



دانشگاه کردستان
University of Kurdistan
زانکۆی کوردستان

تحلیل سازه‌ها

روش کار مجازی در محاسبه تغییر شکل سازه‌ها- تمرین

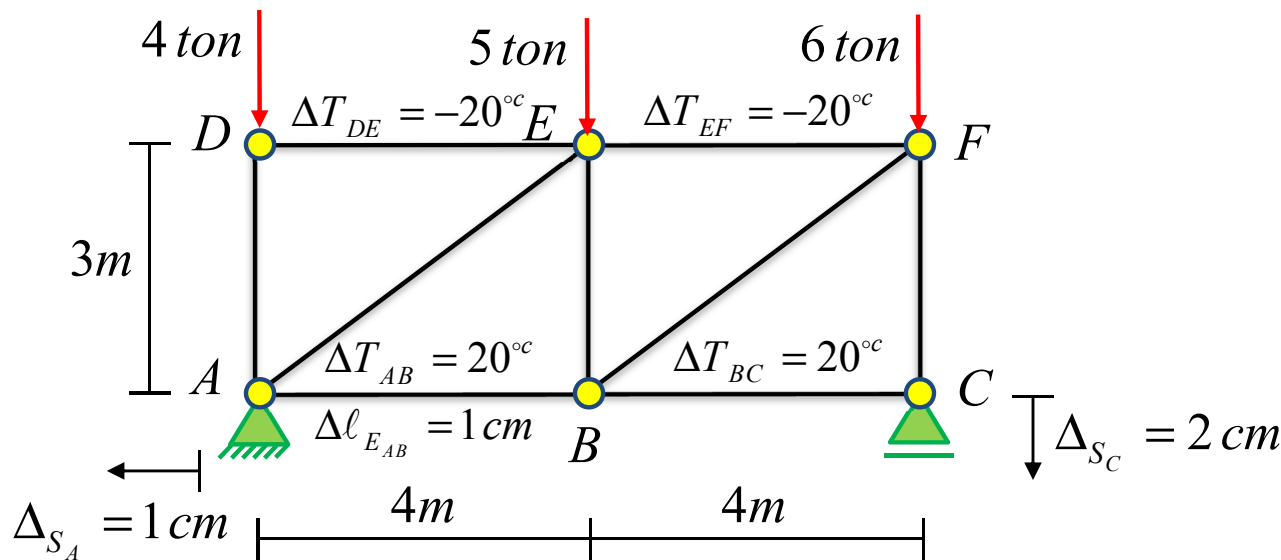
(Virtual Work Method)

تهیه کننده: کاوه کرمی
دانشیار مهندسی سازه

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

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 1- در خرپای نشان داده شده تکیه‌گاه A در راستای افق به مقدار 1cm به سمت چپ و تکیه‌گاه C در راستای قائم به اندازه 2cm به سمت پایین حرکت دارد. عضو AB در کارخانه 1 cm بلندتر ساخته شده است. همچنین، دمای اعضای DE و EF به اندازه 20 درجه سانتیگراد کاهش و دمای اعضای AB و BC به اندازه 20 درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند. جابجایی قائم گره B را محاسبه نمایید. $\Delta V_B = ?$



$$EA = 6 \times 10^4 \text{ (ton)}$$

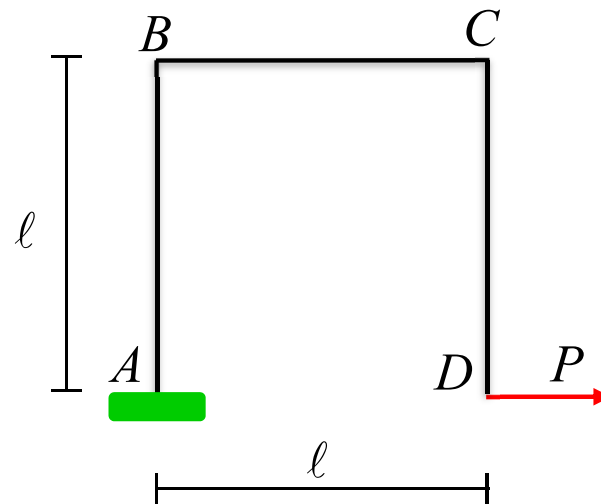
$$\alpha = 1 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$$

$$\Delta V_B = 12.44 \downarrow \text{ (cm)}$$

پاسخ تمرین 1-

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 2- در قاب مقابل تغییر مکان افقی و میزان چرخش گره D را محاسبه نمایید.



$$p = 2 \text{ ton}$$

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

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

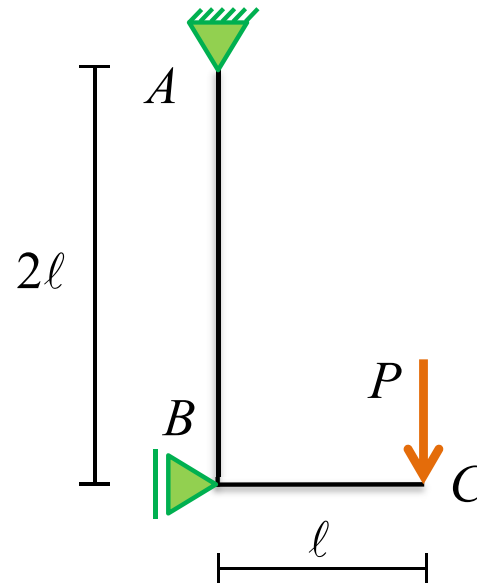
پاسخ تمرین 2-

$$\Delta_D = 10.67 \text{ (cm)}$$

$$\theta_D = 0.032^{\text{rad}}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 3- در قاب مقابل تغییر مکان قائم گره C را محاسبه نمایید.



$$p = 2 \text{ ton}$$

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

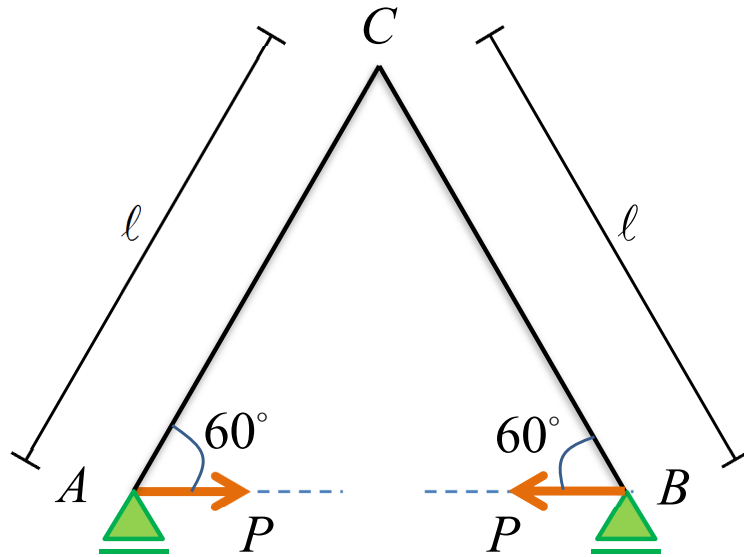
$$EI = 2000 \text{ ton.m}^2$$

پاسخ تمرین 3-

$$\Delta_C = 6.4 \text{ (cm)} \downarrow$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 4- در قاب نشان داده شده جابجایی نسبی دو گره A و B را محاسبه نمایید.



$$p = 2 \text{ ton}$$

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

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

پاسخ تمرین 4-

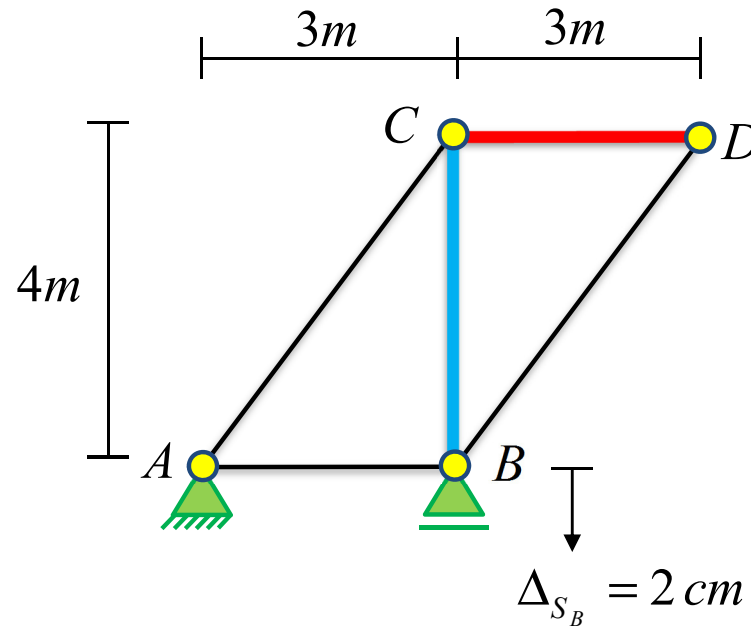
$$\Delta_C = 3.2 \text{ (cm)} \rightarrow \leftarrow$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 5- در خرپای نشان داده شده در کارخانه عضو DC به اندازه 2 cm کوتاهتر و عضو BC به اندازه 4 cm بلندتر از مقدار واقعی ساخته شده است. اگر تکیه‌گاه B به مقدار 2 cm در جهت قائم نشست نماید در این صورت دمای عضو AC را به چه میزان تغییر دهیم که از تغییر مکان افقی گره C جلوگیری شود؟

$$EA = 2 \times 10^4 \text{ (ton)}$$

$$\alpha = 1 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$$

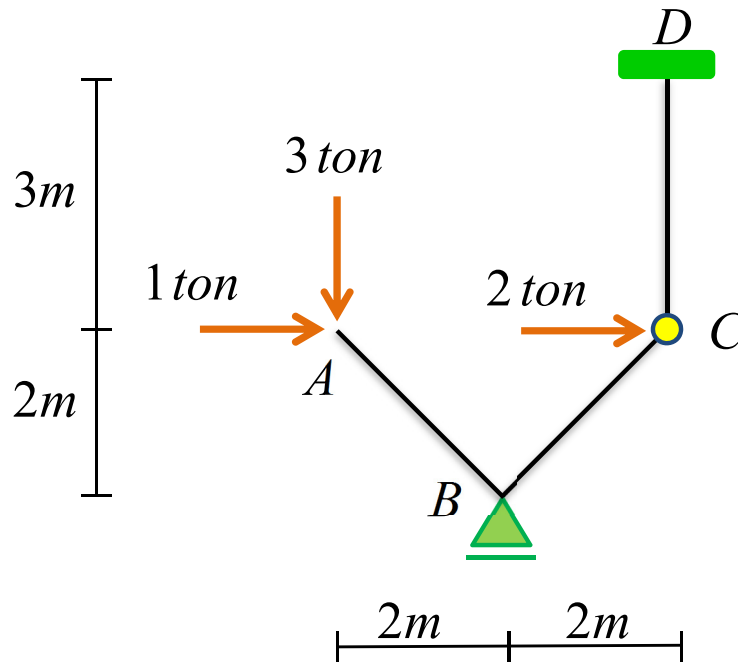


پاسخ تمرین 5-

$$\Delta T_{AC} = +3.2 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 6- در قاب مقابل تغییر مکان افقی گره C را محاسبه نمایید.



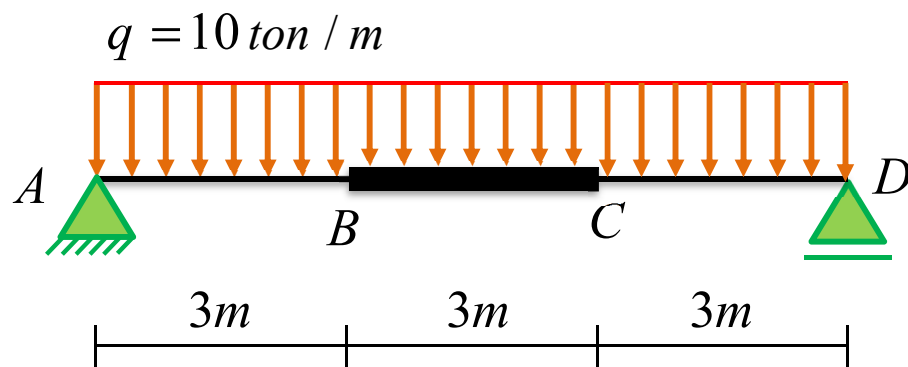
$$EI = 2000 \text{ ton} \cdot \text{m}^2$$

پاسخ تمرین 6-

$$\Delta_{h_c} = 1.35 \times 10^{-2} \text{ (m)} \rightarrow$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 7- در تیر نشان داده شده تغییر مکان حداکثر را محاسبه نمایید. قطعه BC صلب است $EI_{BC} = \infty$



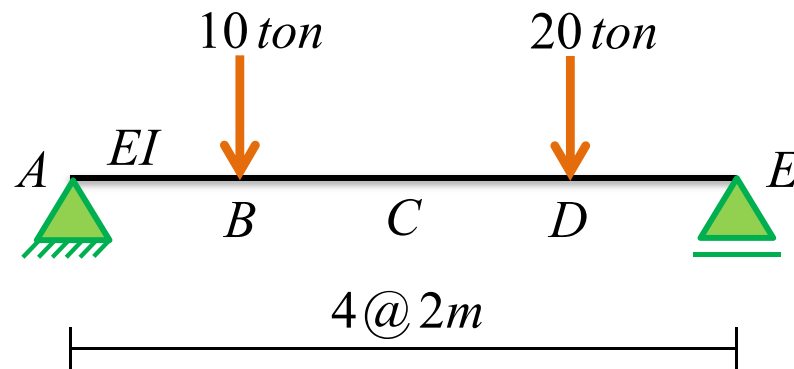
$$EI = 2000 \text{ ton.m}^2$$

پاسخ تمرین 7-

$$\Delta_{\max} = 15.1875 \text{ (cm)} \downarrow$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 8- در تیر نشان داده شده مقدار شیب و خیز در گره C را محاسبه نمایید.



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

پاسخ تمرین 8-

$$\Delta_C = 11 \text{ (cm)} \downarrow$$

$$\theta_C = 0.0025^{\text{rad}}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 9- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

الف- مقدار نیروی ایجاد شده در فنر.

ب- مقدار شیب در B.

ج- مقدار خیز در گره B.

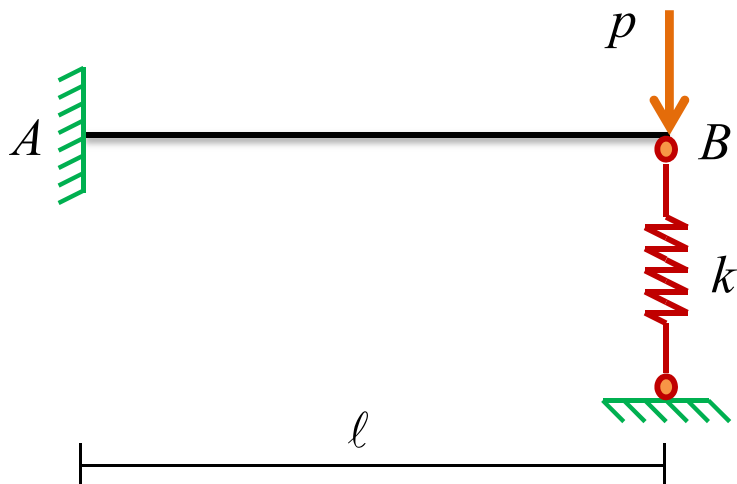
$$p = 2 \text{ ton}$$

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

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

$$I = 10^3 \text{ cm}^4$$

$$k = 5.2 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$



پاسخ تمرین 9-

$$f = 1.04 \text{ ton}$$

$$\theta_B = 0.06^{\text{rad}}$$

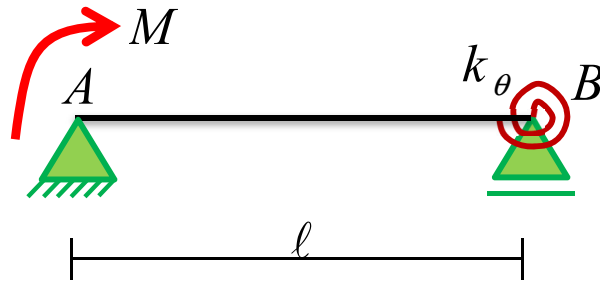
$$y_B = 0.2 \text{ m}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 10- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

الف- مقدار لنگر در فنر پیچشی.

ب- مقدار شیب در B.



$$M = 3 \text{ ton.m}$$

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

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

$$I = 10^3 \text{ cm}^4$$

$$k_\theta = \frac{6EI}{l}$$

پاسخ تمرین 10-

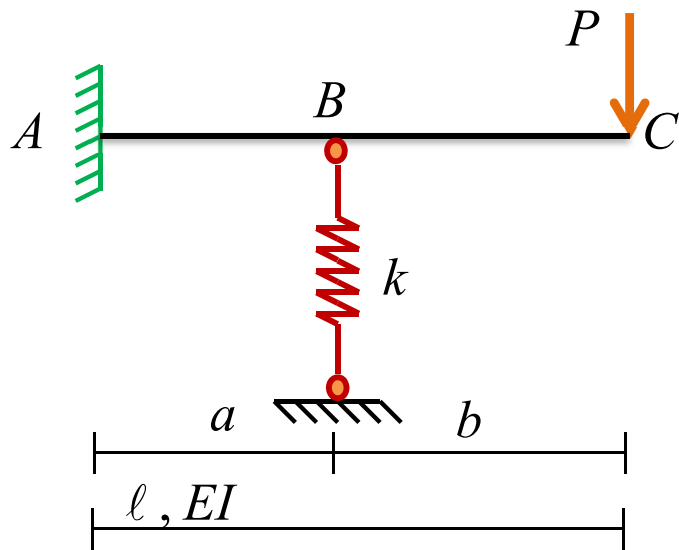
$$M_\theta = -\frac{M}{3}$$

$$\theta_B = \left(\frac{M l}{18EI} \right)^{\text{rad}}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 11- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

الف- مقدار خیز در گره B. $y_B = ?$



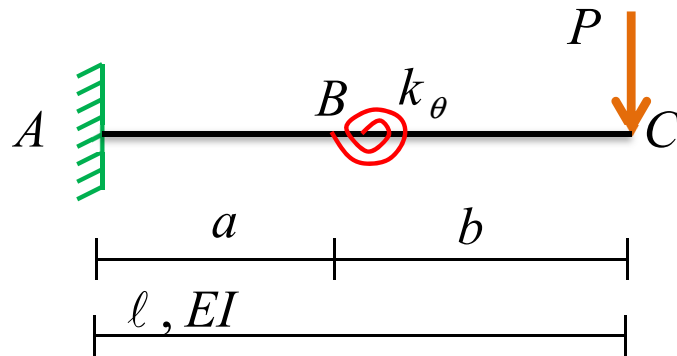
پاسخ تمرین 11-

$$y_B = \frac{2pa^3 + 3pba^2}{2ka^3 - 6EI}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 12- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

الف- مقدار شیب در گره B. $\theta_B = ?$



پاسخ تمرین 12-

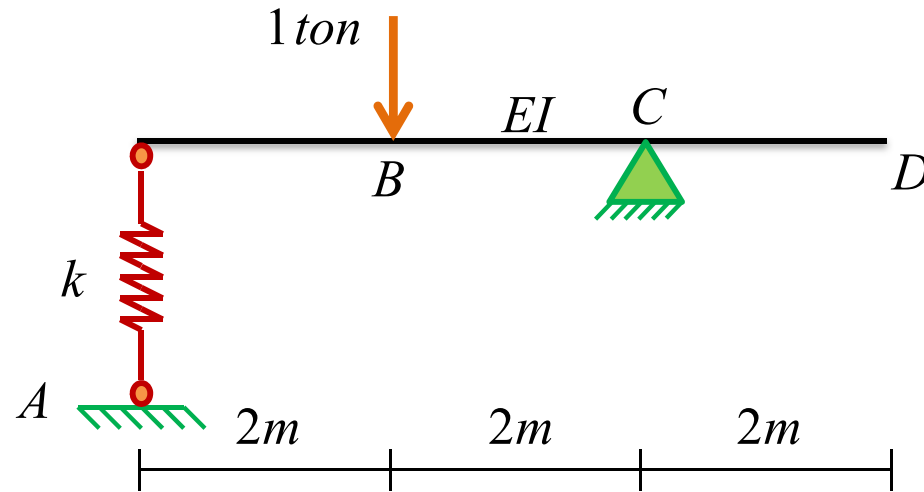
$$\theta_B = \frac{Pa^2 + 2Pba}{2EI - 2k_\theta a}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 13- در تیر نشان داده شده مقدار تغییر مکان و شیب در محل نقطه اثر نیروی متمرکز را محاسبه نمایید.

$$EI = 100 \text{ ton.m}^2$$

$$k = 1 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$



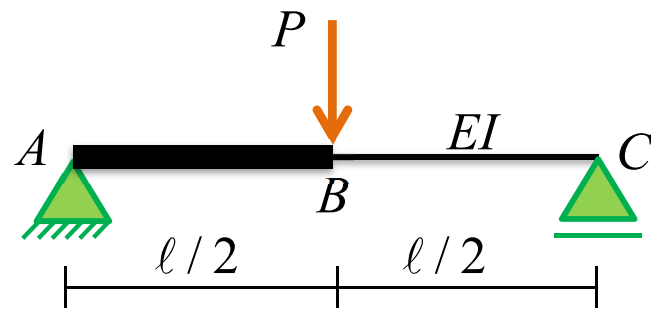
پاسخ تمرین 13-

$$y_B = 0.2633 \text{ m}$$

$$\theta_B = 0.125^{\text{rad}}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 14- در تیر نشان داده شده مقدار تغییر مکان B و شیب در A را محاسبه نمایید. تیر AB صلب است.



پاسخ تمرین 14-

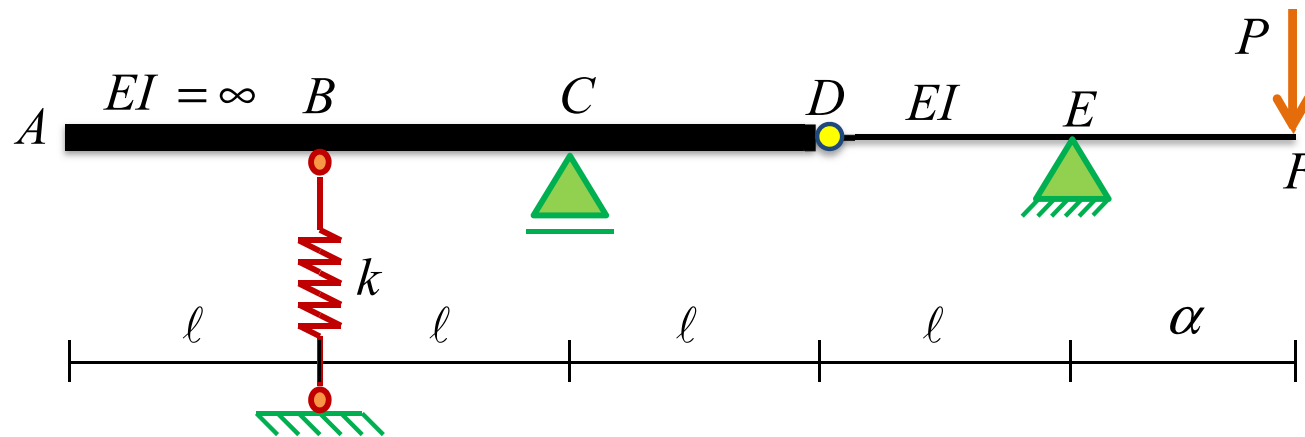
$$y_B = \frac{P\ell^3}{96EI}$$

$$\theta_A = \frac{P\ell^2}{48EI}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 15- مقدار α را به گونه‌ای تعیین نمایید که خیز در نقاط A و F با هم برابر باشند. تیر AD صلب است.

$$k = \frac{3EI}{\ell^3}$$

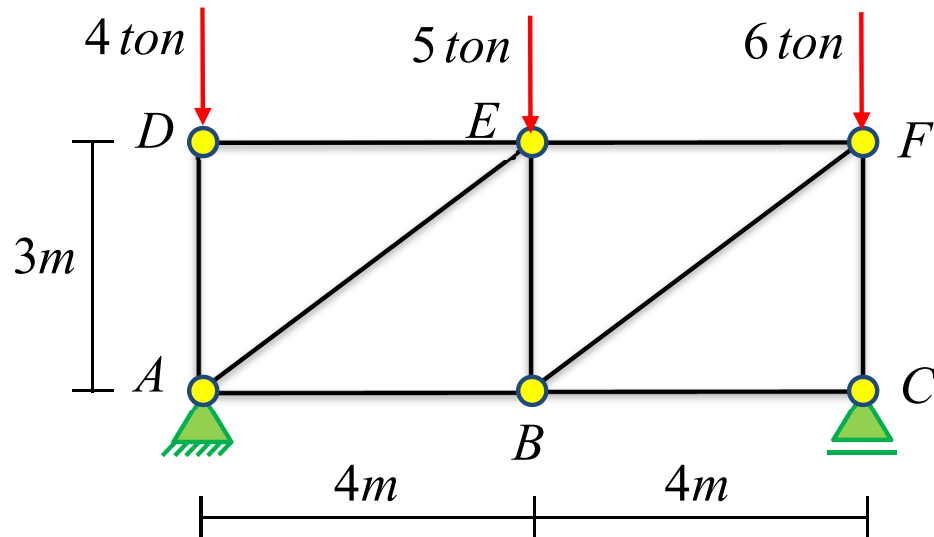


پاسخ تمرین 15-

$$\alpha = (\sqrt{3} - 1)\ell$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 16- در خرابای نشان داده شده جابجایی نسبی گره E نسبت به C را محاسبه نمایید.



$$EA = 6 \times 10^4 \text{ (ton)}$$

پاسخ تمرین 16-

$$\Delta_{EC} = 0.0855 \text{ (cm)}$$

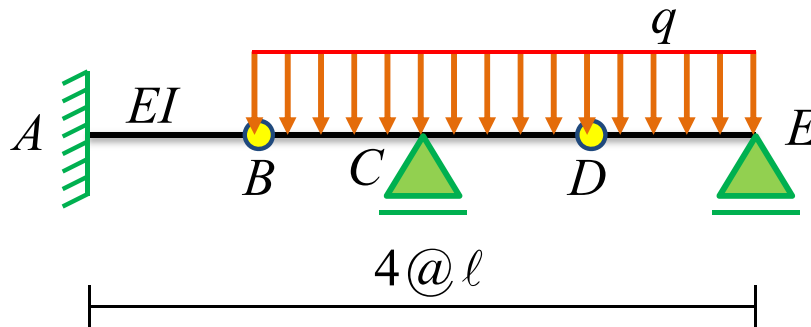
به هم نزدیک می شوند.

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین 17- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

الف- مقدار خیز در گره B. $y_B = ?$

ب- مقدار شیب در گره E. $\theta_E = ?$



$$q = 2 \text{ ton} / \text{m}$$

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

$$l = 3 \text{ m}$$

پاسخ تمرین 17-

$$y_B = 13.5 \text{ (cm)}$$

$$\theta_E = 0.21375^{\text{rad}}$$