

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞİK SINIR ŞARTLARINA SAHİP, ELASTİK
ZEMİNE OTURAN İNCE PLAKLARIN, SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE ÇÖZÜMÜ VE BİLGİSAYAR UYGULAMASI

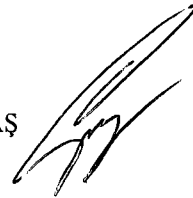
İnşaat Mühendisi O.Erol İNCE

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

:Prof. Sinan ÇAĞDAŞ



Prof. Dr. Faruk YÜKSELER



İSTANBUL,2000

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	IV
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 GİRİŞ.....	1
2 SONLU ELEMANLAR METODU.....	2
3 İNCE PLAK ÇÖZÜMÜ.....	3
3.1 Problemi Çözmek İçin Kullanılan Varsayımlar.....	3
3.2. Şekilden Çıkarılan Deplasman Bileşenleri.....	5
3.3 A Noktasındaki Deplasman Bileşenleri.....	5
3.4 Lineer Elastik Malzemede Gerilmeler.....	6
3.5 Eğilme Momentleri.....	7
4 VİRTÜEL İŞLER PRENSİBİ.....	9
4.1 Elastik Zeminin Virtüel İşler Teoremine Etkisi.....	10
5 PLAKLAR İÇİN ŞEKİL FONKSİYONLARININ ELDESİ.....	11
5.1 Elastik Zemine Oturan Plaklar İçin Eleman Zemin Etki Matrisi Eldesi.....	12
6 ELEMAN DÜĞÜM ETKİ VEKTÖRLERİNİN ELDE EDİLMESİ.....	18
6.1 Düzgün Yayılı Yükler İçin Eleman Düğüm Etki Vektörü.....	18
6.2 Doğrusal Yayılı Yükler İçin Eleman Düğüm Etki Vektörü.....	19
6.3 Tekil Yükler İçin Eleman Düğüm Etki Vektörü.....	24
7 SINIR VE MESNET ŞARTLARI.....	25
8 ELEMANDAN SİSTEME GEÇİŞ.....	26
ÖRNEK 1.....	28
ÖRNEK 2.....	34
9. SONUÇ.....	44
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	48
Ek 1. Elastik zemine oturan ince plaklar için zemin eleman rijitlik matrisini veren programın dökümü.....	48
Ek 2. Elastik zeminin plak rijitliğine katkısını veren programın dökümü.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	61

SİMGE LİSTESİ

A_d^*	Dış kuvvetlerin virtüel işi
A_i^*	İç kuvvetlerin virtüel işi
C_e	Elemanda düğüm noktası deplasmanları
C_i	Katsayı
D	Plak kalınlığı
f_e	Eleman düğüm etki vektörü
k	Yay katsayısı
k_{ii}	Rijitlik matrisinin (i, i) terimi
K_e	Eleman rijitlik matrisi
K_i	Zeminin i . Elemana etkiyen yatak katsayısı
Lw_i	Hakiki deformasyonlar
$L\delta w_i$	Virtüel deformasyonlar
M_0	Kesitteki öngerilmeler
w_i	İ. noktadaki deplasmanlar
δw_i	Virtüel deplasmanlar
$\delta \varepsilon_i$	Virtüel deformasyonlar
π	Toplam potansiyel enerji
ε_0	Başlangıç deformasyonu
ε_i	İ. noktadaki deplasmanlar
q_i	İ. noktada meydana gelecek dış yük
$N_i(x, y)$	Şekil fonksiyonları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil.3.1 Plaktaki normal gerilme.....	3
Şekil.3.2 Yüklenmeden önce ve sonra plak kalınlıkları.....	4
Şekil.3.3 Koordinat sistemi ve yüklerin pozitif yönleri.....	4
Şekil.3.4 Dikdörtgen diferansiyel elemanda deplasman bileşenleri.....	5
Şekil.3.5.a Normal gerilme ve kayma gerilmeleri için işaret kabulleri.....	6
Şekil.3.5.b Açı değişimi için işaret kabulleri.....	7
Şekil.3.5.c Eğilme ve burulma momentleri için işaret kabulleri.....	7
Şekil.5.1 Dikdörtgen biçimli sonlu elemana ait bilinmeyen parametreler.....	11
Şekil.8.1 Eleman düğüm değerleri ve sistem düğüm değerleri gösterilmiş sonlu eleman.....	26



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1 Elastik zemine oturan plaklar için eleman zemin etki matrisi

Çizelge 2 Dikdörtgen sonlu elemanın eleman rijitlik matrisi



TEŞEKKÜR

Anneme, babama, eŐime ve bu günlere gelmemde payı olan değerli hocalarıma, yüksek lisans öğrenimim boyunca bana çok Őey öğrenen ve tez çalışmam sırasında da kıymetli yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Sinan ÇAĞDAŞ beyefendiye sonsuz teşekkür ederim.

O.Erol İNCE



ÖZET

Bu çalışmada konu edilen, plak probleminin özel bir uygulanış biçimine sahip ince plaklardır.

Çalışmamın içeriğine konu olduğu gibi elastik zemine oturan ince plaklar ve betonarme döşemeler biçiminde yaygın olarak kullanılır.

İnce plaklarda sehimler ufak olduğundan 1. mertebe teorisi kullanılabilir. Bu plaklar kısaca, kayma deformasyonları yok sayılabilecek kadar ince ve membran kuvvetleri yok sayılabilecek kadar kalın plaklardır.

Tez çalışmamda, sonlu elemanlar metodu ile “Elastik Zemine Oturan İnce Plaklar” için çözüm yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir

Programda, “Elastik Zemine Oturan İnce Plaklar” çözülürken, dikdörtgen sonlu elemanlar için çıkarılmış fonksiyonlar kullanılmış, yatak katsayısıyla zemin tesirleri göz önüne alınarak, elastik zemin tesirleri bulunmuş ve birim değerler kullanılarak “Eleman Zemin Etki Matrisi” adı altında tablo halinde verilmiştir. Düzgün yayılı yükler için “Eleman Yük Vektörleri” çıkartılarak lineer yüklere maruz plaklarında çözümü yapılmıştır.

ABSTRACT

In this study, a special case of plate problems has been examined. This special case is widely used thin plates and reinforced concrete slabs which are resting on elastic foundations. First Order Theory can be used since the deflections of thin plates are small. These plates, therefore, are thin as if their shear deformations are so small that they can be neglected and thick as if their membrane forces are so small so that they can not be taken care.

While Thin Plates Resting on The Elastic Foundations is being solved in computer program, the shape functions for rectangular finite elements is used. By taking in to account base coefficient and soil characteristics, affects of elastic foundation have been obtained and tabulated in "Element Foundation Affect Matrix". Vectors of element loads is obtained for uniform loads and solved for plates subjected linear loadings.



1. GİRİŞ

Eni ve boyu yani taşıyıcı boyutlarının yanında kalınlığı çok küçük olan ve orta düzlemine dik olarak yüklenmiş bulunan düzlemsel taşıyıcı sistemlere “plak” denir.

Plaklar, yapıların döşemelerinde, betonarme yüksek yapı temellerinde, önemli yapıların temellerinde, C ve D grubu zeminler (taşıma gücü düşük zeminler) üzerine yapılan yapıların temellerinde, su depolarında, betonarme istinat duvarlarında, ankrajlı betonarme perdelerde, limanlarda, malzeme stok sahalarında, yükleme boşaltma sahalarında, hava limanlarında, baca temellerinde, silo temellerinde, köprülerde v.b. yerlerde kullanılan taşıyıcı elemanlardır.

Zaman içinde yapılan çalışmalarla zemin tesirlerine maruz olmayan plaklar için bir çok çözüm elde edilmiş ve bu çözümler tablo ve abaklar halinde pratik olarak kullanılabilir hale getirilmiştir. Fakat zemin tesirlerinin söz konusu olduğu plaklar ise yaklaşık metotlar kullanılarak çözülmüştür.

Bu çalışmada, plak probleminin özel bir uygulama biçimi olan ince plaklar konu edilmiştir. İnce bir plağın elastik zemine oturması problemi, geliştirilen bir bilgisayar programıyla çözülmüştür.

2. SONLU ELEMANLAR METODU

Sonlu elemanlar metodunda, çözümlü yapılan bölge kendi şekline ve sınır şartlarına uygun sonlu sayıda yüzey ve çizgiyle ayrılır ve bunların kesişme noktalarına “düğüm noktası” adı verilir. Sonlu elemanlar yüzeyinin şekil değiştirmesi, düğüm noktalarının deplasman parametrelerine bağlı olarak ifade edilir. Dolayısıyla düğüm noktalarındaki deplasmanlar sistemin bilinmeyen parametrelerini oluşturur.

Çözülecek alanın parçalara ayrılmasıyla elde edilen sonlu eleman üzerine, uzayda yüzey, düzlemde eğrisel bir çizgi oturtularak uygun bir yer değiştirme fonksiyonu seçilir. Bu fonksiyon yardımı ile düğüm noktası deplasmanları ifade edilir. Malzeme özelliklerinden ve başlangıç şekil değiştirmelerinden faydalanılarak gerilme durumu ifade edilir. Elemana etki eden kuvvetlerin düğüm noktalarına yığıldığı ve bunların dış yükler ve sınır gerilmeleri ile dengede olduğu farz edilerek Eleman Rijitlik Matrisleri oluşturulur.

Yükleme ve Eleman Rijitlik matrisleri yardımı ile Sistem Rijitlik Matrisleri ve Sistem Düğüm Etki Vektörü oluşturulur. Sınır şartları uygulanarak denklem takımı çözülür. Düğüm noktası deplasmanları elde edilir. Her elemanda bilinen deplasmanlar yardımı ile gerilmeler hesaplanır.

Problemin çözümünün elde edilebilmesi için “Tamlık Şartının” ve “Uygunluk Şartının” sağlanmış olması gerekir.

Tamlık Şartı : Eleman ne kadar küçük olursa olsun fonksiyonunun kendisi ve maksimum türevinin elde edilebilme şartına denir. Tamlık Şartı sağlanamıyorsa fonksiyonun başına integralde geçen türev mertebesini sağlayacak büyüklükte bir polinom terimi konmalıdır.

Uygunluk Şartı: Herhangi bir noktada maksimum türev mertebesinin en az bir düşük mertebesinin en az bir düşük mertebesinin sürekli olması şartına denir.

3. İNCE PLAK ÇÖZÜMÜ

Yüksekliđin, eni ve boyu yanında ihmal edilebilecek kadar kısa olan plaklara “İnce Plak” denir.

3.1. Problemi Çözmek İçin Kullanılan Varsayımlar Şunlardır :

3.1.1. Boyutlar Yönünden Yapılan Varsayımlar

3.1.1.a) Plak kalınlığı plağın eni ve boyu yanında çok küçüktür.

$$d \ll l_x, l_y$$

3.1.1.b) Plak kalınlığının orta noktalarının geometrik yeri düzlemdir.

3.1.1.c) İnce plakta meydana gelen deformasyonlar sonsuz küçük ve çökmeler plak kalınlığı yanında çok küçüktür.

Bu kabuller sonunda denge denklemleri ve geometrik uygunluk şartlarında ikinci mertebe etkiler ihmal edilecek ve süper pozisyon kuralı geçerli olacaktır. Böylece denge denklemleri deforme olmamış plak üzerinde yazılabilecektir.

3.1.2. Malzeme Özellikleri Yönünden

3.1.2.1) Malzeme, her noktada aynı fiziksel özelliklere sahip olan homojen bir malzemedir.

3.1.2.2) Malzeme, her doğrultuda aynı davranışı gösteren izotrop bir malzemedir.

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y}, \quad E_x = E_y = E \quad (3.1)$$

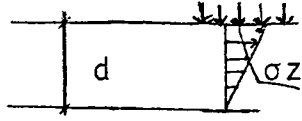
3.1.2.3) Malzeme, Hooke Kanununa uyan lineer-elastik bir malzemedir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad \gamma = \frac{\tau}{G}, \quad \varepsilon = k\sigma, \quad \left(k = \frac{1}{E} \right) \quad (3.2)$$

3.1.3. Hesapları Basitleştirici Diğer Varsayımlar

3.1.3.1) Plak orta düzlemine dik doğrultudaki normal gerilmeler ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

$$\sigma_z \cong 0$$



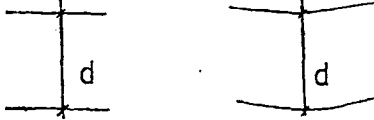
Şekil 3.1. Plak orta düzlemine dik doğrultudaki normal gerilmeler.

3.1.3.2) Plagın taşıdığı yükler orta düzlemine diktir.

$$3.1.3.3) \quad \sigma_z \cong 0 \quad ; \quad \nu = 0,10 \sim 0,15 \quad ; \quad \varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (3.3)$$

$$\Rightarrow \varepsilon_z \cong 0$$

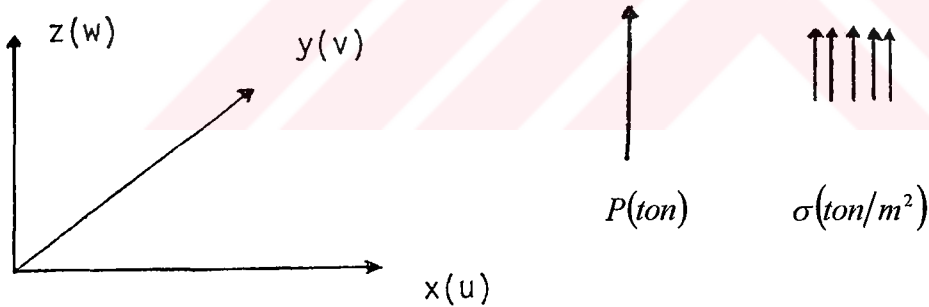
olarak alınabilir. Yani plak deforme olurken plak kalınlığının değişmediğini kabul ediyoruz.



Şekil 3.2. Yüklemeden önce ve sonra plak kalınlıkları.

3.1.3.4) Kirschhoff-Love hipotezi geçerlidir. Yani deformasyondan önce , orta düzlemin herhangi bir noktasının normalı üzerinde bulunan bir nokta, deformasyondan sonra da elastik yüzeyin o noktadaki normalı üzerinde bulunur.

Koordinat sistemi ve yüklerin pozitif yönleri şekildeki gibi kabul edilmiştir.

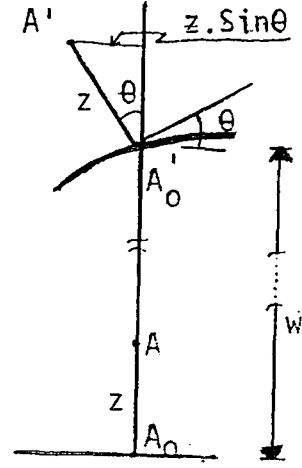
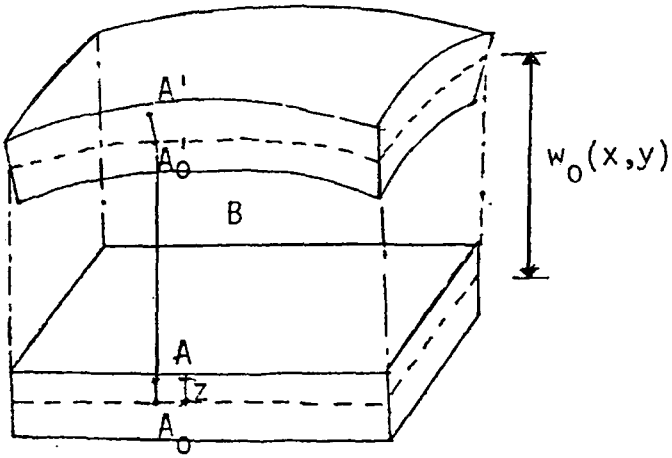


Şekil 3.3. Koordinat sistemi ve yüklerin pozitif yönleri

Şekil değiştirme ve gerilme bileşenlerini bulabilmek için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

İnce plaklar sadece düzlemine dik doğrultuda deplasman yapar.

$$w(x, y) \neq 0, \quad u(x, y) = 0, \quad v(x, y) = 0$$



Şekil 3.4. Dikdörtgen diferansiyel elemanda deplasman bileşenleri.

3.2. Şekilden Çıkarılan Deplasman Bileşenleri;

$$3.2.1) \overline{A_0 A_0'} = w_0, \quad u_0 = 0, \quad v_0 = 0$$

$$3.2.2) \overline{A_1 A_1'} \perp \text{Elastik Yüzey}$$

$$3.2.3) \overline{A A_0} = z = \overline{A' A_0'}$$

$$3.2.4) \tan \theta = \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \sin \theta \cong \theta \quad (3.4)$$

$$3.2.5) u(x,y) = -z \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$3.2.6) w(x,y) = -z \frac{\partial w}{\partial y}$$

$$3.2.7) w(x,y) = w_0 + z \cos \theta - z, \quad \cos \theta \cong 1$$

$$w(x,y) = w_0 + z \cos \theta - z * 1 - z \cong w_0(x,y)$$

3.3. A Noktasındaki Deformasyon Bileşenleri;

$$3.3.1) \varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$$

$$3.3.2) \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

$$3.3.3) \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.5)$$

$$3.3.4) \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

3.3.5) A' noktası, deformasyondan önce ve sonra elastik yüzeye dik olduğundan $\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$ olur.

3.4. Lineer Elastik Malzemede Gerilmeler ;

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} \Rightarrow \sigma_x - \nu \sigma_y = \varepsilon_x E \quad (3.6.a)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_x}{E} \Rightarrow \sigma_y - \nu \sigma_x = \varepsilon_y E \quad (3.6.b)$$

(3.6.a) ve (3.6.b) denklemlerinden,

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y) \quad \text{ve} \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_y + \nu \varepsilon_x) \quad (3.7)$$

denklemleri elde edilir.

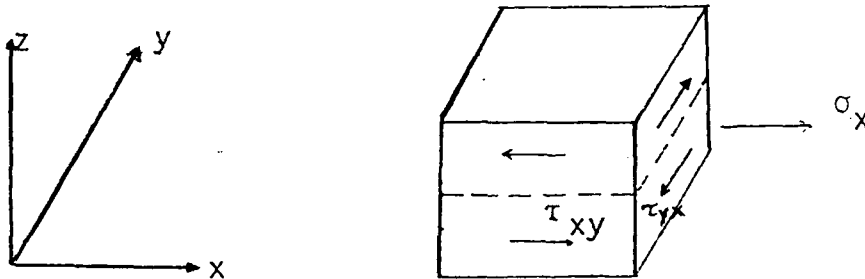
$$3.4.1) \sigma_x = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right]$$

$$3.4.2) \sigma_y = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right]$$

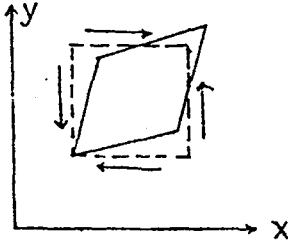
$$3.4.3) \tau_{xy} = -\frac{Ez}{(1+\nu)} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

$$3.4.4) \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$$

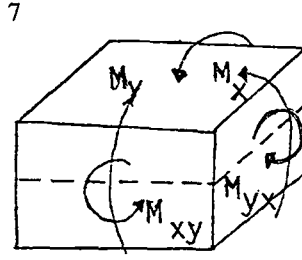
Gerilme ve moment hesapları için yapılan işaret kabulleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 3.5.a. Normal gerilme ve kayma gerilmeleri için işaret kabulleri.



Şekil 3.5.b. Açık değişimi için işaret kabulleri



Şekil 3.5.c. Eğilme ve burulma momentleri için işaret kabulleri

3.5. Eğilme Momentleri, Burulma Momentleri, Kesme kuvvetleri;

$$3.5.1) M = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \sigma z dz$$

$$3.5.2) M_x = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left| \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right|$$

$$3.5.3) M_y = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left| \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|$$

$$3.5.4) M_{xy} = 2G \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \frac{h^3}{12}$$

(3.8)

$$\bar{K} = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$3.5.5) M_x = \bar{K} \left| \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right|$$

$$3.5.6) M_y = \bar{K} \left| \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|$$

$$3.5.7) M_{xy} = \frac{E(1-\nu)}{2(1-\nu^2)} \frac{h^3}{12} 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

$$M_{xy} = -\bar{K}(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

$$3.5.8) \{\sigma\} = D\{\epsilon\} - D\{\epsilon_0\} + \{\sigma_0\}$$

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix}, D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}, \{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix}$$

M_x, M_y, M_{xy} ' ler matris formda ;

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \bar{K} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} - D\{\varepsilon_0\} + \begin{Bmatrix} M_{0x} \\ M_{0y} \\ M_{0xy} \end{Bmatrix}$$

olarak yazılabilir.

4. VİRTÜEL İŞ PRENSİBİ

Sisteme keyfi olarak sonsuz küçük deplasmanlar veya kuvvetler vererek sistemde oluşacak virtüel enerjinin incelenmesidir. Sonlu elemanlar metodunda sisteme küçük deplasmanlar vererek oluşturulan virtüel deplasmanlar metodu kullanılır. Virtüel iş ilkesi lineer olmayan sistemlerde de kullanılır.

Cisme verilen virtüel deplasman, cisme etkiyen kuvvetlerin meydana getirdiği şekil değiştirmelerden bağımsızdır. Cisme virtüel olarak yapılan yer değiştirme sınır şartlarına uygundur ve sürekliliği bozamaz. Bu deplasman sonsuz küçüktür. Bu yer değiştirmeye virtüel yer değiştirme denir.

$$A_i^* = A_d^*$$

Deformasyonlarla deplasmanlar arasında şöyle bir bağıntı vardır.

$$\delta \varepsilon_i = L \delta w_i$$

$$L = \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix}$$

İç kuvvetlerin virtüel işi,

$$A_i^* = \int_F (L \delta w_i)^T D \{Lw\} dF - \int_F (L \delta w_i)^T D \{\varepsilon\} dF + \int_F (L \delta w_i)^T \{\sigma_0\} dF$$

Dış kuvvetlerin virtüel işi,

$$A_d^* = \int_F (\delta w)^T p dF + (\delta w)^T P + \int_{F_1} (\delta w)^T \bar{p} dF_1 + \int_{F_2} \delta \left(\frac{\partial w}{\partial n} \right)^T \bar{M}_n dF_2$$

Virtüel dış iş yukarıdan anlaşıldığı üzere yayılı dış yüklerin, münferit dış yüklerin, çizgisel yayılı yüklerin ve çizgisel yayılı momentlerin virtüel işlerinin toplamına eşittir.

4.1. Elastik Zeminin Virtüel İşler Teoremine Etkisi

Plağımız elastik zemine oturuyor. Bu sebeple plakta yayılı yüklerin oluşturduğu etkilere benzer etkiler oluşur. Zemin elastik özellik gösterdiği için yay modeline benzer şekilde hangi yüklerin meydana geldiğini ifade edebiliriz.

Bir yay modelinde $F = kx$ 'dir. Elastik zemin terimi ise $q_i = K_i w_i$ şeklinde yazılabilir.

$q_i = K_i w_i$ ifadesini yayılı dış yüklerin virtüel işinde yerine koyarsak;

$$\int_F (\delta w)^T (p - q) dF = \int_F (\delta w)^T [p - Kw(x, y)] dF \text{ olur.}$$

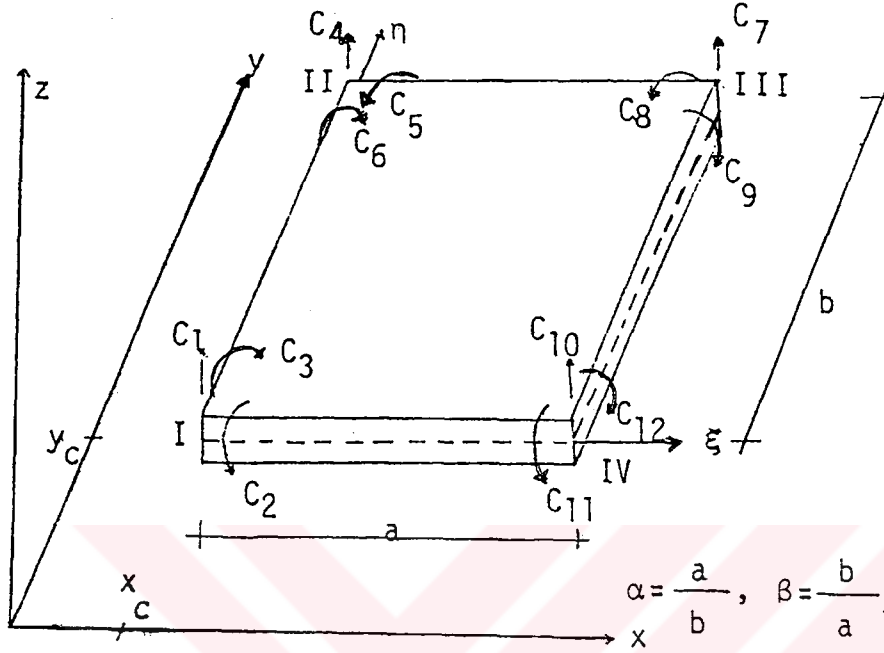
$A_i^* - A_d^* = 0$ olduğundan

$$\int_F (\delta w)^T [p - Kw(x, y)] dF + (\delta w)^T P + \int_{F_1} (\delta w)^T \bar{p} dF_1 + \int_{F_2} \delta \left(\frac{\partial w}{\partial n} \right)^T \bar{M}_n dF_2 - \int_F (L \delta w)^T D \{Lw\} dF = 0$$

elde edilir.

5. PLAKLAR İÇİN ŞEKİL FONKSİYONLARININ ELDESİ

Plaklar genelde dikdörtgen biçimdedirler. Aşağıdaki şekilde dikdörtgen biçimli sonlu eleman ve bu elemana ait bilinmeyen parametreler gösterilmiştir. Tamlik şartını sağlayabilmek için C_1 süreklilikli bir eleman kullanılmıştır.



Şekil.5.1. Dikdörtgen biçimli sonlu elemana ait bilinmeyen parametreler

Yukarıdaki şekilden,

$$\xi = \frac{x - x_c}{a}, \quad \eta = \frac{y - y_c}{b}$$

yazılabilir.

Her düğüm noktasında 3 serbestlik derecesi olan bu dikdörtgen sonlu eleman 12 parametreden oluşan enterpolasyon fonksiyonuyla ifade edilebilir.

$$u^e(x, y) = C_1 N_1(x, y) + C_2 N_2(x, y) + C_3 N_3(x, y) + \dots + C_{12} N_{12}(x, y)$$

$N_i(x, y)$ şekil fonksiyonları için aşağıdaki polinom kullanılmıştır.

$$N_i(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i + \alpha_4 x_i y_i + \alpha_5 x_i^2 + \alpha_6 y_i^2 + \alpha_7 x_i^2 y_i + \alpha_8 x_i y_i^2 + \alpha_9 x_i^3 + \alpha_{10} y_i^3 + \alpha_{11} x_i^3 y_i + \alpha_{12} x_i$$

$$\frac{\partial N_i(x, y)}{\partial x} = \alpha_2 + \alpha_4 y_i + 2\alpha_5 x_i + 2\alpha_7 x_i y_i + \alpha_8 y_i^2 + 3\alpha_9 x_i^2 + 3\alpha_{11} x_i^2 y_i + \alpha_{12} y_i^3$$

$$\frac{\partial N_i(x, y)}{\partial y} = \alpha_3 + \alpha_4 x_i + 2\alpha_6 y_i + \alpha_7 x_i^2 + 2\alpha_8 x_i y_i + 3\alpha_{10} y_i^2 + \alpha_{11} x_i^3 + 3\alpha_{12} x_i y_i^2$$

$$C_1 N_1(x_1, y_1) + C_2 N_2(x_1, y_1) + C_3 N_3(x_1, y_1) + \dots$$

Elemanın I noktasında $C_1 = u^e(x_1, x_2)$ 'dir

Bu durumda yukarıdaki eşitliğin sağlanabilmesi için ,

$C_1 \neq 0$, $N_1(x_1, y_1) = 1$ ile birlikte diğer bütün şekil fonksiyonlarının 0 olması gerekir. Diğer C_i 'ler için de aynı değerlendirme yapılarak $N_i(x, y)$ şekil fonksiyonları tayin edilir.

Bu çalışmada kullanılacak olan dikdörtgen sonlu eleman için şekil fonksiyonları şunlardır:

$$N^T = \begin{bmatrix} 1 - \xi\eta - (3 - 2\xi)\xi^2(1 - \eta) - (1 - \xi)(3 - 2\eta)\eta^2 \\ (1 - \xi)\eta(1 - \eta)^2 b \\ -\xi(1 - \eta)^2(1 - \eta)a \\ (1 - \xi)(3 - 2\eta)\eta^2 + \xi(1 - \xi)(1 - 2\xi)\eta \\ -(1 - \xi)(1 - \eta)\eta^2 b \\ -\xi(1 - \xi)^2 \eta a \\ (3 - 2\xi)\xi^2 \eta - \xi\eta(1 - \eta)(1 - 2\eta) \\ -\xi(1 - \eta)\eta^2 b \\ (1 - \xi)\xi^2 \eta a \\ (3 - 2\xi)\xi^2(1 - \eta) + \xi\eta(1 - \eta)(1 - 2\eta) \\ \xi\eta(1 - \eta)^2 b \\ (1 - \xi)\xi^2(1 - \eta)a \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \partial^2 w / \partial x^2 \\ \partial^2 w / \partial y^2 \\ -2\partial^2 w / \partial x \partial y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial^2 [N_i(x, y) C_i] / \partial x^2 \\ \partial^2 [N_i(x, y) C_i] / \partial y^2 \\ -2\partial^2 [N_i(x, y) C_i] / \partial x \partial y \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Deformasyonu matris formda yazarsak

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} N_{1,xx}'' & N_{2,xx}'' & \dots & N_{12,xx}'' \\ N_{1,yy}'' & N_{2,yy}'' & \dots & N_{12,yy}'' \\ -2N_{1,xy}'' & -2N_{2,xy}'' & \dots & -2N_{12,xy}'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_{12} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Burada şekil fonksiyonlarının x'e, y'ye ve xy'ye göre 2. türevlerinden oluşan matrise S_e matrisi denir.

$$S_e = \begin{bmatrix} N''_{1xx} & N''_{2xx} & \dots & N''_{12xx} \\ N''_{1yy} & N''_{2yy} & \dots & N''_{12yy} \\ -2N''_{1xy} & -2N''_{2xy} & \dots & -2N''_{12xy} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Yani

$$\{\varepsilon\} = S_e \{C_e\}$$

$DS_e = G_e$ olursa

$$\{\sigma\} = \{M\} = G_e \{C_e\} - D\{\varepsilon_0\} + \{\sigma_0\} \quad (5.7)$$

denklemini kurular. Bulduğumuz bu denklemlerle başta ortaya koyduğumuz virtüel işler teoremini yeniden yazacak olursak,

$$A_d^* - A_i^* = 0$$

$$\int_F (\delta w)^T [-Kw(x, y)] dF + (\delta w)^T P + \int (\delta w)^T p dF - \int_{F_1} (\delta w)^T \bar{p} dF_1 + \int_{F_2} \delta \left(\frac{\partial w}{\partial n} \right)^T \bar{M}_n dF_2 - \int_F (L\delta w)^T D\{Lw\} dF$$

olur. (5.8)

$$(\delta w)^T = [\delta(C_i N_i)]^T - N_i^T \delta C_i^T$$

$$w_i = [N_i] \{C_i\}$$

$$\{Lw_i\} = LN_i C_i = \{\varepsilon_i\} = S_e \{C_i\}$$

$$\{L\delta w_i\} = \{\delta\varepsilon_i\} = S_e \{\delta C_i\}$$

denklemlerini $A_d^* - A_i^* = 0$ denkleminde yerine koyarsak;

$$\{\delta C_e\}^T \left| \int_{F_e} S_e^T DS_e \{C_e\} dF_e + K \int_{F_R} N^T [N] \{C_e\} dF_e \right. \quad (5.9)$$

denklemini elde ederiz.

$$K_e \{C_e\} + f_e = 0$$

$$K_e = \left| \int_{F_e} S_e^T G_e dF_e + K \int_{F_e} N^T [N] dF_e \right| \{C_e\} \quad (5.10)$$

$$\{f_e\} = - \int_{F_e} S_e^T D\{\xi_0\} dF_e + \int_{F_e} S_e^T D\{\sigma_0\} dF_e - \int_{F_e} N^T p dF_e - \int_{F_1} N^T \bar{p} dF_1 - \int_{F_2} \frac{\partial}{\partial n} (N^T) \bar{M}_n dF_2 - \{P\} \quad (5.11)$$

5. 1. Elastik Zemine Oturan Plaklar İçin Eleman Zemin Etki Matrisi Eldesi

$K \int_{F_e} N^T [N] dF_e$ ifadesinden şekil fonksiyonlarının transpozesi ile satır matrisi çarpılmış ve yüzey integralleri alınıp “K” yatak katsayısı ile çarpılarak zemin etkisinden doğan zemin etki tablosu elde edilmiştir.

$K \int_{F_e} N^T [N] dF_e$ ifadesini bölgesel koordinatlara çevirirsek,

$$\xi = \frac{x - x_c}{a} \quad , \quad \eta = \frac{y - y_c}{b}$$

olduğunu çıkartmıştık. Öyleyse;

$$K \int_{F_e} N^T [N] dF_e = K \int_0^1 \int_0^1 N^T [N] |J| d\xi d\eta$$

yazılabilir.

$$|J| = \left| \frac{D(x, y)}{D(\xi, \eta)} \right|$$

$|J|$, x, y ' nin ξ, η ' ya göre fonksiyonel determinantının mutlak değeridir.

$$|J| = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial x}{\partial \eta} \\ \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{vmatrix} = |a.b|$$

$$K \int_{F_e} N^T [N] dxdy = Kab \int_0^1 \int_0^1 N^T [N] d\xi d\eta$$

olarak bulunur.

Bulduğumuz bu ifadeyi sonlu eleman üzerinde toplarsak ve elde ettiğimiz 12*12 boyutundaki matris ile eleman rijitlik matrisi toplanarak, elastik zemine oturan radye temel şeklindeki plaklar için eleman rijitlik matrisi bulunur.

Elastik zemin etkisini veren integral ifadesi Tablo 1’ de verilmiştir.

Matris, 12*12’ lik simetrik bir matristir.

Eleman rijitlik matrisiyle zemin etkisinden doğan rijitlik matrisinin boyut analizi yapılırsa,

$$\int_{F_e} |S_e|^T D |S_e| dF_e = \frac{Eh^3}{12(1-\gamma^2)} \frac{1}{ab} |ER| = \frac{(ton/m^2)(m^3)}{m^2} |ER|$$

$$|Eleman rijitli matrisi| = ton / m |ER|$$

$$K \int_{F_e} N^T [N] dF_e = K.a.b. |ER| = |ton / m^3| m^2 |ER|$$

$$|Zemin eleman rijitlik matrisi| = ton / m |ER|$$

olduğu görülür.



Tablo 2. Dikdörtgen sonlu elemanın eleman rijitlik matrisi

$4\left(\beta^2 + \beta^{-2}\right) + \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$	$\left \frac{4}{3}\beta^{-2} + \frac{4}{15}(1 - \gamma)\right b^2$	$\left \frac{4}{3}\beta^2 + \frac{4}{15}(1 - \gamma)\right a^2$	$4\left(\beta^2 + \beta^{-2}\right) + \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$
$\left 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right b$	$\left \frac{4}{3}\beta^{-2} + \frac{4}{15}(1 - \gamma)\right b^2$	$\left \frac{4}{3}\beta^{-2} + \frac{4}{15}(1 - \gamma)\right b^2$	$\left 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right b$
$-\left 2\beta^2 + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right a$	$-yab$	$\left \frac{4}{3}\beta^2 + \frac{4}{15}(1 - \gamma)\right a^2$	$-\left 2\beta^2 + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right a$
$2\left(\beta^2 - 2\beta^{-2}\right) - \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$	$-\left 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1\gamma)\right b$	$-\left \beta^2 + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right a$	$2\left(\beta^2 - 2\beta^{-2}\right) - \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$
$\left 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right b$	$\left \frac{2}{2}\beta^{-2} - \frac{1}{15}(1 - \gamma)\right b^2$	0	$-\left 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right b$
$-\left \beta^2 + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right a$	0	$\left \frac{2}{3}\beta^2 - \frac{4}{15}(1 - \gamma)\right a^2$	$-\left 2\beta^2 + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right a$
$-2\left(\beta^2 + \beta^{-2}\right) + \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$	$-\left 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right b$	$\left \beta^2 - \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right a$	$-2\left(2\beta^2 - \beta^{-2}\right) - \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$
$\left \beta^{-2} - \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right b$	$\left \frac{1}{3}\beta^{-2} + \frac{1}{15}(1 - \gamma)\right b^2$	0	$-\left \beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right b$
$-\left \beta^2 + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right a$	0	$\left \frac{1}{3}\beta^2 + \frac{1}{15}(1 - \gamma)\right a^2$	$-\left 2\beta^2 + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right a$
$-2\left(2\beta^2 - \beta^{-2}\right) - \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$	$\left \beta^{-2} - \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right b$	$\left 2\beta^2 + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right a$	$-\left(\beta^2 + \beta^{-2}\right) + \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$
$\left \beta^{-2} - \frac{1}{5}(1 + 4\gamma)\right b$	$\left \frac{2}{3}\beta^{-2} - \frac{4}{15}(1 - \gamma)\right b^2$	0	$\left \beta^{-2} - \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right b$
$-\left \beta^2 + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right a$	0	$\left \frac{2}{3}\beta^2 - \frac{1}{15}(1 - \gamma)\right a^2$	$-\left \beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right b$
$-\left \beta^2 + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right a$	0	$\left \frac{2}{3}\beta^2 - \frac{1}{15}(1 - \gamma)\right a^2$	$-\left \beta^2 + \frac{1}{5}(1 - \gamma)\right a$

$$4(\beta^2 + \beta^{-2}) + \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$$

$$-\left| 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma) \right| b \quad \left| \frac{4}{3}\beta^{-2} + \frac{4}{15}(1 - \gamma) \right| b^2$$

$$\left| 2\beta^2 + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma) \right| a \quad -\gamma ab \quad \left| \frac{4}{3}\beta^2 + \frac{4}{15}(1 - \gamma) \right| a^2$$

$$2(\beta^2 - 2\beta^{-2}) - \frac{1}{5}(14 - 4\gamma) \quad \left| 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 - \gamma) \right| b \quad \left| \beta^2 - \frac{1}{5}(1 + 4\gamma) \right| a \quad 4(\beta^2 + \beta^{-2}) + \frac{1}{5}(14 - 4\gamma)$$

$$-\left| 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 - \gamma) \right| b \quad \left| \frac{2}{3}\beta^{-2} - \frac{1}{15}(1 - \gamma) \right| b^2$$

$$0 \quad 0 \quad \left| 2\beta^{-2} + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma) \right| b \quad \left| \frac{4}{3}\beta^{-2} - \frac{4}{15}(1 - \gamma) \right| b^2$$

$$\left| \beta^2 - \frac{1}{5}(1 + 4\gamma) \right| a \quad 0$$

$$\left| \frac{2}{3}\beta^2 - \frac{4}{15}(1 - \gamma) \right| a^2$$

$$\left| 2\beta^2 + \frac{1}{5}(1 + 4\gamma) \right| a$$

$$\gamma ab$$

$$\left| \frac{4}{3}\beta^2 + \frac{4}{15}(1 - \gamma) \right| a^2$$

6. ELEMAN DÜĞÜM ETKİ VEKTÖRLERİNİN ELDE EDİLMESİ

6.1. Düzgün Yayılı Yükler İçin Eleman Düğüm Etki Vektörü

$$\{f_{ed}\} = - \int_{F_e} N^T p dF_e \quad (6.1)$$

$$dF_e = a.b.d\xi d\eta \quad (6.2)$$

$$\{f_{ed}\} = -a.b.p \int_0^1 \int_0^1 N^T d\xi d\eta \quad (a, b \text{ elemanın boyutlarını, } p \text{ yayılı yükü gösterir.) \quad (6.3)$$

$$N^T = \begin{bmatrix} 1 - \xi\eta - (3 - 2\xi)\xi^2(1 - \eta) - (1 - \xi)(3 - 2\eta)\eta^2 \\ (1 - \xi\eta)\eta(1 - \eta)^2 b \\ - \xi(1 - \eta)^2(1 - \eta)a \\ (1 - \xi)(3 - 2\eta)\eta^2 + \xi(1 - \xi)(1 - 2\xi)\eta \\ - (1 - \xi)(1 - \eta)\eta^2 b \\ - \xi(1 - \xi)^2 \eta a \\ (3 - 2\xi)\xi^2 \eta - \xi\eta(1 - \eta)(1 - 2\eta) \\ - \xi(1 - \eta)\eta^2 \\ (1 - \xi)\xi^2 \eta a \\ (3 - 2\xi)\xi^2(1 - \eta) + \xi\eta(1 - \eta)(1 - 2\eta) \\ \xi\eta(1 - \eta)^2 b \\ (1 - \xi)\xi^2(1 - \eta)a \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

N^T yi yukarıdaki denklemde yerine koyup eleman düğüm etki vektörünü bulursak,

$$\{f_{ed}\} = a.b.p \left\{ \begin{array}{c} -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ -\frac{1}{4} \end{array} \right\} \quad (6.5)$$

6.2. Doğrusal Yayılı Yükler İçin Eleman Düğüm Etki Vektörü

$$\{f_{ed}\} = - \int_{F_e} N^T q dF_e$$

$$\{f_{e1}\} = - \int_0^1 \int_0^1 N^T q (a\xi + \bar{x}) a b d\xi d\eta$$

$$- \{f_{e1}\} = a^2 b q \int_0^1 \int_0^1 N^T \xi d\xi d\eta + a b q \int_0^1 \int_0^1 N^T \bar{x} d\xi d\eta$$

$a b q \int_0^1 \int_0^1 N^T \bar{x} d\xi d\eta$ denklemindeki \bar{x} , lineer yayılı yükün arttığı yönde

$\bar{x}_i = \sum_{j=0}^{i-1} a_j$ şeklindedir. Bu denklemi açık olarak,

Birinci sıradaki elemanlar için $\bar{x}_1 = 0$

İkinci sıradaki elemanlar için $\bar{x}_2 = 0 + a_1$

\vdots \vdots

n . sıradaki elemanlar için $\bar{x}_n = 0 + a_1 + a_2 + \dots + a_{(n-2)} + a_{(n-1)}$

şeklinde yazabiliriz. Şayet elemanların x eksenine paralel olan boyları aynı ise,

$x_i = (i-1)\alpha$ olur.

$abq \int_0^1 \int_0^1 N^T \bar{x} d\xi d\eta$ denklemini,

$abq \left(\sum_{j=0}^{i-1} a_j \right) \int_0^1 \int_0^1 N^T d\xi d\eta$ şeklinde yazarsak,

$$\{f_{e12}\} = abq \left(\sum_{j=0}^{i-1} a_j \right) \left\{ \begin{array}{c} \frac{1}{24} \\ -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ -\frac{1}{24} \\ \frac{a}{24} \\ \frac{1}{24} \\ -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ \frac{1}{24} \\ -\frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ -\frac{1}{24} \\ \frac{1}{4} \\ -\frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ -\frac{1}{24} \\ \frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ -\frac{1}{24} \\ \frac{a}{24} \end{array} \right\} \quad (6.6)$$

olur.

$abq \int_0^1 \int_0^1 N^T \bar{x} d\xi d\eta$ denklemini açarsak,

$$\{f_{e11}\} = -a^2 b q \int_0^1 \int_0^1 \begin{bmatrix} 1 - \xi\eta - (3 - 2\xi)\xi^2(1 - \eta) - (1 - \xi)(3 - 2\eta)\eta^2 \\ (1 - \xi\eta)\eta(1 - \eta)^2 b \\ -\xi(1 - \eta)^2(1 - \eta)a \\ (1 - \xi)(3 - 2\eta)\eta^2 + \xi(1 - \xi)(1 - 2\xi)\eta \\ -(1 - \xi)(1 - \eta)\eta^2 b \\ -\xi(1 - \xi)^2 \eta a \\ (3 - 2\xi)\xi^2 \eta - \xi\eta(1 - \eta)(1 - 2\eta) \\ -\xi(1 - \eta)\eta^2 \\ (1 - \xi)\xi^2 \eta a \\ (3 - 2\xi)\xi^2(1 - \eta) + \xi\eta(1 - \eta)(1 - 2\eta) \\ \xi\eta(1 - \eta)^2 b \\ (1 - \xi)\xi^2(1 - \eta)a \end{bmatrix} \xi d\xi d\eta \quad (6.7)$$

elde edilir.

Çift integrali alınca,

$$\{f_{e11}\} = a^2 b q \left\{ \begin{array}{c} -\frac{3}{40} \\ \frac{b}{72} \\ \frac{a}{60} \\ \frac{3}{40} \\ \frac{b}{72} \\ \frac{a}{60} \\ \frac{7}{40} \\ \frac{b}{36} \\ \frac{a}{40} \\ \frac{7}{40} \\ \frac{70}{b} \\ \frac{36}{a} \\ \frac{40}{40} \end{array} \right\} \quad (6.8)$$

sonucuna varılır.

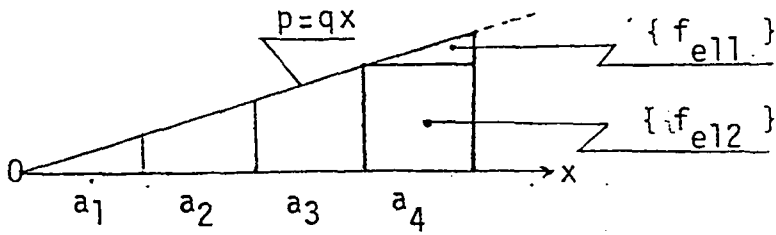
Doğrusal yayılı yükler için eleman düğüm etki vektörü,

$$\{f_{e1}\} = \{f_{e11}\} + \{f_{e12}\}$$

$$\{f_{e1}\} = a^2 b q \begin{Bmatrix} \frac{3}{40} \\ \frac{b}{72} \\ \frac{a}{60} \\ \frac{3}{40} \\ \frac{b}{72} \\ \frac{a}{60} \\ \frac{60}{7} \\ \frac{40}{b} \\ \frac{36}{a} \\ \frac{40}{7} \\ \frac{70}{b} \\ \frac{36}{a} \\ \frac{40}{40} \end{Bmatrix} + abq \left(\sum_{j=0}^{i=1} a_j \right) \begin{Bmatrix} \frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ \frac{1}{4} \\ \frac{b}{24} \\ \frac{a}{24} \\ \frac{24}{1} \\ \frac{4}{b} \\ \frac{24}{a} \\ \frac{1}{4} \\ \frac{4}{b} \\ \frac{24}{a} \\ \frac{24}{24} \end{Bmatrix}$$

olarak ifade edilebilir.

Bu ifadeyi grafik olarak gösterirsek;



6.3. Tekil Yükle İçin Eleman Düğüm Etki Vektörü

Elemanda 1 ve 10 no'lu bilinmeyenlerin bulunduğu yerde tekil yükler olursa şu şekilde ifade edilir.

$$\{f_{et}\} = \begin{Bmatrix} P_{10} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P_{10} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Eleman düğüm etki vektörü üzerindeki yüklerle ilgili düğüm etki vektörlerinin toplamı

$$\{f_e\} = \{f_{ed}\} + \{f_{e1}\} + \{f_{et}\}$$

olarak bulunur.

7. SINIR VE MESNET ŞARTLARI

Plakta simetri durumu söz konusuysa simetri eksenindeki dönmelerin 0 olması şartlarından sınır şartlarını yazabiliriz.

Plağımız elastik zemin üzerine oturduğu için mesnet şartlarının varlığı geçersiz hale gelmektedir. Bunun sebebi, elastik zemine oturduğu için plağın her noktesında deplasmanlar meydana gelmektedir.

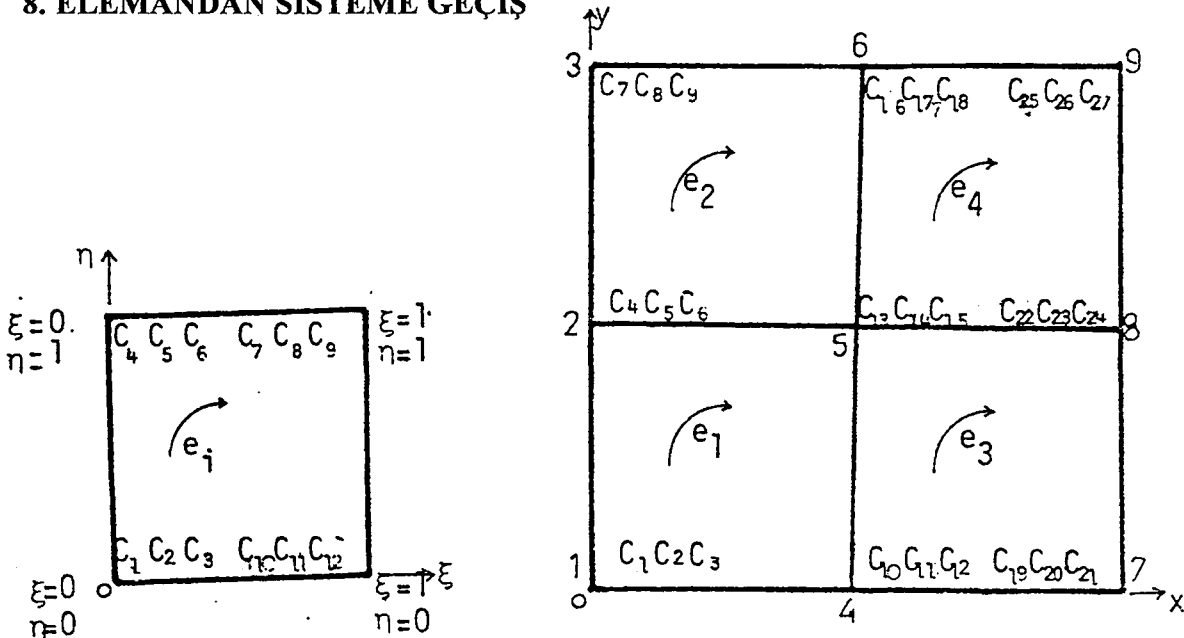
Plak, x ve y eksenlerine göre simetrik olduđunda simetrik eksenlerde dönmeler 0'dır.

Sınır şartlarının 0 olduğu terim $C_i = 0$ ise k_{ii} yerine 1 yazılır, sonra i. Satır ve sütunun bütün değerleri ve f_i yerine 0 yazılarak sınır şartı ifade edilmiş olur.

Elastik çöken ve dönen mesnetler pratik olarak, i noktasında bir elastik dönen veya çöken mesnet varsa,

$i \rightarrow k_{ii} \rightarrow k_{ii} + k$ şeklinde ifade edilebilir.

8. ELEMANDAN SİSTEME GEÇİŞ



Şekil 8.1. Eleman düğüm değerleri ve sistem düğüm değerleri gösterilmiş sonlu eleman.

ELEMAN DÜĞÜM DEĞERLERİ

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

ELEMAN NO

SİSTEM DÜĞÜM DEĞERLERİ

1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
2	4 5 6 7 8 9 16 17 18 13 14 15
3	10 11 12 13 14 15 22 23 24 19 20 21
4	13 14 15 16 17 18 25 26 27 22 23 24

Üstteki şekilde örnek olarak sistem 4 adet sonlu elemana ayrılmış ve eleman düğüm değerleri ile sistem düğüm değerleri gösterilmiştir. Altındaki tabloda ise bu değerler topluca gösterilmektedir.

Tabloda görülen sırada eleman düğüm değerlerinin birli ve ikili kombinezonları, sistemdeki her elemanın sistem düğüm değerlerinin birli ve ikili kombinezonlarıyla eşleşirse, birli kombinezonlardan sistem düğüm etki vektörü, ikili kombinezonlardan da sistem rijitlik matrisi oluşturulur.

Mesela sistem rijitlik matrisindeki $K_s(13,14)$, sistem düğüm etki vektöründeki $f_s(14)$ terimlerini oluşturalım.

$$K_s(13,14) = K_{e1}(7,8) + K_{e2}(10,11) + K_{e3}(4,5) + K_{e4}(1,2)$$

$$f_s(14) = f_{e1}(8) + f_{e2}(11) + f_{e3}(5) + f_{e4}(2)$$

Böylece tüm sistem taranır ve elde edilecek K_s ve f_s den

$$K_s \{C\} + f_s = 0$$

lineer denklem sistemi kurulur. Bu denklem sistemi sınır ve mesnet şartları yazılarak bilinen bir yolla çözülürse (Gauss eliminasyon yöntemi v.b) düğüm noktası deplasmanları bulunur.

Gerilmelerin Elde Edilmesi:

Her elemanın köşe koordinatları S_e matrisinde yerlerine konur ve D Elastisite matrisi ile çarpılırsa 4 adet G_e gerilme matrisi elde edilir.

Her elemanın düğüm noktası deplasmanları o elemana ait G_e gerilme matrisleri ile çarpılarak,

$$\{\sigma\} = G_e \{C_e\}$$

köşe gerilmeleri bulunur. Aynı düğümde birleşen eleman köşelerindeki gerilmelerin aritmetik ortalaması alınarak sistem düğüm noktasının gerilme bileşenleri bulunur.

ÖRNEK-1

Sonradan doldurulmuş bir zemine oturan, aşağıda özellikleri verilmiş olan plağın çözümünü yapalım.

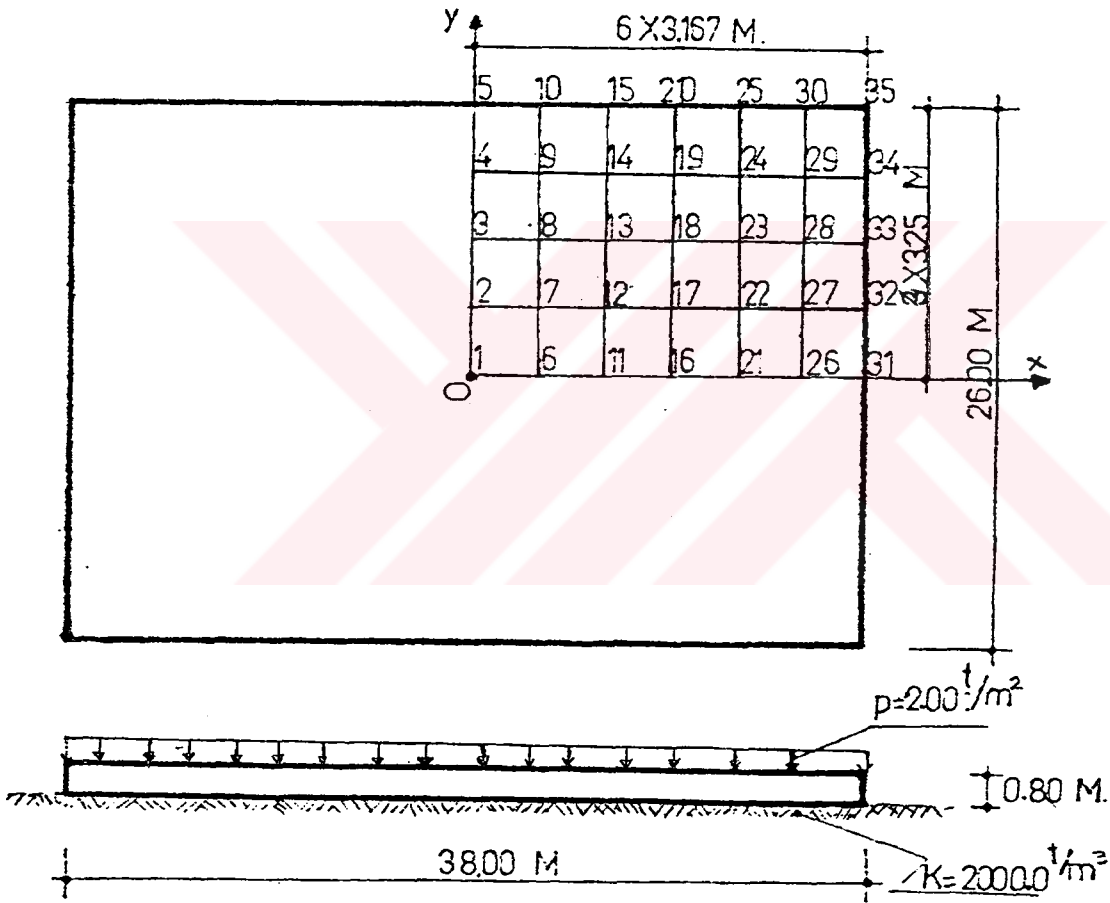
Malzeme sabitleri : $E=2,1 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$

$\gamma=1/6$

Zemin yatak katsayısı : 2000 t/m^3

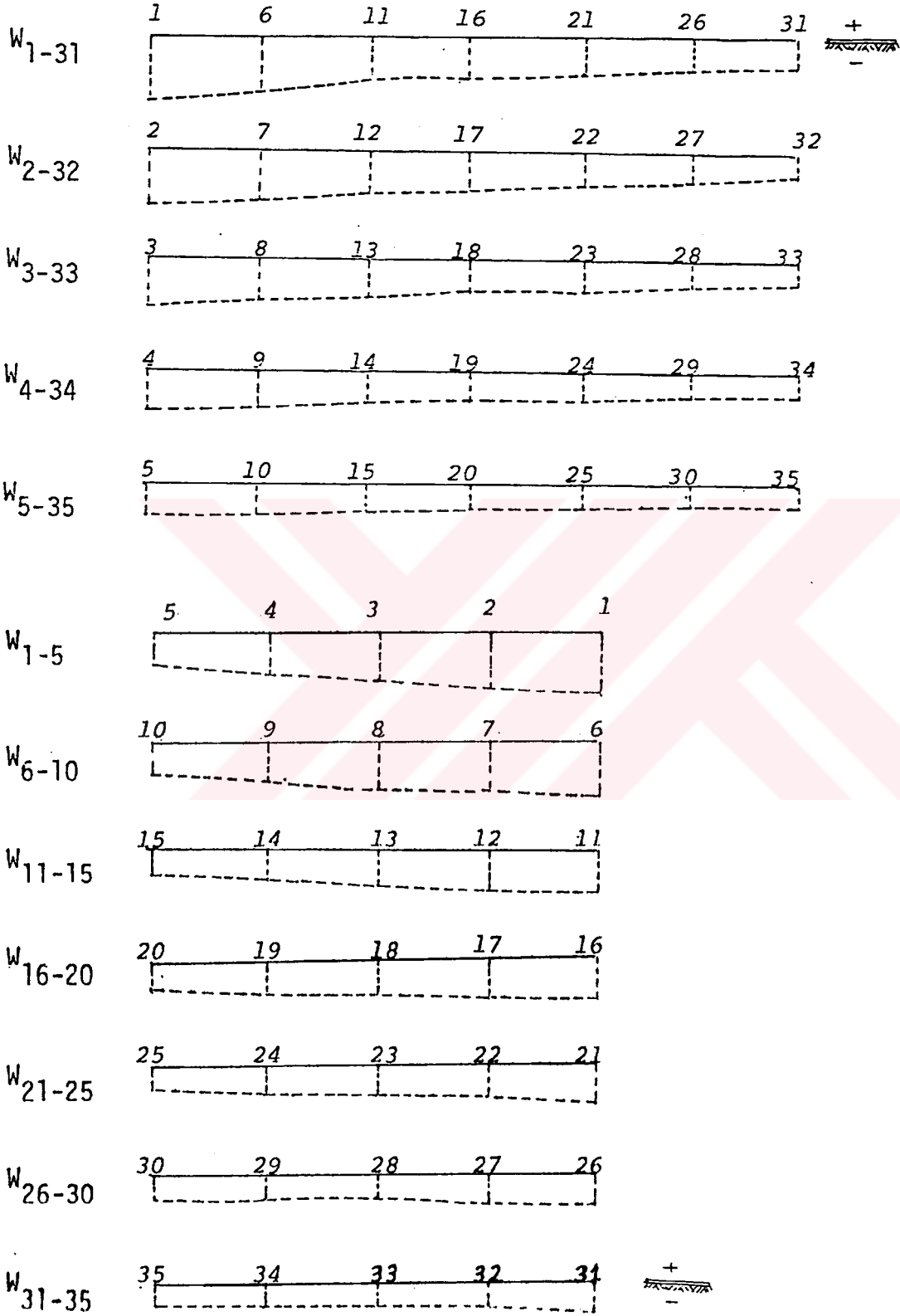
Yükler : 2 t/m^2

Sınır ve mesnet şartları : Simetri eksenlerinde $x \rightarrow \theta_x$, $y \rightarrow \theta_y$, deplasmanları (0).



Çift simetriden dolayı çeyrek plak 105 serbestlik derecesine sahip 24 sonlu elemana ayrılmış ve düğüm noktaları deplasmanları ile düğüm noktası moment değerleri bulunmuştur. Sonuçlar tablo ve diyagramlar halinde verilmiştir.

Diyagram değerleri "Düğüm Noktası Deplasmanları" tablosundaki aynı düğüm numarasından alınacaktır.



DEPLASMANLAR

	1				5
W	-0,001784	-0,001621	-0,001398	-0,001193	-0,000949
DX	0,000000	0,000056	0,000058	0,000064	0,000073
DY	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

	6				10
W	-0,001586	-0,001452	-0,001257	-0,001080	-0,000874
DX	0,000000	0,000074	0,000063	0,000067	0,000061
DY	-0,000241	-0,000133	-0,000121	-0,000110	-0,000025

	11				15
W	-0,001339	-0,001215	-0,001062	-0,000934	-0,000780
DX	0,000000	0,000060	0,000044	0,000047	0,000049
DY	-0,000181	-0,000092	-0,000088	-0,000075	-0,000005

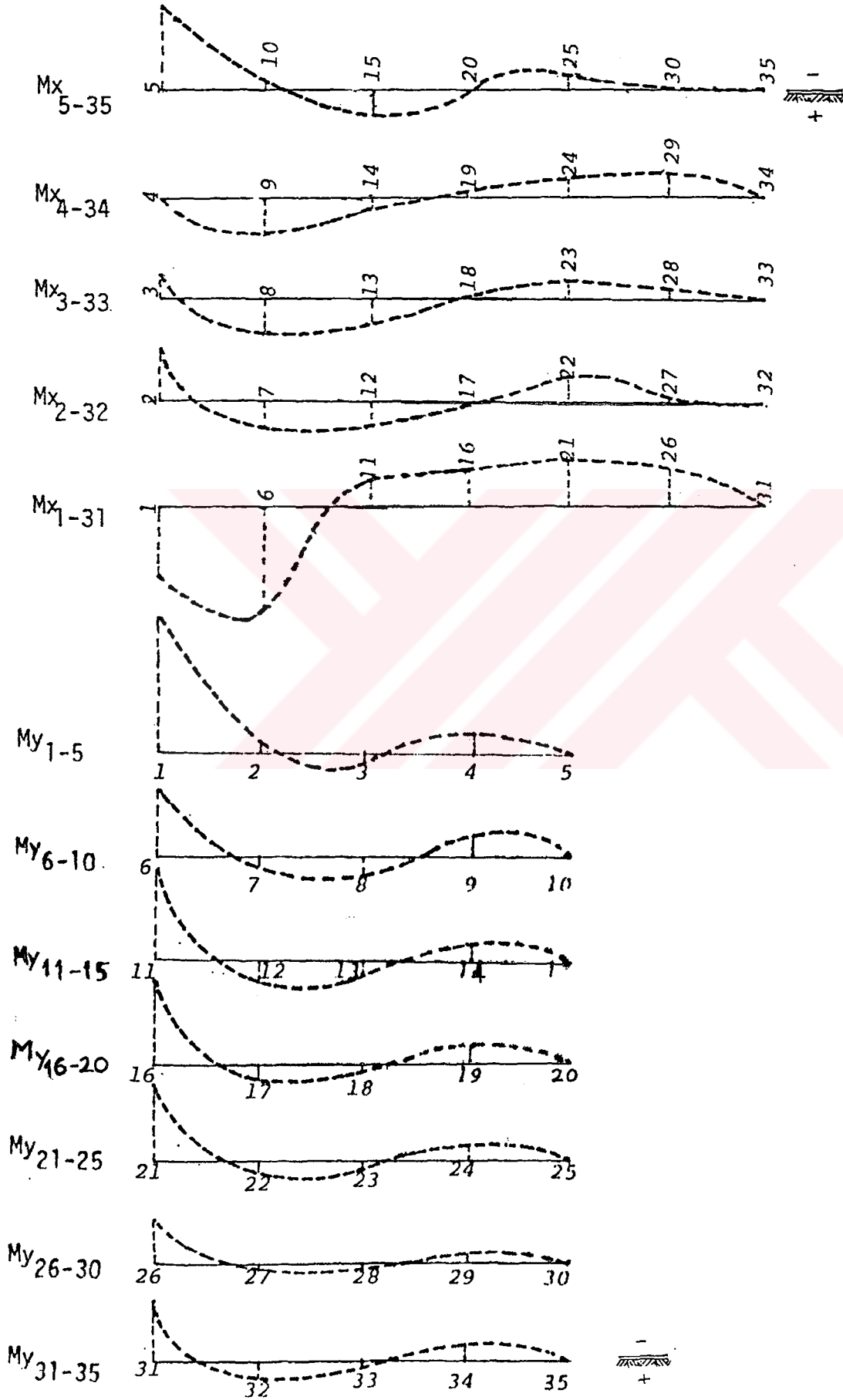
	16				20
W	-0,001180	-0,001077	-0,000955	-0,000862	-0,000761
DX	0,000000	0,000061	0,000035	0,000035	0,000036
DY	-0,000149	-0,000067	-0,000064	-0,000057	-0,000007

	21				25
W	-0,001051	-0,000964	-0,000871	-0,000807	-0,000730
DX	0,000000	0,000042	0,000026	0,000026	0,000025
DY	-0,000129	-0,000069	-0,000062	-0,000057	-0,000002

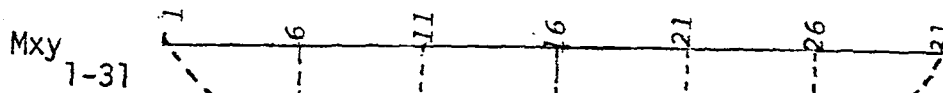
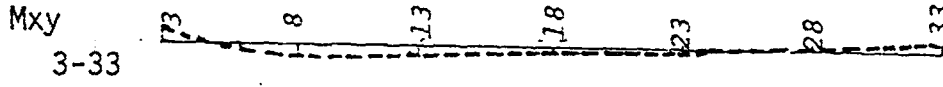
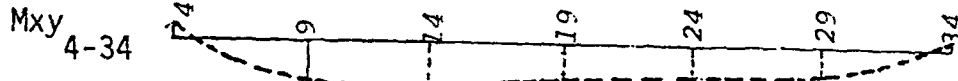
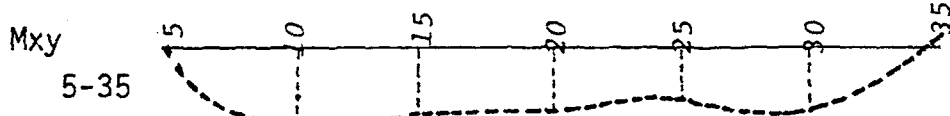
	26				30
W	-0,000876	-0,000822	-0,000757	-0,000720	-0,000687
DX	0,000000	0,000028	0,000017	0,000013	0,000012
DY	0,000148	0,000065	0,000068	0,000066	0,000004

	31				35
W	-0,00819	-0,000744	-0,000672	-0,000650	-0,000629
DX	0,000000	0,000042	0,000021	0,000016	0,000007
DY	-0,000022	-0,000007	-0,000019	-0,000009	-0,000023

Diyagram değerleri "Düğüm Noktası Momentleri" tablosundaki aynı düğüm numarasından alınacaktır.



Diyagram değerleri "Düğüm Noktası Momentleri" tablosundaki aynı düğüm numarasından alınacaktır.



DÜĞÜM NOKTALARI MOMANET DEĞERLERİ

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****	5****
M _X	TON=M/M	2,3	-1,6	-0,7	0,0	-2,6
M _Y	TON=M/M	-4,3	-0,2	0,3	-0,6	0,4
M _{XY}	TON=M/M	-0,2	-0,4	-0,3	-0,1	-0,0

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****	5****
M _X	TON=M/M	3,4	0,66	1,1	1,2	-0,4
M _Y	TON=M/M	-2,2	0,0	0,4	-0,0	-0,0
M _{XY}	TON=M/M	2,4	1,3	0,2	1,0	2,0

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****	5****
M _X	TON=M/M	-0,8	0,9	0,8	0,4	0,6
M _Y	TON=M/M	-3,2	0,7	0,4	-0,5	-0,0
M _{XY}	TON=M/M	2,0	1,2	0,2	1,2	1,6

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****	5****
M _X	TON=M/M	-1,1	0,1	-0,0	-0,2	0,1
M _Y	TON=M/M	-2,6	0,5	0,3	-0,9	-0,2
M _{XY}	TON=M/M	1,8	1,0	0,1	0,8	1,5

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****	5****
M _X	TON=M/M	-1,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,4
M _Y	TON=M/M	-2,4	0,4	0,2	-0,6	-0,3
M _{XY}	TON=M/M	1,2	0,9	0,1	0,7	1,3

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****	5****
M _X	TON=M/M	-1,3	0,0	-0,4	-0,9	0,1
M _Y	TON=M/M	-1,4	0,2	0,2	-0,2	-0,4
M _{XY}	TON=M/M	1,9	0,9	-0,1	0,7	1,5

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****	5****
M _X	TON=M/M	-3,2	-0,2	-1,4	-1,0	0,1
M _Y	TON=M/M	-2,1	0,6	0,3	-0,5	-0,6
M _{XY}	TON=M/M	-0,5	-0,7	-0,2	-0,2	-0,3

ÖRNEK 2

Bu örnekte yatay zemin etkilerine maruz bir ankrajlı betonarme perde plağı incelenmiştir. Hesaplarda yatay zemin etkileri üçgen yayılı yük olarak alınmıştır.

Perde plağı altında iki ayrı zemin mevcuttur. Perde plağı yeraltı su seviyesinin altına indirilmiştir.

Örnekte olduğu gibi üçgen yükün eğiminin değiştiği noktalardan itibaren P_i (ton/m²) ile ifade edilen yüklerinde(üçgen yayılı yüke ters yönde) etkilmesi gerekmektedir. Bu, bilgisayar programının yük vektörlerini doğru kurabilmesi için gerekmektedir.

Yatay zemin etkilerini şu formülle bulabiliriz.

$$P_h = K_{A_i} \lambda_j h$$

Burada;

K_{A_i} =Zeminin yatay etki katsayısı

$\gamma_{i,u}$ =Zeminin yoğunluğu

h_i =Zeminin yüksekliği' ni göstermektedir.

Yükler diyagramında görüldüğü gibi üçgen yayılı yükün birim değeri

$$q_i = K_{A_i} \gamma_i \text{ (ton/m}^3\text{) dır.}$$

Üçgen yükün eğiminin değiştiği her noktadan itibaren etkilmesi gereken p_i yükü ise,

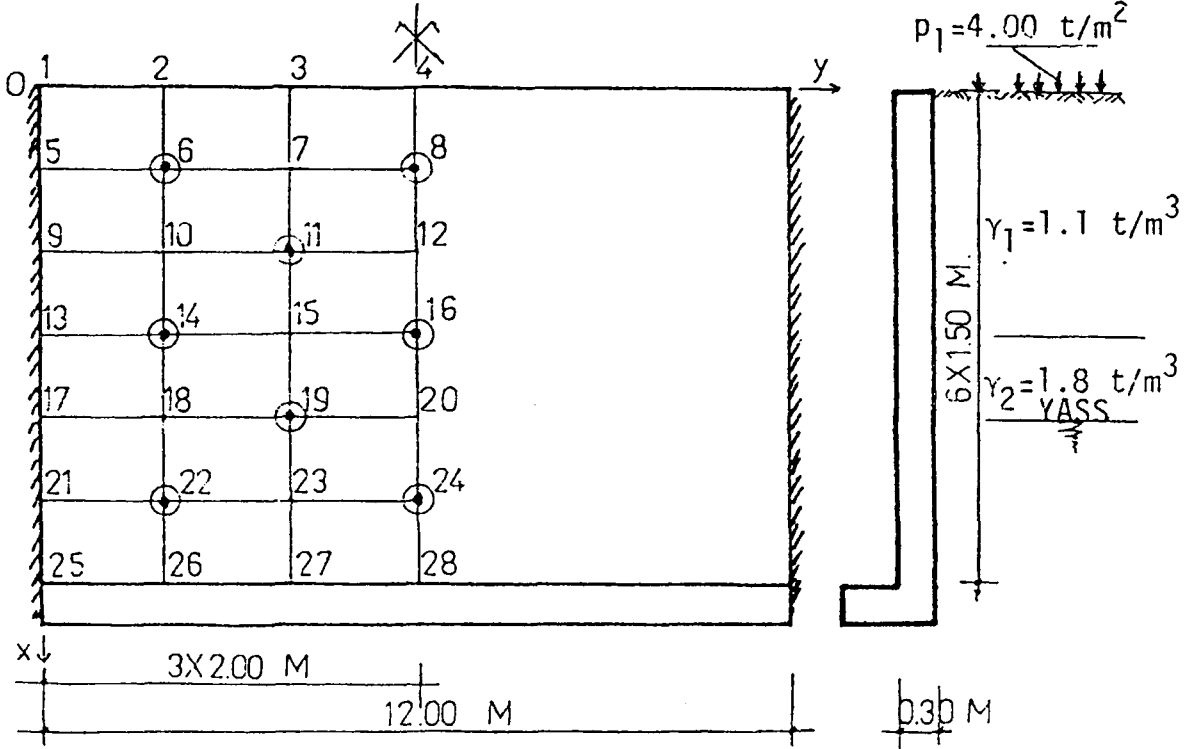
$$p_i = -\sum_{k=i}^2 K_{A_k} (\gamma_k - \gamma_{k-1}) h_k \text{ (ton/m}^2\text{) ' dir.}$$

Örnekte q_i ' ler ile birlikte p_i ' lerde verilerek yük vektörü oluşturulmuştur.

Şekilde boyutları ve zemin kesiti verilen ankrajlı betonarme perde derinliği 9 metre olan temel çukuruna aittir.

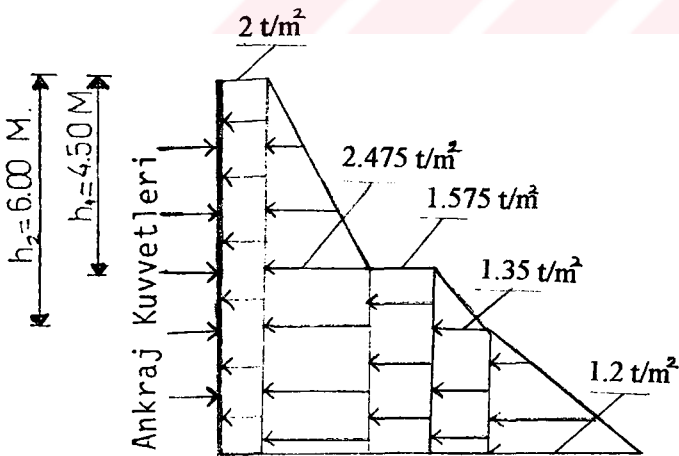
Öngermenin perde inşaatı bittikten sonra verileceğini farzederek perde plağını ankrajsız ve öngerilme verdikten sonraki hal içinde ankrajlı betonarme perde plağı olarak çözücez.

Malzeme sabitleri	:E=2,1 * 10 ⁶ t/m ²
	$\gamma=1/6$
Zemin sabitleri	: $\gamma_1=1,1$ t/m ³ $\gamma_2=1,8$ t/m ³ $\gamma_{su}=1,0$ t/m ³
	$K_A=0,5$ $K_{\gamma_1}=500$ t/m ³ $K_{\gamma_2}=3000$ t/m ³
Ankraj kuvvetleri	: $A_6=-20,0$ t $A_8=30,0$ t $A_{11}=-20,0$ t $A_{14}=-30,0$ t
	$A_{16}=-40,0$ t $A_{19}=-40,0$ t $A_{22}=30,0$ t $A_{24}=-40,0$ t

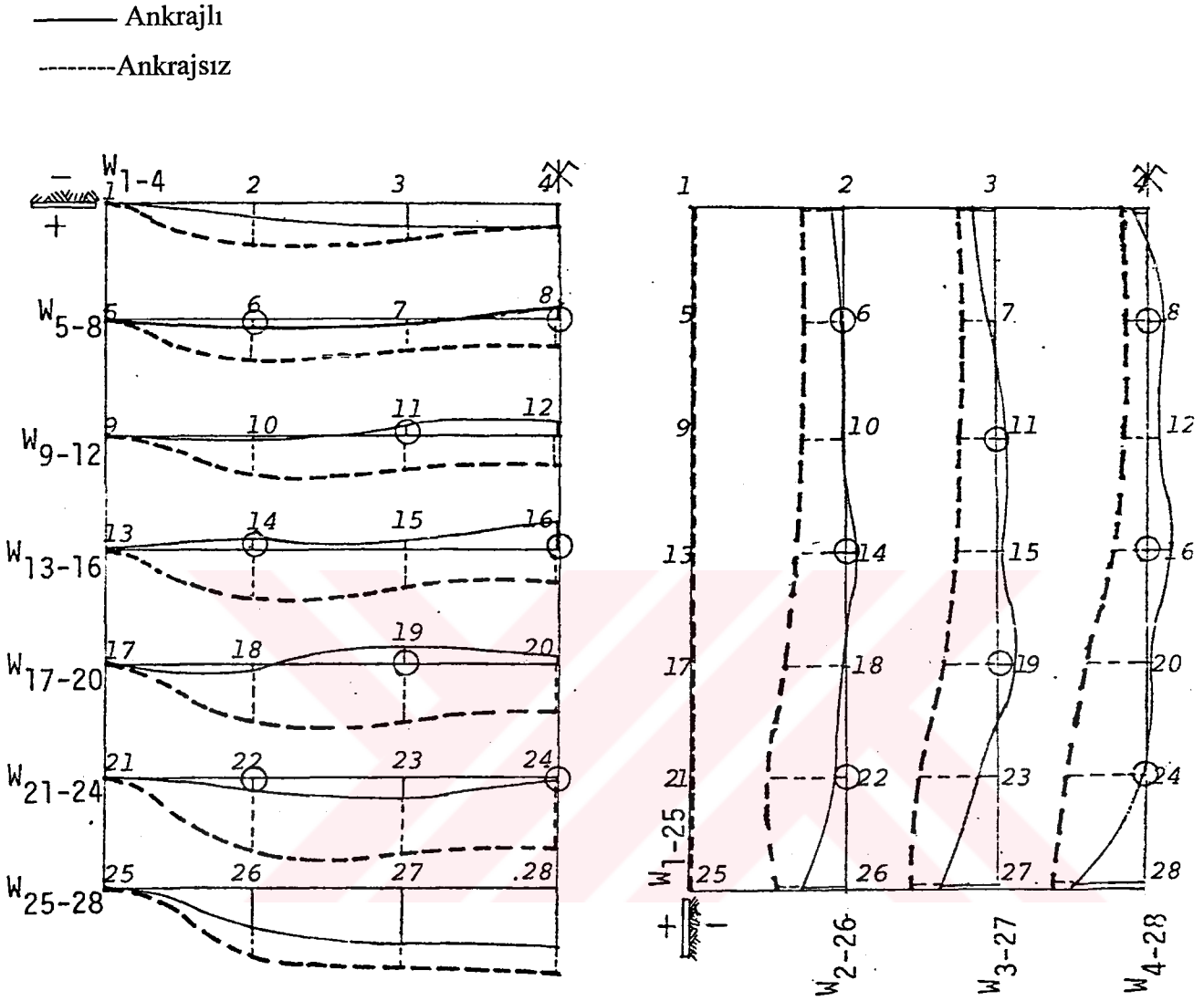


Derin kazı çukurları genellikle, kademeli kazı yapılarak ve desteklenerek inşa edilir. Örnekte kullandığımız perde bu sistemle inşa edilmiş olsaydı üst kısımlardaki tüm ankrajlar gerilmiş olurdu. Bu sebeple bu tarz imalatları Ankrajlı olarak boyutlandırmak yeterlidir.

Yükler Diyagramı:



Plak x eksenine göre simetrik olduğundan plağın yarısı 84 serbestlik derecesine sahip 18 sonlu elemana ayrılarak çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Diyagram değerleri "Düğüm Noktası Deplasmanları" tablosundaki aynı düğüm numarasından alınacaktır.

ANKRAJLI BETONARME PERDE

DUGUM NOKTASI DEPLASMANLARI

	1			4
W	0,00000	0,00030	0,00059	0,00051
WX	0,00022	0,00013	0,00016	0,0000
DY	0,00000	0,00011	0,00024	0,00081

	5			8
W	0,00000	0,00002	0,00019	-0,00043
WX	0,00012	0,00001	-0,00029	0,00000
DY	0,00000	0,00006	0,00014	0,00014

	9			12
W	0,00000	0,00010	-0,00025	-0,00028
WX	0,00022	-0,00019	0,00006	0,00000
DY	0,00000	0,00009	0,00008	0,00009

	13			16
W	0,00000	-0,00028	-0,00016	-0,00072
WX	-0,00003	0,00014	-0,00013	0,00000
DY	0,00000	0,00005	0,00039	0,00000

	17			20
W	0,00000	0,00015	-0,00045	-0,00016
WX	0,00031	-0,00033	0,00018	0,00000
DY	0,00000	-0,00019	-0,00018	-0,00035

	21			24
W	0,00000	0,00028	0,00039	0,00012
WX	0,00053	0,00017	-0,00027	0,00000
DY	0,00000	-0,00022	-0,00023	-0,00072

	25			28
W	0,00000	0,00111	0,00162	0,00165
WX	0,00003	0,00051	0,00000	0,00000
DY	0,00000	-0,00051	-0,00065	-0,00102

ANKRAJSIZ BETONARME PERDE

DUGUM NOKTASI DEPLASMANLARI

	1			4
W	0,00000	0,00101	0,00099	0,00068
WX	0,00077	0,00033	0,00003	0,00000
DY	0,00000	0,00012	0,00022	-0,00010

	5			8
W	0,00000	0,00099	0,00090	0,00068
WX	0,00088	-0,00018	-0,00035	0,00000
DY	0,00000	0,00003	0,00005	-0,00004

	9			12
W	0,00000	0,00108	0,00096	0,00074
WX	0,00098	-0,00005	-0,00023	0,00000
DY	0,00000	-0,00009	0,00001	-0,00008

	13			16
W	0,00000	0,00121	0,00108	0,00084
WX	0,00108	-0,00009	-0,00031	0,00000
DY	0,00000	-0,00003	-0,00003	-0,00020

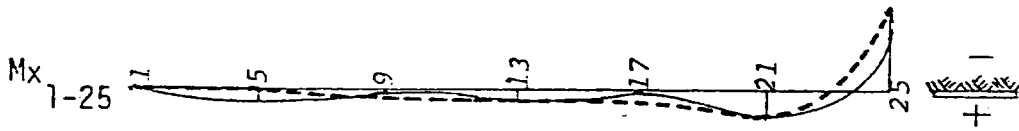
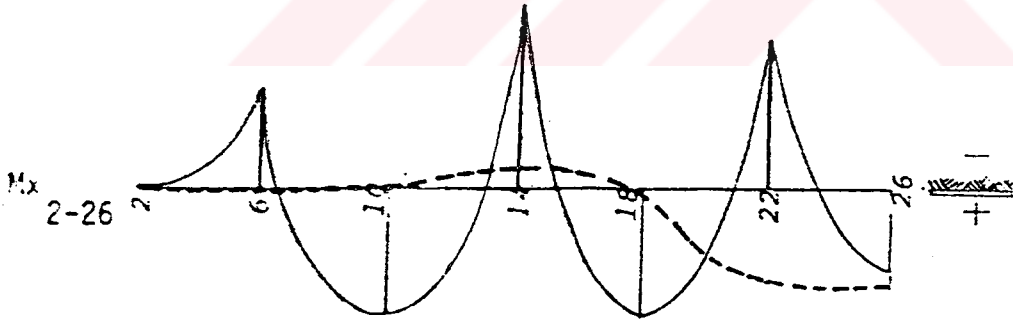
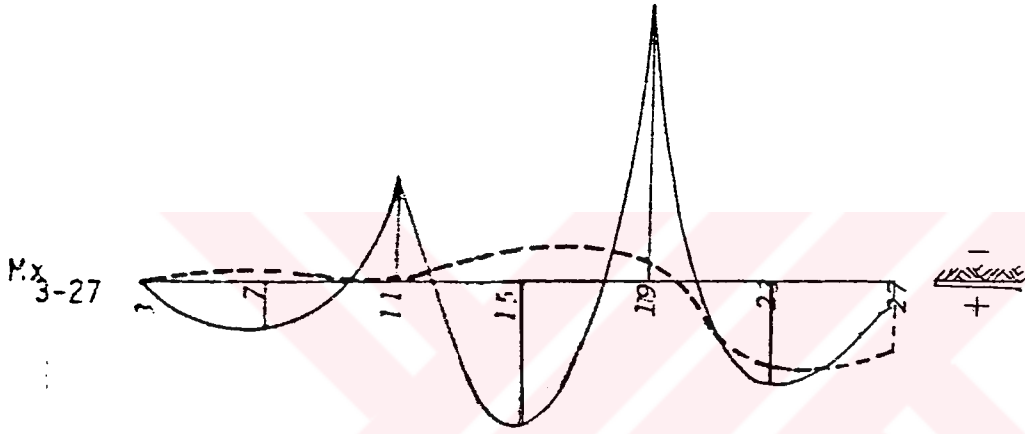
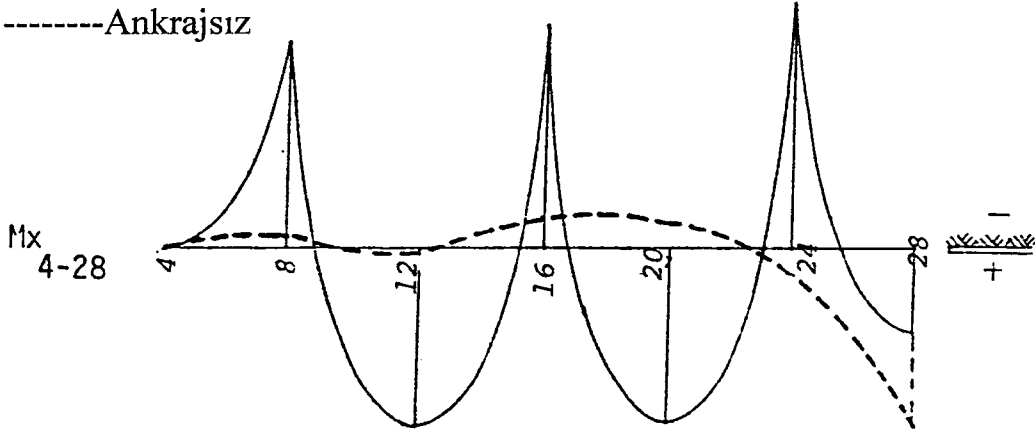
	17			20
W	0,00000	0,00157	0,00149	0,00127
WX	0,00138	-0,00011	-0,00032	0,00000
DY	0,00000	-0,00022	-0,00024	-0,00050

	21			24
W	0,00000	0,00199	0,00205	0,00191
WX	0,00131	-0,00001	-0,00055	0,00000
DY	0,00000	-0,00007	-0,00010	-0,00047

	25			28
W	0,00000	0,00175	0,00215	0,00227
WX	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
DY	0,00000	0,00040	0,00006	0,00002

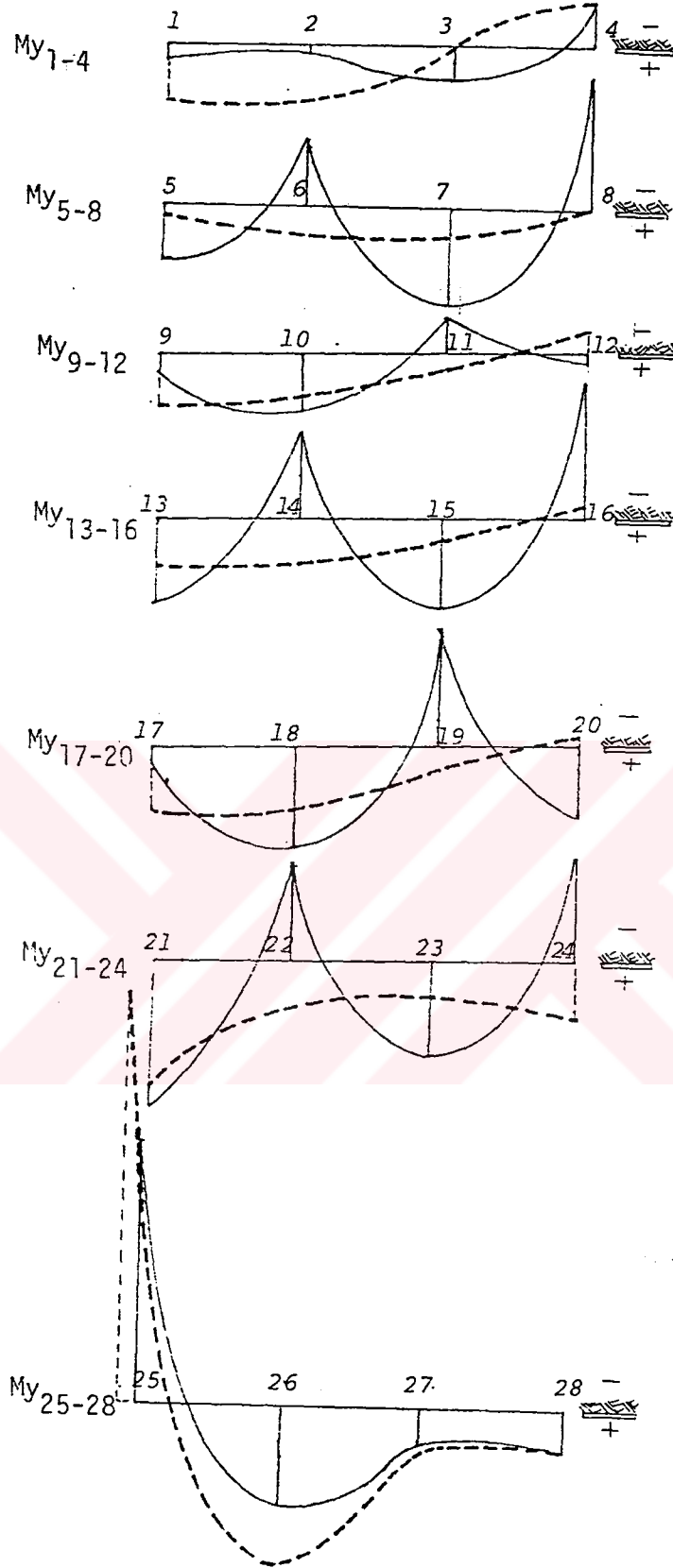
— Ankrajlı

-----Ankrajsız



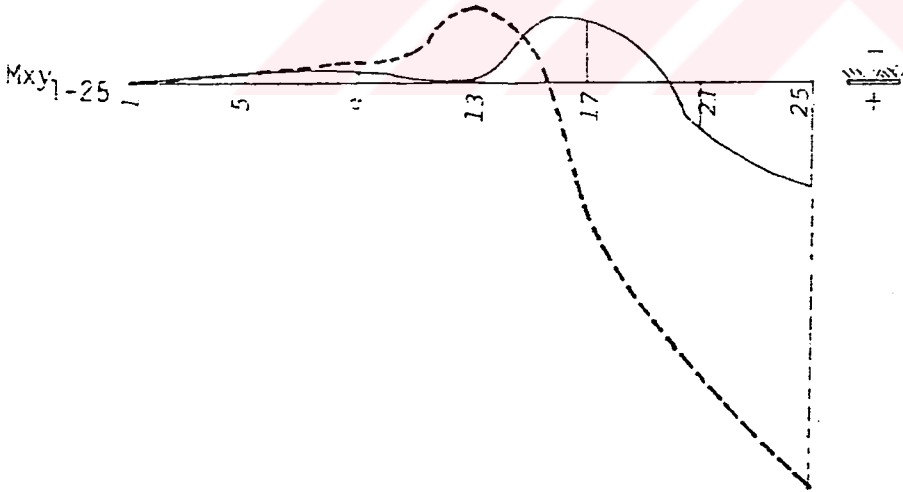
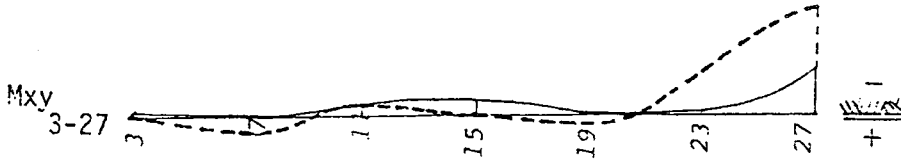
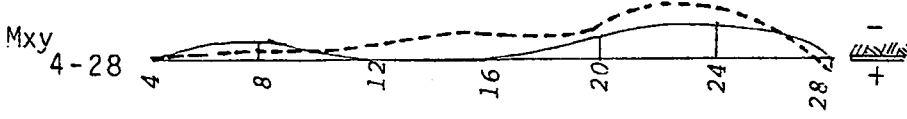
Diyagram değerleri "Düğüm Noktası Momentleri" tablosundaki aynı düğüm numarasından alınacaktır.

— Ankrajlı
 - - - - - Ankrajsız



Diyagram değerleri "Düğüm Noktası Momentleri" tablosundaki aynı düğüm noktasından alınacaktır.

— Ankrajlı
 - - - - - Ankrajsız



Diyagram değerleri "Düğüm Noktası Momentleri" tablosundaki aynı düğüm numarasından alınacaktır.

ANKRAJLI BETONARME PERDE

DUGUM NOKTALARI MOMENT DEĞERLERİ

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,08	1,78	0,04	0,23
M _Y	TON=M/M	0,49	0,20	1,00	-1,26
M _{XY}	TON=M/M	0,10	0,09	1,40	0,40
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,22	-2,43	1,17	-5,03
M _Y	TON=M/M	1,33	-1,85	2,73	-3,78
M _{XY}	TON=M/M	-0,61	0,47	0,05	-0,26
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,07	3,02	-2,56	4,19
M _Y	TON=M/M	0,45	1,63	-1,03	0,21
M _{XY}	TON=M/M	0,17	-0,11	-0,14	0,05
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,88	-4,41	3,38	-5,42
M _Y	TON=M/M	2,31	-2,41	2,52	-3,86
M _{XY}	TON=M/M	0,01	0,20	-0,17	0,04
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,05	3,20	-6,59	4,21
M _Y	TON=M/M	0,29	2,76	-3,35	1,87
M _{XY}	TON=M/M	-0,79	0,03	0,05	-0,27
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,72	-3,96	2,41	-5,93
M _Y	TON=M/M	4,34	-2,72	2,68	-2,90
M _{XY}	TON=M/M	0,60	-0,31	0,01	-0,47
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	-1,28	1,45	0,37	1,94
M _Y	TON=M/M	-7,67	2,56	1,21	1,23
M _{XY}	TON=M/M	1,46	0,41	-0,2	0,05

ANKRAJSIZ BETONARME PERDE

DUGUM NOKTALARI MOMENT DEĞERLERİ

DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,27	-1,22	-1,81	0,99
M _Y	TON=M/M	1,60	1,60	-0,04	-2,07
M _{XY}	TON=M/M	-0,06	1,45	0,76	-0,48
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,06	-0,85	-0,20	-0,36
M _Y	TON=M/M	0,36	0,23	0,76	0,06
M _{XY}	TON=M/M	-0,17	0,62	0,26	-0,12
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,24	0,11	-0,94	0,15
M _Y	TON=M/M	1,44	1,33	0,46	-0,43
M _{XY}	TON=M/M	-0,13	-0,05	-0,12	-0,19
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,21	-0,52	-0,35	-0,76
M _Y	TON=M/M	1,23	1,26	0,48	-0,40
M _{XY}	TON=M/M	-0,26	0,23	-0,05	-0,33
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,23	0,04	-0,68	-0,54
M _Y	TON=M/M	1,40	1,72	0,68	-0,20
M _{XY}	TON=M/M	-0,99	-0,02	0,15	-0,43
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	0,64	2,29	1,95	0,43
M _Y	TON=M/M	3,84	1,33	1,03	1,64
M _{XY}	TON=M/M	1,77	-0,03	-0,13	-0,49
DUGUM NO		1****	2****	3****	4****
M _X	TON=M/M	-2,53	3,44	1,73	1,93
M _Y	TON=M/M	-12,17	4,39	1,14	1,17
M _{XY}	TON=M/M	5,34	0,11	-1,31	0,22

9. SONUÇ

Çalışmanın esası, Elastik zeminin rijitliğe etkisini veren bir bilgisayar programıdır.

Çalışmada iki ayrı bilgisayar programı geliştirilmiştir. İlk program bir nevi alt program niteliğindedir ve Elastik Zeminin plak rijitliğine katkısını vermektedir.

Program giriş verileri sonlu elemanın eni, boyu ve zeminin yatak katsayılarıdır. Bu bilgiler program içinde okutulmaktadır.

DATA A9, B9, YAKA/...../

A9=Elemanın x eksenine paralel boyu

B9=Elemanın y eksenine paralel boyu

YAKA=Zemin yatak katsayısı

Bu bilgisayar programına birim, boy, en ve yatak katsayısı verilerek bulunan sonuçlar diğer bilgisayar programında hesaplanan Eleman Rijitlik Matrisine katılarak tek program ile Eleman Rijitlik Matrisinin bulunması sağlanmıştır

Plak çözümü için geliştirilen bilgisayar programının giriş verileride program içinde okutulmaktadır. Bu programda önce giriş bilgilerinin nasıl verileceği anlatılmış bir sonra gelen kayıta ise DATA deyimini ile bu bilgilerin verilmesi sağlanmıştır.

Program giriş verilerinin hazırlanmasında dikkat edilecek husus plağın kısa kenarının y eksenine ile çalıştırılmalı ve kısa kenar boyunca numaralandırılmalıdır. Böylece hem bant genişliği minimum olmakta hemde program her elemandaki düğüm noktası parametrelerini doğru olarak oluşturmaktadır. Şayet plak üzerinde üçgen yayılı yük varsa üçgen yükün başlangıç noktasından ve yükün artış yönüne dik olarak numara verilmelidir. Yük $q(x)$ ise numaralama y eksenine paralel, $q(y)$ ise x eksenine paralel numaralanmalıdır.

Program giriş bilgilerinin oluşturulmasından sonra ilk elemandaki sistem düğüm parametrelerini oluşturmakta daha sonra elemanın rijitlik ve yük matrislerini oluşturmakta, bu matrisleri Sistem Rijitlik ve Yük Matrisine yerleştirmektedir. 2. Eleman için sistem düğüm parametrelerini oluşturduktan sonra eleman rijitlik ve yük matrislerinin farklı olup olmadığını kontrol etmekte, farklı halde yeniden hesaplamakta, aynı ise önce bildiği rijitlik ve yük matrislerinden sisteme geçmektedir. Bu işlemi eleman sayısı kez yaparak Sisteme Rijitlik ve Yük Matrislerini kurmaktadır.

Girişte verilmiş sınır şartlarını uygulayarak Gauss Eliminasyon Metodu ile matrisi çözmekte ve düğüm noktası deplasmanlarını hesaplamaktadır.

Elastisite matrisini ve S_e matrislerini kurarak köşe koordinatlarını koymaktadır. Elastisite matrisi ile S_e matrislerini çarparak G_e gerilme matrisini hesaplamaktadır.

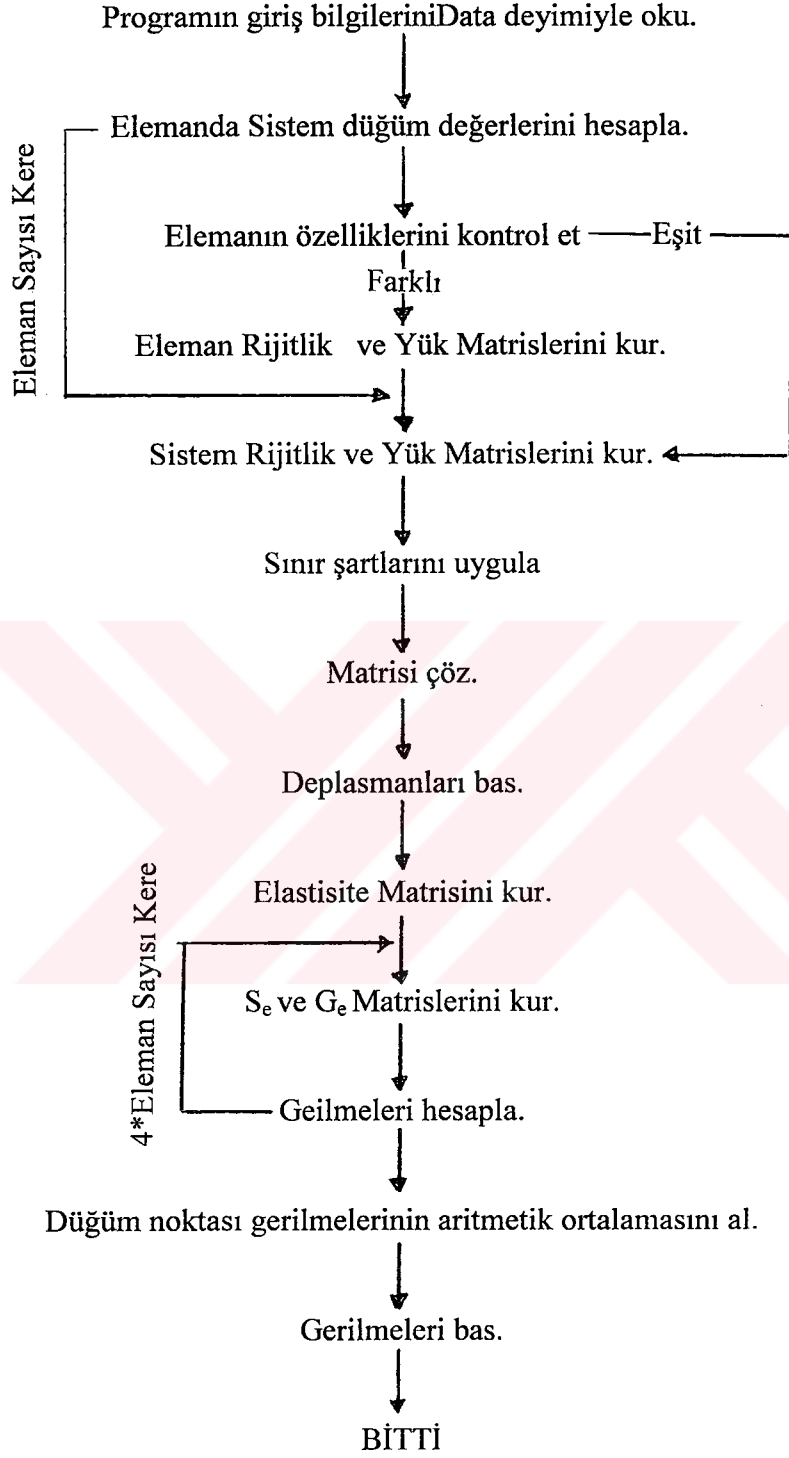
Her eleman köşesi için G_e ile eleman deplasmanlarını çarparak köşe gerilmelerini hesaplamata düğümde birleşen gerilmelerin aritmetik ortalamasını alarak düğüm noktasına M_x, M_y, M_{xy} , moment değerlerini yazmaktadır.

Plak çözümü için geliştirilen programın Datalar kısmı incelendiğinde görülebileceği üzere, program sabit kalınlıklı, düzgün, üçgen yayılı ve tekil yüklere maruz ve aynı yatak katsayısına sahip zemine oturan plakların yanında farklı kalınlıkta bölgesel düzgün yayılı, üçgen yayılı yüklere maruz, farklı yatak katsayısına sahip zeminlere oturan ince plaklarında çözümünü yapmaktadır.

Çizgisel yüklerde düğüm noktalarında tekil yükler gibi etkilerek gözönüne alınabilir.



İNCE PLAKLARIN ÇÖZÜMÜNÜ YAPAN PROGRAMIN AKIŞ DİYAGRAMI



KAYNAKLAR

Chen,W.F.,(1995), Civil Engineering Handbook, Florida

Cook, R.D.,(1994), Finite Element Modelling for Stress Analysis, New York

Crisfield, M.A.,Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, London

Köksal, T., (1995), Sonlu elemanlar metodu, Y.T.Ü yayınları, İstanbul

Özden, K., İnce Plaklar Teorisine Kısa Bir Bakış, (1975), İ.T.Ü yayınları, İstanbul

Zienkiewicz,O.C.,(1991), The Finite Element Method, California



```

! *****
! *
! *   BU PROGRAM O.EROL İNCE TARAFINDAN GELİŞTİRİLMİŞTİR *
! *
! *****
      DIMENSION KM(12,10),IM(12,10),ESM(12,10),M11(12),IDIZI(12)
      DIMENSION B1(10),C1(10),A2(10),B2(10),C2(10),A3(100),B3(100)
      DIMENSION ANTEG(144),KATSM(12,10),EZM(12,12),C3(100),A1(10)
      DATA A9,B9,YAKA/1,1,1/
      DATA M11 /10,6,6,7,4,3,5,2,2,7,3,4/
      DATA KM/ 0,1,2,2,3,3,0,0,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,2,3,1,2,3,0,&
0,0,0,0,0,1,1,2,3,0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0,0,1,2,3,0,0,0,0,&
0,0,2,3,1,1,1,0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,2,3,0,0,0,0,0,&
0,2,2,3,3,1,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,2,2,3,3,0,0,0,0,0/
      DATA IM /0,1,0,1,0,1,2,3,2,3,1,2,3,1,2,3,0,0,0,0,0,0,1,1,1,&
0,0,0,0,2,3,2,3,1,1,1,0,0,0,2,3,2,3,0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,&
0,0,1,1,1,2,3,0,0,0,0,2,3,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,0,0,0,&
0,1,0,1,1,2,3,0,0,0,1,2,3,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,0,0,0,0,0/
      DATA KATSM /1,-1,-3,3,2,-2,-3,2,3,-2,1,-2,1,-1,2,-1,0,0,0,-1,&
2,-1,1,-2,1,0,0,0,0,3,-2,-3,2,1,-3,2,0,0,0,-1,1,1,-1,0,0,0,0,&
0,-1,2,-1,0,0,0,0,0,0,3,-2,-1,3,-2,0,0,0,0,-1,1,0,0,0,0,0,&
0,0,0,1,-1,0,0,0,0,0,0,0,3,-3,-2,2,1,-3,2,0,0,0,1,-2,1,0,0,0,&
0,0,0,0,1,-1,-1,1,0,0,0,0,0/
      DO 100 I=1,12
      DO 100 J=1,10
      GO TO (440,460,480),I
440   ESM(I,J)=KATSM(I,J)
      GO TO 100
460   ESM(I,J)=KATSM(I,J)*B9
      GO TO 100
480   ESM(I,J)=KATSM(I,J)*A9
100   CONTINUE
      J2=0
      DO 110 L=1,12
      K1=0
      K2=M11(L)
      DO 120 J=I,K2
      K1=K1+1
      A1(K1)=KM(I,J)
      B1(K1)=IM(I,J)
      C1(K1)=ESM(I,J)
120   CONTINUE
      DO 130 I=1,12
      K4=M11(I)
      DO 135 J=I,K4
      A2(J)=KM(I,J)
      B2(J)=IM(I,J)
      C2(J)=ESM(I,J)
135   CONTINUE
      J1=0
      DO 140 K1=I,K2
      DO 140 J=I,K4
      J1=J1+1
      A3(J1)=A1(K1)+A2(J)+1
      B3(J1)=B1(K1)+B2(J)+1
      C3(J1)=C1(K1)+C2(J)
140   CONTINUE
      K5=K2*K4
      AN=0
      DO 150 J1=I,K5
      AN=AN+C3(J1)/(A3(J1)*B3(J1))
150   CONTINUE
      J2=J2+1

```

```

ANTEG(J2)=AN
130 CONTINUE
110 CONTINUE
    J2=0
    DO 160 I=1,12
    DO 160 J=1,12
    J2=J2+1
    EZM(I,J)=ANTEG(J2)*YAKA*A9*B9
160 CONTINUE
    DO 180 I=1,12
180 IDIZI(I)=I
    WRITE(6,900)
    WRITE(6,1000)(IDIZI(I),I=1,6)
    WRITE(6,1010)((EZM(I,J)      ,J=1,I),I=1,3)
    WRITE(6,1020)((EZM(I,J)      ,J=1,I),I=4,6)
    WRITE(6,1030) IDIZI(1),IDIZI(I)
    WRITE(6,1000)(IDIZI(1),I=1,6)
    WRITE(6,1050)((EZM(I,J)      ,J=1,6),I=7,9)
    WRITE(6,1050)((EZM(I,J)      ,J=1,6),I=10,12)
    WRITE(6,1030) IDIZI(2),IDIZI(1)
    WRITE(6,1000)(IDIZI(I),I=7,12)
    WRITE(6,1010)((EZM(I,J)      ,J=7,1),I=7,9)
    WRITE(6,1020)((EZM(I,J)      ,J=7,1),I=10,12)
    WRITE(6,1030) IDIZI(2),IDIZI(2)
900  FORMAT('1')
1000 FORMAT(/////4X,'1',6(6X,I2,5X,'1'),/4X,'+',6(I3,'-','+'))
1010  FORMAT(/1X      ,F9.5,' B ' &
        ,/1X      ,F9.5,' B ',F9.5,' B*B' &
        ,/1X      ,F9.5,' A ',F9.5,' A*B',F9.5,' A*A')
1020  FORMAT(/1X      ,F9.5,' ',F9.5,' B',F9.5,' A ' &
        ,F9.5,' ' &
        ,/1X      ,F9.5,' B ',F9.5,' B*B',F9.5,' A*B ' &
        ,F9.5,' B ',F9.5,' B*B' &
        ,/1X      ,F9.5,' A ',F9.5,' A*B',F9.5,' A*A ' &
        ,F9.5,' A ',F9.5,' A*B',F9.5,' A*A ')
1050  FORMAT(/1X      ,F9.5,' ',F9.5,' B',F9.5,' A ' &
        ,F9.5,' ',F9.5,' B',F9.5,' A ' &
        ,/1X      ,F9.5,' B ',F9.5,' B*B',F9.5,' A*B ' &
        ,F9.5,' A ',F9.5,' B*B',F9.5,' A*B ' &
        ,/1X      ,F9.5,' A ',F9.5,' A*B',F9.5,' A*A ' &
        ,F9.5,' A ',F9.5,' A*B',F9.5,' A*A ')
1030  FORMAT (/10X,ZK 'I1','-',I1,' *YATAK KATSAYISI*A*B',/10X &
        ,'ELASTIK ZEMINE OTURAN INCE PLAKLAR ICIN ZEMIN ELEMEN RIJITLIK MATRISI')
    STOP
    END PROGRAM

```

```

*****
!
! *
! *   BU PROGRAM O.EROL İNCE TARAFINDAN GELİŞTİRİLMİŞTİR *
! *
! ***** *F*
! ***** SONLU ELEMAN DEPLASMAN METODU *****
! **ELASTİK ZEMİNE OTURAN İNCE PLAKLARIN DİKDORTGEN SONLU ELEMANLAR**
! *KULLANARAK DUGUM NOKTASI DEPLASMANLARININ VE MOMENTLERİNİN HESABI*
! *****F*
! *****MATRIS VE DIZI BOYUTLARI*****
DIMENSION ABC(15,15,12),BAC(15,15,4,3),CBA(15,15,4,3)
DIMENSION H(3,3),SE(3,12),GE(3,12),SG(15,15,4,3),SF(15,15,4,3)
DIMENSION XBOY (16),DEP(16),KAR(16),G1(16),G2(16),G3(16)
DIMENSION YV(420),C(420),KF(420),SR(420,420),KE(120)
DIMENSION ER(12,12),DYY(12),UYU(12),A(12),MB(12),IFARU(120)
DIMENSION IFARX (120),IFARY(120),IFARZ(120),IFARS(120),&
IFARD(120)
! * DATA DIZILERI * HERDIZI BOYUTU İLGİLİ DATA SAYISINA ESİTTİR * *
DIMENSION XEN(1),YBOY(1),ZKAL(1),ZEYKS(1),TEYUK(8),DYYUK(1)
DIMENSION JFARX(1),JFARY(1),JFARZ(1),JFARS(1),UYUK(1)
DIMENSION JFARD(8),JFARD(1),JFARD(1),JSNIR(14),JFREL(1)
! ***PROGRAM GİRİŞ VERİLERİ***DATALAR***
! S:PLAĞIN YAPILDIĞI MALZEMENİN ELASTİSİTE MODULU.....TON/M**2
! V:PLAĞIN YAPILDIĞI MALZEMENİN POISSON ORANI
! DATA E/2100000./,V/.16667/
! N:PLAĞIN KISA KENARINDAKİ ELEMAN SAYISI.
! N1:PLAĞIN UZUN KENARINDAKİ ELEMAN SAYISI
! DATA N/5 /,N1/7/
! JFARX:X EKSENİNE PARALEL , FARKLI UZUNLUKTA , ELEMAN NUM. DİZİSİ
! DATA JFARX/1/
! XEN:JFARX DEKİ ELEMANLARIN X EKSENİNE PARALEL UZUNLUKLARI...METRE.
! DATA XEN/3.0/
! JFAR:Y EKSENİNE PARALEL , FARKLI UZUNLUKTA , ELEMAN NUM. DİZİSİ
! DATA JFARY/1/
! YBOY:JFARY DEKİ ELEMANLARIN Y EKSENİNE PARALEL UZUNLUKLARI...METRE.
! DATA YBOY/3.0/
! JFARZ:FARKLI KALINLIKTAKİ ELEMANLARI NUM DİZİSİ.
! DATA JFARZ/1/
! ZKAL:JFARZ DEKİ ELEMANLARIN KALINLIKLARI.
! DATA ZKAL/0.80/
! JFARS:ZEMİN YATAK KATSAYISI FARKLI ELEMAN NUM.DİZİSİ.
! DATA JFARS /1/
! ZEYKS:JFARSTAKİ ELEMANLARIN ZEMİN YATAK KATSAYILARI.....TON/M**3
! DATA ZEYKS/2000.0/
! JFART:TEKİL YÜKLERLE ÇAKISAN DEPLASMAN NUM.DİZİSİ...
! DATA JFART/4,13,40,49,76,85,112,121/
! TEYUK:JFART' TAKİ SIRAYLA TEKİL YÜK DEĞERLERİ DİZİSİ.....TON...
! DATA TEYUK/-100.,-70.,-200.,-140.,-210.,-150.,-180.,-130/
! JFARD: FARKLI DÜZGÜN YAYILI YÜKLU ELEMAN NUM. DİZİSİ.
! DATA JFARD/1/
! DYYUK:JFARD'DEKİ ELEMANLARIN DÜZ. YAYILI YÜK DEĞERLERİ.TON/M**2
! DATA DYYUK/0.0/
! JFARJ:FARKLI ÜÇGEN YAYILI YÜKLU ELEMAN NUM.DİZİSİ.
! DATA JFARU/1/
! UYYUK:JFARU'DEKİ ELEMANLARIN ÜÇGEN YAYILI YÜK DEĞERLERİ...TON/M**2
! DATA UYYUK/0.0/
! JSNIR:SIFIR OLAN DEPLASMAN NUMARALARI DİZİSİ
! DATA JSNIR/2,3,6,9,12,15,18,20,38,56,74,92,110,128/
! JFREL:ENİ BOYU VEYA YÜKSEKLİĞİ FARKLI ELEMAN NUM.DİZİSİ.
! DATA JFREL/1/
! MFX:JFARX DİZİSİNİN BOYUTU MFY:JFARY DİZİSİNİN BOYUTU
! MFZ:JFARZ DİZİSİNİN BOYUTU MFS:JFARS DİZİSİNİN BOYUTU
! MFT:JFART DİZİSİNİN BOYUTU MFD:JFARD DİZİSİNİN BOYUTU

```

```

! MFU:JFARU DIZISININ BOYUTU           MFS:JSNIR DIZISININ BOYUTU
! MFF:JFARL DIZISININ BOYUTU
DATA MFX/ 1 /,MFY/ 1 /,MFZ/ 1 /,MFS/ 1 /
DATA MFT/ 3 /,MFD/ 1 /,MFU/ 1 /,MSS/ 14 /,MFE/ 1 /
! PROGRAMDA GECEN SABITLER VE SAYACLAR BASLANGIC DEGERLERI.
DATA IL2,IR2,JA,JJ2,JJ3,JJ4,JK2,KKK,KSA/9*0/
DATA IL1,IL3,IR1,JJ1,AK1,AK2,PT,Z/-2,3,1,1.,0,1.,0,1./
DATA JJ5,JJ6,JJ7,JJ8,JJ9,JJ10,JJ11,JJ12/8*0/
WRITE(6,4000)
WRITE(6,3100)N,N1,E,V
WRITE(6,3200)( XEN(I1),I1=1,MFX)
WRITE(6,3300)( YBOY(I2),I2=1,MFY)
WRITE(6,3400)( ZKAL(I3),I3=1,MFZ)
WRITE(6,3500)( ZEYKS(I4),I4=1,MFS)
WRITE(6,3600)( JFART(I5),I5=1,MFT)
WRITE(6,3700)( TEYUK(I1),I1=1,MFT)
WRITE(6,3800)( DYYUK(I2),I2=1,MFD)
WRITE(6,3900)( DYYUK(I3),I3=1,MFU)
WRITE(6,3950)( JSNIR(I4),I4=1,MSS)
WRITE(6,3960)( JFREL(I5),I5=1,MFE)
IP1=N1+1
IBS=(N+1)*(N1+1)*3
M=N1*N
IEZ=M+N1-1
IS=N+1
IP=IS
DO 88 I=1,IBS
IF(I.LT.(M+1)) KE(I)=0
IF(I.LT.(M+1)) IFARZ(I)=0
IF(I.LT.(M+1)) IFARS(I)=0
IF(I.LT.(M+1)) IFARD(I)=0
IF(I.LT.(M+1)) IFARU(I)=0
IF(I.LT.(M+1)) IFARX(I)=0
IF(I.LT.(M+1)) IFARY(I)=0
YV(I)=0.0
C(I)=0.0
KF(I)=0
DO 88 J=1,IBS
88 SR(I,J)=0.0
! ***KONTROL DIZILERININ OLUSTURULMASI***
DO 801 I=1,N1
DO 802 J=1,MFY
802 IFARY(JFARY(J))=JFARY(J)
DO 803 J=1,MFY
803 JFARY(J)=JFARY(J)+N
801 CONTINUE
DO 804 I=1,MFX
804 IFARX(JFARX(I))=JFARX(I)
DO 805 I=1,MFZ
805 IFARZ(JFARZ(I))=JFARZ(I)
DO 806 I=1,MFS
806 IFARS(JFARS(I))=JFARS(I)
DO 807 I=1,MFD
807 IFARD(JFARD(I))=JFARD(I)
DO 808 I=1,MFU
808 IFARU(JFARU(I))=JFARU(I)
DO 809 I=1,MFT
809 YV(JFART(I))=TEYUK(I)
DO 810 I=1,MSS
810 KF(JSNIR(I))=JSNIR(I)
DO 811 I=1,MFE
811 KE(JFREL(I))=JFREL(I)
! *PLAKLARIN KISA KENARI Y EKSENI ILE CAKISTIRILARAK VE KISA KENAR*

```


! ELEMEN RIJITLIK MATRISININ OLUSTURULMASI.

$$D1=E*P*P*P/((1.-V*V)*12.)$$

$$A3=(1.-V)/5.$$

$$A1=4.*A3/3.$$

$$A4=(1.+4.*V)/5.$$

$$A2=A3/3$$

$$A5=(14.-4.*V)/5.$$

$$B=B9/A9$$

$$B3=B*B$$

$$B4=1./B3$$

$$B1=4.*(B3+B4)$$

$$B2=2.*(B3-2*B4)$$

$$B5=2.*(2.*B3-B4)$$

$$F1=A9*A9$$

$$F2=B9*B9$$

$$F3=A9*B9$$

$$Y=YKS*F3$$

$$D=D1/F3$$

R

$$ER(1,1)=D*(B1+A5)+.137064*Y$$

$$ER(1,2)=B9*((2.*B4+A4)*D+.0182936*Y)$$

$$ER(1,3)=-A9*((2.*33+A4)*D+.0182936*Y)$$

$$ER(1,4)=(B2-A5)*D+.0486509*Y$$

$$ER(1,5)=B9*((2.*34+A3)*D-.010873*Y)$$

$$ER(1,6)=A9*((A4-B3)*D-.0078968*Y)$$

$$ER(1,7)=(A5-B1/2.)*D+.015635*Y$$

$$ER(1,8)=B9*((B4-A3)*D-.0046031*Y)$$

$$ER(1,9)=A9*((A3-B3)*D-.0078968*Y)$$

$$ER(1,10)=.048508*Y-(A5+B5)*D$$

$$ER(1,11)=B9*((B4-A4)*D-.0078968*Y)$$

$$ER(1,12)=A9*((.010873*Y-(2.*B3+A3)*D))$$

E

$$ER(2,2)=F2*((4.*B4/3.+A1)*D+.0031746*Y)$$

$$ER(2,3)=-F3*(V*D+.0025*V)$$

$$ER(2,4)=B9*(.010873*Y-(2.*B4+A3)*D)$$

$$ER(2,5)=F2*((2.*B4/3.-A2)*D-.0023809*Y)$$

$$ER(2,6)=-.0016667*Y*F3$$

$$ER(2,7)=B9*((A3-B4)*D+.0046031*Y)$$

$$ER(2,8)=F2*((B4/3.+A2)*D-.0011904*Y)$$

$$ER(2,9)=.001111*Y*F3$$

$$ER(2,10)=B9*((B4-A4)*D+.0078968*Y)$$

$$ER(2,11)=F2*((2.*B4/3.-A1)*D+.0015872*Y)$$

$$ER(2,12)=-ER(2,6)$$

T

$$ER(3,3)=F1*((4.*33/3.+A1)*D+.0031746*Y)$$

$$ER(3,4)=A9*((A4-B3)*D-.0078968*Y)$$

$$ER(3,5)=ER(2,12)$$

$$ER(3,6)=F1*((2.*B3/3.-A1)*D+.0015872*Y)$$

$$R(3,7)=A9*((B3-A3)*D-.0046031*Y)$$

$$ER(3,8)=ER(2,9)$$

$$ER(3,9)=F1*((B3/3.+A2)*D-.0011904*Y)$$

$$ER(3,10)=A9*((2.*B3+A3)*D-.010873*Y)$$

$$ER(3,11)=ER(2,6)$$

$$ER(3,12)=F1*((2.*B3/3.-A2)*D-.0023809*Y)$$

T

$$ER(4,4)=D*(B1+A5)+.137064*Y$$

$$ER(4,5)=-B9*((2.*B4+A4)*D+.0182936*Y)$$

$$ER(4,6)=-A9*((2.*B3+A4)*D+.0182936*Y)$$

$$ER(4,7)=.0456408*Y-(B5+A5)*D$$

$$ER(4,8)=B9*((A4-B4)*D-.0078968*Y)$$

$$ER(4,9)=A9*(.010873*Y-(2.*B3+A3)*D)$$

$$ER(4,10)=(A5-B1/2.)*D+.0156349*Y$$

$$ER(4,11)=B9*((A3-B4)*D+.0046031*Y)$$

```

ER(4,12)=A9*((A3-B3)*D+.0046031*Y)
*****
! ***** *I*
ER(5,5)=F2*((A1+4.*B4/3.)*D+.0031786*Y)
ER(5,6)=F3*(V*D+.0025*Y)
ER(5,7)=B9*((A4-B4)*D-.0078968*Y)
ER(5,8)=F2*((2.*B4/3.-A1)*D+.0015873*Y)
ER(5,9)=ER(2,6)
ER(5,10)=B9*((B4-A3)*D-.0046031*Y)
ER(5,11)=F2*((A2+B4/3.)*D-.0011904*Y)
ER(5,12)=-ER(3,8)
! ***** *N*
ER(6,6)=F1*((A1+B3*4./3.)*D+.0031786*Y)
ER(6,7)=A9*((2.*B3+A3)*D-.010858*Y)
ER(6,8)=-ER(2,6)
ER(6,9)=F1*((2.*B3/3.-A2)*D-.0023809*Y)
ER(6,10)=A9*((B3-A3)*D-.0046031*Y)
ER(6,11)=-ER(3,8)
ER(6,12)=F1*((B3/3.+A2)*D-.0011904*Y)
! ***** **
ER(7,7)=D*(B1+A5)+.137064*Y
ER(7,8)=-B9*((2.*B4+A4)*D+.0182936*Y)
ER(7,9)=A9*((2.*B3+A4)*D+.0182936*Y)
ER(7,10)=D*(B2-A5)+.0486408*Y
ER(7,11)=B9*(.010873*Y-(2.*B4+A3)*D)
ER(7,12)=A9*((B3-A4)*D+.0078968*Y)
! ***** *O*
ER(8,8)=((A1+4.*B4/3.)*D+.0031746*Y)*F2
ER(8,9)=-F3*(V*D+.0025*Y)
ER(8,10)=B9*((2.*B4+A3)*D-.010873*Y)
ER(8,11)=F2*((2.*B4/3.-A2)*D-.0031746*Y)
ER(8,12)=-ER(3,5)
! ***** *Z*
ER(9,9)=F1*((A1+4.*B3/3.)*D+.0031746*Y)
ER(9,10)=A9*((B3-A4)*D+.0078968*Y)
ER(9,11)=ER(3,5)
ER(9,12)=F1*((2.*B3/3.-A1)*D+.0015872*Y)
! ***** *D*
ER(10,10)=(B1+A5)*D+.1370635*Y
ER(10,11)=B9*((2.*B4+A4)*D+.0182936*Y)
ER(10,12)=ER(7,9)
! ***** *E*
ER(11,11)=F2*((4.*B4/3.+A1)*D+.00031746*Y)
ER(11,12)=F3*(V*D+.0025*Y)
! ***** *M*
ER(12,12)=F1*((4.*B3/3.+A1)*D+.0031746*Y)
! ***** *I*
DO 306 K=1,12
DO 306 L=1,12
IF(K.EQ.L) GO TO 306
ER(L,K)=ER(K,L)
306 CONTINUE
! ***** *R*
DUZGUN YAYILI YUK VEKTORU...ELEMEN DUGUM ETKI MATRISI.
DYY(1)=DUZYA*F3/4.
DYY(2)=DUZYA*F3*B9/24.
DYY(3)=DUZYA*F3*A9*(-1)/24
DYY(4)=DYY(1)
DYY(5)=-DYY(2)
DYY(6)=DYY(3)
DYY(7)=DYY(1)
DYY(8)=DYY(5)
DYY(9)=-DYY(6)
DYY(10)=DYY(1)

```

```

DYY(11)=DYY(2)
DYY(12)=DYY(9)
*****
!
! UCGEN YAYILI YUK VEKTORU...ELEMEN DUGUM ETKI MATRISI.
184 IF((I-IR2*IP).NE.1) GO TO 185
XBOY(1)=0.0
KAN=IR1
XBOY(KAN+1)=XBOY(KAN)+A9
185 GAMAX=F3*GAMA
UYY(1)=GAMAX*(XBOY(KAN)/4.+A9*3./40.)
UYY(2)=GAMAX*(XBOY(KAN)/24.+A9/72.)*B9
UYY(3)=GAMAX*(XBOY(KAN)/24.+A9/60.)*A9
UYY(4)=UYY(1)
UYY(5)=-UYY(2)
UYY(6)=UYY(3)
UYY(7)=GAMAX*(XBOY(KAN)/4.+A9*7./40.)
UYY(8)=-GAMAX*(XBOY(KAN)/24.+A9/36.)*B9
UYY(9)=GAMAX*(XBOY(KAN)/24.+A9/40.)*A9
UYY(10)=UYY(7)
UYY(11)=-UYY(8)
UYY(12)=UYY(9)
*****
!
! SISTEM RIJITLIK MATRISI VE SISTEM YUK MATRISININ OLUSTURULMASI.
*****
!
500 DO 107 K=1,12
KL=A(K)
C(KL)=C(KL)+DYY(K)+UYY(K)
DO 108 L=1,12
KR=MB(L)
SR(KL,KR)=SR(KL,KR)+ER(K,L)
108 CONTINUE
107 CONTINUE
GO TO 103
109 IS=IS+P
IR1=IR1+1
IR2=IR2+1
103 CONTINUE
!
***SISTEMRIJITLIK MATRISINE SINIR SARTLARIN UYGULANMASI***
WRITE(6,4000)
DO 188 I=1,IBS
188 YV(I)=YV(I)+C(I)
WRITE(6,3000)
WRITE(6,2020)(YV(I),I=1,IBS)
WRITE(6,3000)
DO 110 I=1,IBS
DO 110 J=1,IBS
IF(KF(I).EQ.J) GO TO 111
IF(KF(J).NE.J) GO TO 110
111 SR(I,J)=0.0
IF(I.EQ.J)SR(I,J)=1.0
IF(I.EQ.KF(I)) YV(I)=0.0
110 CONTINUE
*****
!
! SISTEM RIJITLIK MMATRISLERININ COZUMU
! UCGENLESTIRME.....
KK=IBS
NM1=KK-1
DO 114 K=1,NM1
KP1=K+1
DO 714 I=KP1,KK
R=SR(I,K)/SR(K,K)
YV(I)=YV(I)-P*YV(K)
DO 814 J=KP1,KK

```

```

814 SR(I,J)=SR(I,J)-P*SR(K,J)
714 CONTINUE
114 CONTINUE
! GERIYE DOGRU COZUMU BULMA.
YV(KK)=YV(KK)/SR(KK,KK)
DO 115 K=2, KK
I=KK-K+1
IPI=I+1
B=0.0
DO 116 J=IPI, KK
16 B=B+SR(I,J)*YV(J)
115 YV(I)=(YV(I)-B)/SR(I,I)
! *****
DO 117 I=1, IBS
117 C(I)=YV(I)
WRITE(6,4000)
WRITE(6,1005)
IT1=0
DO 119 I=1, IP1
IL1=IL1+IL2
IL2=(N+1)*3*1
180 J=IL1
120 J=J+IL3
IT1=IT1+1
DEP(IT1)=C(J)
IF(J.EQ.(IL2-2)) GO TO 121
IF(J.EQ.IL2) GO TO 181
IF(J.EQ.(IL2-1)) GO TO 122
GO TO 120
122 IL1=IL1+1
WRITE(6,1008)(DEP(IT1),IT1=1,IP)
IT1=0
GO TO 180
121 IL1=IL1+1
WRITE(6,1009)(DEP(IT1),IT1=1,IP)
IT1=0
GO TO 180
181 IL1=-2
WRITE(6,1007)(DEP(IT1),IT1=1,IP)
IT1=0
WRITE(6,3000)
119 CONTINUE
! ELASTISITE MATRISI.
H(1,1)=1.
H(1,2)=V
H(1,3)=0.0
H(2,1)=V
H(2,2)=1
H(2,3)=0
H(3,1)=0.0
H(3,2)=0.0
H(3,3)=(1.-V)/2
! GERILMELER.
210 JJ2=JJ2+1
IF(JJ2.NE.IFARX(JJ2)) GO TO 171
JJ10=JJ10+1
A9=XEN(JJ10)
171 IF(JJ2.NE.IFARY(JJ2)) GO TO 172
JJ11=JJ11+1
B9=YBOY(JJ11)
IF(MFY.EQ.JJ11) JJ11=0
172 IF(JJ2.NE.IFARZ(JJ2)) GO TO 200
JJ12=JJ12+1

```

M

```

P=ZKAL(JJ12)
DI=E*P*P*P/((1.-V*V)*12.)
200 AK=AK1
AI=AK1
GO TO 204
201 AK=AK1
AI=AK2
GO TO 204
202 AK=AK2
AI=AK2
GO TO 204
203 AK=AK2
AI=AK1
204 C1=2.*Z/A9
C2=6.*Z/(A9*A9)
C3=2.*Z/B9
C4=6.*Z/(B9*B9)
C5=2.*Z/A9
C6=2.*Z/B9
C7=2.*Z/(A9*B9)
A1=1.-AK
A2=1.-2.*AK
A3=1.-3.*AK
A4=2.-3*AK
A5=1.-4.*AK+3.*AK*AK
B1=1.-AI
B2=1.-2.*AI
B3=1.-3.*AI
B4=2.-3.*AI
B5=1.-4.*AI+3.*AI*AI
*****
SE(1,1)=A2*B1*C2
SE(1,2)=0.0
SE(1,3)=-A4*B1*C1
SE(1,4)=A2*AI*C2
SE(1,5)=0.0
SE(1,6)=-A4*AI*C1
SE(1,7)=-A2*AI*C2
SE(1,8)=0.0
SE(1,9)=-A3*AI*C1
SE(1,10)=-A2*B1*C2
SE(1,11)=0.0
SE(1,12)=-A3*B1*C1
*****
SE(2,1)=A1*B2*C4
SE(2,2)=A1*B4*C3
SE(2,3)=0.0
SE(2,4)=-A1*B2*C4
SE(2,5)=A1*B3*C3
SE(2,6)=0.0
SE(2,7)=-AK*B2*C4
SE(2,8)=AK*B3*C3
SE(2,9)=0.0
SE(2,10)=AK*B2*C4
SE(2,11)=AK*B4*C3
SE(2,12)=0.0
*****
SE(3,1)=(1.-6.*AK*A1-6.*AI*B1)*C7
SE(3,2)=B5*C5
SE(3,3)=-A5*C6
SE(3,4)=-SE(3,1)
SE(3,5)=-AI*B4*C5
SE(3,6)=A5*C6

```

**

F

E

```

SE(3,7)=SE(3,1)
SE(3,8)=-SE(3,5)
SE(3,9)=-AK*A4*C6
SE(3,10)=SE(3,4)
SE(3,11)=-SE(3,2)
SE(3,12)=-SE(3,9)
*****

```

M

```

JK2=JK2+1
DO 130 M=1,3
DO 130 L=1,12
GE(M,L)=0.0
DO 130 K=1,3
130 GE(M,L)=GE(M,L)+H(M,K)*SE(K,L)
IF(JJ1.EQ.1) GO TO 141
IF(JJ1.EQ.KE(JJ1).AND.I1.EQ.0) GO TO 484
141 IF(JK2.NE.1) GO TO 486
I=0
I1=0
J=0
605 I=I+1
601 J=J+1
602 I1=I1+1
DO 137 J1=1,3
SG(I,J,I1,J1)=0.0
DO 137 K=1,12
137 SG(I,J,I1,J1)=SG(I,J,I1,J1)+D1*GE(J1,K)*C(ABC(I,J,K))
IF(JJ1.EQ.KE(JJ1)) WRITE(6,2035)I,J,I1,((GE(M,L),L=1,12),M=1,3)
IF(I1.EQ.1) GO TO 201
IF(I1.EQ.2) GO TO 202
IF(I1.EQ.3) GO TO 203
IF(I1.EQ.4) GO TO 200
486 IF(I1.LT.4) GO TO 602
I1=0
JJ1=JJ1+1
IF(JJ1.EQ.((N*N1)+1)) GO TO 484
IF(JJ1.EQ.KF(JJ1)) GO TO 210
484 IF(J.LT.N) GO TO 601
J=0
IF(I.LT.N1) GO TO 605
I=0

```

**

```

!
!
BIR DUGUMDE BIRLESEN ELEMEN KOSE GERILMELERINI TOPLAR VE ORTALAMASINI
ALARAK DUGUM NOKTASI GERILMELERINI HESAPLAR

```

```

WRITE(6,4000)
WRITE(6,1010)
DO 400 I=1,N1
DO 415 J=1,N
DO 416 K=1,4
DO 417 L=1,3
SF (I,J,K,L)=0.0
PT=0
DO 615 K1=1,N1
DO 616 L1=1,N
DO 617 M=1,4
DO 600 M1=1,3
IF(BAC(I,J,K,L).NE.CBA(K1,L1,M,M1)) GO TO 600
SF(I,J,K,L)=SF(I,J,K,L)+SG(K1,L1,M,M1)
PT=PT+1
600 CONTINUE
617 CONTINUE
616 CONTINUE
615 CONTINUE
SF (I,J,K,L)=SF (I,J,K,L)/PT

```

417 CONTINUE
 416 CONTINUE
 415 CONTINUE
 400 CONTINUE

**

DO 402 I=1,IP
 402 KAR(I)=I
 WRITE(6,1013)(KAR(I),I=1,IP)
 IZ2=IP
 DO 408 I=1,N1
 L=0
 DO 410 J=1,N
 KLM=1
 IF(J.EQ.N) KLM=2
 DO 410 K=1,KLM
 L=L+1
 G1(L)=SF (I,J,K,1)
 G1(L)=SF (I,J,K,2)
 G1(L)=SF (I,J,K,3)
 410 CONTINUE
 WRITE(6,1015)(G1(M),M=1,IP)
 WRITE(6,1016)(G2(M),M=1,IP)
 WRITE(6,1017)(G3(M),M=1,IP)
 DO 403 IZ1=1,IP
 IZ2=IZ2+1
 403 KAR(IZ1)=IZ2
 WRITE(6,1013)(KAR(IZ1),IZ1=1,IP)
 KKK=KKK+1
 IF(KKK.NE.N1) GO TO 408
 L=0
 DO 411 J=1,N
 KLM=1
 IF(J.EQ.N) KLM=2
 DO 411 KC=1,KLM
 L=L+1
 K=5-KC
 G1(L)=SF(I,J,K,1)
 G2(L)=SF(I,J,K,2)
 G3(L)=SF(I,J,K,3)
 411 CONTINUE
 WRITE(6,1015)(G1(M),M=1,IP)
 WRITE(6,1016)(G2(M),M=1,IP)
 WRITE(6,1017)(G3(M),M=1,IP)
 408 CONTINUE
 GO TO 5000

*****FORMATLAR*****

1000 FORMAT(15X,'ELEMEN DUGUM DEGERLERI',/,14X,'1',4X,'2',&
 4X,'3',4X,'4',4X,'5',4X,'6', 4X,'7',4X,'8',4X,'9',3X,'10',&
 3X,'11',3X,'12',/)
 1001 FORMAT(1X,'ELEMEN NO',5X,'SISTEM DUGUM DEGERLERI')
 1002 FORMAT(4X,I3,3X,12I5)
 1005 FORMAT(10X,'DUGUM NOKTASI DEPLASMANLARI',/)
 1007 FORMAT(1X,'OY',5X,10F11.6,/)
 1008 FORMAT(1X,'OX',4X,10F11.6)
 1009 FORMAT(1X,'W',5X,10F11.6,/)
 1010 FORMAT(/,1X,'DUGUM NOKTALARI MOMENT DEGERLERI',/)
 1013 FORMAT(1X,'DUGUM NO',8X,I3.16,('----',I3))
 1015 FORMAT(1X,'MX',2X,'TON*M/M',1X,17F7.1)
 1016 FORMAT(1X,'MY',2X,'TON*M/M',1X,17F7.1)
 1017 FORMAT(1X,'MXY',1X,'TON*M/M',1X,17F7.1)
 4000 FORMAT('1',///,4X,10('*'),1X'E.INCE.',1X,75('*'),/)
 2020 FORMAT(/,5X,'SISTEM DUGUM ETKI VEKTORU',/,50(/.1X,8F11.5))
 2035 FORMAT(1X,'DEGISIK ELEMEN KOSELERINDE GE GERILME MATRISLERI',&

```
2X,'I=',I2,3X,'J=',I2,3X,'I1=',I2,3(/,1X,12F8.4),/)
2222 FORMAT(1X,'ELEMEN NO SISTEM DUGUM DEGERLERI')
3000 FORMAT(/)
3100 FORMAT(5X,'PROBLEM: ',/,10X,'VERILER : ',/,19X,&
'N=',I2,10X,'N1=',I2,10X,'E=',F9.1,' TON/M**2',10X,'V=',F9.7,/)
3200 FORMAT(19X,'XEN DIZISI : ',9(6(F4.2,' M '),/,33X))
3300 FORMAT(19X,'YBOY DIZISI : ',9(6(F4.2,' M '),/,33X))
3400 FORMAT(19X,'ZKAL DIZISI : ',9(6(F4.2,' M '),/,33X))
3500 FORMAT(19X,'ZEYKS DIZISI : ',9(6(F7.1,'T/M**3'),/,33X))
3600 FORMAT(19X,'JFART DIZISI : ',9(8(I4,4X),/,33X))
3700 FORMAT(19X,'TEYUK DIZISI : ',9(8(F5.1,'TON'),/,33X))
3800 FORMAT(19X,'DYUYUK DIZISI : ',9(6(F5.2,'T/M**2'),/,33X))
3900 FORMAT(19X,'UYUYUK DIZISI : ',9(6(F5.2,'T/M**2'),/,33X))
3950 FORMAT(19X,'JSNIR DIZISI : ',9(8(I4,4X),/,33X))
3960 FORMAT(19X,'JFREL DIZISI : ',9(6(I4,4X),/,33X))
3970 FORMAT('1',///,4X,100('*'),//,4X,5('****COZUM****'))
5000 STOP
END PROGRAM
```



ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında İstanbulda doğdum. İlk, orta ve lise tahsilimi İstanbulda tamamladıktan sonra girdiğim Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 1995 yılında mezun oldum. Mezun olduktan sonra çeşitli şantiyelerde İnşaat Mühendisi olarak görev yaptım. 1997 yılında Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım. Halen aynı üniversitenin kadrosunda görevliyim. Evliyim ve bir kız çocuk babasıyım.

