

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞKEN DERİNLİKLİ İKİ PARAMETRELİ ELASTİK ZEMİNE
OTURAN PLAKLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Duygu ŞİK**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞİŞKEN DERİNLİKLİ İKİ PARAMETRELİ ELASTİK ZEMİNE
OTURAN PLAKLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Duygu ŞİK
(501071025)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Mecit ÇELİK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Z. Canan GİRGİN (YTÜ)**

OCAK 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

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

Bu çalışma süresince değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, bana her konuda yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mecit ÇELİK' e, Prof. Dr. Ahmet Işın SAYGUN'a, gösterdiği anlayış ve yardımlarından dolayı arkadaşım inşaat mühendisi Fatma Sevil MALCIOĞLU'na ve aileme teşekkür ederim.

Aralık 2009

Duygu ŞIK
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Tanıtımı	1
1.2 Zemin Modelleri.....	1
1.2.1 Winkler zemin modeli.....	1
1.2.2 Boussinesq zemin modeli.....	3
1.2.3 Filonenko – Brodich zemin modeli.....	3
1.2.4 Hetenyi zemin modeli	5
1.2.5 Pasternak zemin modeli	5
1.2.6 Vlasov zemin modeli	6
1.3 Çözüm Yöntemi	8
1.4 Çalışmanın Kapsamı	9
2. İKİ PARAMETRELİ ZEMİNE OTURAN PLAK HESABI.....	11
2.1 İki Parametrelili Zemin Karakteristiklerinin Tanımı ve Hesabı.....	11
2.2 İki Parametrelili Zemin Tepkilerinin Plak Sonlu Elemanlarda Göz Önüne Alınması.....	20
2.2.1 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen plak elemanda [C] ve [C _T] matrisleri ..	24
2.3 İki Parametrelili Zemin Ortamının Sonlu Elemanlarla Tanımlanması.....	29
2.3.1 4 Serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu elemanda [C] ve [C _T] matrisleri.....	32
3. SAYISAL ÖRNEKLER	35
3.1 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plagın Üniform Yayılı Yük Durumu İçin Hesabı	35
3.1.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu	36
3.1.1.1 Sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranının bir olması durumu	36
3.1.1.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	37
3.1.1.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	38
3.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu	39
3.1.2.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	39
3.1.2.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	40
3.1.2.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	41
3.1.3 . Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu	42
3.1.3.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	42
3.1.3.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	43
3.1.3.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	44

3.2 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağın Tekil Yük Durumu İçin Hesabı	46
3.2.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu	47
3.2.1.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	47
3.2.1.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	47
3.2.1.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	49
3.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu	50
3.2.2.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	50
3.2.2.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	51
3.2.2.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	52
3.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu	53
3.2.3.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	53
3.2.3.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	54
3.2.3.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	55
3.3 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağa Farklı Tekil Yük Kombinasyonlarının Etkimesi Durumu	57
3.3.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu	57
3.3.1.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	58
3.3.1.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	58
3.3.1.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	60
3.3.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu	60
3.3.2.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	60
3.3.2.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	61
3.3.2.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	63
3.3.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu	63
3.3.3.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu	63
3.3.3.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu	64
3.3.3.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu	65
3.4 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağın Zemin Elastisite Modülünün Farklı Değişim Durumları İçin Hesabı	67
3.4.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu	67
3.4.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu	69
3.4.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu	71
4. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR.....	77

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen elemanın elastik yataklanma alt matrisleri.....	26
Çizelge 2.2 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen elemanın kayma parametresine bağlı alt matrisleri.....	27
Çizelge 2.3 : Dikdörtgen zemin sonlu eleman deformasyon matrisi.....	34
Çizelge 3.1 : Yayılı yük durumu.....	36
Çizelge 3.2 : Yayılı yük durumu.....	37
Çizelge 3.3 : Yayılı yük durumu.....	38
Çizelge 3.4 : Yayılı yük durumu.....	39
Çizelge 3.5 : Yayılı yük durumu.....	40
Çizelge 3.6 : Yayılı yük durumu.....	41
Çizelge 3.7 : Yayılı yük durumu.....	42
Çizelge 3.8 : Yayılı yük durumu.....	43
Çizelge 3.9 : Yayılı yük durumu.....	44
Çizelge 3.10 : Tekil yük durumu.....	47
Çizelge 3.11 : Tekil yük durumu.....	48
Çizelge 3.12 : Tekil yük durumu.....	49
Çizelge 3.13 : Tekil yük durumu.....	50
Çizelge 3.14 : Tekil yük durumu.....	51
Çizelge 3.15 : Tekil yük durumu.....	52
Çizelge 3.16 : Tekil yük durumu.....	53
Çizelge 3.17 : Tekil yük durumu.....	54
Çizelge 3.18 : Tekil Yük Durumu.....	55
Çizelge 3.19 : Tekil yük durumu.....	58
Çizelge 3.20 : Tekil yük durumu.....	59
Çizelge 3.21 : Tekil yük durumu.....	60
Çizelge 3.22 : Tekil yük durumu.....	61
Çizelge 3.23 : Tekil yük durumu.....	62
Çizelge 3.24 : Tekil yük durumu.....	63
Çizelge 3.25 : Tekil yük durumu.....	64
Çizelge 3.26 : Tekil yük durumu.....	64
Çizelge 3.27 : Tekil yük durumu.....	66
Çizelge 3.28 : Yayılı yük durumu.....	68
Çizelge 3.29 : Yayılı yük durumu.....	70
Çizelge 3.30 : Yayılı yük durumu.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Winkler zemin modeli.....	2
Şekil 1.2 : Filonenko – Brodich zemin modeli.....	4
Şekil 1.3 : Hetenyi zemin modeli.....	5
Şekil 1.4 : Pasternak zemin modeli.....	6
Şekil 1.5 : Vlasov zemin modeli.....	7
Şekil 1.6 : Bir, iki ve üç boyutlu sonlu eleman örnekleri.....	9
Şekil 2.1 : Plak yüzeysel görünüş ve kesiti.....	11
Şekil 2.2 : Zemine etkiyen iç kuvvetler.....	12
Şekil 2.3 : dz Kalınlığındaki zemin tabakasına etkiyen yükler.....	16
Şekil 2.4 : Elastisite modülünün sabit olması.....	18
Şekil 2.5 : Elastisite modülünün lineer değişimi.....	18
Şekil 2.6 : Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	19
Şekil 2.7 : C ve C _T hesabı akış şeması.....	20
Şekil 2.8 : Dönmelere bağlı olarak zeminden temele gelen tepkiler.....	21
Şekil 2.9 : Dikdörtgen elemanda yüzeydeki ve sınırdaki zemin tepkileri.....	22
Şekil 2.10 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen plak sonlu eleman.....	24
Şekil 2.11 : Temel çevre ortamının bölgelere ayrılması.....	29
Şekil 2.12 : Planda düzgün olamayan radye temel.....	30
Şekil 2.13 : Radye temel çevre genişliği.....	30
Şekil 2.14 : Yakın temellerin karşılıklı etkileşimleri.....	31
Şekil 2.15 : 4 Serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu eleman.....	32
Şekil 3.1 : Çözümü yapılacak sistem planı.....	35
Şekil 3.2 : Sistem A-A kesiti.....	35
Şekil 3.3 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	38
Şekil 3.4 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	41
Şekil 3.5 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	44
Şekil 3.6 : Çözümü yapılacak sistem planı.....	46
Şekil 3.7 : Sistem A-A kesiti.....	46
Şekil 3.8 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	49
Şekil 3.9 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	52
Şekil 3.10 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	55
Şekil 3.11 : Çözümü Yapılacak Sistem Planı.....	57
Şekil 3.12 : Sistem B-B Kesiti.....	57
Şekil 3.13 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	59
Şekil 3.14 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	62
Şekil 3.15 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	65
Şekil 3.16 : Çözümü yapılacak sistem planı.....	67
Şekil 3.17 : Sistem A-A kesiti.....	67
Şekil 3.18 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.....	69

Şekil 3.19 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.	71
Şekil 3.20 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.	73

DEĞİŞKEN DERİNLİKLİ İKİ PARAMETRELİ ELASTİK ZEMİNE OTURAN PLAKLAR

ÖZET

Bu çalışmada değişken derinlikli iki parametrelili elastik zemine oturan plakların hesabı incelenmiştir. Plağa ait elastisite modülü, poisson oranı değerleri ile plak boyutları sabit alınmıştır. Buna karşılık sıkışabilen tabaka kalınlıkları farklı kabul edilmiştir. Sistem, zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik değiştiği üç farklı durumu için çözülmüştür. Bunlara bağlı olarak zemin yüzey parametresi, zemine ait elastik yataklanma katsayısı ve kayma parametresi bir ardaşık yaklaşım yöntemi ile hesaplanmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde problemin ortaya çıkışı ve daha önceden yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmalar sonucu ortaya çıkan zemin modelleri kısaca incelenmiş ve problemin çözümü için uygun zemin modeli seçilmiştir. Birinci bölümün sonunda problemin çözüm yöntemi ile çalışmanın kapsam ve amacı yer almaktadır.

İkinci bölümde çözüm yöntemi olarak Vlasov zemin modeli esas alınarak bu zemine ait kayma parametresi göz önüne alınmıştır. İki parametrelili elastik zeminde, zemin karakteristiklerinin tanımı yapılarak iki parametrelili zemine oturan plakların altında, plak dışında kalan noktalarda sistemin diferansiyel denklemi elde edilmiş ve virtüel iş teoremi yardımı ile zemine ait karakteristik büyüklüklerin ardaşık yaklaşım yöntemi ile elde edilebileceği gösterilmiştir. Hesaplar Saygun tarafından geliştirilen Genson isimli bilgisayar programı ile yapılmıştır. Onaltı serbestlik dereceli plak sonlu eleman ile dört serbestlik dereceli zemin sonlu elemana ait elastik yataklanma ve kayma parametresi matrislerinin çıkarılması bu bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Üçüncü bölümde sayısal örneklere yer verilmiştir. Yapılan hesaplar sonucu elde edilen düşey yer değiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x) tablolar ve şekillerle gösterilmiştir.

Son bölümde ise çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar topluca verilmiştir.

VARIABLE DEPTH BASED PLATES ON TWO PARAMETER ELASTIC FOUNDATION

SUMMARY

In this study, the calculation of variable depth plates based on two- parameter elastic foundation has been examined. The values of modulus of elasticity and the poisson ratio which belongs to plate are constant. On the contrary, compressible layer thicknesses are variable. The system has been resolved in case of constant, linear and quadratic changes of the modulus of elasticity along the compressible layer thickness. According to these cases, the mode shape parameter, the elastic bedding coefficient and shear parameter have been calculated by consecutive iteration process.

The study is composed of four sections. In the first section, information is given about the history of the problem and the previous studies. The foundation models which are appeared as results of this studies are shortly examined and the suitable foundation model for the solution of the problem has chosen. Solution method of the problem, content and the aim of this study take parts at the end of the first section.

In the second section, method of the solution based on Vlasov foundation model and shear parameters which belongs to this foundation are considered. The 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 consecutive iteration process. Calculations have done by using a computer programme called Genson developed by Saygun. Determining matrixes of shear parameters and elastic bedding parameters which belong to rectangular finite element with sixteen degrees of freedom and soil finite element with four degrees of freedom, explained in detail in this section.

In the third section numerical examples have been given regarding the calculations mentioned above. The vertical displacement (d) and bending moment (M_x) which are obtained from the results have been shown as tables and figures.

In the last section, aggregated results of the study have been given.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Tanıtımı

Yapıların zemine oturtulduğu göz önüne alındığında yapı-zemin ilişkisinin inşaat endüstri açısından öneminin büyüklüğü anlaşılmaktadır. Herhangi 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 sistemlerinin analizi hakkında pek çok çalışma yapılmıştır. Zemine oturan yapı sistemlerinin davranışı ve zeminin kendi davranışı birbiriyle karşılıklı etkileşimi çeşitli zemin modelleri ile ifade edilmiştir.

Elastik zemine oturan plakların analizinin 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.

1.2 Zemin Modelleri

Literatürde mevcut zemin modelleri ile ilgili kısa bilgiler aşağıda verildiği gibidir.

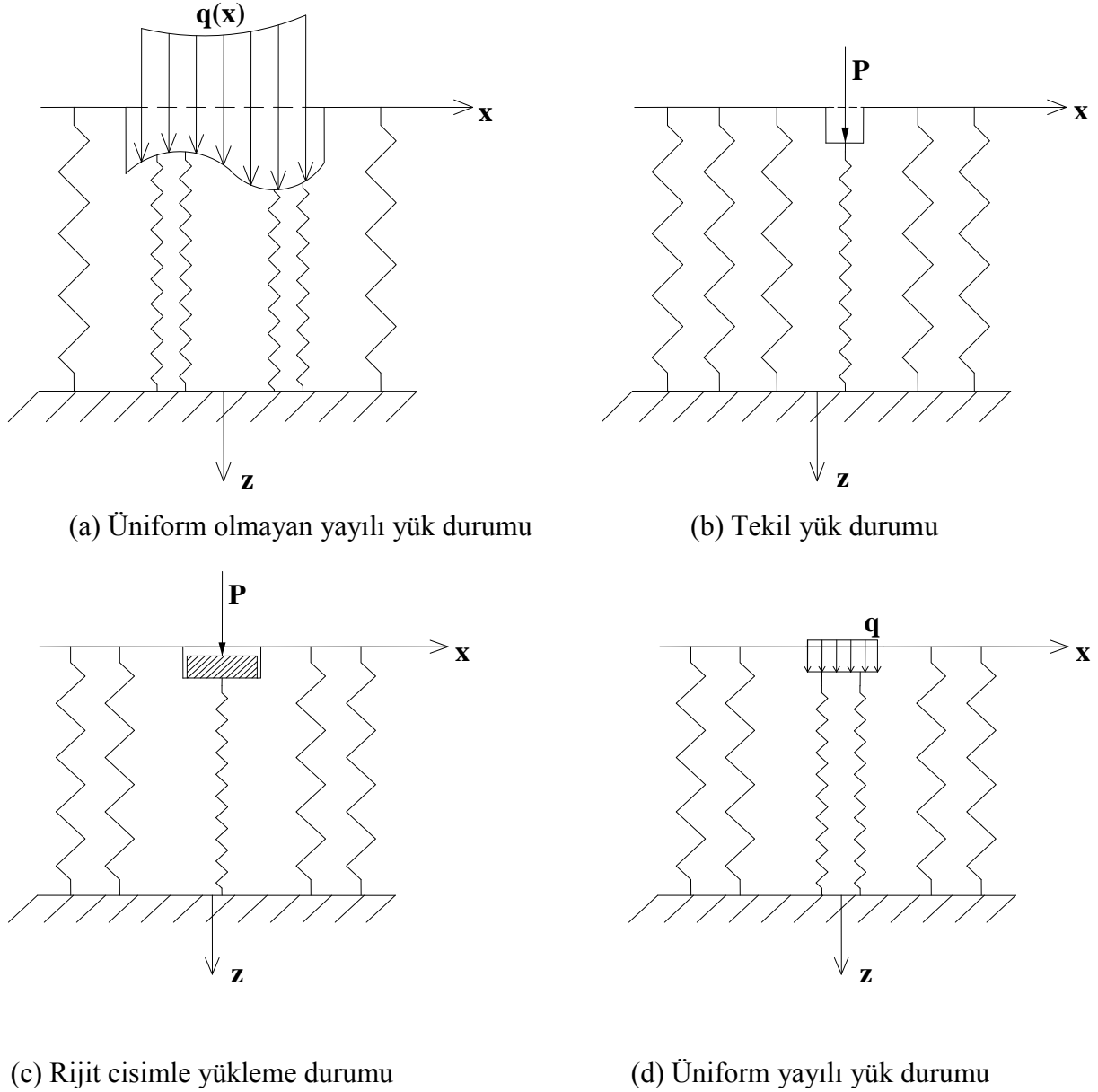
1.2.1 Winkler zemin modeli

Elastik zemine oturan kiriş ve plak problemlerinin çözümünde matematiksel formülasyonu kolaylaştırmak için değişik kabuller yapılmaktadır. İlk olarak Winkler, zeminini (1867) elastik bir davranış gösterdiği varsayımıyla modellemiştir. Bu modelleme çökme ve basıncın küçük ve birbirleriyle orantılı olması koşulu ile yükün kaldırılmasıyla elemanların orijinal hallerine döneceğini varsayar. Bu varsayımda zeminin tepki kuvvetleri her noktada taşıdığı plağın çökmesiyle orantılı olduğu kabulüne dayanarak

$$q(x, y) = kw(x, y)$$

(1.1)

bağıntısını vermektedir. (1.1) formülünde $q(x,y)$ zemine etkiyen basınç, $w(x,y)$ zemin çökme miktarı, k “zemin yatak katsayısı” olarak adlandırılan zemin tabakasını tanımlayan yay sabitidir. Şekil (1.1) de Winkler zemin modelinde değişik yüklere ait deplasman durumları gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Winkler zemin modeli.

Winkler zemin modelindeki esas sorun, yay katsayısının, k , ampirik bağıntılardan elde edilmesidir. Aynı zamanda model her ne kadar tekil yük durumunda tatminkar sonuç verse de yayılı yük durumunda gerçekçi olmayan sonuçlara götürmektedir.

Bununla birlikte zemin modülü k 'nın doğru değerini bilmeden hesaplanan yer değiştirmelerde, eğilme momentlerinde ve kesme kuvvetlerinde yapılan hata oranını da hesaplamak mümkün olmamaktadır. Bu modelin ilk uygulaması Hertz (1884) tarafından gerçekleştirilmiştir. Hertz, çalışmasında tekil yüke maruz yüzen sonsuz elastik plak problemini incelemiştir. Plağın maksimum çökme değeri için ifade elde etmiş ve gözlemlerinde plakların, yükün kalkması halinde bile bir miktar battığını, plağın boyut ve eğilme özelliklerine bağlı olarak yükün limit değerine kadar yüzdüğünü gözlemiştir. Winkler zemin tipine oturan kiriş ve plak tipi elemanlar üzerinde ayrıntılı çalışmalar Zimmermann (1888), Schlechter (1926) ve Heteyni (1946) tarafından gerçekleştirilmiştir.

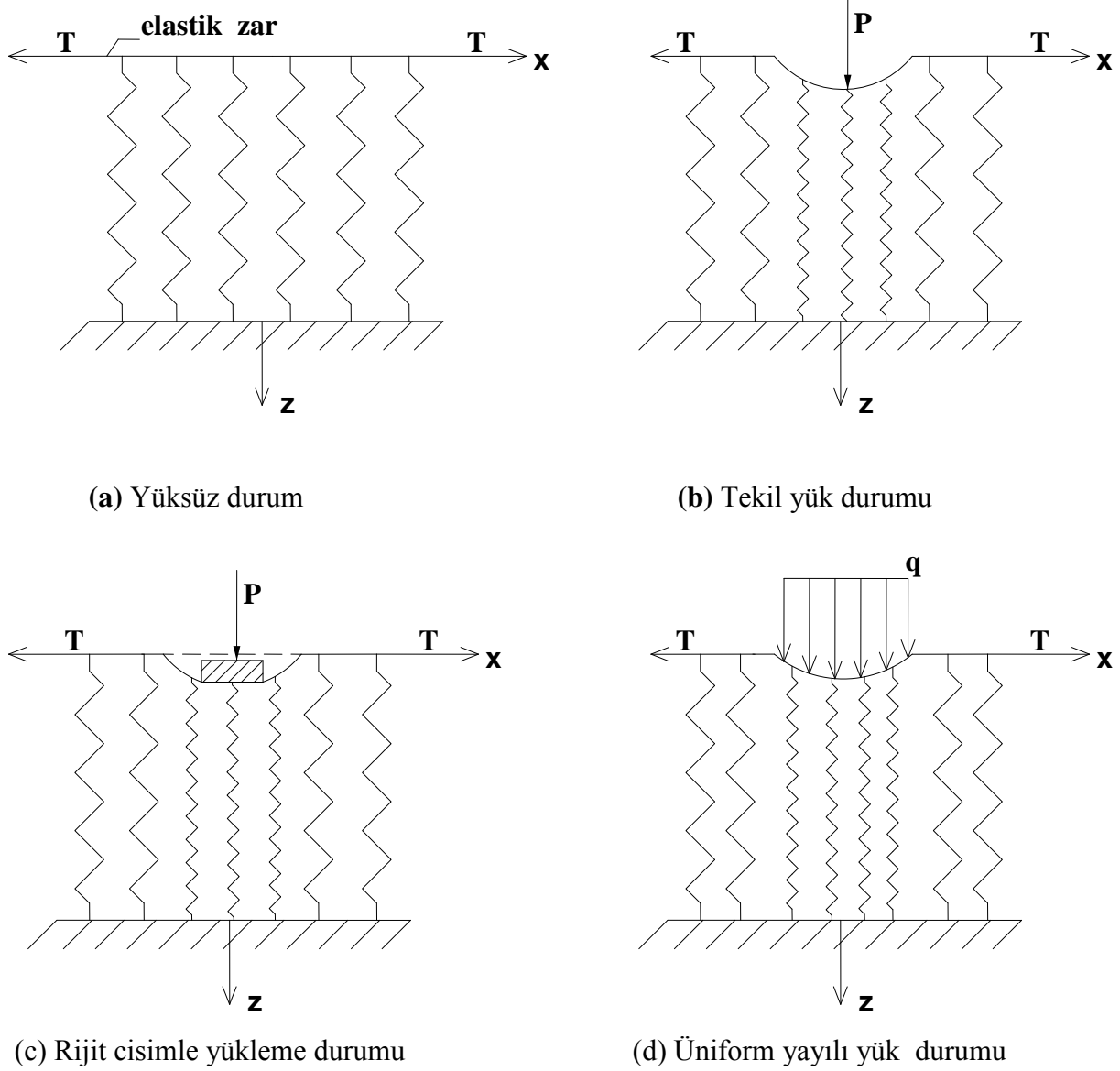
1.2.2 Boussinesq zemin modeli

Boussinesq 1885 yılında yayınlanan kitabında zemin üzerini örten düzlemin sınırlarına dik olarak etkiyen bir tekil yüke maruz, homojen, izotrop, lineer elastik ve yarı sonsuz bir ortam problemi için basit bir çözüm önermiştir. Bu çalışma, Boussinesq'in bir zemin modeli önermemesine rağmen, klasik elastisite teorisinin yapı-zemin etkileşimi problemlerine uygulandığı çalışmalar için esin kaynağı olmuştur.

Bu modelde zemin davranışı, Winkler modeline göre daha gerçekçi bir şekilde açıklanmaktadır; çünkü kayma gerilmelerinin yer değiştirmeler üzerindeki etkisi de dikkate alınmaktadır. Fakat Boussinesq modeli matematiksel olarak çok karmaşık olduğundan uygulanabilirliği çok düşük olmuştur. Ayrıca yer değiştirme dağılımı sürekli olarak kabul edilmiştir. Bu yüzden; kiriş ve plakların kenarlarında, çatlaklarında veya fiziksel bir yük iletiminin olmadığı mafsallı birleşimlerinde, oturdukları zeminler ile olan etkileşimleri bu modelle açıklanamamaktadır.

1.2.3 Filonenko – Brodich zemin modeli

Bu modelde ortamın sürekliliği için, yayların üst yüzeyinde sabit gerilme altında ince elastik zar tabakası ile tanımlanmıştır. Sisteme yükleme yapıldığında yüzeydeki zarda gerilme meydana gelir. Şekil (1.2) de bu modelin şematik çizimi görülmektedir.



Şekil 1.2 : Filonenko – Brodich zemin modeli.

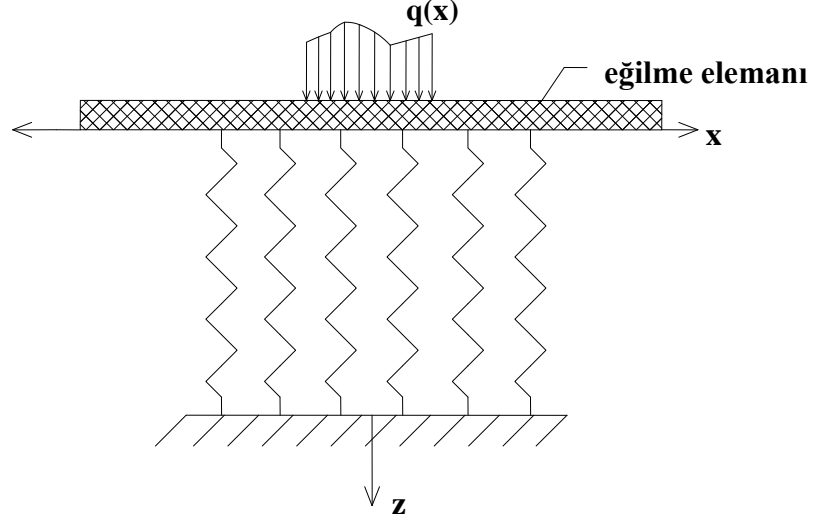
Zar ve yay sisteminin dengesinden zemin reaksiyonu;

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

gibi ifade edilebilir. Filonenko – Brodich modelinde, (1.2) ifadesinde de görüldüğü gibi, k Winkler modelindeki zemin yatak katsayısı, T değeri ise yayları birbirine bağlayan zarda oluşturduğu kabul edilen sabit çekme kuvveti olmak üzere zemine ait iki parametre bulunmaktadır.

1.2.4 Hetenyi zemin modeli

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.

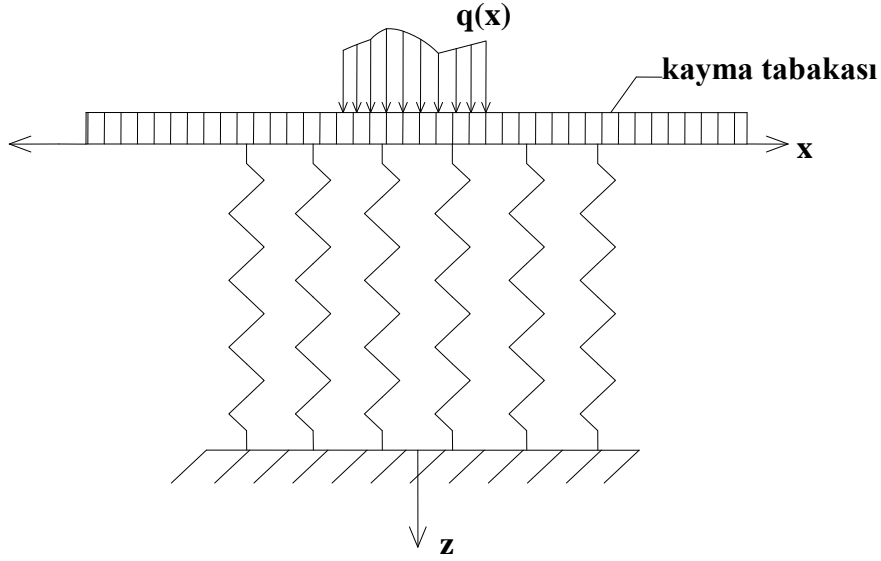
Bu modelde D plağın eğilme rijitliği olmak üzere zemin reaksiyonu (1.3) ifadesiyle belirtilir.

$$q(x, y) = kw - D\nabla^4 w \quad (1.3)$$

Bu modelde elastik zemin parametresi k ve D dir.

1.2.5 Pasternak zemin modeli

Pasternak modelinde (1954) Winkler modelindeki yayların üzerinde sadece düşey yer değiştirme yapabilen ve sıkışamayan elemanlardan oluşan bir kayma tabakası olduğu varsayılmıştır. Bu kayma tabakasının (x,y) düzleminde izotropik olduğu kabul edilmiştir. Şekil (1.4) de yaylar üzerinde bulunan kayma tabakası gösterilmiştir.



Şekil 1.4 : Pasternak zemin modeli.

Buna göre kayma tabakasının kayma modülleri arasındaki bağıntısı (1.4) denkleminde gösterilmiştir.

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

G_p zemin kayma modülü, k zemin yatak katsayısı olmak üzere zemin reaksiyonu

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

olarak ifade edilebilir. (1.5) ifadesindeki ∇ Laplaci en operatürü olup

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

şeklinde ifade edilebilir.

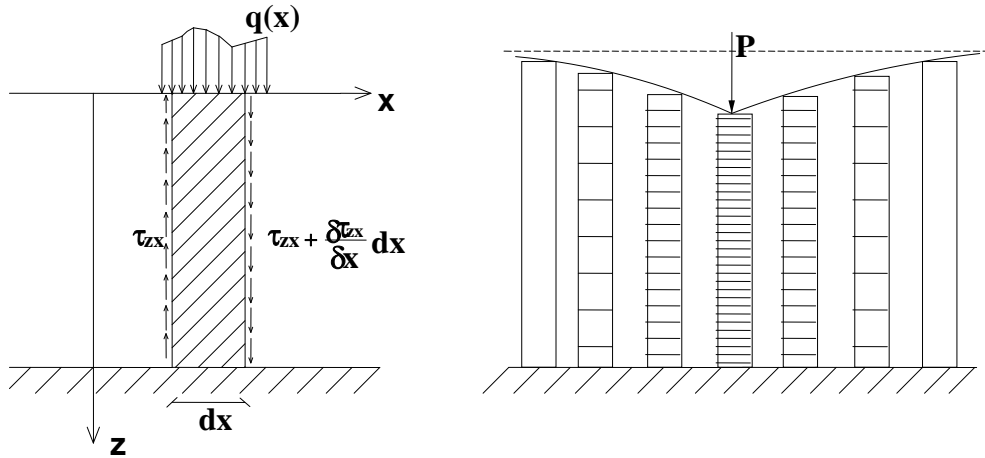
1.2.6 Vlasov zemin modeli

Vlasov modelinde zemindeki sürekliliği sağlamak için Winkler modeline yaylar arasında bağlantı sağlayan membran bir eleman eklenmiştir. Diğer modellerden farklı olarak şekil (1.5) de görüldüğü gibi x-z düzleminde ele alınan zemin kolonu için yer değiştirmeler (1.7) ifadesindeki şekilleriyle kabul edilmişlerdir.

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

Bu ifadeye göre $u(x,z)$ x-z düzlemindeki yatay deplasman, $w(x,z)$ aynı düzlem içerisinde bulunan düşey deplasman ve $\varnothing(z)$ fonksiyonu ise $w(x)$ yer değiştirmelerinin sıkışabilen tabaka derinliği boyunca değişimini veren yaklaşım fonksiyonudur. $\varnothing(z)$ fonksiyonun ifadesi denklem (1.8) de gösterilmiştir.

$$\varnothing(z) = \frac{\text{Sin}\gamma(1 - \frac{z}{H})}{\text{Sin}\gamma} \quad (1.8)$$



Şekil 1.5 : Vlasov zemin modeli.

Burada zemin reaksiyonu

$$q(x, y) = kw(x, y) - 2t\left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2}\right) \quad (1.9)$$

olarak ifade edilebilir. Burada q plak üzerindeki yayılı yükü, k zemin yatak katsayısını, $2t$ ise Winkler modelinde ihmal edilen yaylar arasındaki kesme deformasyonunu temsil eden zemin parametresini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle $2t$ sıfıra eşit alındığında Winkler modeline ait denklem elde edilmektedir. Plakların Vlasov tipi zemine oturması durumundaki çözümü ve iki parametrelili zemin karakteristiklerinin bulunması bölüm 2.1 de incelenecektir.

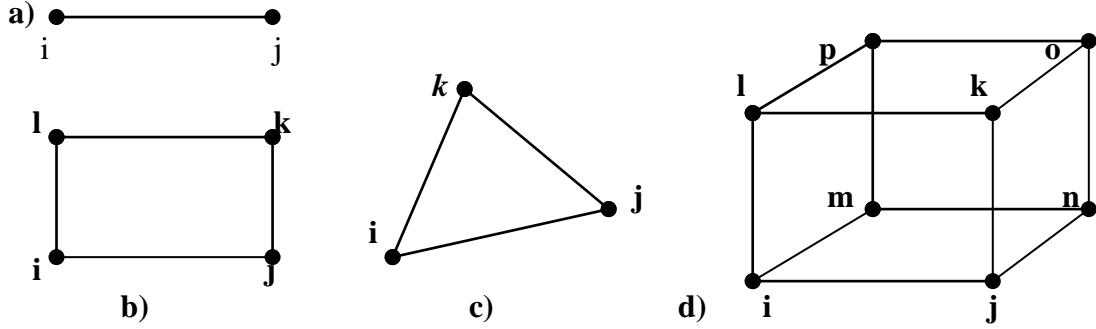
1.3 Çözüm Yöntemi

Mühendislik problemlerinde kapalı çözüm bulunamadığı zaman yaklaşık çözümden sonuca ulaşılmaya çalışılır. Bunun içinde çeşitli sayısal yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler yapılan kabullere bağlı olarak incelenen problemlerde çeşitli yakınsaklıklarda sonuçlar verirler. Değişken sayısının fazla olması nedeniyle yapılan kabuller doğrultusunda bazı değişkenlere sabit değerler verilerek diğer değişkenlerin ardışık yaklaşım yapılarak bir değere yakınsaması sağlanır. Fakat bu yöntemde denklemlerin stabilitesine bağlı olarak işlem süreleri uzun olabilmekte ve tekrarlanması gerekmektedir. 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 çok güçlü ve çağdaş bir sayısal hesaplama yöntemidir. Son yıllarda bilgisayarların hızlı gelişimine paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu sayısal yaklaşım yöntemi her ne kadar orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş ise de dayandığı esasların genelliği dolayısıyla yöntem pek çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde araç olarak kullanılmaktadır. 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.

