

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAZIK DAVRANIŞININ İKİ VE ÜÇ BOYUTLU OLARAK**  
**ARAŞTIRILMASI**

**EMRE MAZAK**

**KOCAELİ 2016**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**KAZIK DAVRANIŞININ İKİ VE ÜÇ BOYUTLU OLARAK**  
**ARAŞTIRILMASI**

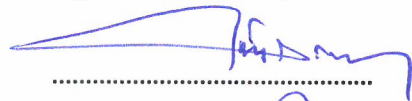
**EMRE MAZAK**

**Yrd.Doç.Dr. Utkan MUTMAN**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr. Sami ARSOY**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Doç.Dr. Berna UNUTMAZ**  
**Jüri Üyesi, Hacettepe Üniv.**

  
.....

  
.....

  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 29.01.2016**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışmasında, kazıklı temellerin davranışında etken olan kazıklar arası mesafenin, kohezyonsuz zeminlerde davranışı ele alınarak, kazıkların sonlu farklar yöntemiyle iki ve üç boyutlu analizleri yapılarak düşey deplasman davranışları incelenmiştir.

Çalışmam süresince araştırmalarımın her aşamasında bana sabırla yol gösteren ve yardımcı olan değerli danışmanım Sayın Utkan MUTMAN'a, çalışmalarımın sonuçlanmasında büyük emeği geçen değerli hocam Sayın Berna UNUTMAZ'a, benden bir an olsun maddi, manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Berna MAZAK'a ve kızım Beren MAZAK'a sonsuz teşekkür ederim.

Ocak – 2016

Emre MAZAK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
2. KAZIK TEMELLER.....	6
2.1. Kazıkların Sınıflandırılması .....	7
2.1.1. İmal edildikleri malzemeye göre sınıflandırma .....	8
2.1.1.1. Ahşap kazıklar .....	8
2.1.1.2. Betonarme kazıklar .....	8
2.1.1.3. Çelik kazıklar .....	10
2.1.1.4. Kompozit kazıklar .....	10
2.1.1.5. Özel kazıklar (Mini kazıklar) .....	11
2.1.1.6. Kum kazıklar .....	11
2.1.2. Yapım metoduna göre sınıflandırma .....	11
2.1.3. İmalatı sırasında zeminlerde oluşan zorlama türlerine göre sınıflandırma .....	11
2.1.4. İmalat ve zemin içerisine yerleştirme yöntemine göre sınıflandırma .....	12
2.1.5. Yükleri taşıma ve iletme şekillerine göre sınıflandırma .....	12
2.1.5.1. Uç kazığı .....	12
2.1.5.2. Sürtünme kazığı .....	14
2.2. Kazık Seçimine Etkiyen Faktörler .....	15
3. KAZIKLARDA GRUP ETKİSİ .....	17
3.1. Kazıklarda Verimlilik Formülleri.....	18
3.1.1. Converse-Labarre formülü.....	18
3.1.2. 1/8 etkileşim kuralı .....	18
3.1.3. Terzaghi blok yaklaşımı.....	19
4. KAZIKLARDA OTURMA .....	21
4.1. Kazık Gruplarının Oturması .....	21
4.1.1. Kohezyonsuz zeminlerde kazık grubunun oturması .....	22
4.1.2. Kohezyonlu zeminlerde kazık grubunun oturması .....	23
5. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ VE FLAC .....	24
5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi .....	24
5.1.1. Sonlu elemanlar metodunun tarihsel gelişimi.....	25
5.1.2. Avantajları .....	26
5.1.3. Dezavantajları .....	27
5.1.4. Sonlu eleman yönteminde analiz adımları.....	27
5.2. Sonlu Farklar Yöntemi .....	28
5.3. FLAC.....	32

6. YAPILAN PARAMETRİK ÇALIŞMA: MODELLEME VE ANALİZLER.....	34
6.1. Materyal ve Metot .....	34
6.2. Malzeme Özellikleri .....	35
6.3. Hesap Aşaması .....	36
6.4. Düşey Yükleme Altındaki Grup Kazıkların Analizi .....	36
6.4.1. İki boyutlu (2D) analizler .....	36
6.4.2. Üç boyutlu (3D) analizler .....	44
6.4.3. İki (2D) ve üç boyutlu (3D) analizlerin karşılaştırılması.....	53
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	56
KAYNAKLAR .....	58
EKLER.....	60
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	78
ÖZGEÇMİŞ .....	79



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Yük taşıma biçimlerine göre kazıklar .....	13
Şekil 2.2.	Uç kazığı gerilme dağılımları .....	14
Şekil 2.3.	Sürtünme kazıklarında gerilme dağılımı .....	15
Şekil 3.1.	Kazıklarda grup etkisi .....	17
Şekil 3.2.	Kazıklarda grup etkisi .....	19
Şekil 4.1.	Kazık gruplarında oluşan gerilmelerin süperpozisyonu .....	21
Şekil 4.2.	Kazık etki alanları, grup kazık etki alanı ve tek kazık etki alanı .....	22
Şekil 4.3.	Kohezyonlu zeminlerde sürtünme kazıklarında oturma hesabı için gerilme dağılımı .....	23
Şekil 5.1.	Eleman tipleri .....	27
Şekil 5.2.	Tek boyutta sonlu farklar .....	29
Şekil 5.3.	Plaklarda sonlu farklar ağı .....	30
Şekil 5.4.	Türev fonksiyonları katsayılar şablonu .....	32
Şekil 6.1.	İki boyutlu (2D) FLAC 2D sonlu farklar ağı .....	34
Şekil 6.2.	Üç boyutlu (3D) FLAC 3D sonlu farklar ağı .....	35
Şekil 6.3.	FLAC 2D – 4 kazık modelleme örneği .....	37
Şekil 6.4.	FLAC 2D – 4 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği .....	37
Şekil 6.5.	FLAC 2D – 4 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği .....	38
Şekil 6.6.	FLAC 2D – 4 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği .....	38
Şekil 6.7.	FLAC 2D – 4 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği .....	38
Şekil 6.8.	FLAC 2D – kazıksız oturma grafiği .....	39
Şekil 6.9.	FLAC 2D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması .....	39
Şekil 6.10.	FLAC 2D – 4 kazık için S=2,4m için L=10m ve L=15m oturmalarının karşılaştırılması .....	40
Şekil 6.11.	FLAC 2D – 8 kazık modelleme örneği .....	41
Şekil 6.12.	FLAC 2D – 8 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği .....	41
Şekil 6.13.	FLAC 2D – 8 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği .....	42
Şekil 6.14.	FLAC 2D – 8 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği .....	42
Şekil 6.15.	FLAC 2D – 8 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği .....	42
Şekil 6.16.	FLAC 2D – Kazıksız oturma grafiği .....	43
Şekil 6.17.	FLAC 2D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması .....	43
Şekil 6.18.	FLAC 2D – 8 kazık S=2,4m için L=10m ve L=15m oturmalarının karşılaştırılması .....	44
Şekil 6.19.	FLAC 3D – 4 kazık modelleme örneği .....	45
Şekil 6.20.	FLAC 3D – 4 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği .....	45
Şekil 6.21.	FLAC 3D – 4 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği .....	46
Şekil 6.22.	FLAC 3D – 4 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği .....	46
Şekil 6.23.	FLAC 3D – 4 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği .....	47
Şekil 6.24.	FLAC 3D – Kazık uygulaması yapılmamış oturma grafiği .....	47
Şekil 6.25.	FLAC 3D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması .....	47
Şekil 6.26.	FLAC 3D – 4 kazık S=2,4m için L=10m ve L=15m oturmalarının karşılaştırılması .....	48
Şekil 6.27.	FLAC 3D – 8 kazık modelleme örneği .....	49
Şekil 6.28.	FLAC 3D – 8 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği .....	49

Şekil 6.29. FLAC 3D – 8 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği.....	50
Şekil 6.30. FLAC 3D – 8 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği.....	50
Şekil 6.31. FLAC 3D – 8 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği.....	51
Şekil 6.32. FLAC 3D – Kazık uygulaması yapılmamış oturma grafiği.....	51
Şekil 6.33. FLAC 3D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması.....	52
Şekil 6.34. FLAC 3D – 8 kazık S=2,4m için L=10m ve L=15m oturmalarının karşılaştırılması.....	53
Şekil 6.35. FLAC 2D ve FLAC 3D – 4 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 6.36. FLAC 2D ve FLAC 3D – 8 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil C.1. FLAC 2D – 4 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü.....	71
Şekil C.2. FLAC 2D – 8 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü.....	71
Şekil C.3. FLAC 3D – 4 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü.....	72
Şekil C.4. FLAC 3D – 8 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü.....	73
Şekil C.5. FLAC 3D – 4 Kazık için kullanılan zemin-kazık modeli.....	74
Şekil C.6. FLAC 3D – 8 Kazık için kullanılan zemin-kazık modeli.....	75
Şekil C.7. FLAC 3D – 4 Kazık için oturma dağılımı konturu.....	76
Şekil C.8. FLAC 3D – 8 Kazık için oturma dağılımı konturu.....	77

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Yerinde dökme betonarme kazıkların en küçük çapları.....	9
Tablo 6.1. Analizlerde kullanılan kazık ve zeminin malzeme parametreleri .....	35
Tablo 6.2. Analizlerde kullanılan kazık ve zeminin malzeme parametreleri .....	36
Tablo A.1. FLAC 2D - Kazık yapılmaksızın oluşan program veri tablosu.....	61
Tablo A.2. FLAC 2D - 4 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu .....	61
Tablo A.3. FLAC 2D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu .....	62
Tablo A.4. FLAC 2D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu .....	62
Tablo A.5. FLAC 2D - 4 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu .....	63
Tablo A.6. FLAC 2D - 8 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu .....	64
Tablo A.7. FLAC 2D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu .....	64
Tablo A.8. FLAC 2D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu .....	65
Tablo A.9. FLAC 2D - 8 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu .....	66
Tablo B.1. FLAC 3D - Kazık yapılmaksızın oluşan program veri tablosu.....	67
Tablo B.2. FLAC 3D - 4 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu .....	67
Tablo B.3. FLAC 3D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu .....	67
Tablo B.4. FLAC 3D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu .....	68
Tablo B.5. FLAC 3D - 4 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu .....	68
Tablo B.6. FLAC 3D - 8 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu .....	68
Tablo B.7. FLAC 3D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu .....	69
Tablo B.8. FLAC 3D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu .....	69
Tablo B.9. FLAC 3D - 8 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu .....	70



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\psi$	: Plastik, hacimsel genleşme açısı, ( $^{\circ}$ )
$\bar{b}$	: Kazık grubu genişliği, (m)
$E_{ur}^{ref}$	: Referans gerilmesi mertebesindeki elastisite modülü, ( $N/m^2$ )
$N_c^*$	: Kazık uç kapasite faktörler
$N_q^*$	: Kazık uç kapasite faktörler
$\delta_v'$	: (H-2/3L) tabakasının tam ortasındaki mevcut efektif basınç, ( $kN/m^2$ )
$\Delta\delta_v'$	: (H-2/3L) tabakasının tam ortasındaki kazık yükü ile artan efektif basınç, ( $kN/m^2$ )
$\gamma$	: Zeminin birim hacim ağırlığı, ( $gr/cm^3$ )
$\Delta H$	: Konsolidasyon oturması, (m)
$\theta$	: $\arctg(d/s)$ , ( $^{\circ}$ )
$\nu$	: Poisson oranı
$A$	: Kazık grubunun plan görünümündeki alanı, ( $m^2$ )
$A_p$	: Kazık kesit alanı, ( $m^2$ )
$c$	: Kohezyon, (kN)
$c'$	: Kazık ucundaki zemine ait kohezyon değeri, (kN)
$C_c$	: Konsolidasyon katsayısı
$d$	: Kazık çapı, (m)
$D$	: Bireysel kazık çapı, (m)
$E$	: Elastisite modülü, ( $N/m^2$ )
$E_{50}$	: Üç eksenli basınç deneyinden elde edilen elastisite modülü, ( $N/m^2$ )
$e_o$	: İlk boşluk oranı
$E_{oed}$	: Konsolidasyon deneyinden elde edilen rijitlik modülü, ( $N/m^2$ )
$f_w$	: Ahşabın emniyetli basınç dayanımı, ( $kN/m^2$ )
$K$	: Sistemin rijitlik matrisi
$k$	: Tek bir eleman için rijitlik matrisi
$L$	: Zemin içinde kalan kazık boyu, (m)
$m$	: Gruptaki kazık sırası sayısı
$n$	: Bir sıradaki kazık sayısı
$\phi$	: İçsel sürtünme açısı, ( $^{\circ}$ )
$P$	: Kazık grubunun plan görünümündeki toplam çevre uzunluğu, (m)
$p^{ref}$	: Referans gerilmesi
$Q$	: Yük vektörü
$q$	: Düğüm deplasman vektörü
$q'$	: Kazık uç seviyesindeki efektif düşey gerilme, ( $kN/m^2$ )
$Q_a$	: Kazık tasarım taşıma gücü, (kN)
$q_f$	: Kazığın oturduğu derinlikteki taşıma gücü, (kN)
$q_p$	: Birim uç mukavemeti, ( $kN/m^2$ )
$R$	: Toplam yük vektörü
$r$	: Tüm sistem için düğüm noktaları deplasman vektörü
$S$	: Kazıkları çevreleyen zeminin ortalama kayma mukavemeti, ( $kN/m^2$ )
$s$	: Kazık aralığı, (m)
$S_g$	: Kazık grubunun oturma miktarı, (m)

$S_t$  : Hesaplanmış ya da deney ile belirlenmiş tek kazık oturma miktarı, (m)  
 $u$  : Dügüm noktası bilinmeyenleri

### **Kısaltmalar**

FLAC : Fast Lagrangian Analysis of Continua (Nümerik Modelleme Analiz Programı)  
SE : Sonlu Elemanlar  
SF : Sonlu Farklar  
TS : Türk Standartları



# KAZIK DAVRANIŞININ İKİ VE ÜÇ BOYUTLU OLARAK ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Bilim ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak, artan nüfus ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile çok katlı yüksek yapıların, deniz ve kıyı yapılarının, ağır köprü ve viyadüklerin inşaatlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu tip yapılarda çok büyük statik ve dinamik, düşey ve yatay yükler oluşmaktadır. Dolayısı ile üstyapıdan zemine önemli mertebelerde yük aktarımı olmaktadır.

Üst yapıdan aktarılan bu yüklerin taşınabilmesi için, temellerin güvenli ve ekonomik olarak boyutlarının planlanması gerekmektedir. Bu yüklerin, zemin yüzeyine yakın bölgelerde yer alan tabakaların taşıma güçlerinin yetersiz olması durumunda, daha derinlerde yer alan taşıma güçleri daha yüksek olan sağlam tabakalara aktarılması gerekmektedir. Bu durumda kazıklar, üst yapı yüklerinin yüzeysel temeller ile güvenilir biçimde zemine aktarılamadığı durumlarda, yükü zayıf zeminleri geçerek, daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarmak için kullanılırlar.

Bu tez çalışmasında kazıklı temellerin kullanım yerleri, kazıkların sınıflandırılması, kazıklarda grup etkisi, kazıklarda oturma, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi konularından bahsedilmektedir. Düşey yükleme altındaki grup kazıkların davranışlarının çözümü için kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Kohezyonsuz bir zemin içerisinde kazıklı temel, sonlu farklar paket programı FLAC 2D ve FLAC 3D ile modellenmiş, aynı zemin içerisinde kazık aks aralığına göre oluşturulan modellerin analiz sonuçları karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** FLAC, Kazık Temeller, Kazıklarda Grup Etkisi, Plaxis, Sonlu Elemanlar ve Sonlu Farklar.

## **RESEARCHING OF TWO AND THREE-DIMENSIONAL ANALYSES OF PILE**

### **ABSTRACT**

With the help of improvements in the science and technology, to meet the demands of increasing population, construction of high buildings, offshore structures, heavy bridges and viaducts are needed. In these types of structures, loads like static and dynamic as well as vertical and horizontal loads, occur.

To carry the loads caused by superstructure, the foundation should be planned as safe and economical as possible. If the bearing capacity of the layers close to soil surface is inadequate, these loads should be transferred to more durable layers having adequate bearing capacity to carry the load caused by structure. In these situations in case the loads cannot be transferred to the soil by using shallow foundations, piles are used to transfer the loads to the lower soil layers.

In the present thesis, using areas of pile foundations, classification of piles, the behavior of pile group, settlement of pile group, finite element method and finite difference method are explained. The methods which are used for solutions of the behavior of vertically loaded piles and piles groups are explained. In this study, piled foundation with different pile spacings on a cohesionless soil were modelled by the FLAC 2D and FLAC 3D software packages based on finite difference method. The results of the models made based on different pile spacings were compared and interpreted.

**Keywords:** FLAC, Pile Foundations, The Behaviour of Pile Group, Plaxis, Finite Element Method and Finite Difference Method.

## GİRİŞ

Kazıklı temeller, esas olarak yapı yüklerinin zeminin derin tabakalarına taşıtılması amacı ile kullanılan bir temel çeşididir. Zemin yüzeyine yakın tabakaların yapı yüklerini, göçmeden veya aşırı oturmalara yol açmadan taşıyabilecek bir yüzeysel temel teşkiline müsait olmadığı durumlarda derin temel tercih edilir. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde de göçmeye karşı güvenliğin bulunduğu; ayrıca servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir.

Kazıkların yüklerini taşımalarına göre sınıflandırılması için kapsamlı bir çalışma yapılması gerekir. Yapı yükleri taşıma gücünün yetersizliği yanında çoğu kere, oturma şartlarının sağlanmadığından dolayı derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, derindeki taşıyıcı tabakalara ulaşılmakta ve bu anlamda kullanılan yapı elemanları, kazık, ayak olarak isimlendirilmektedir. Temel sistemi de adını, kullanılan yapı elemanından almakta ve kazıklı temel olarak bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında öncelikle tekil kazıklar ve kazık gruplarında, kazık elemanlarının taşıma gücü ve oturma hesaplarından bahsedilmiş olup, kohezyonsuz zeminlerdeki durumları araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, kohezyonsuz kabul edilebilecek bir zemin üzerinde bulunan kazıklı temel grubu ele alınmış olup, FLAC programı yardımıyla iki ve üç boyutlu analizler yapılarak kazık aralığının oturma üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bölüm 2’de kazık temellerin sınıflandırılması ve kazık seçimini etkileyen faktörler incelenmiştir.

Bölüm 3’te grup kazıkları ve grup kazıkları davranışı, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde taşıma gücü ve verimlilik konularına değinilmiştir.

Bölüm 4’te kazıklarda oturma, hesaplama yöntemleri, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde kazık grubunun oturmaları incelenmiştir.

Bölüm 5'te kazık temel davranışının incelenmesinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemine ve sonlu farklar yöntemine değinilmiş, ayrıca analizlerde kullanılan FLAC sonlu farklar yazılımı tanıtılmıştır.

Bölüm 6'da kazıklı temel sisteminin iki (2D) ve üç (3D) boyutlu olarak programda modellenmesi ve kazık aks aralığına bağlı düşey deplasman analizleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bölüm 7, kazıklı temelin kazık aks aralığına bağlı analizlerinden elde edilen sonuçları ve önerileri içermektedir.



## 1. GENEL BİLGİLER

Kazıklar; esas olarak yapı yüklerinin, zeminin derin tabakalarına taşıtılması amacı ile kullanılan bir temel çeşididir. Zemin yüzeyine yakın tabakaların, yapı yüklerini göçmeden veya aşırı oturmalara yol açmadan taşıyabilecek bir yüzeysel temel teşkiline müsait olmadığı durumlarda derin temel tercih edilir. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde de göçmeye karşı güvenliğin bulunduğu; ayrıca servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir. Bununla beraber, oturmalar genellikle önemli bir proje kriteri değildir.

Kazıklı temellerin gerek tasarımında gerekse yapımında çeşitli özellikler ve güçlükler vardır. Uygulamada başarı büyük ölçüde iş başındaki mühendisin bilgisine, tecrübesine, ilgisine bağlıdır.

Kazıkların yüklerini taşımalarına göre sınıflandırılması için kapsamlı bir çalışma yapılması gerekir. Tabiatta homojen bir zemin tabakası ile nadiren karşılaşılır. Oysa kazığın teşkil edildiği zemin profilindeki tabakaların özellikleri kazık davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu yüzden zemin özelliklerinin yeterli bir derinliğe kadar bilinmiş olması kazıklı sistemin tasarlanmasında ilk adımdır. Bu tanım, yalnız tabaka cinslerinin belirlenmesi ile kalınmamalı; tabakaların mukavemet, kıvam, konsolidasyon gibi özelliklerini de kapsamalıdır.

Kazıklar; taşıyıcı temeller olmakla birlikte kimi kez ankraj kazığı, çekme kazığı ve sıkıştırma kazığı olarak birçok problemin çözümünde kullanılırlar. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde yükler sadece kazıklara taşıtırılmalı ve kazıklar bu hesaba göre hesaplanarak düzenlenmelidir.

Tüm yapılarda yükleri zemine güvenle aktarabilmesi için yapılan temeller, üzerine inşa edebilecekleri zemin özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Eğer bina yüklerini yüzey temeller taşıyamıyorsa derin temel uygulaması tercih edilir. İhtiyaca uygun temel tasarımı hem güvenlik hem de ekonomi yönünden önemlidir.

Zemin araştırmalarından elde edilen sonuçlar ve yapıdan gelen yüklere göre temel sistemi belirlenerek taşıma gücü ve oturma kontrolü yapılır. Eğer yüzeysel temelle çözülen sistemlerde oturma miktarı kullanılabilir sınırlar içerisinde kalmıyorsa veya yapı yükünden ötürü taşıma gücü yeterli gelmiyorsa temel sistemi derin temeller ile çözümlür.

Yapılan yüksek binalarda yapı yüklerini derinlere iletmek amacıyla kazıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tip temel sistemleri pahalı uygulamalardır. Bu yüzden temel mühendisleri derin temel tasarımında güvenlikle beraber ekonomiyi de dikkate alarak tasarım yaparlar. Yapılan tasarım da gelişen teknolojiyle beraber günümüzde kazıklara uygulanan yükleme deneyleri ile kontrol edilebilmektedir.

Geoteknik mühendisliğinin en önemli alanlarından biri de temel mühendisliğidir. Temel mühendisliği bölümü oldukça eskiye dayanmakla birlikte önemini gelişen bilim ve teknolojiyle birlikte son yüzyılda arttırmıştır.

Şehirlerin gelişimiyle sıklaşan yapılarda, enerji ve sanayi sektörünün gelişimiyle geoteknik mühendisliğinde bilimsel gelişmelere olan ihtiyaç artmıştır. Bu konuda çeşitli temel sistemleri geliştirilmiştir. Yüzeysel ve derin temelleri bunlara örnek olarak verebiliriz. Bu sistemler de kendi aralarında çeşitlendirilebilir.

Derin temeller enerji yapılarında ve yüksek binalarda oldukça yaygın olarak kullanılır. Derin temel sistemlerinden ülkemizde en yaygın olarak yerinde dökme betonarme kazıklar kullanılır. Bir diğer adıyla fore kazıklar yüksek torklu hidrolik makineler yardımıyla genellikle donatılı olarak imal edilirler.

Fore kazıkların tasarımında, yapılacak yüksek binanın bulunduğu bölgede yapılan zemin araştırmalarına ve binadan fore kazıklara gelecek olan yüklere göre fore kazıkların çapları ve boyları belirlenir. Belirlenen çap ve boylarda taşıma gücü hesabı yapılır. Bugüne kadar derin temeller için çeşitli taşıma gücü hesapları geliştirilmiştir. Bu hesap yöntemleriyle fore kazıkların taşıyacağı yük belirlenir ve binadan gelen yükleri taşıyabilecek şekilde fore kazık tasarımı yapılır. Proje uygulamasından önce ise sahada yükleme deneyi için deney kazıkları imal edilir. Bu kazıklar üzerinde yükleme deneyleri yapılarak kağıt üzerinde yapılan taşıma gücü hesaplarının doğruluğu test edilir. Deney kazıklarına uygulanan yükün, kazık tasarım



taşıma gücünün 3 katı olması önerilmektedir. Bazı uygulamalarda daha yüksek değerlere de çıkılabilir. Yüksek taşıma gücüne sahip kazıklarda ekonomi sağlamak için kazığın göçme yüküne kadar yüklenmesi daha uygun olur. Böylece kazıkların toplam taşıma gücü daha doğru elde edilerek tasarım taşıma gücü hesaplanabilir. Zemin özellikleri ile belirlenen kazık tasarım taşıma gücü deneyden elde edilen sonuçlara göre düşük çıkması durumunda kazık tasarım gücü yükseltilecek ekonomi sağlanmış olur.

Statik yükleme deneyleri proje kazıklarına da uygulanabilmektedir. Yalnız proje kazıklarına uygulanan deney yükü kazık tasarım taşıma gücünün 1,5-2 katı olmalıdır. Bu durumda kazıklarda büyük olasılıkla göçme gözlemlenmeyecektir. Bu deneyler kazığın tasarım taşıma gücünün kanıtlanması için yapılmaktadır. Bazı yöntemlerle de kazık nihai taşıma gücü elde edilebilmektedir.

İmal edilen deney kazığının veya proje kazığının zeminle olan etkileşimini belirlemek amacıyla yapılan kalite kontrol deneylerinden biri de dinamik yükleme deneyleridir. Dinamik yükleme deneyleri ile kazık nihai taşıma gücü hesaplanabilmekte ve kazıklarda yük-oturma eğrileri çizilebilmektedir.

## 2. KAZIK TEMELLER

Kazık temeller; düşey doğrultudaki yükler ile rüzgar, deprem ve benzeri üst yapıya etkiyen yanal yüklerin temel zeminine aktarılmasında kullanılan, çelik, beton veya ahşap malzemeden imal edilmiş olan yapı elemanlarıdır. Diğer bir tanım ile üst yapı yüklerinin bir bölümü ya da tümünü zemin yüzeyinden daha derinlerdeki sağlam tabakalara aktaran derin temel sistemleri olarak nitelendirilebilmektedir.

Kazıklı temellerin yapı güvenliği için gerekli oldukları bazı koşullar aşağıda sıralanmaktadır:

- Üstyapıların ağır yüklerini zayıf zemine taşıtabilmek amacıyla kullanılabilir.
- Yüksek sıkışma beklentisine sahip zeminlerde oturma sorunlarını sınırlandırmak amacıyla kullanılabilir.
- Kaldırma ve döndürme kuvvetlerine karşı kullanılabilir.
- Zemin hareketlerini kontrol amacıyla kullanılabilir.
- Temel zemininde gerçekleşecek şişme ve büzölmeye karşı kullanılabilir.
- Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin; rüzgar ve deprem yükü gibi yanal etkilerini karşılama amacıyla kullanılabilir.
- Su ile temas ettiğinde kabaran veya birden çökme gösteren zeminlerde yer alan üst yapı yüklerinin, aktif zon diye tanımlanacak bölgenin dışına aktarılması amacıyla kullanılabilir.
- Kuleler, deniz platformları ve yeraltı suyu altındaki radyeler gibi su üstü yapılarında yapı yükünü zemine ulaştırmak amacıyla kullanılabilir.
- Köprü kenar ayaklarının ve orta ayaklarının erozyon nedeniyle temel altının oyulmasına karşı kazıklı temel kullanılabilir.
- Kohezyonsuz ya da kohezyonu düşük zeminlerin sıkı hale getirilerek iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilir.

Kazıklar ve kazıklı temeller tarih öncesinden beri kullanılmaktadır. İsviçre'nin neolitik canlılarının günümüzden 12000 yıl önce sığ göl tabanlarında ahşap kazık çakarak üzerlerine barınak inşa ettikleri bilinmektedir. Büyük İskender M.Ö.332'de Tyre şehrinde kazıklar çakmış ve Romalılar kazıkları büyük çapta kullanmışlardır.

