T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DÜZLEM ÇERÇEVE SİSTEMLERİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE ÇÖZÜMÜ
(Kuvvet Metodu)

LİSANSÜSTÜ TEZİ

Hazırlayan
İnş. Müh. Cihat TUNALI

Yöneten
Y. Doç. Dr. Ahmet TOPÇU

ESKİŞEHİR - 1986

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

Bu çalışmada düzlem çerçeve sistemlerde uygulaması anlatılmaya çalışılan sonlu elemanlar kuvvet metodu oldukça yeni metottur.

Bilgisayarların kısa sürede gelişimine paralel olarak sonlu elemanlar kuvvet metodu da hızla yeni uygulama alanları bulmuştur.

Klâsik çözüm metotları ile çözülmesi pratik olarak çok karışık hatta olanaksız olan taşıyıcı sistemler kolayca çözülebilir hale gelmiş ve hesapların hassasiyet dereceleri artmıştır.

Bu çalışmada düzlem çerçeve sistemlerin statik yükler ve ısı tesirleri altında çözümünü içeren bir bilgisayar programı verilmiştir.

Ayrıca mafsallı sistemler de göz önüne alınmış olup düğüm noktalarındaki deplasmanlar da hesaplanabilmektedir.

Program İnşaat bölümü bilgi işlem merkezinde hazırlanarak, MONROE EC 8800 mikrobilgisayarlarında test edilmiştir.

Çalışmalarıma yardımcı olan hocam YRD. DOÇ. DR. Ahmet TOPÇU'ya ve Y. MÜH. Niyazi ÇİFTÇİ'ye teşekkürü borç bilirim.

GİRİŞ

Sonlu elemanlar metodu nümerik bir hesap yöntemidir. Metodun esası, sistem ne denli karmaşık olursa olsun daima sistemin idealize edilmiş ve özellikleri bilinen elemanlarının çözümüne dayanır.

Sonlu elemanlar kuvvet metodu plâk, levha ve kabuk gibi sürekli ortam özelliğine sahip taşıyıcı sistemlerin gerilme, stabilite ve dinamik hesaplarına da uygulanabilmektedir.

Sonlu elemanlar kuvvet metodunda hesaplanacak sistemler birbirlerinden sonlu uzaklıktaki noktalarda birleşen elemanlardan oluşmaktadır. Sonuçların doğruluk derecesi yapılan idealizasyona bağlıdır.

Metot, çubuk sistemlere uygulandığında kesin çözümler verir. Ancak sürekli ortam problemlerinde hiperstatiklik derecesi sonsuz olduğu halde sistemin idealize edilmesiyle hiperstatiklik derecesi sonlu bir değere indirgenmiş olur. Sonuçlar kabul edilebilir sınırlardadır.

Metot, lineer ve elâstik sistemlerin yanısıra nonlineer ve plâstik sistemlerin analizlerine de uygulanabilmektedir.

1. ELASTİK CİSİMLERİN DİFERANSİYEL DENKLEMLERİ (1)

Elâstik cisimlerin gerilme ve deformasyon problemlerinin çözümü için;

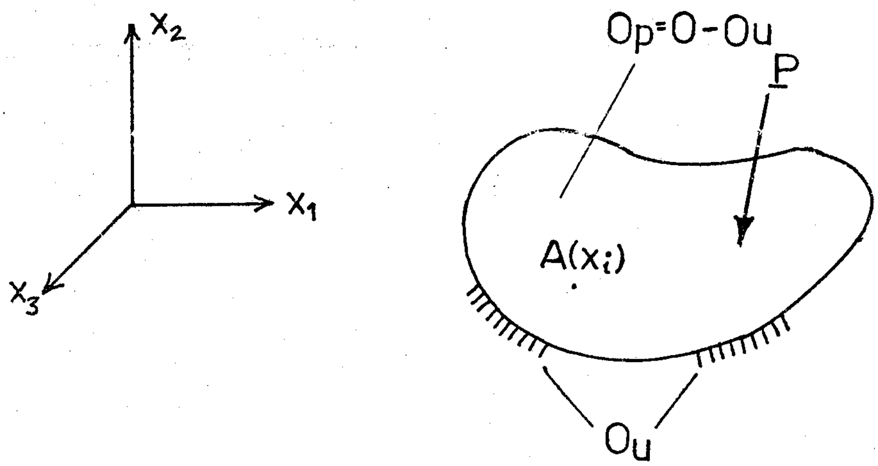
a) Denge denklemleri

b) Uygunluk şartları

c) Malzeme kanunları olmak üzere üç esastan hareket edilir.

1.1. DENGE DENKLEMLERİ

Cismin küçük bir parçasının dengesi incelenerek diferansiyel denge denklemleri kurulur.



V: Elâstik cismin hacmi

O :Elâstik cismin yüzey alanı

O_u:Mesnetlenmiş yüzey alanı

O_p:$\underline{P}$ yükü ile yüklenmiş yüzey alanı

$\underline{P} = \{ P_1 \; P_2 \; P_3 \}$: dış yük vektörü

$\underline{g} = \{ g_1 \; g_2 \; g_3 \}$: hacimsel kuvvetler olmak üzere,

dv elemanının denge denklemi

$$\underline{D}^T \underline{\sigma} + \underline{g} = 0 \qquad \text{..........................} \qquad 1.1.1$$

dır. Burada;

$\underline{D}^T$: Diferansiyel operatör matrisi

$\underline{\sigma}$: Gerilme vektörü olup,

$$\underline{D}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x_2} & \frac{\partial}{\partial x_3} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial x_2} & 0 & \frac{\partial}{\partial x_1} & 0 & \frac{\partial}{\partial x_3} \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x_3} & 0 & \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} \end{bmatrix}$$

$\underline{\sigma} = \{ \sigma_{11} \ \sigma_{22} \ \sigma_{33} \ \sigma_{12} \ \sigma_{13} \ \sigma_{23} \}$ ile verilir.

Dengesi aranan dv elemanı yüzeyde ise, denge denklemi

$\underline{P} = \underline{n}^T \underline{\sigma}$ (Op üzerinde) 1.1.2

olur.

$\underline{n}^T$: Yüzey elemanın denge matrisi

1.2. UYGUNLUK ŞARTLARI

$\underline{\varepsilon} = \underline{D}\,\underline{U}$ 1.2.1

Bu denkleme elâstik cismin geometrik uygunluk şartı da denilir. Dış deplasmanlarla iç deformasyonlar arasında sınır şartlarını (geometrik bağlar) dikkate alarak diferansiyel bir bağıntı kurar.

Ou yüzeyinde (mesnetlerde), $\underline{u}^o = \underline{u}$ olmalıdır.

Yani deplasman vektörü Ou üzerinde verilmiş dış deplasmanlara eşit olmalıdır.

1.3. MALZEME KANUNLARI (Bünye denklemleri)

Denge denklemleri ve uygunluk şartları malzemenin elâstik yada plâstik olması halinde değişmezler. Bu nedenle gerilmelerle deformasyonlar arasında bir bağıntı kuramazlar.

Bu bağıntı malzeme (hook) kanunları ile kurulur ve sadece malzemenin yapısına bağlıdır.

$$\underline{\sigma} = \underline{E}\,\underline{\varepsilon} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1.3.1$$

ile verilir.

E : malzemenin elâstisite modülü

ν : malzemenin enine uzama katsayısı

G : $\dfrac{E}{2(1+\nu)}$ ile verilen G'ye kayma modülü denilir.

$$\underline{E} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & & & \\ \nu & 1-\nu & \nu & & & \\ \nu & \nu & 1-\nu & & & \\ & & & \frac{1-2\nu}{2} & & \\ & & & & \frac{1-2\nu}{2} & \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}$$

$\underline{E}$: Malzemenin rijitlik matrisi

$$\underline{G} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu & & & \\ -\nu & 1 & -\nu & & & \\ -\nu & -\nu & 1 & & & \\ & & & 2(1+\nu) & & \\ & & & & 2(1+\nu) & \\ & & & & & 2(1+\nu) \end{bmatrix}$$

$\underline{G}$: Malzemenin flexibilite matrisi

$\underline{E}$ ile $\underline{G}$ arasında $\underline{G} = \underline{E}^{-1}$ bağıntısı vardır.

2. ENERJİ METOTLARI (1)

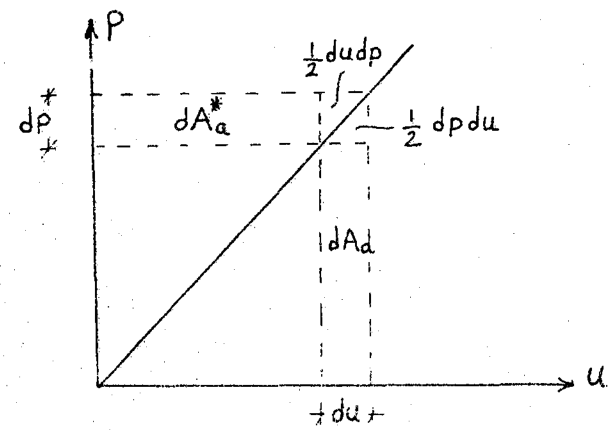
Elâstik cismin diferansiyel denklemleri, sınır şartları kullanılarak entegre edilirse cismin gerilme ve deformasyon bağıntıları bulunabilir. Ancak elâstisite problemlerinin pratikte çözümü oldukça zordur. Bu yüzden nümerik çözüm metotlarına başvurulur.

Bu metotlar, problemi fiziksel anlamı enerji olan belirli bir integrali minimum yaparak çözerler. Enerji skaler bir büyüklük olup eksen transformasyonlarından ötürü değeri değişmez. Bu çözüm için kolaylık sağlıyan bir özelliktir. Elâstik cisimler statik yükler altında deforme olurlar. Yüklerin bunlara ait deplasmanlarla yaptığı Aa işine dış yüklerin işi, gerilmelerin ait oldukları şekil değiştirmelerle yaptıkları Ai işine de iç kuvvetlerin işi denir. Aa = Ai cismin dengede olduğunu gösterir.

Burada enerji metotlarından sadece konumuz olan kuvvet metodunu ilgilendiren komplementer enerji için bilgi verilecektir. Potansiyel enerji deplasman metodunum ilgi alanına girmektedir.

2.1. DIŞ KUVVETLERİN KOMPLEMENTER İŞİ

ş ek.(2.1)

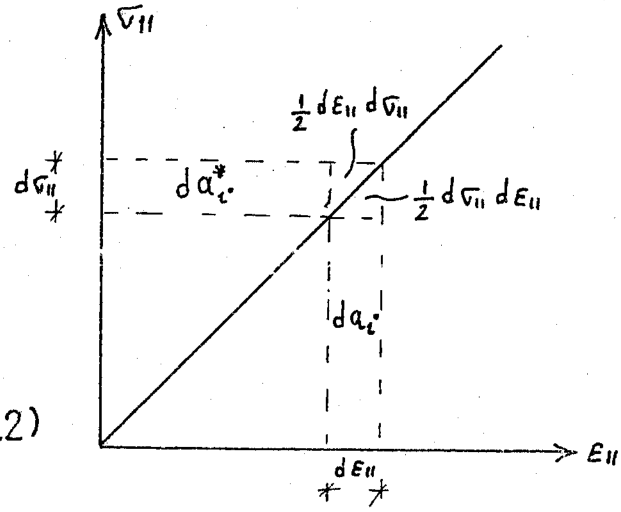


Elâstik cisim dp diferansiyel yükleri ile arttırılarak statik olarak P yüküne kadar yüklenirse cismin deplasmanı da, du kadar artar. $\frac{1}{2}$ dpdu terimi ihmal edilirse; Eğri ile P ekseni arasında kalan alana dış kuvvetlerin komplementer işi denir. $\overset{*}{Aa}$ ile gösterilirse;

$$\overset{*}{Aa} = \int_{O_u} \underline{U}^T \underline{P} \; do \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.1.1$$

olur.

2.2. İÇ KUVVETLERİN KOMPLEMENTER İŞİ



şek.(2.2)

Eğri ile σ ekseni arasındaki alana iç kuvvetlerin komlementer işi denir.

$$\overset{*}{Ai} = \frac{1}{2} \int_V \underline{\sigma}^T \; \underline{G} \; \underline{\sigma} \; dv \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.2.1$$

ile verilir.

2.3. TOPLAM KOMPLEMENTER POTANSİYELİN MİNİMUM OLMA PRENSİBİ

Bir cismin toplam komplementer potansiyel enerjisi Π^*, iç kuvvetlerin komplementer potansiyeli Π_i^* ile dış kuvlerin komplementer potansiyeli Π_a^* 'nın farkıdır.

$$\Pi^* = \Pi_i^* + \Pi_a^* = \overset{*}{Ai} - \overset{*}{Aa} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.3.1$$

Açık yazılırsa;

$$\Pi^* = \frac{1}{2} \int_V \underline{\sigma}^T \underline{G} \; \underline{\sigma} \; dv - \int_{O_u} \underline{u}^T \underline{p} \; do \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.3.2$$

olur.

Virtüel kuvvetler prensibi kullanılarak gösterilebilir ki, elâstik bir sistemde sınır şartlarını sağlayan bütün komşu denge konumları arasında gerçek konum, toplam komplementer potansiyeli minimum yapan konumdur.

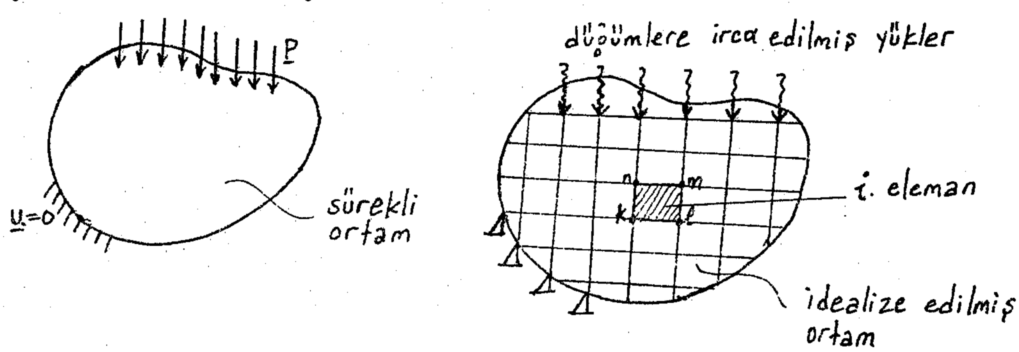
Bu prensip sonlu elemanlar kuvvet metodunun temel prensibidir.

3. SONLU ELEMANLAR KUVVET METODU

3.1. SİSTEM İDEALİZASYONU

Lineer elâstik bir sistemin sonlu elemanlar kuvvet metodu ile çözümü istendiğinde, sistem s sayıda eleman ve t sayıda düğümle idealize edilir. (1)

Düğüm noktaları ile birleşen elemanlar sistemin tümünü teşkil ederler. (Şek. 3.1)



şek(3.1)

İncelemek istediğimiz düzlem çerçeve sistemlerde bu idealizasyon kendiliğinden mevcuttur.

Bu çalışmada yüklerin sistemin düğüm noktalarında etkidiği kabul edilmiştir.

3.2. GERİLME FONKSİYONUNUN SEÇİMİ

Sonlu elemanlar deplasman ve kuvvet metotlarında bilinmeyenlerin seçimi için RİTZ yaklaşık çözümler metotlarından yararlanılır.

Sistemi temsil eden gerilme fonksiyonu olarak;

$$\underline{\nabla} = \sum_{i=1}^{n} H_i \ (x_1, x_2, x_3) \ b_i$$

veya;

$\underline{\nabla} = \underline{H} \ (\underline{x}) \ \underline{b}$ seçilir. (2) 3.2.1

Bu gerilmelerin $\underline{D}^T \underline{\nabla}(\underline{b}) + \underline{g} = 0$ ve $\underline{n}^T \underline{\nabla}(\underline{b}) = \underline{P}$ denge denklemlerini sağlaması gerekir. Bu fonksiyonlar 2.3.2. denkleminde konur ve π^* komplementer enerji ifadesi minimum yapılırsa $\underline{b}$ bilinmeyen parametreleri,

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial b_1} = 0$$

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial b_2} = 0$$

$$\vdots$$

$$\frac{\partial \pi^*}{\partial b_n} = 0$$

denklemleri yardımıyla belirlenir.(1)

Bu şekilde tesbit edilecek olan $\underline{b}$ parametreleri 3.3'te bahsedilecek olan $\underline{\hat{F}}^i$ lineer bağımsız eleman düğüm kuvvetlerine karşılık gelir. Buna göre i eleman için gerilme fonksiyonu:

$\underline{\nabla}(\hat{X}_i^{\circ}) = \underline{H}^i(\hat{X}^{\circ}) \quad \underline{\hat{F}}^i$ 3.2.2

olur. (2)

3.3. ELEMANLARIN LİNEER BAĞIMSIZ DÜĞÜM KUVVETLERİ (2)

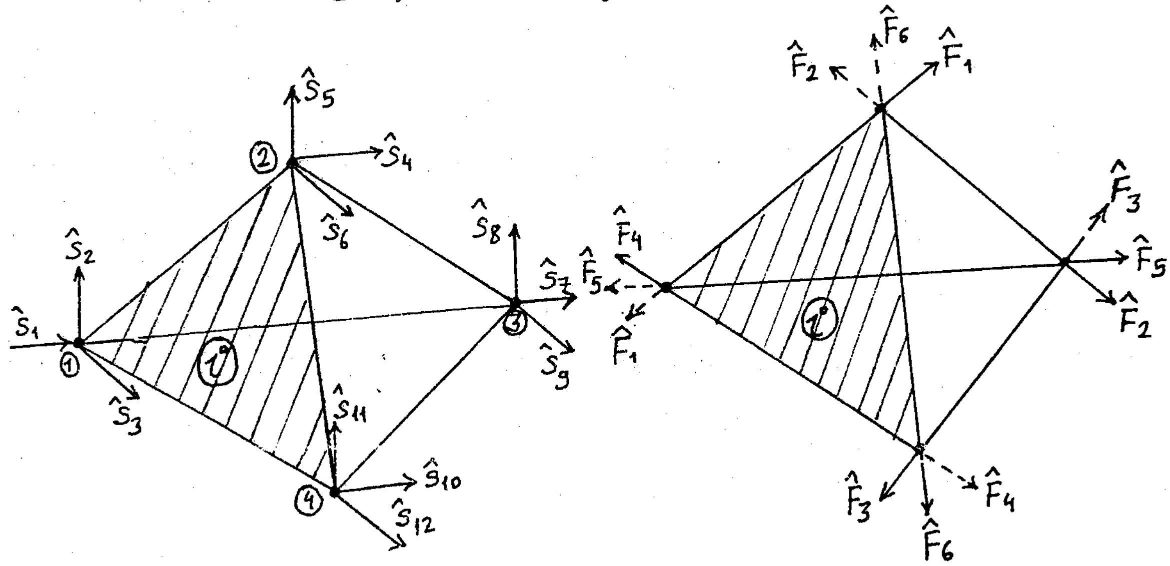
Sonlu elemanlar deplasman metodunda,

$\underline{\hat{k}}^i \ \underline{\hat{u}}^i = \underline{\hat{s}}^i$ ile verilen $\underline{\hat{k}}^i$ rijitlik matrisi lokâl eksenlerdeki denge matrisi olup düzensiz bir matristir.

lineer bağımlı satır ve sütünlardan oluşur.

$\hat{\underline{u}}^i$ deplasmanlarına karşılık gelen $\hat{\underline{s}}^i$ eleman kuvvetleride birbirlerine lineer bağımlıdırlar.

Elemanın lineer bağımsız olan düğüm noktası kuvvetleri elemanın denge şartları sayısı kadardır.



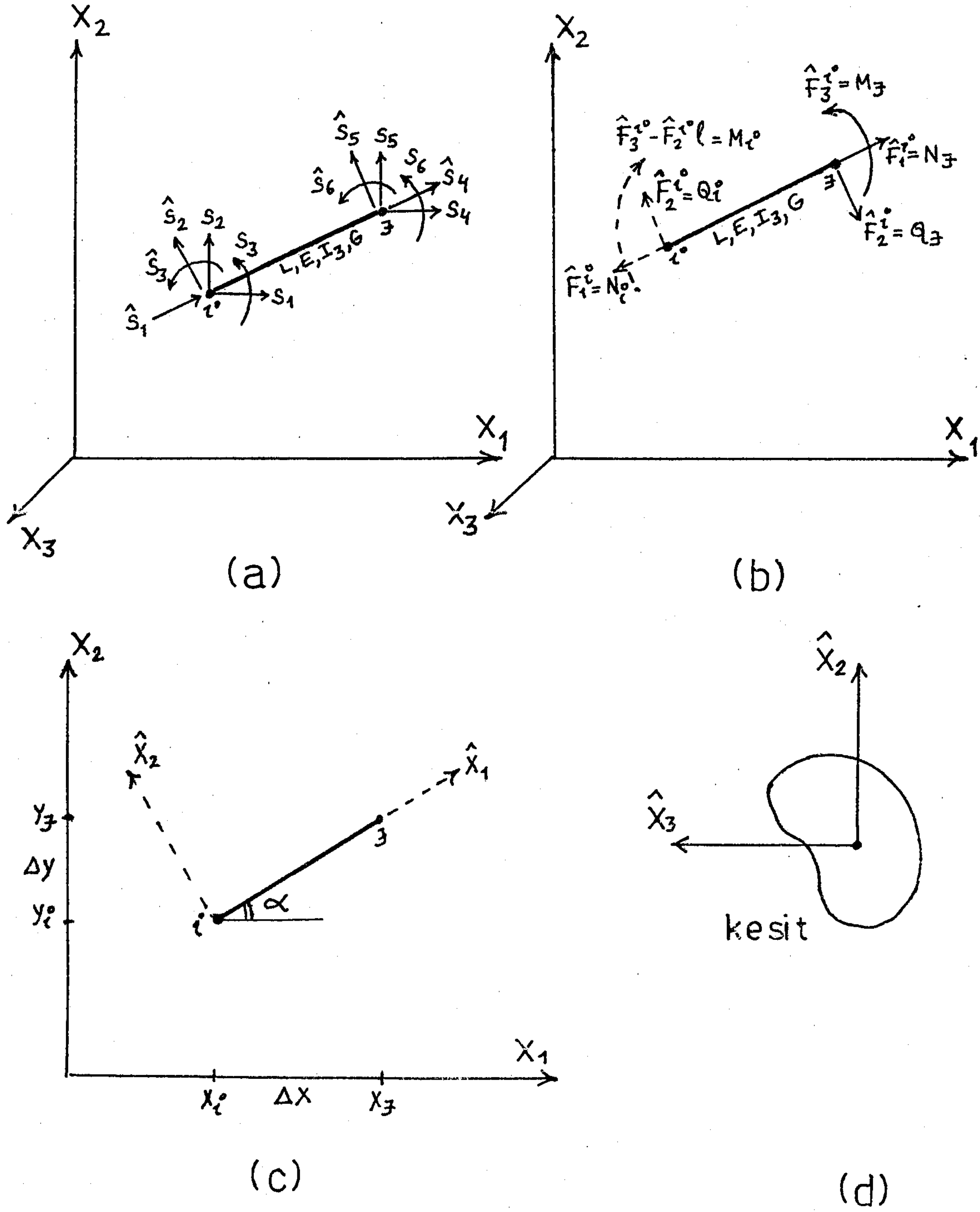
şek.(3.3)

(Şek. 3.3) deki elemanda 12 adet düğüm kuvveti ve 6 adet denge şartı vardır. Bu eleman için 12 - 6 = 6 adet lineer bağımsız düğüm kuvveti bulunur. Burada $\hat{\underline{F}}^i$ kuvvetleri lineer bağımsız kuvvetlerdir. $\hat{\underline{S}}^i$ kuvvetleri $\hat{\underline{F}}^i$ cinsinden elemanın denge şartları yardımıyla verilebilir.

$$\hat{\underline{S}}^i = \hat{\underline{B}}^i \hat{\underline{F}}^i \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.3.1$$

$\hat{\underline{B}}^i$: i elemanda lokâl eksenlerde $\hat{\underline{S}}^i$ düğüm kuvvetleri ile $\hat{\underline{F}}^i$ lineer bağımsız bilinmeyen uç kuvvetlerini birbirine bağlayan ve kare olmayan eleman denge matrisidir.

3.4. DÜZLEM ÇERÇEVE ÇUBUĞUNDA LOKAL VE GLOBAL DENGE DENKLEMLERİ



şek.(3.4)

Düzlem çerçeve sistemlerin kuvvet metodu ile hesabında (Şek. 3.4.a) da gösterilen $\hat{\underline{S}}^{i}$ çubuk düğüm kuvvetleri arasında keyfi olarak 3 adet kuvvet lineer bağımsız bilinmeyen olarak seçilebilirler. Geriye kalan diğer üç kuvvet bunlar cinsinden ifade edilebilir.

Burada elemanın j ucundaki kuvvetler esas bilinmeyenler olarak seçilmiştir. Seçimde statikteki klâsik işaret kuralına uyulmuştur. Şöyleki;

$$\left.\begin{aligned} \hat{S}_4 &= \hat{F}_1 \\ \hat{S}_5 &= -\hat{F}_2 \\ \hat{S}_6 &= \hat{F}_3 \end{aligned}\right\} \quad \text{j ucunda } \hat{S} \text{ ve } \hat{F} \text{ kuvvetleri arasındaki denge}$$

$$\left.\begin{aligned} \hat{S}_1 &= -\hat{F}_1 \\ \hat{S}_2 &= \hat{F}_2 \\ \hat{S}_3 &= -(\hat{F}_3 - \hat{F}_2 l) \end{aligned}\right\} \quad \text{i ucundaki denge}$$

Yukarıda verilen denklem takımı matris formunda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} \hat{S}_1 \\ \hat{S}_2 \\ \hat{S}_3 \\ \hline \hat{S}_4 \\ \hat{S}_5 \\ \hat{S}_6 \end{bmatrix} = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} -1 & & \\ & 1 & \\ & L & -1 \\ \hline 1 & & \\ & -1 & \\ & & 1 \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{l} i \\ \\ \\ j \end{array} \begin{bmatrix} \hat{F}_1 \\ \hat{F}_2 \\ \hat{F}_3 \end{bmatrix} \quad \text{halini alır. ......3.4.1}$$

Bu denklem 3.3.1 ile verilen, elemanın lokâl eksenlerdeki denge halini gösteren denklemin açık yazılışıdır.

(Şek. 3.4.c) deki çubuk elemanında i ve j uçları lokâl eksenleri tarifler.

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_j - x_i \\ \Delta y &= y_j - y_i \\ L &= \sqrt{x^2 + y^2}\end{aligned} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.4.2$$

Elemanların lokâl eksenlerinin global eksenlerle yaptıkları açıların doğrultman cosinüsleri:

$$\begin{aligned}\alpha_{11} &= \cos\alpha\,(\hat{x}_1, x_1) = \Delta x/L \\ \alpha_{12} &= \cos\alpha\,(\hat{x}_1, x_2) = \Delta y/L \\ \alpha_{21} &= \cos\alpha\,(\hat{x}_2, x_1) = -\Delta y/L \\ \alpha_{22} &= \cos\alpha\,(\hat{x}_2, x_2) = \Delta x/L\end{aligned} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.4.3$$

olarak verilir.

$\hat{x}_i$ lokâl eksenleri ile x_i global eksenler arasındaki tranformasyon matrisi $\underline{T}^i$:

$$\underline{T}^{i} = \begin{array}{@{}c@{}c} \left[\begin{array}{ccc|ccc} \alpha_{11} & \alpha_{12} & 0 & & & \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & 0 & & \underline{0} & \\ 0 & 0 & 1 & & & \\ \hline & & & \alpha_{11} & \alpha_{12} & 0 \\ & \underline{0} & & \alpha_{21} & \alpha_{22} & 0 \\ & & & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] & \begin{array}{c} \\ i \\ \\ \\ j \\ \\ \end{array} \end{array} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.4.4$$

dir.(3)

$\underline{B}^i$: i.elemana ait lokâl eksenlerdeki $\hat{\underline{F}}^i$ düğüm kuvvetleri ile global eksen takımındaki $\underline{S}^i$ kuvvetleri arasındaki bağıntıyı kuran denge matrisi olmak üzere aşağıdaki gibi verilir.

$\underline{B}^i = \underline{T}^T \, \hat{\underline{B}}^i$ 3.4.5

$$\hat{\underline{B}}^{i} = \begin{array}{c c} \left[\begin{array}{ccc} -\frac{\Delta x}{L} & -\frac{\Delta y}{L} & 0 \\ -\frac{\Delta y}{L} & \frac{\Delta x}{L} & 0 \\ 0 & L & -1 \\ \hline \frac{\Delta x}{L} & \frac{\Delta y}{L} & 0 \\ \frac{\Delta y}{L} & -\frac{\Delta x}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array}\right] & \begin{array}{c} i^{o} \\ \\ \\ \\ j \\ \\ \end{array} \end{array}$$ 3.4.6

olur. (4)

Elemanın global eksenlerdeki dengesi,

$\underline{S}^i = \underline{B}^i \, \hat{\underline{F}}^i$ dir. 3.4.7

3.5. ELEMANIN TOPLAM KOMPLEMENTER POTANSİYEL ENERJİSİ

(3.2.2) denklemi, (2.3.2) ile verilen $(\pi^*)^{i^o}$ ifadesinde kullanılarak i. eleman için toplam komplementer potansiyel ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir. (2)

$(\pi^*)^i = \frac{1}{2}(\hat{\underline{F}}^i)^T \, \hat{\underline{f}}^i \, \hat{\underline{F}}^i - (\hat{\underline{F}}^i)^T \, \hat{\underline{U}}^i_r$ 3.5.1

Burada $\hat{\underline{f}}^i$;

$\hat{\underline{f}}^i = \int_{V^{i^o}} (\underline{H}^i)^T \, \underline{G}^i \, \underline{H}^i \, dv$ dir. 3.5.2

i. eleman için $(\pi^*)^{i^o}$ minimum yapılırsa;

$$\frac{(\partial \pi^*)^{i^o}}{\partial \hat{\underline{F}}^{i^o}} = 0$$

$\hat{\underline{U}}^i_r = \hat{\underline{f}}^i \, \hat{\underline{F}}^i$ elde edilir. 3.5.3

$\hat{\underline{f}}^i$: i. elemanın flexibilite matrisi olup, $\hat{\underline{f}}^i$ flexibilite matrisinin f^i_{ij} elemanı tüm diğer kuvvetler 0 iken j de uygulanan $\hat{\underline{F}}^i_j = 1$ birim kuvvetten dolayı i deki relâtif deplasmanı verir. (3)

$\hat{\underline{f}}^{i}$, simetrik ve pozitif tariflidir.

Düzlem çerçeve çubuğunda;

$$\hat{\underline{f}}^{i} = \begin{bmatrix} L/AE & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(4+\phi_y)L^3}{12EI_3} & \frac{-L^2}{2EI_3} \\ 0 & \frac{-L^2}{2EI_3} & \frac{L}{EI_3} \end{bmatrix} \qquad \phi_y = \frac{12EI_3}{G\chi A L^2}$$

olarak verilir. (4)

I_3 : Elemanın x_3 eksenine göre atalet momenti

E : Elâstisite modülü

G : Kayma modülü

A : Kesit alanı

χ : Kayma deformasyonları için kesit düzeltme katsayısı

3.6 TAŞIYICI SİSTEMİN DÜĞÜM DENGESİ (2)

Sisteme ait tüm elemanlar için;

$$\hat{\underline{S}} = \{ \hat{\underline{S}}^1 \; \hat{\underline{S}}^2 \; \ldots\ldots \hat{\underline{S}}^i \ldots\ldots \; \hat{\underline{S}}^s \}$$

$$\hat{\underline{F}} = \{ \hat{\underline{F}}^1 \; \hat{\underline{F}}^2 \; \ldots\ldots \; \hat{\underline{F}}^i \ldots\ldots \; \hat{\underline{F}}^s \} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots 3.6.1$$

$$\hat{\underline{B}} = \lceil \hat{\underline{B}}^1 \; \hat{\underline{B}}^2 \; \ldots\ldots \; \hat{\underline{B}}^i \ldots\ldots \; \hat{\underline{B}}^s \rfloor$$

matrisleri lokâl koordinatlarda bu şekilde gösterilir.

global koordinatlarda ise;

$$\underline{S} = \{ \underline{S}^1 \; \underline{S}^2 \ldots\ldots \; \underline{S}^i \ldots\ldots \; \underline{S}^s \}$$

$$\underline{B} = \lceil \underline{B}^1 \; \underline{B}^2 \ldots\ldots \; \underline{B}^i \ldots\ldots \; \underline{B}^s \rfloor \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots 3.6.2$$

şeklindedir.

Deplasman metodunda tüm sistem için düğüm denge

şartı $a^T \ \underline{S} \ \ \underline{P}$ 3.6.3

olarak verilir.

$\underline{S} = \underline{B}\,\hat{\underline{F}}$ ifadesi (3.6.3) te kullanılırsa;

$\underline{a}^T \ \underline{B} \ \ \hat{\underline{F}} = \underline{P}$ ve

$\underline{N}^* \ \hat{\underline{F}} = \underline{P}$ elde edilir. 3.6.4

Burada elemanların uç kuvvetlerini ifade eden $\hat{\underline{F}}$ vektörü ile sistemin dengesini gösteren $\underline{N}^*$ matrisinin çarpımı, düğüm noktalarına etkiyen dış kuvvetleri ifade eden $\underline{P}$ yük vektörü ile denge halindedir.

$\underline{P} = \left\{ \underline{P}^1 \ \underline{P}^2 \ldots\ldots\ldots\ldots \ \underline{P}^i \ \ldots\ldots \underline{P}^t \right\}_{n\emptyset x1}$

$\underline{P}$ yük vektörünün $\underline{P}^i$ elemanı, i düğümündeki yük bileşenidir.

$\hat{\underline{F}} = \left\{ \hat{\underline{F}}^1 \ \hat{\underline{F}}^2 \ldots\ldots\ldots\ldots \hat{\underline{F}}^i \ldots\ldots\ldots \hat{\underline{F}}^s \right\}_{m\emptyset x1}$

$\underline{N}^*$: (nøxmø) boyutunda tekil bir matris olup, içinde sınır şartlarını içeren satırları bulundurur.

$\underline{D}$: Düğüm sayısı

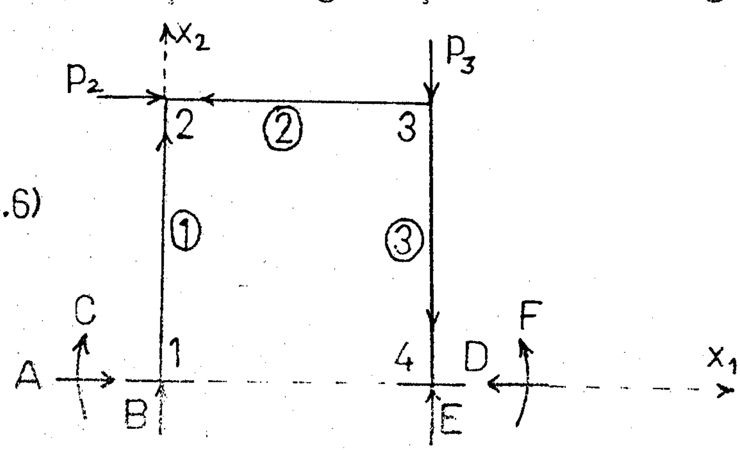
$\underline{M}$: Eleman sayısı

ve;

Nø = 3xD denklem sayısı

Mø = 3xM Bilinmeyen sayısıdır.

Elemanların $\underline{B}^i$ denge matrislerinden $\underline{N}^*$ sistem denge matrisinin nasıl oluşturulduğunu şematik olarak göstermek istersek;



şek(3.6)

(Şek. 3.6) da D=4, M=3 olup, $\underline{N}^*$(12x9) boyutundadır.

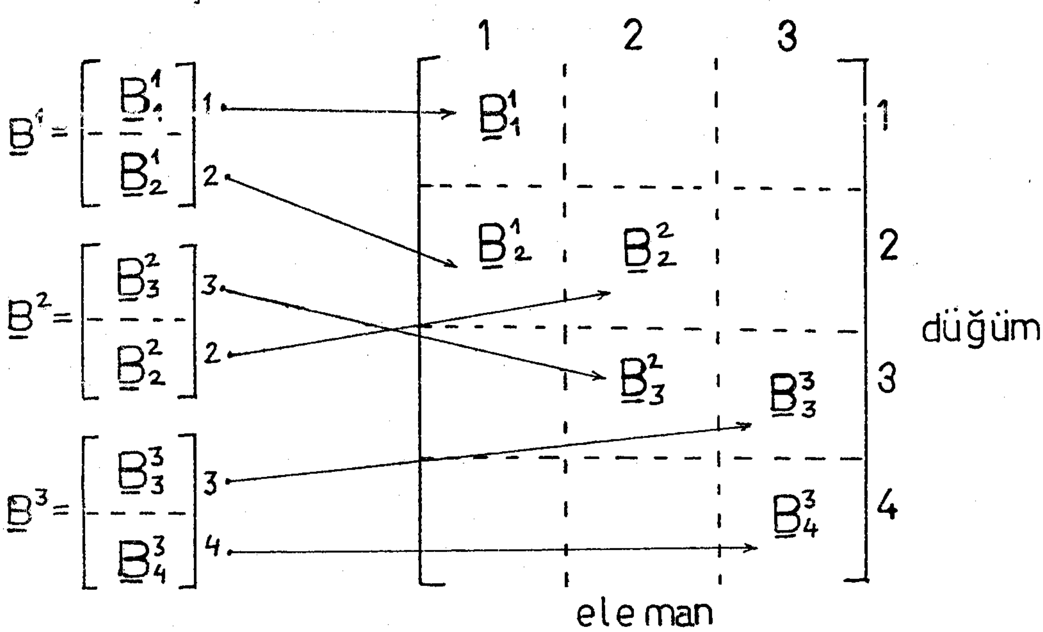
$$\underline{B}^i = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \underline{B}^i_i \\ \hline \underline{B}^i_j \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} i \\ j \end{array}$$

i. elemanın global eksenlerdeki denge matrisi;

$\underline{B}^i_i$: i.elemanın i ucuna

$\underline{B}^i_j$: i. elemanın j ucuna ait olmak üzere iki alt matrisle verilir.

$\underline{B}^i$ eleman denge matrisleri, $\underline{N}^*$ sistem denge matrisini şu şekilde oluştururlar.



3.7. SINIR ŞARTLARININ GÖZÖNÜNE ALINMASI

$\underline{N}^*$sistem denge matrisi ve $\underline{P}$ yük vektörü;

$$\underline{N}^* = \left[\begin{array}{c} \underline{N} \\ \hline \underline{N}_A \end{array}\right] \qquad \underline{P} = \left[\begin{array}{c} \underline{P}_r \\ \hline \underline{P}_A \end{array}\right]$$

olarak gösterilebilir. (7)

Burada $\underline{P}_A$ mesnet kuvvetlerini ve $\underline{N}_A$ mesnet düğümlerindeki denge denklemlerini temsil eder.

Bu ifadeler 3.6.4 denklemine uyarlanırsa;

$$\underline{N}\,\hat{\underline{F}} = \underline{P}_r \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.7.1$$

$$\underline{N}_A\,\hat{\underline{F}} = \underline{P}_A \quad \text{yazılabilir.} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.7.2$$

3.7.2 denklemi denge şartlarını, mesnetlere ait düğümlerde tutulmuş yönler için verir.

Bu denklem mesnet reaksiyonlarının hesabında kullanılır.

Konunun daha iyi özümsenmesi için, şek.(3.6) daki sistem için $\underline{N}$, $\underline{N}_A$, $\underline{P}_r$ ve $\underline{P}_A$ şöyle gösterilir.

$$\underline{N} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \end{array} \\ \left[\begin{array}{c|c|c} \underline{B}_2^1 & \underline{B}_2^2 & \\ \hline & \underline{B}_3^2 & \underline{B}_3^3 \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} \\ 2 \\ 3 \end{array} \qquad \underline{N}_A = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \end{array} \\ \left[\begin{array}{c|c|c} \underline{B}_1^1 & & \\ \hline & & \underline{B}_4^3 \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} \\ 1 \\ 4 \end{array}$$

$$\underline{P} = \left[\begin{array}{c} A \\ B \\ C \\ \hline P_2 \\ 0 \\ 0 \\ \hline 0 \\ P_3 \\ 0 \\ \hline D \\ E \\ F \end{array}\right] \begin{array}{c} \\ 1 \\ \\ \\ 2 \\ \\ \\ 3 \\ \\ \\ 4 \\ \\ \end{array} \qquad \underline{P}_r = \left[\begin{array}{c} P_2 \\ 0 \\ 0 \\ \hline 0 \\ P_3 \\ 0 \end{array}\right] \begin{array}{c} \\ 2 \\ \\ \\ 3 \\ \\ \end{array} \qquad \underline{P}_A = \left[\begin{array}{c} A \\ B \\ C \\ \hline D \\ E \\ F \end{array}\right] \begin{array}{c} \\ 1 \\ \\ \\ 4 \\ \\ \end{array}$$

3.8 ÇUBUK KUVVETLERİNİN HESABI

Sistemi oluşturan elemanların toplam komplementer potansiyel enerjisi şöyle ifade edilir.

$$\pi^{*}=\sum_{t^{\circ}=1}^{s}(\pi^{*})^{t^{\circ}}=\sum_{t^{\circ}=1}^{s}\left\{\frac{1}{2}(\hat{\underline{F}}^{t^{\circ}})^{T}\hat{\underline{f}}^{t^{\circ}}\hat{\underline{F}}^{t^{\circ}}-(\hat{\underline{F}}^{t^{\circ}})^{T}\hat{\underline{U}}_{r}^{t^{\circ}}\right\} \quad \ldots\ldots 3.8.1$$

ya da,

$$\pi^{*}=\frac{1}{2}\hat{\underline{F}}^{T}\hat{\underline{f}}\hat{\underline{F}}-\hat{\underline{F}}^{T}\hat{\underline{U}}_{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.8.2$$

Ayrıca; $\underline{N}\,\hat{\underline{F}}=\underline{P}_{r}$ idi.

$\underline{N}$: Sınır şartlarından arınmış sistem denge matrisi olup, (nxmØ) boyutundadır.

Rh: Mesnetlerdeki tutulmuş deplasman sayısı

N = NØ-Rh olup, $\underline{N}$ matrisinin rankıdır.

r = mø-n sistemin hiperstatiklik derecesidir.(rank artığı)

r=o ise sistem izostatik olup det $\underline{N}\neq$ o dır. $\underline{N}$ matrisi regulerdir. inversi alınarak, çubuk uç kuvvetleri bulunur.

$$\hat{\underline{F}}=\underline{N}^{-1}\,\underline{P}_{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.8.3$$

n<mø ise sistem statikçe belirsizdir. Böyle bir sistemin çözümü için hiperstatik bilinmeyen sayısı kadar ilave denkleme gerek vardır. Bu denklemleri elde etmek için 3.8.2 ile verilen toplam komplementer potansiyel enerjinin minimum olma prensibinden yararlanılır. (2)

$\underline{X}$:Hiperstatik bilinmeyenler vektörü olmak üzere 3.7.1 denkleminin genel çözümü şu şekilde verilir.

$$\hat{\underline{F}}=\underline{B}x\,\underline{X}+\underline{B}o\,\underline{P}r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.8.4$$

$\underline{B}x$: matrisi (møxr) boyutunda olup, izostatik esas sistemde dış yükler O iken, hiperstatik bilinmeyenlerin birim kuvvet alınmasıyla oluşan çubuk uç kuvvetlerini gösterir.

$\underline{Bo}$: matrisi (m∅xn) boyutundadır ve izostatik esas sistemde sadece dış yüklerden oluşan çubuk uç kuvvetleridir.

Bu matrisler şu şartları sağlarlar.

$\underline{N}\ \underline{Bx} = \underline{O}$ 3.8.5

$\underline{N}\ \underline{Bo} = \underline{I}$ 3.8.6

$\underline{N}$ matrisinde r adet kolon lineer bağımlı olup bu kolonları tesbit etmek $\underline{X}$ bilinmeyenlerini seçmek ile eş anlamlıdır.

Gauss–Jordan indirgeme metodunu $\underline{N}$ matrisine uygularsak, indirgeme esnasında kolon değiştirmelerini ifade eden BOOLE tipi bir $\underline{Z}$ tranformasyon matrisi ile $\underline{N}$ matrisi transforme edilebilir. (2)

$\underline{N}\ \underline{Z} = \left[\underline{No} \,\vdots\, \underline{Nx}\right]$ 3.8.7

$\underline{No}$: (nxn) boyutlu lineer bağımsız kolonlardan oluşan reguler bir matristir.

$\underline{Nx}$: (nxr) boyutlu lineer bağımlı kolonlardan oluşan matris

3.7.1 denklemi;

$\underline{N}\ \underline{Z}\ \underline{Z}^T\ \hat{\underline{F}} = \underline{P}$ halini alır. 3.8.8

İndirgeme için her adımda hesaplanan $\underline{T}_1$, $\underline{T}_2$, ...$\underline{T}_n$ tranformasyon matrisleri $\underline{N}$ ile soldan ardışık çarpılarak,

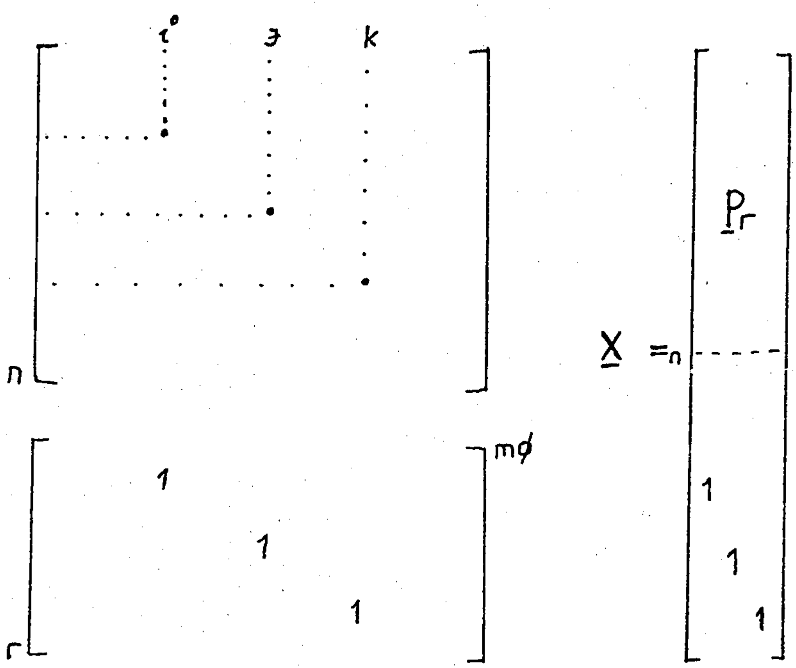
$\underline{T}n$ ....$\underline{T}_2\ \underline{T}_1\ \underline{N}\ \ \underline{Z} = \underline{T}n$ ....$\underline{T}_2\,\underline{T}_1\left[\underline{N}_o \,\vdots\, \underline{N}_x\right] = \left[I \,\vdots\, \underline{N}_o^{-1}\ \underline{N}_x\right]$

olur. (2)

i. adımda $\underline{T}^i$ transformasyon matrisi şöyle verilir.

$$\underline{I}^{i^\circ} = \left[\begin{array}{c|c|c} \underline{I}_{i^\circ-1} & \begin{matrix} -\dfrac{\bar n_{1i^\circ}}{\bar n_{i^\circ i^\circ}} \\ -\dfrac{\bar n_{2i^\circ}}{\bar n_{i^\circ i^\circ}} \\ \vdots \end{matrix} & \underline{0} \\ \hline \underline{0} & \dfrac{1}{\bar n_{i^\circ i^\circ}} & \underline{0} \\ \hline \underline{0} & \begin{matrix} \vdots \\ -\dfrac{\bar n_{ni^\circ}}{\bar n_{i^\circ i^\circ}} \end{matrix} & \underline{I}_{n-i^\circ} \end{array}\right]$$

Gauss-Jordan metodu ile indirgemede pivot eleman satırda aranır. İndirgemeden sonra $|\tilde{n}_{i^\circ i^\circ}|>0$ olacak şekilde kolonlar arasında değiştirilir. Eğer bir satırda $\tilde{n}_{i^\circ i^\circ}=0$ ve satırdaki tüm diğer elemanlar da o ise o zaman i. satır ve i. sütuna 1 konarak $\underline{N}$ matrisine bir denklem ilave edilir. ve i° bilinmeyen hiperstatik bilinmeyen olarak seçilir.



Indirgeme sonunda;

$$\left[\underline{N}o \,\vdots\, \underline{N}x\right]\begin{bmatrix}\hat{\underline{F}}_o\\ \hline \underline{X}\end{bmatrix} = \underline{P}r \quad \text{ve}$$

$$\hat{\underline{F}}o = \underline{N}o^{-1}\ \underline{P}r - \underline{N}o^{-1}\ \underline{N}x\ \underline{X} \quad \text{olur.}$$

Genel çözüm;

$$\hat{\underline{F}} = \underline{Z}\begin{bmatrix}\underline{N}_o^{-1}\\ \hline \underline{O}\end{bmatrix}\underline{P}r + \underline{Z}\begin{bmatrix}-\underline{N}_o^{-1}\,\underline{N}x\\ \hline \underline{I}\end{bmatrix}\underline{X} \quad \text{olup,}$$

3.8.4 ile karşılaştırılırsa;

$$\underline{B}_o = \underline{Z}\begin{bmatrix}\underline{N}_o^{-1}\\ \hline \underline{O}\end{bmatrix} \qquad \underline{B}x = \underline{Z}\begin{bmatrix}-\underline{N}_o^{-1}\,\underline{N}x\\ \hline \underline{I}\end{bmatrix} \quad \text{olduğu görülür. (2)}$$

3.9. SÜREKLİLİK DENKLEMLERİNİN KURULMASI

3.8.2 'deki π^*, $\underline{X}$'e bağımlı olarak ifade edilirse;

$\pi^* = \pi^*(\underline{X})$ 3.9.1

Minimum olma şartı;

$\frac{\partial \pi^*}{\partial \underline{X}} = 0$ kullanılarak aşağıdaki süreklilik denklemi elde edilir. Sıcaklık değişimi nazara alınmazsa basit olarak

$\underline{B}x^T\ \hat{\underline{f}}\ \underline{B}x\ \underline{X} = -\underline{B}x^T\ \hat{\underline{f}}\ \underline{B}o\ \underline{P}r$ 3.9.2

veya

$\underline{D}x\ \ \underline{X} = \underline{P}o$ 3.9.3

$\underline{D}x = \underline{B}x^T\ \hat{\underline{f}}\ \underline{B}x$ 3.9.4

$\underline{P}o = -\underline{B}x^T\ \hat{\underline{f}}\ \underline{B}o\ \underline{P}r$ dir. 3.9.5

$\underline{D}x$: (rxr) boyutlu, simetrik ve pozitif tarifli dominant bir matristir. Klâsik statikte süreklilik denklemlerinin δik çarpımlarına karşılık gelen katsayılar matrisidir.

$\underline{P}o$: (rx1) boyutlu ve klâsik statikteki δio çarpımlarının karşılığıdır.

$\hat{\underline{f}} = \lceil \hat{\underline{f}}^1\ \hat{\underline{f}}^2\ \ldots\ldots\ \hat{\underline{f}}^m \rfloor$ 3.9.6

$\hat{\underline{f}}$: sistemin (m) adet elemanından oluşan flexibilite matrisi olup, diyogonal bir matristir.

$\underline{X}$ Hiperstatik bilinmeyenler vektörü Gauss-Eliminasyon yöntemi 3.9.2 denklemine uygulanarak bulunurlar. (5)
$\hat{\underline{F}} = \underline{B}x \;\; \underline{x} + \underline{B}o \; \underline{P}r$ bağıntısından çubukların j uçlarına ait uç kuvvetleri elde edilir.

Bunlardan da i uçlarındaki kesit tesirleri,

$$
\left.
\begin{aligned}
N_i^i &= \hat{F}_{j1}^i \\
Q_i^i &= \hat{F}_{j2}^i \\
M_i^i &= \hat{F}_{j3}^i - \hat{F}_{j2}^i \, L
\end{aligned}
\right\} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.9.7
$$

yardımıyla bulunurlar.

3.10. REAKSİYONLARIN HESABI

$\underline{N}_A \; \hat{\underline{F}} = \underline{P}_A$ denklemi 3.7.2 ile verilmişti. Sınır şartları işlenmemiş $\underline{N}^*$ denge matrisinin $\underline{N}_A$ alt matrisi ile ilgili satırları çubuk kuvvetleri $\hat{\underline{F}}$ vektörü ile çarpılarak ait olduğu mesnetteki reaksiyonlar bulunur.

Şek.(3.6) daki sistem için şematik gösterilirse;

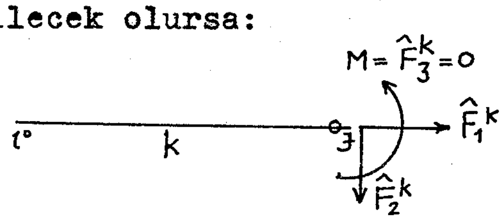
$$
\begin{array}{r}
1 \\ 2 \\ 3 \\ \\ \\ \\ 10 \\ 11 \\ n\phi=12
\end{array}
\underbrace{\begin{bmatrix}
x & x & x & x & x & x & x & x & x \\
x & x & x & x & x & x & x & x & x \\
x & x & x & x & x & x & x & x & x \\
\vdots & & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\
\vdots & & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\
\vdots & & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\
x & x & x & x & x & x & x & x & x \\
x & x & x & x & x & x & x & x & x \\
x & x & x & x & x & x & x & x & x
\end{bmatrix}^{m\phi}}_{\underline{N}^*}
\qquad
\underbrace{\begin{bmatrix}
\hat{F}_1^1 \\ \hat{F}_2^1 \\ \hat{F}_3^1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \hat{F}_3^3
\end{bmatrix}}_{\hat{\underline{F}}}
\qquad
\underbrace{\begin{bmatrix}
A \\ B \\ C \\ \hline \vdots \\ \hline \vdots \\ \hline D \\ E \\ F
\end{bmatrix}}_{\underline{P}}
\begin{array}{l}
\\ 1 \\ \\ 2 \\ 3 \\ \\ 4 \\ \\
\end{array}
$$

$\underline{N}^*$ denge matrisinde (1) ve (4) numaralı düğümlere ait satırlar (x), $\hat{\underline{F}}$ vektörü ile ayrı ayrı çarpılınca sırasıyla A,B,C,D,E,F mesnet reaksiyon kuvvetleri elde edilir.

3.11. MAFSALLARIN GÖZÖNÜNE ALINMASI

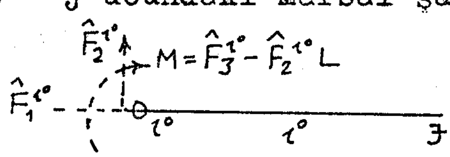
Düzlem çerçeve sistemde mafsallar mevcut ise, sadece $\underline{N}^*$ denge matrisine mafsal sayısı kadar denklem ilave edilir. Bu ilave denklemlerin kurulması için, elemanların mafsallı uçlarındaki $M=0$ şartı kullanılır.

Gösterilecek olursa:



mafsal elemanın j ucunda ise;

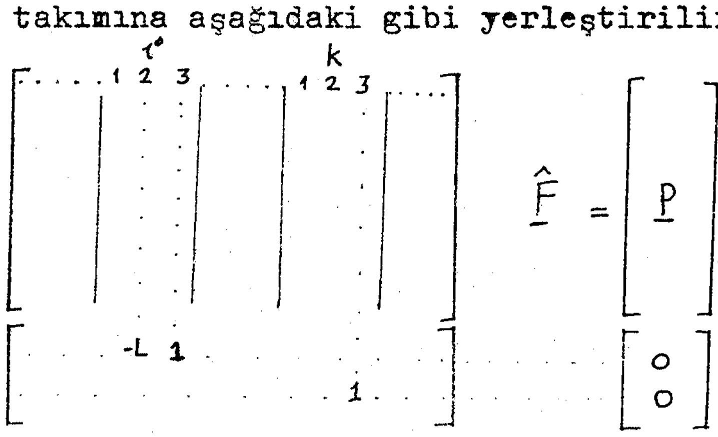
$M=\hat{F}_3^k=0$ j ucundaki mafsal şartıdır. 3.11.1



mafsal i ucunda ise;

$M=\hat{F}_3^i-\hat{F}_2^i\, l=0$ olur. 3.11.2

3.11.1 ve 3.11.2 ilave denklemleri, $\underline{N}^*\ \hat{\underline{F}}=\underline{P}$ denklem takımına aşağıdaki gibi yerleştirilir.



3.12. ÜNİFORM ISI TESİRİ

Düzlem çerçeve bir çubuk üniform bir ısı değişimine maruz kalırsa çubukta sadece eksenel yönde bir boy değişimi oluşur. Bu uzama miktarları;

$$\underline{V}_T^{i} = \begin{bmatrix} \alpha T^i L^i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.12.1$$

i elemanı için bu şekilde verilir. (6)

Tüm taşıyıcı sistem için ısı vektörü;

$$\underline{V}_T = \begin{bmatrix} \underline{V}_T^1 \\ \underline{V}_T^2 \\ \vdots \\ \underline{V}_T^m \end{bmatrix}_{m\times 1} \quad \text{olur.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.12.2$$

Süreklilik denkleminin sol tarafı sadece dış yüklere bağlı olduğu için değişmez. Değişiklik 3.9.3 'in sağ tarafında olur.

$$\underline{D}x \ \ \underline{x} = \underline{P}o - \underline{B}x^T \ \underline{V}_T \qquad (3) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.12.3$$

Sistemde böylece dış yüklerin tesirine ilave olarak üniform ısı dağılımından oluşan tesirler de katılmış olur.

α : Elemanın ısı genleşme katsayısı

T^i: Üniform sıcaklık farkı

L^i: Çubuk boyu

3.13. DEPLASMANLARIN HESABI

Dışyükler + Üniform ısı tesirinden dolayı taşıyıcı sistemin düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar;

$\hat{\underline{U}}r = \underline{B}o^T \ \hat{\underline{f}} \ \hat{\underline{F}}$ ile verilir. (2) $\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ 3.13.1

$\hat{\underline{U}}r$ aslında iki kısımdan oluşur.

$\underline{F}$ yerine 3.8.4 teki karşılığı yazılırsa:

$$\underline{\hat{U}}r = \underline{B}o^{T}\ \underline{\hat{f}}\ (\underline{B}x\ \underline{x} + \underline{B}o\ \underline{P}r)$$

$$\underline{\hat{U}}r = \underbrace{\underline{B}o^{T}\ \underline{\hat{f}}\ \underline{B}x\ \underline{x}}_{i} + \underbrace{\underline{B}o^{T}\ \underline{\hat{f}}\ \underline{B}o\ \underline{P}r}_{ii}$$

i : Hiperstatik bilinmeyenlere bağlı deplasman

ii: Dış yüklere bağlı deplasman. (7)

4. DUZLEM ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN PROGRAM

4.1. GENEL BİLGİ

Mafsallı düzlem çerçeve çubukların hesabını içeren bu programda taşıyıcı sistemde düğüm noktalarına tekil yüklerin etkimesi ve üniform sıcaklık tesirleri gözönüne alınmıştır. Bu tesirlerden düğüm noktalarında oluşan deplasmanlar da bulunabilmektedir.

4.2. PROGRAMDA DEĞİŞKEN TANIMLARI

M	:	Eleman sayısı
D	:	Düğüm sayısı
mafs	:	Mafsal sayısı
NØ	:	Denklem sayısı
MØ	:	Bilinmeyen uç kuvvetleri sayısı
A(NØ,MØ)	:	Sistem denge matrisi (Sınır şartları işlenmemiş)
P(NØ,1)	:	Dış yük vektörü (Sınır şartları işlenmemiş)
N7(NØ,8)	:	Elemanların özellikleri
N2(D,2)	:	Düğüm noktalarının koordinatları
F(MØ,1)	:	Elemanların uç kuvvetleri
B(6,3)	:	Elemanın global eksenlerdeki denge matrisi
r	:	Hiperstatiklik derecesi
Fi(3,3)	:	Elemanın flexibilite matrisi
V_T(M,1)	:	Sistemin ısı vektörü
AT	:	Isı genleşme katsayısı x sıcaklık farkı ($\alpha \cdot \Delta T$)
X(r,1)	:	Hiperstatik bilinmeyenler vektörü
MDS	:	Mesnetlenmiş düğüm sayısı
MDN	:	Mesnetlenmiş düğüm numarası
RH	:	Reaksiyon sayısı
Mu	:	Poisson oranı

Px1,Px2,Px3	:	x1,x2,x3 yönlerindeki dış kuvvetler
Sk	:	Yüklenmiş düğüm sayısı
YD	:	Yüklenmiş düğüm numarası
x1,x2,x3	:	Mesnetlerin serbest yada tutulmuş yönleri için 0 ve 1' lerden oluşur.
Nok	:	Mafsallı düğüm numarası
L	:	Elemanın uzunluğu
A	:	Kesit Alanı
E	:	Elâstisite modülü
I_z	:	x3 eksenine göre atalet momenti
G	:	Kayma Modülü
KAPA	:	Kayma deformasyonları için kesit düzeltme katsayısı.

4.3 VERİLER

```
Data  M,D  maf S

Data  Eleman no, In, Jn, E, A, Mü, G, Iz, kapa
        (k)          .             .              .
         .           .             .              .
         .           .             .              .  (M kadar)
Data  Nokta no, Xn, Yn
        (k)  .   .   .
         .   .   .   .
         .   .   .   .  (D kadar)
Data  Sk

Data  YD, Px1, Px2, Px3
       .   .    .    .
       .   .    .    .
       .   .    .    .    (Sk kadar)
Data  K, Nok
      .   .
      .   .
      .   .  (mafs kadar)
Data  Mds

Data  MdN, x1, x2, x3
       .   .   .   .
       .   .   .   .
       .   .   .   .
                     (Mds kadar)
Data Isı  (Isı=1 ise ısı tesiri alınacak <>1 ise yok)

Data Ty   (Ty = 1 ise tüm elemanlarda AT sabittir.
            <> 1 ise M kadar AT verilir.)

Data Dp   (Dp = 1 ise deplasmanlar hesaplanır< >1 ise yok.)
```

4.4. ÇIKTILAR

1. Eleman sayısı =

   Düğüm nokta sayısı=

   Mafsal sayısı=

2. Eleman yönleri ve elâstik özellikleri

Elem	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.

3. Düğüm noktalarının koordinatları

Nokta	Xn	Yn
.	.	.
.	.	.
.	.	.

4. P yük vektörü

Nokta	Px	Py	Mz
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

5. Parametreler:

   N =

   MØ=

   R =

   Seçilen hiperstatik bilinmeyenler

   . . . . .

6. (X) Hiperstatik bilinmeyenler vektörü

   .
   .
   .

7. Çubuk kuvvetleri

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.

8. Reaksiyonlar

Nokta	Rx	Ry	Rz
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

9. Deplasmanlar

Düğüm	Ux	Uy	Uz
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

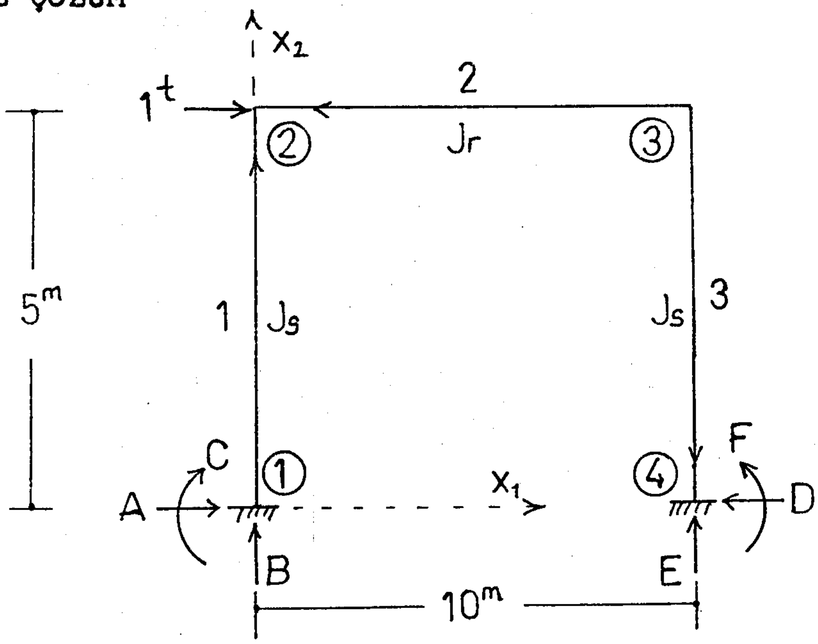
4.5. PROGRAMIN İŞLEM SIRASI

1. Sistemin eleman sayısı, nokta ve mafsal sayıları okunur.
2. Elemanlara ait elâstik özellikler okunur.
3. Düğüm noktalarının koordinatları okunur.
4. Dış yük ($\underline{P}$) vektörü okunur ve depo edilir.
5. Elemanların global eksenlerdeki ($\underline{B}^i$) denge matrisleri oluşturularak, sistem denge matrisi kurulur.
6. Sistem mafsallı ise mafsal şartlarından dolayı mafsal sayısı kadar ilave denklem kurularak, denge matrisine eklenir.
7. Sınır şartları okunur ve sistem denge matrisi ile dış yük vektörüne işlenir. Sınır şartları işlenmiş matris depo edilir.
8. Gauss-Jordan indirgeme metodu ile $\underline{X}$ hiperstatik bilinmeyenleri otomatik olarak seçilir. $\underline{B}o$ ve $\underline{B}x$ matrisleri hesaplanır. Depo edilir.
9. Sistem izostatik ise $\hat{\underline{F}} = \underline{B}o\ \underline{P}r$den çubuk kuvvetleri hesaplanır. Reaksiyonlar bulunur. İsteniyorsa deplasmanlar da hesaplanır, işlem biter.

10. Sistem hiperstatik ise, $\underline{D}x$ ve $\underline{P}o$ oluşturulur. Isı tesiri varsa $\underline{P}o$'a katılır.
11. $\underline{X}$ Hiperstatik bilinmeyenleri GAUSS- Eliminasyon yöntemi ile hesaplanır.
12. $\hat{\underline{F}}$ çubuk uç kuvvetleri bulunur.
13. Reaksiyonlar hesaplanır.
14. Düğüm noktalarının deplasmanları isteniyorsa bulunur.

5. ÖRNEK PROBLEMLER

5.1. ELLE ÇÖZÜM



NOT: Normal kuvvet deformasyonları ihmal edilmiştir. (L/AE:0)

Jr/Js: 2

$E = 1.4\times10^6\ t/m^2$

$\nu = 1/6$

$G = \dfrac{E}{2(1+\nu)} = 599983\ t/m^2$

$\chi = 0.8$

a) Elemanların özellikleri ve doğrultman cosinüsleri

Eleman NO	Alan (m^2)	Uzunluk (m)	Iz (m^4)	Doğrultu i-j	Doğrultman Cosinüsleri			
					α_{11}	α_{12}	α_{21}	α_{22}
1	100	5.00	1	1-2	0	1	-1	0
2	"	10.00	2	3-2	-1	0	0	-1
3	"	5.00	1	3-4	0	-1	1	0

b) Elemanların denge matrisleri (global eksenlerde).

3.4.6 ile verilen $\underline{B}^i$ 'nin B_{ij} değerleri α_{ij} cinsinden yazılırsa:

$$\underline{B}^{i^0} = \left[\begin{array}{c|c|c} -\alpha_{11} & \alpha_{21} & 0 \\ \hline -\alpha_{12} & \alpha_{22} & 0 \\ \hline 0 & L & -1 \\ \hline \alpha_{11} & -\alpha_{21} & 0 \\ \hline \alpha_{12} & -\alpha_{22} & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{array}\right]$$

(a)'daki tablodan α_{ij} 'lerin değerleri her eleman için üstteki $\underline{B}^i$ matrisine uygulanırsa elemanların $\underline{B}^i$ matrisleri aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\underline{B}^1 = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccc} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & -1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \end{array} \begin{array}{c} \\ 1 \\ \\ \\ 2 \\ \\ \end{array} \qquad \underline{B}^2 = \left[\begin{array}{ccc} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 10 & -1 \\ \hline -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \begin{array}{c} \\ 3 \\ \\ \\ 2 \\ \\ \end{array}$$

$$\underline{B}^3 = \left[\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & -1 \\ \hline 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \begin{array}{c} \\ 3 \\ \\ \\ 4 \\ \\ \end{array}$$

c) $\underline{N}^*$ ın kurulması ve $\underline{P}$ vektörü:

$$
\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{ccc:ccc:ccc} & ① & & & ② & & & ③ & \end{array} \\
\begin{array}{r} 1 \\ ①\;2 \\ 3 \\ 4 \\ ②\;5 \\ 6 \\ 7 \\ ③\;8 \\ 9 \\ 10 \\ 4\;\;11 \\ 12 \end{array} &
\left[\begin{array}{ccc:ccc:ccc}
0 & -1 & 0 & & & & & & \\
-1 & 0 & 0 & & \bigcirc & & & \bigcirc & \\
0 & 5 & -1 & & & & & & \\ \hdashline
0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & & & \\
1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & & \bigcirc & \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & & & \\ \hdashline
 & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & \bigcirc & & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & 0 & 10 & -1 & 0 & -5 & -1 \\ \hdashline
 & & & & & & 0 & -1 & 0 \\
 & \bigcirc & & & \bigcirc & & -1 & 0 & 0 \\
 & & & & & & 0 & 0 & 1
\end{array}\right]
\end{array}
\left[\begin{array}{c}
\hat{F}^1_1 \\ \hat{F}^1_2 \\ \hat{F}^1_3 \\ \hdashline \hat{F}^2_1 \\ \hat{F}^2_2 \\ \hat{F}^2_3 \\ \hdashline \hat{F}^3_1 \\ \hat{F}^3_2 \\ \hat{F}^3_3
\end{array}\right]
=
\left[\begin{array}{c}
A \\ B \\ C \\ \hdashline 1 \\ 0 \\ 0 \\ \hdashline 0 \\ 0 \\ 0 \\ \hdashline D \\ E \\ F
\end{array}\right]
$$

$$\underline{N}^* \qquad \underline{\hat{F}} \qquad \underline{P}$$

d) Sınır şartlarının işlenmesi:

NØ = 12 MØ = 9 dur. 1 ve 4 nolu mesnetlerde (1,2,3 ve 10, 11,12) nolu satırlar silinerek $\underline{P}$ ve $\underline{N}^*$ düzenlenirse;

$$
\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{ccc:ccc:ccc} & ① & & & ② & & & ③ & \end{array} \\
\begin{array}{r} 4 \\ ②\;5 \\ 6 \\ 7 \\ ③\;8 \\ 9 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \end{array} &
\left[\begin{array}{ccc:ccc:ccc}
0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & & & \\
1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & & \bigcirc & \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & & & \\ \hdashline
 & & & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 & \bigcirc & & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & 0 & 10 & -1 & 0 & -5 & -1 \\ \hline
 & & & & & & & & \\
 & & & & & & & & \\
 & & & & \text{SINIR ŞARTLARI} & & & & \\
 & & & & & & & & \\
 & & & & & & & & \\
 & & & & & & & &
\end{array}\right]
\end{array}
\quad \underline{N}
\qquad
\left[\begin{array}{c}
1 \\ 0 \\ 0 \\ \hdashline 0 \\ 0 \\ 0 \\ \hline \\ \\ \\ \\ \\ \\
\end{array}\right]
\quad \underline{P}_r
$$

e) Sistem, $r = m\phi - n = 9-6=3^{o}$ 'den hiperstatiktir.

$\underline{N}\ \hat{\underline{F}} = \underline{P}r$ denklemine Gauss-Jordan indirgeme metodu uygulanırsa 6.'8.'9. bilinmeyenler hiperstatik bilinmeyenler olarak seçilir.

$X_6 = 1$, $X_8=1$, $X_9 = 1$ alınarak $\underline{B}x$ ve sadece dış yüklerden oluşan $\underline{B}o$ matrisleri bulunur.

$$\underline{B}o = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -0.10 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +0.10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0.10 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \underline{B}x = \left|\begin{array}{c|c|c} -0.10 & +0.50 & -0.10 \\ 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ +0.10 & -0.50 & +0.10 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.10 & -0.50 & 0.10 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array}\right|$$

f) Hiperstatik bilinmeyenler:

Süreklilik denklemi;

$\underline{B}x^{T}\ \hat{\underline{f}}\ \ \underline{B}x = -\underline{B}x^{T}\ \ \hat{\underline{f}}\ \ \underline{B}o\ \underline{P}r$ idi.

matris çarpımları yapılırsa,

$$\underline{D}x = \begin{bmatrix} 4.763\times10^{-6} & -5.957\times10^{-6} & -5.94\times10^{-7} \\ -5.957\times10^{-6} & 8.939\times10^{-5} & -1.488\times10^{-5} \\ -5.94\times10^{-7} & -1.488\times10^{-5} & 4.763\times10^{-6} \end{bmatrix} \qquad \underline{P}_o = \begin{bmatrix} -8.929\times10^{-6} \\ 2.977\times10^{-5} \\ 0 \end{bmatrix}$$

olur.

$\underline{D}x\ \ \underline{X} = \underline{P}o$ denklemine Gauss Eliminasyon yöntemi uygulanarak:

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} -1.07 \\ 0.50 \\ 1.43 \end{bmatrix}$$ Hiperstatik bilinmeyenleri bulunur.

g) Çubuk kuvvetleri:

$\hat{\underline{F}} = \underline{B}x\ \underline{X} + \underline{B}o\ \underline{P}r$ bağıntısında ilgili matrisler kullanılarak $\hat{F}$ vektörü;

$$\hat{\underline{F}} = \begin{bmatrix} .21 \\ .50 \\ 1.07 \\ -.50 \\ -.21 \\ -1.07 \\ -.21 \\ .50 \\ 1.43 \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir. Bu değerler elemanların j uçlarındaki kesit tesirleridir. i ucundaki kesit tesirleri ise aşağıda verilen bağıntılardan bulunurlar.

$N_i = N_j$

$Q_i = Q_j$

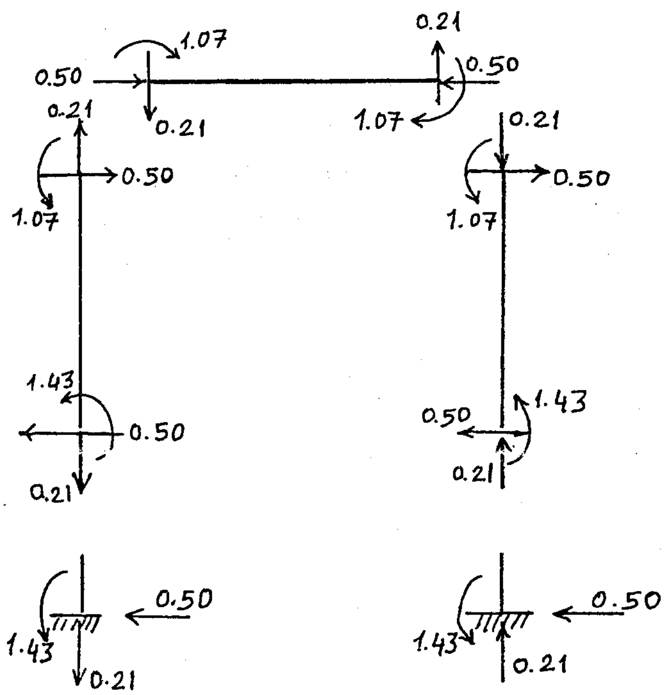
$M_i = M_j - Q_j \cdot L$

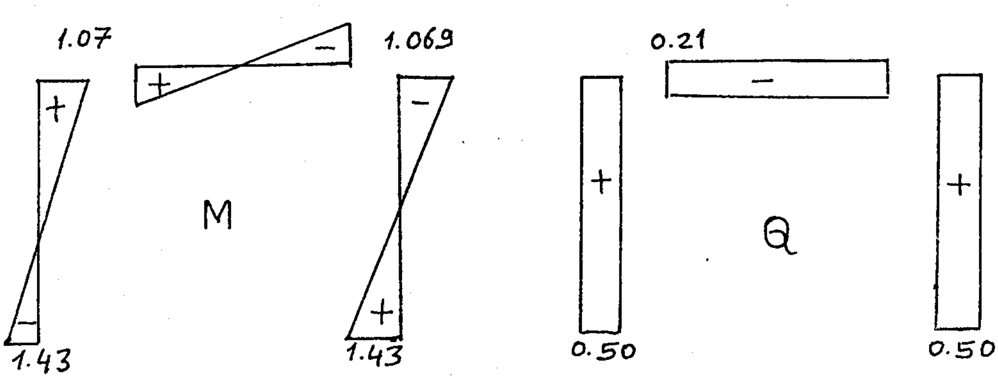
Eleman	N_i	Q_i	M_i	N_j	Q_j	M_j
1	.21	.50	-1.43	.21	.50	1.07
2	-.50	-.21	1.07	-.50	-.21	-1.07
3	-.21	.50	-1.07	-.21	.50	1.43

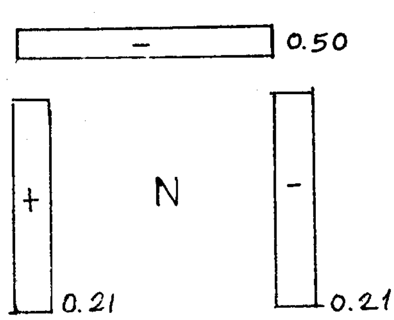
h) $\underline{N}$ matrisinin 1 ve 4 nolu düğümlerine ait satırları ayrı ayrı $\hat{\underline{F}}$ vektörü ile çarpılırsa mesnet reaksiyonları şu şekilde olur.

REAKSİYONLAR

NOKTA	RX	RY	RZ
1	-0.50	-0.21	1.43
4	-0.50	+0.21	1.43



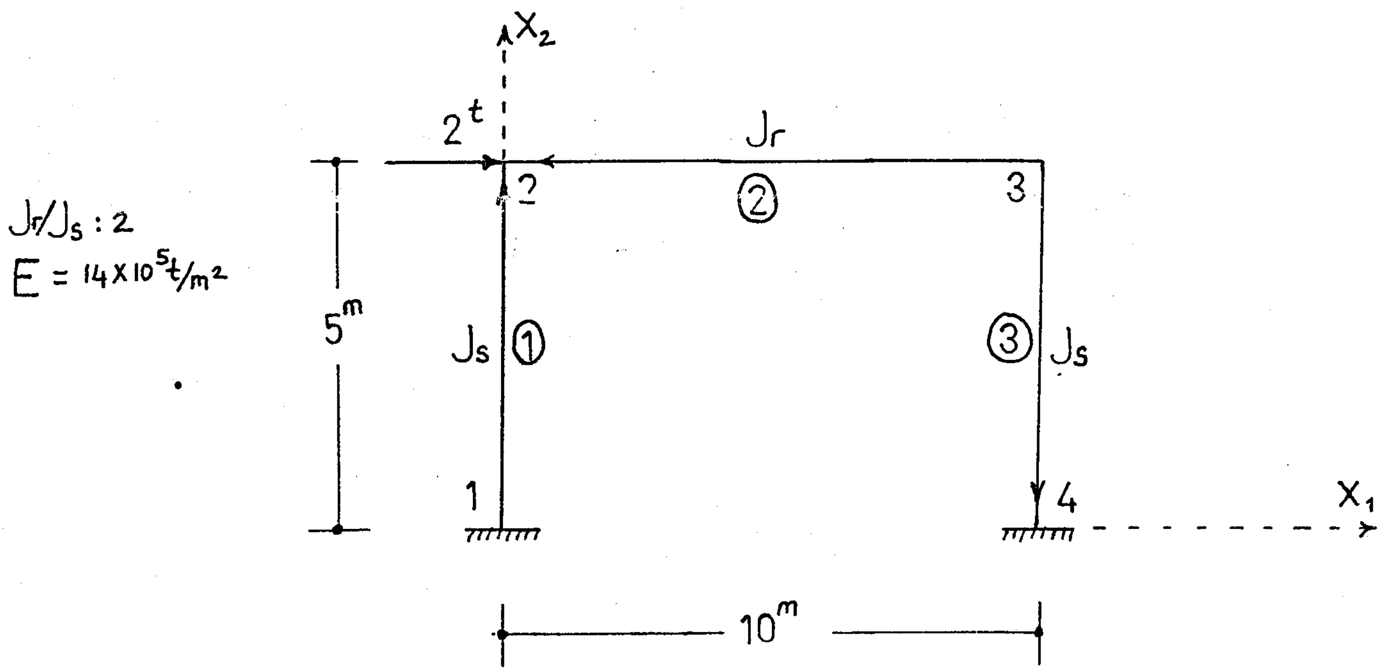




5.2. BİLGİSAYARLA ÇÖZUM

Örnek Problem 1.(8)

```
6140 DATA 3,4,0
6150 DATA 1,1,2,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6160 DATA 2,3,2,14E5,100,.1667,599983,2,.8
6170 DATA 3,3,4,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6180 DATA 1,0,0
6190 DATA 2,0,5
6200 DATA 3,10,5
6210 DATA 4,10,0
6220 DATA 1
6230 DATA 2,1,0,0
6240 DATA 2
6250 DATA 1,1,1,1
6260 DATA 4,1,1,1
6270 DATA 0
6280 DATA 0
```



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayısi= 3
dugum nokta sayisi= 4
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
2	3	2	1.4E+06	100	.1667	599983	2	.8
3	3	4	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	0	5
3	10	5
4	10	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 6 DENKLEM
M0= 9 bilinmiyen
R= 3 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

6 8 9

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

-1.072966000
+0.498803600
+1.425040000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	.214194	.501196	-1.43302	.214194	.501196	1.07297
2	3	2	-.498804	-.214194	1.06898	-.498804	-.214194	-1.07297
3	3	4	-.214194	.498804	-1.06898	-.214194	.498804	1.42504

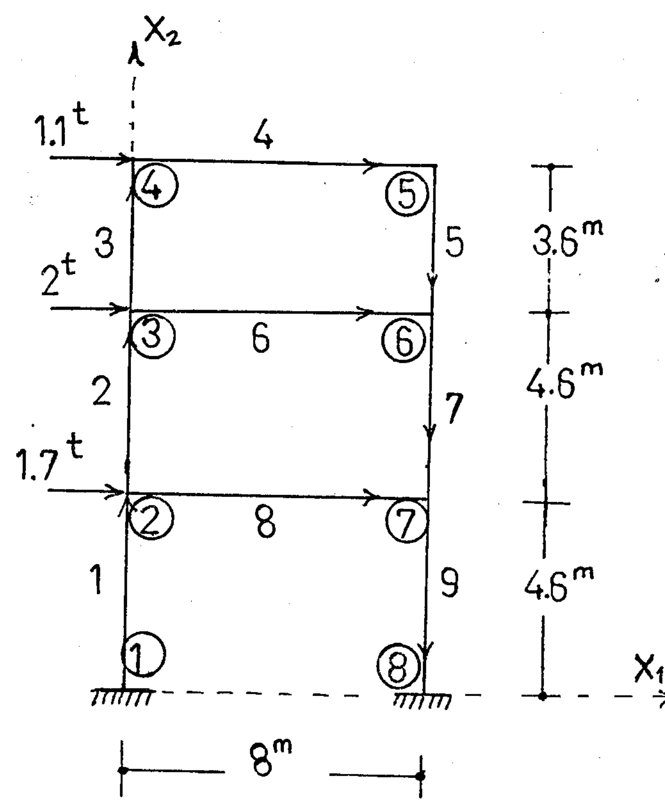
REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	-0.50	-0.21	+1.43
4	-0.50	+0.21	+1.43

HESAP SONU

Örnek Problem 2.(9)

```
6140 DATA 9.8,0
6150 DATA 1,1,2,14E5,100,.1667,599983,1.8,.8
6160 DATA 2.2.3,14E5,100..1667,599983,1.4,.8
6170 DATA 3,3,4,14E5,100,.1667,599983,1.4,.8
6180 DATA 4,4,5,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6190 DATA 5,5,6,14E5,100,.1667,599983,1.4,.8
6200 DATA 6,3,6,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6210 DATA 7,6,7,14E5,100,.1667,599983,1.4,.8
6220 DATA 8,2,7,14E5,100,.1667,599983,1.4,.8
6230 DATA 9,7,8,14E5,100,.1667,599983,1.8,.8
6240 DATA 1,0,0
6250 DATA 2,0,4.6
6260 DATA 3,0,9.2
6270 DATA 4,0,12.8
6280 DATA 5,8,12.8
6290 DATA 6,8,9.2
6300 DATA 7,8,4.6
6310 DATA 8,8,0
6320 DATA 3
6330 DATA 2,1.7,0,0
6340 DATA 3,2,0,0
6350 DATA 4,1.1,0,0
6350 DATA 2
6370 DATA 1,1,1,1
6380 DATA 8,1,1,1
6390 DATA 0
6400 DATA 0
```



SONLU ELEMANLAR METODU
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 9
dugum nokta sayisi= 8
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	1.4E+06	100	.1667	599983	1.8	.8
2	2	3	1.4E+06	100	.1667	599983	1.4	.8
3	3	4	1.4E+06	100	.1667	599983	1.4	.8
4	4	5	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
5	5	6	1.4E+06	100	.1667	599983	1.4	.8
6	3	6	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
7	6	7	1.4E+06	100	.1667	599983	1.4	.8
8	2	7	1.4E+06	100	.1667	599983	1.4	.8
9	7	8	1.4E+06	100	.1667	599983	1.8	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	0	4.6
3	0	9.2
4	0	12.8
5	8	12.8
6	8	9.2
7	8	4.6
8	8	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	1.7	0	0
3	2	0	0
4	1.1	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 18 DENKLEM
M0= 27 bilinmiyen
R= 9 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

12 15 21 9 3 24 6 18 27

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

-1.970433000
+0.013654190
+3.284886000
+1.967888000
+3.125959000
-6.397929000
+3.851199000
-3.860781000
+7.908649000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	3.05738	2.40398	-7.93236	3.05738	2.40398	3.12596
2	2	3	1.45729	1.54956	-3.2768	1.45729	1.54956	3.8512
3	3	4	.49229	.548864	-8.02422E-03	.49229	.548864	1.96789
4	4	5	-.551136	-.49229	1.96789	-.551136	-.49229	-1.97043
5	5	6	-.49229	.551136	-1.97043	-.49229	.551136	1.36542E-02
6	3	6	-.9993	-.965001	3.85922	-.9993	-.965001	-3.86078
7	6	7	-1.45729	1.55044	-3.84712	-1.45729	1.55044	3.28489
8	2	7	-.845578	-1.60008	6.40275	-.845578	-1.60008	-6.39793
9	7	8	-3.05738	2.39602	-3.11303	-3.05738	2.39602	7.90865

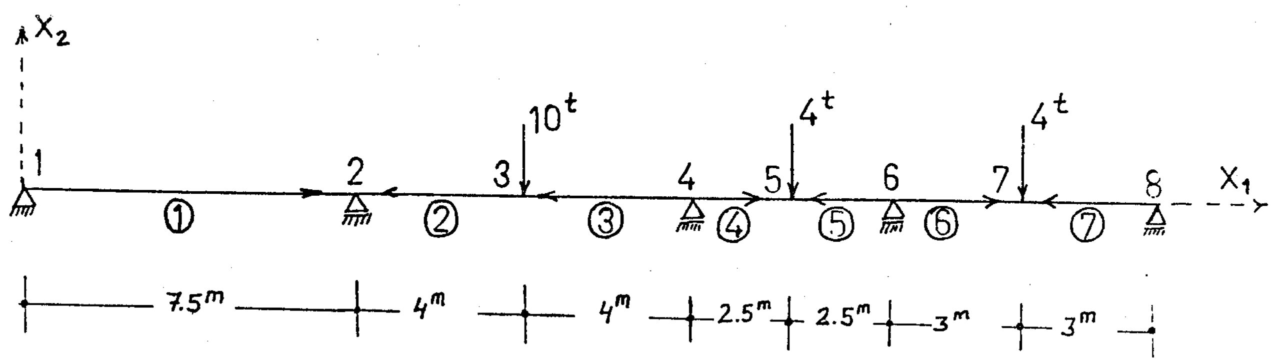
REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	-2.40	-3.06	+7.93
8	-2.40	+3.06	+7.91

HESAP SONU

Örnek Problem 3.(9)

```
6140 DATA 7,8,0
6150 DATA 1,1,2,14E5,100,.1667,599983.45E-4,.8
6160 DATA 2,3,2,14E5,100,.1667,599983,45E-4,.8
6170 DATA 3,4,3,14E5,100,.1667,599983.45E-4,.8
6180 DATA 4,4,5,14E5,100,.1667,599983,45E-4,.8
6190 DATA 5,6,5,14E5,100,.1667,599983,45E-4,.8
6200 DATA 6,6,7,14E5,100,.1667,599983,45E-4,.8
6210 DATA 7,8,7,14E5,100,.1667,599983,45E-4,.8
6220 DATA 1,0,0
6230 DATA 2,7.5,0
6240 DATA 3,11.5,0
6250 DATA 4,15.5,0
6260 DATA 5,18,0
6270 DATA 6,20.5,0
6280 DATA 7,23.5,0
6290 DATA 8,26.5,0
6300 DATA 3
6310 DATA 3,0,-10,0
6320 DATA 5,0,-4,0
6330 DATA 7,0,-4,0
6340 DATA 5
6350 DATA 1,1,1,0
6360 DATA 2,0,1,0
6370 DATA 4,0,1,0
6380 DATA 6,0,1,0
6390 DATA 8,0,1,0
6400 DATA 0
6410 DATA 0
```



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 7
dugum nokta sayisi= 8
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	1.4E+06	100	.1667	599983	.0045	.8
2	3	2	1.4E+06	100	.1667	599983	.0045	.8
3	4	3	1.4E+06	100	.1667	599983	.0045	.8
4	4	5	1.4E+06	100	.1667	599983	.0045	.8
5	6	5	1.4E+06	100	.1667	599983	.0045	.8
6	6	7	1.4E+06	100	.1667	599983	.0045	.8
7	8	7	1.4E+06	100	.1667	599983	.0045	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	7.5	0
3	11.5	0
4	15.5	0
5	18	0
6	20.5	0
7	23.5	0
8	26.5	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	-10	0
4	0	0	0
5	0	-4	0
6	0	0	0
7	0	-4	0
8	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 18 DENKLEM
M0= 21 bilinmiyen
R= 3 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

6 15 21

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

+5.537335000
+0.380183600
-4.891229000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	0	-.73831	-1.43051E-05	0	-.73831	-5.53734
2	3	2	0	4.62431	-12.9599	0	4.62431	5.53734
3	4	3	0	-5.37569	8.54283	0	-5.37569	-12.9599
4	4	5	0	3.26506	-8.54283	0	3.26506	-.380184
5	6	5	0	-.734943	2.21754	0	-.734943	.380184
6	6	7	0	2.36959	-2.21755	0	2.36959	4.89123
7	8	7	0	-1.63041	-4.29153E-06	0	-1.63041	-4.89123

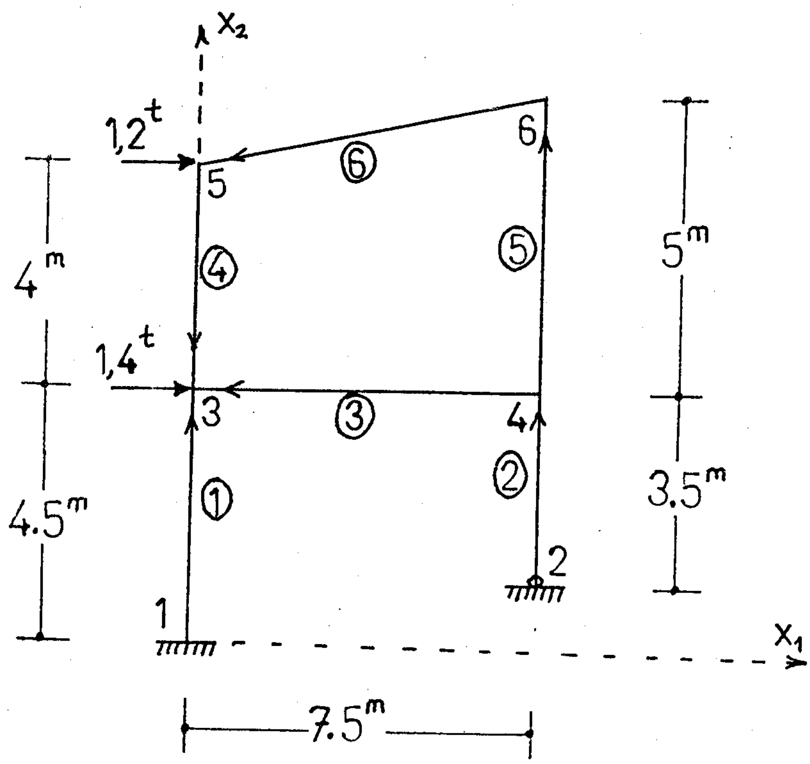
REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	+0.00	-0.74	+0.00
2	+0.00	+5.36	+0.00
4	+0.00	+8.64	+0.00
6	+0.00	+3.10	+0.00
8	+0.00	+1.63	+0.00

HESAP SONU

Örnek Problem 4.(9)

```
6140 DATA 6,6,0
6150 DATA 1,1,3,14E5,100,.1667,599983,1.8,.8
6160 DATA 2,2,4,14E5,100,.1667,599983,1.4,.8
6170 DATA 3,4,3,14E5,100,.1667,599983,1.5,.8
6180 DATA 4,5,3,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6290 DATA 5,4,6,14E5,100,.1667,599983,1.4,.8
6300 DATA 6,6,5,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6310 DATA 1,0,0
6320 DATA 2,7.5,1
6330 DATA 3,0,4.5
6340 DATA 4,7.5,4.5
6350 DATA 5,0,8.5
6360 DATA 6,7.5,9.5
6370 DATA 2
6380 DATA 3,1.4,0,0
6390 DATA 5,1.2,0,0
6400 DATA 2
6410 DATA 1,1,1,1
6420 DATA 2,1,1,0
6430 DATA 0
6440 DATA 0
```



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 6
dugum nokta sayisi= 6
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	3	1.4E+06	100	.1667	599983	1.8	.8
2	2	4	1.4E+06	100	.1667	599983	1.4	.8
3	4	3	1.4E+06	100	.1667	599983	1.5	.8
4	5	3	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
5	4	6	1.4E+06	100	.1667	599983	1.4	.8
6	6	5	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	7.5	1
3	0	4.5
4	7.5	4.5
5	0	8.5
6	7.5	9.5

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	0	0	0
3	1.4	0	0
4	0	0	0
5	1.2	0	0
6	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 13 DENKLEM
M0= 18 bilinmiyen
R= 5 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

6 15 9 12 18

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

+2.384124000
+1.555836000
-3.885928000
+0.996983000
-1.660278000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	3	1.34307	1.91882	-5.74576	1.34307	1.91882	2.88894
2	2	4	-1.34307	.681178	2.38419E-06	-1.34307	.681178	2.38412
3	4	3	-.145493	-.985683	3.50669	-.145493	-.985683	-3.88593
4	5	3	.35739	.664316	-1.66028	.35739	.664316	.996984
5	4	6	-.35739	.535685	-1.12259	-.35739	.535685	1.55584
6	6	5	-.483752	-.425055	1.55584	-.483752	-.425055	-1.66028

REAKSIYONLAR'

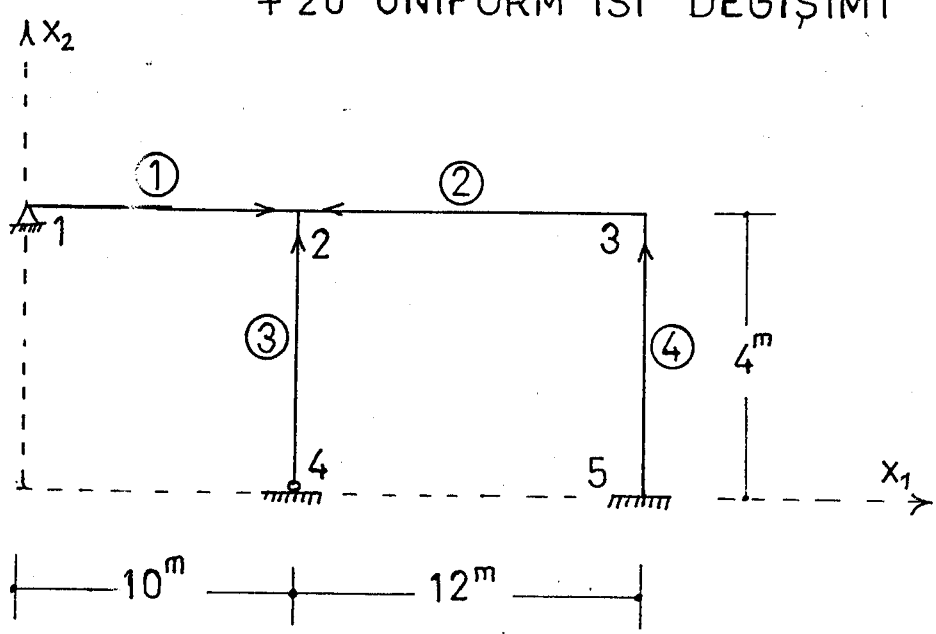
NOKTA	RX	RY	RZ
1	-1.92	-1.34	+5.75
2	-0.68	+1.34	+0.00

HESAP SONU

Örnek Problem 5.(10)

```
6140 DATA 4,5,0
6150 DATA 1,1,2,2E6,100,.1667,857118,.02,.8
6160 DATA 2,3,2,2E6,100,.1667,857118,.02,.8
6170 DATA 3,4,2,2E6,100,.1667,857118,.01,.8
6180 DATA 4,5,3,2E6,100,.1667,857118,.01,.8
6190 DATA 1,0,4
6200 DATA 2,10,4
6210 DATA 3,22,4
6220 DATA 4,10,0
6230 DATA 5,22,0
6240 DATA 0
6250 DATA 3
6260 DATA 1,1,1,0
6270 DATA 4,1,1,0
6280 DATA 5,1,1,1
6290 DATA 1
6300 DATA 1
6310 DATA .0002
6320 DATA 0
```

+ 20° ÜNİFORM ISI DEĞİŞİMİ



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 4
dugum nokta sayisi= 5
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	2.E+06	100	.1667	857118	.02	.8
2	3	2	2.E+06	100	.1667	857118	.02	.8
3	4	2	2.E+06	100	.1667	857118	.01	.8
4	5	3	2.E+06	100	.1667	857118	.01	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	4
2	10	4
3	22	4
4	10	0
5	22	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 8 DENKLEM
M0= 12 bilinmiyen
R= 4 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

9 6 11 12

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

+7.521106000
-6.579623000
+9.070306000
+13.190320000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	-10.9506	-9.41483E-02	2.38419E-07	-10.9506	-9.41483E-02	-.941483
2	3	2	-9.07031	-1.64749	13.1903	-9.07031	-1.64749	-6.57962
3	4	2	1.55334	1.88028	0	1.55334	1.88028	7.52111
4	5	3	-1.64749	9.07031	-23.0909	-1.64749	9.07031	13.1903

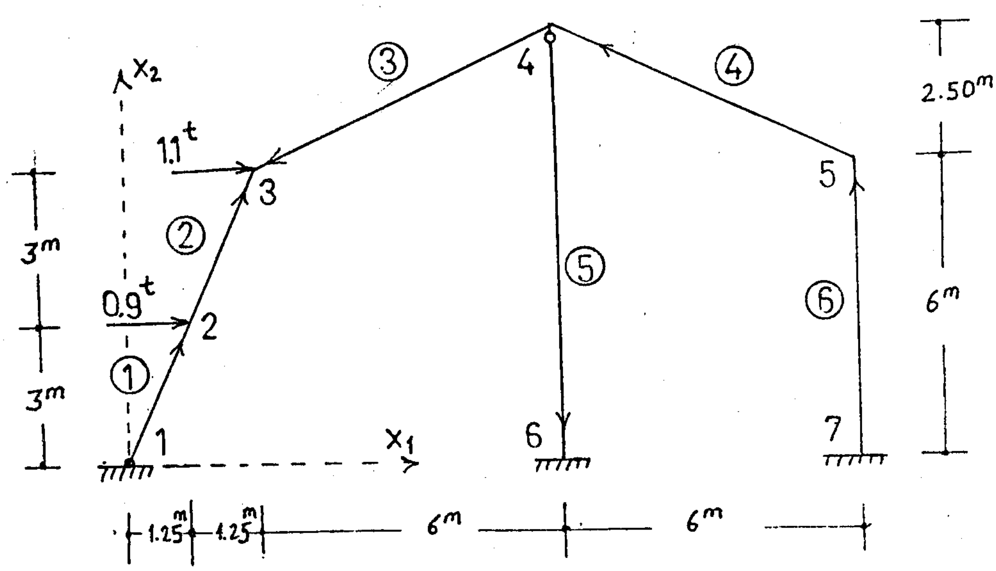
REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	+10.95	-0.09	+0.00
4	-1.88	-1.55	+0.00
5	-9.07	+1.65	+23.09

HESAP SONU

Ornek Problem 6.(9)

```
6140 DATA 6,7,1
6150 DATA 1,1,2,14E5,100,.1667,599983,1.3,.8
6160 DATA 2,2,3,14E5,100,.1667,599983,1.3,.8
6170 DATA 3,4,3,14E5,100,.1667,599983,1.3,.8
6180 DATA 4,5,4,14E5,100,.1667,599983,1.3,.8
6190 DATA 5,4,6,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6200 DATA 6,7,5,14E5,100,.1667,599983,1.5,.8
6210 DATA 1,0,0
6220 DATA 2,1.25,3
6230 DATA 3,2.5,6
6240 DATA 4,8.5,8.5
6250 DATA 5,14.5,6
6260 DATA 6,8.5,0
6270 DATA 7,14.5,0
6280 DATA 2
6290 DATA 2,.9,0,0
6300 DATA 3,1.1,0,0
6310 DATA 5,4
6320 DATA 3
6330 DATA 1,1,1,0
6340 DATA 6,1,1,1
6350 DATA 7,1,1,1
6360 DATA 0
6370 DATA 0
```



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 6
dugum nokta sayisi= 7
mafsal sayisi= 1

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	1.4E+06	100	.1667	599983	1.3	.8
2	2	3	1.4E+06	100	.1667	599983	1.3	.8
3	4	3	1.4E+06	100	.1667	599983	1.3	.8
4	5	4	1.4E+06	100	.1667	599983	1.3	.8
5	4	6	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
6	7	5	1.4E+06	100	.1667	599983	1.5	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	1.25	3
3	2.5	6
4	8.5	8.5
5	14.5	6
6	8.5	0
7	14.5	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	.9	0	0
3	1.1	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

MAFSALLI EL.NO'SU	MAFSALLI DUGUM NO.SU
5	4

PARAMETRELER:
N= 14 DENKLEM
M0= 18 bilinmiyen
R= 4 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

15 9 12 18

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

+1.115512000
-1.962895000
+0.607369800
+2.304415000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	.19253	.717368	9.53674E-07	.19253	.717368	2.33145
2	2	3	-.153623	-.113401	2.33145	-.153623	-.113401	1.96289
3	4	3	-1.20432	-.395425	.607368	-1.20432	-.395425	-1.96289
4	5	4	-1.33569	-.261084	2.30441	-1.33569	-.261084	.60737
5	4	6	.852918	.131237	4.76837E-07	.852918	.131237	1.11551
6	7	5	-.754728	1.13253	-4.49075	-.754728	1.13253	2.30441

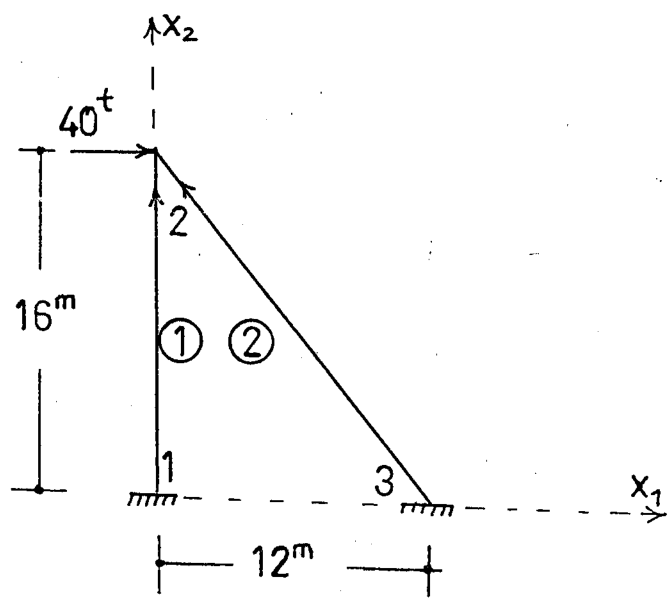
REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	-0.74	+0.10	+0.00
6	-0.13	-0.85	+1.12
7	-1.13	+0.75	+4.49

HESAP SONU

Örnek Problem 7.(6)

```
6140 DATA 2.3,0
6150 DATA 1,1,2,2E7,3.75,.1667,8571183,1.953,.8
6160 DATA 2,3,2,2E7,3.75,.1667,8571183,1.953,.8
6170 DATA 1,0,0
6180 DATA 2,0,16
6190 DATA 3,12,0
6200 DATA 1
6210 DATA 2,40,0,0
6220 DATA 2
6230 DATA 1,1,1,1
6240 DATA 3,1,1,1
6250 DATA 0
6260 DATA 1
```



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 2
dugum nokta sayisi= 3
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	2.E+07	3.75	.1667	8.57118E+06	1.953	.8
2	3	2	2.E+07	3.75	.1667	8.57118E+06	1.953	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	0	16
3	12	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	40	0	0
3	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 3 DENKLEM
K0= 6 bilinmiyen
R= 3 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

4 5 6

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

-63.609930000
+0.286647900
-4.113200000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	50.716	1.60472	-21.5624	50.716	1.60472	4.1132
2	3	2	-63.6099	.286648	-9.84616	-63.6099	.286648	-4.1132

REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	-1.60	-50.72	+21.56
3	-38.40	+50.72	+9.85

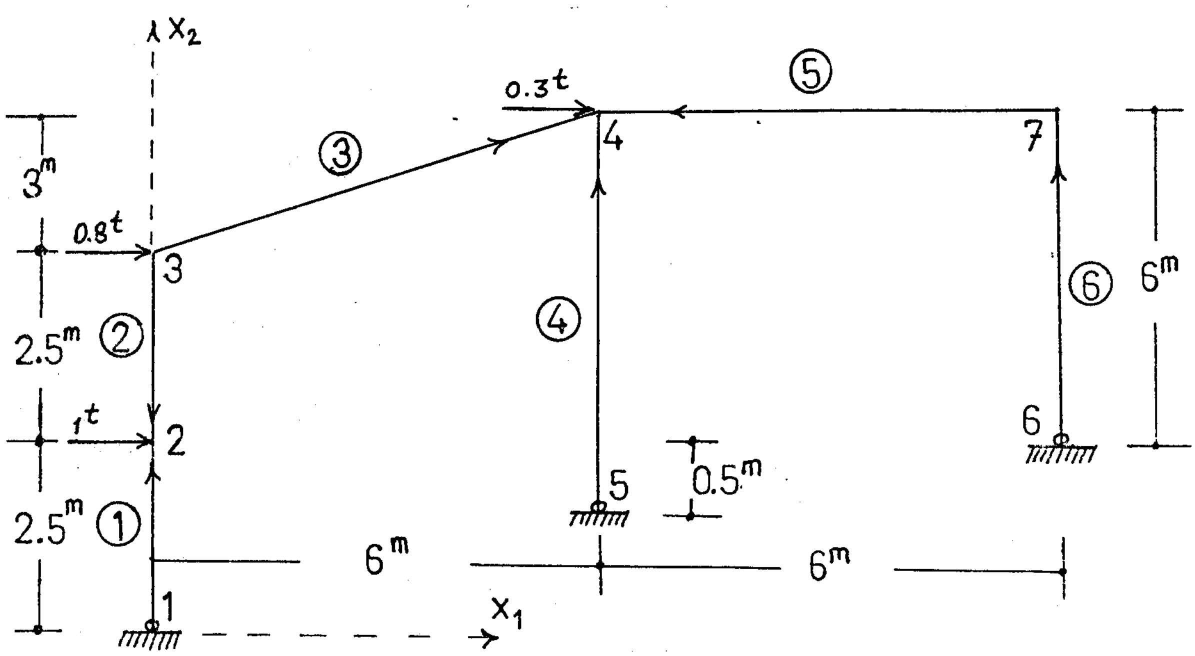
DEPLASMANLAR

DUGUM	UX	UY	UZ
1	0	0	0
2	4.2697E-05	1.08194E-05	-3.57382E-06
3	0	0	0

HESAP SONU

Örnek Problem 8.(9)

```
6140 DATA 6,7,0
6150 DATA 1,1,2,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6160 DATA 2,3,2,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6170 DATA 3,3,4,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6180 DATA 4,5,4,14E5,100,.1667,599983,1.3,.8
6190 DATA 5,7,4,14E5,100,.1667,599983,.9,.8
6200 DATA 6,6,7,14E5,100,.1667,599983,.9,.8
6210 DATA 1,0,0
6220 DATA 2,0,2.5
6230 DATA 3,0,5
6240 DATA 4,6,8
6250 DATA 5,6,1.5
6260 DATA 6,12,2
6270 DATA 7,12,8
6280 DATA 3
6290 DATA 2,1,0,0
6300 DATA 3,.8,0,0
6310 DATA 4,.3,0,0
6320 DATA 3
6330 DATA 1,1,1,0
6340 DATA 5,1,1,0
6350 DATA 6,1,1,0
6360 DATA 0
6370 DATA 0
```



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 6
dugum nokta sayisi= 7
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
2	3	2	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
3	3	4	1.4E+06	100	.1667	599983	1	.8
4	5	4	1.4E+06	100	.1667	599983	1.3	.8
5	7	4	1.4E+06	100	.1667	599983	.9	.8
6	6	7	1.4E+06	100	.1667	599983	.9	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	0	2.5
3	0	5
4	6	8
5	6	1.5
6	12	2
7	12	8

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	1	0	0
3	.8	0	0
4	.3	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 15 DENKLEM
M0= 18 bilinmiyen
R= 3 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

15 12 18

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

-1.874732000
+3.981769000
+2.440288000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	.475447	1.08071	9.53674E-07	.475447	1.08071	2.70176
2	3	2	.475447	.080705	-2.90353	.475447	.080705	-2.70176
3	3	4	-.430731	-.746932	2.90354	-.430731	-.746932	-2.10704
4	5	4	.243724	.612579	3.09944E-06	.243724	.612579	3.98177
5	7	4	-.406716	-.719172	2.4403	-.406716	-.719172	-1.87473
6	6	7	-.719172	.406716	-5.00679E-06	-.719172	.406716	2.44029

REAKSIYONLAR'

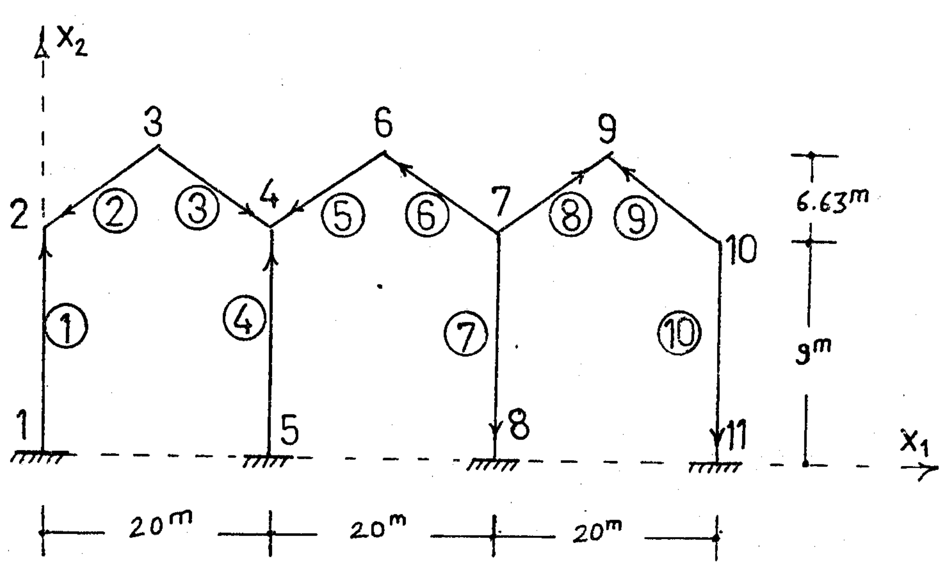
NOKTA	RX	RY	RZ
1	-1.08	-0.48	+0.00
5	-0.61	-0.24	+0.00
6	-0.41	+0.72	+0.00

HESAP SONU

Örnek Problem 9.(11)

```
6140 DATA 10.11.0
6150 DATA 1,1,2,21E5,100,.1667,857118,.01,.8
6160 DATA 2,3,2,21E5,100,.1667,857118,.02,.8
6170 DATA 3,3,4,21E5,100,.1667,857118,.02,.8
6180 DATA 4,5,4,21E5,100,.1667,857118,.01,.8
6190 DATA 5,6,4,21E5,100,.1667,857118,.02,.8
6200 DATA 6,7,6,21E5,100,.1667,857118,.02,.8
6210 DATA 7,7,8,21E5,100,.1667,857118,.01,.8
6220 DATA 8,7,9,21E5,100,.1667,857118,.02,.8
6230 DATA 9,10,9,21E5,100,.1667,857118,.02,.8
6240 DATA 10,10,11,21E5,100,.1667,857118,.01,.8
6250 DATA 1,0,0
6260 DATA 2,0,9
6270 DATA 3,10,15.63
6280 DATA 4,20,9
6290 DATA 5,20,0
6300 DATA 6,30,15.63
6310 DATA 7,40,9
6320 DATA 8,40,0
6330 DATA 9,50,15.63
6340 DATA 10,60,9
6350 DATA 11,60,0
6360 DATA 0
6370 DATA 4
6380 DATA 1,1,1,1
6390 DATA 5,1,1,1
6400 DATA 8,1,1,1
6410 DATA 11,1,1,1
6420 DATA 1
6430 DATA 1
6440 DATA .00015
6450 DATA 0
```

+15° ÜNİFORM ISI TESİRİ



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 10
dugum nokta sayisi= 11
mafsal sayisi= 0

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	2.1E+06	100	.1667	857118	.01	.8
2	3	2	2.1E+06	100	.1667	857118	.02	.8
3	3	4	2.1E+06	100	.1667	857118	.02	.8
4	5	4	2.1E+06	100	.1667	857118	.01	.8
5	6	4	2.1E+06	100	.1667	857118	.02	.8
6	7	6	2.1E+06	100	.1667	857118	.02	.8
7	7	8	2.1E+06	100	.1667	857118	.01	.8
8	7	9	2.1E+06	100	.1667	857118	.02	.8
9	10	9	2.1E+06	100	.1667	857118	.02	.8
10	10	11	2.1E+06	100	.1667	857118	.01	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	0	9
3	10	15.63
4	20	9
5	20	0
6	30	15.63
7	40	9
8	40	0
9	50	15.63
10	60	9
11	60	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

PARAMETRELER:
N= 21 DENKLEM
M0= 30 bilinmiyen
R= 9 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

12 15 18 25 21 27 6 11 30

(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU

-0.786975400
-1.665988000
+1.980540000
-0.386843000
+0.596645900
+1.573722000
+0.935220600
-0.198180000
+2.231196000

CUBUK KUVVETLERI

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	-.169409	-.351824	2.2312	-.169409	-.351824	-.935221
2	3	2	-.386843	-5.32165E-02	1.57372	-.386843	-5.32165E-02	.935221
3	3	4	-.199618	.335607	-1.57372	-.199618	.335607	2.45296
4	5	4	.16941	-.19818	.996645	.16941	-.19818	-.786975
5	6	4	-.458405	-.303923	1.98054	-.458405	-.303923	-1.66599
6	7	6	-.458405	.303923	-1.66599	-.458405	.303923	1.98054
7	7	8	.169408	.19818	-.786976	.169408	.19818	.996646
8	7	9	-.199618	-.335609	2.45298	-.199618	-.335609	-1.57372
9	10	9	-.386843	5.32164E-02	.93522	-.386843	5.32164E-02	1.57372
10	10	11	-.169409	.351824	-.935222	-.169409	.351824	2.2312

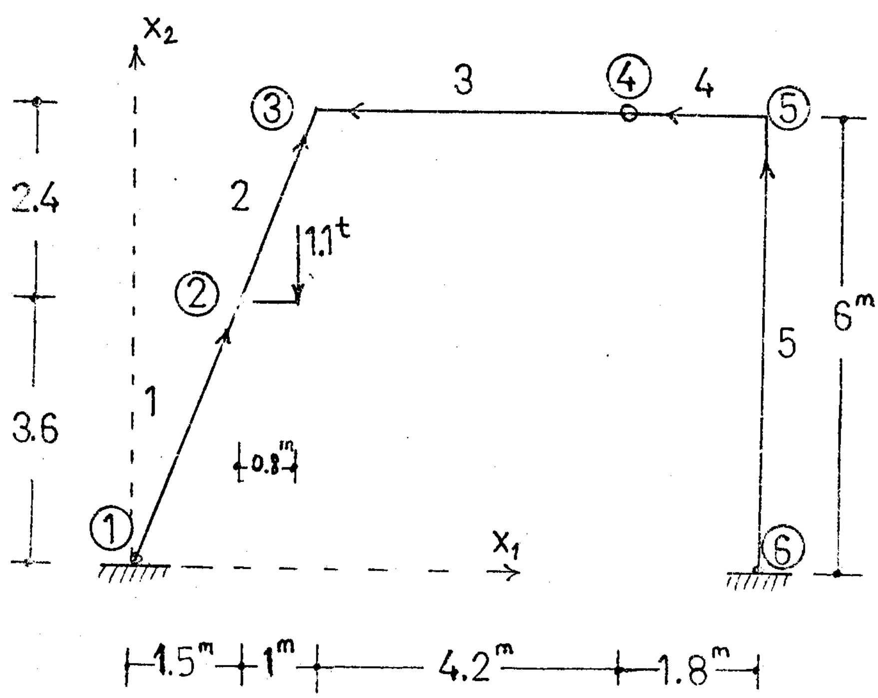
REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	+0.35	+0.17	-2.23
5	+0.20	-0.17	-1.00
8	-0.20	-0.17	+1.00
11	-0.35	+0.17	+2.23

HESAP SONU

Örnek Problem 10.(9)

```
6140 DATA 5.6,1
6150 DATA 1,1,2,21E5,100..1667,899974,1.3..8
6160 DATA 2,2,3.21E5,100..1667,899974,1.3,.8
6170 DATA 3,4,3,21E5,100,.1667,899974,1.3,.8
6180 DATA 4,5,4,21E5,100,.1667,899974,1,.8
6190 DATA 5,6,5,21E5,100,.1667,899974,1,.8
6200 DATA 1,0,0
6210 DATA 2,1.5,3.6
6220 DATA 3,2.5,6
6230 DATA 4,6.7,6
6240 DATA 5,8.5,6
6250 DATA 6,8.5,0
6260 DATA 1
6270 DATA 2,0,-1.1,-.88
6280 DATA 3,4
6290 DATA 2
6300 DATA 1,1,1,0
6310 DATA 6,1,1,0
6320 DATA 0
6330 DATA 0
```



SONLU ELEMANLAR METODU
CUBUK SISTEMLERIN HESABI
(KUVVET METODU)

eleman sayisi= 5
dugum nokta sayisi= 6
mafsal sayisi= 1

ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI

ELEM	In	Jn	E	A	Mu	G	Iz	KAPA
1	1	2	2.1E+06	100	.1667	899974	1.3	.8
2	2	3	2.1E+06	100	.1667	899974	1.3	.8
3	4	3	2.1E+06	100	.1667	899974	1.3	.8
4	5	4	2.1E+06	100	.1667	899974	1	.8
5	6	5	2.1E+06	100	.1667	899974	1	.8

DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI

NOKTA	Xn	Yn
1	0	0
2	1.5	3.6
3	2.5	6
4	6.7	6
5	8.5	6
6	8.5	0

P YUK VEKTORU

NOKTA	Px	Py	Mz
1	0	0	0
2	0	-1.1	-.88
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

MAFSALLI EL.NO'SU   MAFSALLI DUGUM NO.SU

MAFSALLI EL.NO'SU	MAFSALLI DUGUM NO.SU
3	4

PARAMETRELER:
N= 15 DENKLEM
M0= 15 bilinmiyen
R= 0 HIPERSTATIKLIK DERECESI
SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER

SISTEM IZOSTATIK

N	I	J	Ni	Qi	Mi	Nj	Qj	Mj
1	1	2	-.774978	.226172	2.98023E-07	-.774978	.226172	.88207
2	2	3	.240407	-.196905	1.76207	.240407	-.196905	1.25012
3	4	3	-8.92941E-02	-.297647	-2.38419E-07	-8.92941E-02	-.297647	-1.25012
4	5	4	-8.92941E-02	-.297647	.535765	-8.92941E-02	-.297647	0
5	6	5	-.297647	8.92941E-02	1.19209E-07	-.297647	8.92941E-02	.535765

REAKSIYONLAR'

NOKTA	RX	RY	RZ
1	+0.09	+0.80	+0.00
6	-0.09	+0.30	+0.00

HESAP SONU

6. PROGRAM LİSTESİ

```
10 EXTEND
20 OPEN "CON:" AS FILE 1
30 : #1 CHR$(29%)
40 : #1 "SONLU ELEMANLAR METODU"
50 : #1 "CUBUK SISTEMLERIN HESABI"
60 : #1 "(KUVVET METODU)"
70 : #1 : : #1 ,
80 : #1 CHR$(29%)
90 READ M,D,Mafs
100 : #1 "eleman sayisi=";M
110 : #1 "dugum nokta sayisi=";D
120 IF Mafs<0 GOTO 1490
130 : #1 "mafsal sayisi=";Mafs
140 IF M<1 OR D<2 GOTO 1420
150 REM M=ELEMAN SAYISI
160 REM D=DUGUM NOKTA SAYISI
170 N0=3*D+Mafs
180 M0=3*M
190 N=N0
200 IF N<M0 THEN N=M0
210 REM N0=DENKLEM SAYISI
220 REM M0=BILINMIYEN SAYISI
230 REM A=SISTEM DENGE MATRISI
240 REM P=YUK VEKTORU
250 REM N7=ELEM.DATALARI
260 REM B=CUBUK ELEMANLARIN DENGE MATRISI
270 REM N2=DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI
280 DIM N7(M,8),B(6,3),N2(D,2),A(N,M0),D(3)
290 DIM R(N0),Isp(M0),P(N0,1),F(M0,1)
300 : #1 : : #1
310 : #1 "ELEMAN YONLERI VE ELASTIK OZELLIKLERI"
320 : #1 TAB(1) "ELEM" TAB(6) "In" TAB(11) "Jn" TAB(16) "E" TAB(26) "A" TAB(36) "Mu" TAB(46) "G" TAB(60) "Iz" TAB(68) "KAPA"
330 : #1 "------------------------------------------------------------------------------------------" : : #1
340 FOR I=1 TO M
350   READ K,In,Jn,E,A,Mu,G,Iz,Kapa
360   : #1 TAB(1) K TAB(5) In TAB(10) Jn TAB(15) E TAB(25) A TAB(35) Mu TAB(45) G TAB(59) Iz TAB(70) Kapa
370   IF K<1 OR K>M GOTO 1430
380   IF In<1 OR In>D OR In=Jn GOTO 1440
390   IF Jn<1 OR Jn>D GOTO 1440
400   IF E<=0 OR A<=0 OR Mu<0 OR Mu>=.5 OR G<=0 OR Iz<=0 GOTO 1450
410   N7(K,1)=In : N7(K,2)=Jn
420   N7(K,3)=E : N7(K,4)=A : N7(K,5)=Mu
430   N7(K,6)=G : N7(K,7)=Iz : N7(K,8)=Kapa
440 NEXT I
450 : #1 : : #1
460 REM "DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI"
470 : #1 "DUGUM NOKTALARININ KOORDINATLARI"
480 : #1
490 : #1 TAB(1) "NOKTA" TAB(9) "Xn" TAB(19) "Yn"
500 : #1 "--------------------------" : : #1
```

```
510 FOR I1=1 TO D
520   READ K,Xn,Yn
530   : #1 TAB(1) K TAB(8) Xn TAB(18) Yn
540   IF K<1 OR K>D GOTO 1440
550   IF Xn<0 OR Yn<0 GOTO 1460
560   N2(K,1)=Xn : N2(K,2)=Yn
570 NEXT I1
580 : #1 : : #1
590 REM PX1,PX2,PX3=DUGUME GELEN X1,X2,X3 YONLERINDEKI DIS YUKLER
600 REM YD=YUKLENMIS DUGUM NOSU
610 REM SK=YUKLENMIS DUGUM SAYISI
620 REM "YUK VEKTORUNUN KURULMASI"
630 : #1 : : #1
640 : #1 "P YUK VEKTORU"
650 : #1 "------------------------------"
660 : #1 TAB(1) "NOKTA" TAB(7) "Px" TAB(17) "Py" TAB(27) "Mz"
670 READ Sk
680 IF Sk=0 GOTO 780
690 FOR I=1 TO Sk
700   READ Yd,Px1,Px2,Px3
710   D1=3*Yd-2
720   D2=D1+1
730   D3=D1+2
740   P(D1,1)=P(D1,1)+Px1
750   P(D2,1)=P(D2,1)+Px2
760   P(D3,1)=P(D3,1)+Px3
770 NEXT I
780 FOR I=1 TO D
790   : #1 TAB(1) I TAB(7) P(3*I-2,1) TAB(17) P(3*I-1,1) TAB(27) P(3*I,1)
800 NEXT I
810 PREPARE "CYA:P" AS FILE 6
820 FOR I=1 TO N0
830   : #6 P(I,1)
840 NEXT I
850 CLOSE 6
860 REM "DENGE MATRISI"
870 GOSUB 1520
880 REM "MAFSALLARIN ISLENMESI"
890 IF Mafs>0 THEN GOSUB 1880
900 REM "SINIR SARTLARININ ISLENMESI"
910 GOSUB 2060
920 R=M0-N
930 IF R<0 GOTO 1470
940 REM "GAUSS-JORDAN METODU ILE HIPERSTATIK BILINMIYENLERIN SECIMI VE B0 ILE BX MATRISLERININ ELDE EDILMESI"
950 GOSUB 2720
960 IF R>0 GOTO 1070
970 REM "IZOSTATIK SISTEMDE CUBUK KUVVETLERININ HESABI"
980 FOR I=1 TO M0
990   F(I,1)=0
1000   FOR J=1 TO M0
```

```
1010 F(I,1)=F(I,1)+A(I,J)*P(J,1)
1020 NEXT J
1030 NEXT I
1040 GOSUB 3770
1050 GOSUB 4230
1060 GOTO 1500
1070 REM "SUREKLILIK DENKLEMINDEKI DX VE P0 MATRISLERININ BULUNMASI"
1080 GOSUB 5070
1090 REM "UNIFORM ISI TESIRI"
1100 READ Isi
1110 IF Isi=1 GOSUB 5620
1120 REM "HIPERSTATIK BILINMIYENLERIN BULUNUSU"
1130 GOSUB 5850
1140 : #1 "(X)HIPERSTATIK BILINMIYENLER VEKTORU"
1150 : #1 "------------------------------------"
1160 FOR I=1 TO R
1170   : #1 USING "+##.#########" X(I,1)
1180 NEXT I
1190 : #1 : : #1
1200 REM "ELEMANLARA ETKIYEN CUBUK KUVVETLERININ HESABI"
1210 DIM F4(M0,1)
1220 OPEN "CYA:B0BX" AS FILE 2
1230 FOR I=1 TO M0
1240   FOR J=1 TO M0
1250     INPUT #2,A(I,J)
1260   NEXT J
1270 NEXT I
1280 CLOSE 2
1290 FOR I=1 TO M0
1300   FOR J=1 TO R
1310     F4(I,1)=F4(I,1)+A(I,(J+M0-R))*X(J,1)
1320   NEXT J
1330   F(I,1)=F4(I,1)+B0o(I,1)
1340 NEXT I
1350 : #1 "CUBUK KUVVETLERI"
1360 : #1 "----------------" : : #1
1370 GOSUB 3770
1380 : #1 : : #1
1390 GOSUB 4250
1400 GOTO 1500
1410 STOP
1420 : #1 "DUGUM NO VEYA ELEMAN SAYISI HATALI" : GOTO 1510
1430 : #1 "ELEMAN NO HATALI" : GOTO 1510
1440 : #1 "DUGUM NO HATALI" : GOTO 1510
1450 : #1 "ELEMANIN ELASTIK OZELLIKLERI HATALI" : GOTO 1510
1460 : #1 "KOORDINATLAR(-)OLAMAZ" : GOTO 1510
1470 : #1 "SISTEM LABIL" : GOTO 1510
1480 : #1 "HATALI SINIR SARTI" : GOTO 1510
1490 : #1 "MAFSAL SAYISI (0 OLAMAZ" : GOTO 1510
1500 : #1 CHR$(31) : : #1 "HESAP SONU"
```

```
1510 END
1520 REM "ELEMANLARIN DENGE MATRISLERININ OLUSTURULMASI"
1530 REM "ALT PROGRAM 1"
1540 FOR I0=1 TO M
1550   S1=N7(I0,1)
1560   S2=N7(I0,2)
1570   X=N2(S2,1)-N2(S1,1)
1580   Y=N2(S2,2)-N2(S1,2)
1590   L=SQR(X^2+Y^2)
1600   B(1,1)=-X/L : B(1,2)=-Y/L
1610   B(2,1)=-Y/L : B(2,2)=X/L
1620   B(3,2)=L : B(3,3)=-1
1630   B(4,1)=X/L : B(4,2)=Y/L
1640   B(5,1)=Y/L : B(5,2)=-X/L
1650   B(6,3)=1
1660   : #1
1670   : #1
1680   REM "SISTEM DENGE MATRISINE GECIS"
1690   K=I0*3-3 : L=S1*3-3
1700   FOR I=1 TO 3
1710     FOR J=1 TO 3
1720       K1=K+J
1730       L1=L+I
1740       A(L1,K1)=B(I,J)
1750     NEXT J
1760   NEXT I
1770   L=(S2-2)*3
1780   FOR I=4 TO 6
1790     FOR J=1 TO 3
1800       K1=K+J
1810       L1=L+I
1820       A(L1,K1)=B(I,J)
1830     NEXT J
1840   NEXT I
1850 NEXT I0
1860 : #1
1870 RETURN
1880 REM "MAFSALLARIN ISLENMESI"
1890 REM "ALT PROGRAM 2"
1900 Ds=3*D
1910 : #1 TAB(1) "MAFSALLI EL.NO'SU" TAB(25) "MAFSALLI DUGUM NO.SU"
1920 : #1 "---------------------------------------------" : : #1
1930 FOR I=1 TO Mafs
1940   READ K,Nok
1950   : #1 TAB(10) K TAB(35) Nok
1960   In=N7(K,1) : Jn=N7(K,2)
1970   X=N2(Jn,1)-N2(In,1)
1980   Y=N2(Jn,2)-N2(In,2)
1990   L=SQR(X^2+Y^2)
2000   IF Nok=Jn THEN Kol=(K-1)*3+3 : A(Ds+I,Kol)=1 : GOTO 2040
```

```
2010 Kol=(K-1)*3
2020 A(Ds+I,Kol+2)=-L
2030 A(Ds+I,Kol+3)=1
2040 NEXT I
2050 RETURN
2060 REM "SINIR SARTLARININ A DENGE MATRISI VE P YUK VEKTORUNE ISLENMESI"
2070 REM "ALT PROGRAM 3"
2080 PREPARE "CYA:ADENGE" AS FILE 3
2090 FOR I=1 TO N0
2100   FOR J=1 TO M0
2110     : #3 A(I,J)
2120   NEXT J
2130 NEXT I
2140 REM MDS=MESNETLENMIS DUGUM SAYISI
2150 REM MDN=     "          "   NOSU
2160 READ Mds
2170 : #3,Mds
2180 Rh=0
2190 FOR I=1 TO Mds
2200   READ Mdn,X1,X2,X3
2210   IF X1=0 THEN IF X2=0 THEN IF X3=0 THEN GOTO 1480
2220   D1=3*Mdn-2
2230   IF X1=1 THEN D(1)=D1
2240   IF X2=1 THEN D(2)=D1+1
2250   IF X3=1 THEN D(3)=D1+2
2260   : #3,Mdn "," X1 "," X2 "," X3
2270   FOR F=1 TO 3
2280     L=D(F)
2290     IF L=0 THEN GOTO 2310
2300     R(L)=L : Rh=Rh+1
2310   NEXT F
2320   FOR F=1 TO 3
2330     D(F)=0
2340   NEXT F
2350   N=N0-Rh
2360 NEXT I
2370 CLOSE 3
2380 DIM V(N0)
2390 FOR I=1 TO N0
2400   V(I)=0
2410 NEXT I
2420 FOR I=1 TO N0
2430   IF R(I)=I THEN V(I)=1
2440 NEXT I
2450 N1=0
2460 FOR I=1 TO N0
2470   IF V(I)=0 THEN GOTO 2620
2480   S=I
2490   S=S+1
2500   IF S=N0+1 THEN N1=1 : GOTO 2550
```

```
2510 K=V(S)
2520 IF K=0 THEN GOTO 2550
2530 IF N1=1 THEN GOTO 2550
2540 GOTO 2490
2550 FOR J=1 TO M0
2560   IF N1=1 THEN A(I,J)=0 : GOTO 2580
2570   K1=A(S,J) : K2=A(I,J) : A(I,J)=K1 : A(S,J)=0
2580 NEXT J
2590 IF N1=1 THEN P(I,1)=0 : GOTO 2620
2600 Z1=P(S,1) : Z2=P(I,1) : P(I,1)=Z1 : P(S,1)=0
2610 V(S)=1
2620 NEXT I
2630 ; #1 : ; #1
2640 PREPARE "CYA:A SINIR" AS FILE 5
2650 FOR I=1 TO N0
2660   FOR J=1 TO M0
2670     ; #5 A(I,J)
2680   NEXT J
2690 NEXT I
2700 RETURN
2710 REM "ALT PROGRAM 4"
2720 OPEN "CYA:A SINIR " AS FILE 5
2730 FOR I=1 TO N
2740   FOR J=1 TO M0
2750     INPUT #5,A(I,J)
2760   NEXT J
2770 NEXT I
2780 CLOSE 5
2790 ; #1 "PARAMETRELER:"
2800 ; #1 "N=";N;"DENKLEM"
2810 ; #1 "M0=";M0;"bilinmiyen"
2820 ; #1 "R=";R;"HIPERSTATIKLIK DERECESI"
2830 ; #1 "SECILEN HIPERSTATIK BILINMIYENLER"
2840 ; #1 "--------------------------------"
2850 IF R=0 THEN ; #1 "SISTEM IZOSTATIK"
2860 Gros=0
2870 FOR J=1 TO M0
2880   Iso(J)=J
2890   FOR I=1 TO M0
2900     REM "PIVOT ARAMA"
2910     Grz=ABS(A(I,J))
2920     IF Grz)Gros THEN Gros=Grz
2930   NEXT I
2940 NEXT J
2950 REM "KARSILASTIRMA DEGERI"
2960 Eos=1.E-09
2970 Gros=Eos*Gros
2980 FOR I=1 TO N
2990   Grz=0
3000   FOR J1=I TO M0
```

```
3010 T=ABS(A(I,J1))
3020 IF T-Grz<=0 GOTO 3050
3030 Iver=J1
3040 Grz=T
3050 NEXT J1
3060 IF Grz<Gros 1470
3070 IF Iver-I=0 3200
3080 REM "KOLON DEGISTIRME"
3090 Is=Iso(I)
3100 Iso(I)=Iso(Iver)
3110 Iso(Iver)=Is
3120 T=-1/A(I,Iver)
3130 A(I,Iver)=-1
3140 FOR I1=1 TO N
3150   Grz=A(I1,I)
3160   A(I1,I)=A(I1,Iver)*T
3170   A(I1,Iver)=Grz
3180 NEXT I1
3190 GOTO 3260
3200 T=-1/A(I,I)
3210 A(I,I)=-1
3220 FOR J1=1 TO N
3230   A(J1,I)=A(J1,I)*T
3240 NEXT J1
3250 REM "CARPIM"
3260 FOR J1=1 TO M0
3270   IF J1=I 3330
3280   T=A(I,J1)
3290   A(I,J1)=0
3300   FOR I1=1 TO N
3310     A(I1,J1)=A(I1,J1)+A(I1,I)*T
3320   NEXT I1
3330 NEXT J1
3340 NEXT I
3350 IF N=M0 3530
3360 REM "ISARET DEGISTIRME"
3370 REM "MATRISIN BUYUTULMESI"
3380 FOR I=N+1 TO M0 : ; #1 Iso(I); : NEXT I
3390 ; #1
3400 ; #1
3410 N1=N+1
3420 FOR I=1 TO N
3430   FOR J=N1 TO M0
3440     A(I,J)=-A(I,J)
3450   NEXT J
3460 NEXT I
3470 FOR I=N1 TO M0
3480   FOR J=1 TO M0
3490     A(I,J)=0
3500   NEXT J
```

```
3510 A(I,I)=1
3520 NEXT I
3530 FOR J=1 TO M0
3540   Is=Iso(J)
3550   IF J=Is GOTO 3660
3560   Iver=J+1
3570   FOR J1=Iver TO M0
3580     IF Iso(J1)=J GOTO 3600
3590   NEXT J1
3600   Iso(J1)=Is
3610   FOR I=1 TO M0
3620     Grz=A(J,I)
3630     A(J,I)=A(J1,I)
3640     A(J1,I)=Grz
3650   NEXT I
3660 NEXT J
3670 PREPARE "CYA:B0BX" AS FILE 2
3680 FOR I=1 TO M0
3690   FOR J=1 TO M0
3700     ; #2,A(I,J)
3710   NEXT J
3720 NEXT I
3730 CLOSE 2
3740 RETURN
3750 : #1 "ELEMANLARA ETKIYEN KUVVETLER VE REAKSIYONLARIN HESABI"
3760 REM "ALT PROGRAM 5"
3770 : #1 TAB(3) "N";TAB(7) "I";TAB(11) "J";TAB(18) "Ni";TAB(34) "Qi";TAB(50) "Mi";TAB(64) "Nj";TAB(77) "Qj";TAB(91) "Mj"
3780 : #1 "--------------------------------------------------------------------------------------------------------" : ; #1
3790 FOR K=1 TO M0/3
3800   I=N7(K,1) : J=N7(K,2)
3810   X=N2(J,1)-N2(I,1)
3820   Y=N2(I,2)-N2(I,2)
3830   L=SQR(X^2+Y^2)
3840   S=3*K-2
3850   Nj=F(S,1) : Qj=F(S+1,1)
3860   Mj=F(S+2,1)
3870   Ni=Nj : Qi=Qj
3880   Mi=Mj-Qj*L
3890   ; #1 TAB(2) K;TAB(6) I;TAB(10) J;TAB(15) Ni;TAB(30) Qi;TAB(46) Mi;TAB(60) Nj;TAB(73) Qj;TAB(87) Mj
3900 NEXT K
3910 ; #1
3920 ; #1
3930 REM "REAKSIYONLARIN HESABI"
3940 OPEN "CYA:ADENGE" AS FILE 3
3950 FOR I=1 TO M0
3960   FOR J=1 TO M0
3970     INPUT #3,A(I,J)
3980   NEXT J
3990 NEXT I
4000 ; #1 "REAKSIYONLAR"
```

```
4010 : #1 "---------------" : ; #1
4020 : #1 "NOKTA          RX          RY          RZ"
4030 : #1 "-------      -------      ------   ----" : ; #1
4040 INPUT #3,Mds
4050 FOR J=1 TO Mds
4060   INPUT #3,Mdn,X1,X2,X3
4070   : #1 Mdn;
4080   J2=3*Mdn
4090   J3=J2-2
4100   FOR Z1=J3 TO J2
4110     Az=0
4120     IF X1=0 GOTO 4160
4130     FOR I=1 TO M0
4140       Az=Az+A(Z1,I)*F(I,1)
4150     NEXT I
4160     X1=X2 : X2=X3
4170     : #1 USING "+#########.##" Az;
4180   NEXT Z1
4190   : #1
4200 NEXT J
4210 CLOSE 3
4220 RETURN
4230 REM "ALT PROGRAM 6"
4240 REM "DEPLASMANLARIN HESABI"
4250 READ Do
4260 IF Do()1 GOTO 5060
4270 OPEN "CYA:B0BX" AS FILE 2
4280 FOR I=1 TO M0
4290   FOR J=1 TO M0
4300     INPUT #2,A(I,J)
4310   NEXT J
4320 NEXT I
4330 CLOSE 2
4340 DIM B0tf(N,M0)
4350 H=1 : M2=1
4360 FOR I0=1 TO M0/3
4370   S1=N7(I0,1) : S2=N7(I0,2)
4380   X=N2(S2,1)-N2(S1,1)
4390   Y=N2(S2,2)-N2(S1,2)
4400   L=SQR(X^2+Y^2)
4410   Fi(1,1)=L/(N7(I0,4)*N7(I0,3))
4420   Fi(2,2)=(4+(12+N7(I0,3)*N7(I0,7))/(N7(I0,6)*N7(I0,8)*N7(I0,4)*L*L))*L^3/(12*N7(I0,3)*N7(I0,7))
4430   Fi(2,3)=-(L^2/(2*N7(I0,3)*N7(I0,7)))
4440   Fi(3,2)=Fi(2,3)
4450   Fi(3,3)=L/(N7(I0,3)*N7(I0,7))
4460   K=1
4470   FOR V1=1 TO N
4480     V2=M2
4490     FOR T=1 TO 3
4500       V=H
```

```
4510 FOR I=1 TO 3
4520   B0tf(V1,V2)=A(V,K)*Fi(I,T)+B0tf(V1,V2)
4530   V=V+1
4540 NEXT I
4550 V2=V2+1
4560 NEXT T
4570 K=K+1
4580 NEXT V1
4590 M=M+3 : M2=M2+3
4600 NEXT 10
4610 REM "P YUK =U DEPLASMAN"
4620 FOR I=1 TO M0
4630   P(I,1)=0
4640 NEXT I
4650 FOR I=1 TO N
4660   FOR K=1 TO M0
4670     P(I,1)=P(I,1)+B0tf(I,K)*F(K,1)
4680   NEXT K
4690 NEXT I
4700 : #1 "DEPLASMANLAR"
4710 : #1 TAB(1) "DUGUM" TAB(10) "UX" TAB(25) "UY" TAB(40) "UZ"
4720 OPEN "CYA:ADENGE" AS FILE 3
4730 FOR I=1 TO N0
4740   FOR J=1 TO M0
4750     INPUT #3,A(I,J)
4760   NEXT J
4770 NEXT I
4780 S=0
4790 INPUT #3,Mds
4800 DIM Ss(Mds,4)
4810 FOR J=1 TO Mds
4820   INPUT #3,Mdn,X1,X2,X3
4830   Ss(J,1)=Mdn : Ss(J,2)=X1 : Ss(J,3)=X2 : Ss(J,4)=X3
4840 NEXT J
4850 FOR I=1 TO N0/3
4860   : #1 TAB(1) I;
4870   FOR T=1 TO Mds
4880     IF I=Ss(T,1) THEN GOTO 4910
4890   NEXT T
4900   GOTO 4980
4910   IF Ss(T,2)=1 THEN ; #1 TAB(10) 0;
4920   IF Ss(T,2)=0 THEN S=S+1 : : #1 TAB(10) P(S,1);
4930   IF Ss(T,3)=1 THEN ; #1 TAB(25) 0;
4940   IF Ss(T,3)=0 THEN S=S+1 : : #1 TAB(25) P(S,1);
4950   IF Ss(T,4)=1 THEN ; #1 TAB(40) 0;
4960   IF Ss(T,4)=0 THEN S=S+1 : : #1 TAB(40) P(S,1);
4970   GOTO 5040
4980   D=10
4990   FOR L=1 TO 3
5000     S=S+1
```

```
5010 : #1 TAB(D) P(S,1);
5020 D=D+15
5030 NEXT L
5040 NEXT I
5050 CLOSE 3
5060 RETURN
5070 REM "ALT PROGRAM 7"
5080 REM "Dx MATRISI"
5090 DIM Dx(R,R),Bxtf(R,M0),Fi(3,3)
5100 H=1 : M2=1
5110 FOR I0=1 TO M
5120   S1=N7(I0,1) : S2=N7(I0,2)
5130   X=N2(S2,1)-N2(S1,1)
5140   Y=N2(S2,2)-N2(S1,2)
5150   L=SQR(X*X+Y*Y)
5160   Fi(1,1)=L/(N7(I0,4)*N7(I0,3))
5170   Fi(2,2)=(4+(12+N7(I0,3)*N7(I0,7))/(N7(I0,6)*N7(I0,8)*N7(I0,4)*L*L))*L^3/(12*N7(I0,3)*N7(I0,7))
5180   Fi(2,3)=-(L^2/(2*N7(I0,3)*N7(I0,7)))
5190   Fi(3,2)=Fi(2,3)
5200   Fi(3,3)=L/(N7(I0,3)*N7(I0,7))
5210   K=M0+1-R
5220   FOR V1=1 TO R
5230     V2=M2
5240     FOR T=1 TO 3
5250       V=H
5260       FOR I=1 TO 3
5270         Bxtf(V1,V2)=A(V,K)*Fi(I,T)+Bxtf(V1,V2)
5280         V=V+1
5290       NEXT I
5300       V2=V2+1
5310     NEXT T
5320     K=K+1
5330   NEXT V1
5340   H=H+3 : M2=M2+3
5350 NEXT I0
5360 FOR I=1 TO R
5370   K=M0+1-R
5380   FOR T=1 TO R
5390     FOR J=1 TO M0
5400       Dx(I,T)=Bxtf(I,J)*A(J,K)+Dx(I,T)
5410     NEXT J
5420     K=K+1
5430   NEXT T
5440 NEXT I
5450 REM "B0P MATRISI"
5460 DIM B0o(M0,1)
5470 FOR J=1 TO M0
5480   FOR K=1 TO N
5490     B0o(J,1)=A(J,K)*P(K,1)+B0o(J,1)
5500   NEXT K
```

```
5510 NEXT J
5520 : #1
5530 REM "P0 MATRISI"
5540 DIM P0(R,1)
5550 FOR I=1 TO R
5560   FOR J=1 TO M0
5570     P0(I,1)=(Bxtf(I,J)*B0o(J,1)+P0(I,1))
5580   NEXT J
5590   P0(I,1)=-1*P0(I,1)
5600 NEXT I
5610 RETURN
5620 REM "ALT PROGRAM 8"
5630 READ Ty
5640 IF Ty=1 THEN READ At
5650 DIM Vt(M,1)
5660 FOR I=1 TO M
5670   IF Ty=1 THEN GOTO 5690
5680   READ At
5690   S1=N7(I,1) : S2=N7(I,2)
5700   X=N2(S2,1)-N2(S1,1) : Y=N2(S2,2)-N2(S1,2)
5710   L=SQR(X^2+Y^2)
5720   F2=At*L : Vt(I,1)=F2
5730 NEXT I
5740 S=0
5750 FOR I=M0-R+1 TO M0
5760   K=0 : V4=0 : S=1+S
5770   FOR J=1 TO M0 STEP 3
5780     K=K+1
5790     V4=A(J,I)*Vt(K,1)+V4
5800   NEXT J
5810   V4=-1*V4
5820   P0(S,1)=P0(S,1)+V4
5830 NEXT I
5840 RETURN
5850 REM "ALT PROGRAM 9"
5860 REM "GAUSS-ELIMINASYON YONTEMI ILE DENKLEM COZUMU"
5870 FOR I=1 TO R
5880   P0(I,1)=-P0(I,1)
5890 NEXT I
5900 FOR I=2 TO R
5910 Dx(I,1)=-Dx(I,1)/Dx(1,1) : NEXT I
5920 FOR I=2 TO R : FOR K=I TO R
5930     FOR V=1 TO I-1
5940       Dx(I,K)=Dx(I,K)+Dx(I,V)*Dx(V,K)
5950   NEXT V : NEXT K
5960   FOR K=I+1 TO R : FOR V=1 TO I-1
5970       Dx(K,I)=Dx(K,I)+Dx(K,V)*Dx(V,I)
5980   NEXT V : NEXT K
5990   FOR T=I+1 TO R
6000     Dx(T,I)=-Dx(T,I)/Dx(I,I)
```

```
6010 NEXT T : NEXT I
6020 FOR I=2 TO R : FOR L=1 TO I-1
6030      P0(I,1)=P0(I,1)+Dx(I,L)*P0(L,1)
6040 NEXT L : NEXT I
6050 FOR I=1 TO R
6060 X(I,1)=-P0(I,1)/Dx(I,I) : NEXT I
6070 FOR I=R-1 TO 1 STEP -1
6080   FOR J=I+1 TO R
6090      P0(I,1)=P0(I,1)+Dx(I,J)*X(J,1)
6100   NEXT J : FOR T=R-1 TO 1 STEP -1
6110      X(T,1)=-P0(T,1)/Dx(T,T)
6120 NEXT T : NEXT I
6130 RETURN
6140 DATA 3,4,0
6150 DATA 1,1,2,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6160 DATA 2,3,2,14E5,100,.1667,599983,2,.8
6170 DATA 3,3,4,14E5,100,.1667,599983,1,.8
6180 DATA 1,0,0
6190 DATA 2,0,5
6200 DATA 3,10,5
6210 DATA 4,10,0
6220 DATA 1
6230 DATA 2,1,0,0
6240 DATA 2
6250 DATA 1,1,1,1
6260 DATA 4,1,1,1
6270 DATA 0
6280 DATA 0
```

7. SONUÇ

Düzlem çerçeve sistemlerin klâsik metotlarla yapılan hesapları çok uzun ve yorucu olmaktadır. Hesapların basitleştirilmesi için birtakım kabuller yapılmaktadır. Halbuki sonlu elemanlar kuvvet metodunda bu kabuller azaltılarak daha fazla etken gözönüne alınmakta ve gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Sakıncalı yanları, büyük sistemler için kapasiteli bilgisayarlara ve programın hazırlanması için uzun zamana ihtiyaç göstermesidir.

Sonlu elemanlar metodunun uygulandığı diğer bir metot olan deplasman metodu ile kıyaslanırsa; Kuvvet metodu uç kuvvetlerini bilinmeyen olarak alıp çözdüğünden sonuçlar, deplasman metodundaki gibi ikinci adımda değil direkt olarak bulunurlar. Kuvvet metodu düzlem çerçeve sistemlerde kesin sonuçlar verir.

Metodun uygulanmasında kullanılan Gauss-Jordan indirgeme yöntemi büyük boyutlu problemlerde pek elverişli olmaz. Sistem denge matrisi Gauss-Jordan metodunda bant şeklinde değildir. Halbuki bant şeklindeki matrislerin önemli hesap kolaylıkları sağladıkları bilinmektedir.

Sistemin Süreklilik denklemleri kompakt homogen çözümlerle Kurulurlarsa, Hiperstatik bilinmeyenlerin katsayılar matrisi bant şeklini almakta ve birim yüklemelerden oluşan iç kuvvet dağılımı dallanmamaktadır.

Burada hiperstatik veya izostatik düzlem çerçeve sistemler tekil yükler ve üniform ısı tesirleri altında, sonlu elemanlar kuvvet metodu uygulanarak çözümlenmektedir.

Sonlu elemanlar kuvvet metodu yapı sistemlerinin statik analizleri için geniş imkanlar veren bir metot olmuştur.

Bu konudaki araştırmalar bitmiş değildir, aksine birçok araştırmacının uğraş edindiği bir alan olmuştur. Dolayısıyla bu metot çok daha yeni gelişmelere açık olarak bilinmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

(1) Topçu, A. , Sonlu Elemanlar Metodu, Anadolu Üniversitesi Yüksek Lisans Ders Notları, 1985.

(2) Topçu, A. , Ein Beitrag Zur Systematischen Berechnung Elementtragwerke Nach Der Kraftemethod, Essen Üniversitesi Essen, Almanya, 1979.

(3) Przemıenıeckı, J. S. , Theory Of Matrıx Structural Analysıs, Mc Graw - Hill, Newyork, 1968.

(4) Duran, M. Hausmann, C. Klingmüller, O. Lawo, M. Pape, G. Thierauf, G. Topçu, A. , Kram ' 76 Ein Fortran-Programm Zur Berechnung Allgemeiner Tragwerke Teil 1, Essen Üniversitesi, Essen, 1977.

(5) Akgün, Ö.R. , Barkana, A. , Basic Programlama ve Nümerik Hesap, Eskişehir, 1981.

(6) Tezcan, S. , Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makineleri ile Çözümü, Istanbul, 1970.

(7) Aktaş, Z. , Elektronik Hesaplayıcılarla Programlama ve Uygulama, O.D.T.Ü. , 1973.

(8) Geıger, F. , Aufgaben Sammlung Ausdem Gebiet Der Statik, Band 6.

(9) Schıneıs, M. , Bauingnieur-Praxis. Helf 10, Momentenaus Gleichs-Verfahren, Verlak von Wilhelm Ernst, Sohn Berlin. München, 1968.

(10) Çakıroğlu, A. Çetmeli, E. , Yapı Statiği II, İstanbul, 1979.

(11) Sabis, T. , Hiperstatik Sistemler, İstanbul, 1963