Sonlu elemanlar yönteminin esası çözüm aranan yapıyı, bölgeyi veya cisimi çok sayıda küçük sonlu elemanlara, kısaca elemanlara, bölmektir. Bir, iki veya üç boyutlu olabilen bu elemanlar “düğüm” ya da “düğüm noktası” adı verilen noktalarda birbirlerine bağlanmaktadır. Örnek olmak üzere Şekil (1.6) da bir, iki ve üç boyutlu elemanlardan örnekler gösterilmiştir. Eleman yüzeylelerinin 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. Sonuç olarak sistemin çözümü düğüm noktalarında uç deplasmanları doğrultusunda denge denklemleri anlamındaki bir lineer denge denklem takımının çözümüne indirgenmektedir.



Şekil 1.6 : Bir, iki ve üç boyutlu sonlu eleman örnekleri.

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.

1.4 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada iki parametrelili elastik zemine oturan plakların, zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit, derinlikle lineer ve kuadratik olarak değişmesi durumları ile sıkışabilir zemin tabakasının farklı değerleri için yapılacak ve sonuçlar tablolar halinde sunulacaktır.

Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Plak bölgesi 16 serbestlik dereceli plak sonlu elemanlardan, zemin genişleme bölgesi 4 serbestlik dereceli zemin sonlu elemanlarla idealleştirilip ardışık yaklaşık metoduyla zemin yüzey parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklükler hesaplanmıştır.

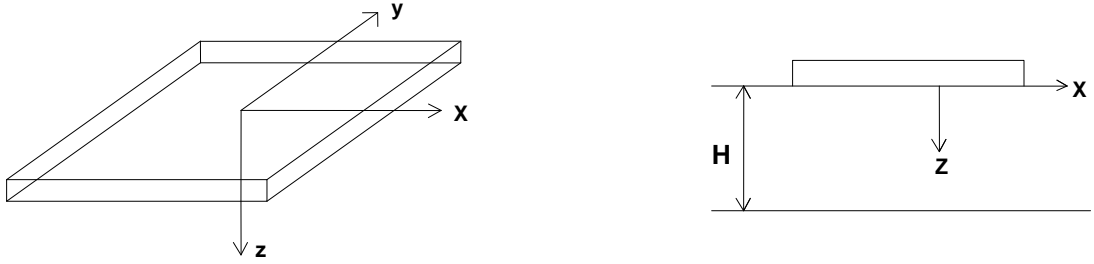
Yapılan hesaplar sonucunda plak sonlu elemandan alınan yerdeğiştirme ve çökme değerleri de irdelenecektir.

2. İKİ PARAMETRELİ ZEMİNE OTURAN PLAK HESABI

İki parametrelili zemine oturan plak hesabı, sonlu plaklardan türetilerek yapılacaktır. Bu bölümde iki parametrelili elastik zemine oturan plakların hesabı ve diferansiyel denklemlerinin çıkarılması incelenmiştir.

2.1 İki Parametrelili Zemin Karakteristiklerinin Tanımı ve Hesabı

İki parametrelili zemine oturan plak hesabı için önceki bölümde bahsedildiği gibi Vlasov zemin modeli esas alınacaktır. Şekil (2.1) de görülen plak altındaki zemin tabakası, Winkler yayları yerine zemin kolonları olarak hesap edilecektir.



Şekil 2.1 : Plak yüzeysel görünüş ve 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;

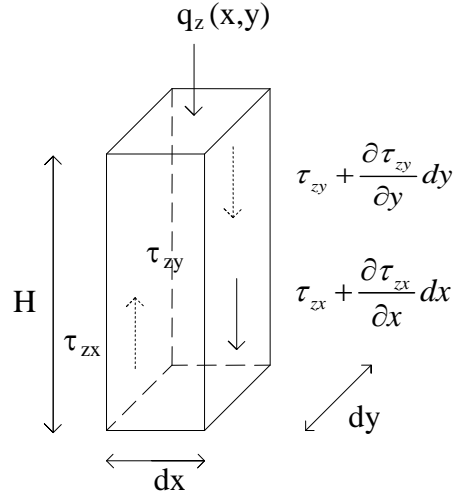
$$w_z = w(x, y)\varnothing(z) \quad (2.1)$$

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

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

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

şeklindeyir. 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 iç kuvvetler.

H derinliği boyunca homojen bir yapıya sahip olduğuna kabul ettiğimiz zeminin kayma modülü G_s olmak üzere

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

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

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

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

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

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

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

şeklinde. 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 denklem (2.8) de gösterildiği gibi olacaktır.

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

boy değişme deformasyonu ise

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

olarak gösterilir.

Virtüel iş teoremini uygularsak;

Dış kuvvetlerin işi:

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

İç kuvvetlerin işi:

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

şeklinde yazılabilir. Virtüel iş teoremine göre iç kuvvetlerin yaptığı iş, dış kuvvetlerin işine eşitlenirse; denklem (2.12) ve (2.13) de belirtilen C ve C_T değerlerine ulaşılır.

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

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

Gerekli kısaltmalar yapılırsa zemin tepkileri denklem (2.14) veya kısaca denklem (2.15) de olduğu gibi ifade edilebilir.

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

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

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

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

denlemi elde edilir. D plağın eğilme rijitliğidir. Bu da denklem (2.17) deki gibi ifade edilir.

$$D = (E_b h^3 / 12(1 - \nu^2)) \quad (2.17)$$

Temel plağın dışında kalan bir noktada ise diferansiyel denklem (2.18) deki gibidir.

$$-2C_T (\Delta w) + C(w) = 0 \quad (2.18)$$

Bu ifadelere göre 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 $\varnothing(z)$ fonksiyonuna bağlı olduğu görülmektedir.

$\varnothing(z)$ fonksiyonun belirlenmesi için en uygun yaklaşım (Vallabhan ve diğerleri, 1991) çalışmasında önerilmiştir. Bu çalışmada plak ve zemin ortamının toplam potansiyel enerjisi zeminde $u = v = 0$, $w(x, y) = \varnothing(z)$ olmak üzere denklem (2.19a) da verildiği gibidir.

$$H = U_{plak} + U_{zemin} + V_{yük} \quad (2.19a)$$

Burada U_p plağın şekil değiştirme enerjisi ve

$$U_{plak} = \frac{D}{2} \iint_{\Omega} \left\{ (\nabla^2 w)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy \quad (2.19b)$$

şeklinde ifade edilebilir.

U_z elastik zeminin şekil değiştirme enerjisidir ve gösterimi (2.19c) denklemindeki gibidir.

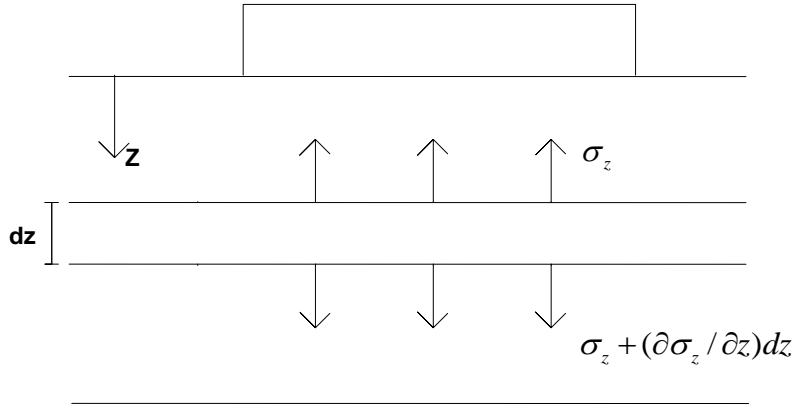
$$U_{zemin} = \int_0^H \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} \{ \sigma_z \varepsilon_z + \tau_{xz} \gamma_{xz} + \tau_{zy} \gamma_{zy} \} dx dy dz \quad (2.19c)$$

V ise dış yüklerden dolayı potansiyel enerjidir ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V_{yük} = - \iint_{\Omega} \bar{q} w dx dy \quad (2.19d)$$

Bu ifadenin $w(x,y)$ ye göre minimize edilmesinden yukarıda virtüel iş teoremi ile çıkarılan (2.15) ifadesi ve dolayısıyla (2.16b) ve (2.18) diferansiyel denge denklemleri elde edilmiş, $\varnothing(z)$ ' e minimize edilmesiyle temel boyutlarını ve yükleme şeklinin etkisini de içerecek şekilde $\varnothing(z)$ değişimini veren sınır şartı diferansiyel denklemleri elde edilmiştir.

Aynı diferansiyel denklemleri 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;

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

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{E_s(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} W(x, y) \frac{\partial^2 \phi(z)}{\partial z^2} \quad (2.21)$$

İç kuvvetler ise;

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

$$\tau_{zy} = G_s \frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \phi(z) \quad (2.23)$$

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 alınır:

Dış kuvvetlerin işi;

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} w(x, y) dx dy \quad (2.24)$$

İç kuvvetlerin işi;

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \tau_{zx} \frac{\partial w(x, y)}{\partial x} + \tau_{zy} \frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \right\} dx dy \quad (2.25)$$

olur.

$$m = \frac{E_s(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} w^2(x, y) dx dy \quad (2.26)$$

$$n = G_s \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy \quad (2.27)$$

Kısaltmaları yapılarak virtüel iş teoreminden;

$$-m \frac{\partial^2 \varnothing(z)}{\partial z^2} + n \varnothing(z) = 0 \quad (2.28)$$

eşitliği bulunur. $\varnothing(z)$ fonksiyonunun $z = 0$ ve $z = H$ deki sınır şartlarını ve (2.28) homojen diferansiyel denklemini sağlayan çözümü;

$$\varnothing(z) = \frac{\text{Sinh} \gamma \left(1 - \frac{z}{H} \right)}{\text{Sinh} \gamma} \quad (2.29)$$

olup, zemin yüzey parametresi diye adlandırılan γ boyutsuz katsayısı

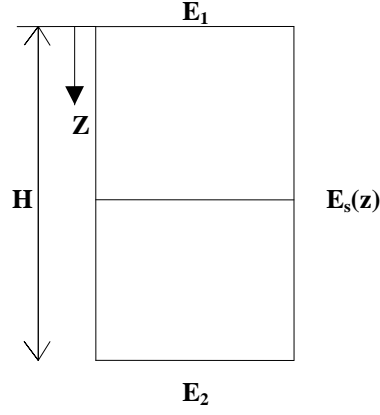
$$\gamma^2 = \frac{n}{m} = H^2 \frac{G_s(1+\nu_s)(1-2\nu_s)}{E_s(1-\nu_s)} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy}{\int \int w^2(x, y) dx dy} \quad (2.30a)$$

veya

$$\gamma^2 = \frac{H^2(1-2\nu_s)}{2(1-\nu_s)} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy}{\int \int w^2 dx dy} \quad (2.30b)$$

olur.

C ve $2C_T$ nin (2.12) ve (2.13) ifadelerinde $\varnothing(z)$ fonksiyonunun (2.29) daki değeri koyulur ve integraller alınır, elastisite modüllü derinlik boyunca sabit zeminlerde



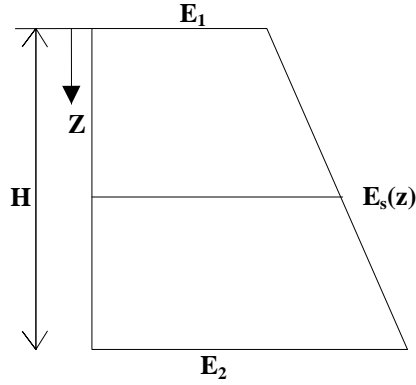
Şekil 2.4 : Elastisite modülünün sabit olması.

$$C = \frac{E_s(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \frac{\gamma}{H} \frac{[Sh2\gamma + 2\gamma]}{4sh^2\gamma} \quad (2.31)$$

$$2C_T = G_s \frac{H}{\gamma} \frac{[Sh2\gamma - 2\gamma]}{4Sh^2\gamma} \quad (2.32)$$

elastisite modülünün şekil (2.5) de gösterildiği gibi lineer değişmesi halinde, ifadeler

$$E_s(z) = E_1 + (E_2 - E_1) \frac{z}{H} \quad (2.33)$$



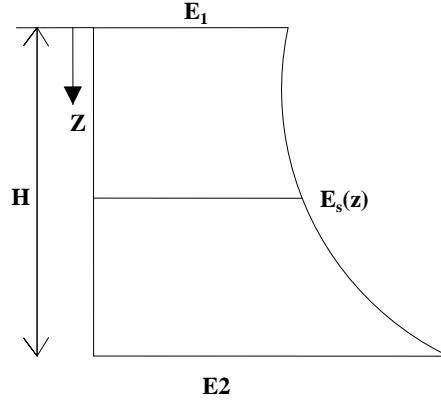
Şekil 2.5 : Elastisite modülünün lineer değişimi.

$$C = \frac{(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \frac{2E_1\gamma Sinh(2\gamma) + 2\gamma^{2e}(E_1 + E_2) - (E_2 - E_1)[1 - Cosh(2\gamma)]}{8HSinh^2\gamma} \quad (2.34)$$

$$2C_T = \frac{1}{(1+\nu_s)} \frac{H}{\gamma^2} \frac{2E_1\gamma Sinh(2\gamma) - 2\gamma^2(E_1 + E_2) - (E_2 - E_1)[1 - Cosh(2\gamma)]}{16Sinh^2\gamma} \quad (2.35)$$

elastisite modülünün şekil (2.6) da görüldüğü kuadratik değişmesi durumunda, C ve $2C_T$ sabitleri,

$$E_s(z) = E_1 + (E_2 + E_1) \frac{z^2}{H^2} \quad (2.36)$$



Şekil 2.6 : Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.

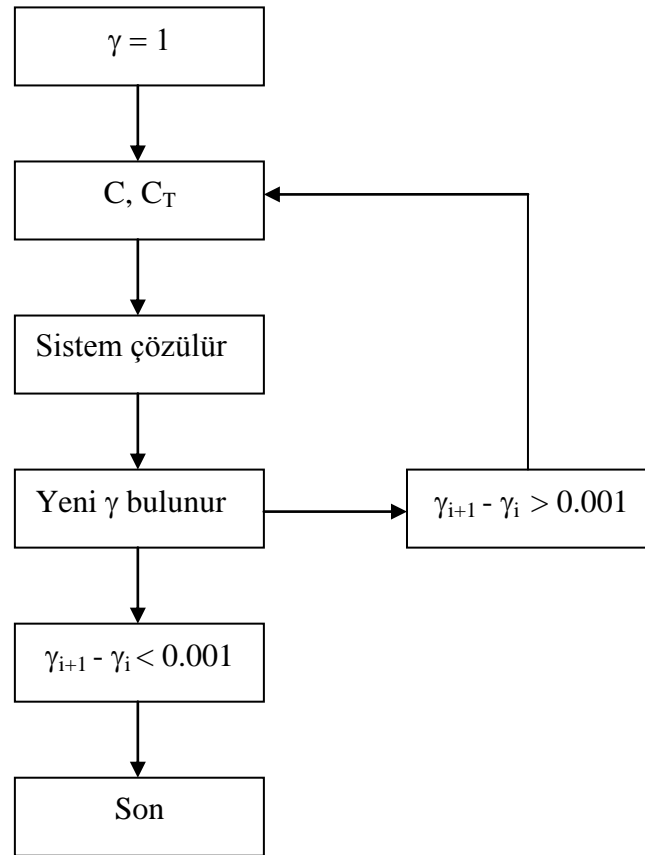
$$C = \frac{(1-\nu_s)}{(1+\nu_s)(1-2\nu_s)} \frac{3[E_2 + E_1(2\gamma^2 - 1)] \text{Sinh}(2\gamma) + 2\gamma[E_2(2\gamma^2 - 3) + E_1(3 + 4\gamma^2)]}{24H \text{Sinh}^2\gamma} \quad (2.37)$$

$$2C_T = \frac{H}{(1+\nu_s)} \frac{3[E_2 + E_1(2\gamma^2 - 1)\text{Sinh}(2\gamma)] - [E_2(2\gamma^2 + 3) + E_1(4\gamma^2 - 3)]2\gamma}{48\gamma^3 \text{Sinh}^2\gamma} \quad (2.38)$$

C ve C_T ifadelerinde 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 ve yükleme şekline bağlı olarak temel altında (2.16b) ve temel çevresindeki zemin bölgesinde (2.18) diferansiyel denge denklemlerini sağlayan $w(x,y)$ çökme yüzeyinin fonksiyonunun belirlenip, (2.30a) 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 yapılip çökme yüzeyi $w(x,y)$ belirlenecektir. (2.30b) ifadesinden yeni γ zemin yüzey parametresi hesaplanıp, bulunan yeni değeri için hesaplar tekrarlanacaktır. Ardışık iki adım arasındaki 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 ardaşık yaklaşımın oldukça hızlı olduğu, başlangıçta çok uygun olamayan bir γ değeri seçilmiş olsa bile ardışık adımlarla 4-5 adım sonrasında % 0.1' den küçük hale geldiği yapılan örneklerle görülmüştür. Şekil (2.7) de ardaşık yaklaşım yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : C ve C_T hesabı akış şeması.

