14.34	17.48	17.46	17.47	0.00	0.99	-0.06	-12.0	-11.1	0.14	-3.41	0.00	128.68 ✓
93	101.51	17.87	14.66	14.64	17.87	17.88	17.89	0.00	-1.37	-1.08	-11.8	-12.0	-0.46	-3.48	0.00	131.43 ✓
94	102.01	18.03	14.64	14.62	17.91	18.04	18.01	0.00	-0.19	-0.70	12.49	12.91	-0.13	3.73	0.00	132.95 ✓
95	101.36	18.04	14.61	14.69	18.02	17.95	18.05	0.00	1.98	2.72	11.46	10.85	1.00	3.28	0.00	130.86 ✓
96	106.10	18.18	14.90	14.81	18.19	18.19	18.19	0.00	-6.00	-6.72	-10.8	-10.2	-2.77	-3.09	0.00	135.17 ✓
97	94.76	16.86	13.85	13.86	16.86	16.86	16.86	0.00	0.02	-0.35	-12.1	-11.8	-0.06	-3.52	0.00	123.74 ✓
98	103.55	17.71	14.46	14.44	17.71	17.68	17.70	0.00	5.20	5.04	-9.23	-9.10	2.21	-2.67	0.00	130.49 ✓
99	95.74	17.11	13.97	13.93	17.08	17.08	17.10	0.00	1.12	1.20	12.64	12.57	0.53	3.72	0.00	125.49 ✓

Yapılan ikinci model tasarımında, kazık boyları sabit tutulmuştur. Fakat tasarım farklı aplikasyonlarda değiştirilmiştir. İkinci modellemelerde toplam 99 kazık kullanılmış ve bunlar temel ortasına homojen şekilde dağıtılmıştır (Şekil 5.12). Yapılan ikinci modeldeki kazıklara düşen yük miktarı şekil Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Oluşturulan ilk modele kıyasla daha homojen bir yük dağılımı görülmektedir.

Oluşturulan üçüncü ve son modelde ise kazık adedi ikinci model ile aynı tutulmuş olup, mühendislik tasarımına ergonomik tasarım olgusu katılmak istenerek kazık boylarının uzatılması, bu sayede ek kazık ve diğer aplikasyonlara gereksiz üstyapıya ait yüklerin tamamının sistem içerisinde aktarımı amaçlanmıştır. Bu hususta benzer tasarım geometrisinin kullanıldığı üçüncü modele ait yük miktarları Şekil 5.13’de verilmiştir.

$$Q_{çap} = 100 \text{ cm} \quad C_u = 45$$

$$Q_{çevre} = \pi \times D = 3,14 \times 1 = 3,14 \text{ cm}$$

$$Q_n = Q_s + Q_u$$

$$C_u < 50 \text{ olduğundan } \alpha = 1$$

$$Q_s = \alpha \times C_u \times A_s$$

$$Q_s = 1 \times 45 \times 3,14 \times 30 = 4239 \text{ Kn}$$

$$Q_{uc} = 9 \times C_u \times A_{taban} = 9 \times 45 \times 3,14 \times 0,52 = 315,9 \text{ kN}$$

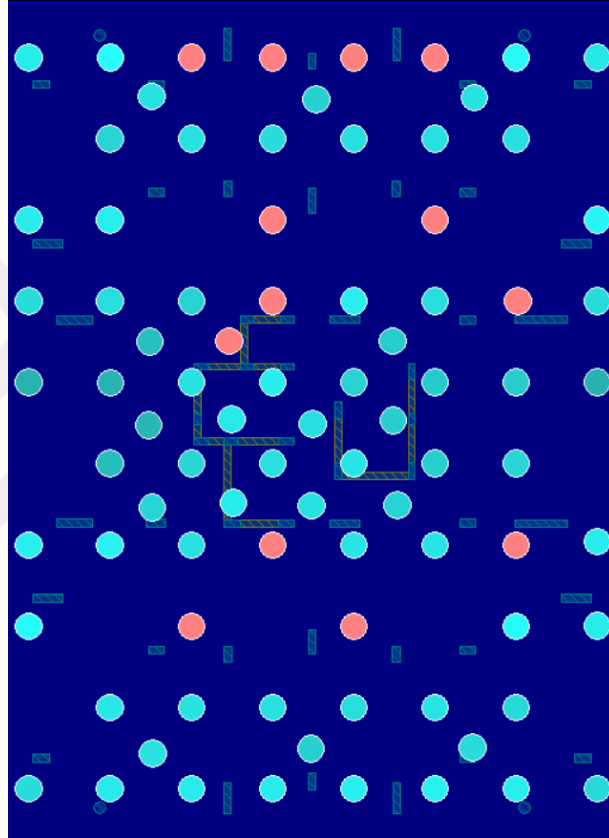
$$Q_n = Q_s + Q_u = 4239 + 315,9 = 4554,9 \text{ kN}$$

