

169186

**YATAK KATSAYISI DEĐIŐKEN ELASTİK ZEMİNE  
KİSMİ GÖMÜLÜ KAZIKLARIN  
SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

**Yusuf YEŞİLCE**

**Aralık, 2004**

**İZMİR**

## Yüksek Lisans Tezi Sınav Sonuç Formu

Yusuf YEŞİLCE, tarafından Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL yönetiminde hazırlanan “Yatak Katsayısı Değişken Elastik Zemine Kısmi Gömülü Kazıkların Serbest Titreşim Analizi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL

Yönetici

Prof. Dr. Kamran KARAKURTUL

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa İLİTÖREN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit Helvacı

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

---

## TEŞEKKÜR

---

Yüksek lisans eğitimin süresince bana yol gösteren ve çalışmalarımı yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL'a göstermiş olduğu yakın ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşım Arş. Gör. Oktay DEMİRDAĞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi, yüksek lisans eğitimim süresince her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Aileme teşekkür eder, saygılar sunarım.

Yusuf YEŞİLCE

---

## ÖZET

---

Taşıyıcı özelliğe sahip tabakaları derinde olan zeminler üzerine yüksek yapı inşa etme zorunluluğu, çoğu kez kazıklı temel sistemlerinin tercih edilmesine neden olmaktadır. Ülkemizin hemen hemen tamamının aktif deprem kuşağı üzerinde bulunması nedeni ile kazıklı temel sistemlerinin statik analizlerinin yanısıra dinamik analizlerinin de yapılması, can ve mal güvenliği açısından önem taşımaktadır.

Yüksek lisans tezinde; iki tabakalı zemine kısmi gömülü kazığın, uçlarının mesnetlenme biçimine bağlı olarak elde edilen taşıma matrisi yardımı ile serbest titreşimine ait açısız frekanslarının hesaplanması; eksenel yükün, zemin yatak katsayısının ve bölgelere göre kazığın etkili boy değişiminin, serbest açısız frekanslara etkisinin araştırılması amaçlanmış ve bu amaca yönelik olarak; matematik hesap modeli geliştirilmiştir.

Zemin içinde iki, zemin dışında tek bölgeye sahip kazığın sınır ve süreklilik koşullarındaki artışın homojen denklem sayısını artırması nedeni ile çözüme iteratif yolla ulaşılmasını sağlayacak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Çalışmada elde edilen matematiksel bağıntılar, geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak çözülmüş, kazığın değişik sınır koşullarına ait grafikler oluşturularak pratikte uygulama kolaylığı sağlanmıştır.

**Anahtar sözcükler :** Kazıklı temel sistemleri, zemin yatak katsayısı, serbest titreşim analizi.

---

## ABSTRACT

---

Obligation of constructing high rise buildings on soft soils makes pile foundation systems necessary and preferable. Since a great part of our country is on the active earthquake zone, The dynamic analysis of the pile foundation systems gains an extra importance besides the static analysis in the view of the safety.

In the M.S. Thesis, the calculation of natural circular frequencies for the free vibration of pile partially embedded in the two layered soil, due to the values of axial compressive force, the modulus subgrade reaction and the length of the pile, is aimed by using carry – over matrix for different boundary conditions of the pile .

Two regions in the soil and one region above the soil increase the number of boundary and continuity conditions and therefore the number of the homogeneous equations. Therefore, a computer program is written to have solutions by an iterative method.

In this study, the mathematical equations are solved by using a computer program that is written by the author and the results are presented in graphs to simplify the applications due to the boundary conditions.

**Key words:** Pile foundation systems, modulus of subgrade reaction, free vibration analysis.

---

## İÇİNDEKİLER

---

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	IV
TABLO LİSTESİ .....	IX
ŞEKİL LİSTESİ .....	X

### Bölüm Bir GİRİŞ

1.1 Giriş .....	1
1.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar .....	2
1.3 Amaç ve Kapsam .....	3
1.4 Yapılan Kabuller .....	3
1.5 Temel Yaklaşımlar .....	4
1.5.1 Winkler Hipotezi .....	4
1.5.2 Taşıyıcı Sistem Dinamiği .....	8

**Bölüm İki**  
**ELASTİK ZEMİNE KISMİ GÖMÜLÜ**  
**KAZIĞIN DİFERANSİYEL DENKLEMİNİN**  
**ELDE EDİLMESİ**

2.1	1. Bölge İçin Kazığın Elastik Eğri Denkleminin Elde Edilmesi .....	12
2.2	2. Bölge İçin Kazığın Elastik Eğri Denkleminin Elde Edilmesi .....	16
2.3	3. Bölge İçin Kazığın Elastik Eğri Denkleminin Elde Edilmesi .....	20

**Bölüm Üç**  
**ELASTİK EĞRİ DENKLEMLERİNİN**  
**BOYUTSUZLAŞTIRILMASI**

3.1	Boyutsuzlaştırmanın Amacı .....	24
3.2	1. Bölgeye Ait Elastik Eğri Denkleminin Boyutsuzlaştırılması .....	24
3.3	2. Bölgeye Ait Elastik Eğri Denkleminin Boyutsuzlaştırılması .....	28
3.4	3. Bölgeye Ait Elastik Eğri Denkleminin Boyutsuzlaştırılması .....	30

**Bölüm Dört**  
**BOYUTSUZ DİFERANSİYEL DENKLEMLERİN**  
**ÇÖZÜLMESİ ve İÇ TESİRLERİN**  
**ELDE EDİLMESİ**

4.1	1. Bölgeye Ait Boyutsuz Diferansiyel Denklemin Çözülmesi .....	33
	4.1.1 1. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	37
4.2	2. Bölgeye Ait Boyutsuz Diferansiyel Denklemin Çözülmesi .....	40
	4.2.1 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	43

4.2.2	$\gamma_2 > 0, \Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	47
4.2.3	$\gamma_2 > 0, \Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	49
4.2.4	$\gamma_2 > 0, \Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	51
4.2.5	$\gamma_2 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	53
4.3	3. Bölgeye Ait Boyutsuz Diferansiyel Denklemin Çözülmesi .....	56
4.3.1	$\gamma_3 > 0, \Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	59
4.3.2	$\gamma_3 > 0, \Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	63
4.3.3	$\gamma_3 > 0, \Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	65
4.3.4	$\gamma_3 > 0, \Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	67
4.3.5	$\gamma_3 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi .....	68

## Bölüm Beş

### TAŞIMA MATRİSLERİNİN ELDE EDİLMESİ

5.1	1. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	72
5.2	2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	75
5.2.1	$\gamma_2 > 0, \Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	75
5.2.2	$\gamma_2 > 0, \Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	78
5.2.3	$\gamma_2 > 0, \Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	80



5.2.4 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	82
5.2.5 $\gamma_2 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	84
5.3 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	88
5.3.1 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	88
5.3.2 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	91
5.3.3 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	93
5.3.4 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	95
5.3.5 $\gamma_3 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi .....	97

### Bölüm Altı

## ZEMİNE GÖMÜLÜ KAZIĞA AİT İÇ TESİRLERİN TAŞINMASI

6.1 Sistem Taşıma Matrisinin Oluşturulması .....	102
6.2 Taşıma Matrisinin İndirgenmesi .....	111
6.2.1 Her İki Ucu Serbest Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi .....	112
6.2.2 Zemine Gömülü Ucu Ankastre Mesnetli, Zemin Üzerindeki Ucu Serbest Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi .....	113
6.2.3 Zemine Gömülü Ucu Ankastre Mesnetli, Zemin Üzerindeki Ucu Basit Mesnetli Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi .....	114
6.2.4 Zemine Gömülü Ucu Ankastre Mesnetli, Zemin Üzerindeki Ucu Kayıcı Ankastre Mesnetli Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi .....	115

**Bölüm Yedi**  
**BİLGİSAYAR PROGRAMI**  
**ve**  
**SAYISAL UYGULAMALAR**

7.1	Geliştirilmiş Bilgisayar Programı .....	117
7.2	Sayısal Uygulamalar .....	118
7.2.1	Sayısal Uygulama-1 .....	119
7.2.2	Sayısal Uygulama-2 .....	130
7.2.3	Sayısal Uygulama-3 .....	141
7.2.4	Sayısal Uygulama-4 .....	152

**Bölüm Sekiz**  
**SONUÇLAR**

KAYNAKLAR .....		165
-----------------	--	-----

**EKLER**

Ek-1:	Elastik Zemine Kısmi Gömülü Kazığın Serbest Titreşimine Ait Açısal Frekans Değerlerini Veren Bilgisayar Programının Akış Diyagramı .....	167
-------	--	-----

---

## TABLO LİSTESİ

---

	<b>Sayfa</b>
Tablo 1.1 (1 m.) genişliğindeki kazık için $n_h$ katsayısı ( $t/m^3$ ).....	7
Tablo 1.2 Yatak katsayısı ( $K_s$ ) değerinin zemin sınıflarına göre değişimi ( $t/m^3$ ).....	8
Tablo 3.1 Mesnetlenme biçimlerine göre ( $n=L_b/L$ ) katsayıları.....	26
Tablo 6.1 Taşımada olası kombinasyonlar.....	104

---

## ŞEKİL LİSTESİ

---

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1	İki tabakalı elastik zemine kısmi gömülü kazık..... 4
Şekil 1.2	Tek serbestlik dereceli sistem (TSD) modeli..... 10
Şekil 2.1	1. bölgeden çıkartılan diferansiyel parçanın iç kuvvet ve deformasyonları..... 12
Şekil 2.2	(I) profil en kesiti..... 15
Şekil 2.3	2. bölgeden çıkartılan diferansiyel parçanın iç kuvvet ve deformasyonları..... 16
Şekil 2.4	3. bölgeden çıkartılan diferansiyel parçanın iç kuvvet ve deformasyonları..... 20
Şekil 6.1	Kademeli taşıma..... 102
Şekil 6.2	Her iki ucu serbest kazık..... 112
Şekil 6.3	Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazık..... 113
Şekil 6.4	Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazık..... 114
Şekil 6.5	Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazık..... 115

Şekil 7.1	Her iki ucu serbest kazık.....	119
Şekil 7.2	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi.....	120
Şekil 7.3	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi.....	121
Şekil 7.4	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi.....	122
Şekil 7.5	a: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi.....	123
Şekil 7.6	a: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi.....	124
Şekil 7.7	a: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi.....	125
Şekil 7.8	a: $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi.....	126

- Şekil 7.9 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi..... 127
- Şekil 7.10 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi..... 128
- Şekil 7.11 Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazık..... 130
- Şekil 7.12 a:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi..... 131
- Şekil 7.13 a:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi..... 132
- Şekil 7.14 a:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi..... 133

- Şekil 7.15 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi..... 134
- Şekil 7.16 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi..... 135
- Şekil 7.17 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısıl frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısıl frekans değişimi..... 136
- Şekil 7.18 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi..... 137
- Şekil 7.19 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi..... 138

Şekil 7.20	a: $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısai frekans değişimi	
	b: $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısai frekans değişimi.....	139
Şekil 7.21	Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazık.....	141
Şekil 7.22	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açısai frekans değişimi	
	b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açısai frekans değişimi.....	142
Şekil 7.23	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açısai frekans değişimi	
	b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açısai frekans değişimi.....	143
Şekil 7.24	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açısai frekans değişimi	
	b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açısai frekans değişimi.....	144
Şekil 7.25	a: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açısai frekans değişimi	



- b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 1. moduna ait açısal  
frekans değişimi..... 145
- Şekil 7.26 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal  
frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal  
frekans değişimi..... 146
- Şekil 7.27 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 3. moduna ait açısal  
frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 3. moduna ait açısal  
frekans değişimi..... 147
- Şekil 7.28 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 1. moduna ait açısal  
frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 1. moduna ait açısal  
frekans değişimi..... 148
- Şekil 7.29 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal  
frekans değişimi
- b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal  
frekans değişimi..... 149
- Şekil 7.30 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli,  
diğer ucu basit mesnetli kazığının 3. moduna ait açısal  
frekans değişimi

	b: $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi.....	150
Şekil 7.31	Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazık.....	152
Şekil 7.32	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi.....	153
Şekil 7.33	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi.....	154
Şekil 7.34	a: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi.....	155
Şekil 7.35	a: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=0,25$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi b: $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$ ve $N_r=1,00$ için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi.....	156

- Şekil 7.36 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal frekans değişimi..... 157
- Şekil 7.37 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 3. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 3. moduna ait açısal frekans değişimi..... 158
- Şekil 7.38 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 1. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 1. moduna ait açısal frekans değişimi..... 159
- Şekil 7.39 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 2. moduna ait açısal frekans değişimi..... 160
- Şekil 7.40 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0,25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 3. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1,00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığının 3. moduna ait açısal frekans değişimi..... 161

---

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

---

### 1.1 Giriş

Ülkemizin hemen hemen tamamı aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bu neden ile ülkemiz için mühendislik çalışmalarında deprem mühendisliği ve depreme dayanıklı yapı tasarımı önem kazanmaktadır.

Günümüzde taşıyıcı özelliğe sahip tabakaları derinde olan zeminler üzerine yüksek yapı yapma gerekliliği, kazıklı temel uygulamaları üzerine olan bilimsel ve teknolojik gelişmeleri hızlandırmıştır.

Kazıklı temel uygulamalarının en sık uygulama alanı; taşıma gücü zayıf zeminler üzerine yapılan yapılardır. Bunun yanı sıra kazıklı temeller, makine temellerinde de uygulanmaktadır. Makine temellerinde meydana gelen düşey ve yatay titreşimler, burulma titreşimleri gibi etkiler kazık tasarımını daha karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca; eğilme momenti, aksenal ve kesme kuvveti tesiri altındaki elastik zemine kısmi gömülü kazıklar; marina, liman yapıları ile köprü ayaklarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kazıkların serbest titreşiminin hesabı; gerek kazıkların, gerekse bunlar ile bağlantılı üst yapıların deprem yükü altındaki dinamik davranışın belirlenmesi yönünden büyük önem taşımaktadır.

## 1.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Elastik zemine oturan kirişlerin davranışı üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Kazığı, bir kiriş gibi modellemek mümkün olduğundan konu üzerine yapılan çalışmalar teorik açıdan elastik zemine oturan kirişlerin incelenmesine yönelik yapılan çalışmalar ile paralellik göstermektedir.

Winkler Hipotezi esas alınarak yapılan bir çalışmada (Hetenyi, 1946) ilk kez yapı-zemin etkileşimini temsil etmeye yönelik bir model kurulmuştur.

Yapı – zemin etkileşimi için kurulan hesap modelin sağlam bir yapıya kavuşturulması, bu konu üzerine yapılan çalışmaların sayısındaki artış ile sağlanmıştır. Bu anlamda, yapılan diğer bir çalışmada (Vesic, 1961) iki parametrelili Winkler zemini, elastik yaylar ile modellenmiş ve bu zemine oturan eğilme etkisindeki kiriş elemanı incelenmiştir.

Yapı – zemin etkileşimini elastik ortamda, ancak farklı bir teorik yaklaşım ile inceleyen diğer bir çalışmada (Novak, 1974) özellikle zemine gömülü temellerin dinamik rijitliğini hesaplamak amacıyla geliştirilmiş teorik analizlerden elde edilen veriler ile deneysel yolla elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Çalışmada teorik analiz sonuçları ile deneysel yolla elde edilen sonuçların uyuşmasından hareketle zemine gömülü temellerin; yatay titreşimleri, kazıkların dinamik rijitlikleri ve sönüm özellikleri, kazıklı temellerin burulma rijitlikleri incelenmiştir.

Elastik zemin üzerine oturan kiriş elemanının eğilme etkisi altındaki serbest titreşim analizin yapıldığı diğer bir çalışmada (Doyle & Pavlovic, 1982) zemin elastik yayı temsil edecek yatak katsayısı ve bu yatak katsayısından türetilen zemin rijitliği ile simgelenmiştir.

Eğilme etkisindeki kazığın, uçlarının serbest ve mafsallı bağlantılı olması durumlarına göre serbest titreşim analizi yapıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. (Valsangkar & Pradhanang, 1987)

Diğer bir çalışmada (Çatal, 2002) eğilme momenti, eksenel ve kesme kuvveti tesiri altında, tek tabakadan oluşan elastik zemine kısmi gömülü kazığın, her iki ucunun serbest ve basit mesnetli olması durumlarına göre serbest titreşim analizi yapılmıştır. Bu çalışmada zemin daha önceki çalışmalarda olduğu gibi Winkler Hipotezi'ne uygun olarak modellenmiştir.

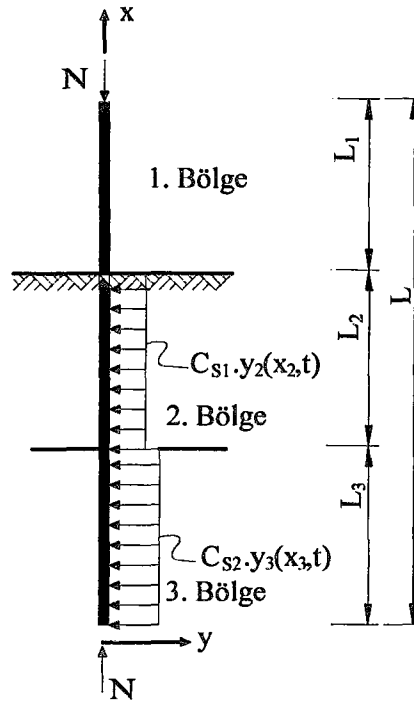
### 1.3 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Winkler Hipotezi'ne uygun davranan iki katmanlı, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, uçlarının mesnetlenme biçimine bağlı olarak elde edilen taşıma matrisi yardımı ile serbest titreşimine ait açısız frekanslarının hesaplanması; eksenel yükün, zemin yatak katsayısının ve kazık etkili boyundaki değişimin açısız frekanslara etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında her iki ucu serbest; zemine gömülü kazık ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki kazık ucu serbest; zemine gömülü kazık ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki kazık ucu sabit mesnetli ve zemine gömülü kazık ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki kazık ucu kayıcı ankastre mesnetli olmak üzere kazık uçlarının dört farklı mesnetlenme biçimine göre dinamik analiz yapılmış ve eksenel yükün, zemin yatak katsayısının ve kazık etkili boyundaki değişim dikkate alınarak hesaplanan kazıkların serbest titreşimine ait açısız frekanslar ( $\omega_i$ ) grafikler halinde sunulmuştur. Böylelikle, deprem yükleri ile zorlanan kazıkların; zorlanmış dinamik analizinde bu grafiklerden elde edilecek açısız frekansların kullanılması ve tasarım aşamasında ışık tutulması amaçlanmıştır.

### 1.4 Yapılan Kabuller

Bu çalışmada, (Şekil 1.1)'de görüldüğü gibi kazığın zemin üzerindeki bölümü, 1. bölge; yatak katsayısı değişken olan iki zemin tabakasındaki kısmı sırası ile; 2. ve 3. bölge olarak isimlendirilmiştir.



**Şekil 1.1 İki tabakalı elastik zemine kısmi gömülü kazık**

Çalışmada hesaplamaları kolaylaştıracı aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1. Kazığın yapıldığı malzeme doğrusal – elastik davranmaktadır.
2. Kazığın en kesiti sabit, kütlesi kazık boyunca yayılıdır.
3. Kazığın gömülü olduğu zemin Winkler Hipotezi'ne uygun davranmaktadır.
4. Kazığa etkileyen aksenal basınç kuvveti kazık boyunca sabittir.

## 1.5 Temel Yaklaşımlar

Çalışmada kullanılan Winkler Hipotezi, sönümsüz çok serbestlik dereceli sistemler için genel bilgiler aşağıda sunulmuştur.

### 1.5.1 Winkler Hipotezi

Kazık – zemin etkileşiminde zemin davranışı Winkler Hipotezi'ne uygun olarak modellenmektedir. Winkler Hipotezi; zeminin gerilme – ötelenme ilişkisini; zemini temsil eden yayın mekanik özelliklerine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda kazık çevresindeki zemin, kazığa belirli aralıklarla bağlanmış yaylar ile temsil edilir.

Yayın mekanik özelliği ise, ötelenme ile yük arasındaki ilişkiyi doğrusal ya da doğrusal olmayan bir davranış biçimini tarif edecek şekilde tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle; elastik zemin davranışını yansıtan yayın mekanik özelliği yatak katsayısı ile tanımlanmaktadır. (Birand, 2001)

Yatak katsayısı; herhangi bir noktada belirli bir doğrultuda zemin direnci ile o noktadaki yer değiştirme arasında doğrusal kabul edilen ilişkideki orantılılık katsayısı olarak tanımlanır.

Herhangi bir noktada zemini zorlayan gerilme;  $q$  ve o noktada yer değiştirme;  $\delta$  olmak üzere, zemin yatak katsayısı;

$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (1)$$

bağıntısı bulunur.

Yatak katsayısı için uygulamada, bu katsayının basınç alanı altında her noktada aynı değerde (üniform) olduğu kabul edilmektedir.

Yatak katsayısı yeterli sayıda yükleme deneyi sonucunda belirlenmektedir. Bu amaçla çok küçük olmayan bir yükleme plakası ile zemine giderek artan basınçlar uygulanıp her basınç aşamasında zeminin yer değiştirmeleri ölçülmektedir. Yükleme plakası boyutlarının büyüklüğü oranında daha derin zemin tabakalarına hissedilir gerilmeler iletilebileceğinden, büyük boyutlu plakalar ile elde edilen deney sonuçları zemin davranışı hakkında daha iyi bilgiler verebilmektedir.

Yatak katsayısını yükleme deneylerinden hareket ile formüle edebilmek için bir çok çalışma yapılmıştır. Bu formülasyonlar, zemin cinsine ve kullanılacak temel şekline bağlı olarak değişmektedir. Zemin cinsine ve temel şekillerine göre yatak katsayısı aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanabilir:



Killi zeminlerde yapılacak kare temeller için yatak katsayısı;

$$K_S = k_1 \cdot \frac{B_1}{B} \quad (2)$$

kumlu zeminlerde yapılacak kare temeller için yatak katsayısı;

$$K_S = k_1 \cdot \left( \frac{B + B_1}{2 \cdot B} \right) \quad (3)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

Burada;  $K_S$ , projede kullanılacak yatak katsayısını;  $k_1$ , 30\*30 cm. boyutlu yükleme plakası deneyi ile bulunan yatak katsayısını;  $B$ , yapımı gerçekleştirilecek kare temelin boyutunu;  $B_1$ , yükleme plakası deneyinde kullanılan kare plağın boyutunu göstermektedir. (Terzaghi, 1955)

Killi ve orta sıklıktaki kumlu zeminlerde yapılacak dikdörtgen temeller için yatak katsayısı;

$$K_S = k_1 \cdot \left( \frac{m + 0,5}{1,5 \cdot m} \right) \quad (4)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Burada;  $m$ , dikdörtgen temelin uzun kenarının kısa kenarına oranını göstermektedir. (Terzaghi, 1955)

Vesic (1961) ise yatak katsayısının hesabı için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$K_S = \frac{0,65}{B} \cdot 1,2 \sqrt{\frac{E_s \cdot B^4}{E_f \cdot I_f}} \cdot \frac{E_s}{1 - \mu^2} \quad (5)$$

Burada;  $E_s$ , zeminin elastisite modülünü;  $E_f$ , temel ayağının elastisite modülünü;  $\mu$ , zeminin poisson oranını,  $B$ , temel ayağının genişliğini ve  $I_f$ , temel ayağının kesitine ait atalet momentini göstermektedir. (Vesic, 1961)

Vesic (1961) tarafından önerilen bağıntı pratik uygulamalar için basitleştirilirse;

$$K_s = \frac{E_s}{B \cdot (1 - \mu^2)} \quad (6)$$

bağıntısı elde edilir.

Yanal yüklerin etkisindeki kazıklı temellerde yatay yatak katsayısı önem kazanmaktadır.

Yanal gerilmenin yanal yer değiştirmeye oranı olarak tanımlanan yatay yatak katsayısı, zemin cinsine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Killi zeminlerde yatay yatak katsayısı derinlik ile değişmez iken kumlu zeminlerde doğrusal olarak artmaktadır. (Terzaghi, 1955)

Kumlu zeminlerde yatay yatak katsayısı;

$$K = n_h \cdot \frac{z}{D} \quad (7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada;  $D$ , kazığın çapı;  $z$ , derinlik;  $n_h$  ise bir katsayı olup (Tablo 1.1)'de verilmiştir.(Terzaghi, 1955)

**Tablo 1.1 (1 m.) genişliğindeki kazık için  $n_h$  katsayısı ( $t/m^3$ )**

Kumun Göreceli Sıklığı	Gevşek	Orta	Sıkı
Kuru veya nemli kumda	240	710	1800
Suya Doygun Kumda	150	450	1100

Yukarıda verilen bağıntılardan farklı olarak; temel ile zemin etkileşimini ortaya koyan yatak katsayısı, temel biçimleri göz önüne alınmaksızın sadece zemin türlerine göre de hesaplanmaktadır. Zemin sınıflarına göre yatak katsayısının değişimi (Tablo 1.2)'de verilmiştir. (Bowles, 1996)

**Tablo 1.2 Yatak katsayısı ( $K_s$ ) değerinin zemin sınıflarına göre değişimi ( $t/m^3$ )**

Zemin Türü	$K_s$
Gevşek kumlu zemin	480 – 1600
Orta sıkılıktaki kumlu zemin	960 – 8000
Sıkı kumlu zemin	6400 – 12800
Killi orta sıkılıktaki kumlu zemin	3200 – 8000
Siltli orta sıkılıktaki kumlu zemin	2400 – 4800
Killi zemin:	
Taşıma gücü $\leq 20 t/m^2$	1200 – 2400
$20 t/m^2 < \text{Taşıma gücü} \leq 80 t/m^2$	2400 – 4800
Taşıma gücü $> 80 t/m^2$	$> 4800$

### 1.5.2 Taşıyıcı Sistem Dinamiği

Taşıyıcı bir sistemin dinamik analizinde sıklıkla iki yöntem izlenmektedir. Bu yöntemler; ayrık sistem dinamiği ile sürekli sistem dinamiğidir.

Kütlenin sürekliliği nedeni ile taşıyıcı bir sistemin atalet kuvvetleri, taşıyıcı sistemin konumuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu durum kimi zaman hesap güçlüklerine yol açtığı için, taşıyıcı sistemin yer değiştirmesi; bazı noktaların yer değiştirmesi ile ifade edilebilir ve sistemin kütlelerinin bu noktalarda topaklandığı varsayılır. Bu varsayım altında kullanılan dinamik hesap yöntemi ayrık sistem dinamiği olarak adlandırılır. Taşıyıcı sistemin modellenmesini sağlayan ve kütlelerin topaklanmış olduğu bu noktaların deplasmanlarının sayısı sistemin serbestlik derecesini verir. Sistemin serbestlik derecesi arttıkça dinamik davranış, ayrık modelden sürekli modele doğru yaklaşmakta böylece sonsuz sayıda serbestlik

dereceli sistemler elde edilmektedir. Bu tür sistemlerin hesap yöntemi ise sürekli sistem dinamiği olarak adlandırılır.

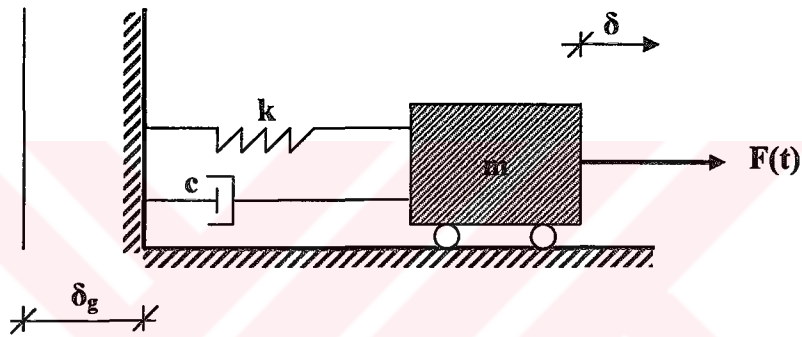
Hesap yönteminin seçilmesinde, tercih edilen hesap yönteminin; sistemi doğru temsil edip etmediği önem kazanmaktadır. Örneğin; bir su kulesinin dinamik analiz modelinde kütlelerin tek bir noktada toplandığı kabulüne dayanan hesap yönteminin kullanılması doğru bir yaklaşım iken, bir kiriş taşıyıcı elemanının dinamik analiz modelinin seçiminde, kütlelerin yayılı olması nedeni ile bu kirişin sürekli sistem olarak incelenmesi doğru bir modelleme biçimidir.

Sürekli parametrelili sistemler; kütle, sönüm gibi yayılı parametrelerin belirli noktalarda toplanması ile çok serbestlik dereceli ayrık parametrelili sistemlere dönüştürülebilirler. Sürekli parametrelili sistemlerin, ayrık parametrelili sistemler gibi çözülmesi esnasında serbestlik derecesi artırılarak sürekli parametrelili sistemin çözüm sonuçlarına yaklaşım sağlanabilmektedir. Matematiksel olarak kesin sonuca ulaşmak; serbestlik derecesinin sonsuza yaklaştırılması ile mümkün olmaktadır. Sürekli parametrelili sistemlerin, ayrık parametrelili sistemler gibi modellenmesinde yer değiştirme, hız ve ivme, göz önüne alınan noktanın konumunun ve zamanın bir fonksiyonu olarak belirir. Böyle bir sistemde hareket denklemi, sonsuz küçük bir diferansiyel parçanın dikkate alınması ile kısmi türevli diferansiyel denklem şeklinde ifade edilir.

Sürekli parametrelili sistemde bölgesel olarak uygulanan bir etki; sistemi meydana getiren ortam içinde, sistemi meydana getiren diğer bölümlere etkir. Zemin içine gömülen bir kazığın bünyesinde gerilme dalgasının yayılması bu olaya basit bir örnek olarak verilebilir. Bu dalga hareketi, ayrık parametrelili sistemlerde kütle ve yaya bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yumuşak yaylar ve büyük kütlelerin bulunması; yayılış hızını azaltırken, sert yaylar ve küçük kütlelerin bulunması; yayılış hızını artırır. Ayrık parametrelili sistemden, sürekli parametrelili sisteme geçilir ise hareketin yayılışına etkiyen ayrık parametrelili sistemdeki toplanmış kütle ve yay katsayısı etkisi yerine sürekli parametrelili sistemdeki kütleli yoğunluk ve elastisite modülüne ön plana çıkacaktır. Maddesel noktaların etkileşimi ise,

diferansiyel denklemdeki elemanların etkileşimi ile simgelenecektir. Noktasal kütleleri birbirine bağlayan yaylardaki çekme ve basınç sıkışmaları, sürekli parametrelili sistemdeki hacim elemanlarına çekme ve basınç gerilmelerinin etkimesi şeklinde oluşacaktır.

Kütlelerin belirli noktalarda topaklandığı ayrı parametrelili sistemlerde, dinamik konumu belirleyen parametreler topaklanan kütlelerin yer değiştirmelerine bağlı olarak seçilir. Bu sistem; (Şekil 1.2)'de görüldüğü gibi tek bir topaklanmış kütle için elastik yay ve sönüme bir yönde öteleme yapacak şekilde bağlanmış ise bu sistem tek serbestlik dereceli sistem (TSD) olarak adlandırılır.(Celep & Kumbasar, 1996)



Şekil 1.2 Tek serbestlik dereceli sistem (TSD) modeli

Bu sistemde dinamik davranışın, sisteme etkiyen ve zamana bağlı  $F(t)$ , dış kuvvetinin;  $\delta_g$ , yer hareketi sonucu ortaya çıktığı açıktır. Bu sistem için dinamik kuvvetlerin dengesi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.(Celep & Kumbasar, 1996)

$$F_I + F_D + F_S = F(t) \quad (8)$$

Burada;  $F_I$ , atalet kuvveti olup;

$$F_I = m \cdot (\ddot{\delta} + \ddot{\delta}_g) \quad (9)$$

bağıntısı ile;  $F_D$ , sönüm kuvveti olup;

$$F_D = m.\dot{\delta} \quad (10)$$

bağıntısı ile;  $F_S$ , elastik yay kuvveti olup;

$$F_S = k.\delta \quad (11)$$

bağıntısı ile hesaplanırlar.

(9), (10) ve (11) numaralı denklemlerin, (8) numaralı denklemde yerine yazılması ile sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$m.\ddot{\delta} + c.\dot{\delta} + k.\delta = -m.\ddot{\delta}_g + F(t) \quad (12)$$

Burada;  $m$ , tek serbestlik dereceli sistemin kütleini;  $\delta$ , kütleinin deplasmanını;  $\delta_g$ , yerin deplasmanını;  $k$ , yatay rijitliği göstermektedir.

Yapı; birden fazla topaklanmış kütle ve bu kuvvetleri birbirine ve zemine bağlayan yay ve sönüm elemanı ile modelleniyor ise, bu ayrık parametrelili sistem; çok serbestlik dereceli sistemdir. Sistemin dinamik davranışını belirleyen hareket denklemi ise tek serbestlik dereceli sistemin genelleştirilmesi olarak düşünülebilir.

Dinamik davranışı tek bir diferansiyel denklem ile ifade edebilen TSD sistemler dikkate alındığında, çok serbestlik dereceli sistemlerde birden fazla yer değiştirme parametresinin bulunması, hareketi temsil eden diferansiyel denklem sayısının da bu ölçüde artmasına neden olacaktır. Bu da çok serbestlik dereceli sistemlerde serbestlik derecesi sayısı kadar diferansiyel denklem yazılmasını gerektirmektedir.

---

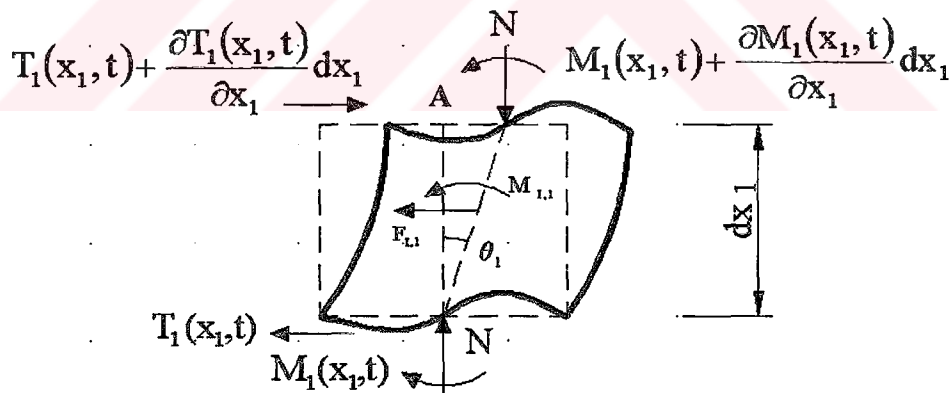
BÖLÜM İKİ

ELASTİK ZEMİNE KISMİ GÖMÜLÜ  
KAZIĞIN DİFERANSİYEL DENKLEMİNİN  
ELDE EDİLMESİ

---

### 2.1 1. Bölge İçin Kazığın Elastik Eğri Denkleminin Elde Edilmesi

(Şekil 1.1)'de verilen fiziksel model dikkate alınarak; zemin üzerindeki 1. bölgeden çıkartılan  $(dx_1)$  uzunluğundaki diferansiyel parçanın iç kuvvetleri ve deformasyonları (Şekil 2.1)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 1. bölgeden çıkartılan diferansiyel parçanın iç kuvvet ve deformasyonları

Diferansiyel parça üzerinde (A) noktasına göre moment dengesi yazılırsa;

$$M_1(x_1, t) + \frac{\partial M_1(x_1, t)}{\partial x_1} \cdot dx_1 - M_1(x_1, t) - T_1(x_1, t) \cdot dx_1 - F_{1,1} \cdot \frac{dx_1}{2} - N \cdot \theta_1 \cdot dx_1 + M_{1,1} = 0 \quad (13)$$

bağıntısı elde edilir. (13) numaralı denklemde gerekli sadeleştirmeler yapılır ve  $\left(\frac{dx_1}{2}\right)$  değeri ihmal edilirse aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{\partial M_{1,1}(x_1, t)}{\partial x_1} \cdot dx_1 - T_1(x_1, t) \cdot dx_1 - N \cdot \theta_1 \cdot dx_1 + M_{1,1} = 0 \quad (14)$$

Burada;  $M_{1,1}$ , dönme ataleti olup;

$$M_{1,1} = \frac{(m \cdot dx_1) \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[ \frac{\partial y_{1,b}(x_1, t)}{\partial x_1} \right] \quad (15)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Celep & Kumbasar, 1996). (15) numaralı denklemin (14) numaralı denklemde yerine yazılması ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen diferansiyel denklem aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial M_{1,1}(x_1, t)}{\partial x_1} = T_1(x_1, t) + N \cdot \frac{\partial y_1(x_1, t)}{\partial x_1} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^3 y_{1,b}(x_1, t)}{\partial x_1 \cdot \partial t^2} \quad (0 \leq x_1 \leq L_1) \quad (16)$$

Burada;  $M_1(x_1, t)$ , 1. bölge için eğilme momenti fonksiyonunu;  $T_1(x_1, t)$ , 1. bölge için kesme kuvveti fonksiyonunu;  $N$ , aksenal basınç kuvvetini;  $m$ , kazığın yayılı kütlelerini;  $I_x$ , kazığın atalet momentini;  $A$ , kazığın kesit alanını;  $y_{1,b}(x_1, t)$ , eğilme tesirinin 1. bölge elastik eğri fonksiyonuna etkisini;  $y_1(x_1, t)$ , 1. bölge için eğilme ve kesme tesirlerinin dikkate alınması ile elde edilen elastik eğri fonksiyonunu göstermektedir.

(Şekil 2.1)'de görülen diferansiyel parça üzerinde yatay kuvvetlerin dengesi yazılırsa;

$$T_1(x_1, t) + \frac{\partial T_1(x_1, t)}{\partial x_1} \cdot dx_1 - T_1(x_1, t) - F_{1,1} = 0 \quad (17)$$



bağıntısı elde edilir.

Burada;  $F_{1,1}$ , atalet kuvveti olup;

$$F_{1,1} = (m \cdot dx_1) \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial t^2} \quad (18)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Celep & Kumbasar, 1996). (18) numaralı denklemin (17) numaralı denklemde yerine yazılması ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen diferansiyel denklem aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial T_1(x_1, t)}{\partial x_1} = m \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial t^2} \quad (0 \leq x_1 \leq L_1) \quad (19)$$

1. bölge için eğilme ve kesme tesirlerinin dikkate alınması ile elde edilen elastik eğri fonksiyonunun konuma göre ikinci türevinin yazılıp; konuma göre tekrar iki kez türetilmesi ile elde edilen bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} = -\frac{M_1(x_1, t)}{EI_x} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial T_1(x_1, t)}{\partial x_1} \quad (20.a)$$

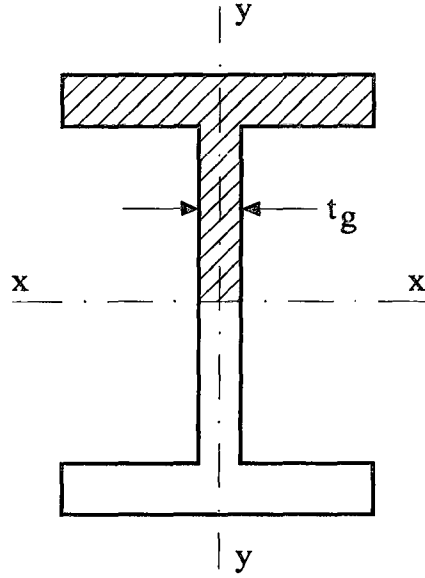
$$\frac{\partial^3 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^3} = -\frac{1}{EI_x} \cdot \frac{\partial M_1(x_1, t)}{\partial x_1} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial^2 T_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} \quad (20.b)$$

$$\frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^4} = -\frac{1}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 M_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial^3 T_1(x_1, t)}{\partial x_1^3} \quad (20.c)$$

Burada;  $EI_x$  ve  $AG$  sırası ile, kazığın eğilme rijitliğini ve kayma rijitliğini;  $k$ , nümerik çarpan değerini göstermektedir. Nümerik çarpan ifadesi en kesit geometrisine bağlı olarak değişmekte olup; (Şekil 2.2)'de görüldüğü gibi (I) profil için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. (İnan, 1996)

$$k = \frac{A \cdot S_x}{t_g \cdot I_x} \quad (21)$$

Burada; A, kesit alanını;  $S_x$ , (x) eksenine göre statik momenti;  $I_x$ , (x) eksenine göre atalet momentini ve  $t_g$ , gövde kalınlığını göstermektedir.



Şekil 2.2 (I) profil en kesiti

(16) numaralı denklem , konuma göre bir kez türetilir ve (19) numaralı denklem ile birleştirilir ise elde edilen bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^2 M_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} = \frac{\partial T_1(x_1, t)}{\partial x_1} + N \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{1,b}(x_1, t)}{\partial x_1^2 \cdot \partial t^2} \quad (22.a)$$

$$\frac{\partial^2 M_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} = m \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial t^2} + N \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{1,b}(x_1, t)}{\partial x_1^2 \cdot \partial t^2} \quad (22.b)$$

(19) numaralı denklemin, konuma göre iki kez türetilmesi ile;

$$\frac{\partial^2 T_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} = m \cdot \frac{\partial^3 y_1(x_1, t)}{\partial x_1 \cdot \partial t^2} \quad (23.a)$$

$$\frac{\partial^3 T_1(x_1, t)}{\partial x_1^3} = m \cdot \frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2 \cdot \partial t^2} \quad (23.b)$$

bağıntısı elde edilir.

(22.b) ve (23.b) numaralı denklemlerin (20.c) numaralı denklemlerde yerine yazılması ile elde edilen bağıntı aşağıda sunulmuştur.

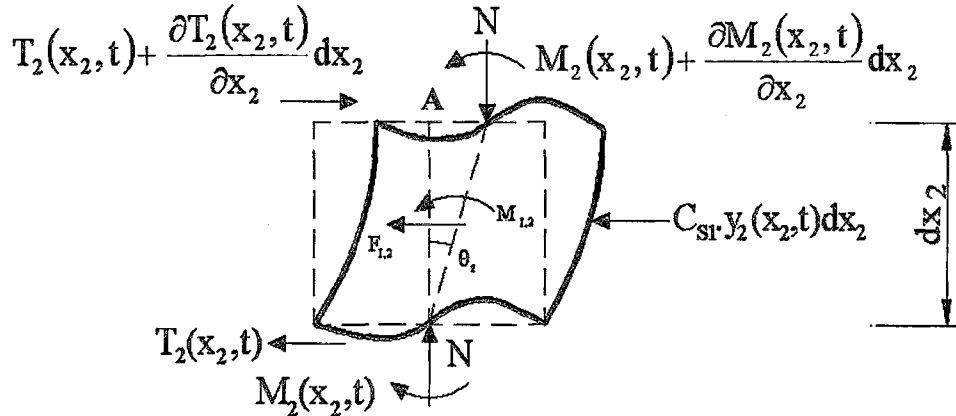
$$\frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^4} = -\frac{1}{EI_x} \cdot \left[ m \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial t^2} + N \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{1,b}(x_1, t)}{\partial x_1^2 \cdot \partial t^2} \right] + \frac{k}{AG} \cdot \left[ m \cdot \frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2 \cdot \partial t^2} \right] \quad (24)$$

(24) numaralı denklemde,  $y_{1,b}(x_1, t) \cong y_1(x_1, t)$  alınarak (Rogers, 1959) ve gerekli kısaltmaların yapılması ile elde edilen elastik zemine kısmi gömülü kazığın 1. bölge için boyutlu elastik eğri denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^4} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial t^2} + \frac{N}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} = 0 \quad (0 \leq x_1 \leq L_1) \quad (25)$$

## 2.2 2. Bölge İçin Kazığın Elastik Eğri Denkleminin Elde Edilmesi

(Şekil 1.1)'de verilen fiziksel model dikkate alınarak; zemin üzerindeki 2. bölgeden çıkartılan ( $dx_2$ ) uzunluğundaki diferansiyel parçanın iç kuvvetleri ve deformasyonları (Şekil 2.3)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 2. bölgeden çıkartılan diferansiyel parçanın iç kuvvet ve deformasyonları

Diferansiyel parça üzerinde (A) noktasına göre moment dengesi yazılırsa;

$$M_2(x_2, t) + \frac{\partial M_2(x_2, t)}{\partial x_2} \cdot dx_2 - M_2(x_2, t) - T_2(x_2, t) \cdot dx_2 - F_{1,2} \cdot \frac{dx_2}{2} - N \cdot \theta_2 \cdot dx_2 - C_{s1} \cdot y_2(x_2, t) \cdot \frac{dx_2^2}{2} + M_{1,2} = 0 \quad (26)$$

bağıntısı elde edilir. (26) numaralı denklemde gerekli sadeleştirmeler yapılır ve

$\left(\frac{dx_2}{2}\right)$  ile  $\left(\frac{dx_2^2}{2}\right)$  değerleri ihmal edilir ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{\partial M_2(x_2, t)}{\partial x_2} \cdot dx_2 - T_2(x_2, t) \cdot dx_2 - N \cdot \theta_2 \cdot dx_2 + M_{1,2} = 0 \quad (27)$$

$M_{1,2}$ , dönme ataleti 2. bölge için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. (Celep & Kumbasar, 1996)

$$M_{1,2} = \frac{(m \cdot dx_2) \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[ \frac{\partial y_{2,b}(x_2, t)}{\partial x_2} \right] \quad (28)$$

(28) numaralı denklemin (27) numaralı denklemde yerine yazılması ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen diferansiyel denklem aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial M_2(x_2, t)}{\partial x_2} = T_2(x_2, t) + N \cdot \frac{\partial y_2(x_2, t)}{\partial x_2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^3 y_{2,b}(x_2, t)}{\partial x_2 \cdot \partial t^2} \quad (0 \leq x_2 \leq L_2) \quad (29)$$

Burada;  $M_2(x_2, t)$ , 2. bölge için eğilme momenti fonksiyonunu;  $T_2(x_2, t)$ , 2. bölge için kesme kuvveti fonksiyonunu;  $y_{2,b}(x_2, t)$ , eğilme tesirinin 2. bölge elastik eğri fonksiyonuna etkisini;  $y_2(x_2, t)$ , 2. bölge için eğilme ve kesme tesirlerinin dikkate alınması ile elde edilen elastik eğri fonksiyonunu göstermektedir.

