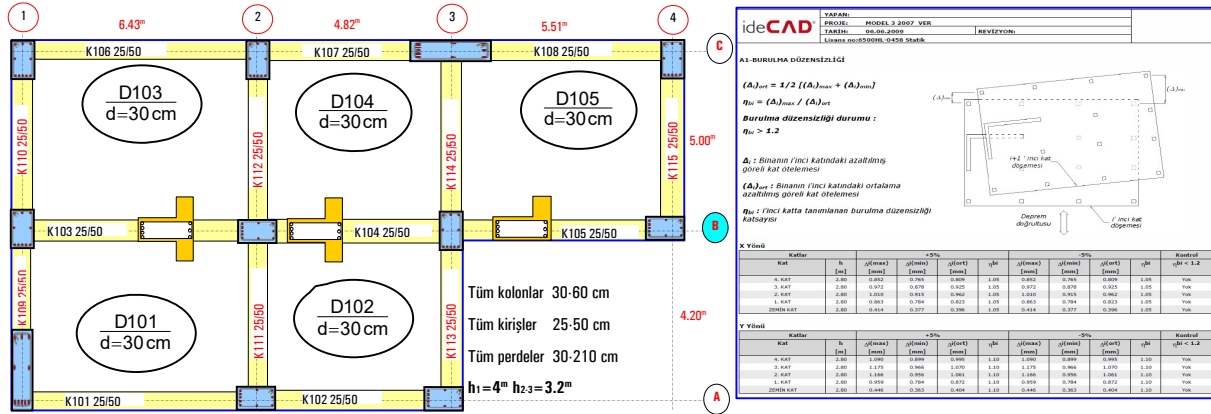


Uygulama: Şekilde döşemesi rijit olan tek katlı yapıda $T_\theta = ?$ ($C30/35 E = 32 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$).



Çözüm: Düşey taşıyıcı kolon ve perdelerin rijitlikleri hesaplanır.

$$K_{1Ax} = [12 \cdot E \cdot I / h^3] = [12 \cdot 32 \cdot 10^6 \cdot (0.3^3 \cdot 2.1 / 12) / 4^3] = 28350 \text{ kN/m}$$

$$K_{1Ay} = [12 \cdot E \cdot I / h^3] = [12 \cdot 32 \cdot 10^6 \cdot (0.30 \cdot 2.1^3 / 12) / 4^3] = 1389150 \text{ kN/m}$$

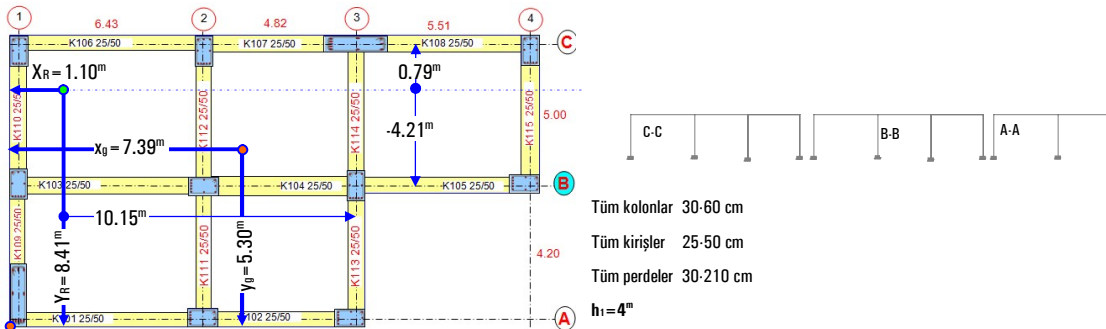
$$\text{Yapının kütle merkezi } x_g = \frac{(16.76 \cdot 9.2) \cdot 16.76 \cdot 0.5 - 5.51 \cdot 4.2 \cdot (6.43 + 4.82 + 5.51 \cdot 0.5)}{16.76 \cdot 9.2 - 5.51 \cdot 4.2} = 7.39 \text{ m}$$

$$y_g = \frac{(16.76 \cdot 9.2) \cdot 9.2 \cdot 0.5 - 5.51 \cdot 4.2 \cdot 4.2 \cdot 0.5}{16.76 \cdot 9.2 - 5.51 \cdot 4.2} = 5.04 \text{ m}$$

3. bölümde rijitlik değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

X-X	Y-Y
$Y_{Ri} = \frac{k_{xi} \cdot y_i}{\sum k_{xi}} = \frac{13343940}{1587600} = 8.41 \text{ m} \quad y_g = 5.04 \text{ m}$ $e_y = Y_{Ri} - y_g = 8.41 - 5.04 = 3.37 \text{ m}$	$X_{Ri} = \frac{k_{yi} \cdot x_i}{\sum k_{yi}} = \frac{1765840.5}{1611900} = 1.10 \text{ m} \quad x_g = 7.39 \text{ m}$ $e_x = X_{Ri} - x_g = 1.10 - 7.39 = -6.29 \text{ m}$
Burulma rijitliği $K_\theta = D = y^2 \sum K_x + x^2 \sum K_y = 121063248 + 22099543.07 = 143162791.07$ X yönü $T_x = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_x}} = 2\pi \sqrt{\frac{167.42}{1587600}} = 0.0645 \text{ s}$ Y yönü $T_y = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_y}} = 2\pi \sqrt{\frac{167.42}{1611900}} = 0.064 \text{ s}$ Burulma $I_\theta = m \frac{a^2 + b^2}{12} = 167.42 \frac{16.76^2 + 9.2^2}{12} = 5100 \text{ kNm}^2 \quad T_\theta = 2\pi \sqrt{\frac{I_\theta}{K_\theta}} = 2\pi \sqrt{\frac{5100}{143162791.07}} = 0.0375 \text{ s}$	

Uygulama: 1. katın burulma rijitlik matrisi ve periyodunun hesabı.



$$\begin{aligned}
 X-X \left\{ \begin{aligned} 1. \text{ kat } K_{\text{kesme}} &= \frac{12EI}{h_1^3} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{4^3} \left[4 \left(\frac{0.3 \cdot 0.6^3}{12} \right) + 5 \left(\frac{0.6 \cdot 0.3^3}{12} \right) + \left(\frac{2.1 \cdot 0.3^3}{4} \right) + \left(\frac{0.3 \cdot 2.1^3}{4} \right) \right] = 1587600 \\ 2-3. \text{ kat } K_{\text{kesme}} &= \frac{12EI}{h_{2-3}^3} = [1587600 \cdot 4^3 / 3.2^3] = 3100781 \text{ kN/m} \end{aligned} \right. \\
 Y-Y \left\{ \begin{aligned} 1. \text{ kat } K_{\text{kesme}} &= \frac{12EI}{h_1^3} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{4^3} \left[5 \left(\frac{0.3 \cdot 0.6^3}{12} \right) + 4 \left(\frac{0.6 \cdot 0.3^3}{12} \right) + \left(\frac{2.1 \cdot 0.3^3}{4} \right) + \left(\frac{0.3 \cdot 2.1^3}{4} \right) \right] = 1611900 \\ 2-3. \text{ kat } K_{\text{kesme}} &= \frac{12EI}{h_{2-3}^3} = [1611900 \cdot 4^3 / 3.2^3] = 3148242 \text{ kN/m} \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

Burulma düzensizliği, yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmaması sonucu oluşur. Bu tür yapılar x ve y doğrultularında ötelenme hareketine ek olarak, yapı düşey eksen etrafında dönme davranışı da gösterirler. Eksantrisitenin ve yapıya etkiyen dinamik yüklerin derecesine bağlı olarak bu dönme davranışı, yapının büyük hasar almasına, hatta yıkılmasına sebep olur. Bu durum TBDY ve dünyada birçok deprem yönetmeliğinde bu davranışın sınırlarını belirlemektedir. TBDY burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.2$ kriterini sınır değer olarak almaktadır. Ayrıca görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak yapılır.

1. KAT RİJİTLİK ÖZELLİKLERİ											
Aks	Kolon	x_i	$I_x \text{ (m}^4\text{)} 10^{-3}$	$(x_i \cdot I_x) 10^{-3}$	$x_i - x_r$	$[x_i - x_r]^2 \cdot I_x 10^{-3}$	y_i	$I_y \text{ (m}^4\text{)} 10^{-3}$	$(y_i \cdot I_y) 10^{-3}$	$y_i - y_r$	$[y_i - y_r]^2 \cdot I_y 10^{-3}$
A	A1	0	231,525	0	-1,1	280,15	0	4,725	0	-8,41	334,19
	A2	6.43	1,35	8,68	5,33	38,35	0	5,400	0	-8,41	381,93
	A3	11.25	1,35	15,19	10,15	139,08	0	5,400	0	-8,41	381,93
B	B1	0	5,40	0	-1,1	6,53	4.2	1,350	5,67	-4,21	23,93
	B2	6.43	1,35	8,68	5,33	38,35	4.2	5,400	22,68	-4,21	95,71
	B3	11.25	5,4	60,75	10,15	556,32	4.2	1,350	5,67	-4,21	23,93
	B4	16.76	1,35	22,63	15,66	331,07	4.2	5,400	22,68	-4,21	95,71
C	C1	0	5,4	0	-1,1	6,53	9.2	1,350	12,42	0,79	0,84
	C2	6.43	5,4	34,72	5,33	153,41	9.2	1,350	12,42	0,79	0,84
	C3	11.25	4,725	53,16	10,15	486,78	9.2	231,53	2130,08	0,79	144,50
	C4	16.76	5,4	90,51	15,66	1324,27	9.2	1,350	12,42	0,79	0,84
			268,65	294,32		3360,84		264,605	2224,04		1484,35
$I_{xA} = 0.3 \cdot 2.1^3 / 12 = 0.231525 \text{ m}^4$ $x_r = \frac{\sum I_x \cdot x_i}{\sum I_x} = \frac{294.32}{268.65} = 1.10 \text{ m}$							$I_{yA} = 0.3^3 \cdot 2.1 / 12 = 0.004725 \text{ m}^4$ $y_r = \frac{\sum I_y \cdot y_i}{\sum I_y} = \frac{2224.04}{264.605} = 8.41 \text{ m}$				

Burulma tesirlerini anlayabilmek için en az iki ötelenme ve bir dönmeden oluşan üç serbestlik dereceli bir model kullanılması gerekir. Hesap kolaylığı bakımından, x ile y düzlemlerindeki ötelemeler ve z eksen etrafındaki dönme haricindeki serbestlikler ihmal edilebilir. Kütle merkezinin x doğrultusunda ötelenmesi Δ_x , y doğrultusunda ötelenmesi Δ_y , ve kütle merkezinden geçen z eksen etrafındaki dönmesi $\Delta\theta$ olan modele ait kütle ve rijitlik matrisleri en genel halde sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$X \text{ YÖNÜ } K_{xx} - k_{x1} - k_{x2} - k_{x3} - k_{x4} = 0 \rightarrow K_{xx} = \sum k_{xx} \quad K_{xy} = 0 \quad K_{\theta x} - y_1 k_{x1} - y_2 k_{x2} - y_3 k_{x3} - y_4 k_{x4} = 0 \rightarrow K_{\theta x} = \sum y_i k_{xi}$$

$$Y \text{ YÖNÜ } K_{yy} - k_{y1} - k_{y2} - k_{y3} - k_{y4} = 0 \rightarrow K_{yy} = \sum k_{yy} \quad K_{yx} = 0 \quad K_{\theta y} - x_1 k_{y1} - x_2 k_{y2} - x_3 k_{y3} - x_4 k_{y4} = 0 \rightarrow K_{\theta y} = \sum x_i k_{yi}$$

$$DÜŞEY K_{x\theta} + y_1 k_{x1} + y_2 k_{x2} + y_3 k_{x3} + y_4 k_{x4} = 0 \rightarrow K_{x\theta} = -\sum y_i k_{xi} \quad K_{y\theta} - x_1 k_{y1} - x_2 k_{y2} - x_3 k_{y3} - x_4 k_{y4} = 0 \rightarrow K_{y\theta} = \sum x_i k_{yi}$$

$$K_{\theta\theta} - x_1^2 k_{y1} - x_2^2 k_{y2} - x_3^2 k_{y3} - x_4^2 k_{y4} - y_1^2 k_{x1} - y_2^2 k_{x2} - y_3^2 k_{x3} - y_4^2 k_{x4} = 0 \rightarrow K_{\theta\theta} = \sum x_i^2 k_{yi} + y_i^2 k_{xi}$$

$$x = x_i - x_r \quad x^2 = [x_i - x_r]^2 \quad y = y_i - y_r \quad y^2 = [y_i - y_r]^2$$

$$K = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{x\theta} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{y\theta} \\ K_{\theta x} & K_{\theta y} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \rightarrow [K] = \frac{12E}{h^3} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N I_y & 0 & -\sum_{i=1}^N [y_i - y_r] \cdot I_y \\ 0 & \sum_{i=1}^N I_x & \sum_{i=1}^N [x_i - x_r] \cdot I_x \\ -\sum_{i=1}^N [y_i - y_r] \cdot I_y & \sum_{i=1}^N [x_i - x_r] \cdot I_x & \sum_{i=1}^N [x_i - x_r]^2 \cdot I_x + [y_i - y_r]^2 \cdot I_y \end{bmatrix}$$

Yukarıda kurulan rijitlik matrisinde değerler yerine yazılarak sistemin burulma rijitlik matrisi.

$$[K] = 10^{-3} \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{4^3} \begin{bmatrix} 264.605 & 0 & 0.90 \\ 0 & 268.65 & -1.88 \\ 0.90 & -1.88 & 3360.84 + 1484.35 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1587630 & 0 & 5400 \\ 0 & 1611900 & 11280 \\ 5400 & 11280 & 29071140 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{x\theta} \\ M_{yx} & M_{yy} & M_{y\theta} \\ M_{\theta x} & M_{\theta y} & M_{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad [M_{xy}; M_{x\theta}; M_{yx}; M_{\theta y}; M_{y\theta}; M_{\theta x}] \text{ ihmal edilir ve } I_\theta = m \frac{a^2 + b^2}{12} \rightarrow M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I_\theta \end{bmatrix}$$

$$I_\theta = m \frac{a^2 + b^2}{12} = 167.42 \frac{16.76^2 + 9.2^2}{12} = 5100 \text{ kNm}^2 \quad M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 167.42 & 0 & 0 \\ 0 & 167.42 & 0 \\ 0 & 0 & 5100 \end{bmatrix}$$

$$[K \cdot \omega^2 m] = \begin{bmatrix} 1587630 - \omega^2 167.42 & 0 & 5400 \\ 0 & 1611900 - \omega^2 167.42 & 11280 \\ 5400 & 11280 & 29071140 - \omega^2 5100 \end{bmatrix}$$

$$\det[K \cdot \omega^2 m] = 60 \cdot (-2.3825 \times 10^6 \omega^6 + 5.91124 \times 10^{10} \omega^4 - 4.77063 \times 10^{14} \omega^2 + 1.23993 \times 10^{18})$$

$$\left(\{\omega_1 = 75.50\} \rightarrow \begin{bmatrix} 1.000 \\ 2.012 \\ -117.279 \end{bmatrix} \right) \quad \left(\{\omega_2 = 97.38\} \rightarrow \begin{bmatrix} 1.000 \\ -0.222 \\ -0.00013 \end{bmatrix} \right) \quad \left(\{\omega_3 = 98.12\} \rightarrow \begin{bmatrix} 1.000 \\ 7982.94 \\ 4.496 \end{bmatrix} \right)$$

Bu işlemler sadece tek katlı için yapılmıştır. Bulunan her bir açılma hızı için modlar ve bu modlara karşı gelen burulma momentleri ve eksenel kuvvetler bulunur. Bu işlemler sırası daha önce yatay yükler için yapılan sıra takip edilerek yapılır.

Uygulama: Yukarıda planı verilen 3 katlı yapının burulma deprem etkilerini hesaplayınız.

$$K = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{x\theta} & 0 \\ K_{x\theta}^T & K_{\theta\theta} & K_{y\theta}^T \\ 0 & K_{y\theta} & K_{yy} \end{bmatrix}; \quad K_{xx} = \begin{bmatrix} K_1^x + K_2^x & -K_2^x & 0 \\ -K_2^x & K_2^x + K_3^x & -K_3^x \\ 0 & -K_3^x & K_3^x \end{bmatrix}; \quad K_i^x = \sum K_{ji}^x$$

$$K_{yy} = \begin{bmatrix} K_1^y + K_2^y & -K_2^y & 0 \\ -K_2^y & K_2^y + K_3^y & -K_3^y \\ 0 & -K_3^y & K_3^y \end{bmatrix}; \quad K_j^y = \sum K_{ji}^y$$

$$K_{x\theta} = K_{\theta x}^T = \begin{bmatrix} -\frac{1}{r_1} [K_1^x e_{y1} + K_2^x f_{y2}] & \frac{1}{r_2} K_2^x f_{y2} & 0 \\ \frac{1}{r_2} K_2^x e_{y2} & -\frac{1}{r_2} [K_2^x e_{y2} + K_3^x e_{y3}] & \frac{1}{r_3} K_3^x e_{y3} \\ 0 & \frac{1}{r_3} K_3^x e_{y3} & -\frac{1}{r_3} K_3^x e_{y3} \end{bmatrix}$$

$$K_{y\theta} = K_{\theta y}^T = \begin{bmatrix} -\frac{1}{r_1} [K_1^y e_{x1} + K_2^y f_{x2}] & \frac{1}{r_2} K_2^y f_{x2} & 0 \\ \frac{1}{r_2} K_2^y e_{x2} & -\frac{1}{r_2} [K_2^y e_{x2} + K_3^y e_{x3}] & \frac{1}{r_3} K_3^y e_{x3} \\ 0 & \frac{1}{r_3} K_3^y e_{x3} & -\frac{1}{r_3} K_3^y e_{x3} \end{bmatrix}$$

$$e_{xj} = x_j^R - x_j^G, \quad e_{yj} = y_j^R - y_j^G$$

$$r_i: \text{Kat kütleli atalet yarı}$$

$$f_{xj} = x_j^R - x_j^G, \quad f_{yj} = y_{j-1}^R - y_{j-1}^G$$

$$K_{\theta\theta} = \begin{bmatrix} K_{\theta\theta}^{11} & K_{\theta\theta}^{12} & 0 \\ K_{\theta\theta}^{21} & K_{\theta\theta}^{22} & K_{\theta\theta}^{23} \\ 0 & K_{\theta\theta}^{32} & K_{\theta\theta}^{33} \end{bmatrix}$$

$$K_j^{\theta} = \sum_i \left[k_{ji}^y (x_i - x_j^R)^2 + k_{ji}^x (y_i - y_j^R)^2 \right]$$

$$K_{\theta\theta}^{11} = \frac{1}{r_1^2} (K_1^{\theta} + K_2^{\theta} + K_1^x e_{y1}^2 + K_1^y e_{x1}^2 + K_2^x f_{y2}^2 + K_2^y f_{x2}^2)$$

$$K_{\theta\theta}^{12} = K_{\theta\theta}^{21} = -\frac{1}{r_1 r_2} (K_2^{\theta} + K_2^x e_{y2} f_{y2} + K_2^y e_{x2} f_{x2})$$

$$K_{\theta\theta}^{22} = \frac{1}{r_2^2} (K_2^{\theta} + K_3^{\theta} + K_2^x e_{y2}^2 + K_2^y e_{x2}^2 + K_3^x f_{y3}^2 + K_3^y f_{x3}^2)$$

$$K_{\theta\theta}^{23} = K_{\theta\theta}^{32} = -\frac{1}{r_2 r_3} (K_3^{\theta} + K_3^x e_{y3} f_{y3} + K_3^y e_{x3} f_{x3})$$

$$K_{\theta\theta}^{33} = \frac{1}{r_3^2} (K_3^{\theta} + K_3^x e_{y3}^2 + K_3^y e_{x3}^2)$$

$$M = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{x\theta} & 0 \\ M_{x\theta}^T & M_{\theta\theta} & M_{y\theta}^T \\ 0 & M_{y\theta} & M_{yy} \end{bmatrix}; \quad M_{xx} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$$M_{yy} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$$M_{\theta\theta} = \begin{bmatrix} I_{\theta 1} & 0 & 0 \\ 0 & I_{\theta 2} & 0 \\ 0 & 0 & I_{\theta 2} \end{bmatrix}$$

1. KAT RİJİTLİK ÖZELLİKLERİ											
Aks	Kolon	x_i (m)	I_x (m ⁴)	$x_i \cdot I_x$	$x_i - x_R$	$(x_i - x_R)^2 \cdot I_x$	y_i (m)	I_y (m ⁴)	$y_i \cdot I_y$	$y_i - y_R$	$(y_i - y_R)^2 \cdot I_y$
A	A1	0	0,2315	0,0000	-1,10	0,277859	0	0,0047250		-8,41	0,333801
	A2	6,43	0,0014	0,0087	5,33	0,038417	0	0,0054	0	-8,41	0,381487
	A3	11,25	0,0014	0,0152	10,15	0,139204	0	0,0054	0	-8,41	0,381487
B	B1	0	0,0054	0,0000	-1,10	0,006481	4,2	0,00135	0,0057	-4,21	0,023872
	B2	6,43	0,0014	0,0087	5,33	0,038417	4,2	0,0054	0,0227	-4,21	0,095488
	B3	11,25	0,0054	0,0608	10,15	0,556815	4,2	0,00135	0,0057	-4,21	0,023872
	B4	16,76	0,0014	0,0226	15,66	0,331258	4,2	0,0054	0,0227	-4,21	0,095488
C	C1	0	0,0054	0,0000	-1,10	0,006481	9,2	0,00135	0,0124	0,79	0,000853
	C2	6,43	0,0054	0,0347	5,33	0,153667	9,2	0,00135	0,0124	0,79	0,000853
	C3	11,25	0,0047	0,0532	10,15	0,487213	9,2	0,231525	2,1300	0,79	0,146292
	C4	16,76	0,0054	0,0905	15,66	1,325033	9,2	0,00135	0,0124	0,79	0,000853
Toplam			0,2687	0,2943	0,294	0,2687		0,2646	2,224		1,48445
2. KAT RİJİTLİK ÖZELLİKLERİ											

