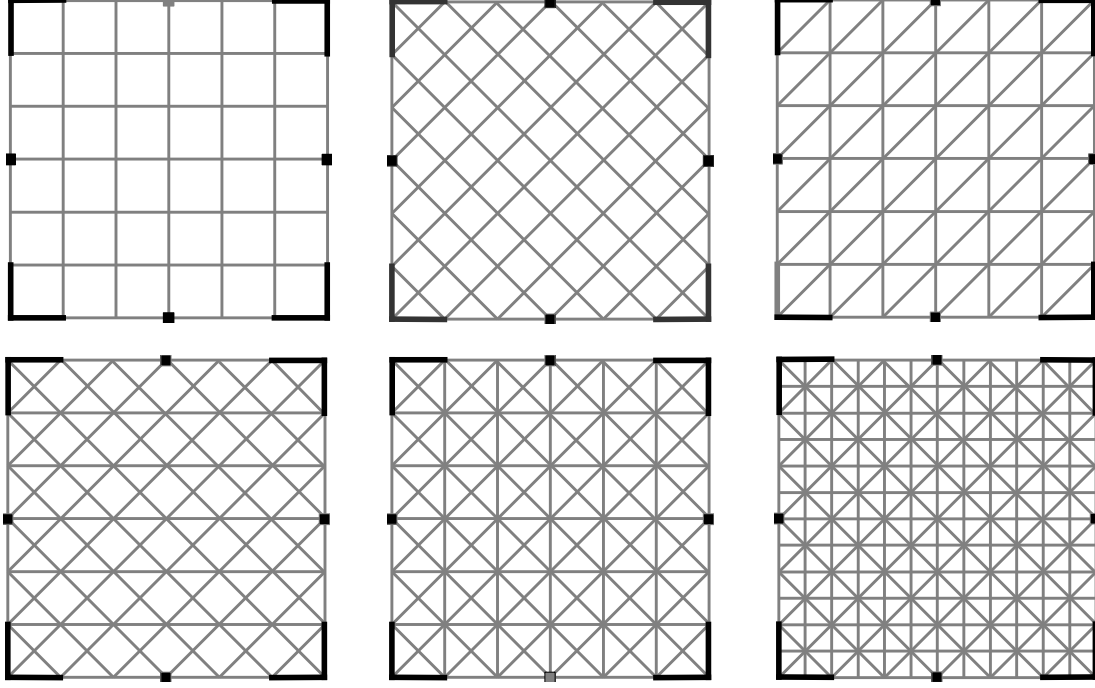


10. Düzlem kaset sistem

Sekil 10.1 deki, kirişlerden oluşan sisteme kaset sistem veya ızgara kiriş sistem denir. Sinema, konferans salonu, AVM gibi büyük açıklıklı döşeme veya köprü tabliyesi inşaatında kullanılır. Tüm kirişler yatay düzlemindedir. Kolonlar ve perdeler genellikle kenar akslar üzerindedir. 10-20 m açıklıklı alanlar, ortada kolon olmadan, kaset döşeme ile kapatılabilir. İki doğrultuda dişli ve asmolen döşemeler de kaset sistemdir.



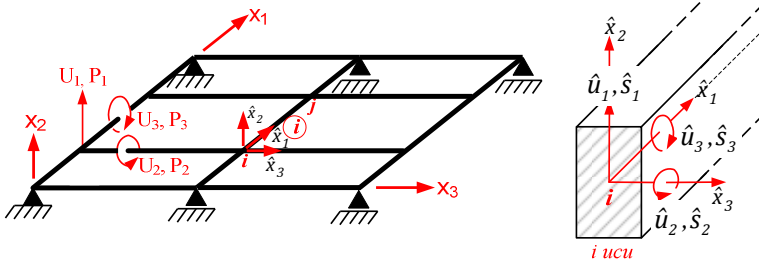
Şekil 10.1: Kaset sistem kiriş düzenleme türleri

10.1 Kaset eleman bağıntıları

Kaset sistemin modellenmesi şekil 10.2 de gösterilmiştir. Tüm kirişler x_1 , x_3 yatay düzlemindedir. Düğümler arasında kalan kiriş parçası bir elemandır. Yükler x_2 doğrultusunda etkir, x_1 - x_3 düzlemine diktir. x_1 ve x_3 yönünde yer değiştirme yoktur. Kirişlerde aksel kuvvet oluşmadığı varsayılır. Kesme kuvvetinin etkisi ihmal edilmektedir.

