

**İKİ PARAMETRELİ ELASTİK ZEMİNE OTURAN
PLAKLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kadir Koray GÖREN
501991183**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2002**

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Mecit ÇELİK

**Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Ahmet Işın SAYGUN
Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI**

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında, iki parametrelili elastik zemine oturan plakların hesabı yapılmıştır.

Bu çalışma süresince değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım hocam Prof.Dr.Ahmet Işın SAYGUN'a , tez danışmanım Y.Doç.Dr. Mecit ÇELİK'e ve arkadaşım Kemal ÖZKIRŞEHİRLİ'ye yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

13 Mayıs 2002

Kadir Koray GÖREN

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanıtımı	1
1.2. Çözüm Yöntemi	6
1.3. Çalışmanın Kapsamı	7

BÖLÜM 2. İKİ PARAMETRELİ ELASTİK ZEMİNE OTURAN PLAKLAR

2.1. İki Parametrelili Zemin Karakteristiklerinin Tanımı ve Hesabı	9
2.2. İki Parametrelili Zemin Tepkilerinin Plak Sonlu Elemanlarda Göz Önüne Alınması	17
2.2.1. 16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Plak Elemanda [C] ve [C _T] Matrisleri	20
2.3. Temel Dışı İki Parametrelili Zemin Ortamının Sonlu Elemanlarla İdealize Edilmesi	25
2.3.1. 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Elemanda [C] ve [C _T] Matrisleri	28

BÖLÜM 3. SAYISAL ÖRNEKLER

3.1. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plagın Zemin Elastisite Modülünün Farklı Değişim Durumları İçin Hesabı	31
3.1.1. Elastisite Modülünün Sabit Olması Durumu	32
3.1.2. Elastisite Modülünün Lineer Değişmesi Durumu	33
3.1.3. Elastisite Modülünün Kuadratik Değişmesi Durumu	34
3.1.4. Sonuçların Değerlendirilmesi	36
3.2. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Boşluklu Plagın Elastisite Modülünün Derinlikle Kuadratik Değişmesi Durumunda Hesabı	38
3.2.1. Elastisite Modülünün Kuadratik Değişmesi Durumu	39
3.2.2. Sonuçların Değerlendirilmesi	40
3.2.3. Çökme Yüzeyleri	40
3.3. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plagın Elastisite Modülünün Derinlikle Kuadratik Değişmesi Durumunda Hesabı	43
3.3.1. Üniform Yayılı Yükleme	43
3.3.2. Sonuçların Değerlendirilmesi	45
3.3.3. Tekil Yükleme	46
3.3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi	48
3.3.5. Çökme ve Moment Yüzeyleri	48
3.4. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Aynı Özellikteki İki Plagın Aralarındaki Mesafeye Bağlı Olarak Karşılıklı Etkileşimi	49

3.4.1. Üniform Yayılı Yükleme	50
3.4.1.1 Elastisite Modülü Oranının 1 Olması Durumu	50
3.4.1.2 Elastisite Modülü Oranının 3 Olması Durumu	51
3.4.1.3 Elastisite Modülü Oranının 5 Olması Durumu	53
3.4.1.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	54
3.4.2. Tekil Yükleme	55
3.4.2.1 Elastisite Modülü Oranının 1 Olması Durumu	55
3.4.2.2 Elastisite Modülü Oranının 3 Olması Durumu	57
3.4.2.3 Elastisite Modülü Oranının 5 Olması Durumu	58
3.4.2.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	59
3.4.3. Çökme ve Moment Yüzeyleri	60
BÖLÜM 4. SONUÇLAR	61
KAYNAKLAR	62
EKLER	63
ÖZGEÇMİŞ	79

SEMBOL LİSTESİ

x, y, z	: Kartezyen koordinatlar
u, v, w	: Plak yüzeyinde koordinatlar doğrultusundaki yer değiştirmeler
β_x	: Ortalama yüzeyin x ekseninde dönmesi
β_y	: Ortalama yüzeyin y ekseninde dönmesi
ϵ_x, ϵ_y	: x, y ekseninde meydana gelen deformasyonlar
$\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$	: Kayma deformasyonları
M_x, M_y	: Eğilme momentleri
T_x, T_y	: Kesme kuvvetleri
a, b	: Dikdörtgen plağın kenar uzunlukları
w_e	: Ortalama yüzeyin eğilme deformasyonlarından dolayı oluşan çökmesi
E, ν, G	: Elastisite modülü, Poisson oranı, Kayma modülü
h	: Plak kalınlığı
d_i	: Eğilme deformasyonlarına bağlı plak uç deplasmanları
$\bar{d}_i$	: Eğilme deformasyonlarına bağlı plak uç deplasmanları
$[]$	: Matris gösterimi
l_1, l_2	: Uç deplasmanlarının birim değerlerine karşı gelen lineer deplasman fonksiyonları
D	: Plak eğilme rijitliği
$[T_x], [T_y], [T]$	: Transformasyon matrisleri
$[B_d]$	: Eleman deformasyon matrisi
$[B]_{ij}$	: Eleman deformasyon alt matrisleri
$\varnothing(z)$	: Zemin çökme yüzeyinin fonksiyonu
τ_{zx}, τ_{zy}	: Zemindeki kayma gerilmeleri
C	: Zemine ait elastik yataklanma katsayısı
C_T	: Zemine ait kayma parametresi
q_z	: Zemin reaksiyonları
γ	: Zemin yüzey parametresi
E_s, ν_s	: Zeminin elastisite modülü ve Poisson oranı
$[C]$	: Zemin elastik yataklanma matrisi
$[C_T]$	: İki parametrelili zeminde kayma parametresi matrisi
$[A_d]_z$	: Zemin eleman birim durum fonksiyonları matrisi
H	: Sıkışabilen zemin tabakası kalınlığı
B	: Zemin etkilerinin yayılma bölgesinin genişliği
f_i, g_i	: Uç deplasmanlarının birim değerlerine karşı gelen kübik deplasman fonksiyonları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : Winkler Zemin Modeli	2
Şekil 1.2 : Filonenko - Brodich Zemin Modeli	3
Şekil 1.3 : Hetenyi Zemin Modeli	4
Şekil 1.4 : Pasternak Zemin Modeli	5
Şekil 1.5 : Vlasov Zemin Modeli	6
Şekil 2.1a : Yüzeysel Temel Görünüşü	9
Şekil 2.1b : Yüzeysel Temel Kesiti	9
Şekil 2.2 : Zemine Etkiyen İç Kuvvetler	10
Şekil 2.3 : dz Kalınlığındaki Zemin Tabakasına Etkiyen Yükler	13
Şekil 2.4 : Elastisite Modülünün Lineer Değişimi	15
Şekil 2.5 : Elastisite Modülünün Kuadratik Değişimi	16
Şekil 2.6 : Dönmelere Bağlı Olarak Zeminden Temele Gelen Tepkiler	17
Şekil 2.7 : Dikdörtgen Elemanda Yüzeydeki ve Sınırdaki Zemin Tepkileri	18
Şekil 2.8 : 16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Plak Sonlu Eleman	20
Şekil 2.9 : Temel Çevre Ortamının Bölgelere Ayrılması	25
Şekil 2.10 : Planda Düzgün Olmayan Radye Temel Örneği	26
Şekil 2.11 : Radye Temel Çevre Genişliği	26
Şekil 2.12 : 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Eleman	28
Şekil 3.1 : Simetri Eksenlerine Göre $\frac{1}{4}$ lük Sistem	31
Şekil 3.2 : Simetri Eksenlerine Göre $\frac{1}{4}$ lük Sistem	38
Şekil (3.3a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ İken Çökme Yüzeyi	41
Şekil (3.3b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ İken Çökme Yüzeyi	41
Şekil (3.3c) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ İken Çökme Yüzeyi	42
Şekil (3.3d) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 10$ İken Çökme Yüzeyi	42
Şekil 3.4 : Simetri Eksenlerine Göre $\frac{1}{4}$ lük Sistem	43
Şekil 3.5 : Simetrik Sistemde Tekil Yük	46
Şekil 3.6 : Plak-Zemin Bölgesi	49
Şekil 3.7 : Simetri Eksenlerine Göre $\frac{1}{4}$ lük Sistem	49
Şekil 3.8 : Simetri Eksenlerine Göre $\frac{1}{4}$ lük Sistem	55
Şekil (A.1a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=5$ m İken Çökme Yüzeyi	63
Şekil (A.1b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=5$ m İken Çökme Yüzeyi	63
Şekil (A.1c) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=5$ m İken Çökme Yüzeyi	63
Şekil (A.2a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=10$ m İken Çökme Yüzeyi	64
Şekil (A.2b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=10$ m İken Çökme Yüzeyi	64
Şekil (A.2c) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=10$ m İken Çökme Yüzeyi	64
Şekil (A.3a) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=10$ m İken Çökme Yüzeyi	65
Şekil (A.3b) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=10$ m İken Çökme Yüzeyi	65

Şekil (A.3c) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=10$ m İken Çökme Yüzeyi	65
Şekil (A.4a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=5$ m İken M_x Moment Yüzeyi	66
Şekil (A.4b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=5$ m İken M_y Moment Yüzeyi	66
Şekil (A.5a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=5$ m İken M_x Moment Yüzeyi	67
Şekil (A.5b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=5$ m İken M_y Moment Yüzeyi	67
Şekil (A.6a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=5$ m İken M_x Moment Yüzeyi	68
Şekil (A.6b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=5$ m İken M_y Moment Yüzeyi	68
Şekil (A.7a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi	69
Şekil (A.7b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi	69
Şekil (A.8a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi	70
Şekil (A.8b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi	70
Şekil (A.9a) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi	71
Şekil (A.9b) : Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi	71
Şekil (A.10a) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi	72
Şekil (A.10b) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi	72
Şekil (A.11a) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi	73
Şekil (A.11b) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi	73
Şekil (A.12a) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi	74
Şekil (A.12b) : Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi	74
Şekil (B.1a) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.1$ İken Çökme Yüzeyi	75
Şekil (B.1b) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.5$ İken Çökme Yüzeyi	75
Şekil (B.1c) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 2$ İken Çökme Yüzeyi	75
Şekil (B.2a) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.1$ İken M_x Moment Yüzeyi	76
Şekil (B.2b) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.1$ İken M_y Moment Yüzeyi	76
Şekil (B.3a) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.5$ İken M_x Moment Yüzeyi	77
Şekil (B.3b) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.5$ İken M_y Moment Yüzeyi	77
Şekil (B.4a) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 2$ İken M_x Moment Yüzeyi	78
Şekil (B.4b) : Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 2$ İken M_y Moment Yüzeyi	78

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : 16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Elemanın Elastik Yataklanma Alt Matrisleri	23
Tablo 2.2 :16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Elemanın Kayma Parametresine Bağlı Alt Matrisleri	24
Tablo 2.3 : 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Elemanın Elastik Yataklanma Matrisi	29
Tablo 2.4 : 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Elemanın Kayma Parametresi Matrisi	29
Tablo 2.5 : Dikdörtgen Zemin Sonlu Eleman Deformasyon Matrisi	30
Tablo 3.1 : Tekil Yük Durumu	32
Tablo 3.2 : Yayılı Yük Durumu	32
Tablo 3.3 : Tekil Yük Durumu	33
Tablo 3.4 : Yayılı Yük Durumu	33
Tablo 3.5 : Tekil Yük Durumu	33
Tablo 3.6 : Yayılı Yük Durumu	33
Tablo 3.7 : Tekil Yük Durumu	34
Tablo 3.8 : Yayılı Yük Durumu	34
Tablo 3.9 : Tekil Yük Durumu	34
Tablo 3.10 : Yayılı Yük Durumu	34
Tablo 3.11 : Tekil Yük Durumu	35
Tablo 3.12 : Yayılı Yük Durumu	35
Tablo 3.13 : Tekil Yük Durumu	35
Tablo 3.14 : Yayılı Yük Durumu	35
Tablo 3.15 : Tekil Yük Durumu	36
Tablo 3.16 : Yayılı Yük Durumu	37
Tablo 3.17 : Yayılı Yük Durumu	39
Tablo 3.18 : Yayılı Yük Durumu	39
Tablo 3.19 : Yayılı Yük Durumu	39
Tablo 3.20 : Yayılı Yük Durumu	40
Tablo 3.21 : Yayılı Yük Durumu	40
Tablo 3.22 : Yayılı Yük Durumu	44
Tablo 3.23 : Yayılı Yük Durumu	44
Tablo 3.24 : Yayılı Yük Durumu	44
Tablo 3.25 : Yayılı Yük Durumu	44
Tablo 3.26 : Yayılı Yük Durumu	45
Tablo 3.27 : Yayılı Yük Durumu	45
Tablo 3.28 : Yayılı Yük Durumu	45
Tablo 3.29 : Tekil Yük Durumu	46
Tablo 3.30 : Tekil Yük Durumu	47
Tablo 3.31 : Tekil Yük Durumu	47
Tablo 3.32 : Tekil Yük Durumu	47
Tablo 3.33 : Tekil Yük Durumu	47
Tablo 3.34 : Tekil Yük Durumu	48

Tablo 3.35	: Tekil Yük Durumu	48
Tablo 3.36	: Yayılı Yük Durumu	50
Tablo 3.37	: Yayılı Yük Durumu	50
Tablo 3.38	: Yayılı Yük Durumu	50
Tablo 3.39	: Yayılı Yük Durumu	51
Tablo 3.40	: Yayılı Yük Durumu	51
Tablo 3.41	: Yayılı Yük Durumu	51
Tablo 3.42	: Yayılı Yük Durumu	52
Tablo 3.43	: Yayılı Yük Durumu	52
Tablo 3.44	: Yayılı Yük Durumu	52
Tablo 3.45	: Yayılı Yük Durumu	52
Tablo 3.46	: Yayılı Yük Durumu	53
Tablo 3.47	: Yayılı Yük Durumu	53
Tablo 3.48	: Yayılı Yük Durumu	53
Tablo 3.49	: Yayılı Yük Durumu	54
Tablo 3.50	: Yayılı Yük Durumu	54
Tablo 3.51	: Yayılı Yük Durumu	54
Tablo 3.52	: Tekil Yük Durumu	55
Tablo 3.53	: Tekil Yük Durumu	56
Tablo 3.54	: Tekil Yük Durumu	56
Tablo 3.55	: Tekil Yük Durumu	56
Tablo 3.56	: Tekil Yük Durumu	56
Tablo 3.57	: Tekil Yük Durumu	57
Tablo 3.58	: Tekil Yük Durumu	57
Tablo 3.59	: Tekil Yük Durumu	57
Tablo 3.60	: Tekil Yük Durumu	58
Tablo 3.61	: Tekil Yük Durumu	58
Tablo 3.62	: Tekil Yük Durumu	58
Tablo 3.63	: Tekil Yük Durumu	58
Tablo 3.64	: Tekil Yük Durumu	59
Tablo 3.65	: Tekil Yük Durumu	59
Tablo 3.66	: Tekil Yük Durumu	59
Tablo 3.67	: Tekil Yük Durumu	60

ÖZET

Bu çalışmada iki parametrelili elastik zemine oturan plakların hesabı yapılmıştır. Çözümde zemine ait elastisite modülünün derinlikle kuadratik değişimi ele alınarak zemin yüzey parametresi, zemine ait elastik yataklanma katsayısı ve kayma parametresi bir ardışık yaklaşım yöntemi ile hesaplanmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konunun önemi, problemin ortaya konulması ve çözüm aşamaları belirtilmiştir. Konu hakkında daha önce yapılan çalışmalar doğrultusunda ortaya konulan matematik modeller kısaca anlatılmıştır. Sistemin çözümü için kullanılan çözüm yöntemi ve yöntemin uygulanışı hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca çalışmanın kapsam ve amacı yer almaktadır.

İkinci bölümde iki parametrelili elastik zeminde, zemin karakteristiklerinin tanımı yapılarak iki parametrelili zemine oturan plakların altında, temel plağı dışında kalan noktalarda sistemin diferansiyel denklemi elde edilmiş ve virtüel iş teoremi yardımı ile zemine ait karakteristik büyüklüklerin ardışık yaklaşım yöntemi ile elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu bölümde 16 serbestlik dereceli dikdörtgen plak sonlu eleman ile 4 serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu elemana ait elastik yataklanma ve kayma parametresi matrisleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde çalışma ile ilgili sayısal örnekler yapılmıştır. Bazı örneklerde bulunan sonuçlarla daha önce yapılmış çalışmalar karşılaştırılmıştır. Bir örnekte ise iki plak arasındaki karşılıklı etkileşim gösterilmiştir. Çözüm sonucunda ulaşılan sayısal sonuçlar tablolar ve şekillerle gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde ise çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar topluca verilmiştir.

SUMMARY

In this study, the analysis of plates on two parameter foundation has been done in case of quadratic change of modulus of elasticity with depth, in accordance with iteration process by calculation of mode shape parameter, the elastic bedding coefficient and the shear parameter.

The study consists of four sections. In the first section the purpose of the analysis, description of the study and the steps of the analysis have been examined. The mathematical models that were used in the previous studies have been introduced and necessary information regarding the algorithm of the software and its implementation has been given. Moreover, the scope and the objective of the study have been indicated.

In the second section characteristics of two parameter foundation have been described, the governing differential equations are derived both below and outside of the plate by using the virtual work theorem, numerical characteristics of the foundation has been introduced in accordance with iteration approach. The elastic bedding and shear parameter matrices of rectangular plate element with 16 degrees of freedom and rectangular element soil element with four degrees of freedom have been given.

In the third section numerical examples have been given regarding the calculations mentioned above. The results of the related calculations have been compared with the results of the previous studies. In another example results related with different distances between two plates having the same properties have been discussed. Also surface figures have been drawn by using the numerical results.

Finally aggregated results of the study have been examined in the fourth section.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanıtımı

Yapıların zemine oturtulduğu göz önüne alındığında yapı-zemin ilişkisinin inşaat endüstri açısından öneminin büyüklüğü anlaşılmaktadır. Her hangi bir yapı ile ilgili mühendislik çözüm yapılırken yapı ile zemin arasındaki etkileşimin doğru, gerçekçi bir şekilde ortaya koyulması kesin çözüme ulaşılması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple elastik zemine oturan yapı elemanlarının analizi hakkında pek çok çalışma yapılmıştır. Zemine oturan yapı elemanının davranışı ve zeminin kendi davranışı birbiriyle karşılıklı etkileşimi modellerle ifade edilmiştir.

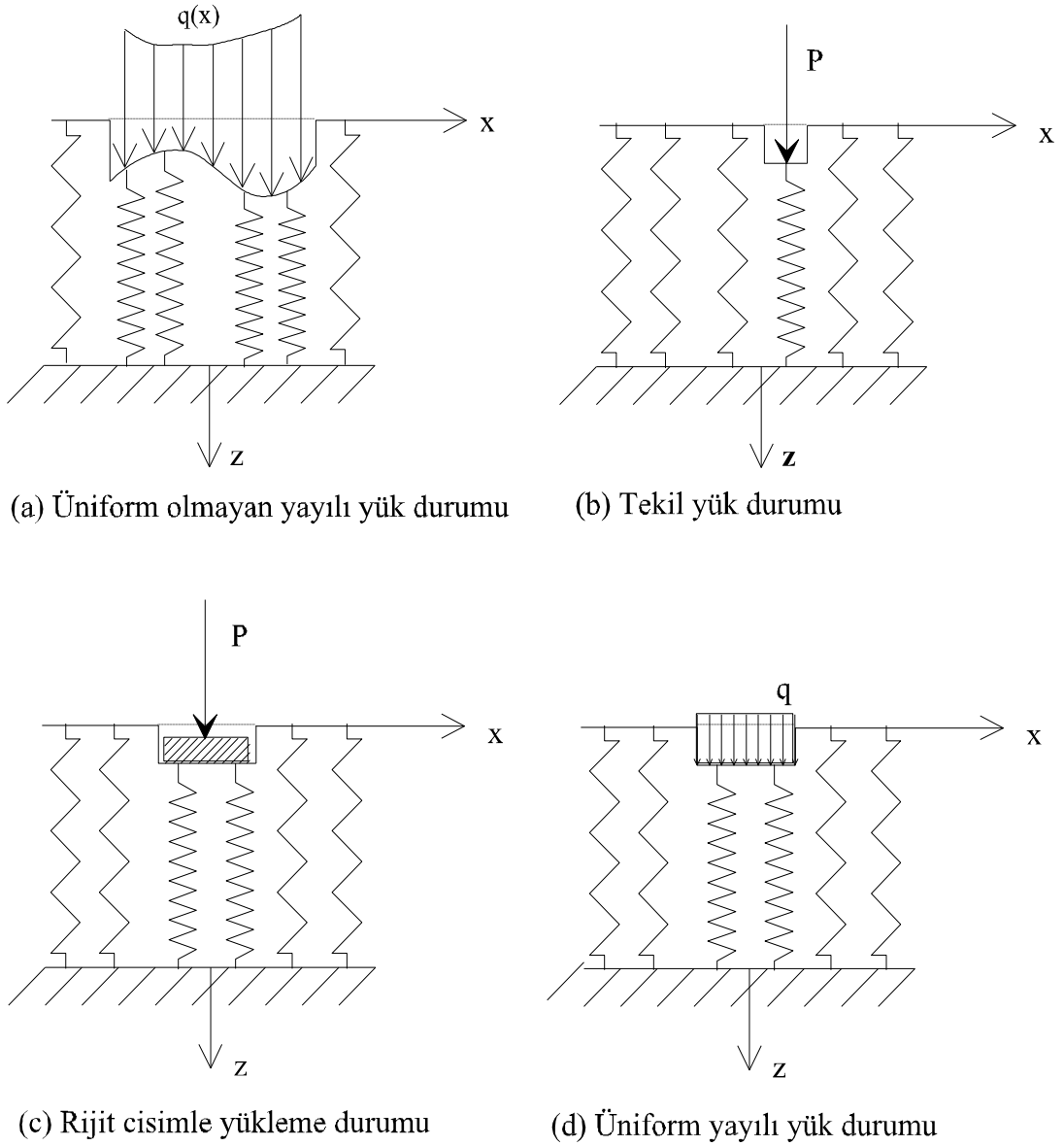
Elastik zemine oturan plakların analizini üç aşamadan oluştuğu kabul edilebilir. İlk aşama, yapının ve zeminin karşılıklı davranışlarını en iyi şekilde temsil edecek uygun zemin modelinin seçilmesidir. İkinci aşama zemine ve plağa ait değerlerin seçilmesidir. Son aşamada ise daha önceki aşamalardan elde edilen verilerin kullanılarak, matematik model yardımıyla problemin çözülmesi ve sonuçların değerlendirilmesidir.

Elastik zemine oturan plaklar ve kirişler problemi Winkler (1867) tarafından incelenmiş ve teorinin esasları belirlenmiştir. Bu teori, q zemin tepkilerinin, w plak çökmeleri ile doğru orantılı olduğu kabulüne dayanarak

$$q(x, y) = kw(x, y) \quad (1.1)$$

bağıntısını vermektedir.

Winkler modelinde zeminin, (1.1) ifadesinin bir sonucu olarak, birbirinden bağımsız, sadece düşey doğrultuda çalışan, lineer elastik yaylardan oluşan bir sistem olduğu kabul edilmiştir. Bunun sonucunda yükün etkideği yaylarda çökmeler oluşur. Diğer yaylarda ise hiçbir çökme oluşmaz. Şekil (1.1) de Winkler zemin modelinde değişik yüklere ait deplasman durumları gösterilmiştir.

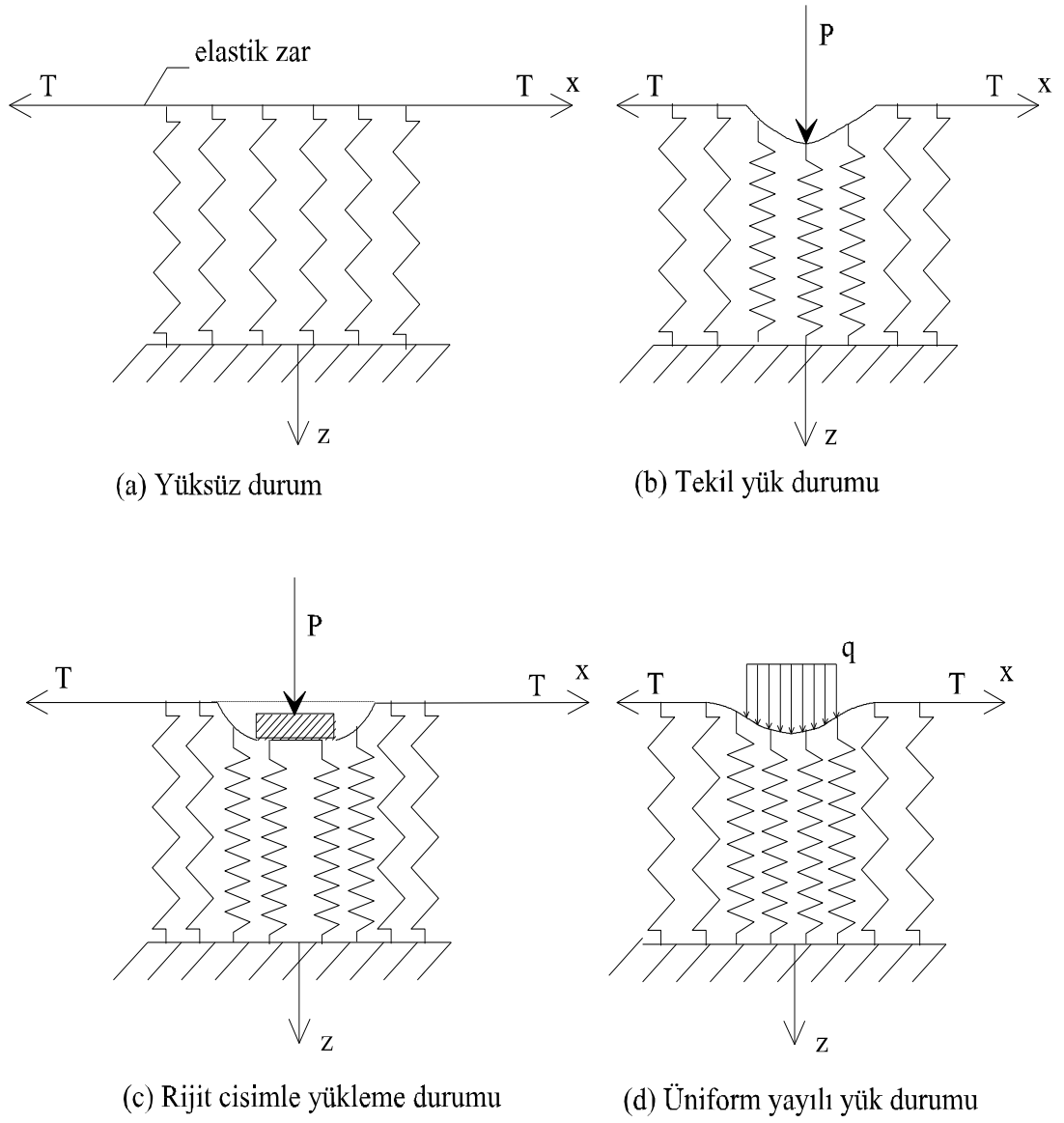


Şekil 1.1 Winkler Zemin Modeli

Winkler modelinde zemini karakterize eden sadece k (zemin yatak katsayısı) parametresi vardır.

