



دانشگاه کردستان
University of Kurdistan
زانکۆی کوردستان

تحلیل سازه‌ها

روش کار مجازی در محاسبه تغییر شکل سازه‌ها – تمرین

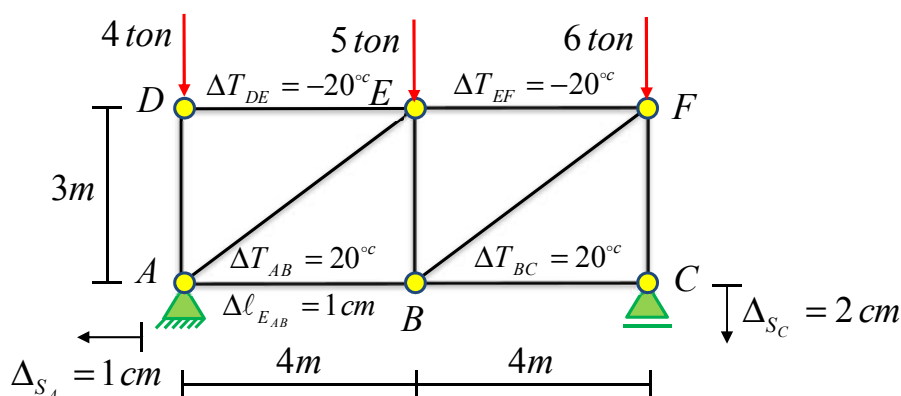
(Virtual Work Method)

تهیه کننده: کاوه کرمی
دانشیار مهندسی سازه

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

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱- در خرابای 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 ۲۰ درجه سانتیگراد کاهش و دمای اعضای AB و BC به اندازه ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش پیدا می‌کند. جابجایی قائم گره B را محاسبه نمایید. $\Delta V_B = ?$



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

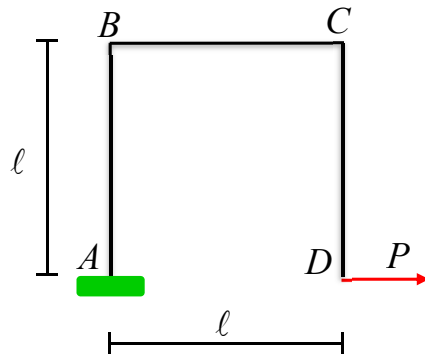
$$\alpha = 1 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$$

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

پاسخ تمرین ۱-

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۲- در قاب مقابل تغییر مکان افقی و میزان چرخش گره D را محاسبه نمایید.



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

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

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

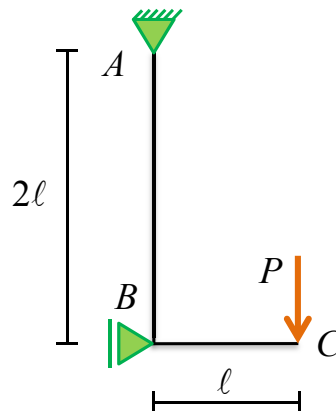
پاسخ تمرین ۲-

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

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

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۳- در قاب مقابل تغییر مکان قائم گره C را محاسبه نمایید.



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

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

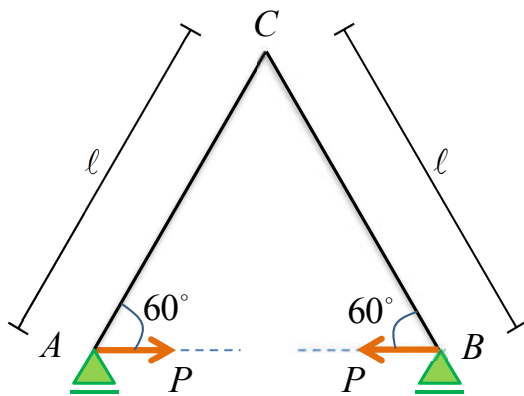
$$EI = 2000 \text{ ton.m}^2$$

پاسخ تمرین ۳-

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

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۴- در قاب نشان داده شده جابجایی نسبی دو گره A و B را محاسبه نمایید.



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

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

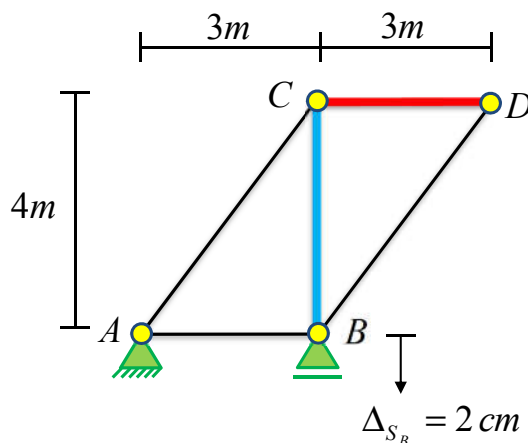
$$EI = 2000 \text{ ton} \cdot \text{m}^2$$

پاسخ تمرین ۴-

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

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۵- در خرابای 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 نشست نماید در این صورت دمای عضو AC را به چه میزان تغییر دهیم که از تغییر مکان افقی گره C جلوگیری شود؟



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

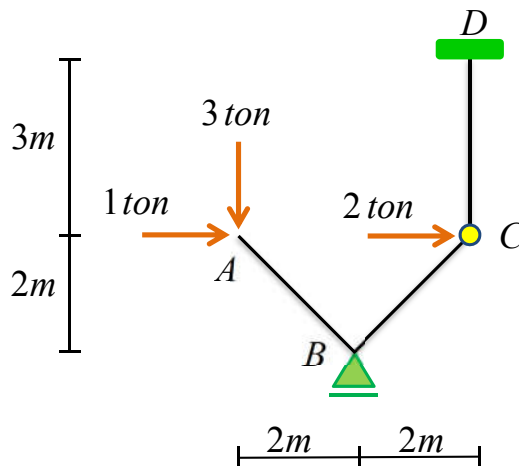
$$\alpha = 1 \times 10^{-3} \left(\frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$$

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

پاسخ تمرین ۵-

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۶- در قاب مقابل تغییر مکان افقی گره C را محاسبه نمایید.



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

پاسخ تمرین ۶-

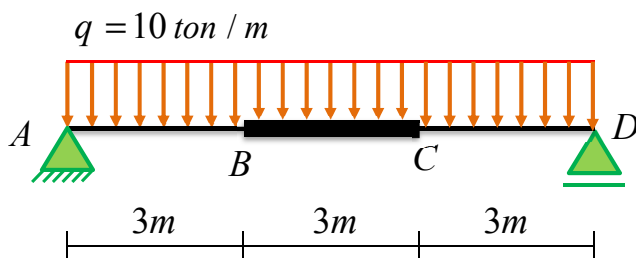
$$\Delta_{h_C} = 1.35 \times 10^{-2} \text{ (m)} \rightarrow$$

ETABS File Name: 05-Homewrok-06.EDB

7

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۷- 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 ۷-

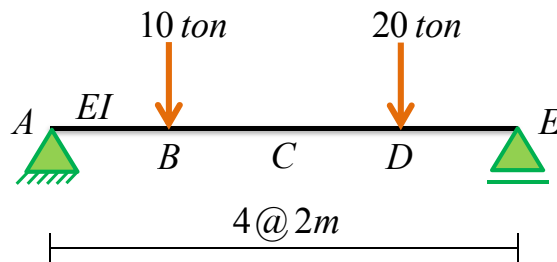
$$\Delta_{\max} = 15.1875 \text{ (cm)} \downarrow$$

ETABS File Name: 05-Homewrok-07.EDB

8

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۸- در تیر نشان داده شده مقدار شیب و خیز در گره C را محاسبه نمایید.



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

پاسخ تمرین ۸-

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

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

ETABS File Name: 05-Homewrok-08.EDB

9

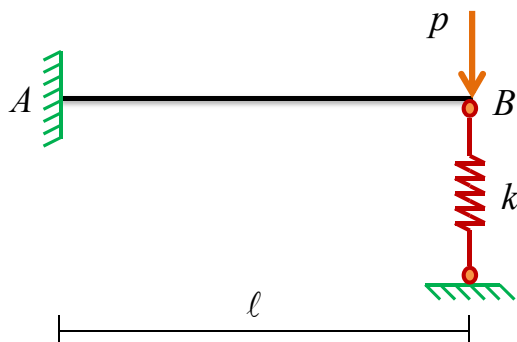
روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۹- 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.



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

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

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

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

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

پاسخ تمرین ۹-

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

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

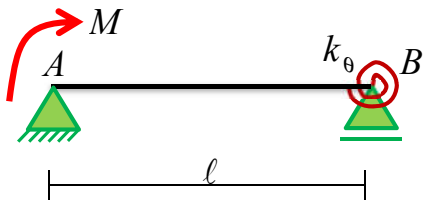
$$y_B = 0.2 \text{ m}$$

ETABS File Name: 05-Homewrok-07.EDB

10

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۰- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:



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

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

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

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

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

الف- مقدار لنگر در فتر پیچشی.

ب- مقدار شیب در B.

پاسخ تمرین ۱۰-

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

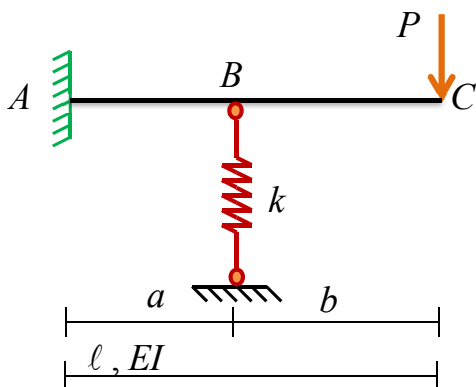
$$\theta_B = \left(\frac{M l}{18EI} \right)^{\text{rad}}$$

11

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۱- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

الف- مقدار خیز در گره B. $y_B = ?$



پاسخ تمرین ۱۱-

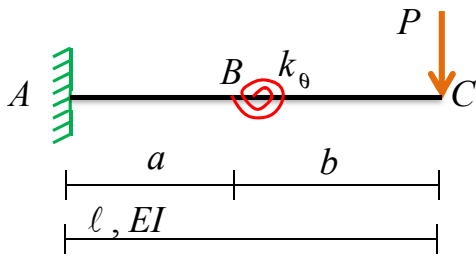
$$y_B = \frac{2pa^3 + 3pba^2}{2ka^3 - 6EI}$$

12

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۲- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

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



پاسخ تمرین ۱۲-

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

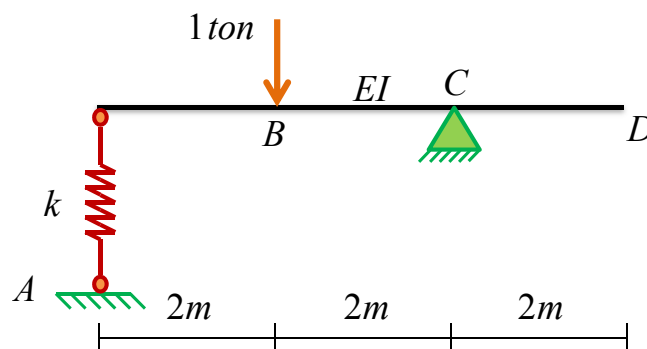
13

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۳- در تیر نشان داده شده مقدار تغییر مکان و شیب در محل نقطه اثر نیروی متمرکز را محاسبه نمایید.

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

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



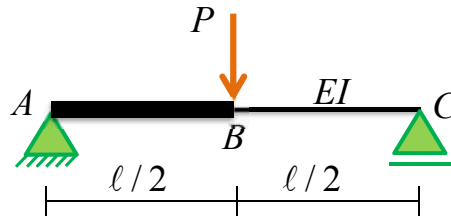
پاسخ تمرین ۱۳-

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

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

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۴- در تیر نشان داده شده مقدار تغییر مکان B و شیب در A را محاسبه نمایید. تیر AB صلب است.



پاسخ تمرین ۱۴-

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

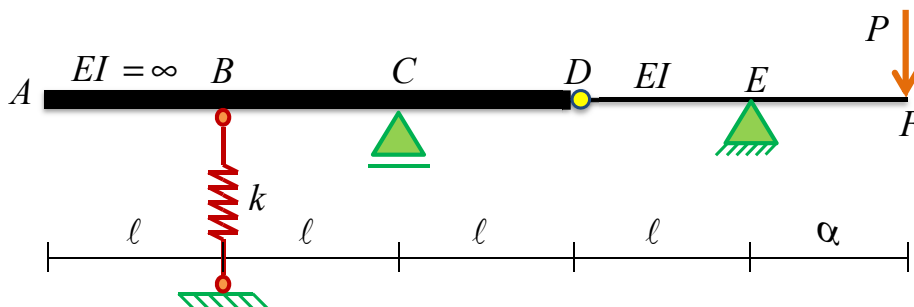
$$\theta_A = \frac{P \ell^2}{48EI}$$

15

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۵- مقدار α را به گونه‌ای تعیین نمایید که خیز در نقاط A و F با هم برابر باشند. تیر AD صلب است.

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



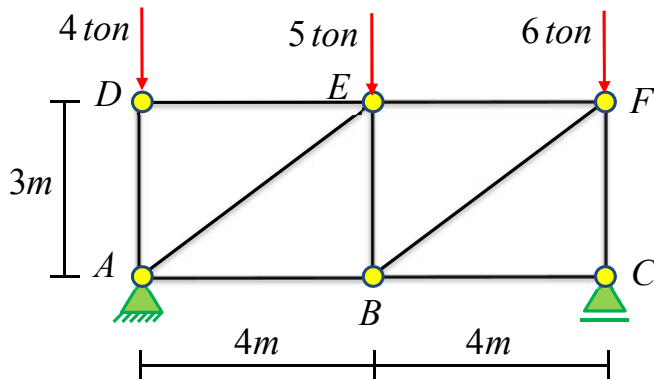
پاسخ تمرین ۱۵-

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

16

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۶- در خرابای نشان داده شده جابجایی نسبی گره E نسبت به C را محاسبه نمایید.



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

پاسخ تمرین ۱۶-

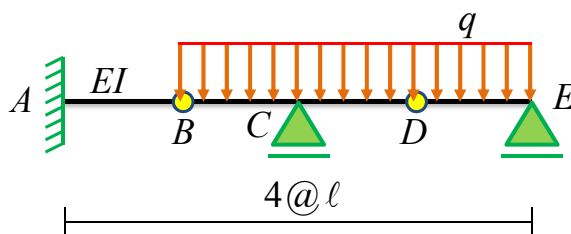
$$\Delta_{EC} = 0.0855 \text{ (cm)} \nearrow \nwarrow \text{ به هم نزدیک می شوند.}$$

روش کار مجازی (Virtual Work Method)

تمرین ۱۷- در تیر نشان داده شده مطلوب است تعیین:

الف- مقدار خیز در گره B. $y_B = ?$

ب- مقدار شیب در گره E. $\theta_E = ?$



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

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

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

پاسخ تمرین ۱۷-

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

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