Sistemin herhangi bir noktasında serbestlik derecesi=3 tür: x_2 doğrultusunda yer değiştirme, x_3 etrafında dönme, x_1 etrafında dönme. Bunlar şekilde U_1, U_2, U_3 ile gösterilmiştir. Bu yer değiştirmeler yönünde P_1, P_2, P_3 ile gösterilen verilmiş düğüm kuvvetleri veya reaksiyon kuvvetleri vardır.

Elemanın serbestlik derecesi 6 dır. Elemanda kesme kuvveti, eğilme ve burulma momenti oluşur. i ucundaki kesme kuvveti \hat{s}_1 , eğilme momenti \hat{s}_2 ve burulma momenti \hat{s}_3 ile gösterilmiştir. Şekilde gösterilmemiş olan j ucunda da \hat{s}_4 kesme kuvveti, \hat{s}_5 eğilme momenti ve \hat{s}_6 burulma momenti vardır. Elemanın bu yerel kuvvetleri yönünde tanımlanmış yer değiştirmeler $\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_6$ dır. Kaset sistem hesabında kullanılacak elemanın bağıntıları, teoriye girmeden, özet olarak verilecektir.



Şekil 10.2: Kaset sistem

x_1, x_2, x_3 : Genel eksenler

U_1, U_2, U_3, \dots : Sistem yer değiştirmeleri

P_1, P_2, P_3, \dots : Sistem düğüm yükleri

\underline{U} : Sistem yer değiştirme vektörü

\underline{P} : Sistem yük vektörü

i, j : Elemanın bağlı olduğu düğüm no.

i yerel orijindir. \hat{x}_1 daima çubuk eksenidir, i

den j ye yönelmiştir. Eleman x_1 - x_3

düzlemindedir. Yükler x_2 doğrultusundadır

x_{3i}, x_{1i} : i noktasının koordinatları

x_{3j}, x_{1j} : j noktasının koordinatları

$\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3$: Yerel eksenler

E: Elastisite modülü

G: Kayma modülü

I_3 : \hat{x}_3 Yerel eksenine göre eğilme atalet momenti

J: Burulma atalet momenti

L: Eleman boyu

$\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_6$: Yerel yer değiştirmeler

$\hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_6$: Yerel kuvvetler

\hat{u} : Yerel yer değiştirme vektörü

\hat{s} : Yerel kuvvet vektörü

\hat{k}^i : Yerel rijitlik matrisi

u_1, u_2, \dots, u_6 : Genel yer değiştirmeler

s_1, s_2, \dots, s_6 : Genel kuvvetler

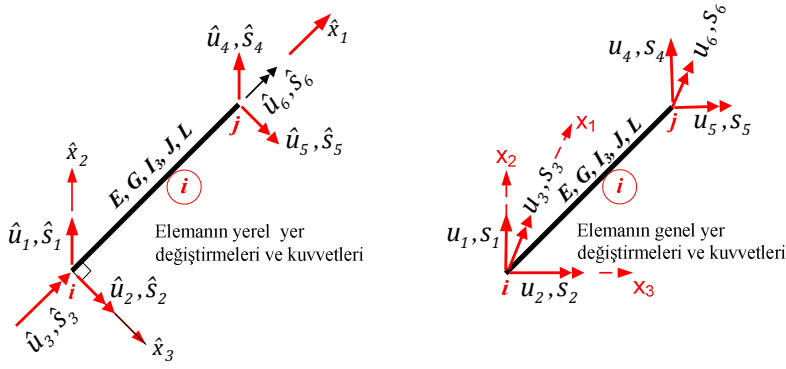
u : Genel yer değiştirme vektörü

s : Genel kuvvet vektörü

T : Transformasyon matrisi

k^i : Genel rijitlik matrisi

10. Düzlem kaset sistem



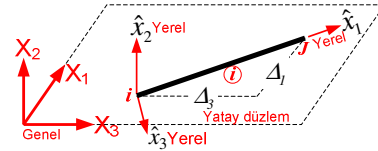
Şekil 10.3: Kaset eleman

$$\hat{u}^i = \begin{bmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \\ \hat{u}_3 \\ \hat{u}_4 \\ \hat{u}_5 \\ \hat{u}_6 \end{bmatrix} \quad \hat{s}^i = \begin{bmatrix} \hat{s}_1 \\ \hat{s}_2 \\ \hat{s}_3 \\ \hat{s}_4 \\ \hat{s}_5 \\ \hat{s}_6 \end{bmatrix}$$

