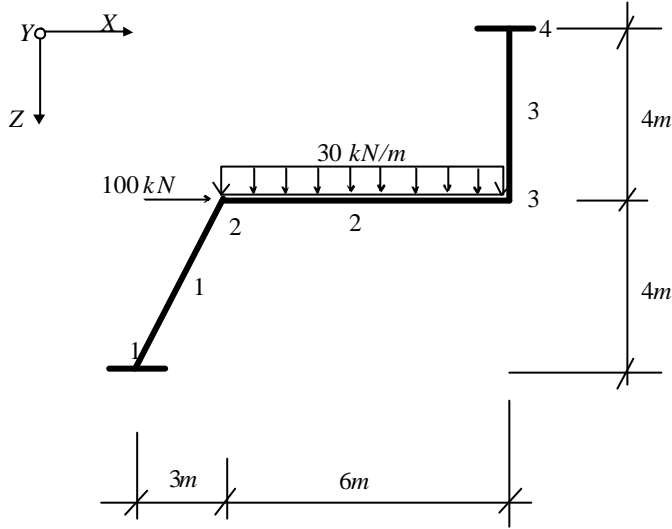


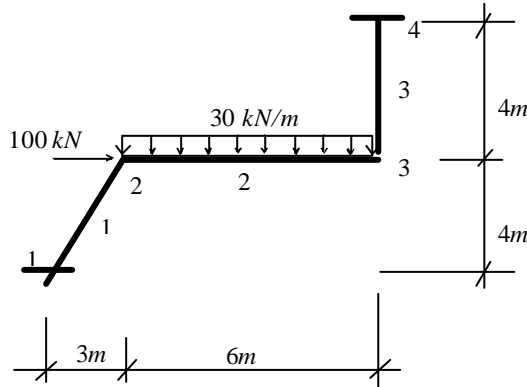
4. Örnekler

Örnek 1: Şekilde görülen sistem Matris Deplasman Yöntemi ile, verilen dış yükler, $Dt^o = +30^oC$ üniform olmayan sıcaklık değişimi ve 1 numaralı mesnedin 0.01 radyan dönmesi durumu için ayrı ayrı çözülmüş ve iç kuvvetler hesaplanmıştır.



$$E = 3 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2, A = 0.15 \text{ m}^2, I = 31.25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4, h = 0.5 \text{ m}, \mathbf{a}_T = 10^{-5} 1/^oC$$

1. Düğüm noktası ve eleman tabloları hazırlanır.



DN	X	Z
1	0	8
2	3	4
3	9	4
4	9	0

EN	ℓ	r	c	s
1	1	2	0.6	-0.8
2	2	3	1	0
3	3	4	0	-1

$$c : \cos \mathbf{a}, s : \sin \mathbf{a}$$

2. Eleman denge matrisleri $(\underline{a}^i)^T$ tablolar(Ek 2) yardimiyla olusturulur.

Tip a (Bkz. 3.1.1)

$$(\underline{a}^1)^T = \begin{bmatrix} -0.6 & -0.16 & -0.16 \\ 0.8 & -0.12 & -0.12 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.6 & 0.16 & 0.16 \\ -0.8 & 0.12 & 0.12 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\underline{a}^2)^T = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.17 & -0.17 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.17 & 0.17 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(\underline{a}^3)^T = \begin{bmatrix} 0 & -0.25 & -0.25 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

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

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

$$(\underline{a})^T = \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc} 0.6 & 0.16 & 0.16 & -1 & 0 & 0 & & & \\ -0.8 & 0.12 & 0.12 & 0 & -0.17 & -0.17 & & \underline{0} & \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & & & \\ \hline & & & 1 & 0 & 0 & 0 & -0.25 & -0.25 \\ & \underline{0} & & 0 & 0.17 & 0.17 & 1 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right] \begin{array}{l} 2 \\ 3 \\ (6 \times 9) \end{array}$$

1
2
3

→ Eleman numaralari

↓ Düğüm noktaları serbestligi

sekinde olusturulur.

4. Eleman rijitlik matrisleri (\underline{k}_r^i) tablolar(Ek 2) yardimiyla hesaplanir.

$$\underline{k}_r^1 = \begin{bmatrix} 9 \cdot 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 75 \cdot 10^3 & 37.5 \cdot 10^3 \\ 0 & 37.5 \cdot 10^3 & 75 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \quad \underline{k}_r^2 = \begin{bmatrix} 75 \cdot 10^4 & 0 & 0 \\ 0 & 62.5 \cdot 10^3 & 31.25 \cdot 10^3 \\ 0 & 31.25 \cdot 10^3 & 62.5 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

$$\underline{k}_r^3 = \begin{bmatrix} 11.25 \cdot 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 93.75 \cdot 10^3 & 46875 \\ 0 & 46875 & 93.75 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

5. \underline{k}_r toplam sistem rijitlik matrisi $\text{diya}g \underline{k}_r^i = \underline{k}_r$ ile olusturulur.

$$\text{diya}g \underline{k}_r = \begin{bmatrix} \underline{k}_r^1 & \underline{0} \\ & \underline{k}_r^2 \\ \underline{0} & & \underline{k}_r^3 \end{bmatrix}_{(9 \times 9)}$$

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

$$\underline{K}_r = \begin{bmatrix} 1079760 & -427680 & 18000 & -750000 & 0 & 0 \\ & 584469.2 & -2156.3 & 0 & -5229.2 & -15656.3 \\ & & 137500 & 0 & 15656.3 & 31250 \\ & & & 767578.1 & 0 & -35156.3 \\ & & & & 1130229 & 15656.3 \\ & & & & & 156250 \end{bmatrix}_{(6 \times 6)}$$

Simetri

• Verilen dis yük için çözüm

Her elemana ait ankastrelik uç kuvvet vektörü \underline{S}_R^i ler tablolar(Ek 1) yardimiyla hesaplandıktan sonra sistem eksenlerine gore tüm sistemde \underline{S}_R ;

$$(\underline{S}_R)^T = \{0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ -90 \ 90 \ 0 \ -90 \ -90 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}_{(1 \times 18)}$$

elde edilir; örnekte sadece 2 no'lu eleman yüklü olarak verilmistir. Ankastrelik uç kuvvetleri sözkonusu elemanın koordinat sistemine gore tablo yardimiyla yazılmistir. Ancak bu elemanda elman eksenleri ile sistem eksenleri çakstigidinden herhangi bir koordinat dönüşümüne ihtiyaç duyulmamistir. Bu durumda fiktif düğüüm noktası yük vektörü,

$$\underline{C}_{(6 \times 18)} \cdot \underline{S}_{R(18 \times 1)} = -\underline{R}_{R(6 \times 1)} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -90 \\ 90 \\ 0 \\ -90 \\ -90 \end{Bmatrix}$$

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

$$(\underline{R} + \underline{R}_R) = \begin{Bmatrix} 100 \\ 90 \\ -90 \\ 0 \\ 90 \\ 90 \end{Bmatrix}$$

olacaktır.

Bundan sonraki adımlar;

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

$$\underline{r} = \begin{Bmatrix} 0.0139 \\ 0.0105 \\ -0.0036 \\ 0.0139 \\ 0.0001 \\ 0.0055 \end{Bmatrix}$$

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

$$\underline{F} = \begin{Bmatrix} \underline{F}^1 \\ \underline{F}^2 \\ \underline{F}^3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -23.58 \\ 259.79 \\ 125.74 \\ -52.46 \\ -215.74 \\ 66.80 \\ 114.87 \\ 23.20 \\ -233.04 \end{Bmatrix}$$

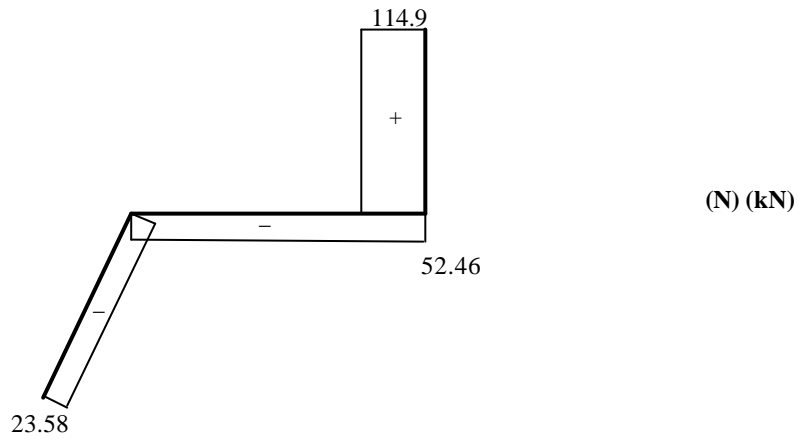
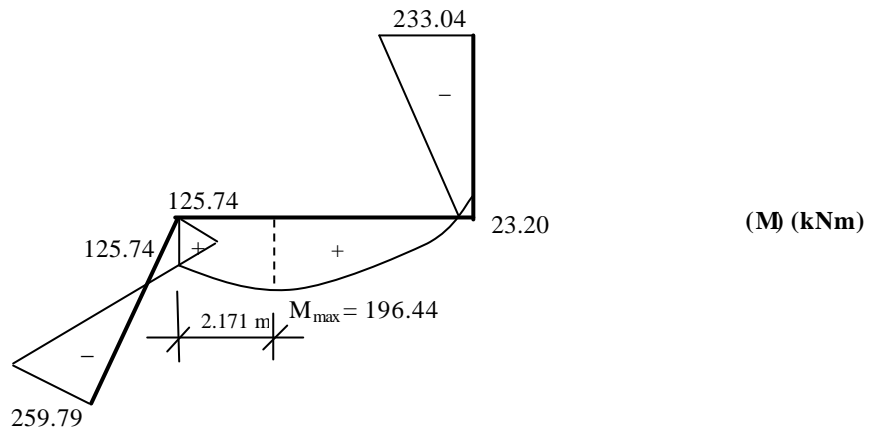
Her elemana ait \underline{T}^i ler tablolar yardimiyla olusturulduktan sonra, $\underline{\bar{S}}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$ ile eleman uç iç kuvvetleri hesaplanır.

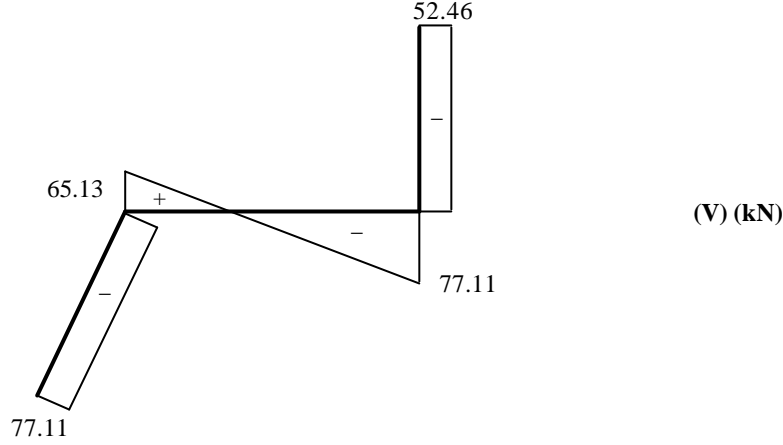
$$\underline{\bar{S}}^1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2 & -0.2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -23.58 \\ 259.79 \\ 125.74 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 23.58 \\ -77.11 \\ 259.79 \\ -23.58 \\ 77.11 \\ 125.74 \end{Bmatrix}, \quad \underline{\bar{S}}^3 = \begin{Bmatrix} -114.9 \\ 52.46 \\ 23.20 \\ 114.9 \\ -52.46 \\ -233.04 \end{Bmatrix}$$

Ancak 2 numarali elemanda, eleman üzerinde yük bulundugundan, iç kuvvetler ankastrelik uç kuvvetleri ile süperpoze edilmelidir;

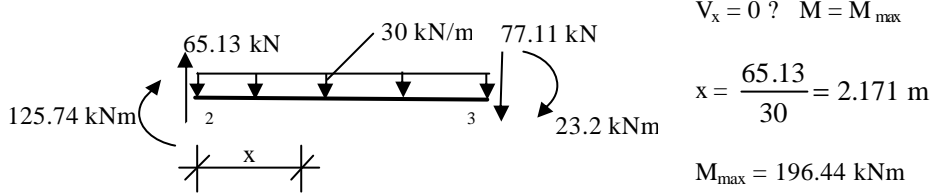
$$\underline{\bar{S}}^+ = (\underline{\bar{S}}^2 + \underline{\bar{S}}_R^2) = \begin{Bmatrix} 52.46 \\ 24.87 \\ -215.74 \\ -52.46 \\ -24.87 \\ 66.8 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ -90 \\ 90 \\ 0 \\ -90 \\ -90 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 52.46 \\ -65.13 \\ -125.74 \\ -52.46 \\ -114.87 \\ -23.2 \end{Bmatrix}$$

Asagida sistemin göz önüne alınan dis yükler için kesit tesirleri diyagramlari çizilmiştir.





2 elemanındaki maksimum momentin hesabi



$$V_x = 0 ? \quad M = M_{\max}$$

$$x = \frac{65.13}{30} = 2.171 \text{ m}$$

$$M_{\max} = 196.44 \text{ kNm}$$

• $Dt^o = +30^o C$ üniform olmayan sıcaklık degisimi için çözüm

Her elemana ait ankastrelık uç kuvvet vektörü \bar{S}_R^i ler tablo(Ek 1) yardimiyla hesaplandıktan sonra tüm sistemde \underline{S}_R :

$$(\underline{S}_R)^T = \{0 \ 0 \ 56.25 \ 0 \ 0 \ -56.25 \ 0 \ 0 \ 56.25 \ 0 \ 0 \ -56.25 \ 0 \ 0 \ 56.25 \ 0 \ 0 \ -56.25\}^T_{(1 \times 18)}$$

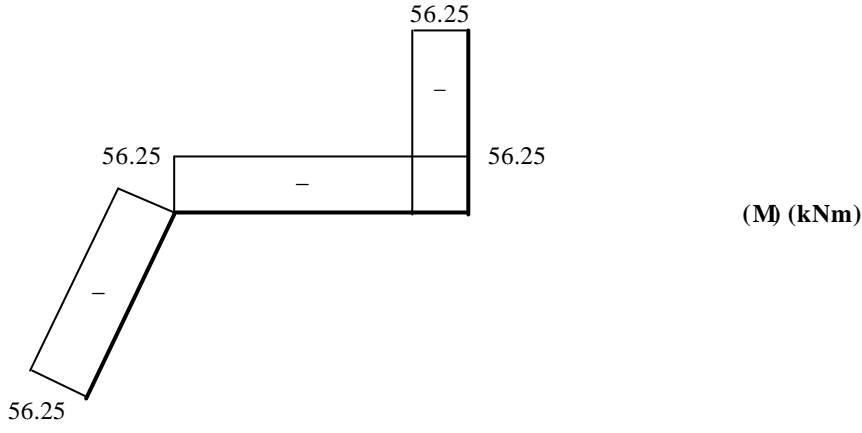
buradan fiktif düğüm noktası yük vektörü,

$$\underline{C}_{(6 \times 18)} \cdot \underline{S}_{R(18 \times 1)} = -\underline{R}_{R(6 \times 1)} = 0$$

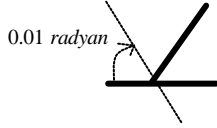
oldugu görülür. Bu durumda elemana ait iç kuvvet vektörleri ankastrelık uç kuvvetlerine esit olacaktır,

$$\bar{S}^1 = \bar{S}_R^1, \quad \bar{S}^2 = \bar{S}_R^2, \quad \bar{S}^3 = \bar{S}_R^3$$

Asagıda sistemin göz önüne alınan dis yükler için egilme momenti diyagrami çizilmiştir.



- 1 numaralı mesnedin 0.01 radyan dönmesi durumu için çözüm



$$\begin{array}{c}
 (\underline{a})^T = \\
 \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc}
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0.6 & 0.16 & 0.16 & -1 & 0 & 0 & & & \\
 -0.8 & 0.12 & 0.12 & 0 & -0.17 & -0.17 & & & \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & & & \\
 \hline
 & & & 1 & 0 & 0 & 0 & -0.25 & -0.25 \\
 & & & 0 & 0.17 & 0.17 & 1 & 0 & 0 \\
 & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0
 \end{array} \right]_{(7 \times 9)}
 \end{array}$$

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

$${}^+ \underline{K}_r = \begin{bmatrix} 75000 & 18000 & 13500 & 37500 & 0 & 0 & 0 \\ & 1079760 & -427680 & 18000 & -750000 & 0 & 0 \\ & & 584469.2 & -2156.3 & 0 & -5229.2 & -15656.3 \\ & & & 137500 & 0 & 15656.3 & 31250 \\ & \text{Simetri} & & & 767578.1 & 0 & -35156.3 \\ & & & & & 1130229 & 15656.3 \\ & & & & & & 156250 \end{bmatrix}_{(7 \times 7)}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{K}_{11} & \underline{K}_{12} \\ \underline{K}_{21} & \underline{K}_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{r}_M \\ \underline{r} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \underline{R}_M \\ \underline{R} \end{Bmatrix}$$

$$\underline{K}_{22} = \begin{bmatrix} 1079760 & -427680 & 18000 & -750000 & 0 & 0 \\ & 584469.2 & -2156.3 & 0 & -5229.2 & -15656.3 \\ & & 137500 & 0 & 15656.3 & 31250 \\ & \text{Sym.} & & 767578.1 & 0 & -35156.3 \\ & & & & 1130229 & 15656.3 \\ & & & & & 156250 \end{bmatrix}_{(6 \times 6)}$$

Burada,

$$\underline{r} = \underline{K}_{22}^{-1}(\underline{R} - \underline{K}_{21} \cdot \underline{r}_M) \rightarrow \underline{r}_M = -0.01, \quad \underline{R} = \underline{0}, \quad -\underline{K}_{21} \cdot \underline{r}_M = \begin{Bmatrix} 180 \\ 135 \\ 375 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

dir. Bu durumda düğüm noktası yer degistirme vektörü,

$$\underline{r} = \begin{Bmatrix} 0.013451 \\ 0.010181 \\ 0.000224 \\ 0.01333 \\ 0 \\ 0.003975 \end{Bmatrix}$$

olarak hesaplanır.

$$\underline{r}^+ = \begin{Bmatrix} r_M \\ r \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.01 \\ r \end{Bmatrix}_{(7 \times 1)}$$

olacağı düşünülürse bağımsiz uç iç kuvvet vektörü,

$$\underline{F} = \begin{Bmatrix} F^1 \\ F^2 \\ F^3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -66.65 \\ -362.04 \\ 21.36 \\ -94.50 \\ -21.36 \\ 95.84 \\ -12.44 \\ -95.84 \\ -282.15 \end{Bmatrix}$$

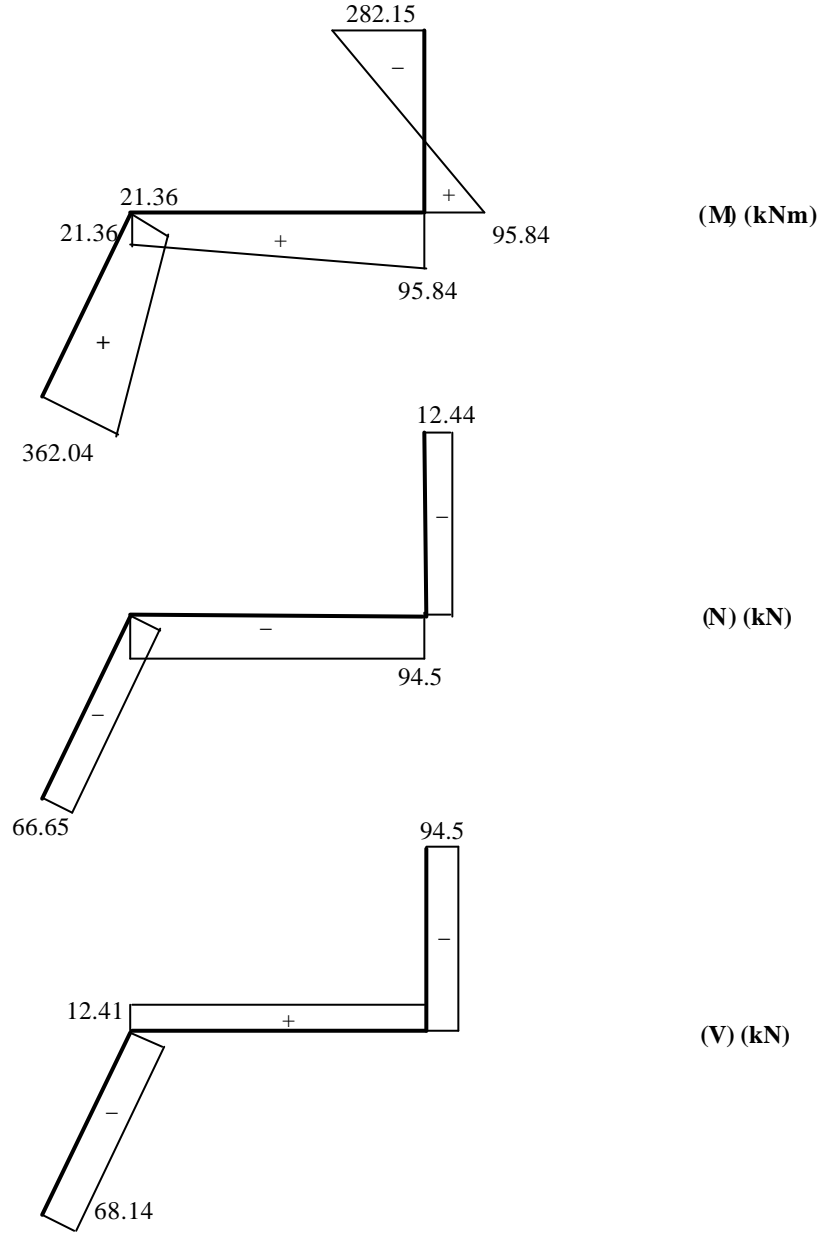
şeklinde bulunur. Daha sonra her elemana ait iç kuvvet vektörleri (\underline{S}^i) hesaplanır:

$$\underline{S}^1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2 & -0.2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -66.65 \\ -362.04 \\ 21.36 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 66.65 \\ 68.14 \\ -362.04 \\ -66.65 \\ -68.14 \\ 21.36 \end{Bmatrix}$$

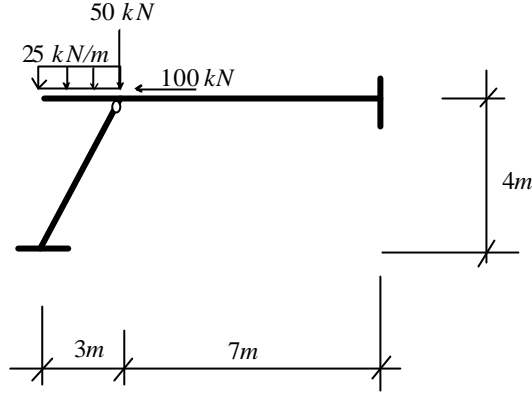
$$\underline{S}^2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.167 & -0.167 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.167 & 0.167 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -94.50 \\ -21.36 \\ 95.84 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 94.5 \\ -12.41 \\ -21.36 \\ -94.5 \\ 12.41 \\ 95.84 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{S}^3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.25 & -0.25 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -12.44 \\ -94.50 \\ -282.15 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 12.44 \\ 94.5 \\ -95.84 \\ -12.44 \\ -94.5 \\ -282.15 \end{Bmatrix}$$

Asagida sistemin göz önüne alınan dis tesir için kesit tesirleri diyagramlari çizilmiştir.

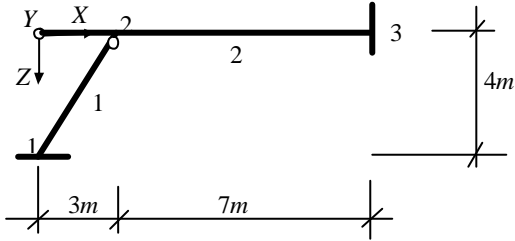


Örnek 2: Şekilde görülen sistem Matris Deplasman Yöntemi ile, verilen dış yükler, $t^{\circ} = +15^{\circ}C$ üniform sıcaklık değişimi durumu için ayrı ayrı çözülmüş ve iç kuvvetler hesaplanmıştır.



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

1. Düğüm noktası ve eleman tabloları hazırlanır.



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

EN	ℓ	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; $\tilde{R}_2^G = \bar{S}_6^1 = F_3^1 = 0$.

4. Eleman rijitlik matrisleri(\underline{k}_r^i) tablolar yardimiyla 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 çarpimi 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 dis yük için çözüm

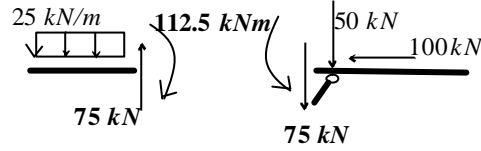
Çözümde konsol, eleman olarak düşünülmediğinden tüm sistemde \underline{S}_R ;

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

olacaktır. Dolayısıyla fiktif düğüm noktası yük vektörü,

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

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



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

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

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,

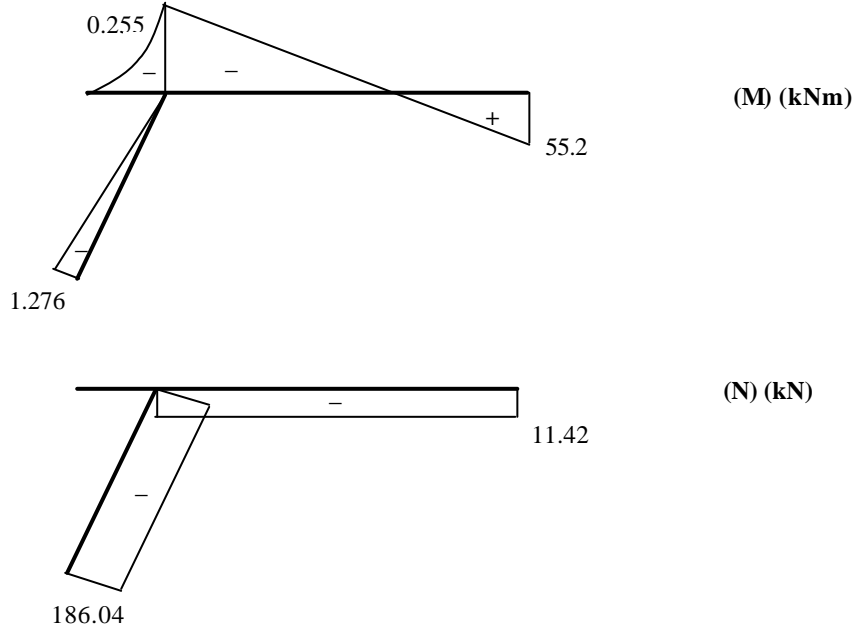
$$\underline{F} = \begin{Bmatrix} \underline{F}^1 \\ \underline{F}^2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -186.04 \\ 1.276 \\ 0 \\ -11.42 \\ 112.5 \\ 55.25 \end{Bmatrix}$$

Bundan sonraki adım, her elemana ait \underline{T}^i ler tablolar yardimiyla olusturularak, $\underline{\bar{S}}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$ ile eleman uç iç kuvvetleri hesaplanmasidir:

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

$$\underline{\bar{S}}^2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.143 & -0.143 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.14 & 186.04 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} -11.42 \\ 112.5 \\ 55.25 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 11.42 \\ -23.96 \\ 112.5 \\ -11.42 \\ 23.96 \\ 55.2 \end{Bmatrix}$$

Asagida sistemin göz önüne alınan dis yük için kesit tesirleri diyagramlari çizilmiştir.



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,

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

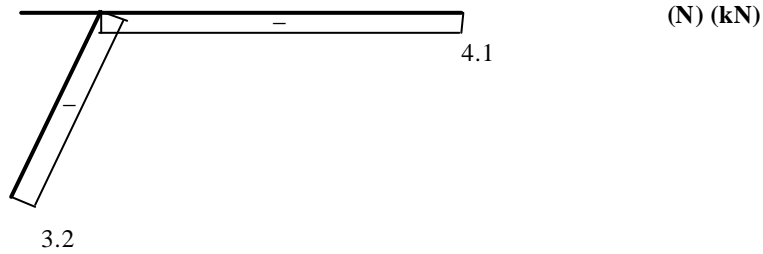
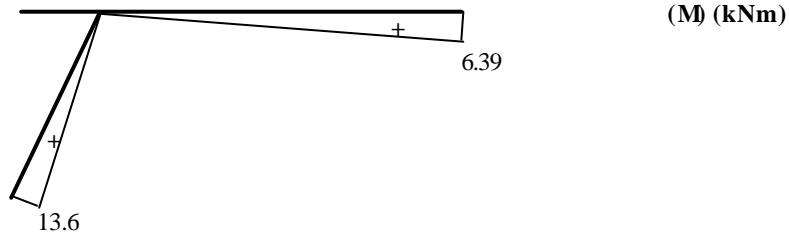
Bundan sonraki adım, her elemana ait \underline{T}^i ler tablolar yardımıyla oluşturularak, $\underline{S}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$ ile eleman uç iç kuvvetleri hesaplanmaktadır.

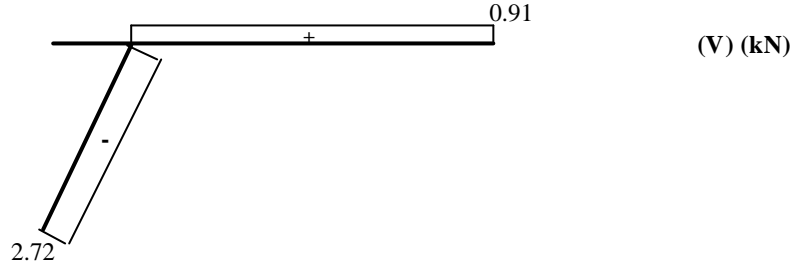
$$\underline{S}^1 = \underline{T}^1 \cdot \begin{Bmatrix} 680.82 \\ -13.6 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -680.8 \\ 2.72 \\ -13.6 \\ 680.8 \\ -2.72 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\bar{S}}^{\pm 1} = \underline{\bar{S}}^{\pm 1} + \underline{\bar{S}}_R^{\pm 1} = \begin{Bmatrix} -680.8 \\ 2.72 \\ -13.6 \\ 680.8 \\ -2.72 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 684 \\ 0 \\ 0 \\ -684 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3.2 \\ 2.72 \\ -13.6 \\ -3.2 \\ -2.72 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

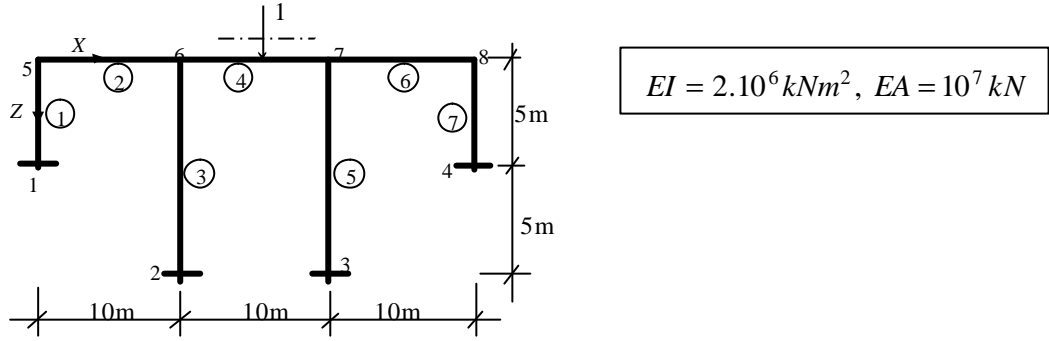
$$\underline{\bar{S}}^{\pm 2} = \underline{T}^{\pm 2} \cdot \begin{Bmatrix} 679.9 \\ 0 \\ 6.39 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -679.9 \\ -0.91 \\ 0 \\ 679.9 \\ 0.91 \\ 6.39 \end{Bmatrix} \rightarrow \underline{\bar{S}}^{\pm 2} = \underline{\bar{S}}^{\pm 2} + \underline{\bar{S}}_R^{\pm 2} = \begin{Bmatrix}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

Asagida sistemin göz önüne alınan dis tesir için kesit tesirleri diyagramlari çizilmiştir.





Örnek 3: Şekilde görülen sistemde $\mathbf{h}_{\frac{5}{6}}^4$ tesir çizgisinin çizimi.



Öncelikle aranan statik büyüklükle ilgili bir mekanizmanın kesite takıldığı düşünülür (burada moment mafsalı uygun mekanizma olacaktır). Elemana ait yer değiştirme vektörü,

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

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

$$(\mathbf{k}_{6 \times 6}^4 \cdot \mathbf{u}_{E 6 \times 1}^4)^T = \frac{2 \cdot 10^6}{10} \{0 \ 0.6 \ -2 \ 0 \ -0.6 \ -4\}^T$$

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

$$r_{12 \times 1} = (K^{-1} \cdot R_E) = \begin{Bmatrix} -92.313 \\ 6.034 \\ 3.674 \\ -108.273 \\ -75.673 \\ 113.242 \\ -113.243 \\ 95.806 \\ 322.426 \\ -82.240 \\ -16.101 \\ -31.694 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} r_{5X} \\ r_{5Z} \\ \mathbf{q}_5 \\ r_{6X} \\ r_{6Z} \\ \mathbf{q}_6 \\ r_{7X} \\ r_{7Z} \\ \mathbf{q}_7 \\ r_{8X} \\ r_{8Z} \\ \mathbf{q}_8 \end{Bmatrix}$$

Her elemana ait yer degistirme vektörleri,

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

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

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

Elemana ait Tesir Çizgisi fonksiyonlari,

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

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

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

$$C_3 = -u_3^j$$

$$C_4 = u_2^j$$

2 no'lu eleman için,

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

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

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

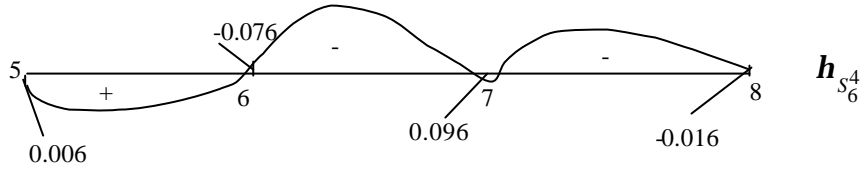
$$g_2(x, S_6^4) = (-1.0057 x^3 + 9.607 x^2 - 3.674 x + 6.034) 10^{-3}$$

benzer şekilde diğer elemanlara ait Tesir Çizgisi fonksiyonları,

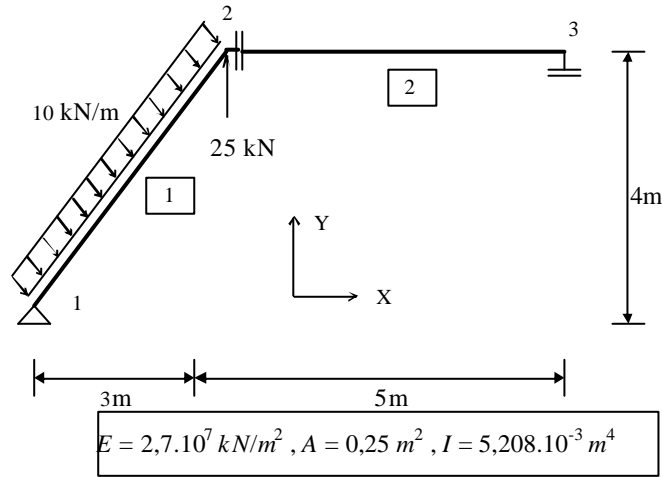
$$g_4(x, S_6^4) = (5.3x^3 - 39.965x^2 - 113.242x - 75.673)10^{-3}$$

$$g_6(x, S_6^4) = (-2.634x^3 + 57.959x^2 - 322.426x + 95.006)10^{-3}$$

şeklinde hesaplanır.



Örnek 4: 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	ℓ	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:

$$(\underline{a})^T = \left[\begin{array}{ccc|ccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,6 & -0,16 & -0,16 & -1 & 0 & 0 \\ 0,8 & 0,12 & 0,12 & 0 & -0,2 & -0,2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & -0,2 & -0,2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right]_{(6 \times 6)}$$

\longrightarrow 1. düğüm noktası
 \longrightarrow 2. düğüm noktası
 \longrightarrow Mafsal sarti
 \longrightarrow 3. düğüm noktası

1. Eleman 2. 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:

$$\underline{k}_r = \left[\begin{array}{ccc|ccc} 1350000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 112500 & 56250 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 56250 & 112500 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1350000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 112500 & 56250 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 56250 & 112500 \end{array} \right]_{(6 \times 6)}$$

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

$$\underline{K}_r = \left[\begin{array}{cccccc} 112500 & -27000 & 20250 & 56250 & 0 & 0 \\ -27000 & 1844640 & 641520 & -27000 & 0 & -1350000 \\ 20250 & 641520 & 882360 & -13500 & 13500 & 0 \\ 56250 & -27000 & -13500 & 225000 & -33750 & 0 \\ 0 & 0 & 13500 & -33750 & 13500 & 0 \\ 0 & -1350000 & 0 & 0 & 0 & 1350000 \end{array} \right]$$

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

Yalnız 1 no'lu elemanda yük mevcuttur. Tablo ile $\bar{\underline{S}}_R^i$ ler oluşturulur. Ancak tablolardan bulunan değerler yerel koordinatlara göreler. Fiktif düğüm noktası kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için tablodan okunan değerler koordinat transformasyon matrisi \underline{L}_D^i ile çarpilip genel koordinat sistemine dönüştürülmelidir.

$$\underline{L}_D^i \cdot \bar{\underline{S}}_R^i = \underline{S}_R^i \rightarrow \left[\begin{array}{ccc|ccc} 0,6 & -0,8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,8 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0,6 & -0,8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 0 \\ 25 \\ -20,833 \\ 0 \\ 25 \\ 20,833 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} -20 \\ 15 \\ -20,833 \\ -20 \\ 15 \\ 20,833 \end{array} \right]$$

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:

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

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 yük vektörü matrisi 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.

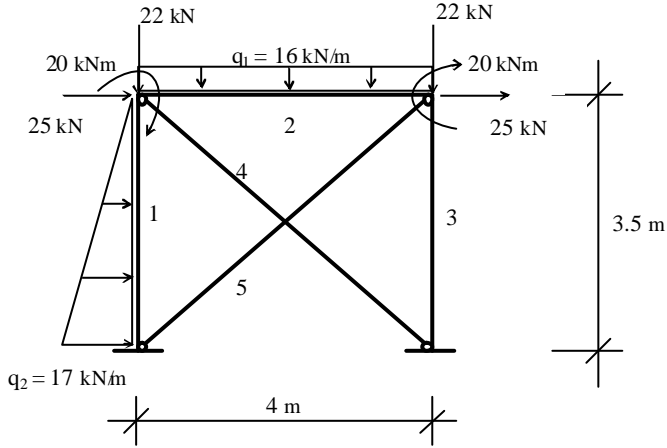
$$\underline{r} = \begin{bmatrix} 3,407 \cdot 10^{-3} \\ 1,097 \cdot 10^{-3} \\ -8,21 \cdot 10^{-3} \\ 1,777 \cdot 10^{-3} \\ 1,265 \cdot 10^{-3} \\ 1,097 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}, \quad \underline{F} = \begin{bmatrix} \underline{F}^1 \\ \underline{F}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 \\ 20,83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

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

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

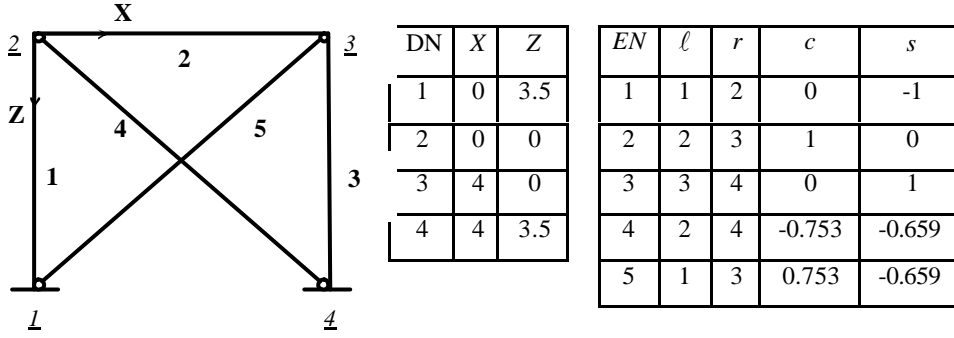
Eleman No	I (m ⁴)	F (m ²)
1	8.333·10 ⁶	1.00·10 ⁻²
2	2.637·10 ⁶	5.63·10 ⁻³
3	8.333·10 ⁶	1.00·10 ⁻²
4	5.208·10 ⁷	2.50·10 ⁻³
5	5.208·10 ⁷	2.50·10 ⁻³

Örnek 5 : Sekilde görülen sistem matris deplasman yöntemi ile, verilen dis yükler durumu için çözülmüş ve sistemde meydana gelen iç kuvvetler hesaplanarak kesit tesirleri diyagramları çizilmiştir.



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

1. Dügüm noktası ve eleman tabloları hazırlanır.



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

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

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

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

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

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

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

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

$$(\underline{a})^T = \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc|ccc|ccc} 0 & 0.286 & 0.286 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.753 & -0.124 & -0.124 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -0.25 & -0.25 & 0 & 0 & 0 & 0.659 & 0.142 & 0.142 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.286 & 0.286 & 0 & 0 & 0 & 0.753 & 0.124 & 0.124 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.659 & 0.142 & 0.142 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \begin{array}{l} \underline{2} \\ \underline{3} \end{array}$$

1 2 3 4 5

4. Eleman Rijitlik matrisleri tablolar yardimiyla hesaplanir.

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

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

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

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

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

6. $\underline{K}_r = a^T \cdot \underline{k}_r \cdot a$ 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 ankastrelik uç kuvvet vektörü $\bar{\underline{S}}_R^i$ tablo yardımıyla hesaplandıktan sonra tüm sistemde \underline{S}_R ;

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

Buradan fiktif düğüm noktası yük vektörü,

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

Seklinde 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,

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

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, $\underline{S}^i = \underline{T}^i \cdot \underline{F}^i$ bağıntısı ile eleman uç iç kuvvetleri hesaplanır.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