Çin’de Hun İmparatorluğu (M.Ö.200-M.S.200) zamanında köprü yapımcıları da kazıklar kullanmıştır. Bu eski yapıcılar kazıklarını zemine el ile kaldırılıp düşürülen ağırlıklar kullanarak çakmışlardır (Chellis, 1961). Ortaçağ’da daha büyük ağırlıkları kaldırıp çakmak için makaralar ve kaldıraçlar kullanılmıştır. 1890 öncesi kazık malzemesi ağaç olduğundan uzunluk ve kapasite sorunu vardı. Neyse ki 1890’larda çeliğin ve donatılı betonun geliştirilmesi daha büyük ve daha güçlü kazıkların yapımına olanak sağlamış ve daha iyi çakma cihazları kazıkların daha iyi çakımını mümkün hale getirmiştir. Bu gelişmiş temeller olmadan bugünün büyük yapılarının çoğu mümkün olmazdı. Günümüzde kazık temeller uygunsuz ortamlarda bile çok büyük yükleri taşıyabilirler. En etkileyici örnek ise denizdeki petrol platformlarıdır. Bunlar 3 m kadar büyük çaplarda olup, rüzgâr, dalga ve deprem kuvvetleri nedeni ile büyük yanıl yüklerle karşı koymaları gerekir (Mollamahmutoğlu ve Kayabalı, 2005).

Kazık yapımı inşaat mühendisliğinin en zor uygulamalarından biridir. Kazık yapımı, kazık yapılmasına karar verildiği andan son kazık yapılana kadar devam eden bir uzlaşma sürecidir. Kazık yapımının üstlenilmesini zorlaştıran çok sayıda etken vardır. Bu etkenler şöyle sıralanabilir:

- Arazi profili ve zemin özellikleri hakkındaki bilgilerin yetersizliği.
- İşin kontrolünü üstlenenlerin kazık yapımındaki amaçları yeteri kadar anlamamış olması.
- Kazık yapımına uygulanabilecek veya açık yazılmış şartnamelerin bulunmayışı.
- Hava koşullarının dikkate alınmaması, inşaat malzemelerinin temininde güçlüklerin olması (Turan, 2006).

Kazıklı temellerin, kaç adet kazıktan oluşacağı; üst yapı statik ve dinamik yüklerine, geometrik boyutları, malzeme cinsleri ve yapım türleri ise zemin tabakalarının mukavemet parametrelerine ve buna bağlı olarak belirlenen zemine yük aktarma biçimlerine bağlıdır (Üzel, 2011).

## **2.1. Kazıkların Sınıflandırılması**

Kullanılabilir tüm kazık literatürü kazıkların farklı yollardan sınıflandırıldığını göstermektedir.

Kazıklar;

- a) İmal edildikleri malzemeye göre,
- b) Yapım metoduna göre,
- c) İmalatı sırasında zeminlerde oluşan zorlama türlerine göre,
- d) İmalat ve zemin içerisine yerleştirme yöntemine göre,
- e) Yükleri taşıma ve iletme şekillerine göre,

beş ayrı kategoride incelenir.

### **2.1.1. İmal edildikleri malzemeye göre sınıflandırma**

Kazıklar imal edildikleri malzemeye göre 6 kategoride incelenebilir.

#### **2.1.1.1. Ahşap kazıklar**

Hafif oldukları için kolay nakledilebilen ahşap kazıklar genellikle geçici çözümlerde kullanılırlar ve büyük yükleri taşıyamazlar. Bu kazıklar zemine çakılırlar ve taşıdıkları yük ahşap malzemesinin basınç dayanımıyla sınırlıdır.

$$Q_a = (A_p) \times (f_w) \quad (2.1)$$

$A_p$  = Kazık kesit alanı

$f_w$  = Ahşabın emniyetli basınç dayanımı

$Q_a$  = Kazık tasarım taşıma gücü

Zemin parametrelerine bağlı olarak da kazık tasarım taşıma gücü elde edilir ve zemin parametrelerinden elde edilen değer ile basınç dayanımından elde edilen değer in küçük olanı tasarımda kullanılır (Mert, 2012).

Özellikle killi zeminlerde, kazık ile zemin arasında iyi bir adhezyon sağlarlar. Ayrıca su seviyesi altında ömürleri uzundur. Ancak su seviyesi üzerinde yosun ve mantar çürümeye neden olurlar. Çürümeyi önlemek için ahşabın liflerine nüfuz edecek şekilde basınçlı kreozot kullanılmaktadır.

#### **2.1.1.2. Betonarme kazıklar**

Betonarme kazıklar en çok kullanılan kazık tipidir. Yer altı suyundan etkilenmedikleri için ve istenilen boyda yapılabildikleri için diğer kazıklara göre

üstünlük kazanırlar. Betonarme kazıklar; prefabrik kazıklar ve yerinde dökme betonarme kazıklar olmak üzere ikiye ayrılır.

Prefabrik kazıklar: İmalatı önceden prekast sahalarında yapılan betonarme kazıklardır. İmal edildikten sonra sahaya getirilirler ve burada zemine çakma işlemi gerçekleştirilir. Bundan dolayı genellikle bu kazıklara “Çakma Kazıklar” da denir. Maliyetine ve işlevliğine bağlı olarak sahada da imal edilebilirler. Genellikle kare, ortogonal veya dairesel kesitlere sahiptir. Uç kısmı koni biçiminde olabildiği gibi kazık imalat metoduna bağlı olarak düz yüzey de kullanılabilir.

Genellikle dairesel kesitli olarak imal edilirken prefabrik betonarme kazıklar, çakma işleminden sonra kazık içindeki boşluklar betonla doldurulur. Böylece donma etkisine ve çatlaklara karşı önlem alınmış olur.

Yerinde dökme kazıklar: Zeminde çeşitli delme teknikleri kullanarak veya zemine boş bir boru çakılarak oluşturulan deliğe, hazırlanan donatının konarak betonla doldurulması yolu ile imal edilen kazıklardır. Fore kazık olarak da adlandırılırlar. İmalat çeşidine göre boru beton dökümünden sonra kuyuda bırakılabilir veya kuyudan çıkartılır. Zemin kendini tutabiliyorsa ve yeraltı suyu mevcut değilse borusuz yapılabilir.

Yerinde dökme betonarme kazıkların birçok çeşidi vardır. Bunlar arasından birisinin seçilmesinde, kazık çakılacak arazinin geoteknik özellikleri ve o tip kazığın imal olanakları rol oynar. TS3168, uzunluklarına göre yerinde dökme betonarme kazıkların çaplarının en küçük değerlerini vermektedir. Yerinde dökülen betonarme kazıkların en küçük çapları Tablo 2.1’de verilmektedir (Mert, 2012).

Tablo 2.1. Yerinde dökme betonarme kazıkların en küçük çapları

Kazık Boyu L(m)	En Küçük Kazık Çapı D(mm)
$L \leq 10$	300
$10 < L \leq 15$	350
$15 < L \leq 20$	400
$20 < L \leq 30$	500

Yerinde dökme betonarme kazıkların bütününe etkileyen nedenler şöyle sıralanabilir:

- 1) Beton kalitesi yetersizdir. Dökülmesi sırasında beton segregasyona uğramış ve bu yüzden mukavemeti düşmüştür.
- 2) Öngörülen kazık kesiti sağlanamamıştır. Beton içine yabancı madde karışmış, kılıfın hızlı çekilmesi yüzünden su hücumu gibi nedenlerle istenilen kazık kesiti her derinlikte sağlanamamıştır.
- 3) Kazık ucunun oturduğu zeminde örselenme meydana gelmiştir. Kazık çukurunun açılması sırasında, kazık ucunun yerleştirileceği zemin örselenmiş veya kazık döküntüleri ile dolmuştur. Kazık ucu altındaki örselenme, geniş bir kesimi kapsıyor olabilir.
- 4) Donatı kafesi yerinde değildir. Yerinde dökme betonarme kazıklarda imalat sırasında kullanılan kaplama borusu, bazı kazık tiplerinde zemin içerisinde bırakılır, bazı tiplerde ise kazık betonlandıktan sonra zeminden çıkarılır.

#### **2.1.1.3. Çelik kazıklar**

Çelik kazıklar H kesitli, I kesitli veya dairesel kesitli olabilir. Çelik kazıkların boyları istenilen ölçülerde kolaylıkla hazırlanabilir. Dairesel kesitli yani boru şeklinde olanlarının ucu kapalı veya açık olabilir ve genellikle içleri betonlanır. Bu kazıklar yüksek yük taşıma kapasitesine sahip uç kazıkları olarak kullanılabilirler. Yüksek yük taşıma gücüne sahip dairesel kesitli çelik kazıklar iskele ve köprü temelleri altında kullanılırlar. Dış etkilere karşı korumak için dışları bitümlü maddelerle kaplanabilir, katodik koruma yapılabilir veya beton gömlek içine alınabilir.

#### **2.1.1.4. Kompozit kazıklar**

Birden fazla farklı malzeme kullanılarak yapılan kazıklardır. Bu tip kazıklar, genellikle alt kısmı ahşap üst kısmı da beton veya çelikten oluşan kazıklardır. Ahşap kısım, çürümeden etkilenmeyeceği derinliklere yani yeraltı su seviyesinin altına kadar açılır. Sonra üst kısım betonlanarak, şartlara göre gereğinde kaplama borusu yerinde bırakılarak yapılır. Bu tip kazıkların uygulama alanı çok yaygın değildir.

### **2.1.1.5. Özel kazıklar (Mini kazıklar)**

Mini kazıklar 10-25 cm çapında olup foraj yolu ile açılan deliğin basınç altında, gereğinde teçhizatlaşarak, betonlaştırılmasıyla oluşturulurlar. Bu kazıkların taşıma gücü yüksek olabilmelerine karşın moment taşıma kapasiteleri sınırlıdır.

### **2.1.1.6. Kum kazıklar**

Kum kazıklar fore kazık veya çakma kazık tekniği ile imal edilen ancak demir ve betonun kullanılmadığı tipte kazıklar olup daha çok zemin iyileştirmelerinde kullanılmaktadır.

### **2.1.2. Yapım metoduna göre sınıflandırma**

Prefabrik kazıklar veya yerinde dökme kazıklar (fore kazıklar) olmak üzere iki grupta incelenir.

### **2.1.3. İmalatı sırasında zeminlerde oluşan zorlama türlerine göre sınıflandırma**

Kazıkları imalat esnasında zeminlerde meydana gelen zorlama türlerine göre 4 başlıkta inceleyebiliriz:

- 1) Büyük deplasman kazıkları: Yerleştirme sırasında çakma, kılıfla itilen veya vibrasyonla yerleştirilen kazıklardır. Bu tip kazıklara; ahşap çakma kazıklar, prefabrike betonarme kazıklar, öngermeli betonarme kazıklar, ucu kapalı çelik boru veya beton boru kazıklar örnek verilebilir.
- 2) Küçük deplasman kazıkları: H kesitli, çelik vida kazıklar, ucu açık veya kutu kesitli çelik kazıklar çakma sırasında uçlarında bir tıkaç oluşturmuyorsa zeminde çok az yer değiştirmeye neden olurlar.
- 3) Deplasman yaratmayan kazıklar: Fore kazıklar olarak bilinen ve zeminde öncelikle kazığın yerleşeceği hacimdeki zemin alınarak yani bir sondaj deliği açılarak bu deliliğin içine ya yerinde dökme kazık beton ya da prefabrik kazık yerleştirilmek biçimiyle imal edilen kazıklardır. Burada kazığın içine yerleşeceği zemin önceden kazılmış olduğu için kazık imal edilirken zeminin ötelenmesi veya sıkışması söz konusu olamaz.

4) Kompozit kazıklar: Büyük deplasman kazıkları, küçük deplasman kazıkları ve deplasman yaratmayan kazıkların aralarındaki kombinasyonlar sonucu imal edilen kazık türleridir.

#### **2.1.4. İmalat ve zemin içerisine yerleştirme yöntemine göre sınıflandırma**

- 1) Hazır çakma kazıklar.
- 2) Yerinde dökme çakma kazıklar.
- 3) Delinip yerinde dökme kazıklar.
- 4) Burgulanarak yerine yerleştirilen kazıklar.
- 5) Su jeti kullanılarak yerine yerleştirilen kazıklar.
- 6) Vibrasyon ile yerleştirilen kazıklar (Şen, 2006).

#### **2.1.5. Yükleri taşıma ve iletme şekillerine göre sınıflandırma**

Üstyapıdan kazıklara aktarılan yüklerin bir kısmı sürtünme kuvveti ile taşınırken kalan kısmı uç direnci ile taşınmaktadır. Uç kısmının ya da kazık çevresinin taşıyacağı yük zemin tipine bağlı olarak tayin edilebilir. Buna göre yükleri taşıma ve iletme şekillerine göre;

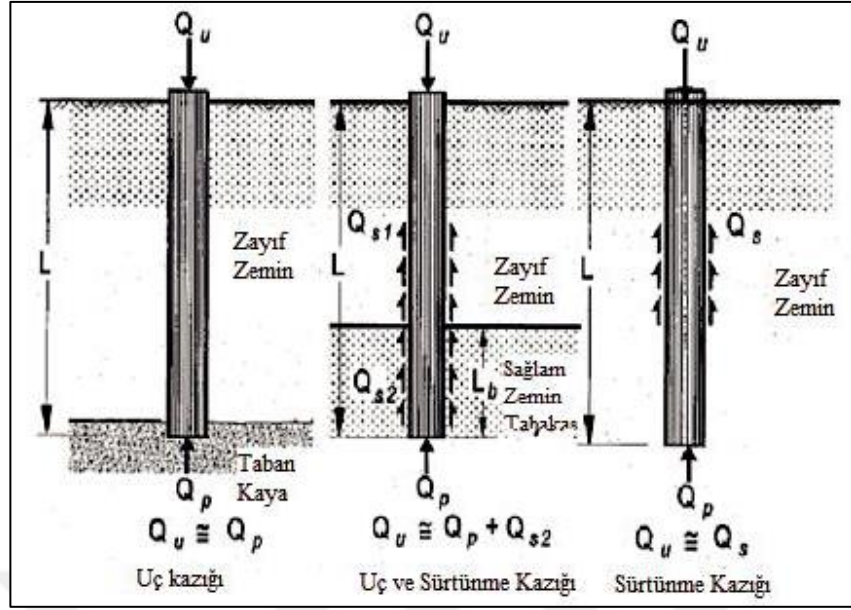
- Uç kazığı,
- Sürtünme kazığı,

olmak üzere 2 grupta inceleyebiliriz.

##### **2.1.5.1. Uç kazığı**

Arazide gerçekleştirilen zemin etütlerinde, yeterli derinlikte sağlam zemine rastlanması durumunda, kazıklar bu sağlam zemine ve hatta ana kayaya kadar uzatılabilmektedir (Şekil 2.1). Bu durumda kazığın taşıma gücü tamamen uç direncinden oluşur. Bu kazıklara “uç kazığı” adı verilmektedir. Tekli ve çoklu uç kazıklarında, kazık ucu altındaki gerilme dağılımları Boussinesq metodu ile yapıldığında Şekil 2.3’deki gerilme soğanları oluşmaktadır.





Şekil 2.1. Yük taşıma biçimlerine göre kazıklar (Candoğan, 2008)

Uç direnci formülü: Terzaghi ve Meyerhof'un yüzeysel temeller için taşıma kapasitesi denkleminde, genişlik yerine çap yazılırsa;

$$q_u = q_p = c' N_c^* + q N_q^* + \gamma N_\gamma^* \quad (2.2)$$

Çap küçük olduğu için üçüncü kısmı ihmal edebiliriz. Bu durumda;

$$q_u = c' N_c^* + q N_q^* = q_p \quad (2.3)$$

Bu denklem bize uç direncini verir;

$$q_p = A_p \times q_p = A_p (c' N_c^* + q N_q^*) \quad (2.4)$$

Burada;

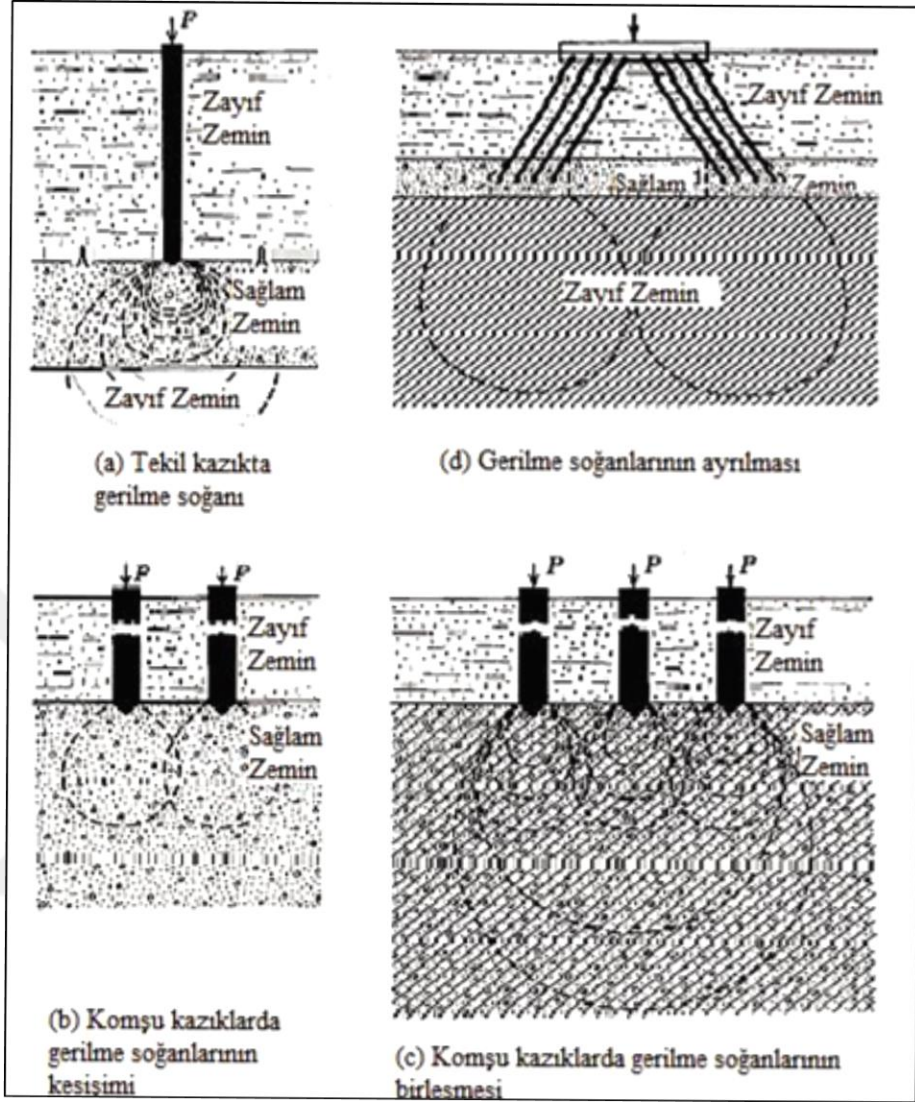
$A_p$  : Kazık ucunun kesit alanı

$c'$  : Kazık ucundaki zemine ait kohezyon değeri

$q$  : Kazık uç seviyesindeki efektif düşey gerilme

$q_p$  : Birim uç mukavemeti

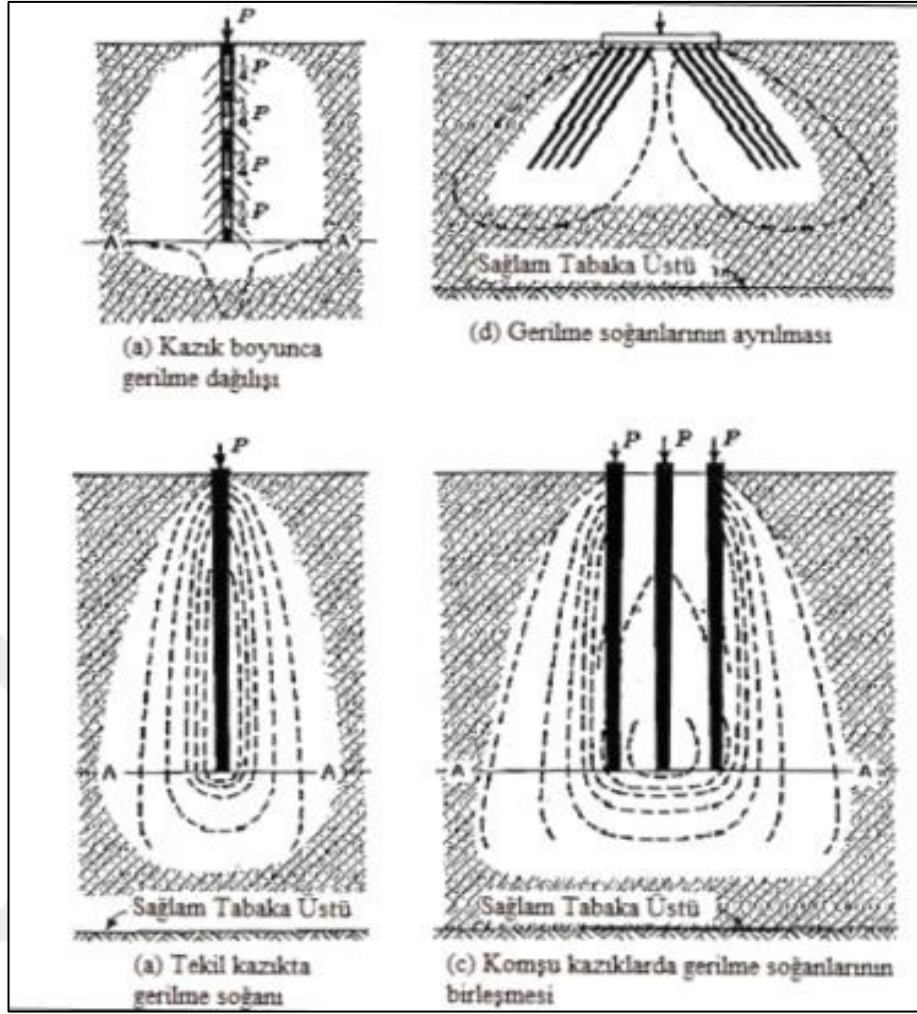
$N_c^*, N_q^*$ : Kazık uç kapasite faktörleri



Şekil 2.2. Uç kazığı gerilme dağılımları (Leonards, 1962)

### 2.1.5.2. Sürtünme kazığı

Kazık uygulaması yapılacak olan sahada kaya ile karşılaşılmamışsa veya çok derinde karşılaşmışsa, uç kazık tasarlanması çok uzun ve yüksek maliyetli olacağından tercih edilemeyecektir. Kazık taşıdığı yükü zemine yüzey sürtünmesi vasıtası ile aktaracaktır. Yükün önemli bir kısmı kazığın etrafındaki çevre sürtünmesi ile taşınması durumunda (Şekil 2.3) bu tür kazıklara “sürtünme kazığı” denir.



Şekil 2.3. Sürtünme kazıklarında gerilme dağılımı (Leonards, 1962)

Sürtünme kazıkları bazen yüzen kazıklar olarak da bilinir. Bu tür kazıklar kum çakıl gibi granüllü zeminlerde çakılırsa bunlara sıkıştırma (kompaksiyon) kazığı denir.

## 2.2. Kazık Seçimine Etkiyen Faktörler

Uygun kazık tipinin seçimi üç ana etkene dayanabilir:

- 1) Yapının konumu ve tipi
- 2) Zemin koşulları
- 3) Durabilite

Kazık tipi seçimini etkileyen faktörler ayrıntılı olarak aşağıdaki gibi verilebilir:

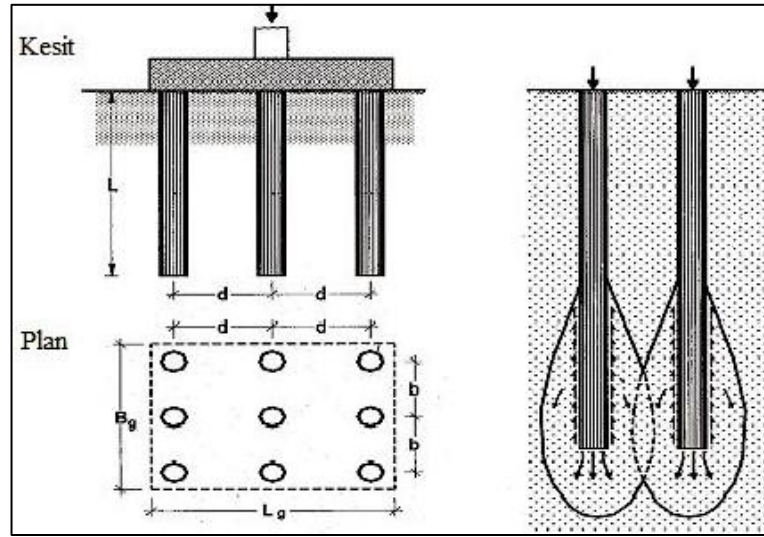
- Maliyet,
- Mevcut zemin şartlarında, her tipin emniyetle taşıyacağı yük,
- Uygulama ve imalat hızları,

- Kazık başlarının kolay kesilmesi veya uygun olarak emniyete alınması,
- Gerekli görüldüğü durumlarda kazık sayısının artırılabilme kolaylığı,
- Eski yapıya ilave kazık yapılması durumunda, önceden yapılmış kazıkların tipi,
- Eğik kazık gerektiğinde, kazığın belli açıda teşkil edilebilme kolaylığı,
- Uygulamacıların iş tecrübesi.



### 3. KAZIKLARDA GRUP ETKİSİ

Yapısal yükü zemine aktarmak amacıyla temel altı kazıklar genellikle grup olarak tasarlanır ve kullanılır. Teori ve testler özellikle killi zeminlerde inşa edilen grup sürtünme kazıklarının toplam taşıma gücünün, tek kazığın taşıma gücünün toplam kazık adedi ile çarpılmasından elde edilen değerden düşük olduğunu göstermektedir. Taşıma gücündeki azalma kazık çapı, boyu ve aralığına bağlı olarak değişmektedir. Uç kazıkları için grup etkisinden ötürü taşıma gücü kaybı söz konusu olmamaktadır. Hem uç hem de sürtünme kazığı olarak çalışan kazıklarda ise taşıma gücü kaybı sadece sürtünme direncinde dikkate alınmaktadır. Şekil 3.1’de görülen gerilme dağılımlarının kesişmesi, taşıma gücü kaybına neden olmaktadır. En ideal çözüm grup kazıklarda taşıma gücü kaybına neden olmayacak şekilde aralık belirlemektir. Uygulamada iki kazık arası minimum mesafe merkezden merkeze, granüler zeminlerde kazık çapının 2,0 katı, kohezyonlu zeminlerde ise 3,0 katı alınmaktadır (Tomlinson, 1977; Brown, 2006).



Şekil 3.1. Kazıklarda grup etkisi (Das, 2007)

Diğer yandan grup kazıklarda, her bir kazık için çalışma yükünü azaltmak yerine kazık boyunu arttırarak kazık kapasitesini arttırmak ve azaltma faktörü uygulandığında istenilen kazık kapasitesine ulaşmak genellikle daha ekonomik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (Leonards, 1962; Das, 2004).

Kazıklarda grup etkisinin verim hesabı yapabilmek için çeşitli ampirik ve yarı ampirik formüller vardır. Bu formüller, kazıklar arası etkileşim nedeni ile grup içindeki kazıkların taşıma güçlerinde meydana gelen azalmayı saptamak amacı ile geliştirilmişlerdir. Genelde, yalnızca kazık–kazık etkileşimi düşünülmüş ve zemin özellikleri göz önüne alınmamıştır.

### 3.1. Kazıklarda Verimlilik Formülleri

#### 3.1.1. Converse-Labarre formülü

Başlıcası ve en çok kullanılan olan Converse-Labarre formülü aşağıda verilmektedir.

$$\eta_{\varepsilon} = 1 - \frac{\theta(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.1)$$

$\theta$  : arctg (d/s); (derece )

d : Kazık çapı

m : Gruptaki kazık sırası sayısı

n : Bir sıradaki kazık sayısı

s : Kazık aralığı

#### 3.1.2. 1/8 etkileşim kuralı

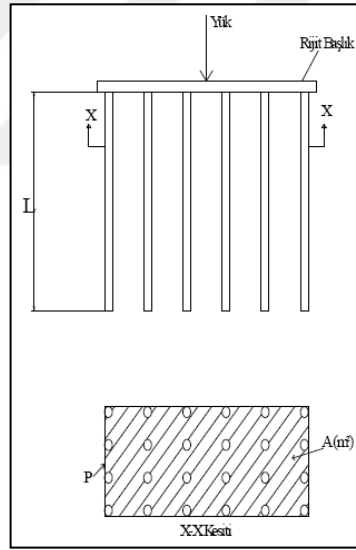
Bu kuralı kimin ortaya attığı bilinmemektedir. Kurala göre grup içindeki belirli bir kazığın taşıma gücünü azaltmak için önce her komşu kazık için bir adet (1/8) sayısı kazık çapı / kazık aralığı (d/s) oranı ile çarpılır. Bu çarpımdan elde edilen rakam ile kazığın taşıma gücü çarpılır ve etkilenmiş taşıma gücü böylece bulunur. Dikdörtgen ızgara üzerindeki m ve n adet kazıktan meydana gelen bir grup için verim ( $\eta$ ) aşağıdaki formül ile ifade edilebilir:

$$\eta = 1 - \left[ \frac{12 + 10(m-2) + 10(n-2) + 8(m-2)(n-2)}{8mn} (d/s) \right] \quad (3.2)$$

Bu formül ile hesaplanan verim, kazıkların tek tek taşıma güçlerinin toplanması ile bulunan değerle çarpılarak grup taşıma gücü ile bulunur. Bu formüllerde de, yalnızca kazık-kazık etkileşimi düşünülmüş ve zemin özellikleri göz önüne alınmamıştır (Üzel, 2011).

