

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Diğdem ŞAHİN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Diğdem ŞAHİN
(501071022)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010

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

OCAK 2010

Annem ve Babama,

ÖNSÖZ

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

Bu çalışma süresince değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım hocam ve tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Mecit ÇELİK'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Aralık 2009

Diğdem ŞAHİN

(Çevre ve İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Tanıtımı	1
1.2 Çözüm Yöntemi	6
2. İKİ PARAMETRELİ ZEMİNE OTURAN PLAK HESABI.....	9
2.1 İki Parametrelili Zemin Karakteristiklerinin Tanımı ve Hesabı.....	9
2.2 İki Parametrelili Zemin Tepkilerinin Plak Sonlu Elemanlarda Göz Önüne Alınması.....	18
2.2.1 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen plak elemanda [C] ve [C _T] matrisleri ..	21
2.3 İki Parametrelili Zemin Ortamının Sonlu Elemanlarla İdealizasyonu	25
2.3.1 4 Serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu elemanda [C] ve [C _T] matrisleri.....	29
3. SAYISAL ÖRNEKLER	33
3.1 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağa Düzgün Yayılı Yük Etkimesi Durumu İçin Hesap.....	33
3.1.1 Elastisite modülünün planda sabit olması	34
3.1.1.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	34
3.1.1.1 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	35
3.1.1.1 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	37
3.1.2 Elastisite modülünün planda farklı olması	38
3.1.2.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	38
3.1.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	39
3.1.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	41
3.2 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağa Tekil Yük Etkimesi Durumu İçin Hesap	42
3.2.1 Elastisite modülünün planda sabit olması	44
3.2.1.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	44
3.2.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	45
3.2.1.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	46
3.2.2 Elastisite modülünün planda farklı olması	47
3.2.2.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	47
3.2.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	49
3.2.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	50
3.3 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağın Değişken Zemin Elastisite Modülü Değerleri İçin Hesabı	42

3.3.1 Düzgün yayılı yük durumu.....	53
3.3.1.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	53
3.3.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	54
3.3.1.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	56
3.3.2 Tekil yük durumu.....	57
3.3.2.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	57
3.3.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	58
3.3.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	60
3.4 İki Parametrelili Değişken Elastik Sabitli Zemin Oturan Plak Hesabı.....	61
3.4.1 Düzgün yayılı yük durumu.....	62
3.4.1.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	62
3.4.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	64
3.4.1.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	65
3.4.2 Tekil yük durumu.....	66
3.4.2.1 Elastisite modülünün sabit olması.....	66
3.4.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	68
3.4.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	69
4. SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	73

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen elemanın elastik yataklanma alt matrisleri.	24
Çizelge 2.2 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen elemanın kayma parametresine bağlı alt matrisleri.	25
Çizelge 2.3 : Dikdörtgen zemin sonlu eleman deformasyon matrisi.	31
Çizelge 3.1 : Düzgün yayılı yükleme yapılan sistemin zemin genişleme bölgesi değerleri.	34
Çizelge 3.2 : E sabit ve $E_{üst}=E_{alt} = 5000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	34
Çizelge 3.3 : E sabit ve $E_{üst}=E_{alt} = 25000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	35
Çizelge 3.4 : E sabit ve $E_{üst}=E_{alt} = 25000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	35
Çizelge 3.5 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	36
Çizelge 3.6 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	36
Çizelge 3.7 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/37500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	36
Çizelge 3.8 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	37
Çizelge 3.9 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	37
Çizelge 3.10 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/37500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	37
Çizelge 3.11 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} =3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	38
Çizelge 3.12 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} =5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	39
Çizelge 3.13 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} =3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	40
Çizelge 3.14 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} =5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	40
Çizelge 3.15 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} =3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri..	41
Çizelge 3.16 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} =5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri..	42
Çizelge 3.17 : Tekil yükleme yapılan sistemin zemin genişleme bölgesi değerleri..	43
Çizelge 3.18 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	44
Çizelge 3.19 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	44
Çizelge 3.20 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	44
Çizelge 3.21 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri..	45
Çizelge 3.22 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri..	45
Çizelge 3.23 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/37500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	46

Çizelge 3.24 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	46
Çizelge 3.25 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	47
Çizelge 3.26 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/7500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	47
Çizelge 3.27 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	48
Çizelge 3.28 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	48
Çizelge 3.29 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	49
Çizelge 3.30 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	50
Çizelge 3.31 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri..	51
Çizelge 3.32 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	51
Çizelge 3.33 : Hesap için seçilen sistemin zemin genişleme bölgesi değerleri.	53
Çizelge 3.34 : E sabit ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	53
Çizelge 3.35 : E sabit ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	54
Çizelge 3.36 : E sabit ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	54
Çizelge 3.37 : E sabit ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	54
Çizelge 3.38 : E lineer değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	55
Çizelge 3.39 : E lineer değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	55
Çizelge 3.40 : E lineer değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	55
Çizelge 3.41 : E lineer değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	55
Çizelge 3.42 : E kuadratik değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	56
Çizelge 3.43 : E kuadratik değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	56
Çizelge 3.44 : E kuadratik değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	56
Çizelge 3.45 : E kuadratik değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	57
Çizelge 3.46 : E sabit ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	57
Çizelge 3.47 : E sabit ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	58
Çizelge 3.48 : E sabit ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	58
Çizelge 3.49 : E sabit ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	58
Çizelge 3.50 : E lineer değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	59
Çizelge 3.51 : E lineer değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	59
Çizelge 3.52 : E lineer değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	59
Çizelge 3.53 : E lineer değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	59
Çizelge 3.54 : E kuadratik değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	60
Çizelge 3.55 : E kuadratik değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	60
Çizelge 3.56 : E kuadratik değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	60
Çizelge 3.57 : E kuadratik değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	61
Çizelge 3.58 : Hesap için seçilen sistemin zemin genişleme bölgesi değerleri.	62
Çizelge 3.59 : E sabit ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	63
Çizelge 3.60 : E sabit ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	63
Çizelge 3.61 : E sabit ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	63
Çizelge 3.62 : E sabit ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	63
Çizelge 3.63 : E lineer değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	64
Çizelge 3.64 : E lineer değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	64
Çizelge 3.65 : E lineer değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	64
Çizelge 3.66 : E lineer değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	65
Çizelge 3.67 : E kuadratik değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	65
Çizelge 3.68 : E kuadratik değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	65
Çizelge 3.69 : E kuadratik değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	66
Çizelge 3.70 : E kuadratik değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.....	66

Çizelge 3.71 : E sabit ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	67
Çizelge 3.72 : E sabit ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	67
Çizelge 3.73 : E sabit ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	67
Çizelge 3.74 : E sabit ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	67
Çizelge 3.75 : E lineer değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	68
Çizelge 3.76 : E lineer değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	68
Çizelge 3.77 : E lineer değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	68
Çizelge 3.78 : E lineer değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.	69
Çizelge 3.79 : E kuadratik değişken ve H=5m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	69
Çizelge 3.80 : E kuadratik değişken ve H=10m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	69
Çizelge 3.81 : E kuadratik değişken ve H=15m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	70
Çizelge 3.82 : E kuadratik değişken ve H=20m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Winkler zemin modeli.....	2
Şekil 1.2 : Filonenko – Brodich zemin modeli.....	3
Şekil 1.3 : Hetenyi zemin modeli.....	4
Şekil 1.4 : Pasternak zemin modeli.....	5
Şekil 1.5 : Vlasov zemin modeli.....	6
Şekil 2.1 : Yüzeysel temel görünüş ve kesiti.....	9
Şekil 2.2 : Zemine etkileyen iç kuvvetler.....	10
Şekil 2.3 : Kalınlığı dz olan zemin tabakasına etkileyen yükler.....	13
Şekil 2.4 : Elastisite modülünün sabit olması.....	15
Şekil 2.5 : Elastisite modülünün lineer değişmesi.....	16
Şekil 2.6 : Elastisite modülünün kuadratik değişmesi.....	17
Şekil 2.7 : Dönmelere bağlı olarak zeminden temele gelen tepkiler.....	18
Şekil 2.8 : Dikdörtgen elemanda yüzeydeki ve sınırdaki zemin tepkileri.....	19
Şekil 2.9 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen plak sonlu eleman.....	21
Şekil 2.10 : Temel çevre ortamının bölgelere ayrılması.....	26
Şekil 2.11 : Planda düzgün olamayan radye temel örneği.....	27
Şekil 2.12 : Radye temel çevre genişliği.....	27
Şekil 2.13 : Yakın temellerin karşılıklı etkileşimleri.....	28
Şekil 2.14 : 4 Serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu eleman.....	29
Şekil 3.1 : Düzgün yayılı yükleme durumu için çözümü yapılacak temelin geometrik büyüklükleri.....	33
Şekil 3.2 : Tekil yükleme durumu için çözümü yapılacak temelin geometrik büyüklükleri.....	43
Şekil 3.3 : Hesap için seçilen sistemin geometrik büyüklükleri.....	52
Şekil 3.4 : Değişken elastik sabitli zemine oturan plak hesabı için seçilen temelin geometrik büyüklükleri.....	62

İKİ PARAMETRELİ DEĞİŞKEN ELASTİK SABİTLİ ZEMİNE OTURAN PLAKLAR

ÖZET

Bu çalışmada iki parametrelı değişken elastik sabitli zemine oturan plakların hesabı yapılmıştır. Plağa ait poisson oranı değerleri ile plak boyutları sabit alınmıştır. Zemine ait değerler değişken kabul edilmiştir. Sistem, farklı zemin elastisite modülü değerlerinin, sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için sabit, lineer ve kuadratik değişmesi durumları için çözülmüştür. Bunlara bağlı olarak mod şekil 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 parametrelı elastik zeminde, zemin karakteristiklerinin tanımı yapılarak iki parametrelı zemine oturan plaklarda ve plak bölgesi dışında kalan noktalarda sistemin diferansiyel denklemi elde edilmiş ve virtüel iş teoremi yardımı ile zemine ait karakteristik büyüklüklerin ardışık yaklaşım yöntemi ile elde edilebileceği gösterilmiştir. Hesaplar Genson isimli bilgisayar programı ile yapılmıştır. Oluşturulan 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 ile gösterilmiştir.

Son bölümde ise çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar topluca verilmiştir.

ANALYSIS OF PLATES ON A TWO PARAMETER VARIABLE ELASTIC STATIONARY FOUNDATION

SUMMARY

This study focuses on the analysis of plates on a two-parameter variable elastic stationary foundation. The values related to the foundation are considered to be variable. Poisson ratios and dimensions of plates are considered to be constant. The system has been solved for different values of elasticity modulus with constant, linear and quadratic changes with depth. Mode shape parameter, elastic bedding coefficient and shear parameter coefficients have been calculated

The study comprises of four sections.

In the First Section information on how the problem came up and previous studies is investigated. Mathematical models generated from these studies are shortly examined and proper foundation model for the solution has been chosen. The purpose of the analysis and description of the study and the steps of the analysis are examined.

In the Second Section, Vlasov foundation model has been taken into consideration and related shear parameter coefficient has been considered. Characteristics of the two-parameter elastic foundation were described and the differential equation was derived both below and outside of the plate. With the help of virtual work theorem; it has been indicated that numerical characteristics of the foundation can be obtained with iteration method. All of the calculations have been made by the Genson computer program. In this section, elastic bedding and shear parameter matrices of plate element with sixteen degrees of freedom and soil element with four degrees of freedom have been derived in detail.

Numerical examples have been included in the third section. As a result of the calculations, vertical displacements (d) and bending moments (M_x) are demonstrated in tables.

Finally in the fourth section all the findings are given as the results of the study.

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.

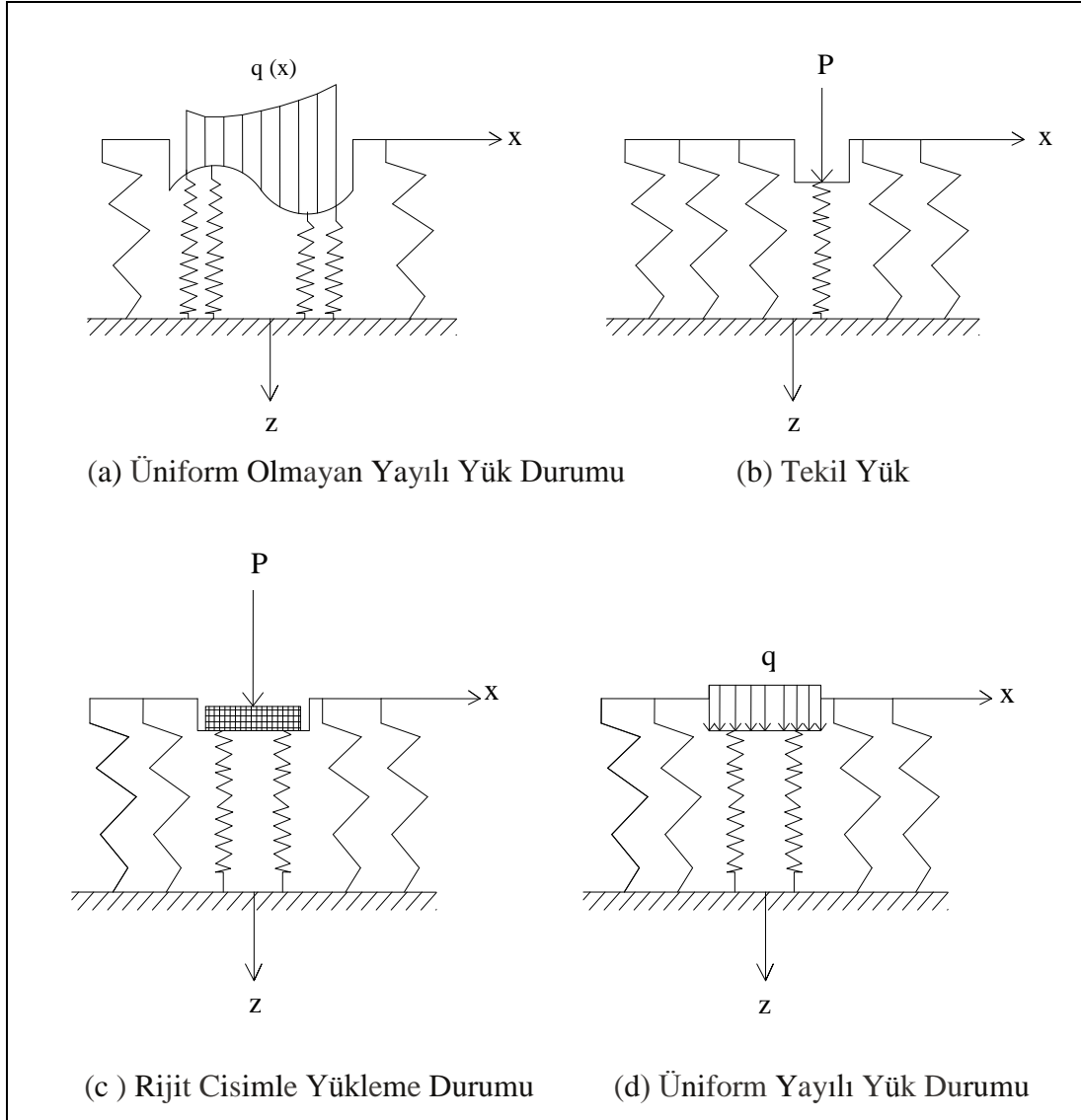
Elastik zemine oturan plakların analizinin üç aşamadan oluştuğu kabul edilebilir. İlk aşama, yapının ve zeminin karşılıklı davranışlarını en iyi şekilde temsil edecek uygun zemin modelinin seçilmesidir. İkinci aşama zemine ve plağa ait değerlerin seçilmesidir. Son aşamada ise daha önceki aşamalardan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

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

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

bağıntısını vermektedir.

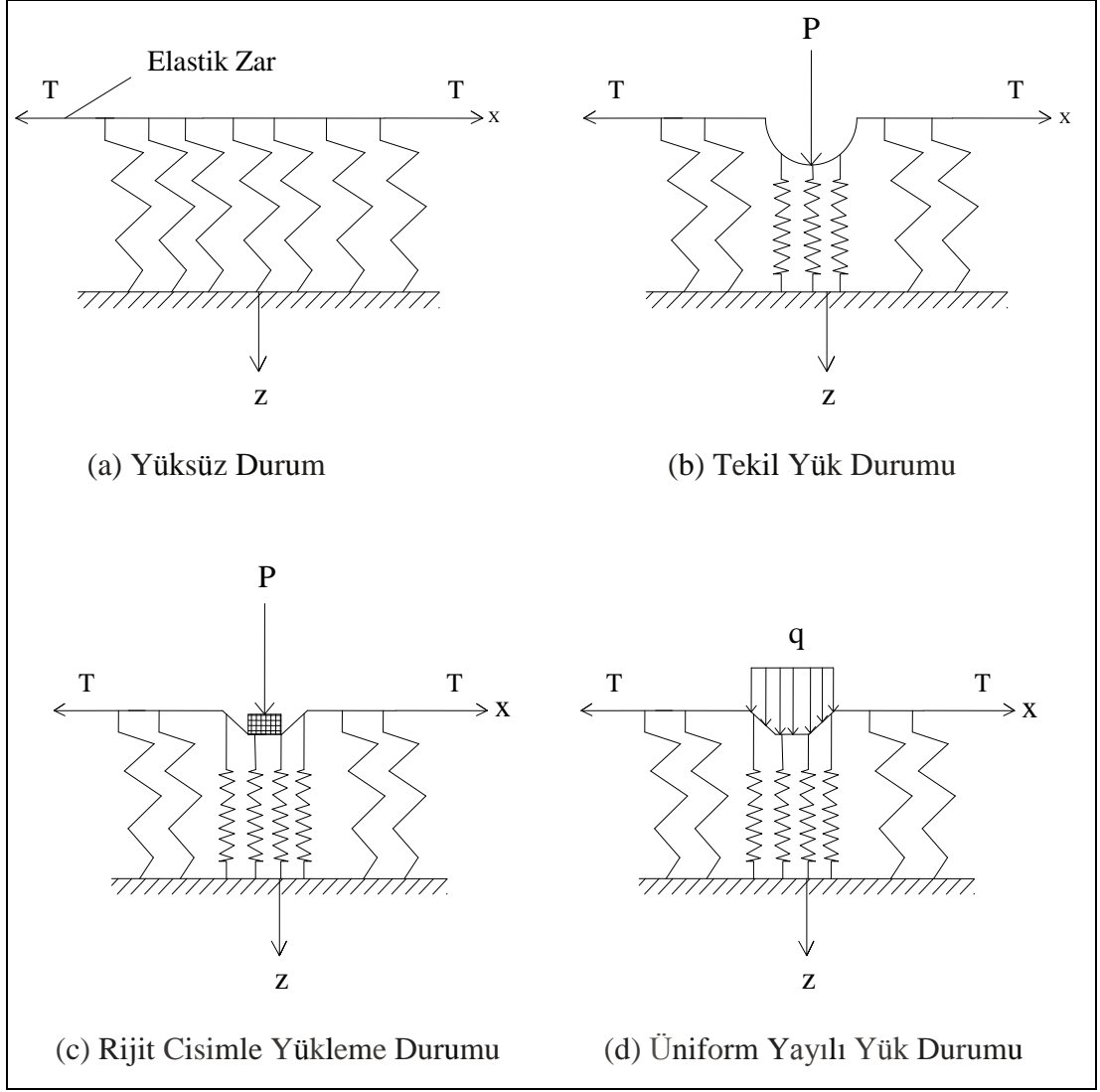
Winkler modelinde zeminin, Denklem 1.1' in bir sonucu olarak, birbirinden bağımsız, sadece düşey doğrultuda çalışan, lineer elastik yaylardan oluşan bir sistem olduğu kabul edilmiştir. Bu sonuca göre yükün etkidiği yaylarda çökmeler oluşur, diğer yaylarda ise hiçbir çökme oluşmaz. Şekil 1.1' de Winkler zemin modelinde değişik yüklere ait deplasman durumları gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Winkler zemin modeli.

Winkler modelinde zemini karakterize eden sadece k (zemin yatak katsayısı) parametresi vardır. Bu özelliğinden dolayı Winkler modeli tek parametrelili model olarak bilinmektedir.

Winkler zemin modelinin, bazı durumlarda yetersiz kalması üzerine araştırmacılar zemin sürekli ortamını daha iyi idealize edebilmek için yeni zemin modelleri geliştirmişlerdir. Filonenko-Brodich modelinde, Winkler modelindeki yayların üst yüzeyi Şekil 1.2' de görüldüğü gibi elastik bir zarla bağlı olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 1.2 : Filonenko-Brodich zemin modeli.

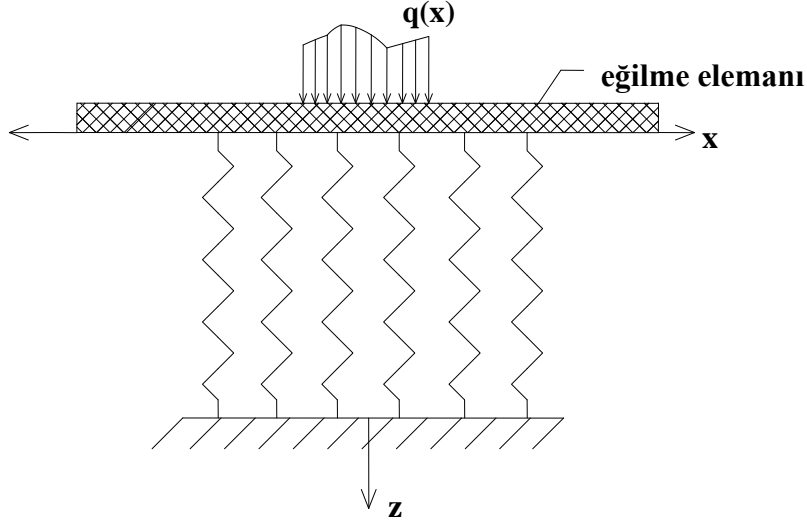
Bu modelde sisteme yükleme yapıldığında yüzeydeki zarda gerilme meydana gelir. Zar ve yaya sisteminin dengesinden zemin reaksiyonu

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

şeklinde ifade edilebilir.

Filonenko-Brodich modelinde , Denklemin 1.2' de de görüldüğü gibi, k Winkler modelindeki zemin katsayısı, T ise yayları birbirine bağlayan zarda oluşturduğu kabul edilen sabit çekme kuvveti olmak üzere, iki parametre bulunmaktadır.

Hetenyi modelinde ise Winkler yaylarının üzerinde Şekil 1.3’ de görüldüğü gibi, 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 Denklem 1.3 ile belirtilebilir.

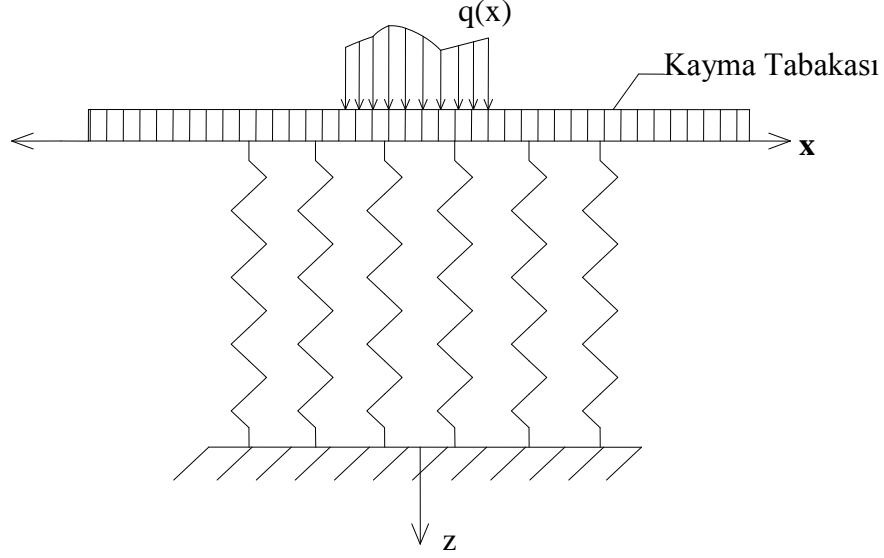
$$q(x) = kw - D\Delta\Delta w \quad (1.3)$$

Bu modelde elastik zemin parametresi k ve D dir.

Pasternak modelinde Winkler modelindeki yayların üzerinde Şekil 1.4’ de görülen, sadece düşey yer değiştirme yapabilen ve sıkışamayan elemanlardan oluşan bir kayma tabakası olduğu varsayılmıştır.

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

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



Şekil 1.4 : Pasternak zemin modeli.

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. Denklem 1.5' deki ∇^2 Laplaciien operatürü olup

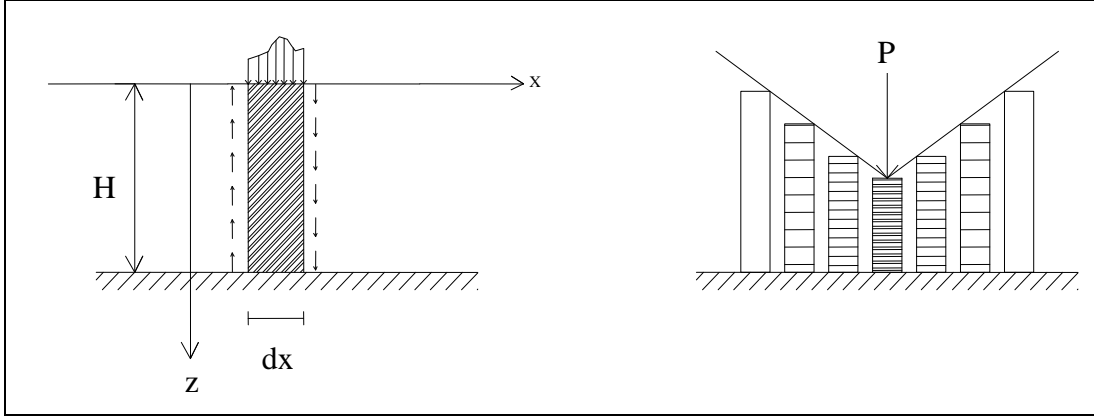
$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir..

Vlasov modelinde ise diğer modellerinden farklı olarak Şekil 1.5' de görüldüğü gibi x - z düzleminde ele alınan zemin kolonu için yer değiştirmeler Denklem 1.7' deki 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 mod şekil fonksiyonudur.



Şekil 1.5 : Vlasov zemin modeli.

Bu modelde zemin reaksiyonları

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

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

1.2 Çözüm Yöntemi

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

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

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

Bu yöntemde sonlu elemanlara bölünen bir sürekli sistemin elemanlarının yalnız düğüm noktalarında birbirlerine bağlı olduğu kabul edilir. Eleman yüzeylerinin şekil değiştirmesi ise düğüm noktalarının sonlu sayıdaki deplasman bileşenleri ve bunların koordinat değişkenlerine göre bazı türevlerinden oluşan uç deplasmanlarına bağlı fonksiyonlarının lineer kombinezonu olarak belirlenebilir. Bu şekil değiştirme

durumuna ait yüklemenin ise yalnız uç deplasmanları doğrultusundaki uç kuvvetlerinden oluştuğu kabul edilir. Uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasındaki matris bağıntıları birim deplasman durumlarını tanımlayan deplasman fonksiyonlarından veya elemanda, dengede iç kuvvet durumlarından hareket edilerek enerji teoremlerinden yararlanıp tayin edilebilir. Sisteme gelen yüklerinde yalnız düğüm noktalarından etkiyebileceği kabulü sonucunda yayılı dış etkiler de düğüm noktalarına etkiyen uç kuvvetlerine dönüştürülür.

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

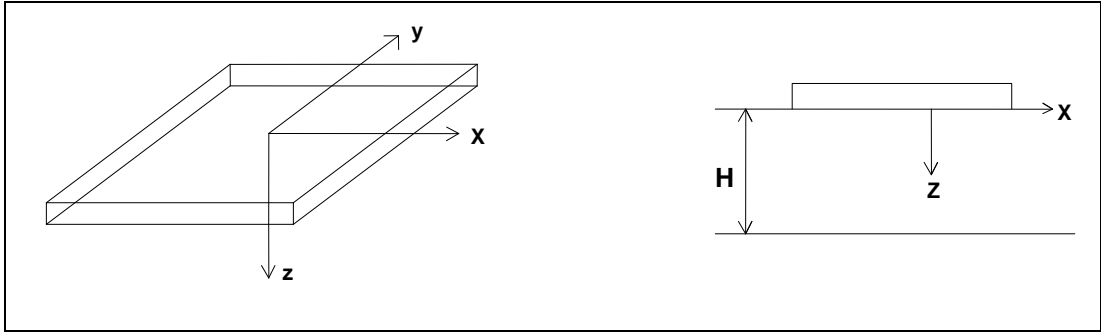
Sonlu elemanlar yönteminin inşaat mühendisliğinde uygulama alanlarından biri de plak sistemlerinin hesabıdır. Özellikle radye temellerinin boyutlandırılmasında Winkler tipi zemine oturan dikdörtgen sonlu elemanlar tanımlayarak bu yöntem geniş ölçüde kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin inşaat mühendisliğinde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

2. İKİ PARAMETRELİ ZEMİNE OTURAN PLAK HESABI

Bu bölümde iki parametrelilik elastik zemine oturan plakların hesabı ve diferansiyel denklemlerinin çıkarılması incelenmiştir.

2.1 İki Parametrelilik Zemin Karakteristiklerinin Tanımı ve Hesabı

İki parametrelilik 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 (Kimençe, 1989).



Şekil 2.1 : Yüzeysel temel 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;

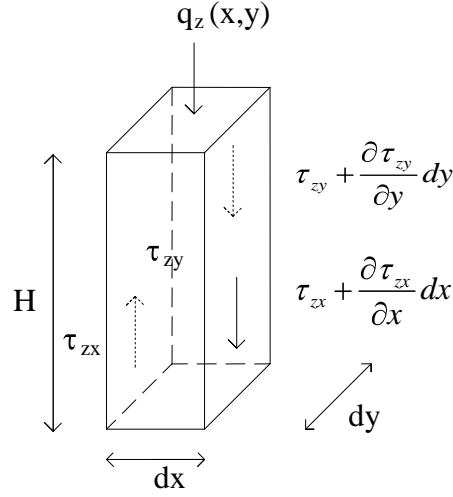
$$w_z = w(x, y)\varnothing(z) \quad (2.1)$$

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

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

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

şeklindedir. 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 olduğunu kabul ettiğimiz zeminin kayma modülü G_s olmak üzere çökme fonksiyonu cinsinden bu tesirler gösterilirse;

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

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

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

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

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

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

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

şeklindedir. Bu durum yükleme durumu olarak düşünülecektir. Virtüel şekil değiştirme durumu olarak ise bu kolonun üst yüzeyinin birim çökmesi alınacaktır. Bu halde z derinliğinde herhangi bir noktanın çökmesi Denklem 2.8' de gösterildiği gibi olacaktır.

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

boy değişme deformasyonu ise

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

dir.

Virtüel iş teoremi uygulanırsa;

Dış kuvvetlerin işi:

$$q_z dx dy + \int_{z=0}^H (\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} dx - \tau_{zx}) dy \varnothing(z) dz + \int_{z=0}^H (\tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} dy - \tau_{zy}) dx \varnothing(z) dz =$$

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

İç kuvvetlerin işi:

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

şeklinde yazılabilir. Virtüel iş teoremi gereği Denklem 2.10 ve 2.11' in eşitliğinden

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

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

kısaltmaları yapılırsa

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

denklemini veya kısaca

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

elde edilir.

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

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

yazılabilir. q_z in Denklem 2.15' deki ifadesi de yerine koyularak

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

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

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

olacaktır.

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

$\varnothing(z)$ fonksiyonun belirlenmesi için en uygun yaklaşım Vallabhan, Straughan ve Das (1991) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada plak ve zemin ortamının toplam potansiyel enerjisi zeminde $u = v = 0$, $w(x, y) = \varnothing(z)$ olmak üzere Denklem 2.18a' da verildiği gibidir.

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

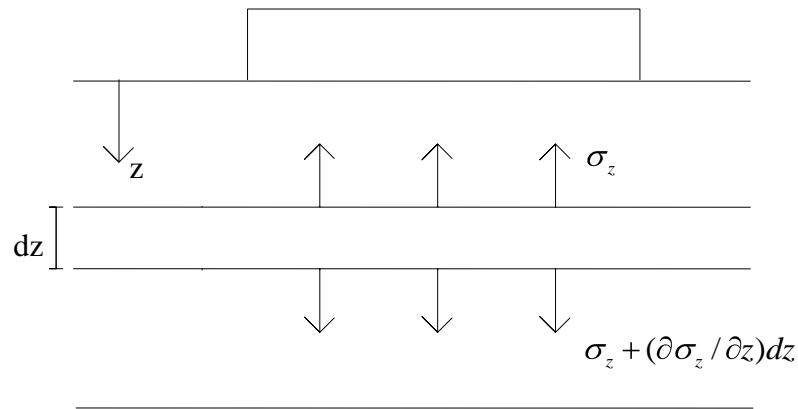
$$U_{plak} = \frac{D}{2} \iint_{\Omega} \left\{ (\nabla^2 w)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy \quad (2.18b)$$

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

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

Bu ifadenin $w(x,y)$ ye göre minimize edilmesinden yukarıda virtüel iş teoremi ile çıkarılan Denklem 2.15 ve dolayısıyla Denklem 2.16b ve 2.17 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 (Çelik, 1995).



Şekil 2.3 : Kalınlığın dz olan zemin tabakasına etkiyen yükler.

z derinliğindeki tabakada dış yükler;

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

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

İç kuvvetler ise;

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

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

bağıntılarından bulunabilir. Virtüel şekil değiştirme durumu olarak temel yüzeyi altında sıfırdan farklı, temelden uzaklaştıkça sönerek sıfıra gitmesi şeklindeki sınır şartlarını sağlayan herhangi bir çökme yüzeyi seçilebilir. Özel olarak dış etkiler altındaki $w(x, y)$ çökme yüzeyi bu şartları sağladığından tabakanın virtüel şekil değiştirme durumu alınır:

Dış kuvvetlerin işi;

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

İç kuvvetlerin işi;

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

olur.

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

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

Kısaltmaları yapılarak virtüel iş teoreminden;

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

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

$$\varnothing(z) = \frac{\text{Sinh} \gamma \left(1 - \frac{z}{H}\right)}{\text{Sinh} \gamma} \quad (2.28)$$

olup, zemin yüzey parametresi diye adlandırılan γ boyutsuz katsayısı

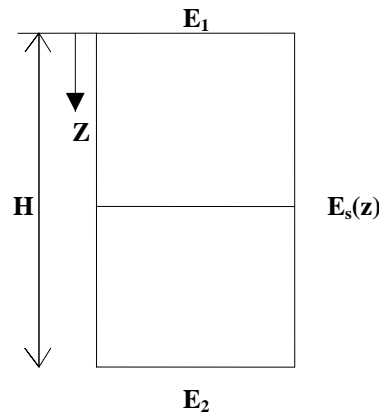
$$\gamma^2 = \frac{n}{m} = H^2 \frac{G_s(1+\nu_s)(1-2\nu_s)}{E_s(1-\nu_s)} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \left(\frac{\partial w(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w(x,y)}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy}{\int \int w^2(x,y) dx dy} \quad (2.29)$$

veya

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

olur.

C ve $2C_T$ nin Denklem 2.12 ve 2.13' deki ifadelerinde $\varnothing(z)$ fonksiyonunun Denklem 2.28 deki değeri konur ve integraller alınır, Şekil 2.4' de gösterilen elastisite modülü sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit zeminlerdeki ifadeler Denklem 2.31 ve 2.32' de verildiği gibidir (Daloğlu, 1992).



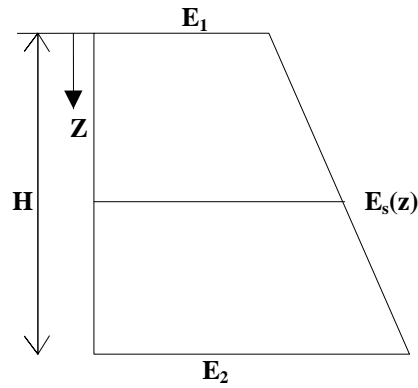
Şekil 2.4 : Elastisite modülünün sabit olması.

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

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

elastisite modülünün Şekil 2.5' de gösterildiği gibi lineer değişmesi halinde, C ve $2C_T$ sabitlerinin ifadeleri Denklem 2.34 ve 2.35' de verildiği gibidir (Daloğlu, 1992).

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



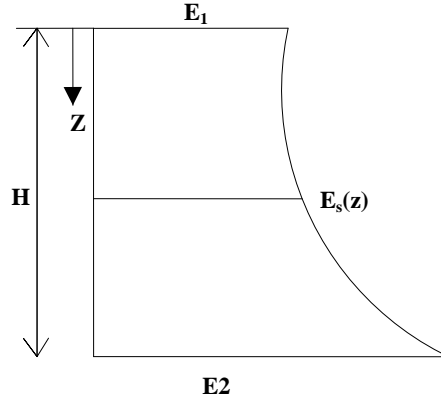
Şekil 2.5 : Elastisite modülünün lineer değişimi.

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

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

Elastisite modülünün Şekil 2.6' da görüldüğü gibi kuadratik değişmesi durumunda, C ve $2C_T$ sabitlerinin ifadeleri Denklem 2.34 ve 2.35' de verildiği gibidir.

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



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 ayrıca temel boyutları, temel rijitliği ve yükleme şekline bağlı olarak temel altında Denklem 2.16b ve temel çevresindeki zemin bölgesinde Denklem 2.17 diferansiyel denge denklemlerini sağlayan $w(x,y)$ çökme yüzeyinin fonksiyonunun belirlenip, Denklem 2.30' daki pay ve paydadaki integrallerin temel altı ve çevresi için alınmasıyla bulunabilir. Buradan çözüme bir ardışık yaklaşımla ulaşılabileceği anlaşılmaktadır.

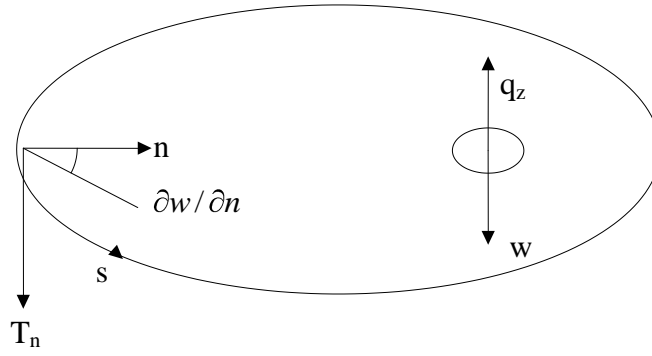
Önce γ ya bir değer verilip C ve C_T bulunacak, bu değerler için temel hesabı yapıp çökme yüzeyi $w(x,y)$ belirlenecektir. Denklem 2.30' dan yeni γ zemin yüzey parametresi hesaplanıp, bulunan yeni değeri için hesaplar tekrarlanacaktır. Ardışık iki adım arasındaki γ değeri için hesaplar tekrarlanacaktır. Ardışık iki adım arasındaki γ değerleri birbirine yeterince yaklaşıncaya ($\gamma_{n+1} - \gamma_n \leq 0.001$) hesaba son verilebilir. Bu ardışık yaklaşımın oldukça hızlı olduğu, başlangıçta çok uygun olamayan bir γ değeri seçilmiş olsa bile ardışık adımlar arası γ ların farkının 5-6 adım sonrasında % 0.1' den küçük hale geldiği yapılan örneklerle görülmüştür.

2.2 İki Parametrelili Zemin Tepkilerinin Plak Sonlu Elemanlarda Göz Önüne Alınması

İki parametrelili zemine oturan bir temel plağının w çökme yüzeyine bağılı olarak oluşan zemin tepkilerinin (Çelik, Saygun, 1999).

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

yayılı yükü ile ifade edilebileceği bilinmektedir. Kapalı bir yüzeysel bölge içinde yüzeysel yayılı yük şeklindeki bu q_z tepkileri yanında bölge sınırları boyunca, zemin kayma parametresi nedeniyle sınıra dik doğrultuda dönmeye bağılı olarak Şekil 2.7 deki gibi tepki kesme kuvvetlerinin de oluşacağı dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.7 : Dönmelere bağılı olarak zeminden temele gelen tepkiler.

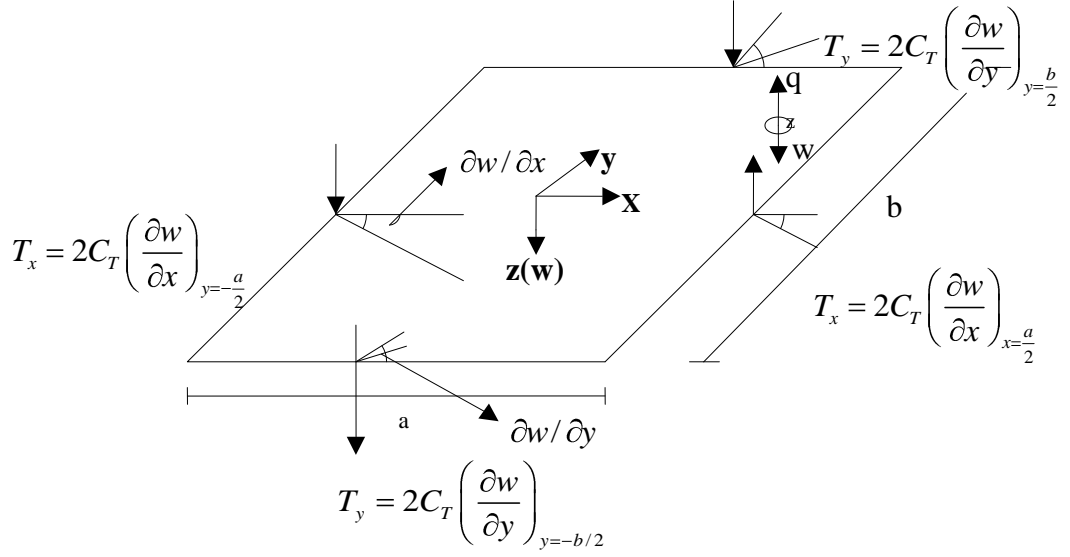
$$T_n = -2C_T \left(\frac{\partial w}{\partial n} \right) \quad (2.40)$$

Sonlu elemanların herhangi i . deplasman parametresi doğrultusunda oluşacak tesirler dış etkiler altında oluşan w şekil değıştirmesini yükleme durumu, i . deplasmanın birim değırine karşı gelen w_i çökme yüzeyini virtüel şekil değıştirme 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 kuvvatlerinin w_i nin kenarlarda aldığı değıriyle yaptığı işlerin toplamı olacaktır.

Örneğin (axb) boyutlarında dikdörtgen sonlu elemanda yüzeydeki ve sınırlardaki zemin tepkileri Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Dikdörtgen elemanda yüzeydeki ve sınırdaki zemin tepkileri.

$$\begin{aligned}
 Id_z &= -C \iint w_i w dA + 2C_T \iint w_i \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) dA \\
 &- 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=\frac{a}{2}} dy + 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=-\frac{a}{2}} dy \\
 &- 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{x=\frac{b}{2}} dx + 2C_T \int w_i \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)_{x=-\frac{b}{2}} dx
 \end{aligned} \tag{2.42}$$

olur.

Bu ifadelerde

$$2C_T \iint w_i \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dA = 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=\frac{a}{2}} dy - 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial x} \right)_{x=-\frac{a}{2}} dy \tag{2.43a}$$

$$-2C_T \iint w_i \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} dA$$

$$2C_T \iint w_i \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} dA = 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=\frac{b}{2}} dx - 2C_T \int \left(w_i \frac{\partial w}{\partial y} \right)_{y=-\frac{b}{2}} dx \tag{2.43b}$$

$$-2C_T \iint w_i \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} dA$$

kısmi integralleri alınıp Denklem 2.43' de görüldüğü gibi basitleştirilirse

$$Id_z = -C \iint w_i w dA - 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right) dA \quad (2.44)$$

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

Elemanın w şekil değiştirme yüzeyi düğüm noktası uç deplasmanlarına bağlı olarak

$$w = \sum w_i d_i \quad (2.45)$$

toplamları 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

$$C_{ij} = C \iint w_i w_j dA \quad (2.46)$$

$$C_{Tij} = 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_j}{\partial x} + \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_j}{\partial y} \right) dA \quad (2.47)$$

kısaltmaları yapılırsa, virtüel iş ifadesi

$$\sum_{j=1}^n k_{ij} d_j + \sum_{j=1}^n C_{ij} d_j + \sum_{j=1}^n C_{Tij} d_j = P_i \quad (2.48)$$

olur.

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

$$K d + C d + C_T d = P \quad (2.49)$$

bulunur.

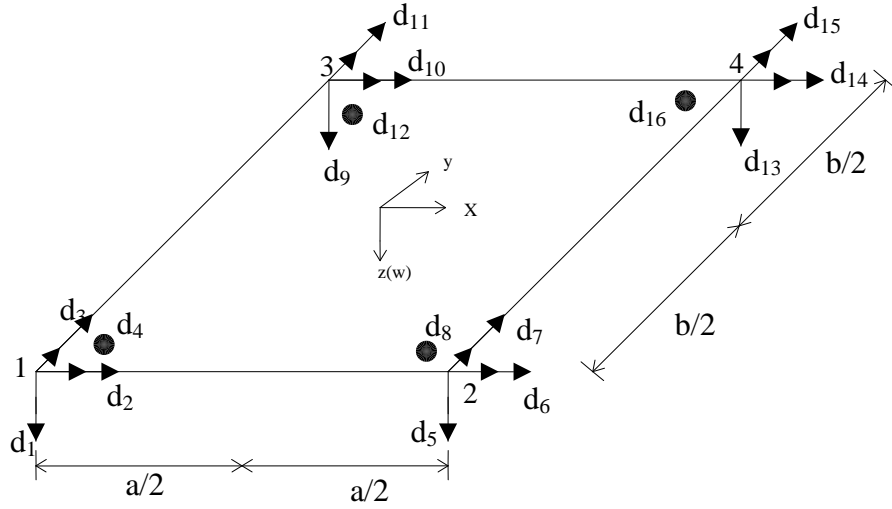
Bu bağıntılarda;

[K] : Plak eleman rijitlik matrisi,

[C] : C elastik zemin yataklanma katsayısına bağlı, Denklem 2.46' da terimleri hesaplanan eleman elastik yataklanma matrisi,

[C_T] : C_T zemin kayma parametresine bağlı, terimleri Denklem 2.47 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 2.9 : 16 Serbestlik dereceli dikdörtgen plak sonlu eleman.

Bu elemanda eğilme deformasyonlarından dolayı w_e çökmeleri

$$w_e = \sum_{i=1}^{16} w_{ei} d_i \quad (2.50)$$

şeklinde gösterilir (Gören, 2002). d_i deplasmanlarının birim değerleri için w çökme fonksiyonunun eleman yüzeyinde yayılışını belirleyen birim durum fonksiyonları her iki x ve y değişkenine göre kübik $f_i(x)$, $g_i(x)$ veya $f_i(y)$, $g_i(y)$ yardımcı fonksiyonlarının çarpımlarından oluşmaktadır. Bu yardımcı fonksiyonlar ve karşı geldikleri uç koşulları Denklem 2.51 ile gösterildiği gibidir.

Fonksiyon	Uç koşulu
$f_1(x) = \frac{1}{2} + \frac{3x}{2a} - \frac{2x^3}{a^3} - \frac{1}{n}$	$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow f_1 = 1, \frac{df_1}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow f_1 = 1, \frac{df_1}{dx} = 0 \end{array} \right\}$
$f_2(x) = \frac{1}{2} - \frac{3x}{2a} + \frac{2x^3}{a^3}$	$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow f_2 = 1, \frac{df_2}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow f_2 = 1, \frac{df_2}{dx} = 0 \end{array} \right\}$
$g_1(x) = \frac{a}{8} + \frac{x}{4} - \frac{x^2}{2a} - \frac{x^3}{a^2}$	$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow g_1 = 0, \frac{dg_1}{dx} = -1 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow g_1 = 0, \frac{dg_1}{dx} = 0 \end{array} \right\}$
$f_1(x) = -\frac{a}{8} + \frac{x}{4} + \frac{x^2}{2a} - \frac{x^3}{a^2}$	$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{a}{2} \rightarrow g_2 = 1, \frac{dg_2}{dx} = 0 \\ x = -\frac{a}{2} \rightarrow g_2 = 1, \frac{dg_2}{dx} = -1 \end{array} \right\}$

(2.51)

Sonlu elemanın şekil değiştirmesi birim durumların lineer kombinasyonu olarak

$$w_e = A_d \cdot d \tag{2.52}$$

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

$$\begin{aligned}
 [A_d]_e = & [f_2(x). f_2(y) f_2(x). g_2(y) - g_2(x). f_2(y) g_2(x). g_2(y) \\
 & f_1(x). f_1(y) f_1(x). g_2(y) - g_1(x). f_2(y) g_1(x). g_2(y) \\
 & f_2(x). f_1(y) f_2(x). g_1(y) - g_2(x). f_1(y) g_2(x). g_1(y) \\
 & f_1(x). f_1(y) f_1(x). g_1(y) - g_1(x). f_1(y) g_1(x). g_1(y)]
 \end{aligned} \tag{2.53}$$

olması gerekir. Zemin tepki katsayıları ise,

$$C_{ij} = C \iint w_{ei} w_{ej} dA \quad (2.54)$$

$$C_{Tij} = 2C_T \iint \left(\frac{\partial w_{ei}}{\partial x} \frac{\partial w_{ej}}{\partial x} + \frac{\partial w_{ei}}{\partial y} \frac{\partial w_{ej}}{\partial y} \right) dA \quad (2.55)$$

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

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

$$C_T = \begin{bmatrix} C_{T11} & C_{T12} & C_{T13} & C_{T14} \\ C_{T21} & C_{T22} & C_{T23} & C_{T24} \\ C_{T31} & C_{T32} & C_{T33} & C_{T34} \\ C_{T41} & C_{T42} & C_{T43} & C_{T44} \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

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] Denklem 2.58 dönüştürme matrisleri kullanılarak Denklem 2.59' da verilen bağıntılar türetilebilir.

$$T_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad [T_y] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

$$\begin{aligned} [C]_{22} &= [T_y] [C]_{11} [T_y] & [C_T]_{22} &= [T_y] [C_T]_{11} [T_y] \\ [C]_{23} &= [T_y] [C]_{14} [T_y] & [C_T]_{23} &= [T_y] [C_T]_{14} [T_y] \\ [C]_{24} &= [T_y] [C]_{13} [T_y] & [C_T]_{24} &= [T_y] [C_T]_{13} [T_y] \\ [C]_{33} &= [T_y] [C]_{11} [T_x] & [C_T]_{33} &= [T_x] [C_T]_{11} [T_x] \\ [C]_{34} &= [T_y] [C]_{12} [T_x] & [C_T]_{34} &= [T_x] [C_T]_{12} [T_x] \\ [C]_{44} &= [T_y] [T_x] [C]_{11} [T_x] [T_y] & [C_T]_{44} &= [T_y] [T_x] [C_T]_{11} [T_x] [T_y] \end{aligned} \quad (2.59)$$

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.

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

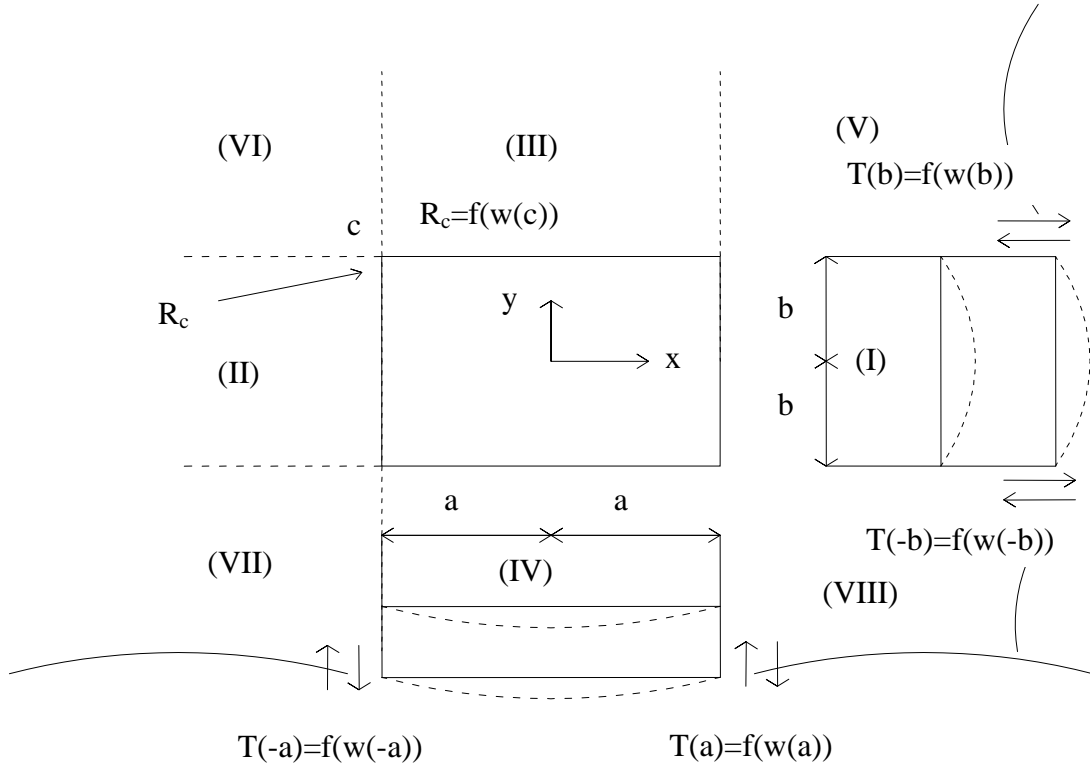
$$C_{T_{12}} = \frac{2C_T}{350} \begin{bmatrix} 54\alpha - 156\beta & (22\beta - 4.5\alpha)b & -13(\alpha - \beta)a & (\frac{11}{6}\beta - \frac{13}{12}\alpha)ab \\ (22\beta - 4.5\alpha)b & -(4\beta - 6\alpha)b^2 & -(\frac{11}{6}\beta - \frac{13}{12}\alpha)ab & -(\frac{\beta}{3} - \frac{13}{9}\alpha)ab^2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

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

$$C_{T_{14}} = \frac{2C_T}{350} \begin{bmatrix} -54(\alpha + \beta) & -(13\beta + 4.5\alpha)b & (13\alpha + 4.5\beta)a & -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab \\ (13\beta + 4.5\alpha)b & (3\beta - 1.5\alpha)b^2 & -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab & (\frac{\beta}{4} - \frac{13}{36}\alpha)ab^2 \\ -(13\alpha + 4.5\beta)a & -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab & (3\alpha - 1.5\beta)a^2 & -(\frac{\alpha}{4} - \frac{13}{36}\beta)a^2b \\ -\frac{13}{12}(\alpha + \beta)ab & -(\frac{\beta}{4} - \frac{13}{36}\alpha)ab^2 & (\frac{\alpha}{4} - \frac{13}{36}\beta)a^2b & \frac{1}{12}(\alpha + \beta)a^2b^2 \end{bmatrix}$$

2.3 İki Parametrelili Zemin Ortamının Sonlu Elemanlarla İdealizasyonu

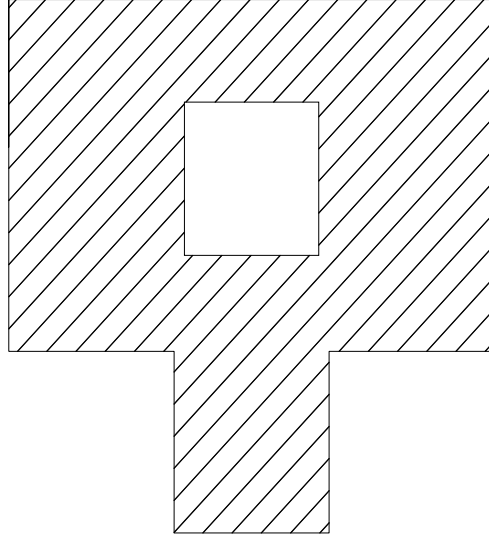
İki parametrelili zemine oturan plak temellerinin hesabı ile ilgili yapılmış çalışmalarda temel dışında kalan zemin ortamının temel kenar ve köşelerine etkittiği tesirlerin bulunması, bazı basitleştirici kabuller yapılarak yaklaşık olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.10 : 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 (Vallabhan, Straughan, Das, 1991).

Örneğin Şekil 2.11' deki 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 (Çelik, Saygun, 1999).



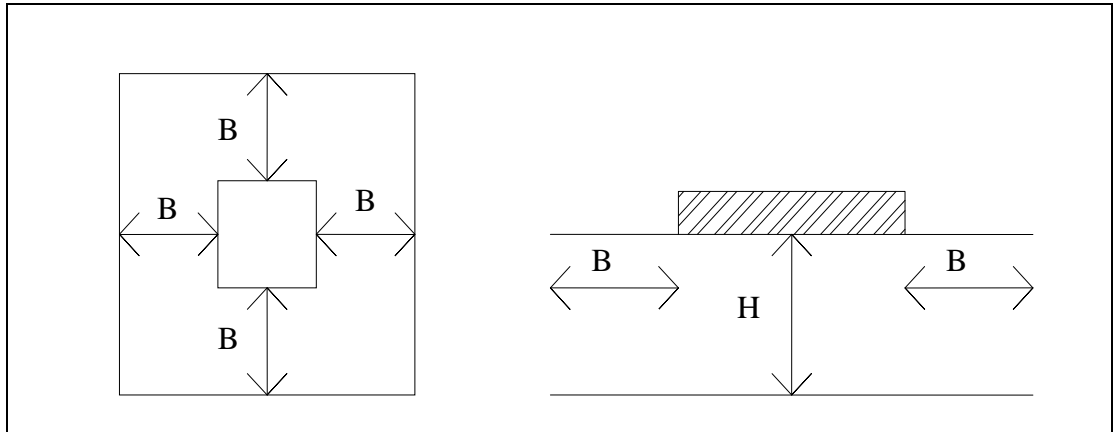
Şekil 2.11 : Planda düzgün olmayan radye temel örneği.

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

Yüzeysel dış yüklerin olmayıp temel kenarlarından tesirlere bağlı olarak

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

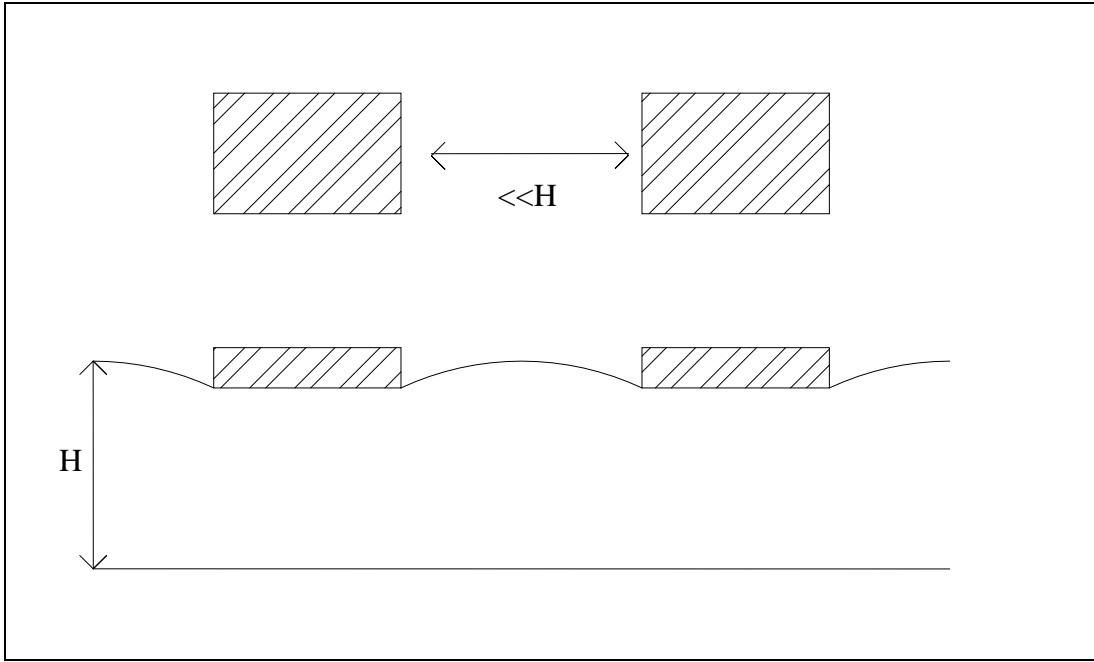
diferansiyel denklemi sağlayacak şekilde çevre zemin ortamındaki çökmelerin değişimi bu zemin sonlu eleman tanımlaması ile belirlenebilir.



Şekil 2.12 : Radye temel çevre genişliği.

Sonlu eleman ağına bölünerek temel çevresinin Şekil 2.12’deki genişliği elastik sıkışabilir zemin tabakası sınırlarına kadar veya çok büyükse çökme yüzeyinin yeter derecede sıfıra yakın olduğu uzaklığa kadar alınabilir. Zemin bölgesinin genişliği sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı H mertebesinde seçilmiş olmasının yeterli olduğu çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir.

Bu şekilde temel dışı ortamının zemin sonlu elemanlarla idealizasyonu Şekil 2.13’de görüldüğü gibi birbirine yakın temellerin mevcudiyeti halinde bu temellerin karşılıklı etkileşimi göz önüne alınması olanağı da sağlamaktadır.



Şekil 2.13 : 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

$$w = \sum w_i d_i = A_d \quad z \quad d \quad (2.61)$$

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

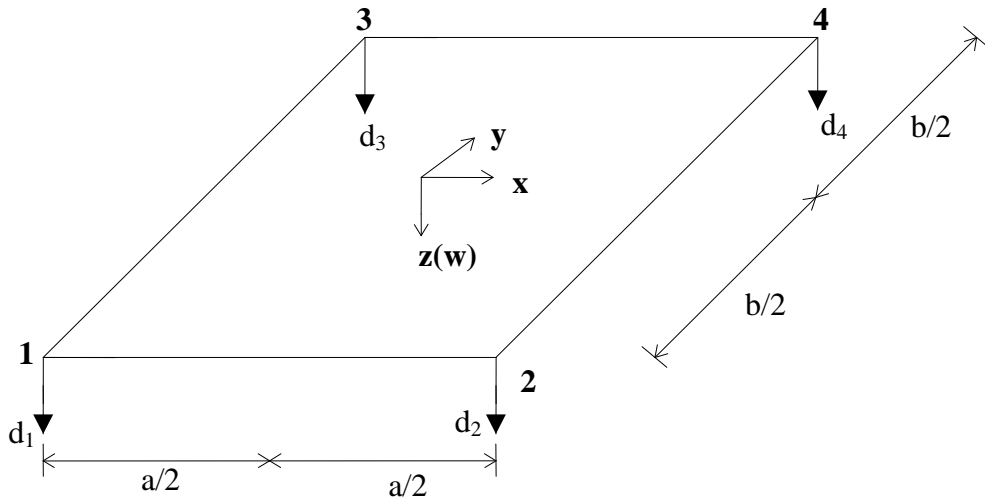
$$C d + C_T d = P \quad (2.62)$$

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 Denklem 2.46 ve 2.47 ile hesaplanabilir. Esasen Denklem 2.62; Denklem 2.49' da [K] rijitliğinin sıfır alınması haline karşılık gelmektedir.

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

Şekil 2.14' deki dikdörtgen iki parametrelili zemin sonlu elemanın şekil değıştirme yüzeyi köşe noktalarının düşey deplasmanlarına bağılı olarak Denklem 2.62' deki gibi tanımlanabilir (Çelik, 1995).

Formüllerdeki [A_d]_z matrisi iki doğrultudaki lineer değışim gösteren yardımcı fonksiyonların çarpımının sonucu Denklem 2.63' de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 : 4 Serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu eleman.

$$A_{d_z} = l_2(x)l_2(y) \quad l_1(x)l_2(y) \quad l_1(y)l_2(x) \quad l_1(x)l_1(y) \quad (2.63)$$

Burada

$$l_2(x) = \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{a} \right) \quad l_1(x) = \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{a} \right) \quad (2.64)$$

$$l_2(y) = \left(\frac{1}{2} - \frac{y}{b} \right) \quad l_1(y) = \left(\frac{1}{2} + \frac{y}{b} \right)$$

Bu birim durum fonksiyonlarına Denklem 2.46' daki integral uygulanarak 4 serbestlik dereceli dikdörtgen zemin sonlu elemanın elastik yataklanma matrisi

$$C = \frac{Cab}{36} \begin{bmatrix} 4 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 4 \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

Denklem 2.47 integrali alınarak $\alpha = a / b$, $\beta = b / a$ olmak üzere Denklem 2.66 ile verilen dört serbestlik dereceli dikdörtgen sonlu elemanın kayma parametresi matrisi elde edilir.

$$C_T = \frac{2C_T}{3} \begin{bmatrix} \alpha + \beta & \frac{\alpha}{2} - \beta & \frac{\beta}{2} - \alpha & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} \\ \frac{\alpha}{2} - \beta & \alpha + \beta & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \frac{\beta}{2} - \alpha \\ \frac{\beta}{2} - \alpha & -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \alpha + \beta & \frac{\alpha}{2} - \beta \\ -\frac{(\alpha + \beta)}{2} & \frac{\beta}{2} - \alpha & \frac{\alpha}{2} - \beta & \alpha + \beta \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

Zemin sonlu elemanlara ait deformasyon matrisi ise

$$\begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \end{bmatrix} = 2C_T \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} w_i \quad (2.67)$$

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

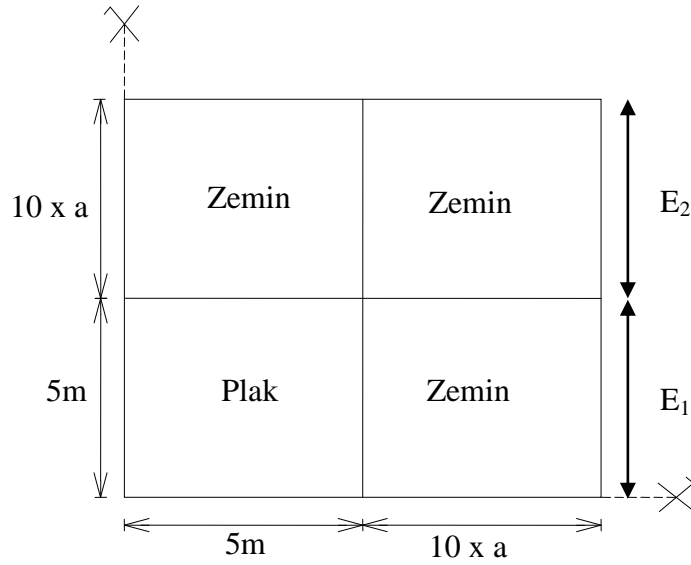
3. SAYISAL ÖRNEKLER

Şekil 3.1’ de planı görülen iki parametrelili elastik zemine oturan dikdörtgen temelin sıkışabilen tabaka kalınlığı ve zemine ait elastisite modülünün değişik değerleri için hesabı yapılacaktır.

3.1 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağa Düzgün Yayılı Yük Etkimesi Durumu İçin Hesap

Sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı 5, 10, 15 ve 20 m, planda gösterilen zemin elastisite modülünün oranları $E_2/E_1=1, 3, 5$ olmak üzere plak üzerinde düzgün yayılı yük bulunması halinde çözümü yapılacaktır.

Çözümde Plakta poisson oranı $\nu =0.25$, plak kalınlığı 0.5 m, plak elastisite modülü 20000000 kN/m^2 değerleri alınmıştır.



Şekil 3.1 : Düzgün yayılı yükleme durumu için seçilen temelin geometrik büyüklükleri.

Bu örnekte sıkışabilir zemin tabaka kalınlığına bağlı olarak zemin genişleme bölgesi (a) değerleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Düzgün yayılı yükleme yapılan sistemin zemin genişleme bölgesi değerleri.

H (m)	a (m)
5.00	0.50
10.0	1.00
15.0	1.50
20.0	2.00

Zemin elastisite modülü sırasıyla $E_1= 5000$ [kN/m²], $E_2=5000$ [kN/m²]; $E_1= 5000$ [kN/m²], $E_2=15000$ [kN/m²] ve $E_1= 5000$ [kN/m²], $E_2=25000$ [kN/m²] seçilerek, sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı yüksekliğince zemin elastisite modülünün sabit, lineer ve kuadratik olarak değişmesi durumları için hesap tekrar edilmiştir.

3.1.1 Elastisite modülünün planda sabit olması

Elastisite modülü planda sabit iken; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik değişmesi durumları için hesap yapılmıştır.

3.1.1.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülü sıkışabilir tabaka kalınlığı boyunca sabit ve planda $E_2/E_1=1$ olması halinde; zemine ait sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.2, 3.3 ve 3.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : E sabit ve $E_{üst}=E_{alt} = 5000$ için; γ , C, Ct, d ve Mx.

$E_{üst}/ E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000/5000	5	0,219	1200,061	1656,039	0,000728	0,563
	10	0,404	600,345	3262,318	0,001000	0,748
	15	0,547	400,757	4808,059	0,001070	0,732
	20	0,669	301,232	6292,211	0,001080	0,673

Çizelge 3.3 : E sabit ve $E_{üst}=E_{alt} = 15000$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/ E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
15000/15000	5	0,250	3600,311	4958,496	0,000254	0,180
	10	0,452	1801,608	9735,206	0,000351	0,260
	15	0,599	1203,223	14316,149	0,000374	0,254
	20	0,720	904,906	18710,321	0,000372	0,232

Çizelge 3.4 : E sabit ve $E_{üst}= E_{alt} = 25000$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/ E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
25000/25000	5	0,255	6000,56	8261,543	0,000153	0,097
	10	0,459	3002,858	16211,036	0,000212	0,152
	15	0,607	2005,637	23832,978	0,000226	0,151
	20	0,728	1508,495	31143,377	0,000225	0,139

Elastisite modülü sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit iken; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla; yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) değeri, zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Mod şekil parametresi (γ), yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.1.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve planda $E_2/E_1=1$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.5, 3.6 ve 3.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : E linear değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000/7500	5	0,226	1497,53	1861,564	0,000601	0,463
	10	0,419	746,145	3659,306	0,000846	0,642
	15	0,568	495,819	5380,704	0,000889	0,639
	20	0,693	370,937	7026,085	0,000910	0,592

Çizelge 3.6 : E linear değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
15000/22500	5	0,253	4490,831	5574,721	0,000208	0,140
	10	0,461	2236,415	10922,59	0,000294	0,217
	15	0,613	1486,028	16026,778	0,000318	0,218
	20	0,738	1111,979	20900,957	0,000320	0,202

Çizelge 3.7 : E linear değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/37500$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
25000/37500	5	0,256	4784,375	9289,238	0,000125	0,074
	10	0,467	3726,908	18191,565	0,000177	0,127
	15	0,619	2476,418	26685,881	0,000192	0,129
	20	0,743	1853,152	34800,005	0,000192	0,120

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla; yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) değeri, zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Mod şekil parametresi (γ), yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.1.1.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve planda $E_2/E_1=1$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.8, 3.9 ve 3.10’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.8: E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000/7500	5	0,223	1397,75	1737,962	0,000641	0,494
	10	0,415	696,48	3418,467	0,000902	0,682
	15	0,563	462,846	5029,584	0,000982	0,679
	20	0,688	346,292	6571,214	0,000993	0,631

Çizelge 3.9: E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
15000/22500	5	0,252	4191,506	5204,170	0,000222	0,152
	10	0,460	2087,447	10201,297	0,000314	0,233
	15	0,612	1387,134	14975,217	0,000340	0,234
	20	0,736	1038,076	19538,125	0,000342	0,216

Çizelge 3.10: E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/37500$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
25000/37500	5	0,256	6985,451	8671,403	0,000134	0,081
	10	0,466	3478,596	16988,611	0,000190	0,136
	15	0,619	2311,582	24931,846	0,000205	0,139
	20	0,743	1729,972	32524,99	0,000206	0,129

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla; yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasındaki

çökme (d) değeri, zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Mod şekil parametresi (γ), yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.1.2 Elastisite modülünün planda farklı olması

Elastisite modülünün planda farklı değerler alması halinde; zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik değişmesi durumları için hesap yapılmıştır.

3.1.2.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülü sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit ve planda $E_2/E_1=3$ olması halinde; zemine ait sıkışabilir tabaka kalınlığının değişik değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : E sabit ve $E_2/E_1=3$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	5	0,206	1200,048	1657,257	0,000696	0,570
E_2/E_{alt} 15000/15000			3600,144	4971,77		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	10	0,255	600,055	3304,699	0,000871	0,716
E_2/E_{alt} 15000/15000			1800,167	9914,083		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	15	0,574	400,907	4790,251	0,000863	0,677
E_2/E_{alt} 15000/15000			1202,729	14369,832		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	20	0,736	301,769	6219,902	0,000817	0,612
E_2/E_{alt} 15000/15000			905,317	18658,663		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması ve planda $E_2/E_1=5$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik

değerleri için ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.12’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12: E sabit ve $E_2/E_1 = 5$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	5	0,200	1200,043	1657,749	0,000683	0,571
E_1/E_{alt} 25000/25000			6000,215	8288,725		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	10	0,398	600,324	3264,491	0,000823	0,700
E_1/E_{alt} 25000/25000			3001,63	16321,722		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	15	0,584	400,970	4783,224	0,000796	0,658
E_1/E_{alt} 25000/25000			2004,852	23915,88		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	20	0,763	302,029	6189,109	0,000734	0,589
E_1/E_{alt} 25000/25000			1510,157	30944,255		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit iken; plandaki elastisite modülü oranlarının $E_2/E_1=3$ ve $E_2/E_1=5$ olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla yatak katsayısı (C) değerleri azalırken kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasında çökme (d) ve (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.1.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve planda $E_2/E_1=3$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.13’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 : E lineer değişken ve $E_2/E_1=3$ için; γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/7500	5	0,214	1497,778	1862,95	0,00058	0,475
E_2/E_{alt} 15000/22500			4493,333	5588,843		
E_1/E_{alt} 5000/7500	10	0,416	746,205	3660,91	0,000745	0,621
E_2/E_{alt} 15000/22500			238,609	10982,532		
E_1/E_{alt} 5000/7500	15	0,593	495,558	5360,197	0,000750	0,598
E_2/E_{alt} 15000/22500			1486,65	16078,504		
E_1/E_{alt} 5000/7500	20	0,758	370,552	6940,522	0,000714	0,542
E_2/E_{alt} 15000/22500			1111,654	20820,495		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve planda $E_2/E_1=5$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.14’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 : E lineer değişken ve $E_2/E_1=5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/7500	5	0,209	1497,875	1863,491	0,000572	0,478
E_2/E_{alt} 25000/37500			7489,376	9317,448		
E_1/E_{alt} 5000/7500	10	0,414	746,237	3661,743	0,000708	0,610
E_2/E_{alt} 25000/37500			3731,185	18308,692		
E_1/E_{alt} 5000/7500	15	0,603	495,454	5351,646	0,000695	0,582
E_2/E_{alt} 25000/37500			2477,26	26757,288		
E_1/E_{alt} 5000/7500	20	0,784	370,425	6904,721	0,000646	0,524
E_2/E_{alt} 25000/37500			1852,113	34519,502		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve plandaki elastisite modülü oranlarının $E_2/E_1=3$ ve $E_2/E_1=5$ olması halinde; zemine ait

sıkışabilen tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla yatak katsayısı (C) değerleri azalırken kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasında çökme (d) ve (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.2.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve planda $E_2/E_1=3$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.15’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.15 : E kuadratik değişken ve $E_2/E_1=3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	5	0,211	1397,992	1739,292	0,000618	0,505
E_2/E_{alt} 15000/22500			4193,966	5217,826		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	10	0,410	696,56	3420,557	0,000793	0,659
E_2/E_{alt} 15000/22500			2089,646	3420,557		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	15	0,587	462,618	5011,723	0,000799	0,635
E_2/E_{alt} 15000/22500			1387,839	15033,931		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	20	0,742	346,087	6505,526	0,000641	0,521
E_2/E_{alt} 15000/22500			1037,998	19518,679		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve planda $E_2/E_1=5$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.16’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.16: E kuadratik değişken ve $E_2/E_1 = 5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/7500	5	0,205	1398,084	1739,800	0,000609	0,508
E_2/E_{alt} 25000/37500			6990,415	8698,965		
E_1/E_{alt} 5000/7500	10	0,408	696,589	3421,312	0,000755	0,649
E_2/E_{alt} 25000/37500			3482,935	17106,234		
E_1/E_{alt} 5000/7500	15	0,596	462,532	5004,724	0,000739	0,618
E_2/E_{alt} 25000/37500			2312,648	25022,504		
E_1/E_{alt} 5000/7500	20	0,777	345,844	6462,751	0,000688	0,557
E_2/E_{alt} 25000/37500			1729,221	32313,08		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve plandaki elastisite modülü oranlarının $E_2/E_1=3$ ve $E_2/E_1=5$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla yatak katsayısı (C) değerleri azalırken kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasında çökme (d) ve (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

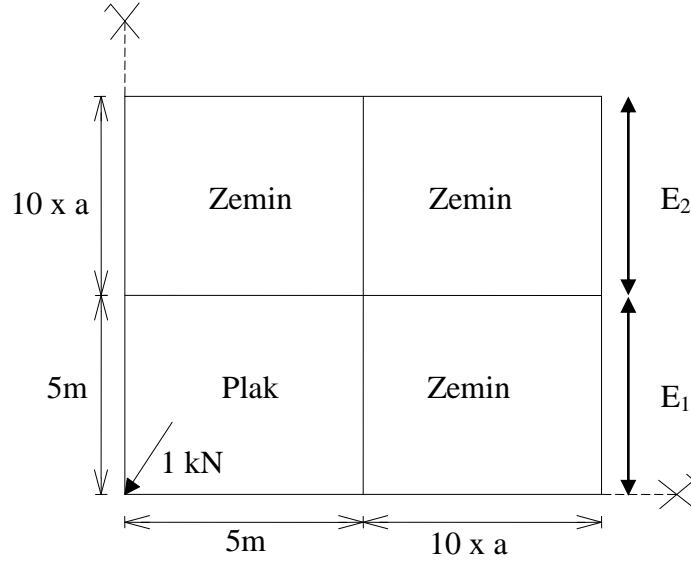
Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.2 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plağa Tekil Yük Etkimesi Durumu İçin Hesap

Şekil 3.2' de planı görülen iki parametrelili elastik zemine oturan dikdörtgen temelin sıkışabilen tabaka kalınlığı ve zemine ait elastisite modülünün değişik değerleri için hesabı yapılacaktır.

Sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı 5, 10, 15 ve 20 m, planda gösterilen zemin elastisite modülü oranları $E_2/E_1=1, 3, 5$ olmak üzere plak üzerinde tekil yük bulunması halinde çözümü yapılacaktır.

Çözümde plakta poisson oranı $\nu = 0.25$, plak kalınlığı 0.5 m, plak elastisite modülü 20000000 kN/m² değerleri alınmıştır.



Şekil 3.2 : Tekil yükleme durumu için seçilen temelin geometrik büyüklükleri.

Bu örnekte sıkışabilir zemin tabaka kalınlığına bağlı olarak zemin genişleme bölgesi (a) Çizelge 3.17' de verildiği gibidir.

Çizelge 3.17 : Tekil yükleme yapılan sistem zemin genişleme bölgesi değerleri.

H (m)	a (m)
5.00	0.50
10.0	1.00
15.0	1.50
20.0	2.00

Zemin elastisite modülü sırasıyla $E_1 = 5000$ [kN/m²], $E_2 = 5000$ [kN/m²]; $E_1 = 5000$ [kN/m²], $E_2 = 15000$ [kN/m²] ve $E_1 = 5000$ [kN/m²], $E_2 = 25000$ [kN/m²] seçilerek, sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı yüksekliğince zemin elastisite modülünün sabit, lineer ve kuadratik olarak değişmesi durumları için hesap tekrar edilmiştir.

3.2.1 Elastisite modülünün planda sabit olması

Elastisite modülü planda sabit iken; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik değişmesi durumları için hesap yapılmıştır.

3.2.1.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması ve planda $E_2/E_1=1$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için, ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.18, 3.19 ve 3.20’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.18 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/5000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000/5000	5	0,793	1209,407	1538,400	0,000086	1,233
	10	1,310	629,153	2722,050	0,000098	1,215
	15	1,804	455,690	3527,345	0,000100	1,192
	20	2,309	385,498	4014,087	0,000100	1,178

Çizelge 3.19 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/15000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
15000/15000	5	1,097	3693,640	4315,685	0,000043	1,082
	10	1,858	2073,657	6940,317	0,000047	1,053
	15	2,634	1683,530	8161,729	0,000047	1,036
	20	3,456	1579,777	8577,982	0,000047	1,030

Çizelge 3.20 : E sabit ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/25000$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
25000/25000	5	1,273	6263,706	6874,601	0,000031	1,011
	10	2,193	3741,087	10409,806	0,000033	0,980
	15	3,358	3421,091	11011,721	0,000033	0,976
	20	4,185	3152,688	11905,453	0,000033	0,965

Elastisite modülü sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit iken; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla; yatak katsayısı (C) değeri azalırken,

kayma parametresi (C_t) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) değeri, zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (M_x) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (M_x) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Mod şekil parametresi (γ), yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (C_t) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.2.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve planda $E_2/E_1=1$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C , C_t , d ve M_x değerleri Çizelge 3.21, 3.22 ve 3.23’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.21 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için γ , C , C_t , d ve M_x değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
5000/7500	5	0,843	1480,820	1705,103	0,000077	1,212
	10	1,382	751,111	2964,024	0,000089	1,182
	15	1,887	530,793	3785,799	0,000092	1,178
	20	2,399	439,593	4251,886	0,000094	1,167

Çizelge 3.22 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için γ , C , C_t , d ve M_x değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	C_t	d (m)	M_x
15000/22500	5	1,158	4456,560	4814,355	0,0000397	1,064
	10	1,939	2408,959	7441,606	0,0000439	1,039
	15	2,722	1894,439	8605,523	0,0000449	1,026
	20	3,548	1735,456	8939,557	0,0000454	1,022

Çizelge 3.23 : E lineer değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/37500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
25000/37500	5	1,338	7489,763	7505,689	0,0000290	0,994
	10	2,276	4280,656	11076,814	0,0000315	0,967
	15	3,251	3590,909	12171,91	0,0000321	0,959
	20	4,276	3409,316	12331,694	0,0000324	0,958

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla; yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) değeri, zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Mod şekil parametresi (γ), yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.2.1.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve planda $E_2/E_1=1$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.24, 3.25 ve 3.26' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.24 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 5000/7500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000/7500	5	0,826	1382,72	1599,791	0,000080	1,221
	10	1,353	700,986	2801,751	0,000093	1,207
	15	1,847	494,814	3606,577	0,000096	1,187
	20	2,350	409,672	4080,097	0,000097	1,174

Çizelge 3.25 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 15000/22500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
15000/22500	5	1,136	4160,871	4461,934	0,000041	1,073
	10	1,901	2246,432	7088,988	0,000045	1,048
	15	2,670	1768,006	8282,650	0,000046	1,033
	20	3,485	1627,442	8666,057	0,000046	1,028

Çizelge 3.26 : E kuadratik değişken ve $E_{üst}/E_{alt} = 25000/37500$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
25000/37500	5	1,313	6991,599	7085,058	0,000030	1,003
	10	2,233	3992,366	10598,242	0,000032	0,976
	15	3,192	3361,041	11771,142	0,000033	0,965
	20	4,208	3215,69	12002,297	0,000033	0,963

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı (H) değerinin artmasıyla; yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) değeri, zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artışın, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. Mod şekil parametresi (γ), yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.2.2 Elastisite modülünün planda farklı olması

Elastisite modülü planda farklı iken; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik değişmesi durumları için hesap yapılmıştır.

3.2.2.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit ve planda $E_2/E_1=3$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri

için ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.27' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.27 : E sabit ve $E_2/E_1=3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	5	0,792	1209,347	1538,797	0,000085	1,231
E_2/E_{alt} 15000/15000			3628,134	4615,777		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	10	1,346	631,952	2695,614	0,000094	1,213
E_2/E_{alt} 15000/15000			1896,066	8084,918		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	15	1,912	466,234	3412,967	0,000094	1,193
E_2/E_{alt} 15000/15000			1398,856	10237,339		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	20	2,500	405,699	3781,080	0,000093	1,183
E_2/E_{alt} 15000/15000			1217,333	11340,724		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit ve planda $E_2/E_1=5$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.28' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.28 : E sabit ve $E_2/E_1=5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	5	0,792	1209,347	1538,797	0,000085	1,231
E_1/E_{alt} 25000/25000			6046,769	7693,772		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	10	1,359	633,02	2685,883	0,000093	1,212
E_1/E_{alt} 25000/25000			3165,223	13428,330		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	15	1,948	470,046	3374,591	0,000092	1,193
E_1/E_{alt} 25000/25000			2350,430	16870,996		
E_1/E_{alt} 5000/ 5000	20	2,562	412,625	3708,997	0,000091	1,184

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve planda $E_2/E_1=3$ ve $E_2/E_1=5$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla yatak katsayısı (C) değerleri azalırken kayma parametresi (Ct) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasında çökme (d), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artış, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde göz ardı edilebilecek kadar küçük değişiklik meydana getirmektedir. Yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.2.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve planda $E_2/E_1=3$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.29’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.29 : E lineer değişken ve $E_2/E_1=3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	5	0,842	1480,832	1705,506	0,000076	1,211
E_2/E_{alt} 15000/22500			4442,481	5115,955		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	10	1,414	752,850	2935,796	0,000086	1,196
E_2/E_{alt} 15000/22500			2258,598	8806,640		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	15	1,987	539,716	3661,867	0,000088	1,179
E_2/E_{alt} 15000/22500			1619,169	10985,318		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	20	2,578	457,753	4008,531	0,000088	1,171
E_2/E_{alt} 15000/22500			1373,488	12022,768		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi ve planda $E_2/E_1=5$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri

için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.30' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.30 : E linear değişken ve $E_2/E_1=5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

$E_{üst}/E_{alt}$ [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/7500	5	0,842	1480,832	1705,506	0,000076	1,210
E_2/E_{alt} 25000/37500			7404,153	8527,177		
E_1/E_{alt} 5000/7500	10	1,425	753,482	2926,05	0,000085	1,196
E_2/E_{alt} 25000/37500			3767,476	14629,340		
E_1/E_{alt} 5000/7500	15	2,020	542,873	3621,641	0,000086	1,180
E_2/E_{alt} 25000/37500			2714,586	18105,482		
E_1/E_{alt} 5000/7500	20	2,636	464,008	3933,243	0,000086	1,172
E_2/E_{alt} 25000/37500			2320,288	19663,354		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca linear değişmesi ve planda $E_2/E_1=3$ ve $E_2/E_1=5$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artmasıyla yatak katsayısı (C) değerleri azalırken kayma parametresi (Ct) değerlerinde artış görülmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasında çökme (d), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

Elastisite modülü değerindeki artış, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde göz ardı edilebilecek kadar küçük değişiklik meydana getirmektedir. Yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.2.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve planda $E_2/E_1=3$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.31' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.31 : E kuadratik değişken ve $E_2/E_1=3$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	5	0,825	1382,731	1600,135	0,000080	1,220
E_2/E_{alt} 15000/22500			4148,187	4800,192		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	10	1,399	703,330	2764,794	0,000092	1,220
E_2/E_{alt} 15000/22500			2110,048	8293,522		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	15	1,948	503,257	3491,038	0,000091	1,188
E_2/E_{alt} 15000/22500			1510,002	1047,016		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	20	2,532	427,395	3846,414	0,000091	1,179
E_2/E_{alt} 15000/22500			1282,226	3846,964		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve planda $E_2/E_1=5$ olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.32’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.32 : E kuadratik değişken ve $E_2/E_1=5$ için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	5	0,824	1382,742	1600,465	0,000079	1,219
E_2/E_{alt} 25000/37500			6913,675	8001,231		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	10	1,396	703,167	2767,230	0,000089	1,205
E_2/E_{alt} 25000/37500			3516,047	13832,976		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	15	1,982	506,337	3452,488	0,000089	1,188
E_2/E_{alt} 25000/37500			2532,002	17258,584		
E_1/E_{alt} 5000/ 7500	20	2,590	433,413	3776,124	0,000089	1,180
E_2/E_{alt} 25000/37500			2167,511	18875,557		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi ve planda $E_2/E_1=3$ ve $E_2/E_1=5$ olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka

kalınlığının artmasıyla yatak katsayısı (C) değerleri azalırken kayma parametresi (Ct) değerlerinde artış görölmektedir. Benzer şekilde simetri ekseninin orijin noktasında çökme (d), zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için artış gösterirken moment (Mx) değerinde azalma olmaktadır.

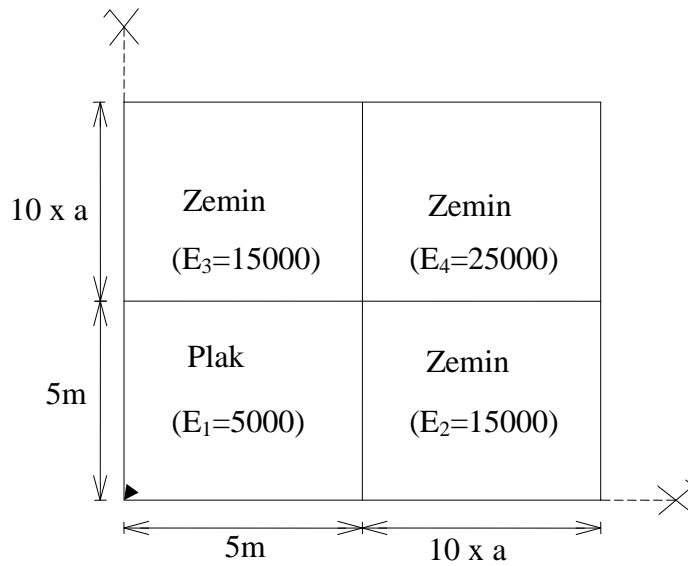
Elastisite modülü değerindeki artış, simetri ekseninin orijin noktasında meydana gelen çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde göz ardı edilebilecek kadar küçük değişiklik meydana getirmektedir. Yatak katsayısı (C) ve kayma parametresi (Ct) değerleri elastisite modülünün artan değerleri için artış göstermektedir.

3.3 İki Parametrelili Elastik Zemine Oturan Plakın Değişken Zemin Elastisite Modülü Değerleri İçin Hesabı

Şekil 3.3’ de planı görölen iki parametrelili elastik zemine oturan dikdörtgen temelin sıkışabilen tabaka kalınlığı ve zemine ait elastisite modülünün değişik değerleri için hesabı yapılacaktır.

Sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı 5, 10, 15 ve 20 m, planda gösterilen zemin elastisite modülünün oranları $E_1=5000[\text{kN/m}^2]$, $E_2=15000[\text{kN/m}^2]$, $E_3=15000[\text{kN/m}^2]$ ve $E_4=20000[\text{kN/m}^2]$ olmak üzere plak üzerinde üniform yayılı yük bulunması ve tekil yük bulunması durumları için ayrı ayrı çözüm yapılacaktır.

Çözümde Plakta poisson oranı $\nu = 0.25$, plak kalınlığı 0.5 m, plak elastisite modülü 20000000 kN/m^2 değerleri alınmıştır.



Şekil 3.3 : Hesap için seçilen temelin geometrik büyüklükleri.

Bu örnekte sıkışabilir zemin tabaka kalınlığına bağlı olarak zemin genişleme bölgesi (a) Çizelge 3.33' de verildiği gibidir.

Çizelge 3.33 : Hesap için seçilen sistemin zemin genişleme bölgesi değerleri.

H (m)	a (m)
5.00	0.50
10.0	1.00
15.0	1.50
20.0	2.00

Zemin elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik olarak değişmesi durumları için hesap tekrar edilmiştir.

3.3.1 Düzgün yayılı yük durumu

Plak üzerine 1 kN/m^2 lik düzgün yayılı yük etkimesi durumu için hesap yapılmıştır.

3.3.1.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde; zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.34 : E sabit ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,384	1200,563	1634,575	0,000663	0,835
15000			3601,691	4903,726		
15000			3601,691	4903,726		
25000			6002,819	8172,878		

Çizelge 3.35 : E sabit ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	0,748	603,763	3103,156	0,000770	0,979
15000			1811,291	9309,468		
15000			1811,291	9309,468		
25000			3018,819	15515,78		

Çizelge 3.36 : E sabit ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	1,075	409,649	4339,679	0,000732	0,894
15000			1228,947	13019,039		
15000			1228,947	13019,039		
25000			2048,246	21698,398		

Çizelge 3.37 : E sabit ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	1,378	317,310	5343,278	0,000671	0,787
15000			951,931	16029,835		
15000			951,931	16029,835		
25000			1586,552	26716,392		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

3.3.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.38, 3.39 ,3.40 ve 3.41' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.38 : E lineer değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,393	1493,128	1835,139	0,000559	0,697
15000			4479,384	5505,417		
15000			4479,384	5505,417		
25000			7465,641	9175,695		

Çizelge 3.39 : E lineer değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	0,766	741,023	3464,797	0,000666	0,851
15000			2223,070	10394,391		
15000			2223,070	10394,391		
25000			3705,118	17323,985		

Çizelge 3.40 : E lineer değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	1,099	494,384	4813,073	0,000641	0,789
15000			1483,153	14439,221		
15000			1483,153	14439,221		
25000			2471,922	24065,368		

Çizelge 3.41 : E lineer değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	1,407	376,228	5883,973	0,000592	0,700
15000			1128,684	17651,920		
15000			1128,684	17651,920		
25000			1881,141	29419,867		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan

değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

3.3.1.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.42, 3.43, 3.44 ve 3.45’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.42 : E kuadratik değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,389	1393,723	1714,158	0,000594	0,742
15000			4181,170	5142,474		
15000			4181,170	5142,474		
25000			6968,617	8570,791		

Çizelge 3.43 : E kuadratik değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	0,76	691,833	3242,093	0,000707	0,903
15000			2075,500	9726,279		
15000			2075,500	9726,279		
25000			3459,168	16210,466		

Çizelge 3.44 : E kuadratik değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	1,092	461,754	4512,939	0,000681	0,839
15000			1385,262	13538,819		
15000			1385,262	13538,819		
25000			2308,771	22564,699		

Çizelge 3.45 : E kuadratik değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	1,399	351,665	5529,589	0,000629	0,745
15000			1054,995	16588,768		
15000			1054,995	16588,768		
25000			1758,325	27647,947		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

3.3.2 Tekil yük durumu

Plak üzerine 1 kN' luk tekil yük etkimesi durumu için hesap yapılmıştır.

3.3.2.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde; zemine ait sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.46, 3.47, 3.48 ve 3.49' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.46 : E sabit ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,843	1211,821	1523,383	0,000084	1,238
15000			3635,464	4570,150		
15000			3635,464	4570,150		
25000			6059,107	7616,917		

Çizelge 3.47 : E sabit ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	1,53	649,149	2557,217	0,000090	1,222
15000			1947,447	7671,652		
15000			1947,447	7671,652		
25000			3245,746	12786,088		

Çizelge 3.48 : E sabit ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	2,229	503,386	3087,854	0,000088	1,119
15000			1510,158	9263,564		
15000			1510,158	9263,564		
25000			2516,930	15439,274		

Çizelge 3.49 : E sabit ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	2,942	458,300	3306,056	0,000086	1,118
15000			1374,901	9918,170		
15000			1374,901	9918,170		
25000			2291,502	16530,284		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır

3.3.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.50, 3.51, 3.52 ve 3.53' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.50 : E lineer değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,885	1480,463	1689,593	0,000076	1,215
15000			4441,390	5068,780		
15000			4441,390	5068,780		
25000			7402,317	8447,966		

Çizelge 3.51 : E lineer değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	1,585	764,664	2784,575	0,000083	1,204
15000			2293,994	8353,727		
15000			2293,994	8353,727		
25000			3823,324	13922,878		

Çizelge 3.52 : E lineer değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	2,293	572,7515	3304,631	0,000083	1,185
15000			1718,2541	9913,893		
15000			1718,254	9913,893		
25000			2863,757	16523,156		

Çizelge 3.53 : E lineer değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	3,011	507,913	3491,222	0,000082	1,172
15000			1523,740	10473,666		
15000			1523,740	10473,666		
25000			2539,568	17456,111		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan

değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır

3.3.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.54, 3.55, 3.56 ve 3.57’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.54 : E kuadratik değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,87	1382,374	1585,023	0,000079	1,225
15000			4147,124	4755,071		
15000			4147,124	4755,071		
25000			6911,874	7925,118		

Çizelge 3.55 : E kuadratik değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	1,561	714,004	2633,101	0,000087	1,214
15000			2142,012	7899,305		
15000			2142,012	7899,305		
25000			3570,020	13165,509		

Çizelge 3.56 : E kuadratik değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E[kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	2,26	535,395	3151,765	0,000086	1,194
15000			1606,185	9455,295		
15000			1606,185	9455,295		
25000			2676,976	15758,826		

Çizelge 3.57 : E kuadratik değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	2,971	476,605	3353,211	0,000085	1,181
15000			1429,817	10059,633		
15000			1429,817	10059,633		
25000			2383,028	16766,056		

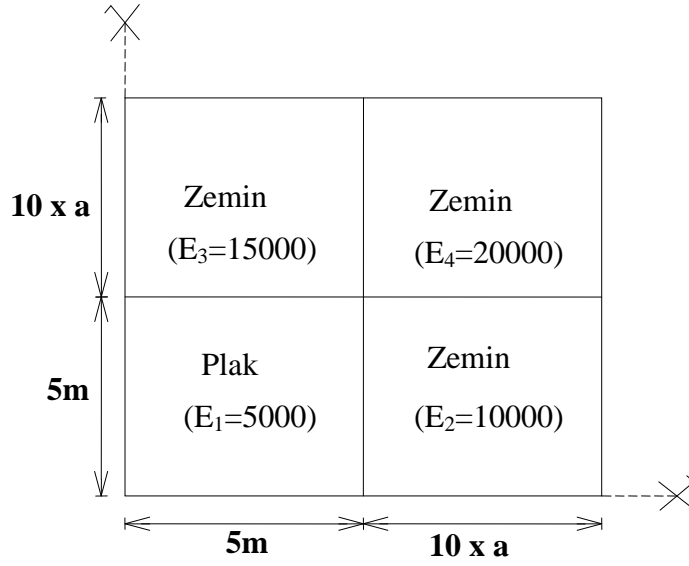
Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır

3.4 İki Parametrelili Değişken Elastik Sabitli Zemine Oturan Plak Hesabı

Şekil 3.4' de planı görülen iki parametrelili elastik zemine oturan dikdörtgen temelin sıkışabilen tabaka kalınlığı ve zemine ait elastisite modülünün değişik değerleri için hesabı yapılacaktır.

Sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı 5, 10, 15 ve 20 m, planda gösterilen zemin elastisite modülünün oranları $E_1=5000$ [kN/m²], $E_2=10000$ [kN/m²], $E_3=15000$ [kN/m²] ve $E_4=20000$ [kN/m²] olmak üzere plak üzerinde üniform yayılı yük bulunması ve tekil yük bulunması durumları için ayrı ayrı çözüm yapılacaktır.

Çözümde Plakta poisson oranı $\nu=0.25$, plak kalınlığı 0.5 m, plak elastisite modülü 20000000 kN/m² değerleri alınmıştır.



Şekil 3.4 : Değişken elastik sabitli zemine oturan plak hesabı için seçilen temelin geometrik büyüklükleri.

Bu örnekte sıkışabilir zemin tabaka kalınlığına bağlı olarak zemin genişleme bölgesi (a) aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.58 : Hesap için seçilen sistemin zemin genişleme bölgesi değerleri.

H (m)	a (m)
5.00	0.50
10.0	1.00
15.0	1.50
20.0	2.00

Zemin elastisite modülünün sıkışabilen tabaka kalınlığı boyunca sabit, lineer ve kuadratik olarak değişmesi durumları için hesap tekrar edilmiştir.

3.4.1 Düzgün yayılı yük durumu

Plak üzerine 1 kN/m^2 lik düzgün yayılı yük etkimesi durumu için hesap yapılmıştır.

3.4.1.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde; zemine ait sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık

yaklaşım sonucunda elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.59, 3.60, 3.61 ve 3.62' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.59 : E sabit ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,316	1200,260	1644,788	0,000675	0,739
10000			2400,522	3289,578		
15000			3600,783	4934,366		
20000			4801,044	6579,155		

Çizelge 3.60 : E sabit ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri..

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	0,612	600,345	3262,319	0,000805	0,886
10000			1203,488	6350,703		
15000			1805,232	9526,055		
20000			2406,977	12701,406		

Çizelge 3.61 : E sabit ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	0,876	404,567	4538,390	0,000777	0,819
10000			809,098	9078,537		
15000			1213,647	13617,806		
20000			1618,196	18157,075		

Çizelge 3.62 : E sabit ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	1,122	308,449	5719,288	0,000720	0,726
10000			616,881	11439,555		
15000			925,321	17159,332		
20000			1233,761	22879,110		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C)

değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır

3.4.1.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.63, 3.64, 3.65 ve 3.66’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.63 : E lineer değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,325	1495,117	1847,533	0,000565	0,616
10000			2990,240	3695,097		
15000			4485,360	5542,646		
20000			5980,480	7390,195		

Çizelge 3.64 : E lineer değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	0,630	742,755	3551,483	0,000693	0,771
10000			1485,537	7103,993		
15000			2228,306	10655,990		
20000			2971,075	14207,986		

Çizelge 3.65 : E lineer değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	0,900	493,464	5050,684	0,000678	0,723
10000			986,931	10103,596		
15000			1480,396	15155,395		
20000			1973,861	20207,193		

Çizelge 3.66 : E lineer değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	1,150	371,286	6331,263	0,633322	0,646
10000			742,570	12663,117		
15000			1113,855	18994,676		
20000			1485,140	25326,235		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır

3.4.1.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.67, 3.68, 3.69 ve 3.70' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.67 : E kuadratik değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,321	1395,552	1725,385	0,000601	0,655
10000			2791,117	3450,850		
15000			4186,676	5176,275		
20000			5582,235	6901,700		

Çizelge 3.68 : E kuadratik değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	0,624	693,396	3321,169	0,000737	0,818
10000			1386,815	6643,209		
15000			2080,222	9964,813		
20000			2773,630	13286,417		

Çizelge 3.69 : E kuadratik değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	0,893	460,765	4730,498	0,000721	0,768
10000			921,532	9462,687		
15000			1382,297	14194,030		
20000			1843,063	18925,373		

Çizelge 3.70 : E kuadratik değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	1,142	346,808	5939,425	0,000674	0,777
10000			693,607	11880,279		
15000			1040,411	17820,418		
20000			1387,214	23760,557		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır

3.4.2 Tekil yük durumu

Plak üzerine 1 kN' luk tekil yük etkimesi durumu için hesap yapılmıştır.

3.4.2.1 Elastisite modülünün sabit olması

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde; zemine ait sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının değişik değerleri için ardışık yaklaşım sonucunda elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.71, 3.72, 3.73 ve 3.74' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.71 : E sabit ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,824	1210,881	1529,019	0,000085	1,236
10000			2421,704	3058,397		
15000			3632,556	4587,595		
20000			4843,408	6116,793		

Çizelge 3.72 : E sabit ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri..

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	1,462	642,302	2608,182	0,000092	1,219
10000			1284,536	5216,905		
15000			1926,805	7825,358		
20000			2569,073	10433,811		

Çizelge 3.73 : E sabit ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	2,11	488,592	3205,698	0,000091	1,196
10000			977,032	6412,680		
15000			1465,549	9619,020		
20000			1954,065	12825,360		

Çizelge 3.74 : E sabit ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	2,774	437,578	3475,209	0,000089	1,182
10000			874,959	6952,132		
15000			1312,439	10428,198		
20000			1749,919	13904,263		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için

simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

3.4.2.2 Elastisite modülünün lineer değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.75, 3.76, 3.77 ve 3.78’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.75 : E lineer değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,869	1480,569	1695,487	0,000077	1,214
10000			2961,143	3391,140		
15000			4441,714	5086,710		
20000			5922,286	6782,280		

Çizelge 3.76 : E lineer değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	1,522	759,874	2839,458	0,000085	1,201
10000			1502,636	5921,092		
15000			2253,954	8881,638		
20000			3005,271	11842,184		

Çizelge 3.77 : E lineer değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	2,18	559,605	3432,207	0,000085	1,182
10000			1119,195	6864,585		
15000			1678,792	10296,877		
20000			2238,389	13729,169		

Çizelge 3.78 : E lineer değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	2,849	488,335	3672,235	0,000084	1,170
10000			976,545	7345,717		
15000			1464,817	11018,576		
20000			1953,090	14691,434		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca lineer değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır

3.4.2.3 Elastisite modülünün kuadratik değişmesi

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca sabit olması halinde; sıkışabilir zemin tabaka kalınlığının farklı değerleri için, ardışık yaklaşım sonucu elde edilen γ , C, Ct, d ve Mx değerleri Çizelge 3.79, 3.80, 3.81 ve 3.82’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.79 : E kuadratik değişken ve H=5 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	5	0,853	1382,476	1590,683	0,000080	1,223
10000			2764,958	3181,581		
15000			4147,437	4772,372		
20000			5529,916	6363,162		

Çizelge 3.80 : E kuadratik değişken ve H=10 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	10	1,496	709,333	2685,206	0,000088	1,211
10000			1418,548	5371,829		
15000			2127,822	8057,743		
20000			2837,096	10743,658		

Çizelge 3.81 : E kuadratik değişken ve H=15 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	15	2,145	522,563	3272,861	0,000088	1,191
10000			1045,124	6545,756		
15000			1567,687	9818,634		
20000			2090,249	13091,512		

Çizelge 3.82: E kuadratik değişken ve H=20 m için γ , C, Ct, d ve Mx değerleri.

E [kN/m ²]	H (m)	γ	C	Ct	d (m)	Mx
5000	20	2,806	457,221	3527,108	0,000087	1,178
10000			914,366	7054,959		
15000			1371,549	10582,439		
20000			1828,732	14109,918		

Elastisite modülünün sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı boyunca kuadratik değişmesi halinde zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığı değerinin (H) artmasıyla yatak katsayısı (C) değeri azalırken, kayma parametresi (Ct) ve mod şekil parametresi (γ) değerlerinde artış görülmektedir. Zemine ait sıkışabilen tabaka kalınlığının artan değerleri için simetri ekseninin orijin noktasındaki çökme (d) ve moment (Mx) değerlerinde azalma olmaktadır.

4. SONUÇLAR

İki parametrelili değişken elastik sabitli zemine outran plak ve genişleme bölgesinin sonlu elemanlarla idealleştirilerek zemine ait mod şekil parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklüklerin ardışık yaklaşım yöntemiyle hesap yapılmıştır. Bu çalışmada çözülen örneklerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Plak ve zemin sonlu elemanlar kullanılarak mod şekil parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklükler elde edilebilmekte; ardışık yaklaşımın genellikle üçüncü veya dördüncü adımında sonuca ulaşılabilir. Uniform yayılı yükleme durumunda sonuca daha çabuk ulaşılabilir gözelemlenmiştir.

2. Mod şekil parametresi ve zemine ait karakteristik büyüklükler; yükleme durumu, sıkışabilir zemin tabaka kalınlığı ve zemin elastik özelliklerine bağlıdır.

3. Zemine ait sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça mod şekil parametresi ve kayma parametresinin arttığı yatak katsayısının azaldığı çözülen örneklerle ortaya çıkmıştır.

4. Sıkışabilir tabaka kalınlığı arttıkça plağa ait çökme değerleri artış göstermekte, belirli bir değerden sonra sabit kalmaktadır.

5. Genel olarak elastisite modülü planda sabit değer aldığıında; düzgün ve tekil yayılı yük durumlarının her ikisi için elastisite modülü değeri arttıkça mod şekil parametresi, yatak katsayısı ve kayma parametresinde artış; çökme ve eğilme momenti değerlerinde azalma olmaktadır. Elastisite modülünün planda değişiklik göstermesi halinde elastisite modülü değeri arttıkça düzgün yayılı yükleme durumunda çökme ve eğilme moment değerlerinde hafif azalma görülürken; tekil yük durumunda elastisite modülü artışının çökme ve eğilme moment değerlerinde hemen hemen değişiklik meydana getirmediği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Çelik, M.**, 1995. Plak sonlu elemanlarda kayma şekil değiştirmelerinin göz önüne alınarak iki parametrelili elastik zemine oturan plakların hesabı, *Doktora Tezi*, İTÜ 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.
- Daloğlu, A.**, 1992. A consistent Vlasov model for analysis of plates on elastic foundations using finite element method. *Doktora Tezi*, Texas Technical University.
- Daloğlu, 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.
- Gören, K. K.**, 2002. İki parametrelili elastik zemine oturan plaklar, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- Vallabhan, C.V.G., Straughan, W.T. and Das, Y. C.**, 1991. Refined model for analysis of plates on elastic foundations, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. **117**, No.12, pp. 2830-2844.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Diğdem ŞAHİN

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul -1983

Adres: Ayşe Kadın Cad. Vacide Hanım Apt. No:44 Daire 3 Suadiye/ İST

Lisans Üniversite: İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği (2007)

Yayın Listesi:

