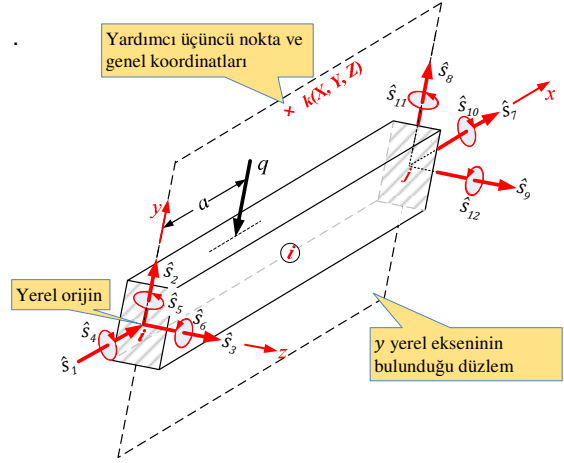


## 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

Uzak çerçeve eleman sonlu elemanlar metodunun en karmaşık elemanıdır. Bunun nedenleri:

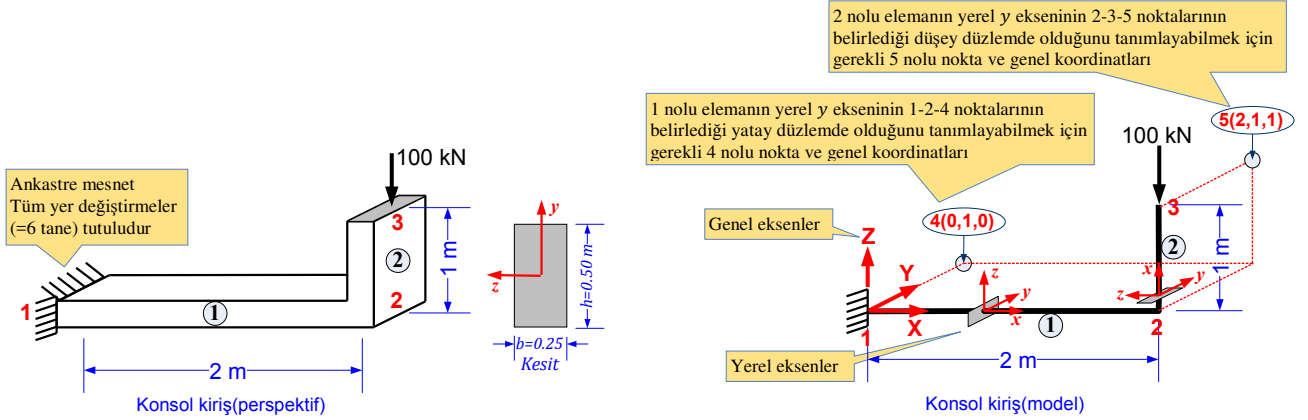
- 1) Her eleman için yerel eksen takımı seçilmesi gerekir. Elemanın hangi ucunun orijin olacağına karar verilir. Teorinin gereği  $x$  eksenini daima orijin noktasından diğer uca doğru yönelmiştir.  $y$  ekseninin hangi yönde olacağına karar verilir.  $z$  ekseninin yönü **sağ** koordinat sistemi olacak şekilde belirlenir.
- 2) Elemanın uzayda konumunun belirlenmesi için iki ucunun koordinatları yetmez, bir üçüncü yardımcı nokta ve koordinatlarına gereksinim vardır. Bu yardımcı nokta yerel  $y$  ekseninin yönünü ve bulunduğu düzlemi tanımlamak için kullanılır. Bu noktanın seçimi yerel  $y, z$  eksenlerinin yönünü belirler, başkaca bir görevi yoktur
- 3) Dış yükler her eksen yönünde ve etrafında tekil veya yayılı olabilir.



- 4) Her ucunda 6 tane iç kuvvet vardır: 1 Eksenel kuvvet, 2 kesme, 2 moment ve bir burulma momenti.
- 5) Kesit alanının, kesitin iki eksenindeki atalet momentlerinin ve burulma atalet momentinin bilinmesi gerekir.
- 6) Mesnet noktalarında her eksen doğrultusunda yer değiştirme ve her eksen etrafında dönme önlenmiş-önlenmemiş ya da bazıları önlenmiş-önlenmemiş olabilir.
- 7) Veri hazırlamak zordur. Örneğin eksenlerin ve atalet momentlerinin karıştırılması sıkça yapılan bir hatadır.
- 8) Sonuçların yorumlanması zordur, örneğin bir eksen yönündeki kesme kuvveti yerine diğer eksen yönündekinin alınması veya bir eksen etrafındaki moment yerine diğerinin alınması veya momentin işaretinin yanlış yorumlanması sıkça karşılaşılan hatalardır.

**Hata olasılığını azaltmak için özellikle yardımcı nokta ve yerel eksenlerin seçimi, bu eksenler ile atalet momentlerinin ilişkisinin ve iç kuvvetlerin pozitif yönlerinin iyi kavranması gerekir. Karmaşık sistemlerde uzay düşünmek zorlaşır. Bu nedenle önce çok basit bir örneğin farklı yükler için çözümlerini verelim.**

**Örnek 30.1a:** Aşağıda perspektif çizimi ve modeli görülen iki elemanlı uzak çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitler 25/50 cm dir. 3 noktasındaki yük Z eksenine paraleldir. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. İç kuvvet diyagramları çizilecektir.



Modelde yardımcı 4 noktasının koordinatları  $(4,1,0)$  olarak seçilmiştir<sup>1</sup>. Bu koordinatlar incelenirse, 1-2-4 noktalarının tanımladığı düzlemin yatay olduğu ve 1. elemanın yerel  $y$  ekseninin bu düzlemde ve 4 noktası tarafına yönlendiği anlaşılır.

Yardımcı 5 noktasının koordinatları  $(2,1,1)$  olarak seçilmiştir. Bu koordinatlar incelenirse, 2-3-5 noktalarının tanımladığı düzlemin düşey olduğu ve 2. elemanın yerel  $y$  ekseninin bu düzlemde ve 4 noktası tarafına yönlendiği anlaşılır.

Atalet momentlerinin hesaplanması, eleman üzerindeki yüklerin tanımlanması ve sonuçların yorumlanması bu eksenlere göre yapılmalıdır

<sup>1</sup> 4 noktasının koordinatları  $(0,-1,0)$  olarak da seçilebilirdi. Bu durumda 1. elemanın yerel  $y$  ekseninin bulunduğu yatay düzlem değişmez, fakat  $y$  ekseninin yönü değişirdi. 5 noktasının koordinatları  $(2,1,0)$  olarak da seçilebilirdi. Bu durumda 2. elemanın yerel  $y$  eksenini aynı düşey düzlemde olurdu ve  $y$  ekseninin yönü değişmezdi.

Çok elemanlı karmaşık sistemlerde yardımcı nokta seçimi zorluk yaratır. Yazılımlarda kullanıcıya kolaylık sağlayan başka yollar da vardır. Örneğin yerel  $y$  ekseninin genel eksenlerden birinin yönünde veya tesri yönünde olduğunu belirtmek bir diğer ve daha basit bir yoldur.

### 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

Elastisite modülü:  $E=34.55 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$ , Poisson oranı:  $\nu=0.20$ <sup>1</sup>

Kesit alanı:  $A=0.25 \cdot 0.50=0.125 \text{ m}^2$

Eğilme atalet momenti:

$$I_y=0.50 \cdot 0.25^3/12=6.51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad \text{yere } y \text{ eksenine göre}$$

$$I_z=0.25 \cdot 0.50^3/12=26.04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad \text{yere } z \text{ eksenine göre}$$

Burulma atalet momenti:

$$b < h \text{ olduğundan: } I_x = J = \frac{hb^3}{3} \left(1 - 0.63 \frac{b}{h} + 0.053 \frac{b^5}{h^5}\right) = \frac{0.5 \cdot 0.25^3}{3} \left(1 - 0.63 \frac{0.25}{0.5} + 0.053 \frac{0.25^5}{0.5^5}\right) = 17.84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad \text{Bak: EK5}$$

Sınır koşulları:

1, 4, 5 noktaları hiçbir yer değiştirme yapamaz.

4 noktası 1. elemanın 3. noktasıdır, yerel  $y$  ekseninin 1-2-4 noktalarının tanımladığı yatay düzlemde olduğunu ve 4 noktası tarafına yönlendiğini belirtmek için gereklidir. Bunun dışında bir yararı yoktur. 5 noktası 2. elemanın 3. noktasıdır, yerel  $y$  ekseninin 2-3-5 noktalarının tanımladığı dikey düzlemde olduğunu ve 5 noktası tarafına yönlendiğini belirtmek için gereklidir. Bunun dışında bir yararı yoktur. 4 ve 5 noktalarının tüm yer değiştirmelerinin tutulması gerekir, aksi halde denklem sistemi tekil olur.

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

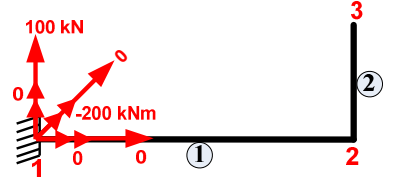
#### ÖRNEK 30.1a Uzak çerçeve-konsol giriş

SİSTEM:Uzak çerçeve

Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 2

Yüklü nokta sayısı: 1, Sınır koşullu nokta sayısı: 3

Denklemler sayısı: 30, Bilinmeyen yayısı: 30, Hiperstatiklik derecesi: 0

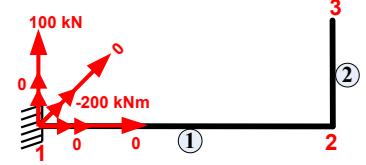


Reaksiyonlar

| Eleman | Nokta | ELEMEN YEREL KUVVETLERİ: |        |        |         |         |         |
|--------|-------|--------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
|        |       | Normal(kN)               | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
| 1      | 1     | 0                        | 0      | 100    | 0       | -200    | 0       |
|        | 2     | 0                        | 0      | -100   | 0       | 0       | 0       |
| 2      | 2     | 100                      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
|        | 3     | -100                     | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

REAKSİYONLAR:

| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | 0      | 0      | 100    | 0       | -200    | 0       |
| 4     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

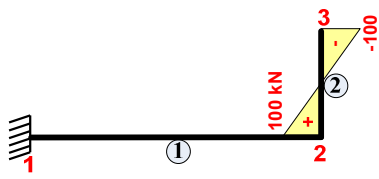


Reaksiyonlar

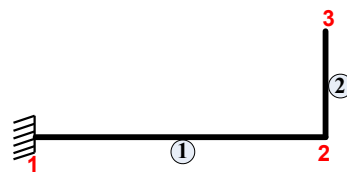
SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m)   | Uy(m) | Uz(m)     | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|---------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0       | 0     | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 2     | 0       | 0     | -0.011854 | 0            | 0.00889      | 0            |
| 3     | 0.00889 | 0     | -0.011877 | 0            | 0.00889      | 0            |
| 4     | 0       | 0     | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0       | 0     | 0         | 0            | 0            | 0            |

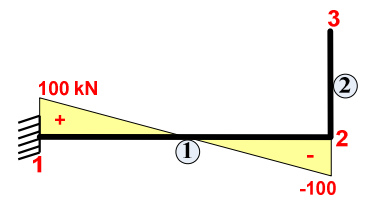
HESAP SÜRESİ: 0.0286 Saniye



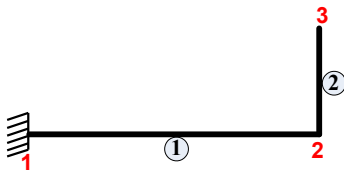
Normal kuvvet



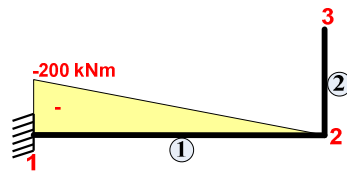
Vy (her yerde sıfır)



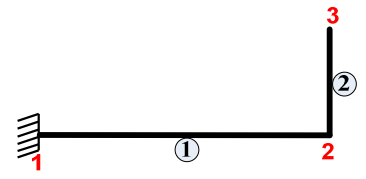
Vz



M<sub>x</sub> Burulma (her yerde sıfır)



M<sub>y</sub>



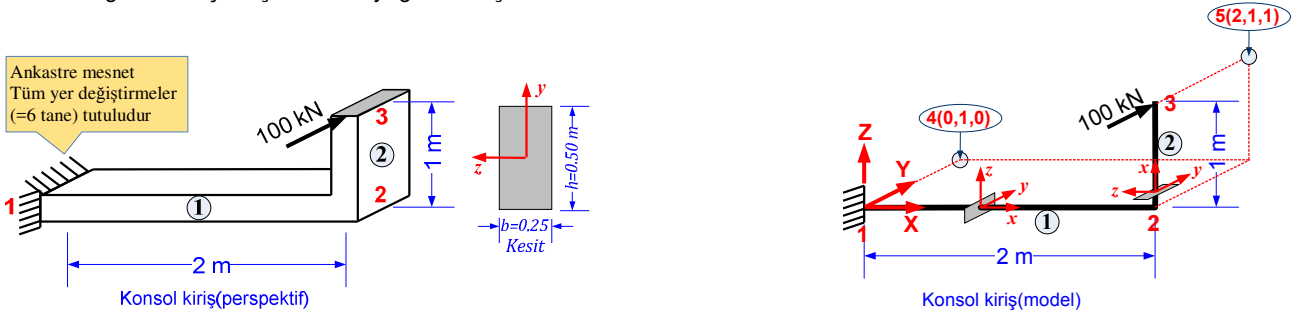
M<sub>z</sub> (her yerde sıfır)

**Yukarıdaki diyagramlar SEM işaret kuralına göre çizilmiştir.** Sistem izostatiktir, iç kuvvetler elle hesaplanabilir.

<sup>1</sup> Kayma modülü =  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  nin hesabı için gereklidir.

### 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

**Örnek 30.1b:** Aşağıda perspektif çizimi ve modeli görülen iki elemanlı uzak çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitler 25/50 cm dir. 3 noktasındaki yük Y eksenine paraleldir. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. İç kuvvet diyagramları çizilecektir.



Bu sistemin 31.1a örneğinden tek farkı dış yükün etkiye yönüdür. Kesit alanı, atalet momentleri ve sınır koşulları 31.1a örneğindeki gibidir.

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.1b Uzak çerçeve-konsol kiriş

SİSTEM:Uzak çerçeve

Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 2

Yüklü nokta sayısı: 1, Sınır koşullu nokta sayısı: 3

Denklem sayısı: 30, Bilinmeyen yayısı: 30, Hiperstatiklik derecesi: 0

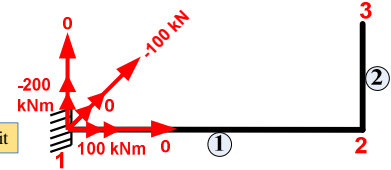
#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | 0          | -100   | 0      | 100     | 0       | -200    |
|        | 2     | 0          | 100    | 0      | -100    | 0       | 0       |
| 2      | 2     | 0          | -100   | 0      | 0       | 0       | -100    |
|        | 3     | 0          | 100    | 0      | 0       | 0       | 0       |

#### REAKSİYONLAR:

| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | 0      | -100   | 0      | 100     | 0       | -200    |
| 4     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

Yardımcı noktalara ait



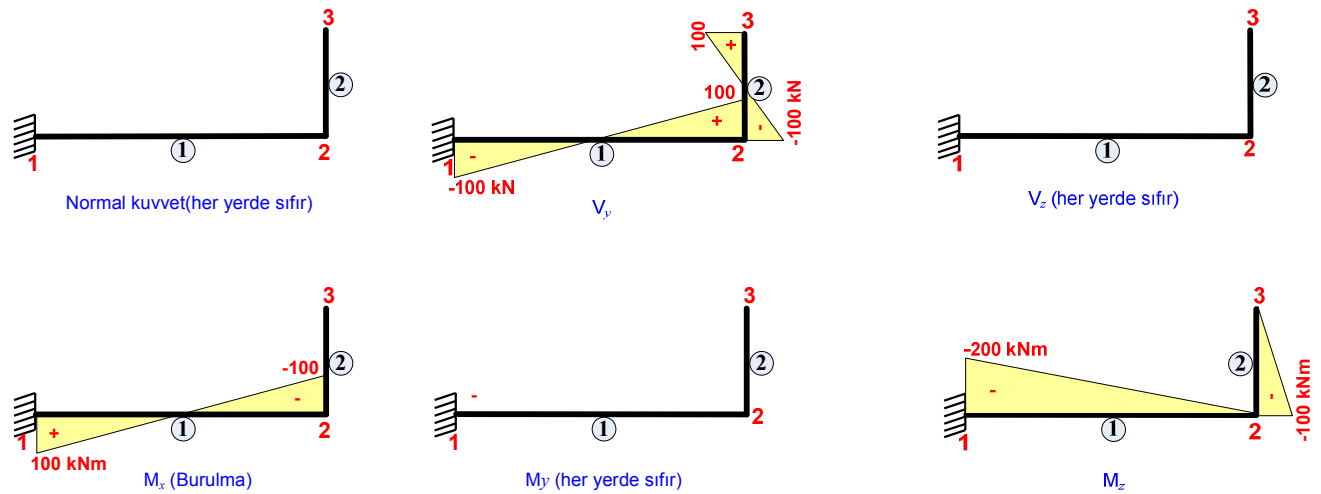
Reaksiyonlar

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m) | Uy(m)    | Uz(m) | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|-------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0     | 0        | 0     | 0            | 0            | 0            |
| 2     | 0     | 0.002963 | 0     | -0.007785    | 0            | 0.002223     |
| 3     | 0     | 0.011119 | 0     | -0.008341    | 0            | 0.002223     |
| 4     | 0     | 0        | 0     | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0     | 0        | 0     | 0            | 0            | 0            |

Yardımcı noktalara ait

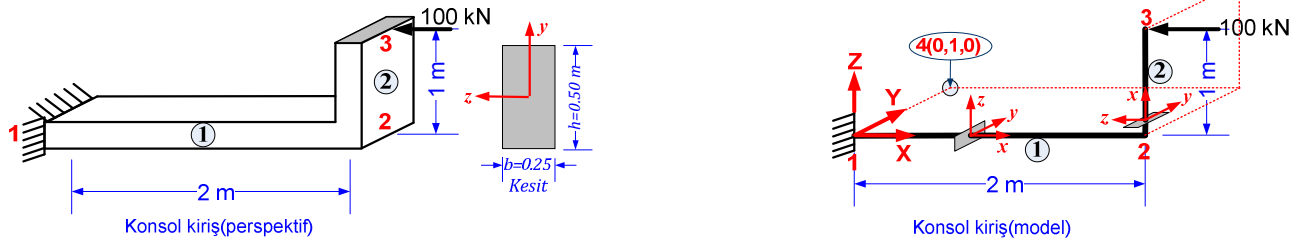
HESAP SÜRESİ: 0.0321 Saniye



Yukarıdaki diyagramlar SEM işaret kuralına göre çizilmiştir. Sistem izostatiktir, iç kuvvetler elle hesaplanabilir.

### 30. Uzun çerçeve örnek çözümleri

**Örnek 30.1c:** Aşağıda perspektif çizimi ve modeli görülen iki elemanlı uzun çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitler 25/50 cm dir. 3 noktasındaki yük X eksenine paraleldir. Yerel eksenler üzerinde gösterilmiştir. İç kuvvet diyagramları çizilecektir.



Bu sistemin 31.1a örneğinden tek farkı dış yükün etkiye yönüdür. Kesit alanı, atalet momentleri ve sınır koşulları 31.1a örneğindeki gibidir.

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.1c Uzun çerçeve-konsol kiriş

SİSTEM:Uzun çerçeve

Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 2

Yüklü nokta sayısı: 1, Sınır koşullu nokta sayısı: 3

Denklemler sayısı: 30, Bilinmeyen sayısı: 30, Hiperstatiklik derecesi: 0

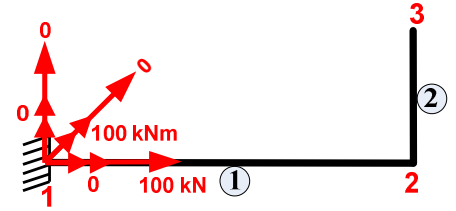
#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | 100        | 0      | 0      | 0       | 100     | 0       |
|        | 2     | -100       | 0      | 0      | 0       | -100    | 0       |
| 2      | 2     | 0          | 0      | -100   | 0       | 100     | 0       |
|        | 3     | 0          | 0      | 100    | 0       | 0       | 0       |

#### REAKSİYONLAR:

| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | 100    | 0      | 0      | 0       | 100     | 0       |
| 4     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

Yardımcı noktalara ait



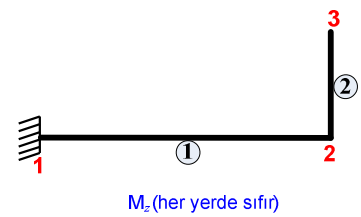
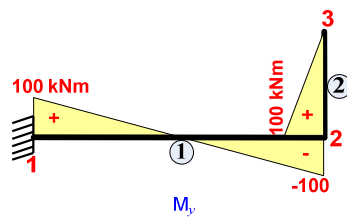
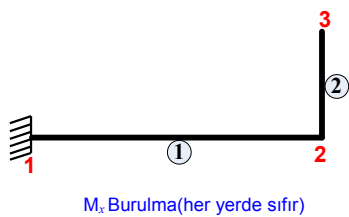
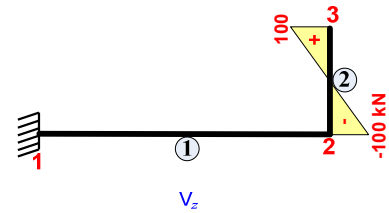
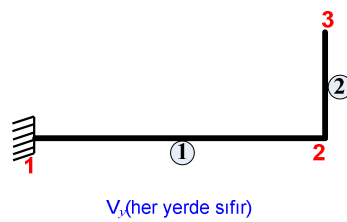
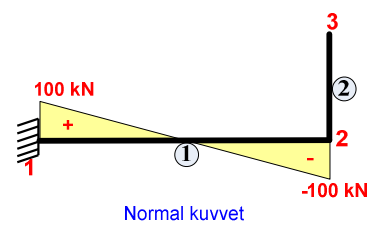
Reaksiyonlar

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m)     | Uy(m) | Uz(m)   | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|-----------|-------|---------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0         | 0     | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 2     | -4.6E-5   | 0     | 0.00889 | 0            | -0.00889     | 0            |
| 3     | -0.010418 | 0     | 0.00889 | 0            | -0.01113     | 0            |
| 4     | 0         | 0     | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0         | 0     | 0       | 0            | 0            | 0            |

Yardımcı noktalara ait

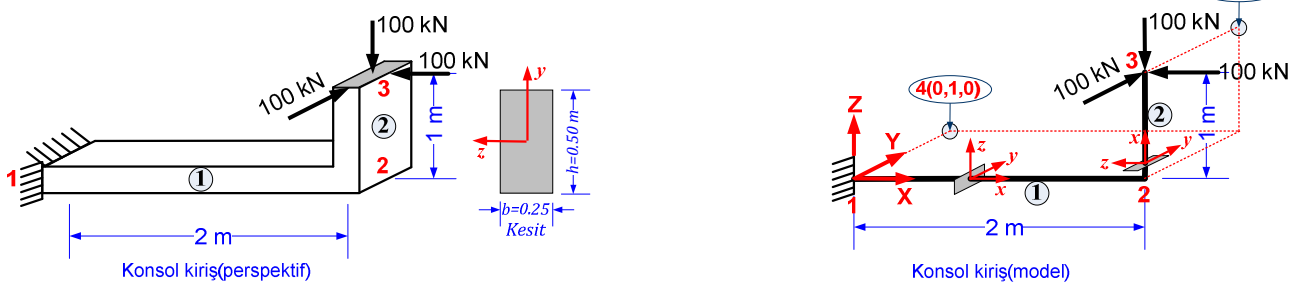
HESAP SÜRESİ: 0.0323 Saniye



**Yukarıdaki diyagramlar SEM işaret kuralına göre çizilmiştir.** Sistem izostatiktir, iç kuvvetler elle hesaplanabilir.

### 30. Uzay çerçeve örnek çözümleri

**Örnek 30.1d:** Aşağıda perspektif çizimi ve modeli görülen iki elemanlı uzay çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitleri 25x50 cm dir. 3 noktasındaki yükler X, Y, Z eksenlerine paraleldir. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. İç kuvvet diyagramları çizilecektir.



Bu sistemin 31.1a örneğinden tek farkı 3 noktasındaki yüklerdir. Kesit atalet momentleri ve sınır koşulları 31.1a örneğindeki gibidir.

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.1d Uzay çerçeve-konsol kiriş

SİSTEM:Uzay çerçeve

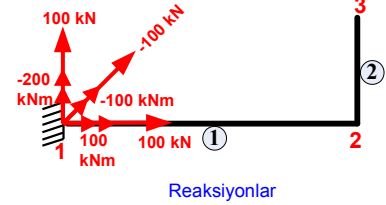
Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 2

Yüklü nokta sayısı: 1, Sınır koşullu nokta sayısı: 3

Denklemler sayısı: 30, Bilinmeyen sayısı: 30, Hiperstatiklik derecesi: 0

#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | 100        | -100   | 100    | 100     | -100    | -200    |
|        | 2     | -100       | 100    | -100   | -100    | -100    | 0       |
| 2      | 2     | 100        | -100   | -100   | 0       | 100     | -100    |
|        | 3     | -100       | 100    | 100    | 0       | 0       | 0       |



#### REAKSİYONLAR:

| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | 100    | -100   | 100    | 100     | -100    | -200    |
| 4     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

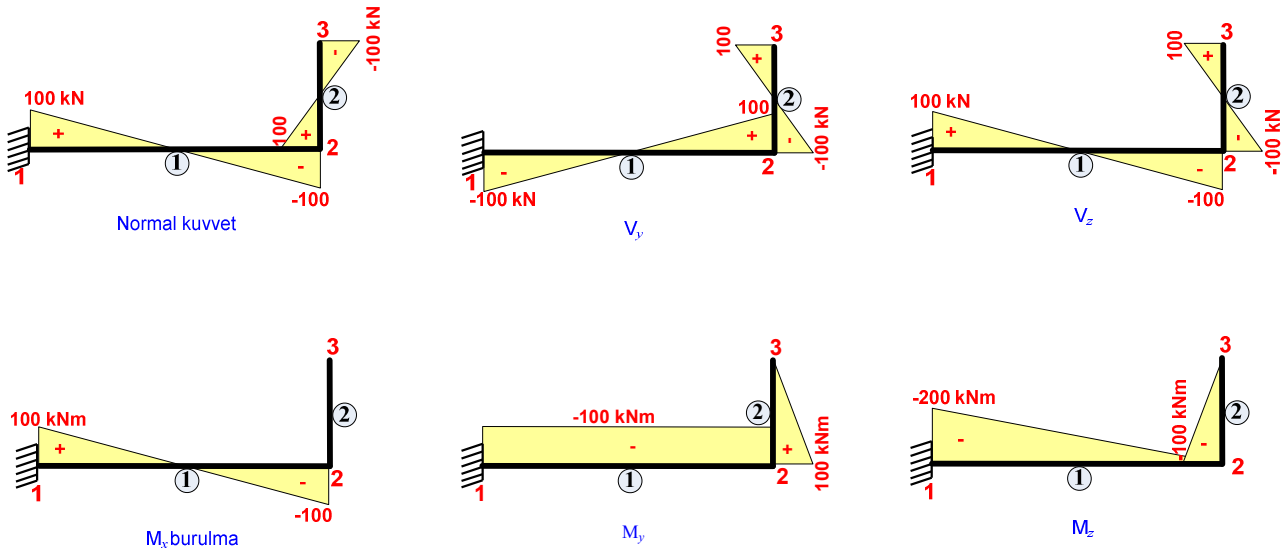
Yardımcı noktalara ait

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m)     | Uy(m)    | Uz(m)     | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|-----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0         | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 2     | -4.6E-5   | 0.002963 | -0.002963 | -0.007785    | 0            | 0.002223     |
| 3     | -0.001528 | 0.011119 | -0.002987 | -0.008341    | -0.002223    | 0.002223     |
| 4     | 0         | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0         | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |

Yardımcı noktalara ait

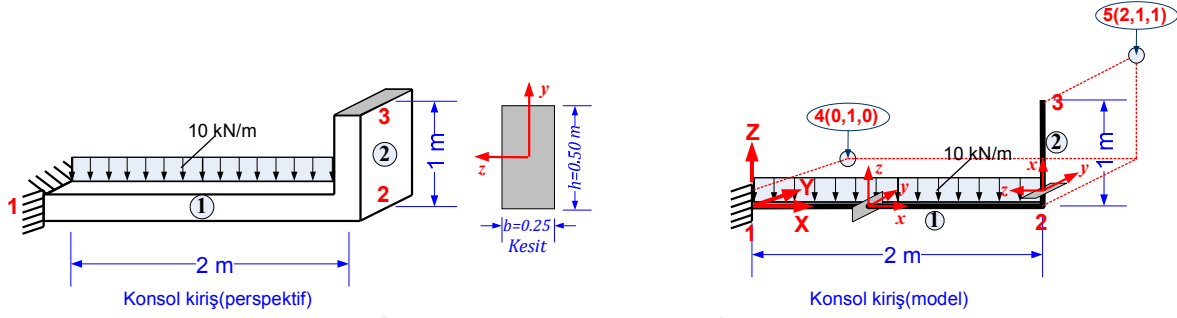
HESAP SÜRESİ: 0.0322 Saniye



**Yukarıdaki diyagramlar SEM işaret kuralına göre çizilmiştir.** Sistem izostatiktir, iç kuvvetler elle hesaplanabilir.

### 30. Uzun çerçeve örnek çözümleri

**Örnek 30.1e:** Aşağıda perspektif çizimi ve modeli görülen iki elemanlı uzay çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitleri 25x50 cm dir. Düzgün yayılı yük X-Z düzleminde. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. Eleman kuvvetleri, reaksiyonlar ve yer değiştirmelere aşağıda verilmiştir. İç kuvvet diyagramlarını çiziniz.



SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.1e Uzun çerçeve-konsol kiriş

SİSTEM:Uzun çerçeve

Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 2

Yüklü nokta sayısı: 0, Sınır koşullu nokta sayısı: 3

Denklem sayısı: 30, Bilinmeyen yayısı: 30, Hiperstatiklik derecesi: 0

#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | 0          | 0      | 20     | 0       | -20     | 0       |
|        | 2     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 2      | 2     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
|        | 3     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

#### REAKSİYONLAR:

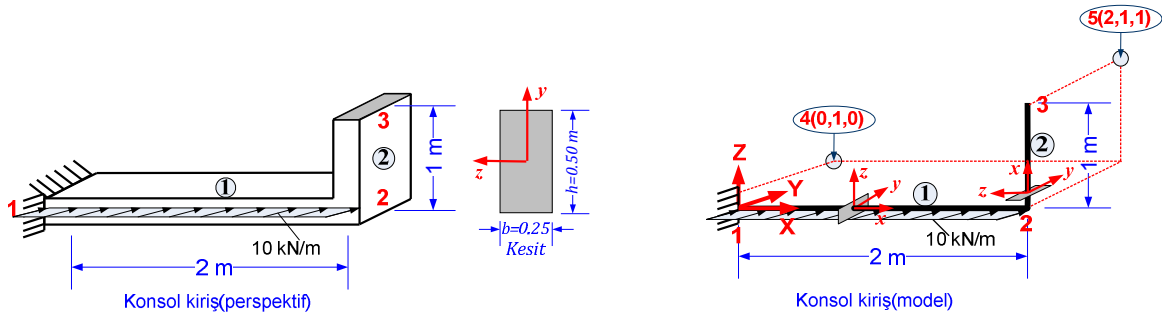
| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | 0      | 0      | 20     | 0       | -20     | 0       |
| 4     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m)    | Uy(m) | Uz(m)     | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|----------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0        | 0     | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 2     | 0        | 0     | -0.000889 | 0            | 0.000593     | 0            |
| 3     | 0.000593 | 0     | -0.000889 | 0            | 0.000593     | 0            |
| 4     | 0        | 0     | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0        | 0     | 0         | 0            | 0            | 0            |

HESAP SÜRESİ: 0.0336 Saniye

**Örnek 30.1f:** Aşağıda perspektif çizimi ve modeli görülen iki elemanlı uzay çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitleri 25x50 cm dir. Düzgün yayılı yük X-Y düzleminde. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. Eleman kuvvetleri, reaksiyonlar ve yer değiştirmelere aşağıda verilmiştir. İç kuvvet diyagramlarını çiziniz.



SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.1f Uzun çerçeve-konsol kiriş

SİSTEM:Uzun çerçeve

Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 2

Yüklü nokta sayısı: 0, Sınır koşullu nokta sayısı: 3

Denklem sayısı: 30, Bilinmeyen yayısı: 30, Hiperstatiklik derecesi: 0

### 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | 0          | -20    | 0      | 0       | 0       | -20     |
|        | 2     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 2      | 2     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
|        | 3     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

#### REAKSİYONLAR:

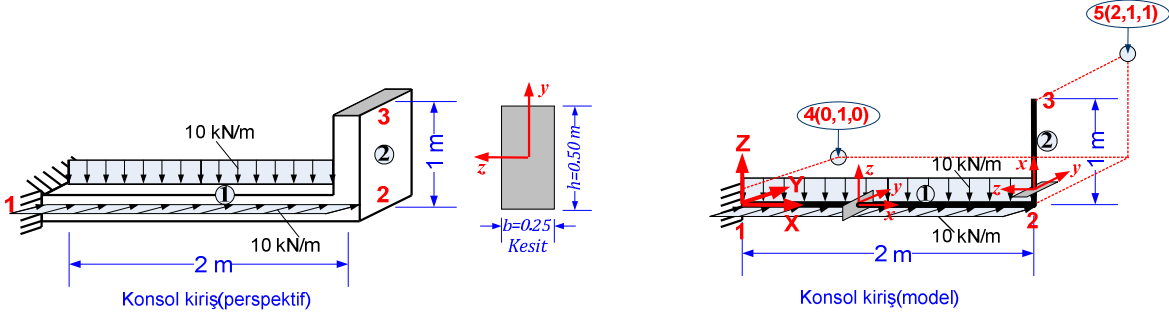
| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | 0      | -20    | 0      | 0       | 0       | -20     |
| 4     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m) | Uy(m)    | Uz(m) | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|-------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0     | 0        | 0     | 0            | 0            | 0            |
| 2     | 0     | 0.000222 | 0     | 0            | 0            | 0.000148     |
| 3     | 0     | 0.000222 | 0     | 0            | 0            | 0.000148     |
| 4     | 0     | 0        | 0     | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0     | 0        | 0     | 0            | 0            | 0            |

HESAP SÜRESİ: 0.0346 Saniye

**Örnek 30.1g:** Aşağıda perspektif çizimi ve modeli görülen iki elemanlı uzak çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitleri 25x50 cm dir. Düzgün yayılı yükler X-Z ve X-Y düzleminde. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. Eleman kuvvetleri, reaksiyonlar ve yer değıştirmelere aşağıda verilmiştir. İç kuvvet diyagramlarını çiziniz.



SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.1g Uzak çerçeve-konsol kiriş

SİSTEM:Uzak çerçeve

Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 2

Yüklü nokta sayısı: 0, Sınır koşullu nokta sayısı: 3

Denklemler sayısı: 30, Bilinmeyen yayısı: 30, Hiperstatiklik derecesi: 0

#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | 0          | -20    | 20     | 0       | -20     | -20     |
|        | 2     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 2      | 2     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
|        | 3     | 0          | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

#### REAKSİYONLAR:

| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | 0      | -20    | 20     | 0       | -20     | -20     |
| 4     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m)    | Uy(m)    | Uz(m)     | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0        | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 2     | 0        | 0.000222 | -0.000889 | 0            | 0.000593     | 0.000148     |
| 3     | 0.000593 | 0.000222 | -0.000889 | 0            | 0.000593     | 0.000148     |
| 4     | 0        | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0        | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |

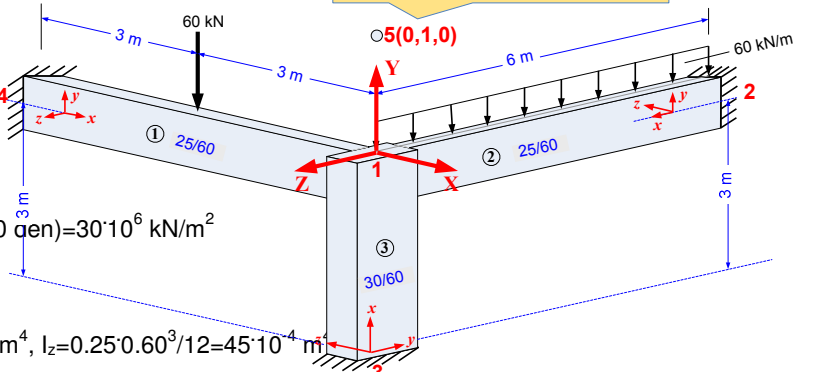
HESAP SÜRESİ: 0.0346 Saniye



### 30. Uzay çerçeve örnek çözümleri

1. ve 2. elemanın yerel y ekseninin yukarı doğru tanımlanabilmesi için gerekli nokta

**Örnek 30.2:** Sağda perspektif çizimi görülen uzay çerçeve C25/30 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine diktir. Yükler kirişlere diktir. Kirişlerin kesiti 25/60 cm, kolonun kesiti 30/60 cm dir. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. Eleman kuvvetlerini ve yer değiştirmeleri hesaplanacaktır.



**Elastisite modülü:**  $E=30000 \text{ N/mm}^2$  (TS 500-2000 gen) $=30 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$

**Poisson oranı:**  $\nu=0.25$

**Kesit bilgileri(025x0.60 m kesitlerde):**

Kesit alanı:  $A=0.25 \cdot 0.60=0.15 \text{ m}^2$

Eğilme atalet momenti:  $I_y=0.60 \cdot 0.25^3/12=7.81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$ ,  $I_z=0.25 \cdot 0.60^3/12=45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Burulma atalet momenti:

$b < h$  olduğundan:  $J = \frac{hb^3}{3} (1 - 0.63 \frac{b}{h} + 0.053 \frac{b^5}{h^5}) = \frac{0.6 \cdot 0.25^3}{3} (1 - 0.63 \frac{0.25}{0.6} + 0.053 \frac{0.25^5}{0.6^5}) = 23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$  Bak: EK5

**Kesit bilgileri(030x0.60 m kesitlerde):**

Kesit alanı:  $A=0.30 \cdot 0.60=0.18 \text{ m}^2$ , Eğilme atalet momenti:  $I_y=0.60 \cdot 0.30^3/12=13.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$ ,  $I_z=0.30 \cdot 0.60^3/12=54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Burulma atalet momenti:  $b < h$  olduğundan:  $J = \frac{hb^3}{3} (1 - 0.63 \frac{b}{h} + 0.053 \frac{b^5}{h^5}) = \frac{0.6 \cdot 0.3^3}{3} (1 - 0.63 \frac{0.3}{0.6} + 0.053 \frac{0.3^5}{0.6^5}) = 37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

**Sınır koşulları:** 2, 3, 4 mesnet noktaları ve yardımcı 5 noktası hiçbir yönde yer değiştiremez 5 noktası 1. ve 2. elemanın yerel y eksenlerinin yönünü yukarı doğru tanımlayabilmek için gereklidir. Bu noktanın yer değiştirmeleri tutulmalıdır, aksi halde tekilliğe neden olur. 3. elemanın yardımcı noktası 2 dir.

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.2 Uzay çerçeve-hiperstatik

SİSTEM:Uzay çerçeve

Nokta sayısı: 5, Eleman sayısı: 3

Yüklü nokta sayısı: 0, Sınır koşullu nokta sayısı: 4

Denklemler sayısı: 30, Bilinmeyen sayısı: 42, Hiperstatiklik derecesi: 12

#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 4     | 7.58       | 37.28  | 0.08   | 2.76    | -0.26   | 60.35   |
|        | 1     | -7.58      | 22.72  | -0.08  | -2.76   | -0.22   | -16.65  |
| 2      | 2     | 58.98      | 194.27 | -0.04  | -1.33   | 0.08    | 209.32  |
|        | 1     | -58.98     | 165.73 | 0.04   | 1.33    | 0.13    | -123.71 |
| 3      | 3     | 188.45     | 59.06  | 7.62   | -0.09   | -7.53   | 56.23   |
|        | 1     | -188.45    | -59.06 | -7.62  | 0.09    | -15.32  | 120.95  |

#### REAKSİYONLAR:

| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 2     | 0.04   | 194.27 | 58.98  | -209.32 | 0.08    | -1.33   |
| 3     | -7.62  | 188.45 | -59.06 | -56.23  | -0.09   | 7.53    |
| 4     | 7.58   | 37.28  | 0.08   | 2.76    | -0.26   | 60.35   |
| 5     | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

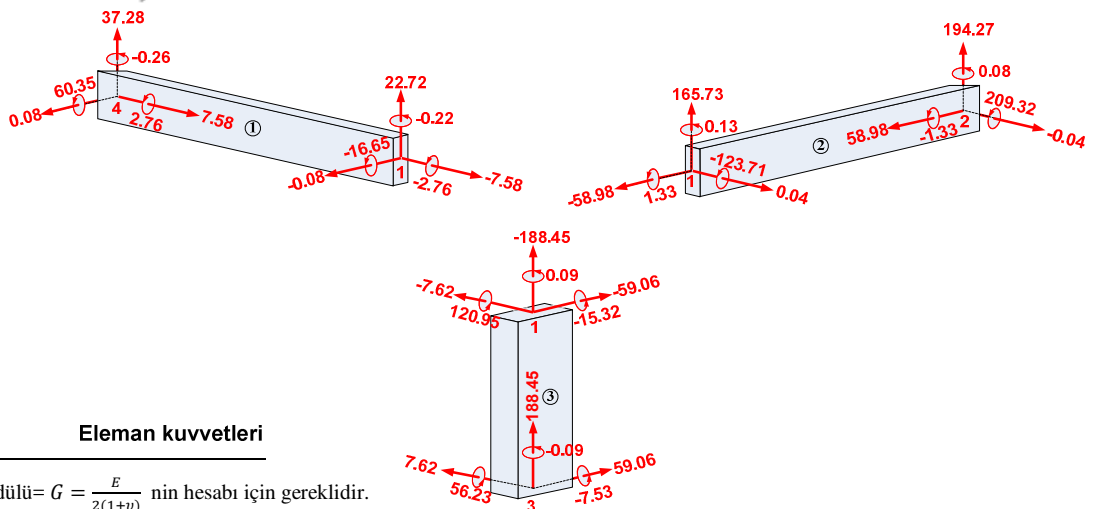
Yardımcı noktaya ait

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m) | Uy(m)     | Uz(m)   | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|-------|-----------|---------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | -1E-5 | -0.000105 | -7.9E-5 | -0.000599    | 6E-6         | 0.000289     |
| 2     | 0     | 0         | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 3     | 0     | 0         | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 4     | 0     | 0         | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0     | 0         | 0       | 0            | 0            | 0            |

Yardımcı noktaya ait

HESAP SÜRESİ: 0.0404 Saniye



#### Eleman kuvvetleri

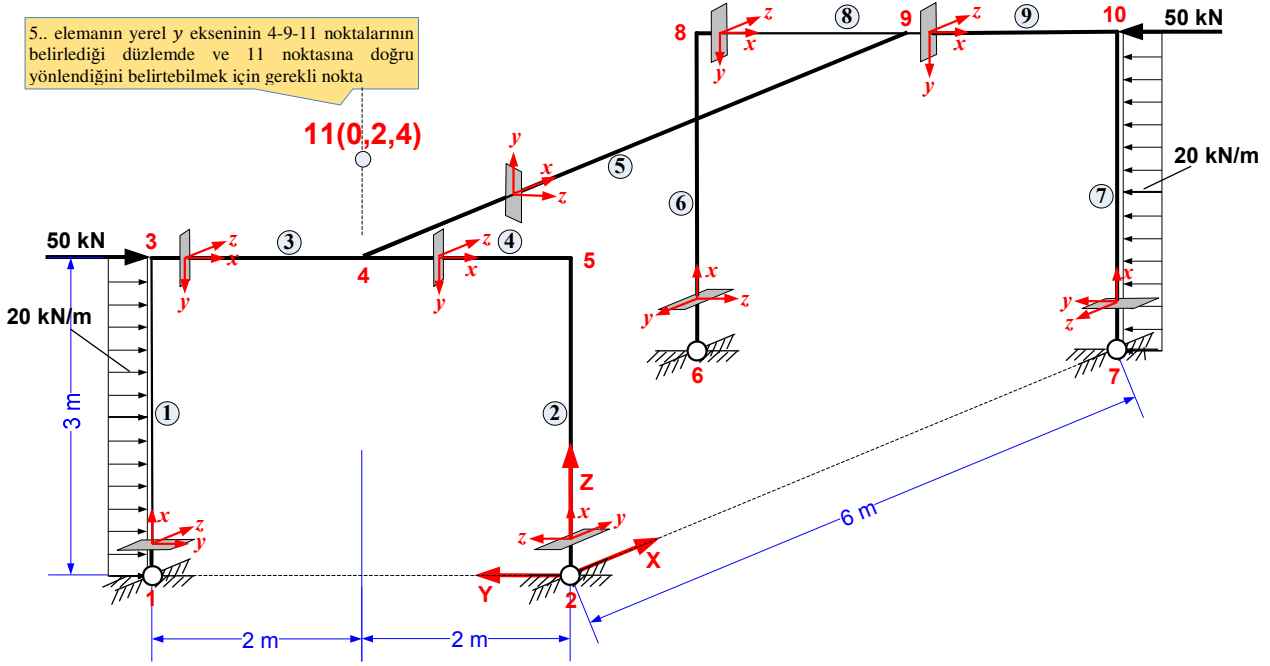
<sup>1</sup> Kayma modülü=  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  nin hesabı için gereklidir.



### 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

**Örnek 30.3:** Aşağıda perspektif çizimi görülen uzak çerçeve C40/50 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine diktir. Yükler kirişlere diktir. Tüm elemanların kesiti 25/50 cm dir. Kesitlerin duruşu ve yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. Eleman kuvvetleri hesaplanarak aşağıda verilmiştir. ÖDEV: 1. ve 5. elemanın iç kuvvetlerini 30.2 örneğindeki gibi çiziniz.

5. elemanın yerel y ekseninin 4-9-11 noktalarının belirlediği düzlemde ve 11 noktasına doğru yönlendiğini belirtebilmek için gerekli nokta



**Elastisite modülü:**  $E=34000 \text{ N/mm}^2$  (TS 500-2000 den)= $34 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$

**Poisson oranı:**  $\nu=0.20^1$

**Kesit bilgileri:**

Kesit alanı:  $A=0.25 \cdot 0.50=0.125 \text{ m}^2$ , Eğilme atalet momenti:  $I_2=0.50 \cdot 0.25^3/12=6.51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$ ,  $I_3=0.25 \cdot 0.50^3/12=26.04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$   
Burulma atalet momentii:

$b < h$  olduğundan:  $J = \frac{hb^3}{3} (1 - 0.63 \frac{b}{h} + 0.053 \frac{b^5}{h^5}) = \frac{0.5 \cdot 0.25^3}{3} (1 - 0.63 \frac{0.25}{0.5} + 0.053 \frac{0.25^5}{0.5^5}) = 17.88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$  Bak: EK5

**Sınır koşulları:**

1, 2, 6, 7 noktaları eksenler yönünde yer değiştiremez, fakat eksenler etrafında dönebilir. 11 noktası hiçbir yer değiştirme yapamaz. 11. nokta 5. elemanın 3. noktasıdır, yerel y ekseninin 4-9-11 düzleminde olduğunu ve 11 noktası tarafına yönlendiğini tanımlamak için gereklidir. Diğer elemanlar için 3. nokta tanımlamaya gerek yoktur, sistemin mevcut noktaları bu amaç için kullanılabilir. Örneğin, 1. elemanın 3. noktası 2 noktası, 2. elemanın 3. noktası 7 noktası, 3. elemanın 3. noktası 1 noktası, ... olarak kullanılabilir.

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015**

**ÖRNEK 30.3 Uzak çerçeve burulma**

SİSTEM:Uzak çerçeve

Nokta sayısı: 11, Eleman sayısı: 9

Yüklü nokta sayısı: 2, Sınır koşullu nokta sayısı: 5

Denklemler sayısı: 66, Bilinmeyen sayısı: 72, Hiperstatiklik derecesi: 6

**ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:**

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | -55.93     | -78.19 | 4.44   | 0       | 0       | 0       |
|        | 3     | 55.93      | 18.19  | -4.44  | 0       | -13.33  | -144.57 |
| 2      | 2     | 55.93      | -5.32  | 25.3   | 0       | 0       | 0       |
|        | 5     | -55.93     | 5.32   | -25.3  | 0       | -75.9   | -15.96  |
| 3      | 3     | 31.81      | 55.93  | 4.44   | 13.33   | 0       | 144.57  |
|        | 4     | -31.81     | -55.93 | -4.44  | -13.33  | -8.89   | -32.72  |
| 4      | 4     | 25.3       | 55.93  | 5.32   | 15.96   | -10.64  | 35.95   |
|        | 5     | -25.3      | -55.93 | -5.32  | -15.96  | 0       | 75.9    |
| 5      | 4     | -0.888     | 0      | 6.51   | -3.23   | -19.53  | -2.63   |
|        | 9     | 0.888      | 0      | -6.51  | 3.23    | -19.53  | 2.63    |
| 6      | 6     | 55.93      | -5.32  | 25.3   | 0       | 0       | 0       |
|        | 8     | -55.93     | 5.32   | -25.3  | 0       | -75.9   | -15.96  |
| 7      | 7     | -55.93     | -78.19 | 4.44   | 0       | 0       | 0       |
|        | 10    | 55.93      | 18.19  | -4.44  | 0       | -13.33  | -144.57 |
| 8      | 8     | 25.3       | -55.93 | 5.32   | 15.96   | 0       | -75.9   |
|        | 9     | -25.3      | 55.93  | -5.32  | -15.96  | -10.64  | -35.95  |
| 9      | 9     | 31.81      | -55.93 | 4.44   | 13.33   | -8.89   | 32.72   |
|        | 10    | -31.81     | 55.93  | -4.44  | -13.33  | 0       | -144.57 |

<sup>1</sup> Kayma modülü  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  nin hesabı için gereklidir.

### 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

#### REAKSİYONLAR:

| Nokta | R <sub>x</sub> (kN) | R <sub>y</sub> (kN) | R <sub>z</sub> (kN) | M <sub>x</sub> (kNm) | M <sub>y</sub> (kNm) | M <sub>z</sub> (kNm) |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1     | 4.44                | 78.19               | -55.93              |                      |                      |                      |
| 2     | -5.32               | 25.3                | 55.93               |                      |                      |                      |
| 6     | 5.32                | -25.3               | 55.93               |                      |                      |                      |
| 7     | -4.44               | -78.19              | -55.93              |                      |                      |                      |
| 11    | 0                   | 0                   | 0                   | 0                    | 0                    | 0                    |

Yardımcı noktaya ait

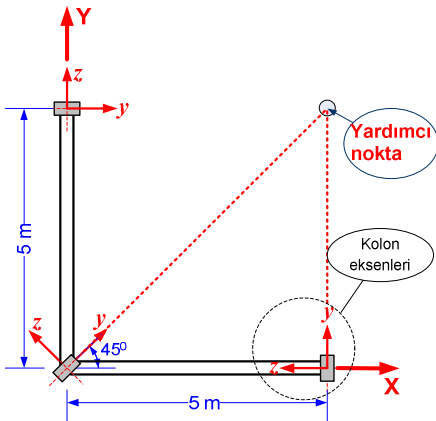
#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | U <sub>x</sub> (m) | U <sub>y</sub> (m) | U <sub>z</sub> (m) | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0                  | 0                  | 0                  | 0.004503     | -0.001839    | 0.002182     |
| 2     | 0                  | 0                  | 0                  | 0.005128     | 0.001596     | 0.002104     |
| 3     | -0.004628          | -0.01035           | 3.9E-5             | 0.001593     | -0.00095     | 0.002182     |
| 4     | -1E-6              | -0.010335          | -0.000763          | -0.000377    | 8.8E-5       | 0.002577     |
| 5     | 0.004523           | -0.010323          | -3.9E-5            | 6.7E-5       | 0.00133      | 0.002104     |
| 6     | 0                  | 0                  | 0                  | -0.005128    | -0.001596    | 0.002104     |
| 7     | 0                  | 0                  | 0                  | -0.004503    | 0.001839     | 0.002182     |
| 8     | -0.004523          | 0.010323           | -3.9E-5            | -6.7E-5      | -0.00133     | 0.002104     |
| 9     | 1E-6               | 0.010335           | -0.000763          | 0.000377     | -8.8E-5      | 0.002577     |
| 10    | 0.004628           | 0.01035            | 3.9E-5             | -0.001593    | 0.00095      | 0.002182     |
| 11    | 0                  | 0                  | 0                  | 0            | 0            | 0            |

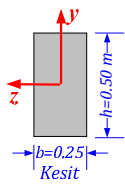
Yardımcı noktaya ait

HESAP SÜRESİ: 0.0892 Saniye

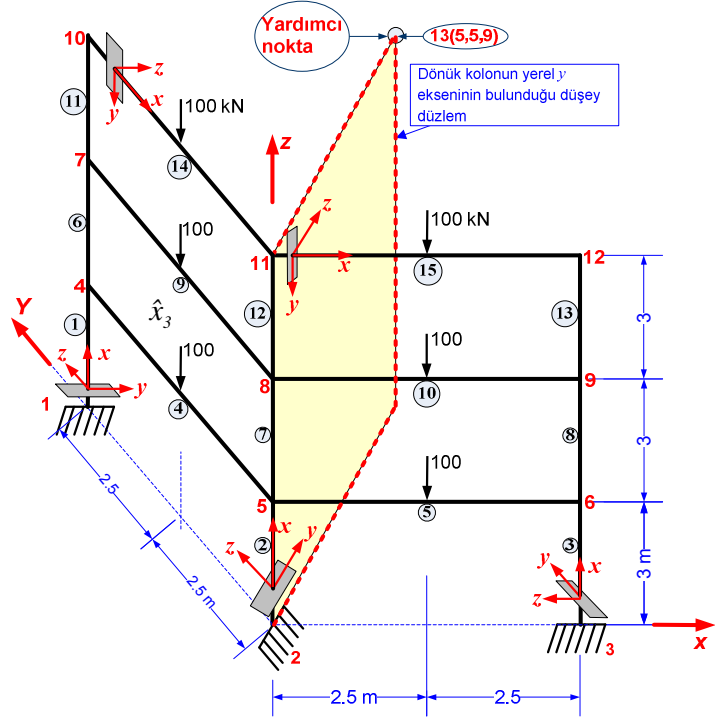
**Örnek 30.4:** Aşağıda perspektif modeli ve planda görünümü verilen uzak çerçeve C30/37 betonu ile inşa edilecektir. Elemanlar birbirine dik, kesitler 25/50 cm dir. Yükler kirişlere diktir. Yerel eksenler elemanlar üzerinde gösterilmiştir. Z genel eksenini üzerindeki kolonun y yerel eksenini X genel eksenini ile 45° açı yapmaktadır(dönük kolon). Eleman kuvvetleri, reaksiyonlar ve yer değıştirmeler aşağıda verilmiştir. ÖDEV: 2 nolu elemanın iç kuvvetlerini örnek 30.2 ye benzer şekilde çiziniz.



Dönük kolonlu Uzak çerçeve(Plan)



Kesit



Dönük kolonlu Uzak çerçeve(perspektif)

13 noktası dönük kolonun yerel y ekseninin bulunduğu düzlemi ve yönünü belirlemek için tanımlanmıştır. Bu noktanın tüm yer değıştirmelerinin tutulması gerekir, aksi halde denklem sistemi tekil olur. Diğer elemanlar için yardımcı nokta tanımlamaya gerek yoktur, çünkü yerel y eksenleri genel eksenlere paraleldir, bu bilgi yeterlidir.

Atalet momentlerinin hesaplanması, eleman üzerindeki yüklerin tanımlanması ve sonuçların yorumlanması yerel eksenlere göre yapılmak zorundadır

### 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

Elastisite modülü:  $E=31.8 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$

Poisson oranı:  $\nu=0.20^1$

Kesit alanı:  $A=0.25 \cdot 0.50=0.125 \text{ m}^2$

Eğilme atalet momenti:

$I_y=0.50 \cdot 0.25^3/12=6.51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$  Modeldeki y eksenine göre

$I_z=0.25 \cdot 0.50^3/12=26.04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$  Modeldeki z eksenine göre

Burulma atalet momenti:

$b < h$  olduğundan:  $J = \frac{hb^3}{3} \left(1 - 0.63 \frac{b}{h} + 0.053 \frac{b^5}{h^5}\right) = \frac{0.5 \cdot 0.25^3}{3} \left(1 - 0.63 \frac{0.25}{0.5} + 0.053 \frac{0.25^5}{0.5^5}\right) = 17.84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$  Bak: EK5

Sınır koşulları:

1, 2, 3, mesnet noktaları ve yardımcı 13 noktası hiçbir yer değiştirme yapamaz.

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

#### Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015

#### ÖRNEK 30.4 Uzak çerçeve-dönük kolon

SİSTEM:Uzak çerçeve

Nokta sayısı: 13, Eleman sayısı: 15

Yüklü nokta sayısı: 0, Sınır koşullu nokta sayısı: 4

Denklemler sayısı: 78, Bilinmeyen sayısı: 114, Hiperstatiklik derecesi: 36

#### ELEMAN YEREL KUVVETLERİ:

| Eleman | Nokta | Normal(kN) | Vy(kN) | Vz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|--------|-------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1      | 1     | 147.91     | -0.17  | -9.57  | -0.13   | 10.92   | -4.07   |
|        | 4     | -147.91    | 0.17   | 9.57   | 0.13    | 17.8    | 3.56    |
| 2      | 2     | 304.19     | 13.77  | 0      | 0       | 0       | 6.4     |
|        | 5     | -304.19    | -13.77 | 0      | 0       | 0       | 34.93   |
| 3      | 3     | 147.91     | -0.17  | 9.57   | 0.13    | -10.92  | -4.07   |
|        | 6     | -147.91    | 0.17   | -9.57  | -0.13   | -17.8   | 3.56    |
| 4      | 4     | -7.12      | -48.29 | -0.06  | 1.07    | 0.07    | -43.92  |
|        | 5     | 7.12       | -51.71 | 0.06   | -1.07   | 0.21    | 52.46   |
| 5      | 5     | -7.12      | -51.71 | 0.06   | -1.07   | -0.21   | -52.46  |
|        | 6     | 7.12       | -48.29 | -0.06  | 1.07    | -0.07   | 43.92   |
| 6      | 4     | 99.61      | -0.11  | -16.69 | -0.06   | 26.13   | -2.49   |
|        | 7     | -99.61     | 0.11   | 16.69  | 0.06    | 23.93   | 2.15    |
| 7      | 5     | 200.77     | 23.76  | 0      | 0       | 0       | 37.75   |
|        | 8     | -200.77    | -23.76 | 0      | 0       | 0       | 33.53   |
| 8      | 6     | 99.61      | -0.11  | 16.69  | 0.06    | -26.13  | -2.49   |
|        | 9     | -99.61     | 0.11   | -16.69 | -0.06   | -23.93  | 2.15    |
| 9      | 7     | -5.47      | -50.99 | -0.05  | 0.42    | 0.02    | -54.19  |
|        | 8     | 5.47       | -49.01 | 0.05   | -0.42   | 0.22    | 49.26   |
| 10     | 8     | -5.47      | -49.01 | 0.05   | -0.42   | -0.22   | -49.26  |
|        | 9     | 5.47       | -50.99 | -0.05  | 0.42    | -0.02   | 54.19   |
| 11     | 7     | 48.63      | -0.06  | -22.16 | -0.04   | 30.25   | -1.73   |
|        | 10    | -48.63     | 0.06   | 22.16  | 0.04    | 36.21   | 1.54    |
| 12     | 8     | 102.74     | 31.42  | 0      | 0       | 0       | 35.53   |
|        | 11    | -102.74    | -31.42 | 0      | 0       | 0       | 58.73   |
| 13     | 9     | 48.63      | -0.06  | 22.16  | 0.04    | -30.25  | -1.73   |
|        | 12    | -48.63     | 0.06   | -22.16 | -0.04   | -36.21  | 1.54    |
| 14     | 10    | 22.16      | -48.63 | -0.06  | 1.54    | 0.04    | -36.21  |
|        | 11    | -22.16     | -51.37 | 0.06   | -1.54   | 0.28    | 43.07   |
| 15     | 11    | 22.16      | -51.37 | 0.06   | -1.54   | -0.28   | -43.07  |
|        | 12    | -22.16     | -48.63 | -0.06  | 1.54    | -0.04   | 36.21   |

#### REAKSİYONLAR:

| Nokta | Rx(kN) | Ry(kN) | Rz(kN) | Mx(kNm) | My(kNm) | Mz(kNm) |
|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1     | -0.17  | -9.57  | 147.91 | 10.92   | -4.07   | -0.13   |
| 2     | 9.74   | 9.74   | 304.19 | -4.52   | 4.52    | 0       |
| 3     | -9.57  | -0.17  | 147.91 | 4.07    | -10.92  | 0.13    |
| 13    | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       |

Yardımcı noktaya ait

#### SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:

| Nokta | Ux(m)    | Uy(m)    | Uz(m)     | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0        | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 2     | 0        | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 3     | 0        | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |
| 4     | 0.000212 | 0.000292 | -0.000112 | 0.000498     | 0.000138     | 1.7E-5       |
| 5     | 0.000283 | 0.000283 | -0.00023  | -0.000365    | 0.000365     | 0            |
| 6     | 0.000292 | 0.000212 | -0.000112 | -0.000138    | -0.000498    | -1.7E-5      |
| 7     | 0.000756 | 0.000849 | -0.000187 | 0.000339     | 0.000222     | 2.4E-5       |
| 8     | 0.000842 | 0.000842 | -0.000381 | -0.000311    | 0.000311     | 0            |
| 9     | 0.000849 | 0.000756 | -0.000187 | -0.000222    | -0.000339    | -2.4E-5      |
| 10    | 0.001514 | 0.00159  | -0.000224 | 0.000772     | 0.000282     | 2.9E-5       |
| 11    | 0.001618 | 0.001618 | -0.000459 | -0.000608    | 0.000608     | 0            |
| 12    | 0.00159  | 0.001514 | -0.000224 | -0.000282    | -0.000772    | -2.9E-5      |
| 13    | 0        | 0        | 0         | 0            | 0            | 0            |

Yardımcı noktaya ait

HESAP SÜRESİ: 0.1615 Saniye

<sup>1</sup> Kayma modülü=  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$  nin hesabı için gereklidir.

### 30. Uzak çerçeve örnek çözümleri

**Örnek 30.5:** Sağdaki uzak çerçeve C40/50 betonu ile deprem yalıtımlı inşa edilecektir. Alt kat (izolatör katı) kolonlarında // ile gösterilen kauçuk deprem izolatörleri vardır. İzolatör katı kolonları 0.5x0.5 m, diğer kolonlar 0.3x0.3 m, kirişler 0.3x0.6 kesitlidir. İzolatörün aksel yük rijitliği  $k_{\text{eksenel}}=1.0 \cdot 10^6$  kN/m, kesme rijitliği  $k_{\text{esme}}=500$  kN/m dir. Şekilde görülen yatay deprem yük için sistemin Y yönü yatay yer değiştirmeleri hesaplanacak, göreceli yer değiştirme grafiği çizilecektir.

**Beton malzeme bilgileri:**  $E = 34.55 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ ,  $\nu = 0.20$

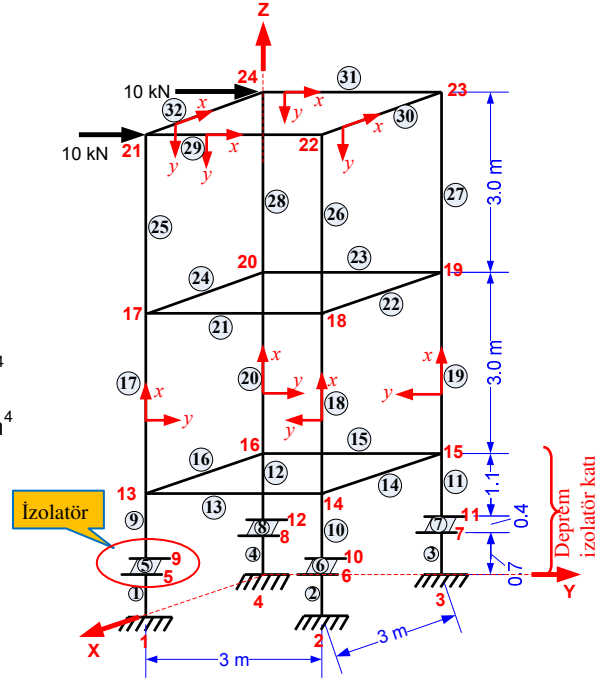
**Kesit bilgileri:**

Alt kolonlar:  $A=0.25 \text{ m}^2$ ,  $J=7.8188 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ ,  $I_y=I_z=5.2083 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

Üst kolonlar:  $A=0.09 \text{ m}^2$ ,  $J=1.0133 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ ,  $I_2=I_3=6.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

Kirişler:  $A=0.18 \text{ m}^2$ ,  $J=3.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ ,  $I_y=1.35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ ,  $I_z=5.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$

**İzolatör rijitlikleri:**  $k_{\text{eksenel}}=1.0 \cdot 10^6$  kN/m,  $k_{\text{esme}}=500$  kN/m



**İzolatörün modellenmesi:**

5, 6, 7, 8 nolu izolatörler uzak çerçeve eleman olarak modellenmiş, bu elemanlarda esneklik matrisi

$$\underline{f} = \begin{bmatrix} \frac{L}{EA} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{L^3}{3EI_3} & 0 & 0 & 0 & \frac{L^2}{2EI_3} \\ 0 & 0 & \frac{L^3}{3EI_2} & 0 & 0 & -\frac{L^2}{2EI_2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{L}{GJ} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{L^2}{2EI_2} & 0 & \frac{L}{EI_2} & 0 \\ 0 & \frac{L^2}{2EI_3} & 0 & 0 & 0 & \frac{L}{EI_3} \end{bmatrix} \text{ yerine } \underline{f} = \begin{bmatrix} \frac{1}{k_{\text{eksenel}}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{k_{\text{esme}}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{k_{\text{esme}}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{k_{\text{esme}}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{k_{\text{esme}}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{k_{\text{esme}}} \end{bmatrix} \text{ alınmıştır.}$$

SEM2015, ©Ahmet TOPÇU, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Sonlu Elemanlar Kuvvet Metodu 2015**

**ÖRNEK 30.5 Uzak çerçeve-deprem izolatörlü**

SİSTEM:Uzak çerçeve

Nokta sayısı: 24, Eleman sayısı: 32

Yüklü nokta sayısı: 2, Sınır koşullu nokta sayısı: 4

Denklem sayısı: 144, Bilinmeyen yayısı: 216, Hiperstatiklik derecesi: 72

**SİSTEMİN YER DEĞİŞTİRMELERİ:**

| Nokta | Ux(m) | Uy(m)    | Uz(m)   | Dönme X(rad) | Dönme Y(rad) | Dönme Z(rad) |
|-------|-------|----------|---------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0     | 0        | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 2     | 0     | 0        | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 3     | 0     | 0        | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 4     | 0     | 0        | 0       | 0            | 0            | 0            |
| 5     | 0     | 1.2E-5   | 2E-6    | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 6     | 0     | 1.2E-5   | -2E-6   | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 7     | 0     | 1.2E-5   | -2E-6   | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 8     | 0     | 1.2E-5   | 2E-6    | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 9     | 0     | 0.010024 | 2.2E-5  | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 10    | 0     | 0.010024 | -2.2E-5 | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 11    | 0     | 0.010024 | -2.2E-5 | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 12    | 0     | 0.010024 | 2.2E-5  | -3.1E-5      | 0            | 0            |
| 13    | 0     | 0.010067 | 2.5E-5  | -4.1E-5      | 0            | 0            |
| 14    | 0     | 0.010067 | -2.5E-5 | -4.1E-5      | 0            | 0            |
| 15    | 0     | 0.010067 | -2.5E-5 | -4.1E-5      | 0            | 0            |
| 16    | 0     | 0.010067 | 2.5E-5  | -4.1E-5      | 0            | 0            |
| 17    | 0     | 0.010709 | 3.9E-5  | -6.6E-5      | 0            | 0            |
| 18    | 0     | 0.010709 | -3.9E-5 | -6.6E-5      | 0            | 0            |
| 19    | 0     | 0.010709 | -3.9E-5 | -6.6E-5      | 0            | 0            |
| 20    | 0     | 0.010709 | 3.9E-5  | -6.6E-5      | 0            | 0            |
| 21    | 0     | 0.011366 | 4.4E-5  | -5E-5        | 0            | 0            |
| 22    | 0     | 0.011363 | -4.4E-5 | -5E-5        | 0            | 0            |
| 23    | 0     | 0.011363 | -4.4E-5 | -5E-5        | 0            | 0            |
| 24    | 0     | 0.011366 | 4.4E-5  | -5E-5        | 0            | 0            |

HESAP SÜRESİ: 0.2733 Saniye

İzolatör altındaki noktalarda yer değiştirmeler sıfır. Gerçek davranışta izolatörler altındaki kolonlar zemin ile aynı yer değiştirmeyi yapar, üst yapı göreceli yer değiştirmeleri hemen hemen aynı olur.

İzolatör ve üstündeki noktalarda yer değiştirmeler hemen hemen aynı. Bu, katlar arası göreceli yer değiştirmelerin küçük olduğu, dolayısıyla iç kuvvetlerin de küçük kalacağı anlamındadır.