\hat{u}_1 : i noktasında \hat{x}_2 yönünde yer değiştirme
 \hat{u}_2 : i noktasında \hat{x}_3 etrafında dönme
 \hat{u}_3 : i noktasında \hat{x}_1 etrafında dönme
 \hat{u}_4 : j noktasında \hat{x}_2 yönünde yer değiştirme
 \hat{u}_5 : j noktasında \hat{x}_3 etrafında dönme
 \hat{u}_6 : j noktasında \hat{x}_1 etrafında dönme
 \hat{s}_1 : i noktasında \hat{x}_2 yönünde kesme kuvveti
 \hat{s}_2 : i noktasında \hat{x}_3 etrafında eğilme momenti
 \hat{s}_3 : i noktasında \hat{x}_1 etrafında burulma momenti
 \hat{s}_4 : j noktasında \hat{x}_2 yönünde kesme kuvveti
 \hat{s}_5 : j noktasında \hat{x}_3 etrafında eğilme momenti
 \hat{s}_6 : j noktasında \hat{x}_1 etrafında burulma momenti

$$\Delta_3 = x_{3j} - x_{3i}, \quad \Delta_1 = x_{1j} - x_{1i}, \quad L = \sqrt{\Delta_3^2 + \Delta_1^2}, \quad c_3 = \frac{\Delta_3}{L}, \quad c_1 = \frac{\Delta_1}{L}$$

$$T^i = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & c_1 & -c_3 & & & \\ & c_3 & c_1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & c_1 & -c_3 \\ & & & & c_3 & c_1 \end{bmatrix} \quad \text{Elemannın transformasyon matrisi}$$



(10.1)

$$\hat{u}^i = T^i u^i \quad (10.2)$$

$$\hat{k}^i = \begin{bmatrix} 12 \frac{EI_3}{L^3} & 6 \frac{EI_3}{L^2} & 0 & -12 \frac{EI_3}{L^3} & 6 \frac{EI_3}{L^2} & 0 \\ 6 \frac{EI_3}{L^2} & 4 \frac{EI_3}{L} & 0 & -6 \frac{EI_3}{L^2} & 2 \frac{EI_3}{L} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} \\ -12 \frac{EI_3}{L^3} & -6 \frac{EI_3}{L^2} & 0 & 12 \frac{EI_3}{L^3} & -6 \frac{EI_3}{L^2} & 0 \\ 6 \frac{EI_3}{L^2} & 2 \frac{EI_3}{L} & 0 & -6 \frac{EI_3}{L^2} & 4 \frac{EI_3}{L} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} \end{bmatrix} \quad \text{Elemannın yerel rijitlik matrisi} \quad (10.3)$$

\hat{s}^i eleman üzerindeki yüklerin eşdeğeri (ankastrelik kuvvetleri) olmak üzere:

$$\hat{k}^i \hat{u}^i + \hat{s}^i = \hat{s}^i \quad (10.4)$$

$$\hat{k}^i = (T^i)^T \hat{k}^i T^i : \quad (10.5)$$

$$\hat{k}^i = \begin{bmatrix} 12 \frac{EI_3}{L^3} & 6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & -6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 & -12 \frac{EI_3}{L^3} & 6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & -6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 \\ 6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & 4 \frac{EI_3}{L} c_1^2 + \frac{GJ}{L} c_3^2 & -4 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 + \frac{GJ}{L} c_3 c_1 & -6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & 2 \frac{EI_3}{L} c_1^2 - \frac{GJ}{L} c_3^2 & -2 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 - \frac{GJ}{L} c_3 c_1 \\ -6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 & -4 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 + \frac{GJ}{L} c_3 c_1 & 4 \frac{EI_3}{L} c_3^2 + \frac{GJ}{L} c_1^2 & 6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 & -2 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 - \frac{GJ}{L} c_3 c_1 & 2 \frac{EI_3}{L} c_3^2 - \frac{GJ}{L} c_1^2 \\ -12 \frac{EI_3}{L^3} & -6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & 6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 & 12 \frac{EI_3}{L^3} & -6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & 6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 \\ 6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & 2 \frac{EI_3}{L} c_1^2 - \frac{GJ}{L} c_3^2 & -2 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 - \frac{GJ}{L} c_3 c_1 & -6 \frac{EI_3}{L^2} c_1 & 4 \frac{EI_3}{L} c_1^2 + \frac{GJ}{L} c_3^2 & -4 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 + \frac{GJ}{L} c_3 c_1 \\ -6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 & -2 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 - \frac{GJ}{L} c_3 c_1 & 2 \frac{EI_3}{L} c_3^2 - \frac{GJ}{L} c_1^2 & 6 \frac{EI_3}{L^2} c_3 & -4 \frac{EI_3}{L} c_3 c_1 + \frac{GJ}{L} c_3 c_1 & 4 \frac{EI_3}{L} c_3^2 + \frac{GJ}{L} c_1^2 \end{bmatrix} \quad \text{Elemannın genel rijitlik matrisi} \quad (10.6)$$

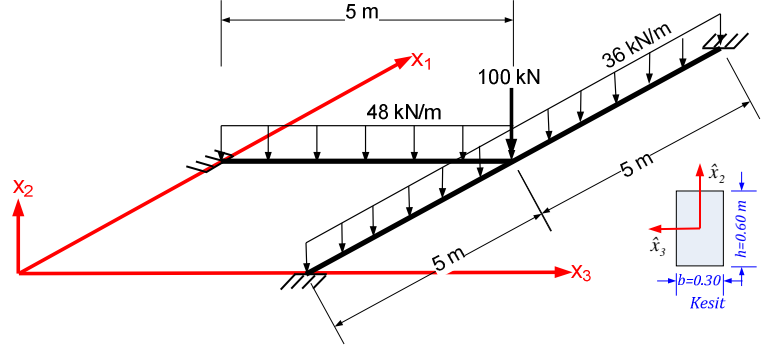
10. Düzlem kaset sistem

Sayısal örnek 10.1

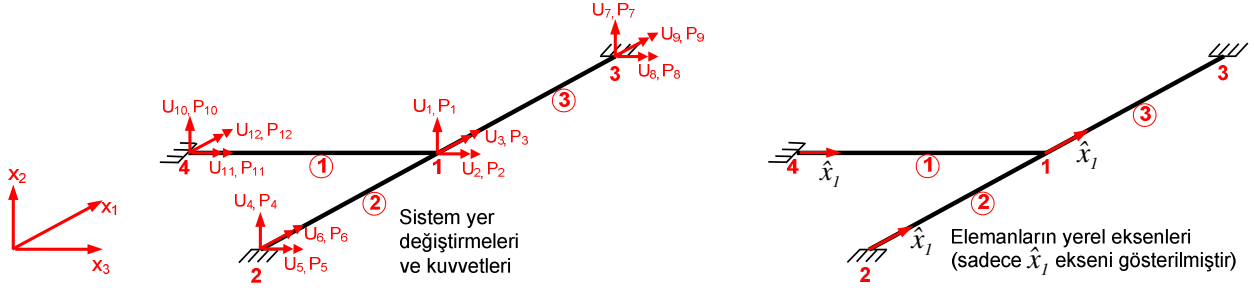
Şekil 10.4 deki kaset sistem C30/37 betonla inşa edilecektir. Kirişler x_3-x_1 düzleminde ve birbirine diktir. Yayılı yükler kirişlere diktir.

Kesme, eğilme momenti ve burulma momenti diyagramlarını çiziniz.

Sistem 3 elemanla modellenmiştir. Seçilen koordinat sistemleri, numaralandırma, düğüm yer değiştirmelerinin ve yüklerin adları şekil 10.5 de verilmiştir. Sistemin serbestlik derecesi 12 dir.