Quc taşıma kapasitesi çok düşük olduğundan kazıklar sürtünme kazığı olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle  $Q_n = Q_s$  kabulüne göre tasarım yapılmıştır.

$$Q_{all} = Q_n / G_s = 4239 / 2,5 = 1695,6 \text{ kN} = 169,56 \text{ ton}$$

Gereken kazık sayısı = Temele gelen toplam yük / Kazık başı taşınacak yük miktarı

$$= 11627 / 169,56 = 68,57 \text{ adet} = 70 \text{ ADET}$$



**Şekil 5.13** Tasarlanan üçüncü modelde kazıkların dağılımı ve üzerlerine düşen yük miktarları.

KAZIK YÜKLERİ (t)

Kazık no	1 g	2 q	3 q	4 q	5 q	6 q	7 q	8 s	9 e	10 e	11 e	12 e	13 w	14 w	15 t	max. Np
1	127.34	18.98	15.99	15.68	18.96	18.89	18.98	0.00	-24.2	-31.7	-17.7	-11.5	-12.7	-4.42	0.00	178.05 ✓
2	141.94	22.77	18.73	18.57	22.75	22.76	22.75	0.00	-14.4	-16.1	-21.6	-20.2	-6.75	-6.17	0.00	186.38 ✓
3	150.38	25.63	21.04	20.97	25.62	25.62	25.62	0.00	-3.01	-1.09	-22.9	-24.5	-0.73	-6.93	0.00	200.55 X
4	147.84	25.28	20.94	20.93	25.28	25.24	25.28	0.00	-0.85	-0.27	-27.8	-28.3	-0.18	-8.28	0.00	201.45 X
5	146.44	25.12	20.73	20.87	25.12	25.08	25.10	0.00	-2.62	-5.93	-31.7	-29.0	-2.03	-9.06	0.00	203.33 X
6	139.46	22.28	18.25	18.32	22.25	22.26	22.29	0.00	12.20	12.16	-18.9	-18.8	5.35	-5.56	0.00	180.64 ✓
7	100.27	17.10	13.95	14.03	17.12	17.15	17.11	0.00	-8.50	-11.3	-1.22	1.15	-4.47	-0.01	0.00	128.74 ✓
8	112.35	21.18	17.02	17.11	21.20	21.20	21.24	0.00	0.03	0.16	1.54	1.44	0.16	0.51	0.00	135.08 ✓
9	106.34	20.07	16.37	16.38	20.08	20.12	20.11	0.00	2.10	2.93	0.89	0.21	1.24	0.25	0.00	129.34 ✓
10	153.06	28.96	23.38	23.30	28.92	28.85	28.91	0.00	6.41	9.01	-13.5	-15.7	3.80	-4.34	0.00	197.73 X
11	124.77	21.11	17.15	17.54	21.11	21.12	21.05	0.00	-21.8	-27.4	-6.12	-1.57	-11.2	-1.20	0.00	173.30 ✓
12	125.74	22.45	18.11	18.29	22.45	22.49	22.50	0.00	-9.74	-11.8	-2.61	-0.88	-4.75	-0.53	0.00	160.04 ✓
13	97.99	15.93	12.82	12.66	15.89	15.74	15.91	0.00	-7.13	-3.84	-35.8	-38.6	-2.62	-11.2	0.00	152.52 ✓
14	143.54	23.68	18.85	18.39	23.48	23.24	23.51	0.00	17.71	26.15	-71.1	-78.1	10.80	-22.4	0.00	245.32 X
15	108.12	18.27	14.93	14.95	18.26	18.18	18.28	0.00	-20.8	-25.4	-4.28	-0.53	-10.5	-0.75	0.00	151.81 ✓
16	108.35	18.24	14.89	14.80	18.24	18.25	18.26	0.00	-14.9	-16.4	-7.76	-6.46	-7.03	-2.16	0.00	143.07 ✓
17	116.50	17.57	13.68	13.32	17.50	17.19	17.43	0.00	-44.4	-42.2	-43.3	-45.1	-21.2	-13.4	0.00	179.19 ✓
18	101.62	15.56	12.03	11.76	15.34	15.35	15.33	0.00	-25.4	-28.8	21.43	24.24	-13.3	6.85	0.00	146.05 ✓
19	127.72	21.86	17.24	16.95	21.99	21.70	21.49	0.00	15.54	8.83	70.95	76.47	5.82	22.52	0.00	226.05 X
20	64.25	8.77	7.57	7.57	8.81	8.75	8.79	0.00	-15.3	-16.1	-0.54	0.12	-7.21	-0.08	0.00	89.18 ✓
21	64.55	9.26	7.71	7.64	9.28	9.22	9.24	0.00	-19.3	-19.9	-7.47	-7.02	-9.30	-2.23	0.00	93.73 ✓
22	112.60	19.05	14.90	14.76	18.58	18.96	18.67	0.00	-2.52	-6.99	48.50	52.17	-2.22	15.39	0.00	183.82 ✓
23	127.50	19.41	15.05	14.65	19.23	18.98	19.12	0.00	8.99	15.41	-46.0	-51.2	6.06	-14.6	0.00	198.19 ✓
24	113.75	17.56	13.51	13.16	17.31	17.27	17.21	0.00	2.81	1.69	33.98	34.91	1.06	10.37	0.00	166.22 ✓
25	75.75	11.02	8.90	8.88	10.92	10.97	10.87	0.00	-24.6	-23.6	4.59	3.82	-11.1	1.24	0.00	111.39 ✓
26	131.49	21.88	17.25	17.22	21.50	21.83	21.57	0.00	-28.6	-26.7	13.67	12.13	-12.3	3.88	0.00	181.98 ✓
27	153.69	28.98	22.81	22.77	28.40	28.97	28.72	0.00	-2.56	-3.96	16.30	17.45	-1.29	5.12	0.00	200.12 X
28	129.07	20.46	16.56	16.44	20.41	20.43	20.42	0.00	-43.6	-38.1	6.42	1.90	-18.4	1.24	0.00	193.15 ✓
29	110.26	16.08	13.47	13.48	16.11	16.05	16.05	0.00	-24.4	-18.2	11.54	6.45	-9.60	2.72	0.00	150.78 ✓
30	123.69	19.70	16.05	16.10	19.62	19.70	19.68	0.00	-11.3	-10.3	17.54	16.68	-4.77	5.02	0.00	160.93 ✓
31	124.61	21.18	17.38	17.27	21.09	21.20	21.15	0.00	3.14	1.02	19.81	21.56	1.02	6.03	0.00	167.34 ✓
32	124.82	21.30	17.79	17.45	21.27	21.33	21.28	0.00	3.94	3.17	24.94	25.58	1.63	7.44	0.00	171.70 ✓
33	141.20	22.95	18.73	18.57	22.82	22.89	22.97	0.00	-34.4	-29.1	7.63	3.26	-14.2	1.64	0.00	198.60 ✓
34	119.72	20.07	16.13	16.29	19.78	20.08	20.01	0.00	-14.8	-12.0	4.79	2.43	-5.96	1.06	0.00	154.69 ✓
35	112.82	20.84	16.58	16.66	20.55	20.84	20.77	0.00	-0.87	-1.44	3.34	3.80	-0.40	0.99	0.00	137.46 ✓
36	110.33	20.56	16.75	16.60	20.52	20.55	20.58	0.00	3.08	1.80	3.81	4.86	1.18	1.22	0.00	135.75 ✓
37	108.52	20.49	16.68	16.71	20.48	20.52	20.45	0.00	-0.16	-0.17	0.52	0.53	-0.10	0.24	0.00	129.54 ✓
38	126.67	21.56	17.15	16.93	21.44	21.24	21.23	0.00	7.15	7.62	-45.0	-45.4	3.77	-13.6	0.00	193.64 ✓
39	97.85	15.07	11.65	11.35	14.80	14.66	14.59	0.00	-0.42	0.37	-36.5	-37.1	0.18	-11.4	0.00	150.10 ✓
40	118.75	18.95	14.41	13.90	18.42	18.29	18.24	0.00	-23.0	-16.9	41.26	36.28	-9.42	12.01	0.00	178.96 ✓
41	115.30	20.35	16.05	15.53	20.08	19.87	19.83	0.00	-5.33	-4.19	41.00	40.07	-2.12	12.45	0.00	176.66 ✓
42	155.96	30.20	24.19	23.99	30.10	29.96	30.07	0.00	1.21	-0.16	7.27	8.40	0.24	2.35	0.00	194.56 X
43	107.28	20.07	16.26	16.27	20.10	19.96	20.12	0.00	-0.22	-0.31	1.48	1.56	-0.16	0.39	0.00	128.90 ✓
44	126.78	21.70	17.91	17.97	21.68	21.72	21.68	0.00	-1.10	2.05	28.50	25.90	0.18	8.10	0.00	176.98 ✓
45	130.48	22.30	18.03	18.44	22.28	22.27	22.30	0.00	-0.33	3.81	26.48	23.08	0.69	7.39	0.00	179.25 ✓
46	147.58	25.25	20.60	20.79	25.24	25.24	25.23	0.00	0.01	-4.22	-28.9	-25.4	-1.16	-8.10	0.00	201.74 X
47	110.28	20.58	16.52	16.53	20.58	20.46	20.52	0.00	1.63	1.95	2.39	2.12	0.70	0.76	0.00	133.25 ✓
48	145.28	27.14	21.55	21.54	27.12	26.75	26.85	0.00	5.10	5.83	0.61	0.00	2.29	0.14	0.00	178.26 X
49	108.58	18.45	14.45	14.31	18.29	17.81	17.87	0.00	7.27	4.25	-20.7	-18.3	2.32	-6.12	0.00	147.83 ✓
50	90.57	14.11	10.93	10.66	13.85	13.58	13.47	0.00	15.69	10.20	-29.0	-24.5	5.98	-8.52	0.00	133.71 ✓
51	94.87	15.13	11.70	11.27	14.70	14.57	14.48	0.00	14.11	14.50	12.68	12.35	6.96	3.88	0.00	124.50 ✓
52	116.84	20.72	16.16	15.82	20.32	20.07	20.17	0.00	2.29	2.99	11.38	10.81	1.12	3.47	0.00	148.94 ✓
53	113.35	21.28	16.83	17.04	21.24	20.97	21.31	0.00	0.72	0.66	-0.52	-0.47	0.19	-0.23	0.00	135.35 ✓
54	111.46	18.68	15.29	15.09	18.72	18.52	18.63	0.00	11.30	14.57	5.16	2.46	5.79	1.26	0.00	144.71 ✓
55	152.77	25.89	20.17	19.94	25.77	24.93	25.26	0.00	23.30	25.04	-2.31	-3.75	10.48	-0.90	0.00	203.70 X
56	91.54	13.86	10.95	10.79	13.71	13.26	13.38	0.00	17.07	16.19	-6.14	-5.42	7.43	-1.82	0.00	122.47 ✓
57	102.62	16.05	12.62	12.43	15.80	15.49	15.50	0.00	19.21	16.59	-3.35	-1.19	8.11	-0.73	0.00	137.87 ✓
58	151.05	26.30	20.35	20.18	25.99	25.52	25.65	0.00	21.60	18.38	-3.43	-0.78	8.75	-0.68	0.00	198.95 X
59	137.92	24.83	19.56	19.55	24.70	24.30	24.66	0.00	13.72	11.10	-3.70	-1.54	5.41	-0.86	0.00	176.48 ✓
60	104.95	17.78	14.38	14.38	17.76	17.58	17.78	0.00	11.72	9.09	-0.89	1.27	4.60	-0.07	0.00	134.45 ✓
61	127.80	20.51	16.74	16.78	20.48	20.53	20.50	0.00	13.64	14.24	20.31	19.82	6.15	5.90	0.00	168.61 ✓
62	122.06	17.88	15.21	14.83	17.87	17.90	17.88	0.00	22.64	29.32	-1.77	-7.26	11.85	-1.14	0.00	169.27 ✓
63	135.02	22.20	18.02	17.90	22.22	22.04	22.11	0.00	28.62	34.87	5.89	0.74	14.44	1.16	0.00	192.09 ✓
64	106.91	17.34	13.74	13.67	17.33	16.93	17.11	0.00	31.92	37.77	5.60	0.80	16.08	1.13	0.00	162.02 ✓
65	63.40	8.42	6.99	6.98	8.44	8.15	8.26	0.00	19.85	21.17	1.47	0.39	9.56	0.33	0.00	92.99 ✓
66	124.61	20.30	16.14	15.98	20.29	19.86	19.99	0.00	39.44	33.26	-5.60	-0.53	16.75	-1.06	0.00	184.35 ✓
67	124.18	20.43	16.79	16.30	20.50	20.24	20.39	0.00	29.71	24.47	-1.89	2.41	12.25	-0.06	0.00	174.32 ✓
68	106.12	15.50	13.32	12.77	15.50	15.52	15.50	0.00	24.87	19.49	4.71	9.14	9.97	1.87	0.00	146.50 ✓
69	123.38	18.66	14.41	14.00	18.52	18.30	18.45	0.00	-20.6	-19.3	-19.1	-20.1	-9.84	-6.10	0.00	162.64 ✓
70	112.55	17.23	13.21	12.80	16.90	16.79	16.76	0.00	-5.31	-1.41	-5.35	-8.56	-1.40	-2.24	0.00	138.34 ✓
71	92.56	14.36	11.00	10.67	14.02	13.88	13.74	0.00	5.58	4.04	-13.6	-12.4	2.40	-4.19	0.00	120.59 ✓
72	124.55	19.81	15.29	15.03	19.48	19.63	19.50	0.00	-0.51	-7.25	68.68	74.22	-2.15	21.77	0.00	218.58 ✓
73	131.14	20.59	16.19	15.76	20.46	20.12	20.45									

**Tablo 5.3(devamı):** Tasarlanan üçüncü modele ait kazık elemanlarının fiziksel parametreler bazında aldığı değerler

KAZIK YÜKLERİ (t)																
Kazık no	1 g	2 q	3 q	4 q	5 q	6 q	7 q	8 s	9 e	10 e	11 e	12 e	13 w	14 w	15 t	max. Np
84	94.20	16.70	13.84	13.81	16.70	16.75	16.71	0.00	-0.44	-0.81	-8.98	-8.67	-0.28	-2.56	0.00	119.88 ✓
85	113.52	19.70	16.02	15.93	19.70	19.68	19.71	0.00	4.42	3.97	-8.56	-8.19	1.76	-2.42	0.00	141.78 ✓

Yapılan üçüncü modelleme sonucunda, her ne kadar 70 kazık üzerinde ilk tasarım oluşturulmuş olsa da, sistem için yeterli miktar 85 kazık olduğu gözlenmiştir. Yapılan taşıma gücü hesabını da göz önünde bulundurulduğunda, özellikle üçüncü modelin ortaya çıkardığı verilere göre tasarımın stabil olduğu görülmektedir. Ancak tasarıma göre kazık sayısında artma miktarı düşük olduğu, kazık boylarındaki artışın getireceği gerek imalat gerekse ekonomi yoğunluğu yeni kazık imalatı için uygulanması planlanan prosesle kıyasla daha verimli olmasından ötürü tür bir boy arttırımı inşaa tasarım uygulamalarında tercih sebebi olmaktadır (Şekil 5.13 ve Tablo 5.3).

Sonuç olarak, sta4CAD yazılımı kullanılarak kazık boyları ve kazık sayılarına göre taşıma gücü hesapları yapılarak günümüz yapı mühendisliğinde kullanılan statik hesaplamalar yardımıyla üst yapı mimari tasarımı da göz önüne alınarak temel sistemleri oluşturulmuştur.

Üst yapıdaki kat dizaynı heterojenliği, temel taşıma sisteminin bu yük dağılımına uygun olarak değişmesini öngörmektedir. Yapılan birinci modellemede üst yapı geometrisi bozulmadan, homojen bir kazık sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde yapının orta kısmında bulunan kazık sisteminin üzerine düşen yük miktarındaki artış gösterilmiştir. Buna karşın kazık boylarının artırıldığı durum ve kazık sisteminin yük dağılımına eş şekillendirildiği üçüncü modelde ise en stabil ve ergonomik tasarım sağlandığı görülmüştür.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında, kazıklı radyejeneral temel sistemlerinin düşey ve yatay yükler altındaki davranışları literatürde yapılan çalışmalar eşliğinde incelenmiş olup, günümüz mühendislik yapılarında sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi esas alınmıştır. Derin ve sığ temel sistemleri bu çalışmada anlatılarak günümüz mühendislik yapı inşaatındaki kullanım alanları işlenmiştir.

Tez kapsamında özellikle kazıklı ve radyejeneral temeller üzerinde yoğunlaşmıştır. Kazıklı temeller, yükü anakayaya aktarıp, üst yapı yükünün göreceli olarak dayanımsız zemin altındaki anakaya vasıtasıyla taşınmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Buna ek olarak kazıklı temel tiplerinin kullanım alanları, taşıma gücü ve formüller üzerinde, model üzerinde ve güncel örnekler ile incelenmiştir.

Bu çalışmanın ana amaçlarından bir diğeri olan radyejeneral temeller olup, bu temel tipinin mühendislikteki kullanım tekniklerini incelemektir. Radyejeneral temeller, üst yapının sağladığı yükü basınç alanını genişleterek temele taşıtmayı öngören bir temel sistemler bütünüdür. Kazık sistemine göre daha sağlam zeminlerde kullanılması beklenen bu temel sisteminin taşıma gücü hesapları kabul gören yayınlardan elde edilen formüller ile anlatılmaya çalışılmış, zemine/anakayaya ait fiziksel parametrelerin birbiri ile temel sistemleri içerisinde ilişkileri açıklanmıştır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde özellikle kazıklı ve radyejeneral temel sistemlerinin taşıma kabiliyetleri üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir. Yayınlarda bu iki sistemin inşaa alanına özgü modifikasyonlar ve opsiyonel olarak tasarım değişiklikleri yaparak taşıma gücündeki değişimi kıyaslanmıştır.

Bu çalışmanın model tasarımı kısmında, “sta4CAD” programı ile daha önceden belirlenen 45 m yüksekliğinde 15 katlı bir yapının yumuşak, su muhtevası yüksek killi bir zemindeki temel sistemi tartışılmış ve bu kapsamda üç model dizayn edilmiştir. Modeller içerisinde tasarıma yönelik ana esaslar, kazık boyları ve kazık sistemi geometrisinin verimlilik bazlı farklılığı olmuştur. Yapılan modellerde 80, 99 ve 85 adetlik üç farklı kazık sistemi tasarımı üzerinden kazık boyları 26-30 m arası değişen taşıma gücü hesapları yapılmıştır. Modellerde ortaya çıkan sonuçlarda üst yapının temele taşıdığı yük dağılımına göre, kazık sistemi heterojen bir dağılım ile ancak yükü neredeyse eşit olarak taşıyabildiği görülmüştür. Kazık boylarının artırılması yük taşıma kapasitesini artıran ayrı bir etmen olduğu özellikle ikinci ve üçüncü modellerde ortaya konulmuştur. Fakat, tez kapsamında ortaya çıkan modelleme çalışması sonucunda taşıma gücüne yönelik ana parametrenin yükü taşıyan kazık sisteminin temel alanı içerisindeki dağılımı olduğu görülmektedir. Bu sonuca özellikle üretilen üçüncü modelde ulaşılmış olup, ikinci modele kıyasla az sayıda kazık adetine rağmen daha stabil bir temel sisteminin oluşturulmuş olması bu yorumu destekler niteliktedir. Ayrıca kullanım amacı gözetmeksizin güncel inşaa tasarım normları göz önüne alındığında, tasarımların ergonomik bir yapıda olmasının yanı sıra maliyeti düşüren bir yapıda olmaları gerekliliği kabul görmektedir. Bu etmenlerden dolayı çalışma kapsamında tasarlanan üçüncü modeli baz alarak günümüz inşaa mühendisliğine uygun olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca bu tez kapsamında ağırlıklı olarak taşıma gücü göz önünde bulundurulmuş, oturma hesaplarına girilmemiştir. Oturma hesaplarının detaylı tahkiki ayrıca yapılmalıdır.

## BÖLÜM 7

### KAYNAKLAR

- ACI, 1996: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) American Beton Enstitüsü.
- ACI, 2002: Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats (ACI 336.2R-88) American Beton Enstitüsü.
- Bowles, J. E., 1997: Foundation Analysis and Design, McGrawHill, International Edition.
- Çinicioğlu, S.F., 1995: Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, Jmo İstanbul Seminer Notları.
- Coyle, H.M, Castello, R.R., 1981: New Design Correlations For Pile Design Ğn Sand, *Journal Of Geotechnical Engineering Division*, ASCE.
- Chow, Y. K., Yong, K. Y., Shen, W. Y., 2001, “Analysis of piled raft foundations using a variational approach”, *The International Journal of Geomechanics*, 1(2):129147.
- Das, M.B., 1999: Principles Of Foundation Engineering, Pws-Kent Pub., California.
- De Beer, E., Hansen J.B., 1970: A Revised And Extended Formula For Bearing Capacity, Danimarka Geoteknik Enstitüsü 28 No’lu Bülten, Sf 22.
- de Sanctis, L., & Mandolini, A. (2006). Bearing capacity of piled rafts on soft clay soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(12), 1600-1610.
- Engin, H.K., 2007. Çekme Kazıklarının —Gömülü Kazık Elemanlarıyla Modellenmesi, Ed. M.Y.Özkan, 2. Geoteknik Sempozyumu Bildiriler El Kitabı,
- Engin, H.K., Septanika, E.G., ve Brinkgreve R.B.J., 2007. Improved embedded beam elements for the modelling of piles, Proceedings of the 10th International Symposium on Numerical Models in Geomechanics NUMOG X, Taylor&Francis, pp. 475 - 480.
- Fioravante, V. ve Giretti, D., 2010, “Contact versus noncontact piled raft foundations”, *Can. Geotech. J.*, 47:1271–1287

- Hwang, J. H., Chung, M. C., Juang, D. S., Lyu, Y. D., & Juang, C. H. (2011). Practical optimization of group piles using discrete Lagrange multiplier method. *Optimization and Engineering*, **12**(1), 83-109.
- Meyerhof, G.G., 1976: Bearing Capacity And Settlement Of Pile Foundations. *Proceedings Of The American Society Of Civil Engineers*, Gt3, Pp. 197–228.
- Lee, I.K., 1993: Analysis and Performance of Raft and Raft-Pile Systems. Keynote Lect., 3rd International Conference on Case Histories. in *Geotechnical Engineering*, St. Louis.
- Prakash, S., Sharma, H.D., 1990: *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley And Sons.
- Prakash, S.(1990). Land-use mapping and change detection in a coal mining area-a case study in the Jharia coalfield, India. *International journal of remote sensing*, **19**(3), 391-410.
- Randolph, M.F., 2004: Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. State Of The Art Report, 13 International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, No:5 pp:61-8
- Reul, O., 2004, “Numerical study of the bearing behavior of piled rafts”, *Int. J. Geomech.*, **4**(2):59–68.
- Reul, O., Randolph, M. F., 2004, “Design strategies for piled raft subjected to nonuniform vertical loading”, *Journal of Geotech. Geoenviron. Eng.*, **130**(1):1-13.
- Terzaghi, K., 1955: Evaluation of coefficients of subgrade reaction. *Geotechnique*, Vol. **5**(4), 1955, pp. 297–326.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1968: *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Edition, Wiley, New York.
- Tomlinson, M. ve Woodward, J., 2006, “Pile design and construction practice”, 5. Baskı, CRC Basımevi, NY
- Truman, K. Z., & Hoback, A. S. (1992). Optimization of steel piles under rigid slab foundations using optimality criteria. *Structural optimization*, **5**(1-2), 30-36.
- Vesic, A. S., 1970: Load Transfer in Pile Soil Systems, *Proceedings Conference on Design Installation of Pile Foundations*, Lehigh University, Betlehem, pp.47-73.
- Vesic, A. S., 1977: *Design of Pile Foundations*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC.