



دانشگاه کردستان
University of Kurdistan
زانکۆی کوردستان

تحلیل سازه‌ها

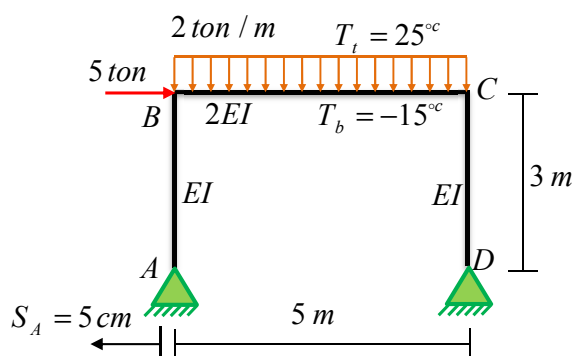
تحلیل سازه‌های نامعین به روش نیرو- تمرین (Force Method)

تهیه کننده: کاوه کرمی
دانشیار مهندسی سازه

<https://prof.uok.ac.ir/Ka.Karami>

روش نیرو (Force Method)

تمرین ۱- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی در قاب نشان داده شده را رسم نمایید. تکیه گاه A به اندازه ۵ سانتیمتر به سمت چپ حرکت می‌کند. تیر BC نیز تحت اثر تغییرات حرارتی می باشد.



$$EI = 200 \text{ ton} \cdot \text{m}^2$$

$$h_{BC} = 20 \times 10^{-2} \text{ m}$$

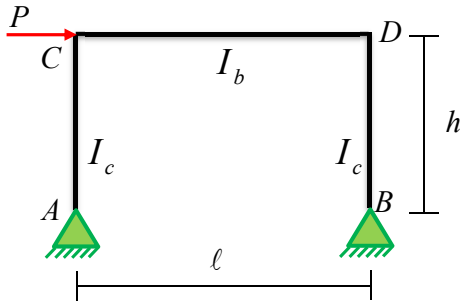
$$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

پاسخ تمرین ۱-

DC :	$M_{(x)} = -3.208x$	$V_{(x)} = 3.208$	$P_{(x)} = -8$	$3 \geq x \geq 0$
CB :	$M_{(x)} = -x^2 + 8x - 9.624$	$V_{(x)} = 2x - 8$	$P_{(x)} = -3.208$	$5 \geq x \geq 0$
BA :	$M_{(x)} = -1.792x + 5.376$	$V_{(x)} = 1.792$	$P_{(x)} = -2$	$3 \geq x \geq 0$

روش نیرو (Force Method)

تمرین ۲- در قاب نشان داده شده تغییر مکان جانبی گره C را محاسبه نمایید.



$$P = 60 \text{ ton}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg / cm}^2$$

$$IPE 30 \rightarrow I_b = 8356 \text{ cm}^4$$

$$BOX 24 \times 24 \times 2 \rightarrow I_c = 14310 \text{ cm}^4$$

پاسخ تمرین ۲-

$$k_c = \frac{EI_c}{h^3}, \quad k_b = \frac{EI_b}{l^3}, \quad \beta = \frac{k_c}{k_b}, \quad \alpha = \frac{h}{l}$$

$$B_x = \frac{P}{2} = 30, \quad A_x = -\frac{P}{2} = -30 \text{ (ton)}, \quad B_y = \frac{Ph}{l} = 48, \quad A_y = -\frac{Ph}{l} = -48 \text{ (ton.m)}$$

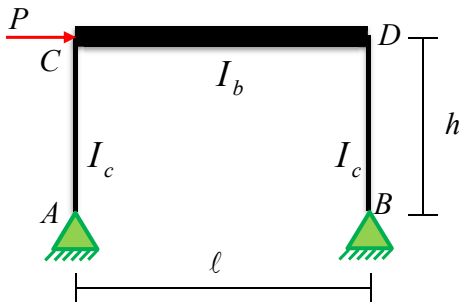
$$\Delta_C = \left(\frac{2 + \alpha^2 \beta}{12k_c} \right) P = 46.30 \text{ cm}$$

ETABS File Name: 06-Homework-02.EDB

3

روش نیرو (Force Method)

تمرین ۳- در قاب نشان داده شده تغییر مکان جانبی گره C را محاسبه نمایید. تیر CD صلب است.



$$P = 60 \text{ ton}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$l = 5 \text{ m}$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg / cm}^2$$

$$I_b = \infty$$

$$BOX 24 \times 24 \times 2 \rightarrow I_c = 14310 \text{ cm}^4$$

پاسخ تمرین ۳-

$$B_x = \frac{P}{2} = 30, \quad A_x = -\frac{P}{2} = -30 \text{ (ton)}, \quad B_y = \frac{Ph}{l} = 48, \quad A_y = -\frac{Ph}{l} = -48 \text{ (ton.m)}$$

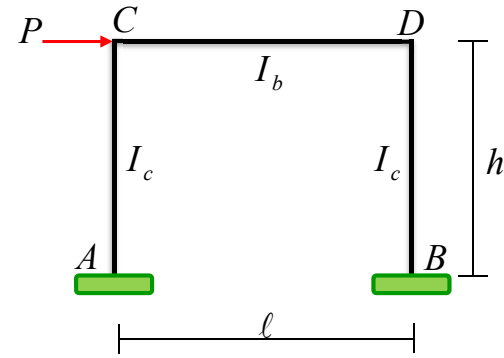
$$\Delta_C = \frac{Ph^3}{6EI_c} = 22.36 \text{ cm}$$

ETABS File Name: 06-Homework-03.EDB

4

روش نیرو (Force Method)

تمرین ۴- در قاب نشان داده شده تغییر مکان جانبی گره C را محاسبه نمایید.



$$P = 60 \text{ ton}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$\ell = 5 \text{ m}$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{IPE 30} \rightarrow I_b = 8356 \text{ cm}^4$$

$$\text{BOX } 24 \times 24 \times 2 \rightarrow I_c = 14310 \text{ cm}^4$$

پاسخ تمرین ۴-

$$k_c = \frac{EI_c}{h^3}, \quad k_b = \frac{EI_b}{\ell^3}, \quad \beta = \frac{k_c}{k_b}, \quad \alpha = \frac{h}{\ell}$$

$$B_x = -\frac{P}{2} = -30 \text{ (ton)}, \quad B_y = \frac{3P}{\beta\alpha + \frac{6}{\alpha}} = 17.69 \text{ (ton)}, \quad M_B = \left(\frac{\beta\alpha^2 + 3}{2\beta\alpha^2 + 12} \right) Ph = 75.78 \text{ (ton.m)}$$

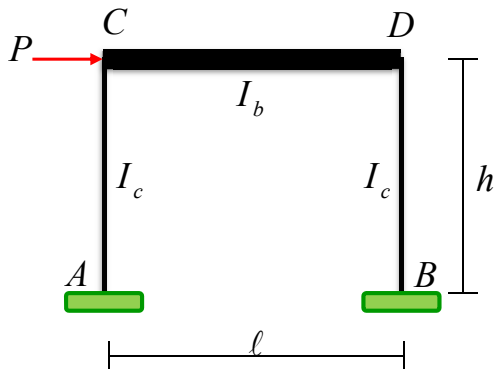
$$\Delta_C = \frac{P}{12 \left(\frac{\beta\alpha^2 + 6}{2\beta\alpha^2 + 3} \right) k_c} \Rightarrow \Delta_C = 10 \text{ cm}$$

ETABS File Name: 06-Homework-04.EDB

5

روش نیرو (Force Method)

تمرین ۵- در قاب نشان داده شده تغییر مکان جانبی گره C را محاسبه نمایید. تیر CD صلب است.



$$P = 60 \text{ ton}$$

$$h = 4 \text{ m}$$

$$\ell = 5 \text{ m}$$

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$I_b = \infty$$

$$\text{BOX } 24 \times 24 \times 2 \rightarrow I_c = 14310 \text{ cm}^4$$

پاسخ تمرین ۵-

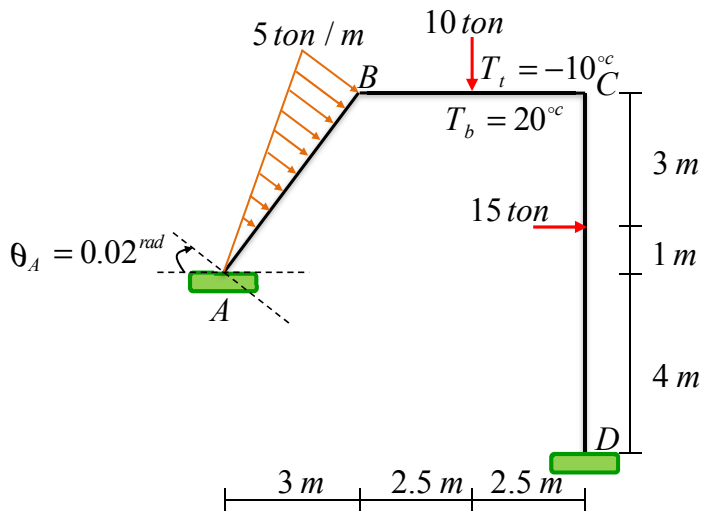
$$B_x = -\frac{P}{2} = -30 \text{ (ton)}, \quad B_y = \frac{Ph}{2\ell} = 24 \text{ (ton)}, \quad M_B = \frac{Ph}{4} = 60 \text{ (ton.m)}$$

$$\Delta_C = \frac{P}{\frac{24EI_c}{h^3}} \Rightarrow \Delta_C = 5.59 \text{ cm}$$

ETABS File Name: 06-Homework-05.EDB

6

روش نیرو (Force Method)



تمرین ۶- نمودار نیروی محوری، برشی و لنگر خمشی در قاب نشان داده شده را رسم نمایید. تکیه گاه A به اندازه 0.02 رادیان در جهت ساعتگرد دوران دارد. تیر BC نیز تحت اثر تغییرات حرارتی می باشد.

$$EI = 2000 \text{ ton.m}^2$$

$$h_{BC} = 20 \text{ cm}$$

$$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

پاسخ تمرین ۶-

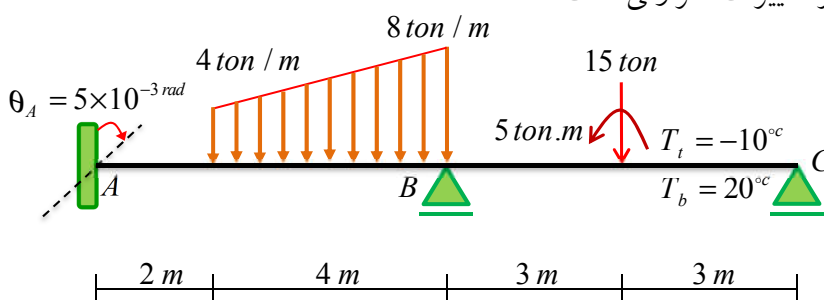
DC :	$M_{(x)} = -12.59x + 37.24$	$V_{(x)} = 12.59$	$P_{(x)} = -12.91$	$5 \geq x \geq 0$
DC :	$M_{(x)} = 2.41x - 37.76$	$V_{(x)} = -2.41$	$P_{(x)} = -12.91$	$8 \geq x \geq 5$
CB :	$M_{(x)} = 12.91x - 18.48$	$V_{(x)} = -12.91$	$P_{(x)} = 2.41$	$2.5 \geq x \geq 0$
CB :	$M_{(x)} = 2.91x + 6.52$	$V_{(x)} = -2.91$	$P_{(x)} = 2.41$	$5 \geq x \geq 2.5$
BA :	$M_{(x)} = \frac{x^3}{6} - 2.5x^2 - 0.182x + 21.07$	$V_{(x)} = -0.5x^2 + 5x + 0.182$	$P_{(x)} = 3.774$	$5 \geq x \geq 0$

ETABS File Name: 06-Homework-06.EDB

7

روش نیرو (Force Method)

تمرین ۷- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی در تیر نشان داده شده را رسم نمایید. تکیه گاه A به اندازه 5×10^{-3} رادیان در جهت ساعتگرد دوران دارد و تیر BC تحت اثر تغییرات حرارتی است.



$$EI = 2000 \text{ ton.m}^2$$

$$h_{BC} = 20 \text{ cm}$$

$$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

پاسخ تمرین ۷-

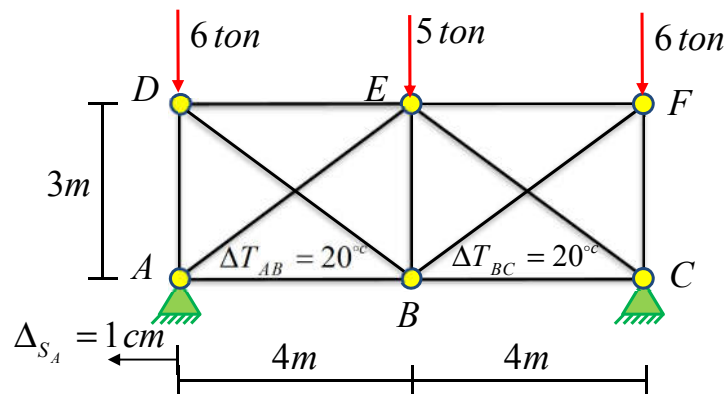
CB :	$V_{(x)} = -3.22$	$M_{(x)} = 3.22x$	$3 \geq x \geq 0$
CB :	$V_{(x)} = 11.78$	$M_{(x)} = -11.78x + 50$	$6 \geq x \geq 3$
BA :	$V_{(x)} = -\frac{x^2}{2} + 14x - 86.054$	$M_{(x)} = \frac{x^3}{6} - 7x^2 + 86.054x - 321.029$	$10 \geq x \geq 6$
BA :	$V_{(x)} = 3.946$	$M_{(x)} = -3.946x + 45.638$	$12 \geq x \geq 10$

ETABS File Name: 06-Homework-07.EDB

8

روش نیرو (Force Method)

تمرین ۸- در خرابای نشان داده شده تکیه‌گاه C در راستای افق به اندازه 1cm به سمت چپ حرکت دارد. همچنین، دمای اعضای AB و BC به اندازه ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند. نیروی داخلی اعضای خرابا را محاسبه نمایید.



$$EA = 6 \times 10^3 \text{ (ton)}$$

$$\alpha = 1 \times 10^{-4} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$$

پاسخ تمرین ۸-