Şekil 10.4: Çözülmesi istenen kaset sistem



Şekil 10.5: Koordinat sistemleri ve numaralandırma

Elastisite modülü: $E=32000 \text{ N/mm}^2$ (TS 500-2000 den) $=32 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$
Kayma Modülü: $G=0.40 E=0.4 \cdot 32 \cdot 10^6=128 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$

Eğilme atalet momenti: $I_3=0.30 \cdot 0.60^3/12=54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Burulma atalet momenti:

$b < h$ olduğundan: $J = \frac{hb^3}{3} (1 - 0.63 \frac{b}{h} + 0.053 \frac{b^5}{h^5}) = \frac{0.6 \cdot 0.3^3}{3} (1 - 0.63 \frac{0.3}{0.6} + 0.053 \frac{0.3^5}{0.6^5}) = 0.0037 \text{ m}^4$ Bak: EK5

Düğüm serbestlik derecesi 3, sistem serbestlik derecesi $=3 \cdot 4=12$.

El hesaplarını kolaylaştırmak için aşağıdaki çizelgeyi hazırlamak yararlıdır. Birimler kN ve m dir.

Eleman	E	G	I_3	J	i ucu	j ucu	Koordinatlar		Δ_3	Δ_1	L	EI_3/L	GJ/L	$c_3 = \frac{\Delta_1}{L}$	$c_1 = \frac{\Delta_2}{L}$
							i	j							
1	$32 \cdot 10^6$	$128 \cdot 10^5$	$54 \cdot 10^{-4}$	$37 \cdot 10^{-4}$	4	1	0,5	5,5	5	0	5	34560	9472	1	0
2	$32 \cdot 10^6$	$128 \cdot 10^5$	$54 \cdot 10^{-4}$	$37 \cdot 10^{-4}$	2	1	5,0	5,5	0	5	5	34560	9472	0	1
3	$32 \cdot 10^6$	$128 \cdot 10^5$	$54 \cdot 10^{-4}$	$37 \cdot 10^{-4}$	1	3	5,5	5,10	0	5	5	34560	9472	0	1

Yerel rijitlik matrisleri:

$$\underline{\hat{k}}^1 = \underline{\hat{k}}^2 = \underline{\hat{k}}^3 = \begin{bmatrix} 16589 & 41472 & 0 & -16589 & 41472 & 0 \\ 41472 & 138240 & 0 & -41472 & 69120 & 0 \\ 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & -9472 \\ -16589 & -41472 & 0 & 16589 & -41472 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 138240 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 \end{bmatrix} \quad \text{Bak: 10.3}$$

Eleman transformasyon matrisleri ve genel rijitlik matrisleri:

$$\underline{T}^1 = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & 0 & -1 & & & \\ & 1 & 0 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 0 & -1 \\ & & & & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \underline{k}^1 = (\underline{T}^1)^T \underline{\hat{k}}^1 \underline{T}^1 = \begin{bmatrix} 16589 & 41472 & 0 & -16589 & 0 & -41472 \\ 0 & 9472 & 0 & 0 & 0 & -9472 \\ -41472 & 0 & 138240 & 41472 & 0 & 69120 \\ -16589 & 0 & 41472 & 16589 & 0 & 41472 \\ 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 & 0 \\ -41472 & 0 & 69120 & 41472 & 0 & 138240 \end{bmatrix}$$

$$\underline{T}^2 = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & 1 & & & & \\ & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}, \quad \underline{k}^2 = (\underline{T}^2)^T \underline{\hat{k}}^2 \underline{T}^2 = \begin{bmatrix} 16589 & 41472 & 0 & -16589 & 41472 & 0 \\ 41472 & 138240 & 0 & -41472 & 69120 & 0 \\ 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & -9472 \\ -16589 & -41472 & 0 & 16589 & -41472 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 138240 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 \end{bmatrix}$$

10. Düzlem kaset sistem

$$T^3 = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & 1 & & & & \\ & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}, \quad \underline{k}^3 = (T^3)^T \hat{k}^3 T^3 = \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{3} \end{array} \left[\begin{array}{ccc|ccc} 16589 & 41472 & 0 & -16589 & 41472 & 0 \\ 41472 & 138240 & 0 & -41472 & 69120 & 0 \\ 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & -9472 \\ \hline -16589 & -41472 & 0 & 16589 & -41472 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 138240 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 \end{array} \right]$$