2.2 İki Parametrelili Zemin Tepkilerinin Plak Sonlu Elemanlarda Göz Önüne

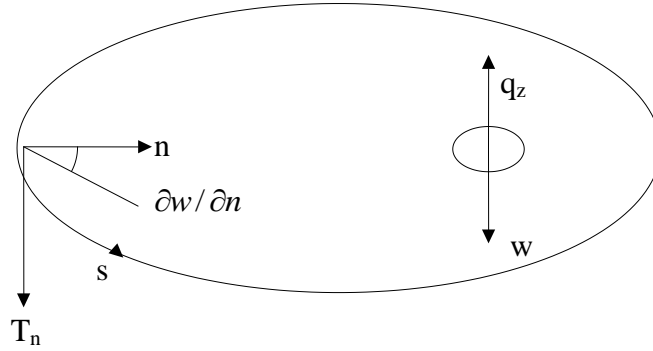
Alınması

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

$$q_z = Cw - 2C_T \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.39)$$

yayıllı yükü ile ifade edilebilir. 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 (2.8) deki gibi tepki kesme kuvvetlerinin de oluşacağı dikkate alınmalıdır.



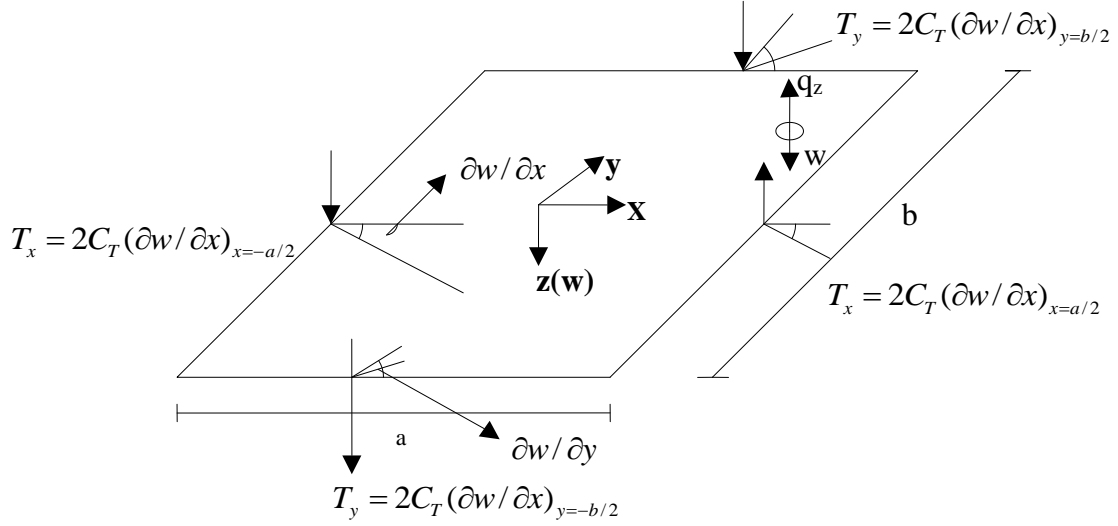
Şekil 2.8 : Dönmelere bağlı olarak zeminden temele gelen tepkiler.

$$T_n = -2C_T \left(\frac{\partial w}{\partial n} \right) \quad (2.40)$$

Sonlu elemanların herhangi i. deplasman parametresi doğrultusunda oluşacak tesirler dış etkiler altında 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;

$$-\iint q_z w_i dA \quad (2.41)$$

yüzeysel integrali yanında, eleman kenarları boyunca T_n kesme kuvvetlerinin w_i nin kenarlarda aldığı değeriyle yaptığı işlerin toplamı olacaktır. Örneğin (axb) boyutlarında dikdörtgen sonlu elemanda yüzeydeki ve sınırlardaki zemin tepkileri şekil (2.9) da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Dikdörtgen elemenda yüzeydeki ve sınırdaki zemin tepkileri.

$$P_{si} = -\iint q_z w_i dA + \oint T_n w_i ds \quad (2.42)$$

Buna göre, (2.39) ve (2.40) denklemleri (2.42) de yerine konulursa dikdörtgen plak eleman için zemin tepkilerinin toplam işi bulunur.

$$\begin{aligned} Id_z &= -C \iint w_i w dA + 2C_T \iint w_i \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) dA \\ &- 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=\frac{a}{2}} dy + 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=-\frac{a}{2}} dy \\ &- 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=\frac{b}{2}} dx + 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=-\frac{b}{2}} dx \end{aligned} \quad (2.43)$$

Bu ifadelerde

$$2C_T \iint w_i \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dA = 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=\frac{a}{2}} dy - 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=-\frac{a}{2}} dy - 2C_T \iint w_i \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} dA \quad (2.44a)$$

$$2C_T \iint w_i \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} dA = 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=\frac{b}{2}} dx - 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=-\frac{b}{2}} dx - 2C_T \iint w_i \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} dA \quad (2.44b)$$

kısmi integralleri alınıp (2.43) ifadesi ile basitleştirilirse

$$Id_z = -C \iint w_i w dA - 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right) dA \quad (2.45)$$

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

$$w = \sum w_i d_i \quad (2.46)$$

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

$$C_{ij} = C \iint w_i w_j dA \quad (2.47)$$

$$C_{Tij} = 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_j}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_j}{\partial y} \right) dA \quad (2.48)$$

kısaltmaları yapılırsa, virtüel iş ifadesi

$$\sum_{j=1}^n k_{ij} d_j + \sum_{j=1}^n C_{ij} d_j + \sum_{j=1}^n C_{Tij} d_j = P_i \quad (2.49)$$

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

$$[K][d] + [C][d] + [C_T][d] = [P] \quad (2.50)$$

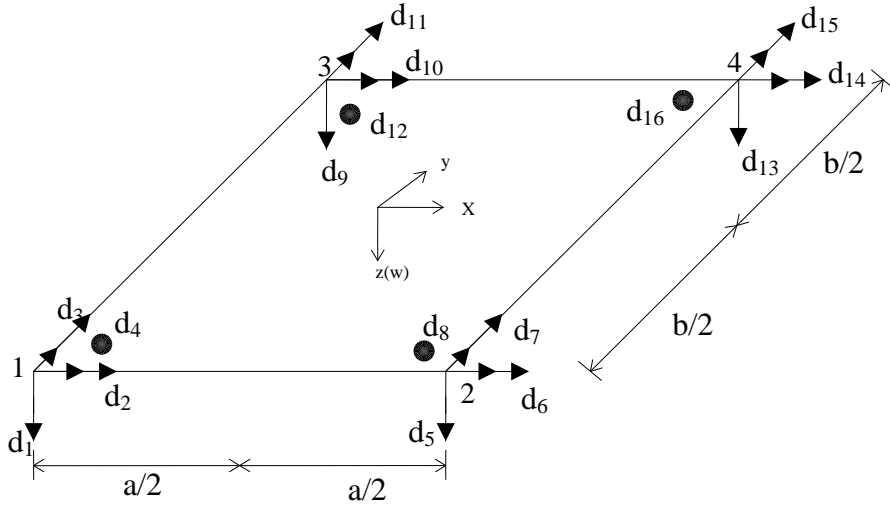
bulunur. Bu bağıntılarda

[K] : Plak eleman rijitlik matrisi (Przemieniecki, 1968).

[C] : C elastik zemin yataklanma katsayısına bağlı, (2.47) ifadesiyle terimleri hesaplanan eleman elastik yataklanma matrisi.

$[C_T]$: C_T zemin kayma parametresine bağlı, terimleri (2.48) 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 2.10 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen plak sonlu eleman.

Bu elemanda eğilme deformasyonlarından dolayı w_e çökmeleri

$$w_e = \sum_{i=1}^{16} w_{ei} d_i \quad (2.51)$$

şeklinde gösterilir. d_i deplasmanlarının birim değerleri için w çökme fonksiyonunun eleman yüzeyinde yayılışını belirleyen birim durum fonksiyonları her iki x ve y değişkenine göre kübik $f_1(x)$, $g_1(x)$ veya $f_1(y)$, $g_1(y)$ yardımcı fonksiyonlarının çarpımlarından oluşmaktadır. Bu yardımcı fonksiyonlar ve karşı geldikleri uç koşulları (2.52) de gösterildiği gibidir.

Fonksiyon	Uç koşulu
$f_1(x) = \frac{1}{2} + \frac{3x}{2a} - \frac{2x^3}{a^3}$	$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow f_1 = 1, \frac{df_1}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow f_1 = 1, \frac{df_1}{dx} = 0 \end{array} \right\}$
$f_2(x) = \frac{1}{2} - \frac{3x}{2a} + \frac{2x^3}{a^3}$	$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow f_2 = 1, \frac{df_2}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow f_2 = 1, \frac{df_2}{dx} = 0 \end{array} \right\}$

$$\begin{aligned}
g_1(x) &= \frac{a}{8} + \frac{x}{4} - \frac{x^2}{2a} - \frac{x^3}{a^2} & \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow g_1 = 0, \frac{dg_1}{dx} = -1 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow g_1 = 0, \frac{dg_1}{dx} = 0 \end{array} \right\} \\
f_1(x) &= -\frac{a}{8} + \frac{x}{4} + \frac{x^2}{2a} - \frac{x^3}{a^2} & \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow g_2 = 1, \frac{dg_2}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow g_2 = 1, \frac{dg_2}{dx} = -1 \end{array} \right\}
\end{aligned}
\tag{2.52}$$

Sonlu elemanın şekil değiştirmesi birim durumların lineer kombinezonu olarak

$$w_e = [A_d]_e \cdot [d] \tag{2.53}$$

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

$$\begin{aligned}
[A_d]_e &= [f_2(x). f_2(y) \quad f_2(x). g_2(y) - g_2(x). f_2(y) \quad g_2(x). g_2(y) \\
&\quad f_1(x). f_1(y) \quad f_1(x). g_2(y) - g_1(x). f_2(y) \quad g_1(x). g_2(y) \\
&\quad f_2(x). f_1(y) \quad f_2(x). g_1(y) - g_2(x). f_1(y) \quad g_2(x). g_1(y) \\
&\quad f_1(x). f_1(y) \quad f_1(x). g_1(y) - g_1(x). f_1(y) \quad g_1(x). g_1(y)]
\end{aligned}
\tag{2.54}$$

olması gerekir. Zemin tepki katsayıları ise,

$$C_{ij} = C \int \int w_{ei} w_{ej} dA \tag{2.55}$$

$$C_{Tij} = 2C_T \int \int \left(\frac{\partial w_{ei}}{\partial x} \frac{\partial w_{ej}}{\partial x} + \frac{\partial w_{ei}}{\partial y} \frac{\partial w_{ej}}{\partial y} \right) dA \tag{2.56}$$

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

$$[C] = \begin{bmatrix} [C]_{11} & [C]_{12} & [C]_{13} & [C]_{14} \\ [C]_{21} & [C]_{22} & [C]_{23} & [C]_{24} \\ [C]_{31} & [C]_{32} & [C]_{33} & [C]_{34} \\ [C]_{41} & [C]_{42} & [C]_{43} & [C]_{44} \end{bmatrix}
\tag{2.57}$$

$$[C_T] = \begin{bmatrix} [C_T]_{11} & [C_T]_{12} & [C_T]_{13} & [C_T]_{14} \\ [C_T]_{21} & [C_T]_{22} & [C_T]_{23} & [C_T]_{24} \\ [C_T]_{31} & [C_T]_{32} & [C_T]_{33} & [C_T]_{34} \\ [C_T]_{41} & [C_T]_{42} & [C_T]_{43} & [C_T]_{44} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

alt matrislerine bölünürse $[C]_{1,i}$ ve $[C_T]_{1,i}$ bağımsız 4'er alt matrisi çizelge (2.1) ve çizelge (2.2) de verilmiştir. Diğer $[C]_{i,j}$ ve $[C_T]_{i,j}$ ' ler $[T_x]$ ve $[T_y]$ (2.59) dönüştürme matrisleri kullanılarak (2.60) bağıntıları türetilir.

$$[T_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad [T_y] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.59)$$

$$\begin{aligned} [C]_{22} &= [T_y] [C]_{11} [T_y] & [C_T]_{22} &= [T_y] [C_T]_{11} [T_y] \\ [C]_{23} &= [T_y] [C]_{14} [T_y] & [C_T]_{23} &= [T_y] [C_T]_{14} [T_y] \\ [C]_{24} &= [T_y] [C]_{13} [T_y] & [C_T]_{24} &= [T_y] [C_T]_{13} [T_y] \\ [C]_{33} &= [T_y] [C]_{11} [T_x] & [C_T]_{33} &= [T_x] [C_T]_{11} [T_x] \\ [C]_{34} &= [T_y] [C]_{12} [T_x] & [C_T]_{34} &= [T_x] [C_T]_{12} [T_x] \\ [C]_{44} &= [T_y] [T_x] [C]_{11} [T_x] [T_y] & [C_T]_{44} &= [T_y] [T_x] [C_T]_{11} [T_x] [T_y] \end{aligned} \quad (2.60)$$

Çizelge 2.1 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen elemanın elastik yataklanma alt matrisleri.

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

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

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

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

Çizelge 2.2 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen elemanın kayma parametresine bağlı alt matrisleri.

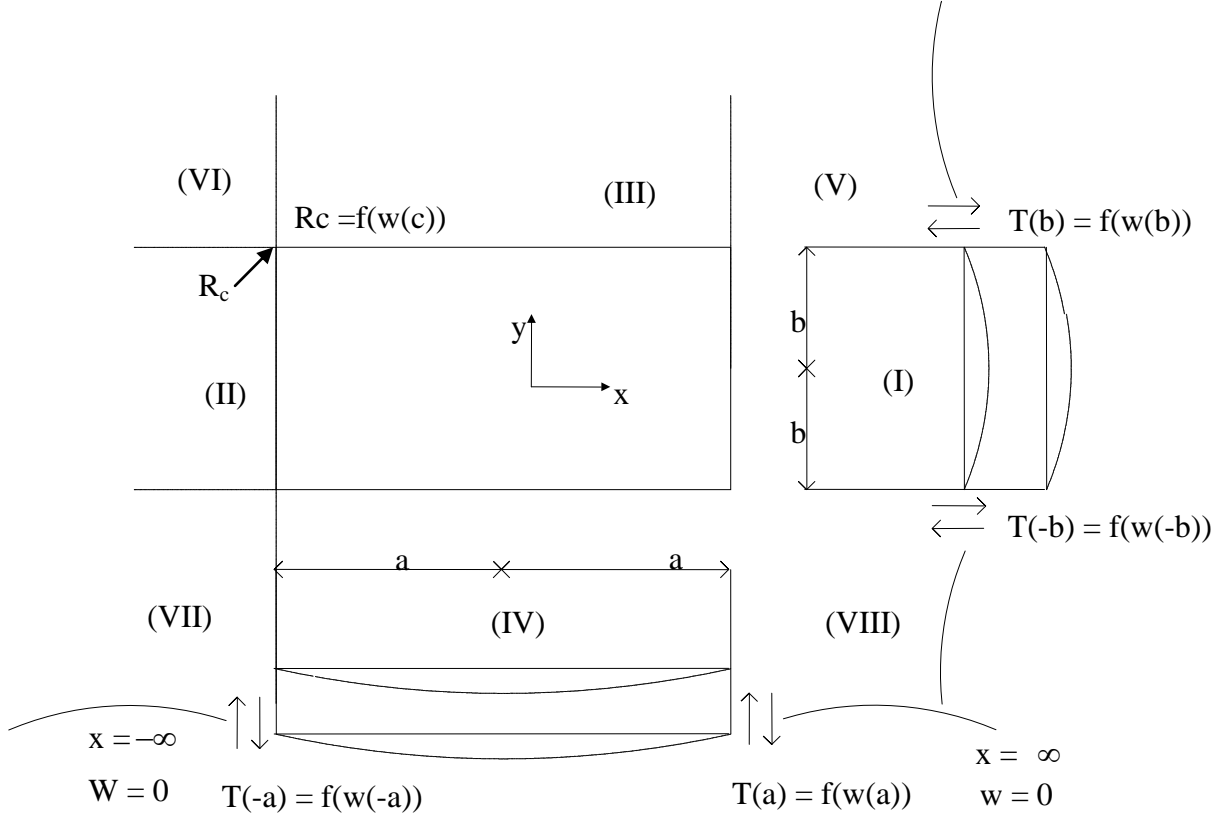
$$[C_T]_{11} = \frac{2C_T}{350} \begin{bmatrix} 156(\alpha + \beta) & -(22\beta + 13\alpha)b & (22\alpha + 13\beta)a & \frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab \\ -(22\beta + 13\alpha)b & (4\beta + \frac{52}{3}\alpha)b^2 & -\frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab & -(\frac{\beta}{3} + \frac{22}{9}\alpha)ab^2 \\ (22\alpha + 13\beta)a & -\frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab & (4\alpha + \frac{52}{3}\beta)a^2 & (\frac{\alpha}{3} + \frac{22}{9}\beta)a^2b \\ \frac{11}{6}(\alpha + \beta)ab & -(\frac{\beta}{3} + \frac{22}{9}\alpha)ab^2 & (\frac{\alpha}{3} + \frac{22}{9}\beta)a^2b & \frac{4}{9}(\alpha + \beta)a^2b^2 \end{bmatrix}$$

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

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

2.3 İki Parametrelili Zemin Ortamının Sonlu Elemanlarla Tanımlanması

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

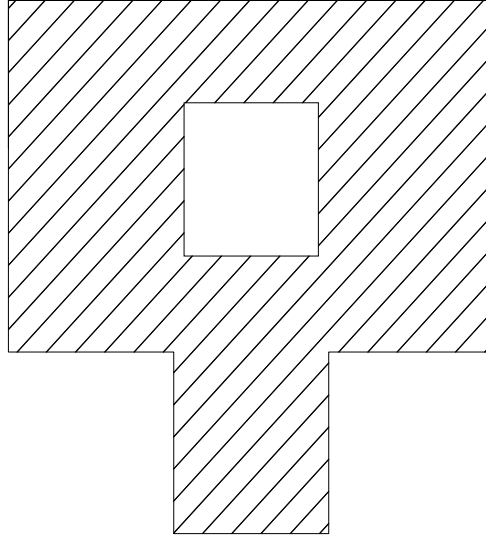


Şekil 2.11 : Temel çevre ortamının bölgelere ayrılması.

Örneğin planda $2a \times 2b$ boyutlu bir dikdörtgen temelin çevresindeki zemin ortamı 8 bölgeye ayrılmakta, (I-IV) bölgesinden temele gelen tesir 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 (2.12) 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.

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.

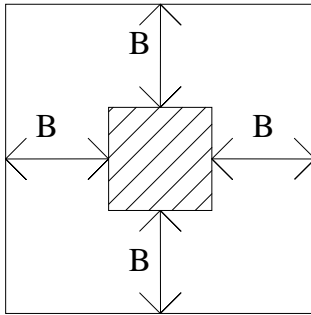


Şekil 2.12 : Planda düzgün olamayan radye temel.

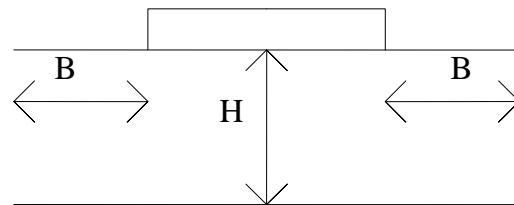
Yüzeysel dış yüklerin olmayıp temel kenarlarından tesirlere bağlı olarak

$$C_w(x, y) - 2C_T \left(\frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x, y)}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2.61)$$

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



a) Plan



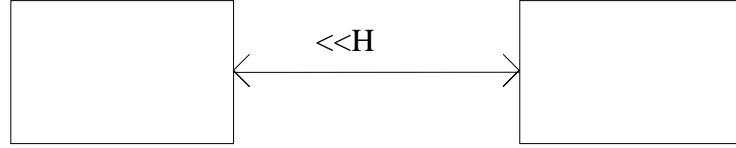
b) Kesit

Şekil 2.13 : Radye temel çevre genişliği.

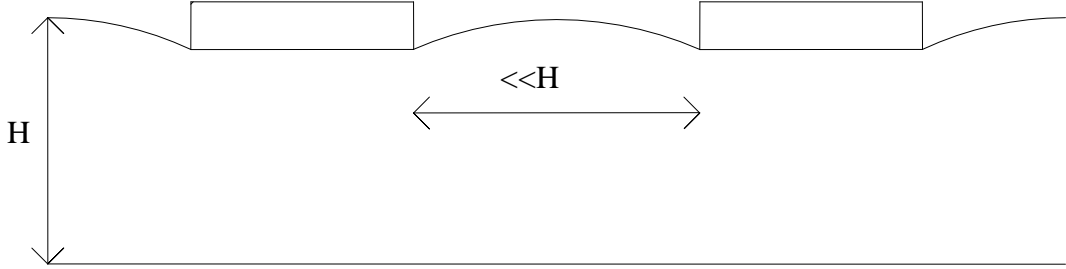
Sonlu eleman ağına bölünerek temel çevresinin Şekil (2.13) deki genişliği elastik sıkışabilir zemin tabakası sınırlarına kadar veya çok büyükse çökme yüzeyinin yeter derecede sıfıra yakın olduğu uzaklığa kadar alınabilir. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalardan zemin bölgesinin genişliği sıkışabilir 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 tanımlanması, birbirine yakın temellerin mevcudiyeti halinde bu temellerin karşılıklı etkileşimi göz önüne alınması olanağı da sağlamaktadır.



a) Plan



Şekil 2.14 : Yakın temellerin karşılıklı etkileşimleri.

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

$$w = \sum w_i d_i = [A_d]_z [d] \quad (2.62)$$

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

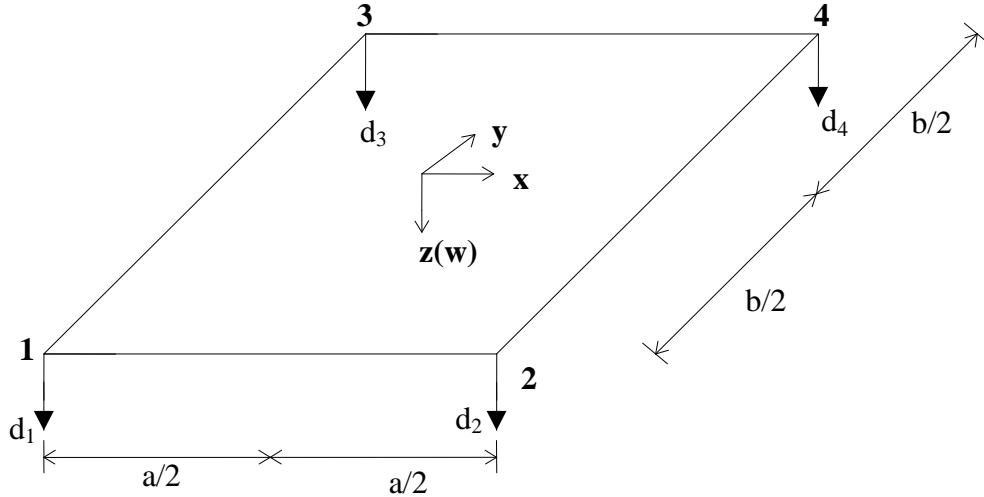
$$[C][d] + [C_T][d] = [P] \quad (2.63)$$

şeklinde bağlayan zemin sonlu eleman [C] ve [C_T] matrisleriaynen temel plağında plak rijitlik matrisine zemin etkilerinin katkılarını gösteren [C] ve [C_T] matrisleri gibi tanımlanıp, terimleri (2.47) ve (2.48) deki bağıntılarla hesaplanabilir. Esasen (2.63) eşitliği (2.50) de [K] rijitliğinin sıfır alınması haline karşılık gelmektedir.

2.3.1 4 Serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu elemanda [C] ve [C_T] matrisleri

Şekil (2.15) deki dikdörtgen iki parametrelili zemin sonlu elemanın şekil değiştirme yüzeyi köşe noktalarının düşey deplasmanlarına bağlı olarak (2.63) deki gibi tanımlanabilir.

Formüllerdeki [A_d]_z matrisi iki doğrultudaki lineer değişim gösteren yardımcı fonksiyonların çarpımının sonucu denklem (2.64)' de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : 4 Serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu eleman.

$$[A_d]_z = [l_2(x)l_2(y) \quad l_1(x)l_2(y) \quad l_1(y)l_2(x) \quad l_1(x)l_1(y)] \quad (2.64)$$

Burada

$$\begin{aligned} l_2(x) &= \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{a}\right) & l_1(x) &= \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{a}\right) \\ l_2(y) &= \left(\frac{1}{2} - \frac{y}{b}\right) & l_1(y) &= \left(\frac{1}{2} + \frac{y}{b}\right) \end{aligned} \quad (2.65)$$

Bu birim durum fonksiyonlarına (2.47) integrali uygulanarak 4 serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu elemanın elastik yataklanma matrisi

$$[C] = \frac{Cab}{36} \begin{bmatrix} 4 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 4 \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

(2.48) integrali alınarak $\alpha = a / b$, $\beta = b / a$ olmak üzere dört serbestlik dereceli dikdörtgen sonlu elemanın kayma parametresi matrisi

$$[C_T] = \frac{2C_T}{3} \begin{bmatrix} \alpha + \beta & \frac{\alpha}{2} - \beta & \frac{\beta}{2} - \alpha & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} \\ \frac{\alpha}{2} - \beta & \alpha + \beta & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \frac{\beta}{2} - \alpha \\ \frac{\beta}{2} - \alpha & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \alpha + \beta & \frac{\alpha}{2} - \beta \\ -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \frac{\beta}{2} - \alpha & \frac{\alpha}{2} - \beta & \alpha + \beta \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

matrisleri elde edilir. Zemin sonlu elemanlara ait deformasyon matrisi ise

$$\begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \end{bmatrix} = 2C_T \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} w_i \quad (2.68)$$

bağıntısı elde edilir. Yardımcı fonksiyonlar kullanılarak dikdörtgen zemin sonlu eleman için elde edilen deformasyon matrisi çizelge (2.3)' de elde edilmiştir. Zemin elemanda köşe noktalarındaki kesme kuvvetlerini bulmak için bu matrisle elde edilmiş deformasyonları $2C_T$ ile çarpmak gerekir.

Çizelge 2.3 : Dikdörtgen zemin sonlu eleman deformasyon matrisi.

		d1	d2	d3	d4
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

Çözümde plağın x ve y doğrultularında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) kadar zemin genişleme bölgesi, toplam 4 serbestlikli zemin sonlu elemanlarla modellenmiştir. Plağın oturduğu bölgede tabaka kalınlığı H_1 , genişleme bölgesinde sıkışabilen tabaka kalınlığı H_2 ' dir. Sistem zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik değiştiği üç farklı durum için, H_2 / H_1 oranının 1, 3, 5 değerleri için ayrı, ayrı plak üzerinde birim düzgün yayılı yük için çözülmüştür.

3.1.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit olması durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır.

3.1.1.1 Sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranının bir olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca sabit, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.1) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,1073	1200,0035	1664,1105	0,0009	0,7331
	$H_2=5$	0,1073	1200,0035	1664,1105		
10	$H_1=10$	0,2322	600,0384	3308,9910	0,0015	1,6186
	$H_2=10$	0,2322	600,0384	3308,9910		
20	$H_1=20$	0,4243	300,2088	6510,6753	0,0020	2,1756
	$H_2=20$	0,4243	300,2088	6510,6753		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça , zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.1.1.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

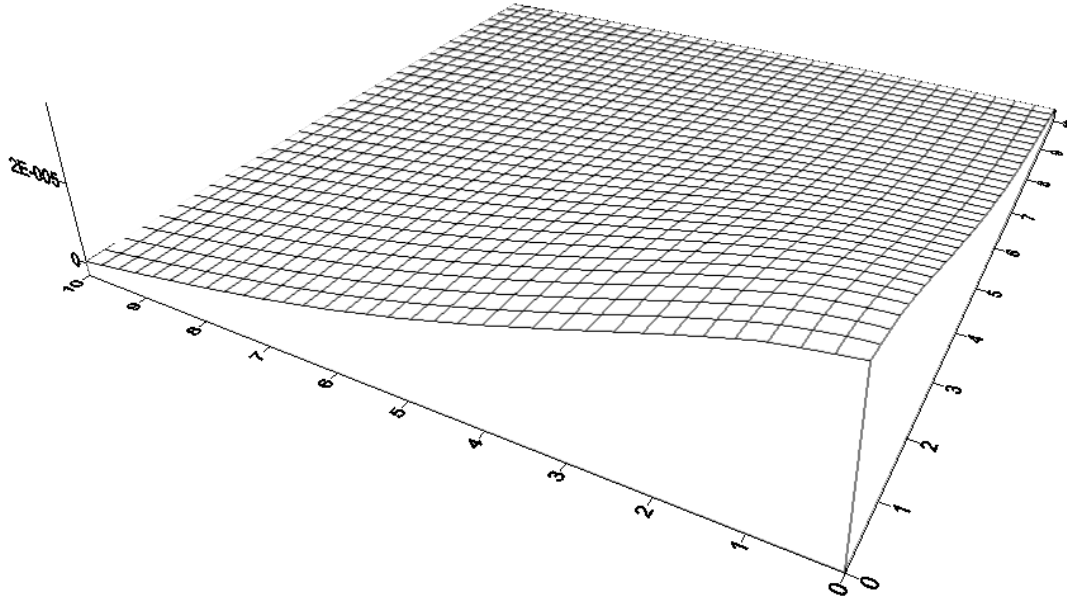
Elastisite modülü derinlik boyunca sabit, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.2) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	H ₁ =5	0,0980	1200,0025	1664,5347	0,0009	0,6824
	H ₂ =15	0,2940	400,0654	4943,0624		
10	H ₁ =10	0,2381	600,1624	3308,9910	0,0015	1,6374
	H ₂ =30	0,7144	201,0937	9367,7464		
20	H ₁ =20	0,4770	300,3306	6470,8208	0,0020	2,3361
	H ₂ =60	1,4310	106,5566	15790,6666		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün sabit olması durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.1.1.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca sabit, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.3) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,0881	1200,4816	1665,6106	0,0009	0,6259
	$H_2=25$	0,4404	240,2895	8126,9085		
10	$H_1=10$	0,2330	600,0389	3309,3960	0,0015	1,5997
	$H_2=50$	1,1649	123,8590	14145,5967		
20	$H_1=20$	0,4820	300,3445	6466,7838	0,0020	2,3498
	$H_2=100$	2,4101	79,1928	19443,8568		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve

kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır. Buna göre zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m^2 , alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m^2 alınmıştır.

3.1.2.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca lineer, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.4) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,1088	1798,8230	2079,7233	0,0006	0,4156
	$H_2=5$	0,1088	1798,8230	2079,7233		
10	$H_1=10$	0,2419	897,1543	4131,2249	0,0010	1,0873
	$H_2=10$	0,2419	897,1543	4131,2249		
20	$H_1=20$	0,4479	445,4376	8095,1633	0,0015	1,6047
	$H_2=20$	0,4479	445,4376	8095,1633		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.1.2.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

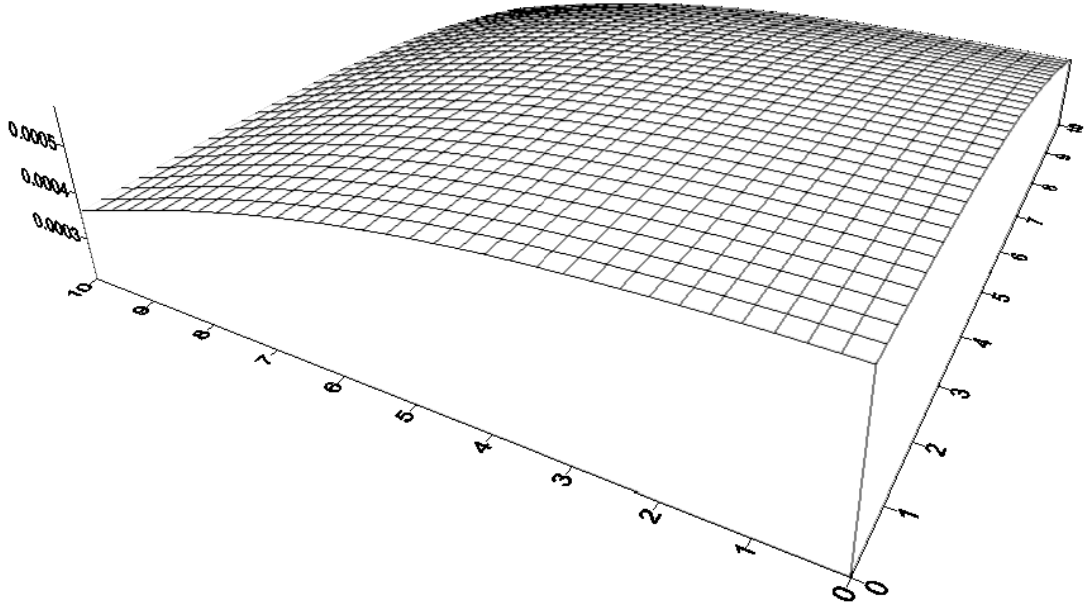
Elastisite modülü derinlik boyunca lineer, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.5) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	H ₁ =5	0,1007	1798,9906	2080,2391	0,0006	0,3912
	H ₂ =15	0,3021	597,0850	6167,4414		
10	H ₁ =10	0,2466	897,0444	4129,8288	0,0010	1,0984
	H ₂ =30	0,7399	292,9986	11571,7221		
20	H ₁ =20	0,4873	444,6948	8052,9422	0,0015	1,6921
	H ₂ =60	1,4619	144,8667	19069,8222		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün lineer olması durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.1.2.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca lineer, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.6) da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	\square	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,0908	1799,1786	2080,8168	0,0006	0,3608
	$H_2=25$	0,4540	356,2596	10111,0136		
10	$H_1=10$	0,4778	897,2216	4132,0797	0,0010	1,0664
	$H_2=50$	1,1945	173,2543	17239,7833		
20	$H_1=20$	0,4790	444,8538	8062,0774	0,0015	1,6704
	$H_2=100$	2,3951	96,7825	23049,0487		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve

kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.1.3 . Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır. Buna göre zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m^2 , alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m^2 alınmıştır.

3.1.3.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca kuadratik, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.7) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,1073	1598,9318	1830,3246	0,0006	0,4901
	$H_2=5$	0,1073	1598,9318	1830,3246		
10	$H_1=10$	0,2385	797,4157	3637,1190	0,0012	1,2343
	$H_2=10$	0,2385	797,4157	3637,1190		
20	$H_1=20$	0,4430	395,8288	7133,5211	0,0017	1,8068
	$H_2=20$	0,4430	395,8288	7133,5211		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.1.3.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

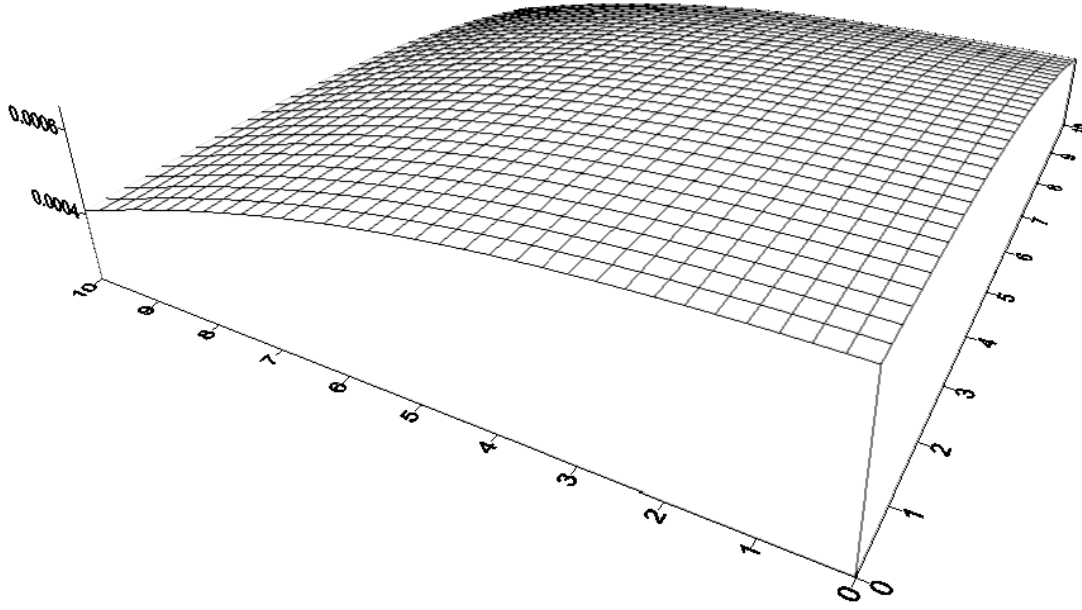
Elastisite modülü derinlik boyunca kuadratik, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.8) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	H ₁ =5	0,0994	1599,0827	1830,7512	0,0006	0,4614
	H ₂ =15	0,2981	530,6823	5431,0804		
10	H ₁ =10	0,2434	797,3104	3635,8908	0,0012	1,2473
	H ₂ =30	0,7303	260,2661	10223,0159		
20	H ₁ =20	0,4830	395,1297	7097,0840	0,0016	1,9084
	H ₂ =60	1,4489	128,5720	16980,9155		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.1.3.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca kuadratik, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ olması halinde sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.9) da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,0895	1599,2551	1831,2377	0,0006	0,4249
	$H_2=25$	0,4475	316,6010	8911,9153		
10	$H_1=10$	0,2360	797,4682	3637,7297	0,0012	1,2111
	$H_2=50$	1,1800	153,7739	15312,9015		
20	$H_1=20$	0,4783	395,2136	7101,5103	0,0016	1,8920
	$H_2=100$	2,3913	86,6104	20701,3936		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, plak altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.2.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit olması durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır.

3.2.1.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, plak sıkışabilir tabaka kalınlığı 5, 10 ve 20 m alınarak ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.10) da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,5367	1202,0967	1605,1852	0,00004	1,1429
	H ₂ =5	0,5367	1202,0967	1605,1852		
10	H ₁ =10	0,8746	606,7842	3027,0352	0,00005	1,1587
	H ₂ =10	0,8746	606,7842	3027,0352		
20	H ₁ =20	1,4550	320,7995	5227,3917	0,00005	1,1378
	H ₂ =20	1,4550	320,7995	5227,3917		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Eğilme momenti (Mx) değerinde H = 10 m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

3.2.1.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca sabit, plak ve zemin sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri

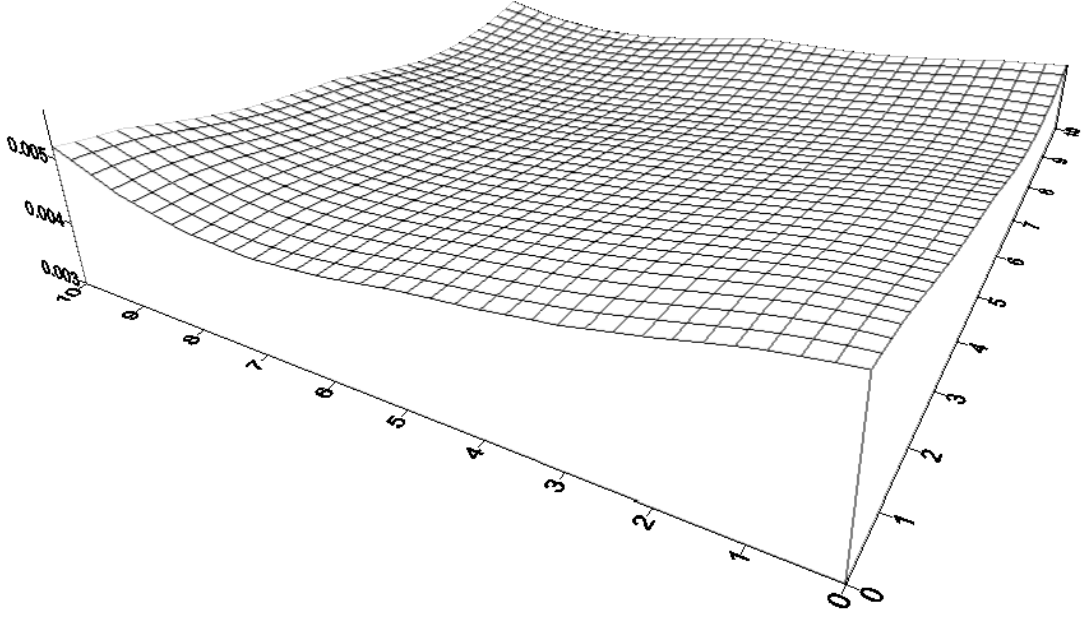
merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.11) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,5384	1202,1216	1604,8264	0,00004	1,1431
	H ₂ =15	1,6151	439,0926	3739,9101		
10	H ₁ =10	0,8777	606,8734	3025,0996	0,00005	1,1589
	H ₂ =30	2,6331	280,5134	5442,7758		
20	H ₁ =20	1,4596	321,0163	5220,5862	0,00005	1,1376
	H ₂ =60	4,3787	219,6058	6834,6665		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Eğilme momenti (Mx) değerinde H = 10 m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

Elastisite modülünün sabit olması durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.2.1.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca sabit, plak ve zemin sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.12) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,5391	1202,1327	1604,6668	0,00004	1,1432
	$H_2=25$	2,6954	342,4552	4449,9534		
10	$H_1=10$	0,8780	606,8824	3024,9047	0,00005	1,1589
	$H_2=50$	4,3901	264,1978	5681,0158		
20	$H_1=20$	1,4596	321,0207	5220,4489	0,00005	1,1376
	$H_2=100$	7,2982	218,9504	6850,8799		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey

parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Eğilme momenti (Mx) değerinde H = 10 m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

3.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır. Buna göre zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m², alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m² alınmıştır.

3.2.2.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Elastisite modülünün derinlik boyunca lineer değişmesi halinde, plak sıkışabilir tabaka kalınlığı 5, 10 ve 20 m alınarak ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.13) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,5999	1769,6945	1978,9391	0,00003	1,1045
	H ₂ =5	0,5999	1769,6945	1978,9391		
10	H ₁ =10	0,9724	870,5232	3660,0736	0,00004	1,1225
	H ₂ =10	0,9724	870,5232	3660,0736		
20	H ₁ =20	1,5917	437,2482	6093,1429	0,00005	1,1073
	H ₂ =20	1,5917	437,2482	6093,1429		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış

göstermektedir. Eğilme momenti (Mx) değerinde H = 10 m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

3.2.2.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

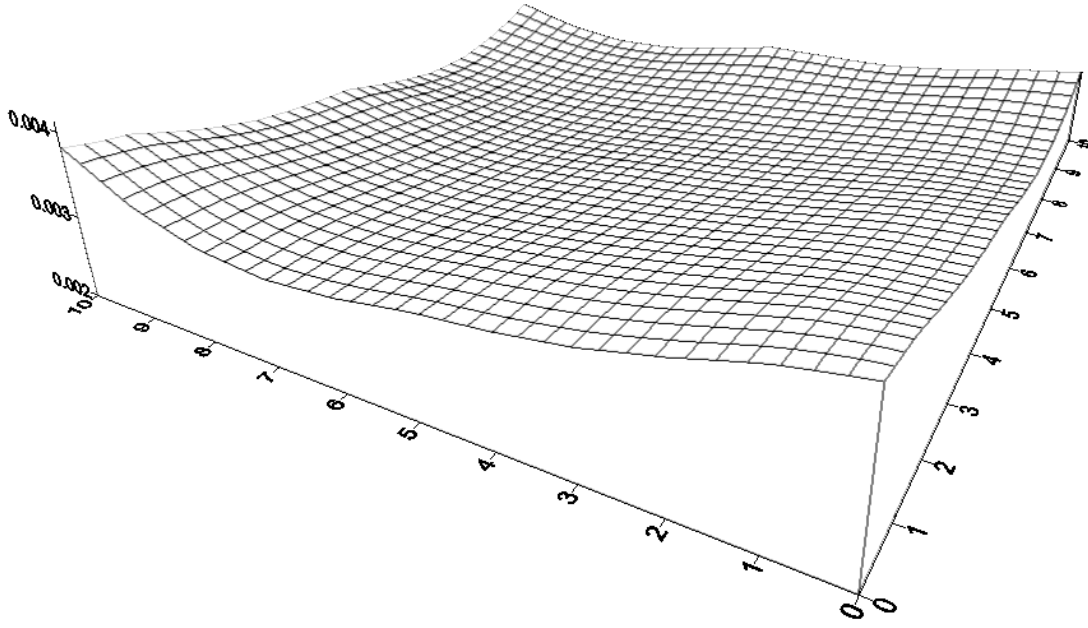
Elastisite modülü derinlik boyunca lineer, plak ve zemin sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.14) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,6011	1769,5866	1978,5108	0,00004	1,1431
	H ₂ =15	1,8034	592,7105	4253,4992		
10	H ₁ =10	0,9721	870,5318	3660,3381	0,00005	1,1589
	H ₂ =30	2,9163	358,3864	5790,2891		
20	H ₁ =20	1,5777	436,8989	6121,3172	0,00005	1,1376
	H ₂ =60	4,7332	262,2164	6994,8206		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Eğilme momenti (Mx) değerinde H = 10 m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

Elastisite modülünün lineer olması durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.2.2.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca lineer, plak ve zemin sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.15) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.15 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,6017	1769,5382	1978,3185	0,00003	1,149
	$H_2=25$	3,0086	438,7565	4681,8348		
10	$H_1=10$	0,9711	870,5628	3661,2934	0,00004	1,1223
	$H_2=50$	4,8553	321,8663	5670,8232		
20	$H_1=20$	1,5725	436,7724	6131,8589	0,00005	1,1057
	$H_2=100$	7,8626	250,8798	6763,5704		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey

parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Eğilme momenti (Mx) değerinde H = 10 m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

3.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi durumunda H_2/H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır. Buna göre zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m^2 , alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m^2 alınmıştır.

3.2.3.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Elastisite modülünün derinlik boyunca kuadratik, plak sıkışabilir tabaka kalınlığı 5, 10 ve 20 m alınarak ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.16) da gösterilmiştir.

Çizelge 3.16 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,5802	1573,2683	1749,3449	0,00003	1,1181
	H ₂ =5	0,5802	1573,2683	1749,3449		
10	H ₁ =10	0,9396	773,5271	3257,7048	0,00004	1,1382
	H ₂ =10	0,9396	773,5271	3257,7048		
20	H ₁ =20	1,5358	387,2163	5508,4752	0,00005	1,1238
	H ₂ =20	1,5358	387,2163	5508,4752		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2/H_1 = 1$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça (H), zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış

göstermektedir. Eğilme momenti (M_x) değerinde $H = 10$ m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

3.2.3.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

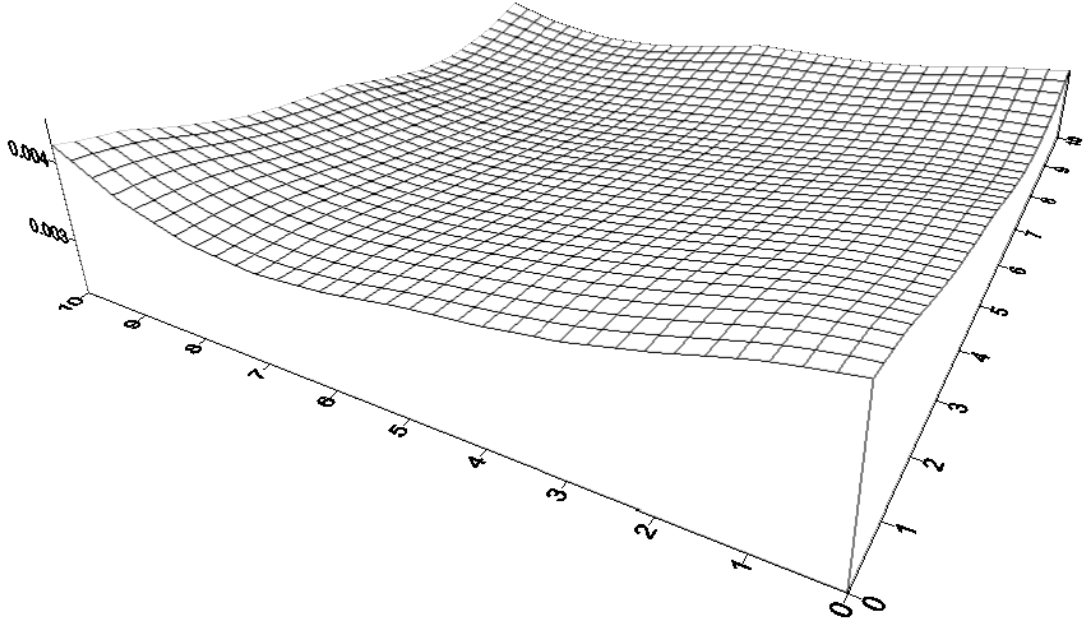
Elastisite modülü derinlik boyunca kuadratik, plak ve zemin sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.17) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.17 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,5816	1573,1595	1748,9544	0,00003	1,1184
	$H_2=15$	1,7447	524,2775	3861,0572		
10	$H_1=10$	0,9399	773,5178	3257,4612	0,00004	1,1382
	$H_2=30$	2,8198	316,3167	5394,4289		
20	$H_1=20$	1,5274	387,0462	5523,1500	0,00005	1,1231
	$H_2=60$	4,5823	235,1939	6687,2374		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça (H), zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Eğilme momenti (M_x) değerinde $H = 10$ m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.2.3.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Elastisite modülü derinlik boyunca lineer değişirken, plak ve zemin sıkışabilen tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.18) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.18 : Tekil Yük Durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	$H_1=5$	0,5822	1573,1097	1748,7754	0,00003	1,1185
	$H_2=25$	2,9111	387,5828	4366,8634		
10	$H_1=10$	0,9394	773,5344	3257,8950	0,00004	1,1381
	$H_2=50$	4,6969	288,8270	5432,9096		
20	$H_1=20$	1,5254	387,0057	5526,7149	0,00005	1,1230
	$H_2=100$	7,6269	230,7756	6612,0464		

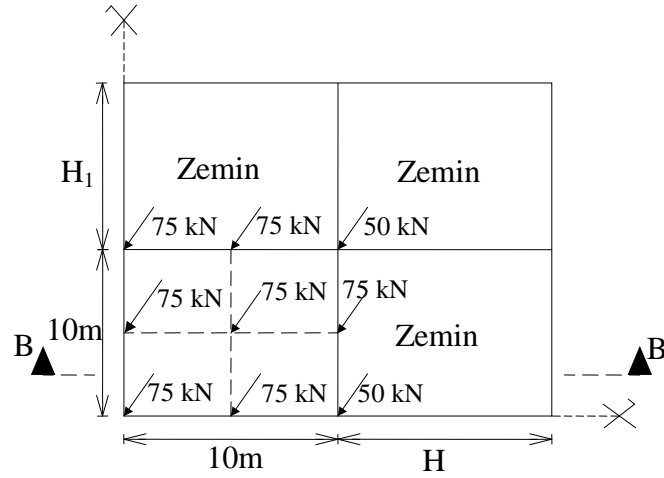
Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, 1 kN luk tekil yük altında sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça (H), zemin yüzey

parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey wyerdeğiştirme (d) değerleri sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Eğilme momenti (M_x) değerinde $H = 10$ m den sonra gözardı edilecek kadar küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir.

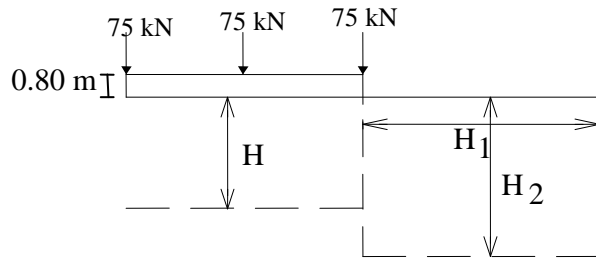
3.3 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağa Farklı Tekil Yük Kombinasyonlarının Etkimesi Durumu

Problemde şekil (3.5) de görülen plak gözönüne alınıp, problem elastisite modülünün sabit olduğu lineer ve kuadratik değiştiği üç farklı durum için H_2 / H_1 oranının 1, 3, 5 değerleri için ayrı, ayrı hesap yapılacaktır.

Plak bölgesinin ve yüklemelerin simetrik olmasından dolayı hesaplarda bütün sistem yerine 1/4 lük kısım dikkate alınmıştır. Şekil (3.6) da sistem B-B kesiti görülmektedir.



Şekil 3.11 : Çözümü Yapılacak Sistem Planı



Şekil 3.12 : Sistem B-B Kesiti

Çözüm, plak simetri merkezi, köşe ve kenar noktalarına etkiyen 50 kN ve 75 kN luk tekil yükler için yapılacaktır.

3.3.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit olması durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır.

3.3.1.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.19) da gösterilmiştir. Zemine ait bu karakteristik büyüklükler daha önceki örneklerde olduğu gibi ardaşık yaklaşım yöntemiyle yapılmıştır. İstenilen değerlere yaklaşımın ikinci veya üçüncü basamağında ulaşılmıştır.

Çizelge 3.19 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1567	1200,0160	1661,2298	0,0057	78,596
	H ₂ =5	0,1567	1200,0160	1661,2298		
10	H ₁ =10	0,2800	600,0807	3298,8844	0,0094	82,998
	H ₂ =10	0,2800	600,0807	3298,8844		
20	H ₁ =20	0,4881	300,3618	6461,8835	0,0129	84,153
	H ₂ =20	0,4881	300,3618	6461,8835		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.3.1.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

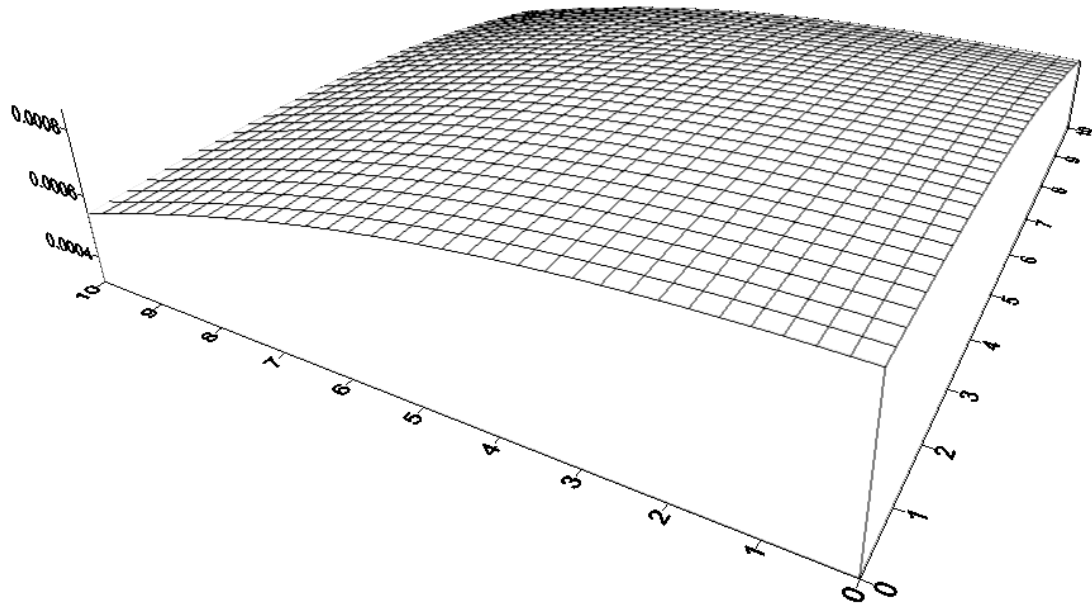
Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.20) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1476	1200,0126	1661,8378	0,0057	78,187
	H ₂ =15	0,4429	400,3297	4872,7851		
10	H ₁ =10	0,2818	600,0828	3298,4444	0,0094	82,995
	H ₂ =30	0,8453	201,9904	9136,0577		
20	H ₁ =20	0,5327	300,5091	6424,2494	0,0128	85,028
	H ₂ =60	1,5982	109,4463	15035,6153		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün sabit olması durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.3.1.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.21) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.21 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1723	1797,0726	2074,3030	0,0041	75,349
	H ₂ =25	0,8614	349,6901	9395,4164		
10	H ₁ =10	0,3034	895,5915	4111,1601	0,0068	78,617
	H ₂ =50	1,5803	174,7846	15290,4133		
20	H ₁ =20	0,5523	443,4026	7976,5252	0,0096	79,762
	H ₂ =100	2,7617	104,0410	20320,1503		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.3.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır. Buna göre zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m², alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m² alınmıştır.

3.3.2.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca lineer artması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil

yük durumu için çizelge (3.22) de gösterilmiştir. Zemine ait bu karakteristik büyükler daha önceki örneklerde olduğu gibi ardaşık yaklaşım yöntemiyle yapılmıştır. İstenilen değerlere yaklaşımın ikinci veya üçüncü basamağında ulaşılmıştır.

Çizelge 3.22 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1883	1796,5113	2072,5515	0,0041	75,878
	H ₂ =5	0,1883	1796,5113	2072,5515		
10	H ₁ =10	0,3161	895,2342	4106,5072	0,0068	79,036
	H ₂ =10	0,3161	895,2342	4106,5072		
20	H ₁ =20	0,5396	443,6614	7992,1532	0,0096	79,593
	H ₂ =20	0,5396	443,6614	7992,1532		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.3.2.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

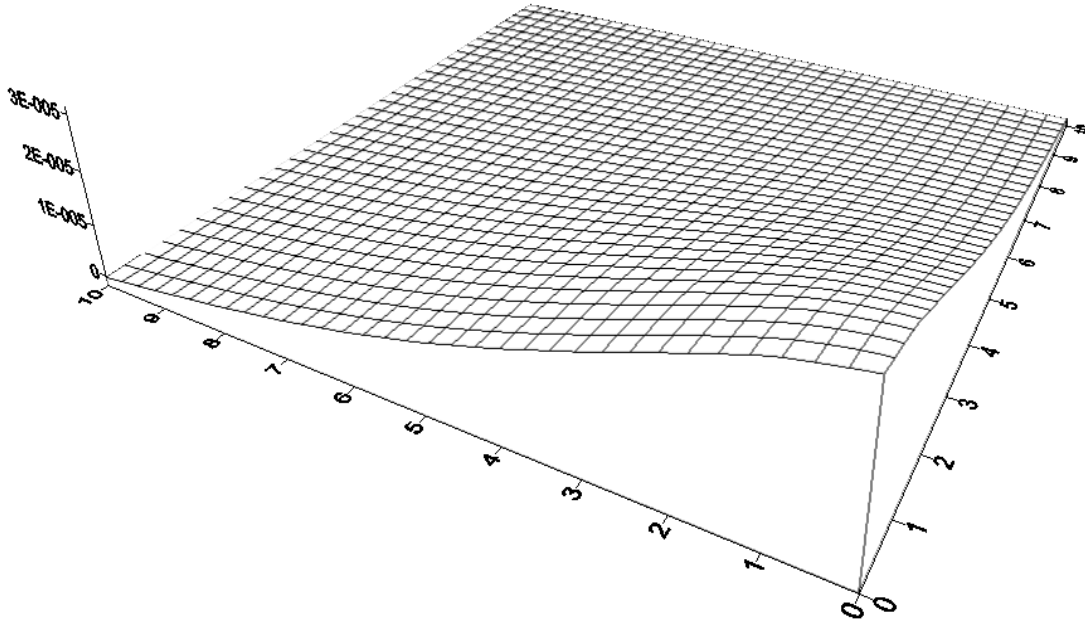
Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.23) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.23 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1809	1796,7768	2073,3806	0,0041	75,646
	H ₂ =15	0,5427	591,4635	5991,2387		
10	H ₁ =10	0,3150	895,2636	4106,8910	0,0068	78,932
	H ₂ =30	0,9451	290,4525	11054,3885		
20	H ₁ =20	0,5645	443,1538	7961,3343	0,0096	79,960
	H ₂ =60	1,6936	146,7630	17665,1355		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 3$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün lineer değişmesi durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Tekil yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.3.2.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.24) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.24 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1723	1797,0726	2074,3030	0,0041	75,349
	H ₂ =25	0,8614	349,6901	9395,4164		
10	H ₁ =10	0,3034	895,5915	4111,1601	0,0068	78,617
	H ₂ =50	1,5803	174,7846	15290,4133		
20	H ₁ =20	0,5523	443,4026	7976,5252	0,0096	79,762
	H ₂ =100	2,7617	104,0410	20320,1503		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.3.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi durumunda H_2 / H_1 oranının değişik değerleri için hesap yapılmıştır. Buna göre zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m², alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m² alınmıştır.

3.3.3.1 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının bir olması durumu

Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca kuadratik değişmesi halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.25) de gösterilmiştir. Zemine ait bu

karakteristik büyükler daha önceki örneklerde olduğu gibi ardaşık yaklaşım yöntemiyle yapılmıştır. İstenilen değerlere yaklaşımın ikinci veya üçüncü basamağında ulaşılmıştır.

Çizelge 3.25 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1771	1597,1158	1825,1572	0,0045	76,700
	H ₂ =5	0,1771	1597,1158	1825,1572		
10	H ₁ =10	0,3032	795,8912	3619,1439	0,0075	80,335
	H ₂ =10	0,3032	795,8912	3619,1439		
20	H ₁ =20	0,5237	394,3864	7057,1764	0,0107	81,486
	H ₂ =20	0,5237	394,3864	7057,1764		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 1$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

3.3.3.2 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının üç olması durumu

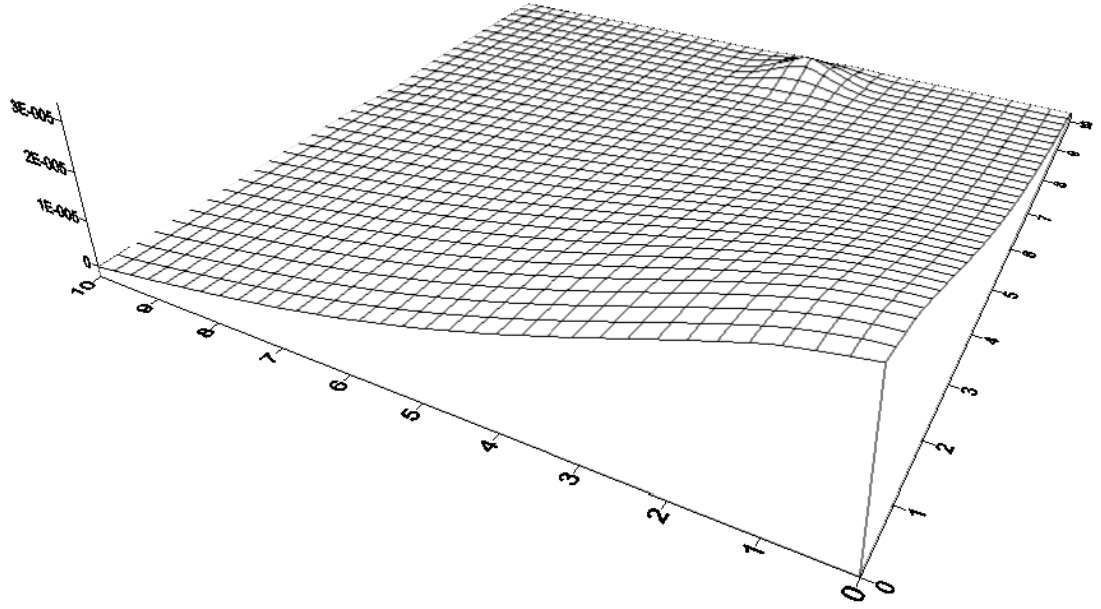
Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi Ct ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti Mx değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.26) da gösterilmiştir.

Çizelge 3.26 : Tekil yük durumu.

H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1696	1597,3505	1825,8289	0,0045	76,437
	H ₂ =15	0,5089	526,2129	5303,9982		
10	H ₁ =10	0,3027	795,9042	3619,2989	0,0075	80,278
	H ₂ =30	0,9082	258,1611	9844,9532		
20	H ₁ =20	0,5518	393,8595	7028,0876	0,0106	81,948
	H ₂ =60	1,6553	130,0740	15903,7717		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2/H_1 = 3$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (C_t) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Tekil yükleme durumunda $H_2/H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.3.3.3 Sıkışabilen tabaka kalınlığının oranının beş olması durumu

Plak üzerine tekil yükler etkimesi ve zemin elastisite modülünün derinlik boyunca sabit olması halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığının artmasına bağlı olarak elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C, zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri tekil yük durumu için çizelge (3.27) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.27 : Tekil yük durumu.

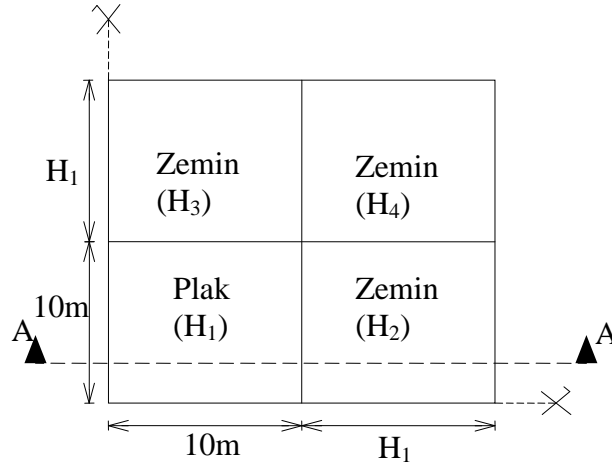
H (m)	H1,H2 (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5	H ₁ =5	0,1610	1597,6106	1826,5718	0,0045	76,104
	H ₂ =25	0,8049	311,2015	8392,4242		
10	H ₁ =10	0,2916	796,1891	3622,6900	0,0075	79,934
	H ₂ =50	1,4578	154,3374	14111,9460		
20	H ₁ =20	0,5432	394,0214	7037,1008	0,0107	81,789
	H ₂ =100	2,7160	92,7100	18593,6670		

Plak ve zemin bölgesinin sıkışabilir tabaka kalınlıklarının oranı $H_2 / H_1 = 5$ iken, tekil yükler altında sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

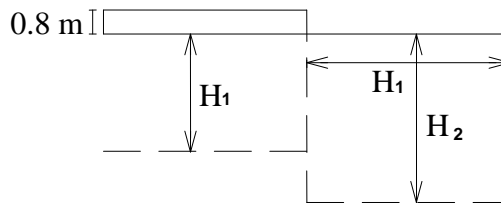
3.4 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağın Zemin Elastisite Modülünün Farklı Değişim Durumları İçin Hesabı

Problemdede şekil (3.7) de görülen plak gözönüne alınıp, sistem zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik değiştiği üç farklı durumu için hesaplanacaktır. Bu problemdeki zemin ve plak özellikleri daha önce çözülmüş olan 3.1 bölümündeki özelliklerle aynıdır. Plağın oturduğu bölgede ve genişleme bölgesindeki sıkışabilen tabaka kalınlıkları (H_1, H_2, H_3, H_4) birbirinden farklıdır. Buna karşılık zeminin elastik sabitleri için aynı değerler kullanılmıştır.

Kesiti (3.8) de görülen sistemin hesabında, plak üzerine etkitilen 1kN/m^2 lik üniform yayılı yük dikkate alınacaktır.



Şekil 3.16 : Çözümü yapılacak sistem planı.



Şekil 3.17 : Sistem A-A kesiti.

3.4.1 Elastisite modülünün sabit olması durumu

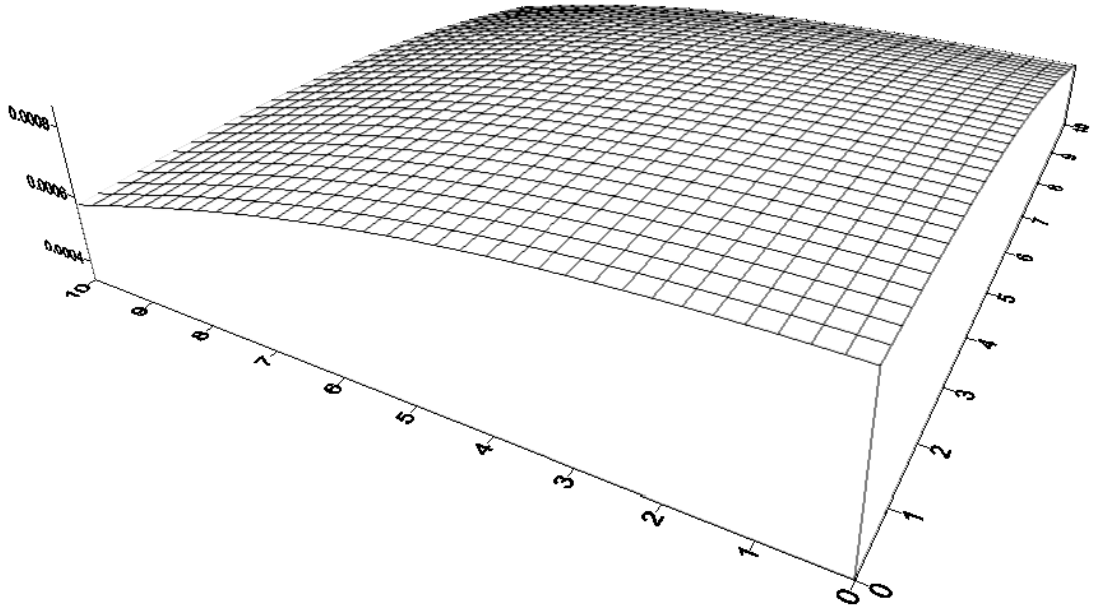
Elastisite modülü derinlik boyunca sabit, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının farklı değerleri için ardaşık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.28) de gösterilmiştir.

Çizelge 3.28 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H_i	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	H ₁ =5	0,1026	1200,0029	1664,3312	0,0009	0,6955
	H ₂ =10	0,2052	600,0234	3314,7335		
	H ₃ =15	0,3078	400,0783	4937,6917		
	H ₄ =20	0,4104	300,1832	6520,4945		
10	H ₁ =10	0,2309	600,0375	3309,8082	0,0014	1,6134
	H ₂ =10	0,2309	600,0375	3309,8082		
	H ₃ =15	0,3464	400,1251	4921,3472		
	H ₄ =20	0,4619	300,2915	6482,6501		
20	H ₁ =20	0,4056	300,1749	6523,8087	0,0021	2,1270
	H ₂ =10	0,2028	600,0224	3315,1626		
	H ₃ =15	0,3042	400,0748	4939,1188		
	H ₄ =20	0,4056	300,1749	6523,8087		

Plak bölgesi kalınlığının $H_1 = 5, 10$ ve 15 değerlerine karşılık zemin genişleme bölgesi sıkışabilir tabaka kalınlık değerleri sırasıyla $H_2 = 10, H_3 = 15$ ve $H_4 = 20$ m alınmıştır. Buna göre plak altı sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve zemin elastik yataklanma katsayısının (C) zemin genişleme bölgesinde arttığı, fakat $H = 10$ m den sonra ise azaldığı görülmektedir. Kayma parametresi (C_t) önce azalıp sonra aynı H değerinde artmaktadır. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün sabit olması durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.18 : Yayıllı yükleme durumunda $H_2/H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.4.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi durumu

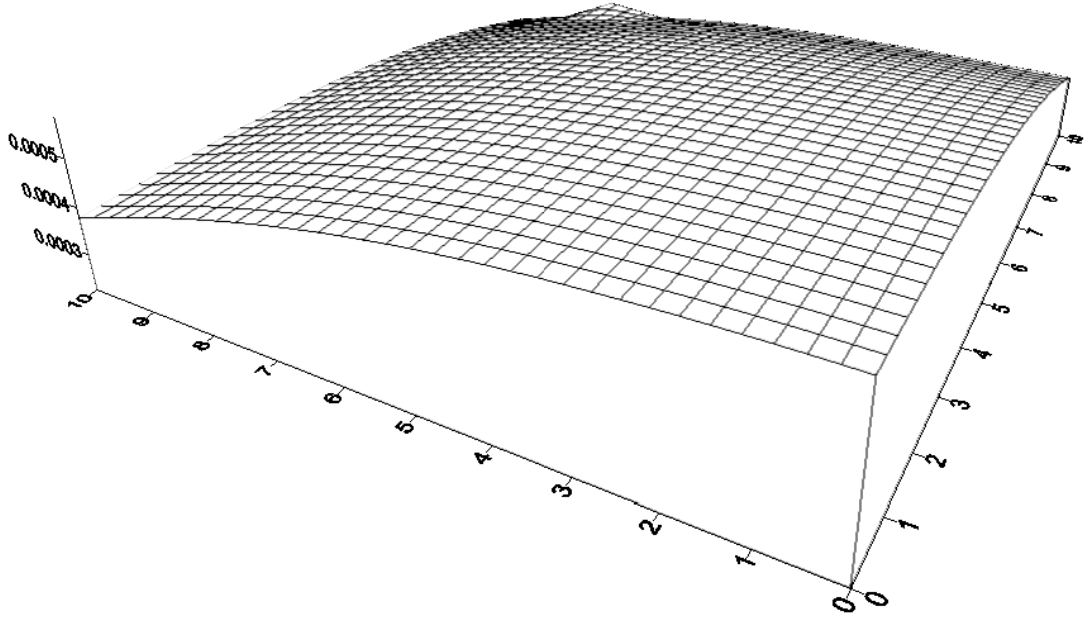
Elastisite modülü derinlik boyunca lineer, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının farklı değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayıllı yük durumu için çizelge (3.29) da gösterilmiştir. Zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m^2 , alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m^2 alınmıştır.

Çizelge 3.29 : Yayılı yük durumu.

H (m)	H_i	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	H ₁ =5	0,1052	1798,8986	2079,9561	0,0006	0,3997
	H ₂ =10	0,2104	897,8312	4139,7798		
	H ₃ =15	0,3157	596,8305	6159,9868		
	H ₄ =20	0,4209	445,9265	8122,3481		
10	H ₁ =10	0,2410	897,1736	4131,4708	0,0010	1,085
	H ₂ =10	0,2410	897,1736	4131,4708		
	H ₃ =15	0,3615	595,9032	6132,4622		
	H ₄ =20	0,4820	444,7962	8058,7724		
20	H ₁ =20	0,4323	445,7227	8111,0708	0,0015	1,573
	H ₂ =10	0,2161	897,7147	4138,3131		
	H ₃ =15	0,3242	596,6650	6155,1181		
	H ₄ =20	0,4323	445,7227	8111,0708		

Plak bölgesi kalınlığının $H_1 = 5, 10$ ve 15 değerlerine karşılık zemin genişleme bölgesi sıkışabilir tabaka kalınlık değerleri sırasıyla $H_2 = 10, H_3 = 15$ ve $H_4 = 20$ m alınmıştır. Buna göre plak altı sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve zemin elastik yataklanma katsayısının (C) zemin genişleme bölgesinde arttığı, fakat $H = 10$ m den sonra ise azaldığı görülmektedir. Kayma parametresi (C_t) önce azalıp sonra aynı H değerinde artmaktadır. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün lineer değişmesi durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.19 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

3.4.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi durumu

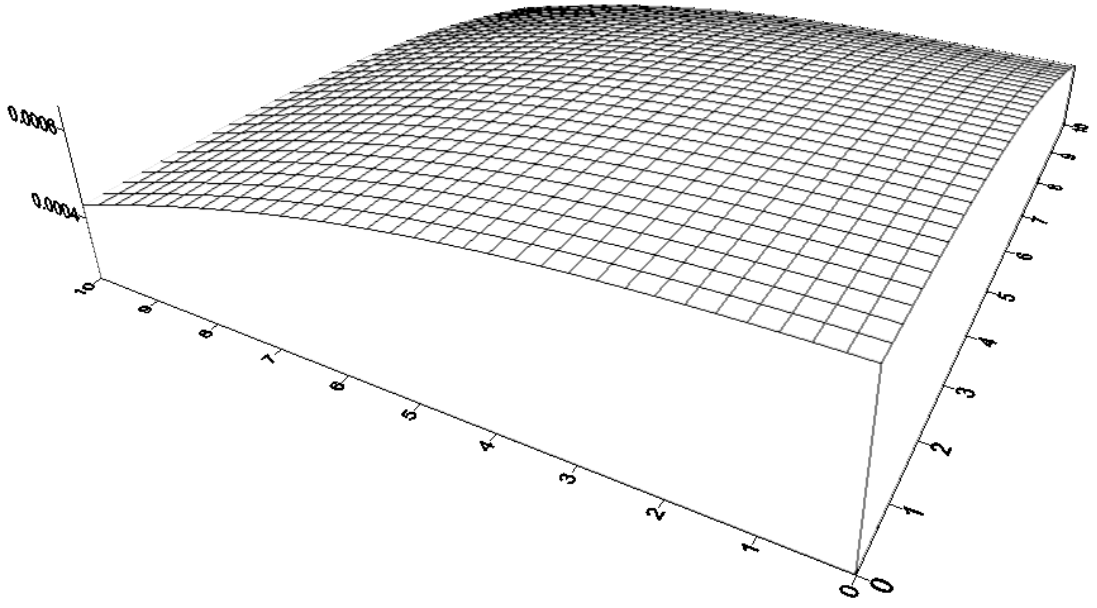
Elastisite modülü derinlik boyunca kuadratik, plak ve genişleme bölgesine ait sıkışabilen tabaka kalınlıklarının farklı değerleri için ardaşık yaklaşım sonucunda elde edilen mod şekil parametresi γ , zemin yatak katsayısı C , zemin kayma parametresi C_t ve simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme d ile eğilme momenti M_x değerleri yayılı yük durumu için çizelge (3.30) da gösterilmiştir. Zemin üst tabakası için elastisite modülü (E_1) 5000 kN/m^2 , alt tabakası için elastisite modülü (E_2) 10000 kN/m^2 alınmıştır.

Çizelge 3.30 : Yayıllı yük durumu.

H (m)	H_i	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5	H ₁ =5	0,1038	1599,0000	1830,5175	0,0006	0,4712
	H ₂ =10	0,2074	798,0337	3644,2866		
	H ₃ =15	0,3111	530,4568	5425,0215		
	H ₄ =20	0,4147	396,3015	7157,6074		
10	H ₁ =10	0,2376	797,4337	3637,3279	0,0012	1,232
	H ₂ =10	0,2376	797,4337	3637,3279		
	H ₃ =15	0,3565	529,6107	5401,9910		
	H ₄ =20	0,4753	395,2664	7104,2909		
20	H ₁ =20	0,4277	396,0859	7146,6757	0,0017	1,773
	H ₂ =10	0,2139	797,9108	3642,8663		
	H ₃ =15	0,3208	530,2833	5420,3393		
	H ₄ =20	0,4277	396,0859	7146,6757		

Plak bölgesi sıkışabilir tabaka kalınlığının $H_1 = 5, 10$ ve 15 değerlerine karşılık zemin genişleme bölgesi sıkışabilir tabaka kalınlık değerleri sırasıyla $H_2 = 10, H_3 = 15$ ve $H_4 = 20$ m alınmıştır. Buna göre plak altı sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve zemin elastik yataklanma katsayısının (C) zemin genişleme bölgesinde arttığı, fakat $H = 10$ m den sonra ise azaldığı görülmektedir. Kayma parametresi (C_t) önce azalır sonra aynı H değerinde artmaktadır. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Elastisite modülünün lineer değişmesi durumunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen plak elemanın çökme yüzeyi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.20 : Yayılı yükleme durumunda $H_2 / H_1 = 3$ iken çökme yüzeyi.

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.

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.

Plak ve zemin sonlu elemanlar kullanılarak zemin yüzey parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklükler ardışık yaklaşım yöntemiyle elde edilebilmekte olup ardışık yaklaşımın ikinci veya üçüncü basamağında sonuca ulaşılabilir. Uniform yayılı yüklenme durumunda sonuca daha çabuk ulaşılabilirliği gözlemlenmiştir.

Plak üzerine yayılı yük etkimesi halinde sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Plak üzerine tekil yük etkimesi halinde, sıkışabilir tabaka kalınlığı (H) arttıkça zemin yüzey parametresinin (γ) ve kayma parametresinin (Ct) arttığı, zemin elastik yataklanma katsayısının (C) da azaldığı görülmektedir. Simetri merkezindeki düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (Mx), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir. Bölüm (3.2) deki tekil yük örneğinde, moment değerlerinin tabaka kalınlığı (H) arttıkça, önce arttığı sonra azaldığı gözlemlenmiştir.

Çözülen son örnekte birbirinden farklı dört tane sıkışabilen tabaka kalınlığı alınmıştır. Buna göre plak altı sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça, zemin yüzey parametresinin (γ) ve zemin elastik yataklanma katsayısının (C) zemin genişleme bölgesinde önce arttığı sonra da azaldığı gözlemlenmiştir. Kayma parametresi (Ct) önce azalır, sonra tabaka kalınlığının artmasıyla artmaktadır. Düşey yerdeğiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla artış göstermektedir.

Örneklere elde edilen sonuçlara bakıldığında sistemin düşey yer değiştirme (d) ve eğilme momenti (M_x) değerlerinin, plak altı sıkışabilen tabaka kalınlığı doğrultusunda şekillendiği anlaşılmaktadır. Zemin altı sıkışabilen tabaka kalınlığının etkisinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu görülmektedir. Buna göre sistem çözümü yapılırken, hem zemin hem de plak bölgesinde tabaka kalınlığı olarak sadece plak altı sıkışabilen tabaka kalınlığı alınabilir.

KAYNAKLAR

- Aydođan, M.**, 2001. Mühendislikte sonlu elemanlar yöntemi, *Ders Notları*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Balcı, M.**, 2005. İki parametrelili kademeli Vlasov tipi zemin modelinin incelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chiwanga, M. and Valsangkar, A. J.**, 1988. Generalized beam element on two-parameter elastic foundation, *Journal of Structural Engineering*, Vol. **114**, no. 6, pp.22548.
- Çelik, M.**, 1995. Plak sonlu elemanlarda kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alınarak iki parametrelili elastik zemine outran plakların hesabı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Çelik, M. and Saygun, A.**, 1999. A method for the analysis of plates on a two parameter foundation, *Solids and Structure. J. Int.*, **36**, 2891-2915.
- Dalođlu, A.**, 1992. A consistent Vlasov model for analysis of plates on elastic foundations using finite element method. *Doctor Philosophy*, Texas Technical University.
- Dalođlu, A. and Vallabhan, C.V.G.**, 2000. Values of k for slab on winkler foundation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. **126**, no. 5, pp. 19415.
- Dindar, A. A.**, 2002. İki parametrelili Vlasov zemine oturan homojen izotrop plakların karışık sonlu elemanlar metodu ile analizi, *Y. Lisans Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Fettahođlu, A.**, 2003. Zeminle etkileşim içindeki ayrıık plaklarda Vlasov parametrelerinin sonlu elemanlarla belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gören, K. K.**, 2002. İki parametrelili elastik zemine oturan plaklar, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Günay, A.**, 1996. Sonlu elemanlar yöntemiyle elastik zemine oturan plakların analizi ve yapı sistemlerinin hesap yöntemlerinin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Güraslan, M. O.**, 2008. İki parametrelili zemine oturan kirişler, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Karaşin, A. H. ve Gülkan, P.**, 2008. Elastik zeminlere outran plakların sonlu ızgara yöntemi ile yaklaşık çözümü, *İMO Teknik Dergi*, 293, pp. 4445-4454
- Kimençe B.**, 1989. İki parametrelili elastik zemine oturan dairesel plak ve basık küresel kabuk tabanlı silindirik tank, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

- Nogami, T., Lam, Y.C.**, 1987. Two-parameter layer model for analysis of slabs on elastic foundations. *Journal of Engineering Mechanics*, **113**, no.9, pp. 1279-1291.
- Nogami, T., O' Neil, M.W.**, 1985. Beam on generalized two-parameter foundation. *Journal of Engineering Mechanics*, **111 (5)**, 664-679.
- Przemieniecki, J. S.**, 1968. Theory of matrix structural analysis, pp. 445-463, McGraw-Hill, New York.
- Saygun, A.**, 1974. Yüzeysel taşıyıcı sistemlerin hesabı için eğrisel sonlu elemanlar, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Saygun, A., Trupia, A., Eren, İ.**, 1993. Elastik zemine oturan kirişli ve kirişsiz radye temellerin hesabı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- 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.
- Vallabhan, C. V. G. and Das, Y. C.**, 1991. Modified Vlasov model for beams on elastic foundation, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. **117**,

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Duygu ŞIK

Doęum Yeri ve Tarihi: İstanbul -1983

Adres: Kartaltepe mah. Terakki cad. Hızırbey Sit. B Blok. No:35/35 Bakırköy/ İST

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi