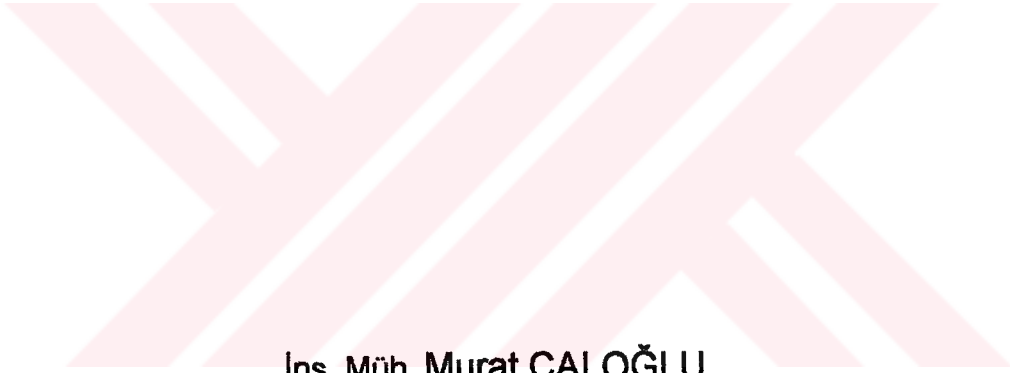


47064

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENTİTÜSÜ

ELASTİK ZEMİNE OTURAN İNCE PLAKLARIN
STABİLİTESİNİN SONLU ELEMANLAR
METODU İLE ÇÖZÜMÜ



İnş. Müh. Murat ÇALOĞLU

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Türkan KÖKSAL

İSTANBUL , 1995

İÇİNDEKİLER

SEMBOL LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VI
TEŞEKKÜR	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Sonlu Elemanlar Metodu	1
1.2. İnce Plakların Tanımı ve Yapılan Kabuller	2
1.2.1. Varsayımlar	3
1.2.1.1. Geometrik Yönden	3
1.2.1.2. Malzeme Yönünden	3
1.2.1.3. Hesapları Basitleştirme Yönünden	4
1.2.2. Diferansiyel Geometri	4
1.2.3. Gerilme-Deformasyon Bileşenleri Arasındaki Bağlılıklar	6
1.2.4. Gerilme-Deplasman Bileşenleri Arasındaki Bağlılıklar	7
2. POTANSİYEL ENERJİ PRENSİBİ	8
2.1. Toplam Potansiyel Enerji Denklemi	8
2.1.1. Şekil Değiştirme Enerjisinin Hesabı	8
2.1.2. Dış Kuvvetlerin İşinin Hesabı	8
2.2 Minimum Potansiyel Enerji Kriteri	9
2.2.1. Membran Şekil Değiştirme Enerjisinin İkinci Varyasyonu	9
2.2.2. Eğilme Şekil Değiştirme Enerjisinin İkinci Varyasyonu	10
2.2.3. Dış Kuvvetlerin İşinin İkinci Varyasyonu	11
2.2.4. Toplam Potansiyel Enerjinin İkinci Varyasyonu	11
2.2.5. Elastik Zeminin Toplam Potansiyel Enerji Denklemine Etkisi	11
3. İNCE PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR METODU İLE STABİLİTE HESABI	13
3.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Adımları	13

3.2. Bağ Matrisinin Bulunması	13
3.2.1. Bağ Matrisinin İnversi	15
3.3. Şekil Fonksiyonlarının Bulunması	15
3.4. Eleman Rijitlik Matrisinin Oluşturulması	16
3.5. Eleman Zemin Etki Matrisinin Oluşturulması	19
3.6. Eleman Geometrik Yük Matrisinin Oluşturulması	22
3.6.1. Mambran Kesit Tesirleri	22
3.7. Elemandan Siteme Geçiş	25
3.8. Sınır ve Mesnet Şartları	26
4. ÇÖZÜMLÜ ÖRNEKLER	28
5. TARTIŞMALAR VE SONUÇLAR	33
KAYNAKLAR	34
EK1	35
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

$a(m)$	:Sonlu elemana bölünmüş plağın x doğrultusundaki boyu
$b(m)$	:Sonlu elemana bölünmüş plağın y doğrultusundaki boyu
$E(kN/m^2)$	:Elastisite Modülü
$h(m)$	:Plak Kalınlığı
$K(kN/m^3)$	:Zemin yata katsayısı
$K_i(kN/m^3)$	:Zeminin i elemanına etkiyen zemin yatak katsayısı
$l_x(m)$	: Plağın x doğrultusundaki boyu
$l_y(m)$	:Plağın y doğrultusundaki boyu
$N_x, N_y, N_{xy}(kN/m)$	:Mambran kesit tesirleri
$P_x(kN)$	:x doğrultusundaki stabilite yükü
$P_y(kN)$	:y doğrultusundaki stabilite yükü
$q_i(kN)$	:i. noktada zemin eksikliğinden oluşan dış yük
$u(kNm)$	:Şekil değiştirme enerjisi
$u_b(kNm)$	:Eğilme şekil değiştirme enerjisi
$u_m(kNm)$	:Mambran şekil değiştirme enerjisi
u, v, w	:Yer değiştirmeler
$V(kNm)$	:Toplam potansiyel enerji
x, y, z	:Kartezyen koordinatlar
θ_x	:x doğrultusundaki dönme
θ_y	:y doğrultusundaki dönme
γ_{xy}	:Kayma deformasyonu
δ	:Varyasyon sembolü
$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$	:Birim deformasyon bileşenleri
ν	:poisson oranı
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z(kN/m^2)$	:Normal gerilme bileşenleri
$\tau_{xy}(kN/m^2)$	:Kayma gerilmesi
$\Omega(kN/m)$	:Dış kuvvetlerin işi
ξ, η, z	:Yerel koordinatlar

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Plak koordinat eksenleri ve deplasmanlar	2
Şekil 1.2. Deformasyon önce ve sonra plak elemanı	5
Şekil 3.1. Dikdörtgen plak elemanı ve deplasmanların gösterimi	13
Şekil 3.2. Plakta mambran tasirlerinin gösterimi	22



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Bağ matrisi	14
Tablo 3.2. Bağ matrisinin inversi	15
Tablo 3.3. Şekil fonksiyonları matrisi	15
Tablo 3.4. $[F]^T$ matrisi	17
Tablo 3.5. Eleman rijitlik matrisi	18
Tablo 3.6. Eleman zemin etki matrisi	21
Tablo 3.7. Eleman geometrik yük matrisi	24
Tablo 3.8. Örnek sistem rijitlik matrisi	27



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın,yönlendirilmesi ve oluşturulmasında göstermiş olduğu tolerans ve yardımlarından dolayı Sayın Doç.Dr.Türkan Köksal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Murat Çaloğlu



ÖZET

Plaklarda dış yükler orta düzlemin içinde etkiyorsa stabilite problemleri önem kazanır. Bu tür taşıyıcı elemanlara levha denir.

Günümüzde plaklar; bina döşemelerinde, betonarme yüksek yapı temellerinde, elastik zemine oturan yapı temellerinde, su depolarında, betonarme istinat duvarlarında, ankrajlı betonarme perdelerde, limanlarda, stok sahalarında, hava limanlarında, baca temellerinde, silo temellerinde ve köprülerde kullanılan taşıyıcı elemanlardır.

Zemin etkilerine maruz olmayan plakların stabilitesi için bir hayli çözüm elde edilmiş ve bu çözümler tablo ve abaklar halinde pratik olarak kullanılacak hale getirilmiştir.

Bu tablo ve abaklar Rayleigh ve Ritz metodları yardımıyla elde edilen çözümlerdir.

Bu çalışmada, dikdörtgen sonlu elemanları için çıkarılmış şekil fonksiyonları kullanılarak elastik zemine oturan ince plakların stabilitesinin çözümü yapılmıştır.

Zemin etkileri yatak katsayısı ile göz önüne alınmış ve eleman zemin etki matrisi adı altında tablo halinde verilmiştir.

Sonlu elemanlar metodu ile elastik zemine oturan ince plakların stabilitesinin çözümünü yapan bilgisayar programı geliştirilmiş ve bazı örnek çözümlerle çalışmasının sonuna eklemiştir.

ABSTRACT

For plates,if the external loads effect through the middle of the plane, the stability problems would be important.This kind of carrier elements are called shield.

Plates are using in;Building floors,reinforced concrete high structure foundations,structure foundations heap up to the elastic ground,water tank,reinforced concrete retainig walls,seaports,airports,silo foundations,and bridges.

There are many solutions found for the plates stability which aren't have ground effects.The tables and abacs are made to use these solutions pratically.The Rayleigh and Ritz methods are used to obtain these solutions.

In this study, the solution of thin plates stability heap up to the elastic ground is found by using the rectangular finite elments.

The element ground effect matrice is obtained as a table form ground effects.

The computer programm is developed for the solution of this thin plates stability heap up to the elastic ground and some sample solutions are added to the end of study.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada elastik zemine oturan ince plakların stabilite hesabı yapılmıştır.

Çözüm yöntemi olarak sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Bu bölümde sonlu elemanlar metodunun özellikleri ile plakların tanımı ve yapılan kabuller anlatılmıştır.

Elemana etkiyen zemin etkileri de göz önüne alınmıştır. Bu etkiler stabilite yükünü arttırmaktadır.

Günümüzde plaklar ; bina döşemelerinde, betonarme yüksek yapı temellerinde, elastik zemine oturan yapı temellerinde, su depolarında, limanlarda , stok sahalarında, hava limanlarında, baca temellerinde, silo temellerinde ve köprülerde kullanılan taşıyıcı elemanlardır.

1.1 Sonlu Elemanlar Metodu

Sürekli ortam kendi şekline ve sınır şartlarına uygun olarak sonlu sayıda yüzey veya çizgiye ayrılır ve bunların kesiştiği noktalara düğüm noktası adı verilir.

Sonlu elemanlar metodunda gerçek sonuçlara yakınsama hızının artması için en önemli etken deplasman parametrelerinin birim değerine karşı gelen bilinmeyen deplasman fonksiyonlarını doğru tayin etmektir. Bu fonksiyonların belirlenmesinde yakınsaklık kriteri diye bilinen bazı özelliklerin sağlanması önemlidir. Bu özellikleri şöyle sıralayabiliriz;

1- Seçilen deplasman fonksiyonları ayrıtlar boyunca süreklilik şartını sağlamalıdır.

2- Rijit cisimlerin hareketinden dolayı gerilme ve şekil değiştirme olmamalıdır. Bilindiği gibi bulunan bir çözümün doğru olması için elemanların dengesi ve düğüm noktalarının dengesi diye ikiye ayrılabilen sistem dengesinin sağlanması gerekir.

3- Deplasman fonksiyonlarının diğer önemli bir özelliği de elemanda sabit gerilme yayılımı verebilmesidir. Eleman boyutu küçültülerek gerilme yayılımı sabite yakın hale getirilir. Sonlu elemanlar metodunda sürekli sistem ayrık sistem haline getirilerek çözüm yapılabilir.

Sürekli sistem ayrık sistem haline aşağıdaki gibi getirilir.

1- Sürekli ortam hayali çizgilerle veya yüzeylerle ayrık şekle getirilir.

2- Elemanların düğüm noktaları ile birbirlerine bağlı olduğu kabul edilir. Düğüm noktaları deplasmanları veya bunların türevleri (dönmeler) problemlerin bilinmeyen parametreleri olarak alınacaktır.

3- Fonksiyon takımı deplasmanların birim değerine karşı gelen deplasman fonksiyonlarıdır.

4- Deplasman fonksiyonları deplasman durumlarının lineer bir kombinezonudur.

5- Kuvvetler düğüm noktalarına indirgenir.

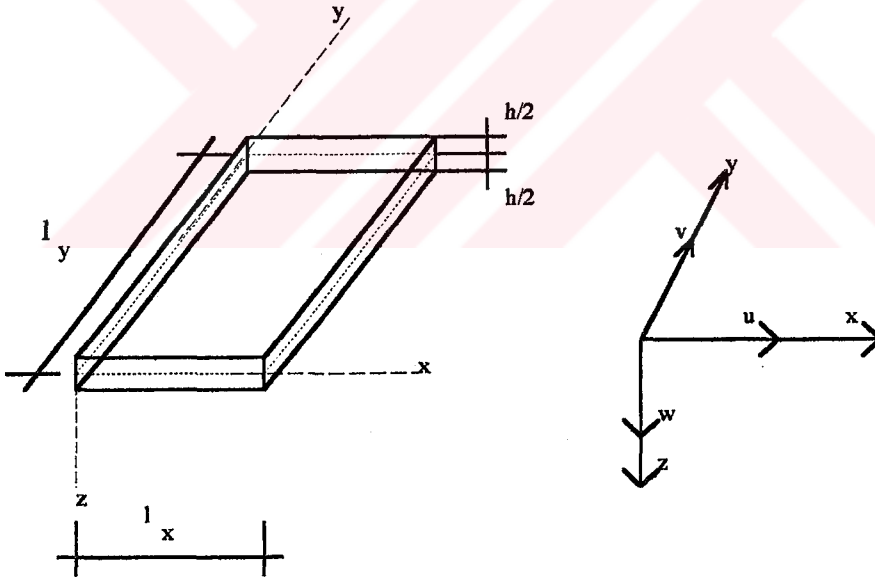
Sonlu elemanlar metodunun uygulanabilmesi için tamlık ve uygunluk şartının sağlanmış olması gerekir.

Tamlik Şartı: Eleman ne kadar küçük olursa olsun fonksiyonun kendisi ve maksimum türevin elde edilebilme şartına denir.

Tamlik 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 sürekli olması şartına denir.

1.2. İnce Plakların Tanımı ve Yapılan Kabuller



Şekil 1.1. Plak, koordinat eksenleri ve deplasmanlar

Kalınlıkları, taşıyıcı yönündeki boyutları yanında çok küçük olan sistemlere yüzeysel taşıyıcı sistemler adı verilir. Bu tür taşıyıcıların kalınlıklarının orta noktalarını birleştiren yüzeye "orta yüzey" denir. Plaklar için orta yüzey bir düzlemdir.

Dış yükler orta düzleme dik ise "plak çalışması" söz konusudur. Yani orta düzlemin eğilmesi ile bir elastik yüzey oluşmaktadır. Bu tür taşıyıcılara "ince plak" denir. Betonarme döşemeler plak cinsinden taşıyıcılardır.

Dış yükler orta düzlemin içinde etkiyorsa bir "levha" çalışması söz konusudur. Levhalarda stabilite problemleri önem kazanır.

1.2.1. Varsayımlar

1.2.1.1 Geometrik Yönden:

a)Plak kalınlığı diğer iki boyutun yanında çok küçüktür ve değişken olabilir.

$$h \ll l_x, l_y$$

b)Plak kalınlığının orta noktalarının geometrik yeri bir düzlemdir.

c)Stabilite yükü plak orta düzlemi içindedir.

d)Sehimler(çökmeler) plak kalınlığı yanında çok küçüktür.

$$w \ll h$$

Bu kabuller sonunda denge denklemleri ve geometrik uygunluk şartlarında ikinci mertebe etkiler ihmal edilecek ve süper pozisyon kuralı geçerli olacaktır.

1.2.1.2.Malzeme yönünden:

a)Malzeme homojendir. Yani her noktada aynı fiziki özelliklere sahiptir.

b)Malzeme belirli sınırlar içinde Hooke Kanunu'na uyan lineer-elastik bir malzemedir.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad ; \quad \gamma = \frac{\tau}{G} \quad (1.1)$$

c)Malzeme izotropdur. Yani her doğrultuda aynı elastik özelliğe ve davranışa sahiptir. Malzemede mekanik özellikler tesirlerin doğrultusuna bağlı olmayıp aynıdır.

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} \quad ; \quad \epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y} \quad ; \quad E_x = E_y = E \quad (1.2)$$

1.2.1.3. Hesapları basitleştirme yönünden:

a) Plak orta düzlemine dik doğrultudaki σ_z normal gerilmeleri yok sayılabilecek kadar küçüktür. Gerçekte plakta üç doğrultuda (uzay) gerilme durumu söz konusudur. Fakat döşemenin herhangi bir (x_0, y_0) noktasında σ_z in h yüksekliğince değişimi incelenirse:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \sigma(x_0, y_0, z) & z = -h/2 \text{ için } \sigma_z &= -p \\ & & z = h/2 \text{ için } \sigma_z &= 0\end{aligned}\quad (1.3)$$

*p birim alana gelen yüküdür.

$p = 1,0 \text{ t/m}^2$ olsa $\sigma_z = -0,1 \text{ kg/cm}^2$ olur. Uygulamadan bilinir ki σ_x, σ_y değerleri $50 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişir. Bu durumda (σ_z) değeri σ_x ve σ_y yanında çok küçüktür ve $\sigma_z \approx 0$ alınabilir.

b) Deformasyondan önce orta düzlemin herhangi bir noktasının normali deformasyondan sonra meydana gelen elastik yüzeyin o noktadaki normali olarak alınır. Bu çubuk sistemlerdeki Bernoulli-Navier hipotezine karşı gelen Kirchhoff-Love hipotezidir.

c) a) 'daki varsayıma bağlı olarak $\varepsilon_z \approx 0$ alınabilir. çünkü elastisite teorisinden bilinir ki:

$$\varepsilon_z = E_z \left[\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y) \right], \quad \sigma_z \approx 0, \quad \nu = 0,10 \sim 0,25 \quad (1.4)$$

Bu durumda z doğrultusundaki boy değişimleri, yok sayılabilecek kadar küçük olur. Demek ki deformasyon sırasında plak kalınlığının değişmediği kabul edilir.

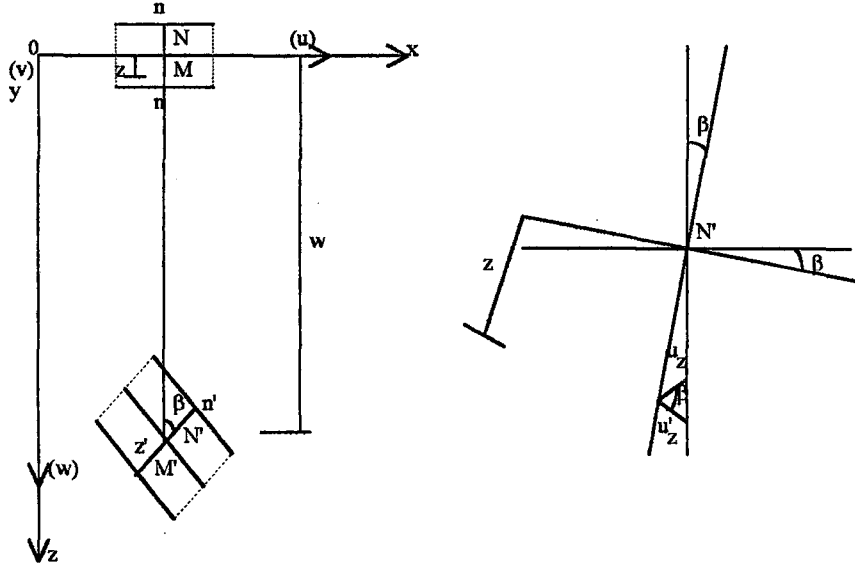
d) İnce plaklar sadece düzlemine dik doğrultuda deplasman yapar.

$$(u)_{z=0} \approx 0, \quad (v)_{z=0} \approx 0, \quad (w)_{z=0} \neq 0$$

1.2.2. Diferansiyel Geometri

Bu bölümde diferansiyel geometri yardımıyla deformasyon bileşenleri ile, deplasman bileşenleri arasındaki bağıntılar çıkarılacaktır.

Bir plağı deformasyondan evvel ve deformasyondan sonra y =sabit düzlemiyle keselim.



Şekil 2.1 Deformasyondan önce ve sonra plak elemanı

Plağın x doğrultusundaki eğimi $\tan \beta \approx \beta \approx \frac{\partial w}{\partial x}$ olacaktır.

Şekilden $\tan \beta = \frac{u'_z}{z}$, $u'_z = z \tan \beta = z \frac{\partial w}{\partial x}$

$u_z = u'_z \cos \beta$ β çok küçük olduğundan $\cos \beta \approx 1$; $u_z \approx u'_z$ olur. u_z, u' 'nin (+) yönüne ters olduğundan;

$$u_z = -\frac{\partial w}{\partial x} z \quad (1.5)$$

Benzer şekilde,

$$v_z = -\frac{\partial w}{\partial y} z \quad (1.6)$$

z derinliğinde birim boy değişimi:

$$(\epsilon_x)_z = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_z = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} z$$

$$\left(\varepsilon_y\right)_z = -\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} z, \quad \left(\varepsilon_z\right)_z = 0 \quad (1.6)$$

z derinliğinde ve düzleme paralel bir elemandaki açı değişimi:

$$\begin{aligned} \left(\gamma_{xy}\right)_z &= \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)_z = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} z - \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} z \\ \left(\gamma_{xy}\right)_z &= -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \\ \left(\gamma_{xz}\right)_z &= \left(\gamma_{zx}\right)_z = 0 \end{aligned} \quad (1.7)$$

1.2.3. Gerilme Deformasyon Bileşenleri Arasındaki Bağlıntılar

$\sigma_z \approx 0$, $\varepsilon_z \approx 0$ olduğuna göre;

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y) \quad (1.8)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \sigma_x) \quad (1.9)$$

$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy}$ bağlantıları elastisite teorisinden bilinir.

Burada $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ iken, bu bağlantılardan gerilmeler çekilirse;

$$\begin{aligned} \left(\sigma_x\right)_z &= \frac{E}{1-\nu^2} \left(\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y\right)_z \\ \left(\sigma_y\right)_z &= \frac{E}{1-\nu^2} \left(\varepsilon_y + \nu \varepsilon_x\right)_z \\ \left(\tau_{xy}\right)_z &= G(\gamma_{xy})_z \end{aligned} \quad (1.10)$$

1.2.4. Gerilme Deplasman Bileşenleri Arasındaki Bağlılıklar

$$(\sigma_x)_z = \frac{E}{1-\nu^2} \left(-z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

Benzer şekilde

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

$$(\tau_{xy})_z = -\frac{Ez}{(1+\nu)} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad , \quad (\tau_{xz})_z = (\tau_{yz})_z = 0 \quad \text{olur.} \quad (1.11)$$

2.POTANSİYEL ENERJİ PRENSİBİ

Potansiyel enerji prensibi sistemin lineer ya da lineer olmayan durumlarında kullanılabilir ama malzeme lineer olmalıdır. Malzeme elastikse lineer plastikse lineer değildir.

Stabilite problemlerinin çözümünde potansiyel enerji prensibi çok sık kullanılır.

2.1. Toplam potansiyel Enerji Denklemi:

$$V=U+\Omega \quad (2.1)$$

U =Şekil değiştirme enerjisi(İç kuvvetlerin işi)

Ω =Dış kuvvetleri işi

2.1.1. Şekil Değiştirme Enerjisinin Hesabı

$$U = U_m + U_b \quad (2.2)$$

U_m :Mambran şekil değiştirme enerjisi

U_b :Eğilme şekil değiştirme enerjisi

$$U_m = \frac{C}{2} \iint \left(\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + 2\nu \varepsilon_x \varepsilon_y + \frac{1-\nu}{2} \gamma_{xy}^2 \right) dx dy \quad (2.3)$$

$$U_b = \frac{D}{2} \iint \left(k_x^2 + k_y^2 + 2\nu k_x k_y + \frac{1-\nu}{2} k_{xy}^2 \right) dx dy \quad (2.4)$$

$$C = \frac{Eh}{1-\nu^2}, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

2.1.2. Dış Kuvvetlerin İşini Hesabı

$$\Omega = \frac{P_x}{b} \int_0^b \int_0^b u' dx dy \quad (2.5)$$

Düzlem içinde basınç yükü hali

$x=0$ ve $x=a$ da kenarlar boyunca uniform yayılmış ise

$$\Omega = \frac{P_x}{b} [u(a) - u(0)] \quad (2.6)$$

$x=0$ ve $x=b$ de kenarlar boyunca uniform yayılmış ise

$$\Omega = \frac{P_x}{b} [u(b) - u(0)] \quad (2.7)$$

2.2. Minimum Potansiyel Enerji Kriteri

Deplasmandaki artımlar ve toplam potansiyel enerjinin varyasyonları aşağıdaki gibidir.

$$u = u_0 + u_1$$

$$v = v_0 + v_1$$

$$w = w_0 + w_1$$

$(u_0, v_0, w_0) \rightarrow$ Denge konumuna karşı gelen deplasmanlar

$(u_1, v_1, w_1) \rightarrow$ 2. konumu elde etmek için verilen artımlar

$(u, v, w) \rightarrow$ 2.konuma karşı gelen deplasmanlar

o halde toplam potansiyel enerji şöyle olur.

$V(u, v, w) = V(u_0 + u_1, v_0 + v_1, w_0 + w_1) \rightarrow$ 2. konumdaki toplam potansiyel enerji

$V(u_0, v_0, w_0) \rightarrow$ 1. konumdaki toplam potansiyel enerji

$\Delta V = V(u_0 + u_1, v_0 + v_1, w_0 + w_1) - V(u_0, v_0, w_0) \rightarrow$ Potansiyel enerjideki değişim

Potansiyel enerjideki değişimi seriye açarsak,

$$\Delta V = \delta V + \frac{1}{2!} \delta^2 V + \frac{1}{3!} \delta^3 V + \dots$$

δV : Potansiyel enerjinin 1. varyasyonu (Denge denklemlerini verir)

$\frac{1}{2!} \delta^2 V$: Potansiyel enerjinin 2. varyasyonu (Stabilite denklemlerini verir)

2.2.1. Mambran Şekil Değiştirme Enerjisinin İkinci Varyasyonu

$$\epsilon_x = u, x + \frac{1}{2} w^2, x$$

$$\epsilon^2 x = u^2, x + w^2, x \cdot u^2, x + \frac{1}{4} w^4, x$$

w_0 ihmal edilirse,

$$\frac{1}{2}\delta^2(\varepsilon_x^2) = u_{1,x}^2 + u_{0,x} w_{1,x}^2 \quad (2.8)$$

Benzer şekilde,

$$\frac{1}{2}\delta^2(\varepsilon_y^2) = v_{1,y}^2 + v_{0,y} w_{1,y}^2 \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{2}\delta^2(\varepsilon_x \varepsilon_y) = u_{1,x} v_{1,y} + \frac{1}{2} u_{0,x} w_{1,y}^2 + \frac{1}{2} v_{0,y} w_{1,x}^2 \quad (2.10)$$

$$\frac{1}{2}\delta^2(\gamma_{xy}^2) = (u_{1,y} + v_{1,x})^2 + \frac{1}{2} (u_{0,y} + v_{0,x}) w_{1,x} w_{1,y} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\delta^2 U_m = \frac{c}{2} \iint & \left\{ \left[u_{1,x}^2 + v_{1,y}^2 + 2v u_{1,x} v_{1,y} + \frac{1-\nu}{2} (u_{1,y} + v_{1,x})^2 \right] \right. \\ & + (u_{0,x} + \nu v_{0,y}) w_{1,x}^2 + (v_{0,y} + \nu u_{0,x}) w_{1,y}^2 \\ & \left. + (1-\nu) (u_{0,y} + v_{0,x}) w_{1,x} w_{1,y} \right\} dx dy \end{aligned} \quad (2.12)$$

Sonuç olarak membran şekil değiştirme enerjisinin ikinci varyasyonu,

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\delta^2 U_m = \frac{c}{2} \iint & \left[u_{1,x}^2 + v_{1,y}^2 + 2v u_{1,x} v_{1,y} + \frac{1-\nu}{2} (u_{1,y} + v_{1,x})^2 \right] \\ & + \frac{1}{2} (N_{x0} w_{1,x}^2 + 2N_{xy0} w_{1,x} w_{1,y} + N_{y0} w_{1,y}^2) dx dy \end{aligned} \quad (2.13)$$

2.2.2. Eğilme Şekil Değiştirme Enerjisinin İkinci Varyasyonu

$$\begin{aligned} k_x &= w_{,xx} \\ k_x^2 &= w_{,xx}^2 \\ \frac{1}{2}\delta^2(k_x^2) &= w_{1,xx}^2 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Benzer olarak,

$$\frac{1}{2}\delta^2(k_y^2) = w_{1,yy}^2 \quad (2.15)$$

$$\frac{1}{2}\delta^2(k_x k_y) = w_{1,xx} w_{1,yy} \quad (2.16)$$

$$\frac{1}{2}\delta^2(k_y^2) = 4w_{1,xy}^2 \quad (2.17)$$

$$\frac{1}{2}\delta^2 U_b = \frac{D}{2} \iint \left[w_{1,xx}^2 + w_{1,yy}^2 + 2\nu w_{1,xx} w_{1,yy} + 2(1-\nu) w_{1,xy}^2 \right] dx dy$$

2.2.3. Dış Kuvvetlerin İşinin İkinci Varyasyonu

$$\frac{1}{2}\delta^2 \Omega = 0 \text{ dır} \quad (2.18)$$

2.2.4. Toplam Potansiyel Enerjinin İkinci Varyasyonu

İnce plaklarda z doğrultusundaki w_1 virtüel artımı yanında u_1 ve v_1 artımlarını ihmal edilebilir kabul etmiştik, o halde membran şekil değiştirme enerjisinin ikinci varyasyonu;

$$\frac{1}{2}\delta^2 U_m = \frac{1}{2} \iint \left(N_{x0} w_{1,x}^2 + 2N_{xy0} w_{1,x} w_{1,y} + N_{y0} w_{1,y}^2 \right) dx dy \text{ olur.} \quad (2.19)$$

Buna göre,

$$\delta^2 V = \delta^2 U_m + \delta^2 U_b$$

$$\delta V = 0 \text{ iken,}$$

$$\delta^2 V < 0 \text{ ise kararsız}$$

$$\delta^2 V = 0 \text{ ise farksız}$$

$$\delta^2 V > 0 \text{ ise kararlı}$$

$$\frac{\partial(\delta^2 V)}{\partial d} = 0 \text{ Stabilite şartını gösterir.}$$

2.2.5. Elastik Zeminin Toplam Potansiyel Enerji Denklemine Etkisi

Zemin elastikliğinden hareketle yay modelinde olduğu gibi hangi kuvvetlerin (yüklerin) meydana geleceğini ifade edebiliriz.

Bir yay modelinde $F = kx \left(kN = \frac{kN}{M} M \right)$ dir

Elastik zemin terimi ise $q_i = K_i w_i$ şeklinde yazılabilir. Boyut analizi yaparsak.

$\frac{kN}{M^2} = \left(\frac{kN}{M^3} \right) M$ yayılı yüke benzer bir terim meydana geldiği görülür.

K_i : Zeminin i. elemanına etkiyen zemin yatak katsayısını

w_i : i. noktadaki deplasmanı

q_i : i. noktada meydana gelecek dış yükü ifade etmektedir.

Buna göre, toplam potansiyel enerji prensibinin ikinci varyasyonu;

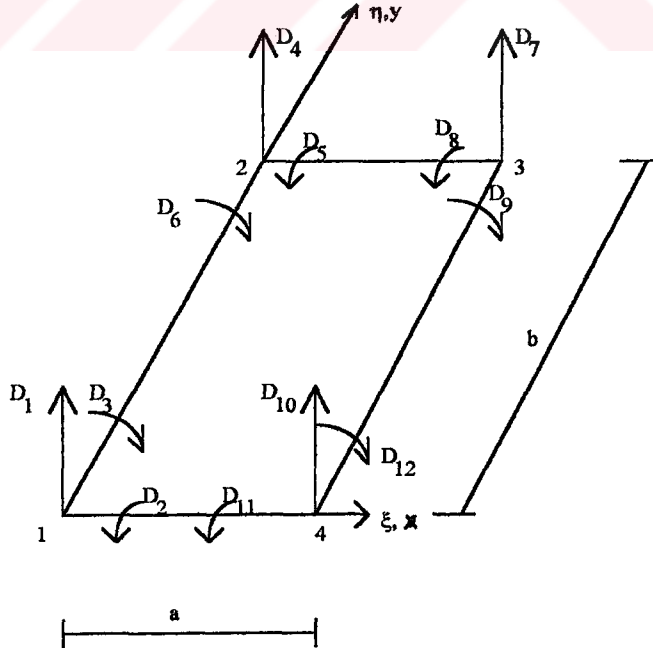
$$\begin{aligned} \delta^2 V = \iint \left\{ \left(N_{x0} w_{i,x}^2 + 2N_{xy0} w_{i,x} w_{i,y} + N_{y0} w_{i,y}^2 \right) \right. \\ \left. + D \left[w_{i,xx}^2 + w_{i,yy}^2 + 2\nu w_{i,xx} w_{i,yy} + 2(1-\nu) w_{i,xy}^2 \right] \right. \\ \left. + K(w_i^2) \right\} dx dy \text{ olur} \end{aligned} \quad (2.21)$$

3. İNCE PLAKLARIN SONLU ELEMANLAR METODU İLE STABİLİTE HESABI

3.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Adımları

1. Sistem elemanlarına bölünür ve her ucundaki deplasmanlar tayin edilir.
2. Deplasman fonksiyonları seçilir.
3. Şekil fonksiyonları tayin edilir.
4. Şekil fonksiyonlarının türevlerinden faydalanarak eleman rijitlik matrisi hesaplanır. (K_e)
5. Eğer sürekli ortam elastik zemine oturuyorsa zemin etki matrisi hesaplanır. (M_q)
6. Geometrik yük matrisi hesaplanır. (N_e)
7. Elemanlar sistemde birleştirilerek sisteme geçirilir.
8. Sınır şartları tayin edilir.
9. Kritik stabilite yükü hesaplanır. (P_k)

3.2. Bağ Matrisinin Bulunması



Şekil 3.1. Dikdörtgen plak elemanı ve deplasmanların gösterimi

$$\alpha = \frac{a}{b}, \beta = \frac{b}{a}$$

$$\xi = \frac{x}{a}, \eta = \frac{y}{b}$$

Deplasman fonksiyonunun seçimi

$$w = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 + a_7x^3 + a_8x^2y + a_9xy^2 + a_{10}y^3 + a_{11}x^3y + a_{12}xy^3 \quad (3.1)$$

$$\theta_x = -\frac{\partial w}{\partial y} = -a_3 - a_5x - 2a_6y - a_8x^2 - 2a_9xy - 3a_{10}y^2 - a_{11}x^3 - 3a_{12}xy^2 \quad (3.2)$$

$$\theta_y = \frac{\partial w}{\partial x} = a_2 + 2a_4x + a_5y + 3a_7x^2 + 2a_8xy + a_9y^2 + 3a_{11}x^2y + a_{12}y^3 \quad (3.3)$$

Koordinat değerleri,

1(0,0), 2(a,0), 3(a,b), 4(0,b) iken,

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & b & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 & 0 & b^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -2b & 0 & 0 & 0 & 3b^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & b^2 & 0 & 0 & b^3 \\ 1 & a & b & a^2 & ab & b^2 & a^3 & a^2b & ab^2 & b^3 & a^3b & ab^3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -a & -2b & 0 & -a^2 & -2ab & -3b^2 & -a^3 & -3ab^2 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & b & 0 & 3a^2 & 2ab & b^2 & 0 & 3a^2b & b^2 \\ 1 & a & 0 & a^2 & 0 & 0 & a^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -a & 0 & 0 & -a^2 & 0 & 0 & -a^3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2a & 0 & 0 & 3a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tablo 3.1. Bağ Matrisi

3.2.1. Bağ Matrisinin İncisi

$$[B]=[A]^{-1}$$

$$[B]=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3/a^2 & 0 & -2/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1/ab & 1/a & -1/b & 1/ab & 0 & 1/b & -1/ab & 0 & 0 & 1/ab & -1/a & 0 \\ -3/b^2 & 2/b & 0 & 3/b^2 & 1/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2/a^3 & 0 & 1/a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2/a^3 & 0 & 1/a^2 \\ 3/a^2b & 0 & 2/ab & -2/a^2b & 0 & -2/ab & 3/a^2b & 0 & -1/ab & -3/a^2b & 0 & 1/ab \\ 3/ab^2 & -2/ab & 0 & -3/ab^2 & -1/ab & 0 & 3/ab^2 & 1/ab & 0 & -3/ab^2 & 2/ab & 0 \\ 2/b^3 & -1/b^2 & 0 & -2/b^3 & -1/b^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2/a^3b & 0 & -1/a^2b & 2/a^3b & 0 & 1/a^2b & -2/a^3b & 0 & 1/a^2b & 2/a^3b & 0 & -1/a^2b \\ -2/ab^3 & 1/ab^2 & 0 & 2/ab^3 & 1/ab^2 & 0 & -2/ab^3 & -1/ab^2 & 0 & 2/ab^3 & -1/ab^2 & 0 \end{bmatrix}$$

Tablo 3.2. Bağ Matrisinin İncisi

3.3. Şekil Fonksiyonlarının Bulunması

$$[N]=[1,x,y,x^2,xy,y^2,x^3,x^2y,xy^2,y^3,x^3y,xy^3][B]\{d\} \quad (3.4)$$

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

Tablo 3.3. Şekil Fonksiyonları Matrisi

3.4. Eleman Rijitlik Matrisinin oluşturulması

$$[K_e] = \int_0^a \int_0^b \{\epsilon\}^T [D] \{\epsilon\} dx dy \quad (3.5)$$

$$\{\epsilon\} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

$$[F] = \begin{bmatrix} N_{1xx} & N_{2xx} & \dots & N_{12xx} \\ N_{1yy} & N_{2yy} & \dots & N_{12yy} \\ 2N_{1xy} & 2N_{2xy} & \dots & 2N_{12xy} \end{bmatrix}$$

$$[F]^T = \begin{bmatrix} (1-2\xi)(1-\eta) \frac{6}{a^2} & (1-\xi)(1-2\eta) \frac{6}{b^2} & [-1+6\xi(1-\xi)+6(1-\eta)] \frac{2}{ab} \\ 0 & -(1-\xi)(2-3\eta) \frac{2}{b} & (1-4\eta+3\eta^2) \frac{2}{a} \\ (2-3\xi)(1-\eta) \frac{2}{a} & 0 & -(1-4\eta+3\eta^2) \frac{2}{b} \\ (1-2\xi)\eta \frac{6}{a^2} & -(1-\xi)(1-2\eta) \frac{6}{b^2} & -[-1+6\xi(1-\xi)+6\eta(1-\eta)] \frac{2}{ab} \\ 0 & -(1-\xi)(1-3\eta) \frac{2}{b} & -\eta(2-3\eta) \frac{2}{a} \\ (2-3\xi)\eta \frac{2}{a} & 0 & (1-4\xi+3\xi^2) \frac{2}{b} \\ -(1-2\xi)\eta \frac{6}{a^2} & -\xi(1-2\eta) \frac{6}{b^2} & [-1+6\xi(1-\xi)+6\eta(1-\eta)] \frac{2}{ab} \\ 0 & -\xi(1-3\eta) \frac{2}{b} & \eta(2-3\eta) \frac{2}{a} \\ (1-3\xi)\eta \frac{2}{a} & 0 & -\xi(2-3\xi) \frac{2}{b} \\ -(1-2\xi)(1-\eta) \frac{6}{a^2} & \xi(1-\eta) \frac{6}{b^2} & -[-1+6\xi(1-\xi)+6\eta(1-\eta)] \frac{2}{ab} \\ 0 & -\xi(2-3\eta) \frac{2}{b} & -(1-4\eta+3\eta^2) \frac{2}{a} \\ (1-3\eta)(1-\eta) \frac{2}{a} & 0 & \xi(2-3\xi) \frac{2}{b} \end{bmatrix}$$

Tablo 3.4. $[F]^T$ Matrisi

Tablo 3.5. aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

1	.
.	.
.	.
. $K_{el,I}$	.Simetrik
6	.
.....	
7	.
.	.
. $K_{el,I}$	. $K_{el,II}$
.	.
12	.
1.....6.7.....	

1	$4(\alpha^2 + \beta^2) + \frac{14-4}{5}$				
2	$[2\alpha^2 + \frac{1+4\nu}{5}]b$	$\frac{4}{3}[\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b^2$			
3	$-[2\beta^2 + \frac{1+4\nu}{5}]a$	$-vab$	$\frac{4}{3}[\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]a^2$		
4	$2(\beta^2 - 2\alpha^2) - \frac{14-4\nu}{5}$	$-[2\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b$	$-\frac{1+4\nu}{5}\beta$	$4(\alpha^2 + \beta^2) + \frac{14-4\nu}{5}$	
5	$[2\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b$	$\frac{2}{3}[\alpha^2 - \frac{1-\nu}{10}]b^2$	0	$-[2\alpha^2 + \frac{1+4\nu}{5}]b$	$\frac{4}{3}[\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b^2$
6	$-\frac{1+4\nu}{5}\beta$	0	$\frac{2}{3}[\beta^2 - \frac{2(1-\nu)}{5}]a^2$	$-[2\beta^2 + \frac{1+4\nu}{5}]a$	vab
	1	2	3	4	5

Tablo 3.5a Eleman Rijitlik Matrisi. Her terim $|Eh^3/12(1-\nu^2)ab|$ ile çarpılır. ($K_{a,1}$)

	1	2	3	4	5	6
7	$-2(\alpha^2 + \beta^2) + \frac{14-4\nu}{5}$	$-\frac{1-\nu}{5}\alpha$	$[\beta^2 - \frac{1-\nu}{5}]a$	$2(\alpha^2 - 2\beta^2) - \frac{14-4\nu}{5}$	$-\frac{1+4\nu}{5}\beta$	$[2\beta^2 + \frac{1-\nu}{5}]a$
8	$[\alpha^2 - \frac{1-\nu}{5}]b$	$\frac{1}{3}[\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b^2$	$-\frac{1+4\nu}{5}\alpha$	$\frac{2}{3}[\alpha^2 - \frac{2(1-\nu)}{5}]b$	0	0
9	$-\frac{1-\nu}{5}\beta$	0	$\frac{1}{3}[\beta^2 + \frac{1-\nu}{5}]a^2$	$-[2\beta^2 + \frac{1-\nu}{5}]a$	0	$\frac{2}{3}[\beta^2 - \frac{1-\nu}{10}]a^2$
10	$2(\alpha^2 - 2\beta^2) - \frac{14-4\nu}{5}$	$[\alpha^2 - \frac{1+4\nu}{5}]b$	$[2\beta^2 + \frac{1-\nu}{5}]a$	$-2(\alpha^2 + \beta^2) + \frac{14-4\nu}{5}$	$[\alpha^2 - \frac{1-\nu}{5}]b$	$[\beta^2 - \frac{1-\nu}{5}]a$
11	$[\alpha^2 - \frac{1+4\nu}{5}]b$	$\frac{2}{3}[\alpha^2 - \frac{2(1-\nu)}{5}]b^2$	0	$-\frac{1-\nu}{5}\alpha$	$\frac{1}{3}[\alpha^2 - \frac{1-\nu}{5}]b^2$	0
12	$-[2\beta^2 + \frac{1-\nu}{5}]a$	0	$\frac{2}{3}[\beta^2 - \frac{1-\nu}{10}]a^2$	$-\frac{1-\nu}{5}\beta$	0	$\frac{1}{3}[\beta^2 + \frac{1-\nu}{5}]a^2$

Tablo 3.5b Eleman Rijitlik Matrisi. Her terim $|Eh^3/12(1-\nu^2)ab|$ ile çarpılır. ($K_{a,1}$)

7	$4(\alpha^2 + \beta^2) + \frac{14-4}{5}$					
8	$-[2\alpha^2 + \frac{1+4\nu}{5}]b$	$\frac{4}{3}[\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b^2$				
9	$[2\beta^2 + \frac{1+4\nu}{5}]a$	$-vab$	$\frac{4}{3}[\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]a^2$			
10	$2(\beta^2 - 2\alpha^2) - \frac{14-4\nu}{5}$	$[2\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b$	$[\beta^2 - \frac{1+4\nu}{5}]b$	$4(\alpha^2 + \beta^2) + \frac{14-4\nu}{5}$		
11	$-[2\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b$	$\frac{2}{3}[\alpha^2 - \frac{1-\nu}{10}]b^2$	0	$[2\alpha^2 + \frac{1+4\nu}{5}]b$	$\frac{4}{3}[\alpha^2 + \frac{1-\nu}{5}]b^2$	
12	$[\beta^2 - \frac{1+4\nu}{5}]a$	0	$\frac{2}{3}[\beta^2 - \frac{2(1-\nu)}{5}]a^2$	$[2\beta^2 + \frac{1+4\nu}{5}]a$	vab	$\frac{4}{3}[\beta^2 + \frac{1-\nu}{5}]a^2$
	7	8	9	10	11	12

Tablo 3.5c Eleman Rijitlik Matrisi. Her terim $[Eh^3/12(1-\nu^2)ab]$ ile çarpılır. ($K_{el,II}$)

3.5. Eleman Zemin Etki Matrisinin Oluşturulması

$$[M_e] = K \int_0^a \int_0^b [N]^T [N] dx dy \quad (3.7)$$

Zemin etki matrisi, formülden de anlaşılacağı gibi şekil fonksiyonları matrisinin transpozesi ile kendisi çarpılmış ve yüzey integralleri alınıp (K) zemin yatak katsayısı ile çarpılarak elde edilir.

İfadeyi yerel koordinatlara çevirmek için,

$$\xi = \frac{x}{a}, \quad \eta = \frac{y}{b} \text{ idi.}$$

$$[M_e] = K \int_0^1 \int_0^1 [N]^T [N] |J| d\xi d\eta \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (3.8)$$

$$|J| = \left| \frac{D(x,y)}{D(\xi,\eta)} \right| \text{ x,y nin } \xi,\eta \text{ ya göre fonksiyonel determinantının mutlak değeridir.}$$

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

$$[M_e] = K_{ab} \int_0^1 \int_0^1 [N]^T [N] d\xi d\eta \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (3.9)$$

Elastik zeminin etkisi zemin yatak katsayısına ve elemanın oturma yüzeyine bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 3.6. şemadaki gibi düzenlenmiştir.

1	.
.	.
.	.
.M _{el,I}	.Simetrik
6	.
.....	
7	.
.	.
.M _{el,I}	.M _{el,II}
.	.
12	.
1.....6.7.....	

Boyut analizi yapacak olursak

Eleman rijitlik matrisi için,

$$\begin{aligned} \int_0^a \int_0^b [B]^T [F]^T [D] [F] [B] dx dy &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)ab} |ER| \\ &= \frac{(KN/m^2)(m^3)}{m^2} |ER| \end{aligned}$$

Eleman Rijitlik Matrisi= $KN/m|ER|$

Eleman Zemin etki Matrisi İçin;

$$K_{ab} \int_0^1 \int_0^1 [N]^T [N] d\xi d\eta = K_{ab} |ER| = (KN/m^2)(m^2)|ER|$$

Eleman Zemin Etki Matrisi = $KN/m|ER|$ olduğu görülür.

Buna göre bu iki matris birbiriyle toplanabilir sonucuna varırız.

1	0,137064					
2	0,01829376b	$3,17463 \cdot 10^{-3} b^2$				
3	-0,01829376a	$-2,5 \cdot 10^{-3} ab$	$3,17463 \cdot 10^{-3} a^2$			
4	0,0486509	0,0108731b	$-7,89685 \cdot 10^{-3} a$	0,137064		
5	-0,0108731b	$-2,38094 \cdot 10^{-3} b^2$	$-1,66667 \cdot 10^{-3} ab$	0,0182936b	$3,17463 \cdot 10^{-3} b^2$	
6	$-7,89685 \cdot 10^{-3} a$	$-1,66667 \cdot 10^{-3} ab$	$1,58729 \cdot 10^{-3} a^2$	0,0182936a	$2,5 \cdot 10^{-3} ab$	$3,17463 \cdot 10^{-3} a^2$
	1	2	3	4	5	6

Tablo 3.6a Her terim K_{ab} ile çarpılarak elastik zemine oturan plaklar için

Eleman Zemin Etki Matrisi bulunur. ($M_{a,i}$)

7	0,0156389	$4,60316 \cdot 10^{-3} b$	$-4,60316 \cdot 10^{-3} a$	0,0486509	$-7,89685 \cdot 10^{-3} b$	$-0,0108731 a$
8	$-4,60316 \cdot 10^{-3} b$	$-1,19048 \cdot 10^{-3} b^2$	0,0011111ab	$-7,89685 \cdot 10^{-3} b$	$1,58729 \cdot 10^{-3} b^2$	$1,66667 \cdot 10^{-3} ab$
9	$4,60316 \cdot 10^{-3} a$	0,0011111ab	$-1,19048 \cdot 10^{-3} a^2$	0,0108731a	$-1,66667 \cdot 10^{-3} b$	$-2,38094 \cdot 10^{-3} a^2$
10	0,0486509	$7,89685 \cdot 10^{-3} b$	$-0,0186349 a$	0,0156349	$-4,60316 \cdot 10^{-3} b$	$-4,60316 \cdot 10^{-3} a$
11	$7,89685 \cdot 10^{-3} b$	$1,58729 \cdot 10^{-3} ab$	$-1,66667 \cdot 10^{-3} ab$	$4,60316 \cdot 10^{-3} b$	$-1,19048 \cdot 10^{-3} b^2$	$-0,0011111 ab$
12	0,0108731a	$1,66667 \cdot 10^{-3} a^2$	$-2,38094 \cdot 10^{-3} a^2$	$4,60316 \cdot 10^{-3} a$	$-0,0011111 ab$	$-1,19048 \cdot 10^{-3} a^2$
	1	2	3	4	5	6

Tablo 3.6b Her terim K_{ab} ile çarpılarak elastik zemine oturan plaklar için

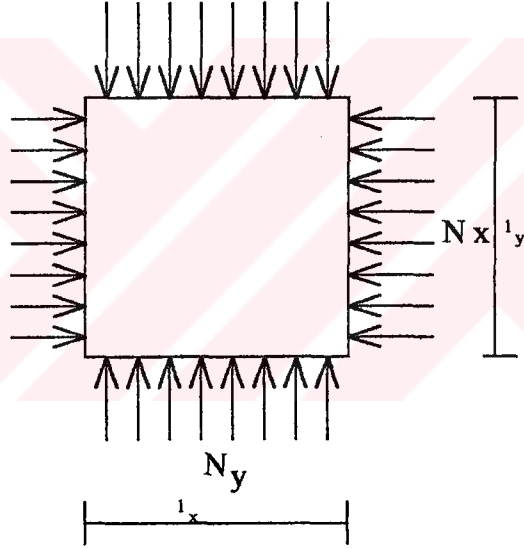
Eleman Zemin Etki Matrisi bulunur. ($M_{a,i}$)

7	0,137064					
8	-0,01829376b	$3,17463 \cdot 10^{-3} b^2$				
9	$0,01829376a$	$-2,5 \cdot 10^{-3} ab$	$3,17463 \cdot 10^{-3} a^2$			
10	0,0486509	-0,0108731b	$7,89685 \cdot 10^{-3} a$	0,137064		
11	0,0108731b	$-2,38094 \cdot 10^{-3} b^2$	$1,66667 \cdot 10^{-3} ab$	0,0182936b	$3,17463 \cdot 10^{-3} b^2$	
12	$7,89685 \cdot 10^{-3} a$	$-1,66667 \cdot 10^{-3} ab$	$1,58729 \cdot 10^{-3} a^2$	0,0182936a	$2,5 \cdot 10^{-3} ab$	$3,17463 \cdot 10^{-3} a^2$
	7	8	9	10	11	12

Tablo 3.6c Her terim Kab ile çarpılarak elastik zemine oturan plaklar için
Eleman Zemin Etki Matrisi bulunur. ($M_{el,ii}$)

3.6. Eleman Geometrik Yük Matrisinin Oluşturulması

3.6.1. Mambran Kesit Tesirleri



Şekil 3.2. Plakta mambran tesirlerinin gösterimi

$$N_{x0} = -N_x \quad , \quad N_{y0} = -N_y \quad (3.10)$$

$$N_{x0} = -\frac{P_x}{l_y} \quad , \quad N_{y0} = -\frac{P_y}{l_x} \quad , \quad N_{xy0} = 0 \quad (3.11)$$

$$\frac{P_y}{l_x} = R \frac{P_x}{l_y} \quad , \quad R = 1, 2, 3, \dots$$

$$N_{y0} = RN_{x0} \text{ olur.} \quad (3.12)$$

$[N_e] \rightarrow$ Eleman geometrik yük matrisi

$$[N_e] = \int_a^b \int_0^b [B]^T [G]^T [N_o] [G] [B] dx dy \quad (3.13)$$

$$[N_o] = \begin{bmatrix} N_{x0} & N_{y0} \\ N_{y0} & N_{x0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{x0} & 0 \\ 0 & RN_{x0} \end{bmatrix}$$

$$[N_o] = \begin{bmatrix} -\frac{P_x}{l_y} & 0 \\ 0 & -R \frac{P_x}{l_y} \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

$$[G] = \begin{bmatrix} -\frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$[G] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & -2x & -y & 0 & -3x^2 & -2xy & -y^2 & 0 & -3x^2y & -y^3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -x & -2y & 0 & -x^2 & -2xy & -3y^2 & -x^3 & -3xy^2 \end{bmatrix}$$

olarak bulunur.

Tablo 3.7. şemadaki gibi düzenlenmiştir.

1	.
.	.
.	.
. $N_{e,I}$	.Simetrik

6	.
---	---

.....

7	.
---	---

.	.
---	---

. $N_{e,I}$	. $N_{e,II}$
-------------	--------------

.	.
---	---

12	.
----	---

1.....6.7.....

1	-0,438095b/a -0,438095aR/b				
2	0,052381b +0,033333aR	-0,009524b ³ /a -0,044444abR			
3	-0,033333b -0,052381a ² R/b	0	-0,044444ab -0,009524a ³ R/b		
4	-0,161905 b/a +0,438095aR/b	0,030952b ² /a -0,033333aR	-0,016667b +0,052381a ² R/b	-0,438095b/a -0,438095aR/b	
5	-0,030952b ² /a +0,033333aR	0,07143b ³ /a +0,011111abR	0	-0,052381b ² /a -0,033333aR	-0,009524b ³ /a -0,044444abR
6	-0,016667b +0,052381a ² R/b	0	-0,22222ab +0,009524a ³ R/b	-0,033333b -0,052381a ² R/b	0 -0,044444ab -0,009524a ³ R/b
	1	2	3	4	5

Tablo 3.7a. Eleman Geometrik Yük Matrisi. Her Terim $|p_x/l_y|$ ile çarpılır. ($N_{d,1}$)

	1	2	3	4	5	6
7	0,161905b/a 0,161905aR/b	-0,03952b ² /a -0,016667aR	0,016667b +0,030952a ² R/b	0,438095b/a -0,161905aR/b	0,052381b ² /a -0,016667aR	0,033333b -0,030952a ² R/b
8	0,030952b ² /a +0,016667aR	-0,007143b ³ /a +0,005556abR	0	0,052381b ² /a -0,016667aR	0,009524b ³ /a -0,022222abR	0
9	-0,016667b -0,030952a ² R/b	0	0,005556ab -0,07143a ³ R/b	-0,033333b +0,030952a ² R/b	0	0,011111ab +0,007143a ³ R/b
10	0,438095b/a -0,161905a ² R/b	-0,052381b ² /a +0,016667aR	0,033333b -0,030952a ² R/b	0,161905b/a 0,161905aR/b	0,030952b ² /a +0,016667aR	0,016667b +0,030952a ² R/b
11	-0,052381b ² /a +0,016667aR	0,009524b ³ /a -0,022222abR	0	-0,030952b ² /a -0,016667aR	-0,007143b ³ /a +0,005556abR	0
12	-0,033333b +0,030952a ² R/b	0	0,011111ab +0,007143a ³ R/b	-0,016667b -0,030952a ² R/b	0	0,005556ab -0,007143a ³ R/b

Tablo 3.7b. Eleman Geometrik Yük Matrisi. Her Terim $|p_x/l_y|$ ile çarpılır. ($N_{d,1}$)

7	-0,438095b/a -0,438095aR/b					
8	-0,052381b -0,033333aR	-0,009524b ³ /a -0,044444abR				
9	0,033333b 0,052381a ² R/b	0	-0,044444ab - 0,009524a ³ R/b			
10	-0,161905 b/a +0,438095aR/ b	-0,030952b ² /a +0,033333aR	0,016667b - 0,052381a ² R/b	-0,438095b/a -0,438095aR/b		
11	+0,030952b ² /a -0,033333aR	0,07143b ³ /a +0,011111abR	0	-0,052381b ² /a +0,033333aR	-0,009524b ³ /a -0,044444abR	
12	0,016667b - 0,052381a ² R/b	0	-0,22222ab +0,009524a ³ R /b	0,033333b 0,052381a ² R/b	0	-0,044444ab - 0,009524a ³ R/b
	7	8	9	10	11	12

Tablo 3.7c. Eleman Geometrik Yük Matrisi. Her Terim $|p_x/l_y|$ ile çarpılır. $(N_{el,II})$

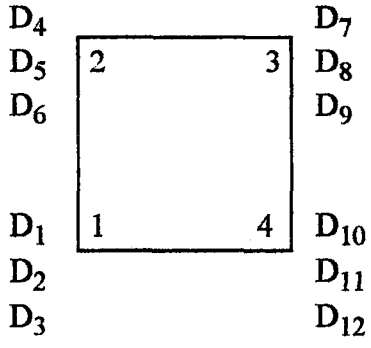
3.7. Elemandan Sisteme Geçiş

Sisteme geçişi bir örnekle açıklamak daha kolaydır.

Sistem 5 adet sonlu elemana ayrılmış ve eleman düğüm değerleri ve sistem düğüm değerleri gösterilmiştir. Buna göre sistem rijitlik matrisi bulmak için eleman rijitlik matrisinin aşağıdaki gibi düzenlersek;

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

Burada $K_e(3 \times 3)$ lük matrisler olmak üzere $[K_e]$ matrisi (12×12) boyutundadır. O halde sistem rijitlik matrisi Tablo 8 'deki gibi oluşur.



Eleman düğüm noktası ve deplasmanları

D ₇ , D ₈ , D ₉	3 D ₁₆ , D ₁₇ , D ₁₈	6 D ₂₅ , D ₂₆ , D ₂₇	9	12 D ₃₄ , D ₃₅ , D ₃₆
D ₄ , D ₅ , D ₆	2 D ₁₃ , D ₁₄ , D ₁₅	5 D ₂₂ , D ₂₃ , D ₂₄	8	11 D ₃₁ , D ₃₂ , D ₃₃
D ₁ , D ₂ , D ₃	1 D ₁₀ , D ₁₁ , D ₁₂	4 D ₁₉ , D ₂₀ , D ₂₁	7	10 D ₂₈ , D ₂₉ , D ₃₀

Sistem düğüm noktası ve deplasmanları

	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	
K_{11}	K_{12}	0	K_{14}	K_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	$K_{22}+K_{11}$	K_{12}	K_{24}	$K_{23}+K_{14}$	K_{13}	0	0	0	0	0	0	0	6
		K_{22}	0	K_{24}	K_{23}	0	0	0	0	0	0	0	9
			$K_{22}+K_{11}$	$K_{23}+K_{14}$	0	K_{14}	K_{13}	0	0	0	0	0	12
				$K_{23}+K_{12}$	$K_{24}+K_{12}$	K_{24}	$K_{23}+K_{14}$	K_{13}	0	0	0	0	15
				$K_{24}+K_{11}$									
					$K_{23}+K_{22}$	0	K_{24}	K_{23}	0	0	0	0	18
						$K_{24}+K_{11}$	$K_{23}+K_{12}$	0	K_{14}	K_{13}	0	0	21
							$K_{23}+K_{24}$	$K_{24}+K_{12}$	K_{24}	$K_{23}+K_{14}$	K_{13}	0	24
								$K_{23}+K_{22}$	0	K_{24}	K_{23}	0	27
									K_{24}	K_{23}	0	0	30
										$K_{23}+K_{24}$	K_{24}	0	33
											K_{23}	0	36

Tablo 3.8. Sistem Rijitlik Matrisi.

3.8. Sınır ve Mesnet Şartları

Genel olarak nerede bir mesnet varsa oradaki bilinmeyeni 0 kabul ederiz.

Basit mesnet varsa, o noktada (w) 0 kabul edilir. Ankastre mesnet varsa, hem çökmeler (w) hem de x ve yönündeki (θ_x, θ_y) dönmeler 0 kabul edilir.

Plak x eksenine göre simetrik ise θ_x dönmeleri, y eksenine göre simetrik ise θ_y dönmeleri, x ve y eksenine göre simetrik ise, θ_x ve θ_y 0 kabul edilir.

Sınır ve mesnet şartlarının 0 olduğu terim $D_i = 0$ olur ve k_{ij} yerine 1 yazılır, sonra i. satır ve sütunun bütün değerleri yerine 0 yazılır.

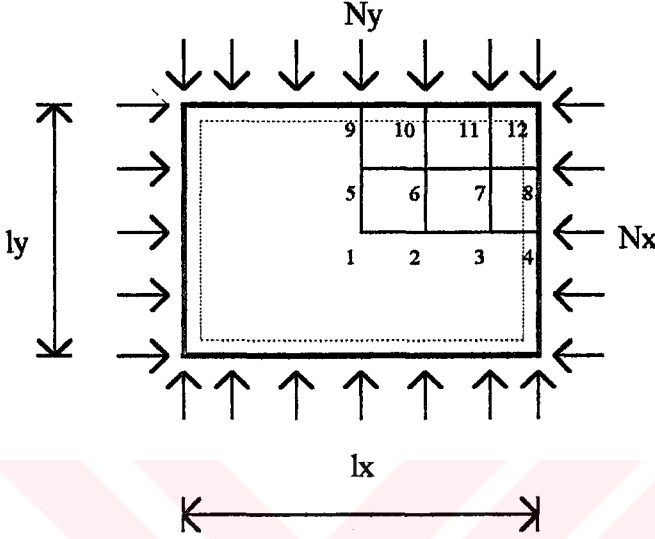
Elastik çöken ve dönen mesnetler pratik olarak aşağıdaki gibi kabul edilir.

i. noktasında bir elastik dönen ve çöken mesnet mevcut ise,
 $i-k_{ii} \rightarrow k_{ii} + k$ şeklinde ifade edilir.

Burada k_{ij} sistem rijitlik matrisinin (i,j) terimini ve k yay katsayısını göstermektedir.

4. ÇÖZÜMLÜ ÖRNEKLER

Örnek 1



$$l_y = 4\text{m}$$

$$l_x = 6\text{m}$$

$$\nu = 0,2$$

$$E = 2,1 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$K = 25000 \text{ kN/m}^3$$

Islak kil zeminde dört tarafından basit mesnetli plağın P_x ve P_y stabilite yüklerini bulunuz?

OX EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK : $LX (M) = 6$

OY EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK : $LY (M) = 4$

ELASTİSİTE MODÜLÜ : $E (KN/m^2) = 2.1E+07$

MALZEME SABİTİ : $\nu = 0.2$

X İLE Y DOĞRULTUSUNDAKİ GERİLMENİN ORANI : $R = 1$

X EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ : $AX = 6$

Y EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ : $AY = 4$

PLAK KALINILIĞI : $H = 0.12$

ZEMİN YATAKLANMA KATSAYISI : $K (kN/m^3) = 25000$

SİSTEM SİMETRİK DEĞİLSE ($L0=(1/0)$)

$L0=0$

SİSTEM X EKSENİNE GÖRE SİMETRİKSE ($L_0=(1/0)$)

$L_0=0$

SİSTEM Y EKSENİNE GÖRE SİMETRİKSE ($L_0=(1/0)$)

$L_0=0$

SİSTEM X VE Y EKSENİNE GÖRE SİMETRİKSE ($L_0=1$)

$L_0=1$

SINIR ŞARTLARININ YERLEŞTİRİLMESİ ($D_I = (1/0)$)

$D(1) = 0$	$D(19) = 0$
$D(2) = 1$	$D(20) = 0$
$D(3) = 1$	$D(21) = 0$
$D(4) = 0$	$D(22) = 0$
$D(5) = 1$	$D(23) = 1$
$D(6) = 0$	$D(24) = 1$
$D(7) = 0$	$D(25) = 0$
$D(8) = 1$	$D(26) = 1$
$D(9) = 0$	$D(27) = 1$
$D(10) = 0$	$D(28) = 0$
$D(11) = 1$	$D(29) = 1$
$D(12) = 1$	$D(30) = 1$
$D(13) = 0$	$D(31) = 0$
$D(14) = 0$	$D(32) = 1$
$D(15) = 1$	$D(33) = 1$
$D(16) = 0$	$D(34) = 0$
$D(17) = 0$	$D(35) = 1$
$D(18) = 0$	$D(36) = 1$

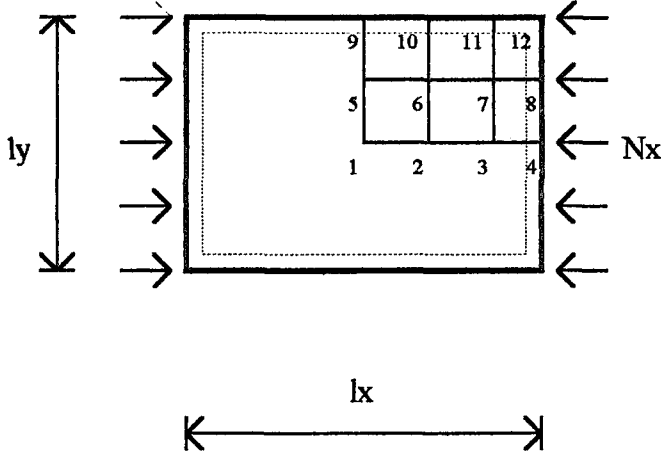
X YÖNÜNDEKİ DÜZGÜN YAYILI DIŞ YÜK : $N_X(\text{kN/m}) = 9850$

Y YÖNÜNDEKİ DÜZGÜN YAYILI DÜZ YÜK : $N_Y(\text{KN/M}) = 9850$

X YÖNÜNDEKİ STABİLİTE YÜKÜ : $P_X(\text{kN}) = 39400$

Y YÖNÜNDEKİ STABİLİTE YÜKÜ : $P_Y(\text{kN}) = 59100$

ÖRNEK 2.



$$l_y = 4\text{m}$$

$$l_x = 6\text{m}$$

$$\nu = 0,2$$

$$E = 2,1 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$K = 25000 \text{ kN/m}^3$$

Islak kil zeminde dört tarafından basit mesnitli plağın P_x ve P_y stabilite yüklerini bulunuz?

OX EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK : $L_X \text{ (M)} = 6$

OY EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK : $L_Y \text{ (M)} = 4$

ELASTİSİTE MODÜLÜ : $E \text{ (KN/m}^2\text{)} = 2.1\text{E}+07$

MALZEME SABİTİ : $\nu = 0.2$

X İLE Y DOĞRULTUSUNDAKİ GERİLMENİN ORANI : $R = 0$

X EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ : $A_X = 6$

Y EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ : $A_Y = 4$

PLAK KALINILIĞI : $H = 0.12$

ZEMİN YATAKLANMA KATSAYISI : $K \text{ (KN/m}^3\text{)} = 25000$

SİSTEM SİMETRİK DEĞİLSE ($L_0 = (1/0)$)

$L_0 = 0$

SİSTEM X EKSENİNE GÖRE SİMETRİKSE ($L_0 = (1/0)$)

$L_0 = 0$

SİSTEM Y EKSENİNE GÖRE SİMETRİKSE ($L_0 = (1/0)$)

$L_0 = 0$

SİSTEM X VE Y EKSENİNE GÖRE SİMETRİKSE (L0=1)

L0=1

MESNET VE SINIR ŞARTLARININ YERLEŞTİRİLMESİ (DI = (1/0))

D (1) = 0	D (19) = 0
D (2) = 1	D (20) = 0
D (3) = 1	D (21) = 0
D (4) = 0	D (22) = 0
D (5) = 1	D (23) = 1
D (6) = 0	D (24) = 1
D (7) = 0	D (25) = 0
D (8) = 1	D (26) = 1
D (9) = 0	D (27) = 1
D (10) = 0	D (28) = 0
D (11) = 1	D (29) = 1
D (12) = 1	D (30) = 1
D (13) = 0	D (31) = 0
D (14) = 0	D (32) = 1
D (15) = 1	D (33) = 1
D (16) = 0	D (34) = 0
D (17) = 0	D (35) = 1
D (18) = 0	D (36) = 1

X YÖNÜNDEKİ DÜZGÜN YAYILI DIŞ YÜK : NX(kN/m) = 14932.5

Y YÖNÜNDEKİ DÜZGÜN YAYILI DIŞ YÜK : NY(kN/m) = 0

X YÖNÜNDEKİ STABİLİTE YÜKÜ : PX (kN) = 59730

Y YÖNÜNDEKİ STABİLİTE YÜKÜ : PY (kN) = 0

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada , sonlu elmanlar metodu kullanılarak elastik zemine oturan ince plakların çözümü yapılmıştır.

Elastik zemine oturan ince plaklar için tablo ve abaklar bulunmamaktadır.

Elastik olmayan zemin için Rayleigh ve Ritz metodu ile yapılan yaklaşık çözümler vardır. Bu çözümlerle sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözümşer karşılaştırılmış ve sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözümün % 15-20 daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Bu da normal bir sonuçtur çünkü tablo ve abaklarla yapılan çözümler kesin çözümlerden % 15-20 daha büyük çıkmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda plak ne kadar fazla elemana bölünürse kesin sonuca yaklaşıklık artmaktadır.

Aynı sınır ve mesnet şartlarına sahip bir plakta tek yönde mambran kesit tesiri bulunan plağın stabilite yükü , çift yönde kesit tesiri bulunan palktan daha fazladır. Ayrıca sınır ve mesnet şartları arttıkça genel olarak plağın stabilite yükü de artmaktadır.

KAYNAKLAR

- Berktaş İ. Plak Teorisi ve Uygulamaları
Y.T.Ü. - 1992
- Timoshenko S. Theory of Plates and Shells
MC Grow - Hill Book Company ,
INC
- Girkmann K., Çeviren :Tameröğlu S. Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler
İ.T.Ü. - 1991
- Çakıroğlu A., Özden E., Özmen G. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin
Matris Metodları ve Elektronik
Hesap Makinası Programları
Cilt 2., 2.Baskı, İ.T.Ü. - 1992
- Pflüger A., Çevirenler : Tameröğlu S. Elastostatiğin Stabilité Problemleri
Cinemre V., Özbek T. İ.T.Ü. - 1970
- İnan M. Elastik Çubukların Genel Teorisi
İ.T.Ü. - 1966
- Köksal T. Sonlu Elemanlar Ders Notları
- Pöschl T., Çeviren : İnan M. Elemanter Mukavemet 2.Baskı
İ.T.Ü. - 1964
- Szilar R. Theory of Analysis of Plates
Prentice-Hall , INC.,-1974

EK1

Bu çalışmada, elastik zemine oturan ince plağın stabilite yükü sonlu elemanlar metodu ile hesaplanmaktadır. Stabilite yükünü bulabilmek için Basic progama dilini kullanarak bir program yapılmıştır. programın listesi aşağıdaki gibidir.



```

10 REM ELASTİK ZEMİNE OTURAN İNCE PLAKLARIN STABİLİTESİ
20 DIM K(12, 12), M(12, 12), KM(12, 12), N(12, 12), E(12, 12), NE(12, 12)
30 INPUT "OX EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK: LX (m) ="; LX
35 LPRINT "OX EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK: LX (m) ="; LX
40 INPUT "OY EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK: LY (m) ="; LY
45 LPRINT "OY EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ UZUNLUK: LY (m) ="; LY
50 INPUT "ELASTİSİTE MODULU: E (KN/m2) ="; E
55 LPRINT "ELASTİSİTE MODULU: E (KN/m2) ="; E
60 INPUT "MALZEME SABİTİ: NU ="; NU
65 LPRINT "MALZEME SABİTİ: NU ="; NU
70 INPUT "X İLE Y DOĞRULTUSUNDAKİ GERİLMENİN ORANI: R ="; R
75 LPRINT "X İLE Y DOĞRULTUSUNDAKİ GERİLMENİN ORANI: R ="; R
80 INPUT "X EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ: AX ="; AX
85 LPRINT "X EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ: AX ="; AX
90 INPUT "Y EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ: AY ="; AY
95 LPRINT "Y EKSENİ DOĞRULTUSUNDAKİ ELEMAN ADEDİ: AY ="; AY
100 INPUT "PLAK KALINLIĞI: H ="; H
105 LPRINT "PLAK KALINLIĞI: H ="; H
110 INPUT "ZEMİN YATAKLANMA KATSAYISI: K (KN/m2) ="; K
115 LPRINT "ZEMİN YATAKLANMA KATSAYISI: K (KN/m2) ="; K
120 A = LX / AX: B = LY / AY
130 REM ELEMAN RİJİTLİK MATRİSİ
140 D = E * H ^ 3 / (12 * (1 - NU ^ 2) * A * B)
150 AB = A / B: BA = B / A: A0 = AB ^ 2: B0 = BA ^ 2
160 A1 = (14 - 4 * NU) / 5: A2 = (1 + 4 * NU) / 5: A3 = (1 - NU) / 5
170 K(1, 1) = D * (4 * (A0 + B0) + A1)
180 K(1, 2) = D * (2 * A0 + A2) * B
190 K(1, 3) = -D * (2 * B0 + A2) * A
200 K(1, 4) = D * (2 * (B0 - 2 * A0) - A1)
210 K(1, 5) = D * (2 * A0 + A3) * B
220 K(1, 6) = -D * (B0 - A2) * A
230 K(1, 7) = D * (-2 * (A0 + B0) + A1)
240 K(1, 8) = D * (A0 - A3) * B
250 K(1, 9) = -D * (B0 - A3) * A
260 K(1, 10) = D * (2 * (A0 - 2 * B0) - A1)
270 K(1, 11) = D * (A0 - A2) * B
280 K(1, 12) = -D * (2 * B0 + A3) * A
290 K(2, 2) = D * 4 / 3 * (A0 + A3) * B ^ 2
300 K(2, 3) = -D * NU * A * B
310 K(2, 4) = -D * (2 * A0 + A3) * B
320 K(2, 5) = D * 2 / 3 * (A0 - A3 / 2) * B ^ 2
330 K(2, 6) = 0
340 K(2, 7) = -D * (A0 - A3) * B
350 K(2, 8) = D / 3 * (A0 + A3) * B ^ 2
360 K(2, 9) = 0
370 K(2, 10) = D * (A0 - A2) * B
380 K(2, 11) = D * 2 / 3 * (A0 - 2 * A3) * B ^ 2
390 K(2, 12) = 0
400 K(3, 3) = D * 4 / 3 * (B0 + A3) * A ^ 2
410 K(3, 4) = -D * (B0 - A2) * A
420 K(3, 5) = 0
430 K(3, 6) = D * 2 / 3 * (B0 - 2 * A3) * A ^ 2
440 K(3, 7) = D * (B0 - A3) * A
450 K(3, 8) = 0
460 K(3, 9) = D / 3 * (B0 + A3) * A ^ 2
470 K(3, 10) = D * (2 * B0 + A3) * A
480 K(3, 11) = 0
490 K(3, 12) = D * 2 / 3 * (B0 - A3 / 2) * A ^ 2
500 K(4, 4) = D * (4 * (A0 + B0) + A1)
510 K(4, 5) = -D * (2 * A0 + A2) * B

```

```

520 K(4, 6) = -D * (2 * B0 + A2) * A
530 K(4, 7) = D * (2 * (A0 - 2*B0) - A1)
540 K(4, 8) = -D * (A0 - A2) * B
550 K(4, 9) = -D * (2 * B0 + A3) * A
560 K(4, 10) = D * (-2 * (A0 + B0) + A1)
570 K(4, 11) = -D * (A0 - A3) * B
580 K(4, 12) = -D * (B0 - A3) * A
590 K(5, 5) = D * 4 / 3 * (A0 + A3) * B ^ 2
600 K(5, 6) = D * NU * A * B
610 K(5, 7) = -D * (A0 - A2) * B
620 K(5, 8) = D * 2 / 3 * (A0 - 2 * A3) * B ^ 2
630 K(5, 9) = 0
640 K(5, 10) = D * (A0 - A3) * B
650 K(5, 11) = D / 3 * (A0 + A3) * B ^ 2
660 K(5, 12) = 0
670 K(6, 6) = D * 4 / 3 * (B0 + A3) * A ^ 2
680 K(6, 7) = D * (2 * B0 + A3) * A
690 K(6, 8) = 0
700 K(6, 9) = D * 2 / 3 * (B0 - A3 / 2) * A ^ 2
710 K(6, 10) = D * (B0 - A3) * A
720 K(6, 11) = 0
730 K(6, 12) = D / 3 * (B0 + A3) * A ^ 2
740 K(7, 7) = D * (4 * (A0 + B0) + A1)
750 K(7, 8) = -D * (2 * A0 + A2) * B
760 K(7, 9) = D * (2 * B0 + A2) * A
770 K(7, 10) = D * (2 * (B0 - 2 * A0) - A1)
780 K(7, 11) = -D * (2 * A0 + A3) * B
790 K(7, 12) = D * (B0 - A2) * A
800 K(8, 8) = D * 4 / 3 * (A0 + A3) * B ^ 2
810 K(8, 9) = -D * NU * A * B
820 K(8, 10) = D * (2 * A0 + A3) * B
830 K(8, 11) = D * 2 / 3 * (A0 - A3 / 2) * B ^ 2
840 K(8, 12) = 0
850 K(9, 9) = D * 4 / 3 * (B0 + A3) * A ^ 2
860 K(9, 10) = D * (B0 - A2) * A
870 K(9, 11) = 0
880 K(9, 12) = D * 2 / 3 * (B0 - 2 * A3) * A ^ 2
890 K(10, 10) = D * (4 * (A0 + B0) + A1)
900 K(10, 11) = D * (2 * A0 + A2) * B
910 K(10, 12) = D * (2 * B0 + A2) * A
920 K(11, 11) = D * 4 / 3 * (A0 + A3) * B ^ 2
930 K(11, 12) = D * NU * A * B
940 K(12, 12) = D * 4 / 3 * (B0 + A3) * A ^ 2
950 FOR I = 1 TO 11
960 FOR J = I + 1 TO 12
970 K(J, I) = K(I, J)
980 NEXT J
990 NEXT I
1000 REM ZEMIN ETKI MATRISI
1001 S0 = .137064: S1 = .0182937: S2 = .0486509: S3 = .0108731
1003 S4 = .00789685#: S5 = .0156349: S6 = .00460316#: S7 = .0031746
1005 S8 = .0025: S9 = .00238094#: S10 = .0016667
1007 S11 = .00119048#: S12 = .0011111: S13 = .0015873
1010 K0 = K * A * B
1020 M(1, 1) = S0 * K0
1030 M(1, 2) = -S1 * K0 * B
1040 M(1, 3) = S1 * K0 * A
1050 M(1, 4) = S2 * K0
1060 M(1, 5) = S3 * K0 * B
1070 M(1, 6) = S4 * K0 * A

```

1080 $M(1, 7) = S5 * K0$
 1090 $M(1, 8) = S6 * K0 * B$
 1100 $M(1, 9) = -S6 * K0 * A$
 1110 $M(1, 10) = S2 * K0$
 1120 $M(1, 11) = -S4 * K0 * B$
 1130 $M(1, 12) = -S3 * K0 * A$
 1140 $M(2, 2) = S7 * K0 * B^2$
 1150 $M(2, 3) = -S8 * K0 * A * B$
 1160 $M(2, 4) = -S3 * K0 * B$
 1170 $M(2, 5) = -S9 * K0 * B^2$
 1180 $M(2, 6) = -S10 * K0 * A * B$
 1190 $M(2, 7) = -S6 * K0 * B$
 1200 $M(2, 8) = -S11 * K0 * B^2$
 1210 $M(2, 9) = S12 * K0 * A * B$
 1220 $M(2, 10) = -S4 * K0 * B$
 1230 $M(2, 11) = S13 * K0 * B^2$
 1240 $M(2, 12) = S10 * K0 * A * B$
 1250 $M(3, 3) = S7 * K0 * A^2$
 1260 $M(3, 4) = S4 * K0 * A$
 1270 $M(3, 5) = S10 * K0 * A * B$
 1280 $M(3, 6) = S13 * K0 * A^2$
 1290 $M(3, 7) = S6 * K0 * A$
 1300 $M(3, 8) = S12 * K0 * A * B$
 1310 $M(3, 9) = -S11 * K0 * A^2$
 1320 $M(3, 10) = S3 * K0 * A$
 1330 $M(3, 11) = -S10 * K0 * A * B$
 1340 $M(3, 12) = -S9 * K0 * A^2$
 1350 $M(4, 4) = S0 * K0$
 1360 $M(4, 5) = S1 * K0 * B$
 1370 $M(4, 6) = S1 * K0 * A$
 1380 $M(4, 7) = S2 * K0$
 1390 $M(4, 8) = S4 * K0 * B$
 1400 $M(4, 9) = -S3 * K0 * A$
 1410 $M(4, 10) = S5 * K0$
 1420 $M(4, 11) = -S6 * K0 * B$
 1430 $M(4, 12) = -S6 * K0 * A$
 1440 $M(5, 5) = S7 * K0 * B^2$
 1450 $M(5, 6) = S8 * K0 * A * B$
 1460 $M(5, 7) = S4 * K0 * B$
 1470 $M(5, 8) = S13 * K0 * B^2$
 1480 $M(5, 9) = -S10 * K0 * A * B$
 1490 $M(5, 10) = S6 * K0 * B$
 1500 $M(5, 11) = -S11 * K0 * B^2$
 1510 $M(5, 12) = -S12 * K0 * A * B$
 1520 $M(6, 6) = S7 * K0 * A^2$
 1530 $M(6, 7) = S3 * K0 * A$
 1540 $M(6, 8) = S10 * K0 * A * B$
 1550 $M(6, 9) = -S9 * K0 * A^2$
 1560 $M(6, 10) = S6 * K0 * A$
 1570 $M(6, 11) = -S12 * K0 * A * B$
 1580 $M(6, 12) = -S11 * K0 * A^2$
 1590 $M(7, 7) = S0 * K0$
 1600 $M(7, 8) = S1 * K0 * B$
 1610 $M(7, 9) = -S1 * K0 * A$
 1620 $M(7, 10) = S2 * K0$
 1630 $M(7, 11) = -S3 * K0 * B$
 1635 $M(7, 12) = -S4 * K0 * A$
 1640 $M(8, 8) = S7 * K0 * B^2$
 1650 $M(8, 9) = -S8 * K0 * A * B$
 1660 $M(8, 10) = S3 * K0 * B$

```

1670 M(8, 11) = -S9 * K0 * B ^ 2
1680 M(8, 12) = -S10 * K0 * A * B
1690 M(9, 9) = S7 * K0 * A ^ 2
1700 M(9, 10) = -S4 * K0 * A
1710 M(9, 11) = S10 * K0 * A * B
1720 M(9, 12) = S13 * K0 * A ^ 2
1730 M(10, 10) = S0 * K0
1740 M(10, 11) = -S1 * K0 * B
1750 M(10, 12) = -S1 * K0 * A
1760 M(11, 11) = S7 * K0 * B ^ 2
1770 M(11, 12) = S8 * K0 * A * B
1780 M(12, 12) = S7 * K0 * A ^ 2
1790 FOR I = 1 TO 11
1800 FOR J = I + 1 TO 12
1810 M(J, I) = M(I, J)
1812 NEXT J
1814 NEXT I
1840 FOR I = 1 TO 12
1850 FOR J = 1 TO 12
1860 KM(I, J) = K(I, J) + M(I, J)
1870 NEXT J
1880 NEXT I
1890 REM GEOMETRIK YUK MATRISI
1900 T0 = .438095: T1 = .052381
1910 T2 = .011111: T3 = .161905
1920 T4 = .030952: T5 = .016667
1930 T6 = .009524: T7 = .007143
1940 N(1, 1) = -T0 * BA - T0 * AB * R
1950 N(1, 2) = T1 * B * BA + 2 * T5 * A * R
1960 N(1, 3) = -2 * T5 * B - T1 * A * AB * R
1970 N(1, 4) = -T3 * BA + T0 * AB * R
1980 N(1, 5) = -T4 * B * BA + 2 * T5 * A * R
1990 N(1, 6) = -T5 * B + T1 * A * AB * R
2000 N(1, 7) = T3 * (BA + AB * R)
2010 N(1, 8) = T4 * B * BA + T5 * A * R
2020 N(1, 9) = -T5 * B - T4 * A * AB * R
2030 N(1, 10) = T0 * BA - T3 * AB * R
2040 N(1, 11) = -T1 * B * BA + T5 * A * R
2050 N(1, 12) = -2 * T5 * B + T4 * A * AB * R
2060 N(2, 2) = -T6 * B ^ 2 * BA - 4 * T2 * A * B * R
2070 N(2, 3) = 0: N(2, 6) = 0: N(2, 9) = 0: N(2, 12) = 0
2080 N(2, 4) = T4 * B * BA - 2 * T5 * A * R
2090 N(2, 5) = T7 * B ^ 2 * BA + T2 * A * B * R
2100 N(2, 7) = -T4 * B * BA - T5 * A * R
2110 N(2, 8) = -T7 * B ^ 2 * BA + T2 / 2 * A * B * R
2120 N(2, 10) = -T1 * B * BA + T5 * A * R
2130 N(2, 11) = T6 * B ^ 2 * BA - 2 * T2 * A * B * R
2140 N(3, 3) = -4 * T2 * A * B - T6 * A ^ 2 * AB * R
2150 N(3, 4) = -T5 * B + T1 * A * AB * R
2160 N(3, 5) = 0: N(3, 8) = 0: N(3, 11) = 0
2170 N(3, 6) = -2 * T2 * A * B + T6 * A ^ 2 * AB * R
2180 N(3, 7) = T5 * B + T4 * A * AB * R
2190 N(3, 9) = T2 / 2 * A * B - T7 * A ^ 2 * AB * R
2200 N(3, 10) = 2 * T5 * B - T4 * A * AB * R
2210 N(3, 12) = T2 * A * B + T7 * A ^ 2 * AB * R
2220 N(4, 4) = N(1, 1): N(4, 5) = -N(1, 2): N(4, 6) = N(1, 3)
2230 N(4, 7) = N(1, 10): N(4, 8) = -N(1, 11): N(4, 9) = N(1, 12)
2240 N(4, 10) = N(1, 7): N(4, 11) = -N(1, 8): N(4, 12) = N(1, 9)
2250 N(5, 5) = N(2, 2): N(5, 6) = 0: N(5, 7) = -N(2, 10)
2260 N(5, 8) = N(2, 11): N(5, 9) = 0: N(5, 10) = -N(2, 7)

```

```

2270 N(5, 11) = N(2, 8): N(5, 12) = 0
2280 N(6, 6) = N(3, 3): N(6, 7) = N(3, 10): N(6, 8) = 0
2290 N(6, 9) = N(3, 12): N(6, 10) = N(3, 7)
2300 N(6, 11) = 0: N(6, 12) = N(3, 9)
2310 N(7, 7) = N(1, 1): N(7, 8) = N(4, 5): N(7, 9) = -N(1, 3)
2320 N(7, 10) = N(1, 4): N(7, 11) = -N(1, 5): N(7, 12) = -N(1, 6)
2330 N(8, 8) = N(2, 2): N(8, 9) = 0: N(8, 10) = N(1, 5)
2335 N(8, 11) = N(2, 5): N(8, 12) = 0
2340 N(9, 9) = N(3, 3): N(9, 10) = N(1, 6)
2350 N(9, 11) = 0: N(9, 12) = N(3, 6)
2360 N(10, 10) = N(1, 1): N(10, 11) = N(1, 2): N(10, 12) = N(7, 9)
2370 N(11, 11) = N(2, 2): N(11, 12) = 0: N(12, 12) = N(3, 3)
2380 FOR I = 1 TO 11
2390 FOR J = 1 TO 12
2400 N(J, I) = N(I, J)
2410 NEXT J
2420 NEXT I
2480 PRINT "SISTEM SIMETRIK DEGILSE (LO=(1/0))"
2490 LPRINT "SISTEM SIMETRIK DEGILSE (LO=(1/0))"
2500 INPUT "LO="; LO
2505 LPRINT "LO="; LO
2510 IF LO = 1 GOTO 2520 ELSE 2537
2520 XN = AX + 1: YN = AY + 1
2530 XO = 3 * XN: YO = 3 * YN: XYO = XO * YN
2535 GOTO 2682
2537 PRINT "SISTEM X EKSENINE GORE SIMETRIKSE (LO=(1/0))"
2540 LPRINT "SISTEM X EKSENINE GORE SIMETRIKSE (LO=(1/0))"
2550 INPUT "LO="; LO
2555 LPRINT "LO="; LO
2560 IF LO = 1 GOTO 2570 ELSE 2587
2570 XN = AX + 1: YN = AY / 2 + 1
2580 XO = 3 * XN: YO = 3 * YN: XYO = XO * YN
2585 GOTO 2682
2587 PRINT "SISTEM Y EKSENINE GORE SIMETRIKSE (LO=(1/0))"
2590 LPRINT "SISTEM Y EKSENINE GORE SIMETRIKSE (LO=(1/0))"
2600 INPUT "LO="; LO
2605 LPRINT "LO="; LO
2610 IF LO = 1 GOTO 2620 ELSE 2637
2620 XN = AX / 2 + 1: YN = AY + 1
2630 XO = 3 * XN: YO = 3 * YN: XYO = XO * YN
2635 GOTO 2682
2637 PRINT "SISTEM X VE Y EKSENINE GORE SIMETRIKSE (LO=1)"
2640 LPRINT "SISTEM X VE Y EKSENINE GORE SIMETRIKSE (LO=1)"
2650 INPUT "LO="; LO
2655 LPRINT "LO="; LO
2660 IF LO = 1 GOTO 2670 ELSE 2682
2670 XN = AX / 2 + 1: YN = AY / 2 + 1
2680 XO = 3 * XN: YO = 3 * YN: XYO = XO * YN
2682 PRINT "MESNET VE SINIR SARTLARININ YERLESTIRILMESI (DI=(1/0))"
2683 LPRINT "MESNET VE SINIR SARTLARININ YERLESTIRILMESI (DI=(1/0))"
2684 DIM D(XYO), S(XYO, XYO)
2685 FOR I = 1 TO XYO
2686 PRINT "D(";I;")=": INPUT D(I)
2687 LPRINT "D(";I;")="; D(I)
2688 NEXT I
2690 NX = 0
2700 FOR I = 1 TO 12
2710 FOR J = 1 TO 12
2720 NE(I, J) = NX * N(I, J)
2730 E(I, J) = KM(I, J) + NE(I, J)

```

```

2740 NEXT J
2750 NEXT I
2760 REM SISTEM MATRISININ OLUSTURULMASI
2770 FOR I = 1 TO XY0
2780 FOR J = 1 TO XY0
2790 S(I, J) = 0
2800 NEXT J
2810 NEXT I
2820 S(1, 1) = E(1, 1): S(1, 2) = E(1, 2): S(1, 3) = E(1, 3)
2830 S(2, 2) = E(2, 2): S(2, 3) = E(2, 3): S(3, 3) = E(3, 3)
2840 S(1, 4) = E(1, 10): S(1, 5) = E(1, 11): S(1, 6) = E(1, 12)
2850 S(2, 4) = E(2, 10): S(2, 5) = E(2, 11): S(2, 6) = E(2, 12)
2860 S(3, 4) = E(3, 10): S(3, 5) = E(3, 11): S(3, 6) = E(3, 12)
2870 S(1, XO + 1) = E(1, 4): S(1, XO + 2) = E(1, 5): S(1, XO + 3) = E(1, 6)
2880 S(2, XO + 1) = E(2, 4): S(2, XO + 2) = E(2, 5): S(2, XO + 3) = E(2, 6)
2890 S(3, XO + 1) = E(3, 4): S(3, XO + 2) = E(3, 5): S(3, XO + 3) = E(3, 6)
2900 S(1, XO + 4) = E(1, 7): S(1, XO + 5) = E(1, 8): S(1, XO + 6) = E(1, 9)
2910 S(2, XO + 4) = E(2, 7): S(2, XO + 5) = E(2, 8): S(2, XO + 6) = E(2, 9)
2920 S(3, XO + 4) = E(3, 7): S(3, XO + 5) = E(3, 8): S(3, XO + 6) = E(3, 9)
2930 EX = XO / 3 - 2: I = 0
2940 I = I + 1
2950 IF I <= EX GOTO 2960 ELSE 3270
2960 IO = 3 * I: XIO = XO + IO
2970 S(IO + 1, IO + 1) = E(1, 1) + E(10, 10)
2980 S(IO + 1, IO + 2) = E(1, 2) + E(10, 11)
2990 S(IO + 1, IO + 3) = E(1, 3) + E(10, 12)
3000 S(IO + 2, IO + 2) = E(2, 2) + E(11, 11)
3010 S(IO + 2, IO + 3) = E(2, 3) + E(11, 12)
3020 S(IO + 3, IO + 3) = E(3, 3) + E(12, 12)
3030 S(IO + 1, IO + 4) = E(1, 10): S(IO + 1, IO + 5) = E(1, 11)
3040 S(IO + 1, IO + 6) = E(1, 12): S(IO + 2, IO + 4) = E(2, 10)
3050 S(IO + 2, IO + 5) = E(2, 11): S(IO + 2, IO + 6) = E(2, 12)
3060 S(IO + 3, IO + 4) = E(3, 10): S(IO + 3, IO + 5) = E(3, 11)
3065 S(IO + 3, IO + 6) = E(3, 12)
3070 S(IO + 1, XIO - 2) = E(10, 4): S(IO + 1, XIO - 1) = E(10, 5)
3080 S(IO + 1, XIO) = E(10, 6): S(IO + 2, XIO - 2) = E(11, 4)
3090 S(IO + 2, XIO - 1) = E(11, 5): S(IO + 2, XIO) = E(11, 6)
3100 S(IO + 3, XIO - 2) = E(12, 4): S(IO + 3, XIO - 1) = E(12, 5)
3110 S(IO + 3, XIO) = E(12, 6)
3120 S(IO + 1, XIO + 1) = E(10, 7) + E(1, 4)
3130 S(IO + 1, XIO + 2) = E(10, 8) + E(1, 5)
3140 S(IO + 1, XIO + 3) = E(10, 9) + E(1, 6)
3150 S(IO + 2, XIO + 1) = E(11, 7) + E(2, 4)
3160 S(IO + 2, XIO + 2) = E(11, 8) + E(2, 5)
3170 S(IO + 2, XIO + 3) = E(11, 9) + E(2, 6)
3180 S(IO + 3, XIO + 1) = E(12, 7) + E(3, 4)
3190 S(IO + 3, XIO + 2) = E(12, 8) + E(3, 5)
3200 S(IO + 3, XIO + 3) = E(12, 9) + E(3, 6)
3210 S(IO + 1, XIO + 4) = E(1, 7): S(IO + 1, XIO + 5) = E(1, 8)
3220 S(IO + 1, XIO + 6) = E(1, 9): S(IO + 2, XIO + 4) = E(2, 7)
3230 S(IO + 2, XIO + 5) = E(2, 8): S(IO + 2, XIO + 6) = E(2, 9)
3240 S(IO + 3, XIO + 4) = E(3, 7): S(IO + 3, XIO + 5) = E(3, 8)
3250 S(IO + 3, XIO + 6) = E(3, 9)
3260 GOTO 2940
3270 IO = EX * 3
3280 S(XO - 2, XO - 2) = E(10, 10): S(XO - 2, XO - 1) = E(10, 11)
3290 S(XO - 2, XO) = E(10, 12): S(XO - 1, XO - 1) = E(11, 11)
3300 S(XO - 1, XO) = E(11, 12): S(XO, XO) = E(12, 12)
3310 S(XO - 2, XIO + 1) = E(10, 4): S(XO - 2, XIO + 2) = E(10, 5)
3320 S(XO - 2, XIO + 3) = E(10, 6): S(XO - 1, XIO + 1) = E(11, 4)

```

```

3330 S(X0 - 1, XIO + 2) = E(11, 5): S(X0 - 1, XIO + 3) = E(11, 6)
3340 S(X0, XIO + 1) = E(12, 4): S(X0, XIO + 2) = E(12, 5)
3350 S(X0, XIO + 3) = E(12, 6)
3360 S(X0 - 2, XIO + 4) = E(10, 7): S(X0 - 2, XIO + 5) = E(10, 8)
3370 S(X0 - 2, XIO + 6) = E(10, 9): S(X0 - 1, XIO + 4) = E(11, 7)
3380 S(X0 - 1, XIO + 5) = E(11, 8): S(X0 - 1, XIO + 6) = E(11, 9)
3390 S(X0, XIO + 4) = E(12, 7): S(X0, XIO + 5) = E(12, 8)
3400 S(X0, XIO + 6) = E(12, 9)
3405 EY = Y0 / 3 - 2: I = 0
3410 I = I + 1
3415 IF I <= EY GOTO 3420 ELSE 4230
3420 IO = I * X0: XIO = IO + X0
3430 S(IO + 1, IO + 1) = E(4, 4) + E(1, 1)
3440 S(IO + 1, IO + 2) = E(4, 5) + E(1, 2)
3450 S(IO + 1, IO + 3) = E(4, 6) + E(1, 3)
3460 S(IO + 2, IO + 2) = E(5, 5) + E(2, 2)
3470 S(IO + 2, IO + 3) = E(5, 6) + E(2, 3)
3480 S(IO + 3, IO + 3) = E(6, 6) + E(3, 3)
3490 S(IO + 1, IO + 4) = E(4, 7) + E(1, 10)
3500 S(IO + 1, IO + 5) = E(4, 8) + E(1, 11)
3510 S(IO + 1, IO + 6) = E(4, 9) + E(1, 12)
3520 S(IO + 2, IO + 4) = E(5, 7) + E(2, 10)
3530 S(IO + 2, IO + 5) = E(5, 8) + E(2, 11)
3540 S(IO + 2, IO + 6) = E(5, 9) + E(2, 12)
3550 S(IO + 3, IO + 4) = E(6, 7) + E(3, 10)
3560 S(IO + 3, IO + 6) = E(6, 9) + E(3, 12)
3565 S(IO+3,IO+5)=E(6,8)+E(3,11)
3570 S(IO + 1, XIO + 1) = E(1, 4): S(IO + 1, XIO + 2) = E(1, 5)
3580 S(IO + 1, XIO + 3) = E(1, 6): S(IO + 2, XIO + 1) = E(2, 4)
3590 S(IO + 2, XIO + 2) = E(2, 5): S(IO + 2, XIO + 3) = E(2, 6)
3600 S(IO + 3, XIO + 1) = E(3, 4): S(IO + 3, XIO + 2) = E(3, 5)
3610 S(IO + 3, XIO + 3) = E(3, 6)
3620 S(IO + 1, XIO + 4) = E(1, 7): S(IO + 1, XIO + 5) = E(1, 8)
3630 S(IO + 1, XIO + 6) = E(1, 9): S(IO + 2, XIO + 4) = E(2, 7)
3640 S(IO + 2, XIO + 5) = E(2, 8): S(IO + 2, XIO + 6) = E(2, 9)
3650 S(IO + 3, XIO + 4) = E(3, 7): S(IO + 3, XIO + 5) = E(3, 8)
3660 S(IO + 3, XIO + 6) = E(3, 9)
3665 J = 0
3670 J = J + 1
3675 IF J <= EX GOTO 3680 ELSE 4045
3680 I1 = J * 3: I10 = IO + I1
3690 S(I10 + 1, I10 + 1) = E(1, 1) + E(4, 4) + E(7, 7) + E(10, 10)
3700 S(I10 + 1, I10 + 2) = E(1, 2) + E(4, 5) + E(7, 8) + E(10, 11)
3710 S(I10 + 1, I10 + 3) = E(1, 3) + E(4, 6) + E(7, 9) + E(10, 12)
3720 S(I10 + 2, I10 + 2) = E(2, 2) + E(5, 5) + E(8, 8) + E(11, 11)
3730 S(I10 + 2, I10 + 3) = E(2, 3) + E(5, 6) + E(8, 9) + E(11, 12)
3740 S(I10 + 3, I10 + 3) = E(3, 3) + E(6, 6) + E(9, 9) + E(12, 12)
3750 S(I10 + 1, I10 + 4) = E(4, 7) + E(1, 10)
3760 S(I10 + 1, I10 + 5) = E(4, 8) + E(1, 11)
3770 S(I10 + 1, I10 + 6) = E(4, 9) + E(1, 12)
3780 S(I10 + 2, I10 + 4) = E(5, 7) + E(2, 10)
3790 S(I10 + 2, I10 + 5) = E(5, 8) + E(2, 11)
3800 S(I10 + 2, I10 + 6) = E(5, 9) + E(2, 12)
3810 S(I10 + 3, I10 + 4) = E(6, 7) + E(3, 10)
3820 S(I10 + 3, I10 + 5) = E(6, 8) + E(3, 11)
3830 S(I10 + 3, I10 + 6) = E(6, 9) + E(3, 12)
3840 X10 = IO + X0 + I1
3850 S(I10 + 1, X10 - 2) = E(10, 4): S(I10 + 1, X10 - 1) = E(10, 5)
3860 S(I10 + 1, X10) = E(10, 6): S(I10 + 2, X10 - 2) = E(11, 4)
3870 S(I10 + 2, X10 - 1) = E(11, 5): S(I10 + 2, X10) = E(11, 6)

```

```

3880 S(I10 + 3, X10 - 2) = E(12, 4): S(I10 + 3, X10 - 1) = E(12, 5)
3890 S(I10 + 3, X10) = E(12, 6)
3900 S(I10 + 1, X10 + 1) = E(10, 7) + E(1, 4)
3910 S(I10 + 1, X10 + 2) = E(10, 8) + E(1, 5)
3920 S(I10 + 1, X10 + 3) = E(10, 9) + E(1, 6)
3930 S(I10 + 2, X10 + 1) = E(11, 7) + E(2, 4)
3940 S(I10 + 2, X10 + 2) = E(11, 8) + E(2, 5)
3950 S(I10 + 2, X10 + 3) = E(11, 9) + E(2, 6)
3960 S(I10 + 3, X10 + 1) = E(12, 7) + E(3, 4)
3970 S(I10 + 3, X10 + 2) = E(12, 8) + E(3, 5)
3980 S(I10 + 3, X10 + 3) = E(12, 9) + E(3, 6)
3990 S(I10 + 1, X10 + 4) = E(1, 7): S(I10 + 1, X10 + 5) = E(1, 8)
4000 S(I10 + 1, X10 + 6) = E(1, 9): S(I10 + 2, X10 + 4) = E(2, 7)
4010 S(I10 + 2, X10 + 5) = E(2, 8): S(I10 + 2, X10 + 6) = E(2, 9)
4020 S(I10 + 3, X10 + 4) = E(3, 7): S(I10 + 3, X10 + 5) = E(3, 8)
4030 S(I10 + 3, X10 + 6) = E(3, 9)
4040 GOTO 3670
4045 X10 = X0 + I0
4050 S(X10 - 2, X10 - 2) = E(7, 7) + E(10, 10)
4060 S(X10 - 2, X10 - 1) = E(7, 8) + E(10, 11)
4070 S(X10 - 2, X10) = E(7, 9) + E(10, 12)
4080 S(X10 - 1, X10 - 1) = E(8, 8) + E(11, 11)
4090 S(X10 - 1, X10) = E(8, 9) + E(11, 12)
4100 S(X10, X10) = E(9, 9) + E(12, 12)
4110 X20 = X10 + X0
4120 S(X10 - 2, X20 - 5) = E(10, 4): S(X10 - 2, X20 - 4) = E(10, 5)
4130 S(X10 - 2, X20 - 3) = E(10, 6): S(X10 - 1, X20 - 5) = E(11, 4)
4140 S(X10 - 1, X20 - 4) = E(11, 5): S(X10 - 1, X20 - 3) = E(11, 6)
4150 S(X10, X20 - 5) = E(12, 4): S(X10, X20 - 4) = E(12, 5)
4160 S(X10, X20 - 3) = E(12, 6)
4170 S(X10 - 2, X20 - 2) = E(10, 7): S(X10 - 2, X20 - 1) = E(10, 8)
4180 S(X10 - 2, X20) = E(10, 9): S(X10 - 1, X20 - 2) = E(11, 7)
4190 S(X10 - 1, X20 - 1) = E(11, 8): S(X10 - 1, X20) = E(11, 9)
4200 S(X10, X20 - 2) = E(12, 7): S(X10, X20 - 1) = E(12, 8)
4210 S(X10, X20) = E(12, 9)
4220 GOTO 3410
4230 X30 = XY0 - X0
4240 S(X30 + 1, X30 + 1) = E(4, 4): S(X30 + 1, X30 + 2) = E(4, 5)
4250 S(X30 + 1, X30 + 3) = E(4, 6): S(X30 + 2, X30 + 2) = E(5, 5)
4260 S(X30 + 2, X30 + 3) = E(5, 6): S(X30 + 3, X30 + 3) = E(6, 6)
4270 S(X30 + 1, X30 + 4) = E(4, 7): S(X30 + 1, X30 + 5) = E(4, 8)
4280 S(X30 + 1, X30 + 6) = E(4, 9): S(X30 + 2, X30 + 4) = E(5, 7)
4290 S(X30 + 2, X30 + 5) = E(5, 8): S(X30 + 2, X30 + 6) = E(5, 9)
4300 S(X30 + 3, X30 + 4) = E(6, 7): S(X30 + 3, X30 + 5) = E(6, 8)
4310 S(X30 + 3, X30 + 6) = E(6, 9)
4315 I = 0
4320 I = I + 1
4330 IF I <= EX GOTO 4340 ELSE 4470
4340 I0 = I * 3: X40 = X30 + I0
4350 S(X40 + 1, X40 + 1) = E(7, 7) + E(4, 4)
4360 S(X40 + 1, X40 + 2) = E(7, 8) + E(4, 5)
4370 S(X40 + 1, X40 + 3) = E(7, 9) + E(4, 6)
4380 S(X40 + 2, X40 + 2) = E(8, 8) + E(5, 5)
4390 S(X40 + 2, X40 + 3) = E(8, 9) + E(5, 6)
4400 S(X40 + 3, X40 + 3) = E(9, 9) + E(6, 6)
4410 S(X40 + 1, X40 + 4) = E(4, 7): S(X40 + 1, X40 + 5) = E(4, 8)
4420 S(X40 + 1, X40 + 6) = E(4, 9): S(X40 + 2, X40 + 4) = E(5, 7)
4430 S(X40 + 2, X40 + 5) = E(5, 8): S(X40 + 2, X40 + 6) = E(5, 9)
4440 S(X40 + 3, X40 + 4) = E(6, 7): S(X40 + 3, X40 + 5) = E(6, 8)
4450 S(X40 + 3, X40 + 6) = E(6, 9)

```

```

4460 GOTO 4320
4470 S(XY0 - 2, XY0 - 2) = E(7, 7): S(XY0 - 2, XY0 - 1) = E(7, 8)
4480 S(XY0 - 2, XY0) = E(7, 9): S(XY0 - 1, XY0 - 1) = E(8, 8)
4490 S(XY0 - 1, XY0) = E(8, 9): S(XY0, XY0) = E(9, 9)
4492 FOR I=1 TO XY0
4494 FOR J=1 TO XY0
4496 S(J,I)=S(I,J)
4498 NEXT J:NEXT I
4500 FOR I=1 TO XY0
4505 FOR J=1 TO XY0
4510 DIJ=S(I,J)/1000
4515 S(I,J)=DIJ
4520 NEXT J:NEXT I
4560 FOR I = 1 TO XY0
4570 IF D(I) = 1 GOTO 4580 ELSE 4610
4580 FOR J = 1 TO XY0
4590 IF J = I THEN S(J, I) = 1 ELSE S(J, I) = 0
4600 S(I, J) = S(J, I)
4605 NEXT J
4610 NEXT I
4660 FOR I = 1 TO XY0 - 1
4670 FOR J = I + 1 TO XY0
4680 KR = S(J, I) / S(I, I)
4690 FOR L = I + 1 TO XY0
4700 S(J, L) = S(J, L) - KR* S(I, L)
4710 NEXT L: NEXT J: NEXT I
4720 DET= 1
4730 FOR I = 1 TO XY0
4740 DET= DET* S(I, I)
4750 NEXT I
4760 IF DET> 0 GOTO 4770 ELSE 4790
4770 NX = NX + 500
4780 GOTO 2700
4790 NX = NX - 67.5
4800 PX = NX * LY
4810 PY = NX * R * LX
4820 LPRINT "X YONUNDEKI STABILITE YUKU: PX (kN) ="; PX
4830 LPRINT "Y YONUNDEKI STABILITE YUKU: PY (kN) ="; PY
5000 END

```

ÖZGEÇMİŞ:

Doğum Yeri : Ünye

Doğum Tarihi : 24/05/1971

Öğrenim Hayatı : 1977 yılında Ünye Kaledere İlkokulu'nda öğrenim hayatına başladım. 1982 yılında ilkokulu bitirdim. Ortaokul ve lise tahsilimi Samsun Anadolu Lisesi'nde tamamladım.(mezuniyet 1989) 1989 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek okul hayatıma başladım. 1993 yılında mezun oldum ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazandım.Halen bu enstitüde yüksek lisans öğrencisiyim.