Winkler zemin modelinin, bazı durumlarda yetersiz kalması üzerine araştırmacılar zemin sürekli ortamını daha iyi idealize edebilmek için yeni zemin modelleri geliştirmişlerdir.

Filonenko - Brodich modelinde (1940-1945), Winkler modelindeki yayların üst yüzeyi şekil (1.2) de görüldüğü gibi elastik bir zarla bağlı olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 1.2 Filonenko - Brodich Zemin Modeli

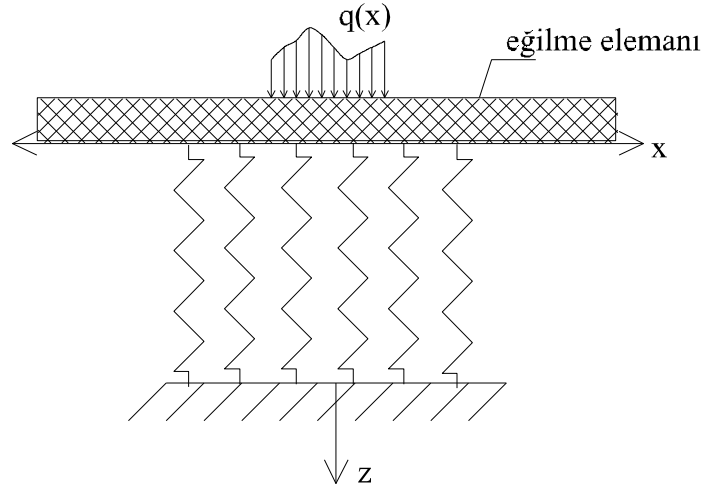
Bu modelde sisteme yükleme yapıldığında yüzeydeki zarda gerilme meydana gelir. Zar ve yay sisteminin dengesinden zeminin reaksiyonu

$$q(x, y) = kw - T \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (1.2)$$

gibi ifade edilebilir. Filonenko - Brodich modelinde, (1.2) ifadesinde de görüldüğü gibi, k Winkler modelindeki zemin yatak katsayısı, T değeriye yayları birbirine

bağlayan zarda olduğu kabul edilen sabit çekme kuvveti olmak üzere zemine ait iki parametre bulunmaktadır.

Hetenyi modelinde (1946) ise Winkler yaylarının üzerinde (şekil 1.3) , iki boyutlu problemler için elastik bir plak, tek boyutlu problemler için elastik bir kirişin olduğu kabul edilir.



Şekil 1.3 Hetenyi Zemin Modeli

Bu modelde D plağın eğilme rijitliği olmak üzere zemin reaksiyonu (1.3) ifadesiyle belirtilebilir.

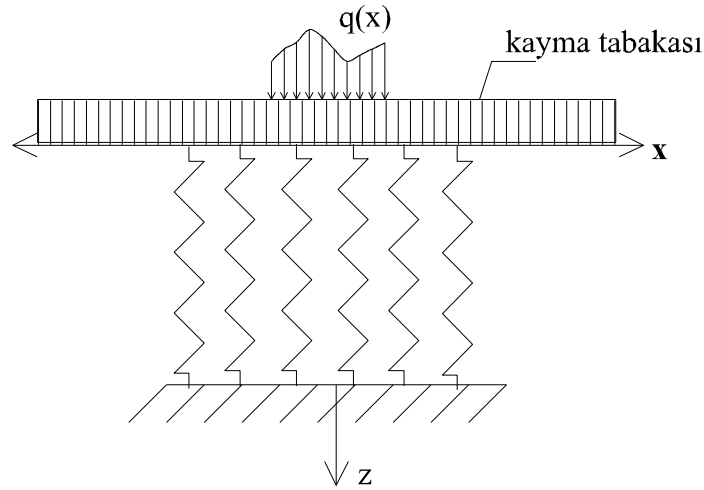
$$q(x, y) = kw - D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} \quad (1.3)$$

Bu modelde elastik zemin parametresi k ve D dir.

Pasternak modelinde (1954) Winkler modelindeki yayların üzerinde (şekil 1.4) sadece düşey deplasman yapabilen ve sıkışmayan elemanlardan oluşan, kayma tabakası göz önüne alınmıştır.

Kayma tabakası (x,y) düzleminde izotropik olduğu kabul edilmiştir. Dolayısıyla kayma tabakasının kayma modülleri arasında (1.4) bağıntısı geçerlidir.

$$G_x = G_y = G_p \quad (1.4)$$



Şekil 1.4 Pasternak Zemin Modeli

(1.4) ifadesindeki G_p ikinci zemin parametresi olmak üzere zemin reaksiyonu

$$q(x, y) = kw - G_p \nabla^2 w \quad (1.5)$$

olarak ifade edilebilir. (1.5) ifadesindeki ∇^2 Laplacen operatörü olup

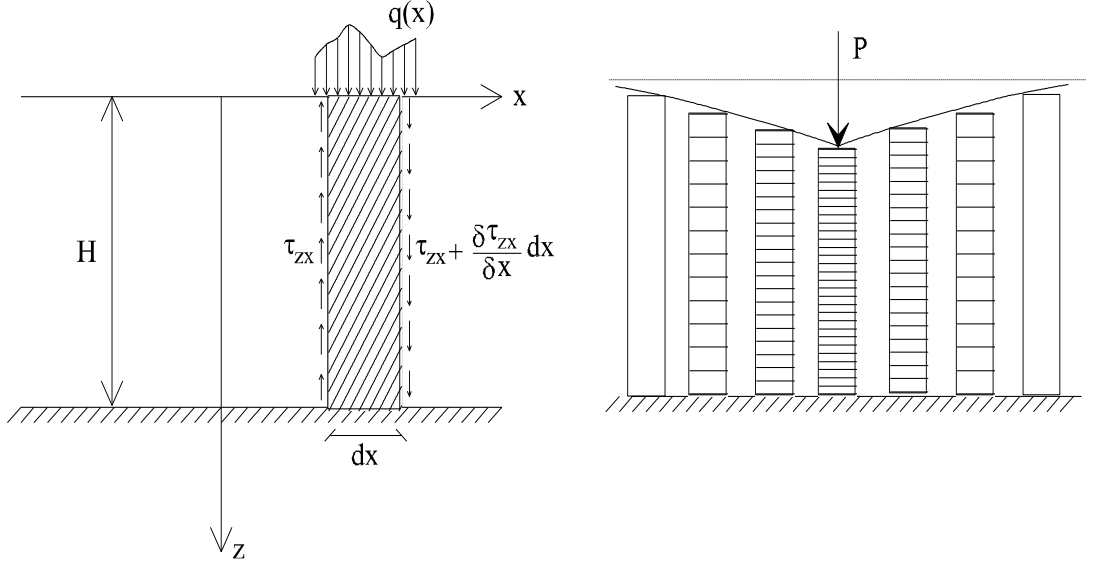
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Vlasov modelinde ise diğer zemin modellerinden farklı olarak şekil (1.5) de görüldüğü gibi x-z düzleminde ele alınan zemin kolonu için yer değiştirmeler (1.7) ifadesindeki şekilleriyle kabul edilmişlerdir.

$$u(x, z) = 0, \quad w(x, z) = w(x) \varnothing(z) \quad (1.7)$$

(1.7) ifadesinde $u(x, y)$ x-z düzleminde yatay deplasman, $w(x, z)$ aynı düzlemdeki düşey deplasman ve $\varnothing(z)$ fonksiyonu ise $w(x)$ yer değiştirmelerinin derinlik boyunca (z ekseni boyunca) değişimini veren yaklaşım fonksiyonudur.



Şekil 1.5 Vlasov Zemin Modeli

Burada zemin reaksiyonu

$$q(x, y) = kw(x, y) - 2t \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} \quad (1.8)$$

olarak ifade edilebilir. Bu modeldeki elastik zemin parametreleri k ve t dir.

Yukarıda gösterilen zemin modelleri [1] nolu referanstan alınmıştır.

1.2. Çözüm Yöntemi

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, karışık mühendislik problemlerinin çözümünü sonlu sayıda bilinmeyenli bir lineer denklem takımının çözümüne indirgendiğinden, sayısal yöntemlere ilgi artmıştır.

Bu yöntemlerden özellikle sonlu elemanlar yöntemi inşaat mühendisliği bakımından, sisteme ait bilgileri, mesnet şartlarını, dış etkilerin sürekli veya ani değişimlerini gösteren ve sistem sınırlarının düzgün olmaması halini kolaylıkla göz önüne alma

olanağı verir. Ayrıca sonlu serbestlik derecesi iki veya üç boyutlu elemanlar kullanarak karışık sistemlerin çözümüne imkan sağlamaktadır.

Bu yöntemde sonlu elemanlara bölünen bir sürekli sistemin elemanlarının yalnız düğüm noktalarında birbirlerine bağlı olduğu kabul edilir. Eleman yüzeylerinin şekil değiştirmesi ise düğüm noktalarının sonlu sayıdaki deplasman bileşenleri ve bunların koordinat değişkenlerine göre bazı türevlerinden oluşan uç deplasmanlarına bağlı fonksiyonlarının lineer kombinezonu olarak belirlenebilir. Bu şekil değiştirme durumuna ait yüklemenin ise yalnız uç deplasmanları doğrultusundaki uç kuvvetlerinden oluştuğu kabul edilir. Uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasındaki matris bağıntıları birim deplasman durumlarını tanımlayan deplasman fonksiyonlarından veya elemanda, dengede iç kuvvet durumlarından hareket edilerek enerji teoremlerinden yararlanıp tayin edilebilir. Sisteme gelen yüklerinde yalnız düğüm noktalarından etkiyebileceği kabulü sonucunda yayılı dış etkiler de düğüm noktalarına etkiyen uç kuvvetlerine dönüştürülür.

Sonuç olarak sistemin çözümü düğüm noktalarında uç deplasmanları doğrultusunda denge denklemleri anlamındaki bir lineer denklem takımının çözümüne indirgenmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminin inşaat mühendisliğinde uygulama alanlarından biri de plak sistemlerinin hesabıdır. Özellikle radye temellerinin boyutlandırılmasında Winkler tipi zemine oturan dikdörtgen sonlu elemanlar tanımlayarak bu yöntem geniş ölçüde kullanılmıştır, [2], [3]. İki parametrelili zemin karakteristiklerinin ve bu tür zemine oturan plaklara ait diferansiyel denklemler bölüm 2.1 de incelenecektir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada iki parametrelili elastik zemine oturan dikdörtgen plakların, zemin elastisite modülünün derinlikle kuadratik değişimi durumunda hesabı yapılacaktır.

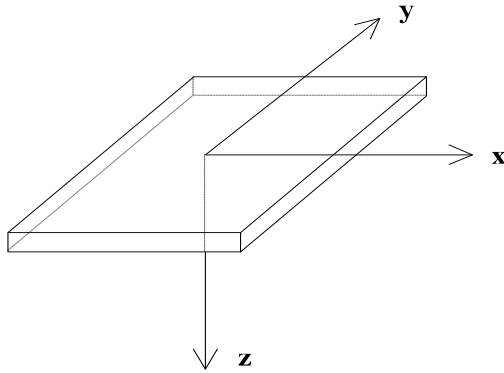
Çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılacaktır. Plak bölgesi 16 serbestlik dereceli plak sonlu elemanlara, zemin bölgesi 4 serbestlik dereceli zemin sonlu elemanlarla idealleştirilip ardışık yaklaşım metoduyla zemin yüzey parametresi ile zemine ait karakteristik büyüklükler hesaplanacaktır, [2], [4], [5].

Bu konu ile ilgili 6nceden farklı durumlar için 6z6m6 yapılmış olan 6rnekler tekrar 6z6lerek sonuçlar değerlendirilecektir. Ayıca birbirine yakın plakların aralarındaki mesafeye g6re etkileşimlerini g6steren bir 6z6m yapılacaktır.

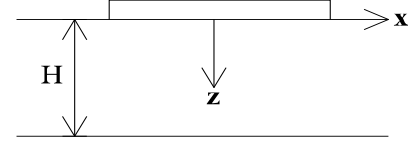
BÖLÜM 2. İKİ PARAMETRELİ ZEMİNE OTURAN PLAKLAR

2.1. İki Parametrelili Zemin Karakteristiklerinin Tanımı ve Hesabı

Şekil (2.1a) da görünüşü, şekil (2.1b) de kesiti görülen



Şekil 2.1a Yüzeysel Temel Görünüşü



Şekil 2.1b Yüzeysel Temel Kesiti

$z = 0$ düzleminde zemine oturan yüzeysel temel altında zemin çökme yüzeyi $w(x,y)$ ise, alttaki sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı H içinde kalan herhangi bir noktadaki çökme;

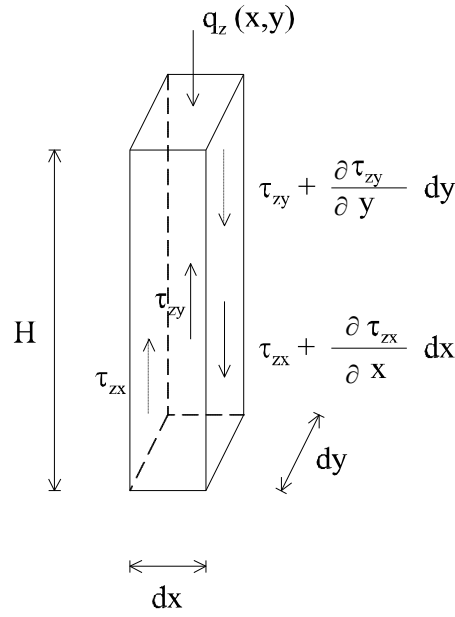
$$w_z = w(x, y)\varnothing(z) \quad (2.1)$$

gibi bir fonksiyonla gösterilebilir. $\varnothing(z)$ için sınır şartı:

$$z = 0 \rightarrow \varnothing(0) = 1 \quad (2.2a)$$

$$z = H \rightarrow \varnothing(H) = 0 \quad (2.2b)$$

olmalıdır. Zemin yüzeyi ve zemin içinde u ve v yer değiştirmeleri ise sıfır kabul edilecektir. Herhangi bir x, y noktası civarında dx, dy , H boyutlu bir zemin kolonuna gelen tesirler şekil (2.2) de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Zemine Etkiyen İç Kuvvetler

H derinliği boyunca homojen bir yapıya sahip olduğuna kabul ettiğimiz zeminin kayma modülü G_s olmak üzere çökme fonksiyonu cinsinden bu tesirler gösterilirse ;

$$\tau_{zx} = G_s \left(\frac{\partial w_z}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) = G_s \frac{\partial w(x, y)}{\partial x} \varnothing(z) \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} = G_s \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} \varnothing(z) \quad (2.4)$$

$$\tau_{zy} = G_s \left(\frac{\partial w_z}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) = G_s \frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \varnothing(z) \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} = G_s \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \varnothing(z) \quad (2.6)$$

olacaktır. Bu kolonda temelden zemine aktarılan $q_z(x,y)$ yükü ve yanal kayma gerilmeleri sonucu oluşan iç kuvvetler E_s zeminin Elastisite Modülü ve ν_s Poisson Oranı olmak üzere üç boyutlu elastik ortamda

$$\sigma_z = \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} \frac{\partial w_z}{\partial z} \quad (2.7a)$$

$$\sigma_z = \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} w(x, y) \frac{\partial \varnothing(z)}{\partial z} \quad (2.7b)$$

şeklindedir. Bu durum yükleme durumu olarak düşünülecektir. Virtüel şekil değiştirme durumu olarak ise bu kolonun üst yüzeyinin birim çökmesi alınacaktır. Bu halde z derinliğinde herhangi bir noktanın çökmesi

$$\bar{w}_z = 1. \varnothing(z) \quad (2.8)$$

boy-değişme deformasyonu ise

$$\bar{\varepsilon}_z = \frac{\partial w_z}{\partial z} = \frac{\partial \varnothing(z)}{\partial z} \quad (2.9)$$

dir. Virtüel iş teoremini uygularsak;

Dış kuvvetlerin işi:

$$\begin{aligned} q_z dx dy + \int_{z=0}^H \left\{ (\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} dx - \tau_{zx}) \right\} dy \varnothing(z) dz + \int_{z=0}^H \left\{ (\tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} dy - \tau_{zy}) \right\} dx \varnothing(z) dz = \\ \left\{ q_z + G_s \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right) \int_{z=0}^H \varnothing^2(z) dz \right\} dx dy \end{aligned} \quad (2.10)$$

İç kuvvetlerin işi:

$$\int_{z=0}^H (\sigma_z \bar{\varepsilon}_z dx dy) dz = \left\{ \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} w(x, y) \int_{z=0}^H \left(\frac{\partial \varnothing(z)}{\partial z} \right)^2 dz \right\} dx dy \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Virtüel iş teoremi gereği (2.10) ve (2.11) eşitliğinden

$$C = \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} \int_{z=0}^H \left(\frac{\partial \varnothing(z)}{\partial z} \right)^2 dz \quad (2.12)$$

$$2C_T = G_s \int_{z=0}^H \varnothing^2(z) dz \quad (2.13)$$

kısaltmaları yapılırsa

$$q_z = Cw(x, y) - 2C_T \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right) \quad (2.14)$$

eşitliği veya kısaca

$$q_z = Cw - 2C_T \Delta w \quad (2.15)$$

elde edilir.

Temelin herhangi bir noktasında üstten gelen q yükü ve temelin q_z zemin tepkisi beraber düşünülürse iki parametrelili zemine oturan eğilme plağına ait diferansiyel denge denklemi

$$D(\Delta\Delta w) = q - q_z \quad (2.16a)$$

yazılabilir. q_z in (2.15) deki ifadesi de yerine koyularak

$$D(\Delta\Delta w) - 2C_T(\Delta w) + C(w) = q \quad (2.16b)$$

elde edilir. Temel plağı dışında kalan bir noktada ise diferansiyel denklem

$$-2C_T(\Delta w) + Cw = 0 \quad (2.17)$$

olacaktır.

Bu ifadelerde C Winkler tipi zemindeki bilinen zemin yatak katsayısını, C_T ise zeminde oluşabilen kayma gerilmelerinin göz önüne alınmasıyla ortaya çıkan zemin kayma parametresini göstermektedir. (2.12) ve (2.13) deki ifadelerden bu değerlerin zeminin elastisite özelliklerine, H ve yalnız $z = 0$, $z = H$ deki sınır değerleri tam olarak bilinen $\phi(z)$ fonksiyonuna bağlı olduğu görülmektedir.

$\phi(z)$ fonksiyonunun belirlenmesi için en uygun yaklaşım [5] deki Wallabhan, Straughan ve Das tarafından verilenidir. Bu çalışmada plak ve zemin ortamının toplam potansiyel enerjisi zeminde $u = v = 0$, $w_z = w(x,y) \phi(z)$ olmak üzere (2.18a) da verildiği gibidir.

$$H = U_{plak} + U_{ze\ min} + V_{yük} \quad (2.18a)$$

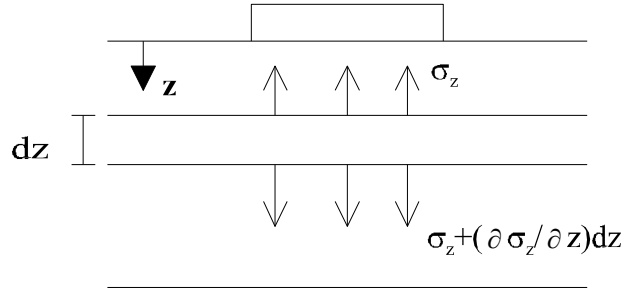
$$U_{plak} = \frac{D}{2} \iint_{\Omega} \left\{ (\nabla^2 w)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy \quad (2.18b)$$

$$U_{ze\ min} = \int_0^H \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} \{ \sigma_z \epsilon_z + \tau_{xz} \gamma_{xz} + \tau_{yz} \gamma_{yz} \} dx dy dz \quad (2.18c)$$

$$V_{yük} = - \iint_{\Omega} \bar{q} w dx dy \quad (2.18d)$$

Bu ifadenin $w(x,y)$ ye göre minimize edilmesinden yukarıda virtüel iş teoremi ile çıkarılan (2.15) ifadesi ve dolayısıyla (2.16b) ile (2.17) diferansiyel denge denklemi elde edilmiş, $\varnothing(z)$ 'e minimize edilmesiyle temel boyutlarını ve yükleme şeklinin etkisini de içerecek şekilde $\varnothing(z)$ değişimini veren sınır şartı diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

Aynı diferansiyel denklemi z derinliğinde , dz kalınlığında kayma plağı gibi çalışan bir zemin tabakasının üst ve alt yüzeyine gelen zemin gerilmelerini dış etki, x, y nin farklı noktalarında bunların farklı olmasına bağlı olarak zemin tabakasında oluşacak τ_{zx} ve τ_{zy} kayma kuvvetlerini iç kuvvetler olarak düşünüp bu hali yükleme durumu olarak virtüel iş teoreminin uygulanmasıyla elde edebiliriz.



Şekil 2.3 dz Kalınlığındaki Zemin Tabakasına Etkiyen Yükler

z derinliğindeki tabakada dış yükler;

$$\sigma_z = \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} w(x, y) \frac{\partial \varnothing(z)}{\partial z} \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} w(x, y) \frac{\partial^2 \varnothing(z)}{\partial z^2} \quad (2.20)$$

iç kuvvetler ise;

$$\tau_{zx} = G_s \frac{\partial w(x, y)}{\partial x} \varnothing(z) \quad (2.21)$$

$$\tau_{zy} = G_s \frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \varnothing(z) \quad (2.22)$$

bağıntılarından bulunabilir. Virtüel şekil değiştirme durumu olarak temel yüzeyi altında sıfırdan farklı, temelden uzaklaştıkça sönerek sıfıra gitmesi şeklindeki sınır

şartlarını sağlayan herhangi bir çökme yüzeyi seçilebilir. Özel olarak dış etkiler altındaki $w(x,y)$ çökme yüzeyi bu şartları sağladığından tabakanın virtüel şekil değiştirme durumu alınırsa:

Dış kuvvetlerin işi;

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} w(x, y) dx dy \quad (2.23)$$

İç kuvvetlerin işi;

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \tau_{zx} \frac{\partial w(x, y)}{\partial x} + \tau_{zy} \frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \right\} dx dy \quad (2.24)$$

olur.

$$m = \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} w^2(x, y) dx dy \quad (2.25)$$

$$n = G_s \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy \quad (2.26)$$

Kısaltmaları yapılarak virtüel iş teoreminden

$$-m \frac{\partial^2 \varnothing(z)}{\partial z^2} + n \varnothing(z) = 0 \quad (2.27)$$

eşitliği bulunur. $\varnothing(z)$ fonksiyonunun $z = 0$ ve $z = H$ deki sınır şartlarını ve (2.27) homojen diferansiyel denklemini sağlayan çözümü

$$\varnothing(z) = \frac{Sh \gamma (1 - \frac{z}{H})}{Sh \gamma} \quad (2.28)$$

olup, zemin yüzey parametresi diye adlandırılan γ boyutsuz katsayısı

$$\gamma^2 = \frac{n}{m} = H^2 \frac{G_s (1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)}{E_s (1 - \nu_s)} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy}{\int \int w^2 dx dy} \quad (2.29a)$$

veya

$$\gamma^2 = \frac{H^2 (1 - 2\nu_s)}{2(1 - \nu_s)} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy}{\int \int w^2 dx dy} \quad (2.29b)$$

olur.

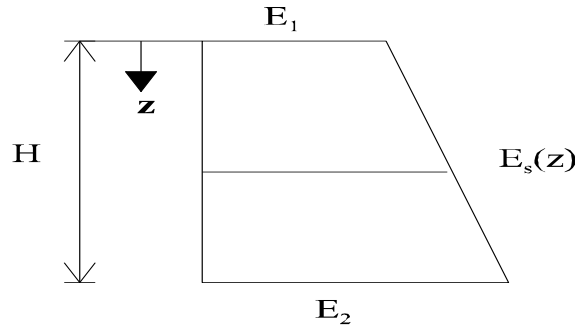
C ve $2C_T$ nin (2.12) ve (2.13) ifadelerinde $\varnothing(z)$ fonksiyonunun (2.28) deki değeri koyulur ve integraller alınır, elastisite modüllü sabit zeminlerde

$$C = \frac{E_s (1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} \frac{\gamma}{H} \frac{[Sh 2\gamma + 2\gamma]}{4Sh^2 \gamma} \quad (2.30)$$

$$2C_T = G_s \frac{H}{\gamma} \frac{[Sh 2\gamma - 2\gamma]}{4Sh^2 \gamma} \quad (2.31)$$

elastisite modülünün şekil (2.4) de gösterildiği gibi lineer değişmesi halinde, ifadeler [6],

$$E_s(z) = E_1 + (E_2 - E_1) \frac{z}{H} \quad (2.32)$$



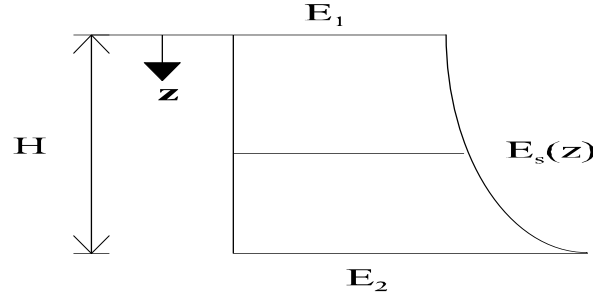
Şekil 2.4 Elastisite Modülünün Lineer Değişimi

$$C = \frac{(1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} \frac{2E_1 \gamma \sinh(2\gamma) + 2\gamma^2 (E_1 + E_2) - (E_2 - E_1)[1 - \cosh(2\gamma)]}{8H \sinh^2 \gamma} \quad (2.33)$$

$$2C_T = \frac{1}{(1 + \nu_s)} \frac{H}{\gamma^2} \frac{2E_1 \gamma \sinh(2\gamma) - 2\gamma^2 (E_1 + E_2) - (E_2 - E_1)[1 - \cosh(2\gamma)]}{16 \sinh^2 \gamma} \quad (2.34)$$

elastisite modülünün şekil (2.5) de görüldüğü kuadratik değişmesi durumunda, C ve $2C_T$ sabitleri [7],

$$E_s(z) = E_1 + (E_2 - E_1) \frac{z^2}{H^2} \quad (2.35)$$



Şekil 2.5 Elastisite Modülünün Kuadratik Değişimi

$$C = \frac{(1 - \nu_s)}{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)} \frac{3[E_2 + E_1(2\gamma^2 - 1)] \sinh(2\gamma) + 2\gamma[E_2(2\gamma^2 - 3) + E_1(3 + 4\gamma^2)]}{24 H \gamma \sinh^2 \gamma} \quad (2.36)$$

$$2C_T = \frac{H}{(1 + \nu_s)} \frac{3[E_2 + E_1(2\gamma^2 - 1)] \sinh(2\gamma) - [E_2(2\gamma^2 + 3) + E_1(4\gamma^2 - 3)] 2\gamma}{48 \gamma^3 \sinh^2 \gamma} \quad (2.37)$$

şeklinde elde edilir.

C ve C_T ifadelerinden görüldüğü gibi zemin yatak ve kayma katsayıları temel altı zeminin elastik özellikleri ve sıkışabilen tabaka kalınlığı yanında γ katsayısına bağlıdır. γ katsayısı bu değerlerin yanında temel boyutları, temel rijitliği, yükleme şekline bağlı olarak temel altında (2.16b) ve temel çevresindeki zemin bölgesinde (2.17) diferansiyel denge denklemlerini sağlayan $w(x,y)$ çökme yüzeyinin fonksiyonunun belirlenip, (2.29a) daki pay ve paydadaki integrallerin temel altı ve çevresi için alınmasıyla bulunabilir. Buradan çözüme bir ardışık yaklaşımla ulaşılabileceği anlaşılmaktadır.

Önce γ ya bir değer verilip C ve C_T bulunacak, bu değerler için temel hesabı yapıp çökme yüzeyi $w(x,y)$ belirlenecektir. (2.29b) ifadesinden yeni γ zemin yüzey parametresi hesaplanıp, bulunan yeni γ değeri için hesaplar tekrarlanacaktır. Ardışık iki adım arasındaki γ değerleri birbirine yeterince yaklaşıncaya ($\gamma_{n+1} - \gamma_n \leq 0.001$) hesaba son verilebilir. Bu ardışık yaklaşımın oldukça hızlı olduğu, başlangıçta çok

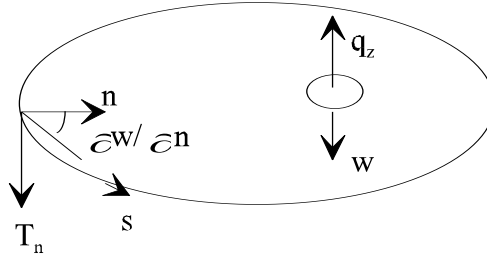
uygun olmayan bir γ değeri seçilmiş olsa bile ardışık adımlar arası γ ların farkını 5-6 adım sonrasında % 0.1' den küçük hale geldiği yapılan örneklerde görülmüştür.

2.2. İki Parametrelili Zemin Tepkilerinin Plak Sonlu Elemanlarda Göz Önüne Alınması

İki parametrelili zemine oturan bir temel plağının w çökme yüzeyine bağlı olarak oluşan zemin tepkilerinin

$$q_z = Cw - 2C_T \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.38)$$

yayıllı yükü ile ifade edilebileceği bilinmektedir. Kapalı bir yüzeysel bölge içinde yüzeysel yayıllı yük şeklindeki bu q_z tepkileri yanında bölge sınırları boyunca, zemin kayma parametresi nedeniyle sınıra dik doğrultuda dönmeye bağlı olarak şekil (2.6) daki gibi tepki kesme kuvvetlerinin de oluşacağı dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.6 Dönmelere Bağlı Olarak Zeminden Temele Gelen Tepkiler

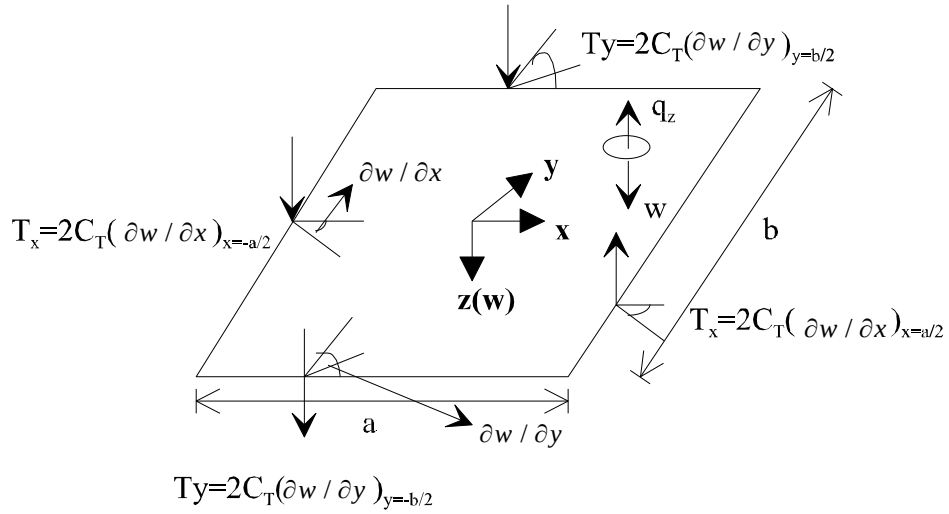
$$T_n = -2C_T \left(\frac{\partial w}{\partial n} \right) \quad (2.39)$$

Sonlu elemanların herhangi i. deplasman parametresi doğrultusunda oluşacak tesirler dış etkiler altında oluşan w şekil değiştirmesini yükleme durumu, i. deplasmanın birim değerine karşı gelen w_i çökme yüzeyini virtüel şekil değiştirme durumu olarak alıp virtüel iş teoreminin uygulanmasıyla elde edilebilir. Elemana dış kuvvet olarak

gelen zemin tepkilerinin işi ;

$$- \iint q_z w_i dA \quad (2.40)$$

yüzeysel integrali yanında, eleman kenarları boyunca T_n kesme kuvvetlerinin w_i nin kenarlarda aldığı değerleriyle yaptığı işlerin toplamı olacaktır. Örneğin (axb) boyutlarında dikdörtgen sonlu elemanda yüzeydeki ve sınırlardaki zemin tepkileri şekil (2.7) de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Dikdörtgen Elemanda Yüzeydeki ve Sınırdaki Zemin Tepkileri

Buna göre zemin tepkilerinin toplam işi

$$\begin{aligned} Id_z = & -C \iint w_i w dA + 2C_T \iint w_i \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) dA \\ & - 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=\frac{a}{2}} dy + 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=-\frac{a}{2}} dy \\ & - 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=\frac{b}{2}} dx + 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=-\frac{b}{2}} dx \end{aligned} \quad (2.41)$$

olur.

Bu ifadelerde

$$2C_T \iint w_i \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dA = 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=\frac{a}{2}} dy - 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=-\frac{a}{2}} dy - 2C_T \iint w_i \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} dA \quad (2.42a)$$

$$2C_T \iint w_i \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} dA = 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=\frac{b}{2}} dx - 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=-\frac{b}{2}} dx - 2C_T \iint w_i \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} dA \quad (2.42b)$$

kısmi integralleri alınıp (2.41) ifadesi basitleştirilirse

$$Id_z = -C \iint w_i w dA - 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right) dA \quad (2.43)$$

şeklini alıp zemin kayma parametresi C_T ye bağlı integralde, elastik yataklanma parametresi C ye bağlı integralde olduğu gibi yalnız eleman yüzeyinde bir yüzeysel integrale dönüşmektedir.

Elemanın w şekil değiştirme yüzeyi düğüm noktası uç deplasmanlarına bağlı olarak

$$w = \sum w_i d_i \quad (2.44)$$

toplamıyla ifade edildiği göz önüne alınır, eşitliğin sağ tarafında yalnız i . deplasman bileşenleri doğrultusundaki P uç kuvveti kalacak şekilde, zemin tepkileri işi eşitliğin sağına geçirilir ve

$$C_{ij} = C \iint w_i w_j dA \quad (2.45)$$

$$C_{Tij} = 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_j}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_j}{\partial y} \right) dA \quad (2.46)$$

kısıltmaları yapılırsa, virtüel iş ifadesi

$$\sum_{j=1}^n k_{ij} d_j + \sum_{j=1}^n C_{ij} d_j + \sum_{j=1}^n C_{Tij} d_j = P_i \quad (2.47)$$

olur. Elemanın her bir serbestlik derecesi için benzer iş ifadesi yazılıp, bunların hepsi matris formunda gösterilirse

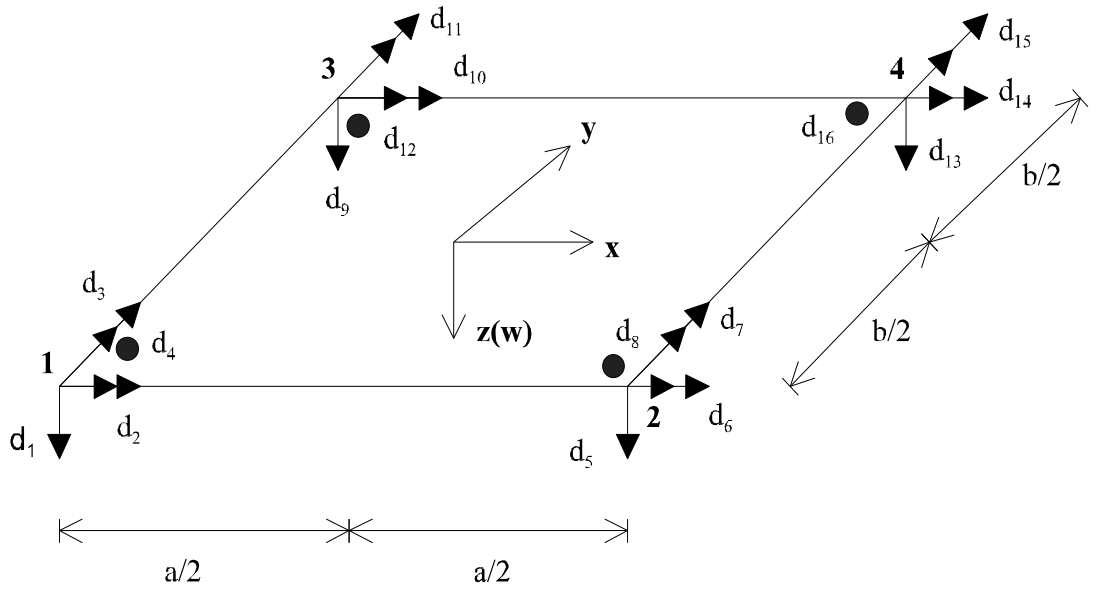
$$[K] [d] + [C] [d] + [C_T] [d] = [P] \quad (2.48)$$

bulunur. Bu bağıntılarda

[C] : C elastik zemin yataklanma katsayısına bağlı, (2.45) ifadesiyle terimleri hesaplanan eleman elastik yataklanma matrisi

[C_T] : C_T zemin kayma parametresine bağlı, terimleri (2.46) formülü ile hesaplanan eleman zemin kayma matrisi olup, zemin etkilerinin plak rijitlik matrisine katkılarını göstermektedir.

2.2.1. 16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Plak Elemanda [C] ve [C_T] Matrisleri



Şekil 2.8 16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Plak Sonlu Eleman

Bu elemanda eğilme deformasyonlarından dolayı w_e çökmeleri

$$w_e = \sum_{i=1}^{16} w_{ei} d_i \quad (2.49)$$

şeklinde gösterilebilir. d_i deplasmanlarının birim değerleri için w çökme fonksiyonunun eleman yüzeyinde yayılışını belirleyen birim durum fonksiyonları her iki x ve y değişkenine göre kübik $f_i(x)$, $g_i(x)$ veya $f_i(y)$, $g_i(y)$ yardımcı fonksiyonlarının çarpımlarından oluşmaktadır. Bu yardımcı fonksiyonlar ve karşı geldikleri uç koşulları (2.50) de gösterildiği gibidir.

Fonksiyon

Uç koşulu

$$f_1(x) = \frac{1}{2} + \frac{3x}{2a} - \frac{2x^3}{a^3}$$

$$f_2(x) = \frac{1}{2} - \frac{3x}{2a} + \frac{2x^3}{a^3}$$

$$g_1(x) = \frac{a}{8} + \frac{x}{4} - \frac{x^2}{2a} - \frac{x^3}{a^2}$$

$$f_1(x) = -\frac{a}{8} + \frac{x}{4} + \frac{x^2}{2a} - \frac{x^3}{a^2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow f_1 = 1, \frac{df_1}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow f_1 = 0, \frac{df_1}{dx} = 0 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow f_2 = 1, \frac{df_2}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow f_2 = 1, \frac{df_2}{dx} = 0 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow g_1 = 0, \frac{dg_1}{dx} = -1 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow g_1 = 0, \frac{dg_1}{dx} = 0 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow g_2 = 1, \frac{dg_2}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow g_2 = 1, \frac{dg_2}{dx} = -1 \end{array} \right\} \quad (2.50)$$

Sonlu elemanın şekil değiştirmesi birim durumların lineer kombinezonu olarak

$$w_e = [A_d]_e \cdot [d] \quad (2.51)$$

yazılabilir. Burada $[A_d]_e$ matrisinin herhangi bir terimi karşı geldiği düğüm noktası deplasmanını birim, diğerlerini sıfır yapan deplasman fonksiyonu göstermektedir ve yardımcı fonksiyonlar cinsinden

$$\begin{aligned} [A_d]_e = [& f_2(x). f_2(y) \quad f_2(x). g_2(y) - g_2(x). f_2(y) \quad g_2(x). g_2(y) \\ & f_1(x). f_1(y) \quad f_1(x). g_2(y) - g_1(x). f_2(y) \quad g_1(x). g_2(y) \\ & f_2(x). f_1(y) \quad f_2(x). g_1(y) - g_2(x). f_1(y) \quad g_2(x). g_1(y) \\ & f_1(x). f_1(y) \quad f_1(x). g_1(y) - g_1(x). f_1(y) \quad g_1(x). g_1(y)] \end{aligned} \quad (2.52)$$

olması gerekir.

Zemin tepki katsayıları ise

$$C_{ij} = C \iint w_{ei} w_{ej} dA \quad (2.53)$$

$$C_{Tij} = 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_{ei}}{\partial x} \frac{\partial w_{ej}}{\partial x} + \frac{\partial w_{ei}}{\partial y} \frac{\partial w_{ej}}{\partial y} \right) dA \quad (2.54)$$

şeklinde alınabilmektedir. $[C]$ ve $[C_T]$ matrisleri $[K_T]$ rijitlik matrisinin verilmesinde olduğu gibi

$$[C] = \begin{bmatrix} [C]_{11} & [C]_{12} & [C]_{13} & [C]_{14} \\ [C]_{21} & [C]_{22} & [C]_{23} & [C]_{24} \\ [C]_{31} & [C]_{32} & [C]_{33} & [C]_{34} \\ [C]_{41} & [C]_{42} & [C]_{43} & [C]_{44} \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

$$[C_T] = \begin{bmatrix} [C_T]_{11} & [C_T]_{12} & [C_T]_{13} & [C_T]_{14} \\ [C_T]_{21} & [C_T]_{22} & [C_T]_{23} & [C_T]_{24} \\ [C_T]_{31} & [C_T]_{32} & [C_T]_{33} & [C_T]_{34} \\ [C_T]_{41} & [C_T]_{42} & [C_T]_{43} & [C_T]_{44} \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

alt matrislerine bölünürse $[C]_{1,i}$ ve $[C_T]_{1,i}$ bağımsız 4 er alt matrisinin tablo (2.1) ve tablo (2.2) de verilmesi yeterli olacaktır. Diğer $[C]_{i,j}$ ve $[C_T]_{i,j}$ ler $[T_x]$ ve $[T_y]$ (2.57) dönüştürme matrisleri kullanılarak (2.58) bağıntıları türetilebilir.

$$[T_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad [T_y] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

Tablo 2.1 16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Elemanın Elastik Yataklanma Alt Matrisleri

$$[C]_{11} = \frac{Cab}{1225} \begin{bmatrix} 169 & -\frac{143}{6}b & \frac{143}{6}a & \frac{121}{36}ab \\ -\frac{143}{6}b & \frac{13}{3}b^2 & -\frac{121}{36}ab & -\frac{22}{36}ab^2 \\ \frac{143}{6}a & -\frac{121}{36}ab & \frac{13}{3}a^2 & \frac{22}{36}ab \\ \frac{121}{36}ab & -\frac{22}{36}ab^2 & \frac{22}{36}ab & \frac{a^2b^2}{9} \end{bmatrix}$$

$$[C]_{12} = \frac{Cab}{1225} \begin{bmatrix} 58.5 & -\frac{33}{4}b & -\frac{169}{12}a & -\frac{143}{72}ab \\ -\frac{33}{4}b & 1.5b^2 & \frac{143}{72}ab & \frac{13}{36}ab^2 \\ \frac{169}{12}a & -\frac{143}{72}ab & \frac{13}{4}a^2 & -\frac{11}{24}a^2b \\ \frac{143}{72}ab & -\frac{13}{36}ab^2 & -\frac{11}{24}a^2b & \frac{a^2b^2}{12} \end{bmatrix}$$

$$[C]_{13} = \frac{Cab}{1225} \begin{bmatrix} 58.5 & \frac{42.25}{3}b & 8.25a & -\frac{71.5}{36}ab \\ -\frac{42.25}{3}b & -3.25b^2 & -\frac{71.5}{36}ab & \frac{16.5}{36}ab^2 \\ 8.25a & \frac{71.5}{36}ab & 1.5a^2 & -\frac{13}{36}a^2b \\ \frac{71.5}{36}ab & \frac{16.5}{36}ab^2 & \frac{13}{36}a^2b & -\frac{0.75}{9}a^2b^2 \end{bmatrix}$$

$$[C]_{14} = \frac{Cab}{1225} \begin{bmatrix} 20.25 & 4.875b & -4.875a & \frac{42.25}{36}ab \\ -4.875b & -1.125b^2 & \frac{42.25}{36}ab & -\frac{9.75}{36}ab^2 \\ 4.875a & \frac{42.25}{36}ab & -1.125a^2 & \frac{9.75}{36}a^2b \\ \frac{42.25}{36}ab & \frac{9.75}{36}ab^2 & -\frac{9.75}{36}a^2b & \frac{2.25}{36}a^2b^2 \end{bmatrix}$$

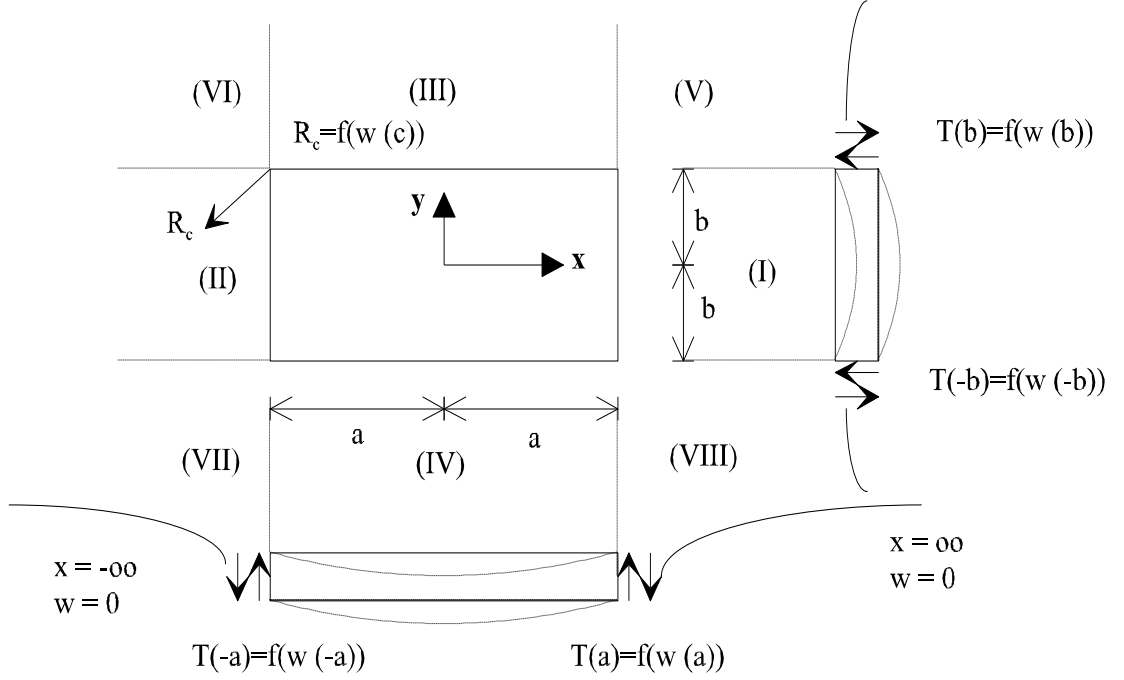
Tablo 2.2 16 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Elemanın Kayma Parametresine Bağlı
Alt Matrisleri

$$\begin{aligned}
 [C_T]_{11} &= \frac{2C_T}{350} \begin{bmatrix} 156(\alpha + \beta) & -(22\beta + 13\alpha)b & (22\alpha + 13\beta)a & \frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab \\ -(22\beta + 13\alpha)b & (4\beta + \frac{52}{3}\alpha)b^2 & -\frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab & -(\frac{\beta}{3} + \frac{22}{9}\alpha)ab^2 \\ (22\alpha + 13\beta)a & -\frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab & (4\alpha + \frac{52}{3}\beta)a^2 & (\frac{\alpha}{3} + \frac{22}{9}\beta)a^2b \\ \frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab & -(\frac{\beta}{3} + \frac{22}{9}\alpha)ab^2 & (\frac{\alpha}{3} + \frac{22}{9}\beta)a^2b & \frac{4}{9}(\alpha + \beta)a^2b^2 \end{bmatrix} \\
 [C_T]_{12} &= \frac{2C_T}{350} \begin{bmatrix} 54\alpha - 156\beta & (22\beta - 4.5\alpha)b & -13(\alpha - \beta)a & (\frac{11}{6}\beta - \frac{13}{12}\alpha)ab \\ (22\beta - 4.5\alpha)b & -(4\beta - 6\alpha)b^2 & -(\frac{11}{6}\beta - \frac{13}{12}\alpha)ab & -(\frac{\beta}{3} - \frac{13}{9}\alpha)ab^2 \\ 13(\alpha - \beta)a & (\frac{11}{6}\beta - \frac{13}{12}\alpha)ab & -(3\alpha + \frac{13}{3}\beta)a^2 & -(\frac{\alpha}{4} + \frac{11}{18}\beta)a^2b \\ -(\frac{11}{6}\beta - \frac{13}{12}\alpha)ab & (\frac{\beta}{3} - \frac{13}{9}\alpha)ab^2 & -(\frac{\alpha}{4} + \frac{11}{18}\beta)a^2b & -(\frac{\beta}{9} + \frac{\alpha}{3})a^2b^2 \end{bmatrix} \\
 [C_T]_{13} &= \frac{2C_T}{350} \begin{bmatrix} 54\beta - 156\alpha & 13(\beta - \alpha)b & -(22\alpha - 4.5\beta)a & (\frac{11}{6}\alpha - \frac{13}{12}\beta)ab \\ 13(\alpha - \beta)b & -(3\beta + \frac{13}{3}\alpha)b^2 & (\frac{11}{6}\alpha - \frac{13}{12}\beta)ab & (\frac{\beta}{4} + \frac{11}{18}\alpha)ab^2 \\ -(22\alpha - 4.5\beta)a & -(\frac{11}{6}\alpha + \frac{13}{12}\beta)ab & -(4\alpha - 6\beta)a^2 & (\frac{\alpha}{3} - \frac{13}{9}\beta)a^2b \\ -(\frac{11}{6}\alpha - \frac{13}{12}\beta)ab & (\frac{\beta}{4} + \frac{11}{18}\alpha)ab^2 & -(\frac{\alpha}{3} - \frac{13}{9}\beta)a^2b & -(\frac{\beta}{3} + \frac{\alpha}{9})a^2b^2 \end{bmatrix} \\
 [C_T]_{14} &= \frac{2C_T}{350} \begin{bmatrix} -54(\alpha + \beta) & -(13\beta + 4.5\alpha)b & (13\alpha + 4.5\beta)a & -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab \\ (13\beta + 4.5\alpha)b & (3\beta - 1.5\alpha)b^2 & -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab & (\frac{\beta}{4} - \frac{13}{36}\alpha)ab^2 \\ -(13\alpha + 4.5\beta)a & -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab & (3\alpha - 1.5\beta)a^2 & -(\frac{\alpha}{4} - \frac{13}{36}\beta)a^2b \\ -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab & -(\frac{\beta}{4} - \frac{13}{36}\alpha)ab^2 & (\frac{\alpha}{4} - \frac{13}{36}\beta)a^2b & \frac{1}{12}(\alpha + \beta)a^2b^2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [C]_{22} &= [T_y] [C]_{11} [T_y] & [C_T]_{22} &= [T_y] [C_T]_{11} [T_y] \\
 [C]_{23} &= [T_y] [C]_{14} [T_y] & [C_T]_{23} &= [T_y] [C_T]_{14} [T_y] \\
 [C]_{24} &= [T_y] [C]_{13} [T_y] & [C_T]_{24} &= [T_y] [C_T]_{13} [T_y] \\
 [C]_{33} &= [T_x] [C]_{11} [T_x] & [C_T]_{33} &= [T_x] [C_T]_{11} [T_x] \\
 [C]_{34} &= [T_x] [C]_{12} [T_x] & [C_T]_{34} &= [T_x] [C_T]_{12} [T_x] \\
 [C]_{44} &= [T_y] [T_x] [C]_{11} [T_x] [T_y] & [C_T]_{44} &= [T_y] [T_x] [C_T]_{11} [T_x] [T_y]
 \end{aligned} \tag{2.58}$$

2.3. Temel Dışı İki Parametrelili Zemin Ortamının Sonlu Elemanlarla İdealize Edilmesi

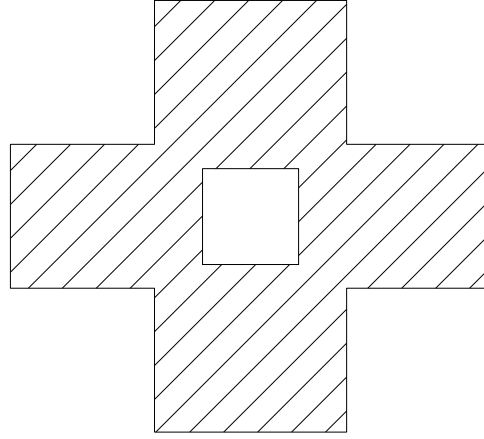
İki parametrelili zemine oturan plak temellerin hesabı ile ilgili yapılmış çalışmalarda [6] temel dışında kalan zemin ortamının temel kenar ve köşelerine etkittiği tesirlerin bulunması bazı basitleştirici kabuller yapılarak yaklaşık olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.9 Temel Çevre Ortamının Bölgelere Ayrılması

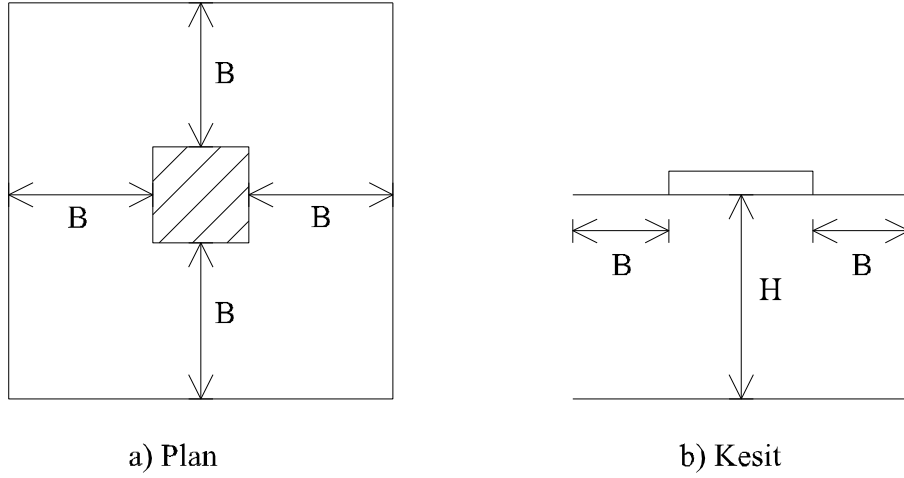
Örneğin planda $(2a \times 2b)$ boyutlu bir dikdörtgen temelin çevresindeki zemin ortamı 8 bölgeye ayrılmakta, (I-IV) bölgesinden temele gelen tesirler komşu oldukları kenarlardaki çökme fonksiyonuna bağlı, kenarlar boyunca yayılı kesme kuvvetleri ile, (V-VIII) bölgelerinin etkisi temel köşe noktasındaki çökmeye bağlı köşe kuvvetleri ile göz önüne alınmaktadır.

Örneğin şekil (2.10) gibi planda temel şeklinin dikdörtgenden farklı olması halinde veya temel içindeki boşluklardaki zemin ortamının etkilerinin ifadesi söz konusu olunca kenarlar ve köşeler için çıkarılmış bu redörler kısmen geçersiz olup yeni yaklaşık redör ifadelerinin tanımlanması gerekecektir.



Şekil 2.10 Planda Düzgün Olmayan Radye Temel Örneği

Bu bakımdan bu çalışmada, temel dışındaki, temel etkilerinin yayıldığı ve zemin çökme yüzeyinin sıfırdan farklı olduğu çevre ortamı iki boyutlu zemin sonlu elemanlar ağına bölünecektir.



Şekil 2.11 Radye Temel Çevre Genişliği

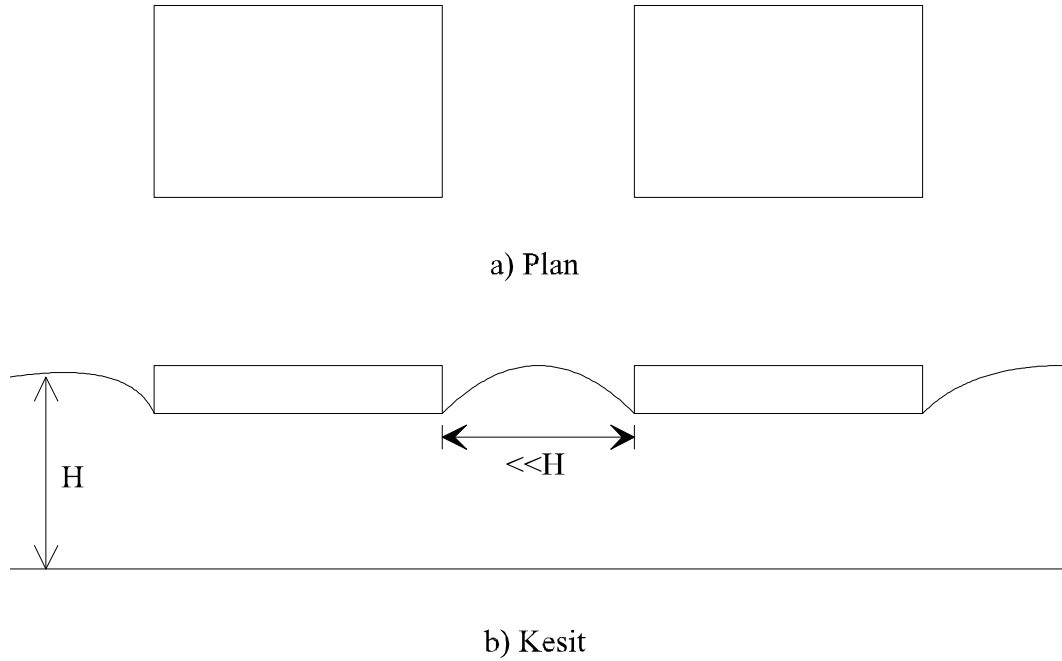
Yüzeysel dış yüklerin olmayıp temel kenarlarından tesirlere bağlı olarak

$$Cw(x, y) - 2C_T \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2.59)$$

diferansiyel denklemi sağlayacak şekilde çevre zemin ortamındaki çökmelerin değişimi bu zemin sonlu eleman idealizasyonu ile belirlenebilir.

Sonlu eleman ağına bölünerek temel çevresinin şekil (2.11) deki genişliği elastik sıkışabilir zemin tabakası sınırlarına kadar veya çok büyükse çökme yüzeyinin yeter derecede sıfıra yakın olduğu uzaklığa kadar alınabilir. Son bölümde yapılan örneklerde zemin bölgesinin genişliği sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı H mertebesinde seçilmiş ve bu durumda en dıştaki noktalarda temel altındaki çökmelerin çok küçük mertebelere düştüğü görülerek daha fazla genişletmenin gereksiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu şekilde temel dışı ortamının zemin sonlu elemanlarla idealizasyonu şekil (2.12) deki gibi bir birine yakın temellerin mevcudiyeti halinde bu temellerin karşılıklı etkileşimi göz önüne alınması olanağı da sağlamaktadır.



Şekil 2.12 Yakın Temellerin Karşılıklı Etkileşimleri

Temel plağı sonlu eleman çevre zemin ortamının sonlu eleman idealizasyonunda, çökmelerin elemanda her iki doğrultuda lineer değiştiği kabulü uygun görülmüştür. Bunun sonucu zemin sonlu elemanlarda deplasman yüzeyi yalnız köşe noktalarının çökmelerine bağlı olarak ifade edilebilir. Çevre zemin ortamının sonlu eleman idealizasyonunda her bir düğüm noktasında bir bilinmeyen olması temel plağı dışında çok sayıda düğüm noktası bulunması halinde bilinmeyen sayısının aşırı artışı da önlemiş olur. [d] zemin elemanın köşe noktalarının çökmeleri olmak üzere

$$w = \sum w_i d_i = [A_d]_z [d] \quad (2.60)$$

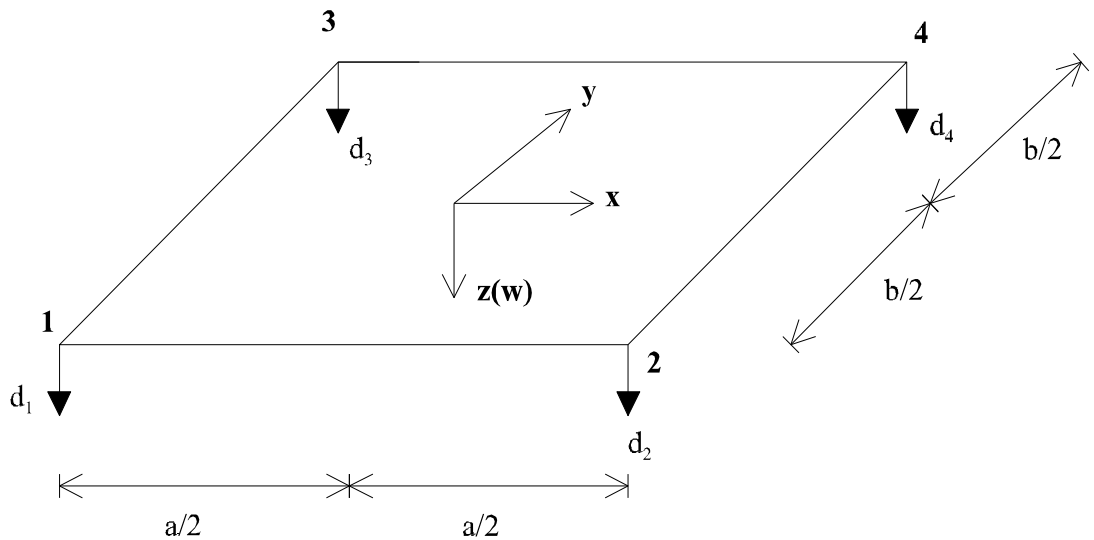
şeklinde çökme yüzeyi belirleniyorsa, köşe noktalarındaki deplasmanlar doğrultusundaki uç kuvvetleri deplasmanlara;

$$[C][d] + [C_T][d] = [P] \quad (2.61)$$

şeklinde bağlayan zemin sonlu eleman $[C]$ ve $[C_T]$ matrisleri aynen temel plağında plak rijitlik matrisine zemin etkilerinin katkılarını gösteren $[C]$ ve $[C_T]$ matrisleri gibi tanımlanıp, terimleri (2.45) ve (2.46) deki bağıntılarla hesaplanabilir. Esasen (2.61) eşitliği (2.48) de $[K]$ rijitliğinin sıfır alınması haline karşı gelmektedir.

2.3.1. 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Elemanda $[C]$ ve $[C_T]$ Matrisleri

Şekil (2.13) deki dikdörtgen iki parametrelili zemin sonlu elemanın şekil değiştirme yüzeyi köşe noktalarının düşey deplasmanlarına bağlı olarak (2.61) deki gibi tanımlanabilir.



Şekil 2.13. 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Eleman

Formüllerdeki $[A_d]_z$ matrisi iki doğrultudaki lineer değişimi gösteren yardımcı fonksiyonların çarpımından

$$[A_d]_z = [l_2(x)l_2(y) \quad l_1(x)l_2(y) \quad l_1(y)l_2(x) \quad l_1(x)l_1(y)] \quad (2.62)$$

oluşur. Burada

$$\begin{aligned} l_2(x) &= \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{a} \right) & l_1(x) &= \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{a} \right) \\ l_2(y) &= \left(\frac{1}{2} - \frac{y}{b} \right) & l_1(y) &= \left(\frac{1}{2} + \frac{y}{b} \right) \end{aligned} \quad (2.63)$$

dir. Bu birim durum fonksiyonlarına (2.45) integrali uygulanarak

Tablo 2.3 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Elemanın Elastik Yataklanma Matrisi

$$[C] = \frac{Cab}{36} \begin{bmatrix} 4 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 4 \end{bmatrix}$$

(2.46) integrali alınarak $\alpha = a/b$, $\beta = b/a$ olmak üzere

Tablo 2.4 4 Serbestlik Dereceli Dikdörtgen Zemin Sonlu Elemanın Kayma Parametresi Matrisi

$$[C_T] = \frac{2C_T}{3} \begin{bmatrix} \alpha + \beta & \frac{\alpha}{2} - \beta & \frac{\beta}{2} - \alpha & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} \\ \frac{\alpha}{2} - \beta & \alpha + \beta & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \frac{\beta}{2} - \alpha \\ \frac{\beta}{2} - \alpha & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \alpha + \beta & \frac{\alpha}{2} - \beta \\ -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \frac{\beta}{2} - \alpha & \frac{\alpha}{2} - \beta & \alpha + \beta \end{bmatrix}$$

matrisleri elde edilir. Zemin sonlu elemanlara ait deformasyon matrisi ise

$$\begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \end{bmatrix} = 2C_T \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} w_i \quad (2.69)$$

bağıntısı elde edilir. Yardımcı fonksiyonlar kullanılarak dikdörtgen zemin sonlu eleman için elde edilen deformasyon matrisi tablo (2.5) de elde edilmiştir. Zemin elemanda köşe noktalarındaki kesme kuvvetlerini bulmak için bu matrisle elde edilmiş deformasyonları $2C_T$ ile çarpmak gerekir.

Tablo 2.5 Dikdörtgen Zemin Sonlu Eleman Deformasyon Matrisi

		d_1	d_2	d_3	d_4
1	$\partial w / \partial x$	$-1/a$	$1/a$	0	0
	$\partial w / \partial y$	$-1/b$	0	$1/b$	0
2	$\partial w / \partial x$	$-1/a$	$1/a$	0	0
	$\partial w / \partial y$	0	$-1/b$	0	$1/b$
3	$\partial w / \partial x$	0	0	$-1/a$	$1/a$
	$\partial w / \partial y$	$-1/b$	0	$1/b$	0
4	$\partial w / \partial x$	0	0	$-1/a$	$1/a$
	$\partial w / \partial y$	0	$-1/b$	0	$1/b$

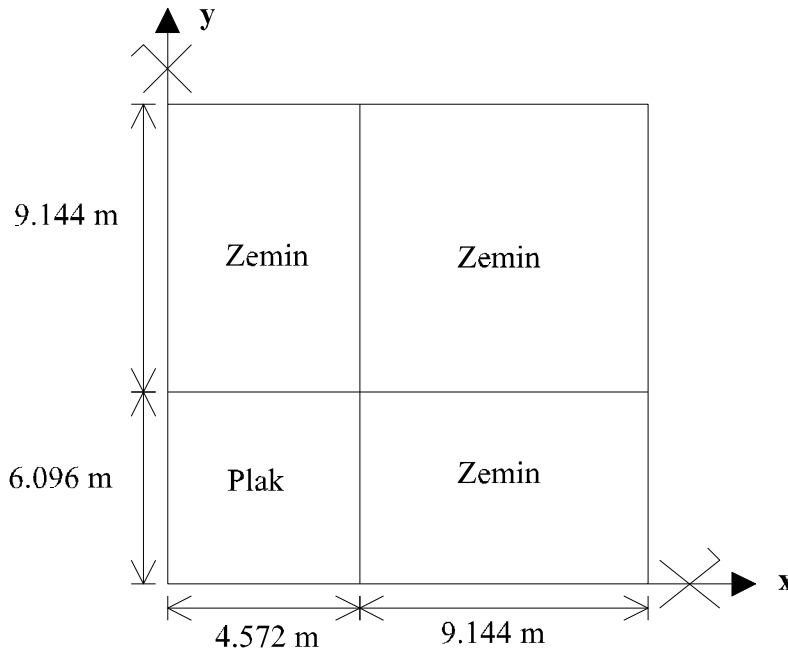
3. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde sayısal örnekler çözülecektir. Çözümlerde Saygun [2] tarafından hazırlanan Genson isimli bilgisayar programı kullanılacaktır.

3.1. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plakın Zemin Elastisite Modülünün Farklı Değişim Durumları İçin Hesabı

Bu problem daha önce Vallabhan, Straugh ve Das [5] tarafından çeşitli H değerleri için çözülmüştür. Problemden plakın x eksenini doğrultusundaki boyutu 9.144 m, y eksenini doğrultusundaki boyutu 12.192 m, kalınlığı 0.1524 m, elastisite modülü 20736000 kN/m² ve poisson oranı 0.20 dir. Zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlığı 9.144 m, poisson oranı 0.25 ve zemin üst tabakası için elastisite modülü 6912 kN/m² dir.

Plak bölgesinin ve yüklemelerin simetrik olmasından dolayı hesaplarda bütün sistem yerine şekil (3.1) de görüldüğü gibi ¼ lük kısım dikkate alınmıştır.



Şekil 3.1 Simetri Eksenlerine Göre ¼ lük Sistem

Çözümde plağın x ve y eksenini doğrultularında sıkışabilir tabaka kalınlığı (9.144 m) kadar zemin genişleme bölgesi zemin sonlu elemanlarla hesaba dahil edilmiştir. Zemin yüzeyindeki elastisite modülü E_1 ve sıkışabilir tabaka kalınlığı sonundaki (9.144 m derinlikte) elastisite modülü E_2 dir. Elastisite modülünün sabit olduğu, E_1 ’ den E_2 ’ ye lineer ve kuadratik değiştiği üç farklı durum için E_2 / E_1 in 1, 3, 5, ve 10 değerleri için ayrı ayrı hesap yapılacaktır.

Çözüm simetri merkezine etkiyen 133.34 kN luk tekil yük ve plak yüzeyinde 24 kN/m^2 lik üniform yayılı yük için yapılacaktır.

3.1.1. Elastisite Modülünün Sabit Olması Durumu

Hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.1) de yayılı yük durumu için tablo (3.2) de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Tekil Yük Durumu

γ	C (kN/m^3)	C_T (kN/m)
2.2639	1151.8845	2573.5961
2.4847	1221.5748	2401.2241
2.5378	1239.4001	2361.8331
2.5509	1243.8430	2352.2694
2.5542	1244.9437	2349.9152

Tablo 3.2 Yayılı Yük Durumu

γ	C (kN/m^3)	C_T (kN/m)
1.1714	936.8417	3570.2220
1.1845	938.0397	3558.1911
1.1856	938.1408	3557.1884

3.1.2. Elastisite Modülünün Lineer Değişmesi Durumu

$E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük için tablo (3.3) de ve yayılı yük için tablo (3.4) de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
2.5779	1776.9338	3136.3316
2.7513	1824.4750	2943.1408
2.7859	1834.6577	2906.5351
2.7930	1836.7674	2899.1252

Tablo 3.4 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2319	1676.1161	5108.5516
1.2430	1674.9231	5090.8401
1.2436	1674.8581	5089.8635

$E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük için tablo (3.5) de ve yayılı yük için tablo (3.6) da gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
2.7847	2341.8823	3625.7618
2.9366	2379.2824	3415.6501
2.9646	2386.7792	3378.7107
2.9699	2388.2137	3371.8015

Tablo 3.6 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2590	2401.0595	6641.2657
1.2692	2397.9096	6618.2883
1.2696	2397.7647	6617.2263

$E_2 / E_1 = 10$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük için tablo (3.7) de ve yayılı yük için tablo (3.8) de gösterilmiştir.

Tablo 3.7 Tekil Yük Durumu

γ	C (kN/m ³)	C_T (kN/m)
3.1177	3651.2360	4687.8100
3.2382	3675.7020	4455.3906
3.2824	3685.7596	4374.3343
3.2903	3687.6174	4360.0540
3.2917	3687.9528	4357.4967

Tablo 3.8 Yayılı Yük Durumu

γ	C (kN/m ³)	C_T (kN/m)
1.2893	4195.4524	10462.1290
1.2987	4187.7528	10425.2570
1.2990	4187.4518	10423.8120

3.1.3. Elastisite Modülünün Kuadratik Değişmesi Durumu

$E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük için tablo (3.9) da ve yayılı yük için tablo (3.10) da gösterilmiştir.

Tablo 3.9 Tekil Yük Durumu

γ	C (kN/m ³)	C_T (kN/m)
2.5007	1449.9506	2656.3526
2.6371	1481.5295	2532.7263
2.6624	1487.8100	2510.6307
2.6672	1489.0258	2506.4339

Tablo 3.10 Yayılı Yük Durumu

γ	C (kN/m ³)	C_T (kN/m)
1.2358	1381.0435	4111.7119
1.2457	1380.0120	4099.3993
1.2462	1379.9614	4098.7901

$E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük için tablo (3.11) de ve yayılı yük için tablo (3.12) de gösterilmiştir.

Tablo 3.11 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
2.6788	1695.5163	2731.4208
2.7463	1706.3583	2663.0618
2.7565	1708.0995	2652.9424
2.7580	1708.3708	2651.3841

Tablo 3.12 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2741	1807.3049	4653.3585
1.2815	1805.0427	4641.7719
1.2817	1804.9650	4641.3730

$E_2 / E_1 = 10$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük için tablo (3.13) de ve yayılı yük için tablo (3.14) de gösterilmiştir.

Tablo 3.13 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
2.9978	2193.3793	2895.1507
2.9360	2192.2949	2971.1292
2.9297	2192.2661	2978.9714

Tablo 3.14 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.3266	2839.8653	6004.0102
1.3310	2836.3462	5993.8508
1.3311	2836.2789	5993.6564

3.1.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Tüm elastisite modülü değişim durumlarında elde edilen değerler tekil yük için tablo (3.15) de ve yayılı yük için tablo (3.16) da toplanmıştır. Bu örnek elastisite modülünün lineer değişmesi durumu için Daloğlu [6] tarafından ve Dindar [7] yapılmış olan çalışmalar sırasında çözülmüştür. Bu çalışmalarda elde edilen değerler tablolara yazılmıştır.

Tablo 3.15 Tekil Yük Durumu

	Çalışmalar	E Değişimi	γ	C (kN/m ³)	C _T (kN/m)
E₂/E₁=1	A.Daloğlu	Sabit	2.5709	1247.3700	2330.0300
	A.Dindar	Sabit	2.5617	1248.1000	2343.4000
	Bu Çalışma	Sabit	2.5542	1244.9437	2349.9152
E₂/E₁=3	A.Daloğlu	Lineer	2.837	1845.2100	2844.4500
	A.Dindar	Lineer	2.8172	1844.9000	2872.7000
	Bu Çalışma	Lineer	2.7930	1836.7674	2899.1252
	Bu Çalışma	Kuadratik	2.6672	1489.0258	2506.4339
E₂/E₁=5	A.Daloğlu	Lineer	3.0274	2397.9800	3287.0600
	A.Dindar	Lineer	3.0028	2398.3000	3327.7000
	Bu Çalışma	Lineer	2.9699	2388.2137	3371.8015
	Bu Çalışma	Kuadratik	2.7580	1708.3708	2651.3841
E₂/E₁=10	A.Daloğlu	Lineer	3.3669	3697.0300	4210.7000
	A.Dindar	Lineer	3.3371	3700.6000	4274.7000
	Bu Çalışma	Lineer	3.2917	3687.9528	4357.4967
	Bu Çalışma	Kuadratik	2.9297	2192.2661	2978.9714

Tablo 3.16 Yayılı Yük Durumu

	Çalışmalar	E Değişimi	γ	C (kN/m ³)	C _T (kN/m)
E₂/E₁=1	A.Daloğlu	Sabit	1.1538	937.1700	3574.6900
	A.Dindar	Sabit	1.1757	937.6000	3564.7000
	Bu Çalışma	Sabit	1.1856	938.1408	3557.1884
E₂/E₁=3	A.Daloğlu	Lineer	1.2105	1681.9900	5125.5900
	A.Dindar	Lineer	1.2335	1676.7400	5103.7000
	Bu Çalışma	Lineer	1.2436	1674.8581	5089.8635
	Bu Çalışma	Kuadratik	1.2462	1379.9614	4098.7901
E₂/E₁=5	A.Daloğlu	Lineer	1.2364	2413.2300	6670.1700
	A.Dindar	Lineer	1.2601	2401.8000	6635.9000
	Bu Çalışma	Lineer	1.2696	2397.7647	6617.2263
	Bu Çalışma	Kuadratik	1.2817	1804.9650	4641.3730
E₂/E₁=10	A.Daloğlu	Lineer	1.2658	4223.8300	10519.6500
	A.Dindar	Lineer	1.2905	4196.3000	10452.9000
	Bu Çalışma	Lineer	1.2990	4187.4518	10423.8120
	Bu Çalışma	Kuadratik	1.3311	2836.2789	5993.6564

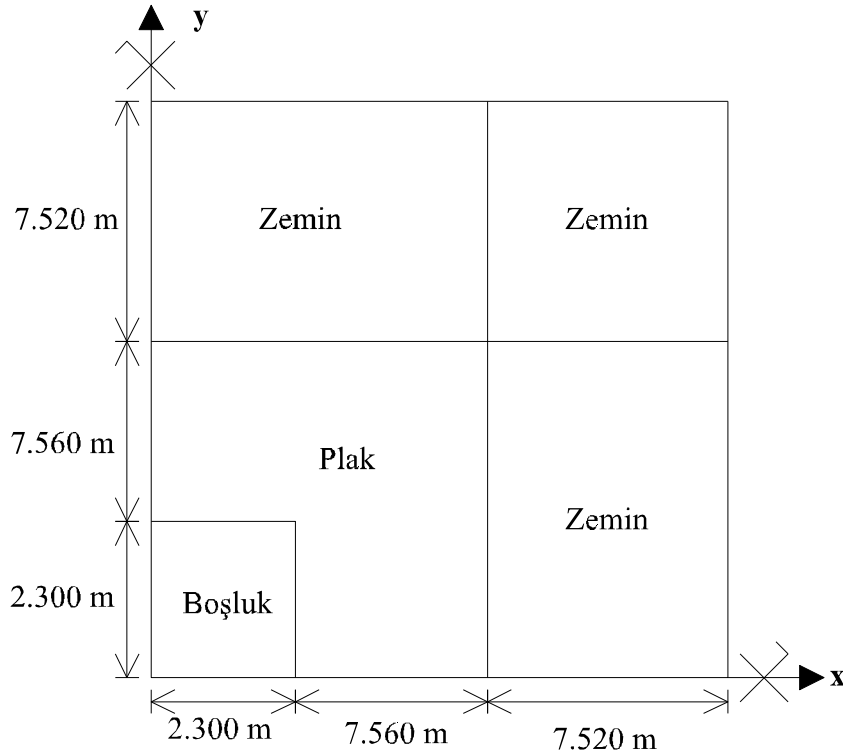
Tabloların incelenmesinden bu çalışmada elde edilen sonuçların daha önce yapılmış olan çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmektedir.

3.2. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Boşluklu Plâğın Elastisite Modülünün Derinlikle Kuadratik Değişmesi Durumunda Hesabı

Daha önce Daloğlu [6] tarafından elastisite modülünün lineer değişimi için çözümü yapılan problemin elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumunda çözümü yapılacaktır. Ortası boşluklu plâğın x eksenı doğrultusundaki boyutu 19.810 m, y eksenı doğrultusundaki boyutu 19.810 m, elastisite modülü 20685000 kN/m^2 ve poisson oranı 0.20 dir. Plâğın ortasında 4.57 m lik kare bir boşluk bulunmaktadır. Zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlığı 7.620 m, poisson oranı 0.25 ve zemin üst tabakası için elastisite modülü 6895 kN/m^2 dir.

Çözüm yapılırken plâğın x ve y eksenı doğrultularında sıkışabilir tabaka kalınlığı 7.620 m kadar zemin genişleme bölgesi modele dahil edilmiştir. Zemin elastisite modülünün E_1 'den E_2 'ye kuadratik değiştiği durum için E_2 / E_1 in 1, 3, 5, ve 10 değerleri için ayrı ayrı hesap yapılacaktır.

Plak bölgesinin ve yüklemelerin simetrik olmasından dolayı hesaplarda bütün sistem yerine şekil (3.2) de görüldüğü gibi $\frac{1}{4}$ lük kısım dikkate alınmıştır.



Şekil 3.2 Simetri Eksenlerine Göre $\frac{1}{4}$ lük Sistem

Çözüm plak yüzeyine etkiyen 71.82 kN/m^2 lik üniform yayılı yük için yapılacaktır.

3.2.1. Elastisite Modülünün Kuadratik Değişmesi Durumu

$E_2 = E_1$ durumunda hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.17) de gösterilmiştir.

Tablo 3.17 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
0.6696	1090.2886	3305.937
0.7174	1091.6381	3278.8106
0.7190	1091.6859	3277.9137

$E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.18) de gösterilmiştir.

Tablo 3.18 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
0.7175	1736.1927	3900.4134
0.7751	1726.2856	3854.0844
0.7760	1726.1227	3853.3074

$E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.19) da gösterilmiştir.

Tablo 3.19 Yayılı yük durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
0.7478	2369.3712	4491.7691
0.8098	2345.4779	4427.1632
0.8102	2345.3267	4426.7498

$E_2 / E_1 = 10$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.20) de gösterilmiştir.

Tablo 3.20 Yayılı Yük Durumu

γ	C (kN/m ³)	C_T (kN/m)
0.7916	3925.4211	5961.8318
0.8583	3862.8169	5853.1526
0.8584	3862.7025	5852.9526

3.2.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

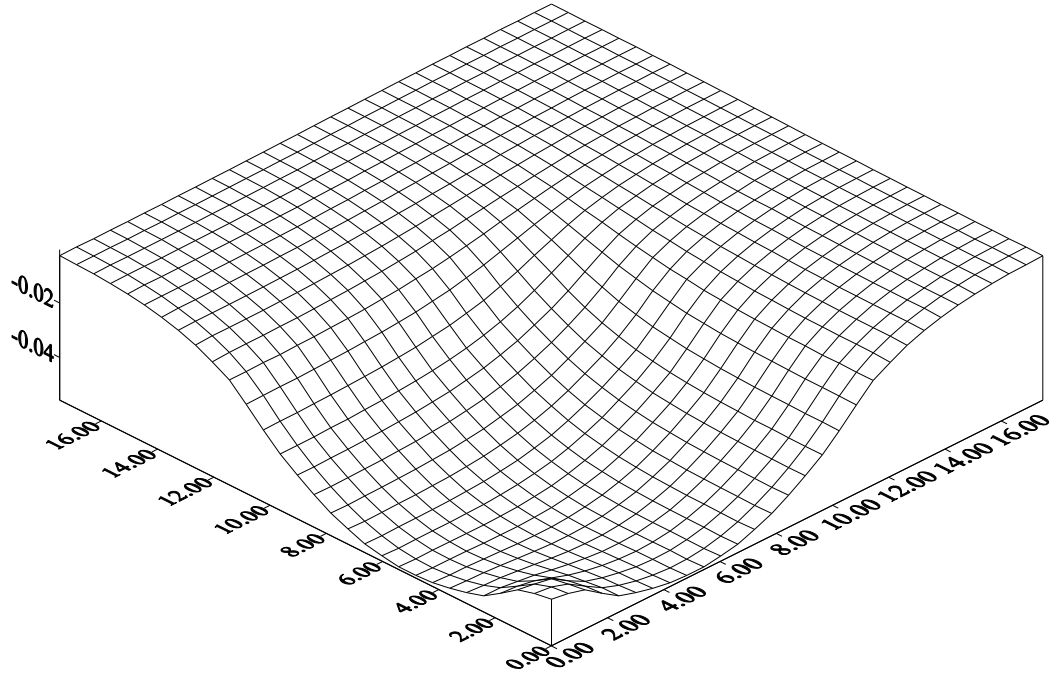
Tüm elastisite modülü oranları için elde edilen değerler yayılı yük durumu için tablo (3.21) de toplanmıştır. Daloğlu [6] tarafından elastisite modülünün lineer değişmesi durumu için yapmış olduğu çözümün sonucu tabloya yazılmıştır.

Tablo 3.21 Yayılı Yük Durumu

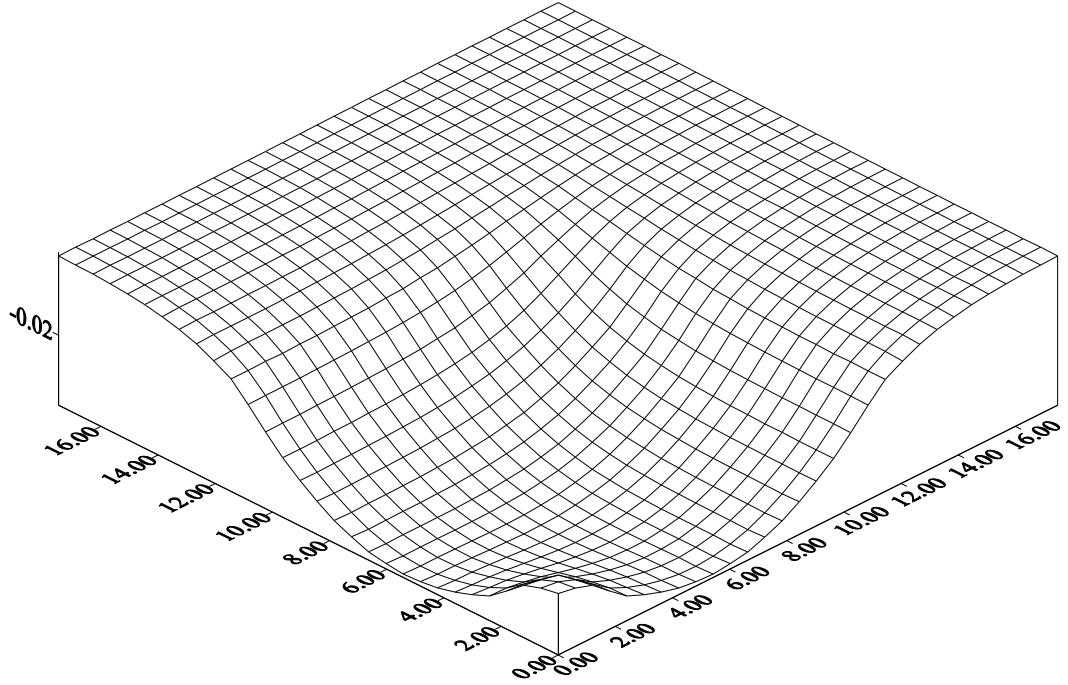
	Çalışmalar	E Değişimi	γ	C (kN/m ³)	C_T (kN/m)
$E_2/E_1=1$	A.Daloğlu	Sabit	0.8050	1094.7400	3225.5600
	Bu Çalışma	Sabit	0.7190	1091.6859	3277.9137
$E_2/E_1=3$	Bu Çalışma	Kuadratik	0.7760	1726.1227	3853.3074
$E_2/E_1=5$	Bu Çalışma	Kuadratik	0.8102	2345.3267	4426.7498
$E_2/E_1=10$	Bu Çalışma	Kuadratik	0.8584	3862.7025	5852.9526

3.2.3. Çökme Yüzeyleri

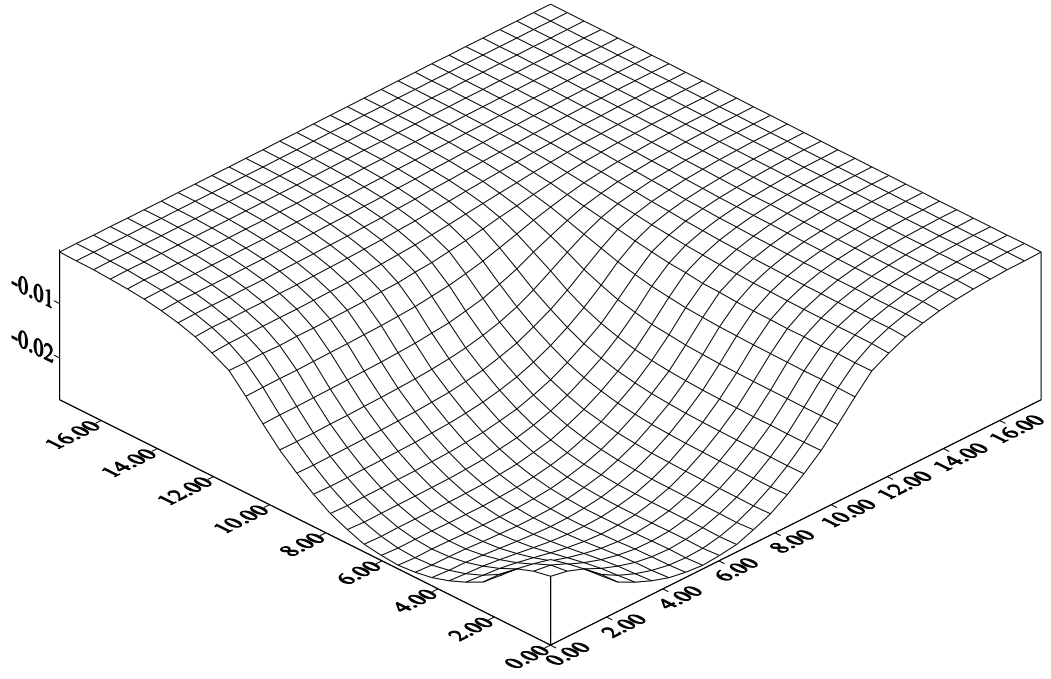
Elastisite modülünün farklı oranları için yapılan hesaplamalar sonucu ulaşılan çökme değerleriyle şekil (3.3a) , şekil (3.3b) , şekil (3.3c) ve şekil (3.3d) de çökme yüzeyleri çizilmiştir.



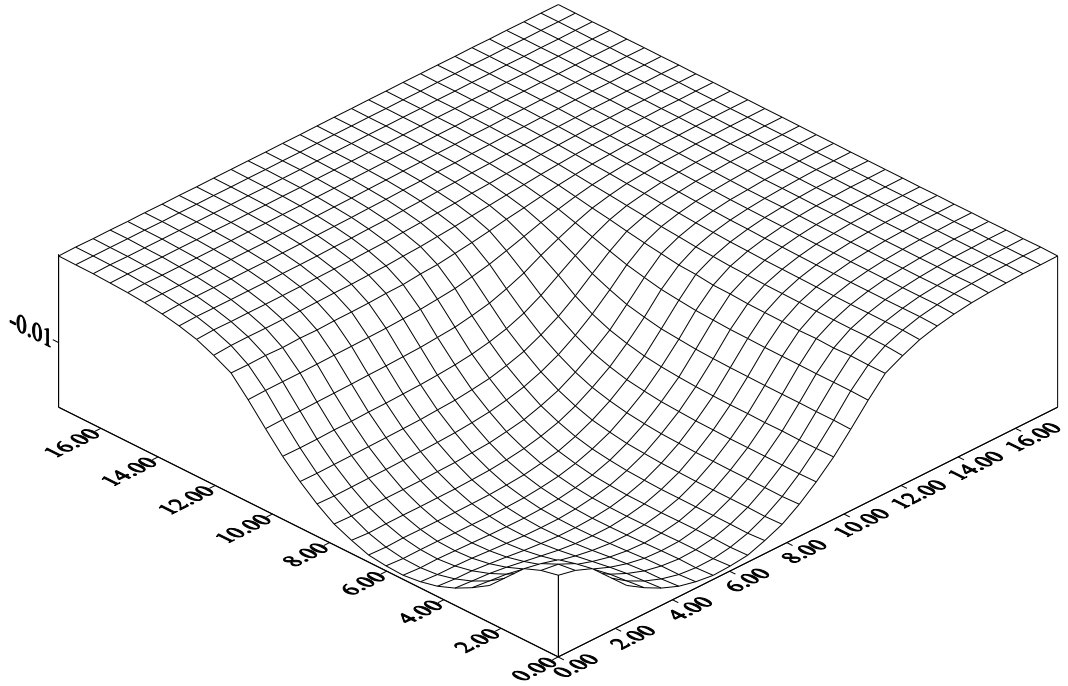
Şekil (3.3a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 1$ İken Çökme Yüzeyi



Şekil (3.3b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 3$ İken Çökme Yüzeyi



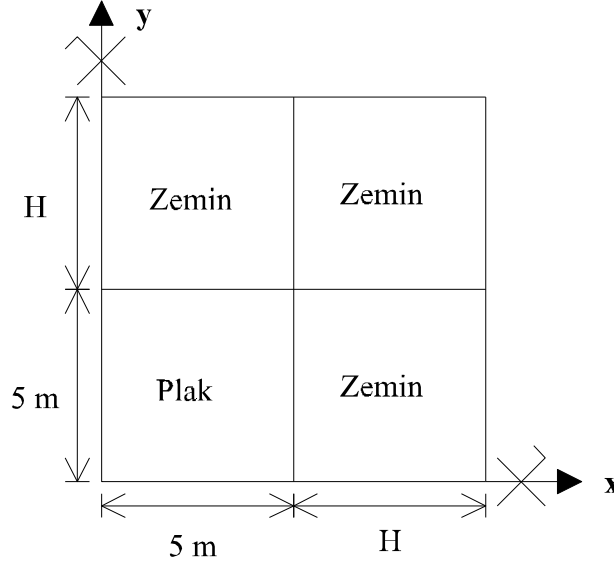
Şekil (3.3c) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 5$ İken Çökme Yüzeyi



Şekil (3.3d) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1 = 10$ İken Çökme Yüzeyi

3.3. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plakın Elastisite Modülünün Derinlikle Kuadratik Değişmesi Durumunda Hesabı

Problemde şekil (3.4) de görülen plak göz önüne alınıp, elastisite modülünün E_1 ' den E_2 ' ye kuadratik değiştiği durum için E_2 / E_1 oranının 1, 3 ve 5 değerleri için ayrı ayrı hesap yapılacaktır.



Şekil 3.4 Simetri Eksenlerine Göre 1/4 lük Sistem

Plakın x ve y eksenine doğrultusundaki boyutu 10 m, kalınlığı 0.25 m, elastisite modülü 28500000 kN/m^2 ve poisson oranı 0.20 dir. Zemin bölgesinin poisson oranı 0.25, zemin üst tabakası için elastisite modülü 6000 kN/m^2 dir. Problem sıkışabilir tabaka kalınlığının 5 m ve 10 m olması durumlarında için çözülecektir.

3.3.1. Üniform Yayılı Yükleme

Plak yüzeyinde 200 kN/m^2 şiddetinde üniform yayılı yük vardır.

$H = 5 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.22) de gösterilmiştir.

Tablo 3.22 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
0.8780	1456.5156	1814.9542
0.8092	1452.1632	1840.4059
0.8077	1452.0786	1840.9455

H = 5 m ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.23) de gösterilmiştir.

Tablo 3.23 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
0.8574	2270.4141	2160.5588
0.8528	2271.4670	2162.8564
0.8526	2271.4962	2162.9173

H = 5 m ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.24) de gösterilmiştir.

Tablo 3.24 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
0.8527	3088.1861	2501.3649
0.8775	3075.1036	2485.6158
0.8780	3074.8513	2485.3103

H = 10 m ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.25) de gösterilmiştir.

Tablo 3.25 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.3656	760.2821	3217.1555
1.2696	751.3361	3302.9912
1.2596	750.4868	3311.8430
1.2581	750.3598	3313.1777

$H = 10 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.26) da gösterilmiştir.

Tablo 3.26 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.7404	1077.3626	3306.4997
1.3593	1087.1422	3757.1145
1.3282	1089.1914	3794.1603
1.3262	1089.3314	3796.5924

$H = 10 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.27) de gösterilmiştir.

Tablo 3.27 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.3262	1422.2257	4340.6521
1.3639	1413.6054	4284.8012
1.3656	1413.2250	4282.2952

3.3.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

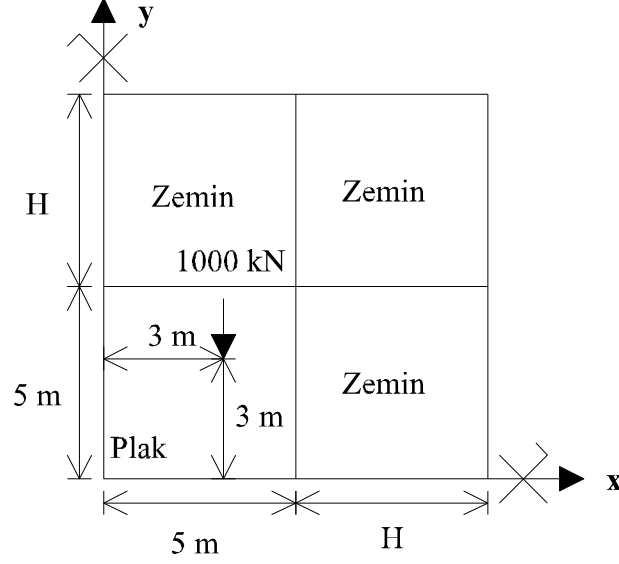
Tüm elastisite modülü oranları ve H değerleri için elde edilen değerler yayılı yük durumu için tablo (3.28) de toplanmıştır.

Tablo 3.28 Yayılı Yük Durumu

E_2/E_1	H	γ	$C \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1	5 m	0.8077	1452.0786	1840.9455
3	5 m	0.8526	2271.4962	2162.9173
5	5 m	0.8780	3074.8513	2485.3103
1	10 m	1.2581	750.3598	3313.1777
3	10 m	1.3262	1089.3314	3796.5924
5	10 m	1.3656	1413.2250	4282.2952

3.3.3. Tekil Yükleme

Plak üzerinde şekil (3.5) de gösterildiği gibi 1000 kN şiddetinde tekil yük alınarak çözüm yapılmıştır.



Şekil 3.5 Simetrik Sistemde Tekil Yük

$H = 5 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.29) da gösterilmiştir.

Tablo 3.29 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0108	1467.7761	1762.5255
0.8723	1456.1189	1817.1125
0.8635	1455.5193	1820.4294
0.8630	1455.4851	1820.6205

$H = 5 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.30) da gösterilmiştir.

Tablo 3.30 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0391	2229.9329	2064.2402
0.9504	2249.2645	2112.4101
0.9480	2249.8147	2113.7178
0.9479	2249.8288	2113.7496

$H = 5 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.31) de gösterilmiştir.

Tablo 3.31 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
0.9479	3037.7115	2439.6571
1.0108	3004.1669	2397.1075
1.0108	3004.1946	2397.1433

$H = 10 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.32) de gösterilmiştir.

Tablo 3.32 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.4499	769.3260	3141.1183
1.3083	754.7718	3268.5273
1.2907	753.1802	3284.2359
1.2885	752.9842	3286.2007

$H = 10 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.33) de gösterilmiştir.

Tablo 3.33 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.4486	1082.2354	3650.7175
1.3875	1085.4376	3723.5932
1.3832	1085.6883	3728.7215

$H = 10 \text{ m}$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.34) de gösterilmiştir.

Tablo 3.34 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.8836	1329.5372	3532.5347
1.4751	1389.8754	4119.8765
1.4508	1394.8405	4155.9583
1.4499	1395.0278	4157.3042

3.3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Tüm elastisite modülü oranları ve H değerleri için elde edilen değerler tekil yük durumu için tablo (3.35) de toplanmıştır.

Tablo 3.35 Tekil Yük Durumu

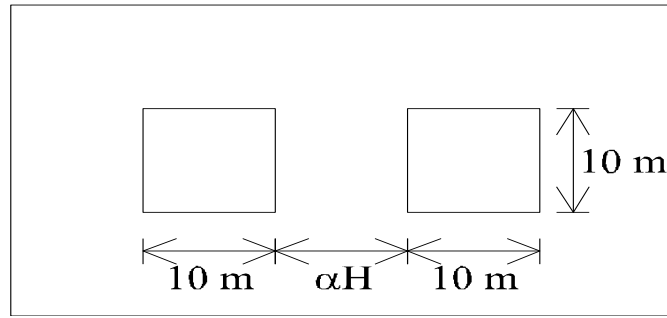
E_2/E_1	H	γ	$C \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1	5 m	0.8630	1455.4851	1820.6205
3	5 m	0.9479	2249.8288	2113.7496
5	5 m	1.0108	3004.1943	2397.1435
1	10 m	1.2885	752.9842	3286.2007
3	10 m	1.3832	1085.6885	3728.7215
5	10 m	1.4499	1395.0273	4157.3044

3.3.5. Çökme ve Moment Yüzeyleri

Yapılan hesaplamalar sonucu ulaşılan değerlerle çökme ve moment yüzeyleri çizilerek, ekler bölümünde ‘A’ ile numaralandırılmış şekillerde gösterilmiştir.

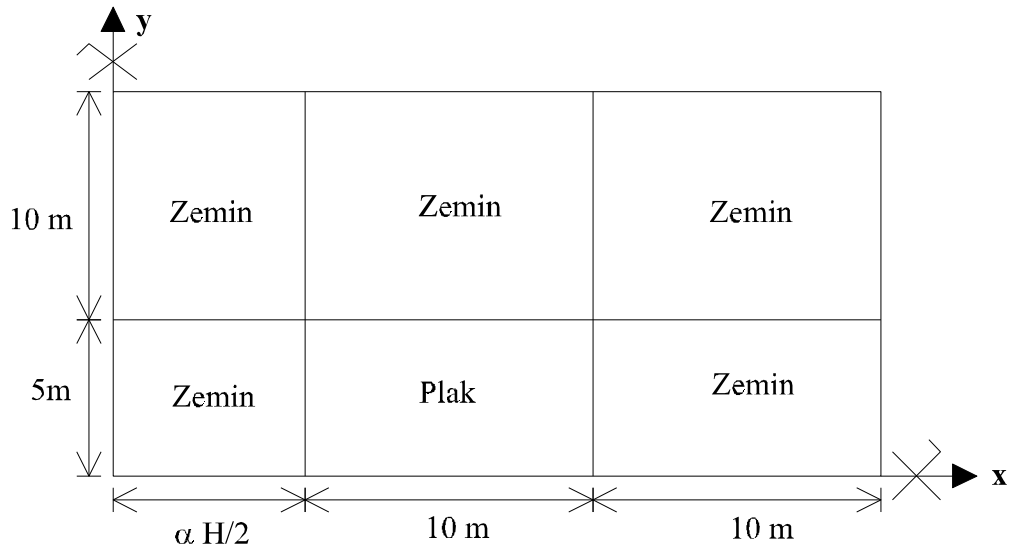
3.4. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Aynı Özellikteki İki Plakın Aralarındaki Mesafeye Bağlı Olarak Karşılıklı Etkileşimi

Bu problemde 3.3 bölümünde çözümü yapılan plakın yanına şekil (3.6) da görüldüğü gibi aynı özellikte bir plak koyulacaktır. Plaklar arasındaki mesafenin farklı değerleri için çözüm yapıp sonuçların ne şekilde değiştiği gözlenmeye çalışılacaktır. Bu problemdeki zemin ve plak özellikleri 3.3 bölümündeki özelliklerle aynıdır. Tüm hesaplarda elastisite modülünün E_1 ' den E_2 ' ye kuadratik değiştiği durum için çözüm yapılmıştır.



Şekil 3.6 Plak-Zemin Bölgesi

Sistem, simetri göz önüne alınarak şekil (3.7) deki gibi gösterilebilir. $H = 10$ m dir. α 'nın 0.1 , 0.3 , 0.5 , 1 ve 2 değerleri için ayrı ayrı hesap yapılacaktır.



Şekil 3.7 Simetri Eksenlerine Göre 1/4 lük Sistem

3.4.1. Üniform Yayılı Yükleme

Plak yüzeyinde 200 kN/m^2 şiddetinde üniform yayılı yük vardır.

3.4.1.1. Elastisite Modülü Oranının 1 Olması Durumu

$\alpha = 0.1$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.36) da gösterilmiştir.

Tablo 3.36 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.4296	767.0470	3159.4429
1.0809	737.7126	3466.8120
1.0429	735.5653	3498.5440
1.0395	735.3805	3501.3856

$\alpha = 0.3$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.37) de gösterilmiştir.

Tablo 3.37 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0536	736.1512	3489.6582
1.0547	736.2098	3488.7787

$\alpha = 0.5$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.38) de gösterilmiştir.

Tablo 3.38 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0840	737.8967	3464.1931
1.0873	738.0962	3488.7787

$\alpha = 1$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.39) da gösterilmiştir.

Tablo 3.39 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1492	742.0660	3408.4864
1.1570	742.6037	3401.7463
1.1580	742.6709	3400.9102

$\alpha = 2$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.40) da gösterilmiştir.

Tablo 3.40 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2001	745.7256	3364.2917
1.2049	746.0951	3360.0330

3.4.1.2. Elastisite Modülü Oranının 3 Olması Durumu

$\alpha = 0.1$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.41) de gösterilmiştir.

Tablo 3.41 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0546	1113.3333	4111.2101
1.1184	1106.8697	4039.2680
1.1226	1106.4517	4034.3925

$\alpha = 0.3$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.42) de gösterilmiştir.

Tablo 3.42 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1472	1104.0892	4006.2458
1.1489	1103.9267	4004.2709

$\alpha = 0.5$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.43) de gösterilmiştir.

Tablo 3.43 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1859	1100.5141	3961.5053
1.1886	1100.2771	3958.4362

$\alpha = 1$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.44) de gösterilmiştir.

Tablo 3.44 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2506	1094.9926	3885.9530
1.2553	1094.6104	3880.3625

$\alpha = 2$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.45) de gösterilmiştir.

Tablo 3.45 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2861	1092.2212	3844.1016
1.2885	1092.0363	3841.1912

3.4.1.3. Elastisite Modülü Oranının 5 Olması Durumu

$\alpha = 0.1$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.46) da gösterilmiştir.

Tablo 3.46 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1324	1470.0806	4623.5573
1.1691	1460.6395	4570.7505
1.1703	1460.3218	4568.9517

$\alpha = 0.3$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.47) de gösterilmiştir.

Tablo 3.47 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2020	1452.2977	4523.0000
1.2034	1451.9573	4521.0282

$\alpha = 0.5$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.48) de gösterilmiştir.

Tablo 3.48 Yayılı Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2445	1441.7469	4460.9792
1.2465	1441.2460	4457.9861

$\alpha = 1$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.49) da gösterilmiştir.

Tablo 3.49 Yayılı Yük Durumu

γ	C (kN/m ³)	C _T (kN/m)
1.3067	1426.7635	4369.3431
1.3100	1426.0027	4364.5656

$\alpha = 2$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri yayılı yük durumu için tablo (3.50) de gösterilmiştir.

Tablo 3.50 Yayılı Yük Durumu

γ	C (kN/m ³)	C _T (kN/m)
1.3343	1420.3404	4328.5983
1.3357	1420.0272	4326.5865

3.4.1.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

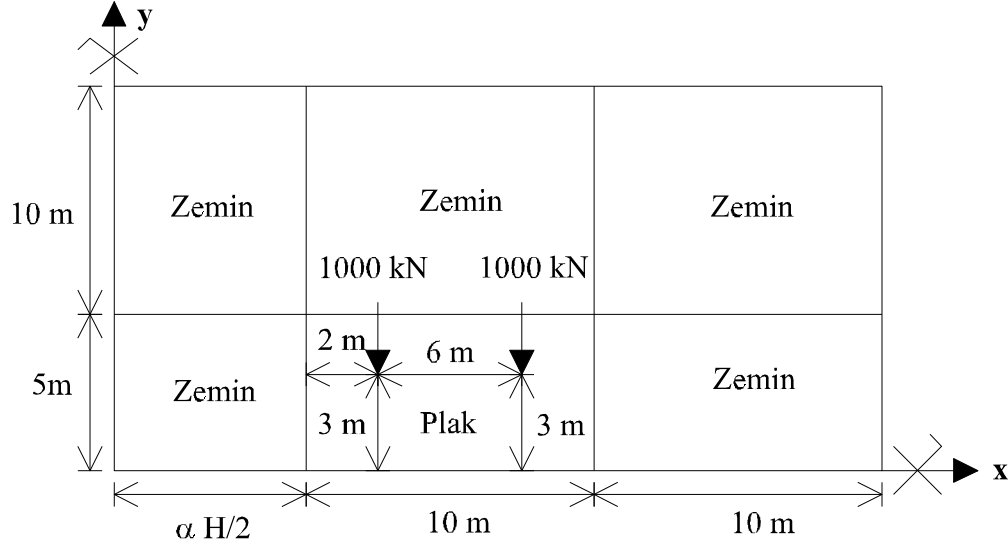
Tüm α ve elastisite modülü oranları için elde edilen değerler yayılı yük durumu için tablo (3.51) de toplanmıştır. Ayrıca karşılaştırma açısından 3.3 bölümündeki tek plak için elde edilen değerlerde tabloya alınmıştır.

Tablo 3.51 Yayılı Yük Durumu

E_2/E_1	α	γ	C (kN/m ³)	C _T (kN/m)
1	0.1	1.0395	735.3805	3501.3856
	0.3	1.0547	736.2098	3488.7787
	0.5	1.0873	738.0962	3461.3716
	1	1.1580	742.6709	3400.9102
	2	1.2049	746.0951	3360.9102
	Tek Plak	1.2581	750.3598	3313.1777
3	0.1	1.1226	1106.4517	4034.3925
	0.3	1.1489	1103.9267	4004.2709
	0.5	1.1886	1100.2771	3958.4362
	1	1.2553	1094.6104	3880.3625
	2	1.2885	1092.0363	3841.1912
	Tek Plak	1.3262	1089.3314	3796.5924
5	0.1	1.1703	1460.3218	4568.9517
	0.3	1.2034	1451.9573	4521.0282
	0.5	1.2465	1441.2460	4457.9861
	1	1.3100	1426.0027	4364.5656
	2	1.3357	1420.0272	4326.5865
	Tek Plak	1.3656	1413.2250	4282.2952

3.4.2. Tekil Yükleme

Plaklar üzerinde şekil (3.8) de gösterildiği gibi 1000 kN şiddetinde iki adet tekil yük vardır.



Şekil 3.8 Simetri Eksenlerine Göre 1/4 lük Sistem

3.4.2.1. Elastisite Modülü Oranının 1 Olması Durumu

$\alpha = 0.1$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.52) de gösterilmiştir.

Tablo 3.52 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0737	737.2916	3472.8589
1.0604	736.5307	3483.9962
1.0591	736.4579	3485.0766

$\alpha = 0.3$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.53) de gösterilmiştir.

Tablo 3.53 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0715	737.1663	3474.6738
1.0727	737.2350	3473.6773

$\alpha = 0.5$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.54) de gösterilmiştir.

Tablo 3.54 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1019	738.9848	3449.0111
1.1055	739.2090	3445.9443

$\alpha = 1$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.55) de gösterilmiştir.

Tablo 3.55 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1696	743.4925	3390.8014
1.1784	744.1258	3383.1435
1.1796	744.2122	3382.1071

$\alpha = 2$ ve $E_2 / E_1 = 1$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.56) da gösterilmiştir.

Tablo 3.56 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2248	747.6367	3342.6249
1.2305	748.0957	3337.5486

3.4.2.2. Elastisite Modülü Oranının 3 Olması Durumu

$\alpha = 0.1$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.57) de gösterilmiştir.

Tablo 3.57 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.0765	1111.0709	4086.7149
1.1672	1102.2237	3983.2481
1.1714	1101.8364	3978.3813

$\alpha = 0.3$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.58) de gösterilmiştir.

Tablo 3.58 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1950	1099.7038	3950.9560
1.1966	1099.5601	3949.0673

$\alpha = 0.5$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.59) da gösterilmiştir.

Tablo 3.59 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2341	1096.3403	3905.2531
1.2368	1096.1105	3902.1183

$\alpha = 1$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.60) da gösterilmiştir.

Tablo 3.60 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.3015	1091.0768	3825.8249
1.3066	1090.7103	3902.1183

$\alpha = 2$ ve $E_2 / E_1 = 3$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.61) de gösterilmiştir.

Tablo 3.61 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.3398	1088.4064	3780.3456
1.3426	1088.2251	3777.0922

3.4.2.3. Elastisite Modülü Oranının 5 Olması Durumu

$\alpha = 0.1$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.62) de gösterilmiştir.

Tablo 3.62 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.1815	1457.4775	4552.7762
1.2480	1440.8715	4455.7452
1.2492	1440.5810	4454.0057

$\alpha = 0.3$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.63) de gösterilmiştir.

Tablo 3.63 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.2809	1432.9157	4407.5151
1.2817	1432.7057	4406.2251

$\alpha = 0.5$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.64) de gösterilmiştir.

Tablo 3.64 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.3237	1422.8026	4344.3296
1.3252	1422.4536	4342.1084

$\alpha = 1$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.65) de gösterilmiştir.

Tablo 3.65 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.3880	1408.2355	4249.0274
1.3906	1407.6589	4245.1377

$\alpha = 2$ ve $E_2 / E_1 = 5$ olmak üzere hesaplanan γ , C ve C_T değerleri tekil yük durumu için tablo (3.66) da gösterilmiştir.

Tablo 3.66 Tekil Yük Durumu

γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1.4170	1401.9337	4205.9692
1.4182	1401.6940	4204.3072

3.4.2.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Tüm α ve elastisite modülü oranları için elde edilen değerler tekil yük durumu için tablo (3.67) de toplanmıştır. Ayrıca karşılaştırma açısından 3.3 bölümündeki tek plak için elde edilen değerlerde tabloya alınmıştır.

Tablo 3.67 Tekil Yük Durumu

E_2/E_1	α	γ	$C \text{ (kN/m}^3 \text{)}$	$C_T \text{ (kN/m)}$
1	0.1	1.0591	736.4579	3485.0766
	0.3	1.0727	737.2350	3473.6773
	0.5	1.1055	739.2090	3445.9443
	1	1.1796	744.2122	3382.1071
	2	1.2305	748.0957	3337.5486
	Tek Plak	1.2885	752.9842	3286.2007
3	0.1	1.1714	1101.8364	3978.3813
	0.3	1.1966	1099.5601	3949.0673
	0.5	1.2368	1096.1185	3902.1183
	1	1.3066	1090.7103	3819.8302
	2	1.3426	1088.7251	3777.0922
	Tek Plak	1.3832	1085.6885	3728.7215
5	0.1	1.2492	1440.5810	4454.0057
	0.3	1.2817	1434.7057	4406.2251
	0.5	1.3252	1422.4536	4342.1084
	1	1.3906	1407.6589	4245.1377
	2	1.4182	1401.6940	4204.3072
	Tek Plak	1.4499	1395.0273	4157.3044

3.4.3. Çökme ve Moment Yüzeyleri

Yapılan hesaplamalar sonucu ulaşılan çökme değerleriyle $E_2/E_1=3$ ve α nın farklı değerleri için çökme yüzeyleri ile moment yüzeyleri çizilerek, ekler bölümünde ‘B’ ile numaralandırılmış şekillerde gösterilmiştir.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

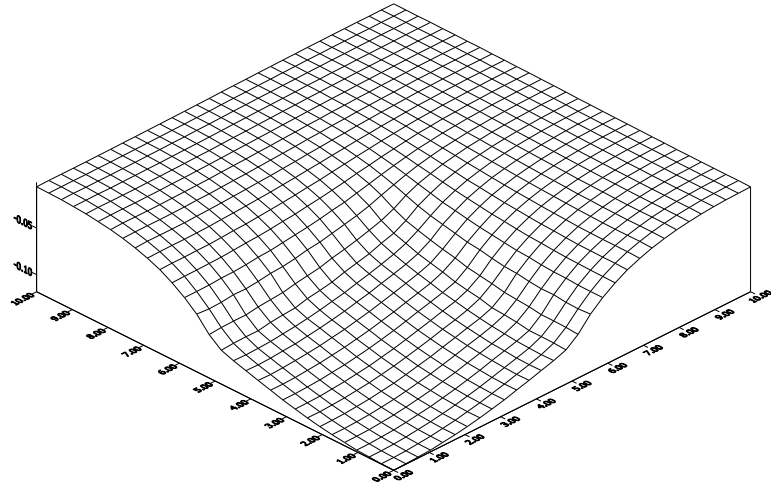
İki parametrelili elastik zemine oturan plaklarda, plak ve zemin bölgesinin sonlu elemanlarla idealleştirilerek zemin yüzey parametresi ve zemine ait karakteristiklerin ardışık yaklaşım yöntemiyle hesaplanıp, çeşitli örnekler verilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1) İki parametrelili elastik zemine oturan plakların hesabı yapılırken plağın ve zemin bölgesinin sonlu elemanlarla idealleştirilip, çözüm sonucunda ulaşılan deplasmanlar yardımıyla çizilen çökme yüzeylerine bakıldığında yapılan modellemenin önerilen zemin modeline uygun olduğu görülmüştür.
- 2) Plak ve zemin sonlu elemanlar kullanılarak zemin yüzey parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklükler ardışık yaklaşım yöntemiyle elde edilebilmekte olup ardışık yaklaşımın üçüncü veya dördüncü basamağında sonuca ulaşılabilir. Özellikle uniform yayılı yükleme durumunda sonuca daha çabuk ulaşıldığı çözümler örnekler ile görülmüştür.
- 3) Zemin yüzey parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklükler yükleme durumu sıkışabilir tabaka kalınlığı ve zeminin elastik özelliklerine bağlıdır. Zeminin sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça zemin yüzey parametresinin arttığı, zeminin yataklanma katsayısının azaldığı ve zeminin kayma parametrisinin arttığı çözümler örnekler ile tespit edilmiştir.
- 4) E_2/E_1 oranı arttıkça plağa ait çökme ve moment değerleri azalmıştır. Sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça plağa ait çökme ve moment değerleri artmıştır.
- 5) Çözümler son örnekte birbirine komşu olan plaklar arasındaki mesafenin sıkışabilir tabaka kalınlığından az olması durumunda karşılıklı etkileşimin olduğu ve mesafenin arttıkça etkileşimin azaldığı görülmüştür. Plaklar arasındaki mesafenin sıkışabilir tabaka kalınlığının üzerinde olması halinde plakların etkileşiminin olmadığı gözlenmiştir.

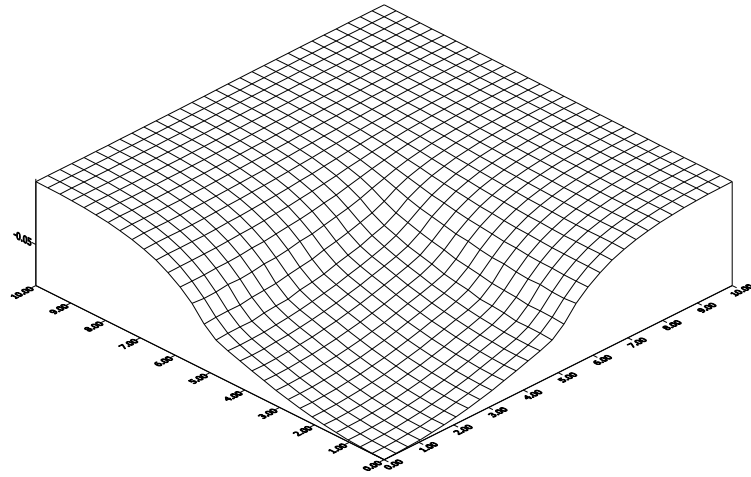
KAYNAKLAR

- [1] **Kimençe B.**, 1989. İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Dairesel Plak ve Basık Küresel Kabuk Tabanlı Silindirik Tank, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [2] **Saygun, A.**, 1974. Yüzeysel Taşıyıcı Sistemlerin Hesabı İçin Eğrisel Sonlu Elemanlar, Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [3] **Saygun, A., Trupia, A., Eren, İ.**, 1993. Elastik Zemine Oturan Kirişli ve Kirişsiz Radye Temellerin Hesabı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [4] **Çelik, M.**, 1995. Plak Sonlu Elemanlarda Kayma Şekil Değiştirmelerinin Gözönüne Alınarak İki Parametrelili Zemine Oturan Plakların Hesabı, Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [5] **Vallabhan, C.V.G., Straughan, W.T., Das.Y.C.**, 1991. Refined Model for Analysis of Plates on Elastic Foundations, Journal of Engineering Mechanics, Vol.117, No 12, pp.2830-2844
- [6] **Daloğlu, A.**, 1992. A Consistent Vlasov Model for Analysis of Plates on Elastic Foundations Using Finite Element Method. Doctor Philosophy, Texas Tech. University
- [7] **Dindar, A.A.**, 2002. İki Parametrelili Vlasov Zemine Oturan Homojen İzotrop Plakların Karaşık Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [8] **Günay A.**, 1996. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Elastik Zemine Oturan Plakların Analizi ve Yapı Sistemlerinin Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul

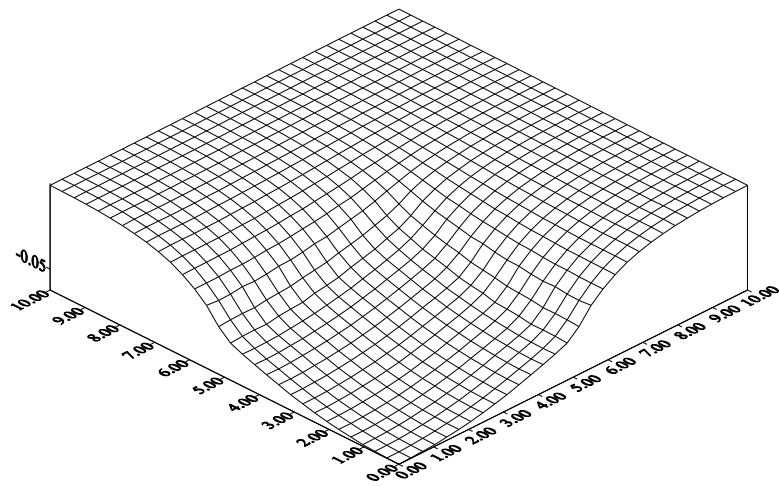
EKLER



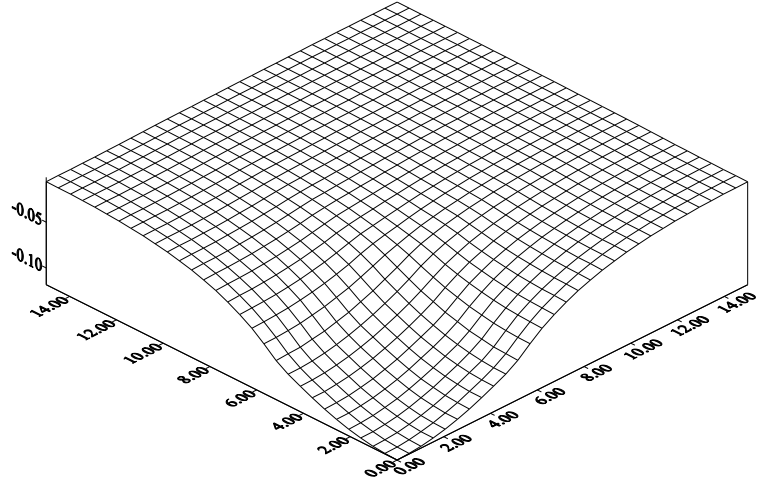
Şekil (A.1a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H = 5$ m İken Çökme Yüzeyi



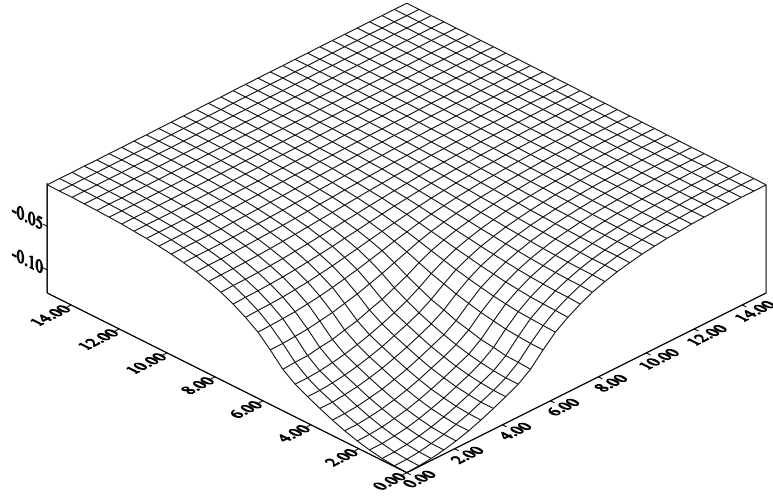
Şekil (A.1b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H = 5$ m İken Çökme Yüzeyi



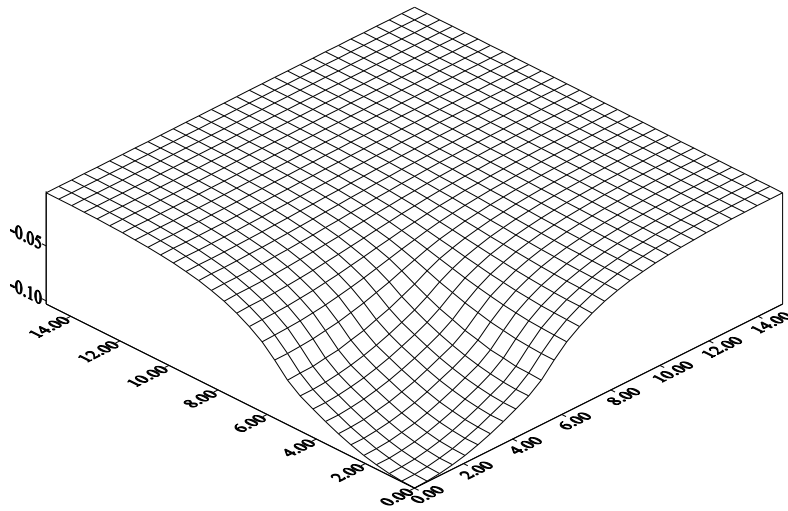
Şekil (A.1c) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H = 5$ m İken Çökme Yüzeyi



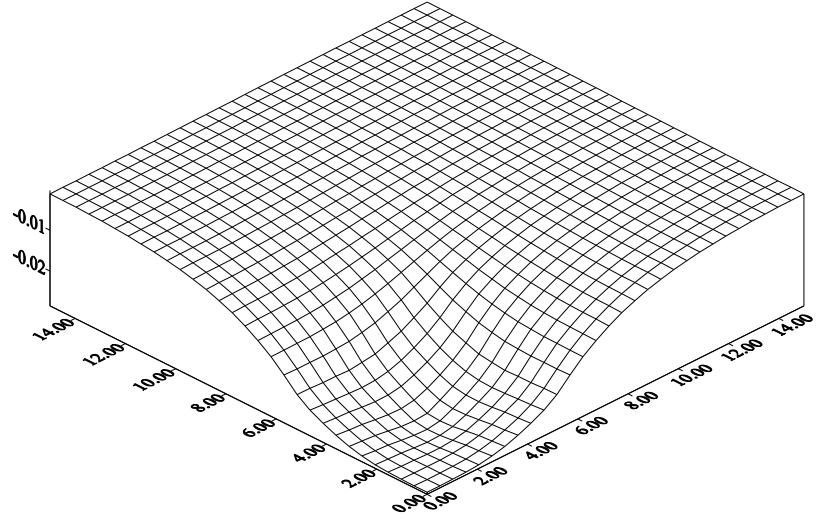
Şekil (A.2a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H = 10$ m İken Çökme Yüzeyi



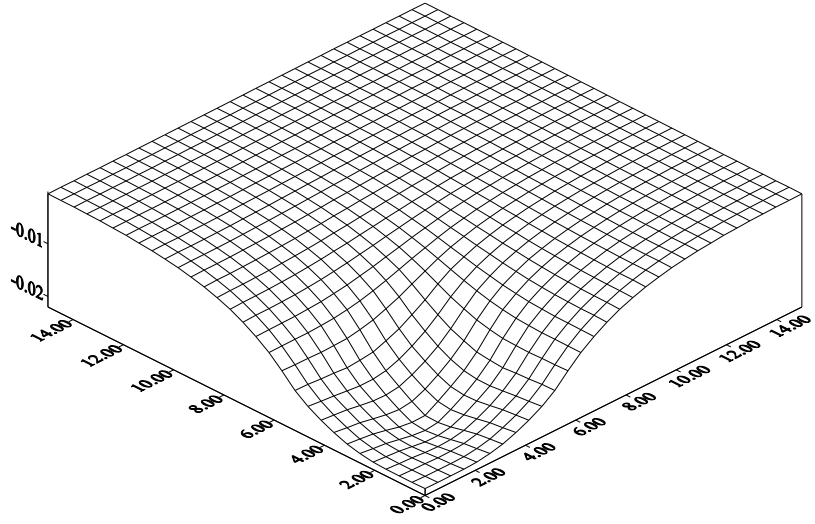
Şekil (A.2b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H = 10$ m İken Çökme Yüzeyi



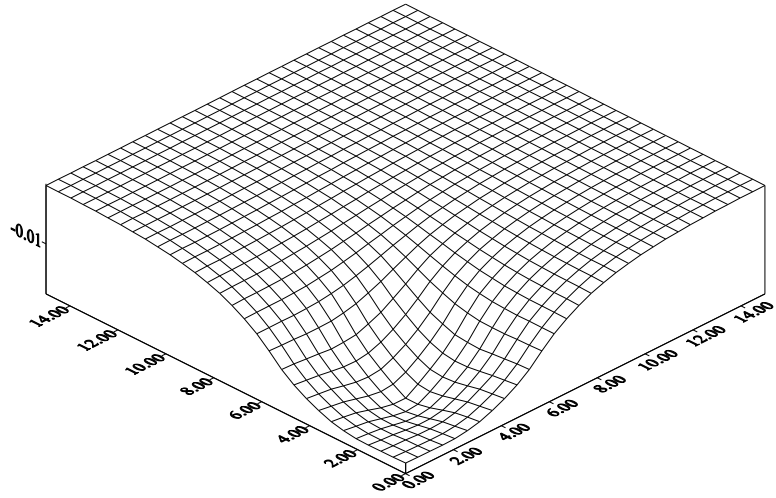
Şekil (A.2c) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H = 10$ m İken Çökme Yüzeyi



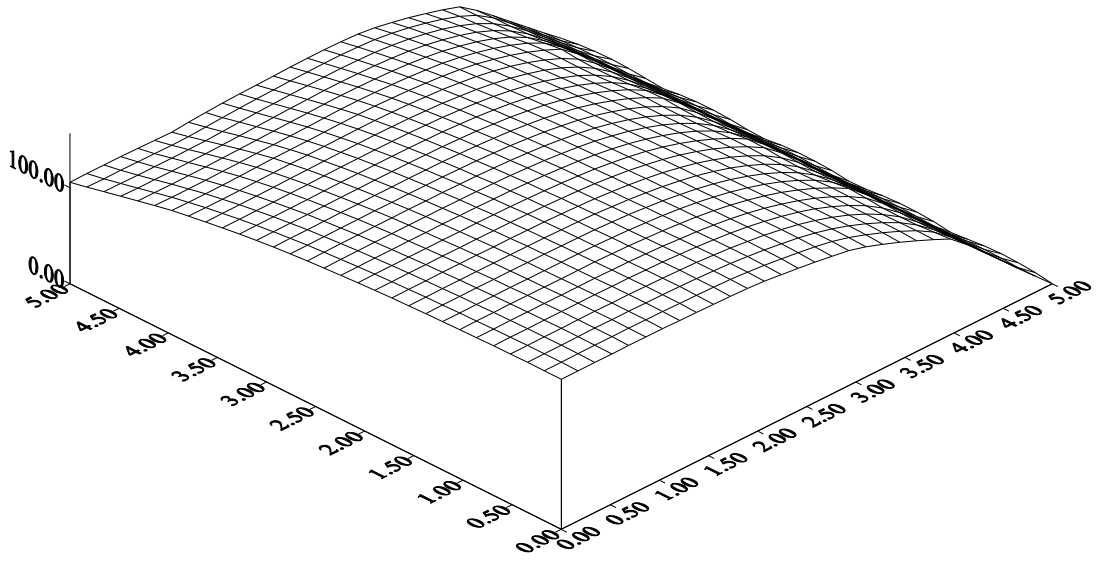
Şekil (A.3a) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H = 10$ m İken Çökme Yüzeyi



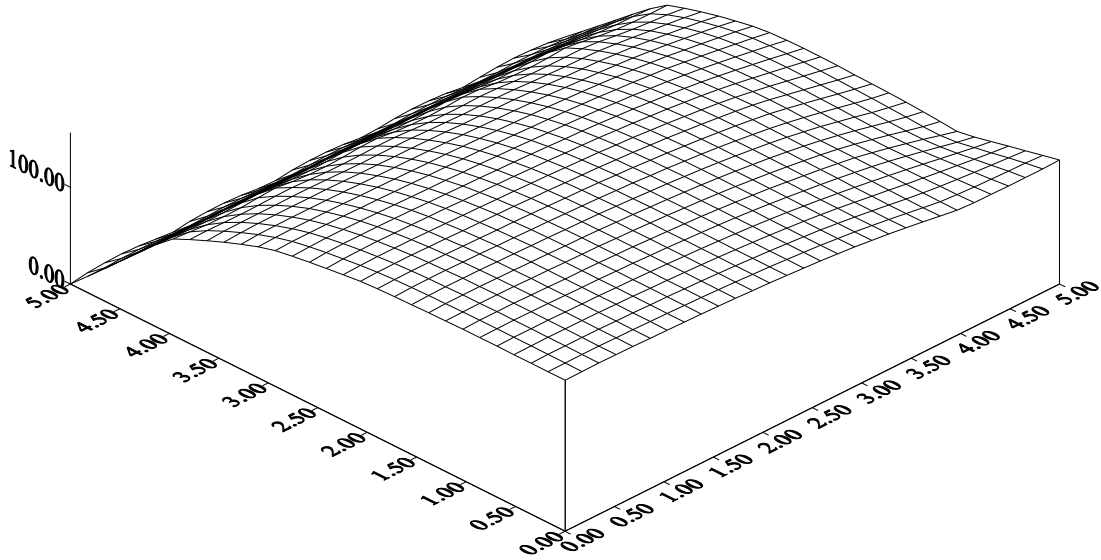
Şekil (A.3b) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H = 10$ m İken Çökme Yüzeyi



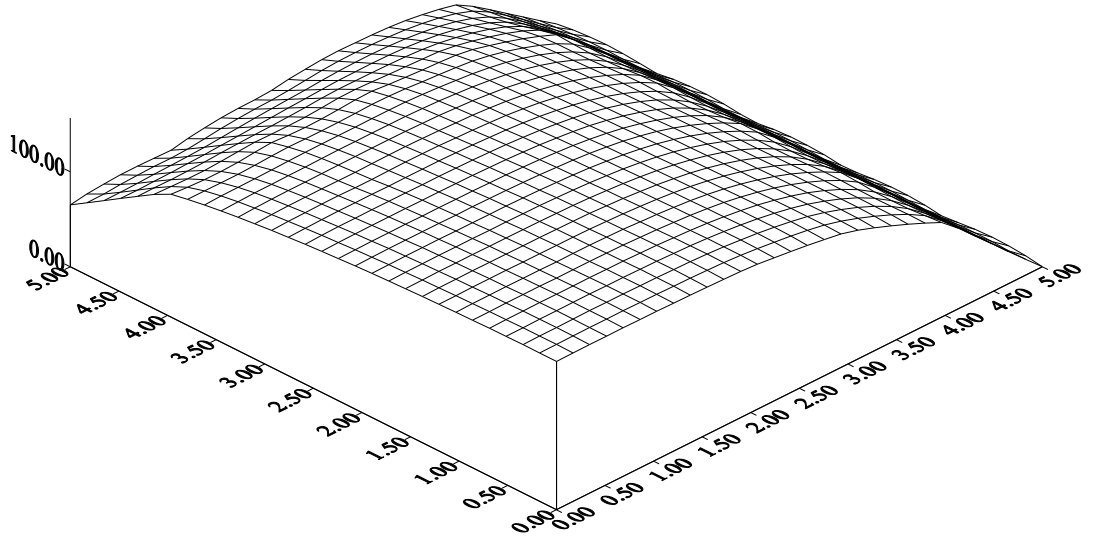
Şekil (A.3c) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H = 10$ m İken Çökme Yüzeyi



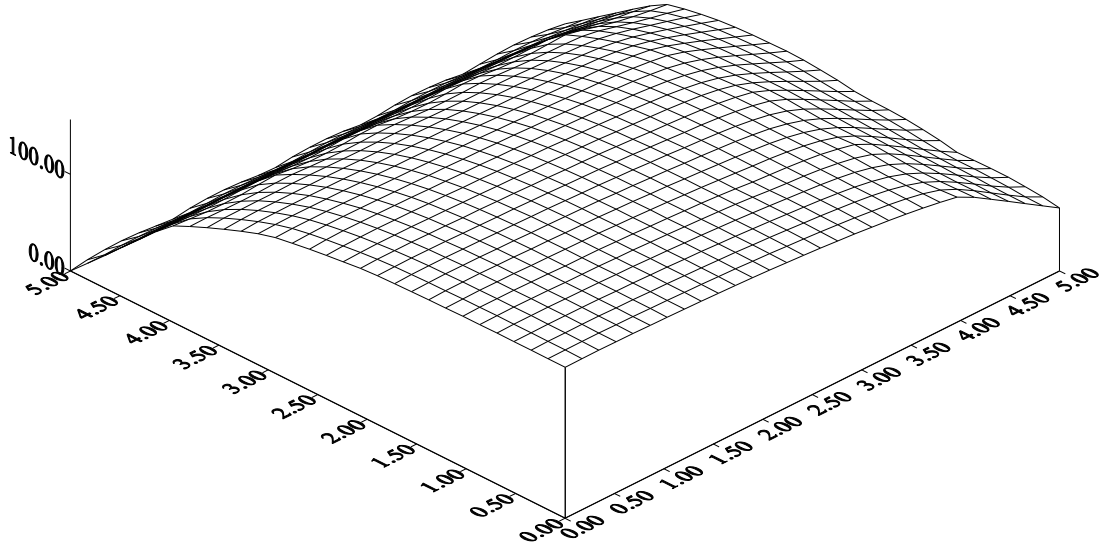
Şekil (A.4a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H=5$ m İken M_x Moment Yüzeyi



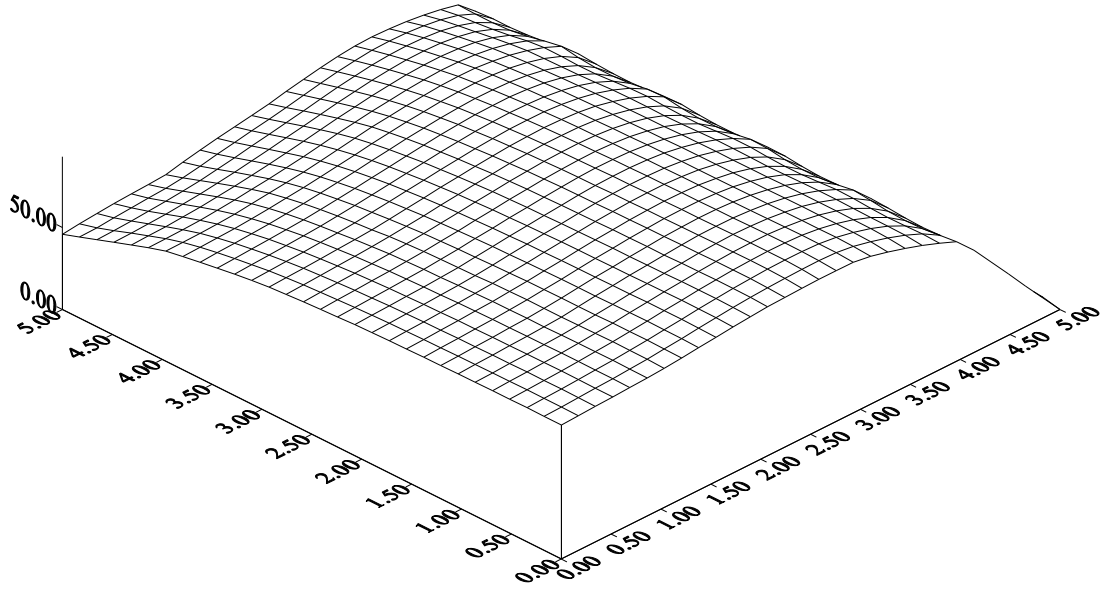
Şekil (A.4b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H=5$ m İken M_y Moment Yüzeyi



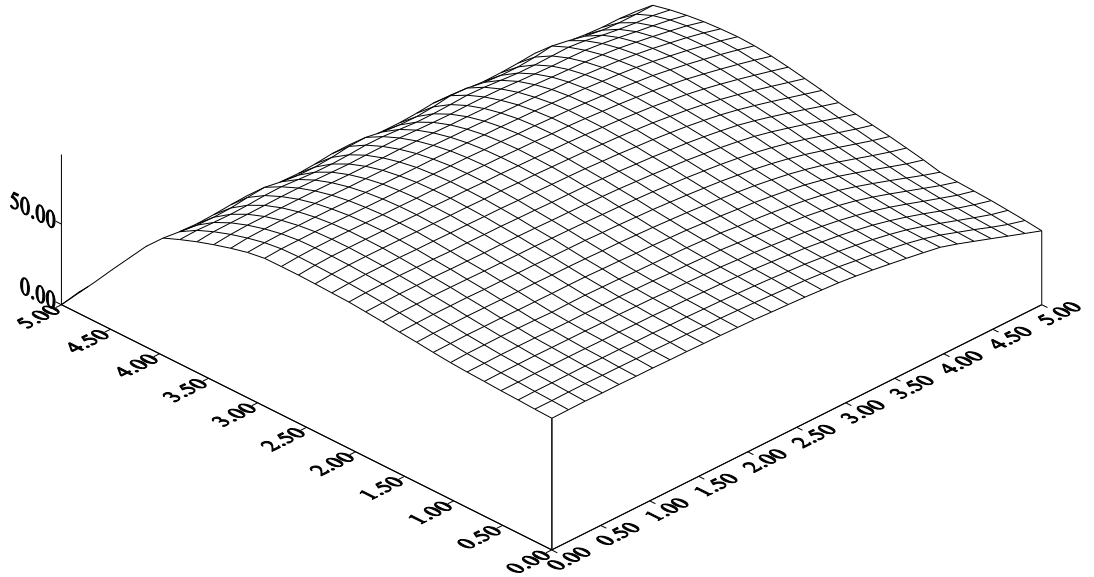
Şekil (A.5a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H=5$ m İken M_x Moment Yüzeyi



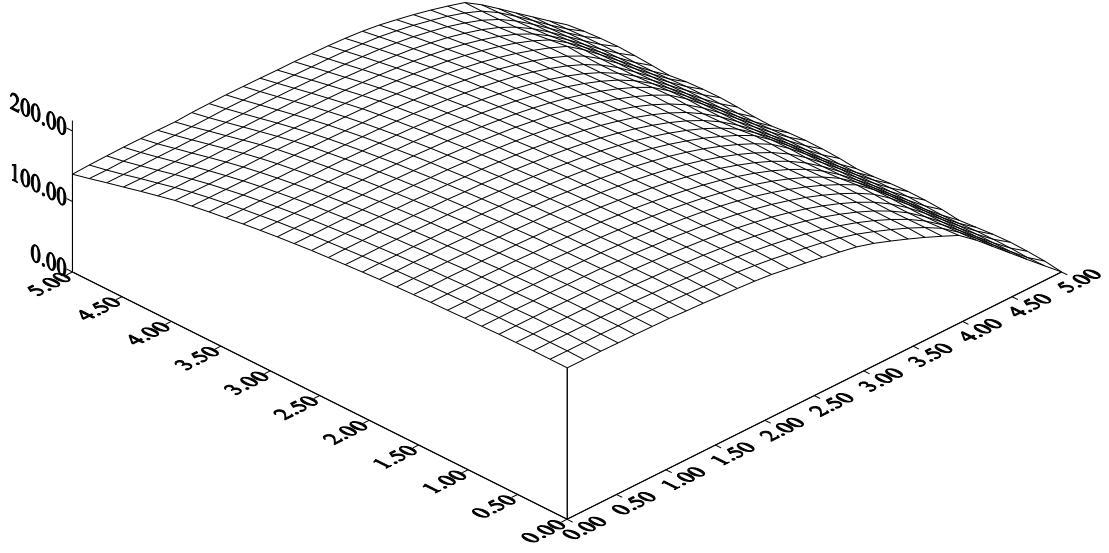
Şekil (A.5b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H=5$ m İken M_y Moment Yüzeyi



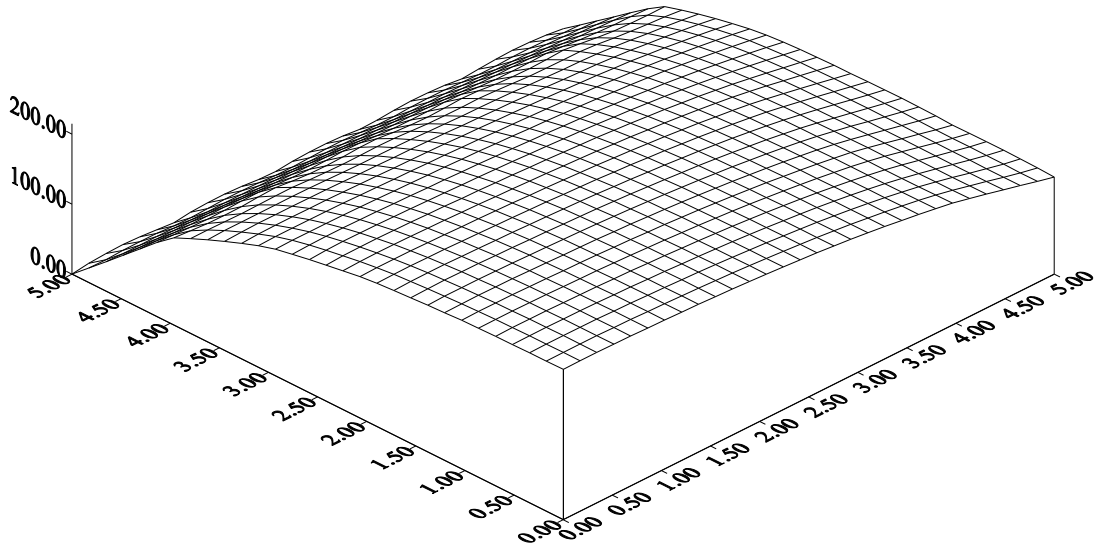
Şekil (A.6a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H=5$ m İken M_x Moment Yüzeyi



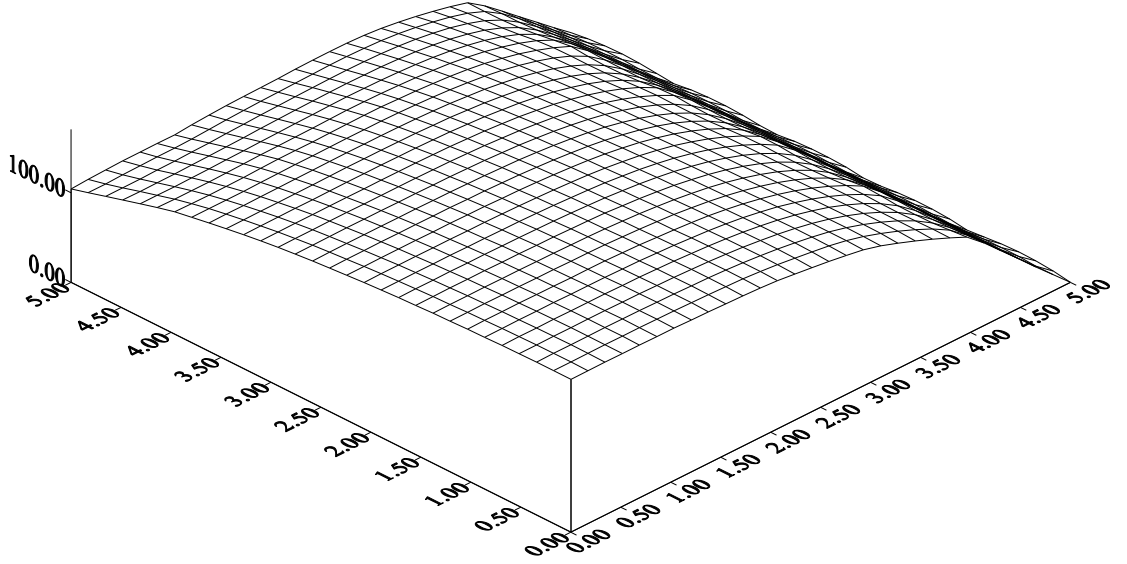
Şekil (A.6b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H=5$ m İken M_y Moment Yüzeyi



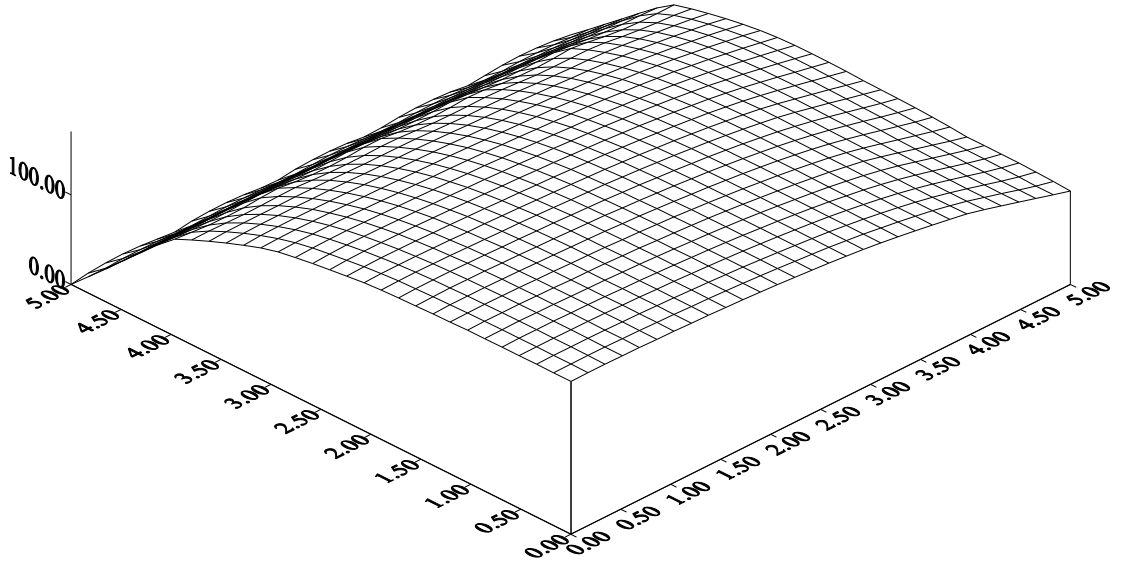
Şekil (A.7a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi



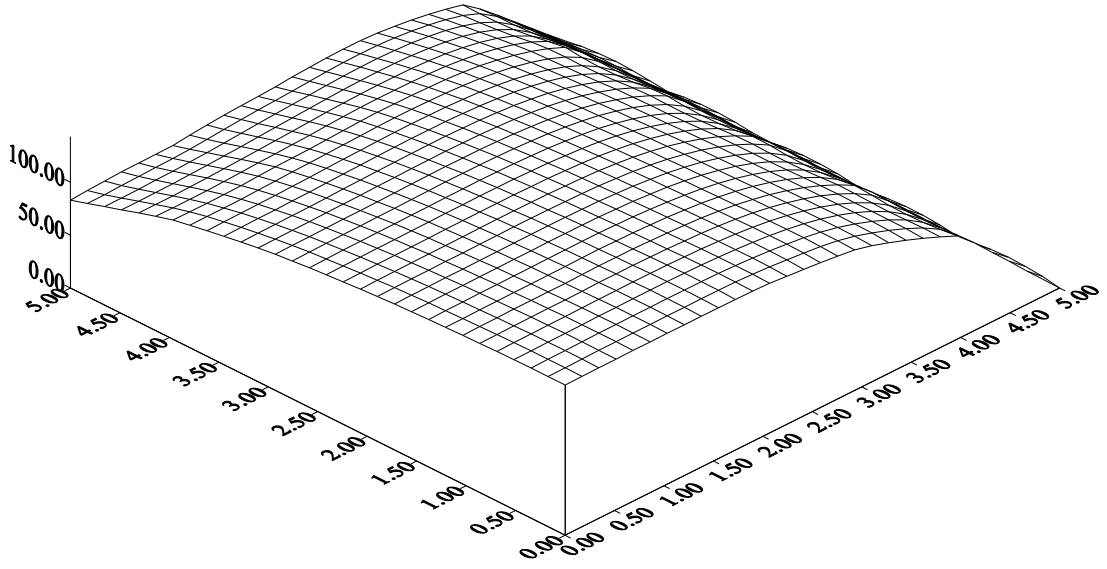
Şekil (A.7b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi



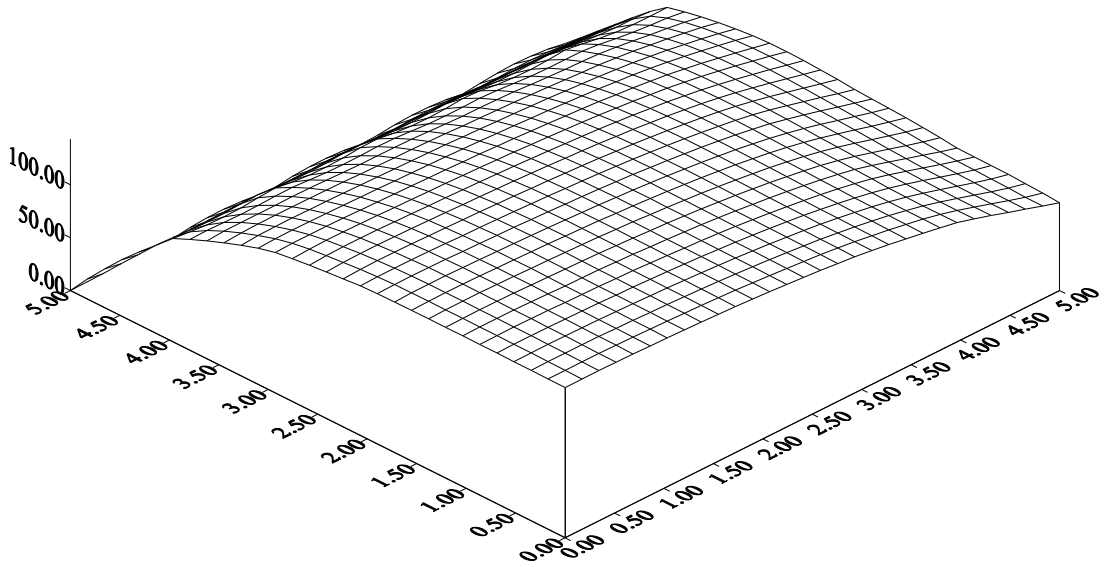
Şekil (A.8a) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi



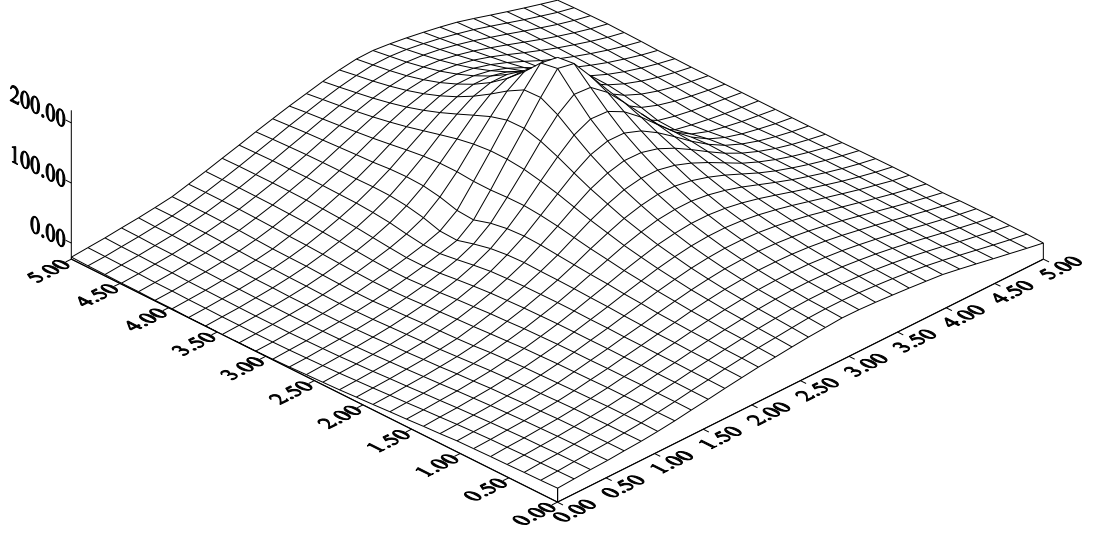
Şekil (A.8b) Yayılı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi



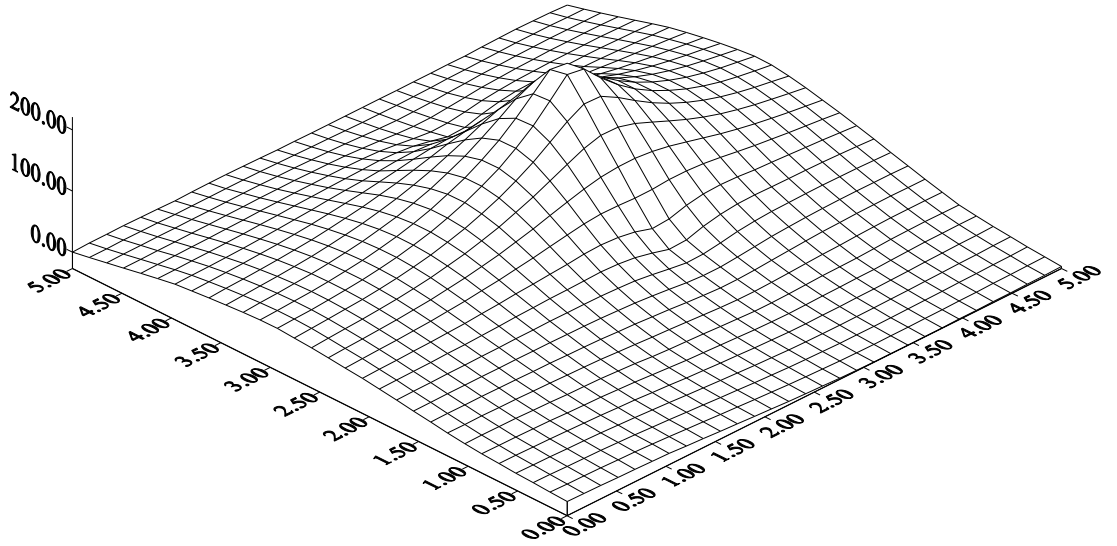
Şekil (A.9a) Yayıllı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi



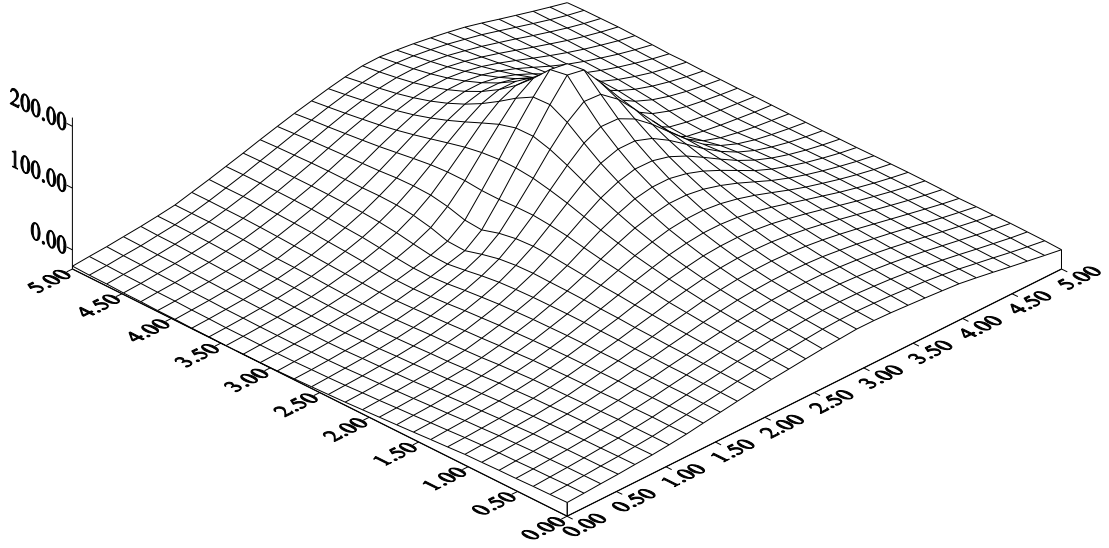
Şekil (A.9b) Yayıllı Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi



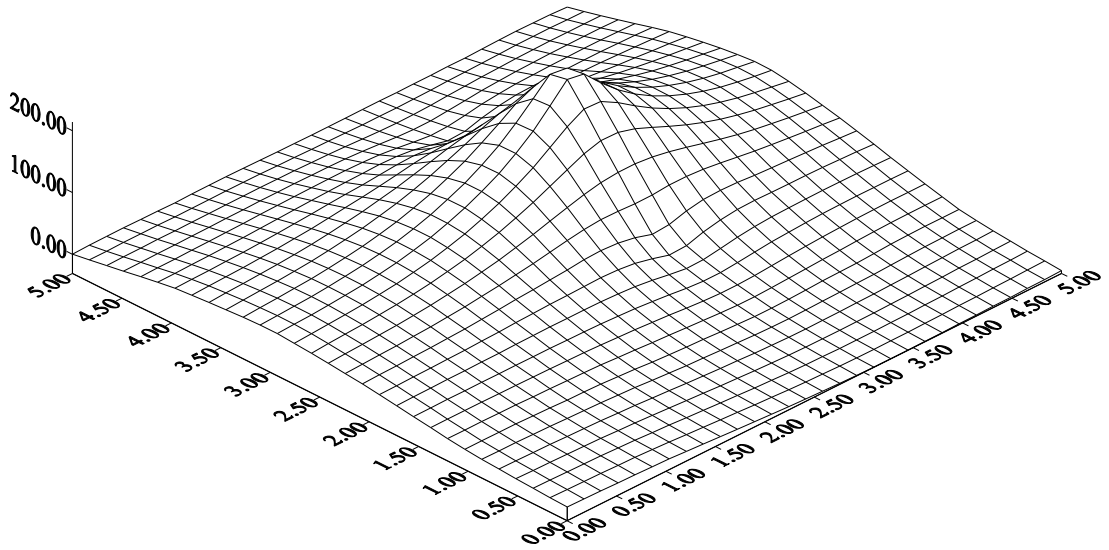
Şekil (A.10a) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi



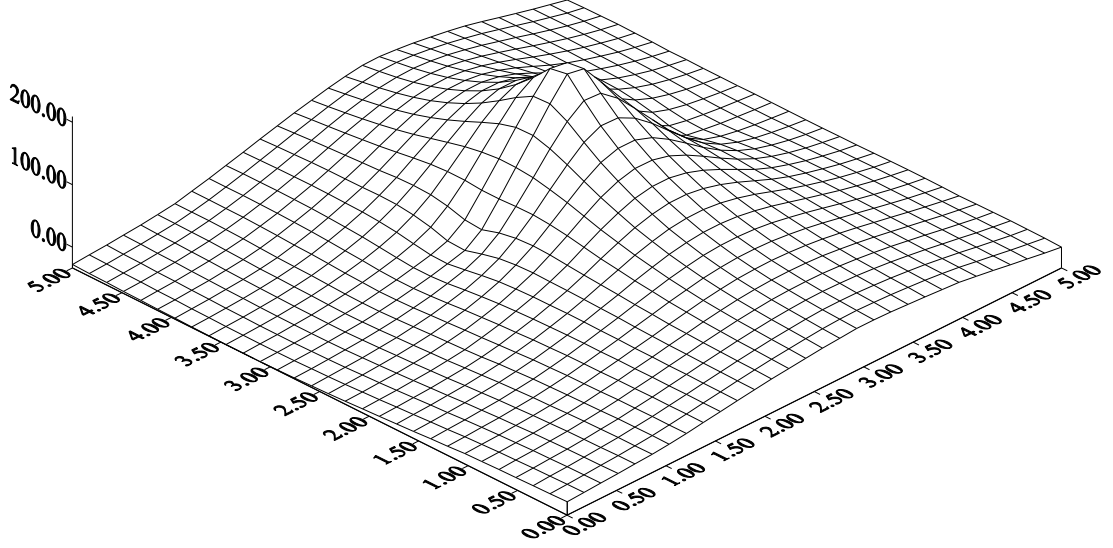
Şekil (A.10b) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=1$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi



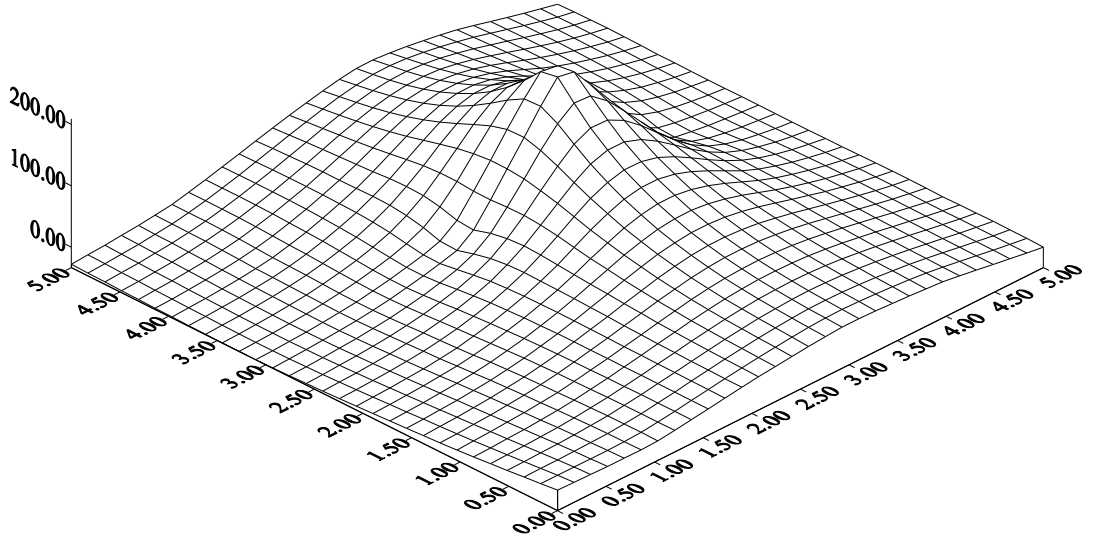
Şekil (A.11a) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi



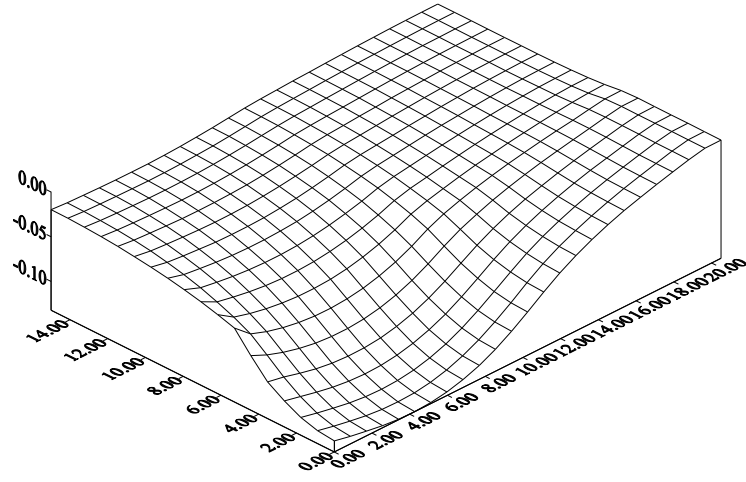
Şekil (A.11b) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=3$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi



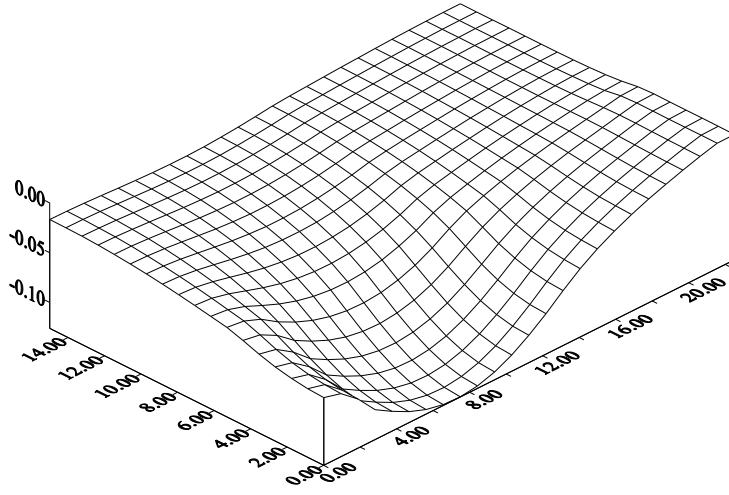
Şekil (A.12a) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H=10$ m İken M_x Moment Yüzeyi



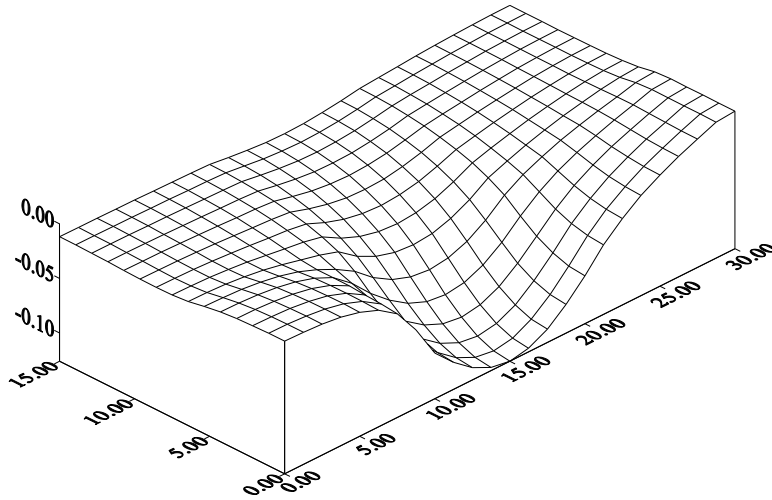
Şekil (3.12b) Tekil Yükleme Durumunda $E_2/E_1=5$ ve $H=10$ m İken M_y Moment Yüzeyi



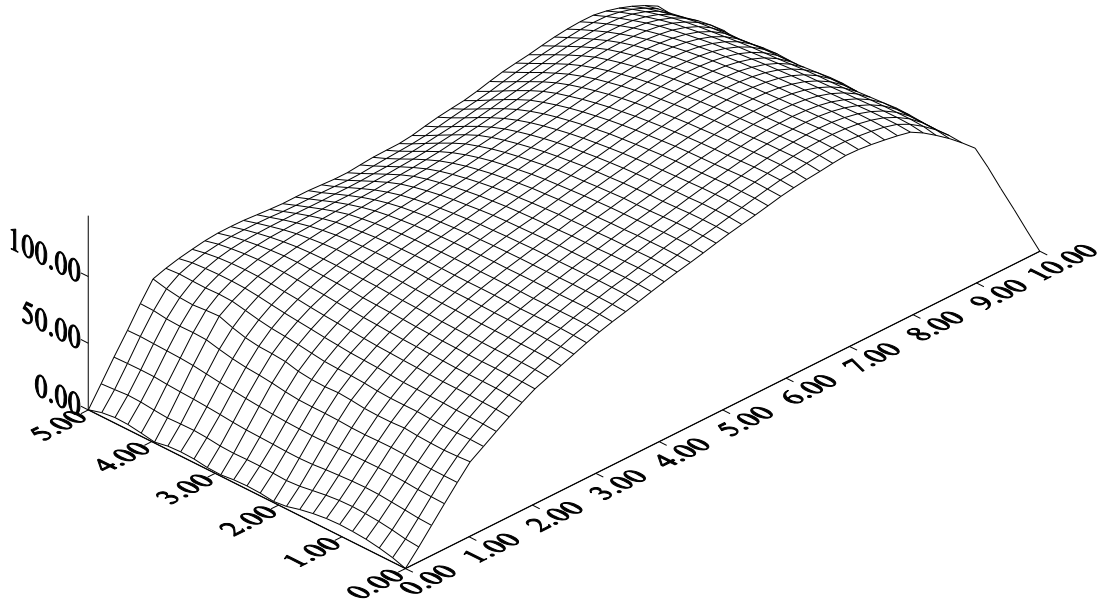
Şekil (B.1a) Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.1$ İken Çökme Yüzeyi



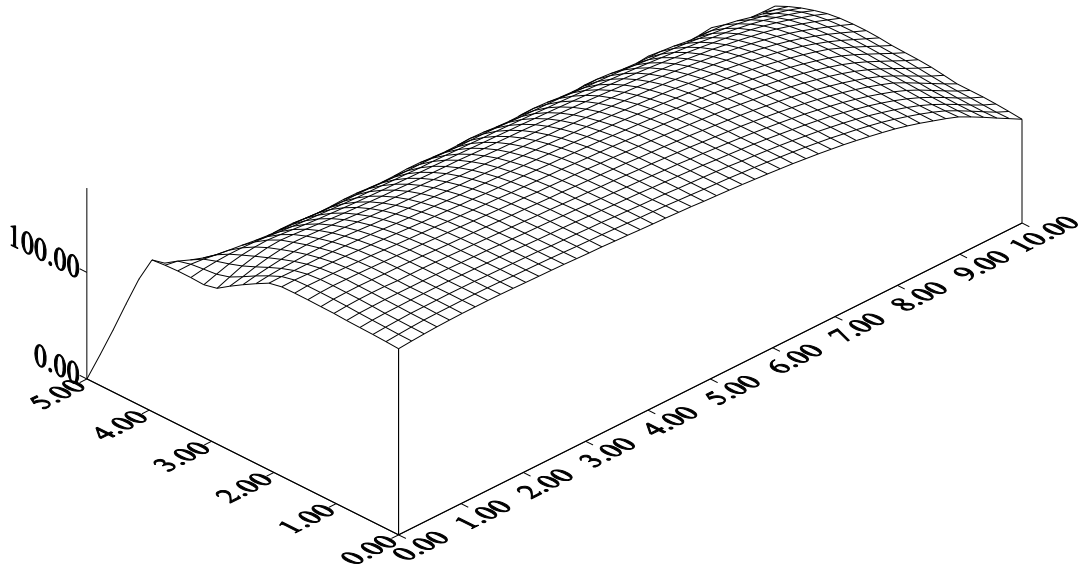
Şekil (B.1b) Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.5$ İken Çökme Yüzeyi



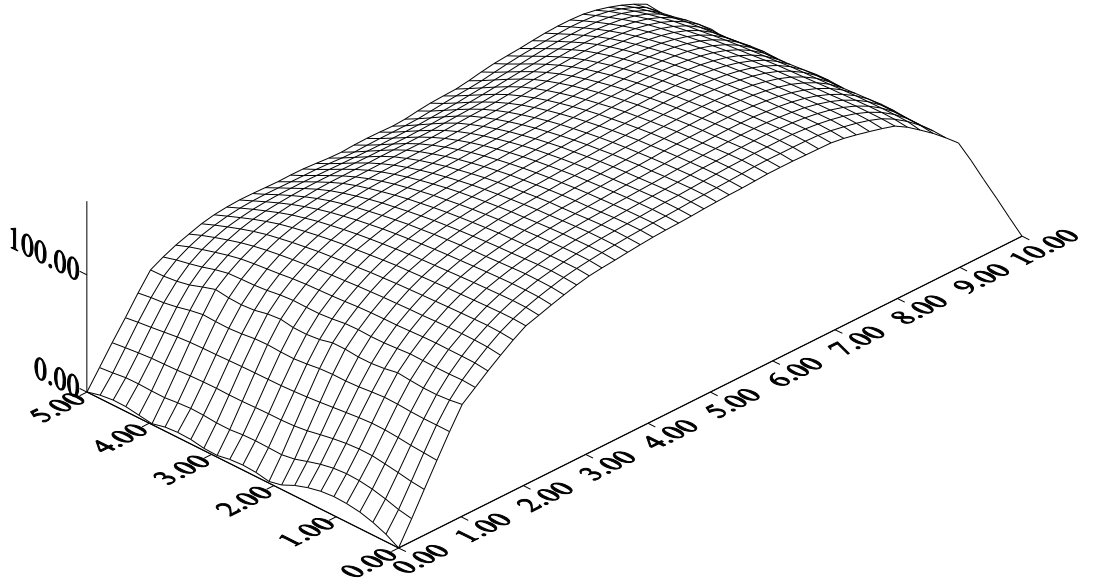
Şekil (B.1c) Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 2$ İken Çökme Yüzeyi



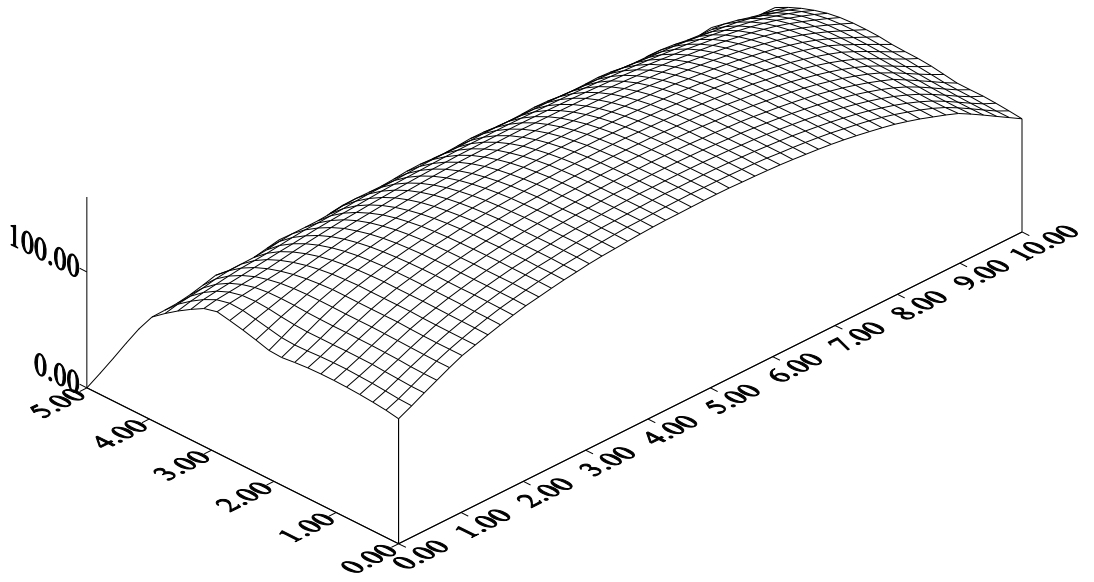
Şekil (B.2a) Yayıllı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.1$ İken M_x Moment Yüzeyi



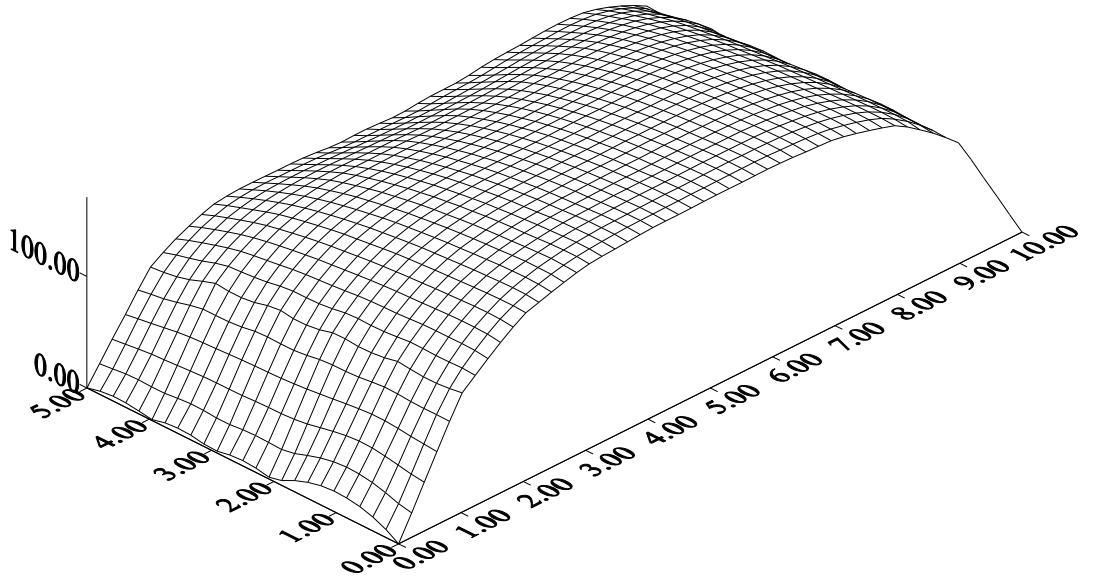
Şekil (B. 2b) Yayıllı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.1$ İken M_y Moment Yüzeyi



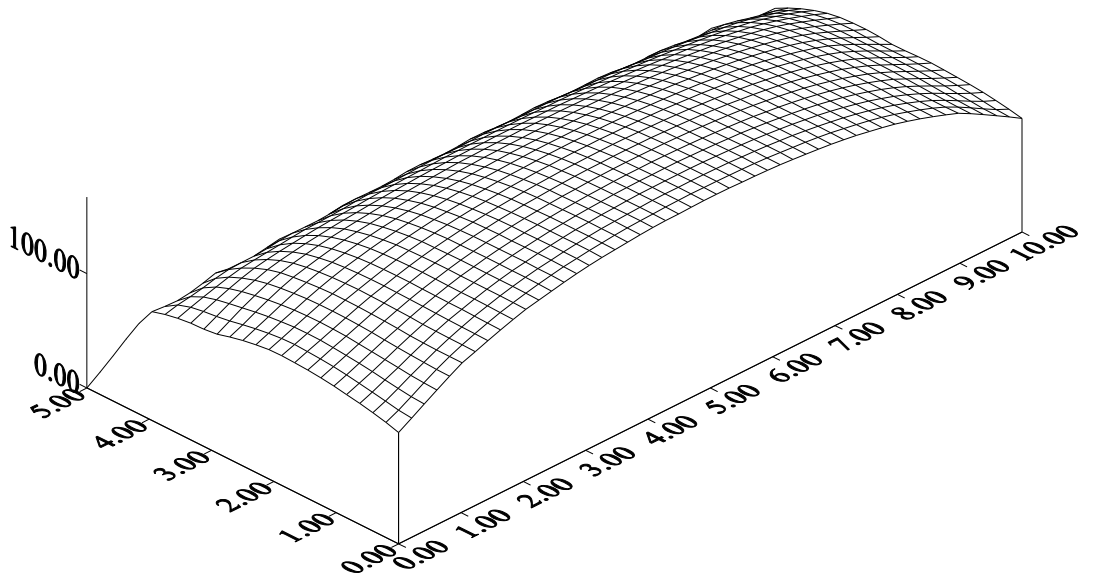
Şekil (B.3a) Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.5$ İken M_x Moment Yüzeyi



Şekil (B.3b) Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 0.5$ İken M_y Moment Yüzeyi



Şekil (B.4a) Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 2$ İken M_x Moment Yüzeyi



Şekil (B.4b) Yayılı Yükleme Durumunda $\alpha = 2$ İken M_y Moment Yüzeyi

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Trabzon’da doğan Kadir Koray GÖREN ilk, orta ve lise öğrenimini Trabzon’un Beşikdüzü İlçesi’nde tamamlamıştır. 1994 yılında Beşikdüzü Atatürk Lisesi’nden mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girmiştir. Bir yıl ingilizce hazırlık eğitiminden sonra lisans eğitimine başlamıştır.

İ.T.Ü İnşaat Fakültesi’nden 1999 yılında mezun olan Kadir Koray Gören, aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans çalışmasına başlamıştır.