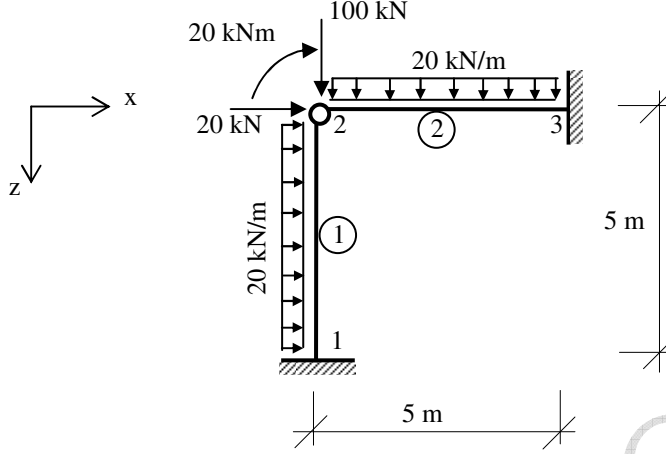


Örnek 1: Şekilde görülen sistem Matris Deplasman Yöntemi ile, verilen dış yükler için çözülmüş ve iç kuvvetler hesaplanmıştır.



$$EI = 20250 \text{ kNm}^2, EA = 27 \cdot 10^5 \text{ kN}$$

1. Düşüm noktası ve eleman tabloları hazırlanır.

DN	X	Z
1	0	5
2	0	0
3	5	0

EN	$\ell$	r	c	s
1	1	2	0	-1
2	2	3	1	0

$c : \cos \alpha, s : \sin \alpha$

2. Eleman denge matrisleri  $(\underline{a}^i)^T$  tabloları yardımıyla oluşturulur.

Tip a (Bkz. 3.1.1)

$$(\underline{a}^1)^T = \begin{bmatrix} 0 & -0.20 & -0.20 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.20 & 0.20 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{a}^2)^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.20 & -0.20 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.20 & 0.20 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.  $\underline{a}^T$  toplam sistem denge matrisi oluşturulur.

Eleman tablosu ve düğüm noktası serbestlikleri göz önünde bulundurularak, düğüm noktası yükleri ile bağımsız iç kuvvetler arasında yazılacak olan toplam sistem denge matrisi,

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1^2 \\ R_2^2 \\ R_3^2 \\ \tilde{R}_2^G \end{array} \right\} = \underbrace{\left[ \begin{array}{ccc|cc} 0 & 0.20 & 0.20 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -0.20 & -0.20 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right]}_{\underline{a}^T} \cdot \left\{ \begin{array}{l} F_1^1 \\ F_2^1 \\ F_3^1 \\ F_1^2 \\ F_2^2 \\ F_3^2 \end{array} \right\}$$

şeklinde oluşturulur. Sistemdeki mafsal 2 no'lu elemanda alınmıştır;  $\tilde{R}_2^G = S_3^2 = F_2^2 = 0$ .

4. Eleman rijitlik matrisleri ( $\underline{k}_r^i$ ) tablolar yardımıyla hesaplanır.

$$\underline{k}_r^1 = \underline{k}_r^2 = \begin{bmatrix} 54 \cdot 10^4 & 0 & 0 \\ 0 & 16.2 \cdot 10^3 & 8.1 \cdot 10^3 \\ 0 & 8.1 \cdot 10^3 & 16.2 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

5.  $\underline{k}_r$  toplam sistem rijitlik matrisi diyag  $\underline{k}_r^i = \underline{k}_r$  ile oluşturulur.

$$\text{diyag } \underline{k}_r = \left[ \begin{array}{cc} \underline{k}_r^1 & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{k}_r^2 \end{array} \right]_{(6 \times 6)}$$

5.  $\underline{K}_r = \underline{a}^T \cdot \underline{k}_r \cdot \underline{a}$  matris çarpımı ile toplam sistem rijitlik matrisi bulunur.

$$\underline{K}_r = \left[ \begin{array}{cccc} 541944 & 0 & 4860 & 0 \\ & 541944 & -4860 & -4860 \\ & \text{Simetri} & 32400 & 16200 \\ & & & 16200 \end{array} \right]_{(4 \times 4)}$$

- Verilen dış yük için çözüm

Fiktif düğüm noktası yük vektörü,

$$\underline{C}_{(4 \times 12)} \cdot \underline{S}_{R(12 \times 1)} = -\underline{R}_{R(4 \times 1)}$$

şeklinde hesaplanır.

$$\left(\underline{\bar{S}}_R^1\right)^T = \{0 \quad -50 \quad 41.67 \quad 0 \quad -50 \quad -41.67\}^T$$

$$\left(\underline{S}_R^1\right)^T = \left(\underline{L}_D^1 \underline{\bar{S}}_R^1\right)^T = \{-50 \quad 0 \quad 41.67 \quad -50 \quad 0 \quad -41.67\}^T$$

$$\left(\underline{\bar{S}}_R^2\right)^T = \{0 \quad -50 \quad 41.67 \quad 0 \quad -50 \quad -41.67\}^T$$

$$\underline{S}_R^2 = \underline{L}_D^2 \underline{\bar{S}}_R^2; \underline{L}_D^2 = \underline{I} \rightarrow \underline{S}_R^2 = \underline{\bar{S}}_R^2$$

$$\underline{S}_R = \begin{Bmatrix} \underline{S}_R^1 \\ \underline{S}_R^2 \end{Bmatrix}_{(12 \times 1)}$$

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & | & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & | & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{C}_{(4 \times 12)} \cdot \underline{S}_{R(12 \times 1)} = -\underline{R}_{R(4 \times 1)} = \begin{Bmatrix} -50 \\ -50 \\ 0 \\ 41.67 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{R}_{(4 \times 1)} + \underline{R}_{R(4 \times 1)} = \begin{Bmatrix} 20 \\ 100 \\ -20 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 50 \\ 50 \\ 0 \\ -41.67 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 70 \\ 150 \\ -20 \\ -41.67 \end{Bmatrix}$$

Bundan sonraki adımlar;

$\underline{r} = \underline{K}_r^{-1} \cdot (\underline{R} + \underline{R}_R)$  ile düğüm noktası yer değiştirmeleri hesaplanır,

$$\underline{r} = \begin{Bmatrix} 0.000117 \\ 0.000254 \\ 0.001302 \\ -0.003798 \end{Bmatrix}$$

$\underline{F} = \underline{k}_r \cdot a \cdot \underline{r}$  ile eleman bağımsız uç iç kuvvetleri bulunur,

$$\underline{F} = \begin{Bmatrix} \underline{F}^1 \\ \underline{F}^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -137.38 \\ 11.12 \\ 21.67 \\ -63.44 \\ -41.67 \\ -21.45 \end{Bmatrix}$$

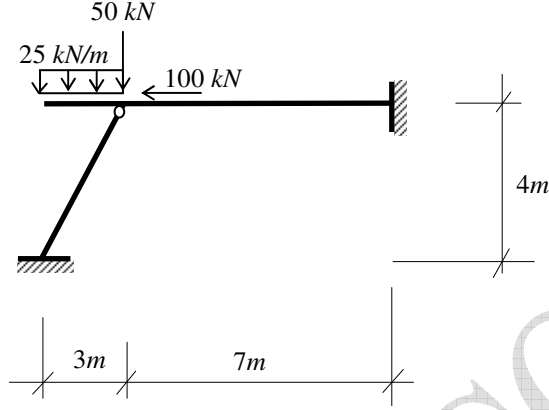
Bundan sonraki adım, her elemana ait  $\underline{T}^i$  lerin tablolar yardımıyla oluşturularak,

$\underline{S}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$  ile eleman uç iç kuvvetlerinin hesaplanmasıdır:

$$\underline{S}_{+1}^1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2 & -0.2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -137.38 \\ 11.12 \\ 21.67 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -50 \\ 41.67 \\ 0 \\ -50 \\ -41.67 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 137.38 \\ -56.56 \\ 52.79 \\ -137.38 \\ -43.44 \\ -20 \end{Bmatrix}$$

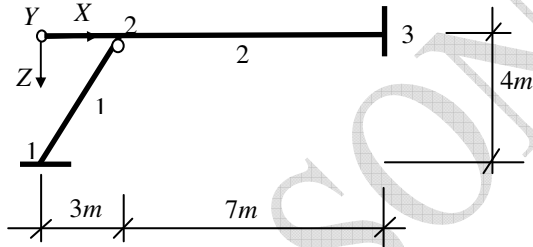
$$\underline{S}_{+2}^2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2 & -0.2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -63.44 \\ -41.67 \\ -21.45 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -50 \\ 41.67 \\ 0 \\ -50 \\ -41.67 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 63.44 \\ -37.38 \\ 0 \\ -63.44 \\ -62.62 \\ -63.12 \end{Bmatrix}$$

Örnek 2: Şekilde görülen sistem Matris Deplasman Yöntemi ile verilen dış yükler ile  $t^o = +15^o C$  üniform sıcaklık değişimi için ayrı çözülmüş ve iç kuvvetler hesaplanmıştır.



$$EI = 6.08 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2, EA = 4.56 \cdot 10^6 \text{ kN}, \alpha_T = 10^{-5} 1/^o C$$

1. Düğüm noktası ve eleman tabloları hazırlanır.



DN	X	Z
1	0	4
2	3	0
3	10	0

EN	$\ell$	r	c	s
1	1	2	0.6	-0.8
2	2	3	1	0

$$c : \cos \alpha, s : \sin \alpha$$

2. Eleman denge matrisleri  $(\underline{a}^i)^T$  tabloları yardımıyla oluşturulur.

Tip a (Bkz. 3.1.1)

$$(\underline{a}^1)^T = \begin{bmatrix} -0.6 & -0.16 & -0.16 \\ 0.8 & -0.12 & -0.12 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.6 & 0.16 & 0.16 \\ -0.8 & 0.12 & 0.12 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{a}^2)^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.143 & -0.143 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.143 & 0.143 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.  $\underline{a}^T$  toplam sistem denge matrisi oluşturulur.

Eleman tablosu ve düğüm noktası serbestlikleri gözönünde bulundurularak toplam sistem denge matrisi,

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1^2 \\ R_2^2 \\ R_3^2 \\ \tilde{R}_2^G \end{array} \right\} = \underbrace{\left[ \begin{array}{ccc|ccc} 0.6 & 0.16 & 0.16 & -1 & 0 & 0 \\ -0.8 & 0.12 & 0.12 & 0 & -0.143 & -0.143 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right]}_{\underline{a}^T} \cdot \left\{ \begin{array}{l} F_1^1 \\ F_2^1 \\ F_3^1 \\ F_1^2 \\ F_2^2 \\ F_3^2 \end{array} \right\}$$

şeklinde oluşturulur. Sistemdeki mafsal 1 no'lu elemanda alınmıştır;  $\tilde{R}_2^G = \bar{S}_6 = F_3^1 = 0$ .

4. Eleman rijitlik matrisleri ( $\underline{k}_r^i$ ) tablolar yardımıyla hesaplanır.

$$\underline{k}_r^1 = \begin{bmatrix} 0.91 \cdot 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 48.64 \cdot 10^3 & 24.32 \cdot 10^3 \\ 0 & 24.32 \cdot 10^3 & 48.64 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \quad \underline{k}_r^2 = \begin{bmatrix} 0.65 \cdot 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 34.74 \cdot 10^3 & 17.37 \cdot 10^3 \\ 0 & 17.37 \cdot 10^3 & 34.74 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

5.  $\underline{k}_r$  toplam sistem rijitlik matrisi diyag  $\underline{k}_r^i = \underline{k}_r$  ile oluşturulur.

$$\text{diyag } \underline{k}_r = \begin{bmatrix} \underline{k}_r^1 & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{k}_r^2 \end{bmatrix}_{(6 \times 6)}$$

5.  $\underline{K}_r = \underline{a}^T \cdot \underline{k}_r \cdot \underline{a}$  matris çarpımı ile toplam sistem rijitlik matrisi bulunur.

$$\underline{K}_r = \begin{bmatrix} 983455.6 & -434958.3 & 11673.6 & 11673.6 \\ & 587912.4 & 1303.47 & 8755.2 \\ & & 83380 & 48640 \\ & & & 48640 \end{bmatrix}_{(4 \times 4)}$$

Simetri

- Verilen dış yük için çözüm

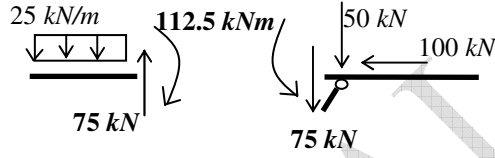
Çözümde konsol, eleman olarak düşünülmediğinden tüm sistemde  $\underline{S}_R$ :

$$\underline{S}_{R(12 \times 1)} = \underline{0}$$

olacaktır. Dolayısıyla fiktif düğüm noktası yük vektörü,

$$\underline{C}_{(4 \times 12)} \cdot \underline{S}_{R(12 \times 1)} = -\underline{R}_{R(4 \times 1)} = \underline{0}$$

şeklinde hesaplanır. Sistemde sadece düğüm noktası yükleri mevcuttur ancak konsoldaki yüklerin 2 no'lu düğüm noktasına taşınması gereklidir,



Bu durumda toplam yük vektörü, son satır  $\tilde{R}_2^G$  yi içermek üzere;

$$\underline{R}^T = \{-100 \ 125 \ 112.5 \ 0\}^T \text{ olacaktır.}$$

Bundan sonraki adımlar;

$\underline{r} = \underline{K}_r^{-1} \cdot \underline{R}$  ile düğüm noktası yer değiştirmeleri hesaplanır,

$$\underline{r} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0.00027 \\ 0.00327 \\ -0.0034 \end{Bmatrix}$$

$\underline{F} = \underline{k}_r \cdot \underline{a} \cdot \underline{r}$  ile eleman bağımsız uç iç kuvvetleri bulunur,

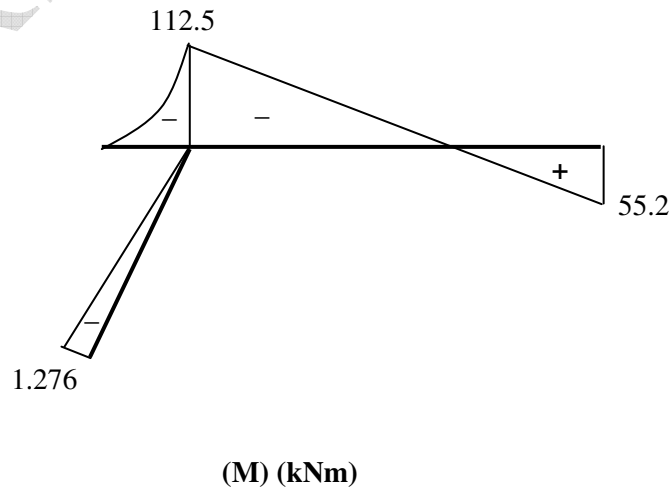
$$\underline{F} = \begin{Bmatrix} \underline{F}^1 \\ \underline{F}^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -186.04 \\ 1.276 \\ 0 \\ -11.42 \\ 112.5 \\ 55.25 \end{Bmatrix}$$

Bundan sonraki adım, her elemana ait  $\underline{T}^i$  lerin tablolar yardımıyla oluşturularak,  $\underline{\bar{S}}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$  ile eleman uç iç kuvvetlerinin hesaplanmasıdır:

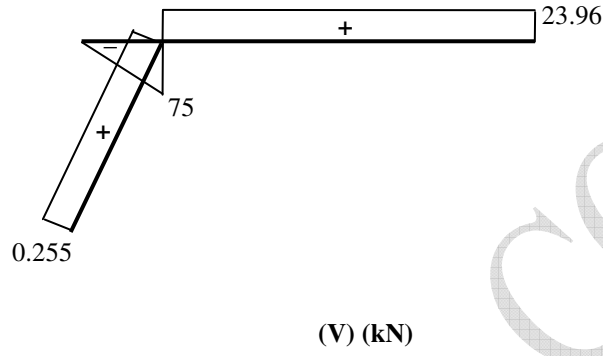
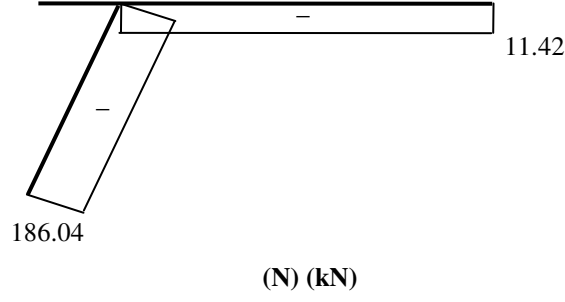
$$\underline{\bar{S}}^1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2 & -0.2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -186.04 \\ 1.276 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 186.04 \\ -0.255 \\ 1.276 \\ -186.04 \\ 0.255 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\bar{S}}^2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.143 & -0.143 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.143 & 0.143 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -11.42 \\ 112.5 \\ 55.25 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 11.42 \\ -23.96 \\ 112.5 \\ -11.42 \\ 23.96 \\ 55.2 \end{Bmatrix}$$

Aşağıda sistemin göz önüne alınan dış yükler için kesit tesirleri diyagramları çizilmiştir.







•  $t^o = +15^o C$  üniform sıcaklık değişimi için çözüm

Her elemana ait ankastrelik uç kuvvet vektörü  $\bar{S}_R^i$  ler tablolar yardımıyla oluşturulur. 1 no'lu elemana ait  $\bar{S}_R^i$  ler koordinat transformasyon matrisi ile çarpılarak sistem eksenlerinde ifade edilecektir.

$$\begin{bmatrix}
 0.6 & 0.8 & 0 & & & \\
 -0.8 & 0.6 & 0 & & & \\
 0 & 0 & 1 & & & \\
 \hline
 & & & 0.6 & 0.8 & 0 \\
 & & & -0.8 & 0.6 & 0 \\
 & & & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix}
 \begin{Bmatrix}
 684 \\
 0 \\
 0 \\
 -684 \\
 0 \\
 0
 \end{Bmatrix}
 =
 \begin{Bmatrix}
 410.4 \\
 -547.2 \\
 0 \\
 -410.4 \\
 547.2 \\
 0
 \end{Bmatrix}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\underline{L}_D^1} \quad | \quad \underbrace{\hspace{3em}}_{\bar{S}_R^1} \quad \underbrace{\hspace{3em}}_{\underline{S}_R^1}$

tüm sistemde  $\underline{S}_R$ :

$$(\underline{S}_R)^T = \{410.4 \ -547.2 \ 0 \ -410.4 \ 547.2 \ 0 \ 684 \ 0 \ 0 \ -684 \ 0 \ 0\}^T_{(1 \times 12)}$$

buradan fiktif düğüm noktası yük vektörü,

$$\underline{C} = \left[ \begin{array}{ccc|ccc} \underline{0} & & & \underline{I} & & \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} & \underline{1} & & \\ \hline & & & & \underline{I} & \\ & & & & & \underline{0} \\ & & & & & \underline{0} \end{array} \right]_{(4 \times 12)}$$

olmak üzere,

$$\underline{C}_{(4 \times 12)} \cdot \underline{S}_{R(12 \times 1)} = -\underline{R}_{R(4 \times 1)} = \begin{Bmatrix} 273.6 \\ 547.2 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

şeklinde hesaplanır.

Daha sonra  $\underline{r} = \underline{K}_r^{-1} \cdot \underline{R}_R$  ile düğüm noktası yer değiştirmeleri hesaplanır,

$$\underline{r} = \begin{Bmatrix} -0.00104 \\ -0.00172 \\ -0.00037 \\ 0.00093 \end{Bmatrix}$$

$\underline{F} = \underline{k}_r \cdot \underline{a} \cdot \underline{r}$  ile eleman bağımsız uç iç kuvvetleri bulunur,

$$\underline{F} = \begin{Bmatrix} \underline{F}^1 \\ \underline{F}^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 680.82 \\ -13.60 \\ 0 \\ 679.91 \\ 0 \\ 6.39 \end{Bmatrix}$$

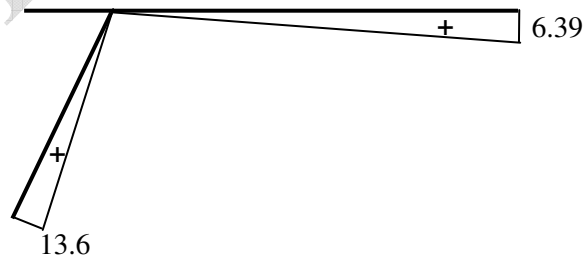
Bundan sonraki adım, her elemana ait  $\underline{T}^i$  lerin tablolar yardımıyla oluşturularak,  $\underline{S}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$  ile eleman uç iç kuvvetlerinin hesaplanmasıdır.

$$\bar{\underline{S}}^I = \underline{T}^I \cdot \begin{Bmatrix} 680.82 \\ -13.6 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -680.8 \\ 2.72 \\ -13.6 \\ 680.8 \\ -2.72 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

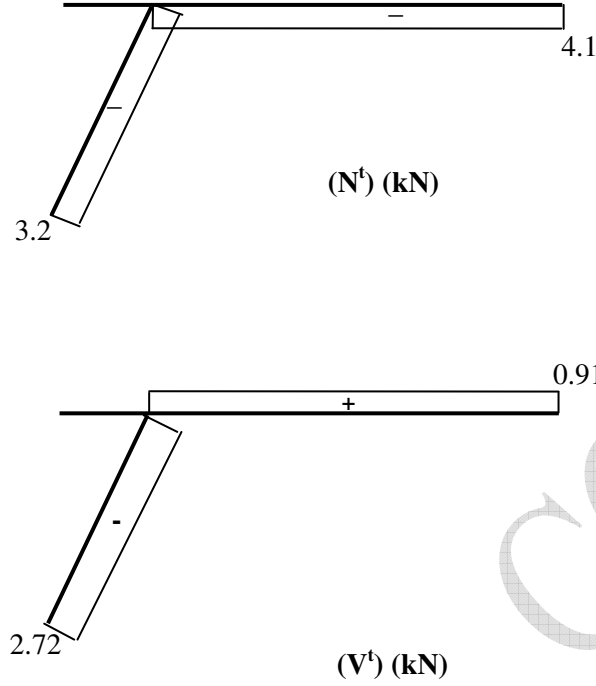
$$\bar{\underline{S}}^{+I} = \bar{\underline{S}}^I + \bar{\underline{S}}_R^I = \begin{Bmatrix} -680.8 \\ 2.72 \\ -13.6 \\ 680.8 \\ -2.72 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 684 \\ 0 \\ 0 \\ -684 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3.2 \\ 2.72 \\ -13.6 \\ -3.2 \\ -2.72 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\bar{\underline{S}}^2 = \underline{T}^2 \cdot \begin{Bmatrix} 679.9 \\ 0 \\ 6.39 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -679.9 \\ -0.91 \\ 0 \\ 679.9 \\ 0.91 \\ 6.39 \end{Bmatrix} \rightarrow \bar{\underline{S}}^{+2} = \bar{\underline{S}}^2 + \bar{\underline{S}}_R^2 = \begin{Bmatrix} 4.1 \\ -0.91 \\ 0 \\ -4.1 \\ 0.91 \\ 6.39 \end{Bmatrix}$$

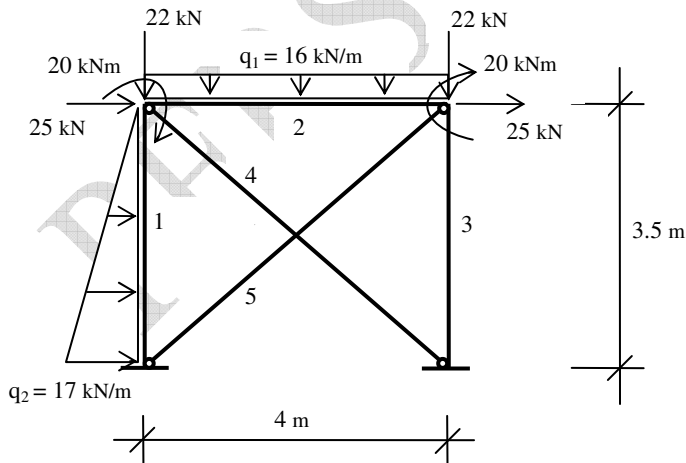
Aşağıda sistemin göz önüne alınan dış tesir için kesit tesirleri diyagramları çizilmiştir.



(M<sup>t</sup>) (kNm)



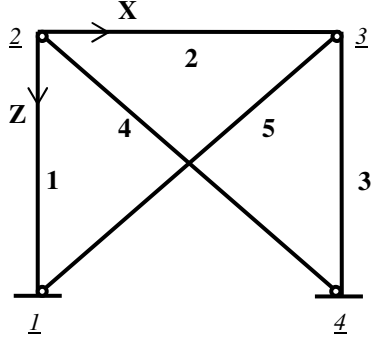
Örnek 3. Şekilde görülen sistem matris deplasman yöntemi ile, verilen dış yükler durumu için çözülmüş ve sistemde meydana gelen iç kuvvetler hesaplanarak kesit tesirleri diyagramları çizilmiştir.



Eleman No	I (m <sup>4</sup> )	F (m <sup>2</sup> )
1	$8.333 \cdot 10^{-6}$	$1.00 \cdot 10^{-2}$
2	$2.637 \cdot 10^{-6}$	$5.63 \cdot 10^{-3}$
3	$8.333 \cdot 10^{-6}$	$1.00 \cdot 10^{-2}$
4	$5.208 \cdot 10^{-7}$	$2.50 \cdot 10^{-3}$
5	$5.208 \cdot 10^{-7}$	$2.50 \cdot 10^{-3}$

$$E = 2 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$$

1. Düşüm noktası ve eleman tabloları hazırlanır.



DN	X	Z
1	0	3.5
2	0	0
3	4	0
4	4	3.5

EN	$\ell$	r	c	s
1	1	2	0	-1
2	2	3	1	0
3	3	4	0	1
4	2	4	-0.753	-0.659
5	1	3	0.753	-0.659

c :  $\cos\alpha$  . s:  $\sin\alpha$

2. Eleman denge matrisleri  $(\underline{a}^i)^T$  tablolar yardımıyla oluşturulur.

$$(\underline{a}^1)^T = \begin{bmatrix} 0 & -0.286 & -0.286 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.286 & 0.286 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{a}^2)^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.25 & -0.25 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{a}^3)^T = \begin{bmatrix} 0 & 0.286 & 0.288 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -0.286 & -0.286 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{a}^4)^T = \begin{bmatrix} 0.753 & -0.124 & -0.124 \\ 0.659 & 0.142 & 0.142 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0.753 & 0.124 & 0.124 \\ -0.659 & -0.142 & -0.142 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{a}^5)^T = \begin{bmatrix} -0.753 & -0.124 & -0.124 \\ 0.659 & -0.142 & -0.142 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.753 & 0.124 & 0.124 \\ -0.659 & 0.142 & 0.142 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.  $\underline{a}^T$  toplam sistem denge matrisi oluşturulur.

$$(\underline{a})^T = \begin{bmatrix} 0 & 0.286 & 0.286 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.753 & -0.124 & -0.124 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -0.25 & -0.25 & 0 & 0 & 0 & 0.659 & 0.142 & 0.142 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.286 & 0.286 & 0 & 0 & 0 & 0.753 & 0.124 & 0.124 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.659 & 0.142 & 0.142 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 3 \end{matrix}$$

1                      2                      3                      4                      5

4. Eleman Rijitlik matrisleri tablolar yardımıyla hesaplanır.

$$\underline{k}_r^1 = \begin{bmatrix} 5.714 \cdot 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 1904.7 & 952.35 \\ 0 & 952.35 & 1904.7 \end{bmatrix} \quad \underline{k}_r^2 = \begin{bmatrix} 2.815 \cdot 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 527.4 & 263.7 \\ 0 & 263.7 & 527.4 \end{bmatrix}$$

$$\underline{k}_r^3 = \begin{bmatrix} 5.714 \cdot 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 1904.7 & 952.35 \\ 0 & 952.35 & 1904.7 \end{bmatrix} \quad \underline{k}_r^4 = \begin{bmatrix} 9.407 \cdot 10^4 & 0 & 0 \\ 0 & 78.4 & 39.2 \\ 0 & 39.2 & 78.4 \end{bmatrix}$$

$$\underline{k}_r^5 = \begin{bmatrix} 9.407 \cdot 10^4 & 0 & 0 \\ 0 & 78.4 & 39.2 \\ 0 & 39.2 & 78.4 \end{bmatrix}$$

5.  $\underline{k}_r$  Eleman Rijitlik matrisi diyag  $\underline{k}_r^i = \underline{k}_r$  ile bulunur.

$$diyag \underline{k}_r^i = \begin{bmatrix} \underline{k}_r^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{k}_r^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{k}_r^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{k}_r^4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{k}_r^5 \end{bmatrix}_{15 \times 15}$$

6.  $\underline{K}_r = \underline{a}^T \cdot \underline{k}_r \cdot \underline{a}$  matris çarpımı ile toplam sistem Rijitlik matrisi bulunur.

$$\underline{K}_r = \begin{bmatrix} 335311,5 & 46677,61 & 802,5297 & -14,5804 & -281500 & 0 & 0 & 0 \\ 46677,61 & 612386,5 & -181,078 & 16,69696 & 0 & -98,8875 & -197,775 & 0 \\ 802,5297 & -181,078 & 2510,475 & 78,38946 & 0 & 197,775 & 263,7 & 0 \\ -14,5804 & 16,69696 & 78,38946 & 78,38946 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -281500 & 0 & 0 & 0 & 335311,5 & -46677,6 & 831,6926 & 14,5824 \\ 0 & -98,8875 & 197,775 & 0 & -46677,6 & 612386,5 & 214,4742 & 16,6992 \\ 0 & -197,775 & 263,7 & 0 & 831,6926 & 214,4742 & 2510,486 & 78,4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 14,5824 & 16,6992 & 78,4 & 78,4 \end{bmatrix}$$

7. Her elemana ait ankastrelilik uç kuvvet vektörü  $\bar{S}_R^i$  tablo yardımıyla hesaplandıktan sonra düğüm noktası denge şartını yazabilmek amacıyla bu kuvvetler,

$$\underline{S}_R^1 = \underline{L}_D^1 \bar{S}_R^1 \rightarrow \underline{S}_R^1 = \begin{Bmatrix} -20.83 \\ 0 \\ 10.41 \\ -8.93 \\ 0 \\ -6.94 \end{Bmatrix} \quad \underline{S}_R^2 = \underline{L}_D^2 \bar{S}_R^2; \underline{L}_D^2 = \underline{I} \rightarrow \underline{S}_R^2 = \bar{S}_R^2$$

ile sistem eksenlerine göre ifade edilir. Tüm sistemde  $\underline{S}_R$ ;

$$(\underline{S}_R)^T = \left\{ -20.83 \quad 0 \quad 10.41 \quad -8.93 \quad 0 \quad -6.94 \quad 0 \quad -32 \quad 21.33 \quad 0 \quad -32 \quad -21.33 \quad \underline{0}_{(1 \times 18)} \right\}_{(1 \times 30)}$$

Buradan fiktif düğüm noktası yük vektörü,

$$\underline{C}_{(8 \times 30)} \cdot \underline{S}_R(30 \times 1) = -\underline{R}_{R(8 \times 1)} = \begin{Bmatrix} -8.93 \\ -32 \\ 14.39 \\ 0 \\ 0 \\ -32 \\ -21.33 \\ 0 \end{Bmatrix}_{(8 \times 1)}$$

Şeklinde hesaplanır. Sistemde düğüm noktası yükü de olduğu için toplam yük vektörü,

$$\underline{R} + \underline{R}_R = \begin{Bmatrix} 8.93 \\ 32 \\ -14.39 \\ 0 \\ 0 \\ 32 \\ 21.33 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 25 \\ 22 \\ -20 \\ 0 \\ 25 \\ 22 \\ -20 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 33.93 \\ 54 \\ -34.39 \\ 0 \\ 25 \\ 54 \\ 1.33 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

8.  $\underline{r} = \underline{K}_r^{-1} \cdot (\underline{R} + \underline{R}_R)$  bağıntısı ile düğüm noktası yer değiştirmeleri hesaplanır,

$$\underline{r} = \begin{Bmatrix} 0.000705 \\ 0.00003036 \\ -0.0146 \\ 0.014716 \\ 0.0006819 \\ 0.0001443 \\ 0.00189 \\ -0.002048 \end{Bmatrix}$$

9.  $\underline{F} = \underline{k}_r \cdot \underline{a} \cdot \underline{r}$  bağıntısı ile eleman bağımsız uç kuvvetleri bulunarak, her elemana ait  $\underline{T}^i$  ler tablolar yardımıyla oluşturulduktan sonra,  $\underline{\bar{S}}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$  bağıntısı ile eleman uç iç kuvvetleri hesaplanır.

$$\underline{\bar{S}}^1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.286 & -0.286 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.286 & 0.286 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -17.35 \\ -13.32 \\ -27.216 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 17.35 \\ 11.58 \\ -13.32 \\ -17.35 \\ -11.58 \\ -27.22 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\bar{S}}^2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.25 & -0.25 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -6.501 \\ -7.174 \\ -2.828 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 6.501 \\ 2.5 \\ -7.17 \\ -6.501 \\ -2.5 \\ -2.83 \end{Bmatrix}$$



$$\underline{\bar{S}}^3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.286 & -0.286 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.286 & 0.286 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -82.44 \\ 4.158 \\ 2.358 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 82.44 \\ -1.86 \\ 4.158 \\ -82.44 \\ 1.86 \\ 2.358 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\bar{S}}^4 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.188 & -0.188 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.188 & 0.188 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} 51.82 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -51.82 \\ 0 \\ 0 \\ 51.82 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

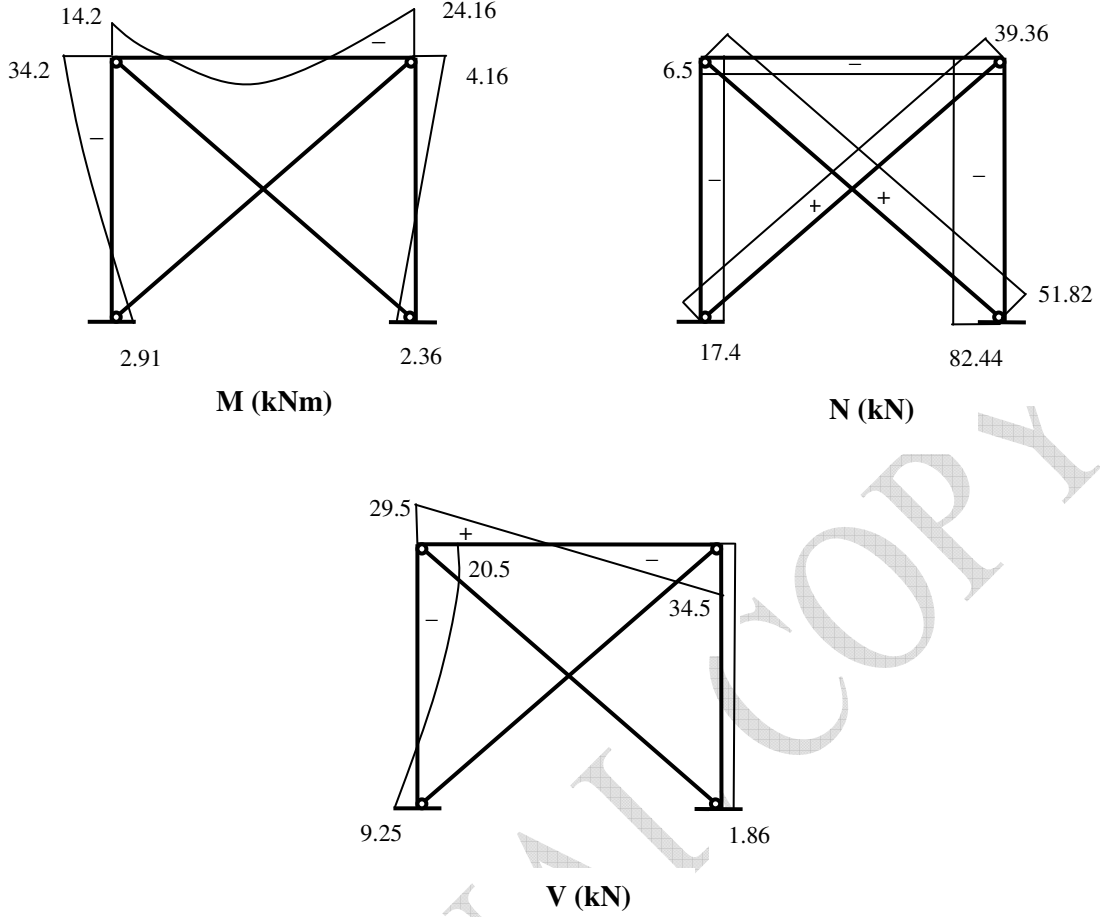
$$\underline{\bar{S}}^5 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.188 & -0.188 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.188 & 0.188 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} 39.36 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -39.36 \\ 0 \\ 0 \\ 39.36 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Ancak 1 ve 2 numaralı elemanlarda, eleman üzerinde yük bulunduğundan, iç kuvvetler ankastrelik uç kuvvetleri ile süperpoze edilmelidir;

$$\underline{\bar{S}}^{+1} = \left( \underline{\bar{S}}^{-1} + \underline{\bar{S}}_R^{-1} \right) = \begin{Bmatrix} 17.35 \\ 11.58 \\ -13.32 \\ -17.35 \\ -11.58 \\ -27.22 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -20.83 \\ 10.41 \\ 0 \\ -8.93 \\ -6.94 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 17.35 \\ -9.25 \\ -2.91 \\ -17.35 \\ -20.51 \\ -34.16 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\bar{S}}^{+2} = \left( \underline{\bar{S}}^{-2} + \underline{\bar{S}}_R^{-2} \right) = \begin{Bmatrix} 6.501 \\ 2.5 \\ -7.17 \\ -6.501 \\ -2.5 \\ -2.83 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -32 \\ 21.33 \\ 0 \\ -32 \\ -21.33 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 6.501 \\ -29.5 \\ 14.16 \\ -6.501 \\ -34.5 \\ -24.16 \end{Bmatrix}$$

10. Verilen yük durumu için sistemde meydana gelen eleman uç iç kuvvetleri yardımıyla kesit tesiri diyagramları çizilir.



Örnek 4 : Örnek 3’de görülen sistemde, 4 ve 5 no’lu elemanlar kafer elemanı olarak alınarak çözüm tekrarlanmış, bağımsız uç kuvvetler hesaplanmıştır.

4 ve 5 no’lu elemanların düzlemsel kafes çubuğu olarak alınması durumunda çözümde kullanılacak olan temel matris bağıntılarının boyutları değişecektir:

$$\underline{R}_{6 \times 1} = \underline{a}_{6 \times 11}^T \cdot \underline{F}_{11 \times 1}, \quad \underline{K}_{6 \times 6} = \underline{a}_{6 \times 11}^T \cdot (\underline{k}_r)_{11 \times 11} \cdot \underline{a}_{11 \times 6}, \quad \underline{R}_{6 \times 1} = (\underline{K}_r)_{6 \times 6} \cdot \underline{r}_{6 \times 1}$$

Buna göre,

$$\underline{a}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0.286 & 0.286 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.753 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -0.25 & -0.25 & 0 & 0 & 0 & 0.659 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.286 & 0.286 & 0 & 0.753 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & -1 & 0 & 0 & 0 & -0.659 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

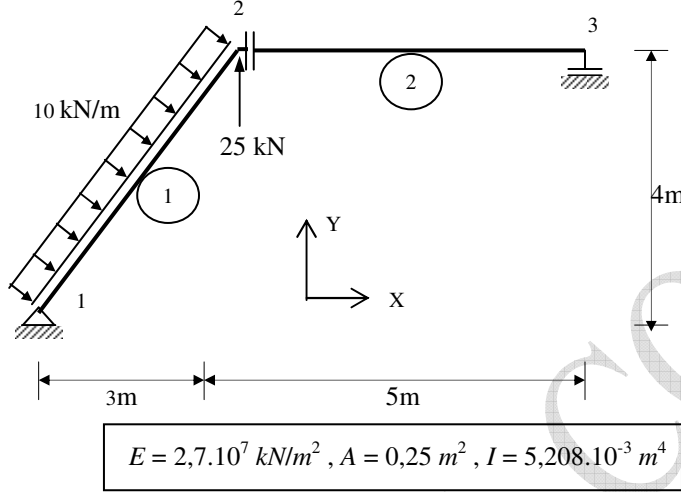
$$\underline{k}_r = \begin{bmatrix} 571000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1904.7 & 952.35 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 952.35 & 1904.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 282000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 527.4 & 263.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 263.7 & 527.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 571000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1904.7 & 952.35 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 952.35 & 1904.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 94100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 94100 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{K}_r = \begin{bmatrix} 335307.1 & 46681.11 & 817.1163 & -281500 & 0 & 0 \\ 46681.11 & 612352.6 & -197.775 & 0 & -98.8875 & -197.775 \\ 817.1163 & -197.775 & 2432.1 & 0 & 197.775 & 263.7 \\ -281500 & 0 & 0 & 335307.1 & -46681.1 & 817.1163 \\ 0 & -98.8875 & 197.775 & -46681.1 & 612352.6 & 197.775 \\ 0 & -197.775 & 263.7 & 817.1163 & 197.775 & 2432.1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{R} + \underline{R}_R) = \begin{bmatrix} 33,93 \\ 54 \\ -34,39 \\ 25 \\ 54 \\ 1,33 \end{bmatrix}$$

$$\underline{F} = \begin{bmatrix} -17.3488 \\ -13.3198 \\ -27.2157 \\ -6.50127 \\ -7.17431 \\ -2.82809 \\ -82.4386 \\ 4.158091 \\ 2.357643 \\ 51.82189 \\ 39.35959 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{21} \\ M_{12} \\ M_{21} \\ N_{32} \\ M_{23} \\ M_{32} \\ N_{43} \\ M_{34} \\ M_{43} \\ N_{42} \\ N_{31} \end{bmatrix}$$

Örnek 5: Şekilde görülen sistem Matris Deplasman Yöntemi ile, verilen dış yükler için çözülmüş ve iç kuvvetler hesaplanmıştır.



Şekilde görülen sistemde 1 numaralı düğüm noktasında X ve Y doğrultusunda ötelenmesi engellenmiş bir mesnet (basit mesnet), 3 numaralı düğüm noktasında Y doğrultusunda ötelemeye ve Z doğrultusunda dönmeye karşı tutulu olan bir mesnet bulunmaktadır. Ayrıca 2 numaralı elemanın 2 numaralı düğüm noktası ile birleştiği yerde(sol ucunda) bir kesme kuvveti mafsalı bulunmaktadır.

Düğüm noktası ve Eleman tablosu:

DN	X	Y
1	0	0
2	3	4
3	8	4

EN	$\ell$	r	c	s
1	1	2	0,6	0,8
2	2	3	1	0

Eleman denge matrisleri:

$$(\underline{a}^1)^T = \begin{bmatrix} -0,6 & 0,16 & 0,16 \\ -0,8 & -0,12 & -0,12 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0,6 & -0,16 & -0,16 \\ 0,8 & 0,12 & 0,12 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\underline{a}^2)^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0,2 & -0,2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0,2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sistem denge matrisi:

$$(\underline{a})^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & | & 0 & 0 & 0 \\ 0,6 & -0,16 & -0,16 & | & -1 & 0 & 0 \\ 0,8 & 0,12 & 0,12 & | & 0 & -0,2 & -0,2 \\ 0 & 0 & 1 & | & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & | & 0 & -0,2 & -0,2 \\ 0 & 0 & 0 & | & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(6 \times 6)}$$

→ 1. no'lu düğüm noktası  
 → 2. no'lu düğüm noktası  
 → Mafsal şartı  
 → 3. no'lu düğüm noktası

1 no'lu eleman      2 no'lu eleman

Eleman rijitlik matrisleri:

$$\underline{k}_r^1 = \begin{bmatrix} 1350000 & 0 & 0 \\ 0 & 112500 & 56250 \\ 0 & 56250 & 112500 \end{bmatrix} \quad \underline{k}_r^2 = \begin{bmatrix} 1350000 & 0 & 0 \\ 0 & 112500 & 56250 \\ 0 & 56250 & 112500 \end{bmatrix}$$

Diyagonal rijitlik matrisi:

$$\underline{k}_r = \begin{bmatrix} 1350000 & 0 & 0 & | & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 112500 & 56250 & | & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 56250 & 112500 & | & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & | & 1350000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & | & 0 & 112500 & 56250 \\ 0 & 0 & 0 & | & 0 & 56250 & 112500 \end{bmatrix}_{(6 \times 6)}$$

Sistem rijitlik matrisi  $\underline{K}_r = \underline{a}^T \cdot \underline{k}_r \cdot \underline{a}$  çarpımı ile bulunur.

$$\underline{K}_r = \begin{bmatrix} 112500 & -27000 & 20250 & 56250 & 0 & 0 \\ -27000 & 1844640 & 641520 & -27000 & 0 & -1350000 \\ 20250 & 641520 & 882360 & -13500 & 13500 & 0 \\ 56250 & -27000 & -13500 & 225000 & -33750 & 0 \\ 0 & 0 & 13500 & -33750 & 13500 & 0 \\ 0 & -1350000 & 0 & 0 & 0 & 1350000 \end{bmatrix}$$

Buraya kadar olan kısım sistemin geometrisi ile ilgili olduğu için dış yüklerden bağımsızdır. Dış yükler için çözüm algoritması aşağıdaki şekildedir:

Tablo ile (Ek 1)  $\bar{S}_R^i$  ler oluşturulur. Örnekte sadece 1 no'lu elemanda yük mevcuttur. Ancak eğik çubuk için tablolardan bulunan değerler yerel koordinatlara göre dir. Fiktif

düğüm noktası kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için tablodan okunan değerlerin koordinat transformasyon matrisi  $\underline{L}_D^i$  ile çarpılıp genel koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$\underline{L}_D^i \cdot \underline{S}_R^i = \underline{S}_R^i \rightarrow \begin{bmatrix} 0,6 & -0,8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,8 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,6 & -0,8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 25 \\ -20,833 \\ 0 \\ 25 \\ 20,833 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20 \\ 15 \\ -20,833 \\ -20 \\ 15 \\ 20,833 \end{bmatrix}$$

Tüm sistem için  $\underline{S}_R$ :

$$(\underline{S}_R)^T = \{-20 \quad 15 \quad -20,833 \quad -20 \quad 15 \quad 20,833 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0\}$$

C (0,1) matrisi:

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \longrightarrow 1. \text{ düğüm noktası} \\ \longrightarrow 2. \text{ düğüm noktası} \\ \longrightarrow \text{Mafsal şartı} \\ \longrightarrow 3. \text{ düğüm noktası} \end{matrix}$$

1. Eleman

2. Eleman

Fiktif düğüm noktası yükü  $\underline{R}_R = -\underline{C} \cdot \underline{S}_R$  ile bulunur.

$$(\underline{R}_R)^T = \{20,833 \quad 20 \quad -15 \quad -20,833 \quad 0 \quad 0\}$$

Ayrıca düğüm noktasına etkiyen yük de vardır:

$$(\underline{R})^T = \{0 \quad 0 \quad 25 \quad 0 \quad 0 \quad 0\}$$

Fiktif düğüm noktası yükleri bu yüklerle süperpoze edilerek  $(\underline{R} + \underline{R}_R)$  toplam sistem yük vektörü bulunur.

$$(\underline{R} + \underline{R}_R)^T = \{20,833 \quad 20 \quad 10 \quad -20,833 \quad 0 \quad 0\}$$

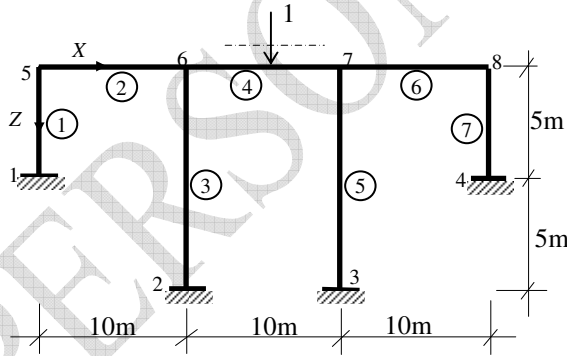
Düğüm noktaları yer değiştirmeleri  $\underline{r} = \underline{K}_r^{-1} \cdot (\underline{R} + \underline{R}_R)$  ile, eleman bağımsız uç iç kuvvetleri ise  $\underline{F} = \underline{k}_r \cdot \underline{a} \cdot \underline{r}$  bağıntısı ile hesaplanır.

$$\underline{r} = \begin{Bmatrix} 3,407 \cdot 10^{-3} \\ 1,097 \cdot 10^{-3} \\ -8,21 \cdot 10^{-3} \\ 1,777 \cdot 10^{-3} \\ 1,265 \cdot 10^{-3} \\ 1,097 \cdot 10^{-3} \end{Bmatrix}, \quad \underline{F} = \begin{Bmatrix} F^1 \\ F^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 20 \\ 20,83 \\ -70,83 \\ -4,44 \\ 50 \\ -50 \end{Bmatrix}$$

Daha sonra her eleman için  $\underline{S}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$  bağıntısı ile iç kuvvetlerin hesabına geçilir.

$$\underline{S}^{+1} = \begin{Bmatrix} -20 \\ 35 \\ 0 \\ 20 \\ 14 \\ -50 \end{Bmatrix}, \quad \underline{S}^{+2} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 50 \\ 0 \\ 0 \\ -50 \end{Bmatrix}$$

Örnek 6: Şekilde görülen sistemde  $\eta_{S_6}^{-4}$  tesir çizgisinin Matris Deplasman Yöntemi ile çizimi verilmiştir.



$$EI = 2 \cdot 10^6 \text{ kNm}^2, \quad EA = 10^7 \text{ kN}$$

Elemana ait şekil değiştirme vektörü,

$$(\underline{u}_E)^{-4} = (\underline{u}_E)^4 = \{0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -1\}$$

Toplam sistemde yük vektörü ise,  $-\underline{R}_E = \underline{C} \cdot \underline{k} \cdot \underline{u}_E$  bağıntısı ile hesaplanabilecektir.

$$-R_E^T = (\underline{C}_{12 \times 42} \cdot \underline{k}_{42 \times 42} \cdot \underline{u}_{E 42 \times 1})_{1 \times 12}^T = 10^5 \{0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1.2 \ -4 \ 0 \ -1.2 \ -8 \ 0 \ 0 \ 0\}^T$$

$$\underline{r}_{12 \times 1} = (\underline{K}^{-1} \cdot \underline{R}_E) = \begin{Bmatrix} -92.313 \\ 6.034 \\ 3.674 \\ -108.273 \\ -75.673 \\ 113.242 \\ -113.243 \\ 95.806 \\ 322.426 \\ -82.240 \\ -16.101 \\ -31.694 \end{Bmatrix} \cdot 10^{-3} = \begin{Bmatrix} r_{5X} \\ r_{5Z} \\ \theta_5 \\ r_{6X} \\ r_{6Z} \\ \theta_6 \\ r_{7X} \\ r_{7Z} \\ \theta_7 \\ r_{8X} \\ r_{8Z} \\ \theta_8 \end{Bmatrix}$$

Her elemana ait şekil değiştirme vektörleri,

$$(\underline{u}^2)^T = (r^5, r^6)^T = \{-92.313 \ 6.034 \ 3.674 \ -108.273 \ -75.673 \ 113.242\}^T 10^{-3}$$

$$(\underline{u}^4)^T = (r^6, r^7)^T = \{-108.273 \ -75.673 \ 113.242 \ -113.243 \ 95.806 \ -677.57\}^T 10^{-3}$$

$$(\underline{u}^6)^T = (r^7, r^8)^T = \{-113.243 \ 95.806 \ 322.426 \ -82.24 \ -16.101 \ -31.694\}^T 10^{-3}$$

Elemana ait Tesir Çizgisi fonksiyonları,

$$g_j(x, S) = C_1 x^3 + C_2 x^2 + C_3 x + C_4$$

$$C_1 = [2(u_2^j - u_5^j) - (u_3^j + u_6^j)l_j] / l_j^3$$

$$C_2 = (u_3^j - u_6^j) / 2l_j - 1.5C_1 l_j$$

$$C_3 = -u_3^j$$

$$C_4 = u_2^j$$

2 no'lu eleman için,

$$C_1 = \{2(6.034 - (-75.673)) - (3.674 + 113.242)10\} / 10^3 = -1.0057$$

$$C_2 = (3.674 - 113.242) / 20 - 1.5(-1.0057)10 = 9.607$$



$$C_3 = -3.674, C_4 = 6.034$$

$$g_2(x, S_6^4) = (-1.0057x^3 + 9.607x^2 - 3.674x + 6.034)10^{-3}$$

benzer şekilde diğer elemanlara ait Tesir Çizgisi fonksiyonları,

$$g_4(x, S_6^4) = (5.3x^3 - 39.965x^2 - 113.242x - 75.673)10^{-3}$$

$$g_6(x, S_6^4) = (-2.684x^3 + 57.959x^2 - 322.426x + 95.806)10^{-3}$$

şeklinde hesaplanır.