	Toplam	0,2687	0,2943	0,294	0,2687		0,2646	2,224		1,48445
3. KAT RİJİTLİK ÖZELLİKLERİ										
	Toplam	0,2687	0,2943	0,294	0,2687		0,2646	2,224		1,48445
$I_{xA} = 0.3 \cdot 2.1^3 / 12 = 0.231525 \text{m}^4 \rightarrow x_y = \frac{\sum I_x \cdot x_i}{\sum I_x} = 1.096 \text{m} \quad x_g = 7.39 \text{m}$ $I_{yA} = 0.3^3 \cdot 2.1 / 12 = 0.004725 \text{m}^4 \quad y_r = \frac{\sum I_y \cdot y_i}{\sum I_y} = 8.405 \text{m} \quad y_g = 5.30 \text{m}$ $r_i = \sqrt{\frac{I_{i0}}{A}} \rightarrow I_{i0} = \frac{1}{12} m_i (a^2 + b^2) = \frac{1}{12} 167.42 (16.76^2 + 9.2^2) = 5099.86 \quad r_{1,2,3} = \sqrt{\frac{I_{i0}}{A}} = \sqrt{\frac{5099.86}{16.76 \cdot 9.2}} = 33.075$										
Döşeme dikdörtgen kabul edilerek basitleştirildi										

$$X-X \left\{ \begin{array}{l} 1. \text{ kat } K_{\text{kesme}} = \frac{12EI}{h_1^3} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{4^3} \left[\underbrace{4 \left(\frac{0.3 \cdot 0.6^3}{12} \right)}_{\text{güçlü eksen } \square} + \underbrace{5 \left(\frac{0.6 \cdot 0.3^3}{12} \right)}_{\text{Zayıf eksen } \square} + \underbrace{\left(\frac{2.1 \cdot 0.3^3}{4} \right)}_{\text{Perde}} + \underbrace{\left(\frac{0.3 \cdot 2.1^3}{4} \right)}_{\text{Perde}} \right] = 1587600 \\ 2-3. \text{ kat } K_{\text{kesme}} = \frac{12EI}{h_{2-3}^3} = [1587600 \cdot 4^3 / 3.2^3] = 3100781.25 \text{ kN/m} \end{array} \right.$$

$$Y-Y \left\{ \begin{array}{l} 1. \text{ kat } K_{\text{kesme}} = \frac{12EI}{h_1^3} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{4^3} \left[\underbrace{5 \left(\frac{0.3 \cdot 0.6^3}{12} \right)}_{\text{güçlü eksen } \square} + \underbrace{4 \left(\frac{0.6 \cdot 0.3^3}{12} \right)}_{\text{Zayıf eksen } \square} + \underbrace{\left(\frac{2.1 \cdot 0.3^3}{4} \right)}_{\text{Perde}} + \underbrace{\left(\frac{0.3 \cdot 2.1^3}{4} \right)}_{\text{Perde}} \right] = 1611900 \\ 2-3. \text{ kat } K_{\text{kesme}} = \frac{12EI}{h_{2-3}^3} = [1611900 \cdot 4^3 / 3.2^3] = 3148242.19 \text{ kN/m} \end{array} \right.$$

$$K_{xx} = \begin{bmatrix} K_1^x + K_2^x & -K_2^x & 0 \\ -K_2^x & K_2^x + K_3^x & -K_3^x \\ 0 & -K_3^x & K_3^x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1587600 + 3100781.25 & -3100781.25 & 0 \\ -3100781.25 & 3100781.25 + 3100781.25 & -3100781.25 \\ 0 & -3100781.25 & 3100781.25 \end{bmatrix}$$

$$K_{xx} = \begin{bmatrix} 4688381.25 & -3100781.25 & 0 \\ -3100781.25 & 6201562.5 & -3100781.25 \\ 0 & -3100781.25 & 3100781.25 \end{bmatrix}$$

$$K_{yy} = \begin{bmatrix} K_1^y + K_2^y & -K_2^y & 0 \\ -K_2^y & K_2^y + K_3^y & -K_3^y \\ 0 & -K_3^y & K_3^y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1611900 + 3148242.19 & -3148242.19 & 0 \\ -3148242.19 & 3148242.19 + 3148242.19 & -3148242.19 \\ 0 & -3148242.19 & 3148242.19 \end{bmatrix}$$

$$K_{yy} = \begin{bmatrix} 4760142.19 & -3148242.19 & 0 \\ -3148242.19 & 6296484.38 & -3148242.19 \\ 0 & -3148242.19 & 3148242.19 \end{bmatrix}$$

$$K_{x0} = K_{x0}^T = \begin{bmatrix} -\frac{1}{r_1} [K_1^x e_{y1} + K_2^x f_{y2}] & \frac{1}{r_2} K_2^x f_{y2} & 0 \\ \frac{1}{r_2} K_2^x e_{y2} & -\frac{1}{r_2} [K_2^x e_{y2} + K_3^x e_{y3}] & \frac{1}{r_3} K_3^x e_{y3} \\ 0 & \frac{1}{r_3} K_3^x e_{y3} & -\frac{1}{r_3} K_3^x e_{y3} \end{bmatrix} \left[n = \frac{(8.405 - 5.30)}{33.075} = 3.105 \right]$$

$$\begin{bmatrix} [1587600n + 3100781.25n] & 3100781.25n & 0 \\ 3100781.25n & -[3100781.25n \cdot 2] & 3100781.25n \\ 0 & 3100781.25n & -3100781.25n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -440133.75 & 291093.75 & 0 \\ 291093.75 & -582187.5 & 291093.75 \\ 0 & 291093.75 & -291093.75 \end{bmatrix}$$

$$K_{y0} = K_{y0}^T = \begin{bmatrix} -(1/r_1)[K_1^y e_{x1} + K_2^y f_{x2}] & (1/r_2)K_2^y f_{x2} & 0 \\ (1/r_2)K_2^y e_{x2} & -(1/r_2)[K_2^y e_{x2} + K_3^y e_{x3}] & (1/r_3)K_3^y e_{x3} \\ 0 & (1/r_3)K_3^y e_{x3} & -(1/r_3)K_3^y e_{x3} \end{bmatrix} \left[n = -\frac{(1.096-7.39)}{33.075} = 0.1903 \right]$$

$$\begin{bmatrix} [1611900n+3148242.19n] & -3148242.19n & 0 \\ -3148242.19n & [3148242.19n-2] & -3148242.19n \\ 0 & -3148242.19n & 3148242.19n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 905830.20 & -599094.07 & 0 \\ -599094.07 & 1198188.14 & -599094.07 \\ 0 & -599094.07 & 599094.07 \end{bmatrix}$$

$$K_{00}^{11} = \frac{1}{r_1^2} (K_1^0 + K_2^0 + K_1^x e_{y1}^2 + K_1^y e_{x1}^2 + K_2^x f_{y2}^2 + K_2^y f_{x2}^2) = \dots$$

$$K_{00}^{11} = \frac{1}{33.075^2} \left((3.361+1.483) \cdot 2 + 1587600(8.405-5.30)^2 + 1611900(1.096-7.39)^2 \right) = 213693.46$$

$$K_{00}^{12} = K_{00}^{21} = -\frac{1}{r_1 r_2} (K_2^0 + K_2^x e_{y2} f_{y2} + K_2^y e_{x2} f_{x2}) = -\frac{1}{33.075 \cdot 33.075} \left((3.361+1.483) + 3100781.25 \cdot (8.405-5.30)^2 + 3148242.19 \cdot (1.096-7.39)^2 \right) = -141331.65$$

$$K_{00}^{22} = \frac{1}{r_2^2} (K_2^0 + K_3^0 + K_2^x e_{y2}^2 + K_2^y e_{x2}^2 + K_3^x f_{y3}^2 + K_3^y f_{x3}^2) =$$

$$K_{00}^{22} = \frac{1}{33.075^2} \left((3.361+1.483) \cdot 2 + 3100781.25 \cdot (8.405-5.30)^2 + 3148242.19(1.096-7.39)^2 \right) = 282663.30$$

$$K_{00}^{23} = K_{00}^{32} = -\frac{1}{r_2 r_3} (K_3^0 + K_3^x e_{y3} f_{y3} + K_3^y e_{x3} f_{x3}) = -\frac{1}{33.075 \cdot 33.075} \left((3.361+1.483) + 3100781.25(8.405-5.30)^2 + 3148242.19(1.096-7.39)^2 \right) = -141331.65$$

$$K_{00}^{33} = \frac{1}{r_3^2} (K_3^0 + K_3^x e_{y3}^2 + K_3^y e_{x3}^2) = \frac{1}{33.075^2} \left((3.361+1.483) + 3100781.25(8.405-5.30)^2 + 3148242.19(1.096-7.39)^2 \right) = 141331.65$$

$$K = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 4688381 & -3100781 & 0 \\ -3100781 & 6201563 & -3100781 \\ 0 & -3100781 & 3100781 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -440134 & 291094 & 0 \\ 291094 & 582188 & 291094 \\ 0 & 291094 & -291094 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} -440134 & 291094 & 0 \\ 291094 & 582188 & 291094 \\ 0 & 291094 & -291094 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 213694 & -141332 & 0 \\ -141332 & 282663 & -141332 \\ 0 & -141332 & 141332 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 905830 & -599094 & 0 \\ -599094 & 119597 & -599094 \\ 0 & -599094 & 599094 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 905830 & -599094 & 0 \\ -599094 & 119597 & -599094 \\ 0 & -599094 & 599094 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 4760142 & -3148242 & 0 \\ -3148242 & 6296484 & -3148242 \\ 0 & -3148242 & 3148242 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{x\theta} & 0 \\ M_{x\theta}^T & M_{\theta\theta} & M_{y\theta} \\ 0 & M_{y\theta}^T & M_{yy} \end{bmatrix}; \quad M_{xx} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad M_{yy} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad M_{\theta\theta} = \begin{bmatrix} I_{\theta 1} & 0 & 0 \\ 0 & I_{\theta 2} & 0 \\ 0 & 0 & I_{\theta 2} \end{bmatrix}$$

$$M_{xx} = \begin{bmatrix} 167.42 & 0 & 0 \\ 0 & 167.42 & 0 \\ 0 & 0 & 167.42 \end{bmatrix} \quad M_{yy} = \begin{bmatrix} 167.42 & 0 & 0 \\ 0 & 167.42 & 0 \\ 0 & 0 & 167.42 \end{bmatrix} \quad M_{\theta\theta} = \begin{bmatrix} 5099.86 & 0 & 0 \\ 0 & 5099.86 & 0 \\ 0 & 0 & 5099.86 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 167.42 & & & & & & & & \\ & 167.42 & & & & & & & \\ & & 167.42 & & & & & & \\ & & & 5099.86 & & & & & \\ & & & & 5099.86 & & & & \\ & & & & & 5099.86 & & & \\ & & & & & & 167.42 & & \\ & & & & & & & 167.42 & \\ & & & & & & & & 167.42 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 4688381.25 \\ -w^2 167.42 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3100781.25 & 0 & -440133.75 & 291093.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 620156.5 - w^2 167.42 & -3100781.25 & 291093.75 & 582187.5 & 291093.75 & 0 & 0 & 0 \\ 3100781.25 - w^2 167.42 & 0 & 291093.75 & -291093.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 231893.46 - w^2 5099.86 & -141331.65 & 0 & 366534.81 & -599094.07 & 0 & 0 & 0 \\ 282663.3 - w^2 5099.86 & -141331.65 & -599094.07 & 1198188.14 & -599094.07 & 0 & 0 & 0 \\ 141331.65 - w^2 5099.86 & 0 & -599094.07 & 599094.07 & 0 & -3148242.19 & 0 & 0 \\ 4760142.19 - w^2 167.42 & -3148242.19 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3148242.19 & 0 \\ 6296484.38 - w^2 167.42 & -3148242.19 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3148242.19 \end{bmatrix}$$

Simetrik $[K - w^2 M]$

$$\det[K - \omega^2 M] = 0 \rightarrow -2.92091 \cdot 10^{24} \omega^{18} + 3.94917 \cdot 10^{29} \omega^{16} - 1.71835 \cdot 10^{34} \omega^{14} + 2.06356 \cdot 10^{38} \omega^{12} + 2.96627 \cdot 10^{42} \omega^{10} - 6.63118 \cdot 10^{46} \omega^8 + 1.45436 \cdot 10^{50} \omega^6 - 8.39145 \cdot 10^{51} \omega^4 + 5.98255 \cdot 10^{52} \omega^2 - 5.28921 \cdot 10^{46} = 0$$

$$w_1 = 0.009 \quad w_2 = 2.885 \quad w_3 = 7.125 \quad w_4 = 49.458 \quad w_5 = 121.289 \quad w_6 = 150.526 \\ w_7 = 155.153 \quad w_8 = 205.560 \quad w_9 = 241.709$$

4B.1.4 – Modal Katkı Çarpanı ve Taban Kesme Kuvveti Modal Etkin Kütlesi: Verilen (X) deprem doğrultusu için, n'inci titreşim moduna ait *modal katkı çarpanı* $\Gamma_n^{(X)}$ ile binanın x eksenli doğrultusundaki *taban kesme kuvveti* *modal etkin kütlesi* $m_{txn}^{(X)}$, **Denk.(4B.1)** ile tanımlanır:

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N [m_i \phi_{i(X)n}^2 + m_{iy} \phi_{iy}^2 + m_{i\theta} \phi_{i\theta}^2]} \quad m_{txn}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{i(X)n} \quad (4B.1)$$

4B.1.5 – Kat Modal Etkin Kütlesi: Verilen (X) deprem doğrultusu için tipik bir n'inci titreşim modunda, yukarıda **4B.1.3'**te tanımlanan serbestlik derecelerine ait *kat modal etkin kütleleri* **Denk.(4B.2)** ile tanımlanır:

$$m_{ixn}^{(X)} = m_i \phi_{i(X)n} \Gamma_n^{(X)} \quad m_{iyn}^{(X)} = m_i \phi_{iy} \Gamma_n^{(X)} \quad m_{i\theta n}^{(X)} = m_{i\theta} \phi_{i\theta} \Gamma_n^{(X)} \quad (4B.2)$$

$m_{ixn}^{(X)}$ = (X) deprem doğrultusu için binanın x eksenli doğrultusunda n'inci doğal titreşim moduna ait i'inci kat modal etkin kütlesi [t]

$m_{iyn}^{(X)}$ = (X) deprem doğrultusu için binanın y eksenli doğrultusunda n'inci doğal titreşim moduna ait i'inci kat modal etkin kütlesi [t]

$m_{i\theta n}^{(X)}$ = (X) deprem doğrultusu için binanın z eksenli etrafında n'inci doğal titreşim moduna ait i'inci kat modal etkin kütle eylemsizlik momenti [tm²]

4B.1.6 – Birim Modal Davranış Büyüklüğü: Verilen (X) deprem doğrultusu için tipik n'inci titreşim modunda herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, görel kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik *birim modal davranış büyüklüğü* $\Gamma_n^{(X)}$, **Denk.(4B.2)** ile tanımlanan *kat modal etkin kütleler*'nin kendi doğrultularında yük olarak etki ettirildiği bir statik hesaplarda elde edilir.

$X-X \text{ YÖNÜ } \det[-k-m\omega^2]=0$

$$\begin{bmatrix} 4688411,4 - 167,42\omega^2 & -3100781,4 & 0 \\ -3100781,4 & 6201562,8 - 167,42\omega^2 & -3100781,4 \\ 0 & -3100781,4 & 3100781,4 - 167,42\omega^2 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \omega_1 = 48.87 \\ \omega_2 = 153.94 \\ \omega_3 = 239.76 \end{bmatrix}$$

$\omega_1=48.87 \rightarrow 1.\text{mod} \quad \omega_2=153.94 \rightarrow 2.\text{mod} \quad \omega_3=239.76 \rightarrow 3.\text{mod}$

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.383 \\ 1.588 \end{bmatrix} \quad \phi_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.233 \\ -0.832 \end{bmatrix} \quad \phi_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1.592 \\ 0.757 \end{bmatrix}$$

$Y-Y \text{ YÖNÜ } \det[-k-m\omega^2]=0$

$$\begin{bmatrix} 4760142,14 - 167,42\omega^2 & -3148242,14 & 0 \\ -3148242,14 & 6296484,28 - 167,42\omega^2 & -3148242,14 \\ 0 & -3148242,14 & 3148242,14 - 167,42\omega^2 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \omega_1 = 49.2410 \\ \omega_2 = 155.109 \\ \omega_3 = 241.583 \end{bmatrix}$$

$\omega_1=49.241 \rightarrow 1.\text{mod} \quad \omega_2=155.109 \rightarrow 2.\text{mod} \quad \omega_3=241.583 \rightarrow 3.\text{mod}$

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.383 \\ 1.588 \end{bmatrix} \quad \phi_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.233 \\ -0.832 \end{bmatrix} \quad \phi_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1.592 \\ 0.757 \end{bmatrix}$$

Modal vektör			Normal modlar ile hesaba katılacak mod sayısının belirlenmesi									
Normal Modlar				$M_1 = \sum m_i \phi_i^2 \text{ (m)}$			$M_1 = \sum m_i \phi_i^2 \text{ (m)}$			2018	DY1998	2007
ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	$0.95 \sum_{i=1}^N m_i$	M_1 (1.mod)	M_2 (2.mod)	M_3 (3.mod)	M_1 (1.mod)	M_2 (2.mod)	M_3 (3.mod)	$0.03 \sum_{i=1}^N m_i$	$0.05 \sum_{i=1}^N m_i$	...
1	1	1	$(167.42 \times 3) \times 0.95 =$ 477.147	664.82	67.13	27.62	909.83			$0.03[3 \times 167.42] =$	$0.05[3 \times 167.42] =$	---
1,383	0,233	-1,592					$167.42[1^2 + 1.383^2 + 1.588^2]$	25.11	687.68	15.07	25.11	----
1,588	-0,832	0,757										

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} \phi_{in}^{(X)}}{\sum_{i=1}^N [m_i \phi_{in}^2 + m_i \phi_{in}^2 + m_i \phi_{in}^2]} = \frac{664.82}{\sum_{i=1}^N [909.83_x + 909.83_y]} = 0.365 \rightarrow m_{1xn}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} = 0.365 \cdot 664.82 = 242.89$$

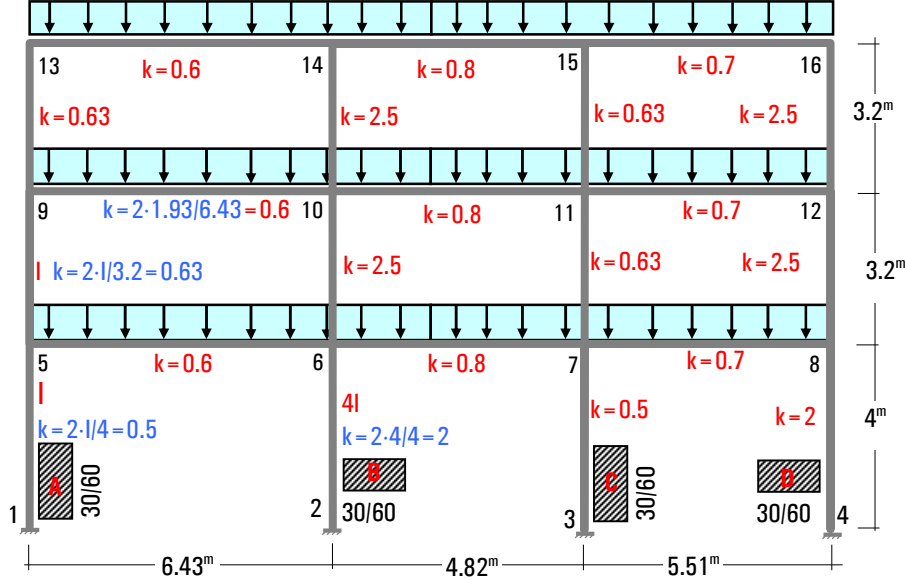
$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} \phi_{in}^{(X)}}{\sum_{i=1}^N [m_i \phi_{in}^2 + m_i \phi_{in}^2 + m_i \phi_{in}^2]} = \frac{67.13}{\sum_{i=1}^N [25.11_x + 25.11_y]} = 1.334 \rightarrow m_{2yn}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} = 1.334 \cdot 67.13 = 89.52$$

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} \phi_{in}^{(X)}}{\sum_{i=1}^N [m_i \phi_{in}^2 + m_i \phi_{in}^2 + m_i \phi_{in}^2]} = \frac{27.62}{\sum_{i=1}^N [687.67_x + 687.67_y]} = 0.020 \rightarrow m_{3on}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{in} = 0.02 \cdot 27.62 = 0.55$$

$$m_{1xn}^{(X)} = m_i \phi_{in} \Gamma_n^{(X)} \quad m_{2yn}^{(X)} = m_i \phi_{in} \Gamma_n^{(X)} \quad m_{3on}^{(X)} = m_i \phi_{in} \Gamma_n^{(X)} \quad (4B.2)$$

EĞİLME ÇERÇEVESİ KABULÜ ($I_{kiriş} = 0.25 \cdot 0.5^3 / 12 = 0.0026 \text{ m}^4$, $I_{kiriş} \neq \infty$) İLE ÇERÇEVENİN PERİYODU

Tek başına çerçeveler eğilme çerçevesi kabul edilerek kirişlerin rijitlikleri hesaba katılır. Çerçevenin açı metodu denklemleri u cinsinden (δ görelî kat ötelemeleri cinsinden **değil**) yazılarak indirgenmiş rijitlik matrisi $k_{rijitlik} = [K_{22} - K_{21} [K_{11}^{-1} K_{12}]]$ bağıntısıyla elde edilir. Açı denklem takımları için kiriş ve kolon rijitlikleri şekil üzerinde hesaplanmıştır. Bu hesaplarda 1 ve 3 kolonu en küçük atalet momenti I alınarak diğerlerine oranlanmıştır ($I_{A-C-birim} = 6 \cdot 3^3 / 12 = 13.5 \text{ dm}^4 = I$, $I_{B-D} = 3 \cdot 6^3 / 12 = 54 \text{ dm}^4$, $I_{B-D} / I_{A-C-birim} = 54 / 13.5 = 4$). $EI = 32 \cdot 10^6 \times 0.3^3 \times 0.6 / 12 = 43200 \text{ kNm}^2$



Düğüm noktaları hareketli çerçeve için 12 adet düğüm dengesi ($\Sigma M = 0$) ve kat sayısı kadar yatay denge denklemleri ($\Sigma X = 0$) olmak üzere 15 adet denklem aşağıdaki şekilde yazılarak sistem rijitlik matrisi oluşturulur. Örnek olarak 10 düğümde $\Sigma M_{10} = 0$ moment dengesi aşağıdaki şekilde örnek olarak yazılmıştır.

$$2(2.5 + 2.5 + 0.8 + 0.6)\varphi_{10} + 0.6\varphi_9 + 0.8\varphi_{11} + 2.5\varphi_6 + 2.5\varphi_{14} - (3 \cdot 2.5 / 3.2)(\delta_2 + \delta_3) = 0$$

1. kat düğümleri	$5d-\delta \rightarrow 3.46 \varphi_5 + 0.6\varphi_6 + 0.63\varphi_9 - 0.375\delta_1 - 0.591\delta_2 = 0$ $5d-u \rightarrow 3.46 \varphi_5 + 0.6\varphi_6 + 0.63\varphi_9 - 0.375u_1 - 0.591(u_2 - u_1) = 0$ $5d-u \rightarrow 3.46 \varphi_5 + 0.6\varphi_6 + 0.63\varphi_9 + 0.216u_1 - 0.591u_2 = 0$ $6d \quad 11.8\varphi_6 + 0.6\varphi_5 + 0.8\varphi_7 + 2.5\varphi_{10} - 1.5\delta_1 - 2.344\delta_2 = 0$ $7d \quad 5.26\varphi_7 + 0.8\varphi_6 + 0.7\varphi_8 + 0.63\varphi_{11} - 0.375\delta_1 - 0.591\delta_2 = 0$ $8d \quad 10.4 \varphi_8 + 0.7\varphi_7 + 2.5\varphi_{12} - 1.5\delta_1 - 2.344\delta_2 = 0$
2. kat düğümleri	$9d \quad 3.72\varphi_5 + 0.63\varphi_5 + 0.6\varphi_{10} + 0.63\varphi_{13} - 0.591\delta_2 - 0.591\delta_3 = 0$ $10d \quad 12.8\varphi_{10} + 2.5\varphi_6 + 0.6\varphi_9 + 0.8\varphi_{11} + 2.5\varphi_{14} - 2.344(\delta_2 + \delta_3) = 0$ $11d \quad 5.52\varphi_{11} + 0.63\varphi_7 + 0.8\varphi_{10} + 0.7\varphi_{12} + 0.63\varphi_{15} - 0.591(\delta_2 + \delta_3) = 0$ $12d \quad 11.4\varphi_{12} + 2.5\varphi_8 + 0.7\varphi_{11} + 2.5\varphi_{16} - 2.344\delta_2 - 2.344\delta_3 = 0$
3. kat düğümleri	$13d \quad 2.46\varphi_{13} + 0.63\varphi_9 + 0.6\varphi_{14} - 0.591\delta_3 = 0$ $14d \quad 7.8\varphi_{14} + 2.5\varphi_{10} + 0.6\varphi_{13} + 0.8\varphi_{15} - 2.344\delta_3 = 0$ $15d \quad 4.26\varphi_{15} + 0.63\varphi_{11} + 0.8\varphi_{14} + 0.7\varphi_{16} - 0.591\delta_3 = 0$ $16d \quad 6.4\varphi_{16} + 2.5\varphi_{12} + 0.7\varphi_{15} - 2.344\delta_3 = 0$

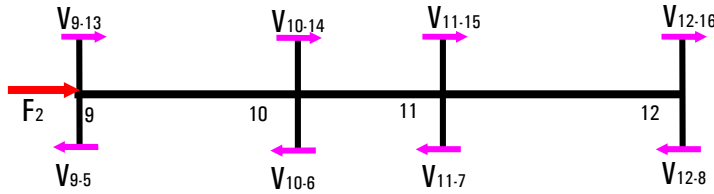
1. kat için yatay denge örnek olarak yazılmıştır.

$$F_2 = \left[-\frac{3 \cdot 0.63}{3.2} (\varphi_5 + \varphi_9 + \varphi_7 + \varphi_{11}) - \frac{3 \cdot 2.5}{3.2} (\varphi_6 + \varphi_{10} + \varphi_8 + \varphi_{12}) + \left[2 \frac{6 \cdot 0.63}{3.2^2} (u_3 - u_2) + 2 \frac{6 \cdot 2.5}{3.2^2} (u_3 - u_2) \right] \right]$$

$$- \left[-\frac{3 \cdot 0.63}{3.2} [(\varphi_9 + \varphi_{13}) + (\varphi_{11} + \varphi_{15})] - \frac{3 \cdot 2.5}{3.2} (\varphi_{10} + \varphi_{14} + \varphi_{12} + \varphi_{16}) + \left[2 \frac{6 \cdot 0.63}{3.2^2} (u_3 - u_2) + 2 \frac{6 \cdot 2.5}{3.2^2} (u_3 - u_2) \right] \right]$$

$$F_2 = V_2 - V_3 = \left[-0.591(\varphi_5 + \cancel{\varphi_9} + \varphi_7 + \cancel{\varphi_{11}}) - 2.344(\varphi_6 + \cancel{\varphi_{10}} + \varphi_8 + \cancel{\varphi_{12}}) + 3.668u_2 - 3.668u_1 \right]$$

$$+ \left[0.591[\cancel{\varphi_9} + \varphi_{13} + \cancel{\varphi_{11}} + \varphi_{15}] + 2.344(\cancel{\varphi_{10}} + \varphi_{14} + \cancel{\varphi_{12}} + \varphi_{16}) \right] - 3.668u_3 + 3.668u_2 = 0$$



Düğümlerdeki moment dengesi ve kat yatay denge denklemleri yazılarak aşağıdaki gibi rijitlik matris oluşturulur.

	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8	ϕ_9	ϕ_{10}	ϕ_{11}	ϕ_{12}	ϕ_{13}	ϕ_{14}	ϕ_{15}	ϕ_{16}	u_1	u_2	u_3	
K ₁₁ (dönüşlerden oluşan momentler)	3,46	0,6	0	0	0,63	0	0	0	0	0	0	0	0,216	-0,591	0	K ₁₂ (dönüşlerden oluşan yatay deplasman)
	0,6	11,8	0,8	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0,844	-2,344	0	
	0	0,8	5,26	0,7	0	0	0,63	0	0	0	0	0	0,216	-0,591	0	
	0	0	0,7	10,4	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0,844	-2,344	0	
	0,63	0	0	0	3,72	0,6	0	0	0,63	0	0	0	0,591	0	-0,591	
	0	2,5	0	0	0,6	12,8	0,8	0	0	2,5	0	0	2,344	0	-2,344	
	0	0	0,63	0	0	0,8	5,52	0,7	0	0	0,63	0	0,591	0	-0,591	
	0	0	0	2,5	0	0	0,7	11,4	0	0	0	2,5	2,344	0	-2,344	
	0	0	0	0	0,63	0	0	0	2,46	0,6	0	0	0	0,591	-0,591	
	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0,6	7,8	0,8	0	0	2,344	-2,344	
	0	0	0	0	0	0	0,63	0	0	0,8	4,26	0,7	0	0,591	-0,591	
	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0,7	6,4	0	2,344	-2,344	
K ₂₁	0,216	0,844	0,216	0,844	0,591	2,344	0,591	2,344	0	0	0	0	5,543	-3,668	0	K ₂₂
	-0,591	-2,344	-0,591	-2,344	0	0	0	0,591	2,344	0,591	2,344	-3,668	7,336	-3,668		
	0	0	0	0	-0,591	-2,344	-0,591	-2,344	-0,591	-2,344	-0,591	-2,344	0	-3,668	3,668	

$F = ku = k_{rijitlik} u_{deplasman}$ $F = [K_{22} - K_{21}(K_{11}^{-1}K_{12})]u$	K ₁₁ ⁻¹ =	0,302	-0,017	0,003	0,000	-0,055	0,007	-0,001	0,000	0,015	-0,003	0,001	0,000
		-0,017	0,091	-0,015	0,001	0,007	-0,020	0,005	-0,001	-0,003	0,007	-0,002	0,000
		0,003	-0,015	0,197	-0,015	-0,001	0,005	-0,024	0,005	0,001	-0,002	0,004	-0,003
		0,000	0,001	-0,015	0,103	0,000	-0,001	0,005	-0,025	0,000	0,000	-0,003	0,010
		-0,055	0,007	-0,001	0,000	0,294	-0,018	0,003	0,000	-0,078	0,012	-0,003	0,000
		0,007	-0,020	0,005	-0,001	-0,018	0,090	-0,015	0,001	0,012	-0,030	0,008	-0,001
		-0,001	0,005	-0,024	0,005	0,003	-0,015	0,192	-0,015	-0,003	0,008	-0,031	0,009
		0,000	-0,001	0,005	-0,025	0,000	0,001	-0,015	0,103	0,000	-0,001	0,009	-0,041
		0,015	-0,003	0,001	0,000	-0,078	0,012	-0,003	0,000	0,436	-0,038	0,008	-0,001
		-0,003	0,007	-0,002	0,000	0,012	-0,030	0,008	-0,001	-0,038	0,144	-0,029	0,004
		0,001	-0,002	0,004	-0,003	-0,003	0,008	-0,031	0,009	0,008	-0,029	0,250	-0,031
		0,000	0,000	-0,003	0,010	0,000	-0,001	0,009	-0,041	-0,001	0,004	-0,031	0,176

K ₂₁ K ₁₁ ⁻¹ =	0,034	0,030	0,027	0,028	0,127	0,180	0,049	0,215	-0,018	-0,058	0,018	-0,086	K ₂₁ K ₁₁ ⁻¹ K ₁₂ =	1,092	-0,509	-0,692
	-0,139	-0,183	-0,058	-0,213	-0,002	-0,022	0,012	-0,037	0,169	0,293	0,020	0,379		-0,509	2,728	-1,552
	0,016	0,027	-0,001	0,034	-0,115	-0,131	-0,066	-0,142	-0,151	-0,243	-0,033	0,307		-0,692	-1,552	2,147

$$[K] = EI \cdot [K_{22} - K_{21} \cdot K_{11}^{-1} \cdot K_{12}] = \underbrace{43200}_{EI} \cdot \begin{bmatrix} 5,543 & -3,668 & 0 \\ -3,668 & 7,336 & -3,668 \\ 0 & -3,668 & 3,668 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 192296,8944 & -136473,552 & 29888,784 \\ -136473,552 & 199055,6208 & -91397,808 \\ 29888,784 & -91397,808 & 65721,7584 \end{bmatrix}$$

$[K] = EI[K_{22} - K_{21}K_{11}^{-1}K_{12}]$

$$\det[K - M\omega^2] \rightarrow \begin{bmatrix} 192296,8944 - 46,38\omega^2 & -136473,552 & 29888,784 \\ -136473,552 & 199055,6208 - 46,38\omega^2 & -91397,808 \\ 29888,784 & -91397,808 & 65721,7584 - 46,38\omega^2 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \omega_1 = 12,93 \\ \omega_2 = 44,34 \\ \omega_3 = 87,88 \end{bmatrix} \text{ rad/sn}$$

KESME ÇERÇEVESİ OLARAK ÇÖZÜM

$$1. \text{ kat } K_{\text{kesme}} = \frac{12EI}{h_1^3} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{4^3} \left[2 \left(\frac{0.3 \cdot 0.6^3}{12} \right) + 2 \left(\frac{0.6 \cdot 0.3^3}{12} \right) \right] = 81000$$

güçlü eksen $\square$ Zayıf eksen $\square$

$$2. \text{ ve } 3. \text{ kat } K_{\text{kesme}} = \frac{12EI}{h_1^3} = \frac{12 \cdot 32 \cdot 10^6}{3.2^3} \left[2 \left(\frac{0.3 \cdot 0.6^3}{12} \right) + 2 \left(\frac{0.6 \cdot 0.3^3}{12} \right) \right] = 158203$$

güçlü eksen $\square$ Zayıf eksen $\square$

$$[K] = \begin{bmatrix} \Sigma k_{1.KAT} + \Sigma k_{2.KAT} & -\Sigma k_{2.KAT} & 0 \\ -\Sigma k_{2.KAT} & \Sigma k_{2.KAT} + \Sigma k_{3.KAT} & -\Sigma k_{3.KAT} \\ 0 & -\Sigma k_{3.KAT} & \Sigma k_{3.KAT} \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 81000 + 158203.2 = 239203.2 & -158203.2 & 0 \\ -158203.2 & 2 \cdot 158203.2 = 316406.4 & -158203.2 \\ 0 & -158203.2 & 158203.2 \end{bmatrix}$$

$$m = \begin{bmatrix} 46,38 & 0 & 0 \\ 0 & 46,38 & 0 \\ 0 & 0 & 46,38 \end{bmatrix} \quad \det[K - M\omega^2] = \begin{bmatrix} 239203.2 - 46,38\omega^2 & -158203.2 & 0 \\ -158203.2 & 316406.4 - 46,38\omega^2 & -158203.2 \\ 0 & -158203.2 & 158203.2 - 46,38\omega^2 \end{bmatrix}$$

KÜTLE MATRİSİ

$$\det = -99768.2\omega^6 + 1.53549 \times 10^9 \omega^4 - 5.26543 \times 10^{12} \omega^2 + 2.02729 \times 10^{15} = 0$$

Açısal hızlar, frekanslar, periyotlar ve modlar													
Kat	ω (rad/s)		$T = 2\pi/\omega$ (s)	1.mod $\{\phi_1\}$			2.mod $\{\phi_2\}$			3.mod $\{\phi_3\}$			
1	$\omega_1 = \pm 12.93$	$I \neq \infty$	$T_1 = 0.486$	Normal	1	Normaliz e	1	Normaliz e	0.104	Normal	1	Normaliz e	0.094
2	$\omega_2 = \pm 44.34$		$T_2 = 0.14$		1,893		0.559		0.058		-1,117		-0.105
3	$\omega_3 = \pm 87.88$		$T_3 = 0.07$		2,468		-0.833		-0.086		0,451		0.042
Kat	ω (rad/s)		$T = 2\pi/\omega$ (s)	1.mod $\{\phi_1\}$			2.mod $\{\phi_2\}$			3.mod $\{\phi_3\}$			
1	$\omega_1 = \pm 20.97$	$I = \infty$	$T_1 = 0.30$	Normal	1	Normaliz e	1	Normaliz e	0.111	Normal	1	Normaliz e	0.073
2	$\omega_2 = \pm 65.97$		$T_2 = 0.10$		1,893		0.559		0.026		-1,117		-0.115
3	$\omega_3 = \pm 102.89$		$T_3 = 0.06$		2,468		-0.833		-0.093		0,451		0.055

Eğilme ve kesme çerçevesinin dinamik özelliklerinin karşılaştırılması aşağıdaki tabloda yapılmıştır.

Mod şekilleri ve doğal titreşim periyotları bulunduğundan sonra her bir mod için düğüm noktası şekil değiştirme değerlerinin bulunması gerekir. Bu durumda herhangi bir n'inci mod için, modal katkı çarpanı, genelleştirilmiş modal kütle ve etkin modal kütlesi sırasıyla aşağıdaki gibi bulunur.

Normal Modlar				$M_i = \Sigma m_i \phi_i^2$ (m)			$L_{ti}^2 = \left[\Sigma [m_i \phi_i] \right]^2$			2018
ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	$0.95 \Sigma_{i=1}^N m_i$	M_1 (1.mod)	M_2 (2.mod)	M_3 (3.mod)	L_{t1}^2 (1.mod)	L_{t2}^2 (2.mod)	L_{t3}^2 (3.mod)	$0.03 \Sigma_{i=1}^N m_i$
1	1	1	$(46,38 \times 3) \times 0.95 = 132.20$	495	93	114	61823	1134	240	$0.03(656 \times 2 + 400) = 51.36$
1.893	0.559	-1.117		$46,38[1^2 + 1.893^2 + 2.468^2]$			$[46,38[1 + 1.893 + 2.468]]^2$			
2.468	-0.833	0.451								