(Şekil 2.3)'de görülen diferansiyel parça üzerinde yatay kuvvetlerin dengesi yazılırsa;

$$T_2(x_2, t) + \frac{\partial T_2(x_2, t)}{\partial x_2} \cdot dx_2 - T_2(x_2, t) - C_{S1} \cdot y_2(x_2, t) - F_{1,2} = 0 \quad (30)$$

bağıntısı elde edilir.

$F_{1,2}$ , atalet kuvveti 2. bölge için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. (Celep & Kumbasar, 1996)

$$F_{1,2} = (m \cdot dx_2) \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial t^2} \quad (31)$$

(31) numaralı denklemin (30) numaralı denklemde yerine yazılması ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen diferansiyel denklem aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial T_2(x_2, t)}{\partial x_2} = m \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial t^2} + C_{S1} \cdot y_2(x_2, t) \quad (0 \leq x_2 \leq L_2) \quad (32)$$

2. bölge için  $C_{S1}$  katsayısı ( $C_{S1} = K_{S1} \cdot b$ ) bağıntısı ile hesaplanır. Burada;  $K_{S1}$ , 2. bölge için zemin yatak katsayısını;  $b$ , temel genişliğini göstermektedir.

2. bölge için eğilme ve kesme tesirlerinin dikkate alınması ile elde edilen elastik eğri fonksiyonunun konuma göre ikinci türevinin yazılıp; konuma göre tekrar iki kez türetilmesi ile elde edilen bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} = -\frac{M_2(x_2, t)}{EI_x} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial T_2(x_2, t)}{\partial x_2} \quad (33.a)$$

$$\frac{\partial^3 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^3} = -\frac{1}{EI_x} \cdot \frac{\partial M_2(x_2, t)}{\partial x_2} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial^2 T_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} \quad (33.b)$$

$$\frac{\partial^4 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^4} = -\frac{1}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 M_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial^3 T_2(x_2, t)}{\partial x_2^3} \quad (33.c)$$

(29) numaralı denklem , konuma göre bir kez türetilir ve (32) numaralı denklem ile birleştirilir ise elde edilen bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^2 M_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} = \frac{\partial T_2(x_2, t)}{\partial x_2} + N \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{2,b}(x_2, t)}{\partial x_2^2 \cdot \partial t^2} \quad (34.a)$$

$$\frac{\partial^2 M_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} = m \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial t^2} + C_{s1} \cdot y_2(x_2, t) + N \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{2,b}(x_2, t)}{\partial x_2^2 \cdot \partial t^2} \quad (34.b)$$

(32) numaralı denklemin, konuma göre iki kez türetilmesi ile;

$$\frac{\partial^2 T_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} = m \cdot \frac{\partial^3 y_2(x_2, t)}{\partial x_2 \cdot \partial t^2} + C_{s1} \cdot \frac{\partial y_2(x_2, t)}{\partial x_2} \quad (35.a)$$

$$\frac{\partial^3 T_2(x_2, t)}{\partial x_2^3} = m \cdot \frac{\partial^4 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2 \cdot \partial t^2} + C_{s1} \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} \quad (35.b)$$

bağıntısı elde edilir.

(34.b) ve (35.b) numaralı denklemlerin (33.c) numaralı denklemde yerine yazılması ile elde edilen bağıntı aşağıda sunulmuştur.

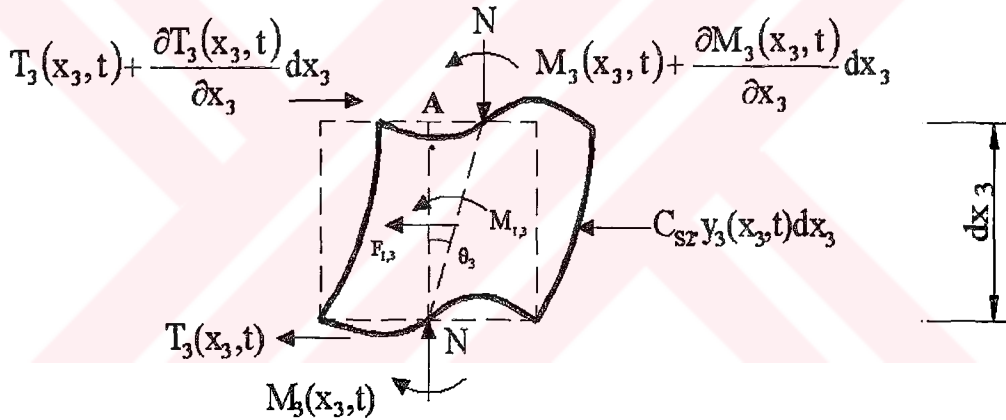
$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^4} = & -\frac{1}{EI_x} \left[ m \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial t^2} + C_{s1} \cdot y_2(x_2, t) \right] + \frac{k}{AG} \left[ m \frac{\partial^4 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2 \cdot \partial t^2} \right] \\ & - \frac{1}{EI_x} \left[ N \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{2,b}(x_2, t)}{\partial x_2^2 \cdot \partial t^2} \right] + \frac{k}{AG} \left[ C_{s1} \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} \right] \end{aligned} \quad (36)$$

(36) numaralı denklemde,  $y_{2,b}(x_2,t) \cong y_2(x_2,t)$  alınarak (Rogers, 1959) ve gerekli kısaltmaların yapılması ile elde edilen elastik zemine kısmi gömülü kazığın 2. bölge için boyutlu elastik eğri denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^4 y_2(x_2,t)}{\partial x_2^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{SI}}{AG} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2,t)}{\partial x_2^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_2(x_2,t)}{\partial x_2^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2,t)}{\partial t^2} + \frac{C_{SI}}{EI_x} \cdot y_2(x_2,t) = 0 \quad (0 \leq x_2 \leq L_2) \quad (37)$$

### 2.3 3. Bölge İçin Kazığın Elastik Eğri Denkleminin Elde Edilmesi

(Şekil 1.1)'de verilen fiziksel model dikkate alınarak; zemin üzerindeki 3. bölgeden çıkartılan ( $dx_3$ ) uzunluğundaki diferansiyel parçanın iç kuvvetleri ve deformasyonları (Şekil 2.4)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 3. bölgeden çıkartılan diferansiyel parçanın iç kuvvet ve deformasyonları

Diferansiyel parça üzerinde (A) noktasına göre moment dengesi yazılırsa;

$$M_3(x_3,t) + \frac{\partial M_3(x_3,t)}{\partial x_3} \cdot dx_3 - M_3(x_3,t) - T_3(x_3,t) \cdot dx_3 - F_{I,3} \cdot \frac{dx_3}{2} - N \cdot \theta_3 \cdot dx_3 - C_{S2} \cdot y_3(x_3,t) \cdot \frac{dx_3^2}{2} + M_{I,3} = 0 \quad (38)$$

bağıntısı elde edilir. (38) numaralı denklemde gerekli sadeleştirmeler yapılır ve

$\left(\frac{dx_3}{2}\right)$  ile  $\left(\frac{dx_3^2}{2}\right)$  değerleri ihmal edilir ise aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{\partial M_3(x_3, t)}{\partial x_3} - T_3(x_3, t) \cdot dx_3 - N \cdot \theta_3 \cdot dx_3 + M_{1,3} = 0 \quad (39)$$

$M_{1,3}$ , dönme ataleti 3. bölge için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. (Celep & Kumbasar, 1996)

$$M_{1,3} = \frac{(m \cdot dx_3) \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[ \frac{\partial y_{3,b}(x_3, t)}{\partial x_3} \right] \quad (40)$$

(40) numaralı denklemin (39) numaralı denklemde yerine yazılması ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen diferansiyel denklem aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial M_3(x_3, t)}{\partial x_3} = T_3(x_3, t) + N \cdot \frac{\partial y_3(x_3, t)}{\partial x_3} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^3 y_{3,b}(x_3, t)}{\partial x_3 \cdot \partial t^2} \quad (0 \leq x_3 \leq L_3) \quad (41)$$

Burada;  $M_3(x_3, t)$ , 3. bölge için eğilme momenti fonksiyonunu;  $T_3(x_3, t)$ , 3. bölge için kesme kuvveti fonksiyonunu;  $y_{3,b}(x_3, t)$ , eğilme tesirinin 3. bölge elastik eğri fonksiyonuna etkisini;  $y_3(x_3, t)$ , 3. bölge için eğilme ve kesme tesirlerinin dikkate alınması ile elde edilen elastik eğri fonksiyonunu göstermektedir.

(Şekil 2.4)'de görülen diferansiyel parça üzerinde yatay kuvvetlerin dengesi yazılırsa;

$$T_3(x_3, t) + \frac{\partial T_3(x_3, t)}{\partial x_3} \cdot dx_3 - T_3(x_3, t) - C_{S2} \cdot y_3(x_3, t) - F_{1,3} = 0 \quad (42)$$

bağıntısı elde edilir.



$F_{I,3}$ , atalet kuvveti 3. bölge için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. (Celep & Kumbasar, 1996)

$$F_{I,3} = (m \cdot dx_3) \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial t^2} \quad (43)$$

(43) numaralı denklemin (42) numaralı denklemde yerine yazılması ve gerekli sadeleştirmelerin yapılması ile elde edilen diferansiyel denklem aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial T_3(x_3, t)}{\partial x_3} = m \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial t^2} + C_{S2} \cdot y_3(x_3, t) \quad (0 \leq x_3 \leq L_3) \quad (44)$$

3. bölge için  $C_{S2}$  katsayısı, ( $C_{S2} = K_{S2} \cdot b$ ) bağıntısı ile hesaplanır. Burada;  $K_{S2}$ , 3. bölge için zemin yatak katsayısını;  $b$ , temel genişliğini göstermektedir.

3. bölge için eğilme ve kesme tesirlerinin dikkate alınması ile elde edilen elastik eğri fonksiyonunun konuma göre ikinci türevinin yazılıp; konuma göre tekrar iki kez türetilmesi ile elde edilen bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} = -\frac{M_3(x_3, t)}{EI_x} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial T_3(x_3, t)}{\partial x_3} \quad (45.a)$$

$$\frac{\partial^3 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^3} = -\frac{1}{EI_x} \cdot \frac{\partial M_3(x_3, t)}{\partial x_3} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial^2 T_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} \quad (45.b)$$

$$\frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^4} = -\frac{1}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 M_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} + \frac{k}{AG} \cdot \frac{\partial^3 T_3(x_3, t)}{\partial x_3^3} \quad (45.c)$$

(41) numaralı denklem, konuma göre bir kez türetilir ve (44) numaralı denklem ile birleştirilir ise elde edilen bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^2 M_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} = \frac{\partial T_3(x_3, t)}{\partial x_3} + N \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{3,b}(x_3, t)}{\partial x_3^2 \cdot \partial t^2} \quad (46.a)$$

$$\frac{\partial^2 M_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} = m \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial t^2} + C_{s2} \cdot y_3(x_3, t) + N \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{3,b}(x_3, t)}{\partial x_3^2 \cdot \partial t^2} \quad (46.b)$$

(44) numaralı denklemin, konuma göre iki kez türetilmesi ile;

$$\frac{\partial^2 T_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} = m \cdot \frac{\partial^3 y_3(x_3, t)}{\partial x_3 \cdot \partial t^2} + C_{s2} \cdot \frac{\partial y_3(x_3, t)}{\partial x_3} \quad (47.a)$$

$$\frac{\partial^3 T_3(x_3, t)}{\partial x_3^3} = m \cdot \frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2 \cdot \partial t^2} + C_{s2} \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} \quad (47.b)$$

bağıntısı elde edilir.

(46.b) ve (47.b) numaralı denklemlerin (45.c) numaralı denklemde yerine yazılması ile elde edilen bağıntı aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^4} = & -\frac{1}{EI_x} \left[ m \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial t^2} + C_{s2} \cdot y_3(x_3, t) \right] + \frac{k}{AG} \left[ m \frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2 \cdot \partial t^2} \right] \\ & - \frac{1}{EI_x} \left[ N \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} - \frac{m \cdot I_x}{A} \cdot \frac{\partial^4 y_{3,b}(x_3, t)}{\partial x_3^2 \cdot \partial t^2} \right] + \frac{k}{AG} \left[ C_{s2} \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} \right] \end{aligned} \quad (48)$$

(48) numaralı denklemde,  $y_{3,b}(x_3, t) \cong y_3(x_3, t)$  alınarak (Rogers, 1959) ve gerekli kısaltmaların yapılması ile elde edilen elastik zemine kısmi gömülü kazığın 3. bölge için boyutlu elastik eğri denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{s2}}{AG} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2 \cdot \partial t^2} + \\ \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{s2}}{EI_x} \cdot y_3(x_3, t) = 0 \quad (0 \leq x_3 \leq L_3) \end{aligned} \quad (49)$$

---

BÖLÜM ÜÇ

ELASTİK EĞRİ DENKLEMLERİNİN

BOYUTSUZLAŞTIRILMASI

---

### 3.1 Boyutsuzlaştırmanın Amacı

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın; bölgelere göre elde edilen diferansiyel denklemlerinin, (x) konum parametresinden bağımsız, (z) konum parametresine göre boyutsuzlaştırılması ile elde edilen genelleştirilmiş diferansiyel denklemler; bölgelere göre değişkenlik gösteren kazık etkili boyu ile kazık toplam boyunun oranına bağlı olacağı için, elde edilen bu diferansiyel denklemlerin; boyutsuz (z) konum parametresi için, mevcut oranın sabit kalması koşulu ile, bölgeler bazında kazık etkili boyu ile kazık toplam boyundaki değişmelerden bağımsız hale getirilmesi amaçlanmıştır.

#### 3.2 1. Bölgeye Ait Elastik Eğri Denkleminin Boyutsuzlaştırılması

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın 1. bölge için boyutlu elastik eğri denklemi;

$$\frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^4} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial t^2} + \frac{N}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^2} = 0$$

(0 ≤ x<sub>1</sub> ≤ L<sub>1</sub>) (50)

olarak elde edilmiştir.

(50) numaralı denklemde boyutlu ( $x_1$ ) konum parametresi, boyutsuz ( $z_1$ ) konum parametresi ile;

$$z_1 = \frac{x_1}{L} \quad (51)$$

olmak üzere değiştirilirse, 1. bölge için elastik eğri denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^4} \cdot \frac{1}{L^4} - \left( \frac{mk}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2 \cdot \partial t^2} \cdot \frac{1}{L^2} + \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial t^2} \\ + \frac{N}{EI_x \cdot L^2} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2} = 0 \end{aligned} \quad (52)$$

şeklinde ifade edilir.

(52) numaralı denklem ( $L^4$ ) ile çarpılır ise;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^4} - \left( \frac{mk}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m \cdot L^4}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial t^2} \\ + \frac{N \cdot L^2}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2} = 0 \end{aligned} \quad (53)$$

bağıntısı elde edilir.

(53) numaralı denklem  $\left( \frac{1}{\pi^2} \right)$  ile çarpılır ise;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} - \left( \frac{mk}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial t^2} \\ + \frac{N \cdot L^2}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2} = 0 \end{aligned} \quad (54)$$

bağıntısı elde edilir.

$N_{cr}$  , aksenal basınç kuvveti etkisi altında kazığın Euler kritik burkulma yükü olup;

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_x}{L_b^2} \quad (55)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.





Burada;  $L_b$ , kazık uçlarının mesnetlenme biçimine göre değişkenlik gösteren kazık burkulma boyu olup;

$$L_b = n \cdot L \quad (56)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Burada;  $n$ ; zemin yatak katsayısının, kazık burkulma boyunu azaltıcı etkisinin ihmal edilmesi kabulüyle, sadece kazık uçlarının mesnetlenme biçimine göre değişkenlik gösteren bir katsayı olup; (Tablo 2.1)'de verilmiştir.(İnan, 1996)

**Tablo 3.1 Mesnetlenme biçimlerine göre ( $n=L_b/L$ ) katsayıları**

Mesnetlenme Şekilleri				
(n) Katsayısı	1,0	2,0	0,5	0,7

(56) numaralı denklem, (55) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_x}{n^2 \cdot L^2} \quad (57)$$

bağıntısı elde edilir.

(57) numaralı denklem;

$$\frac{L^2}{\pi^2 \cdot EI_x} = \frac{1}{n^2 \cdot N_{cr}} \quad (58)$$

şeklinde ifade edilebilir.

(58) numaralı denklem, (54) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$\frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial t^2} + \frac{N}{n^2 \cdot N_{cr}} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2} = 0 \quad (59)$$

bağıntısı elde edilir.

$$N_r = \frac{N}{N_{cr}} \quad (60)$$

olmak üzere, (59) numaralı denklem;

$$\frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial t^2} + \frac{N_r}{n^2} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2} = 0 \quad (61)$$

şeklinde ifade edilir.

(61) numaralı denklemin ( $\pi^2$ ) ile çarpılmasıyla elde edilen elastik zemine kısmi gömülü kazığın; 1. bölge için boyutsuz elastik eğri denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^4} - \left( \frac{m \cdot k \cdot L^2}{AG} + \frac{m \cdot L^2}{EA} \right) \frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2 \cdot \partial t^2} + \frac{m \cdot L^4}{EI_x} \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial t^2} + \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} \frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2} = 0$$

$$\left( 0 \leq z_1 \leq \frac{L_1}{L} \right) \quad (62)$$

### 3.3 2. Bölgeye Ait Elastik Eğri Denkleminin Boyutsuzlaştırılması

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın 2. bölge için boyutlu elastik eğri denklemi;

$$\frac{\partial^4 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{SI}}{AG} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2 \cdot \partial t^2} +$$

$$\frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{SI}}{EI_x} \cdot y_2(x_2, t) = 0 \quad (0 \leq x_2 \leq L_2) \quad (63)$$

olarak elde edilmişti.

(63) numaralı denklemde boyutlu ( $x_2$ ) konum parametresi, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresi ile;

$$z_2 = \frac{x_2}{L} \quad (64)$$

olmak üzere değiştirilirse, 2. bölge için elastik eğri denklemi;

$$\frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^4} \cdot \frac{1}{L^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{SI}}{AG} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} \cdot \frac{1}{L^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2 \cdot \partial t^2} \cdot \frac{1}{L^2}$$

$$+ \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{SI}}{EI_x} \cdot y_2(z_2, t) = 0 \quad (65)$$

şeklinde ifade edilir.

(65) numaralı denklem ( $L^4$ ) ile çarpılırsa;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{SI}}{AG} \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{SI} \cdot L^4}{EI_x} \cdot y_2(z_2, t) = 0 \end{aligned} \quad (66)$$

bağıntısı elde edilir.

(66) numaralı denklem  $\left( \frac{1}{\pi^2} \right)$  ile çarpılır ise;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{SI}}{AG} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{SI} \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot y_2(z_2, t) = 0 \end{aligned} \quad (67)$$

bağıntısı elde edilir.

(58) numaralı denklem, (67) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} + \left( \frac{N}{n^2 \cdot N_{cr}} - \frac{k \cdot L^2 \cdot C_{SI}}{\pi^2 \cdot AG} \right) \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{SI} \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot y_2(z_2, t) = 0 \end{aligned} \quad (68)$$

bağıntısı elde edilir.

(60) numaralı denklemin kullanılması ile (68) numaralı denklem;



$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} + \left( \frac{N_r}{n^2} - \frac{kL^2 \cdot C_{S1}}{\pi^2 \cdot AG} \right) \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S1} \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot y_2(z_2, t) = 0 \end{aligned} \quad (69)$$

şeklinde ifade edilir.

(69) numaralı denklemin  $(\pi^2)$  ile çarpılmasıyla elde edilen elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için, boyutsuz elastik eğri denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^4} + \left( \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} - \frac{kL^2 \cdot C_{S1}}{AG} \right) \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} - \left( \frac{m \cdot kL^2}{AG} + \frac{mL^2}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S1} \cdot L^4}{EI_x} \cdot y_2(z_2, t) = 0 \\ \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \end{aligned} \quad (70)$$

### 3.4 3. Bölgeye Ait Elastik Eğri Denkleminin Boyutsuzlaştırılması

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın 3. bölge için boyutlu elastik eğri denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{S2}}{AG} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S2}}{EI_x} \cdot y_3(x_3, t) = 0 \quad (0 \leq x_3 \leq L_3) \end{aligned} \quad (71)$$

olarak elde edilmişti.

(71) numaralı denklemde boyutlu  $(x_3)$  konum parametresi, boyutsuz  $(z_3)$  konum parametresi ile;

$$z_3 = \frac{x_3}{L} \quad (72)$$

olmak üzere değiştirilirse, 3. bölge için elastik eğri denklemi;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^4} \cdot \frac{1}{L^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{S2}}{AG} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} \cdot \frac{1}{L^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2 \cdot \partial t^2} \cdot \frac{1}{L^2} \\ + \frac{m}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S2}}{EI_x} \cdot y_3(z_3, t) = 0 \end{aligned} \quad (73)$$

şeklinde ifade edilir.

(73) numaralı denklem ( $L^4$ ) ile çarpılırsa;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^4} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{S2}}{AG} \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S2} \cdot L^4}{EI_x} \cdot y_3(z_3, t) = 0 \end{aligned} \quad (74)$$

bağıntısı elde edilir.

(74) numaralı denklem  $\left( \frac{1}{\pi^2} \right)$  ile çarpılır ise;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} + \left( \frac{N}{EI_x} - \frac{k \cdot C_{S2}}{AG} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S2} \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot y_3(z_3, t) = 0 \end{aligned} \quad (75)$$

bağıntısı elde edilir.

(58) numaralı denklem, (75) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} + \left( \frac{N}{n^2 \cdot N_{cr}} - \frac{kL^2 \cdot C_{S2}}{\pi^2 \cdot AG} \right) \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S2} \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot y_3(z_3, t) = 0 \end{aligned} \quad (76)$$

bağıntısı elde edilir.

(60) numaralı denklemin kullanılması ile (76) numaralı denklem;

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^4} \cdot \frac{1}{\pi^2} + \left( \frac{N_r}{n^2} - \frac{kL^2 \cdot C_{S2}}{\pi^2 \cdot AG} \right) \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} - \left( \frac{m \cdot k}{AG} + \frac{m}{EA} \right) \cdot \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S2} \cdot L^4}{\pi^2 \cdot EI_x} \cdot y_3(z_3, t) = 0 \end{aligned} \quad (77)$$

şeklinde ifade edilir.

(77) numaralı denklemin  $(\pi^2)$  ile çarpılmasıyla elde edilen elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için, boyutsuz elastik eğri denklemini aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^4} + \left( \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} - \frac{kL^2 \cdot C_{S2}}{AG} \right) \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} - \left( \frac{m \cdot kL^2}{AG} + \frac{mL^2}{EA} \right) \cdot \frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2 \cdot \partial t^2} \\ + \frac{m \cdot L^4}{EI_x} \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} + \frac{C_{S2} \cdot L^4}{EI_x} \cdot y_3(z_3, t) = 0 \\ \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \end{aligned} \quad (78)$$

---

BÖLÜM DÖRT

BOYUTSUZ DİFERANSİYEL DENKLEMLERİN  
ÇÖZÜLMESİ VE İÇ TESİRLERİN  
ELDE EDİLMESİ

---

**4.1 1. Bölgeye Ait Boyutsuz Diferansiyel Denklemin Çözülmesi**

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölge için boyutsuz elastik eğri denklemi, (62) numaralı bağıntı ile sunulmuştur.

(62) numaralı boyutsuz hareket denkleminin, değişkenlerine ayırma yöntemi ile çözülebilmesi için, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölge için boyutsuz yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_1(z_1, t) = \mu_1(z_1) \cdot T(t) \quad (79)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

Burada;  $y_1(z_1, t)$ , elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölge için boyutsuz yer değiştirme fonksiyonunu;  $\mu_1(z_1)$ , 1. bölge için konuma bağlı boyutsuz şekil fonksiyonunu;  $T(t)$ , zamana bağlı şekil fonksiyonunu göstermektedir. Zamana bağlı şekil fonksiyonu;  $\omega$ , doğal açısız frekans;  $\varphi$ , faz açısı olmak üzere;

$$T(t) = \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (80)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

$$\frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 \cdot \mu_1(z_1) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (81.a)$$

$$\frac{\partial^2 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2} = \frac{\partial^2 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (81.b)$$

$$\frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^2 \cdot \partial t^2} = -\omega^2 \cdot \frac{\partial^2 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (81.c)$$

$$\frac{\partial^4 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^4} = \frac{\partial^4 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^4} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (81.d)$$

olmak üzere, (62) numaralı denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\left[ \frac{\partial^4 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^4} + \left( \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot L^2}{AG} + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \right) \frac{\partial^2 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^2} - \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^4}{EI_x} \mu_1(z_1) \right] \cdot T(t) = 0 \quad (82)$$

Titreşim hareketinin olabilmesi için;

$$\sin(\omega \cdot t + \varphi) \neq 0 \quad (83)$$

olmalıdır. Bu durumda (82) numaralı denklem;

$$\frac{\partial^4 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^4} + \left( \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot L^2}{AG} + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \right) \frac{\partial^2 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^2} - \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^4}{EI_x} \mu_1(z_1) = 0 \quad (84)$$

şeklinde ifade edilir.

(84) numaralı denklem;

$$\beta_1 = \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot L^2}{AG} + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \quad (85.a)$$

$$\lambda_1 = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^4}{EI_x} \quad (85.b)$$

olmak üzere; aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$\frac{\partial^4 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^4} + \beta_1 \cdot \frac{\partial^2 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^2} - \lambda_1 \cdot \mu_1(z_1) = 0 \quad (86)$$

(86) numaralı bağıntının karakteristik denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial z_1} = D \quad (87)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi yazılır.

$$D^4 + \beta_1 \cdot D^2 - \lambda_1 = 0 \quad (88)$$

$$\Delta = D^2 \quad (89)$$

olmak üzere; (88) numaralı denklem;

$$\Delta^2 + \beta_1 \cdot \Delta - \lambda_1 = 0 \quad (90)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

(90) numaralı denklemin kökleri,

$$\gamma_1 = \left( \frac{\beta_1}{2} \right)^2 + \lambda_1 \quad (91)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta_1 = -\frac{\beta_1}{2} + (\gamma_1)^{0,5} \quad (92.a)$$

$$\Delta_1 = -\frac{\beta_1}{2} - (\gamma_1)^{0,5} \quad (92.b)$$

(92.a) ve (92.b) numaralı köklerin, kare kökleri alınarak; (89) numaralı denklemin kökleri,

$$D_1 = \sqrt{-\frac{\beta_1}{2} + (\gamma_1)^{0,5}} \quad (93.a)$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{\beta_1}{2} + (\gamma_1)^{0,5}} \cdot i \quad (93.b)$$

şeklinde elde edilir.

(93.a) ve (93.b) numaralı denklemler dikkate alınarak, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_1(z_1, t) = [C_1 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) + C_2 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1) + C_3 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) + C_4 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1)] \cdot T(t) \quad (94)$$

$$\left( 0 \leq z_1 \leq \frac{L_1}{L} \right)$$

olarak elde edilir.

Burada;  $C_1, C_2, C_3, C_4$  katsayıları integrasyon sabitlerini göstermektedir.

#### 4.1.1 1. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

(20.a) numaralı denkleme, aksenal kuvvet ile dönme ataletinin etkileri eklenir ve  $y_{1,b}(x_1,t) \cong y_1(x_1,t)$  alınarak elde edilen bağıntıdan eğilme momenti çekilirse; elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölge için boyutlu eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_1(x_1,t) = -EI_x \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1,t)}{\partial x_1^2} + m \cdot \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_1(x_1,t)}{\partial t^2} - N \cdot y_1(x_1,t) \quad (95)$$

(95) numaralı denklemde; boyutlu ( $x_1$ ) konum parametresi, ( $z_1$ ) konum parametresi ile;

$$z_1 = \frac{x_1}{L} \quad (96)$$

olmak üzere değiştirilirse;

$$M_1(z_1,t) = -\frac{EI_x}{L^2} \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1,t)}{\partial z_1^2} + m \cdot \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_1(z_1,t)}{\partial t^2} - N \cdot y_1(z_1,t) \quad (97)$$

bağıntısı elde edilir.

(94) numaralı denklem ile (94) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_1$ ) konum parametresine ve zamana bağlı ikinci mertebeden kısmi türevleri (97) numaralı denklemde yerine yazılırsa; 1. bölge için boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_1(z_1,t) = \left[ (-C_1 \cosh(D_1 \cdot z_1) - C_2 \sinh(D_1 \cdot z_1)) \left( \frac{EI_x \cdot D_1^2}{L^2} + \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \omega^2 + N \right) \right] \cdot T(t) \\ + \left[ (C_3 \cos(D_2 \cdot z_1) + C_4 \sin(D_2 \cdot z_1)) \left( \frac{EI_x \cdot D_2^2}{L^2} - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \omega^2 - N \right) \right] \cdot T(t) \quad (98)$$



(98) numaralı denklem ile elde edilen eğilme momenti,

$$K_1 = \frac{EI_x \cdot D_1^2}{L^2} + \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + N \quad (99.a)$$

$$K_2 = \frac{EI_x \cdot D_2^2}{L^2} - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 - N \quad (99.b)$$

olmak üzere; aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$M_1(z_1, t) = \left[ -K_1 \cdot C_1 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) - K_1 \cdot C_2 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + \left[ K_2 \cdot C_3 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) + K_2 \cdot C_4 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ \left( 0 \leq z_1 \leq \frac{L_1}{L} \right) \quad (100)$$

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölge için boyutlu kesme kuvveti fonksiyonu; (95) numaralı denklemin ( $x_1$ ) konum parametresine göre bir kez türetilmesi ile aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_1(x_1, t) = -EI_x \cdot \frac{\partial^3 y_1(x_1, t)}{\partial x_1^3} + m \cdot \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^3 y_1(x_1, t)}{\partial x_1 \cdot \partial t^2} - N \cdot \frac{\partial y_1(x_1, t)}{\partial x_1} \quad (101)$$

(101) numaralı denklem, ( $z_1$ ) konum parametresine göre boyutsuzlaştırılır ise;

$$T_1(z_1, t) = -\frac{EI_x}{L^3} \cdot \frac{\partial^3 y_1(z_1, t)}{\partial z_1^3} + \frac{m}{L} \cdot \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^3 y_1(z_1, t)}{\partial z_1 \cdot \partial t^2} - \frac{N}{L} \cdot \frac{\partial y_1(z_1, t)}{\partial z_1} \quad (102)$$

bağıntısı elde edilir.

(94) numaralı denklemin, salt boyutsuz ( $z_1$ ) konum parametresine göre birinci ve üçüncü mertebeden kısmi türevleri ile ( $z_1$ ) konum parametresine bağlı birinci ve zamana bağlı ikinci mertebeden kısmi türevleri alınır ve (102) numaralı denklemde

yerine yazılır ise; 1. bölge için boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_1(z_1, t) = \left[ \frac{D_1}{L} (-C_1 \sinh(D_1 \cdot z_1) - C_2 \cosh(D_1 \cdot z_1)) \left( \frac{EI_x \cdot D_1^2}{L^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + N \right) \right] T(t) \\ + \left[ \frac{D_2}{L} (-C_3 \sin(D_2 \cdot z_1) + C_4 \cos(D_2 \cdot z_1)) \left( \frac{EI_x \cdot D_2^2}{L^2} - \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 - N \right) \right] T(t) \quad (103)$$

(99.a) ve (99.b) numaralı denklemlerin kullanılması ile 1. bölge için boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılır.

$$T_1(z_1, t) = \left[ -\frac{K_1 \cdot D_1}{L} \cdot C_1 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1) - \frac{K_1 \cdot D_1}{L} \cdot C_2 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + \left[ -\frac{K_2 \cdot D_2}{L} \cdot C_3 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1) + \frac{K_2 \cdot D_2}{L} \cdot C_4 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ \left( 0 \leq z_1 \leq \frac{L_1}{L} \right) \quad (104)$$

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölge için boyutlu kesit dönmesi fonksiyonu; (Geradin & Rixen, 1998)

$$\theta_1(x_1, t) = \frac{\partial y_{1,b}(x_1, t)}{\partial x_1} \quad (105)$$

$$\theta_1(x_1, t) = \left\{ \frac{k}{AG} \cdot \left[ EI_x \cdot \frac{\partial^3 \mu_1(x_1)}{\partial x_1^3} + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N \right] \cdot \frac{\partial \mu_1(x_1)}{\partial x_1} \right] \right\} \cdot T(t) \quad (106)$$

olup,  $(z_1)$  konum parametresine göre boyutsuzlaştırılır ise;

$$\theta_1(z_1, t) = \left\{ \frac{k}{AG} \cdot \left[ \frac{EI_x}{L^3} \cdot \frac{\partial^3 \mu_1(z_1)}{\partial z_1^3} + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N \right] \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial \mu_1(z_1)}{\partial z_1} \right] \right\} \cdot T(t) \quad (107)$$

bağıntısı elde edilir.

(94) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_1$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır; (107) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$K_3 = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x}{L^3} \cdot D_1^3 + \left[ \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N \right] \cdot \frac{D_1}{L} \right\} \quad (108.a)$$

$$K_4 = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \left[ \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N \right] \cdot \frac{D_2}{L} - \frac{EI_x}{L^3} \cdot D_2^3 \right\} \quad (108.b)$$

olmak üzere; 1. bölge için boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \theta_1(z_1, t) = & \left[ K_3 \cdot C_1 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1) + K_3 \cdot C_2 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & + \left[ -K_4 \cdot C_3 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1) + K_4 \cdot C_4 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & \left( 0 \leq z_1 \leq \frac{L_1}{L} \right) \end{aligned} \quad (109)$$

#### 4.2 2. Bölgeye Ait Boyutsuz Diferansiyel Denklemin Çözülmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için boyutsuz elastik eğri denklemi, (70) numaralı bağıntı ile sunulmuştur.

(70) numaralı boyutsuz hareket denkleminin, değişkenlerine ayırma yöntemi ile çözülebilmesi için, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için boyutsuz yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_2(z_2, t) = \mu_2(z_2) \cdot T(t) \quad (110)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

Burada;  $y_2(z_2, t)$ , elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için boyutsuz yer değiştirme fonksiyonunu;  $\mu_2(z_2)$ , 2. bölge için konuma bağlı boyutsuz şekil fonksiyonunu;  $T(t)$ , zamana bağlı şekil fonksiyonu olup (80) numaralı denklem ile hesaplanır.

$$\frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 \cdot \mu_2(z_2) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (111.a)$$

$$\frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} = \frac{\partial^2 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (111.b)$$

$$\frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2 \cdot \partial t^2} = -\omega^2 \cdot \frac{\partial^2 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (111.c)$$

$$\frac{\partial^4 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^4} = \frac{\partial^4 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^4} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (111.d)$$

olmak üzere, (70) numaralı denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\left\{ \frac{\partial^4 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^4} + \left[ \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{k \cdot L^2}{AG} (m \cdot \omega^2 - C_{s1}) + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \right] \cdot \frac{\partial^2 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^2} \right\} \cdot T(t) - \left\{ \left[ \frac{L^4}{EI_x} \cdot (m \cdot \omega^2 - C_{s1}) \right] \cdot \mu_2(z_2) \right\} \cdot T(t) = 0 \quad (112)$$

Titreşim hareketinin olabilmesi için;

$$\sin(\omega \cdot t + \varphi) \neq 0 \quad (113)$$

olmalıdır. Bu durumda (112) numaralı denklem;

$$\frac{\partial^4 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^4} + \left[ \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{k \cdot L^2}{AG} (m \cdot \omega^2 - C_{S1}) + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \right] \cdot \frac{\partial^2 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^2} - \left[ \frac{L^4}{EI_x} \cdot (m \cdot \omega^2 - C_{S1}) \right] \cdot \mu_2(z_2) = 0 \quad (114)$$

şeklinde ifade edilir.

(114) numaralı denklem;

$$\beta_2 = \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{k \cdot L^2}{AG} (m \cdot \omega^2 - C_{S1}) + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \quad (115.a)$$

$$\lambda_2 = \frac{L^4}{EI_x} \cdot (m \cdot \omega^2 - C_{S1}) \quad (115.b)$$

olmak üzere; aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$\frac{\partial^4 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^4} + \beta_2 \cdot \frac{\partial^2 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^2} - \lambda_2 \cdot \mu_2(z_2) = 0 \quad (116)$$

(116) numaralı bağıntının karakteristik denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial z_2} = D \quad (117)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi yazılır.

$$D^4 + \beta_2 \cdot D^2 - \lambda_2 = 0 \quad (118)$$

$$\Delta = D^2 \quad (119)$$

olmak üzere; (118) numaralı denklem;

$$\Delta^2 + \beta_2 \cdot \Delta - \lambda_2 = 0 \quad (120)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

(120) numaralı denklemin kökleri,

$$\gamma_2 = \left( \frac{\beta_2}{2} \right)^2 + \lambda_2 \quad (121)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta_3 = -\frac{\beta_2}{2} - (\gamma_2)^{0,5} \quad (122.a)$$

$$\Delta_4 = -\frac{\beta_2}{2} + (\gamma_2)^{0,5} \quad (122.b)$$

(122.a) ve (122.b) numaralı köklerden hareket ile, (118) numaralı denklemin köklerinin hesaplanabilmesi için  $(\gamma_2)$ 'nin ve  $(\gamma_2)$ 'ye bağlı  $(\Delta_3)$  ve  $(\Delta_4)$  köklerinin alacağı değerlerin göz önünde tutulması gerekir. Bu durumda diferansiyel denklemin çözümü ve bu çözümden hareket ile, 2. bölgeye ait iç tesirlerin hesaplanması; beş farklı durum için incelenmelidir.

#### 4.2.1 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (118) numaralı denklemin kökleri;

$$D_3 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} - (\gamma_2)^{0,5}} \quad (123.a)$$

$$D_4 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} + (\gamma_2)^{0,5}} \quad (123.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_2(z_2, t) = [C_5 \cosh(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sinh(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cosh(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sinh(D_4 \cdot z_2)]T(t) \quad \left(0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L}\right) \quad (124)$$

olarak elde edilir.

Burada;  $C_5, C_6, C_7, C_8$  katsayıları integrasyon sabitlerini göstermektedir.

(33.a) numaralı denklem ile gösterilen elastik eğri fonksiyonunun 2. türevi değerine, aksenal kuvvet ile dönme ataletinin etkileri eklenerek ve  $y_{2,b}(x_2, t) \cong y_2(x_2, t)$  alınarak elde edilen bağıntıdan eğilme momenti çekilir ise; elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için boyutlu eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_2(x_2, t) = -EI_x \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^2} + m \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \frac{\partial^2 y_2(x_2, t)}{\partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} C_{S1} - N \right) y_2(x_2, t) \quad (125)$$

(125) numaralı denklemde; boyutlu ( $x_2$ ) konum parametresi, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresi ile;

$$z_2 = \frac{x_2}{L} \quad (126)$$

olmak üzere değiştirilirse;

$$M_2(z_2, t) = -\frac{EI_x}{L^2} \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^2} + m \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \frac{\partial^2 y_2(z_2, t)}{\partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} C_{s1} - N \right) y_2(z_2, t) \quad (127)$$

bağıntısı elde edilir.

(127) numaralı bağıntıdaki  $y_2(z_2, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (124) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_5 = \frac{EI_x \cdot D_3^2}{L^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s1} + N \quad (128.a)$$

$$K_6 = \frac{EI_x \cdot D_4^2}{L^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s1} + N \quad (128.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_2(z_2, t) = \left[ -K_5 \cdot C_5 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) - K_5 \cdot C_6 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ - \left[ K_6 \cdot C_7 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) + K_6 \cdot C_8 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (129)$$

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için boyutlu kesme kuvveti fonksiyonu; (125) numaralı denklemin ( $x_2$ ) konum parametresine göre bir kez türetilmesi ile aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_2(x_2, t) = -EI_x \frac{\partial^3 y_2(x_2, t)}{\partial x_2^3} + m \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \frac{\partial^3 y_2(x_2, t)}{\partial x_2 \cdot \partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} C_{s1} - N \right) \cdot \frac{\partial y_2(x_2, t)}{\partial x_2} \quad (130)$$

(130) numaralı denklem, ( $z_2$ ) konum parametresine göre boyutsuzlaştırılır ise;



$$T_2(z_2, t) = -\frac{EI_x}{L^3} \frac{\partial^3 y_2(z_2, t)}{\partial z_2^3} + \frac{m}{L} \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \frac{\partial^3 y_2(z_2, t)}{\partial z_2 \partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} C_{sl} - N \right) \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial y_2(z_2, t)}{\partial z_2} \quad (131)$$

bağıntısı elde edilir.

(124) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine ve hem ( $z_2$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (131) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_2(z_2, t) = \left[ -\frac{K_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) - \frac{K_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) - \left[ \frac{K_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + \frac{K_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (132)$$

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için boyutlu kesit dönmesi fonksiyonu; (Geradin & Rixen, 1998)

$$\theta_2(x_2, t) = \left\{ \frac{k}{AG} \left[ EI_x \frac{\partial^3 \mu_2(x_2)}{\partial x_2^3} + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m\omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{sl} \right] \cdot \frac{\partial \mu_2(x_2)}{\partial x_2} \right] \right\} \cdot T(t) \quad (133)$$

olup, fonksiyon ( $z_2$ ) konum parametresine göre boyutsuzlaştırılır ise;

$$\theta_2(z_2, t) = \left\{ \frac{k}{AG} \left[ \frac{EI_x}{L^3} \frac{\partial^3 \mu_2(z_2)}{\partial z_2^3} + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m\omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{sl} \right] \cdot \frac{1}{L} \frac{\partial \mu_2(z_2)}{\partial z_2} \right] \right\} \cdot T(t) \quad (134)$$

bağıntısı elde edilir.

(124) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (134) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$K_7 = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x}{L^3} \cdot D_3^3 + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s1} \right] \cdot \frac{D_3}{L} \right\} \quad (135.a)$$

$$K_8 = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x}{L^3} \cdot D_4^3 + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s1} \right] \cdot \frac{D_4}{L} \right\} \quad (135.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \theta_2(z_2, t) = & [K_7 \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & + [K_8 \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + K_8 \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \end{aligned} \quad (136)$$

#### 4.2.2 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (118) numaralı denklemin kökleri;

$$D_3 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} - (\gamma_2)^{0,5}} \quad (137.a)$$

$$D_4 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} + (\gamma_2)^{0,5}} \cdot i \quad (137.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_2(z_2, t) = [C_5 \cosh(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sinh(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cos(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sin(D_4 \cdot z_2)] \cdot T(t) \quad (138)$$

$$\left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right)$$

olarak elde edilir.

(127) numaralı bağıntıdaki  $y_2(z_2, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (138) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_9 = \frac{EI_x \cdot D_4^2}{L^2} - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{S1} - N \quad (139)$$

olmak üzere;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_2(z_2, t) = [-K_5 \cdot C_5 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) - K_5 \cdot C_6 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + [K_9 \cdot C_7 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) + K_9 \cdot C_8 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (140)$$

$$\left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right)$$

(138) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine ve hem ( $z_2$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (131) numaralı denklemde yerine yazılırsa;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu, aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_2(z_2, t) = \left[ -\frac{K_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) - \frac{K_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + \left[ -\frac{K_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) + \frac{K_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (141)$$

$$\left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right)$$

(138) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (134) numaralı denklemde yerine yazılır ise;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \theta_2(z_2, t) = & [K_7 \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & + [-K_8 \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) + K_8 \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \end{aligned} \quad (142)$$

#### 4.2.3 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (118) numaralı denklemin kökleri;

$$D_3 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} - (\gamma_2)^{0,5}} \cdot i \quad (143.a)$$

$$D_4 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} + (\gamma_2)^{0,5}} \quad (143.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$\begin{aligned} y_2(z_2, t) = & [C_5 \cos(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sin(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cosh(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sinh(D_4 \cdot z_2)] \cdot T(t) \\ & \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \end{aligned} \quad (144)$$

olarak elde edilir.

(127) numaralı bağıntıdaki  $y_2(z_2, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (144) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_{11} = \frac{EI_x \cdot D_3^2}{L^2} - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{S1} - N \quad (145)$$

olmak üzere;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_2(z_2, t) = [K_{11} \cdot C_5 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) + K_{11} \cdot C_6 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) - [K_6 \cdot C_7 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) + K_6 \cdot C_8 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (146)$$

(144) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine ve hem ( $z_2$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (131) numaralı denklemde yerine yazılırsa;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_2(z_2, t) = \left[ -\frac{K_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + \frac{K_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) - \left[ \frac{K_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + \frac{K_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (147)$$

(144) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (134) numaralı denklemde yerine yazılır ise;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \theta_2(z_2, t) = & \left[ -K_7 \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & + \left[ K_8 \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + K_8 \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \end{aligned} \quad (148)$$

#### 4.2.4 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (118) numaralı denklemin kökleri;

$$D_3 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} - (\gamma_2)^{0,5}} \cdot i \quad (149.a)$$

$$D_4 = \sqrt{-\frac{\beta_2}{2} + (\gamma_2)^{0,5}} \cdot i \quad (149.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$\begin{aligned} y_2(z_2, t) = & \left[ C_5 \cos(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sin(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cos(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sin(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot T(t) \\ & \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \end{aligned} \quad (150)$$

olarak elde edilir.

(127) numaralı bağıntıdaki  $y_2(z_2, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (150) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
M_2(z_2, t) = & \left[ K_{11} \cdot C_5 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) + K_{11} \cdot C_6 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& + \left[ K_9 \cdot C_7 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) + K_9 \cdot C_8 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (151)
\end{aligned}$$

(150) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine ve hem ( $z_2$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (131) numaralı denklemde yerine yazılırsa;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
T_2(z_2, t) = & \left[ -\frac{K_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + \frac{K_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& + \left[ -\frac{K_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) + \frac{K_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (152)
\end{aligned}$$

(150) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (134) numaralı denklemde yerine yazılır ise;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyon aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
\theta_2(z_2, t) = & \left[ -K_7 \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& + \left[ -K_8 \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) + K_8 \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (153)
\end{aligned}$$

#### 4.2.5 $\gamma_2 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 2. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$\theta_1 = \text{Arctg} \left[ \frac{-2 \cdot \sqrt{-\left(\frac{\beta_2}{2}\right)^2 - \lambda_2}}{\beta_2} \right] \quad (154.a)$$

$$\alpha_1 = \sin\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \quad (154.b)$$

$$\alpha_2 = \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \quad (154.c)$$

$$r_1 = \sqrt[4]{-\lambda_2} \quad (154.d)$$

$$A_1 = r_1 \cdot \alpha_1 \quad (154.e)$$

$$A_2 = r_1 \cdot \alpha_2 \quad (154.f)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi elde edilir.

$$y_2(z_2, t) = [C_5 \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + C_6 \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + [C_7 \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) + C_8 \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ \left(0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L}\right) \quad (155)$$

olarak elde edilir.

(127) numaralı bağıntıdaki  $y_2(z_2, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (155) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_{13} = \frac{EI_x \cdot r_1^2}{L^2} \cdot (\alpha_2^2 - \alpha_1^2) - \left(\frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A}\right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{S1} - N \quad (156.a)$$



$$K_{14} = \frac{2 \cdot EI_x \cdot r_1^2}{L^2} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \quad (156.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_2 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} M_2(z_2, t) = & [C_5 \cdot (K_{13} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{14} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] T(t) \\ & + [C_6 \cdot (K_{13} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{14} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] T(t) \\ & + [C_7 \cdot (K_{13} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{14} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] T(t) \\ & + [C_8 \cdot (K_{13} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{14} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] T(t) \\ & \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \end{aligned} \quad (157)$$

(155) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine ve hem ( $z_2$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (131) numaralı denklemde yerine yazılırsa;

$$K_{15} = \frac{A_1}{L} \left\{ \frac{EI_x \cdot r_1^2}{L^2} \cdot [3 \cdot \alpha_2^2 - \alpha_1^2] - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{s1} - N \right\} \quad (158.a)$$

$$K_{16} = \frac{A_2}{L} \left\{ \frac{EI_x \cdot r_1^2}{L^2} \cdot [3 \cdot \alpha_1^2 - \alpha_2^2] + \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 - \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{s1} + N \right\} \quad (158.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_2 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
T_2(z_2, t) = & [C_5 \cdot (K_{15} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{16} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& + [C_6 \cdot (K_{15} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{16} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& + [C_7 \cdot (K_{15} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{16} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& + [C_8 \cdot (K_{15} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{16} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (159)
\end{aligned}$$

(155) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_2$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (134) numaralı denklemde yerine yazılırsa;

$$K_{17} = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x \cdot r_1^3 \cdot \alpha_1}{L^3} \cdot (\alpha_1^2 - 3\alpha_2^2) + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{SI} \right] \cdot \frac{A_1}{L} \right\} \quad (160.a)$$

$$K_{18} = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x \cdot r_1^3 \cdot \alpha_2}{L^3} \cdot (3\alpha_1^2 - \alpha_2^2) + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{SI} \right] \cdot \frac{A_2}{L} \right\} \quad (160.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_2 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
\theta_2(z_2, t) = & [C_5 \cdot (K_{17} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) - K_{18} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& + [C_6 \cdot (K_{17} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) - K_{18} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& + [C_7 \cdot (K_{17} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) + K_{18} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& + [C_8 \cdot (K_{17} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) + K_{18} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] \cdot T(t) \\
& \left( 0 \leq z_2 \leq \frac{L_2}{L} \right) \quad (161)
\end{aligned}$$

### 4.3 3. Bölgeye Ait Boyutsuz Diferansiyel Denklemin Çözülmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için boyutsuz elastik eğri denklemi, (78) numaralı bağıntı ile sunulmuştur.

(78) numaralı boyutsuz hareket denkleminin, değişkenlerine ayırma yöntemi ile çözülebilmesi için, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için boyutsuz yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_3(z_3, t) = \mu_3(z_3) \cdot T(t) \quad (162)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

Burada;  $y_3(z_3, t)$ , elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için boyutsuz yer değiştirme fonksiyonunu;  $\mu_3(z_3)$ , 3. bölge için konuma bağlı boyutsuz şekil fonksiyonunu;  $T(t)$ , zamana bağlı şekil fonksiyonu olup (80) numaralı denklem ile hesaplanır.

$$\frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 \cdot \mu_3(z_3) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (163.a)$$

$$\frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} = \frac{\partial^2 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (163.b)$$

$$\frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2 \cdot \partial t^2} = -\omega^2 \cdot \frac{\partial^2 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (163.c)$$

$$\frac{\partial^4 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^4} = \frac{\partial^4 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^4} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (163.d)$$

olmak üzere, (78) numaralı denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\left\{ \frac{\partial^4 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^4} + \left[ \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{k \cdot L^2}{AG} (m \cdot \omega^2 - C_{S2}) + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \right] \cdot \frac{\partial^2 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^2} \right\} \cdot T(t) - \left\{ \left[ \frac{L^4}{EI_x} \cdot (m \cdot \omega^2 - C_{S2}) \right] \cdot \mu_3(z_3) \right\} \cdot T(t) = 0 \quad (164)$$

Titreşim hareketinin olabilmesi için;

$$\sin(\omega \cdot t + \varphi) \neq 0 \quad (165)$$

olmalıdır. Bu durumda (164) numaralı denklem;

$$\frac{\partial^4 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^4} + \left[ \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{k \cdot L^2}{AG} (m \cdot \omega^2 - C_{S2}) + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \right] \cdot \frac{\partial^2 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^2} - \left[ \frac{L^4}{EI_x} \cdot (m \cdot \omega^2 - C_{S2}) \right] \cdot \mu_3(z_3) = 0 \quad (166)$$

şeklinde ifade edilir.

(166) numaralı denklem;

$$\beta_3 = \frac{N_r \cdot \pi^2}{n^2} + \frac{k \cdot L^2}{AG} (m \cdot \omega^2 - C_{S2}) + \frac{m \cdot \omega^2 \cdot L^2}{EA} \quad (167.a)$$

$$\lambda_3 = \frac{L^4}{EI_x} \cdot (m \cdot \omega^2 - C_{S2}) \quad (167.b)$$

olmak üzere; aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilir.

$$\frac{\partial^4 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^4} + \beta_3 \cdot \frac{\partial^2 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^2} - \lambda_3 \cdot \mu_3(z_3) = 0 \quad (168)$$

(168) numaralı bağıntının karakteristik denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial z_3} = D \quad (169)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi yazılır.

$$D^4 + \beta_3 \cdot D^2 - \lambda_3 = 0 \quad (170)$$

$$\Delta = D^2 \quad (171)$$

olmak üzere; (170) numaralı denklem;

$$\Delta^2 + \beta_3 \cdot \Delta - \lambda_3 = 0 \quad (172)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

(172) numaralı denklemin kökleri,

$$\gamma_3 = \left( \frac{\beta_3}{2} \right)^2 + \lambda_3 \quad (173)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta_5 = -\frac{\beta_3}{2} - (\gamma_3)^{0,5} \quad (174.a)$$

$$\Delta_6 = -\frac{\beta_3}{2} + (\gamma_3)^{0,5} \quad (174.b)$$

(174.a) ve (174.b) numaralı köklerden hareket ile, (170) numaralı denklemin köklerinin hesaplanabilmesi için  $(\gamma_3)$ 'nün ve  $(\gamma_3)$ 'e bağlı  $(\Delta_5)$  ve  $(\Delta_6)$  köklerinin alacağı değerlerin göz önünde tutulması gerekir. Bu durumda diferansiyel denklemin

çözümü ve bu çözümden hareket ile, 3. bölgeye ait iç tesirlerin hesaplanması; beş farklı durum için incelenmelidir.

#### 4.3.1 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (170) numaralı denklemin kökleri;

$$D_5 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} - (\gamma_3)^{0,5}} \quad (175.a)$$

$$D_6 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} + (\gamma_3)^{0,5}} \quad (175.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_3(z_3, t) = [C_9 \cosh(D_5 z_3) + C_{10} \sinh(D_5 z_3) + C_{11} \cosh(D_6 z_3) + C_{12} \sinh(D_6 z_3)] T(t) \quad (176)$$

$$\left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right)$$

olarak elde edilir.

Burada;  $C_9$ ,  $C_{10}$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  katsayıları integrasyon sabitlerini göstermektedir.

(45.a) numaralı denklem ile gösterilen elastik eğri fonksiyonunun 2. türevi değerine, aksenal kuvvet ile dönme ataletinin etkileri eklenerek ve  $y_{3,b}(x_3, t) \cong y_3(x_3, t)$  alınarak elde edilen bağıntıdan eğilme momenti çekilir ise; elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için boyutlu eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_3(x_3, t) = -EI_x \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^2} + m \cdot \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_3(x_3, t)}{\partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} - N \right) y_3(x_3, t) \quad (177)$$

(177) numaralı denklemde; boyutlu ( $x_3$ ) konum parametresi, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresi ile;

$$z_3 = \frac{x_3}{L} \quad (178)$$

olmak üzere değiştirilirse;

$$M_3(z_3, t) = -\frac{EI_x}{L^2} \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^2} + m \cdot \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^2 y_3(z_3, t)}{\partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} - N \right) y_3(z_3, t) \quad (179)$$

bağıntısı elde edilir.

(179) numaralı bağıntıdaki  $y_3(z_3, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (176) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_{19} = \frac{EI_x \cdot D_5^2}{L^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} + N \quad (180.a)$$

$$K_{20} = \frac{EI_x \cdot D_6^2}{L^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} + N \quad (180.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
M_3(z_3, t) = & \left[ -K_{19} \cdot C_9 \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) - K_{19} \cdot C_{10} \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& - \left[ K_{20} \cdot C_{11} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) + K_{20} \cdot C_{12} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (181)
\end{aligned}$$

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için boyutlu kesme kuvveti fonksiyonu; (177) numaralı denklemin ( $x_3$ ) konum parametresine göre bir kez türetilmesi ile aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_3(x_3, t) = -EI_x \frac{\partial^3 y_3(x_3, t)}{\partial x_3^3} + m \cdot \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^3 y_3(x_3, t)}{\partial x_3 \cdot \partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} - N \right) \cdot \frac{\partial y_3(x_3, t)}{\partial x_3} \quad (182)$$

(182) numaralı denklem, ( $z_3$ ) konum parametresine göre boyutsuzlaştırılır ise;

$$T_3(z_3, t) = -\frac{EI_x}{L^3} \cdot \frac{\partial^3 y_3(z_3, t)}{\partial z_3^3} + \frac{m}{L} \cdot \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot \frac{\partial^3 y_3(z_3, t)}{\partial z_3 \cdot \partial t^2} + \left( \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} - N \right) \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial y_3(z_3, t)}{\partial z_3} \quad (183)$$

bağıntısı elde edilir.

(176) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine ve hem ( $z_3$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (183) numaralı denklemde yerine yazılır ise;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
T_3(z_3, t) = & \left[ -\frac{K_{19} \cdot D_5}{L} C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) - \frac{K_{19} \cdot D_5}{L} C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& - \left[ \frac{K_{20} \cdot D_6}{L} C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + \frac{K_{20} \cdot D_6}{L} C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (184)
\end{aligned}$$



Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için boyutlu kesit dönmesi fonksiyonu; (Geradin & Rixen, 1998)

$$\theta_3(x_3, t) = \left\{ \frac{k}{AG} \left[ EI_x \frac{\partial^3 \mu_3(x_3)}{\partial x_3^3} + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{s2} \right] \cdot \frac{\partial \mu_3(x_3)}{\partial x_3} \right] \right\} T(t) \quad (185)$$

olup, fonksiyon ( $z_3$ ) konum parametresine göre boyutsuzlaştırılır ise;

$$\theta_3(z_3, t) = \left\{ \frac{k}{AG} \left[ \frac{EI_x}{L^3} \frac{\partial^3 \mu_3(z_3)}{\partial z_3^3} + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{s2} \right] \frac{1}{L} \cdot \frac{\partial \mu_3(z_3)}{\partial z_3} \right] \right\} T(t) \quad (186)$$

bağıntısı elde edilir.

(176) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (186) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$K_{21} = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x}{L^3} \cdot D_5^3 + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} \right] \cdot \frac{D_5}{L} \right\} \quad (187.a)$$

$$K_{22} = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x}{L^3} \cdot D_6^3 + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} \cdot C_{s2} \right] \cdot \frac{D_6}{L} \right\} \quad (187.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \theta_3(z_3, t) = & [K_{21} \cdot C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & + [K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ & \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \end{aligned} \quad (188)$$

### 4.3.2 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (170) numaralı denklemin kökleri;

$$D_5 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} - (\gamma_3)^{0,5}} \quad (189.a)$$

$$D_6 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} + (\gamma_3)^{0,5}} \cdot i \quad (189.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_3(z_3, t) = [C_9 \cosh(D_5 \cdot z_3) + C_{10} \sinh(D_5 \cdot z_3) + C_{11} \cos(D_6 \cdot z_3) + C_{12} \sin(D_6 \cdot z_3)] T(t) \quad (190)$$

$$\left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right)$$

olarak elde edilir.

(179) numaralı bağıntıdaki  $y_3(z_3, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (190) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_{23} = \frac{EI_x \cdot D_6^2}{L^2} - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{S2} - N \quad (191)$$

olmak üzere;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
M_3(z_3, t) = & \left[ -K_{19} \cdot C_9 \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) - K_{19} \cdot C_{10} \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& + \left[ K_{23} \cdot C_{11} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) + K_{23} \cdot C_{12} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (192)
\end{aligned}$$

(193) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine ve hem ( $z_3$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (183) numaralı denklemde yerine yazılırsa;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
T_3(z_3, t) = & \left[ -\frac{K_{19} \cdot D_5}{L} \cdot C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) - \frac{K_{19} \cdot D_5}{L} \cdot C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& + \left[ -\frac{K_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) + \frac{K_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (193)
\end{aligned}$$

(190) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (186) numaralı denklemde yerine yazılır ise;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
\theta_3(z_3, t) = & \left[ K_{21} \cdot C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& + \left[ -K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) + K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (194)
\end{aligned}$$

### 4.3.3 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (170) numaralı denklemin kökleri;

$$D_5 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} - (\gamma_3)^{0,5}} \cdot i \quad (195.a)$$

$$D_6 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} + (\gamma_3)^{0,5}} \quad (195.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_3(z_3, t) = \left[ C_9 \cos(D_5 \cdot z_3) + C_{10} \sin(D_5 \cdot z_3) + C_{11} \cosh(D_6 \cdot z_3) + C_{12} \sinh(D_6 \cdot z_3) \right] T(t) \quad \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (196)$$

olarak elde edilir.

(179) numaralı bağıntıdaki  $y_3(z_3, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (196) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_{25} = \frac{EI_x \cdot D_5^2}{L^2} - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{S2} - N \quad (197)$$

olmak üzere;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
M_3(z_3, t) = & \left[ K_{25} \cdot C_9 \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) + K_{25} \cdot C_{10} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& - \left[ K_{20} \cdot C_{11} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) + K_{20} \cdot C_{12} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (198)
\end{aligned}$$

(196) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine ve hem ( $z_3$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (183) numaralı denklemde yerine yazılırsa;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
T_3(z_3, t) = & \left[ -\frac{K_{25} \cdot D_5}{L} C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + \frac{K_{25} \cdot D_5}{L} C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& - \left[ \frac{K_{20} \cdot D_6}{L} C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + \frac{K_{20} \cdot D_6}{L} C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (199)
\end{aligned}$$

(196) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (186) numaralı denklemde yerine yazılır ise;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
\theta_3(z_3, t) = & \left[ -K_{21} \cdot C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& + \left[ K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (200)
\end{aligned}$$

#### 4.3.4 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; (170) numaralı denklemin kökleri;

$$D_5 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} - (\gamma_3)^{0,5}} \cdot i \quad (201.a)$$

$$D_6 = \sqrt{-\frac{\beta_3}{2} + (\gamma_3)^{0,5}} \cdot i \quad (201.b)$$

şeklinde elde edilir.

Buna göre, elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$y_3(z_3, t) = [C_9 \cos(D_5 \cdot z_3) + C_{10} \sin(D_5 \cdot z_3) + C_{11} \cos(D_6 \cdot z_3) + C_{12} \sin(D_6 \cdot z_3)] \cdot T(t) \quad (202)$$

$$\left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right)$$

olarak elde edilir.

(179) numaralı bağıntıdaki  $y_3(z_3, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (202) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$M_3(z_3, t) = [K_{25} \cdot C_9 \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) + K_{25} \cdot C_{10} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + [K_{23} \cdot C_{11} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) + K_{23} \cdot C_{12} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3)] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (203)$$

$$\left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right)$$

(202) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine ve hem ( $z_3$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (183) numaralı denklemde yerine yazılırsa;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_3(z_3, t) = \left[ -\frac{K_{25} \cdot D_5}{L} \cdot C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + \frac{K_{25} \cdot D_5}{L} \cdot C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + \left[ -\frac{K_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) + \frac{K_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (204)$$

(202) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (186) numaralı denklemde yerine yazılır ise;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\theta_3(z_3, t) = \left[ -K_{21} \cdot C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + \left[ -K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) + K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \right] \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (205)$$

#### 4.3.5 $\gamma_3 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait İç Tesirlerin Elde Edilmesi

Bu durumda; elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 3. bölge için yer değiştirme fonksiyonu;

$$\theta_2 = \text{Arctg} \left[ \frac{-2 \cdot \sqrt{-\left(\frac{\beta_3}{2}\right)^2 - \lambda_3}}{\beta_3} \right] \quad (206.a)$$

$$\alpha_3 = \sin\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \quad (206.b)$$

$$\alpha_4 = \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \quad (206.c)$$

$$r_2 = \sqrt[4]{-\lambda_3} \quad (206.d)$$

$$A_3 = r_2 \cdot \alpha_3 \quad (206.e)$$

$$A_4 = r_2 \cdot \alpha_4 \quad (206.f)$$

olmak üzere; aşağıdaki gibi elde edilir.

$$y_3(z_3, t) = [C_9 \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + C_{10} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)] \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ + [C_{11} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) + C_{12} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)] \sin(\omega \cdot t + \varphi) \\ \left(0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L}\right) \quad (207)$$

olarak elde edilir.

(179) numaralı bağıntıdaki  $y_3(z_3, t)$  fonksiyonu ve türevlerinin yerine, (207) numaralı bağıntıdaki fonksiyon ve türevleri yazılır ise;

$$K_{27} = \frac{EI_x \cdot r_2^2}{L^2} \cdot (\alpha_4^2 - \alpha_3^2) - \left(\frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A}\right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{S2} - N \quad (208.a)$$

$$K_{28} = \frac{2 \cdot EI_x \cdot r_2^2}{L^2} \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \quad (208.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_3 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz eğilme momenti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.



$$\begin{aligned}
M_3(z_3, t) = & [C_9 \cdot (K_{27} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{28} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& + [C_{10} \cdot (K_{27} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{28} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& + [C_{11} \cdot (K_{27} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{28} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& + [C_{12} \cdot (K_{27} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{28} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (209)
\end{aligned}$$

(207) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine ve hem ( $z_3$ ) hem de zaman parametresine göre kısmi türevleri alınır ve (183) numaralı denklemde yerine yazılırsa;

$$K_{29} = \frac{A_3}{L} \left\{ \frac{EI_x \cdot r_2^2}{L^2} \cdot [3 \cdot \alpha_4^2 - \alpha_3^2] - \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{s2} - N \right\} \quad (210.a)$$

$$K_{30} = \frac{A_4}{L} \left\{ \frac{EI_x \cdot r_2^2}{L^2} \cdot [3 \cdot \alpha_3^2 - \alpha_4^2] + \left( \frac{k \cdot EI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 - \frac{k \cdot EI_x}{AG} \cdot C_{s2} + N \right\} \quad (210.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_3 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesme kuvveti fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
T_3(z_3, t) = & [C_9 \cdot (K_{29} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{30} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& + [C_{10} \cdot (K_{29} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{30} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& + [C_{11} \cdot (K_{29} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{30} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& + [C_{12} \cdot (K_{29} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{30} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3))] T(t) \\
& \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (211)
\end{aligned}$$

(207) numaralı denklemin, boyutsuz ( $z_3$ ) konum parametresine göre ardışık türevleri alınır ve (186) numaralı denklemde yerine yazılırsa;

$$K_{31} = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x \cdot r_2^3 \cdot \alpha_3}{L^3} \cdot (\alpha_3^2 - 3\alpha_4^2) + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{S2} \right] \cdot \frac{A_3}{L} \right\} \quad (212.a)$$

$$K_{32} = \frac{k}{AG} \cdot \left\{ \frac{EI_x \cdot r_2^3 \cdot \alpha_4}{L^3} \cdot (3\alpha_3^2 - \alpha_4^2) + \left[ \left( \frac{kEI_x}{AG} + \frac{I_x}{A} \right) \cdot m \cdot \omega^2 + \frac{AG}{k} + N - \frac{kEI_x}{AG} C_{S2} \right] \cdot \frac{A_4}{L} \right\} \quad (212.b)$$

olmak üzere;  $\gamma_3 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait boyutsuz kesit dönmesi fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \theta_3(z_3, t) = & [C_9 \cdot (K_{31} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) - K_{32} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3))] \cdot T(t) \\ & + [C_{10} \cdot (K_{31} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) - K_{32} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3))] \cdot T(t) \\ & + [C_{11} \cdot (K_{31} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) + K_{32} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3))] \cdot T(t) \\ & + [C_{12} \cdot (K_{31} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) + K_{32} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3))] \cdot T(t) \end{aligned} \quad \left( 0 \leq z_3 \leq \frac{L_3}{L} \right) \quad (213)$$

---

BÖLÜM BEŞ

TAŞIMA MATRİSLERİNİN ELDE EDİLMESİ

---

**5.1 1. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi**

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, 1. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_1(z_1) = [C_1 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) + C_2 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1) + C_3 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) + C_4 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1)] \quad (214.a)$$

$$\theta_1(z_1) = \left[ \frac{D_1}{L} \cdot C_1 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1) + \frac{D_1}{L} \cdot C_2 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) \right] - \left[ \frac{D_2}{L} \cdot C_3 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1) - \frac{D_2}{L} \cdot C_4 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) \right] \quad (214.b)$$

$$M_1(z_1) = [-K_1 \cdot C_1 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) - K_1 \cdot C_2 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1)] + [K_2 \cdot C_3 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) + K_2 \cdot C_4 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1)] \quad (214.c)$$

$$T_1(z_1) = \left[ -\frac{TK_1 \cdot D_1}{L} \cdot C_1 \cdot \sinh(D_1 \cdot z_1) - \frac{TK_1 \cdot D_1}{L} \cdot C_2 \cdot \cosh(D_1 \cdot z_1) \right] - \left[ \frac{TK_2 \cdot D_2}{L} \cdot C_3 \cdot \sin(D_2 \cdot z_1) - \frac{TK_2 \cdot D_2}{L} \cdot C_4 \cdot \cos(D_2 \cdot z_1) \right] \quad (214.d)$$

(214.a), (214.b), (214.c) ve (214.d) numaralı denklemlerde verilen konum parametresine bağlı dört adet iç tesir fonksiyonu;  $S_1(z_1)$ , 1. bölgeye ait durum vektörü olmak üzere;

$$\{S_1(z_1)\} = [\phi_1(z_1)] \cdot \{C\} \quad (215)$$

şeklinde matris formda gösterilebilir. (İnan, 1964)

Burada;  $[\phi_1(z_1)]$ ,

$$[\phi_1(z_1)] = \begin{bmatrix} \cosh(D_1 z_1) & \sinh(D_1 z_1) & \cos(D_2 z_1) & \sin(D_2 z_1) \\ K_3 \cdot \sinh(D_1 z_1) & K_3 \cdot \cosh(D_1 z_1) & -K_4 \cdot \sin(D_2 z_1) & K_4 \cdot \cos(D_2 z_1) \\ -K_1 \cdot \cosh(D_1 z_1) & -K_1 \cdot \sinh(D_1 z_1) & K_2 \cdot \cos(D_2 z_1) & K_2 \cdot \sin(D_2 z_1) \\ -\frac{TK_1 \cdot D_1}{L} \sinh(D_1 z_1) & -\frac{TK_1 \cdot D_1}{L} \cosh(D_1 z_1) & -\frac{TK_2 \cdot D_2}{L} \sin(D_2 z_1) & \frac{TK_2 \cdot D_2}{L} \cos(D_2 z_1) \end{bmatrix} \quad (216)$$

konum parametresine bağlı kare matrisini,

$$\{C\}^T = \{C_1 \quad C_2 \quad C_3 \quad C_4\} \quad (217)$$

olmak üzere, katsayılar vektörünü göstermektedir.

(215) numaralı denklemde,  $(z_1=0)$  yazılır ise;

$$\{S_1(0)\} = [\phi_1(0)] \cdot \{C\} \quad (218)$$

bağıntısı elde edilir.

(218) numaralı denklemden,  $[\phi_1(0)]$  kare matrisi, tekil matris olmamak koşulu ile  $\{C\}$  katsayılar vektörü,

$$\{C\} = [\phi_1(0)]^{-1} \cdot \{S_1(0)\} \quad (219)$$

bağıntısı ile bulunur ve (215) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$\{S_1(z_1)\} = [\phi_1(z_1)] \cdot [\phi_1(0)]^{-1} \cdot \{S_1(0)\} \quad (220)$$

bağıntısı elde edilir.

(220) numaralı denklemden,  $[F_1(z_1)]$ ; 1. bölge için taşıma matrisi aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.(İnan, 1964)

$$[F_1(z_1)] = [\phi_1(z_1)] \cdot [\phi_1(0)]^{-1} \quad (221)$$

$[\phi_1(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (221) numaralı denklemde yerine yazılır ise; 1. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_1(z_1)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \quad (222)$$

$[F_1(z_1)]$ , 1. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CH_1 = \cosh(D_1 \cdot z_1) ; SH_1 = \sinh(D_1 \cdot z_1) ; CS_2 = \cos(D_2 \cdot z_1) ; SN_2 = \sin(D_2 \cdot z_1)$$

$$P_1 = K_1 + K_2 ; P_2 = CS_2 - CH_1 ; P_3 = TK_1 \cdot TK_2 ; P_4 = TK_1 \cdot D_1 \cdot K_4 + TK_2 \cdot D_2 \cdot K_3$$

olmak üzere; aşağıda sunulmuştur.

$$P_5 = \frac{CH_1 \cdot K_2 + CS_2 \cdot K_1}{P_1} ; P_6 = \frac{K_1 \cdot SN_2 \cdot K_4 - K_2 \cdot SH_1 \cdot K_3}{P_1} ; P_7 = \frac{P_2 \cdot P_3}{P_1}$$

$$P_8 = \frac{TK_1 \cdot K_2 \cdot D_1 \cdot SH_1 + TK_2 \cdot K_1 \cdot D_2 \cdot SN_2}{L \cdot P_1} ; P_9 = \frac{SH_1 \cdot TK_2 \cdot D_2 + SN_2 \cdot TK_1 \cdot D_1}{P_4}$$

$$P_{10} = \frac{CH_1 \cdot TK_2 \cdot K_3 \cdot D_2 + CS_2 \cdot TK_1 \cdot K_4 \cdot D_1}{P_4}$$

$$P_{11} = \frac{K_1 \cdot TK_2 \cdot SH_1 \cdot D_2 - K_2 \cdot TK_1 \cdot SN_2 \cdot D_1}{P_4}$$

$$P_{12} = \frac{D_1 \cdot D_2 \cdot P_2 \cdot P_3}{L \cdot P_4} ; P_{13} = \frac{P_2}{P_1} ; P_{14} = \frac{K_3 \cdot SH_1 + K_4 \cdot SN_2}{P_1}$$

$$P_{15} = \frac{K_1 \cdot CH_1 + K_2 \cdot CS_2}{P_1} ; P_{16} = \frac{TK_2 \cdot D_2 \cdot SN_2 - TK_1 \cdot D_1 \cdot SH_1}{L \cdot P_1}$$

$$P_{17} = \frac{L \cdot (SH_1 \cdot K_4 - SN_2 \cdot K_3)}{P_4} ; P_{18} = \frac{L \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot P_2}{P_4}$$

$$P_{19} = \frac{L \cdot (K_1 \cdot K_4 \cdot SH_1 + K_2 \cdot K_3 \cdot SN_2)}{P_4} ; P_{20} = \frac{TK_1 \cdot K_4 \cdot D_1 \cdot CH_1 + TK_2 \cdot K_3 \cdot D_2 \cdot CS_2}{P_4}$$

## 5.2 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

### 5.2.1 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_2(z_2) = [C_5 \cosh(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sinh(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cosh(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sinh(D_4 \cdot z_2)] \quad (223.a)$$

$$\theta_2(z_2) = [K_7 \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2)] \\ + [K_8 \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + K_8 \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2)] \quad (223.b)$$

$$M_2(z_2) = [-K_5 \cdot C_5 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) - K_5 \cdot C_6 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2)] \\ - [K_6 \cdot C_7 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) + K_6 \cdot C_8 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2)] \quad (223.c)$$

$$T_2(z_2) = \begin{bmatrix} -\frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) - \frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) \\ -\left[ \frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + \frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) \right] \end{bmatrix} \quad (223.d)$$

(223.a), (223.b), (223.c) ve (223.d) numaralı denklemlerde verilen konum parametresine bağlı dört adet iç tesir fonksiyonu;  $S_2(z_2)$ , 2. bölgeye ait durum vektörü olmak üzere;

$$\{S_2(z_2)\} = [\phi_2(z_2)] \cdot \{C\} \quad (224)$$

şeklinde matris formda gösterilebilir.(İnan, 1964)

Burada;  $[\phi_2(z_2)]$ ,

$$[\phi_2(z_2)] = \begin{bmatrix} \cosh(D_3 \cdot z_2) & \sinh(D_3 \cdot z_2) & \cosh(D_4 \cdot z_2) & \sinh(D_4 \cdot z_2) \\ K_7 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) & K_7 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) & K_8 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) & K_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) \\ -K_5 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) & -K_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) & -K_6 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) & -K_6 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) \\ -\frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \sinh(D_3 \cdot z_2) & -\frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \cosh(D_3 \cdot z_2) & -\frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \sinh(D_4 \cdot z_2) & -\frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \cosh(D_4 \cdot z_2) \end{bmatrix} \quad (225)$$

konum parametresine bağlı kare matrisini,

$$\{C\}^T = \{C_5 \quad C_6 \quad C_7 \quad C_8\} \quad (226)$$

olmak üzere, katsayılar vektörünü göstermektedir.

(224) numaralı denklemde,  $(z_2=0)$  yazılır ise;

$$\{S_2(0)\} = [\phi_2(0)] \cdot \{C\} \quad (227)$$

bağıntısı elde edilir.

(227) numaralı denklemden,  $[\phi_2(0)]$  kare matrisi, tekil matris olmamak koşulu ile  $\{C\}$  katsayılar vektörü,

$$\{C\} = [\phi_2(0)]^{-1} \cdot \{S_2(0)\} \quad (228)$$

bağıntısı ile bulunur ve (224) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$\{S_2(z_2)\} = [\phi_2(z_2)] \cdot [\phi_2(0)]^{-1} \cdot \{S_2(0)\} \quad (229)$$

bağıntısı elde edilir.

(229) numaralı denklemden,  $[F_2(z_2)]$ ; 2. bölge için taşıma matrisi aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır.(İnan, 1964)

$$[F_2(z_2)] = [\phi_2(z_2)] \cdot [\phi_2(0)]^{-1} \quad (230)$$

$[\phi_2(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (230) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_2(z_2)] = \begin{bmatrix} P_{25} & P_{29} & -P_{33} & P_{37} \\ -P_{26} & P_{30} & -P_{34} & -P_{38} \\ P_{27} & -P_{31} & P_{35} & -P_{39} \\ P_{28} & P_{32} & P_{36} & P_{40} \end{bmatrix} \quad (231)$$

$[F_2(z_2)]$ , 2. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CH_3 = \cosh(D_3 \cdot z_2) ; SH_3 = \sinh(D_3 \cdot z_2) ; CH_4 = \cosh(D_4 \cdot z_2) ; SH_4 = \sinh(D_4 \cdot z_2)$$

$$P_{21} = K_6 - K_5 ; P_{22} = CH_4 - CH_3 ; P_{23} = TK_5 \cdot TK_6 ; P_{24} = TK_6 \cdot D_4 \cdot K_7 - TK_5 \cdot D_3 \cdot K_8$$

olmak üzere; aşağıda sunulmuştur.



$$\begin{aligned}
P_{25} &= \frac{CH_3 \cdot K_6 - CH_4 \cdot K_5}{P_{21}} ; P_{26} = \frac{K_5 \cdot SH_4 \cdot K_8 - K_6 \cdot SH_3 \cdot K_7}{P_{21}} ; P_{27} = \frac{P_{22} \cdot P_{23}}{P_{21}} \\
P_{28} &= \frac{TK_6 \cdot K_5 \cdot D_4 \cdot SH_4 - TK_5 \cdot K_6 \cdot D_3 \cdot SH_3}{L \cdot P_{21}} \\
P_{29} &= \frac{SH_3 \cdot TK_6 \cdot D_4 - SH_4 \cdot TK_5 \cdot D_3}{P_{24}} \\
P_{30} &= \frac{CH_3 \cdot TK_6 \cdot K_7 \cdot D_4 - CH_4 \cdot TK_5 \cdot K_8 \cdot D_3}{P_{24}} \\
P_{31} &= \frac{TK_6 \cdot K_5 \cdot SH_3 \cdot D_4 - K_6 \cdot TK_5 \cdot SH_4 \cdot D_3}{P_{24}} \\
P_{32} &= \frac{D_3 \cdot D_4 \cdot P_{22} \cdot P_{23}}{L \cdot P_{24}} ; P_{33} = \frac{P_{22}}{P_{21}} ; P_{34} = \frac{K_8 \cdot SH_4 - K_7 \cdot SH_3}{P_{21}} \\
P_{35} &= \frac{K_6 \cdot CH_4 - K_5 \cdot CH_3}{P_{21}} ; P_{36} = \frac{TK_6 \cdot D_4 \cdot SH_4 - TK_5 \cdot D_3 \cdot SH_3}{L \cdot P_{21}} \\
P_{37} &= \frac{L \cdot (SH_3 \cdot K_8 - SH_4 \cdot K_7)}{P_{24}} ; P_{38} = \frac{L \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot P_{22}}{P_{24}} \\
P_{39} &= \frac{L \cdot (K_5 \cdot K_8 \cdot SH_3 - K_6 \cdot K_7 \cdot SH_4)}{P_{24}} ; P_{40} = \frac{TK_6 \cdot K_7 \cdot D_4 \cdot CH_4 - TK_5 \cdot K_8 \cdot D_3 \cdot CH_3}{P_{24}}
\end{aligned}$$

### 5.2.2 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 > 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_2(z_2) = [C_5 \cosh(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sinh(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cos(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sin(D_4 \cdot z_2)] \quad (232.a)$$

$$\begin{aligned}
\theta_2(z_2) &= [K_7 \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) \\
&\quad - [K_8 \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) - K_8 \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2)]] \quad (232.b)
\end{aligned}$$

$$M_2(z_2) = [-K_5 \cdot C_5 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) - K_5 \cdot C_6 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2)] \\ + [K_9 \cdot C_7 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) + K_9 \cdot C_8 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2)] \quad (232.c)$$

$$T_2(z_2) = \left[ -\frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) - \frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) \right] \\ - \left[ \frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) - \frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) \right] \quad (232.d)$$

$\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait  $[\phi_2(z_2)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[\phi_2(z_2)] = \begin{bmatrix} \cosh(D_3 \cdot z_2) & \sinh(D_3 \cdot z_2) & \cos(D_4 \cdot z_2) & \sin(D_4 \cdot z_2) \\ K_7 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) & K_7 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) & -K_8 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) & K_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) \\ -K_5 \cdot \cosh(D_3 \cdot z_2) & -K_5 \cdot \sinh(D_3 \cdot z_2) & K_9 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) & K_9 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) \\ -\frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \sinh(D_3 \cdot z_2) & -\frac{TK_5 \cdot D_3}{L} \cosh(D_3 \cdot z_2) & -\frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \sin(D_4 \cdot z_2) & \frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \cos(D_4 \cdot z_2) \end{bmatrix} \quad (233)$$

$[\phi_2(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (230) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 > 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_2(z_2)] = \begin{bmatrix} P_{45} & P_{49} & P_{53} & -P_{57} \\ -P_{46} & P_{50} & -P_{54} & P_{58} \\ P_{47} & -P_{51} & P_{55} & P_{59} \\ -P_{48} & P_{52} & -P_{56} & P_{60} \end{bmatrix} \quad (234)$$

$[F_2(z_2)]$ , 2. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CS_4 = \cos(D_4 \cdot z_2) ; \quad SN_4 = \sin(D_4 \cdot z_2) ; \quad P_{41} = K_9 + K_5 ; \quad P_{42} = CS_4 - CH_3$$

$$P_{43} = TK_5 \cdot TK_9 ; \quad P_{44} = TK_9 \cdot D_4 \cdot K_7 + TK_5 \cdot D_3 \cdot K_{10}$$

olmak üzere, aşağıda sunulmuştur.

$$P_{45} = \frac{CH_3 \cdot K_9 + CS_4 \cdot K_5}{P_{41}} ; P_{46} = \frac{K_5 \cdot SN_4 \cdot K_{10} - K_9 \cdot SH_3 \cdot K_7}{P_{41}} ; P_{47} = \frac{P_{42} \cdot P_{43}}{P_{41}}$$

$$P_{48} = \frac{TK_9 \cdot K_5 \cdot D_4 \cdot SN_4 + K_9 \cdot TK_5 \cdot D_3 \cdot SH_3}{L \cdot P_{41}}$$

$$P_{49} = \frac{SH_3 \cdot TK_9 \cdot D_4 + SN_4 \cdot TK_5 \cdot D_3}{P_{44}}$$

$$P_{50} = \frac{CH_3 \cdot TK_9 \cdot K_7 \cdot D_4 + CS_4 \cdot TK_5 \cdot K_{10} \cdot D_3}{P_{44}}$$

$$P_{51} = \frac{TK_9 \cdot K_5 \cdot SH_3 \cdot D_4 - K_9 \cdot TK_5 \cdot SN_4 \cdot D_3}{P_{44}}$$

$$P_{52} = \frac{D_3 \cdot D_4 \cdot P_{42} \cdot P_{43}}{L \cdot P_{44}} ; P_{53} = \frac{P_{42}}{P_{41}} ; P_{54} = \frac{K_{10} \cdot SN_4 + K_7 \cdot SH_3}{P_{41}}$$

$$P_{55} = \frac{K_9 \cdot CS_4 + K_5 \cdot CH_3}{P_{41}} ; P_{56} = \frac{TK_9 \cdot D_4 \cdot SN_4 - TK_5 \cdot D_3 \cdot SH_3}{L \cdot P_{41}}$$

$$P_{57} = \frac{L \cdot (SH_3 \cdot K_{10} - SN_4 \cdot K_7)}{P_{44}} ; P_{58} = \frac{L \cdot K_7 \cdot K_{10} \cdot P_{42}}{P_{44}}$$

$$P_{59} = \frac{L \cdot (K_5 \cdot K_{10} \cdot SH_3 + K_9 \cdot K_7 \cdot SN_4)}{P_{44}} ; P_{60} = \frac{TK_9 \cdot K_7 \cdot D_4 \cdot CS_4 + TK_5 \cdot K_{10} \cdot D_3 \cdot CH_3}{P_{44}}$$

### 5.2.3 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 > 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_2(z_2) = [C_5 \cos(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sin(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cosh(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sinh(D_4 \cdot z_2)] \quad (235.a)$$

$$\theta_2(z_2) = [-K_7 \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2)] \\ + [K_8 \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + K_8 \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2)] \quad (235.b)$$

$$M_2(z_2) = [K_{11} \cdot C_5 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) + K_{11} \cdot C_6 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2)] \\ - [K_6 \cdot C_7 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) + K_6 \cdot C_8 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2)] \quad (235.c)$$

$$T_2(z_2) = \left[ -\frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + \frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) \right] \\ - \left[ \frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) + \frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) \right] \quad (235.d)$$

$\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait  $[\phi_2(z_2)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[\phi_2(z_2)] = \begin{bmatrix} \cos(D_3 \cdot z_2) & \sin(D_3 \cdot z_2) & \cosh(D_4 \cdot z_2) & \sinh(D_4 \cdot z_2) \\ -K_7 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) & K_7 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) & K_8 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) & K_8 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) \\ K_{11} \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) & K_{11} \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) & -K_6 \cdot \cosh(D_4 \cdot z_2) & -K_6 \cdot \sinh(D_4 \cdot z_2) \\ -\frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \sin(D_3 \cdot z_2) & \frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \cos(D_3 \cdot z_2) & -\frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \sinh(D_4 \cdot z_2) & -\frac{TK_6 \cdot D_4}{L} \cosh(D_4 \cdot z_2) \end{bmatrix} \quad (236)$$

$[\phi_2(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (230) numaralı denklemden yerine yazılır ise,  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 > 0$  durumu için 2. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_2(z_2)] = \begin{bmatrix} P_{65} & P_{69} & P_{73} & P_{77} \\ P_{66} & P_{70} & -P_{74} & P_{78} \\ P_{67} & P_{71} & P_{75} & P_{79} \\ -P_{68} & P_{72} & P_{76} & P_{80} \end{bmatrix} \quad (237)$$

$[F_2(z_2)]$ , 2. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CS_3 = \cos(D_3 \cdot z_2) ; SN_3 = \sin(D_3 \cdot z_2) ; P_{61} = K_6 + K_{11} ; P_{62} = CS_3 - CH_4$$

$$P_{63} = TK_{11} \cdot TK_6 ; P_{64} = TK_6 \cdot D_4 \cdot K_{12} + K_8 \cdot D_3 \cdot TK_{11}$$

olmak üzere, aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
P_{65} &= \frac{CS_3 \cdot K_6 + CH_4 \cdot K_{11}}{P_{61}} ; P_{66} = \frac{K_8 \cdot SH_4 \cdot K_{11} - K_6 \cdot SN_3 \cdot K_{12}}{P_{61}} ; P_{67} = \frac{P_{62} \cdot P_{63}}{P_{61}} \\
P_{68} &= \frac{TK_6 \cdot K_{11} \cdot D_4 \cdot SH_4 + K_6 \cdot TK_{11} \cdot D_3 \cdot SN_3}{L \cdot P_{61}} \\
P_{69} &= \frac{SN_3 \cdot TK_6 \cdot D_4 + SH_4 \cdot TK_{11} \cdot D_3}{P_{64}} \\
P_{70} &= \frac{CS_3 \cdot TK_6 \cdot K_{12} \cdot D_4 + CH_4 \cdot K_8 \cdot TK_{11} \cdot D_3}{P_{64}} \\
P_{71} &= \frac{TK_6 \cdot K_{11} \cdot SN_3 \cdot D_4 - K_6 \cdot TK_{11} \cdot SH_4 \cdot D_3}{P_{64}} \\
P_{72} &= \frac{D_3 \cdot D_4 \cdot P_{62} \cdot P_{63}}{L \cdot P_{64}} ; P_{73} = \frac{P_{62}}{P_{61}} ; P_{74} = \frac{K_{12} \cdot SN_3 + K_8 \cdot SH_4}{P_{61}} \\
P_{75} &= \frac{K_{11} \cdot CS_3 + K_6 \cdot CH_4}{P_{61}} ; P_{76} = \frac{TK_6 \cdot D_4 \cdot SH_4 - TK_{11} \cdot D_3 \cdot SN_3}{L \cdot P_{61}} \\
P_{77} &= \frac{L \cdot (SN_3 \cdot K_8 - SH_4 \cdot K_{12})}{P_{64}} ; P_{78} = \frac{L \cdot K_8 \cdot K_{12} \cdot P_{62}}{P_{64}} \\
P_{79} &= \frac{L \cdot (K_6 \cdot K_{12} \cdot SH_4 + K_8 \cdot K_{11} \cdot SN_3)}{P_{64}} ; P_{80} = \frac{K_8 \cdot TK_{11} \cdot D_3 \cdot CS_3 + TK_6 \cdot K_{12} \cdot D_4 \cdot CH_4}{P_{64}}
\end{aligned}$$

#### 5.2.4 $\gamma_2 > 0$ , $\Delta_3 < 0$ ve $\Delta_4 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_2(z_2) = [C_5 \cos(D_3 \cdot z_2) + C_6 \sin(D_3 \cdot z_2) + C_7 \cos(D_4 \cdot z_2) + C_8 \sin(D_4 \cdot z_2)] \quad (238.a)$$

$$\begin{aligned}
\theta_2(z_2) &= [-K_7 \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + K_7 \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2)] \\
&\quad - [K_8 \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) - K_8 \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2)] \quad (238.b)
\end{aligned}$$

$$M_2(z_2) = [K_{11} \cdot C_5 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) + K_{11} \cdot C_6 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2)] \\ + [K_9 \cdot C_7 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) + K_9 \cdot C_8 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2)] \quad (238.c)$$

$$T_2(z_2) = \left[ -\frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_5 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) + \frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \cdot C_6 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) \right] \\ - \left[ \frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_7 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) - \frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \cdot C_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) \right] \quad (238.d)$$

$\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait  $[\phi_2(z_2)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[\phi_2(z_2)] = \begin{bmatrix} \cos(D_3 \cdot z_2) & \sin(D_3 \cdot z_2) & \cos(D_4 \cdot z_2) & \sin(D_4 \cdot z_2) \\ -K_7 \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) & K_7 \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) & -K_8 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) & K_8 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) \\ K_{11} \cdot \cos(D_3 \cdot z_2) & K_{11} \cdot \sin(D_3 \cdot z_2) & K_9 \cdot \cos(D_4 \cdot z_2) & K_9 \cdot \sin(D_4 \cdot z_2) \\ -\frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \sin(D_3 \cdot z_2) & \frac{TK_{11} \cdot D_3}{L} \cos(D_3 \cdot z_2) & -\frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \sin(D_4 \cdot z_2) & \frac{TK_9 \cdot D_4}{L} \cos(D_4 \cdot z_2) \end{bmatrix} \quad (239)$$

$[\phi_2(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (230) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_2 > 0$ ,  $\Delta_3 < 0$  ve  $\Delta_4 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_2(z_2)] = \begin{bmatrix} P_{85} & P_{89} & -P_{93} & -P_{97} \\ P_{86} & P_{90} & -P_{94} & -P_{98} \\ P_{87} & P_{91} & P_{95} & -P_{99} \\ P_{88} & P_{92} & -P_{96} & P_{100} \end{bmatrix} \quad (240)$$

$[F_2(z_2)]$ , 2. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$P_{81} = K_9 - K_{11}; P_{82} = CS_3 - CS_4; P_{83} = TK_{11} \cdot TK_9; P_{84} = TK_9 \cdot D_4 \cdot K_{12} - K_{10} \cdot D_3 \cdot TK_{11}$$

olmak üzere, aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
P_{85} &= \frac{CS_3 \cdot K_9 - CS_4 \cdot K_{11}}{P_{81}} ; P_{86} = \frac{K_{10} \cdot SN_4 \cdot K_{11} - K_9 \cdot SN_3 \cdot K_{12}}{P_{81}} ; P_{87} = \frac{P_{82} \cdot P_{83}}{P_{81}} \\
P_{88} &= \frac{TK_9 \cdot K_{11} \cdot D_4 \cdot SN_4 - K_9 \cdot TK_{11} \cdot D_3 \cdot SN_3}{L \cdot P_{81}} \\
P_{89} &= \frac{SN_3 \cdot TK_9 \cdot D_4 - SN_4 \cdot TK_{11} \cdot D_3}{P_{84}} \\
P_{90} &= \frac{CS_3 \cdot TK_9 \cdot K_{12} \cdot D_4 - CS_4 \cdot K_{10} \cdot TK_{11} \cdot D_3}{P_{84}} \\
P_{91} &= \frac{TK_9 \cdot K_{11} \cdot SN_3 \cdot D_4 - K_9 \cdot TK_{11} \cdot SN_4 \cdot D_3}{P_{84}} \\
P_{92} &= \frac{D_3 \cdot D_4 \cdot P_{82} \cdot P_{83}}{L \cdot P_{84}} ; P_{93} = \frac{P_{82}}{P_{81}} ; P_{94} = \frac{K_{10} \cdot SN_4 - K_{12} \cdot SN_3}{P_{81}} \\
P_{95} &= \frac{-K_{11} \cdot CS_3 + K_9 \cdot CS_4}{P_{81}} ; P_{96} = \frac{TK_9 \cdot D_4 \cdot SN_4 - TK_{11} \cdot D_3 \cdot SN_3}{L \cdot P_{81}} \\
P_{97} &= \frac{L \cdot (SN_3 \cdot K_{10} - SN_4 \cdot K_{12})}{P_{84}} ; P_{98} = \frac{L \cdot K_{10} \cdot K_{12} \cdot P_{82}}{P_{84}} \\
P_{99} &= \frac{L \cdot (-K_9 \cdot K_{12} \cdot SN_4 + K_{10} \cdot K_{11} \cdot SN_3)}{P_{84}} ; P_{100} = \frac{-K_{10} \cdot TK_{11} \cdot D_3 \cdot CS_3 + TK_9 \cdot K_{12} \cdot D_4 \cdot CS_4}{P_{84}}
\end{aligned}$$

### 5.2.5 $\gamma_2 < 0$ Durumu İçin 2. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_2 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
y_2(z_2) &= [C_5 \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + C_6 \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2)] \\
&\quad + [C_7 \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) + C_8 \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2)]
\end{aligned} \tag{241.a}$$

$$\begin{aligned}
\theta_2(z_2) = & [C_5 \cdot (K_{17} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) - K_{18} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_6 \cdot (K_{17} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) - K_{18} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_7 \cdot (K_{17} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) + K_{18} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_8 \cdot (K_{17} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) + K_{18} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))]
\end{aligned} \tag{241.b}$$

$$\begin{aligned}
M_2(z_2) = & [C_5 \cdot (K_{13} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{14} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_6 \cdot (K_{13} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{14} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_7 \cdot (K_{13} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{14} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_8 \cdot (K_{13} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{14} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))]
\end{aligned} \tag{241.c}$$

$$\begin{aligned}
T_2(z_2) = & [C_5 \cdot (K_{15} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{16} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_6 \cdot (K_{15} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2) + K_{16} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_7 \cdot (K_{15} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{16} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))] \\
& + [C_8 \cdot (K_{15} \cdot \cosh(A_1 \cdot z_2) \cdot \sin(A_2 \cdot z_2) - K_{16} \cdot \sinh(A_1 \cdot z_2) \cdot \cos(A_2 \cdot z_2))]
\end{aligned} \tag{241.d}$$

$\gamma_2 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait  $[\phi_2(z_2)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.



$$\begin{aligned}
 & \left[ \begin{array}{cccc}
 \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & \sinh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & \cosh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & \sin(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) \\
 K_{17} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & K_{17} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & K_{17} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & K_{17} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) \\
 -K_{18} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & -K_{18} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & -K_{18} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & +K_{18} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) \\
 K_{13} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & K_{13} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & K_{13} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & K_{13} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) \\
 +K_{14} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & +K_{14} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & -K_{14} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & -K_{14} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) \\
 K_{15} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & K_{15} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & K_{15} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & K_{15} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) \\
 +K_{16} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & +K_{16} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \sin(A_2 z_2) & -K_{16} \cdot \cosh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2) & -K_{16} \cdot \sinh(A_1 z_2) \cdot \cos(A_2 z_2)
 \end{array} \right] \\
 & [\phi_2(z_2)] =
 \end{aligned}
 \tag{242}$$

$[\phi_2(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (230) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_2 < 0$  durumu için 2. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_2(z_2)] = \begin{bmatrix} P_{102} & P_{106} & -P_{110} & P_{114} \\ -P_{103} & -P_{107} & -P_{111} & -P_{115} \\ P_{104} & P_{108} & P_{112} & P_{116} \\ P_{105} & P_{109} & P_{113} & P_{117} \end{bmatrix} \quad (243)$$

$[F_2(z_2)]$ , 2. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CHA_1 = \cosh(A_1 \cdot z_2); \quad SHA_1 = \sinh(A_1 \cdot z_2); \quad CSA_2 = \cos(A_2 \cdot z_2); \quad SNA_2 = \sin(A_2 \cdot z_2)$$

$$P_{101} = K_{17} \cdot K_{16} + K_{18} \cdot K_{15}$$

olmak üzere, aşağıda sunulmuştur.

$$P_{102} = \frac{K_{14} \cdot CHA_1 \cdot CSA_2 + K_{13} \cdot SHA_1 \cdot SNA_2}{K_{14}}$$

$$P_{103} = \frac{SHA_1 \cdot CSA_2 \cdot (K_{17} \cdot K_{14} + K_{13} \cdot K_{18}) - CHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{13} \cdot K_{17} - K_{18} \cdot K_{14})}{K_{14}}$$

$$P_{104} = \frac{SHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{14}^2 + K_{13}^2)}{K_{14}}$$

$$P_{105} = \frac{SHA_1 \cdot CSA_2 \cdot (K_{15} \cdot K_{14} - K_{13} \cdot K_{16}) + CHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{13} \cdot K_{15} + K_{16} \cdot K_{14})}{K_{14}}$$

$$P_{106} = \frac{K_{16} \cdot SHA_1 \cdot CSA_2 + K_{15} \cdot CHA_1 \cdot SNA_2}{P_{101}}$$

$$P_{107} = \frac{CHA_1 \cdot CSA_2 \cdot (K_{16} \cdot K_{17} + K_{15} \cdot K_{18}) + SHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{17} \cdot K_{15} - K_{16} \cdot K_{18})}{P_{101}}$$

$$P_{108} = \frac{CHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{16} \cdot K_{14} + K_{15} \cdot K_{13}) + SHA_1 \cdot CSA_2 \cdot (K_{16} \cdot K_{13} - K_{15} \cdot K_{14})}{P_{101}}$$

$$P_{109} = \frac{SHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{16}^2 + K_{15}^2)}{P_{101}}; \quad P_{110} = \frac{SHA_1 \cdot SNA_2}{K_{14}}$$

$$P_{111} = \frac{K_{17} \cdot CHA_1 \cdot SNA_2 + K_{18} \cdot SHA_1 \cdot CSA_2}{K_{14}}$$

$$P_{112} = \frac{-K_{13} \cdot SHA_1 \cdot SNA_2 + K_{14} \cdot CHA_1 \cdot CSA_2}{K_{14}}$$

$$P_{113} = \frac{-K_{15} \cdot CHA_1 \cdot SNA_2 + K_{16} \cdot SHA_1 \cdot CSA_2}{K_{14}}$$

$$P_{114} = \frac{K_{18} \cdot SHA_1 \cdot CSA_2 - K_{17} \cdot CHA_1 \cdot SNA_2}{P_{101}}$$

$$P_{115} = \frac{SHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{18}^2 + K_{17}^2)}{P_{101}}$$

$$P_{116} = \frac{SHA_1 \cdot CSA_2 \cdot (K_{13} \cdot K_{18} + K_{17} \cdot K_{14}) - CHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{13} \cdot K_{17} - K_{18} \cdot K_{14})}{P_{101}}$$

$$P_{117} = \frac{CHA_1 \cdot CSA_2 \cdot (K_{16} \cdot K_{17} + K_{15} \cdot K_{18}) - SHA_1 \cdot SNA_2 \cdot (K_{17} \cdot K_{15} - K_{16} \cdot K_{18})}{P_{101}}$$

### 5.3 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

#### 5.3.1 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_3(z_3) = [C_9 \cosh(D_5 \cdot z_3) + C_{10} \sinh(D_5 \cdot z_3) + C_{11} \cosh(D_6 \cdot z_3) + C_{12} \sinh(D_6 \cdot z_3)] \quad (244.a)$$

$$\theta_3(z_3) = [K_{21} \cdot C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3)] \\ + [K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3)] \quad (244.b)$$

$$M_3(z_3) = [-K_{19} \cdot C_9 \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) - K_{19} \cdot C_{10} \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3)] \\ - [K_{20} \cdot C_{11} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) + K_{20} \cdot C_{12} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3)] \quad (244.c)$$

$$T_3(z_3) = \begin{bmatrix} -\frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) - \frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) \\ -\left[ \frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + \frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) \right] \end{bmatrix} \quad (244.d)$$

(244.a), (244.b), (244.c) ve (244.d) numaralı denklemlerde verilen konum parametresine bağlı dört adet iç tesir fonksiyonu;  $S_3(z_3)$ , 3. bölgeye ait durum vektörü olmak üzere;

$$\{S_3(z_3)\} = [\phi_3(z_3)] \cdot \{C\} \quad (245)$$

şeklinde matris formda gösterilebilir. (İnan, 1964)

Burada;  $[\phi_3(z_3)]$ ,

$$[\phi_3(z_3)] = \begin{bmatrix} \cosh(D_5 z_3) & \sinh(D_5 z_3) & \cosh(D_6 z_3) & \sinh(D_6 z_3) \\ K_{21} \cdot \sinh(D_5 z_3) & K_{21} \cdot \cosh(D_5 z_3) & K_{22} \cdot \sinh(D_6 z_3) & K_{22} \cdot \cosh(D_6 z_3) \\ -K_{19} \cdot \cosh(D_5 z_3) & -K_{19} \cdot \sinh(D_5 z_3) & -K_{20} \cdot \cosh(D_6 z_3) & -K_{20} \cdot \sinh(D_6 z_3) \\ -\frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} \sinh(D_5 z_3) & -\frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} \cosh(D_5 z_3) & -\frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} \sinh(D_6 z_3) & -\frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} \cosh(D_6 z_3) \end{bmatrix} \quad (246)$$

konum parametresine bağlı kare matrisini,

$$\{C\}^T = \{C_9 \quad C_{10} \quad C_{11} \quad C_{12}\} \quad (247)$$

olmak üzere, katsayılar vektörünü göstermektedir.

(245) numaralı denklemde, ( $z_3=0$ ) yazılır ise;

$$\{S_3(0)\} = [\phi_3(0)] \cdot \{C\} \quad (248)$$

bağıntısı elde edilir.

(248) numaralı denklemden,  $[\phi_3(0)]$  kare matrisi, tekil matris olmamak koşulu ile  $\{C\}$  katsayılar vektörü,

$$\{C\} = [\phi_3(0)]^{-1} \cdot \{S_3(0)\} \quad (249)$$

bağıntısı ile bulunur ve (245) numaralı denklemde yerine yazılır ise;

$$\{S_3(z_3)\} = [\phi_3(z_3)] \cdot [\phi_3(0)]^{-1} \cdot \{S_3(0)\} \quad (250)$$

bağıntısı elde edilir.

(250) numaralı denklemden,  $[F_3(z_3)]$ ; 3. bölge için taşıma matrisi aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır. (İnan, 1964)

$$[F_3(z_3)] = [\phi_3(z_3)] \cdot [\phi_3(0)]^{-1} \quad (251)$$

$[\phi_3(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (251) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_3(z_3)] = \begin{bmatrix} T_5 & T_9 & -T_{13} & T_{17} \\ -T_6 & T_{10} & -T_{14} & -T_{18} \\ T_7 & -T_{11} & T_{15} & -T_{19} \\ T_8 & T_{12} & T_{16} & T_{20} \end{bmatrix} \quad (252)$$

$[F_3(z_3)]$ , 3. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$\begin{aligned} CH_5 &= \cosh(D_5 \cdot z_3); SH_5 = \sinh(D_5 \cdot z_3); CH_6 = \cosh(D_6 \cdot z_3); SH_6 = \sinh(D_6 \cdot z_3) \\ T_1 &= K_{20} - K_{19}; T_2 = CH_5 - CH_6; T_3 = TK_{19} \cdot TK_{20}; T_4 = K_{21} \cdot D_6 \cdot TK_{20} - TK_{19} \cdot D_5 \cdot K_{22} \end{aligned}$$

olmak üzere, aşağıda sunulmuştur.

$$T_5 = \frac{CH_5 \cdot K_{20} - CH_6 \cdot K_{19}}{T_1} ; T_6 = \frac{K_{22} \cdot SH_6 \cdot K_{19} - K_{21} \cdot SH_5 \cdot K_{20}}{T_1} ; T_7 = \frac{T_2 \cdot T_3}{T_1}$$

$$T_8 = \frac{TK_{20} \cdot K_{19} \cdot D_6 \cdot SH_6 - K_{20} \cdot TK_{19} \cdot D_5 \cdot SH_5}{L \cdot T_1}$$

$$T_9 = \frac{SH_5 \cdot TK_{20} \cdot D_6 - SH_6 \cdot TK_{19} \cdot D_5}{T_4}$$

$$T_{10} = \frac{CH_5 \cdot K_{21} \cdot TK_{20} \cdot D_6 - CH_6 \cdot K_{22} \cdot TK_{19} \cdot D_5}{T_4}$$

$$T_{11} = \frac{TK_{20} \cdot K_{19} \cdot SH_5 \cdot D_6 - K_{20} \cdot TK_{19} \cdot SH_6 \cdot D_5}{T_4}$$

$$T_{12} = \frac{D_5 \cdot D_6 \cdot T_2 \cdot T_3}{L \cdot T_4} ; T_{13} = \frac{T_2}{T_1} ; T_{14} = \frac{K_{22} \cdot SH_6 - K_{21} \cdot SH_5}{T_1}$$

$$T_{15} = \frac{K_{20} \cdot CH_6 - K_{19} \cdot CH_5}{T_1} ; T_{16} = \frac{TK_{20} \cdot D_6 \cdot SH_6 - TK_{19} \cdot D_5 \cdot SH_5}{L \cdot T_1}$$

$$T_{17} = \frac{L \cdot (SH_5 \cdot K_{22} - SH_6 \cdot K_{21})}{T_4} ; T_{18} = \frac{L \cdot K_{21} \cdot K_{22} \cdot T_2}{T_4}$$

$$T_{19} = \frac{L \cdot (K_{19} \cdot K_{22} \cdot SH_5 - K_{20} \cdot K_{21} \cdot SH_6)}{T_4} ; T_{20} = \frac{TK_{20} \cdot K_{21} \cdot D_6 \cdot CH_6 - TK_{19} \cdot K_{22} \cdot D_5 \cdot CH_5}{T_4}$$

### 5.3.2 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 > 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_3(z_3) = [C_9 \cosh(D_5 \cdot z_3) + C_{10} \sinh(D_5 \cdot z_3) + C_{11} \cos(D_6 \cdot z_3) + C_{12} \sin(D_6 \cdot z_3)] \quad (253.a)$$

$$\theta_3(z_3) = [K_{21} \cdot C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3)] \\ - [K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) - K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3)] \quad (253.b)$$

$$M_3(z_3) = [-K_{19} \cdot C_9 \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) - K_{19} \cdot C_{10} \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3)] \\ + [K_{23} \cdot C_{11} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) + K_{23} \cdot C_{12} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3)] \quad (253.c)$$

$$T_3(z_3) = \left[ -\frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} \cdot C_9 \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) - \frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} \cdot C_{10} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) \right] \\ - \left[ \frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) - \frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \right] \quad (253.d)$$

$\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait  $[\phi_3(z_3)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[\phi_3(z_3)] = \begin{bmatrix} \cosh(D_5 \cdot z_3) & \sinh(D_5 \cdot z_3) & \cos(D_6 \cdot z_3) & \sin(D_6 \cdot z_3) \\ K_{21} \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) & K_{21} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) & -K_{22} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) & K_{22} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \\ -K_{19} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) & -K_{19} \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) & K_{23} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) & K_{23} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) \\ -\frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} \cdot \sinh(D_5 \cdot z_3) & -\frac{TK_{19} \cdot D_5}{L} \cdot \cosh(D_5 \cdot z_3) & -\frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) & \frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \end{bmatrix} \quad (254)$$

$[\phi_3(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (251) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 > 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_3(z_3)] = \begin{bmatrix} T_{25} & T_{29} & T_{33} & -T_{37} \\ -T_{26} & T_{30} & -T_{34} & T_{38} \\ T_{27} & -T_{31} & T_{35} & T_{39} \\ -T_{28} & T_{32} & -T_{36} & T_{40} \end{bmatrix} \quad (255)$$

$[F_3(z_3)]$ , 3. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CS_6 = \cos(D_6 \cdot z_3) ; SN_6 = \sin(D_6 \cdot z_3) ; T_{21} = K_{19} + K_{23} ; T_{22} = CS_6 - CH_5$$

$$T_{23} = TK_{23} \cdot TK_{19} ; T_{24} = K_{21} \cdot D_6 \cdot TK_{23} + TK_{19} \cdot D_5 \cdot K_{24}$$

olmak üzere; aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
T_{25} &= \frac{CH_5 \cdot K_{23} + CS_6 \cdot K_{19}}{T_{21}}; \quad T_{26} = \frac{K_{24} \cdot SN_6 \cdot K_{19} - K_{21} \cdot SH_5 \cdot K_{23}}{T_{21}}; \quad T_{27} = \frac{T_{22} \cdot T_{23}}{T_{21}} \\
T_{28} &= \frac{TK_{19} \cdot K_{23} \cdot D_5 \cdot SH_5 + K_{19} \cdot TK_{23} \cdot D_6 \cdot SN_6}{L \cdot T_{21}} \\
T_{29} &= \frac{SH_5 \cdot TK_{23} \cdot D_6 + SN_6 \cdot TK_{19} \cdot D_5}{T_{24}} \\
T_{30} &= \frac{CH_5 \cdot K_{21} \cdot TK_{23} \cdot D_6 + CS_6 \cdot TK_{19} \cdot K_{24} \cdot D_5}{T_{24}} \\
T_{31} &= \frac{TK_{23} \cdot K_{19} \cdot SH_5 \cdot D_6 - K_{23} \cdot TK_{19} \cdot SN_6 \cdot D_5}{T_{24}} \\
T_{32} &= \frac{D_5 \cdot D_6 \cdot T_{22} \cdot T_{23}}{L \cdot T_{24}}; \quad T_{33} = \frac{T_{22}}{T_{21}}; \quad T_{34} = \frac{K_{24} \cdot SN_6 + K_{21} \cdot SH_5}{T_{21}} \\
T_{35} &= \frac{K_{23} \cdot CS_6 + K_{19} \cdot CH_5}{T_{21}}; \quad T_{36} = \frac{TK_{23} \cdot D_6 \cdot SN_6 - TK_{19} \cdot D_5 \cdot SH_5}{L \cdot T_{21}} \\
T_{37} &= \frac{L \cdot (SH_5 \cdot K_{24} - SN_6 \cdot K_{21})}{T_{24}}; \quad T_{38} = \frac{L \cdot K_{21} \cdot K_{24} \cdot T_{22}}{T_{24}} \\
T_{39} &= \frac{L \cdot (K_{19} \cdot K_{24} \cdot SH_5 + K_{23} \cdot K_{21} \cdot SN_6)}{T_{24}}; \quad T_{40} = \frac{TK_{23} \cdot K_{21} \cdot D_6 \cdot CS_6 + TK_{19} \cdot K_{24} \cdot D_5 \cdot CH_5}{T_{24}}
\end{aligned}$$

### 5.3.3 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 > 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_3(z_3) = [C_9 \cos(D_5 \cdot z_3) + C_{10} \sin(D_5 \cdot z_3) + C_{11} \cosh(D_6 \cdot z_3) + C_{12} \sinh(D_6 \cdot z_3)] \quad (256.a)$$

$$\begin{aligned}
\theta_3(z_3) &= [-K_{21} \cdot C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3)] \\
&+ [K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3)] \quad (256.b)
\end{aligned}$$



$$M_3(z_3) = [K_{25} \cdot C_9 \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) + K_{25} \cdot C_{10} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3)] \\ - [K_{20} \cdot C_{11} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) + K_{20} \cdot C_{12} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3)] \quad (256.c)$$

$$T_3(z_3) = \left[ -\frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + \frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) \right] \\ - \left[ \frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} C_{11} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) + \frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} C_{12} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) \right] \quad (256.d)$$

$\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait  $[\phi_3(z_3)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[\phi_3(z_3)] = \begin{bmatrix} \cos(D_5 \cdot z_3) & \sin(D_5 \cdot z_3) & \cosh(D_6 \cdot z_3) & \sinh(D_6 \cdot z_3) \\ -K_{21} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) & K_{21} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) & K_{22} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) & K_{22} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) \\ K_{25} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) & K_{25} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) & -K_{20} \cdot \cosh(D_6 \cdot z_3) & -K_{20} \cdot \sinh(D_6 \cdot z_3) \\ -\frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} \sin(D_5 \cdot z_3) & \frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} \cos(D_5 \cdot z_3) & -\frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} \sinh(D_6 \cdot z_3) & -\frac{TK_{20} \cdot D_6}{L} \cosh(D_6 \cdot z_3) \end{bmatrix} \quad (257)$$

$[\phi_3(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (251) numaralı denklemden yerine yazılır ise,  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 > 0$  durumu için 3. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_3(z_3)] = \begin{bmatrix} T_{45} & T_{49} & T_{53} & T_{57} \\ T_{46} & T_{50} & -T_{54} & T_{58} \\ T_{47} & T_{51} & T_{55} & T_{59} \\ -T_{48} & T_{52} & T_{56} & T_{60} \end{bmatrix} \quad (258)$$

$[F_3(z_3)]$ , 3. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CS_5 = \cos(D_5 \cdot z_3) ; SN_5 = \sin(D_5 \cdot z_3) ; T_{41} = K_{20} + K_{25} ; T_{42} = CS_5 - CH_6$$

$$T_{43} = TK_{25} \cdot TK_{20} ; T_{44} = K_{26} \cdot D_6 \cdot TK_{20} + K_{22} \cdot D_5 \cdot TK_{25}$$

olmak üzere, aşağıda sunulmuştur.

$$T_{45} = \frac{CS_5 \cdot K_{20} + CH_6 \cdot K_{25}}{T_{41}} ; T_{46} = \frac{K_{22} \cdot SH_6 \cdot K_{25} - K_{26} \cdot SN_5 \cdot K_{20}}{T_{41}} ; T_{47} = \frac{T_{42} \cdot T_{43}}{T_{41}}$$

$$T_{48} = \frac{TK_{20} \cdot K_{25} \cdot D_6 \cdot SH_6 + K_{20} \cdot TK_{25} \cdot D_5 \cdot SN_5}{L \cdot T_{41}}$$

$$T_{49} = \frac{SN_5 \cdot TK_{20} \cdot D_6 + SH_6 \cdot TK_{25} \cdot D_5}{T_{44}}$$

$$T_{50} = \frac{CS_5 \cdot TK_{20} \cdot K_{26} \cdot D_6 + CH_6 \cdot K_{22} \cdot TK_{25} \cdot D_5}{T_{44}}$$

$$T_{51} = \frac{TK_{20} \cdot K_{25} \cdot SN_5 \cdot D_6 - K_{20} \cdot TK_{25} \cdot SH_6 \cdot D_5}{T_{44}}$$

$$T_{52} = \frac{D_5 \cdot D_6 \cdot T_{42} \cdot T_{43}}{L \cdot T_{44}} ; T_{53} = \frac{T_{42}}{T_{41}} ; T_{54} = \frac{K_{26} \cdot SN_5 + K_{22} \cdot SH_6}{T_{41}}$$

$$T_{55} = \frac{K_{25} \cdot CS_5 + K_{20} \cdot CH_5}{T_{41}} ; T_{56} = \frac{TK_{20} \cdot D_6 \cdot SH_6 - TK_{25} \cdot D_5 \cdot SN_5}{L \cdot T_{41}}$$

$$T_{57} = \frac{L \cdot (SN_5 \cdot K_{22} - SH_6 \cdot K_{26})}{T_{44}} ; T_{58} = \frac{L \cdot K_{22} \cdot K_{26} \cdot T_{42}}{T_{44}}$$

$$T_{59} = \frac{L \cdot (K_{20} \cdot K_{26} \cdot SH_6 + K_{22} \cdot K_{25} \cdot SN_5)}{T_{44}} ; T_{60} = \frac{K_{22} \cdot TK_{25} \cdot D_5 \cdot CS_5 + TK_{20} \cdot K_{26} \cdot D_6 \cdot CH_6}{T_{44}}$$

### 5.3.4 $\gamma_3 > 0$ , $\Delta_5 < 0$ ve $\Delta_6 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$y_3(z_3) = [C_9 \cos(D_5 \cdot z_3) + C_{10} \sin(D_5 \cdot z_3) + C_{11} \cos(D_6 \cdot z_3) + C_{12} \sin(D_6 \cdot z_3)] \quad (259.a)$$

$$\theta_3(z_3) = [-K_{21} \cdot C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + K_{21} \cdot C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3)] \\ - [K_{22} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) - K_{22} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3)] \quad (259.b)$$

$$M_3(z_3) = [K_{25} \cdot C_9 \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) + K_{25} \cdot C_{10} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3)] \\ + [K_{23} \cdot C_{11} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) + K_{23} \cdot C_{12} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3)] \quad (259.c)$$

$$T_3(z_3) = \left[ -\frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} \cdot C_9 \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) + \frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} \cdot C_{10} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) \right] \\ - \left[ \frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{11} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) - \frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \cdot C_{12} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \right] \quad (259.d)$$

$\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait  $[\phi_3(z_3)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$[\phi_3(z_3)] = \begin{bmatrix} \cos(D_5 \cdot z_3) & \sin(D_5 \cdot z_3) & \cos(D_6 \cdot z_3) & \sin(D_6 \cdot z_3) \\ -K_{21} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) & K_{21} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) & -K_{22} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) & K_{22} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) \\ K_{25} \cdot \cos(D_5 \cdot z_3) & K_{25} \cdot \sin(D_5 \cdot z_3) & K_{23} \cdot \cos(D_6 \cdot z_3) & K_{23} \cdot \sin(D_6 \cdot z_3) \\ \frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} \sin(D_5 \cdot z_3) & \frac{TK_{25} \cdot D_5}{L} \cos(D_5 \cdot z_3) & -\frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \sin(D_6 \cdot z_3) & \frac{TK_{23} \cdot D_6}{L} \cos(D_6 \cdot z_3) \end{bmatrix} \quad (260)$$

$[\phi_3(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (251) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_3 > 0$ ,  $\Delta_5 < 0$  ve  $\Delta_6 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_3(z_3)] = \begin{bmatrix} T_{65} & T_{69} & -T_{73} & -T_{77} \\ T_{66} & T_{70} & -T_{74} & -T_{78} \\ T_{67} & T_{71} & T_{75} & -T_{79} \\ T_{68} & T_{72} & -T_{76} & T_{80} \end{bmatrix} \quad (261)$$

$[F_3(z_3)]$ , 3. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$T_{61} = K_{23} - K_{25}; \quad T_{62} = CS_5 - CS_6; \quad T_{63} = TK_{25} \cdot TK_{23}; \quad T_{64} = TK_{23} \cdot D_6 \cdot K_{26} - K_{24} \cdot D_5 \cdot TK_{25}$$

olmak üzere; aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
T_{65} &= \frac{CS_5 \cdot K_{23} - CS_6 \cdot K_{25}}{T_{61}} ; T_{66} = \frac{K_{24} \cdot SN_6 \cdot K_{25} - K_{23} \cdot SN_5 \cdot K_{26}}{T_{61}} ; T_{67} = \frac{T_{62} \cdot T_{63}}{T_{61}} \\
T_{68} &= \frac{TK_{23} \cdot K_{25} \cdot D_6 \cdot SN_6 - K_{23} \cdot TK_{25} \cdot D_5 \cdot SN_5}{L \cdot T_{61}} \\
T_{69} &= \frac{SN_5 \cdot TK_{23} \cdot D_6 - SN_6 \cdot TK_{25} \cdot D_5}{T_{64}} \\
T_{70} &= \frac{CS_5 \cdot TK_{23} \cdot K_{26} \cdot D_6 - CS_6 \cdot K_{24} \cdot TK_{25} \cdot D_5}{T_{64}} \\
T_{71} &= \frac{TK_{23} \cdot K_{25} \cdot SN_5 \cdot D_6 - K_{23} \cdot TK_{25} \cdot SN_6 \cdot D_5}{T_{64}} \\
T_{72} &= \frac{D_5 \cdot D_6 \cdot T_{62} \cdot T_{63}}{L \cdot T_{64}} ; T_{73} = \frac{T_{62}}{T_{61}} ; T_{74} = \frac{K_{24} \cdot SN_6 - K_{26} \cdot SN_5}{T_{61}} \\
T_{75} &= \frac{-K_{25} \cdot CS_5 + K_{23} \cdot CS_6}{T_{61}} ; T_{76} = \frac{TK_{23} \cdot D_6 \cdot SN_6 - TK_{25} \cdot D_5 \cdot SN_5}{L \cdot T_{61}} \\
T_{77} &= \frac{L \cdot (SN_5 \cdot K_{24} - SN_6 \cdot K_{26})}{T_{64}} ; T_{78} = \frac{L \cdot K_{24} \cdot K_{26} \cdot T_{62}}{T_{64}} \\
T_{79} &= \frac{L \cdot (-K_{23} \cdot K_{26} \cdot SN_6 + K_{24} \cdot K_{25} \cdot SN_5)}{T_{64}} ; T_{80} = \frac{-K_{24} \cdot TK_{25} \cdot D_5 \cdot CS_5 + TK_{23} \cdot K_{26} \cdot D_6 \cdot CS_6}{T_{64}}
\end{aligned}$$

### 5.3.5 $\gamma_3 < 0$ Durumu İçin 3. Bölgeye Ait Taşıma Matrisinin Elde Edilmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın;  $\gamma_3 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait yer değiştirme, kesit dönmesi, eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonları zaman parametresinden bağımsız, boyutsuz konum parametresine bağlı olarak aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
y_3(z_3) &= [C_9 \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + C_{10} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)] \\
&+ [C_{11} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) + C_{12} \cdot \sin(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)]
\end{aligned} \tag{262.a}$$

$$\begin{aligned}
\theta_3(z_3) = & \left[ C_9 \cdot (K_{31} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) - K_{32} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{10} \cdot (K_{31} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) - K_{32} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{11} \cdot (K_{31} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) + K_{32} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{12} \cdot (K_{31} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) + K_{32} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)) \right]
\end{aligned} \tag{262.b}$$

$$\begin{aligned}
M_3(z_3) = & \left[ C_9 \cdot (K_{27} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{28} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{10} \cdot (K_{27} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{28} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{11} \cdot (K_{27} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{28} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{12} \cdot (K_{27} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{28} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)) \right]
\end{aligned} \tag{262.c}$$

$$\begin{aligned}
T_3(z_3) = & \left[ C_9 \cdot (K_{29} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{30} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{10} \cdot (K_{29} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3) + K_{30} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{11} \cdot (K_{29} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{30} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)) \right] \\
& + \left[ C_{12} \cdot (K_{29} \cdot \cosh(A_3 \cdot z_3) \cdot \sin(A_4 \cdot z_3) - K_{30} \cdot \sinh(A_3 \cdot z_3) \cdot \cos(A_4 \cdot z_3)) \right]
\end{aligned} \tag{262.d}$$

$\gamma_3 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait  $[\phi_3(z_3)]$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}
& \left[ \begin{array}{llll}
\cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & \sinh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & \cosh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) \\
K_{31} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & K_{31} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & K_{31} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & K_{31} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) \\
-K_{32} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & -K_{32} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & -K_{32} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & +K_{32} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) \\
K_{27} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & K_{27} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & K_{27} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & K_{27} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) \\
+K_{28} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & +K_{28} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & -K_{28} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & -K_{28} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) \\
K_{29} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & K_{29} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & K_{29} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & K_{29} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) \\
+K_{30} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & +K_{30} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \sin(A_4 Z_3) & -K_{30} \cdot \cosh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3) & -K_{30} \cdot \sinh(A_3 Z_3) \cdot \cos(A_4 Z_3)
\end{array} \right] \\
& [\phi_3(Z_3)] =
\end{aligned}$$

(263)

$[\phi_3(0)]^{-1}$  matrisi hesaplanır ve (251) numaralı denklemde yerine yazılır ise,  $\gamma_3 < 0$  durumu için 3. bölgeye ait taşıma matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[F_3(z_3)] = \begin{bmatrix} T_{82} & T_{86} & -T_{90} & T_{94} \\ -T_{83} & -T_{87} & -T_{91} & -T_{95} \\ T_{84} & T_{88} & T_{92} & T_{96} \\ T_{85} & T_{89} & T_{93} & T_{97} \end{bmatrix} \quad (264)$$

$[F_3(z_3)]$ , 3. bölgeye ait taşıma matrisinin elemanları;

$$CHA_3 = \cosh(A_3 \cdot z_3) ; SHA_3 = \sinh(A_3 \cdot z_3) ; CSA_4 = \cos(A_4 \cdot z_3) ; SNA_4 = \sin(A_4 \cdot z_3)$$

$$T_{81} = K_{31} \cdot K_{30} + K_{32} \cdot K_{29}$$

olmak üzere, aşağıda sunulmuştur.

$$T_{82} = \frac{K_{24} \cdot CHA_3 \cdot CSA_4 + K_{27} \cdot SHA_3 \cdot SNA_4}{K_{28}}$$

$$T_{83} = \frac{SHA_3 \cdot CSA_4 \cdot (K_{31} \cdot K_{28} + K_{27} \cdot K_{32}) - CHA_3 \cdot SNA_4 \cdot (K_{27} \cdot K_{31} - K_{32} \cdot K_{28})}{K_{28}}$$

$$T_{84} = \frac{SHA_3 \cdot SNA_4 \cdot (K_{28}^2 + K_{27}^2)}{K_{28}}$$

$$T_{85} = \frac{SHA_3 \cdot CSA_4 \cdot (K_{29} \cdot K_{28} - K_{27} \cdot K_{30}) + CHA_3 \cdot SNA_4 \cdot (K_{27} \cdot K_{29} + K_{30} \cdot K_{28})}{K_{28}}$$

$$T_{86} = \frac{K_{30} \cdot SHA_3 \cdot CSA_4 + K_{29} \cdot CHA_3 \cdot SNA_4}{T_{81}}$$

$$T_{87} = \frac{CHA_3 \cdot CSA_4 \cdot (K_{30} \cdot K_{31} + K_{29} \cdot K_{32}) + SHA_3 \cdot SNA_4 \cdot (K_{31} \cdot K_{29} - K_{30} \cdot K_{32})}{T_{81}}$$

$$T_{88} = \frac{CHA_3 \cdot SNA_4 \cdot (K_{30} \cdot K_{28} + K_{29} \cdot K_{27}) + SHA_3 \cdot CSA_4 \cdot (K_{30} \cdot K_{27} - K_{29} \cdot K_{28})}{T_{81}}$$

$$T_{89} = \frac{SHA_3 \cdot SNA_4 \cdot (K_{30}^2 + K_{29}^2)}{T_{81}} ; T_{90} = \frac{SHA_3 \cdot SNA_4}{K_{28}}$$

$$T_{91} = \frac{K_{31} \cdot CHA_3 \cdot SNA_4 + K_{32} \cdot SHA_3 \cdot CSA_4}{K_{28}}$$

$$T_{92} = \frac{-K_{27} \cdot \text{SHA}_3 \cdot \text{SNA}_4 + K_{28} \cdot \text{CHA}_3 \cdot \text{CSA}_4}{K_{28}}$$

$$T_{93} = \frac{-K_{29} \cdot \text{CHA}_3 \cdot \text{SNA}_4 + K_{30} \cdot \text{SHA}_3 \cdot \text{CSA}_4}{K_{28}}$$

$$T_{94} = \frac{K_{32} \cdot \text{SHA}_3 \cdot \text{CSA}_4 - K_{31} \cdot \text{CHA}_3 \cdot \text{SNA}_4}{T_{81}}$$

$$T_{95} = \frac{\text{SHA}_3 \cdot \text{SNA}_4 \cdot (K_{32}^2 + K_{31}^2)}{T_{81}}$$

$$T_{96} = \frac{\text{SHA}_3 \cdot \text{CSA}_4 \cdot (K_{27} \cdot K_{32} + K_{31} \cdot K_{28}) - \text{CHA}_3 \cdot \text{SNA}_4 \cdot (K_{27} \cdot K_{31} - K_{32} \cdot K_{28})}{T_{81}}$$

$$T_{97} = \frac{\text{CHA}_3 \cdot \text{CSA}_4 \cdot (K_{30} \cdot K_{31} + K_{29} \cdot K_{32}) - \text{SHA}_3 \cdot \text{SNA}_4 \cdot (K_{31} \cdot K_{29} - K_{30} \cdot K_{32})}{T_{81}}$$





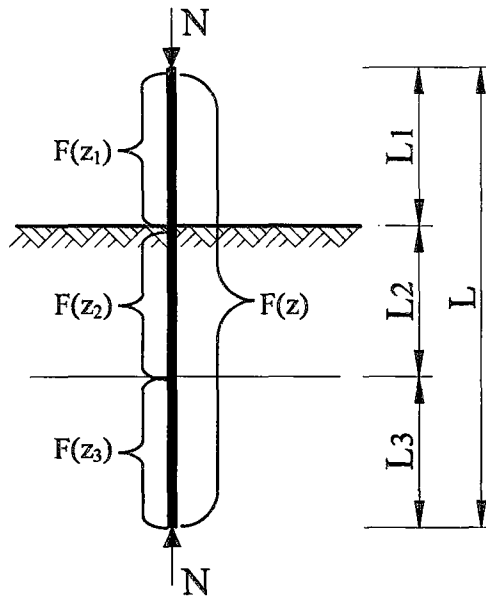
---

BÖLÜM ALTI  
ZEMİNE GÖMÜLÜ KAZIĞA AİT  
İÇ TESİRLERİN TAŞINMASI

---

### 6.1 Sistem Taşıma Matrisinin Oluşturulması

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, güvenli zemin tabakasına kadar uzanan bölgeye ait kazık ucundaki iç tesirlerden, zemin üzerindeki bölgeye ait kazık ucundaki iç tesirlere ulaşmak için taşıma matrisi kullanılmıştır (İnan, 1964). İç tesirlerin taşınması için üç kademedeki geçişler; (Şekil 6.1)'de görüldüğü gibi, kademeli olarak  $F(z_1)$ ,  $F(z_2)$  ve  $F(z_3)$  taşıma matrisleri ile sağlanmaktadır.



Şekil 6.1 Kademeli taşıma

Taşıma matrisinin özelliği nedeni ile, (Şekil 6.1)'de görüldüğü gibi kademeli taşımalarda, taşımanın tek bir hamlede yapılmasını sağlayan aşağıdaki bağıntı yazılabilir. (İnan, 1964)

$$[F(z)] = [F(z_1)] \cdot [F(z_2)] \cdot [F(z_3)] \quad (265)$$

Burada;  $[F(z)]$ , sisteme ait taşıma matrisini;  $[F(z_1)]$ ,  $[F(z_2)]$  ve  $[F(z_3)]$  sırasıyla 1. bölgeye, 2. bölgeye ve 3. bölgeye ait taşıma matrislerini göstermektedir.  $[F(z)]$ ; taşıma matrisi kare matris olup, elamanları aşağıda gösterilmiştir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix} \quad (266)$$

Taşıma işlemi gerçekleştirilirken; diferansiyel denklemlerin çözümünde ve bölgeler için taşıma matrislerinin elde edilmesinde belirtilen beş farklı durumun, birbirleriyle olan kombinasyonlarının dikkate alınması oldukça önemlidir. Bu durumda gerçekleşmesi olası kombinasyon sayısı yirmi beş adet olup, bu kombinasyonlar (Tablo 6.1)'de sunulmuştur.

Tablo 6.1 Taşımada olası kombinasyonlar

$\gamma_2 > 0$ Hali							
	Durum No	Kombinasyon			Durum No	Kombinasyon	
$\Delta_3 > 0$ $\Delta_4 > 0$ Hali	1	$\gamma_3 > 0$	$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 > 0$		$\Delta_3 < 0$ $\Delta_4 > 0$ Hali	$\gamma_3 > 0$	$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 > 0$
	2		$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 < 0$				$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 < 0$
	3		$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 > 0$				$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 > 0$
	4		$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 < 0$				$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 < 0$
	5	$\gamma_3 < 0$			15	$\gamma_3 < 0$	
$\Delta_3 > 0$ $\Delta_4 < 0$ Hali	6	$\gamma_3 > 0$	$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 > 0$		$\Delta_3 < 0$ $\Delta_4 < 0$ Hali	$\gamma_3 > 0$	$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 > 0$
	7		$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 < 0$				$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 < 0$
	8		$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 > 0$				$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 > 0$
	9		$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 < 0$				$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 < 0$
	10	$\gamma_3 < 0$			20	$\gamma_3 < 0$	
$\gamma_2 < 0$ Hali							
Durum No	Kombinasyon						
21	$\gamma_3 > 0$	$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 > 0$					
22		$\Delta_5 > 0 ; \Delta_6 < 0$					
23		$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 > 0$					
24		$\Delta_5 < 0 ; \Delta_6 < 0$					
25	$\gamma_3 < 0$						

1 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{25} & P_{29} & -P_{33} & P_{37} \\ -P_{26} & P_{30} & -P_{34} & -P_{38} \\ P_{27} & -P_{31} & P_{35} & -P_{39} \\ P_{28} & P_{32} & P_{36} & P_{40} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5 & T_9 & -T_{13} & T_{17} \\ -T_6 & T_{10} & -T_{14} & -T_{18} \\ T_7 & -T_{11} & T_{15} & -T_{19} \\ T_8 & T_{12} & T_{16} & T_{20} \end{bmatrix} \quad (267)$$

2 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{25} & P_{29} & -P_{33} & P_{37} \\ -P_{26} & P_{30} & -P_{34} & -P_{38} \\ P_{27} & -P_{31} & P_{35} & -P_{39} \\ P_{28} & P_{32} & P_{36} & P_{40} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{25} & T_{29} & T_{33} & -T_{37} \\ -T_{26} & T_{30} & -T_{34} & T_{38} \\ T_{27} & -T_{31} & T_{35} & T_{39} \\ -T_{28} & T_{32} & -T_{36} & T_{40} \end{bmatrix} \quad (268)$$

3 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{25} & P_{29} & -P_{33} & P_{37} \\ -P_{26} & P_{30} & -P_{34} & -P_{38} \\ P_{27} & -P_{31} & P_{35} & -P_{39} \\ P_{28} & P_{32} & P_{36} & P_{40} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{45} & T_{49} & T_{53} & T_{57} \\ T_{46} & T_{50} & -T_{54} & T_{58} \\ T_{47} & T_{51} & T_{55} & T_{59} \\ -T_{48} & T_{52} & T_{56} & T_{60} \end{bmatrix} \quad (269)$$

4 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{25} & P_{29} & -P_{33} & P_{37} \\ -P_{26} & P_{30} & -P_{34} & -P_{38} \\ P_{27} & -P_{31} & P_{35} & -P_{39} \\ P_{28} & P_{32} & P_{36} & P_{40} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{65} & T_{69} & -T_{73} & -T_{77} \\ T_{66} & T_{70} & -T_{74} & -T_{78} \\ T_{67} & T_{71} & T_{75} & -T_{79} \\ T_{68} & T_{72} & -T_{76} & T_{80} \end{bmatrix} \quad (270)$$

5 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{25} & P_{29} & -P_{33} & P_{37} \\ -P_{26} & P_{30} & -P_{34} & -P_{38} \\ P_{27} & -P_{31} & P_{35} & -P_{39} \\ P_{28} & P_{32} & P_{36} & P_{40} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{82} & T_{86} & -T_{90} & T_{94} \\ -T_{83} & -T_{87} & -T_{91} & -T_{95} \\ T_{84} & T_{88} & T_{92} & T_{96} \\ T_{85} & T_{89} & T_{93} & T_{97} \end{bmatrix} \quad (271)$$

6 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{45} & P_{49} & P_{53} & -P_{57} \\ -P_{46} & P_{50} & -P_{54} & P_{58} \\ P_{47} & -P_{51} & P_{55} & P_{59} \\ -P_{48} & P_{52} & -P_{56} & P_{60} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5 & T_9 & -T_{13} & T_{17} \\ -T_6 & T_{10} & -T_{14} & -T_{18} \\ T_7 & -T_{11} & T_{15} & -T_{19} \\ T_8 & T_{12} & T_{16} & T_{20} \end{bmatrix} \quad (272)$$

7 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{45} & P_{49} & P_{53} & -P_{57} \\ -P_{46} & P_{50} & -P_{54} & P_{58} \\ P_{47} & -P_{51} & P_{55} & P_{59} \\ -P_{48} & P_{52} & -P_{56} & P_{60} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{25} & T_{29} & T_{33} & -T_{37} \\ -T_{26} & T_{30} & -T_{34} & T_{38} \\ T_{27} & -T_{31} & T_{35} & T_{39} \\ -T_{28} & T_{32} & -T_{36} & T_{40} \end{bmatrix} \quad (273)$$

8 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{45} & P_{49} & P_{53} & -P_{57} \\ -P_{46} & P_{50} & -P_{54} & P_{58} \\ P_{47} & -P_{51} & P_{55} & P_{59} \\ -P_{48} & P_{52} & -P_{56} & P_{60} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{45} & T_{49} & T_{53} & T_{57} \\ T_{46} & T_{50} & -T_{54} & T_{58} \\ T_{47} & T_{51} & T_{55} & T_{59} \\ -T_{48} & T_{52} & T_{56} & T_{60} \end{bmatrix} \quad (274)$$

9 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{45} & P_{49} & P_{53} & -P_{57} \\ -P_{46} & P_{50} & -P_{54} & P_{58} \\ P_{47} & -P_{51} & P_{55} & P_{59} \\ -P_{48} & P_{52} & -P_{56} & P_{60} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{65} & T_{69} & -T_{73} & -T_{77} \\ T_{66} & T_{70} & -T_{74} & -T_{78} \\ T_{67} & T_{71} & T_{75} & -T_{79} \\ T_{68} & T_{72} & -T_{76} & T_{80} \end{bmatrix} \quad (275)$$

10 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{45} & P_{49} & P_{53} & -P_{57} \\ -P_{46} & P_{50} & -P_{54} & P_{58} \\ P_{47} & -P_{51} & P_{55} & P_{59} \\ -P_{48} & P_{52} & -P_{56} & P_{60} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{82} & T_{86} & -T_{90} & T_{94} \\ -T_{83} & -T_{87} & -T_{91} & -T_{95} \\ T_{84} & T_{88} & T_{92} & T_{96} \\ T_{85} & T_{89} & T_{93} & T_{97} \end{bmatrix} \quad (276)$$

11 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{65} & P_{69} & P_{73} & P_{77} \\ P_{66} & P_{70} & -P_{74} & P_{78} \\ P_{67} & P_{71} & P_{75} & P_{79} \\ -P_{68} & P_{72} & P_{76} & P_{80} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5 & T_9 & -T_{13} & T_{17} \\ -T_6 & T_{10} & -T_{14} & -T_{18} \\ T_7 & -T_{11} & T_{15} & -T_{19} \\ T_8 & T_{12} & T_{16} & T_{20} \end{bmatrix} \quad (277)$$

12 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{65} & P_{69} & P_{73} & P_{77} \\ P_{66} & P_{70} & -P_{74} & P_{78} \\ P_{67} & P_{71} & P_{75} & P_{79} \\ -P_{68} & P_{72} & P_{76} & P_{80} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{25} & T_{29} & T_{33} & -T_{37} \\ -T_{26} & T_{30} & -T_{34} & T_{38} \\ T_{27} & -T_{31} & T_{35} & T_{39} \\ -T_{28} & T_{32} & -T_{36} & T_{40} \end{bmatrix} \quad (278)$$

13 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{65} & P_{69} & P_{73} & P_{77} \\ P_{66} & P_{70} & -P_{74} & P_{78} \\ P_{67} & P_{71} & P_{75} & P_{79} \\ -P_{68} & P_{72} & P_{76} & P_{80} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{45} & T_{49} & T_{53} & T_{57} \\ T_{46} & T_{50} & -T_{54} & T_{58} \\ T_{47} & T_{51} & T_{55} & T_{59} \\ -T_{48} & T_{52} & T_{56} & T_{60} \end{bmatrix} \quad (279)$$

14 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{65} & P_{69} & P_{73} & P_{77} \\ P_{66} & P_{70} & -P_{74} & P_{78} \\ P_{67} & P_{71} & P_{75} & P_{79} \\ -P_{68} & P_{72} & P_{76} & P_{80} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{65} & T_{69} & -T_{73} & -T_{77} \\ T_{66} & T_{70} & -T_{74} & -T_{78} \\ T_{67} & T_{71} & T_{75} & -T_{79} \\ T_{68} & T_{72} & -T_{76} & T_{80} \end{bmatrix} \quad (280)$$

15 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{65} & P_{69} & P_{73} & P_{77} \\ P_{66} & P_{70} & -P_{74} & P_{78} \\ P_{67} & P_{71} & P_{75} & P_{79} \\ -P_{68} & P_{72} & P_{76} & P_{80} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{82} & T_{86} & -T_{90} & T_{94} \\ -T_{83} & -T_{87} & -T_{91} & -T_{95} \\ T_{84} & T_{88} & T_{92} & T_{96} \\ T_{85} & T_{89} & T_{93} & T_{97} \end{bmatrix} \quad (281)$$

16 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{85} & P_{89} & -P_{93} & -P_{97} \\ P_{86} & P_{90} & -P_{94} & -P_{98} \\ P_{87} & P_{91} & P_{95} & -P_{99} \\ P_{88} & P_{92} & -P_{96} & P_{100} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5 & T_9 & -T_{13} & T_{17} \\ -T_6 & T_{10} & -T_{14} & -T_{18} \\ T_7 & -T_{11} & T_{15} & -T_{19} \\ T_8 & T_{12} & T_{16} & T_{20} \end{bmatrix} \quad (282)$$

17 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{85} & P_{89} & -P_{93} & -P_{97} \\ P_{86} & P_{90} & -P_{94} & -P_{98} \\ P_{87} & P_{91} & P_{95} & -P_{99} \\ P_{88} & P_{92} & -P_{96} & P_{100} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{25} & T_{29} & T_{33} & -T_{37} \\ -T_{26} & T_{30} & -T_{34} & T_{38} \\ T_{27} & -T_{31} & T_{35} & T_{39} \\ -T_{28} & T_{32} & -T_{36} & T_{40} \end{bmatrix} \quad (283)$$

18 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{85} & P_{89} & -P_{93} & -P_{97} \\ P_{86} & P_{90} & -P_{94} & -P_{98} \\ P_{87} & P_{91} & P_{95} & -P_{99} \\ P_{88} & P_{92} & -P_{96} & P_{100} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{45} & T_{49} & T_{53} & T_{57} \\ T_{46} & T_{50} & -T_{54} & T_{58} \\ T_{47} & T_{51} & T_{55} & T_{59} \\ -T_{48} & T_{52} & T_{56} & T_{60} \end{bmatrix} \quad (284)$$

19 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{85} & P_{89} & -P_{93} & -P_{97} \\ P_{86} & P_{90} & -P_{94} & -P_{98} \\ P_{87} & P_{91} & P_{95} & -P_{99} \\ P_{88} & P_{92} & -P_{96} & P_{100} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{65} & T_{69} & -T_{73} & -T_{77} \\ T_{66} & T_{70} & -T_{74} & -T_{78} \\ T_{67} & T_{71} & T_{75} & -T_{79} \\ T_{68} & T_{72} & -T_{76} & T_{80} \end{bmatrix} \quad (285)$$

20 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{85} & P_{89} & -P_{93} & -P_{97} \\ P_{86} & P_{90} & -P_{94} & -P_{98} \\ P_{87} & P_{91} & P_{95} & -P_{99} \\ P_{88} & P_{92} & -P_{96} & P_{100} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{82} & T_{86} & -T_{90} & T_{94} \\ -T_{83} & -T_{87} & -T_{91} & -T_{95} \\ T_{84} & T_{88} & T_{92} & T_{96} \\ T_{85} & T_{89} & T_{93} & T_{97} \end{bmatrix} \quad (286)$$

21 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{102} & P_{106} & -P_{110} & P_{114} \\ -P_{103} & -P_{107} & -P_{111} & -P_{115} \\ P_{104} & P_{108} & P_{112} & P_{116} \\ P_{105} & P_{109} & P_{113} & P_{117} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_5 & T_9 & -T_{13} & T_{17} \\ -T_6 & T_{10} & -T_{14} & -T_{18} \\ T_7 & -T_{11} & T_{15} & -T_{19} \\ T_8 & T_{12} & T_{16} & T_{20} \end{bmatrix} \quad (287)$$



22 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{102} & P_{106} & -P_{110} & P_{114} \\ -P_{103} & -P_{107} & -P_{111} & -P_{115} \\ P_{104} & P_{108} & P_{112} & P_{116} \\ P_{105} & P_{109} & P_{113} & P_{117} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{25} & T_{29} & T_{33} & -T_{37} \\ -T_{26} & T_{30} & -T_{34} & T_{38} \\ T_{27} & -T_{31} & T_{35} & T_{39} \\ -T_{28} & T_{32} & -T_{36} & T_{40} \end{bmatrix} \quad (288)$$

23 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{102} & P_{106} & -P_{110} & P_{114} \\ -P_{103} & -P_{107} & -P_{111} & -P_{115} \\ P_{104} & P_{108} & P_{112} & P_{116} \\ P_{105} & P_{109} & P_{113} & P_{117} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{45} & T_{49} & T_{53} & T_{57} \\ T_{46} & T_{50} & -T_{54} & T_{58} \\ T_{47} & T_{51} & T_{55} & T_{59} \\ -T_{48} & T_{52} & T_{56} & T_{60} \end{bmatrix} \quad (289)$$

24 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{102} & P_{106} & -P_{110} & P_{114} \\ -P_{103} & -P_{107} & -P_{111} & -P_{115} \\ P_{104} & P_{108} & P_{112} & P_{116} \\ P_{105} & P_{109} & P_{113} & P_{117} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{65} & T_{69} & -T_{73} & -T_{77} \\ T_{66} & T_{70} & -T_{74} & -T_{78} \\ T_{67} & T_{71} & T_{75} & -T_{79} \\ T_{68} & T_{72} & -T_{76} & T_{80} \end{bmatrix} \quad (290)$$

25 nolu kombinasyon durumu için, sistem taşıma matrisi aşağıdaki matris çarpımıyla elde edilir.

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} P_5 & P_9 & P_{13} & -P_{17} \\ -P_6 & P_{10} & -P_{14} & P_{18} \\ P_7 & -P_{11} & P_{15} & P_{19} \\ -P_8 & P_{12} & -P_{16} & P_{20} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{102} & P_{106} & -P_{110} & P_{114} \\ -P_{103} & -P_{107} & -P_{111} & -P_{115} \\ P_{104} & P_{108} & P_{112} & P_{116} \\ P_{105} & P_{109} & P_{113} & P_{117} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{82} & T_{86} & -T_{90} & T_{94} \\ -T_{83} & -T_{87} & -T_{91} & -T_{95} \\ T_{84} & T_{88} & T_{92} & T_{96} \\ T_{85} & T_{89} & T_{93} & T_{97} \end{bmatrix} \quad (291)$$

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, zemin üzerindeki bölgeye ait ucundaki durumunu tanımlayan  $\{S(z_1 = L_1/L)\}$  durum vektörü;

$$\{S(z_1 = L_1/L)\} = \begin{Bmatrix} y_1(z_1 = L_1/L) \\ \theta_1(z_1 = L_1/L) \\ M_1(z_1 = L_1/L) \\ T_1(z_1 = L_1/L) \end{Bmatrix} \quad (292)$$

olmak üzere; aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\{S(z_1 = L_1/L)\} = [F(z)] \cdot \{S(z_3 = 0)\} \quad (293)$$

Burada;  $\{S(z_3 = 0)\}$ ,

$$\{S(z_3 = 0)\} = \begin{Bmatrix} y_3(z_3 = 0) \\ \theta_3(z_3 = 0) \\ M_3(z_3 = 0) \\ T_3(z_3 = 0) \end{Bmatrix} \quad (294)$$

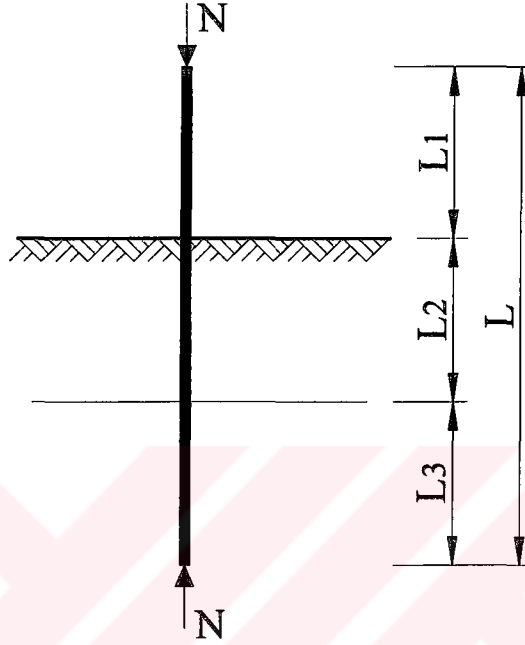
olmak üzere; kazığın, güvenli zemin tabakasına kadar uzanan bölgeye ait ucundaki iç tesirleri tanımlayan durum vektörüdür.

## 6.2 Taşıma Matrisinin İndirgenmesi

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, uçlarının mesnetlenme biçimine bağlı olarak durum vektörlerinin değerleri değişmektedir. Çalışma kapsamında her iki ucu serbest; zemine gömülü kazık ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki kazık ucu serbest; zemine gömülü kazık ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki kazık ucu basit mesnetli ve zemine gömülü kazık ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki kazık ucu kayıcı ankastre mesnetli olmak üzere; dört farklı mesnetlenme biçimine göre inceleme yapılmıştır.

Sınır koşullarına bağlı olarak;  $[F(z)]$ , taşıma matrisi  $[4 \times 4]$  boyutlu kare matris formundan,  $[2 \times 2]$  boyutundaki kare matrise indirgenebilmektedir.

### 6.2.1 Her İki Ucu Serbest Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi



Şekil 6.2 Her iki ucu serbest kazık

(Şekil 6.2)'de verilen her iki ucu serbest kazığın sınır koşulları aşağıda sunulmuştur.

$$M_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (295.a)$$

$$T_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (295.b)$$

$$M_3(z_3 = 0) = 0 \quad (295.c)$$

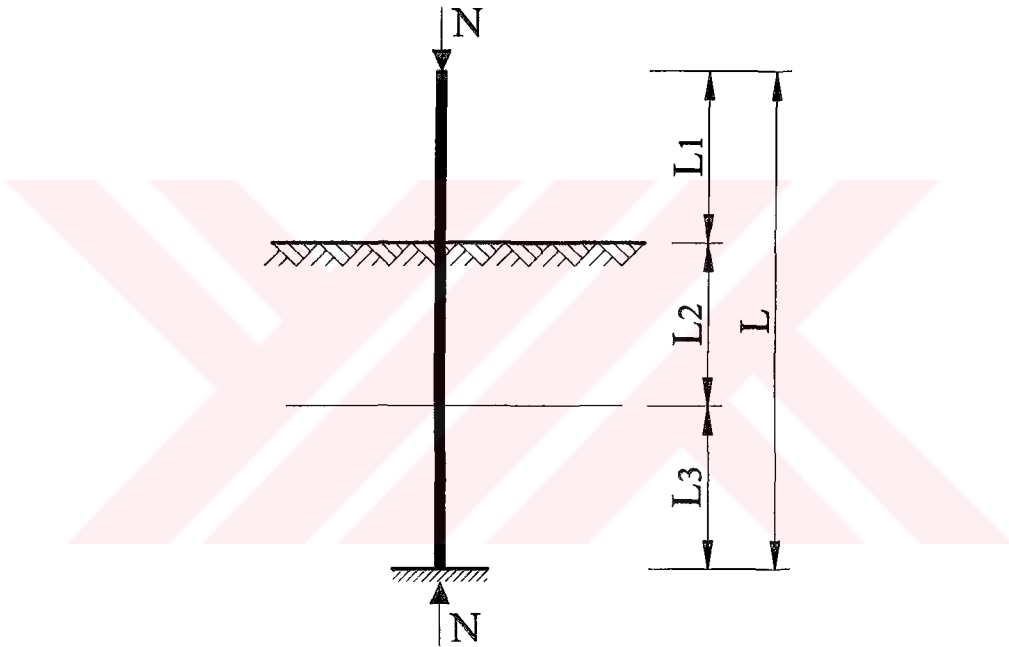
$$T_3(z_3 = 0) = 0 \quad (295.d)$$

Yukarda verilen sınır koşullarının, (293) numaralı denklemde yerine yazılmasıyla, taşıma matrisi; aşağıda gösterildiği gibi  $[2 \times 2]$  boyutundaki kare matrise indirgenmektedir.

$$\begin{Bmatrix} y_1(z_1 = L_1/L) \\ \theta_1(z_1 = L_1/L) \\ M_1(z_1 = L_1/L) = 0 \\ T_1(z_1 = L_1/L) = 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix}_{4 \times 4} \begin{Bmatrix} y_3(z_3 = 0) \\ \theta_3(z_3 = 0) \\ M_3(z_3 = 0) = 0 \\ T_3(z_3 = 0) = 0 \end{Bmatrix} \quad (296.a)$$

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} f_{31} & f_{32} \\ f_{41} & f_{42} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (296.b)$$

### 6.2.2 Zemine Gömülü Ucu Ankastre Mesnetli, Zemin Üzerindeki Ucu Serbest Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi



Şekil 6.3 Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazık

(Şekil 6.3)'de verilen zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın sınır koşulları aşağıda sunulmuştur.

$$M_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (297.a)$$

$$T_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (297.b)$$

$$y_3(z_3 = 0) = 0 \quad (297.c)$$

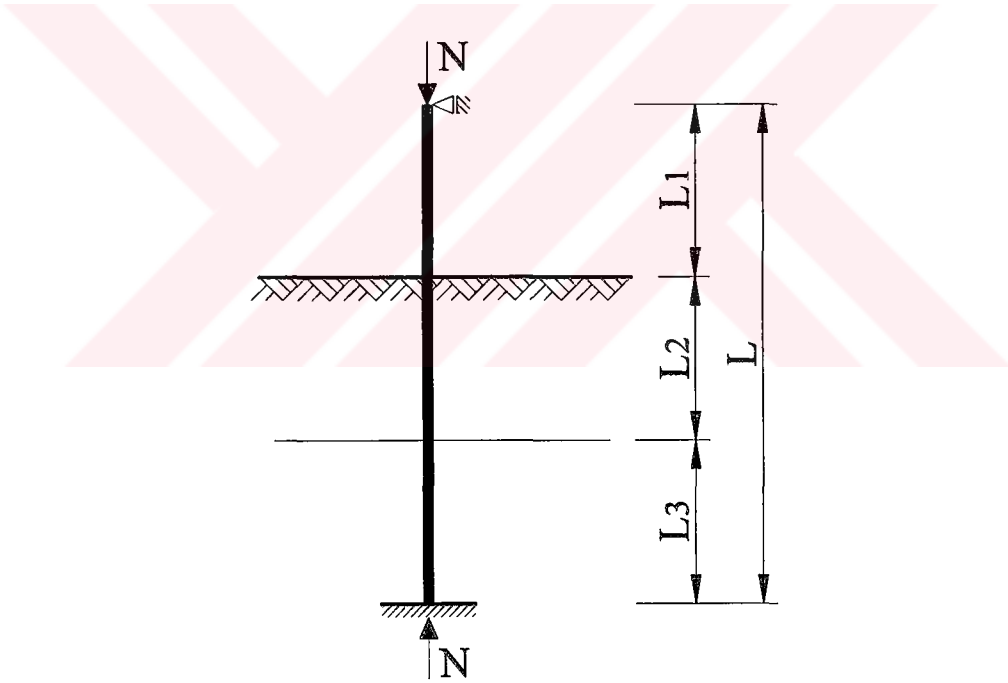
$$\theta_3(z_3 = 0) = 0 \quad (297.d)$$

Yukarıda verilen sınır koşullarının, (293) numaralı denklemde yerine yazılmasıyla, taşıma matrisi; aşağıda gösterildiği gibi [2x2] boyutundaki kare matrisle indirgenmektedir.

$$\begin{cases} y_1(z_1 = L_1/L) \\ \theta_1(z_1 = L_1/L) \\ M_1(z_1 = L_1/L) = 0 \\ T_1(z_1 = L_1/L) = 0 \end{cases} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix}_{4 \times 4} \begin{cases} y_3(z_3 = 0) = 0 \\ \theta_3(z_3 = 0) = 0 \\ M_3(z_3 = 0) \\ T_3(z_3 = 0) \end{cases} \quad (298.a)$$

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} f_{33} & f_{34} \\ f_{43} & f_{44} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (298.b)$$

### 6.2.3 Zemine Gömülü Ucu Ankastre Mesnetli, Zemin Üzerindeki Ucu Basit Mesnetli Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi



**Şekil 6.4 Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazık**

(Şekil 6.4)'de verilen zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın sınır koşulları aşağıda sunulmuştur

$$y_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (299.a)$$

$$M_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (299.b)$$

$$y_3(z_3 = 0) = 0 \quad (299.c)$$

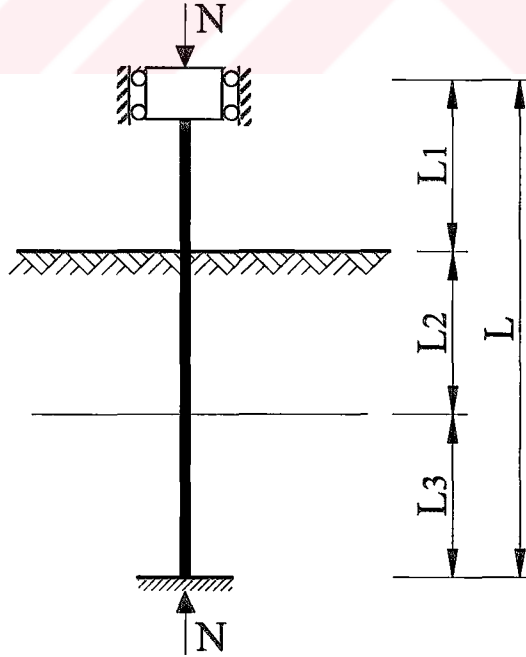
$$\theta_3(z_3 = 0) = 0 \quad (299.d)$$

Yukarıda verilen sınır koşullarının, (293) numaralı denklemde yerine yazılmasıyla, taşıma matrisi; aşağıda gösterildiği gibi [2x2] boyutundaki kare matrise indirgenmektedir.

$$\begin{Bmatrix} y_1(z_1 = L_1/L) = 0 \\ \theta_1(z_1 = L_1/L) \\ M_1(z_1 = L_1/L) = 0 \\ T_1(z_1 = L_1/L) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix}_{4 \times 4} \begin{Bmatrix} y_3(z_3 = 0) = 0 \\ \theta_3(z_3 = 0) = 0 \\ M_3(z_3 = 0) \\ T_3(z_3 = 0) \end{Bmatrix} \quad (300.a)$$

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} f_{13} & f_{14} \\ f_{33} & f_{34} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (300.b)$$

#### 6.2.4 Zemine Gömülü Ucu Ankastre Mesnetli, Zemin Üzerindeki Ucu Kayıcı Ankastre Mesnetli Kazıkta Taşıma Matrisinin İndirgenmesi



Şekil 6.5 Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazık

(Şekil 6.5)'de verilen zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın sınır koşulları aşağıda sunulmuştur.

$$y_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (301.a)$$

$$\theta_1(z_1 = L_1/L) = 0 \quad (301.b)$$

$$y_3(z_3 = 0) = 0 \quad (301.c)$$

$$\theta_3(z_3 = 0) = 0 \quad (301.d)$$

Yukarda verilen sınır koşullarının, (293) numaralı denklemden yerine yazılmasıyla, taşıma matrisi; aşağıda gösterildiği gibi [2x2] boyutundaki kare matrise indirgenmektedir.

$$\begin{Bmatrix} y_1(z_1 = L_1/L) = 0 \\ \theta_1(z_1 = L_1/L) = 0 \\ M_1(z_1 = L_1/L) \\ T_1(z_1 = L_1/L) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix}_{4 \times 4} \begin{Bmatrix} y_3(z_3 = 0) = 0 \\ \theta_3(z_3 = 0) = 0 \\ M_3(z_3 = 0) \\ T_3(z_3 = 0) \end{Bmatrix} \quad (302.a)$$

$$[F(z)] = \begin{bmatrix} f_{13} & f_{14} \\ f_{23} & f_{24} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (302.b)$$

---

BÖLÜM YEDİ  
BİLGİSAYAR PROGRAMI  
ve  
SAYISAL UYGULAMALAR

---

### 7.1 Geliştirilmiş Bilgisayar Programı

Altıncı bölümde elde edilen, elastik zemine kısmi gömülü kazığın; güvenli zemin tabakalarına kadar uzanan bölgeye ait kazık ucundaki iç tesirlerden, zemin üzerindeki bölgeye ait kazık ucundaki iç tesirlere geçişi sağlayan taşıma matrisinin; uygun minörleri kullanılarak elde edilen doğrusal – homojen frekans denkleminin; çözümü için, QBASIC programlama dili kullanılarak, açısız frekans değerlerine çok küçük artımlar verilerek doğrusal – homojen denklem takımlarının determinantlarını sıfır kılacak açısız frekans değerlerinin bulunması esasına dayanan, ardışık bir hesap algoritması geliştirilmiştir. Program yazılımı; “yy – pile” olarak isimlendirilmiş ve programın akış diyagramı ekler bölümünde verilmiştir.

Program ardışık şekilde arttırılan açısız frekans değerine bağlı olarak, taşıma matrisinin determinant değerini bulmaktadır. Determinant değerini sıfır kılan açısız frekans, belirlenen moda ait açısız frekans değeridir. Sürekli sistem dinamiğinde, sonsuz serbestlik derecesinin olması nedeni ile; sistem için sonsuz adet moda ait, sonsuz adet açısız frekans ve periyot değerinin bulunması mümkün hale gelmektedir. Çalışma kapsamında; elastik zemine kısmi gömülü kazığın, ilk üç moduna ait açısız frekans değerleri, farklı mesnet koşullarına göre elde edilmiştir.



Program yazılımında kullanılan değişkenler aşağıda verilmiştir.

M	:	Kazığın yayılı kütlesi
K	:	Nümerik çarpan
L	:	Kazığın boyu
EI	:	Kazığın eğilme rijitliği
AG	:	Kazığın kayma rijitliği
EA	:	Kazığın uzama rijitliği
NR	:	Kazığa etkileyen aksenal yükün, Euler kritik burkulma yüküne oranı
CS1	:	2. bölge için zemin yatak katsayısı ile temel genişliğinin çarpımı
CS2	:	3. bölge için zemin yatak katsayısı ile temel genişliğinin çarpımı
MD	:	Mesnetlenme durumu (1; her iki ucu serbest kazık, 2; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazık, 3; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazık, 4; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazık)
$\omega$	:	Kazığın istenen moda ait açısal frekansı

## 7.2 Sayısal Uygulamalar

Sayısal uygulamalar kapsamında; dört farklı mesnet koşuluna bağlı olarak, bilgisayar programının kullanılması ile elastik zemine kısmi gömülü kazığın ilk üç modu için açısal frekans değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır.

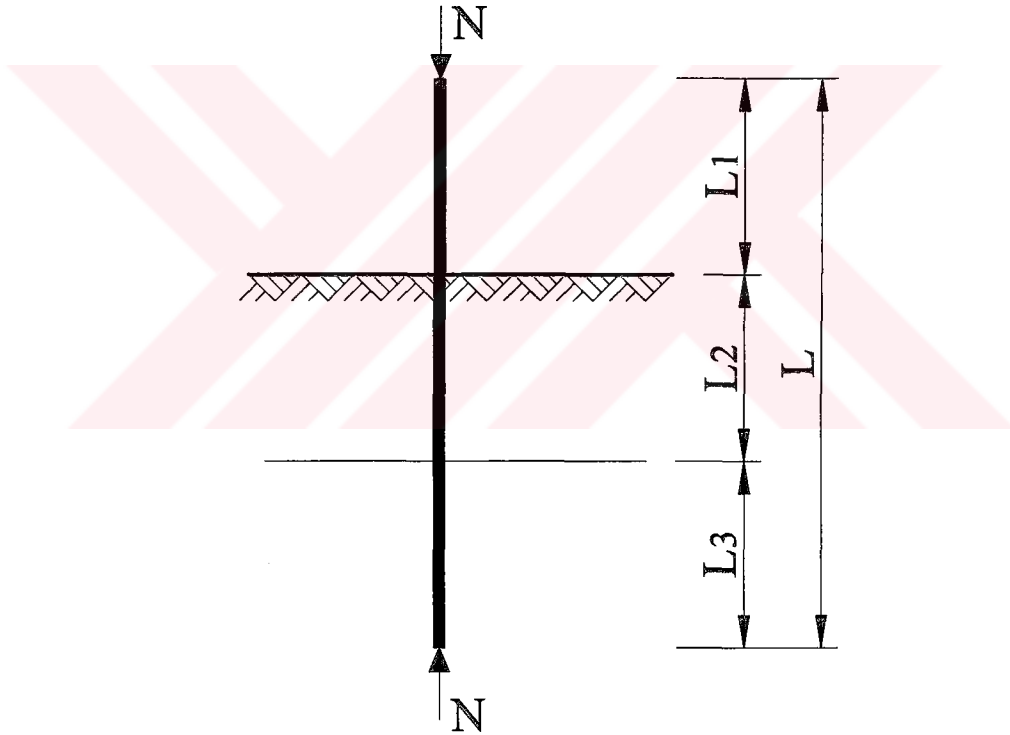
Sayısal uygulamaların tamamında IPB 900 çelik profilinden imal edilmiş; boyu 30 m ; eğilme rijitliği,  $EI_x=103761 \text{ tm}^2$ ; kayma rijitliği,  $AG=300510 \text{ ton}$  ve yayılı kütlesi,  $m=0,03 \text{ ts}^2/\text{m}^2$  olan kazık ele alınmıştır. (21) numaralı denklemin kullanılması ile nümerik çarpan değeri,  $k=2,553$  olarak hesaplanmıştır. 2. bölge için  $C_{S1}$  katsayısı sırası ile;  $1000 \text{ t/m}^2$ ,  $2000 \text{ t/m}^2$  ve  $3000 \text{ t/m}^2$ ; 3. bölge için  $C_{S2}$  katsayısı sırası ile;  $5000 \text{ t/m}^2$ ,  $15000 \text{ t/m}^2$  ve  $20000 \text{ t/m}^2$  alınmıştır.

Kazığa etkileyen aksenal kuvvet değeri, kazığın Euler kritik burkulma yük değerinin %25, %50, %75 ve %100 oranlarında alınarak, kazık uçlarının

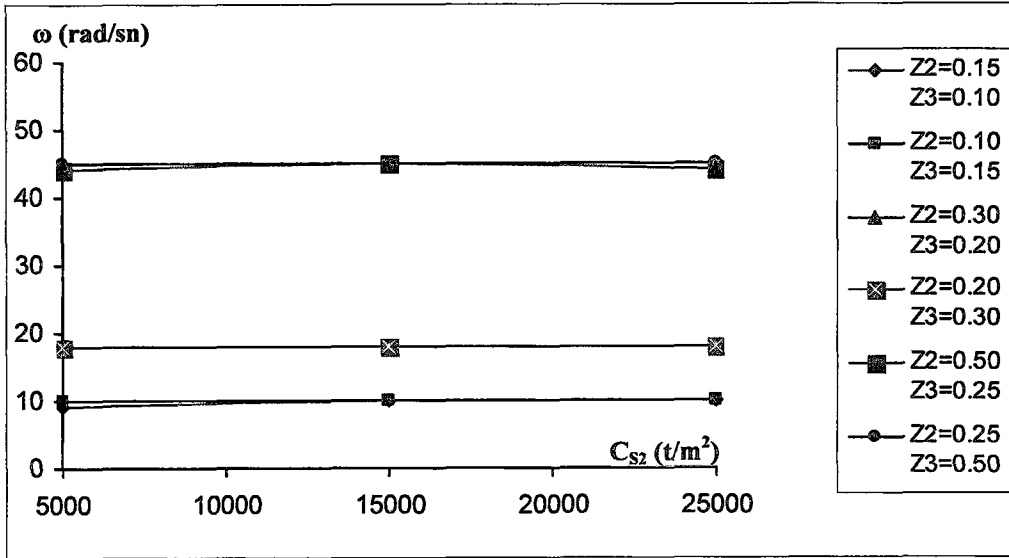
mesnetlenme koşullarına bağlı olarak kesme kuvveti ve eğilme momenti tesirleri etkisinde kazığın serbest titreşimine ait açısal frekans değerleri incelenmiştir.

### 7.2.1 Sayısal Uygulama – 1

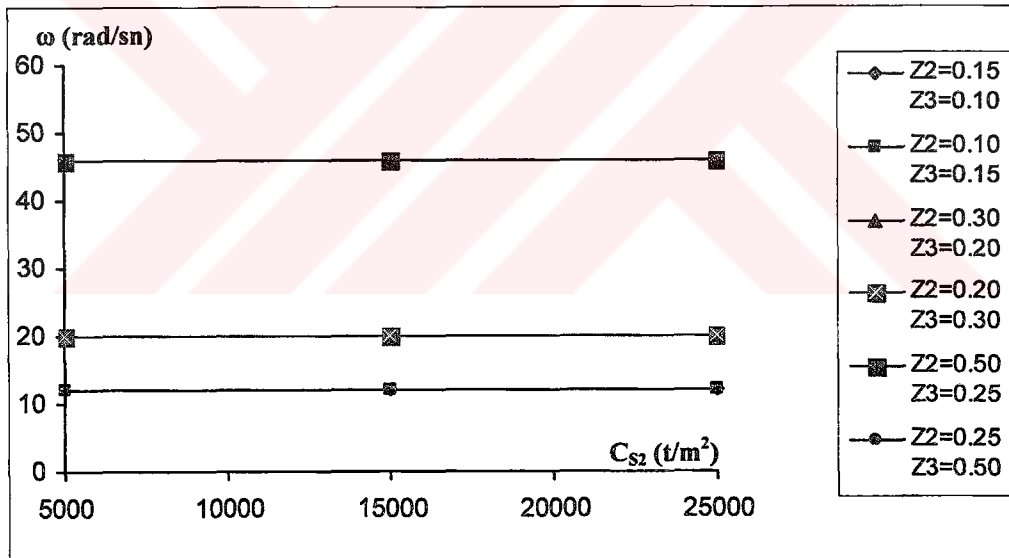
(Şekil 7.1)'de verilen; her iki ucu serbest kazığın; eğilme momenti, kesme kuvveti ve aksenal kuvvet tesirleri dikkate alınarak; aksenal basınç kuvveti, zemin yatak katsayısı ve bölgelere göre kazık etkili boyundaki değişime bağlı olarak elde edilen serbest titreşimine ait açısal frekans değerleri; (Şekil 7.2), (Şekil 7.3), (Şekil 7.4), (Şekil 7.5), (Şekil 7.6), (Şekil 7.7), (Şekil 7.8), (Şekil 7.9) ve (Şekil 7.10)'da sunulmuştur.



Şekil 7.1 Her iki ucu serbest kazık



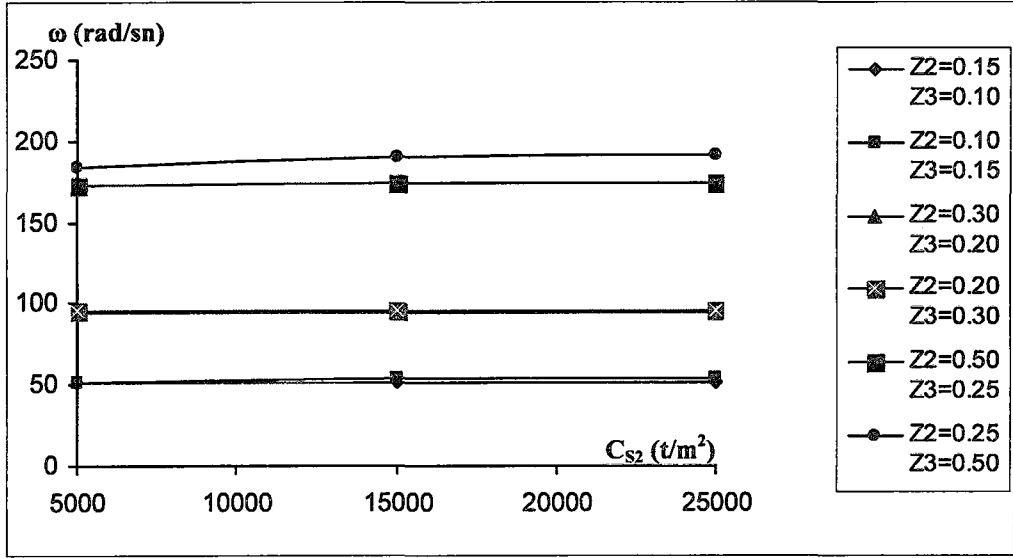
(a)



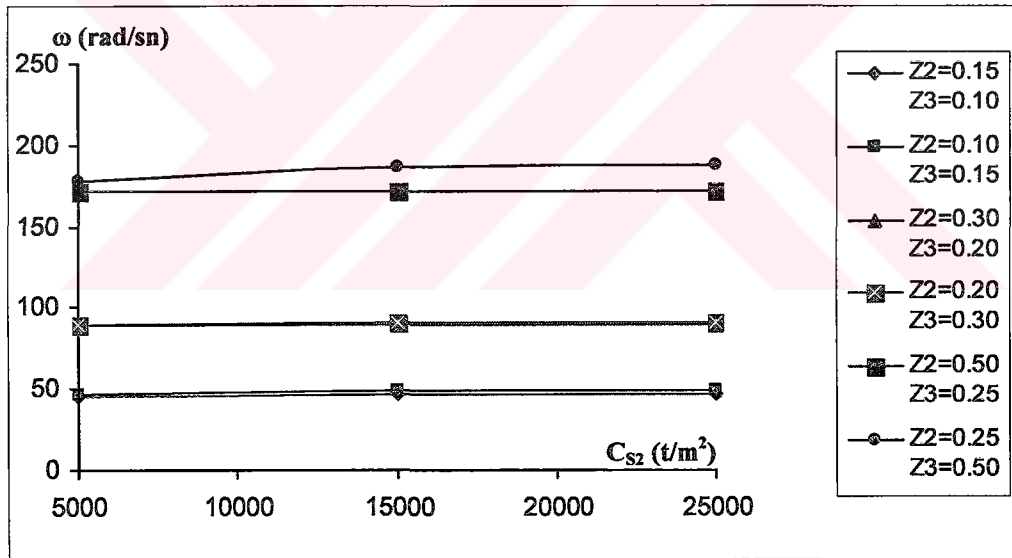
(b)

Şekil 7.2 a:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değışimi

b:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değışimi



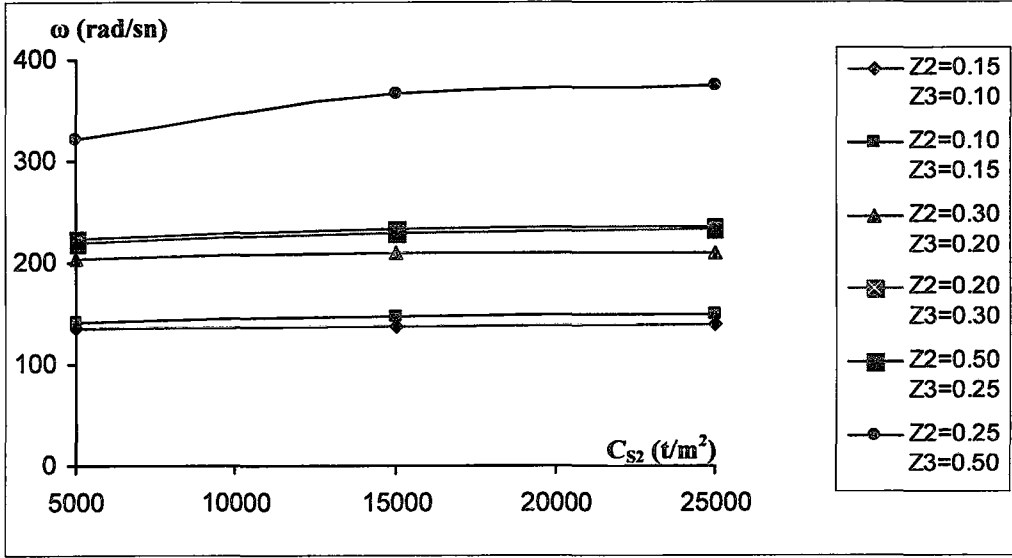
(a)



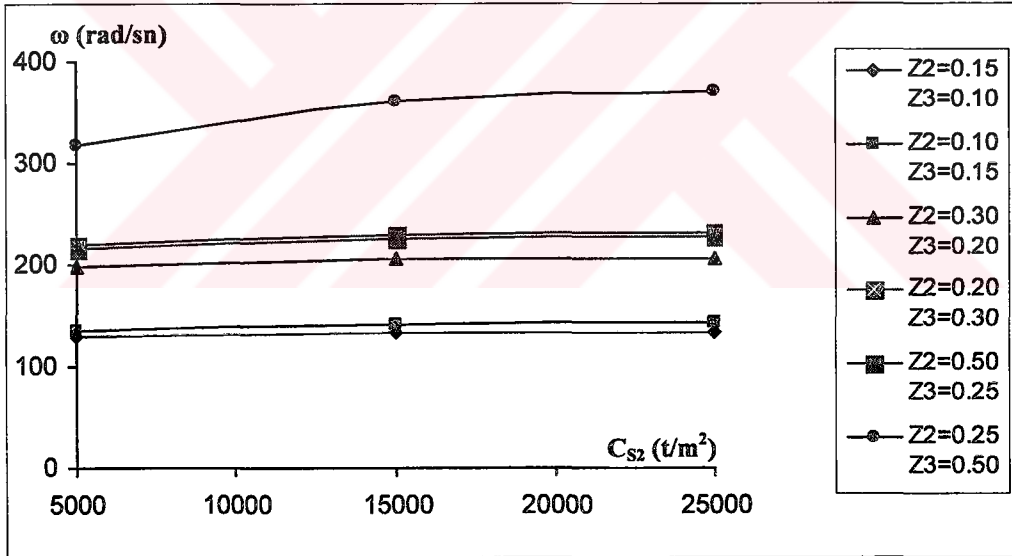
(b)

Şekil 7.3 a:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi

b:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi



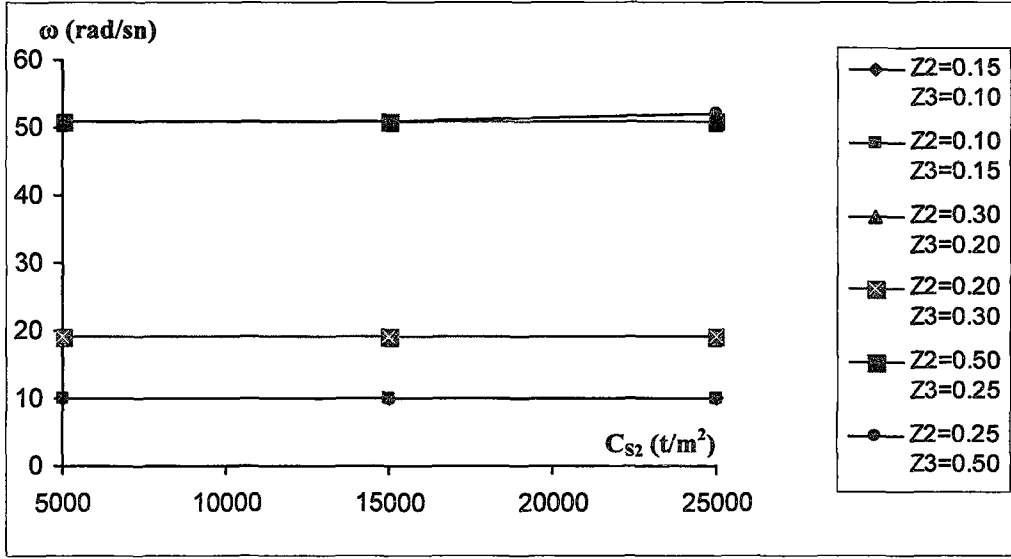
(a)



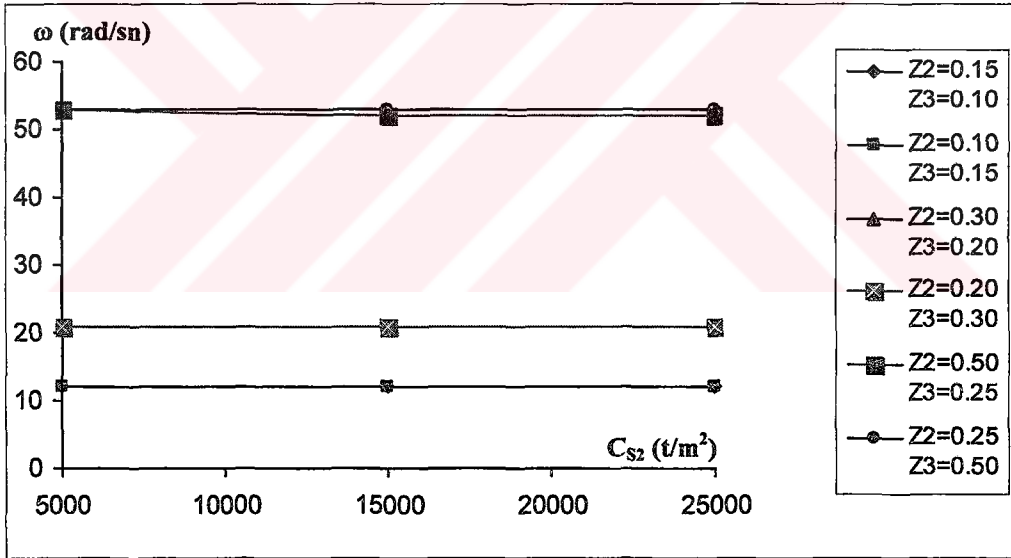
(b)

Şekil 7.4 a:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılal frekans değışimi

b:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılal frekans değışimi



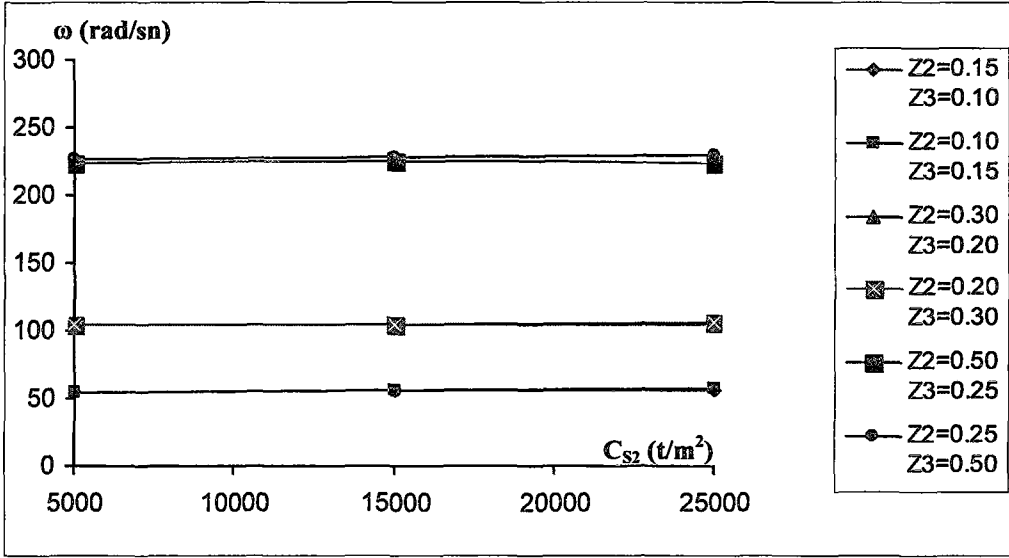
(a)



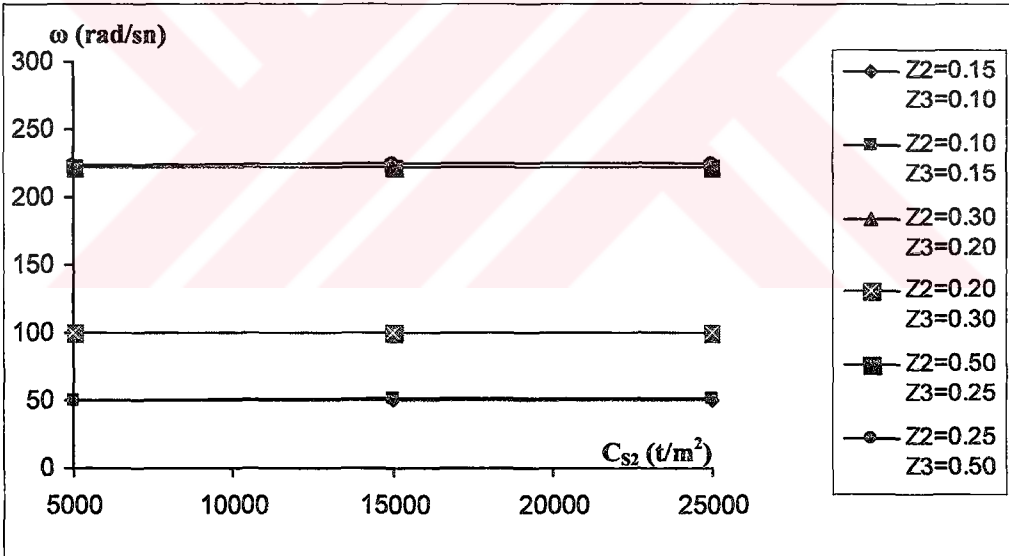
(b)

Şekil 7.5 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değışimi

b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değışimi



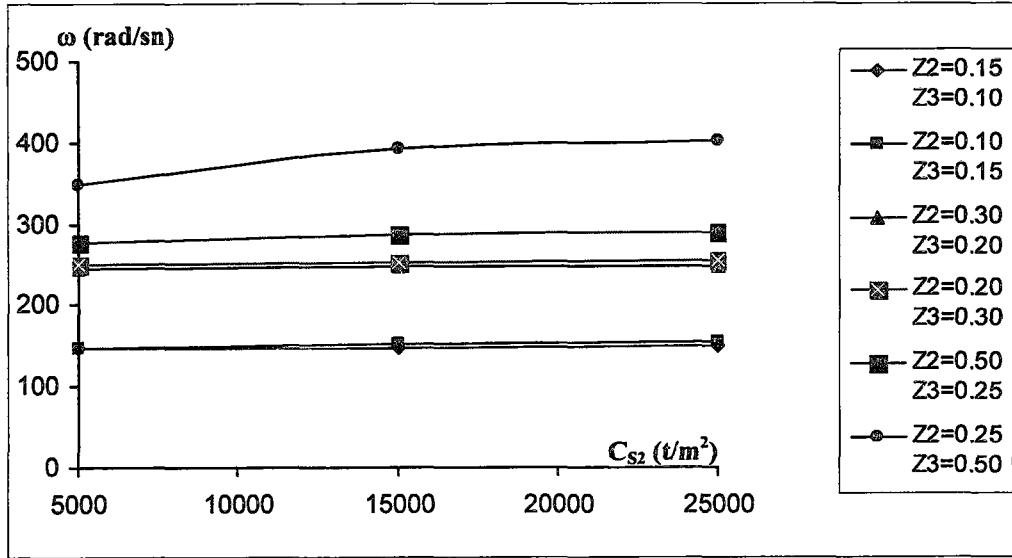
(a)



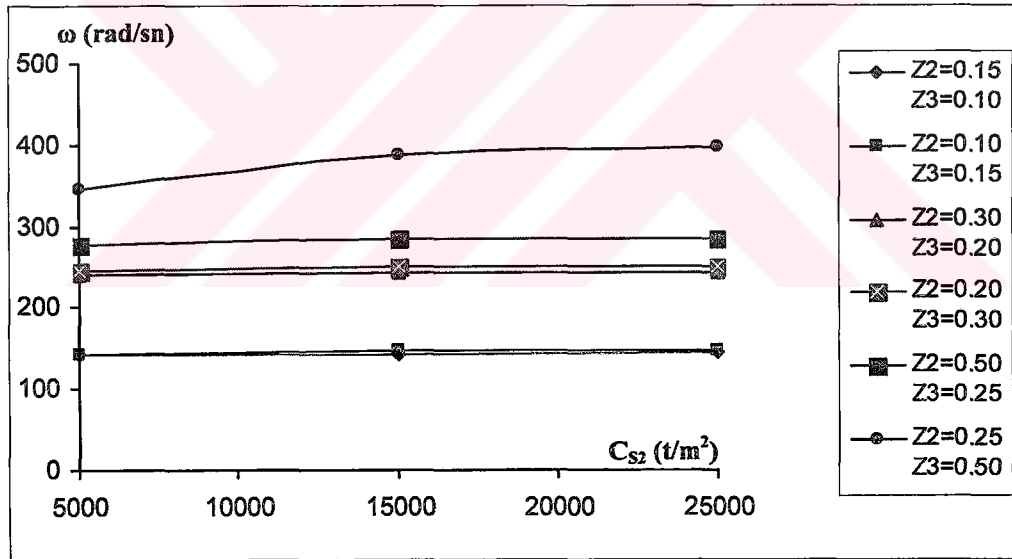
(b)

Şekil 7.6 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açılal frekans değışimi

b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açılal frekans değışimi



(a)

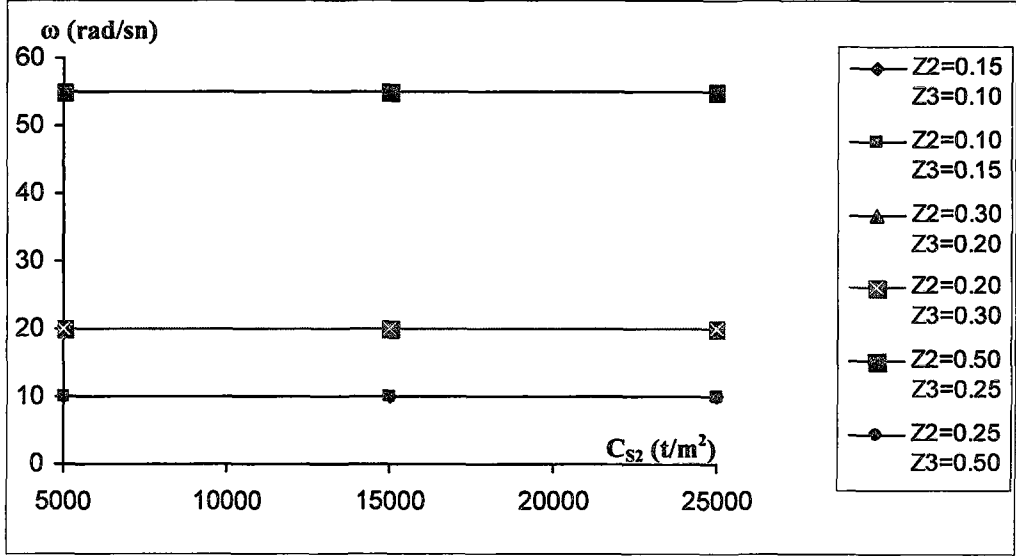


(b)

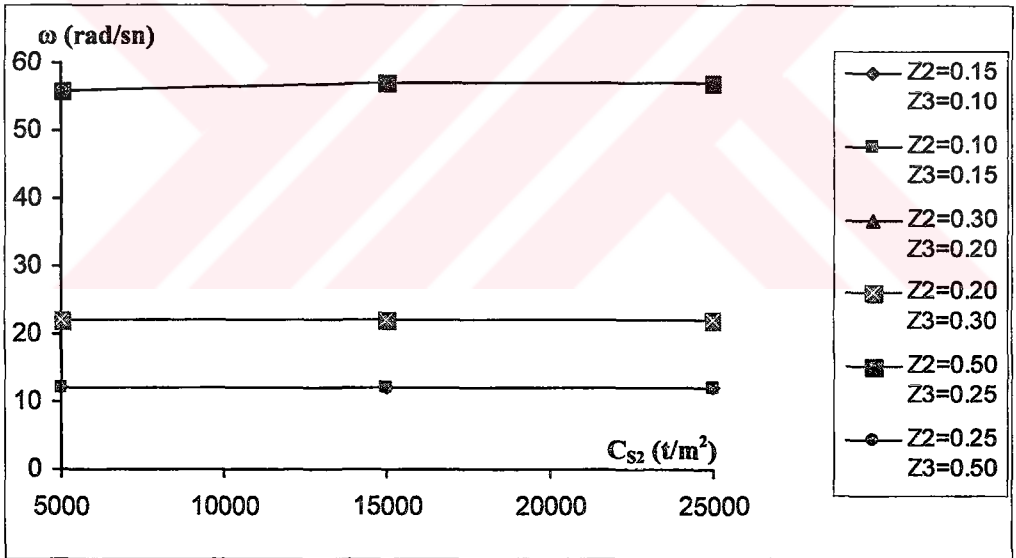
Şekil 7.7 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi

b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi





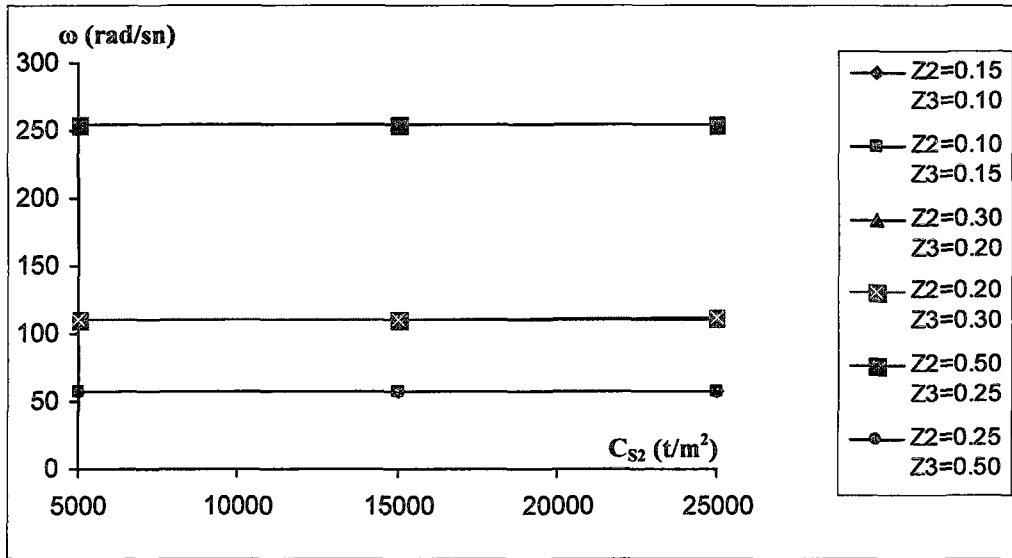
(a)



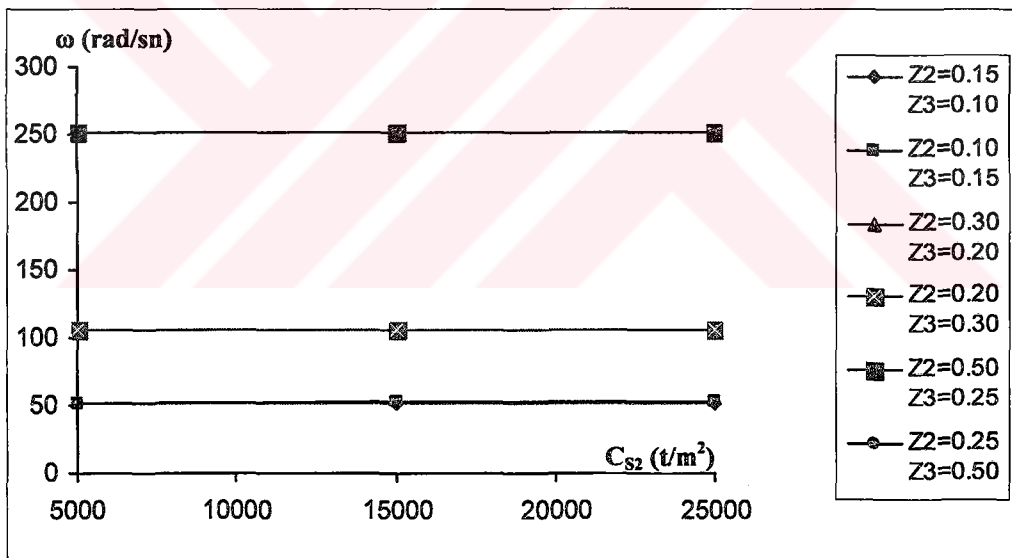
(b)

Şekil 7.8 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değişimi

b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değişimi



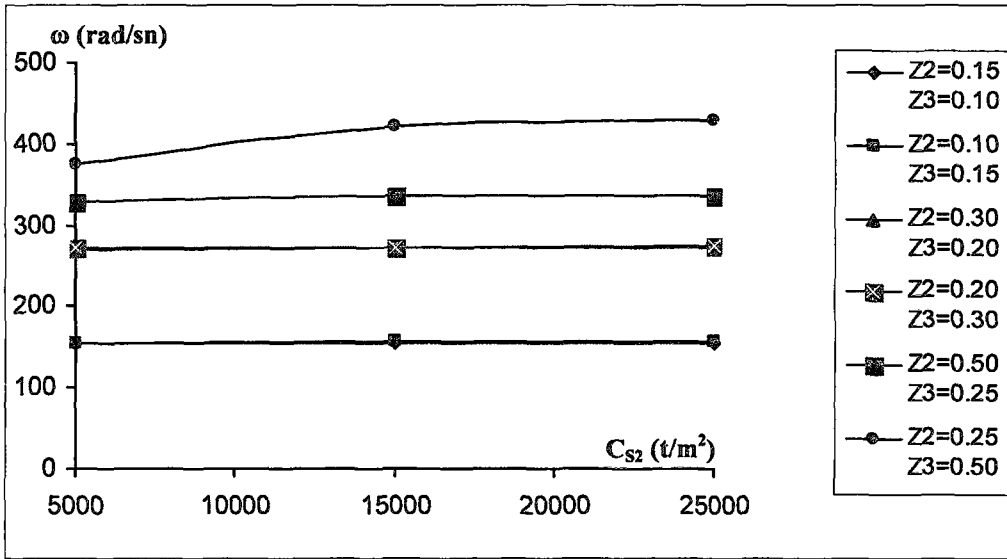
(a)



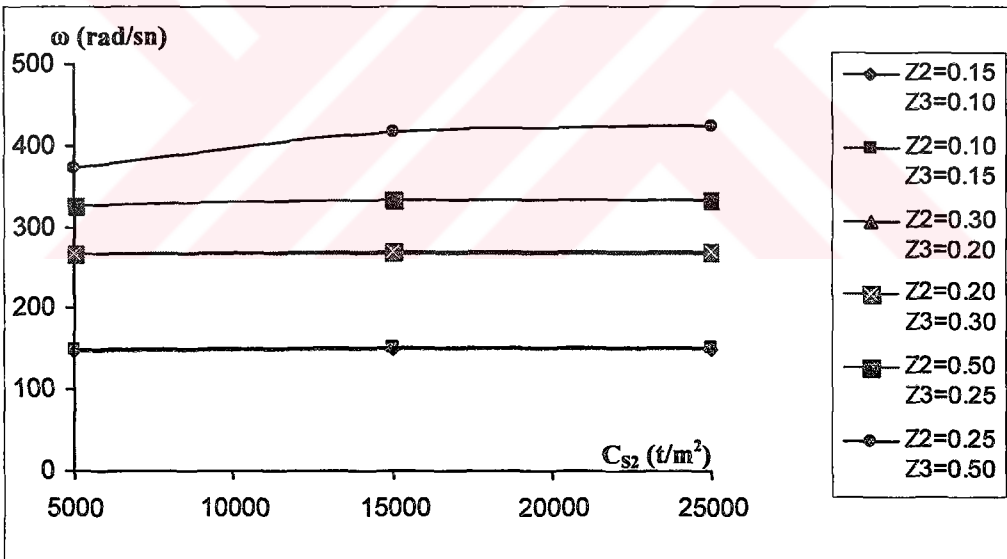
(b)

Şekil 7.9 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açılal frekans değışimi

b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 2. moduna ait açılal frekans değışimi



(a)



(b)

Şekil 7.10 a:  $C_{s1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılal frekans değişimi

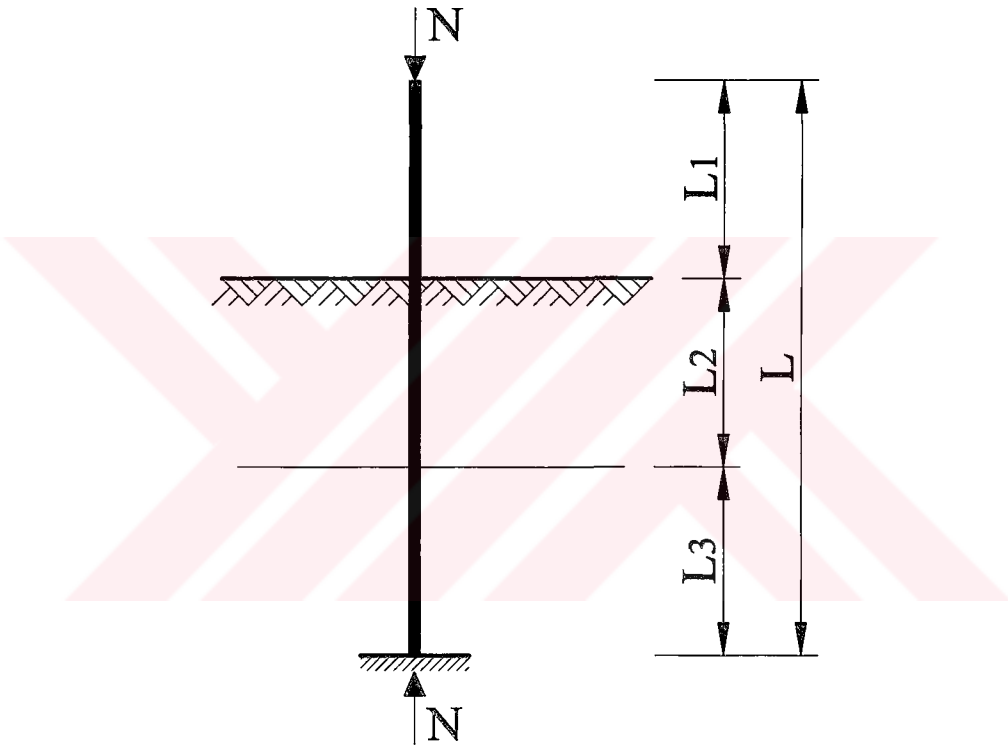
b:  $C_{s1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için her iki ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılal frekans değişimi

$z_2=0,15$  ve  $z_3=0,10$  ile  $z_2=0,10$  ve  $z_3=0,15$  boyutsuz konum parametreleri için, her iki ucu serbest kazığın; 1. moduna ait açısıl frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 1000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.2a) ve (Şekil 7.2b) numaralı grafiklerde, 2000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.5a) ve (Şekil 7.5b) numaralı grafiklerde, 3000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.8a) ve (Şekil 7.8b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, her iki ucu serbest kazığın; 2. moduna ait açısıl frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 1000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.3a) ve (Şekil 7.3b) numaralı grafiklerde, 2000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.6a) ve (Şekil 7.6b) numaralı grafiklerde, 3000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.9a) ve (Şekil 7.9b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, her iki ucu serbest kazığın; 3. moduna ait açısıl frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 3000 t/m<sup>2</sup> iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.10a) ve (Şekil 7.10b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir.

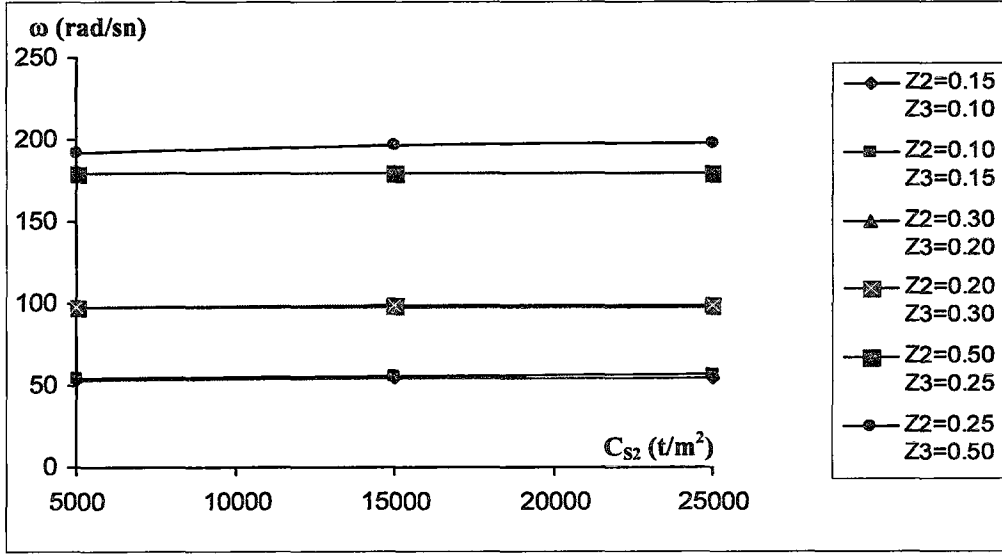
$z_2=0,30$  ve  $z_3=0,20$  ile  $z_2=0,20$  ve  $z_3=0,30$  boyutsuz konum parametreleri için, her iki ucu serbest kazığın; 1. moduna ait açısıl frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 1000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.2a) ve (Şekil 7.2b) numaralı grafiklerde, 2000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.5a) ve (Şekil 7.5b) numaralı grafiklerde, 3000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.8a) ve (Şekil 7.8b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, her iki ucu serbest kazığın; 2. moduna ait açısıl frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 1000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.3a) ve (Şekil 7.3b) numaralı grafiklerde, 2000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.6a) ve (Şekil 7.6b) numaralı grafiklerde, 3000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.9a) ve (Şekil 7.9b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, her iki ucu serbest kazığın; 3. moduna ait açısıl frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 3000 t/m<sup>2</sup> iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.10a) ve (Şekil 7.10b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir.

### 7.2.2 Sayısal Uygulama – 2

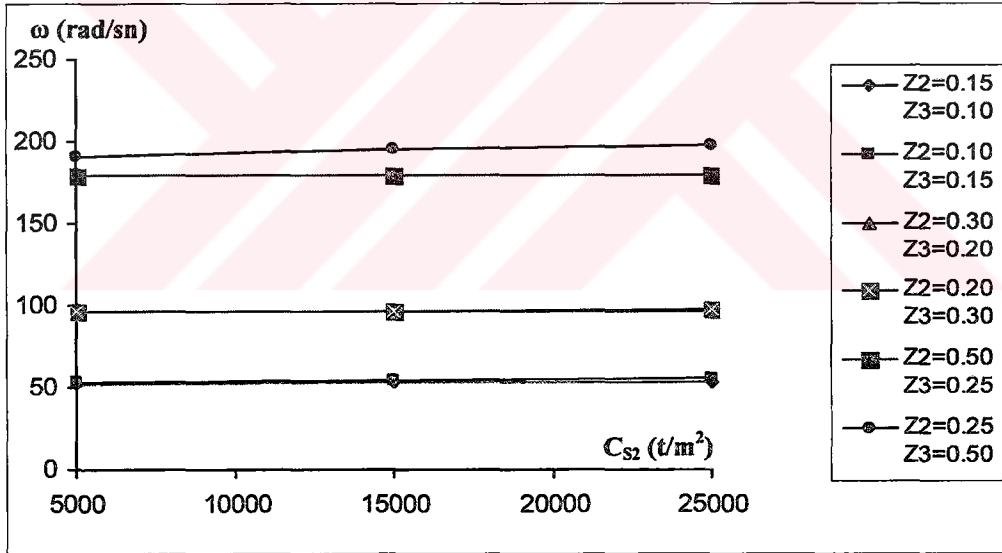
(Şekil 7.11)'de verilen; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın; eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet tesirleri dikkate alınarak; eksenel basınç kuvveti, zemin yatak katsayısı ve bölgelere göre kazık etkili boyundaki değişime bağlı olarak elde edilen serbest titreşimine ait açısal frekans değerleri; (Şekil 7.12), (Şekil 7.13), (Şekil 7.14), (Şekil 7.15), (Şekil 7.16), (Şekil 7.17), (Şekil 7.18), (Şekil 7.19) ve (Şekil 7.20)'de sunulmuştur.



**Şekil 7.11 Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli,  
zemin üzerindeki ucu serbest kazık**

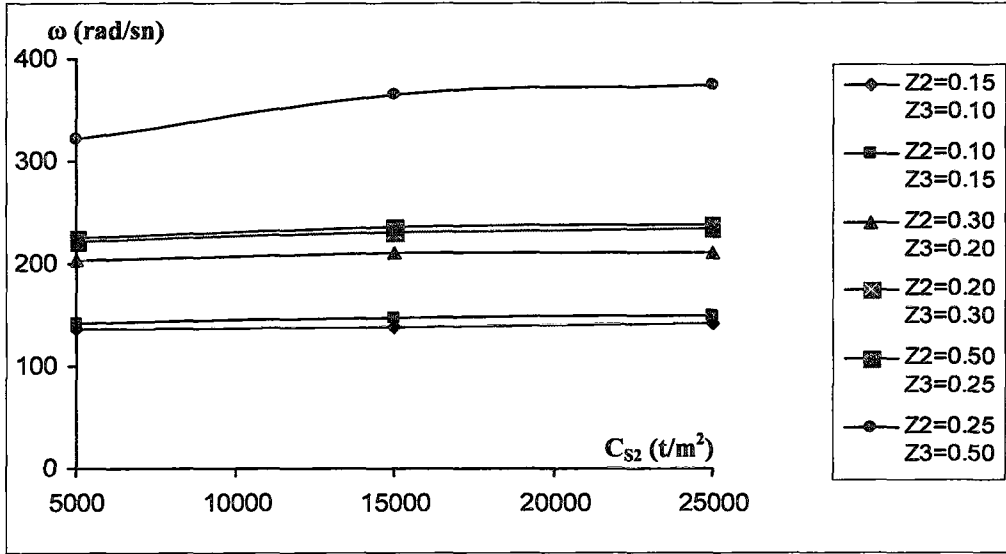


(a)

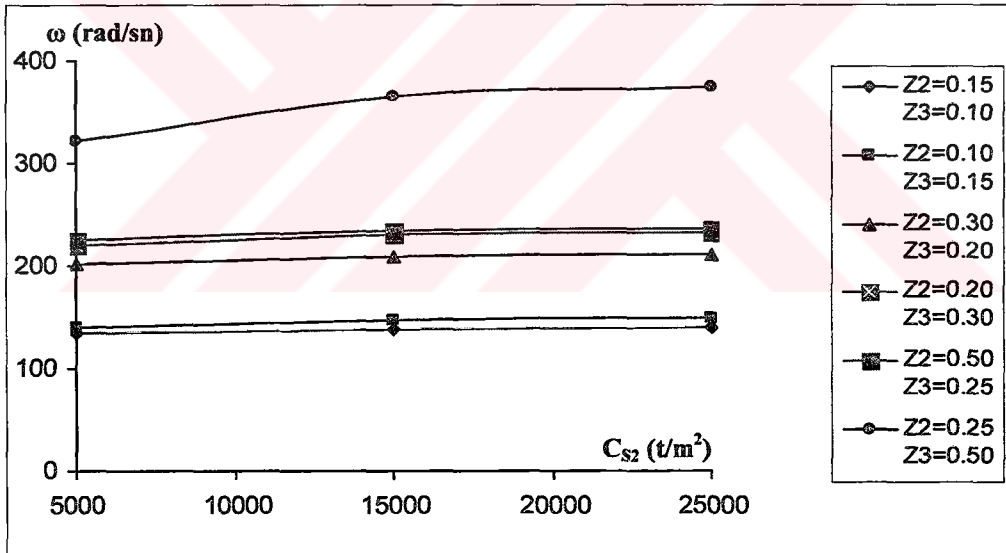


(b)

Şekil 7.12 a:  $C_{S1}=1000$  t/m<sup>2</sup> ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=1000$  t/m<sup>2</sup> ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açılal frekans değişimi

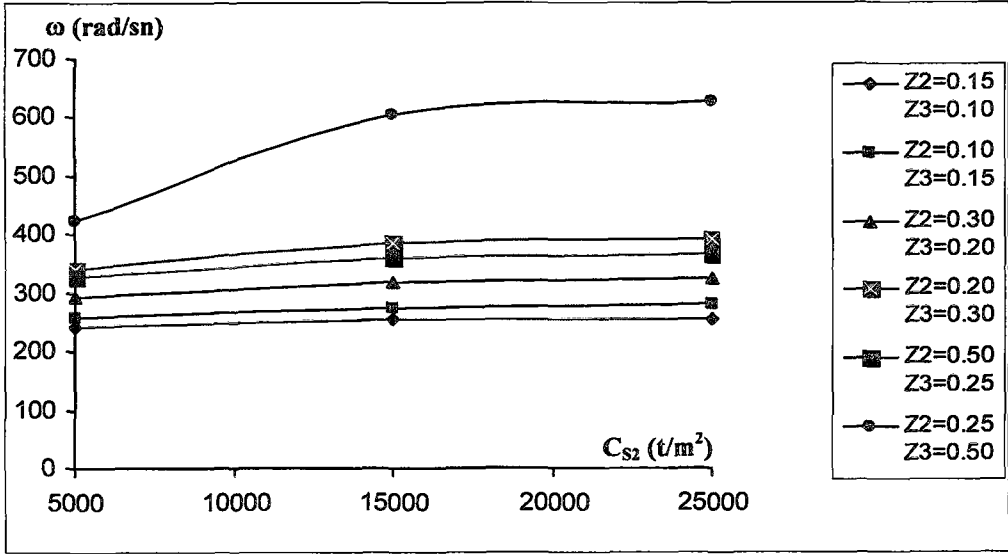


(a)

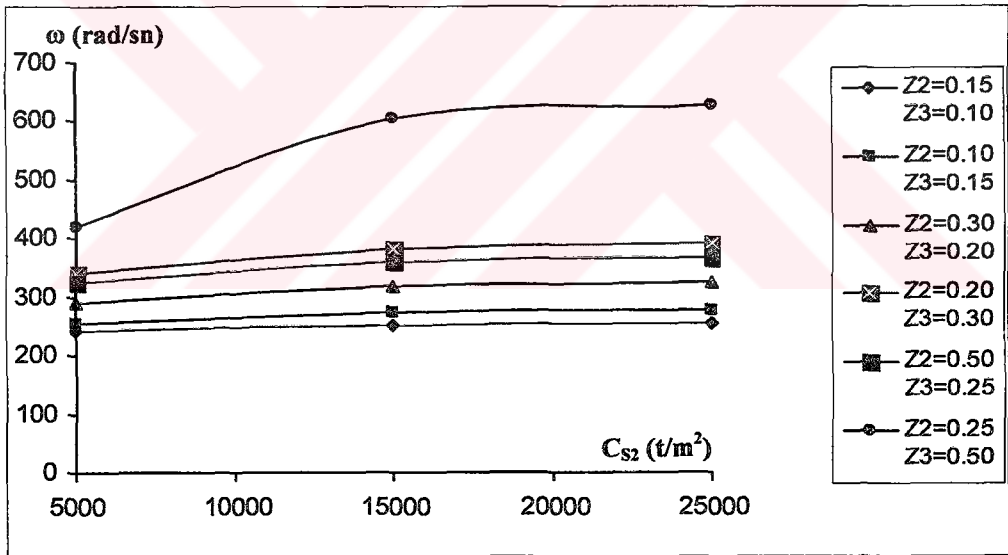


(b)

Şekil 7.13 a:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi



(a)

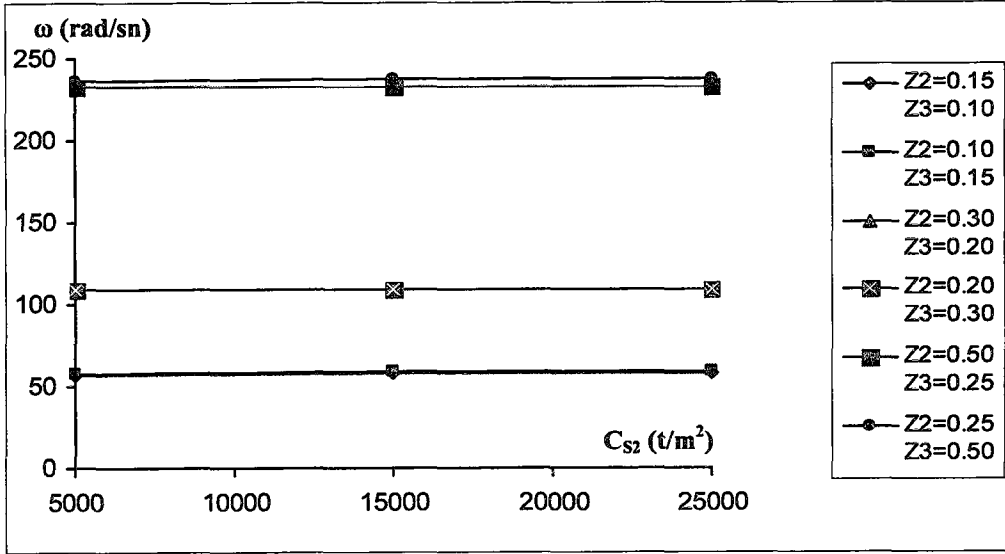


(b)

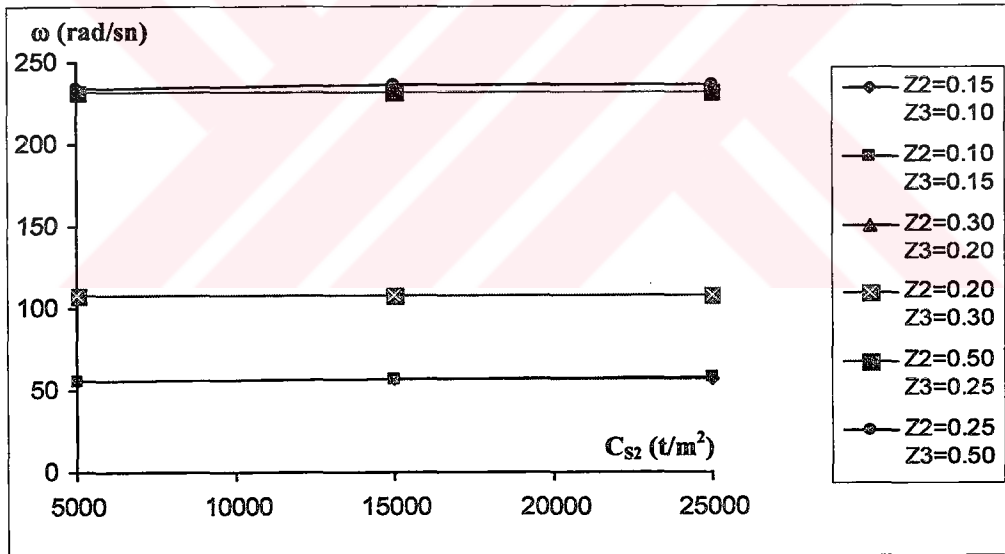
Şekil 7.14 a:  $C_{s1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi

b:  $C_{s1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi



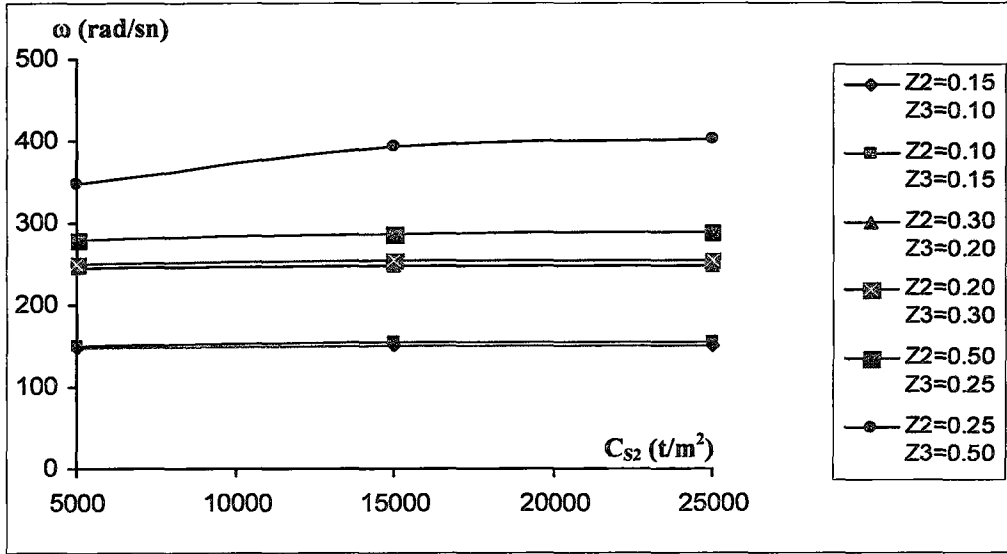


(a)

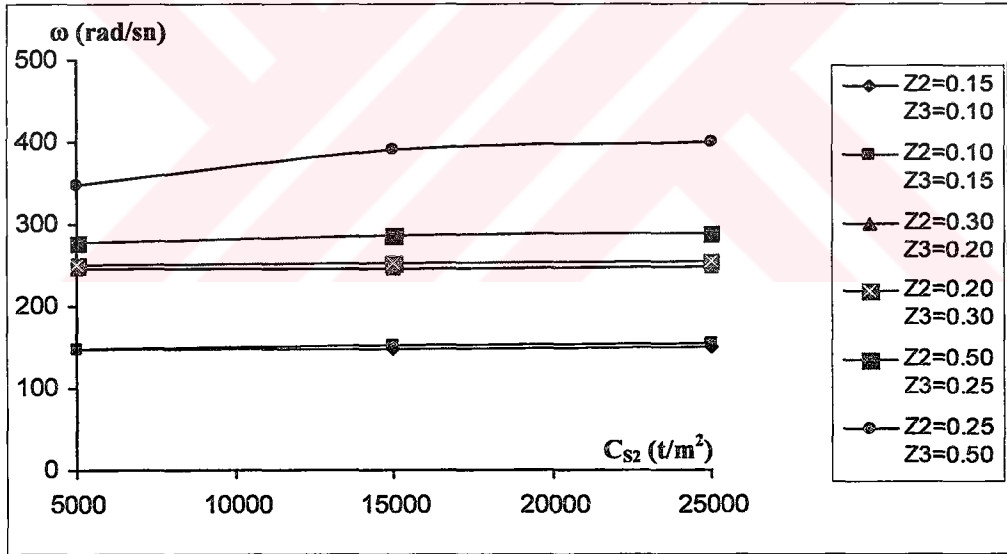


(b)

Şekil 7.15 a:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=2000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi

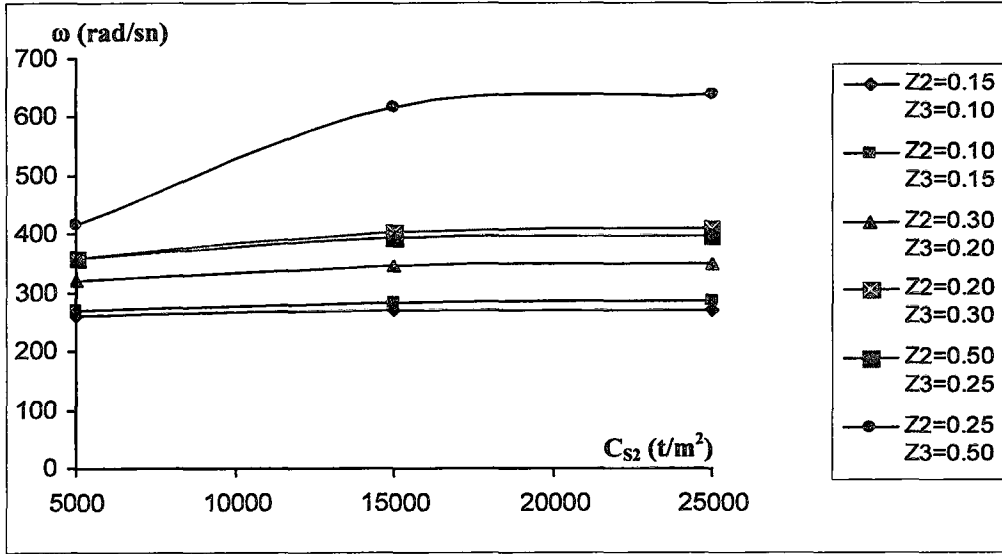


(a)

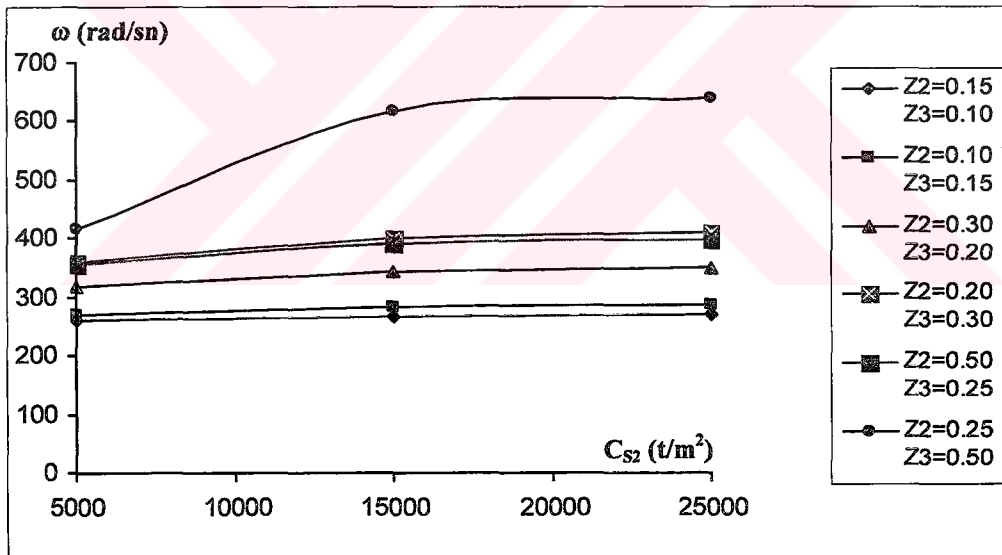


(b)

Şekil 7.16 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açılal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açılal frekans değişimi

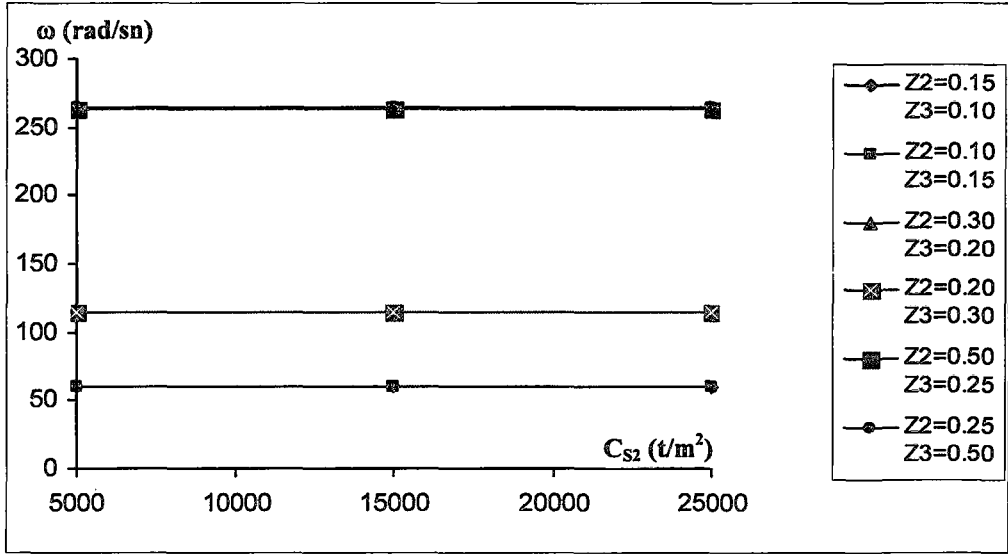


(a)

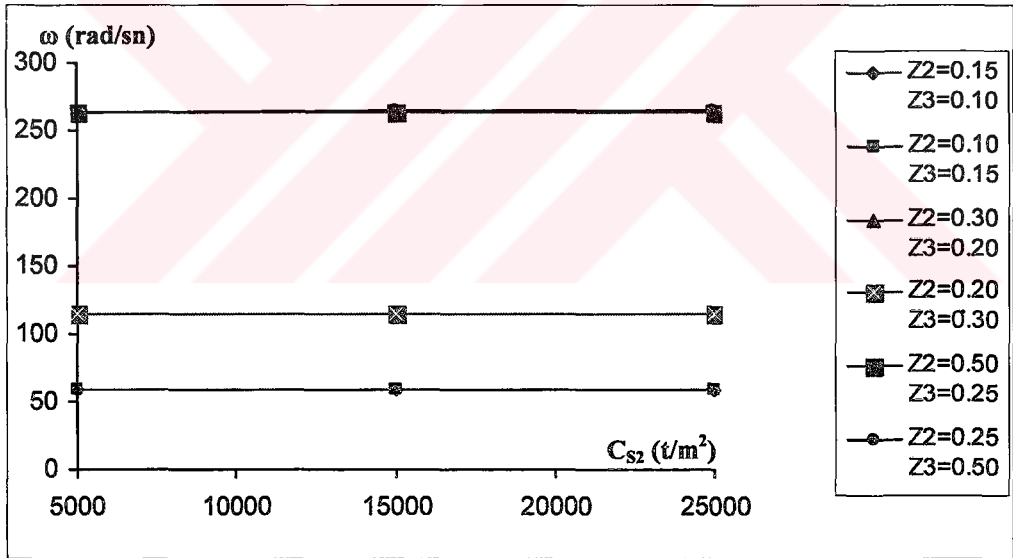


(b)

Şekil 7.17 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılmal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılmal frekans değişimi

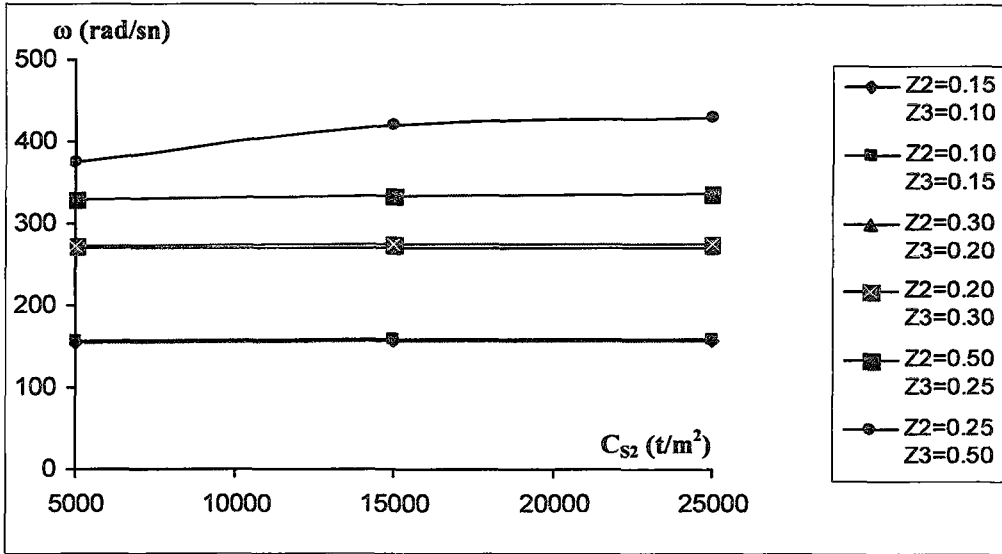


(a)

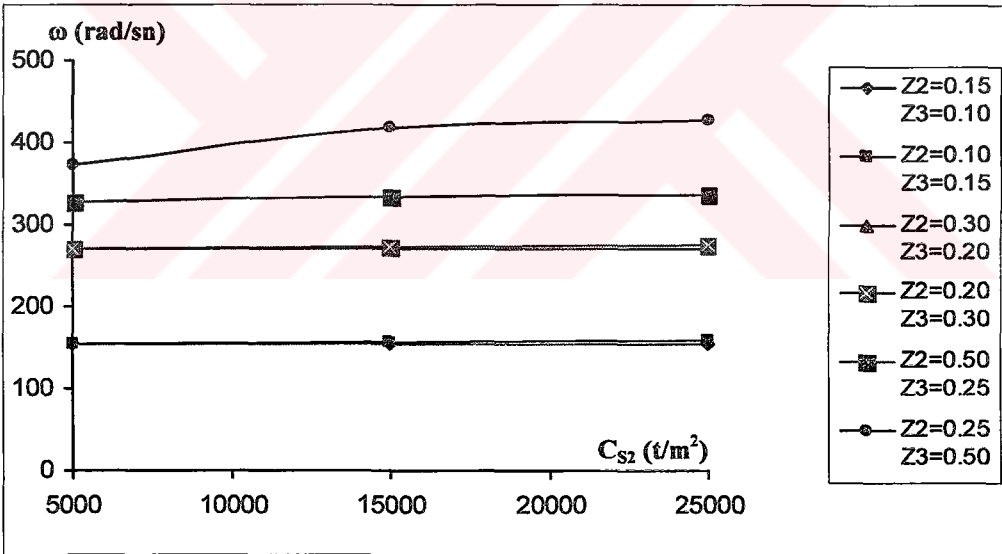


(b)

Şekil 7.18 a:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 1. moduna ait açısıl frekans değişimi



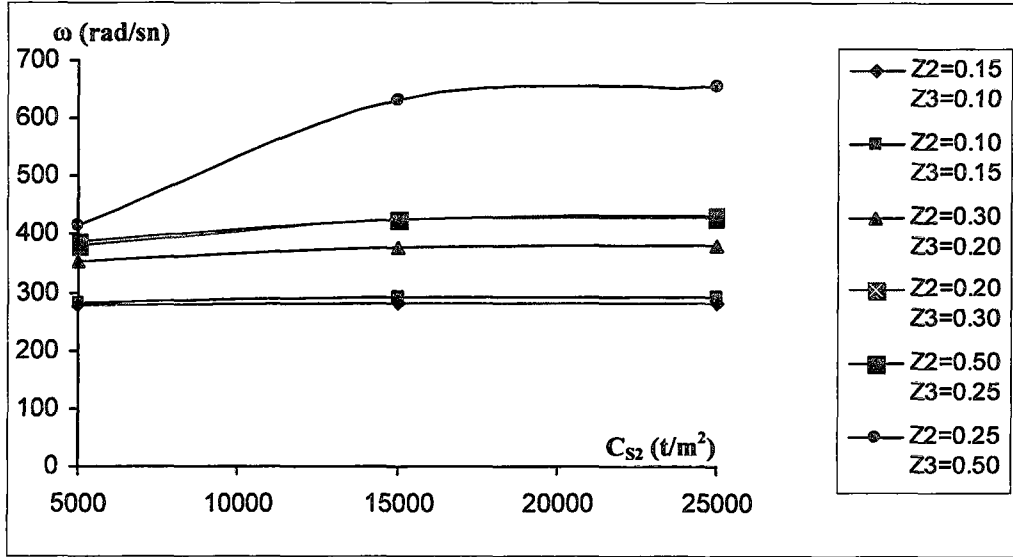
(a)



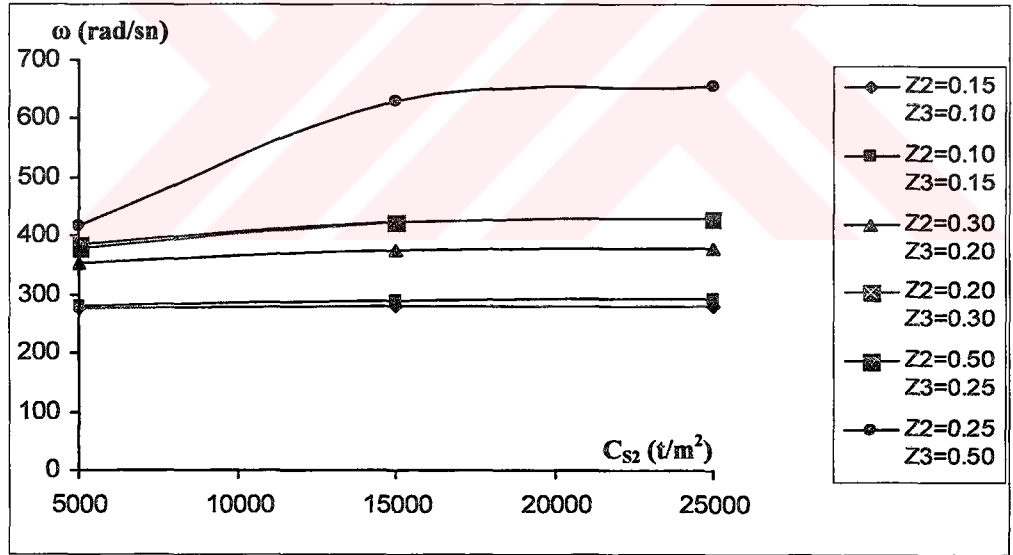
(b)

Şekil 7.19 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi

b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi



(a)



(b)

Şekil 7.20 a:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılmalık frekans değişimi

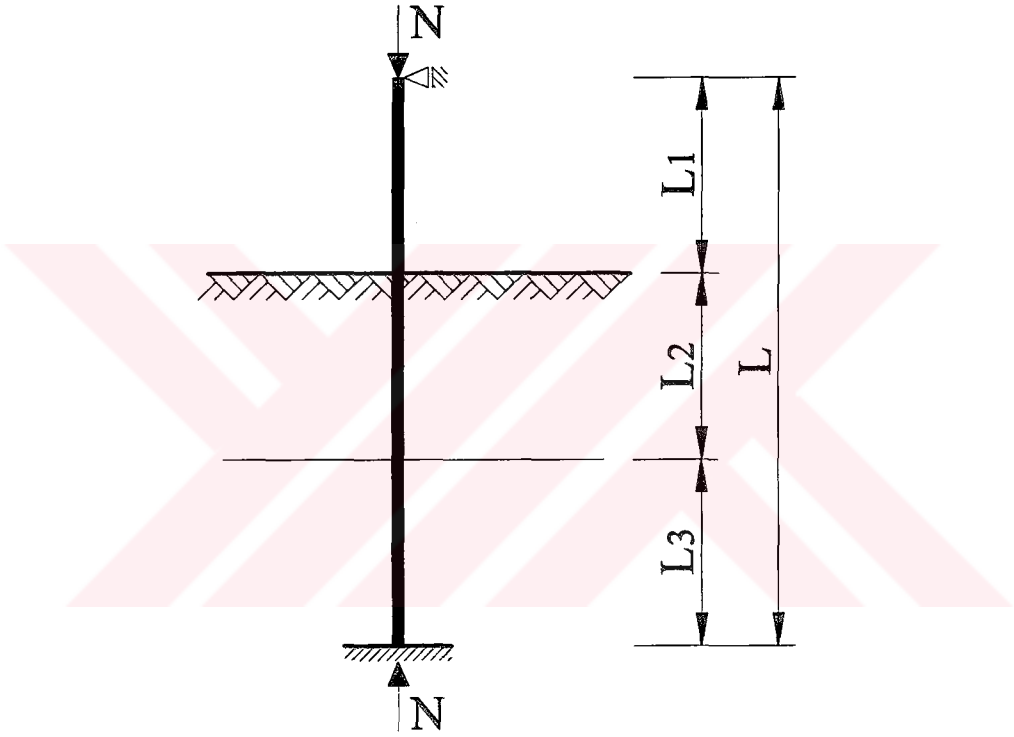
b:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu serbest kazığın 3. moduna ait açılmalık frekans değişimi

$z_2=0,15$  ve  $z_3=0,10$  ile  $z_2=0,10$  ve  $z_3=0,15$  boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın; 1. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $1000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.12a) ve (Şekil 7.12b) numaralı grafiklerde,  $2000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.15a) ve (Şekil 7.15b) numaralı grafiklerde,  $3000 \text{ t/m}^2$  için (Şekil 7.18a) ve (Şekil 7.18b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın; 2. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $3000 \text{ t/m}^2$  iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.19a) ve (Şekil 7.19b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın; 3. moduna ait açısal frekansın sayısal değerlerinde yakınsaklığa rastlanmamıştır.

$z_2=0,30$  ve  $z_3=0,20$  ile  $z_2=0,20$  ve  $z_3=0,30$  boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın; 1. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $1000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.12a) ve (Şekil 7.12b) numaralı grafiklerde,  $2000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.15a) ve (Şekil 7.15b) numaralı grafiklerde,  $3000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.18a) ve (Şekil 7.18b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın; 2. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $3000 \text{ t/m}^2$  iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.19a) ve (Şekil 7.19b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazığın; 3. moduna ait açısal frekansın sayısal değerlerinde yakınsaklığa rastlanmamıştır.

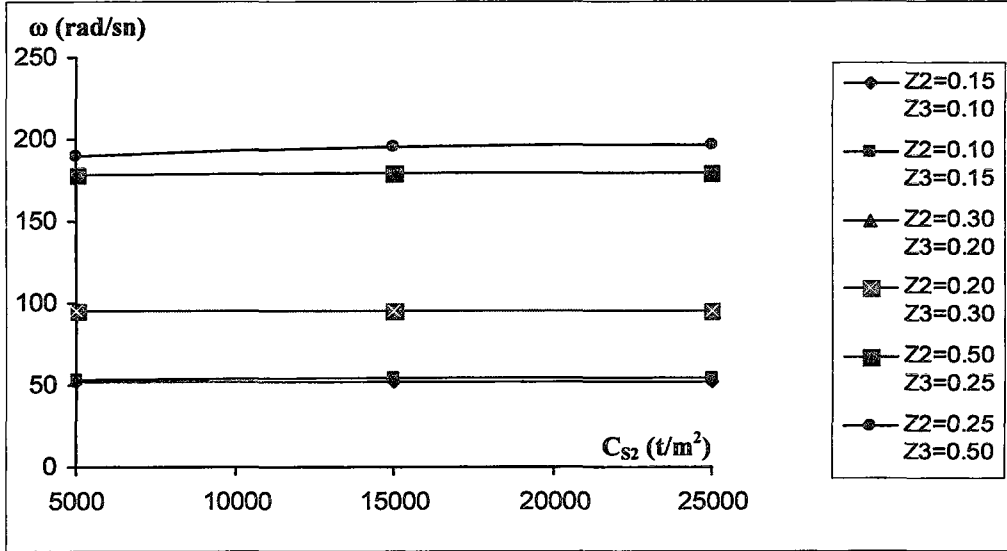
### 7.2.3 Sayısal Uygulama – 3

(Şekil 7.21)'de verilen; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın; eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet tesirleri dikkate alınarak; eksenel basınç kuvveti, zemin yatak katsayısı ve bölgelere göre kazık etkili boyundaki değişime bağlı olarak elde edilen serbest titreşimine ait açısal frekans değerleri; (Şekil 7.22), (Şekil 7.23), (Şekil 7.24), (Şekil 7.25), (Şekil 7.26), (Şekil 7.27), (Şekil 7.28), (Şekil 7.29) ve (Şekil 7.30)'da sunulmuştur.

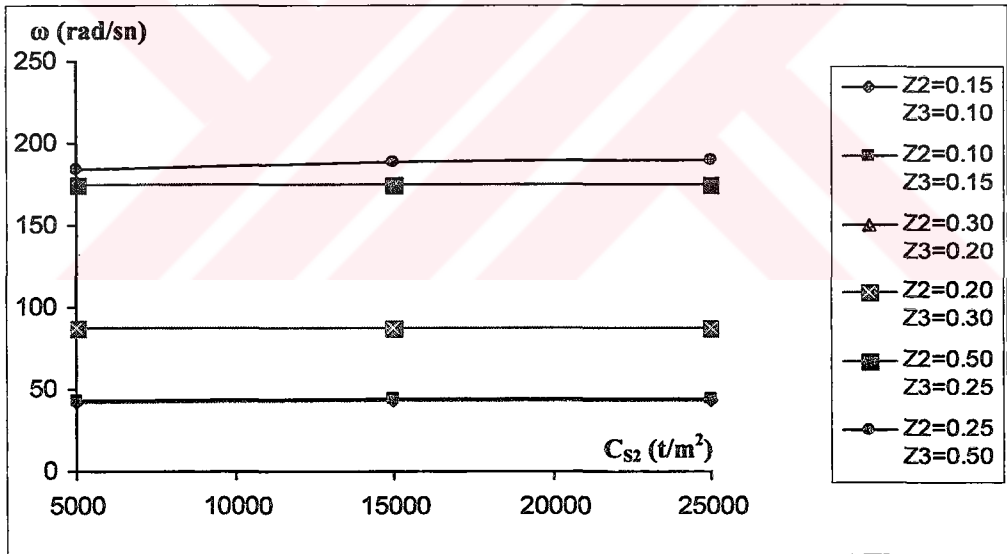


**Şekil 7.21 Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli,  
zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazık**



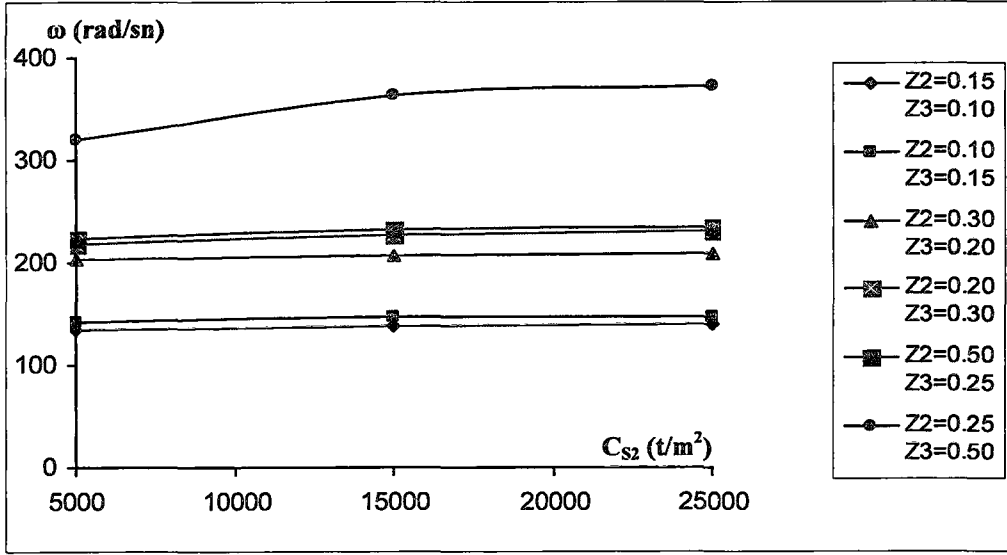


(a)

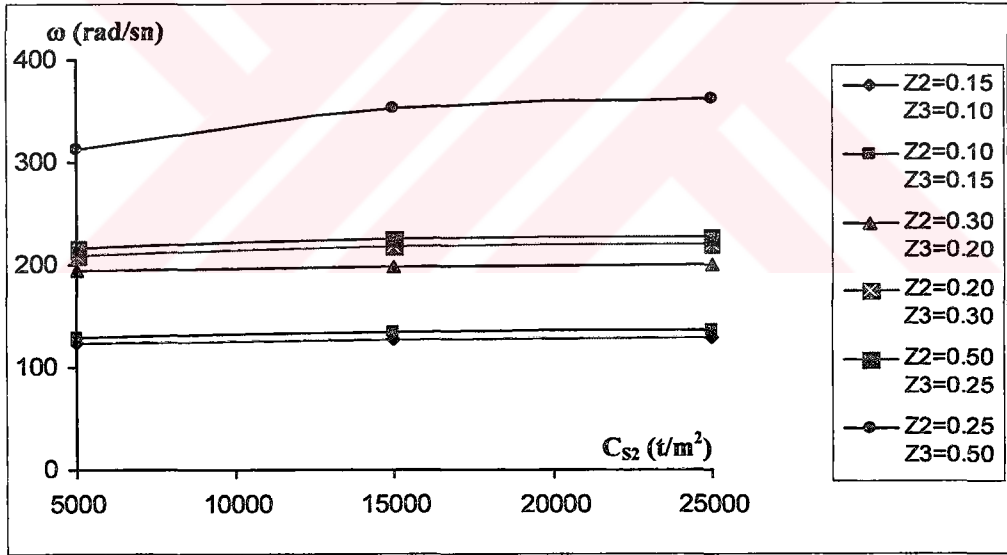


(b)

Şekil 7.22 a:  $C_{S1}=1000$  t/m<sup>2</sup> ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açılmal frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=1000$  t/m<sup>2</sup> ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açılmal frekans değişimi

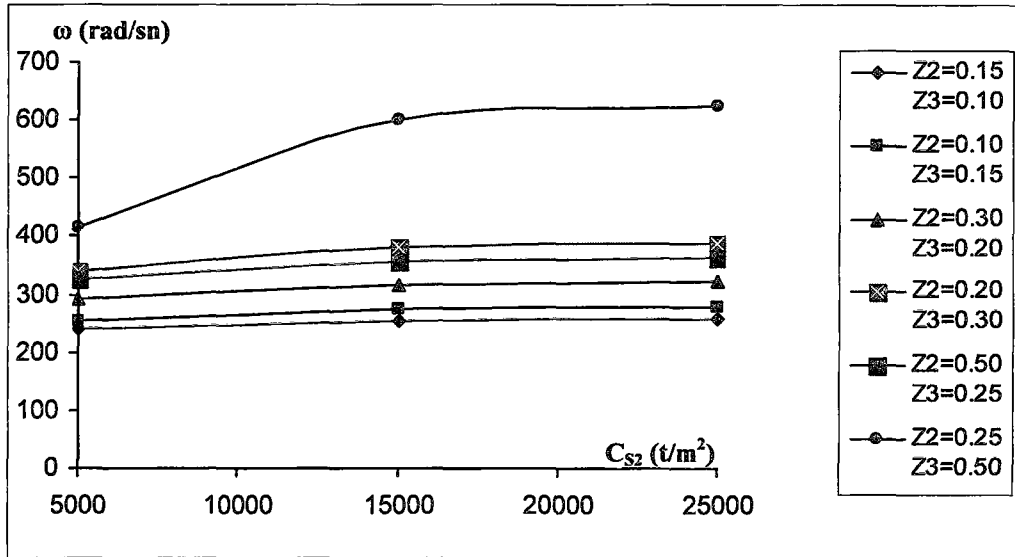


(a)

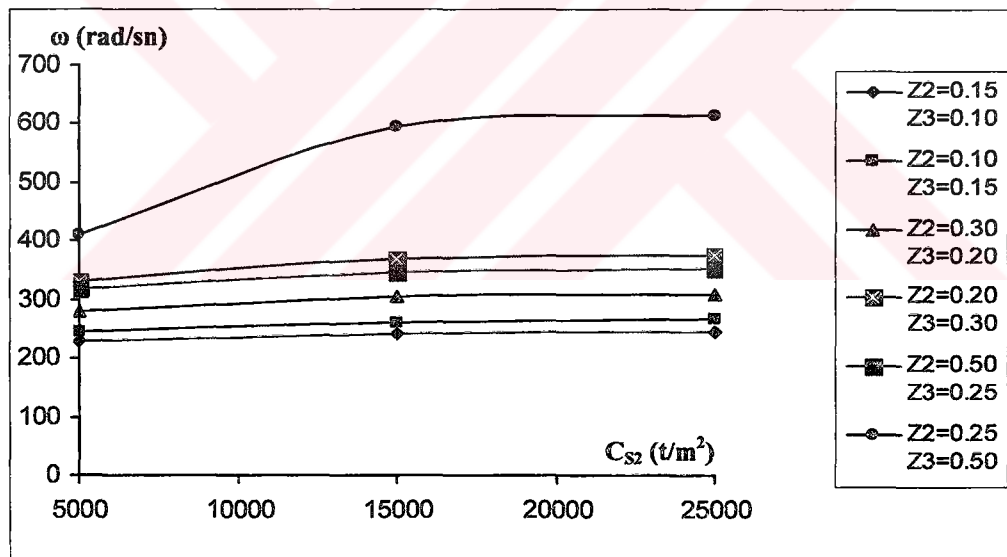


(b)

Şekil 7.23 a:  $C_{s1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{s1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi

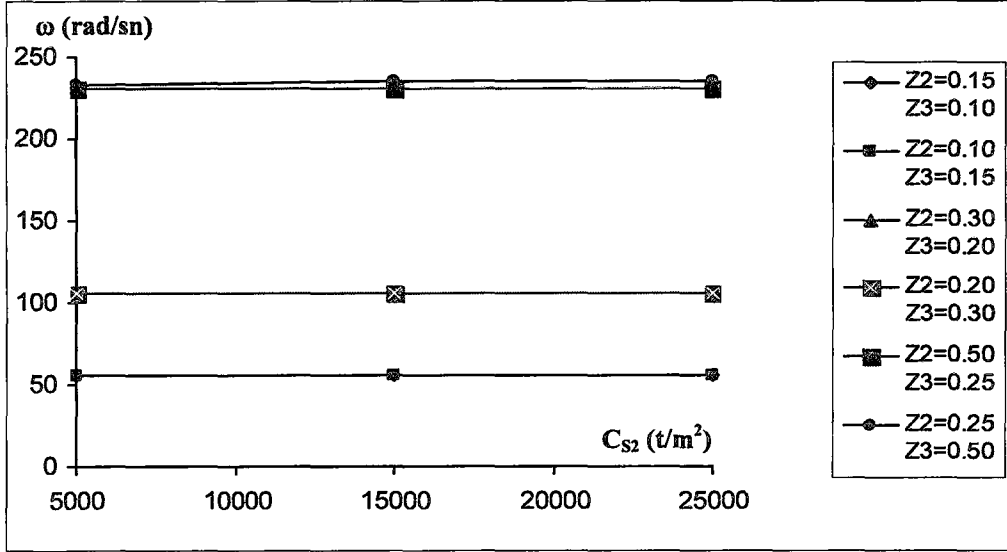


(a)

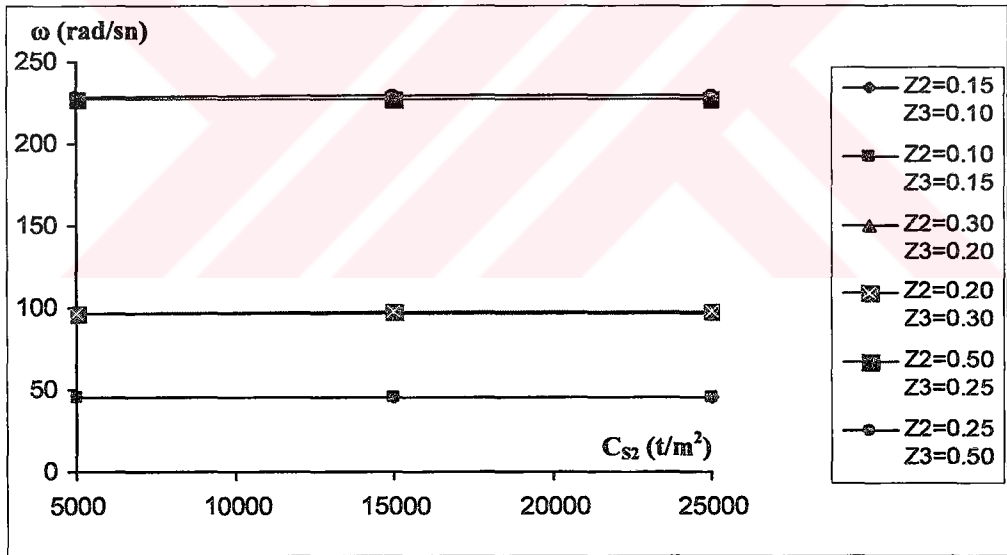


(b)

Şekil 7.24 a:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açılmalık frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açılmalık frekans değişimi

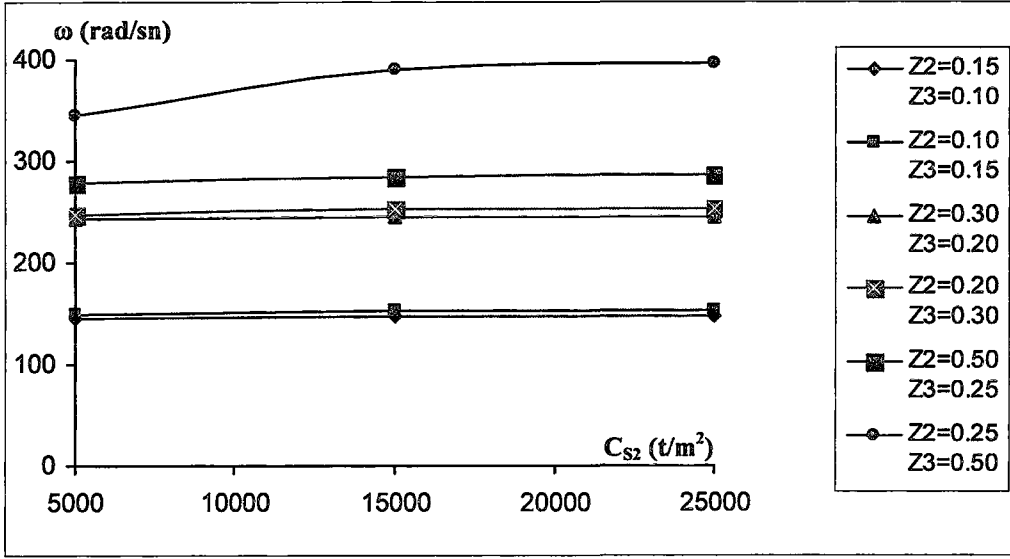


(a)

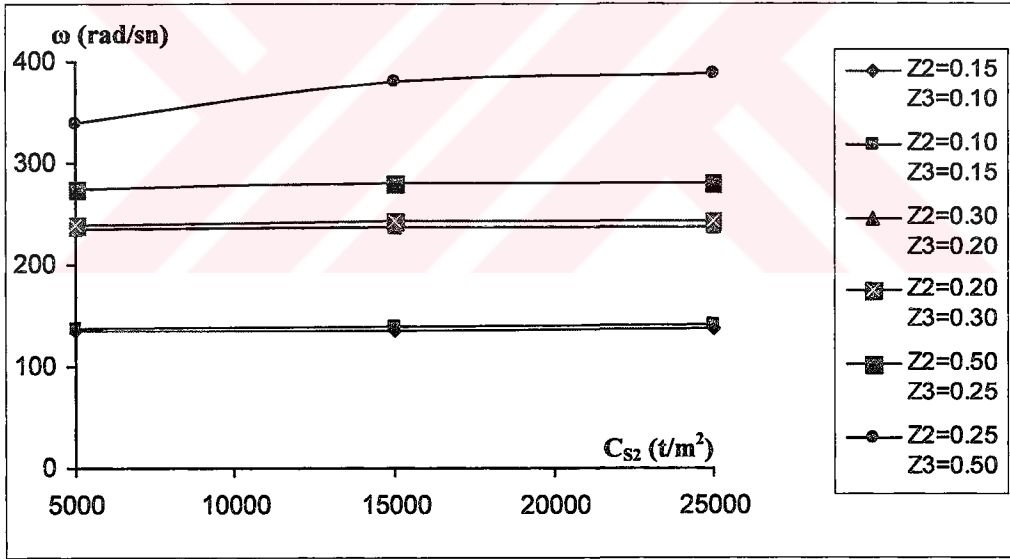


(b)

Şekil 7.25 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi



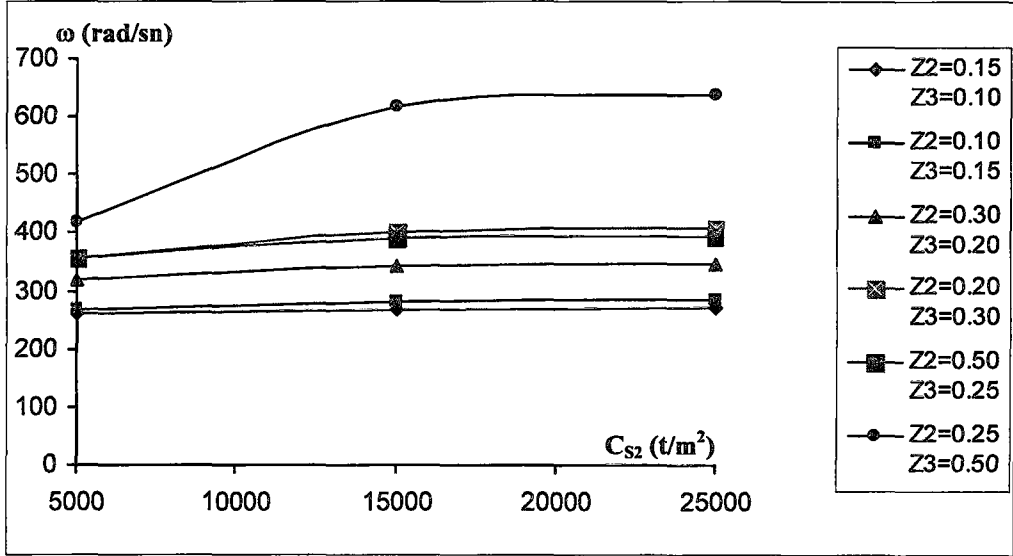
(a)



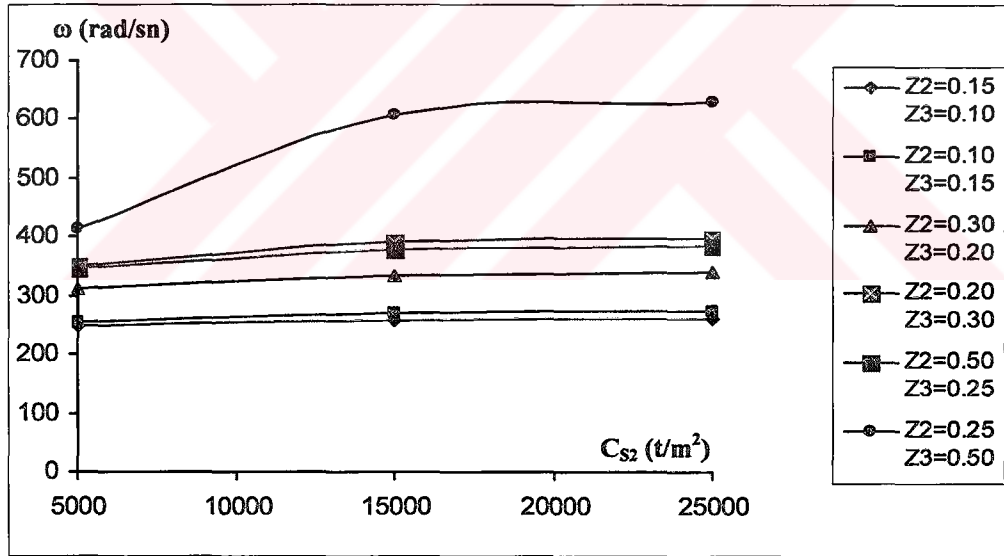
(b)

Şekil 7.26 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi

b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açısıl frekans değişimi

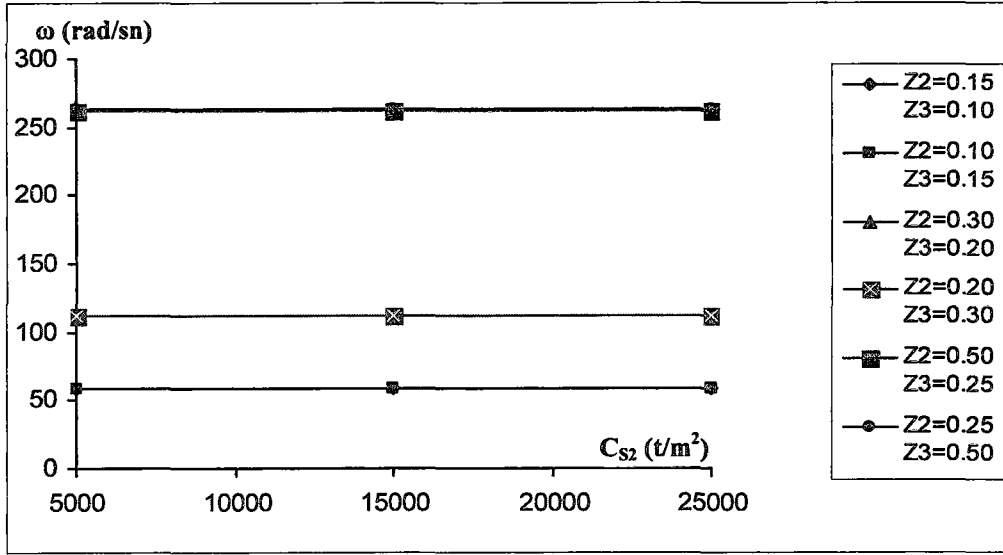


(a)

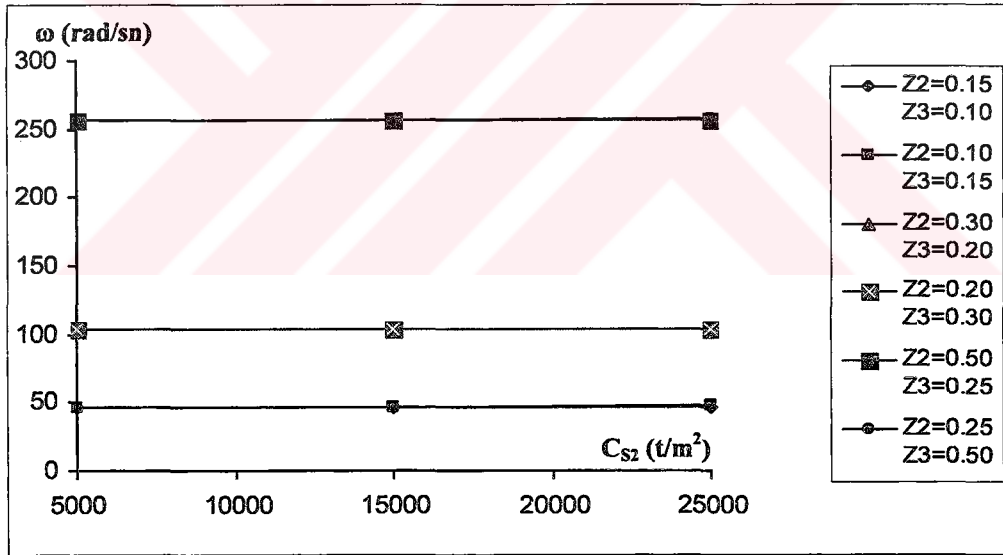


(b)

Şekil 7.27 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açısal frekans değişimi

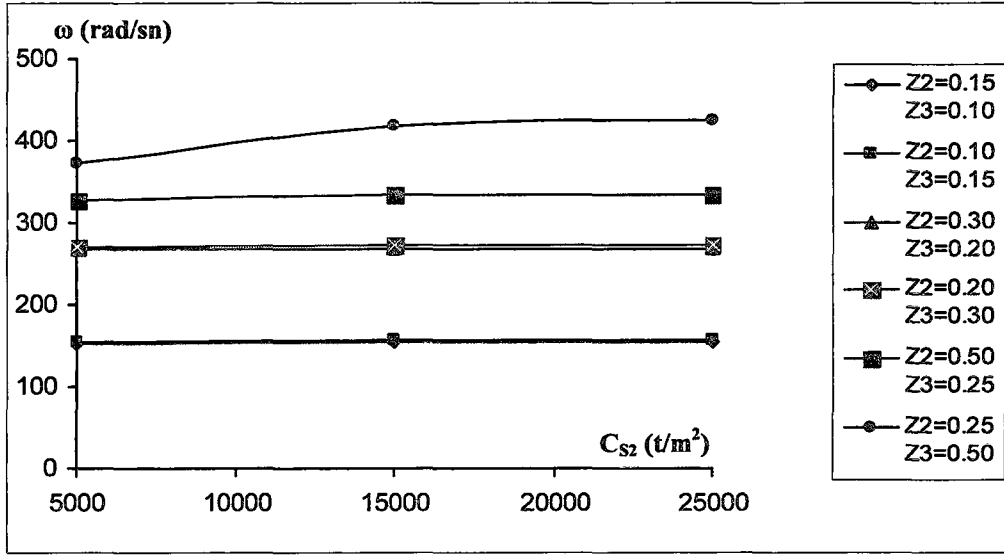


(a)

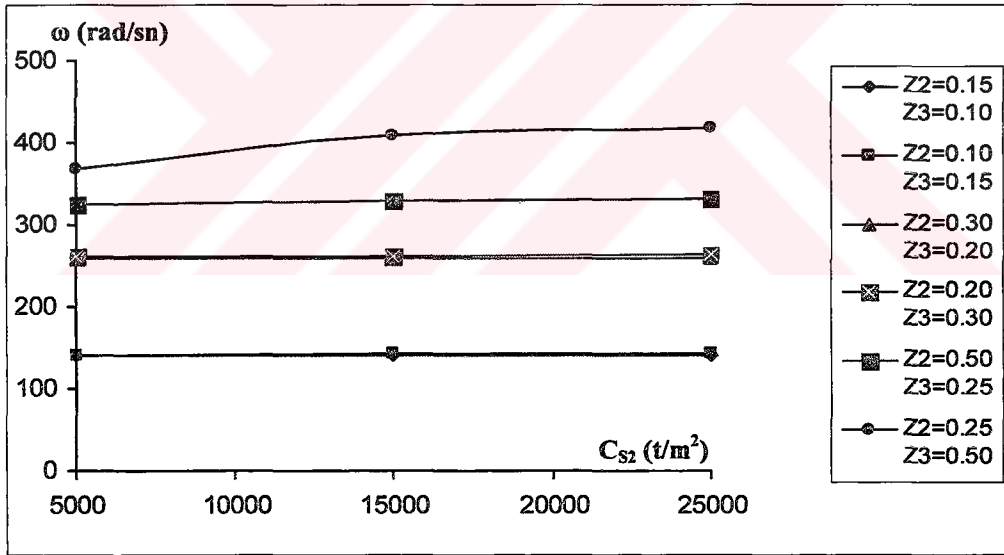


(b)

Şekil 7.28 a:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 1. moduna ait açısal frekans değişimi



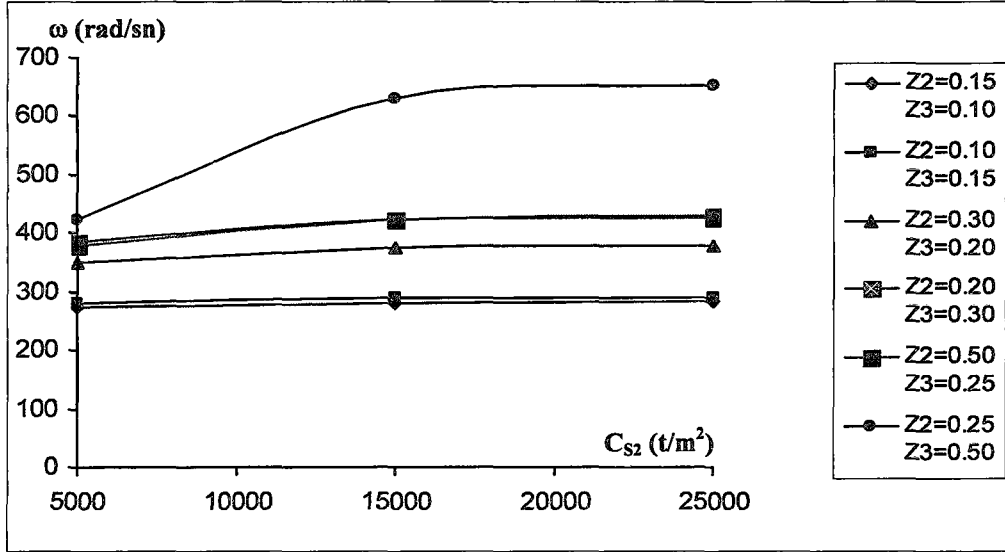
(a)



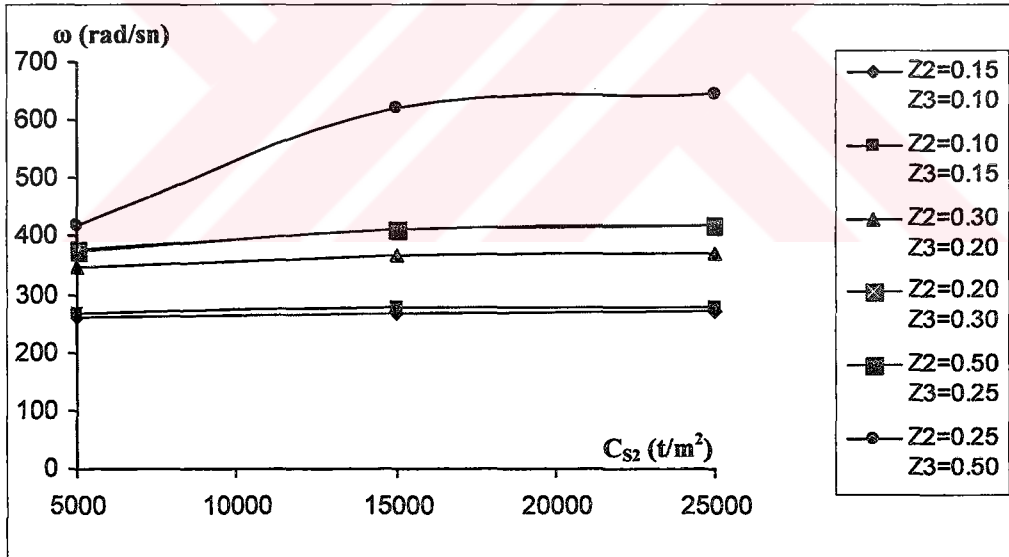
(b)

Şekil 7.29 a:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açılma frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 2. moduna ait açılma frekans değişimi





(a)



(b)

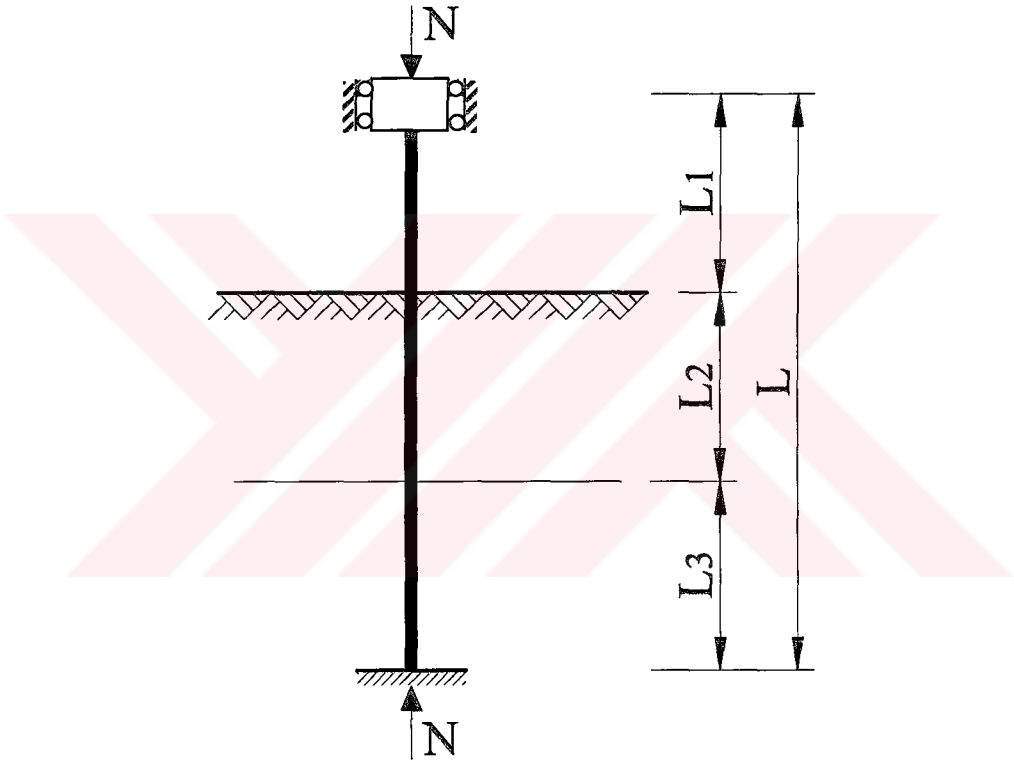
Şekil 7.30 a:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açısai frekans değışimi  
b:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu basit mesnetli kazığın 3. moduna ait açısai frekans değışimi

$z_2=0,15$  ve  $z_3=0,10$  ile  $z_2=0,10$  ve  $z_3=0,15$  boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın; 1. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $1000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.22a) ve (Şekil 7.22b) numaralı grafiklerde,  $2000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.25a) ve (Şekil 7.25b) numaralı grafiklerde,  $3000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.28a) ve (Şekil 7.28b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın; 2. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $3000 \text{ t/m}^2$  iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.29a) ve (Şekil 7.29b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın; 3. moduna ait açısal frekansın sayısal değerlerinde yakınsaklığa rastlanmamıştır.

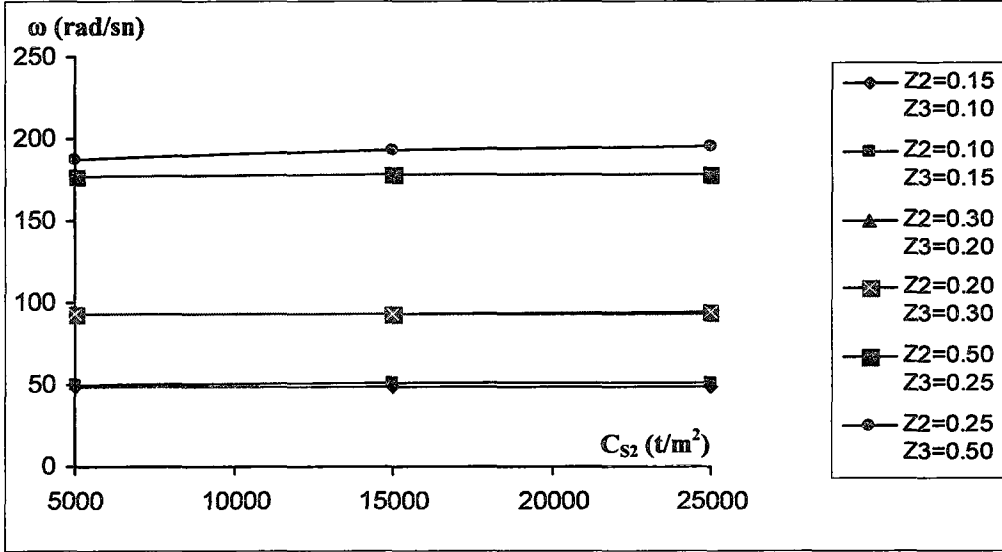
$z_2=0,30$  ve  $z_3=0,20$  ile  $z_2=0,20$  ve  $z_3=0,30$  boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın; 1. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $1000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.22a) ve (Şekil 7.22b) numaralı grafiklerde,  $2000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.25a) ve (Şekil 7.25b) numaralı grafiklerde,  $3000 \text{ t/m}^2$  iken (Şekil 7.28a) ve (Şekil 7.28b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın; 2. moduna ait açısal frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı;  $3000 \text{ t/m}^2$  iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.29a) ve (Şekil 7.29b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazığın; 3. moduna ait açısal frekansın sayısal değerlerinde yakınsaklığa rastlanmamıştır.

#### 7.2.4 Sayısal Uygulama – 4

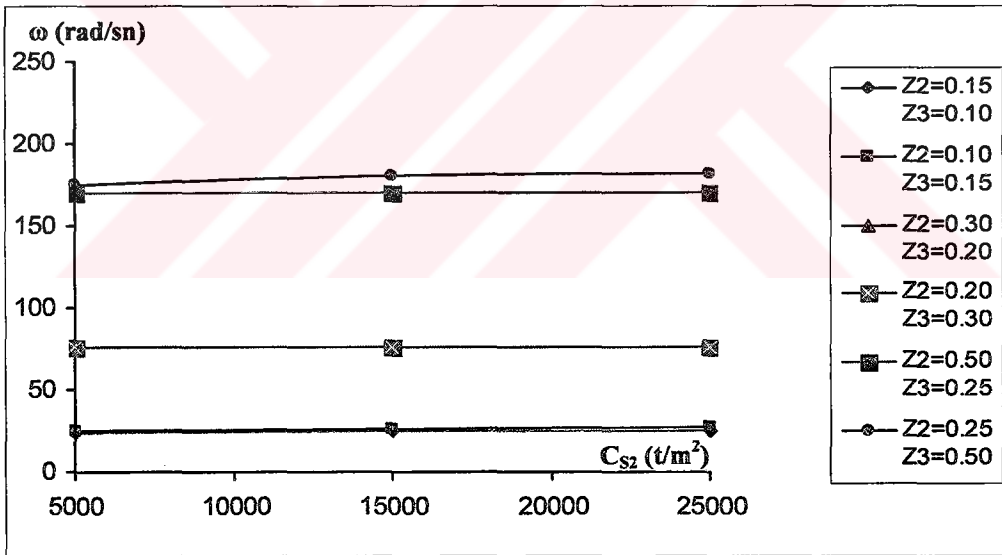
(Şekil 7.31)'de verilen; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın; eğilme momenti, kesme kuvveti ve aksel kuvvet tesirleri dikkate alınarak; aksel basınç kuvveti, zemin yatak katsayısı ve bölgelere göre kazık etkili boyundaki değişime bağlı olarak elde edilen serbest titreşimine ait açısal frekans değerleri; (Şekil 7.32), (Şekil 7.33), (Şekil 7.34), (Şekil 7.35), (Şekil 7.36), (Şekil 7.37), (Şekil 7.38), (Şekil 7.39) ve (Şekil 7.40)'da sunulmuştur.



**Şekil 7.31 Zemine gömülü ucu ankastre mesnetli,  
zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazık**

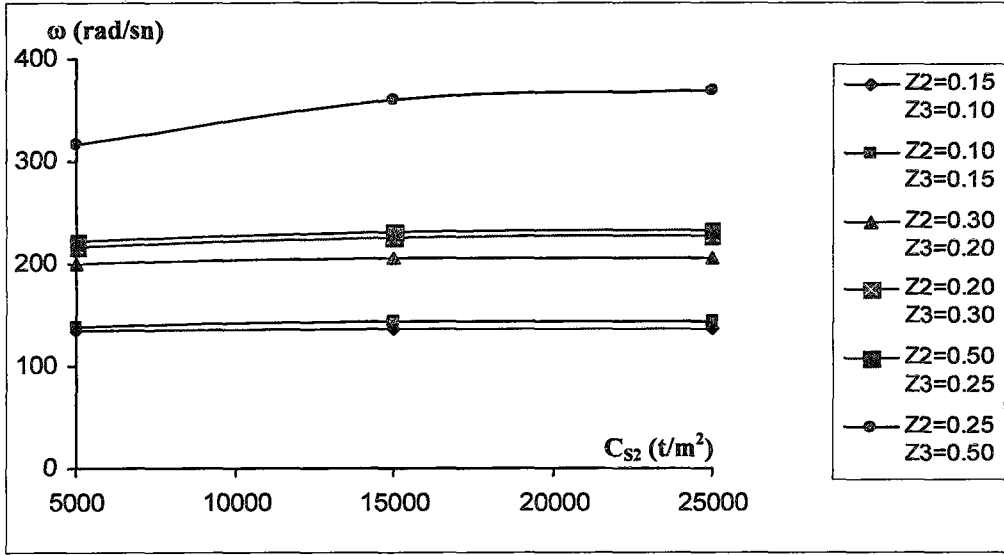


(a)

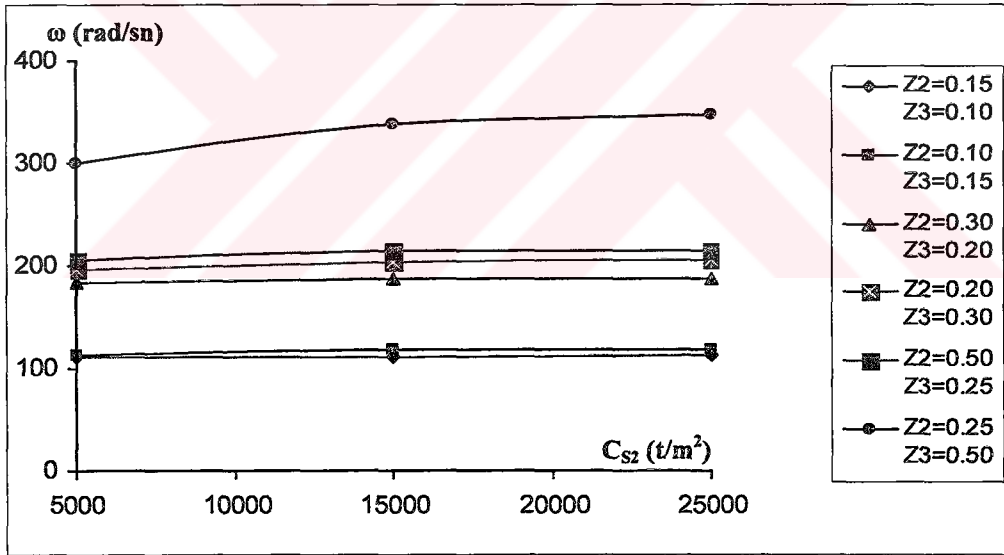


(b)

Şekil 7.32 a:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açılmal frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açılmal frekans değişimi

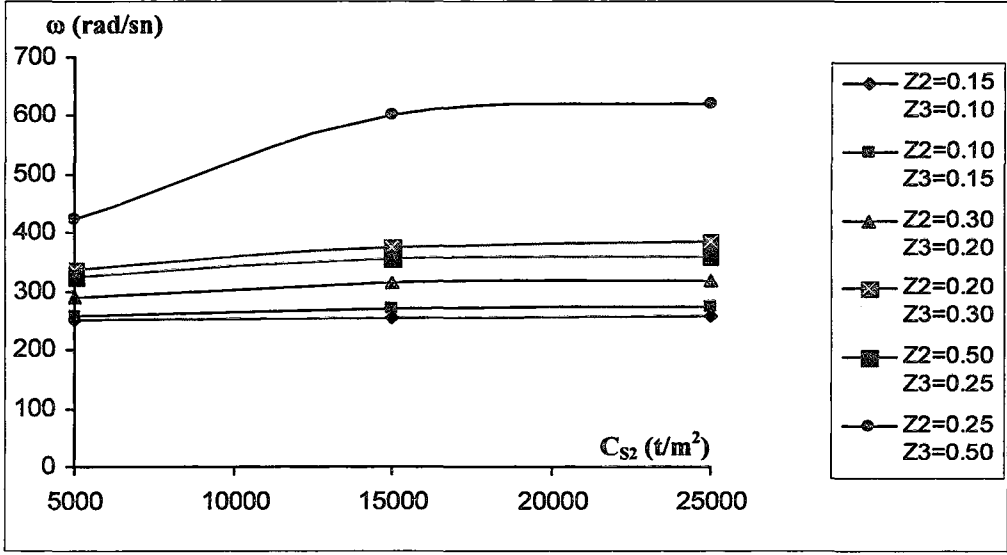


(a)

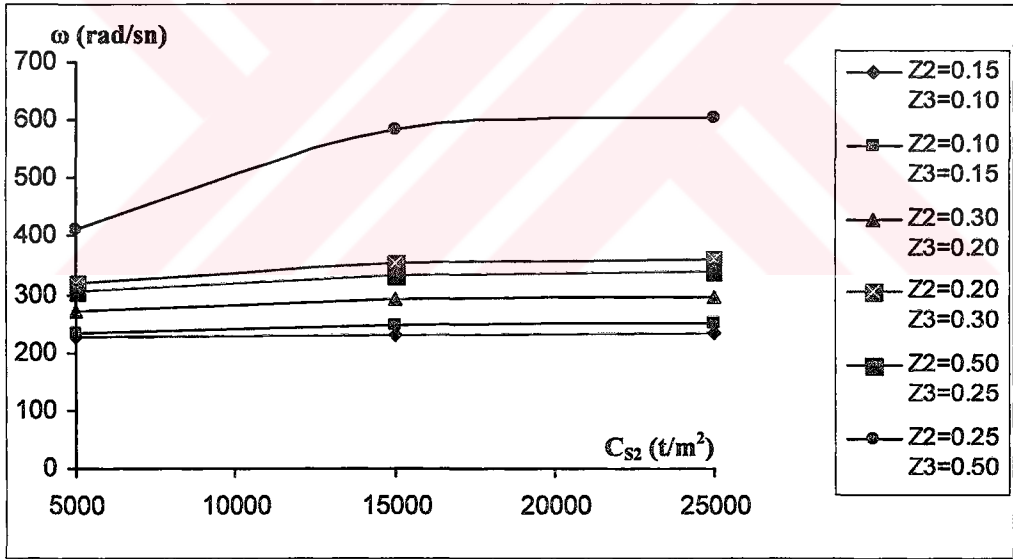


(b)

Şekil 7.33 a:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açılmalık frekans değişimi  
b:  $C_{S1}=1000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açılmalık frekans değişimi



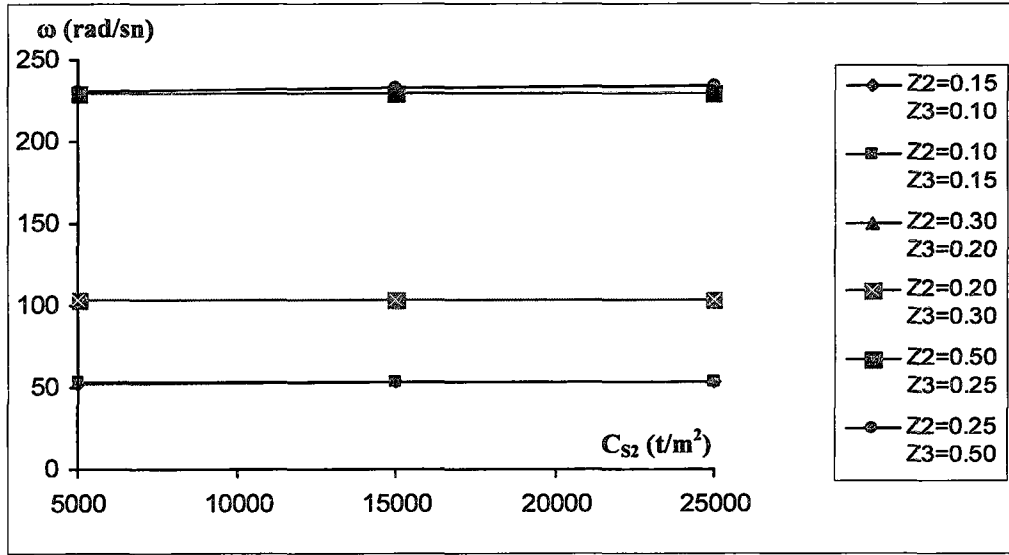
(a)



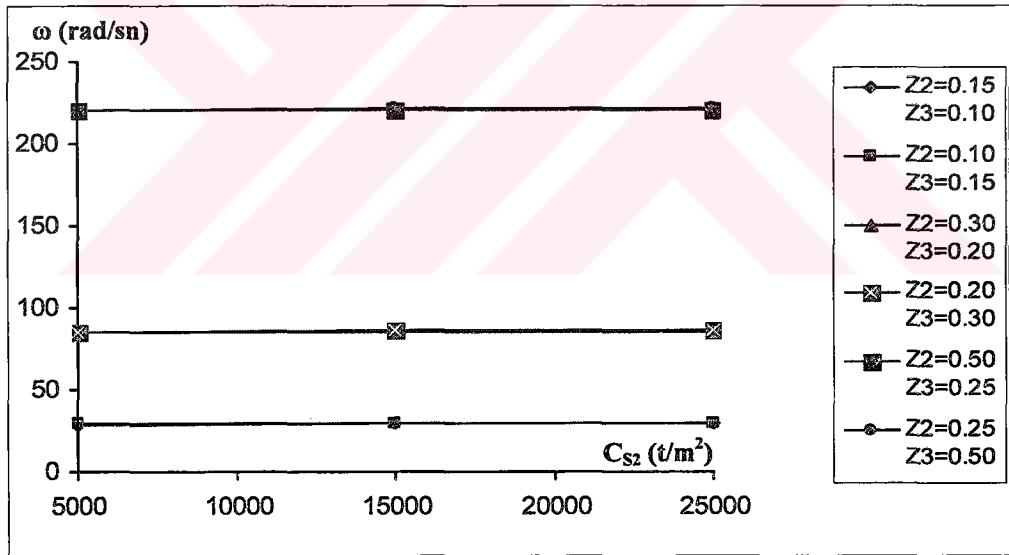
(b)

Şekil 7.34 a:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açılmal frekans değişimi

b:  $C_{S1}=1000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açılmal frekans değişimi

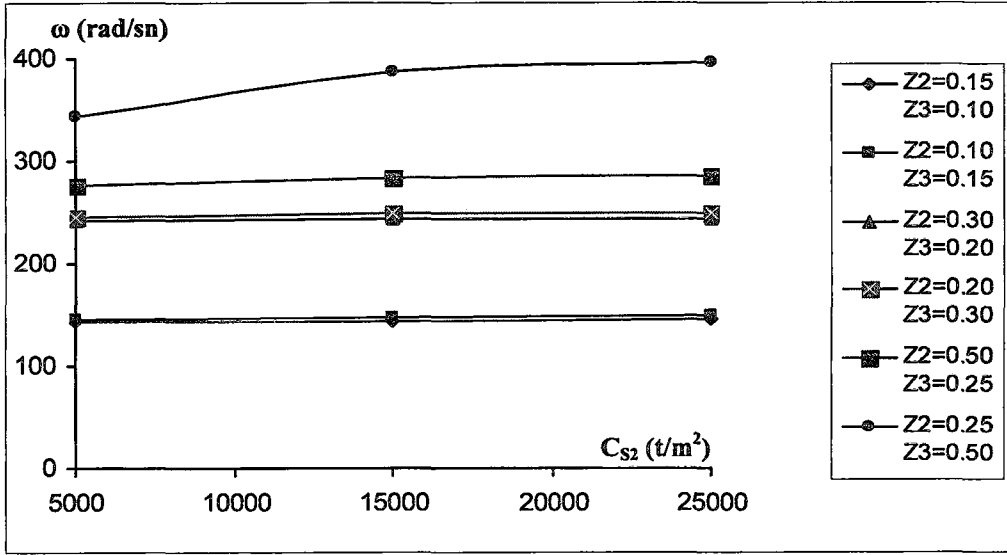


(a)

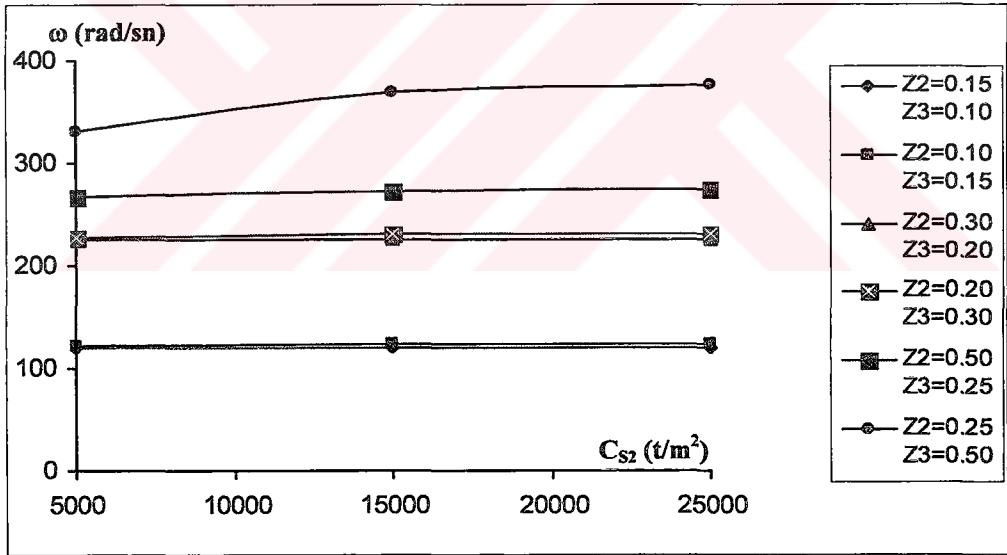


(b)

Şekil 7.35 a:  $C_{S1}=2000$  t/m<sup>2</sup> ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açılal frekans değışimi  
 b:  $C_{S1}=2000$  t/m<sup>2</sup> ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açılal frekans değışimi



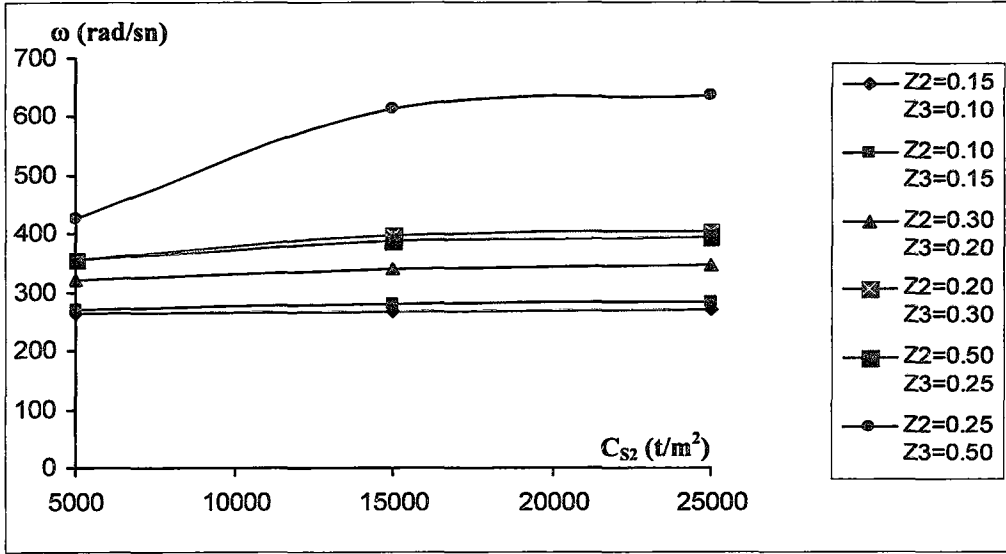
(a)



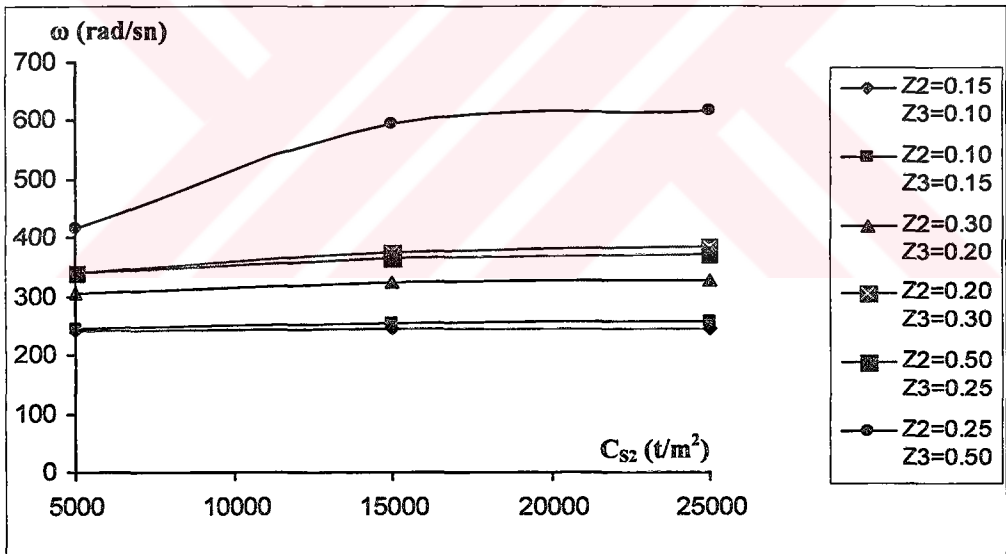
(b)

Şekil 7.36 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açılmal frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açılmal frekans değişimi





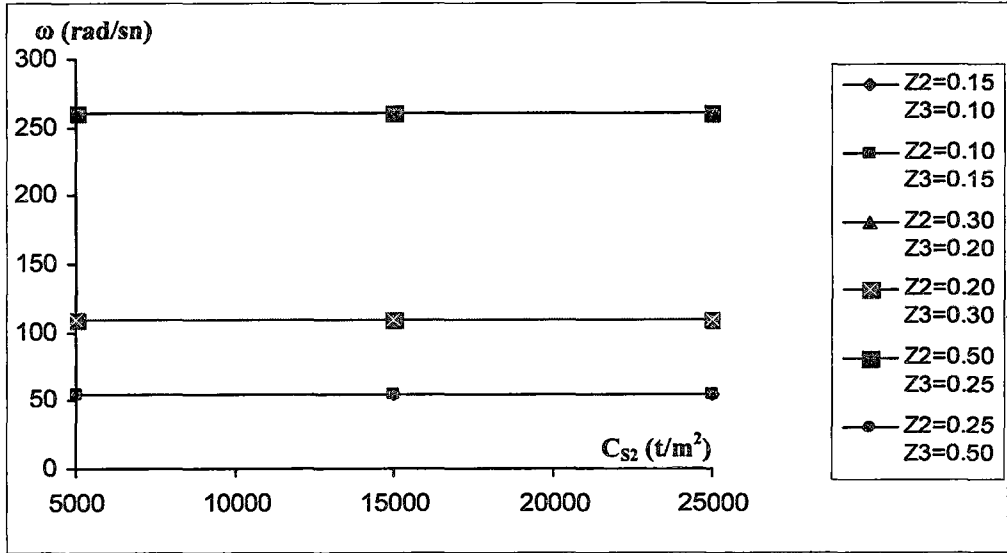
(a)



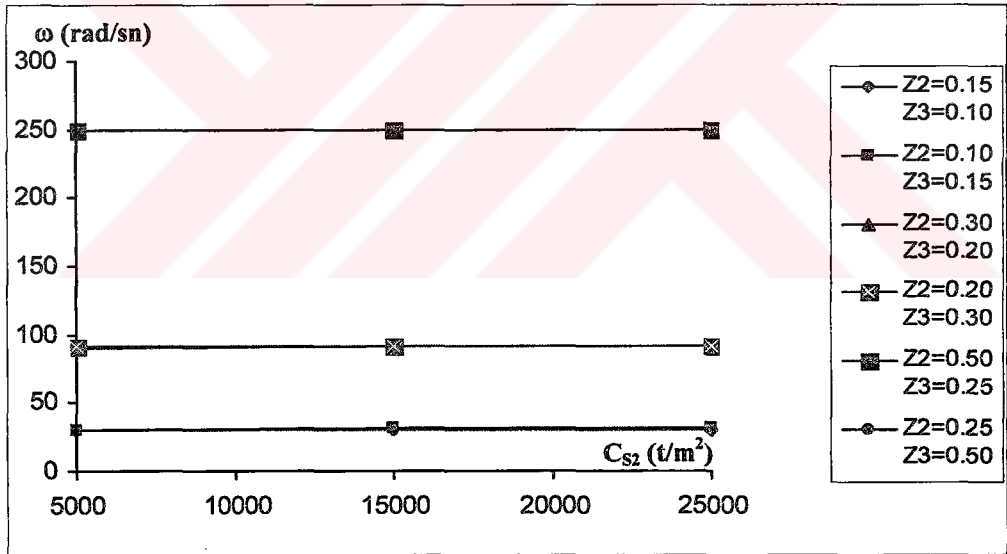
(b)

Şekil 7.37 a:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açılal frekans değışimini

b:  $C_{S1}=2000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açılal frekans değışimini

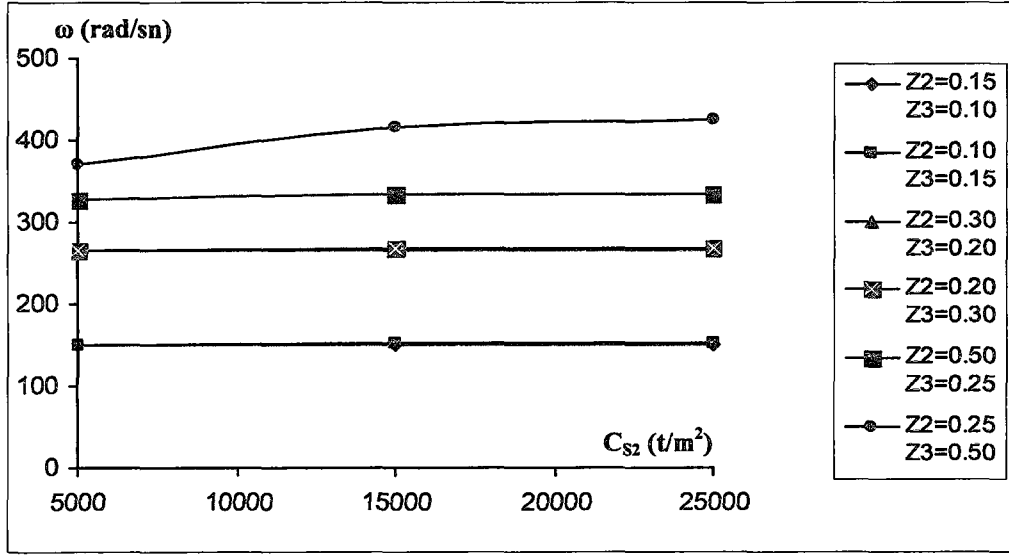


(a)

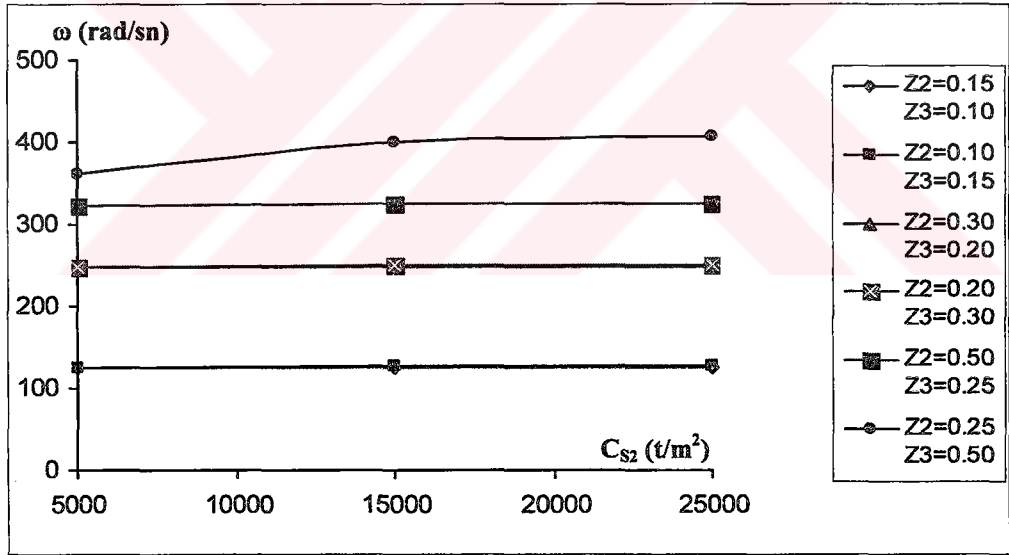


(b)

Şekil 7.38 a:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açılmal frekans değişimi  
 b:  $C_{S1}=3000 \text{ t/m}^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 1. moduna ait açılmal frekans değişimi

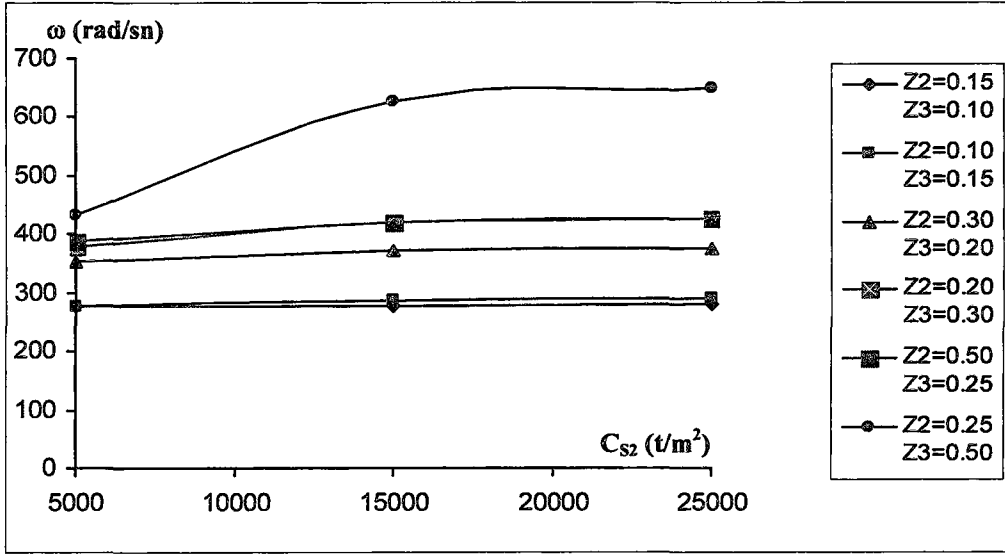


(a)

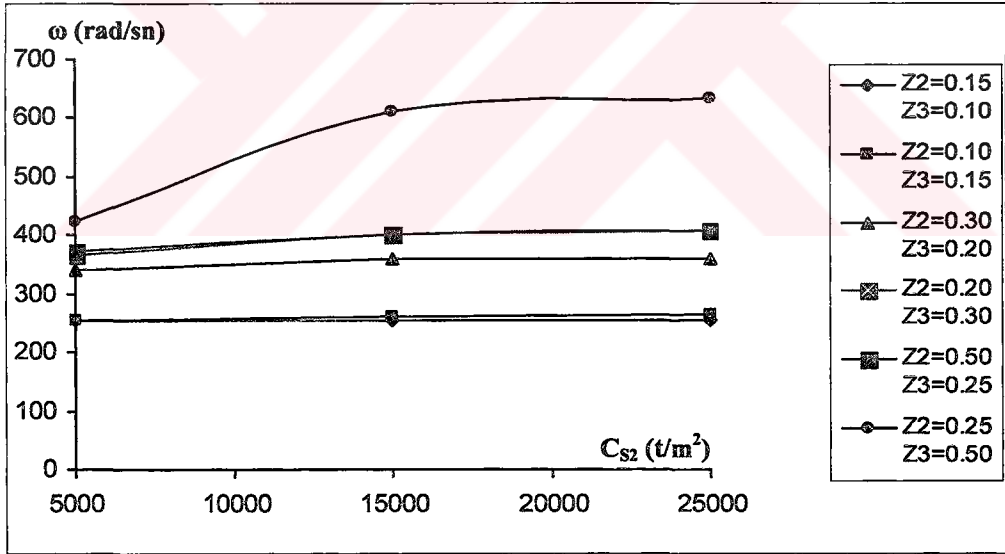


(b)

Şekil 7.39 a:  $C_{s1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi  
 b:  $C_{s1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 2. moduna ait açısal frekans değişimi



(a)



(b)

Şekil 7.40 a:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=0.25$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açılmal frekans değişimi

b:  $C_{S1}=3000 t/m^2$  ve  $N_r=1.00$  için bir ucu ankastre mesnetli, diğer ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın 3. moduna ait açılmal frekans değişimi

$z_2=0,15$  ve  $z_3=0,10$  ile  $z_2=0,10$  ve  $z_3=0,15$  boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın; 1. moduna ait açısız frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 1000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.32a) ve (Şekil 7.32b) numaralı grafiklerde, 2000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.35a) ve (Şekil 7.35b) numaralı grafiklerde, 3000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.38a) ve (Şekil 7.38b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın; 2. moduna ait açısız frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 3000 t/m<sup>2</sup> iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.39a) ve (Şekil 7.39b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın; 3. moduna ait açısız frekansın sayısal değerlerinde yakınsaklığa rastlanmamıştır.

$z_2=0,30$  ve  $z_3=0,20$  ile  $z_2=0,20$  ve  $z_3=0,30$  boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın; 1. moduna ait açısız frekansın sayısal değerleri birbirine çok yakın çıktığı için, 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 1000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.32a) ve (Şekil 7.32b) numaralı grafiklerde, 2000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.35a) ve (Şekil 7.35b) numaralı grafiklerde, 3000 t/m<sup>2</sup> iken (Şekil 7.38a) ve (Şekil 7.38b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın; 2. moduna ait açısız frekansın sayısal değerleri sadece 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı; 3000 t/m<sup>2</sup> iken birbirine çok yakın çıktığı için (Şekil 7.39a) ve (Şekil 7.39b) numaralı grafiklerde değerler çakışık gösterilmiştir. Aynı boyutsuz konum parametreleri için, zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazığın; 3. moduna ait açısız frekansın sayısal değerlerinde yakınsaklığa rastlanmamıştır.

---

## BÖLÜM SEKİZ

## SONUÇLAR

---

Yüksek lisans tezinde, elastik zemine kısmi gömülü, mesnet koşulları farklı dört tip kazığın; serbest titreşimine ait doğrusal – homojen frekans denklemlerinin çözümü için, ardışık hesap algoritması esasına dayanan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Kazık uçlarının mesnetleme koşullarına bağlı olarak; kazığa etkiyen aksenal dış kuvvet değeri, kazığın Euler kritik burkulma yük değerinin %25, %50, %75 ve %100 oranlarında alınarak, kesme kuvveti ve eğilme momenti tesirlerinin hesaba katıldığı kazığın ilk üç mod için serbest titreşimine ait açısal frekanslarındaki değişim incelenmiş, açısal frekans değerlerinin değişimi grafikler halinde sunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında; marina, liman yapıları ile köprü ve viyadük ayaklarında sıklıkla kullanılan, elastik zemine kısmi gömülü kazıkların serbest titreşimine ait açısal frekans değerleri; zemin türüne, aksenal yükün değerine ve kazık rijitliğine bağlı olarak elde edilmiş ve bu açısal frekans değerleri grafikler halinde sunularak, projeciye ışık tutulması amaçlanmıştır.

İki tabakalı zemine kısmi gömülü kazığa etkiyen aksenal basınç kuvveti değerinin, Euler kritik yükünün sırası ile 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0 katı alınması ile açısal frekans değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu azalma özellikle; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazık ile zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazıkta belirgin hale dönüşmektedir.

Elastik zemine kısmi gömülü kazığın, tüm mesnet koşulları için, kazığın zemin üzerindeki 1. bölgede kalan uzunluğunun, kazık uzunluğuna bölünmesi ile elde edilen ( $z_1$ ) oranı arttıkça; ilk üç mod için açısal frekans değerlerinde azalma gözlenmiştir. ( $z_1$ ) oranının sabit kalması koşulu ile, kazığın 2. bölgede kalan uzunluğunun, kazık uzunluğuna bölünmesi ile elde edilen ( $z_2$ ) oranı, kazığın 3. bölgede kalan uzunluğunun, kazık uzunluğuna bölünmesi ile elde edilen ( $z_3$ ) oranına göre arttıkça; her iki ucu serbest kazık için 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı  $1000 \text{ t/m}^2$ ,  $2000 \text{ t/m}^2$  ve  $3000 \text{ t/m}^2$  iken birinci moda ait açısal frekans değerlerinde dikkate alınabilecek artışlar ve azalışlar gözlenmemiştir. Aynı mesnet koşulu için 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı  $1000 \text{ t/m}^2$ ,  $2000 \text{ t/m}^2$  ve  $3000 \text{ t/m}^2$  iken ikinci ve üçüncü moda ait açısal frekans değerlerinde ( $z_2$ ) oranındaki artışa paralel azalma gözlenmiştir. ( $z_1$ ) oranı sabit iken, ( $z_2$ ) oranı; ( $z_3$ ) oranına göre arttıkça; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu serbest kazık; zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu basit mesnetli kazık ve zemine gömülü ucu ankastre mesnetli, zemin üzerindeki ucu kayıcı ankastre mesnetli kazık için 2. bölgeye ait  $C_{S1}$  katsayısı  $1000 \text{ t/m}^2$ ,  $2000 \text{ t/m}^2$  ve  $3000 \text{ t/m}^2$  iken birinci moda ait açısal frekans değerlerinde sadece ( $z_2=0,50$ ;  $z_3=0,25$  ile  $z_2=0,25$ ;  $z_3=0,50$ ) kombinasyonlarında dikkate alınabilecek değişim gözlenebilmesine rağmen, ikinci ve üçüncü moda ait açısal frekans değerlerinde ( $z_2$ ) oranındaki artışa paralel azalma gözlenmiştir. Diğer bir deyişle; ( $z_1$ ) oranı sabit iken, ( $z_2$ ) oranı ile ( $z_3$ ) oranı arasındaki rölatif fark arttıkça, her iki ucu serbest kazık dışındaki diğer mesnet koşulları için, birinci moda ait açısal frekans değerleriyle; tüm mesnet koşulları için, ikinci ve üçüncü modlara ait açısal frekans değerlerindeki değişim çok daha belirgin hale gelmektedir.

2. bölgeye ait zemin yatak katsayısı ile ( $z_1$ ), ( $z_2$ ) ve ( $z_3$ ) oranlarının sabit kalması koşulu ile, 3. bölgeye ait zemin yatak katsayısı arttıkça, tüm mesnet koşulları için ilk üç moda ait açısal frekans değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Benzer şekilde, ilk üç moda ait açısal frekans değerlerindeki artış; 3. bölgeye ait zemin yatak katsayısı ile ( $z_1$ ), ( $z_2$ ) ve ( $z_3$ ) oranlarının sabit kalması koşulu ile, 2. bölgeye ait zemin yatak katsayısı arttıkça kendisini göstermiştir. Bir başka deyişle, zemin bir bütün olarak düşünüldüğünde; zemin rijitliği, kazık rijitliğine oranla arttıkça; tüm mesnet koşulları için ilk üç moda ait açısal frekans değerlerinde artış olmaktadır.

---

## KAYNAKLAR

---

Aktaş, Z. & Öncül, H. & Ural, S. (1991). Sayısal Çözümleme. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları.

Ayres, F. (1978). Teori ve Problemlerle Diferansiyel Denklemler. (Çev.: Pakdemirli, E.), Ankara: Güven Kitapevi.

Birand, A.A. (2001). Kazıklı Temeller. Ankara: Teknik Yayınevi.

Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design (5<sup>th</sup> ed.). USA: McGraw – Hill.

Celep, Z. & Kumbasar, N. (1996). Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş (2. Baskı). İstanbul: Sema Matbaacılık.

Çatal, H.H. (2002). Free Vibration of Partially Supported Piles with the Effects of Bending Moment, Axial and Shear Force. Engineering Structures, 24, 1615-1622.

Doyle, P.F. & Pavlovic, M.N. (1982). Vibration of Beams on Partial Elastic Foundations. Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 10, 663-674.

Gérardin, M. & Rixen, D. (1998). Mechanical Vibrations: Theory and Application to Structural Dynamics (2<sup>th</sup> ed.). England: John Wiley & Sons Ltd.



- Hetenyi, M. (1946). Beams on Elastic Foundations (7<sup>th</sup> ed.). Michigan: The University of Michigan Press.
- İnan, M. (1964). Elastomekanikte Başlangıç Değerleri Metodu ve Taşıma Matrisi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- İnan, M. (1996). Cisimlerin Mukavemeti (7.Baskı). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı Yayınları.
- Novak, M. (1974). Dynamic Stiffness and Damping of Piles. Canadian Geotechnical Journal, 11, 574-594.
- Novak, M. & Beredugo, Y.O. (1972). Vertical Vibration of Embedded Footings. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, 98, 1291-1310.
- Paz, M. (1997). Structural Dynamics (4<sup>th</sup> ed.). USA: Chapman & Hall.
- Rogers, G.L. (1959). An Introduction to the Dynamics of Frame Structures. New York: John Willey & Sons.
- Terzaghi, K. (1955). Evaluation of Coefficient of Subgrade Reaction. Geotechnique, 5, 297-326.
- Valsangkar, A.J. & Pradhanang, R.B. (1987). Free Vibration of Partially Supported Piles. Journal of Engineering Mechanics, 13, 1244-1247.
- Vesic, A.S. (1961). Bending of Beams Resting on Isotropic Elastic Solid. Journal of Engineering Mechanical Division, 87, 35-53.
- Yeşilce, Y. & Çatal, S. & Çatal, H.H. (2003). Yatak Katsayısı Değişken Zemine Gömülü Kazıkların Serbest Titreşimi. Gaziantep: XIII. Ulusal Mekanik Kongresi.

---

## EKLER

---

**Ek-1: Elastik zemine kısmi gömülü kazığın serbest titreşimine ait açısal frekans değerlerini veren bilgisayar programının akış diyagramı**

Elastik zemine kısmi gömülü; aksenal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti etkisindeki kazığın serbest titreşimine ait açısal frekansların değerini veren “yy-pile” isimli bilgisayar programının akış diyagramı aşağıda sunulmuştur.