### 3.1.3. Terzaghi blok yaklaşımı

Kazıklı bir temelin aynen bir “blok derin temel” olarak davranacağı (Terzaghi ve Peck, 1967) varsayımından hareket ederek bir hesap yöntemi geliştirmişlerdir. Yukarıda 3.1.1 ve 3.1.2 başlıklarında nakledilen hesap yöntemlerinin, zemin özelliklerini hesaba katmamakta olduğu açıklanmıştı. Terzaghi ve Peck yöntemi zemin özelliklerini de hesaba katar. Kazıklı bir temelin blok halinde davranması; her zaman olası bir durum değildir ve bu davranışı önemli ölçüde kazık aralığı etkiler. Temelin hangi kazık aralığındaki aşamada blok temel davranışından tek kazık davranışına geçeceği sorusuna kolayca cevap vermek kolay değildir. Bu soruya her durumda geçerli olabilecek hazır bir cevap bulunamaması nedeniyledir ki; Terzaghi ve Peck tek kazığın göçmesi ile blok temelin göçmesi durumları ayrı ayrı göz önüne alan bir yaklaşım önermişlerdir. Aşağıda görüleceği gibi bu yaklaşımı içinde iki adımlı bir çözüm takip edilir.



Şekil 3.2. Kazıklarda grup etkisi (Terzaghi ve Peck 1967)

Yöntem Şekil 3.2'ye bakılarak ve aşağıdaki kabuller ile şöylece açıklanabilir:

- Kazık başlığı rijittir.
- Kazık grubu içindeki zemin kazıklarla beraber bir blok olarak davranır.

Terzaghi-Peck metodunda, kazık grubu derin bir temel gibi düşünülerek toplam taşıma gücü bulunur. Blok çevresi ve tabanındaki kuvvetlerin dengesi göz önüne alınırsa aşağıdaki gibi ifade elde edilir:

$$Q_s = P \times L \times s + A \times q_f - A \times L \times \gamma \quad (3.3)$$

Burada;

s : Kazık bloğunu çevreleyen zeminin ortalama kayma mukavemeti,

L : Zemin içinde kalan kazık boyu,

P : Kazık grubunun plan görünümdeki toplam çevre uzunluğu,

A : Kazık grubunun plan görünümündeki alanı,

$\gamma$  : Zeminin birim hacim ağırlığı

Killi zeminler için ifadesinde görülen  $q_f$  (Kazığın oturduğu derinlikteki taşıma gücü):

$$q_f = (1,3) \times (c) \times (N_c) + (\gamma) \times (L) \quad (3.4)$$

olarak alınabilir.

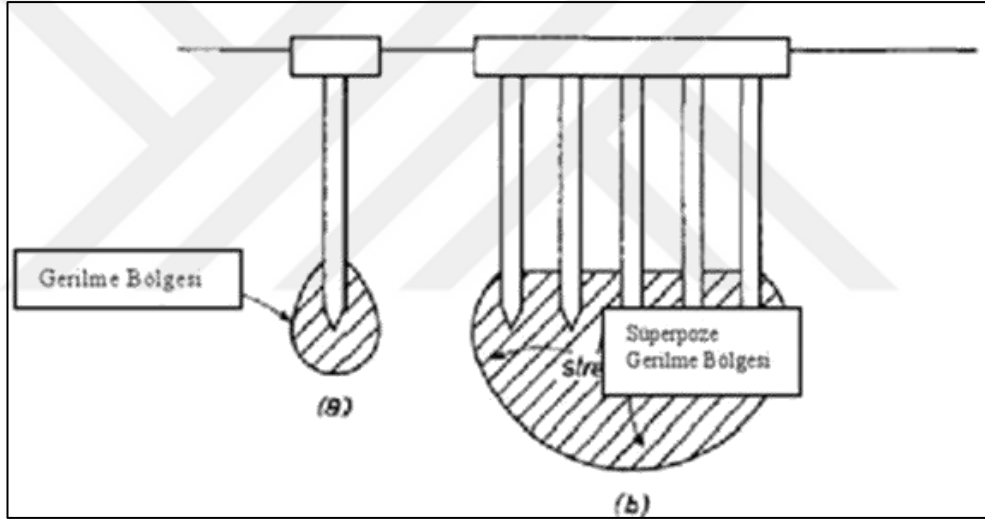
Kuma çakılmış kazık grubu kazığın çevresinde bulunan zeminde kazık çapının en az üç katı mesafede kompaksiyon etkisi yaratır ve güçlendirme sağlarlar. Kazık grubunun genişliği tekil kazığinkinden büyük olacağından göçme yükü artma eğilimi gösterecektir.



## 4. KAZIKLARDA OTURMA

### 4.1. Kazık Gruplarının Oturması

Kazık gruplarında birincil oturmalar sonucunda ortaya çıkan oturma değerleri, grubu oluşturan tekil kazıkların oturma değerlerinden fazla olacaktır. Bunun sebebi ise; kazıkların zemine aktardıkları gerilmeleri, kazık gruplarına göre çok daha derin bir alana iletmeleridir (Şekil 4.1). Burada aktarılan gerilmeden dolayı süperpozisyon olur ve kazık taşıma kapasitesinde tekil kazıklara göre azalmalar olurken, oturmalarda artışlar olmaktadır (Das, 1999).



Şekil 4.1. Kazık gruplarında oluşan gerilmelerin süperpozisyonu (Tomlinson, 2004)

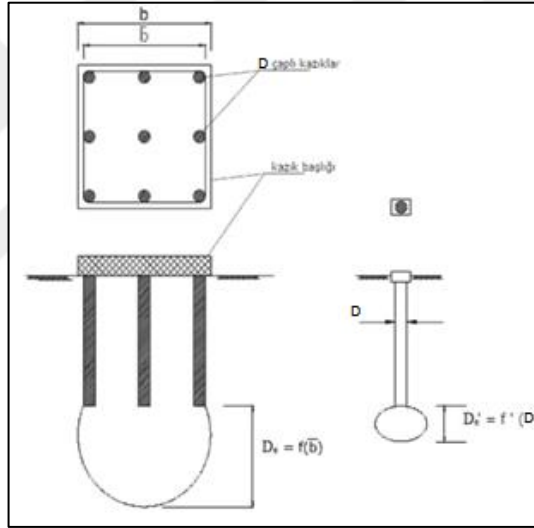
Kazık gruplarının oturmalarında kullanılan birçok farklı yöntem aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- 1) Ampirik formüllere dayanan yöntemler (Vesic, 1970; Meyerhof, 1976),
- 2) Yapı zemin etkileşimini ve gerilme süperpozisyonunu dikkate alan yaklaşımlar (Poulos ve Davis, 1980),
- 3) Tekil kazıklara ait yük-oturma grafiklerini grup etkileşim faktörleri yardımıyla değiştirmeye dayanan yaklaşımlar,
- 4) Kazık grubuna etkiyen ortalama yük altında bir adet kazığın oturmasının oturma oranı  $R_s$  ile çarpılarak grup etkisini göze almaya dayanan yaklaşımlar,

- 5) Kazıkların yüzeyden itibaren belirli bir derinlikte yer alan bir radye temel tarafından sembolize edilebileceği varsayımına dayanan eşdeğer radye yöntemi,
- 6) Kazık grubunun ve arasındaki zeminin bir bütün olarak algılanarak grubun bir tekil kazık gibi çözümlenmesine dayanan blok yöntemi,
- 7) Sonlu elemanlar metodu ve sonlu farklar metodu gibi nümerik yöntemler.

#### 4.1.1. Kohezyonsuz zeminlerde kazık grubunun oturması

Kohezyonsuz zeminlerde, her bir kazığa eşit yükleme yapılması koşulu ile kazık grubunun oturma miktarı ( $S_g$ ), normal olarak tek kazığın oturma ( $S_t$ ) miktarından büyüktür. Bunun sebebi kazık grubunun daha derin ve daha büyük bir alana etkimesidir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Kazık etki alanları, grup kazık etki alanı ve tek kazık etki alanı (Prakash ve Sharma, 1990)

Grup oturma miktarının dizaynı amacı ile en basit yöntem Vesic (1977) tarafından önerilmiştir.

$$S_g = S_t \sqrt{\frac{\bar{b}}{D}} \quad (4.1)$$

$\bar{b}$  = Kazık grubu genişliği

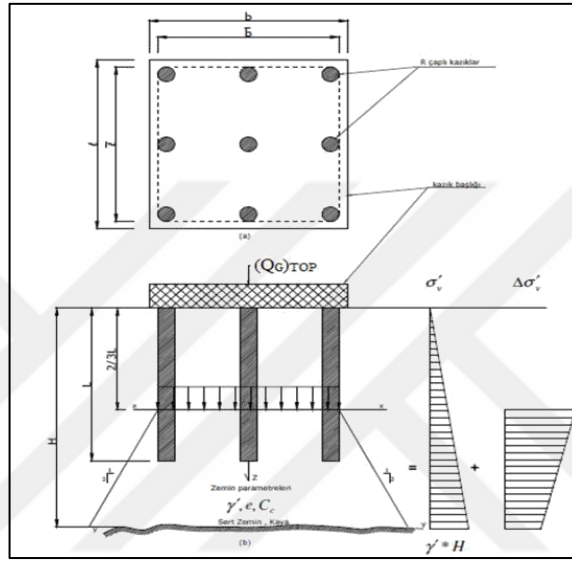
$D$  = Bireysel kazık çapı

$S_g$  = Kazık grubunun oturma miktarı

$S_t$  = Hesaplanmış ya da deney ile belirlenmiş tek kazık oturma miktarı

#### 4.1.2. Kohezyonlu zeminlerde kazık grubunun oturması

Kohezyonlu zeminlerdeki üniform yükler altındaki oturma miktarı kesit alan ile doğru orantılıdır. Kazık grubunun kohezyonlu zeminlerdeki oturma hesabı için, elastik oturmanın hesabı gibi elastik oturmanın yanında konsolidasyon oturması hesabı da dikkate alınmalıdır. Konsolidasyon oturma miktarının hesaplanmasının en basit yolu Şekil 4.3'te gösterilmiştir (Yazıcı, 2013).



Şekil 4.3. Kohezyonlu zeminlerde sürtünme kazıklarında oturma hesabı için gerilme dağılımı (Vesic, 1977)

- $q_{all}$ , zemin yüzeyinden  $2/3L$  derinliğine taşınan zemin basıncıdır. Bu derinlikteki zemindeki oturma ihmal edilecek kadar küçüktür.
- $q_{all}$ , zemin basıncı  $(H-2/3L)$  kalınlığındaki kil tabakasının üstüne uygulanmaktadır.

Bu kabullere dayanarak  $(\Delta H)$  konsolidasyon oturması;

$$\Delta H = [C_c / (1 + e_0)] \times [H - 2/3L] \times \log \left[ \frac{\delta'_v + \Delta \delta'_v}{\delta'_v} \right] \quad (4.2)$$

$\Delta H$  : Konsolidasyon oturması

$\delta'_v$  :  $(H-2/3L)$  tabakasının tam ortasındaki mevcut efektif basınç,

$\Delta \delta'_v$  :  $(H-2/3L)$  tabakasının tam ortasındaki kazık yükü ile artan efektif basınç

$C_c$  : Konsolidasyon katsayısı

$e_0$  : İlk boşluk oranı

## 5. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ VE FLAC

### 5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar (SE) Yöntemi, karmaşık ve elle hesaplanması oldukça zaman alan, hatta imkânsız olan mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Bu yöntem esas olarak fiziksel bir sistemin matematiksel olarak ifade edilmesine dayanır. Buna göre değişik ve karmaşık geometriye sahip sistemler, çok sayıda basit geometriye sahip parçacığa bölünerek bu parçacıkların ayrı ayrı çözülmesi suretiyle analiz edilir. Bu aşamada sistem parçalanırken esas sistemde yer alan süreksizlikler dikkate alınmalıdır. Örneğin; farklı malzeme özelliklerine sahip geometriler kendi içerisinde parçalara ayrılmalıdır.

Ayrılan parçalar birbirlerine düğüm noktaları ile bağlanmak suretiyle esas geometriyi oluştururlar ve her bir parça için denge denklemleri yazılarak bilinmeyenler sınır şartları yardımıyla elde edilir. Her elemanın şekli, bu elemanı oluşturan düğüm noktalarının koordinatlarıyla belirlenir. Bu şekilde yapılan analizin bir boyutlu olması durumunda elemanlar doğrusal, iki boyutlu olması durumunda elemanlar kare, üçgen ya da dikdörtgen ve üç boyutlu olması durumunda üçgen prizma, dikdörtgen prizma vb. şekillerden oluşurlar. Her düğüm noktasının belirli bir serbestlik derecesi vardır ve bu serbestlik dereceleri elde edilmesi gereken bilinmeyenleri işaret etmektedir. Çözüm için bir asıl değişken seçilerek tek bir elemanda bu değişkenin davranışı modellenir ve matris hesap yöntemiyle tüm sisteme uygulanarak bilinmeyenler hesaplanır. Elde edilen ana değişkenler yardımıyla ikincil değişkenler elde edilir (Sert, 2003).

Geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi esas olarak deplasmanların hesaplanmasında kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle deplasmanlar ana değişkenleri, deplasmanlar yardımıyla hesaplanan gerilme ve zorlanmalar ikincil değişkenleri belirtmektedir. Bu doğrultuda, sonlu eleman yönteminin işleyişi modelin sonlu elemanlara ayrılması, elemanda yükleme sonucu oluşacak deplasmanları yansıtabilecek deplasman modellerinin seçilmesi, elemanın geometrik ve malzeme özelliklerinden elde edilen denge denklemleri katsayılarını ve minimum potansiyel enerji ilkesinden

faydalanılarak elde edilen katsayıları içeren rijitlik matrisinin oluşturulması ve oluşturulan eleman rijitlik matrislerinin ve yük vektörlerinin toplanarak sistemin bütünü için rijitlik matrisi ve yük vektörünün elde edilmesi şeklinde özetlenebilir.

Tek bir eleman için rijitlik matrisi  $[k]$ , yük vektörü  $\{Q\}$  ve düğüm deplasman vektörü  $\{q\}$  arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilir (Yalçın,2010):

$$[k]x\{q\}=\{Q\} \quad (5.1)$$

Her bir elemanın rijitlik matrisinin toplanması suretiyle elde edilen sistemin rijitlik matrisi  $[K]$ , tüm sistem için düğüm noktaları deplasman vektörü  $\{r\}$  ve toplam yük vektörü  $\{R\}$  arasındaki ilişki ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla açıklanabilir:

$$[K]x\{r\}=\{R\} \quad (5.2)$$

Bu iki eşitliğin çözülmesi için sınır koşullarının belirlenmesi ve bu iki eşitliğin uygun şekilde ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Eşitliklerin çözülmesi ile bilinmeyen ana değişkenler elde edilir. Lineer analizlerde doğrudan çözüm yapılırken, doğrusal olmayan zemin davranışı için analizlerde her bir yük adımında yük vektörleri ve rijitlik matrisleri tekrar oluşturularak çözümlenmektedir. Deplasmanların elde edilmesini takiben gerilme ve zorlanmalar deplasman değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır (Yalçın, 2010).

Sonlu elemanlar yöntemi esas olarak üç ana adımdan oluşmaktadır. Ön süreç olarak adlandırılan ilk adımda, sistemin geometrisi, malzeme özellikleri, yapısal elemanlar ve yükler tanımlanmakta, hesap aşaması olan ikinci aşamada sistem sonlu elemanlara ayrılarak her bir eleman için bilinmeyenler yukarıda bahsedilen şekilde çözülüp düğüm noktalarındaki bilinmeyenlerin toplanması suretiyle tüm sistem için birincil ve ikincil değişkenler elde edilmekte, süreç sonrası olarak adlandırılan son aşamada ise elde edilen birinci ve ikincil değişkenlerin tüm sistem üzerindeki değerleri görülüp izlenebilmektedir (Brinkgreve ve Broere, 2006).

### **5.1.1. Sonlu elemanlar metodunun tarihsel gelişimi**

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve McHenry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik

analiz metotlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) virtüel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından çalışmasında telâffuz edilmiştir. Metodun üç- boyutlu problemlere uygulanması iki-boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleşmiştir (Argyis, 1964).

İlk gerçek kabuk elemanlar aksenal simetrik elemanlar olup (Grafton ve Strome, 1963), bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir (Gallagher, 1969). Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında non-lineer problemlerle ilgilenmeye başladılar. Turner ve diğerleri (1960) geometrik olarak non-lineer problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk Martin (1965) tarafından tartışılmıştır. Statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlandı (Zienkiewicz ve diğ., 1966; Koenig ve Davids, 1969). 1943 yılında Courant bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir.

Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960 'lı yıllarda başlamıştır. Örneğin Zienkiewicz ve Cheung (1965) sonlu elemanlar metodu ile Poisson denklemini çözmüştür. Doctors (1970) ise metodu potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer birçok alana uygulanmaktadır.

Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlandı. 1990 yıllarının ortaları itibarıyla sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40.000 makale ve kitap yayımlanmıştır.

### **5.1.2. Avantajları**

- Bilgisayar kullanılarak çözülebilir (Hız ve optimizasyon sağlar).
- Geliştirilen sonlu eleman formülasyonu birçok probleme uygulanabilir.
- Karmaşık geometri, yükleme, sınır koşulları ve malzeme durumu dikkate alınabilmektedir.
- Seçilen birincil bilinmeyenler (yer değiştirme, akım potansiyeli vs.) ile bunlara

bağımlı ikincil bilinmeyenler (gerilme, şekil değiştirme, akım miktarı, hız vs.) birlikte ele alınmış olacaktır.

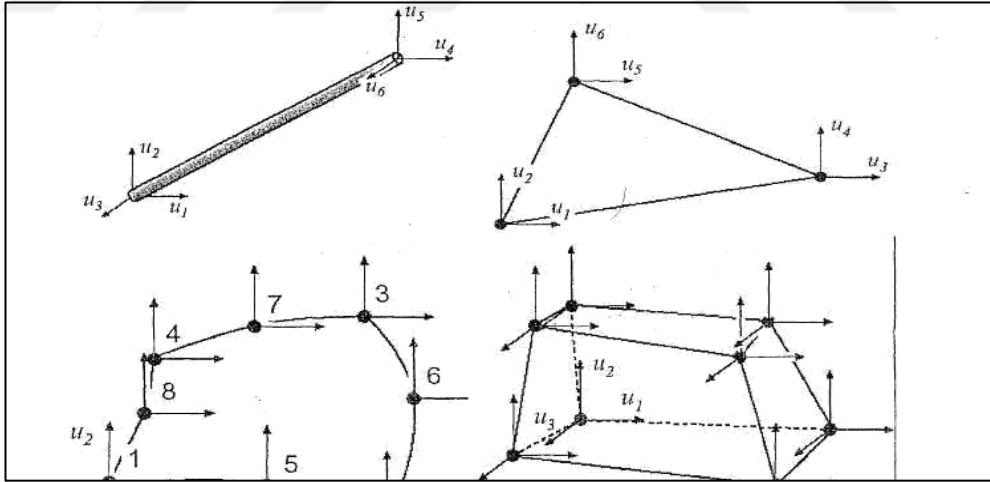
- Bütünleşik problemlerin [gerilme şekil değiştirme (statik) + konsolidasyon (dinamik) gibi] çözümünde kolaylık sağlar.

### 5.1.3. Dezavantajları

- 1) Bilgisayar yardımı ile çözülebilir (belk ve cpu hızı + bilgisayara bağımlılık).
- 2) Yaklaşık bir yöntemdir, yeterli eleman ile gerçek çözüme çok yakın sonuçlar elde edilebilir.

### 5.1.4. Sonlu eleman yönteminde analiz adımları

1. Eleman seçimi ve ortamı elemanlara ayırma:
  - a) Belirlenen esas (birincil) bilinmeyene göre bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu elemanlar seçilir.
  - b) Eğri yüzeyler için eğrisel elemanlar seçilir.
  - c) Gerekli serbestlik derecesi göz önüne alınır.



Şekil 5.1. Eleman tipleri

2. Yaklaşım modeli (veya fonksiyonu) seçimi:
  - a) Bu adımda bilinmeyenlerin ortamda dağılımını veren bir şekil fonksiyonu seçilir.
  - b) Eleman düğüm noktaları, eleman bölgesinde bilinmeyen büyüklüğün (örneğin yer değ.) dağılım şeklini tanımlamak üzere matematiksel bir fonksiyon yazmak için stratejik noktalar sağlar.
  - c) Polinomlar veya seriler bu amaçla kullanılabilir.

$$U=(N_1)x(u_1)+ (N_2)x(u_2)+ (N_3)x(u_3)+\dots+ (N_m)x(u_m) \quad (5.3)$$

d) u=düğüm noktası bilinmeyenleri (veya serbestlik derecesi)

e) Çözüm sadece düğüm noktaları için gerçekleştirilir.

f) Şekil fonksiyonu çözüm ortamında bilinmeyenler yanında ortam geometrisini de ifade etmekte kullanılabilir. Buna izoparametrik yaklaşım denilmektedir.

3. Malzeme bünye davranışı,

4. Eleman denklemlerinin elde edilmesi,

5. Eleman denklemlerinin birleştirilerek sistem denklemlerinin elde edilmesi,

6. Sistem denklemlerinin çözülerek birincil bilinmeyenlerin bulunması,

7. Birincil bilinmeyenlerden ikincil bilinmeyenlerin hesaplanması,

8. Sonuçların yorumu.

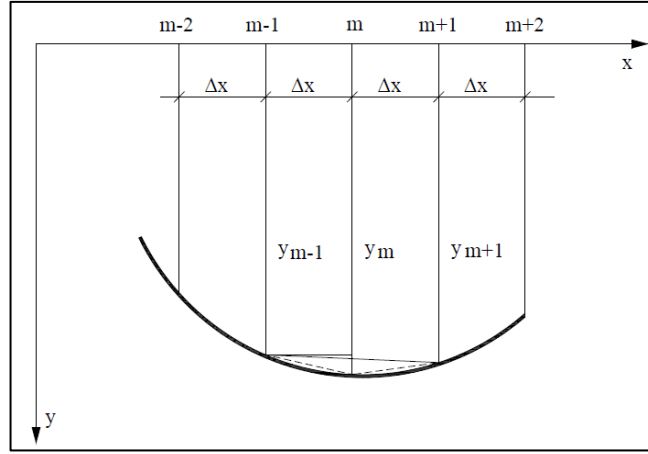
## 5.2. Sonlu Farklar Yöntemi

Sonlu farklar (SF) yöntemi, bir problemin analitik çözümünde güçlüklerle karşılaşıldığında başvurulan sayısal bir yöntemdir. Sonlu fark yönteminde bilinmeyen fonksiyonun türev değerleri sonlu farklar yardımı ile fonksiyon değerlerine bağlanarak diferansiyel denklem, cebrik denkleme dönüşür. Elde edilen cebrik denklem çözülerek bilinmeyen fonksiyonun değerleri belli noktalarda bulunarak bilinmeyen fonksiyon tablo şeklinde elde edilir.

Bu çalışmada, plak diferansiyel denklemini sonlu farklar yardımı ile cebirsel denkleme dönüştürülerek plağın çökme fonksiyonu belirli noktalarda bulunacak ve tablo şeklinde bulunan bu fonksiyondan yine sonlu farklar yardımı ile belirli noktalarda moment, kesme kuvvetleri ve diğer büyüklükler elde edilecektir.

Bir değişkenli fonksiyonlarda türevlerin fonksiyon değerlerine bağlanması:  $y=f(x)$  eğrisini ve  $x$  ekseninde  $\Delta x$  aralıklı  $x_{m-2}$ ,  $x_{m-1}$ ,  $x_m$ ,  $x_{m+1}$ ,  $x_{m+2}$ , noktaları ile bu noktalardaki  $y_{m-2}$ ,  $y_{m-1}$ ,  $y_m$ ,  $y_{m+1}$ ,  $y_{m+2}$ , fonksiyon değerlerini göz önüne alalım.





Şekil 5.2. Tek boyutta sonlu farklar

Şekil 5.2’de verilen  $y=f(x)$  eğrisinin  $m$  noktasındaki teğetin eğimini yani  $(dy/dx)_m$  değeri sonlu farklar cinsinden;

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)_m \cong \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_m \quad (5.4)$$

şeklinde yazılabilir.  $(\Delta y/\Delta x)_m$  değeri sıra ile ileri, geri ve ortalama sonlu farklar cinsinden aşağıda verilen şekilde yazılabilir.

$$\frac{y_{m+1}-y_m}{\Delta x} = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_m \quad \frac{y_m-y_{m-1}}{\Delta x} = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_m \quad \frac{y_{m+1}-y_{m-1}}{2\Delta x} = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_m \quad (5.5)$$

Yukarıda ortalama farklara ait formüllerden ikinci, üçüncü ve dördüncü türevler aşağıdaki verilen şekilde elde edilirler.

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_m = \frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx}\right)_m \cong \frac{\Delta}{\Delta x} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_m$$

$$\frac{\Delta}{\Delta x} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_m = \frac{1}{\Delta x} \left[ \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_{m+1} - \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_{m-1} \right]$$

$$\left(\frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2}\right)_m = \frac{1}{\Delta x} \left( \frac{y_{m+1}-y_m}{\Delta x} - \frac{y_m-y_{m-1}}{\Delta x} \right) = \frac{y_{m+1}-2y_m+y_{m-1}}{\Delta x^2}$$

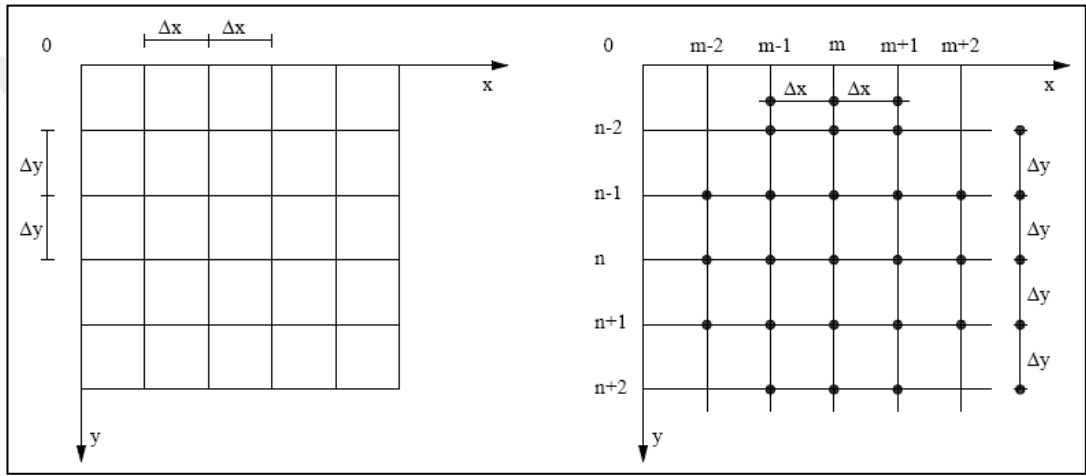
$$\frac{\Delta}{\Delta x} \left(\frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2}\right)_m = \frac{1}{2\Delta x} \left( \frac{y_{m+2}-2y_{m+1}+y_m}{\Delta x^2} - \frac{y_m-2y_{m-1}+y_{m-2}}{\Delta x^2} \right) \quad (5.6)$$

$$\left(\frac{\Delta^3 y}{\Delta x^3}\right)_m = \left( \frac{y_{m+2}-2y_{m+1}+2y_{m-1}-y_{m-2}}{\Delta x^2} \right)$$

$$\frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2} \left( \frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2} \right)_m = \frac{1}{\Delta x^2} \left[ \left( \frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2} \right)_{m+1} - 2 \left( \frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2} \right)_m + \left( \frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2} \right)_{m-1} \right]$$

$$\left( \frac{\Delta^4 y}{\Delta x^4} \right)_m = \left( \frac{y_{m+2} - 4y_{m+1} + 6y_m - 4y_{m-1} + y_{m-2}}{\Delta x^4} \right)$$

İki değişkenli fonksiyonlarda türevlerin fonksiyon değerlerine bağlanması: İki değişkenli fonksiyonlarda kısmi türevler alınırken, değişkenlerden biri değişirken diğer değişken sabit kabul edileceğinden, tek bir değişkene göre türevler için elde edilen bağıntılar kısmi türevler için de geçerlidir.



Şekil 5.3. Plaklarda sonlu farklar ağı

$w=w(x, y)$  şeklinde iki değişkenli fonksiyonu göz önüne alalım. Fonksiyonun değişim bölgesini Şekil 5.3'te görüldüğü gibi, bir ağı biçiminde  $\Delta x$  ve  $\Delta y$  genişliğinde dilimlere ayıralım. Ağın  $(m, n)$  ile tanımlanan noktasındaki  $w$  fonksiyonun ikinci, üçüncü ve dördüncü türev bağıntıları daha önce tek değişkenli fonksiyonlar için elde edilen ikinci, üçüncü ve dördüncü türev bağıntılarından yararlanarak

$$\left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)_{m,n} \cong \frac{w_{(m+1),n} - 2w_{m,n} + w_{(m-1),n}}{(\Delta x)^2}$$

$$\left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)_{m,n} \cong \frac{w_{m,(n+1)} - 2w_{m,n} + w_{m,(n-1)}}{(\Delta y)^2}$$

$$\left( \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} \right)_{m,n} \cong \frac{w_{(m+2),n} - 2w_{(m+1),n} + w_{(m-2),n}}{2(\Delta x)^3} \quad (5.7)$$

$$\left(\frac{\partial^3 w}{\partial y^3}\right)_{m,n} \cong \frac{w_{m,(n+2)} - 2w_{m,(n+1)} + 2w_{m,(n-1)} - w_{m,(n-2)}}{2(\Delta y)^3}$$

$$\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}\right)_{m,n} \cong \frac{w_{(m-2),n} - 4w_{(m-1),n} + 6w_{m,n} - 4w_{(m+1),n} + w_{(m+2),n}}{(\Delta x)^4}$$

$$\left(\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right)_{m,n} \cong \frac{w_{m,(n-2)} - 4w_{m,(n-1)} + 6w_{m,n} - 4w_{m,(n+1)} + w_{m,(n+2)}}{(\Delta y)^4}$$

şeklinde bulunur. Karışık türev ifadelerinin bulunuşu ise aşağıda verilmiştir:

Ortalama fark bağıntısına göre;

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x}\right)_{m,n} &= \frac{\partial w}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{m,n} = \frac{1}{2\Delta y} \left[ \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{m,n+1} - \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)_{m,n-1} \right] \\ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x}\right)_{m,n} &= \frac{w_{(m+1),(n+1)} - w_{(m-1),(n+1)} - w_{(m+1),(n-1)} + w_{(m-1),(n-1)}}{4\Delta x \Delta y} \end{aligned} \quad (5.8)$$

İleriye doğru fark bağıntısına göre;

$$\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x}\right)_{m,n} = \frac{w_{(m+1),(n+1)} - w_{m,(n+1)} - w_{m,(n+1)} + w_{m,n}}{\Delta x \Delta y} \quad (5.9)$$

Geriye doğru fark bağıntısına göre;

$$\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x}\right)_{m,n} = \frac{w_{m,n} - w_{(m-1),n} - w_{m,(n-1)} + w_{(m-1),(n-1)}}{\Delta x \Delta y} \quad (5.10)$$

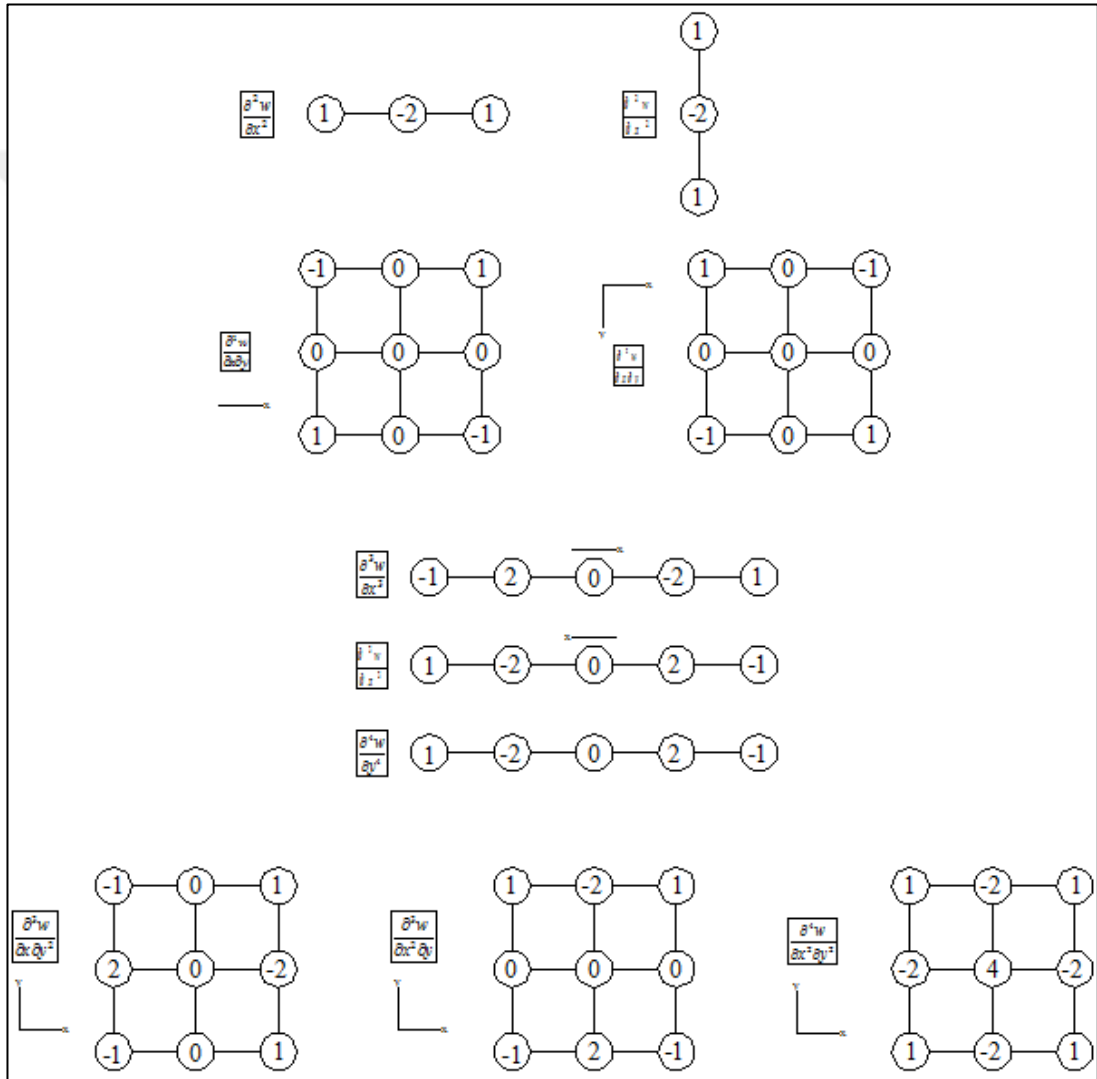
Üçüncü mertebeden karışık türevler ise;

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2}\right)_{m,n} &= \frac{w_{(m+1),(n+1)} - 2w_{(m+1),n} + w_{(m+1),(n-1)} - w_{(m-1),(n+1)} + 2w_{(m-1),n} - w_{(m-1),(n-1)}}{2(\Delta x)(\Delta y)^2} \\ \left(\frac{\partial^3 w}{\partial y \partial x^2}\right)_{m,n} &= \frac{w_{(m+1),(n+1)} - 2w_{m,(n+1)} + w_{(m-1),(n+1)} - w_{(m+1),(n-1)} + 2w_{m,(n-1)} - w_{(m-1),(n-1)}}{2(\Delta y)(\Delta x)^2} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Dördüncü mertebeden karışık türevler ise;

$$\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial x^2}\right)_{m,n} = \frac{w_{(m+1),(n+1)} - 2w_{m,(n+1)} - w_{(m-1),(n+1)} - 2w_{(m+1),n} + 4w_{m,n} - 2w_{(m-1),n} + w_{(m+1),(n-1)} - 2w_{m,(n-1)} + w_{(m-1),(n-1)}}{2(\Delta y)(\Delta x)^2} \quad (5.12)$$

Yukarıda verilen türevlerde fonksiyon değerlerinin katsayılarını hatırlamak ve bazı uygulamalara yardımcı olması için Şekil 5.4'te verilen şablonlar kullanılır. Şablonlarda tek dereceli türevlerde (birinci ve üçüncü türevler) ilgili eksenin yönü önemli olduğundan, eksenin yönü şekilde gösterilmiştir. Eksen yönü olarak şekilde gösterilen yönün tersi alındığında, değiştirilen eksen doğrultusundaki katsayıların simetriğini almak gerekir. Buna ait örnek şekilde  $(\partial^2 w)/(\partial x \partial y)$  ve  $(\partial^3 w)/(\partial x^3)$  türevinde gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Türev fonksiyonları katsayılar şablonu

### 5.3. FLAC

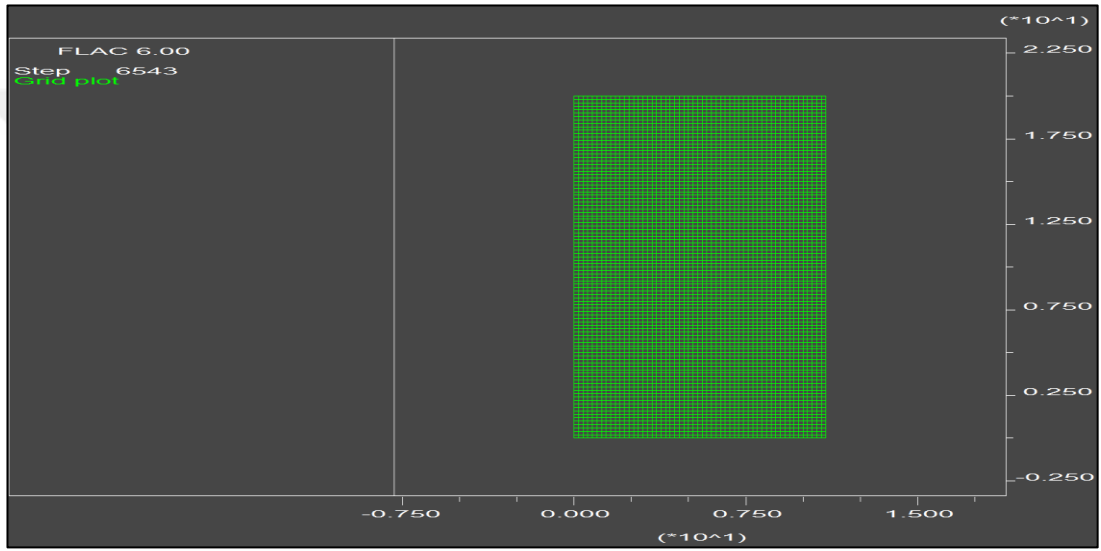
FLAC 2D mühendislik mekaniği problemlerin çözümünde kullanılan iki boyutlu sonlu farklar programıdır. Bu program, limitlerine ulaştıklarında plastik akmaya

uğrayan toprak, kaya ya da başka malzemelerden oluşmuş yapıların davranışını simule etmektedir. Malzemeler, modellenecek nesnenin şeklini belirleyecek şekilde bir ađ oluşturan elemanlardan ya da alanlardan oluşmaktadır. Her eleman uygulanan kuvvet ya da sınır şartlarına tepki olarak tanımlanmış lineer ve lineer olmayan gerilme-deformasyon kurallarına göre davranır. Malzemeler akabilir, ađ deforme olabilir ve akan malzeme ile hareket edebilir. Matrisler oluşturulup kullanılmadığı için, büyük iki boyutlu hesaplamalar yüksek hafızalara gereksinim duyulmadan gerçekleştirilebilmektedir. Kesin çözümlerinin, küçük zaman aralığı ve hangi sönümlenmenin kullanılacağı gibi dezavantajları, yıkım modunu değiştirmeden otomatik eylemsizlik ve otomatik sönümlenme kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. İlk başta geoteknik ve maden mühendisleri için geliştirilmiş olmasına rağmen, FLAC mekanikteki karışık problemleri de çözebilecek geniş olanaklar sunmaktadır. Programın içine gömülmüş temel modeller lineer olmayan, tersinemez davranışlarının modellenmesini mümkün kılmaktadır.

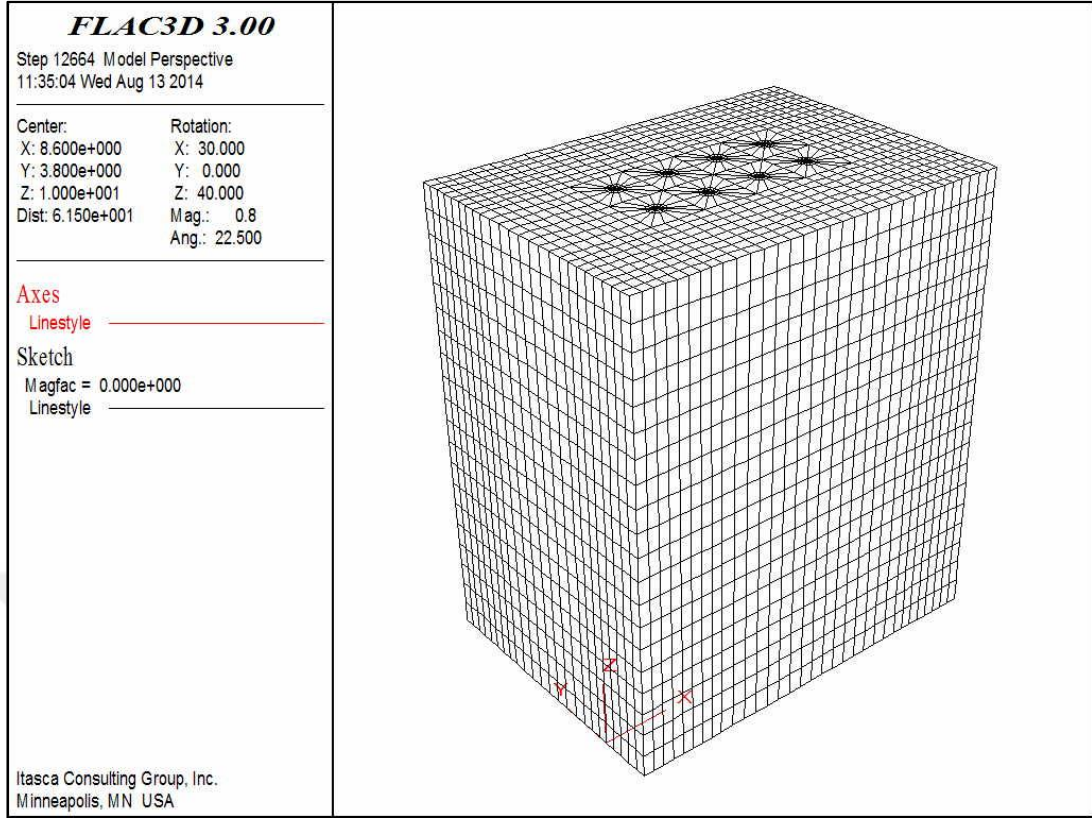
## 6. YAPILAN PARAMETRİK ÇALIŞMA: MODELLEME VE ANALİZLER

### 6.1. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında kullanılacak model, kohezyonsuz bir zemine oturan yapıyı temsil edecek olup, düşey yük altında kazık oturma davranışına göre iki boyutlu (Şekil 6.1) ve üç boyutlu (Şekil 6.2) olarak araştırılmıştır.



Şekil 6.1. İki boyutlu (2D) FLAC 2D sonlu farklar ağı



Şekil 6.2. Üç boyutlu (3D) FLAC 3D sonlu farklar ağı

Üstyapıdan gelen yükler yayılı yük olarak modellenmiş olup, 2m x 4m' lik bir alanda yapıya etkiyen yükün yaklaşık 1,5 katı mertebesinde bir yük (tabanda 500 kPa) etkidiği varsayılmıştır.

Analiz edilecek sistemin sınır şartlarından etkilenmemesi için sonlu eleman ağıının oluşturulacağı geometrinin x, y ve z eksenlerinde yeterince büyük bir alanda yer alması gerekmektedir.

## 6.2. Malzeme Özellikleri

Sistem modellenmesinde kullanılan zeminin malzeme parametreleri Tablo 6.1'de verilmektedir.

Tablo 6.1. Analizlerde kullanılan kazık ve zeminin malzeme parametreleri

Kazık Parametreleri	Birim	Büyükük
Kazık çapı, D	m	0,8
Kazık boyu, L <sub>1</sub>	m	10

Tablo 6.1. (Devam) Analizlerde kullanılan kazık ve zeminin malzeme parametreleri

Kazık boyu, $L_2$	m	15
Elastisite modülü, $E_k$	Mpa	30000
Yayıllı yük, P	kPa	500
Yoğunluk, d	gr/cm <sup>3</sup>	2,4
Kesme modülü	kPa	6.20E+07

Tablo 6.2. Analizlerde kullanılan kazık ve zeminin malzeme parametreleri

Zemin Parametreleri	Birim	Büyükük
Kuru birim hacim ağırlığı, $\gamma_d$	gr/cm <sup>3</sup>	1,80
Suya doymun birim hacim ağırlık, $\gamma_{sat}$	gr/cm <sup>3</sup>	1,85
Elastisite modülü, $E_z$	Mpa	18000
Yeraltı su seviyesi, YASS	m	0
İçsel sürtünme açısı, $\phi'$	-	32
Kohezyon, c	kPa	5
Kesme modülü	kPa	1,80E+07

Temel sisteminin davranışını gerçeğe uygun olarak modellemek için, kazık-zemin etkileşiminin doğru olarak modellenmesi büyük bir önem taşımaktadır.

### 6.3. Hesap Aşaması

Yukarıda bahsedilen kazık ve zemin özellikleri tanımlandıktan sonra önce iki boyutlu, daha sonra üç boyutlu olarak 4 ve 8 kazıktan oluşan sonlu farklar ağı oluşturulmuştur. Hesap aşamasında FLAC 2D ve FLAC 3D programları kullanılmış, temel sistemini oluşturan elemanların imalatı ve yüklerin etkinleştirilmesi gerçeğe uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

### 6.4. Düşey Yükleme Altındaki Grup Kazıkların Analizi

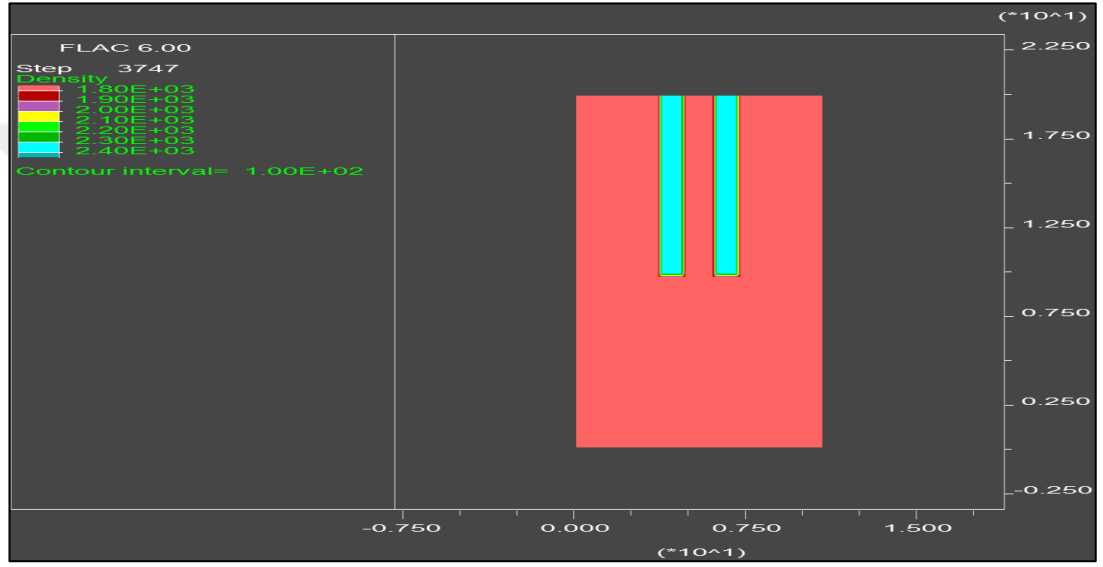
#### 6.4.1. İki boyutlu (2D) analizler

Kazıklı temellerin, FLAC-2D programında oluşturulan sistem modellemesinde, malzeme özellikleri ve yükleme şekilleri tanımlandıktan sonra çözümlenmeleri

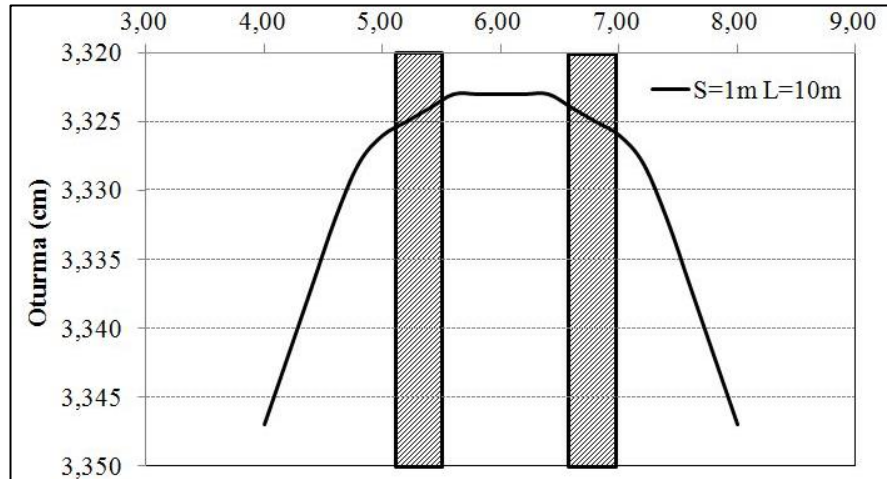


yapılmıştır. Elde edilen verilerin sistemde oluşan toplam oturma sonuçları incelenmiştir.

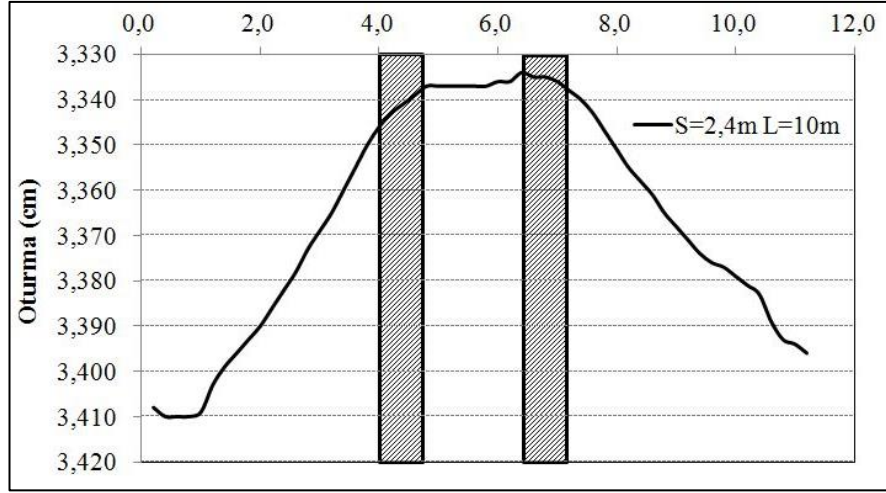
4 kazık uygulaması için, kazıklar arasındaki aks mesafeleri  $s=1m$ ,  $s=2,4m$  ve  $s=4m$  alınarak yapılan iki boyutlu analizlerde (Şekil 6.3) elde edilen sonuçlar Şekil 6.4 - Şekil 6.7’de gösterilmiş ve irdelenmiştir. Kazık uygulaması yapılmamış tabii zemin durumu için de iki boyutlu analiz (Şekil 6.8) yapılmıştır. Tüm bu sonuçlar birbirleriyle Şekil 6.9’da kıyaslanmıştır.



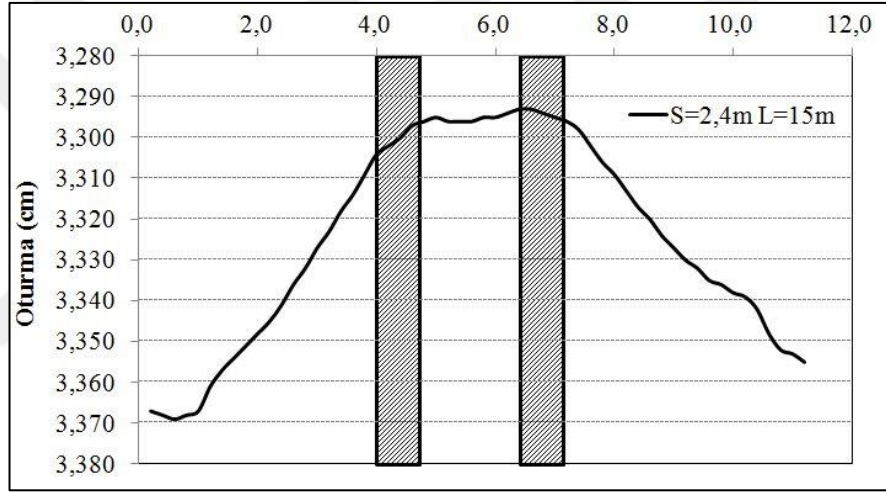
Şekil 6.3. FLAC 2D – 4 kazık modelleme örneği



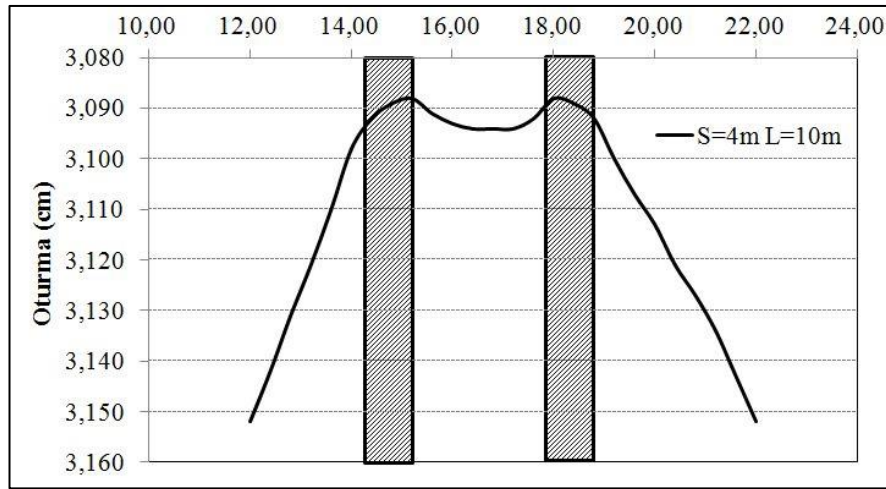
Şekil 6.4. FLAC 2D – 4 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği



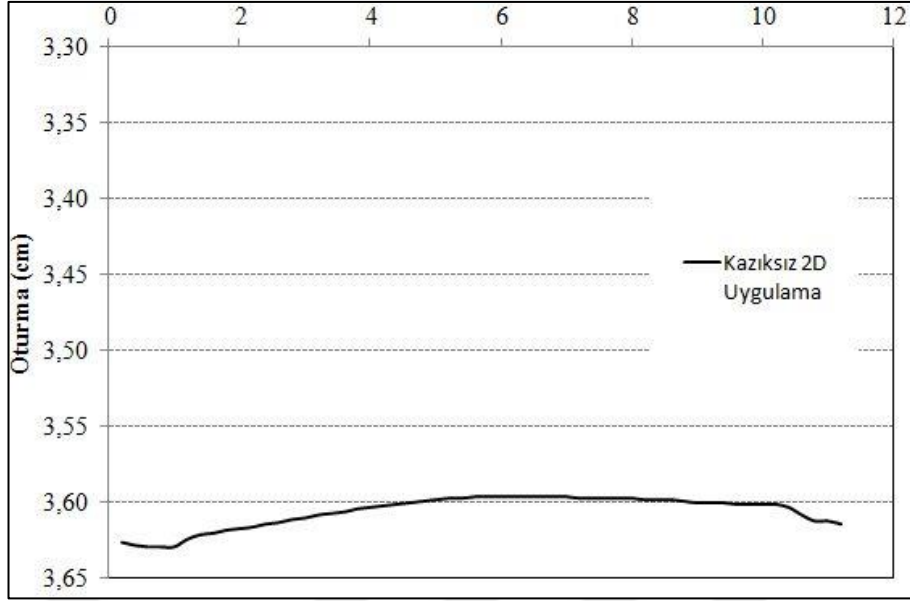
Şekil 6.5. FLAC 2D – 4 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği



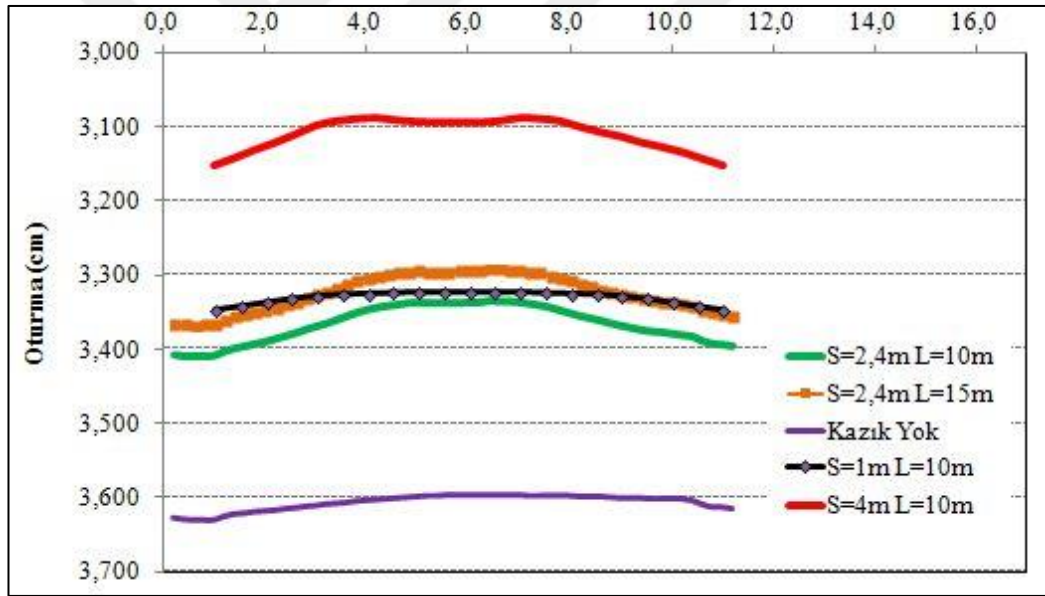
Şekil 6.6. FLAC 2D – 4 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği



Şekil 6.7. FLAC 2D – 4 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği



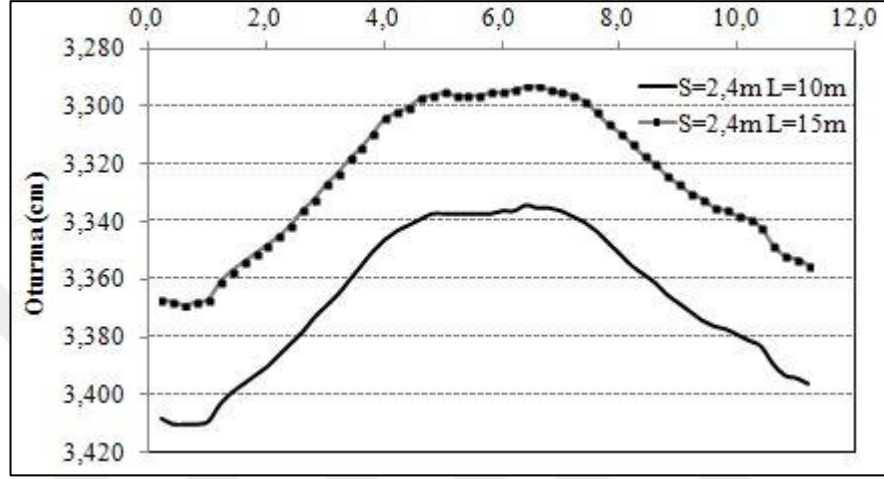
Şekil 6.8. FLAC 2D – kazıksız oturma grafiği



Şekil 6.9. FLAC 2D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması

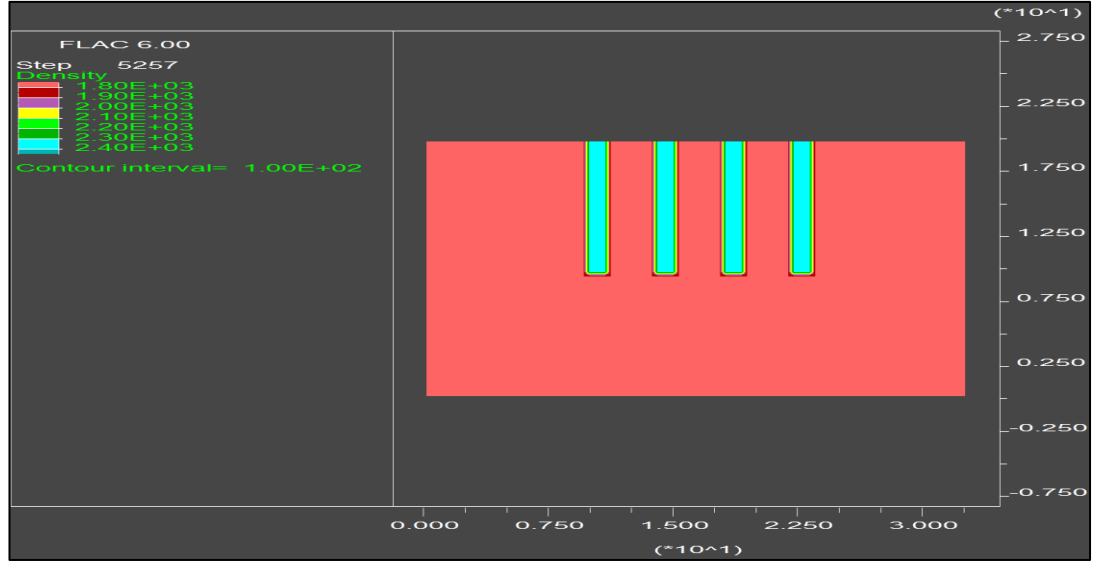
4 kazık uygulaması için, kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-2D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı  $s=2,4m$  kazık aks aralığı ve  $L=10m$  kazık uzunluğu (Şekil 6.5) çözümüne bağlı olmak üzere 3,34 cm düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman  $s=4m$  kazık aks aralığı ve  $L=10m$  kazık uzunluğu (Şekil 6.7) ile hazırlanan modelde 3,09 cm seviyesinde gerçekleşmektedir.

4 kazık uygulaması için eşit yüke maruz kalan  $s=2,4\text{m}$  kazık aks aralığında çözümlenen  $L=10\text{m}$  ve  $L=15\text{m}$  uzunluğundaki kazıklarda oluşan düşey deplasmanlar (Şekil 6.10) irdelenmiştir.  $s=2,4\text{m}$  kazık aks aralığı ve  $L=10\text{m}$  kazık uzunluğu çözümüne bağlı olarak oluşan düşey deplasman  $3,34\text{ cm}$  düzeyinde bulunurken,  $s=2,4\text{m}$  kazık aks aralığı ve  $L=15\text{m}$  kazık uzunluğu çözümüne bağlı olarak oluşan düşey deplasman  $3,30\text{ cm}$  olarak bulunmuştur.

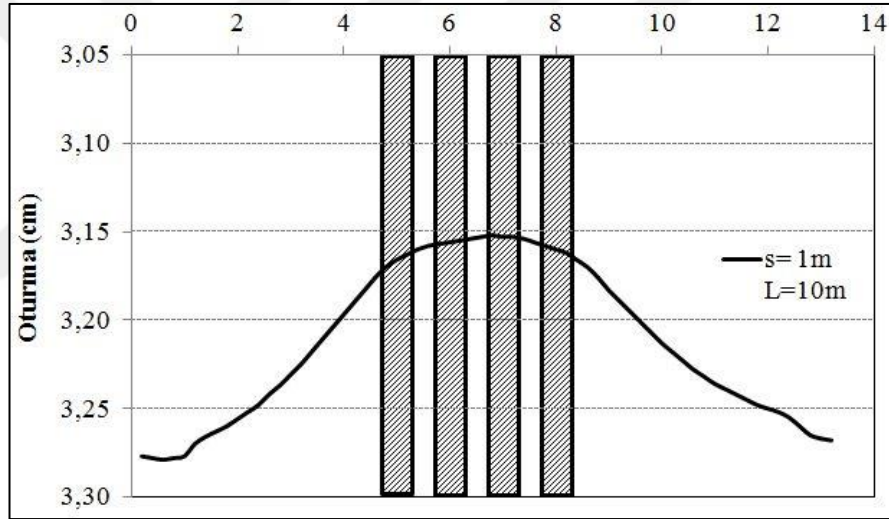


Şekil 6.10. FLAC 2D – 4 kazık için  $S=2,4\text{m}$  için  $L=10\text{m}$  ve  $L=15\text{m}$  oturmalarının karşılaştırılması

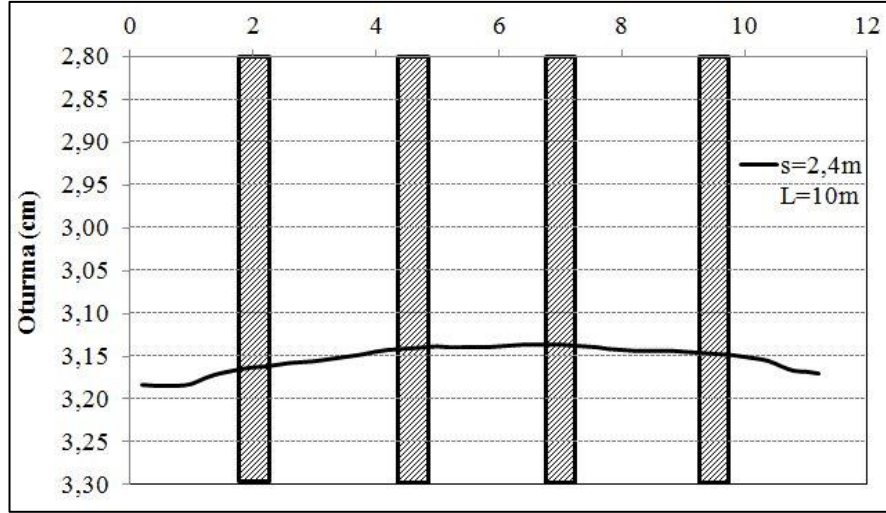
8 kazık uygulaması için, kazıklar arasındaki aks mesafeleri  $s=1\text{m}$ ,  $s=2,4\text{m}$  ve  $s=4\text{m}$  (Şekil 6.11) alınarak yapılan iki boyutlu analizlerde elde edilen sonuçlar Şekil 6.12 - Şekil 6.15'te gösterilmiş ve irdelenmiştir. Kazık uygulaması yapılmamış tabii zemin durumu için de iki boyutlu analiz (Şekil 6.16) yapılmıştır. Tüm bu sonuçlar birbirleriyle Şekil 6.17'de kıyaslanmıştır.



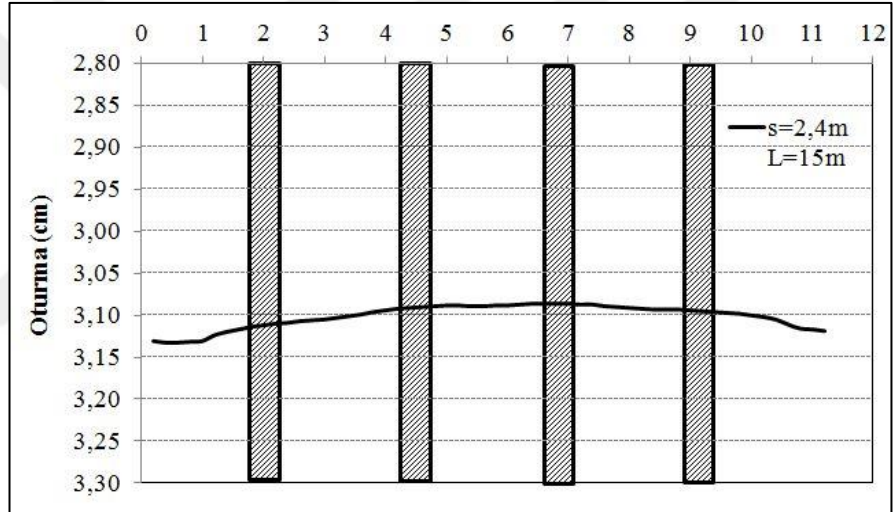
Şekil 6.11. FLAC 2D – 8 kazık modelleme örneği



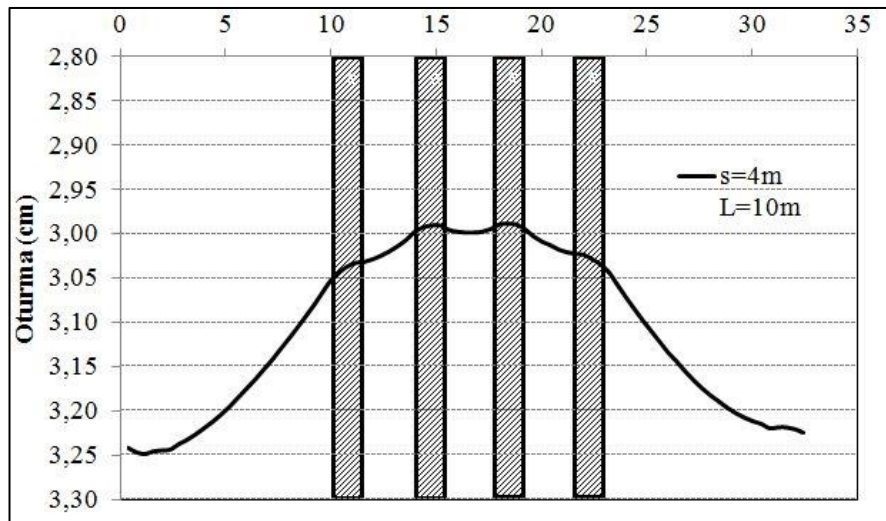
Şekil 6.12. FLAC 2D – 8 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği



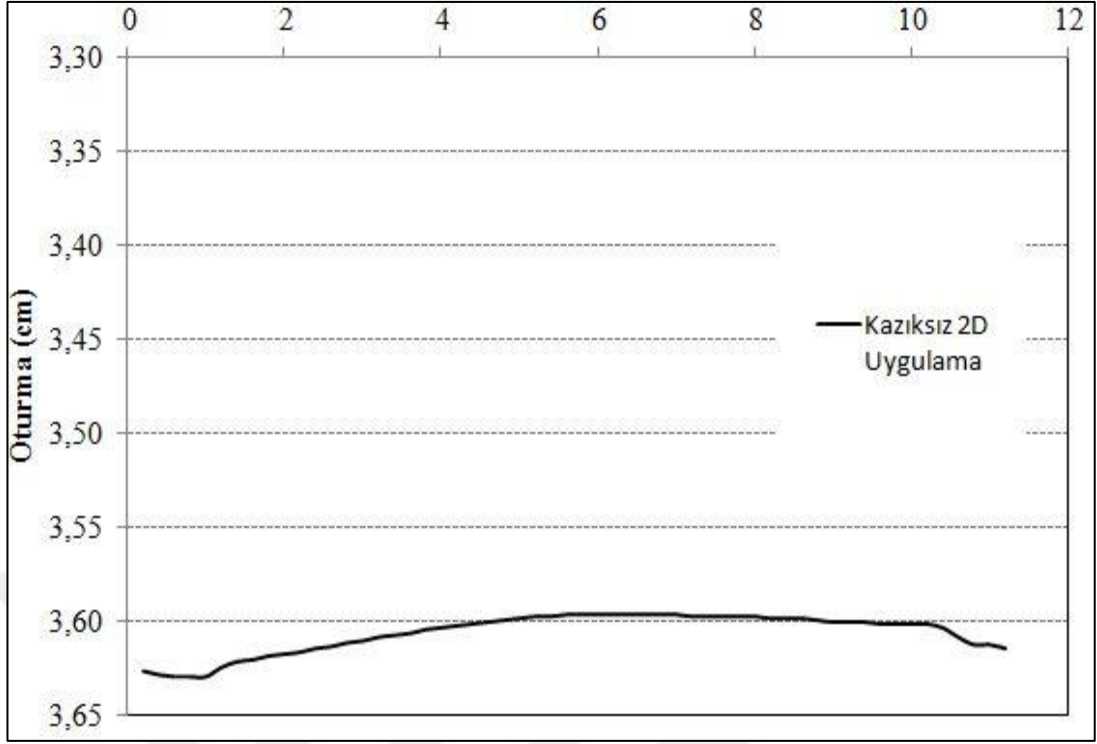
Şekil 6.13. FLAC 2D – 8 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği



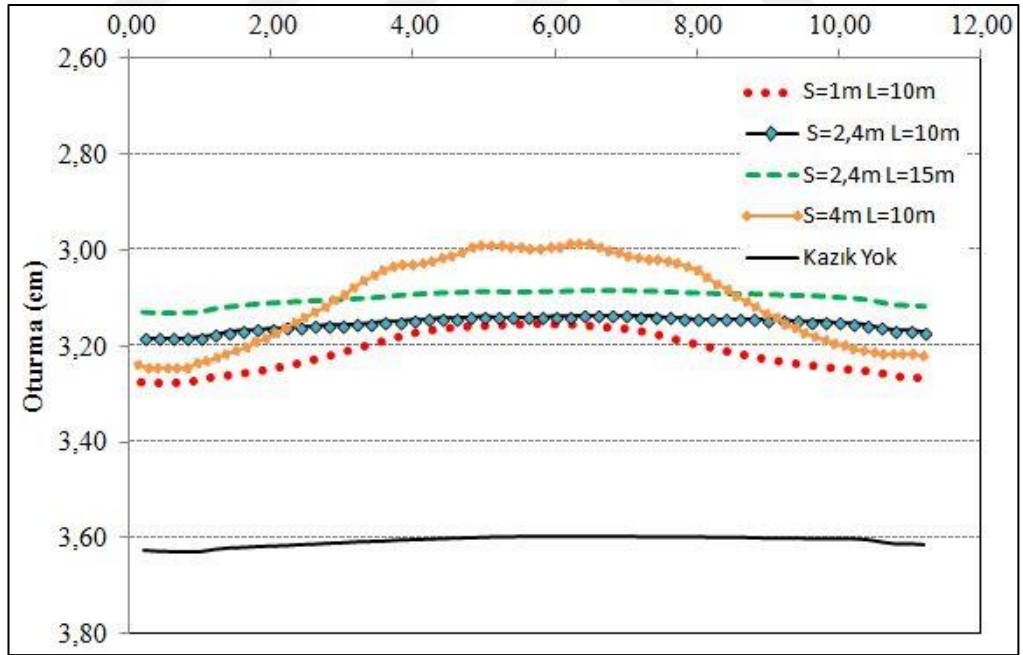
Şekil 6.14. FLAC 2D – 8 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği



Şekil 6.15. FLAC 2D – 8 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği



Şekil 6.16. FLAC 2D – Kazıksız oturma grafiği

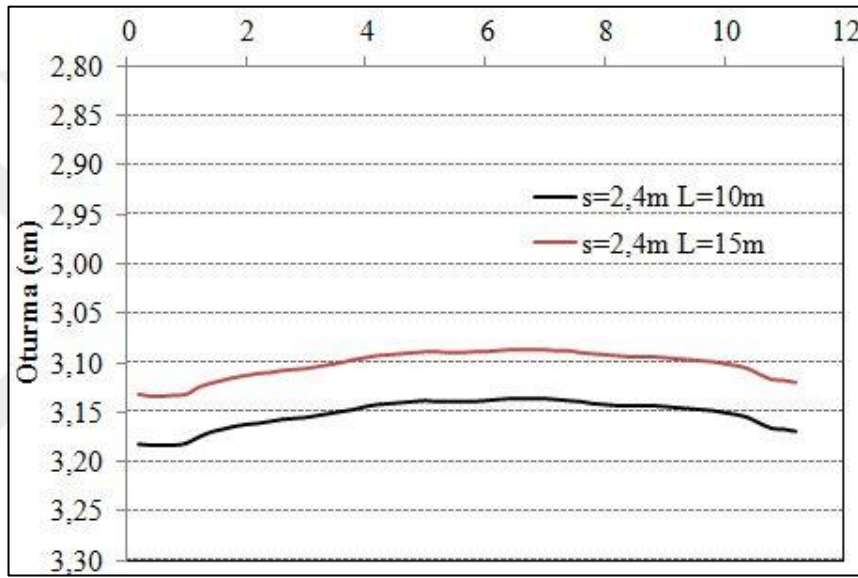


Şekil 6.17. FLAC 2D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması

8 kazık uygulaması için, kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-2D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı  $s=1m$  kazık aks aralığı ve  $L=10m$  kazık uzunluğu (Şekil 6.12) çözümüne bağlı olarak  $3,17\text{ cm}$  düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman  $s=4m$  kazık aks aralığı ve

L=10m kazık uzunluğu (Şekil 6.15) ile hazırlanan modelde 3,04 cm seviyesinde gerçekleşmektedir.

8 kazık uygulaması için eşit yüke maruz kalan s=2,4m kazık aks aralığında çözümlenen L=10m ve L=15m uzunluğundaki kazıklarda oluşan düşey deplasmanlar (Şekil 6.18) irdelenmiştir. s=2,4m kazık aks aralığı ve L=10m kazık uzunluğu çözümüne bağlı olarak oluşan düşey deplasman 3,16 cm düzeyinde bulunurken, s=2,4m kazık aks aralığı ve L=15m kazık uzunluğu çözümüne bağlı olarak oluşan düşey deplasman 3,11 cm olarak bulunmuştur.



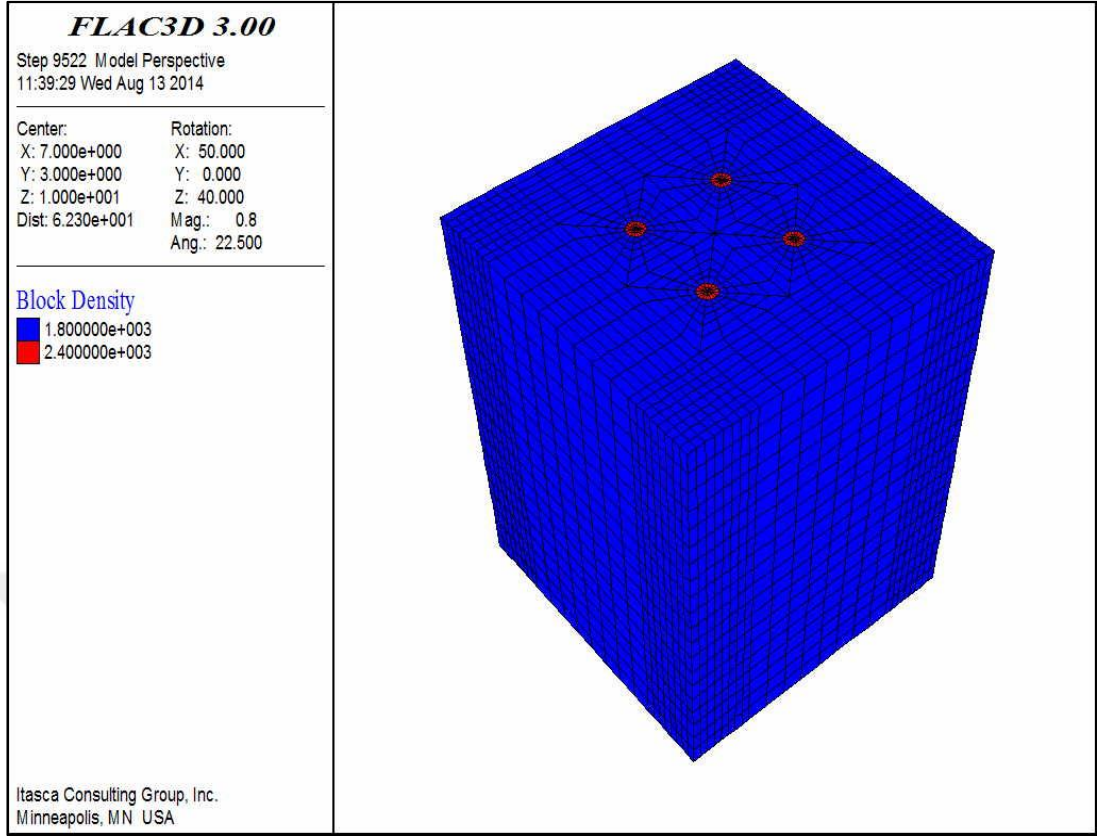
Şekil 6.18. FLAC 2D – 8 kazık S=2,4m için L=10m ve L=15m oturmalarının karşılaştırılması

#### 6.4.2. Üç boyutlu (3D) analizler

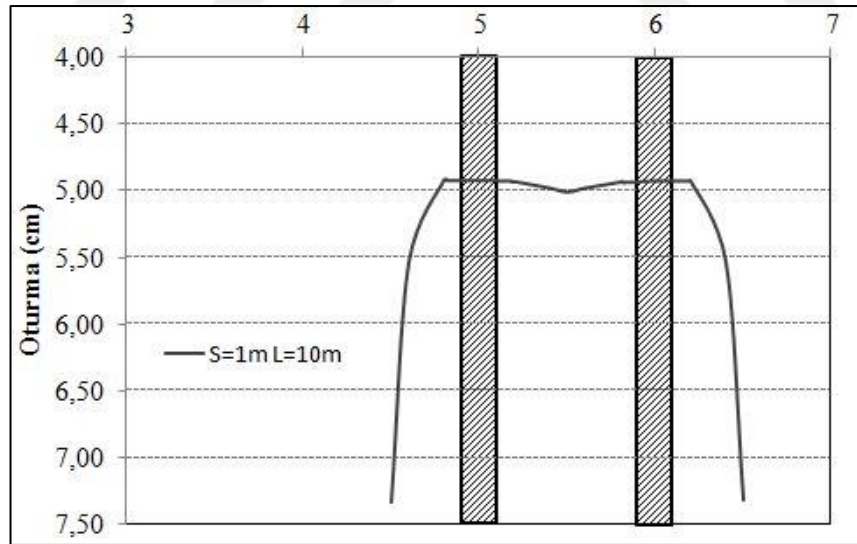
Kazıklı temellerin, FLAC-3D programında oluşturulan sistem modellemesinde, malzeme özellikleri ve yükleme şekilleri tanımlandıktan sonra çözümlenmeleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin sistemde oluşan toplam oturma sonuçları incelenmiştir.

4 kazık uygulaması için, kazıklar arasındaki aks mesafeleri s=1m, s=2,4m ve s=4m alınarak yapılan üç boyutlu analizlerde (Şekil 6.19) elde edilen sonuçlar Şekil 6.20 - Şekil 6.23'te gösterilmiş ve irdelenmiştir. Kazık uygulaması yapılmamış tabii zemin durumu için de üç boyutlu analiz (Şekil 6.24) yapılmıştır. Tüm bu sonuçlar birbirleriyle Şekil 6.25'te kıyaslanmıştır.