Sistem rijitlik matrisi: Bak: 6.6

$$\underline{K}_D = \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{4} \end{array} \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc|ccc} 49767 & 0 & 41472 & -16989 & -41472 & 0 & -16989 & 41472 & 0 & -16589 & 0 & 41472 \\ 0 & 285952 & 0 & 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 69120 & 0 & 0 & -9472 & 0 \\ 41472 & 0 & 157184 & 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & -9472 & -41472 & 0 & 69120 \\ \hline -16989 & 41472 & 0 & 16589 & 41472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -41472 & 69120 & 0 & 41472 & 138240 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -16989 & -41472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16589 & -41472 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & 0 & 0 & 0 & -41472 & 138240 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -16589 & 0 & -41472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16589 & 0 & -41472 \\ 0 & -9472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9472 & 0 \\ 41472 & 0 & 69120 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -41472 & 0 & 13840 \end{array} \right]$$

Elemanların eşdeğer yükleri: Bak: EK2

$$\begin{array}{c} \mathbf{4} \\ \mathbf{1} \end{array} \left[\begin{array}{c} 120 \\ 100 \\ 0 \\ 120 \\ -100 \\ 0 \end{array} \right], \quad \begin{array}{c} \mathbf{2} \\ \mathbf{1} \end{array} \left[\begin{array}{c} 90 \\ 75 \\ 0 \\ 90 \\ -75 \\ 0 \end{array} \right], \quad \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{3} \end{array} \left[\begin{array}{c} 90 \\ 75 \\ 0 \\ 90 \\ -75 \\ 0 \end{array} \right] \xrightarrow{\text{DÖNÜŞTÜR}} \begin{array}{c} \mathbf{4} \\ \mathbf{1} \end{array} \left[\begin{array}{c} 120 \\ 0 \\ -100 \\ 120 \\ 0 \\ 100 \end{array} \right], \quad \begin{array}{c} \mathbf{2} \\ \mathbf{1} \end{array} \left[\begin{array}{c} 90 \\ 75 \\ 0 \\ 90 \\ -75 \\ 0 \end{array} \right], \quad \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{3} \end{array} \left[\begin{array}{c} 90 \\ 75 \\ 0 \\ 90 \\ -75 \\ 0 \end{array} \right]$$

Sistem yük vektörü: $\underline{P}_0 = \text{Düğümelerde verilmiş yükler} + \text{Elemanların düğümlere aktarılmış eşdeğer yükleri}$

$$\underline{P}_{\text{eşdeğer}} = \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{4} \end{array} \left[\begin{array}{c} -120 \\ 0 \\ -100 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -120 \\ 0 \\ 100 \end{array} \right] + \begin{array}{c} \mathbf{2} \\ \mathbf{1} \end{array} \left[\begin{array}{c} -90 \\ 75 \\ 0 \\ -90 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] + \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{3} \end{array} \left[\begin{array}{c} -90 \\ -75 \\ 0 \\ 90 \\ 75 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] = \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{4} \end{array} \left[\begin{array}{c} -300 \\ 0 \\ -100 \\ -90 \\ 0 \\ 0 \\ -120 \\ 100 \end{array} \right]$$

1. elemandan 2. elemandan 3. elemandan P_{eşdeğer}

$$\underline{P}_0 = \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{4} \end{array} \left[\begin{array}{c} -100 \\ 0 \\ 0 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \\ P_8 \\ P_9 \\ P_{10} \\ P_{11} \\ P_{12} \end{array} \right] + \begin{array}{c} \mathbf{2} \\ \mathbf{1} \end{array} \left[\begin{array}{c} -300 \\ 0 \\ -100 \\ -90 \\ -75 \\ 0 \\ -90 \\ 75 \\ 0 \\ -120 \\ 100 \end{array} \right] = \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{4} \end{array} \left[\begin{array}{c} -400 \\ 0 \\ -100 \\ P_4 - 90 \\ P_5 - 75 \\ P_6 \\ P_7 - 90 \\ P_8 + 75 \\ P_9 \\ P_{10} - 120 \\ P_{11} \\ P_{12} + 100 \end{array} \right]$$

Sistem yük vektörü.
P₄, P₅, ... P₁₂, Reaksiyonlar

Sistemin denge koşulu: $\underline{K}_0 \underline{U} = \underline{P}_0$

$$\underline{K}_0 \underline{U} = \underline{P}_0$$

$$\begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{4} \end{array} \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc|ccc} 49767 & 0 & 41472 & -16989 & -41472 & 0 & -16989 & 41472 & 0 & -16589 & 0 & 41472 \\ 0 & 285952 & 0 & 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 69120 & 0 & 0 & -9472 & 0 \\ 41472 & 0 & 157184 & 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & -9472 & -41472 & 0 & 69120 \\ \hline -16989 & 41472 & 0 & 16589 & 41472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -41472 & 69120 & 0 & 41472 & 138240 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -16989 & -41472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16589 & -41472 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & 0 & 0 & 0 & -41472 & 138240 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -16589 & 0 & -41472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16589 & 0 & -41472 \\ 0 & -9472 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9472 & 0 \\ 41472 & 0 & 69120 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -41472 & 0 & 13840 \end{array} \right] \begin{array}{c} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ U_7 \\ U_8 \\ U_9 \\ U_{10} \\ U_{11} \\ U_{12} \end{array} = \begin{array}{c} \mathbf{1} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{4} \end{array} \left[\begin{array}{c} -400 \\ 0 \\ -100 \\ P_4 - 90 \\ P_5 - 75 \\ P_6 \\ P_7 - 90 \\ P_8 + 75 \\ P_9 \\ P_{10} - 120 \\ P_{11} \\ P_{12} + 100 \end{array} \right]$$

10. Düzlem kaset sistem

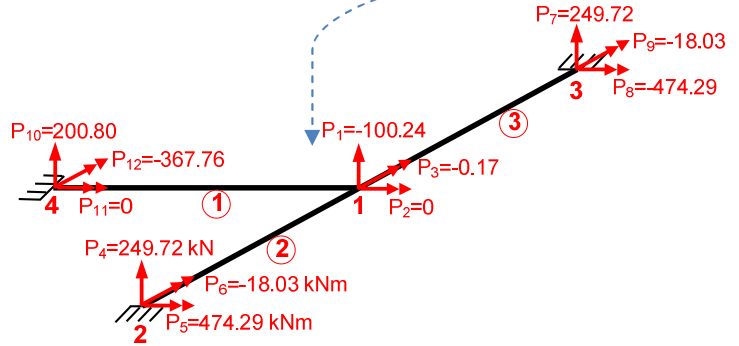
Sınır koşulları: $1^{\circ}U_4=0$, $1^{\circ}U_5=0$, $1^{\circ}U_6=0$, $1^{\circ}U_7=0$, $1^{\circ}U_8=0$, $1^{\circ}U_9=0$, $1^{\circ}U_{10}=0$, $1^{\circ}U_{11}=0$, $1^{\circ}U_{12}=0$

Sınır koşullarının işlenmesi ve denklem sisteminin çözümü: $\underline{K}U = \underline{P}$ Bak: 6.4

$$\begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc|ccc} 49767 & 0 & 41472 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 285952 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 41472 & 0 & 157184 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ U_7 \\ U_8 \\ U_9 \\ U_{10} \\ U_{11} \\ U_{12} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} -400 \\ 0 \\ -100 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \end{array} \xrightarrow{\text{ÇÖZÜM}} \begin{array}{c} \begin{array}{c} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ U_7 \\ U_8 \\ U_9 \\ U_{10} \\ U_{11} \\ U_{12} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array}$$

Denge kontrolü ve reaksiyonlar: $\underline{P}_{hesap} = \underline{K}_0 \underline{U}$

$$\begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc|ccc} 49767 & 0 & 41472 & -16989 & -41472 & 0 \\ 0 & 285952 & 0 & 41472 & 69120 & 0 \\ 41472 & 0 & 157184 & 0 & 0 & -9472 \\ \hline -16989 & 41472 & 0 & 16589 & 41472 & 0 \\ -41472 & 69120 & 0 & 41472 & 138240 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 \\ \hline -16989 & -41472 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 0 \\ \hline -16589 & 0 & -41472 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9472 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 41472 & 0 & 69120 & 0 & 0 & 0 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} -16989 & 41472 & 0 \\ -41472 & 69120 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 \\ \hline 16589 & -41472 & 0 \\ 0 & 0 & 9472 \\ 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9472 & 0 \\ -41472 & 0 & 13840 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} -0.009623 \\ 0 \\ 0.001903 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} -100.24 \\ 0 \\ -0.17 \\ 249.72 \\ 474.29 \\ -18.03 \\ 249.72 \\ -474.29 \\ -18.03 \\ 200.80 \\ 0 \\ -367.76 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \underline{P}_{hesap}$$



Elemanların genel yer değiştirmeleri:

$$\underline{u}^1 = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 4 \\ 1 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \end{array} \end{array} \underline{u}^1 \quad \underline{u}^2 = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 2 \\ 1 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \end{array} \end{array} \underline{u}^2 \quad \underline{u}^3 = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \\ 3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \\ 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \end{array} \end{array} \underline{u}^3$$

Elemanların yerel yer değiştirmeleri: $\hat{u}^i = T^i u^i$

$$\hat{u}^1 = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \\ 4 \\ 1 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 1 & & \\ & 0 & -1 \\ & 1 & 0 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \end{array} \end{array} \underline{u}^1 = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 4 \\ 1 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ -0.001903 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \end{array} \end{array} \hat{u}^1$$

10. Düzlem kaset sistem

$$\hat{u}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \end{bmatrix}$$

$$\hat{u}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \\ 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \\ 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \end{bmatrix}$$

Elemanların yerel kuvvetleri: $\hat{k}^i \hat{u}^i + \hat{s}^i = \hat{f}^i$

Eleman eşdeğer kuvvetleri

$$\hat{f}^1 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1 \\ \hat{f}_2 \\ \hat{f}_3 \\ \hat{f}_4 \\ \hat{f}_5 \\ \hat{f}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16589 & 41472 & 0 & -16589 & 41472 & 0 \\ 41472 & 138240 & 0 & -41472 & 69120 & 0 \\ 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & -9472 \\ -16589 & -41472 & 0 & 16589 & -41472 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 138240 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ -0.001903 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 120 \\ 100 \\ 120 \\ -100 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 200.71 \text{ kN} \\ 367.55 \text{ kNm} \\ 0 \text{ kNm} \\ 39.29 \text{ kN} \\ 36.01 \text{ kNm} \\ 0 \text{ kNm} \end{bmatrix}$$

$$\hat{f}^2 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1 \\ \hat{f}_2 \\ \hat{f}_3 \\ \hat{f}_4 \\ \hat{f}_5 \\ \hat{f}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16589 & 41472 & 0 & -16589 & 41472 & 0 \\ 41472 & 138240 & 0 & -41472 & 69120 & 0 \\ 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & -9472 \\ -16589 & -41472 & 0 & 16589 & -41472 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 138240 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \\ -0.009623 \text{ m} \\ 0.001903 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 90 \\ 75 \\ 0 \\ 90 \\ -75 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 249.63 \text{ kN} \\ 474.09 \text{ kNm} \\ -18.03 \text{ kNm} \\ -69.63 \text{ kN} \\ 324.09 \text{ kNm} \\ 18.03 \text{ kNm} \end{bmatrix}$$

$$\hat{f}^3 = \begin{bmatrix} \hat{f}_1 \\ \hat{f}_2 \\ \hat{f}_3 \\ \hat{f}_4 \\ \hat{f}_5 \\ \hat{f}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16589 & 41472 & 0 & -16589 & 41472 & 0 \\ 41472 & 138240 & 0 & -41472 & 69120 & 0 \\ 0 & 0 & 9472 & 0 & 0 & -9472 \\ -16589 & -41472 & 0 & 16589 & -41472 & 0 \\ 41472 & 69120 & 0 & -41472 & 138240 & 0 \\ 0 & 0 & -9472 & 0 & 0 & 9472 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.009623 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0.001903 \text{ rad} \\ 0 \text{ m} \\ 0 \text{ rad} \\ 0 \text{ rad} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 90 \\ 75 \\ 0 \\ 90 \\ -75 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -69.63 \text{ kN} \\ -324.09 \text{ kNm} \\ 18.03 \text{ kNm} \\ 249.63 \text{ kN} \\ -474.09 \text{ kNm} \\ -18.03 \text{ kNm} \end{bmatrix}$$

Diyagramlar:

