



دانشگاه کردستان
University of Kurdistan
زانکۆی کوردستان

تحلیل سازه‌ها

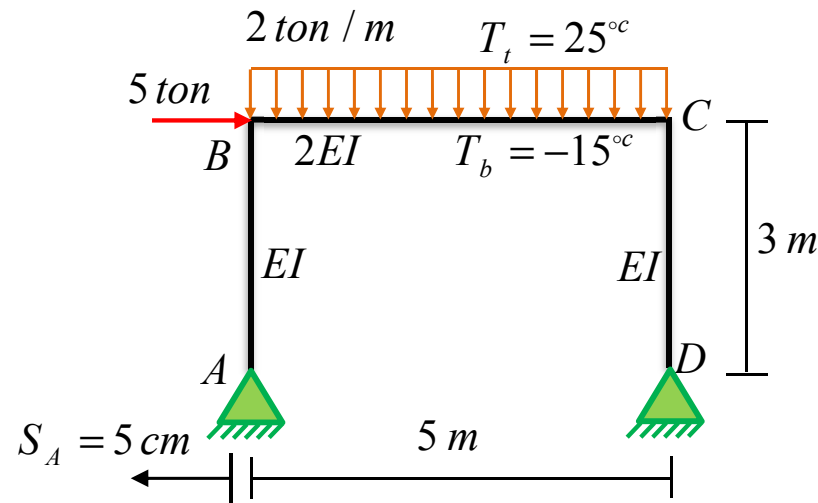
تحلیل سازه‌های نامعین به روش نیرو- تمرین
(Force Method)

تهیه کننده: کاوه کرمی
دانشیار مهندسی سازه

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

روش نیرو (Force Method)

تمرین 1- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی در قاب نشان داده شده را رسم نمایید. تکیه‌گاه A به اندازه 5 سانتیمتر به سمت چپ حرکت می‌کند. تیر BC نیز تحت اثر تغییرات حرارتی می‌باشد.



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

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

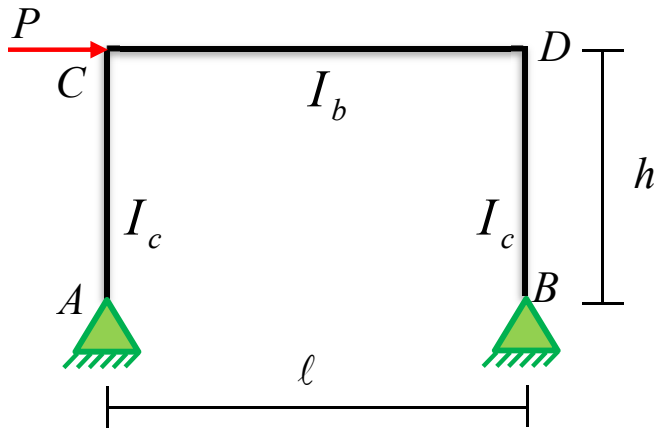
$$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

پاسخ تمرین 1-

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



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

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

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

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

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

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

پاسخ تمرین 2-

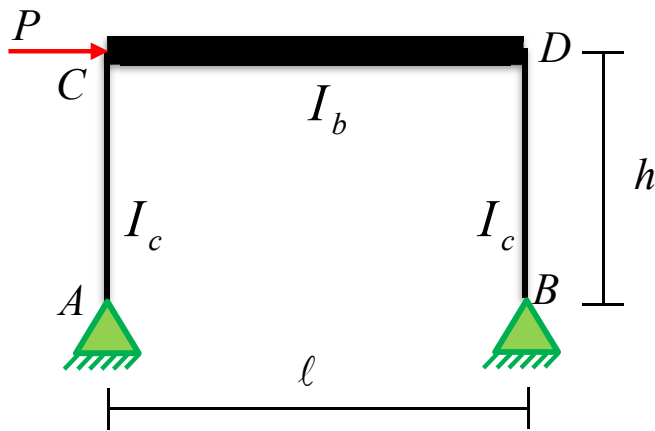
$$k_c = \frac{EI_c}{h^3}, \quad k_b = \frac{EI_b}{l^3}, \quad \beta = \frac{k_c}{k_b}, \quad \alpha = \frac{h}{l}$$

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

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

روش نیرو (Force Method)

تمرین 3- در قاب نشان داده شده تغییر مکان جانبی گره C را محاسبه نمایید. تیر CD صلب است.



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

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

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

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

$$I_b = \infty$$

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

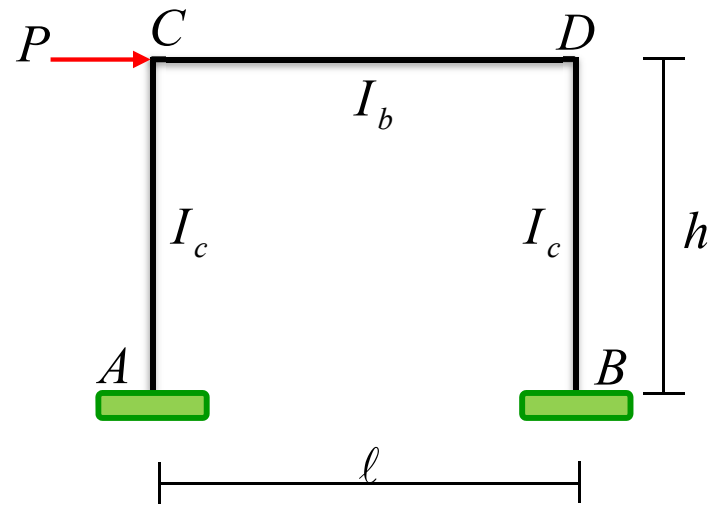
پاسخ تمرین 3-

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

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

روش نیرو (Force Method)

تمرین 4- در قاب نشان داده شده تغییر مکان جانبی گره C را محاسبه نمایید.



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

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

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

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

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

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

پاسخ تمرین 4-

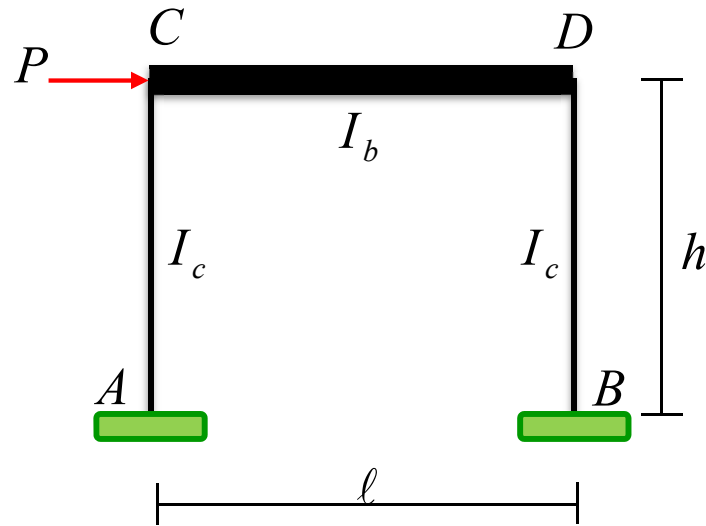
$$k_c = \frac{EI_c}{h^3}, \quad k_b = \frac{EI_b}{l^3}, \quad \beta = \frac{k_c}{k_b}, \quad \alpha = \frac{h}{l}$$

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

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

روش نیرو (Force Method)

تمرین 5- در قاب نشان داده شده تغییر مکان جانبی گره C را محاسبه نمایید. تیر CD صلب است.



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

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

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

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

$$I_b = \infty$$

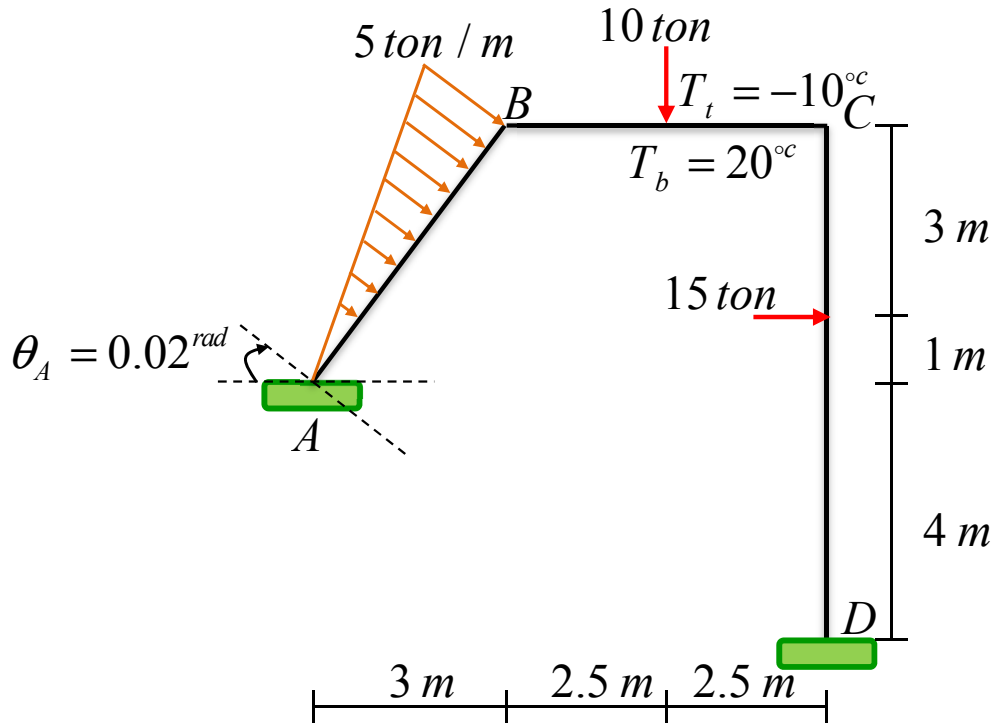
$$BOX 24 \times 24 \times 2 \rightarrow I_c = 14310 \text{ cm}^4$$

پاسخ تمرین 5-

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

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

روش نیرو (Force Method)



تمرین 6- نمودار نیروی محوری، برشی و لنگر خمشی در قاب نشان داده شده را رسم نمایید. تکیه‌گاه A به اندازه 0.02 رادیان در جهت ساعتگرد دوران دارد. تیر BC نیز تحت اثر تغییرات حرارتی می باشد.

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

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

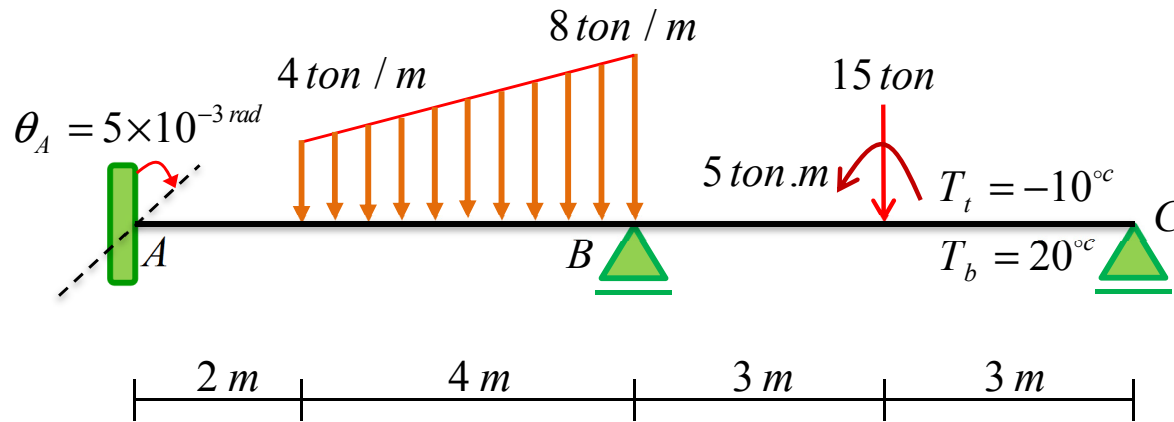
$$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

پاسخ تمرین 6-

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 :	$M_{(x)} = \frac{x^3}{6} - 2.5x^2 - 0.182x + 21.07$	$V_{(x)} = -0.5x^2 + 5x + 0.182$	$P_{(x)} = 3.774$	$5 \geq x \geq 0$

روش نیرو (Force Method)

تمرین 7- نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی در تیر نشان داده شده را رسم نمایید. تکیه‌گاه 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 7-

$$CB : \quad V_{(x)} = -3.22 \quad M_{(x)} = 3.22x \quad 3 \geq x \geq 0$$

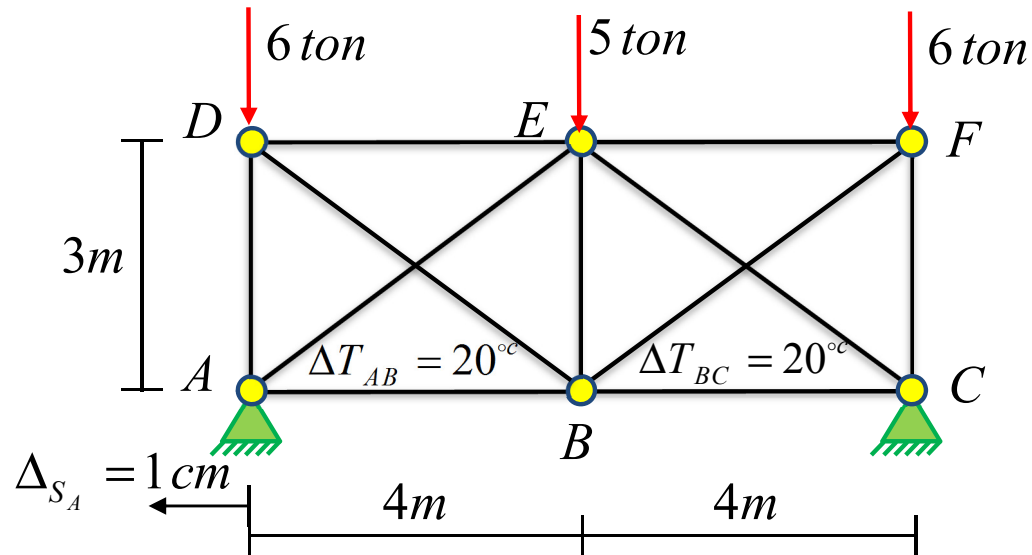
$$CB : \quad V_{(x)} = 11.78 \quad M_{(x)} = -11.78x + 50 \quad 6 \geq x \geq 3$$

$$BA : \quad V_{(x)} = -\frac{x^2}{2} + 14x - 86.054 \quad M_{(x)} = \frac{x^3}{6} - 7x^2 + 86.054x - 321.029 \quad 10 \geq x \geq 6$$

$$BA : \quad V_{(x)} = 3.946 \quad M_{(x)} = -3.946x + 45.638 \quad 12 \geq x \geq 10$$

روش نیرو (Force Method)

تمرین 8- در خرابای نشان داده شده تکیه‌گاه A در راستای افق به اندازه 1cm به سمت چپ حرکت دارد. همچنین، دمای اعضای AB و BC به اندازه 20 درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند. نیروی داخلی اعضای خرپا را محاسبه نمایید.



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

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

پاسخ تمرین 8-