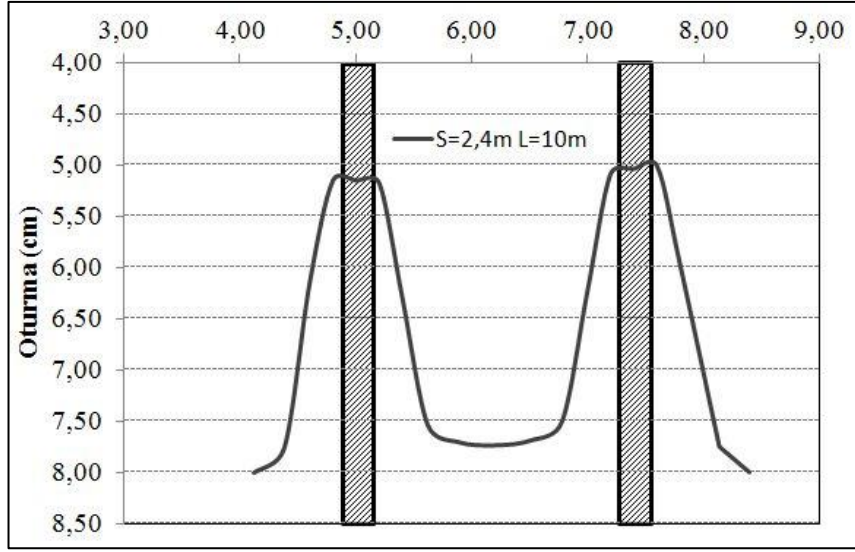




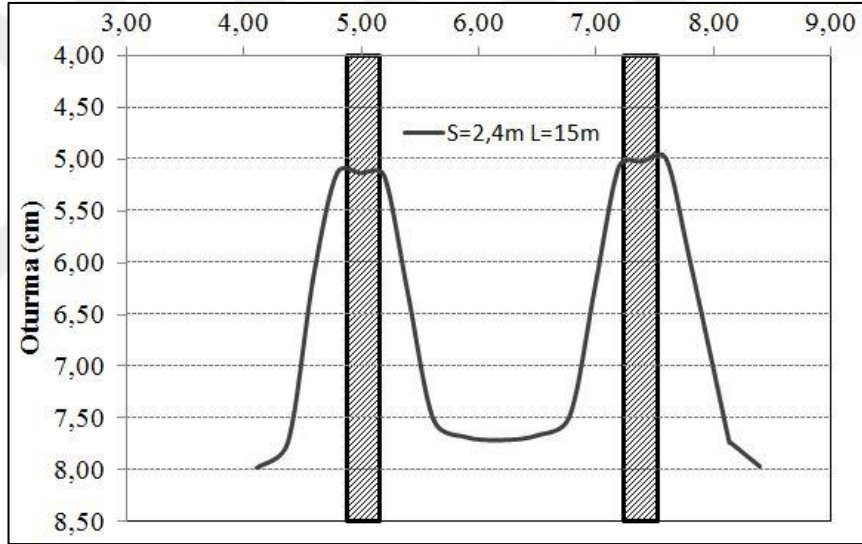
Şekil 6.19. FLAC 3D – 4 kazık modelleme örneği



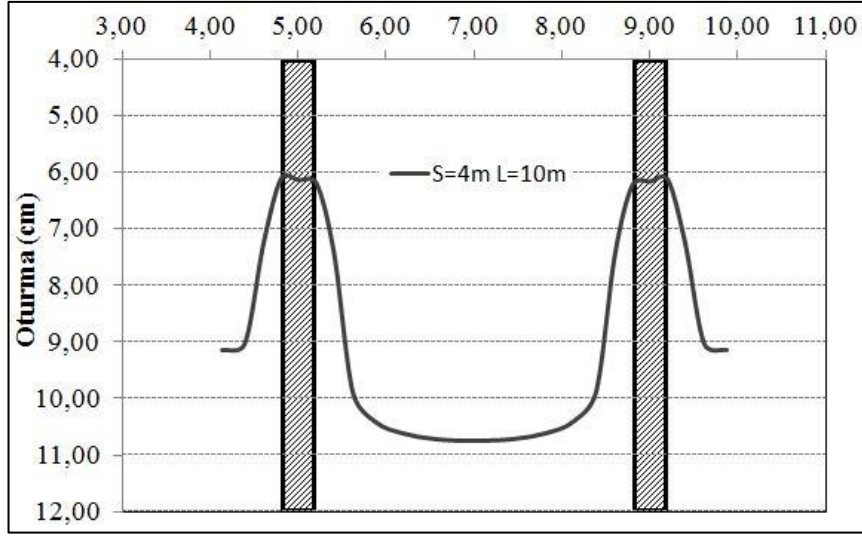
Şekil 6.20. FLAC 3D – 4 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği



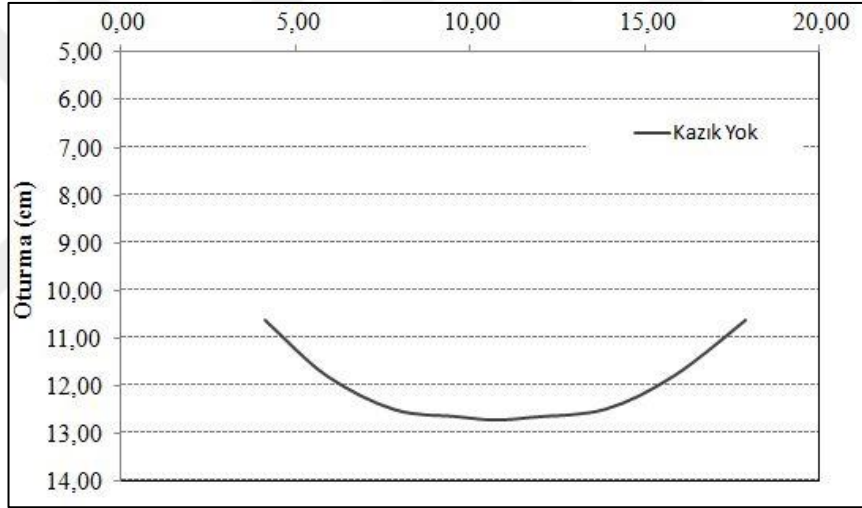
Şekil 6.21. FLAC 3D – 4 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği



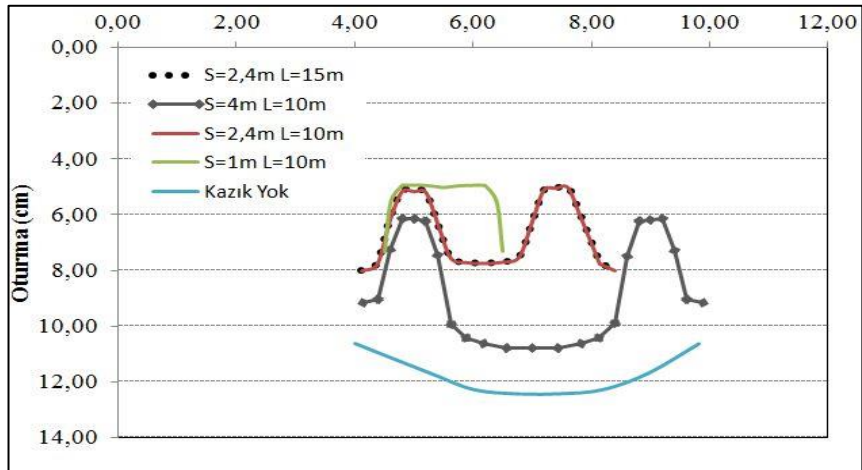
Şekil 6.22. FLAC 3D – 4 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği



Şekil 6.23. FLAC 3D – 4 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği



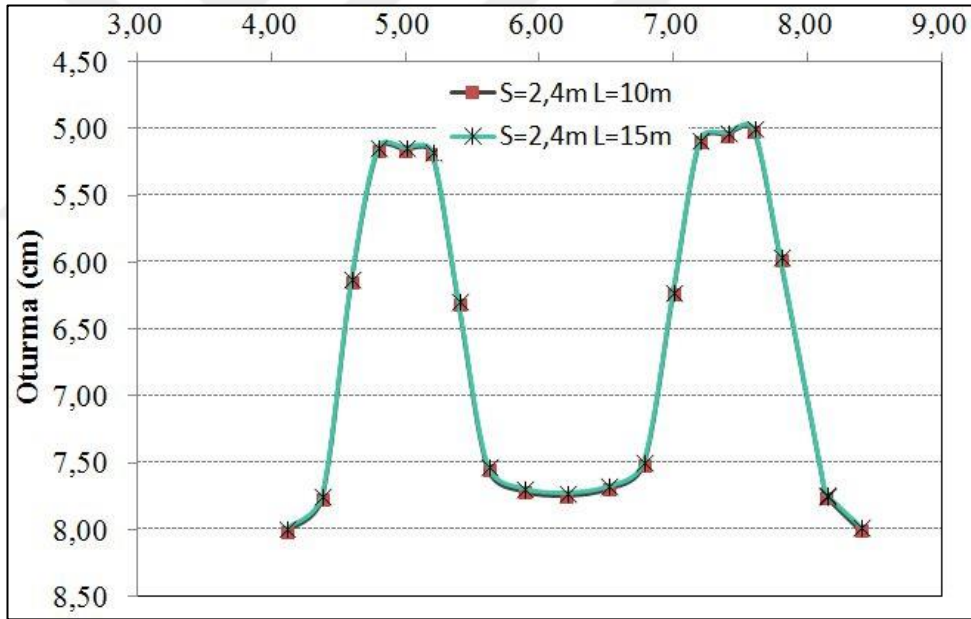
Şekil 6.24. FLAC 3D – Kazık uygulaması yapılmamış oturma grafiği



Şekil 6.25. FLAC 3D – 4 kazık uygulamalarının karşılaştırılması

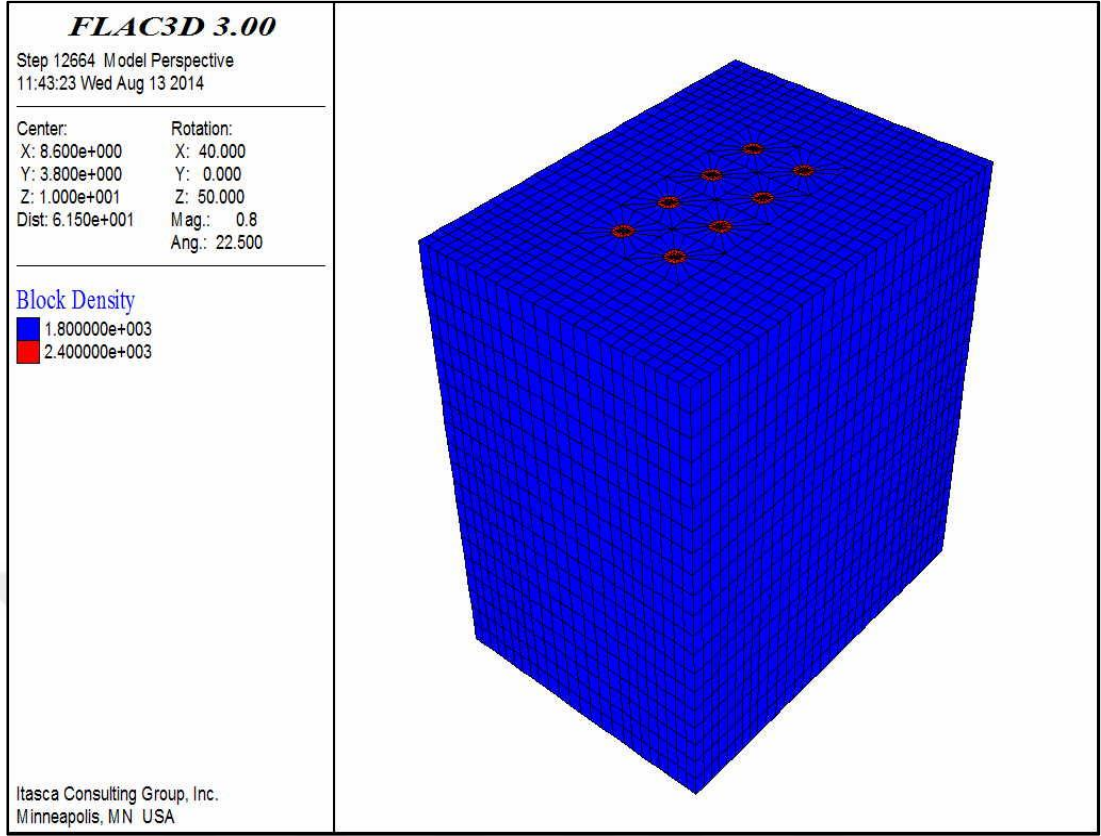
4 kazık uygulaması için, kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-3D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı  $s=4\text{m}$  kazık aks aralığı ve  $L=10\text{m}$  kazık uzunluğu (Şekil 6.23) çözümüne bağlı olmak üzere  $6,17\text{cm}$  düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman  $s=1\text{m}$  kazık aks aralığı ve  $L=10\text{m}$  kazık uzunluğu (Şekil 6.20) ile hazırlanan modelde  $4,93\text{cm}$  seviyesinde gerçekleşmektedir.

4 kazık uygulaması için eşit yüke maruz kalan  $s=2,4\text{m}$  kazık aks aralığında çözümlenen  $L=10\text{m}$  ve  $L=15\text{m}$  uzunluğundaki kazıklarda oluşan düşey deplasmanlar (Şekil 6.26) irdelenmiştir.  $s=2,4\text{m}$  kazık aks aralığı ve  $L=10\text{m}$  kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere oluşan düşey deplasman  $5,16\text{cm}$  düzeyinde bulunurken,  $s=2,4\text{m}$  kazık aks aralığı ve  $L=15\text{m}$  kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere oluşan düşey deplasman  $5,14\text{cm}$  olarak bulunmuştur.

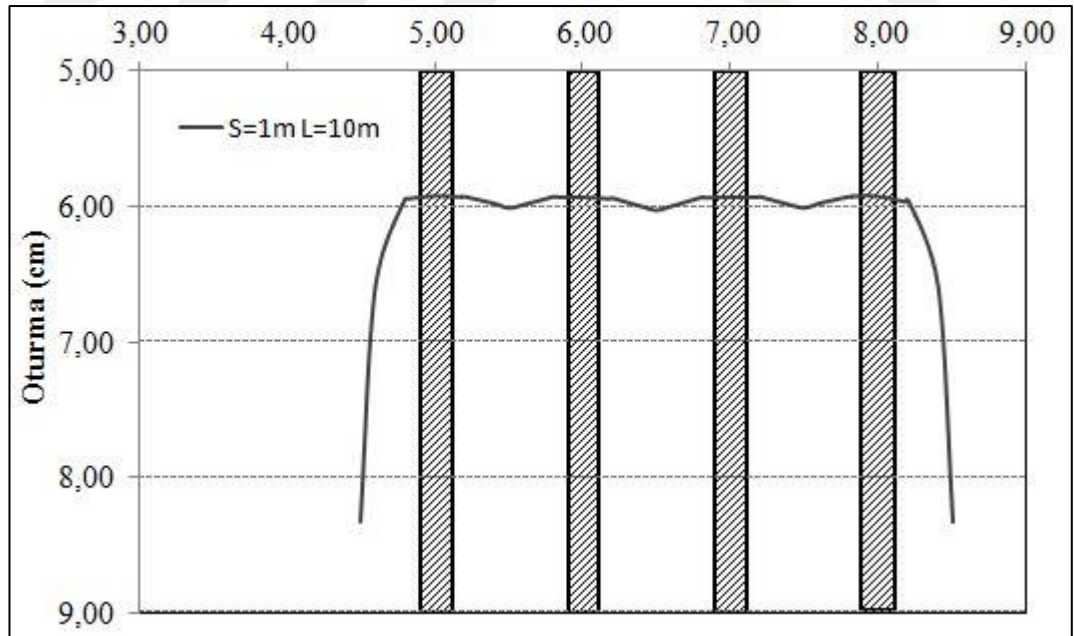


Şekil 6.26. FLAC 3D - 4 kazık  $S=2,4\text{m}$  için  $L=10\text{m}$  ve  $L=15\text{m}$  oturmalarının karşılaştırılması

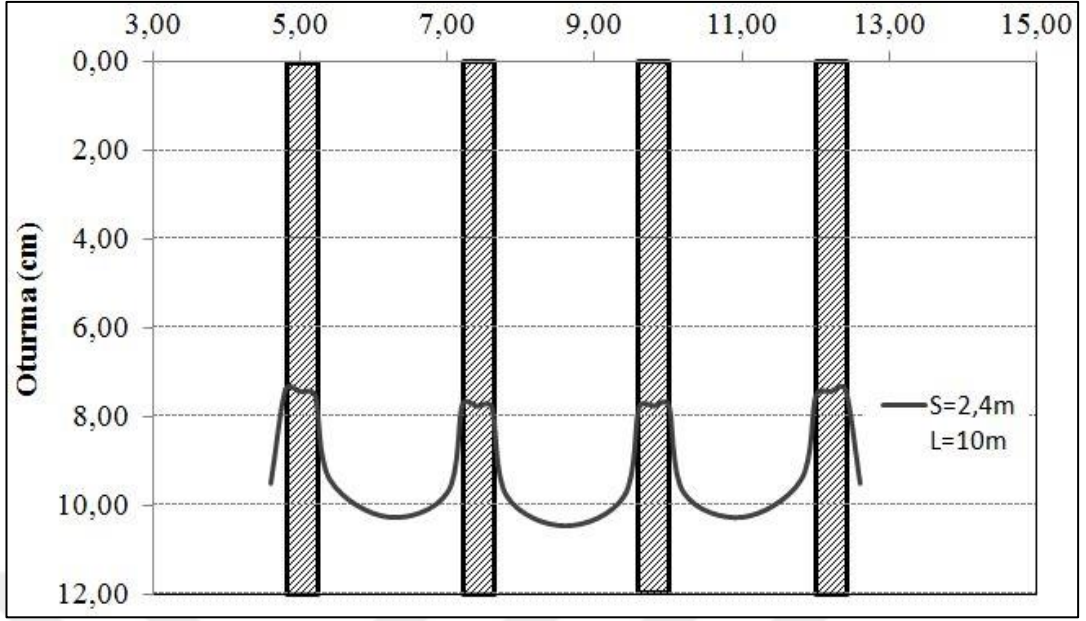
8 kazık uygulaması için, kazıklar arasındaki aks mesafeleri  $s=1\text{m}$ ,  $s=2,4\text{m}$  ve  $s=4\text{m}$  (Şekil 6.27) alınarak yapılan iki boyutlu analizlerde elde edilen sonuçlar Şekil 6.28 - Şekil 6.31'de gösterilmiş ve irdelenmiştir. Kazık uygulaması yapılmamış tabii zemin durumu için de iki boyutlu analiz (Şekil 6.32) yapılmıştır. Tüm bu sonuçlar birbirleriyle Şekil 6.33'te kıyaslanmıştır.



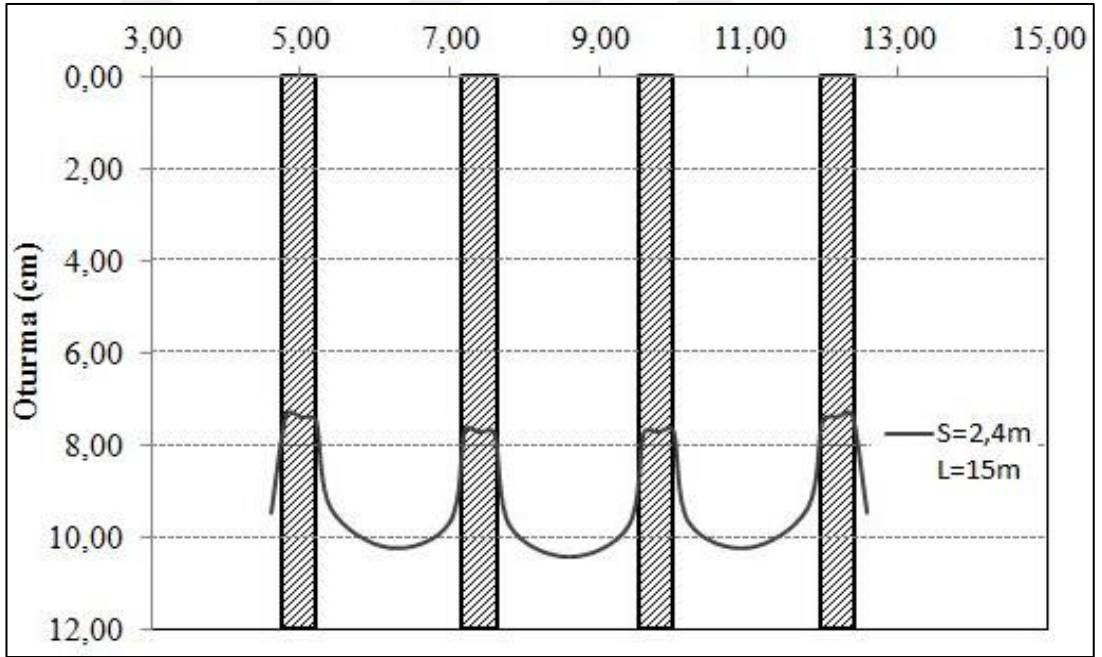
Şekil 6.27. FLAC 3D – 8 kazık modelleme örneği



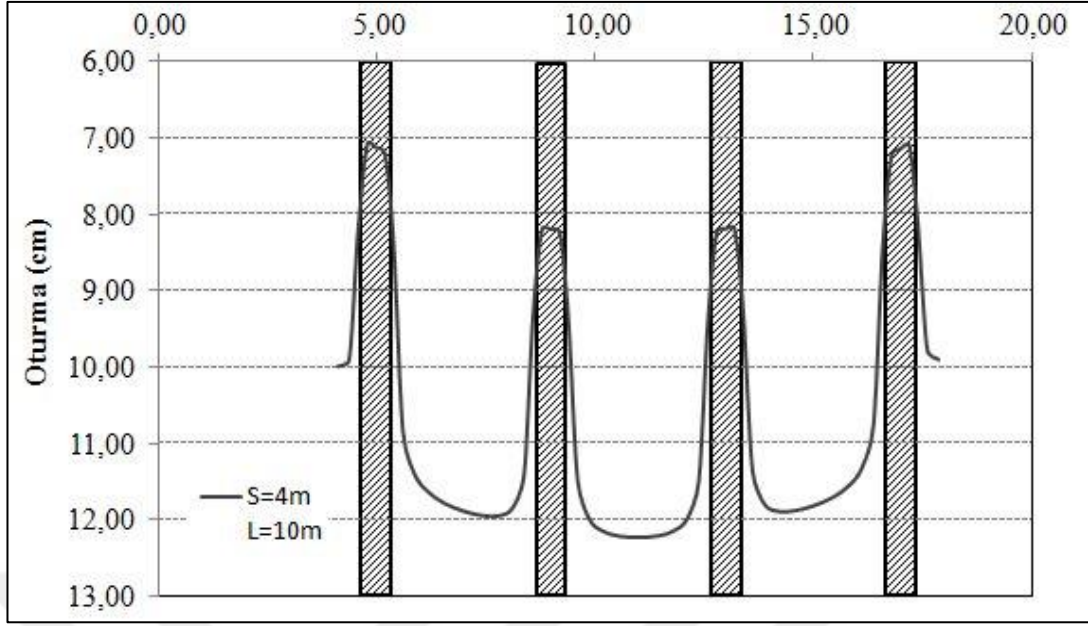
Şekil 6.28. FLAC 3D – 8 kazık için S:1m L:10m oturma grafiği



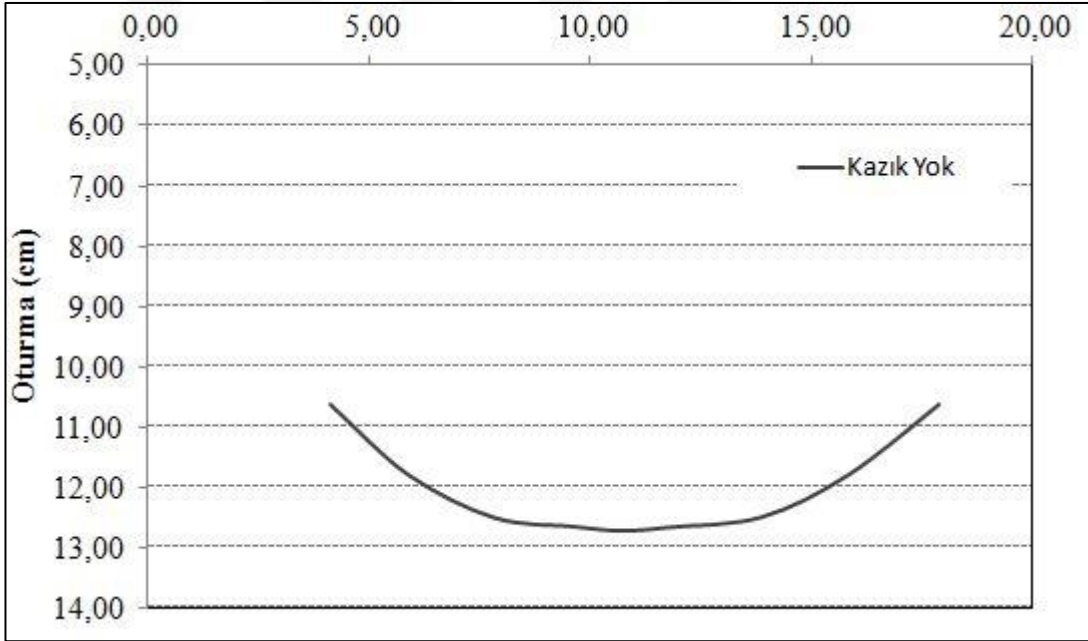
Şekil 6.29. FLAC 3D – 8 kazık için S:2,4m L:10m oturma grafiği



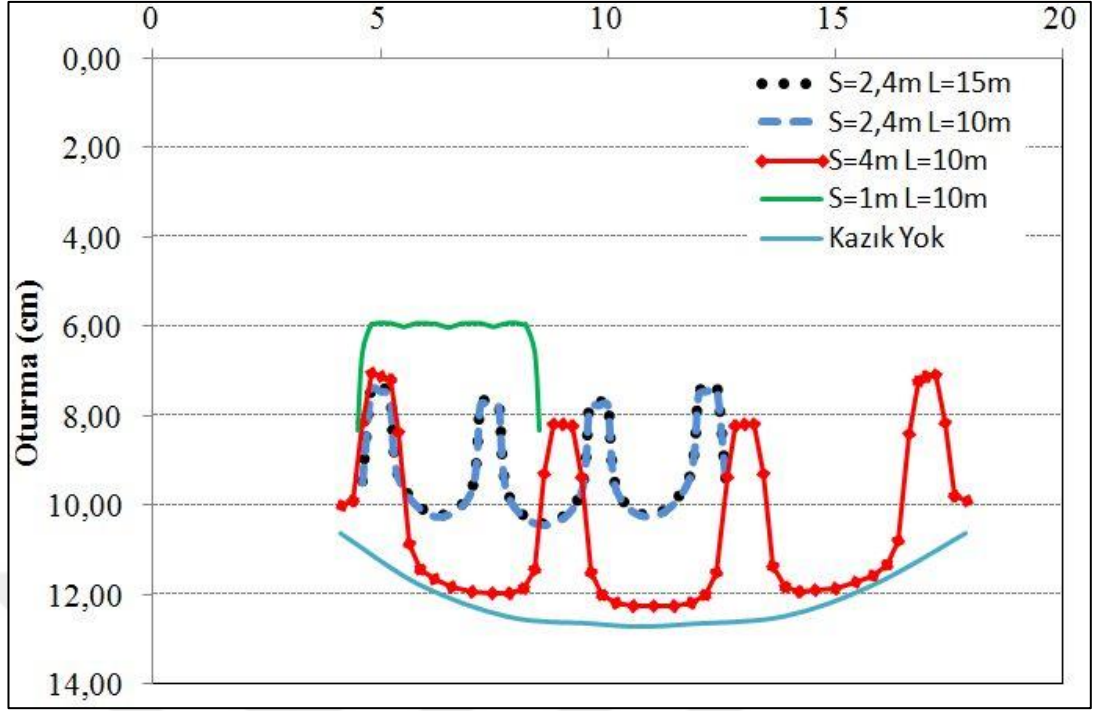
Şekil 6.30. FLAC 3D – 8 kazık için S:2,4m L:15m oturma grafiği



Şekil 6.31. FLAC 3D – 8 kazık için S:4m L:10m oturma grafiği



Şekil 6.32. FLAC 3D – Kazık uygulaması yapılmamış oturma grafiği

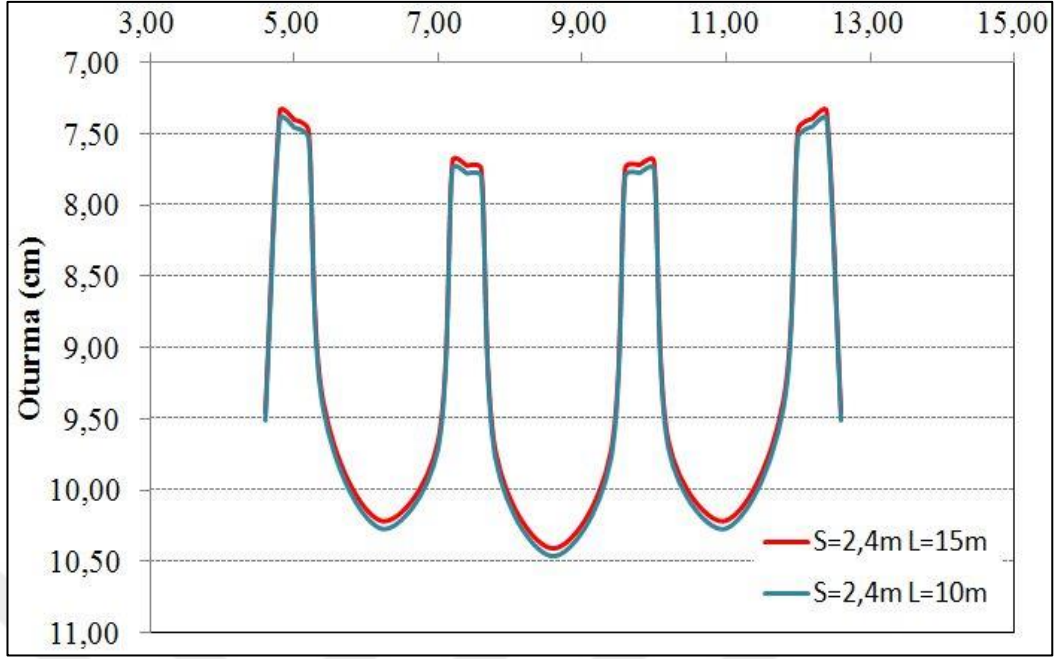


Şekil 6.33. FLAC 3D – 8 kazık uygulamalarının karşılaştırılması

8 kazık uygulaması için, kazıkların aks aralıklarına göre FLAC-3D programında çözümlenen modellerde, en büyük düşey deplasman (oturma) miktarı  $s=4m$  kazık aks aralığı ve  $L=10m$  kazık uzunluğu (Şekil 6.31) çözümüne bağlı olmak üzere  $8,20cm$  düzeyinde bulunmuştur. En düşük düşey deplasman  $s=1m$  kazık aks aralığı ve  $L=10m$  kazık uzunluğu (Şekil 6.28) ile hazırlanan modelde  $5,93cm$  seviyesinde gerçekleşmektedir.

8 kazık uygulaması için eşit yüke maruz kalan  $s=2,4m$  kazık aks aralığında çözümlenen  $L=10m$  ve  $L=15m$  uzunluğundaki kazıklarda (Şekil 6.34) oluşan düşey deplasmanlar irdelenmiştir.  $s=2,4m$  kazık aks aralığı ve  $L=10m$  kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere oluşan düşey deplasman  $7,77cm$  düzeyinde bulunurken,  $s=2,4m$  kazık aks aralığı ve  $L=15m$  kazık uzunluğu çözümüne bağlı olmak üzere oluşan düşey deplasman  $7,72cm$  olarak bulunmuştur.



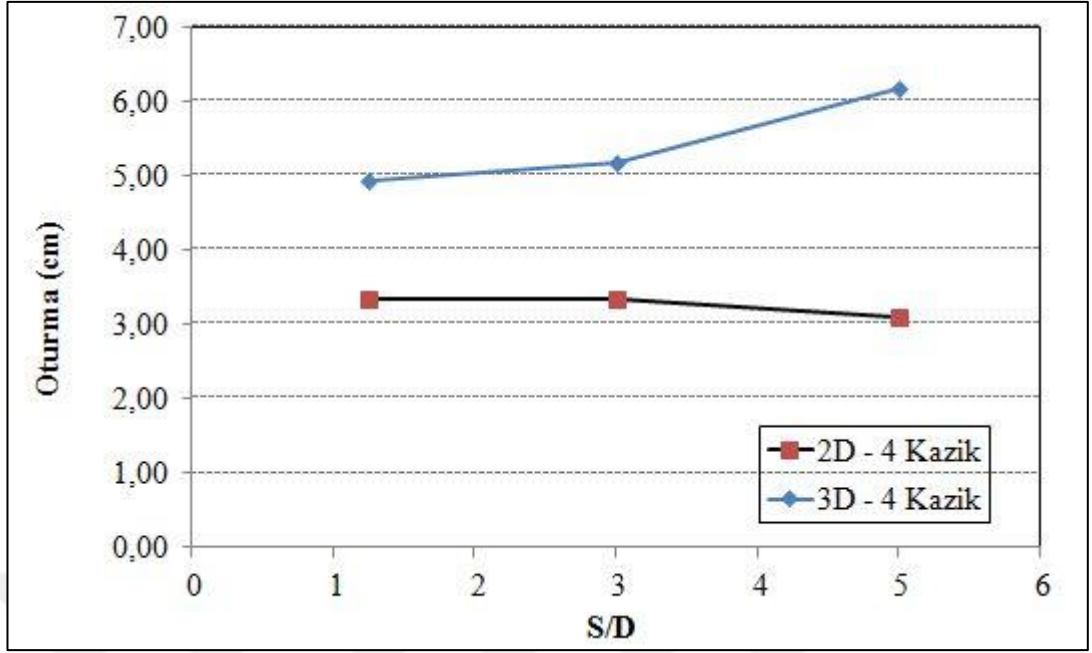


Şekil 6.34. FLAC 3D – 8 kazık S=2,4m için L=10m ve L=15m oturmalarının karşılaştırılması

#### 6.4.3. İki (2D) ve üç boyutlu (3D) analizlerin karşılaştırılması

Kazıkların aks aralıklarına bağlı olarak kumlu bir zeminde inşa edilen kazık sisteminde kazıklar arası mesafenin etkisinin iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) analizlerinin karşılaştırılması ele alınmıştır.

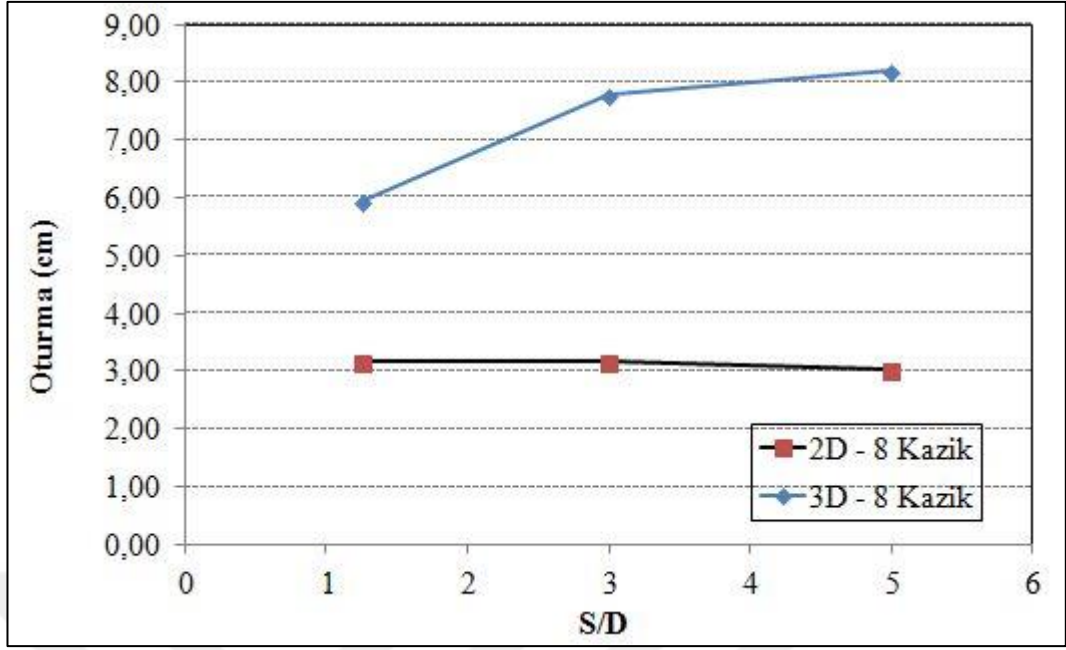
4 kazık uygulaması için, kazıklar arası aks mesafesine bağlı olarak oturma değerlerin değişimi Şekil 6.35'te verilmiştir.



Şekil 6.35. FLAC 2D ve FLAC 3D – 4 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması

4 kazık uygulaması için, kazıklar aks mesafesine bağlı düşey deplasman analizlerinde, 3D analize bağlı oluşan değerler 2D analize göre ortalama daha yüksek mertebelerde gerçekleşmiştir. 2D analizde  $s=3D$  aks mesafesinden sonra düşey deplasman değerinde belirgin bir değişim meydana gelmediği, 3D analizde ise  $s=3D$  aks mesafesinden sonra, kazıklar arası mesafe arttıkça düşey deplasman değeri dramatik bir şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 6.35).

8 kazık uygulaması için, kazıklar arası aks mesafesine bağlı olarak oturma değerlerin değişimi Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.36. FLAC 2D ve FLAC 3D – 8 kazık için aks mesafesine bağlı oturma grafiklerinin karşılaştırılması

8 kazık uygulaması için, kazıklar aks mesafesine bağlı düşey deplasman analizlerinde, 3D analize bağlı oluşan değerler 2D analize göre ortalama daha yüksek mertebelerde gerçekleşmiştir. 2D analizde  $s=3D$  aks mesafesinden sonra düşey deplasman değerinde belirgin bir değişim meydana gelmediği, 3D analizde ise  $s=3D$  aks mesafesine kadar düşey deplasman hızlı bir artış göstermekte,  $s=3D$  aks mesafesinden sonra ise ufak artışlar meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6.36).

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde kazıklı temeller çok yaygın olarak zemin problemlerinde kullanılmaktadırlar. Kazıklı temellerin güvenli ve ekonomik olarak optimum kriterlerde tasarlanması gerekmektedir. Bu optimum kriterlerin sağlanması amacıyla birçok sayısal modelleme ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da, düşey yüklü kazıkların analizinde kullanılan sayısal modelleme yöntemlerinden biri olan sonlu farklar yöntemi kullanılmaktadır. Düşey yükleme altındaki grup kazıkların davranışlarının çözümü için kullanılan yöntemler anlatılmaktadır.

Kohezyonsuz bir zemin içerisinde kazıklı temeller, sonlu farklar paket programı FLAC 2D ve FLAC 3D ile modellenmiş, aynı zemin içerisinde kazık aks aralığına göre oluşturulan modellerin analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Analizlerde kum zemin üzerinde, 800 mm çapında, 10m ve 15m uzunluğunda 4'lü ve 8'li kazıklar kullanıldı. Kazık aralıkları 1m, 2,4m ve 4m şeklinde değiştirilerek analizler yapıldı.

Analizlerde farklı kazık aralıkları baz alınarak, kazık gruplarında oluşan deplasmanlar ve her bir kazığın yapmış olduğu düşey deplasmanlar analiz edildi.

Bu çalışmada; kazıklar arası mesafenin kumlu zeminlerde inşa edilen kazıklı temel sistemindeki etkisi incelenmiştir. Literatür ile birlikte FLAC programı kullanılarak iki (2D) ve üç boyutlu (3D) modellerde analizi yapılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kazıkların yük-oturma davranışı, tekil kazığın davranışından farklı olmaktadır. Kazıklar arası yük dağılımı da farklılık göstermektedir. Düzgün yayılı yük altında kumlu zeminlerde köşe kazıklar en fazla yükü alırken, merkeze doğru gidildikçe alınan yük miktarı azalmaktadır.
- Kazıklı temellerin yük-oturma davranışını belirleyen önemli parametreler arasında kazık grup alanı, kazık aralığı ve kazık boyu gibi geometrik özellikler yer almaktadır. Birçok araştırmacı bu parametreler için optimum değerler önermektedir.
- Kazık modellemesi için üç boyutlu sonlu farklar yazılımı, parametrelerin tanımlanması, ölçülendirme, ve hesap aşamasında yapısal elemanların alan etkisinin

incelenmesi açısından daha gerçekçi ve uygundur.

- Üç boyutlu (3D) analizde oturma miktarı, belli ( $s=3D$ ) değerden sonra kazık aks aralığı arttıkça dramatik şekilde bir artış gösterirken, iki boyutlu (2D) analizde genel olarak sabit kalmaktadır.
- Düşey deplasman değerlerinde, üç boyutlu (3D) analizlerin sonuçları, iki boyutlu (2D) analiz sonuçlarına göre daha yüksek değerler vermiştir.

İki boyutlu analizde kullanılan radye, kazık, zemin, yapısal elemanlar ve yükler birim genişlik için tanımlanırken, üç boyutluda kazık çapı, radye uzunluğu gibi üçüncü boyutlar ölçülendirilerek daha gerçekçi bir tanımlama ve hesaplama oluşturulmuştur. Dolayısıyla üç boyutlu analizlerin (3D), iki boyutlu (2D) analizlere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Kazık grup modelinin 3D model analizinde, yük - deformasyon – alan olarak detaylı sonuçları analiz edilirken, iki boyutluda üçüncü boyutun etkisi görülememektedir.

## KAYNAKLAR

Brinkgreve R. B. J., Broere W., *Plaxis 3D Foundation v1.6 Manual*, 1st ed., Delft University of Technology, Delft, 2006.

Brown K. W., *Design and Construction with the 2006 International Building Code, Foundation Engineering Handbook*, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., California, 2006.

Candoğan A., *The Art and Practice of Foundation Engineering*, 2nd ed., Digital Dreams, Istanbul, 2009.

Chellis R. D., *Pile Foundations*, 2nd. ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1961.

Das M. B., *Advanced Soil Mechanics*, 4th ed., Taylor & Francis, USA, 2004.

Das M. B., *Principles of Foundation Engineering*, 4th ed., Pws – Kent Pub., California, 1999.

Das M. B., *Principles of Foundation Engineering*, 7th ed., Brooks/Cole, California, 2007.

Davis E. H., Poulos H. G., The Analysis of Piled Raft Systems, *Australian Geomechanic Journal*, 1972, **2**, 21–27.

Day R. W., *Geoteknik Mühendisliği El Kitabı*, Çeviri: Kayabalı K., Mollamahmutoğlu M., 2. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2004.

Leonards G. A., *Foundation Engineering*, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1962.

Mert M., Statik ve Dinamik Kazık Yükleme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 323726.

Meyerhof G. G., Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 1976, **102**, 195–228.

Poulos H. G., Davis E. H., *Pile Foundation Analysis and Design*, 1st ed., John Wiley&Sons, New York, 1980.

Prakash S., Sharma H. D., *Pile Foundations in Engineering Practice*, 1st ed., John Wiley&Sons, New York, 1990.

Sert S., Alüviyal Ortamda Kazıklı Yayılı Temellerin Üç Boyutlu Analizi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2003, 136446.

Şen S., Kohezyonsuz Zeminde ve Kayaya Soketli Perde Kazıkların Taşıma Gücü Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 222867.

Terzaghi K., Peck R., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., John Wiley&Sons, New York, 1967.

Tomlinson M. J., *Pile Design and Construction Practice*, 1st ed., Viewpoint Publ., London, 1977.

Tomlinson M. J., *Pile Design and Construction Practice*, 4th ed., Chapman and Hall, London, 1994.

Turan E., Statik ve Dinamik Düşey Yükler Altındaki Kazıklı Temellerin Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2006, 181533.

Üzel S., Endüstriyel Çelik Binalarda Kazık Temellerin Binanın Dinamik Davranışına Olan Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 290177.

Vesic A. S., Load Transfer in Pile Soil Systems, *Proceeding Conference and Design Installation of Piled Foundations*, Lehigh University, Pennsylvania, 2-5 July 1970.

Vesic A. S., Design of Pile Foundations, *NCHRP Synthesis of Highway Practice 42*, TRB, National Research Council, Washington, 1977, **68**.

Yalçın A., Kazıklı Radyejeneral Temellerin Düşey ve Yatay Yükler Altında Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 291937.

Yazıcı A. G., Kazıklar Arası Mesafenin Kazıklı Radye Temel Sisteminde Etkisinin İki ve Üç Boyutlu Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2013, 332246.



**EKLER**



**EK-A**

Tablo A.1. FLAC 2D - Kazık yapılmaksızın oluşan program veri tablosu

4 Kazık FLAC 2D S= 2,4m L=15m			
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
0,2	3,367	5,8	3,295
0,4	3,368	6,0	3,295
0,6	3,369	6,2	3,294
0,8	3,368	6,4	3,293
1,0	3,367	6,6	3,293
1,2	3,361	6,8	3,294
1,4	3,357	7,0	3,295
1,6	3,354	7,2	3,296
1,8	3,351	7,4	3,298
2,0	3,348	7,6	3,302
2,2	3,345	7,8	3,306
2,4	3,341	8,0	3,309
2,6	3,336	8,2	3,313
2,8	3,332	8,4	3,317
3,0	3,327	8,6	3,320
3,2	3,323	8,8	3,324
3,4	3,318	9,0	3,327
3,6	3,314	9,2	3,330
3,8	3,309	9,4	3,332
4,0	3,304	9,6	3,335
4,2	3,302	9,8	3,336
4,4	3,300	10,0	3,338
4,6	3,297	10,2	3,339
4,8	3,296	10,4	3,342
5,0	3,295	10,6	3,348
5,2	3,296	10,8	3,352
5,4	3,296	11,0	3,353
5,6	3,296	11,2	3,355

Tablo A.2. FLAC 2D - 4 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 2D S= 4m L=10m			
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
12,00	3,152	17,20	3,094
12,40	3,142	17,60	3,092
12,80	3,131	18,00	3,088
13,20	3,121	18,40	3,089
13,60	3,110	18,80	3,092
14,00	3,098	19,20	3,100
14,40	3,092	19,60	3,107

Tablo A.2. (Devam) FLAC 2D - 4 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu

14,80	3,089	20,00	3,113
15,20	3,088	20,40	3,121
15,60	3,091	20,80	3,127
16,00	3,093	21,20	3,134
16,40	3,094	21,60	3,143
16,00	3,094	22,00	3,152

Tablo A.3. FLAC 2D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 2D S=2,4m L=10m			
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
0,2	3,408	5,8	3,337
0,4	3,410	6,0	3,336
0,6	3,410	6,2	3,336
0,8	3,410	6,4	3,334
1,0	3,409	6,6	3,335
1,2	3,403	6,8	3,335
1,4	3,399	7,0	3,336
1,6	3,396	7,2	3,338
1,8	3,393	7,4	3,340
2,0	3,390	7,6	3,343
2,2	3,386	7,8	3,347
2,4	3,382	8,0	3,351
2,6	3,378	8,2	3,355
2,8	3,373	8,4	3,358
3,0	3,369	8,6	3,361
3,2	3,365	8,8	3,365
3,4	3,360	9,0	3,368
3,6	3,355	9,2	3,371
3,8	3,350	9,4	3,374
4,0	3,346	9,6	3,376
4,2	3,343	9,8	3,377
4,4	3,341	10,0	3,379
4,6	3,339	10,2	3,381
4,8	3,337	10,4	3,383
5,0	3,337	10,6	3,389
5,2	3,337	10,8	3,393
5,4	3,337	11,0	3,394
5,6	3,337	11,2	3,396

Tablo A.4. FLAC 2D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 2D S= 2,4m L=15m			
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
0,2	3,367	5,8	3,295

Tablo A.4. (Devam) FLAC 2D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu

0,4	3,368	6,0	3,295
0,6	3,369	6,2	3,294
0,8	3,368	6,4	3,293
1,0	3,367	6,6	3,293
1,2	3,361	6,8	3,294
1,4	3,357	7,0	3,295
1,6	3,354	7,2	3,296
1,8	3,351	7,4	3,298
2,0	3,348	7,6	3,302
2,2	3,345	7,8	3,306
2,4	3,341	8,0	3,309
2,6	3,336	8,2	3,313
2,8	3,332	8,4	3,317
3,0	3,327	8,6	3,320
3,2	3,323	8,8	3,324
3,4	3,318	9,0	3,327
3,6	3,314	9,2	3,330
3,8	3,309	9,4	3,332
4,0	3,304	9,6	3,335
4,2	3,302	9,8	3,336
4,4	3,300	10,0	3,338
4,6	3,297	10,2	3,339
4,8	3,296	10,4	3,342
5,0	3,295	10,6	3,348
5,2	3,296	10,8	3,352
5,4	3,296	11,0	3,353
5,6	3,296	11,2	3,355

Tablo A.5. FLAC 2D - 4 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 2D S= 4m L=10m			
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
12,00	3,152	17,20	3,094
12,40	3,142	17,60	3,092
12,80	3,131	18,00	3,088
13,20	3,121	18,40	3,089
13,60	3,110	18,80	3,092
14,00	3,098	19,20	3,100
14,40	3,092	19,60	3,107
14,80	3,089	20,00	3,113
15,20	3,088	20,40	3,121
15,60	3,091	20,80	3,127
16,00	3,093	21,20	3,134
16,40	3,094	21,60	3,143
16,80	3,094	22,00	3,152

Tablo A.6. FLAC 2D - 8 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu

8 Kazık FLAC 2D S= 1m L=10m					
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
0,20	3,277	4,60	3,176	9,00	3,183
0,40	3,278	4,80	3,170	9,20	3,189
0,60	3,279	5,00	3,166	9,40	3,195
0,80	3,278	5,20	3,163	9,60	3,201
1,00	3,277	5,40	3,160	9,80	3,207
1,20	3,270	5,60	3,158	10,00	3,213
1,40	3,266	5,80	3,157	10,20	3,218
1,60	3,263	6,00	3,156	10,40	3,223
1,80	3,260	6,20	3,155	10,60	3,228
2,00	3,256	6,40	3,154	10,80	3,232
2,20	3,252	6,60	3,153	11,00	3,236
2,40	3,248	6,80	3,152	11,20	3,239
2,60	3,242	7,00	3,153	11,40	3,242
2,80	3,237	7,20	3,153	11,60	3,245
3,00	3,231	7,40	3,154	11,80	3,248
3,20	3,225	7,60	3,156	12,00	3,25
3,40	3,218	7,80	3,158	12,20	3,252
3,60	3,211	8,00	3,16	12,40	3,255
3,80	3,204	8,20	3,162	12,60	3,26
4,00	3,197	8,40	3,166	12,80	3,265
4,20	3,190	8,60	3,17	13,00	3,267
4,40	3,183	8,80	3,176	13,20	3,268

Tablo A.7. FLAC 2D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu

8 Kazık FLAC 2D S= 2,4m L= 10m			
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
0,20	3,183	5,80	3,140
0,40	3,184	6,00	3,139
0,60	3,184	6,20	3,138
0,80	3,184	6,40	3,137
1,00	3,182	6,60	3,137
1,20	3,176	6,80	3,137
1,40	3,171	7,00	3,137
1,60	3,168	7,20	3,138
1,80	3,165	7,40	3,139
2,00	3,163	7,60	3,140
2,20	3,162	7,80	3,142
2,40	3,160	8,00	3,143
2,60	3,158	8,20	3,144
2,80	3,157	8,40	3,144
3,00	3,156	8,60	3,144
3,20	3,154	8,80	3,144

Tablo A.7. (Devam) FLAC 2D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu

3,40	3,152	9,00	3,145
3,60	3,150	9,20	3,146
3,80	3,148	9,40	3,147
4,00	3,145	9,60	3,148
4,20	3,143	9,80	3,149
4,40	3,142	10,00	3,151
4,60	3,141	10,20	3,153
4,80	3,140	10,40	3,156
5,00	3,139	10,60	3,162
5,20	3,140	10,80	3,167
5,40	3,140	11,00	3,168
5,60	3,140	11,20	3,170

Tablo A.8. FLAC 2D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu

8 Kazık FLAC 2D S= 2,4m L= 12m			
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
0,20	3,131	5,80	3,088
0,40	3,133	6,00	3,088
0,60	3,133	6,20	3,087
0,80	3,132	6,40	3,086
1,00	3,131	6,60	3,086
1,20	3,124	6,80	3,086
1,40	3,120	7,00	3,086
1,60	3,117	7,20	3,087
1,80	3,114	7,40	3,087
2,00	3,112	7,60	3,089
2,20	3,110	7,80	3,090
2,40	3,109	8,00	3,091
2,60	3,107	8,20	3,092
2,80	3,106	8,40	3,093
3,00	3,105	8,60	3,093
3,20	3,103	8,80	3,093
3,40	3,101	9,00	3,094
3,60	3,099	9,20	3,095
3,80	3,096	9,40	3,096
4,00	3,094	9,60	3,097
4,20	3,092	9,80	3,098
4,40	3,091	10,00	3,100
4,60	3,090	10,20	3,102
4,80	3,089	10,40	3,105
5,00	3,088	10,60	3,111
5,20	3,088	10,80	3,116
5,40	3,089	11,00	3,117
5,60	3,089	11,20	3,119

Tablo A.9. FLAC 2D - 8 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu

B Kazık FLAC 2D S=4m L=10m					
Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay aralık (m)	Oturma (cm)
0,14	3,241	3,87	3,033	7,60	3,024
0,28	3,246	4,01	3,032	7,74	3,029
0,41	3,248	4,15	3,029	7,88	3,035
0,55	3,245	4,29	3,025	8,02	3,044
0,69	3,244	4,42	3,020	8,16	3,058
0,83	3,243	4,56	3,014	8,30	3,072
0,97	3,237	4,70	3,007	8,43	3,085
1,11	3,232	4,84	2,998	8,57	3,098
1,24	3,226	4,98	2,993	8,71	3,110
1,38	3,219	5,12	2,991	8,85	3,122
1,52	3,212	5,25	2,991	8,99	3,134
1,66	3,204	5,39	2,996	9,13	3,144
1,80	3,195	5,53	2,998	9,26	3,155
1,94	3,185	5,67	2,999	9,40	3,165
2,07	3,175	5,81	2,999	9,54	3,174
2,21	3,165	5,95	2,998	9,68	3,182
2,35	3,154	6,08	2,995	9,82	3,189
2,49	3,143	6,22	2,990	9,96	3,196
2,63	3,131	6,36	2,989	10,09	3,202
2,77	3,119	6,50	2,990	10,23	3,207
2,90	3,107	6,64	2,995	10,37	3,211
3,04	3,094	6,78	3,003	10,51	3,214
3,18	3,081	6,91	3,009	10,65	3,219
3,32	3,067	7,05	3,013	10,79	3,218
3,46	3,053	7,19	3,018	10,92	3,218
3,60	3,044	7,33	3,021	11,06	3,220
3,73	3,037	7,47	3,023	11,20	3,224

## EK-B

Tablo B.1. FLAC 3D - Kazık yapılmaksızın oluşan program veri tablosu

FLAC 3D Kazıksız Uygulama	
Yatay Aralık(m)	Oturma (cm)
4,13	10,61
5,87	11,78
7,82	12,50
9,62	12,65
10,72	12,72
11,82	12,66
13,87	12,49
15,82	11,79
17,87	10,61

Tablo B.2. FLAC 3D - 4 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 3D S= 1m L=10m					
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,50	7,33	5,18	4,93	5,82	4,94
4,50	5,53	5,20	4,93	6,00	4,93
4,80	4,92	5,40	4,98	6,18	4,93
4,82	4,92	5,50	5,01	6,18	4,93
4,82	4,92	5,60	4,98	6,2	4,93
5,00	4,92	5,80	4,93	6,40	5,53
5,18	4,93	5,82	4,93	6,50	7,31

Tablo B.3. FLAC 3D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 3D S= 2,4m L= 10m			
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,12	8,01	6,52	7,69
4,38	7,76	6,78	7,51
4,60	6,14	7,00	6,23
4,80	5,15	7,20	5,09
5,00	5,16	7,40	5,04
5,20	5,18	7,60	5,01
5,40	6,30	7,80	5,97
5,62	7,54	8,14	7,75
5,88	7,71	8,14	7,75
6,20	7,74	8,40	8,00

Tablo B.4. FLAC 3D - 4 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 3D S= 2,4m L= 15m			
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,12	7,98	6,52	7,67
4,38	7,74	6,78	7,49
4,60	6,12	7,00	6,22
4,80	5,13	7,20	5,07
5,00	5,14	7,40	5,03
5,20	5,16	7,60	5,00
5,40	6,29	7,80	5,96
5,62	7,52	8,14	7,74
5,88	7,68	8,14	7,73
6,20	7,72	8,40	7,97

Tablo B.5. FLAC 3D - 4 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu

4 Kazık FLAC 3D S= 4m L= 10m			
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,13	9,15	7,45	10,72
4,39	9,03	7,82	10,62
4,60	7,25	8,13	10,41
4,80	6,11	8,39	9,88
5,00	6,14	8,60	7,46
5,20	6,19	8,80	6,22
5,40	7,43	9,00	6,17
5,62	9,90	9,20	6,13
5,87	10,42	9,40	7,26
6,18	10,62	9,62	9,03
6,55	10,72	9,87	9,15
7,00	10,75		

Tablo B.6. FLAC 3D - 8 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu

8 Kazık FLAC 3D S= 1m L= 10m			
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,50	8,33	6,50	6,03
4,60	6,59	6,60	6,00
4,80	5,95	6,80	5,93
4,82	5,95	6,82	5,94
4,82	5,94	7,00	5,93
5,00	5,92	7,18	5,93
5,18	5,93	7,18	5,93
5,18	5,93	7,20	5,93
5,20	5,93	7,40	5,99
5,40	5,98	7,50	6,01
5,50	6,01	7,60	5,98



Tablo B.6. (Devam) FLAC 3D - 8 kazık için S= 1m ve L=10m program veri tablosu

5,60	5,99	7,80	5,93
5,80	5,93	7,82	5,93
5,82	5,93	7,82	5,93
5,82	5,93	8,00	5,93
6,00	5,93	8,18	5,97
6,18	5,94	8,18	5,95
6,18	5,94	8,20	5,96
6,20	5,94	8,40	6,60
6,40	6,00	8,50	8,33

Tablo B.7. FLAC 3D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=10m program veri tablosu

8 kazık FLAC 3D S= 2,4m ve L=10m			
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,60	9,51	9,40	9,78
4,80	7,39	9,60	7,79
5,00	7,45	9,80	7,77
5,20	7,53	10,00	7,74
5,40	9,42	10,20	9,71
6,20	10,27	11,00	10,27
7,00	9,71	11,80	9,42
7,29	7,74	12,00	7,53
7,40	7,77	12,20	7,45
7,60	7,80	12,40	7,40
7,80	9,78	12,60	9,51
8,60	10,46		

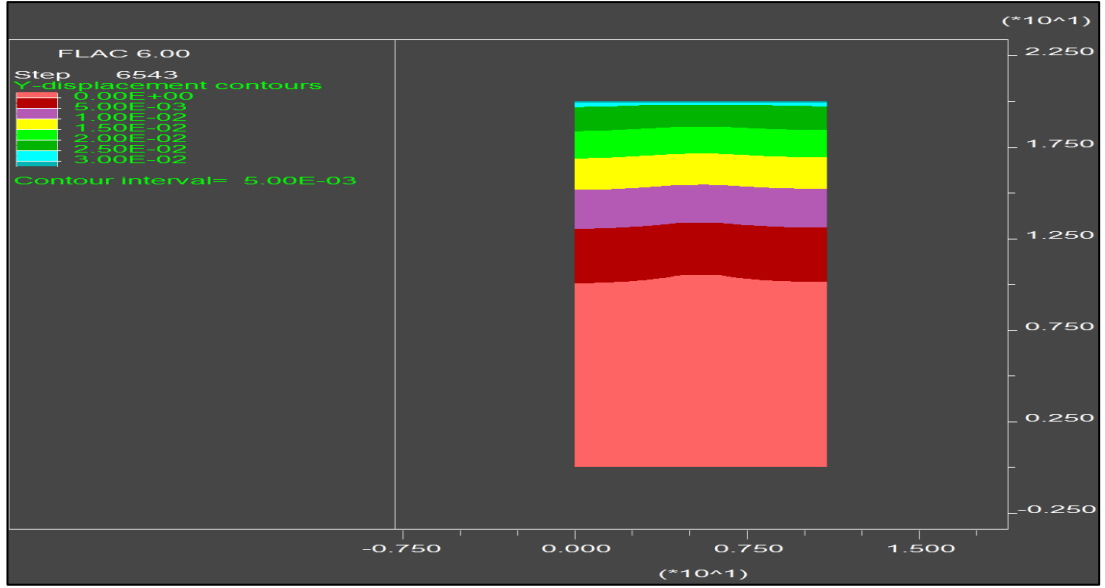
Tablo B.8. FLAC 3D - 8 kazık için S= 2,4m ve L=15m program veri tablosu

S Kazık FLAC3D S=2,4m L=15m			
Yatay Aralık(m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık(m)	Oturma (cm)
4,60	9,45	9,40	9,72
4,80	7,34	9,60	7,74
5,00	7,40	9,80	7,71
5,20	7,48	10,00	7,69
5,40	9,36	10,20	9,65
6,20	10,21	11,00	10,21
7,00	9,65	11,80	9,36
7,20	7,68	12,00	7,47
7,40	7,72	12,20	7,39
7,60	7,74	12,40	7,34
7,80	9,73	12,60	9,45
8,60	10,40		

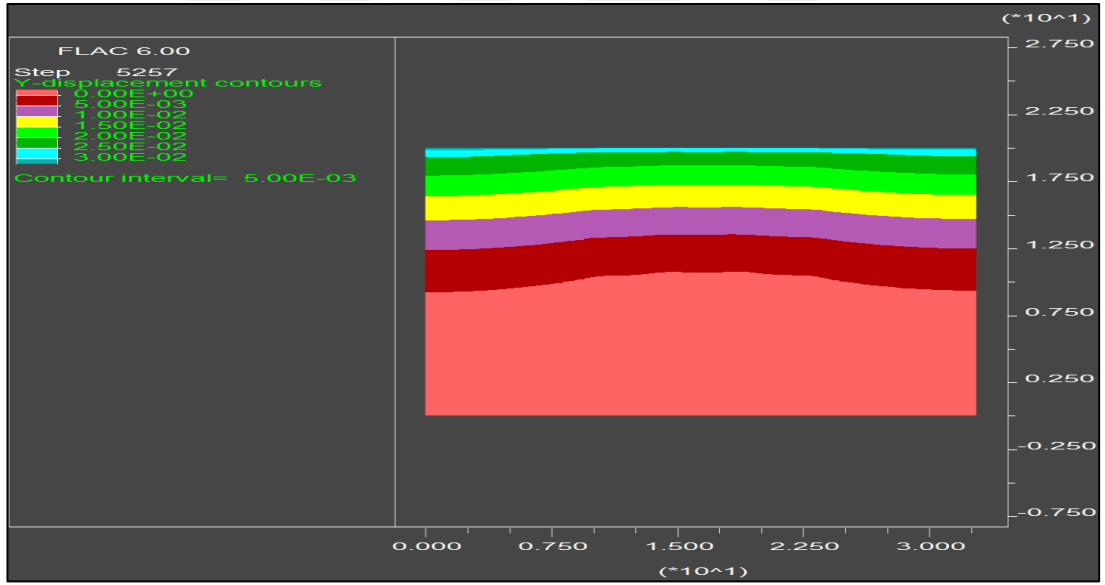
Tablo B.9. FLAC 3D - 8 kazık için S= 4m ve L=10m program veri tablosu

8 Kazık FLAC 3D S= 4m L= 10m					
Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)	Yatay Aralık (m)	Oturma (cm)
4,13	10,00	8,80	8,20	13,40	9,27
4,39	9,00	9,00	8,20	13,62	11,36
4,60	8,14	9,20	8,24	13,87	11,79
4,80	7,08	9,40	9,37	14,18	11,89
5,00	7,13	9,62	11,50	14,55	11,89
5,20	7,20	9,87	11,99	15,00	11,83
5,40	8,37	10,18	12,15	15,45	11,71
5,62	10,85	10,55	12,22	15,82	11,56
5,87	11,40	11,00	12,24	16,13	11,32
6,18	11,64	11,45	12,22	16,39	10,76
6,55	11,79	11,82	12,15	16,60	8,39
7,00	11,89	12,13	11,99	16,80	7,22
7,45	11,95	12,39	11,50	17,00	7,15
7,82	11,95	12,60	9,36	17,20	7,10
8,13	11,85	12,80	8,23	17,40	8,14
8,39	11,43	13,00	8,19	17,62	9,78
8,60	9,28	13,20	8,19	17,87	9,91

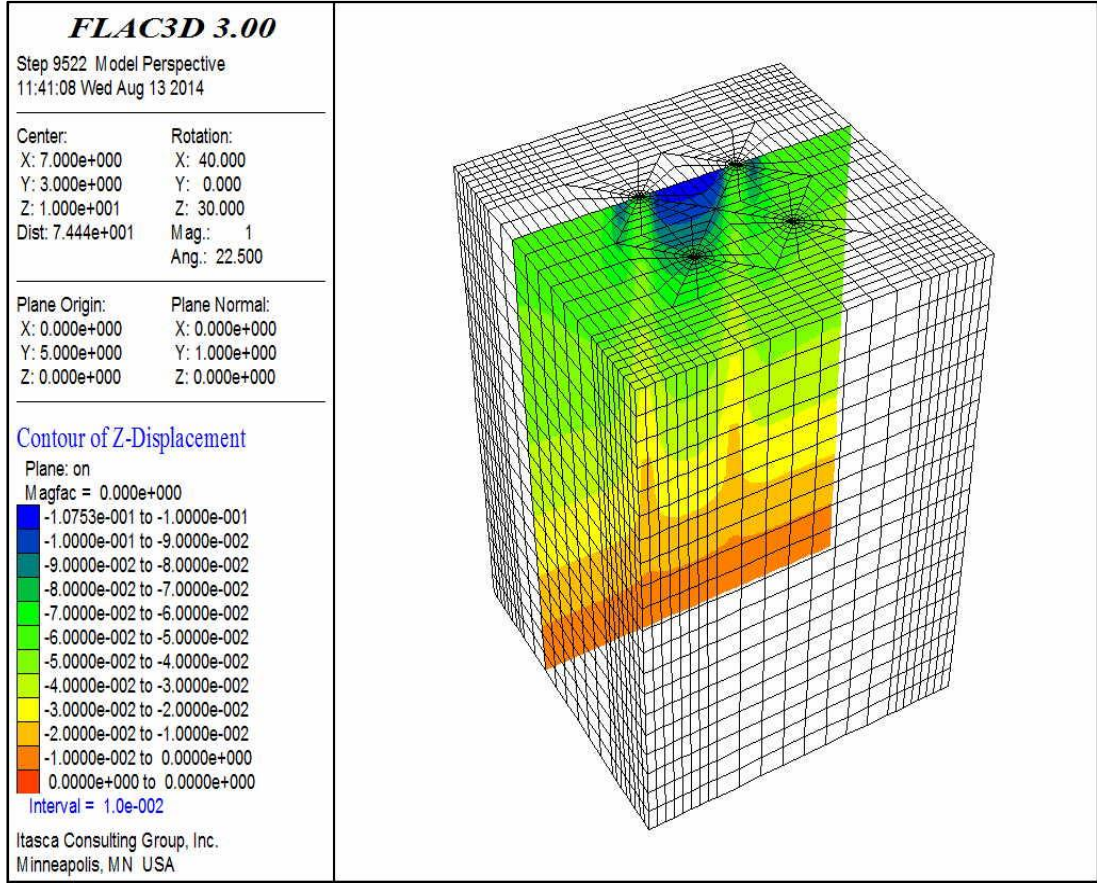
## EK-C



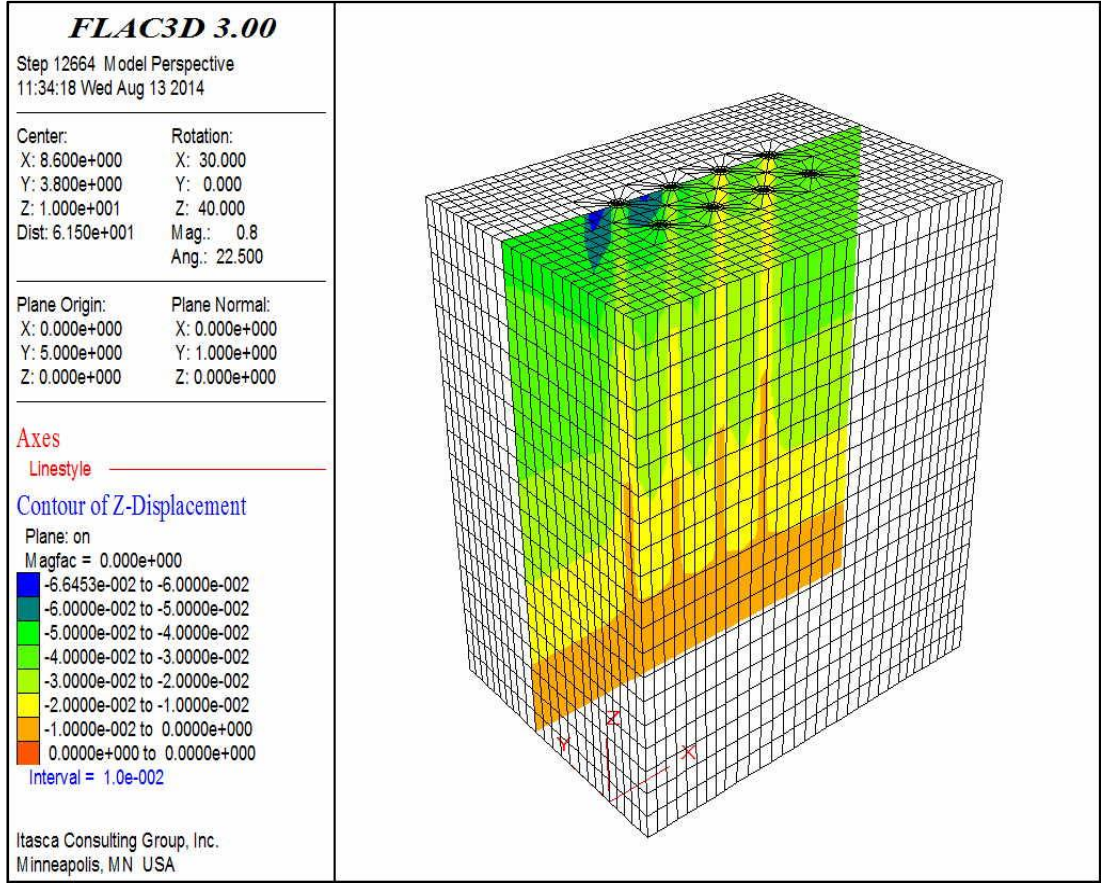
Şekil C.1. FLAC 2D – 4 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü



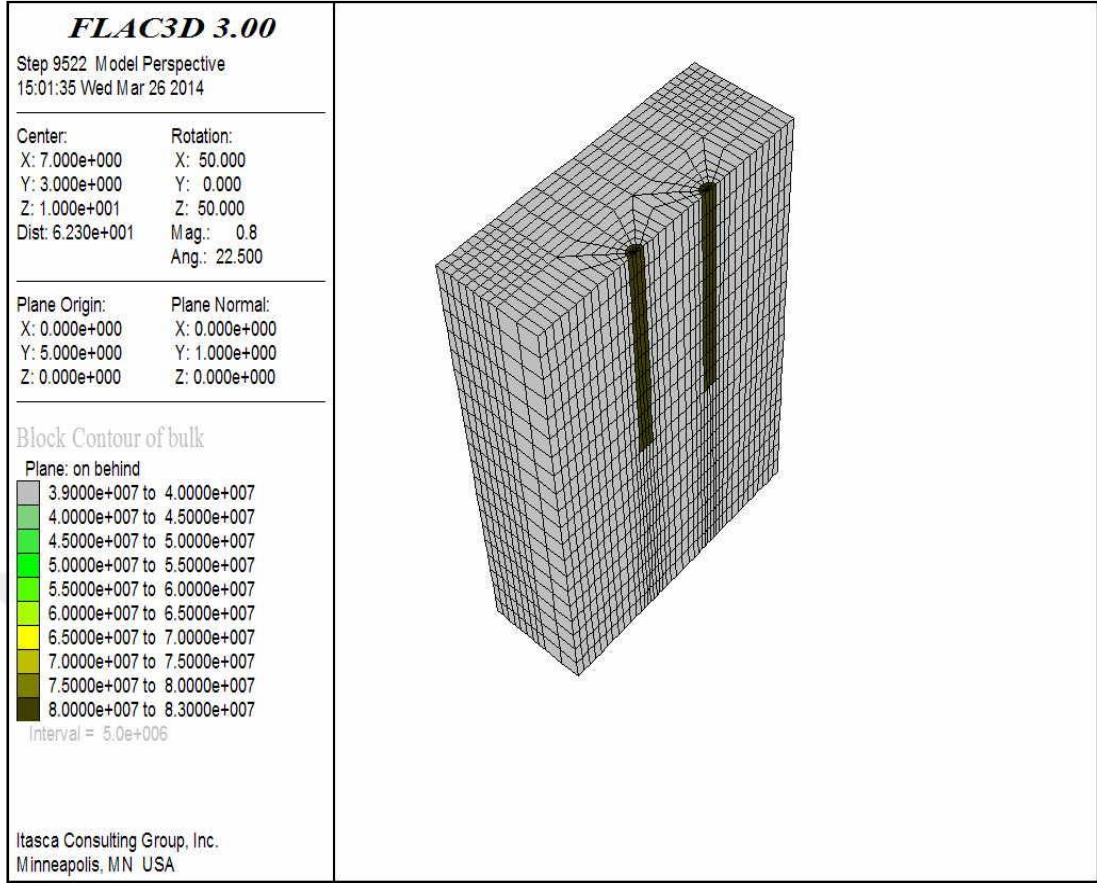
Şekil C.2. FLAC 2D – 8 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü



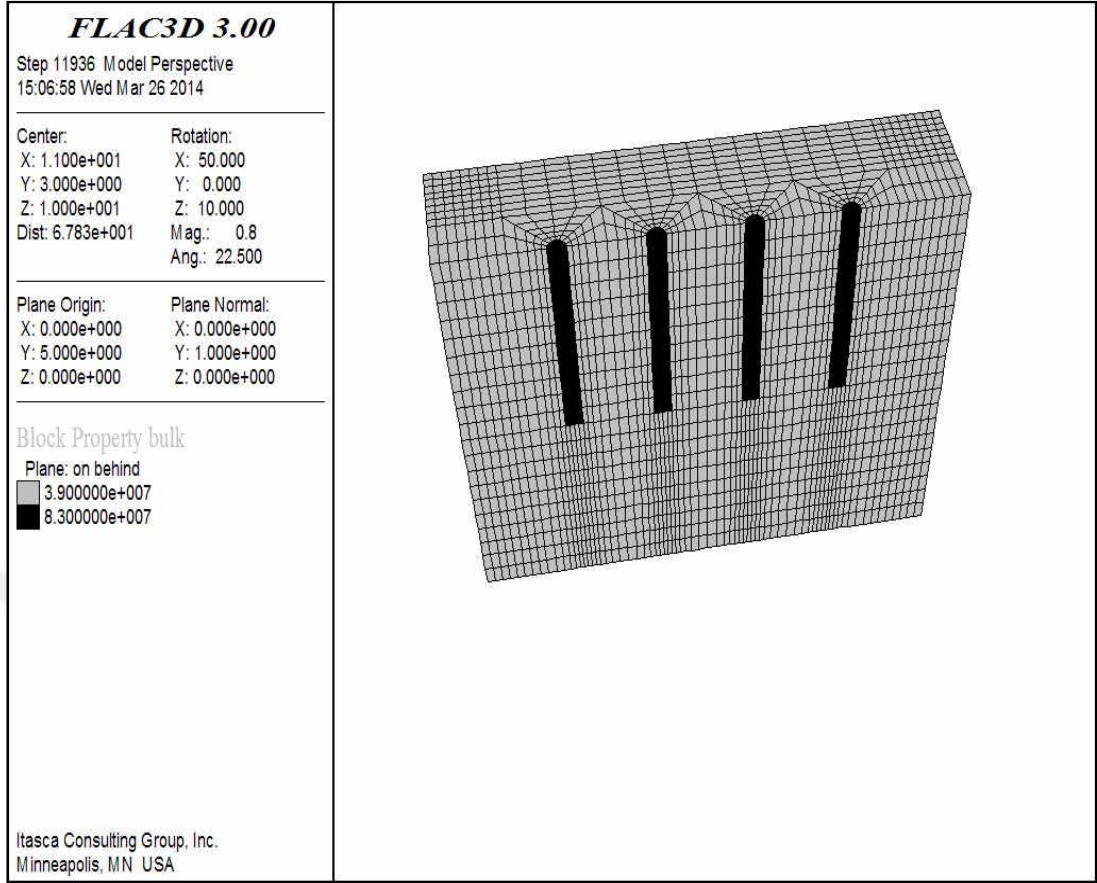
Şekil C.3. FLAC 3D – 4 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü



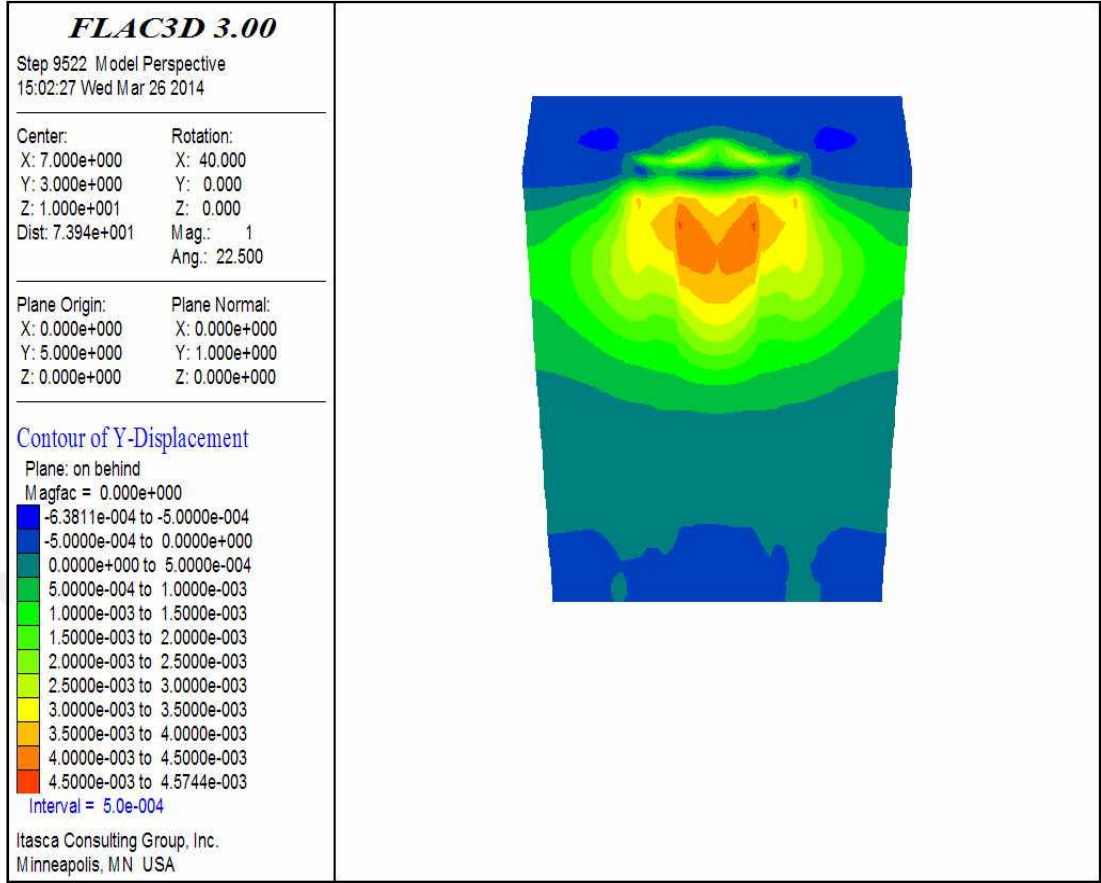
Şekil C.4. FLAC 3D – 8 Kazık için elde edilen düşey deplasman değerleri kesit görünümü



Şekil C.5. FLAC 3D – 4 Kazık için kullanılan zemin-kazık modeli

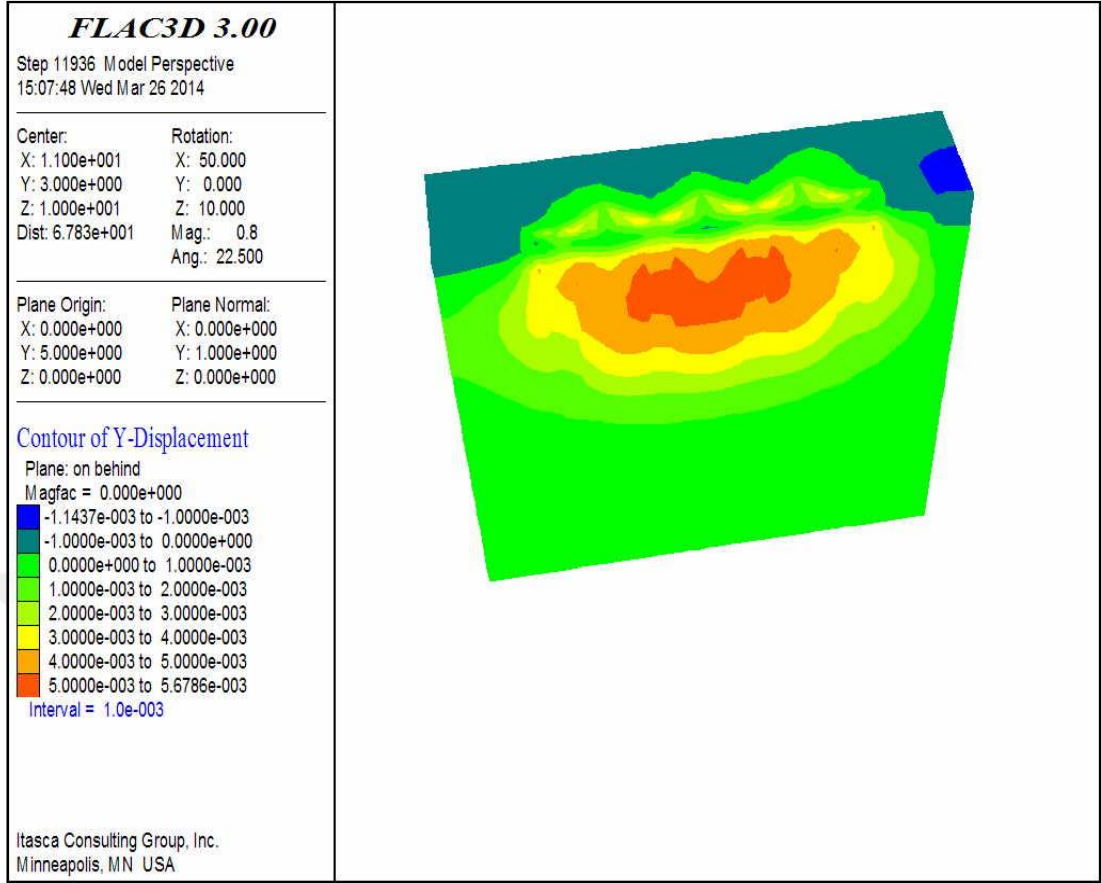


Şekil C.6. FLAC 3D – 8 Kazık için kullanılan zemin-kazık modeli



Şekil C.7. FLAC 3D – 4 Kazık için oturma dağılımı konturu





Şekil C.8. FLAC 3D – 8 Kazık için oturma dağılımı konturu

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

**Mazak E.**, Kazık Davranışının 2D ve 3D Olarak Araştırılması, *İMO Kocaeli Bülten*, 2016, **4**.



## ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Karabük'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2004 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında bölüm ikinciliğiyle mezun oldu. Lisans eğitiminin tamamlanmasının ardından yurtiçi ve yurtdışı projelerinde görev aldı. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

