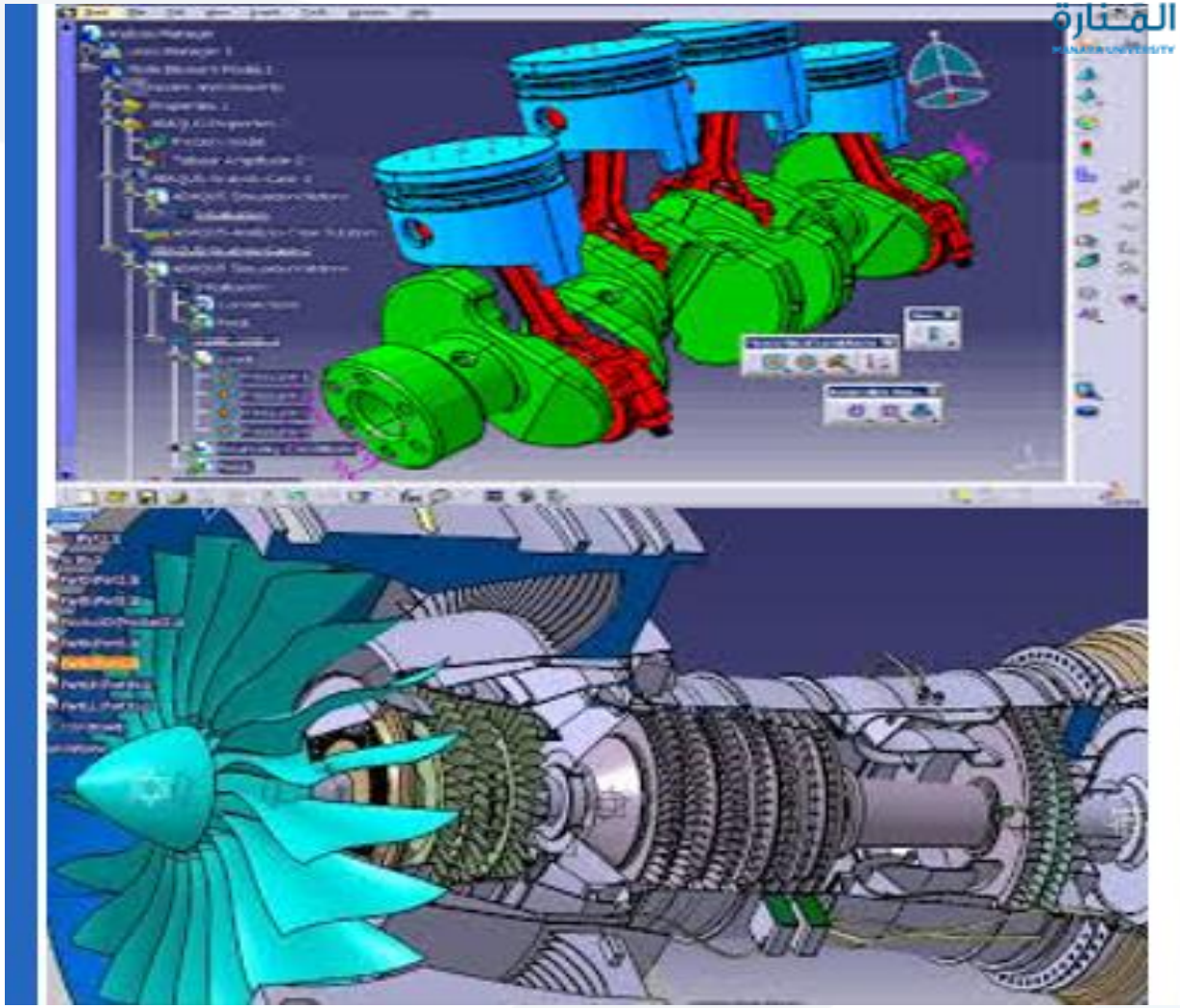
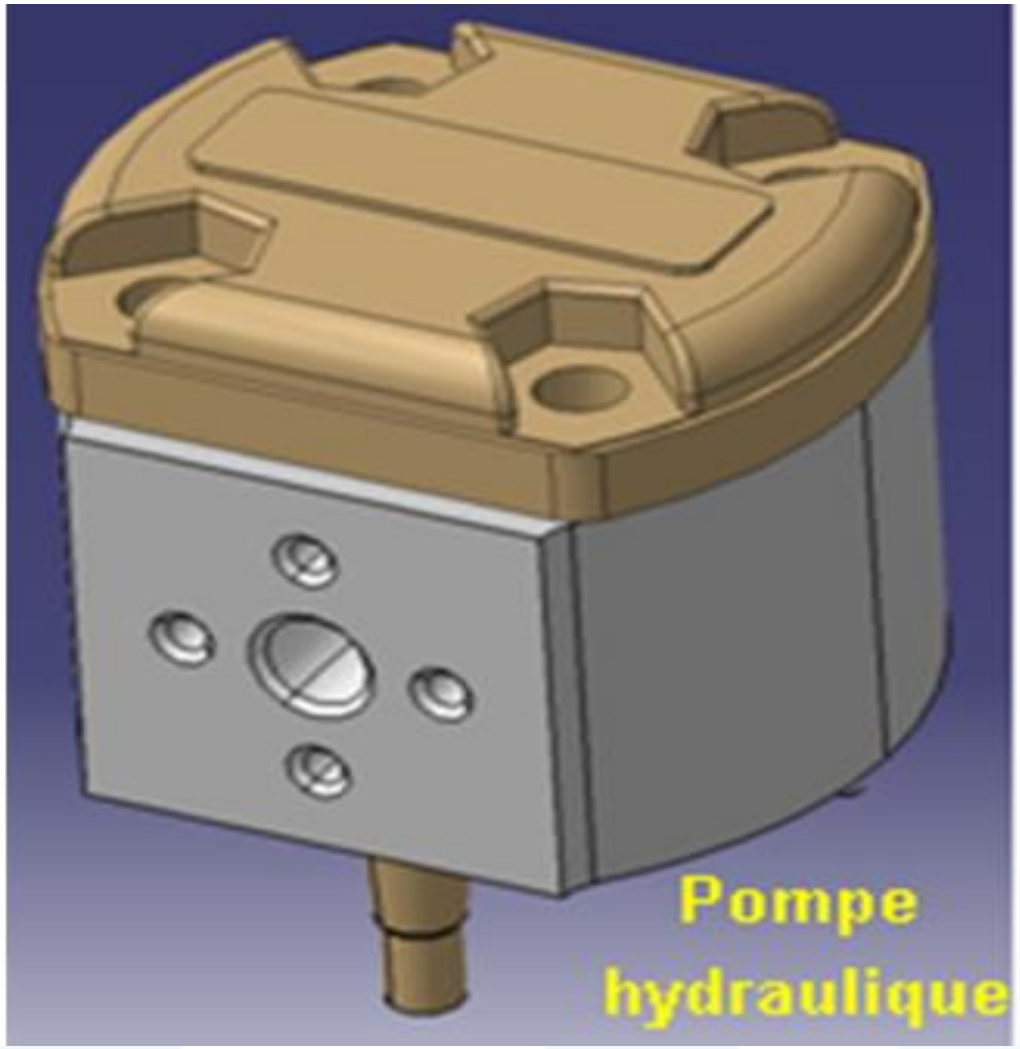


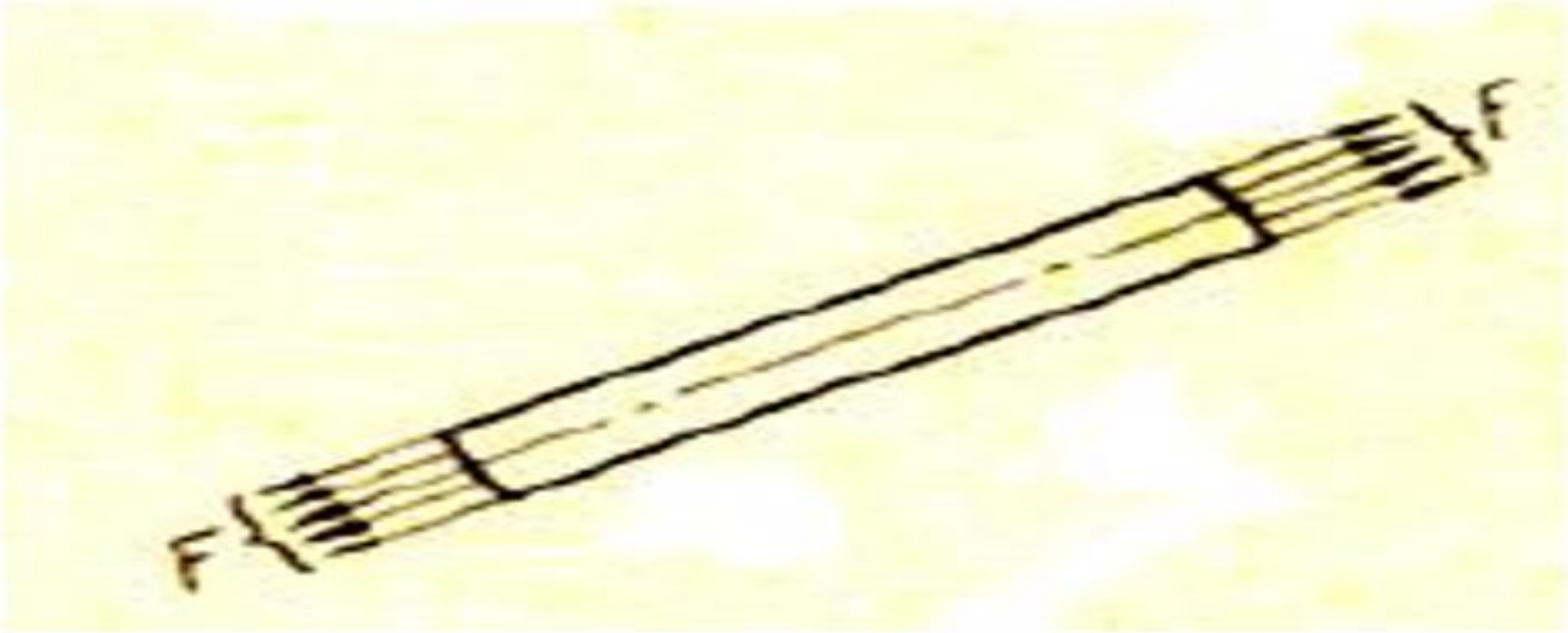

Pompe
hydraulique

# الإجهادات

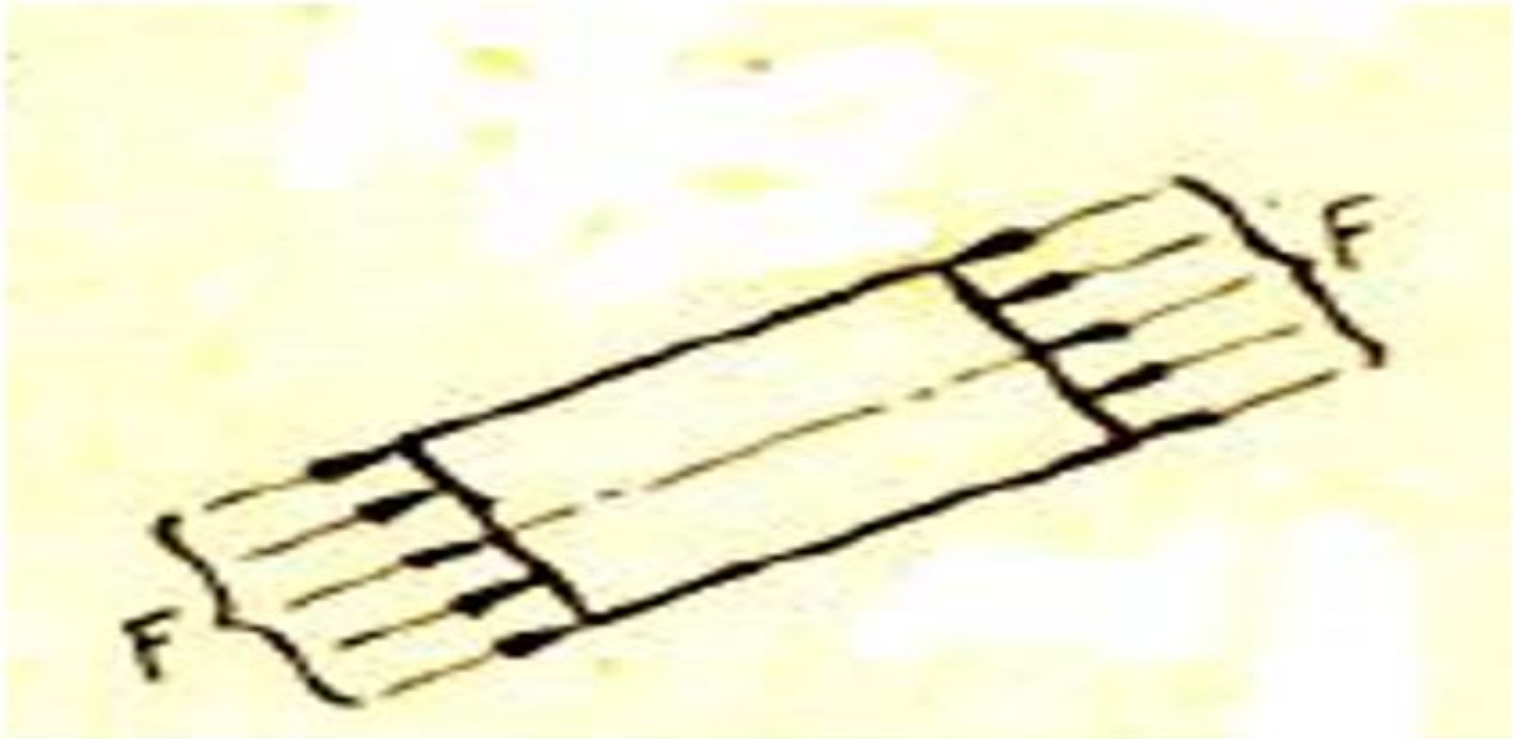
اذا اثرت قوة في جسم فإنها تسبب فيه اجهاد وبالوقت نفسه تسبب تغيرا في شكله فهو يستطيل اذا كانت قوة شد ويتقلص اذا كانت قوة ضغط

# أنواع الاجهادات

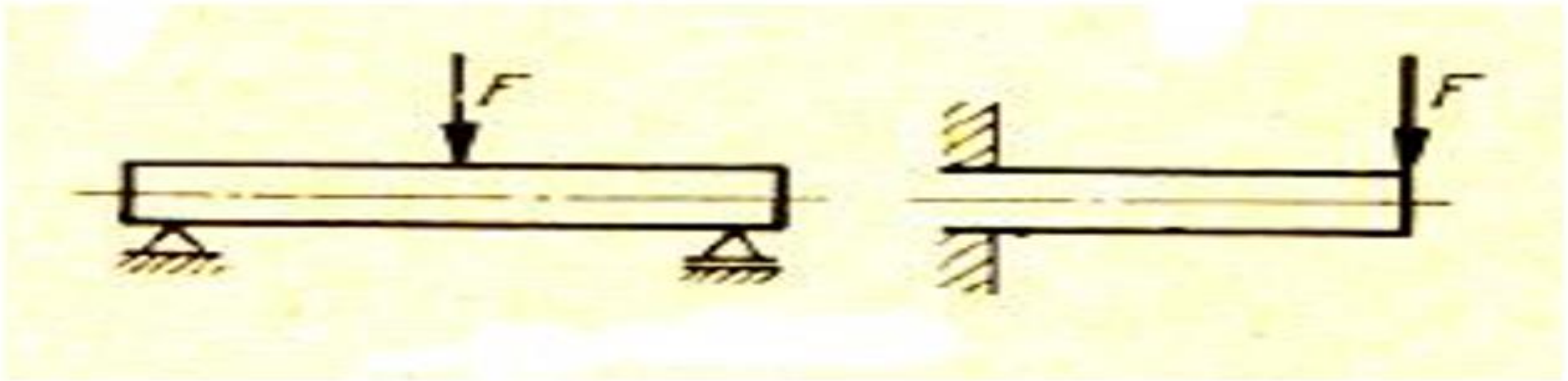
**اجهاد الشد :** يتسبب من قوتين متعاكستين متباعدتين تؤثران على منحى واحد . إن محصلة القوى تؤثر على امتداد محور الجائز وتسبب استطالة في الطول وتضيق في المقطع



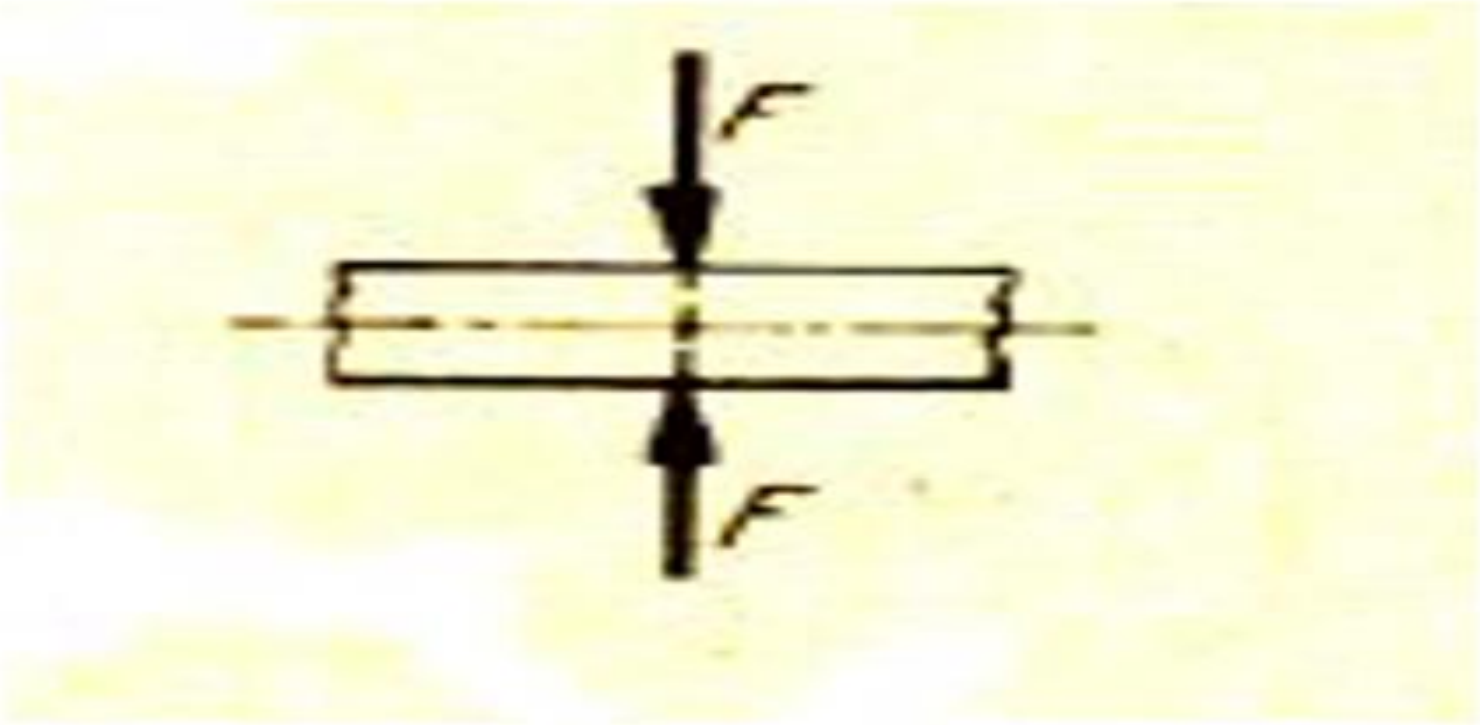
**اجهاد الضغط :** يتسبب من قوتين متعاكستين متقاربتين تؤثران على منحى واحد . إن محصلة القوى تؤثر على امتداد محور الجائز وتسبب تقلصا في الطول و انتفاخا في المقطع



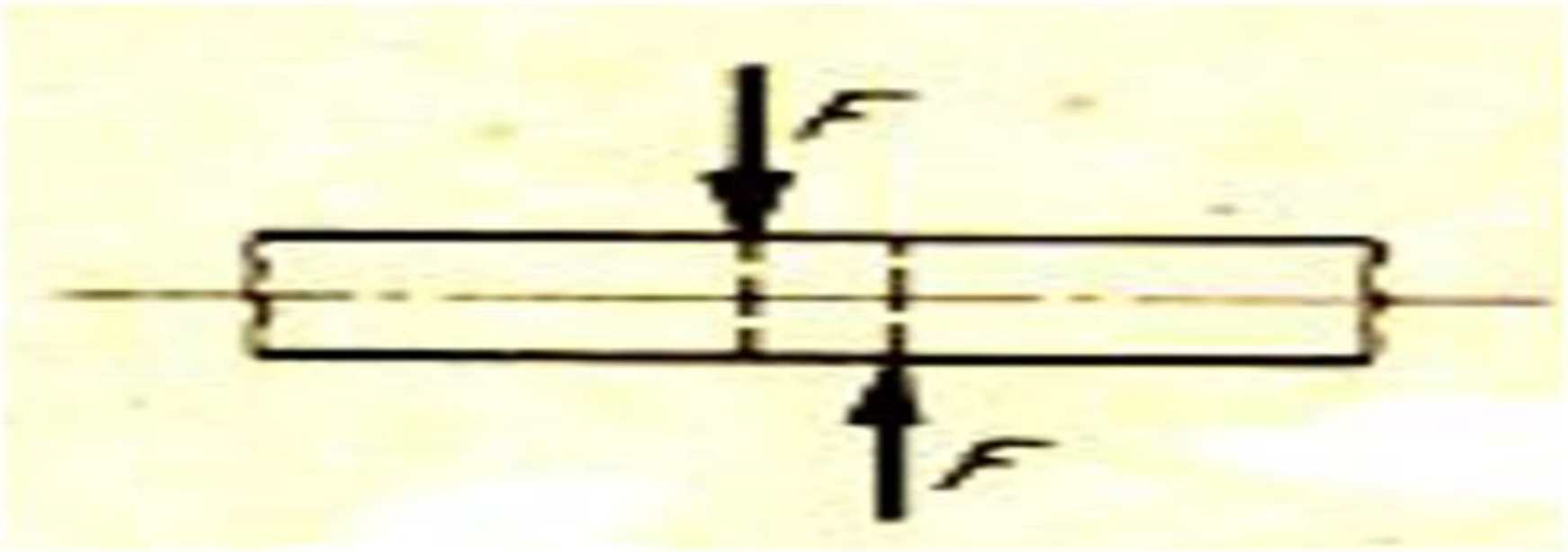
**اجهاد الانعطاف :** في هذا النوع من الاجهاد تؤثر القوى بشكل عرضي على محور الجائز. إن ردود أفعال نقاط الاستناد تسبب عزم الانعطاف (الانحناء)



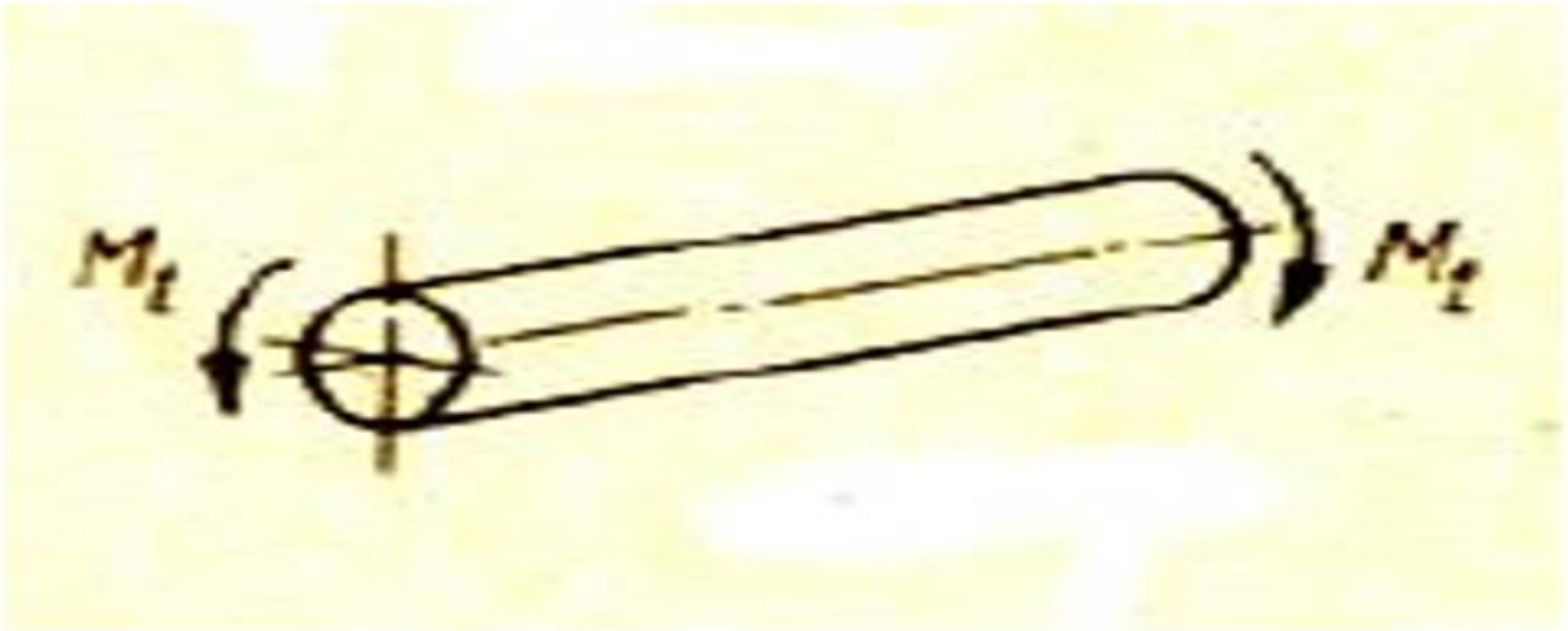
**اجهاد القص :** إن القوى تؤثر بشكل عمودي على محور الجائز وتؤثر على امتداد خط واحد



**الاجهاد المختلط ( القص و الانعطاف):** هنا تؤثر قوتان عكس بعضهما البعض و تشكل مزدوجة حول محور الجائز وليس للقوتين خط واحد. لذلك تسبب عزم انعطاف إضافة الى اجهاد قص



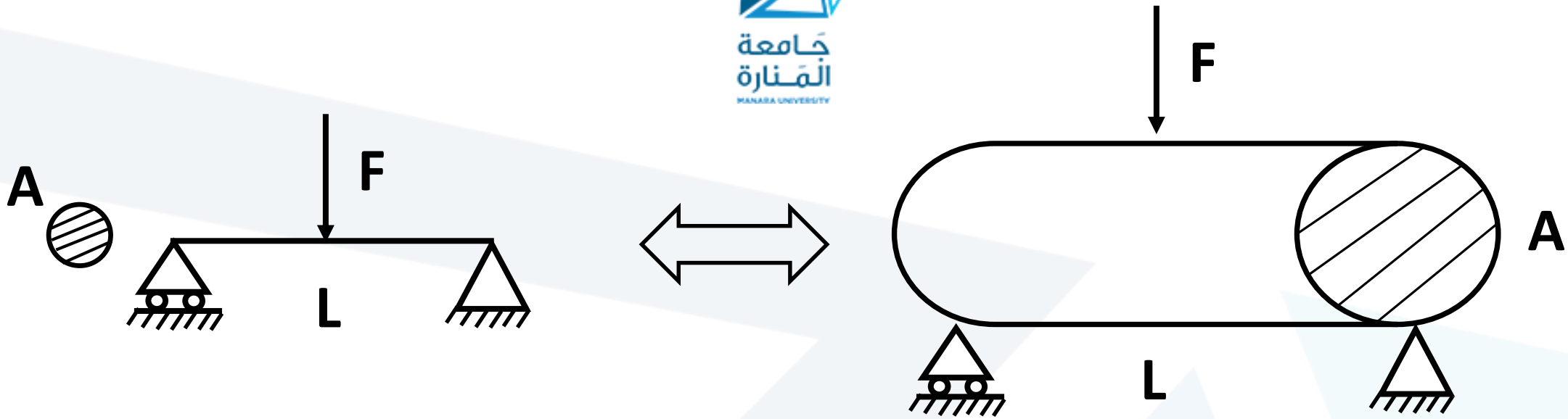
**اجهاد الفتل:** ينتج عن تأثير قوتين بمستوي واحد عمودي على محور الجائز وتؤثر بعزم تدوير Mt وتسبب انحراف الالياف الخارجية على خطها الموازي للمحور

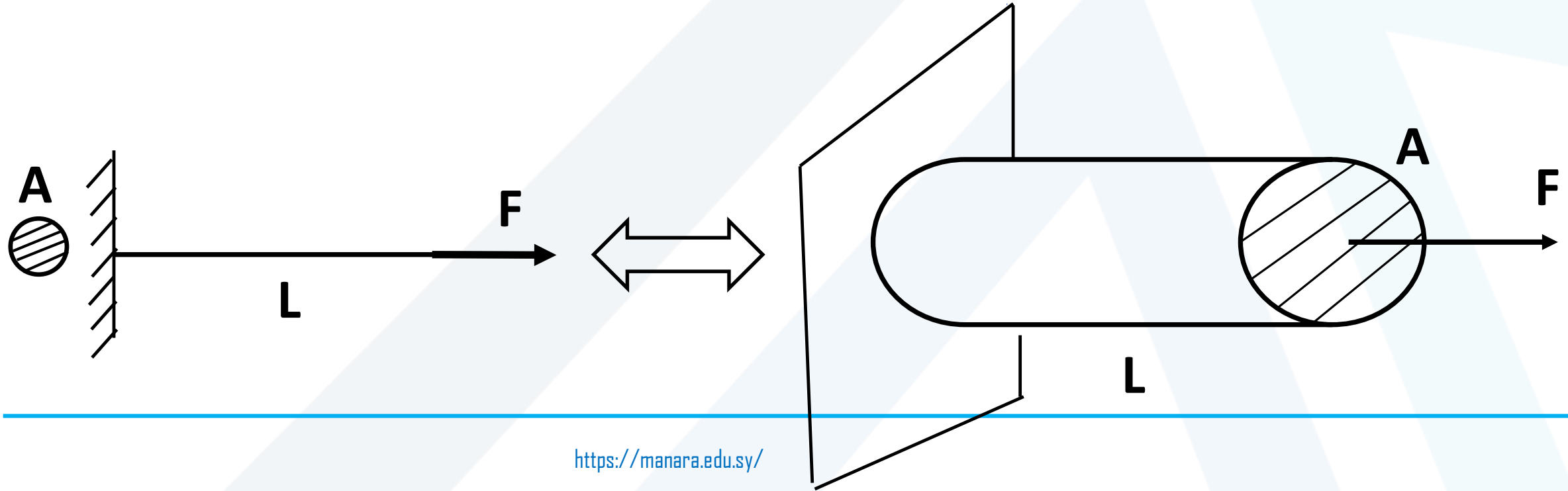


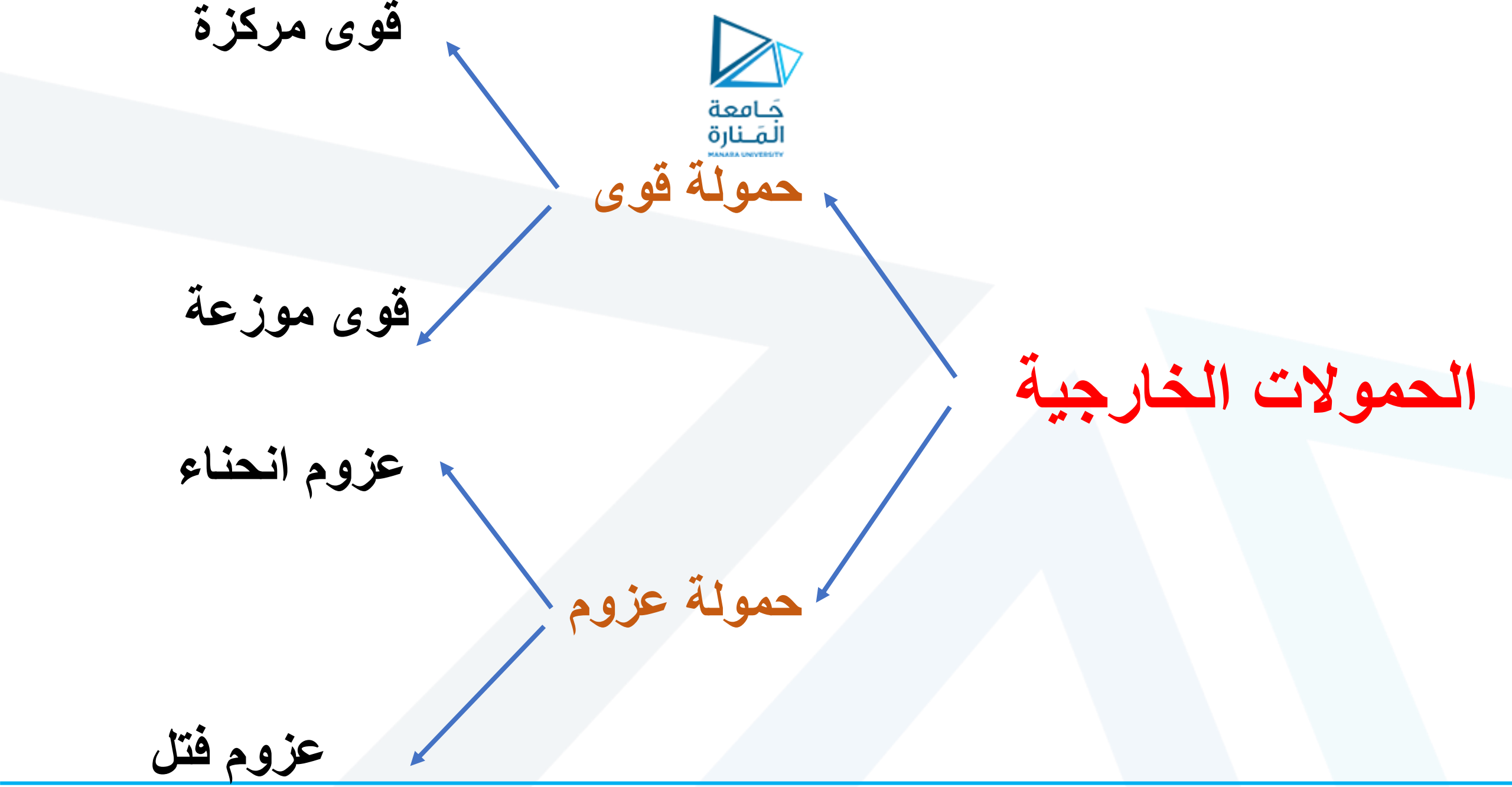
جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

# الجائز هو جسم أو قضيب معدني يمتاز ما يلي

- طوله L ( $m, cm, mm$ )
- مساحة مقطعه العرضي A ( $m^2, cm^2, mm^2$ )
- يستند على مساند
- عليه حمولات خارجية


A
F
L
F
A
L


A
F
L
A
F
L


الحمولات الخارجية
حمولة قوى
قوى مركزة
قوى موزعة
حمولة عزوم
عزوم انحناء
عزوم فتل

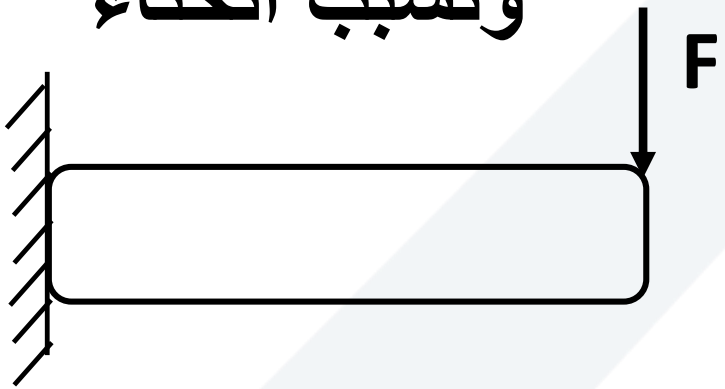
القوى المركزة واحدتها (N أو KN)

1KN=1000N

# القوى المركزة يكون تأثيرها في نقطة واحدة من الجائز

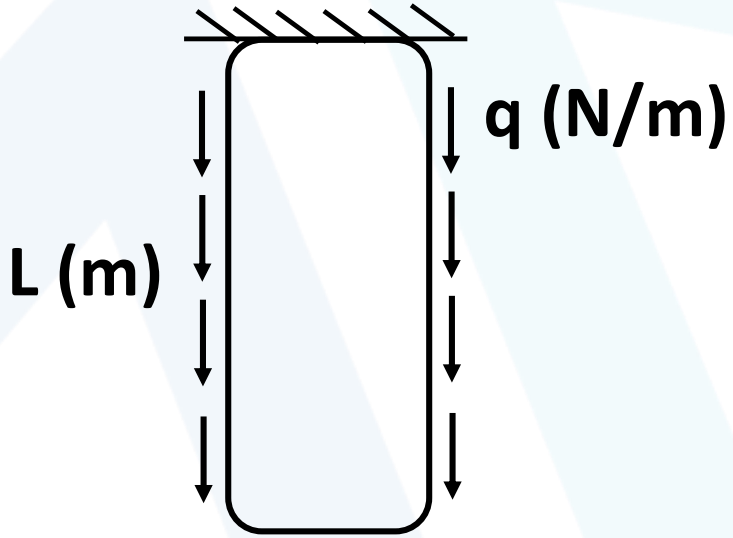
## قوى مركزة طولية أو محورية
## (موازية أو منطبقة مع محور الجائز)
## وتسبب دائما شد أو ضغط

## قوى مركزة عرضية
## تكون عمودية على محور الجائز
## وتسبب انحناء



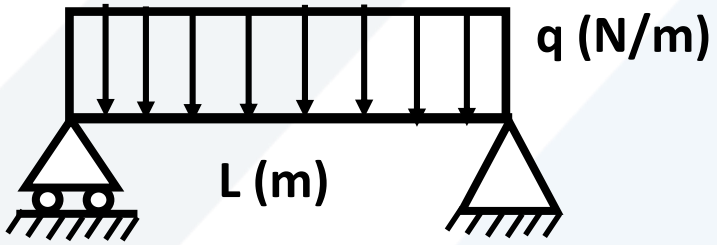
# القوى الموزعة يكون تأثيرها على طول معين من الجائز

## قوى موزعة طولية
تسبب شد أو ضغط

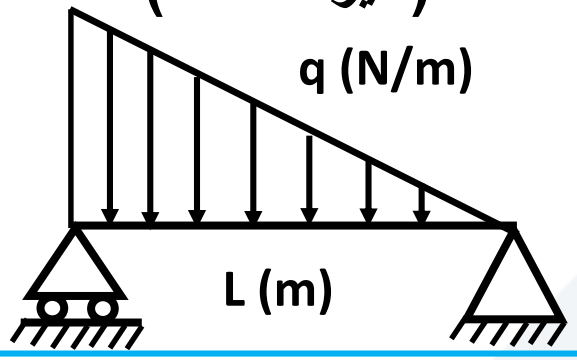



## قوى موزعة عرضية
تسبب انحناء

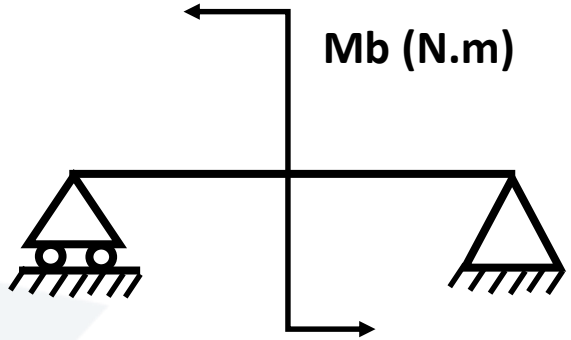
### قوى موزعة عرضية على شكل مستطيل (منتظمة)



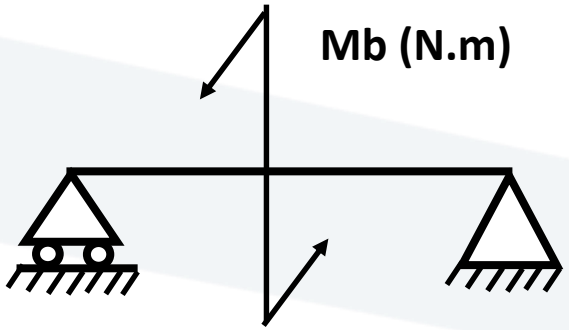

### قوى موزعة عرضية على شكل مثلث (غير منتظمة)



# حمولات العزوم



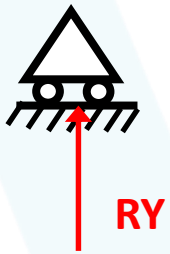

عزم انحناء



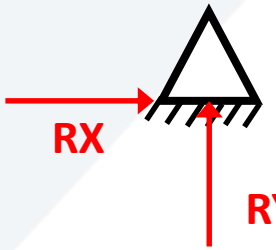

عزم فتل

## المساند: لها ثلاثة أنواع

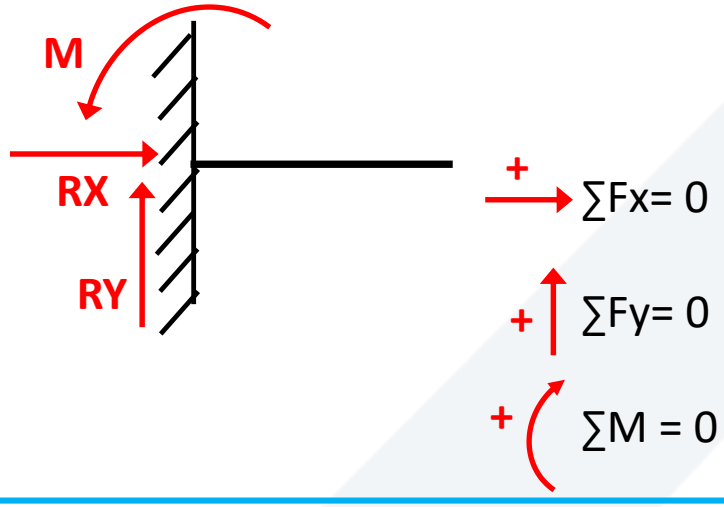
**المسند المتحرك**
وله رد فعل شاقولي وحيد عمودي على السطح




**المسند الثابت**
وله ردي فعل أفقي و شاقولي



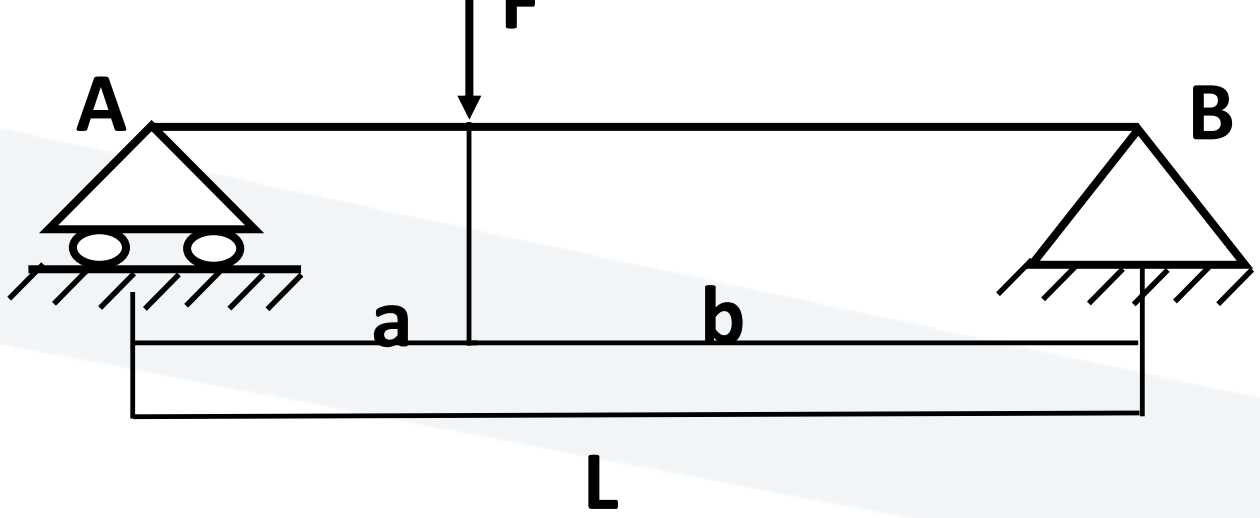

**الوثاقة**
ولها رد فعل أفقي و شاقولي وعزم




تحسب ردود الأفعال عن طريق معادلات التوازن

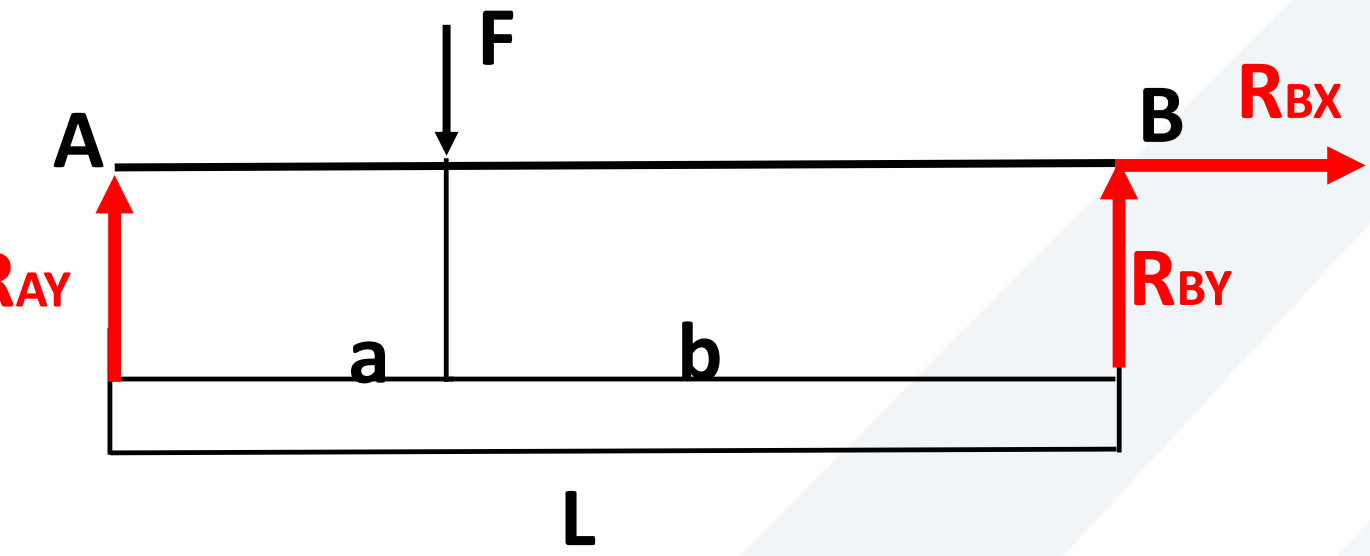
# مسألة رقم 1

أوجد ردود الأفعال في المساند المبينة بالشكل التالي




## الحل

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز




$+\rightarrow$ $\sum Fx = 0$ $\quad R_{BX} = 0$

$+\uparrow$ $\sum Fy = 0$ $\quad R_{AY} + R_{BY} = F \quad (*)$

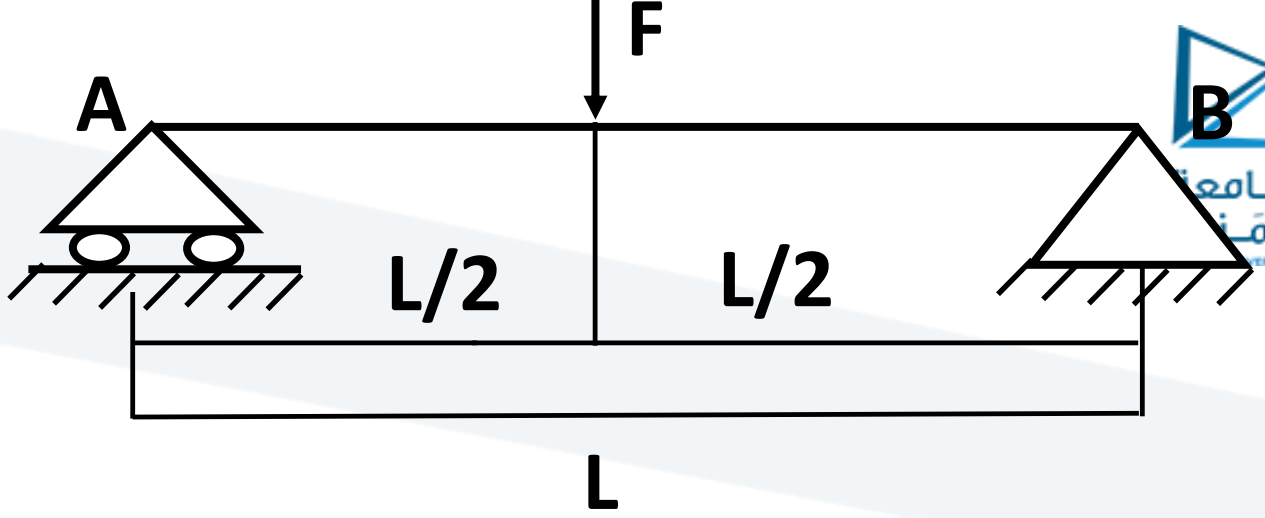
$+\circlearrowleft$ $\sum M = 0$ $\quad R_{AY} = F.b/L$

نعوض في *

نجد أن $R_{BY} = F.a/L$

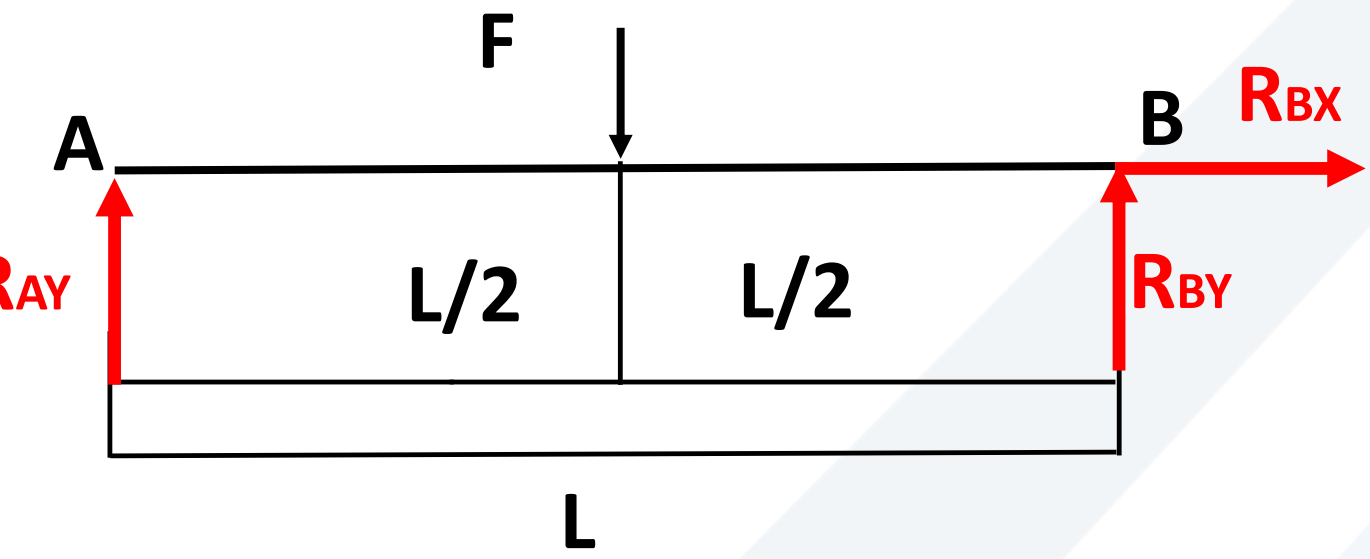
# مسألة رقم 2

أوجد ردود الأفعال في المساند المبينة بالشكل التالي




## الحل

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز




$+\rightarrow$ $\sum Fx = 0$ $\quad R_{BX} = 0$

$+\uparrow$ $\sum Fy = 0$ $\quad R_{AY} + R_{BY} = F \quad (*)$

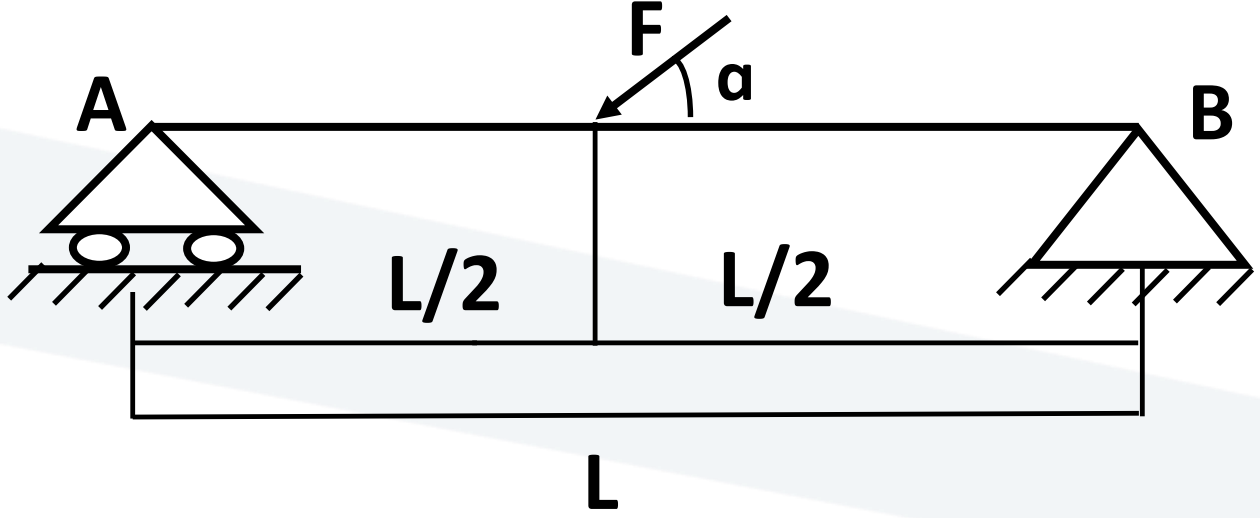
$+\circlearrowleft$ $\sum M = 0$ $\quad R_{AY} = F/2$

نعوض في *

نجد أن $R_{BY} = F/2$

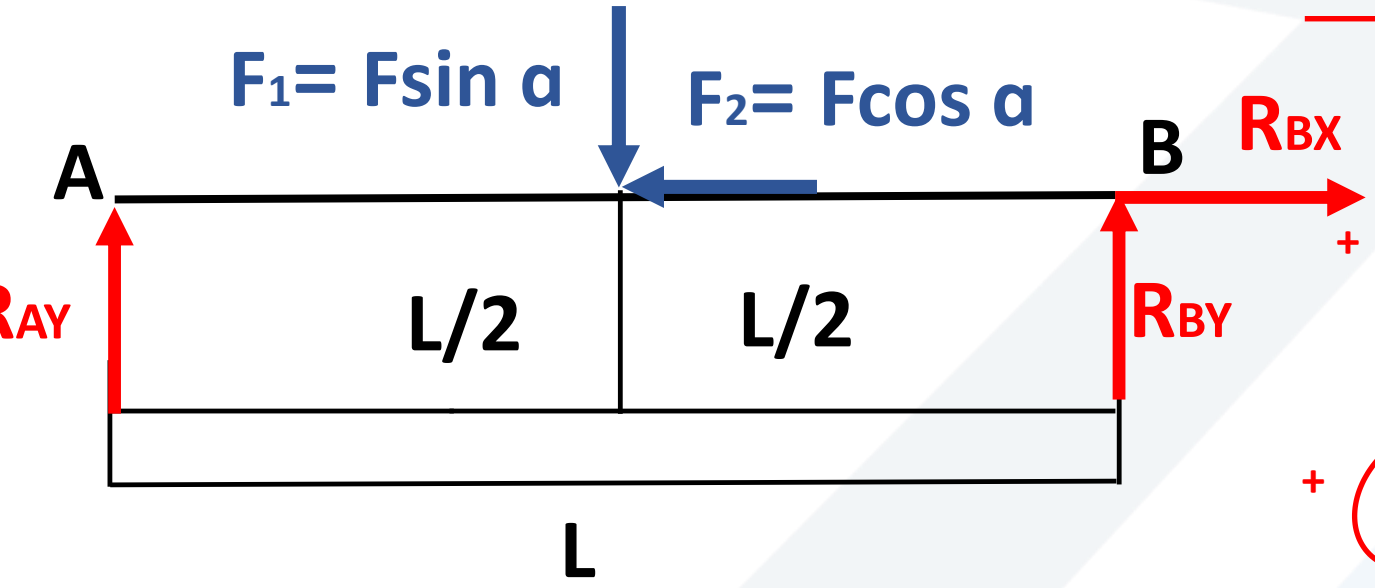
# مسألة رقم 3

أوجد ردود الأفعال في المساند المبينة بالشكل التالي




## الحل

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز




$$+\rightarrow \sum Fx = 0 \qquad R_{BX} = F\cos\alpha$$

$$+\uparrow \sum Fy = 0 \qquad R_{AY}+R_{BY} = F\sin\alpha \quad (*)$$

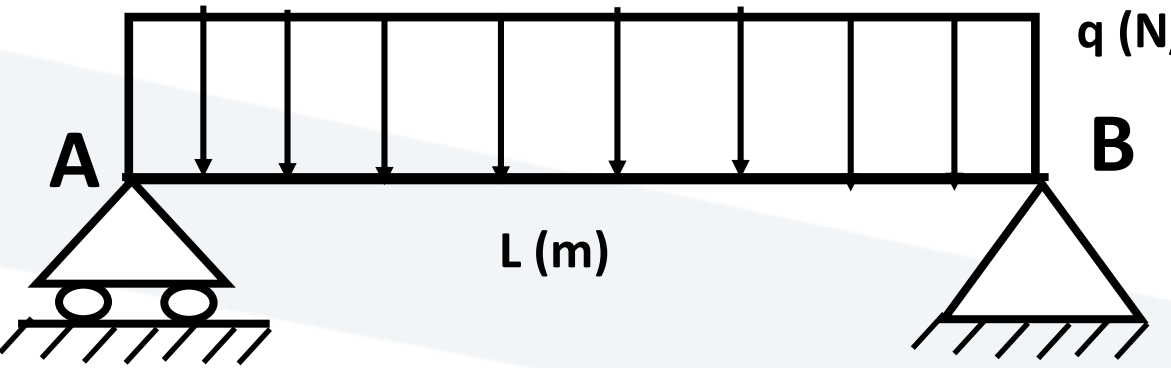
$$+\circlearrowleft \sum M = 0 \qquad R_{AY} = F\sin\alpha/2$$

نعوض في *

نجد أن $R_{BY} = F\sin\alpha/2$

# مسألة رقم 4

أوجد ردود الأفعال في المساند المبينة بالشكل التالي

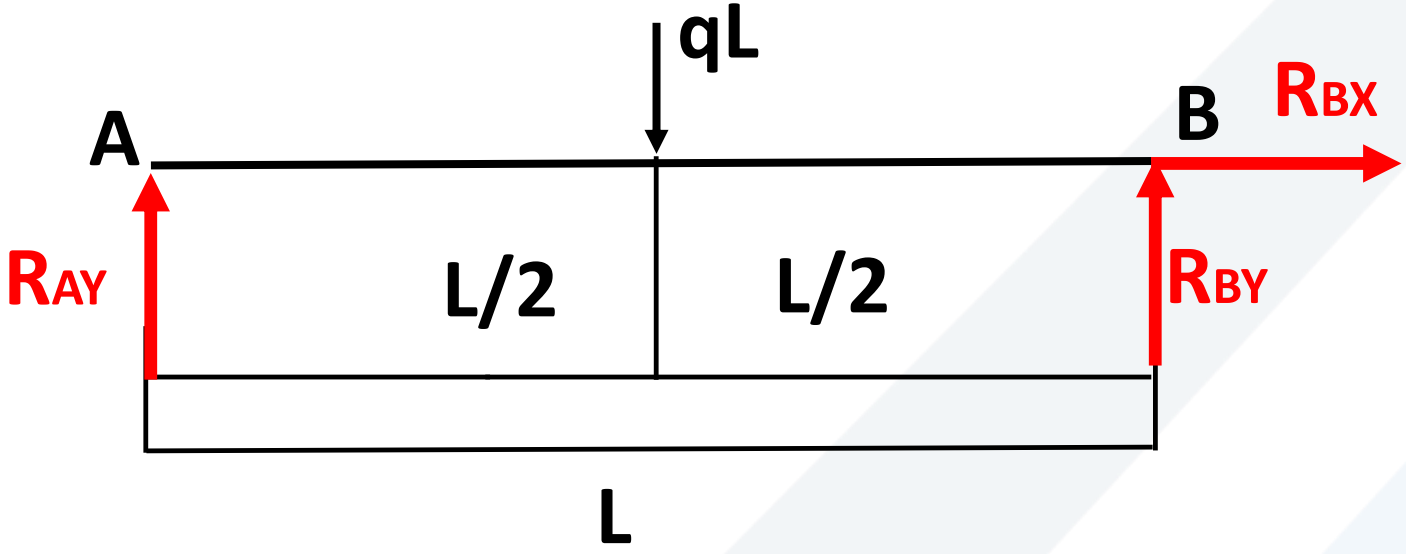



**الحل:** نحول القوة الموزعة إلى قوة مركزة

القوة المركزة = مساحة المستطيل =الطول * العرض = qL

نقطة تأثير القوة المركزة في مركز ثقل المستطيل أي على بعد L/2

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز




$\xrightarrow{+}$ $\sum Fx = 0$ $\quad R_{BX} = 0$

$+\uparrow$ $\sum Fy = 0$ $\quad R_{AY} + R_{BY} = qL \quad (*)$

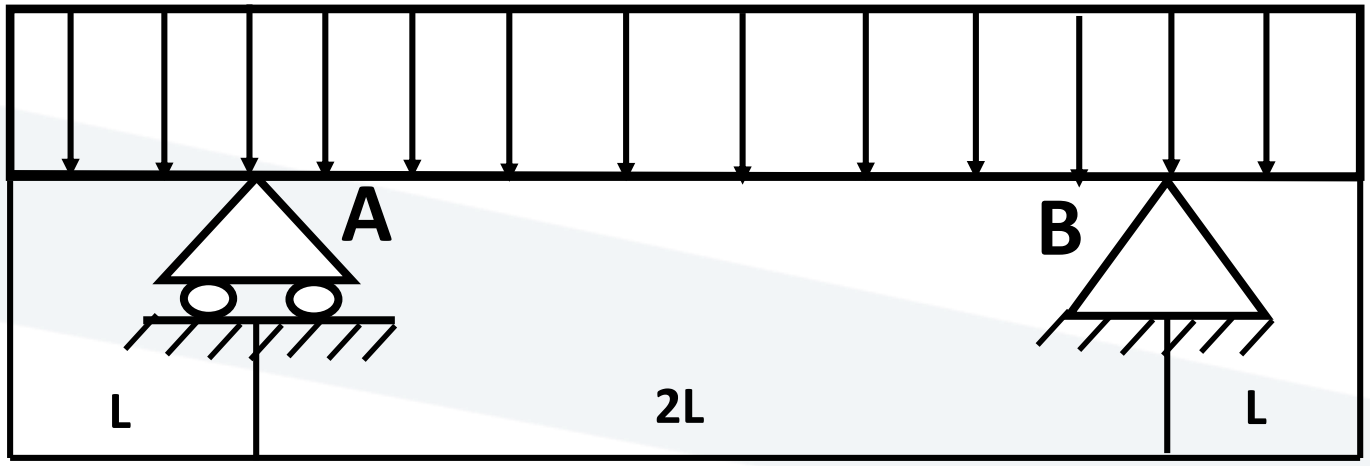
$+\circlearrowleft$ $\sum M = 0$ $\quad R_{AY} = qL/2$

نعوض في *

نجد أن $R_{BY} = qL/2$

# مسألة رقم 5

أوجد ردود الأفعال في المساند المبينة بالشكل التالي

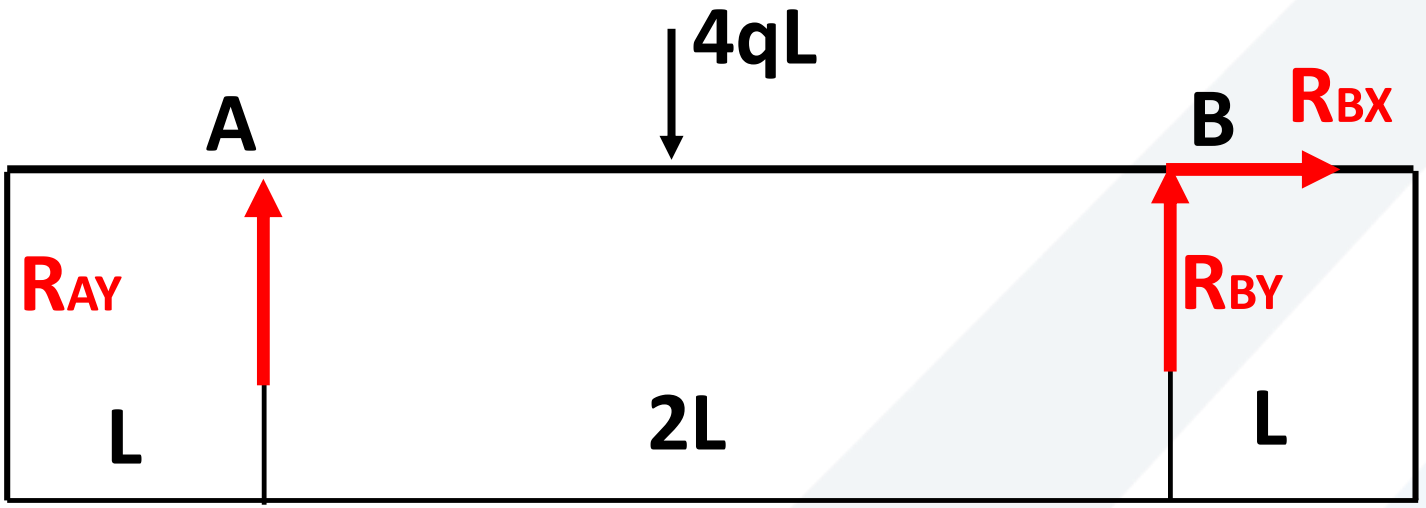



**الحل:** نحول القوة الموزعة إلى قوة مركزة

القوة المركزة = مساحة المستطيل =الطول * العرض = q*4L

نقطة تأثير القوة المركزة في مركز ثقل المستطيل

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز




$\xrightarrow{+}$ $\sum Fx = 0$ $\quad R_{BX} = 0$

$+\uparrow$ $\sum Fy = 0$ $\quad R_{AY} + R_{BY} = 4qL \quad (*)$

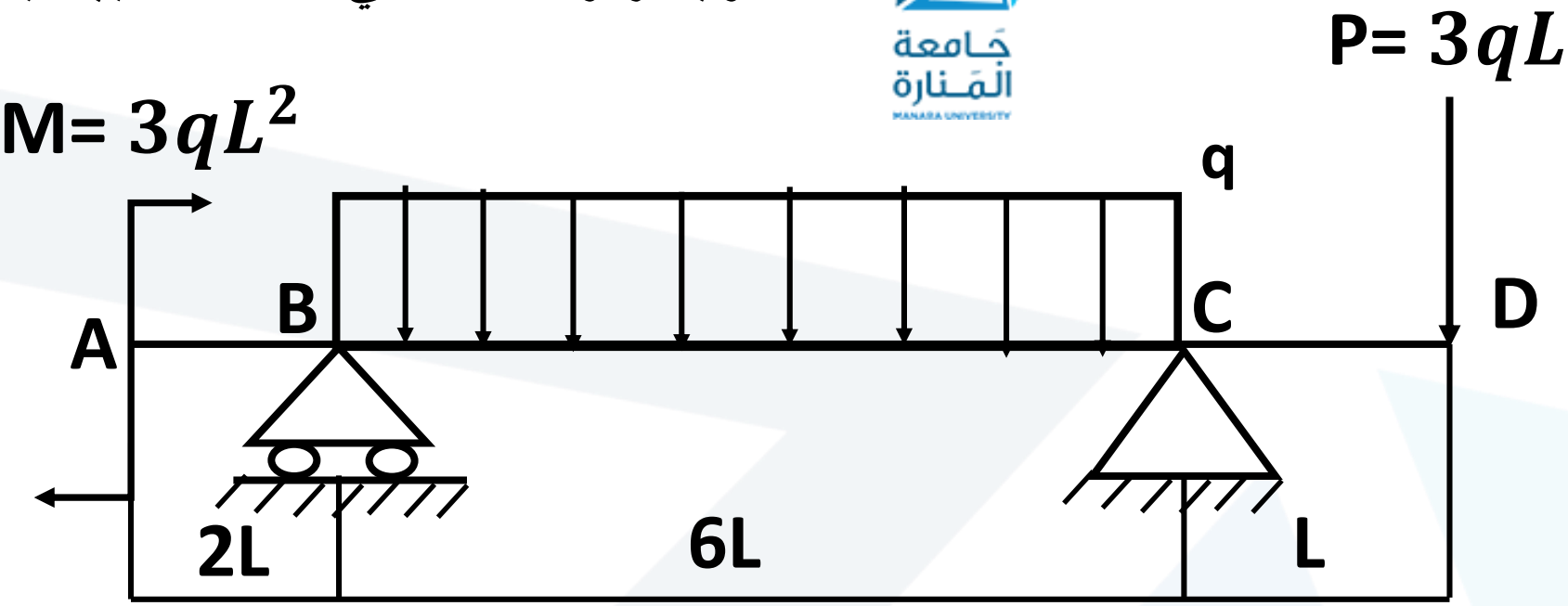
$+\circlearrowleft$ $\sum M = 0$ $\quad R_{AY} = 2qL$

نعوض في *

نجد أن $R_{BY} = 2qL$

## مسألة رقم 6

أوجد ردود الأفعال في المساند المبينة بالشكل التالي



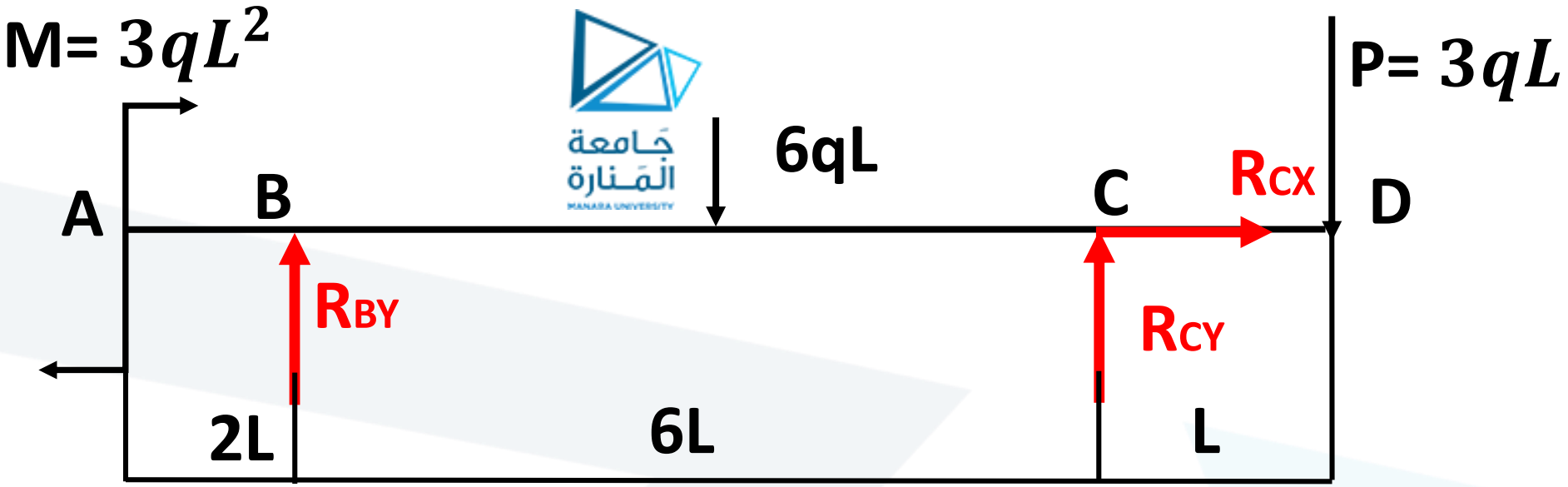

**الحل:**

نحول القوة الموزعة إلى قوة مركزة

القوة المركزة = مساحة المستطيل =الطول * العرض = 6qL

نقطة تأثير القوة المركزة في مركز ثقل المستطيل

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز



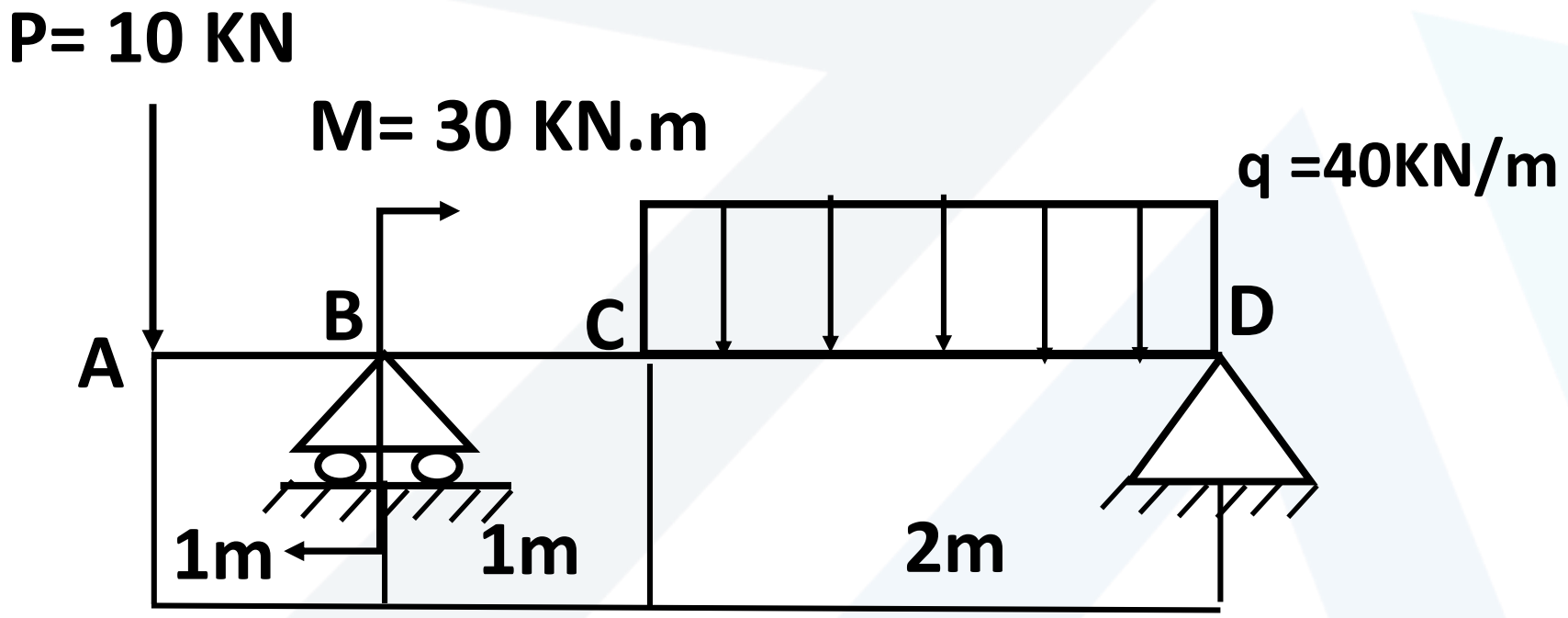

$$\xrightarrow{+} \quad \sum F_X = 0 \qquad R_{CX} = 0$$

$$+\circlearrowleft \quad \sum M_C = 0 \qquad R_{BY} = 2qL$$

$$+\circlearrowleft \quad \sum M_B = 0 \qquad R_{CY} = 7qL$$

# مسألة رقم 7

أوجد ردود الأفعال في المساند المبينة بالشكل التالي

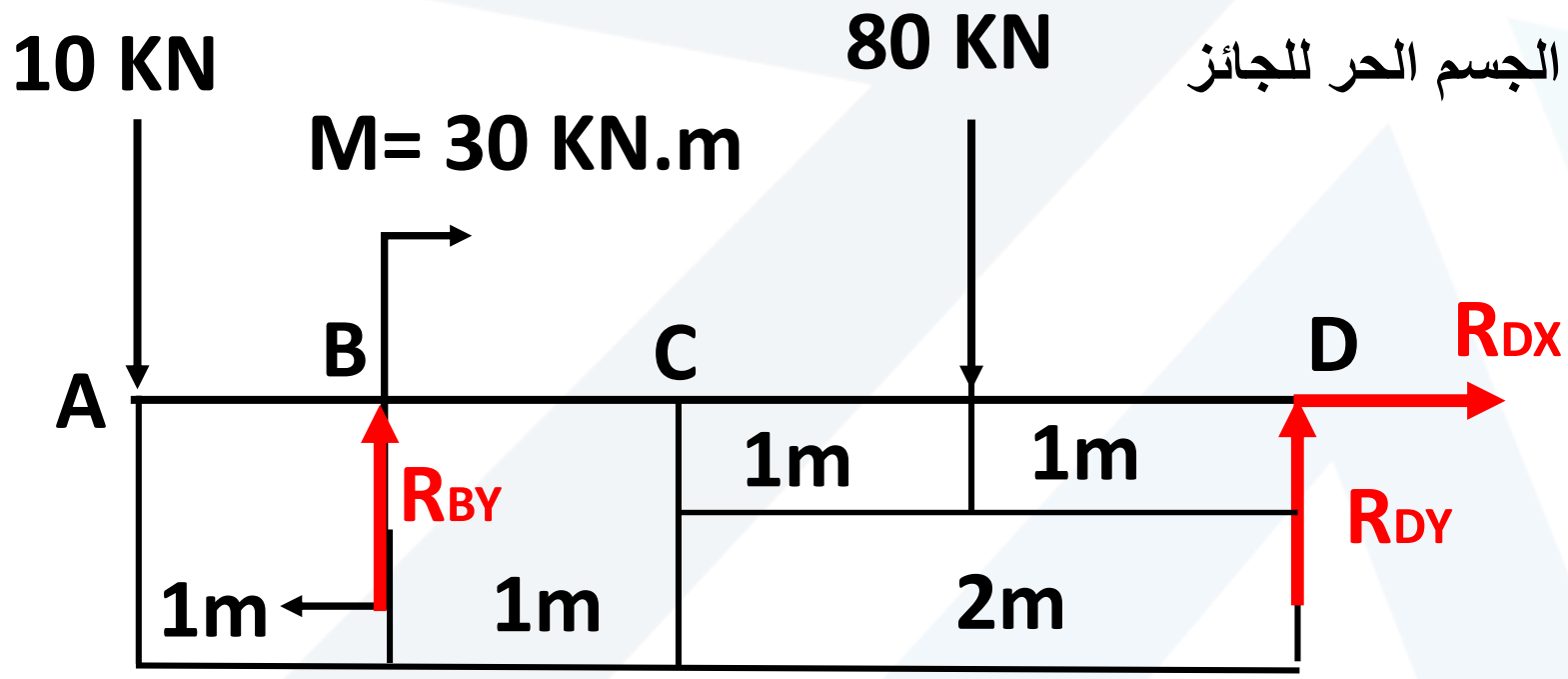


نحول القوة الموزعة إلى قوة مركزة

القوة المركزة = مساحة المستطيل =الطول * العرض = 2* 40 = 80 KN

نقطة تأثير القوة المركزة في مركز ثقل المستطيل

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز



$\sum F_X = 0 \qquad R_{DX} = 0$

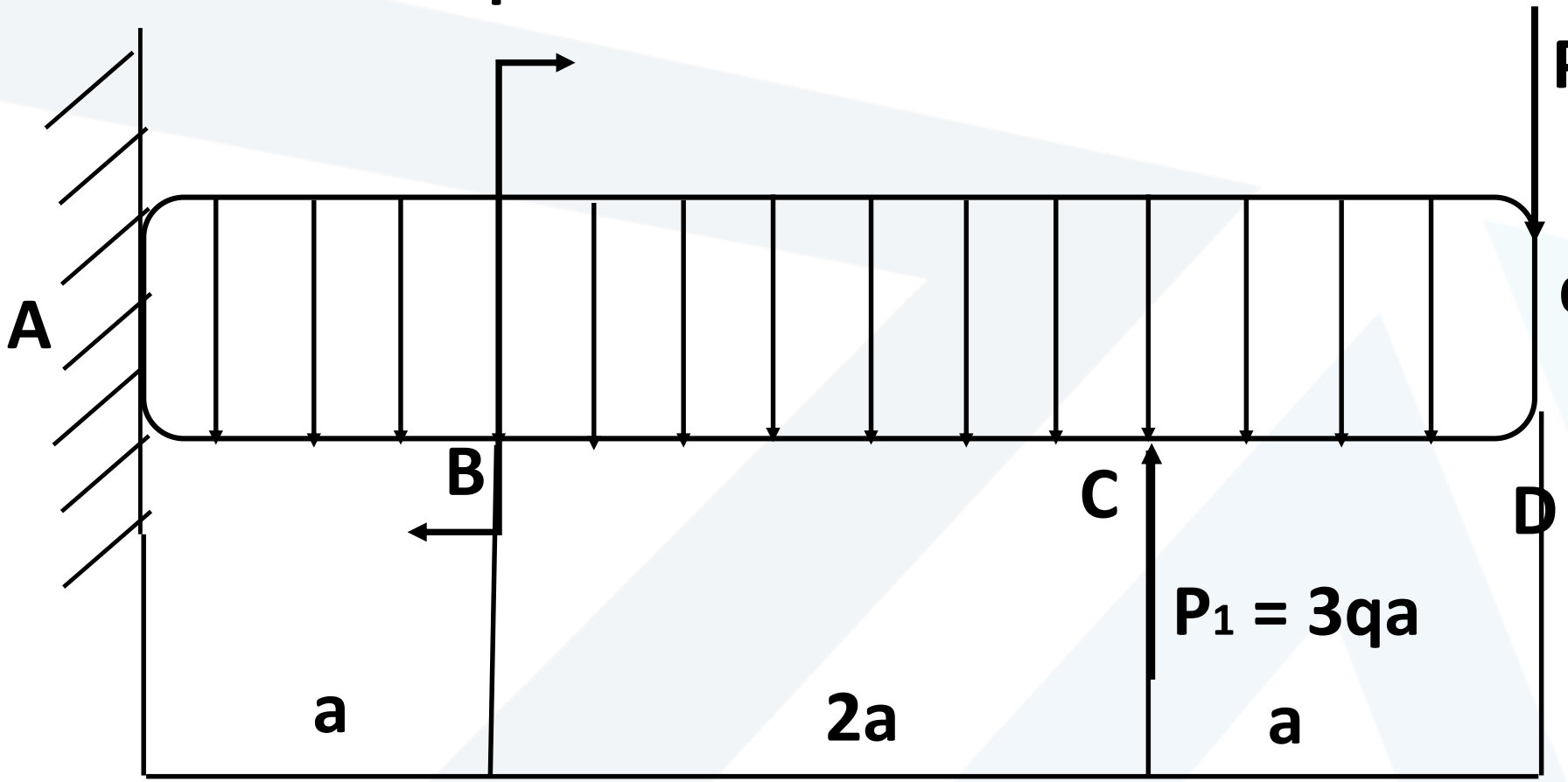
$\sum M_D = 0 \qquad R_{BY} = 30\ KN$

$\sum M_B = 0 \qquad R_{DY} = 60\ KN$

# مسألة رقم 8

أوجد ردود الأفعال في الوثاقة المبينة بالشكل التالي

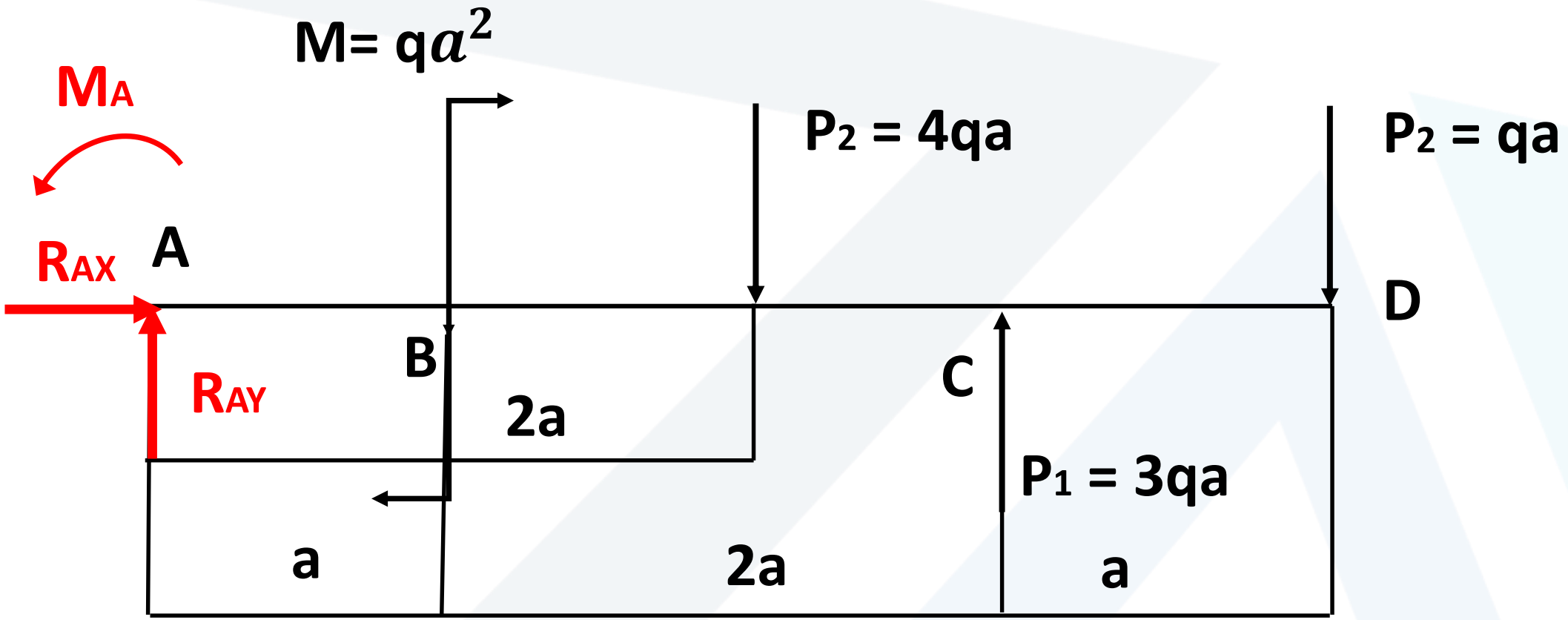
$M = qa^2$



القوة المركزة = مساحة المستطيل =الطول * العرض = 4qa

نقطة تأثير القوة المركزة في مركز ثقل المستطيل

نرسم مخطط الجسم الحر للجائز



$\xrightarrow{+}$ $\sum F_x = 0$ $\quad R_{AX} = 0$

$+\circlearrowleft$ $\sum M_A = 0$ $\quad R_{BY} = 4qa^2$

$+\circlearrowleft$ $\sum M_D = 0$ $\quad R_{AY} = 2qa$

# الخصائص الهندسة للمقاطع

تتضمن الخصائص الهندسية للمقاطع :

- حساب عزوم العطالة للمقاطع
- تحديد احداثيات مركز ثقل الشكل C ( Zc , Yc)

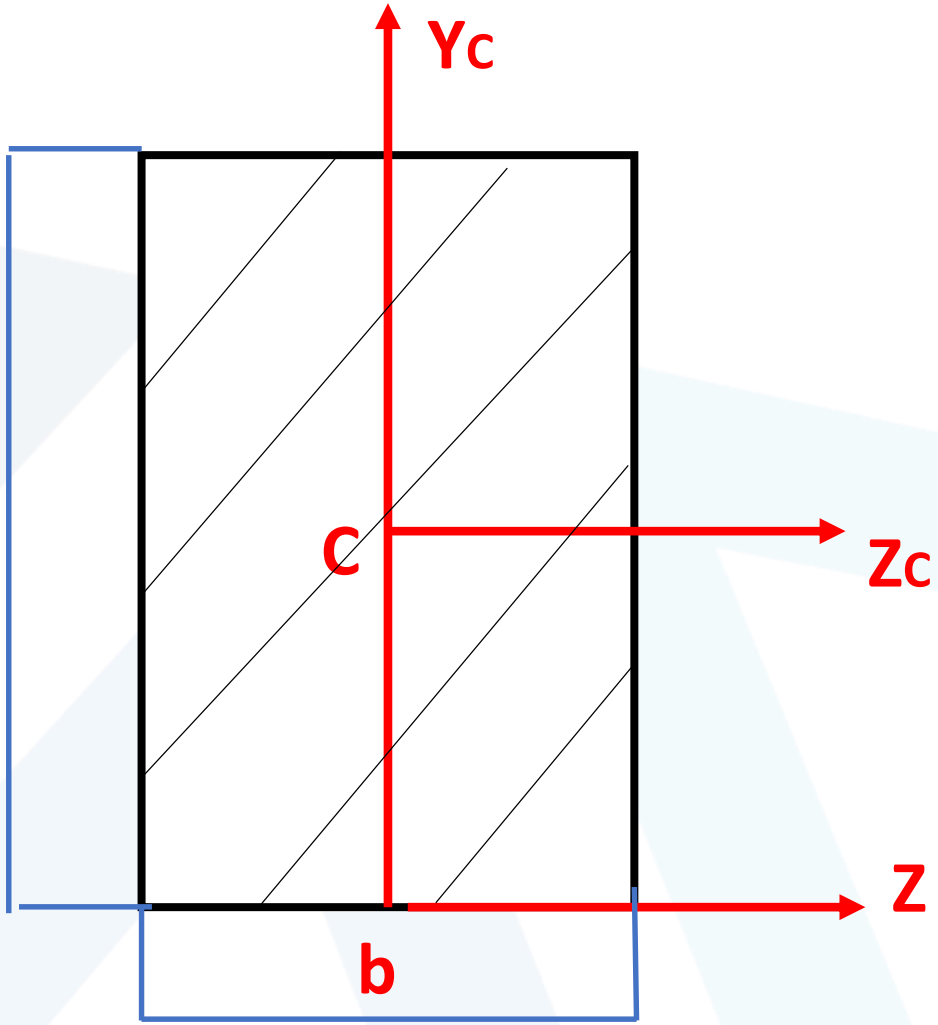
## عزوم العطالة لبعض المقاطع الشهيرة

# عزوم العطالة للمقطع على شكل مستطيل

$$I_{ZC} = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_{YC} = \frac{hb^3}{12}$$

عزم عطالة مستطيل
بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله



## ملاحظة هامة

لحساب عزم عطالة المستطيل بالنسبة لمحور لا يمر من مركز ثقله نستخدم نظرية شتاينر

# نظرية شتاينر

عزم عطالة مقطع بالنسبة لمحور لا يمر من مركز ثقله يساوي إلى عزم عطالة هذا المقطع بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله ويوازي المحور السابق مضافاً إليه مساحة هذا الشكل مضروبة بمربع البعد بين المحورين

$$I_Z = I_{ZC} + Aa^2$$

- $I_Z$: عزم عطالة المستطيل بالنسبة للمحور Z
- $I_{ZC}$: عزم عطالة المستطيل بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله ZC
- $A$: مساحة المستطيل
- $a^2$: مربع البعد بين المحورين Z, Zc

$$I_Z = I_{ZC} + Aa^2$$

$$I_Z = \frac{bh^3}{12} + bh\left(\frac{h}{2}\right)^2$$

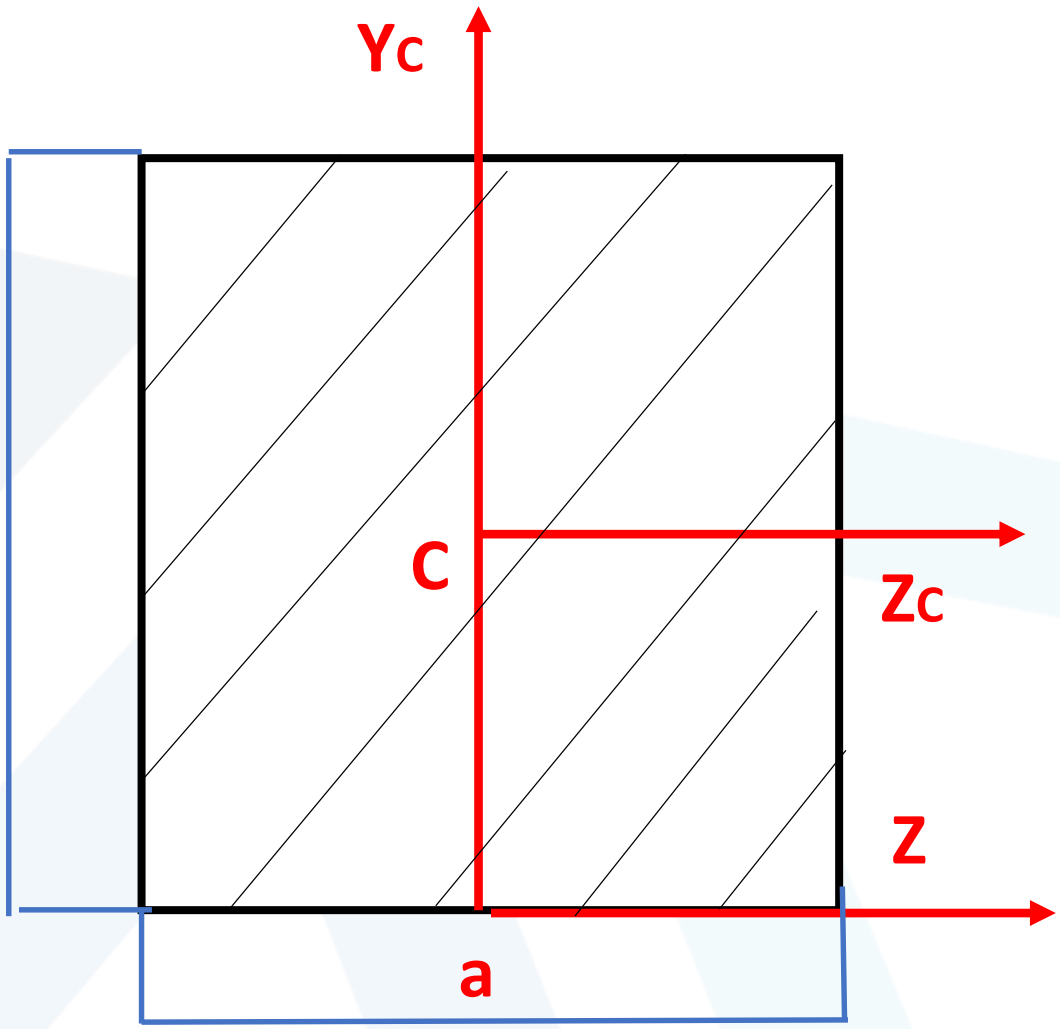
$$I_Z = \frac{bh^3}{3}$$

# عزوم العطالة للمقطع على شكل مربع

$$I_{ZC} = \frac{a^4}{12}$$

$$I_{YC} = \frac{a^4}{12}$$

عزم عطالة المربع
بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله



## ملاحظة هامة

لحساب عزم عطالة المربع بالنسبة لمحور لا يمر من مركز ثقله نستخدم نظرية شتاينر

# نظرية شتاينر

عزم عطالة مقطع بالنسبة لمحور لا يمر من مركز ثقله يساوي إلى عزم عطالة هذا المقطع بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله ويوازي المحور السابق مضافاً إليه مساحة هذا الشكل مضروبة بمربع البعد بين المحورين

$$I_Z = I_{ZC} + Aa^2$$

- $I_Z$: عزم عطالة المربع بالنسبة للمحور Z
- $I_{ZC}$: عزم عطالة المربع بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله ZC
- $A$: مساحة المربع
- $a^2$: مربع البعد بين المحورين Z, Zc

$$I_Z = I_{ZC} + Aa^2$$

عزم عطالة المربع بالنسبة للمحورZ

عزم عطالة المربع بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله ZC

مساحة المربع

مربع البعد بين المحورين Z, Zc

$$I_Z = \frac{a^4}{12} + a^2\left(\frac{a}{2}\right)^2$$

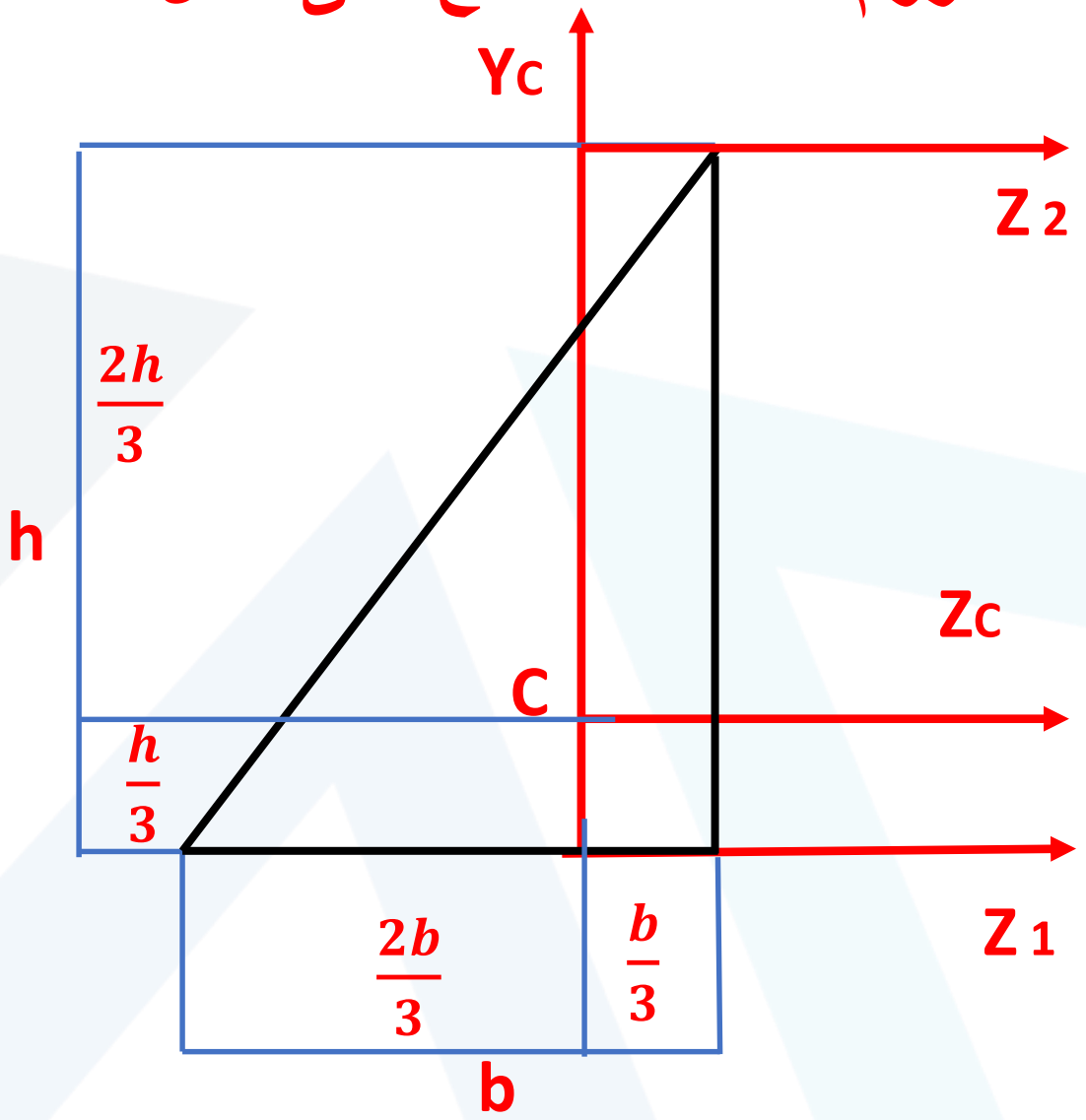
$$I_Z = \frac{a^4}{3}$$

# عزوم العطالة للمقطع على شكل مثلث

$$I_{ZC} = \frac{bh^3}{36}$$

$$I_{YC} = \frac{hb^3}{36}$$

عزم عطالة المربع
بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله



## ملاحظة هامة

لحساب عزم عطالة المثلث بالنسبة لمحور لا يمر من مركز ثقله نستخدم نظرية شتاينر

# نظرية شتاينر

عزم عطالة مقطع بالنسبة لمحور لا يمر من مركز ثقله يساوي إلى عزم عطالة هذا المقطع بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله ويوازي المحور السابق مضافاً إليه مساحة هذا الشكل مضروبة بمربع البعد بين المحورين

$$I_Z = I_{ZC} + A a^2$$

- $I_Z$: عزم عطالة المثلث بالنسبة للمحور Z
- $I_{ZC}$: عزم عطالة المثلث بالنسبة لمحور مار من مركز ثقله ZC
- $A$: مساحة المثلث
- $a^2$: مربع البعد بين المحورين Z, Zc

$$I_{z1} = I_{zc} + Aa^2$$

عزم عطالة المثلث
بالنسبة للمحورZ1

$$I_{z1} = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_{z2} = I_{zc} + Aa^2$$

عزم عطالة المثلث
بالنسبة للمحورZ2

$$I_{z2} = \frac{bh^3}{4}$$

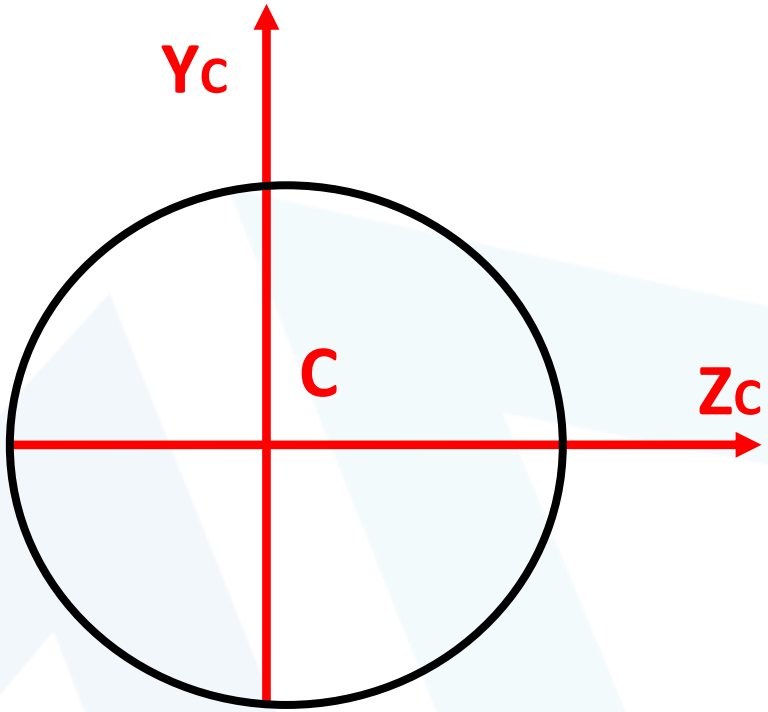
# عزوم العطالة للمقطع على شكل دائرة

$$I_{ZC} = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$$

$$I_{YC} = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$$

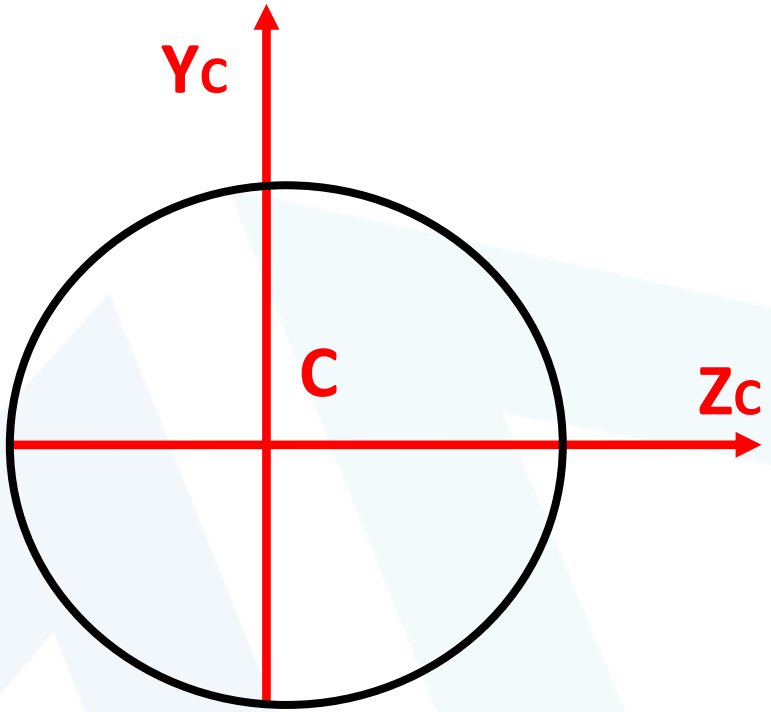
d قطر الدائرة

r نصف قطر الدائرة



# حساب عزم العطالة القطبي للدائرة $J$ , $I_P$

ويمثل مجموع عزمي العطالة
بالنسبة لمحورين متعامدين ومتقاطعين في المركز



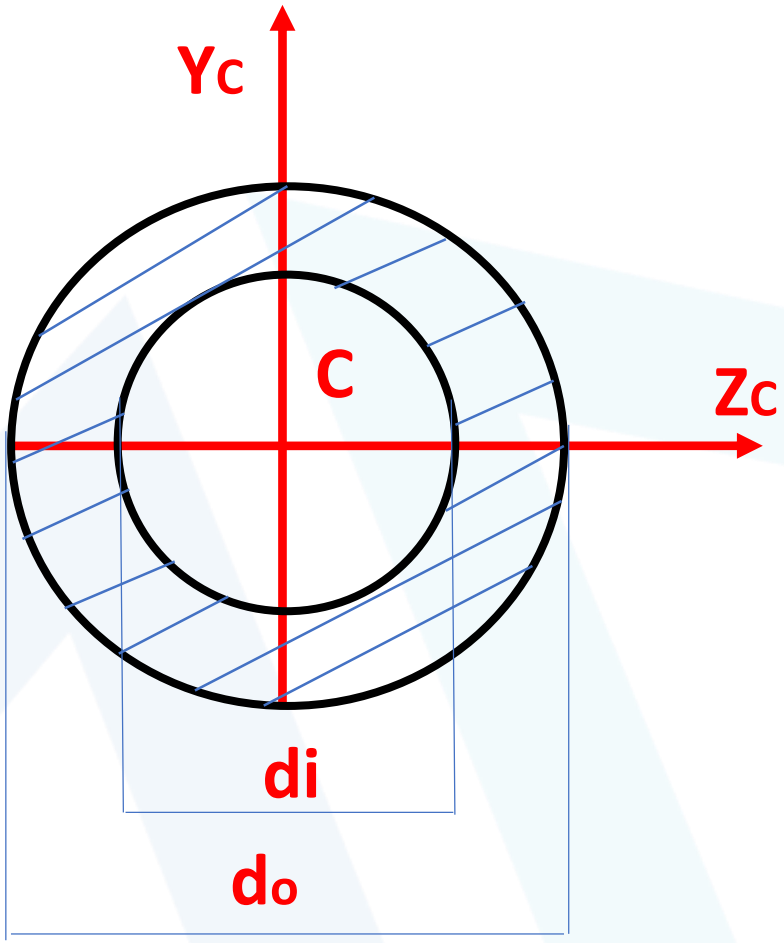

$$J = I_P = I_{ZC} + I_{YC} = \frac{2\pi d^4}{64} = \frac{\pi d^4}{32}$$

يستخدم في بحث فتل المقاطع الدائرية

# عزوم العطالة للمقطع على شكل دائرة مفرغة (الحلقة)

$$I_{ZC} = I_{YC} = \frac{\pi[d_o{}^4 - d_i{}^4]}{64}$$

$$J = I_P = I_{ZC} + I_{YC} = \frac{\pi[d_o{}^4 - d_i{}^4]}{32}$$



# تحديد إحداثيات مركز ثقل شكل ما C (Zc , Yc)

C (Zc , Yc)

بعد C عن المحور Z

بعد C عن المحور Y

## خطوات العمل

- ننسب الشكل إلى محوري إحداثيات Y , Z
- نقسم الشكل لأقسام شهيرة (أشكال هندسية شهيرة) معروفة مساحتها ومركز ثقلها
- نطبق العلاقتين

$$Z_C = \frac{A_1Z_1 + A_2Z_2 + A_3Z_3 + \cdots A_nZ_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots A_n}$$

$$Y_C = \frac{A_1Y_1 + A_2Y_2 + A_3Y_3 + \cdots A_nY_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots A_n}$$

A1 مساحة الشكل الأول

A2 مساحة الشكل الثاني

A3 مساحة الشكل الثالث

An مساحة الشكل n

$$Z_C = \frac{A_1Z_1 + A_2Z_2 + A_3Z_3 + \cdots A_nZ_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots A_n}$$

$$Y_C = \frac{A_1Y_1 + A_2Y_2 + A_3Y_3 + \cdots A_nY_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots A_n}$$

Z1 بعد مركز ثقل الشكل الأول عن المحور Y

Z2 بعد مركز ثقل الشكل الثاني عن المحور Y

Z3 بعد مركز ثقل الشكل الثالث عن المحور Y

Zn بعد مركز ثقل الشكل n عن المحور Y

Y1 بعد مركز ثقل الشكل الأول عن المحور Z

Y2 بعد مركز ثقل الشكل الثاني عن المحور Z

Y3 بعد مركز ثقل الشكل الثالث عن المحورZ

Yn بعد مركز ثقل الشكل n عن المحور Z

# ملاحظات هامة

ملاحظة 1 : إذا كان للشكل محوري تناظر فإن مركز ثقله سيقع حتماً في نقطة التقاطع في المنتصف

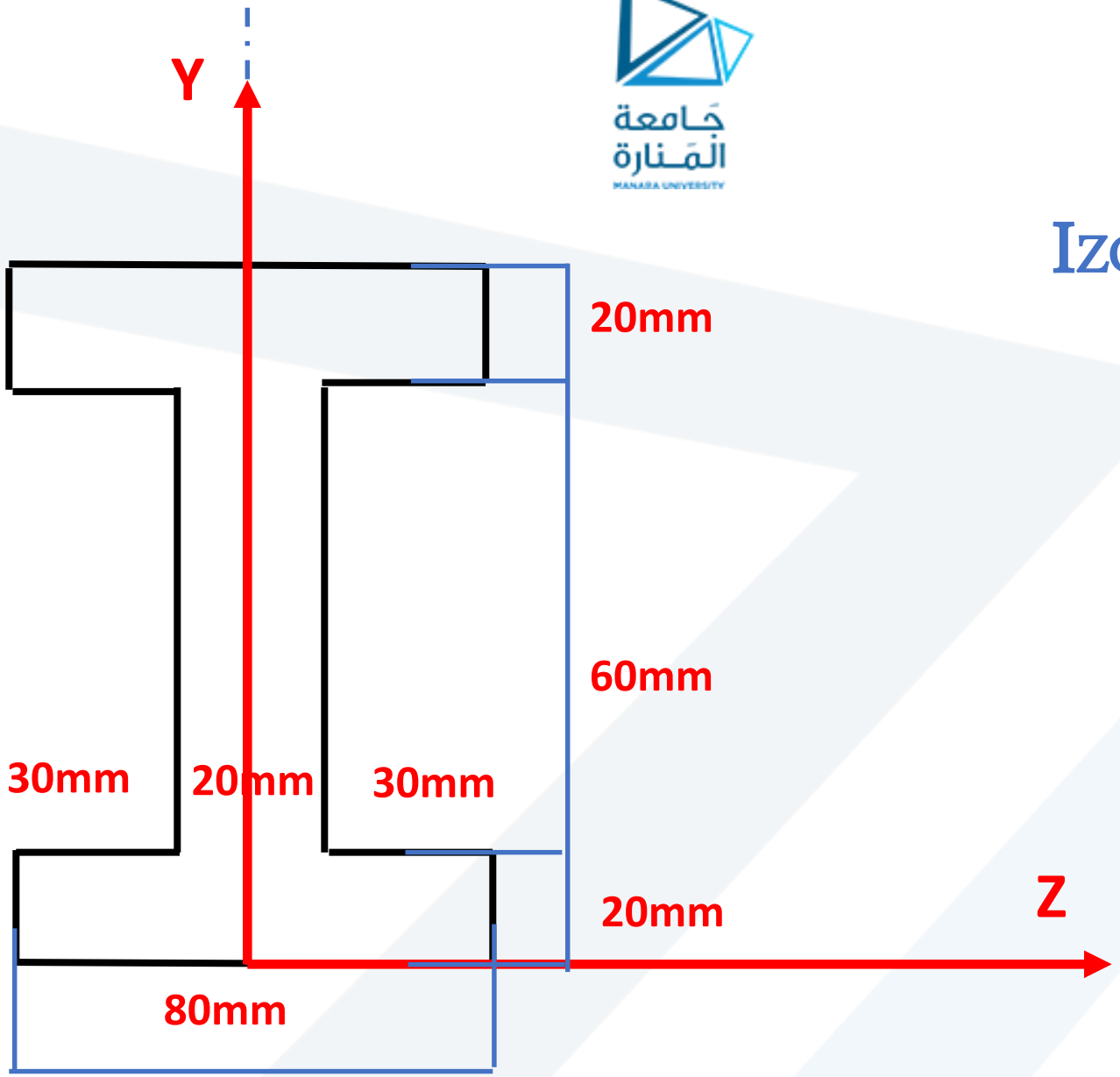
ملاحظة 2 : إذا كان للشكل محور تناظر وحيد فإن مركز ثقله سيقع حتماً على هذا المحور

إذا كان المحور Z محور تناظر هذا يعني أن الإحداثي Yc=0

إذا كان المحور Y محور تناظر هذا يعني أن الإحداثي Zc=0

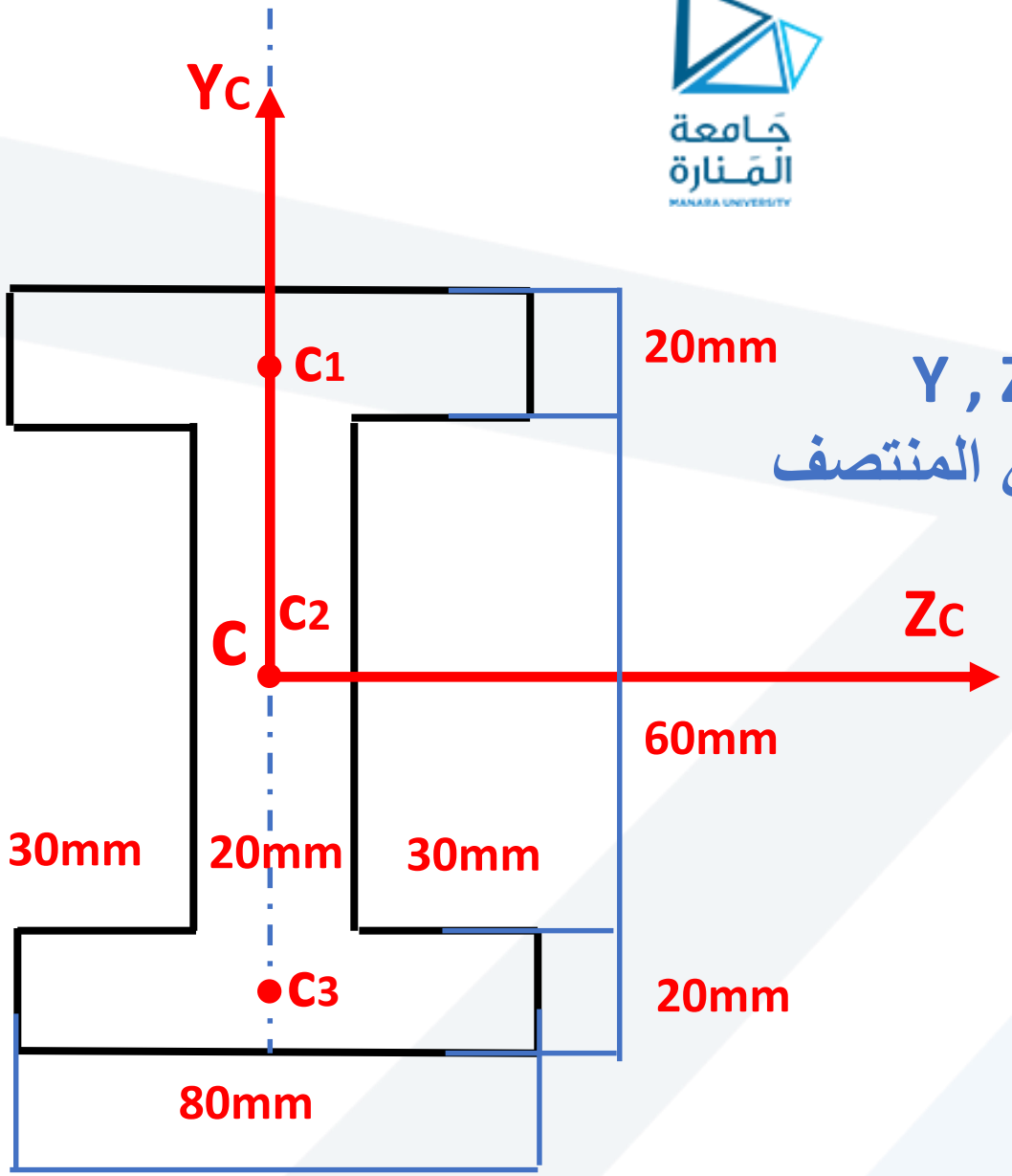
# مسألة

احسب عزم عطالة هذا المقطع
بالنسبة لمحور مار من ثقله IZC TOTAL



# الحل

هنا لابد من تعيين مركز ثقل الشكل C (Zc,Yc)

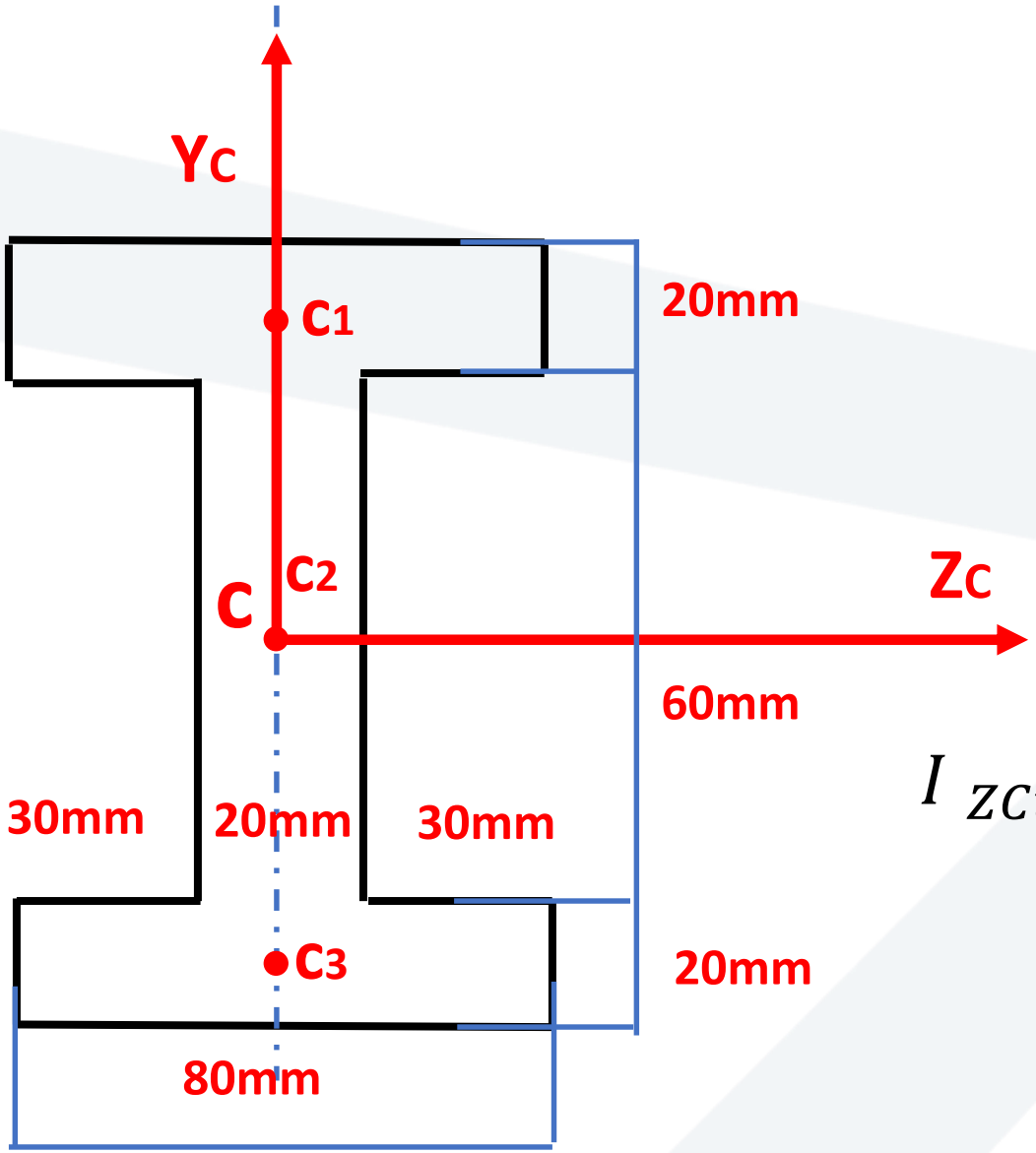



إن هذا المقطع متناظر بالنسبة للمحورين Y , Z
وبالتالي مركز ثقله سيقع في نقطة التقاطع و في المنتصف

لحساب IZC TOTAL هناك طريقتين

- طريقة الجمع
- طريقة الطرح

# الحل • طريقة الجمع




$$I_{ZCtOTAL} = I_{ZC1} + I_{ZC3} + I_{ZC2}$$

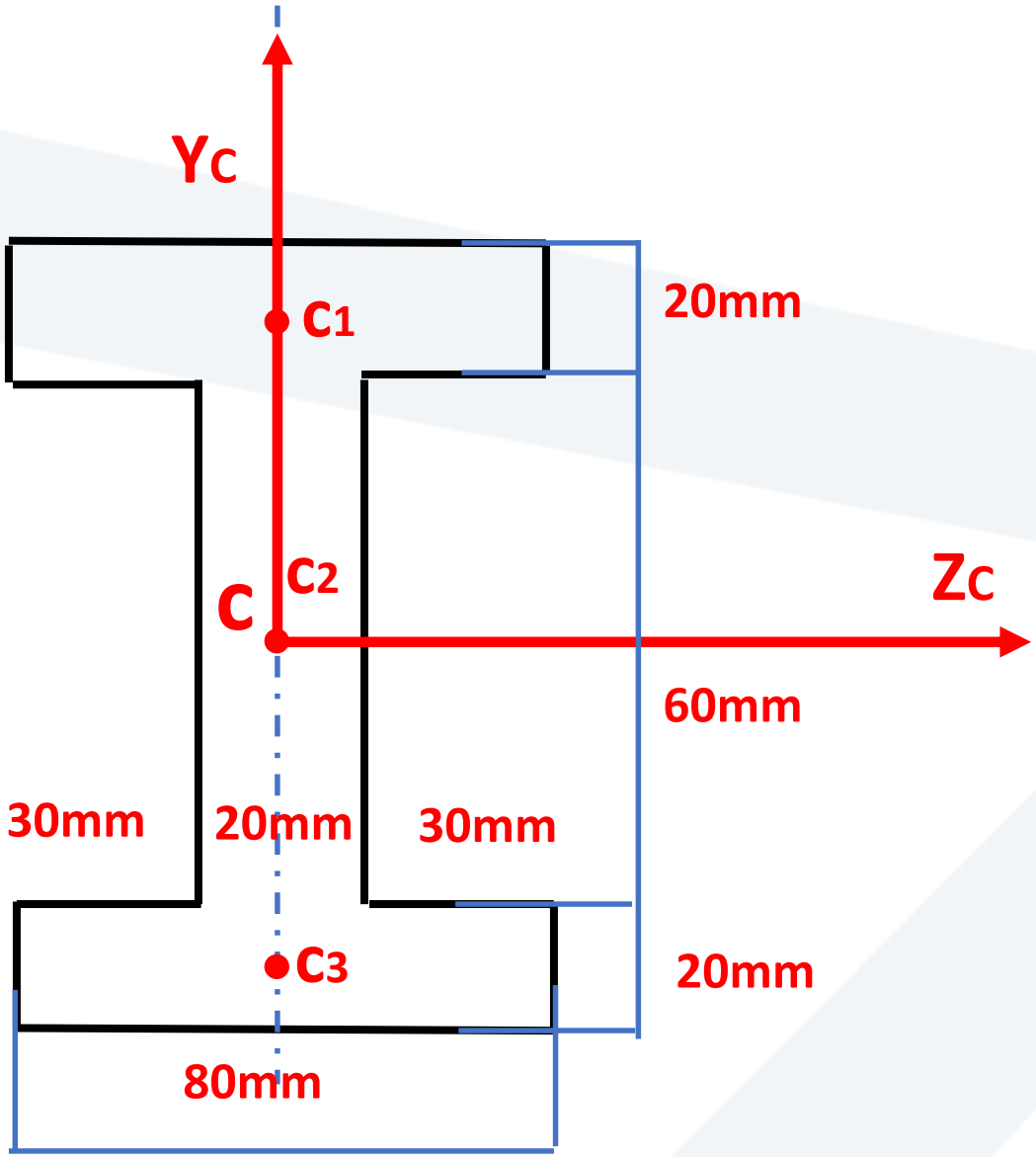
المستطيل في المنتصف

المستطيل العلوي والسفلي

$$I_{ZCtOTAL} = \left[\frac{80\,(20)^3}{12} + 1600(\,40)^2\right] * 2 + \left[\frac{20(60)^3}{12}\right]$$

$$I_{ZCtOTAL} = 5586666.667\ mm^4$$

# الحل • طريقة الطرح




$$I_{ZCtOTAL} = I_{ZC1} - 2I_{ZC2}$$

التفريغتين من الجانبين ذوات الأبعاد 30*60

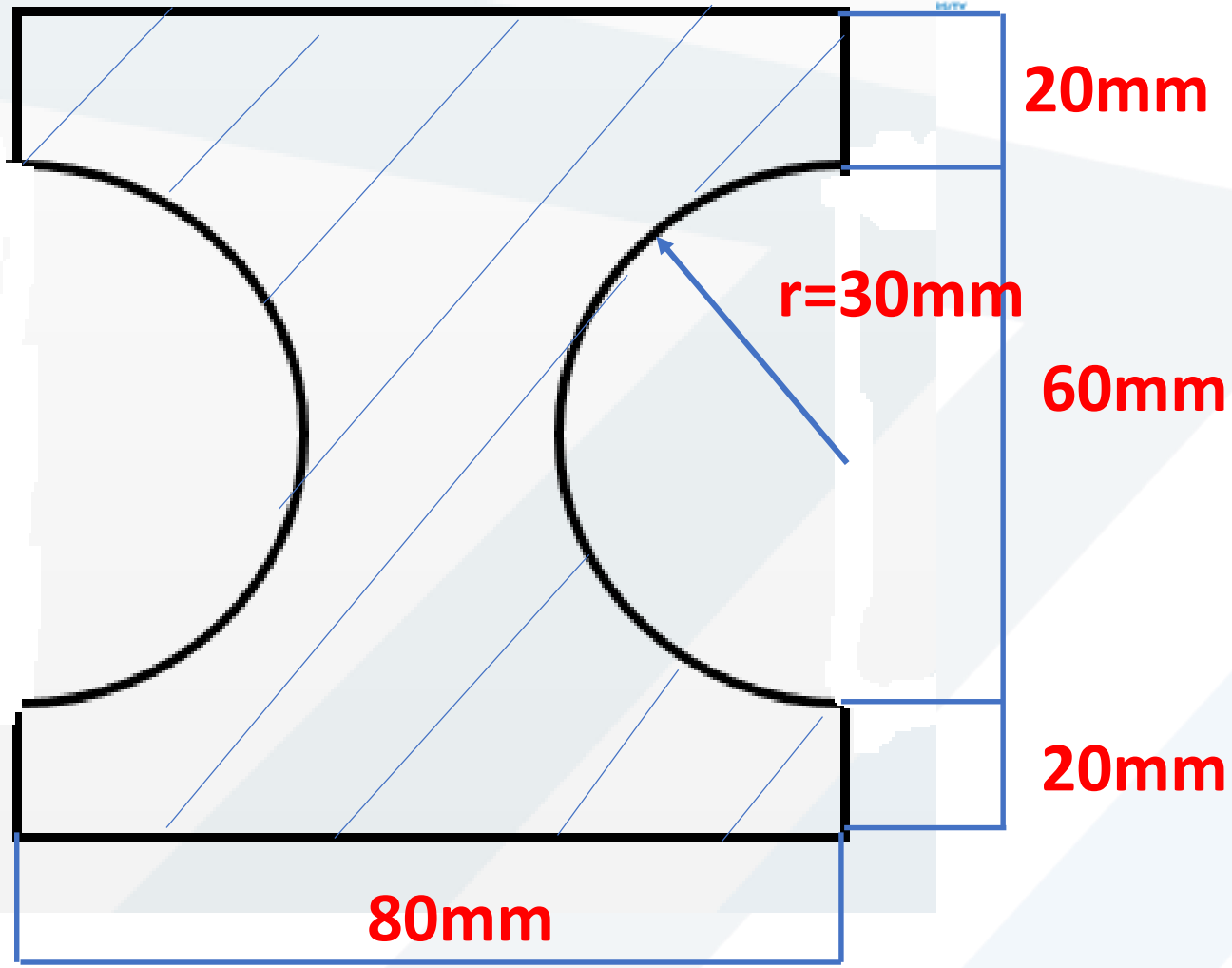
المستطيل الكبير أبعاده 80*100 باعتباره مصمت

$$I_{ZCtOTAL} = \left[\frac{80\,(100)^3}{12}\right] - 2 * \left[\frac{30(60)^3}{12}\right]$$

$$I_{ZCtOTAL} = 5586666.667\ mm^4$$

# مسألة

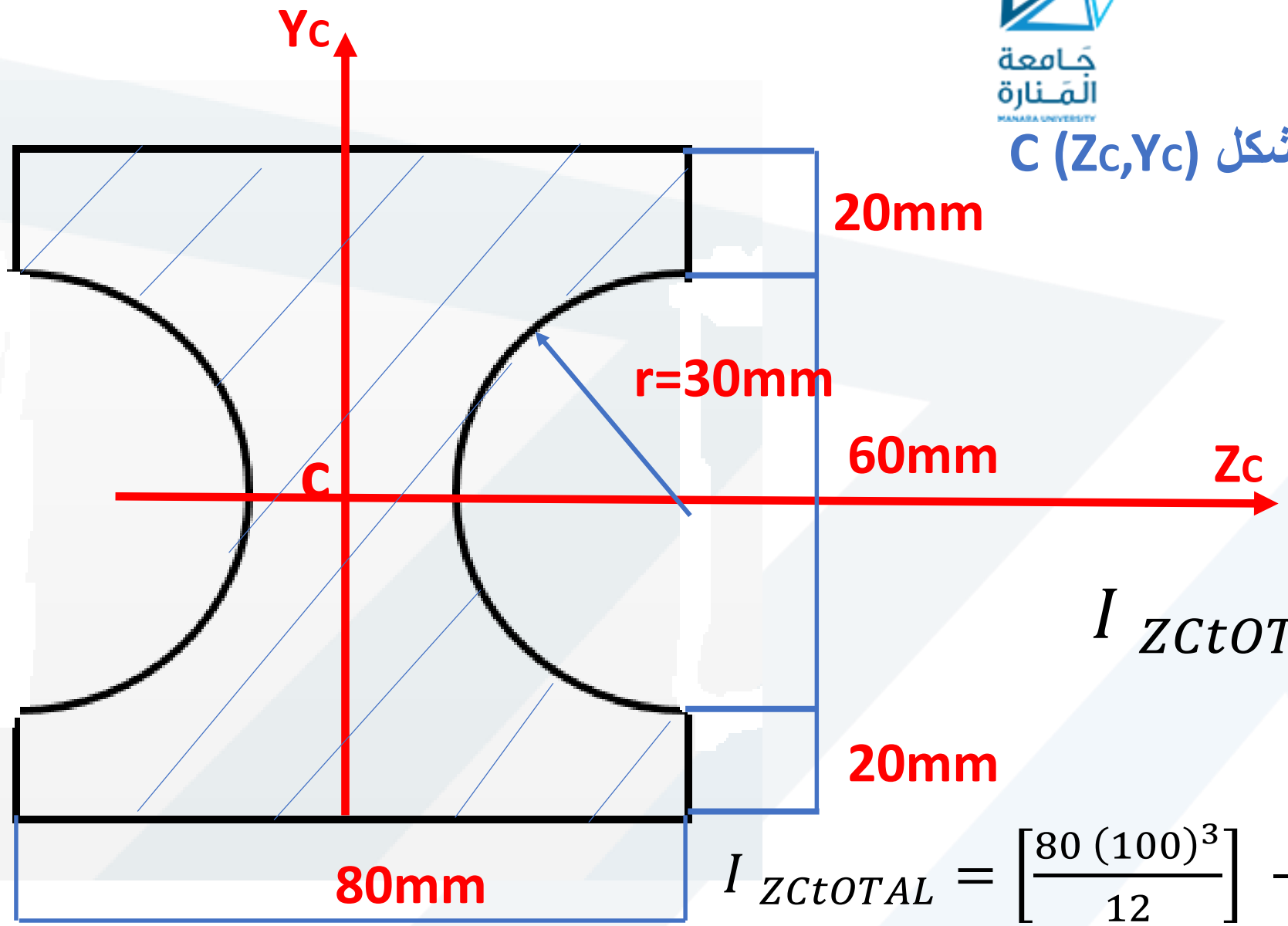
احسب عزم العطالة الكلي بالنسبة
للمقطع المبين بالشكل IZC TOTAL



# الحل

هنا لابد من تعيين مركز ثقل الشكل C (Zc,Yc)

إن هذا المقطع متناظر بالنسبة للمحورين Y , Z
وبالتالي مركز ثقله سيقع في نقطة التقاطع و في المنتصف



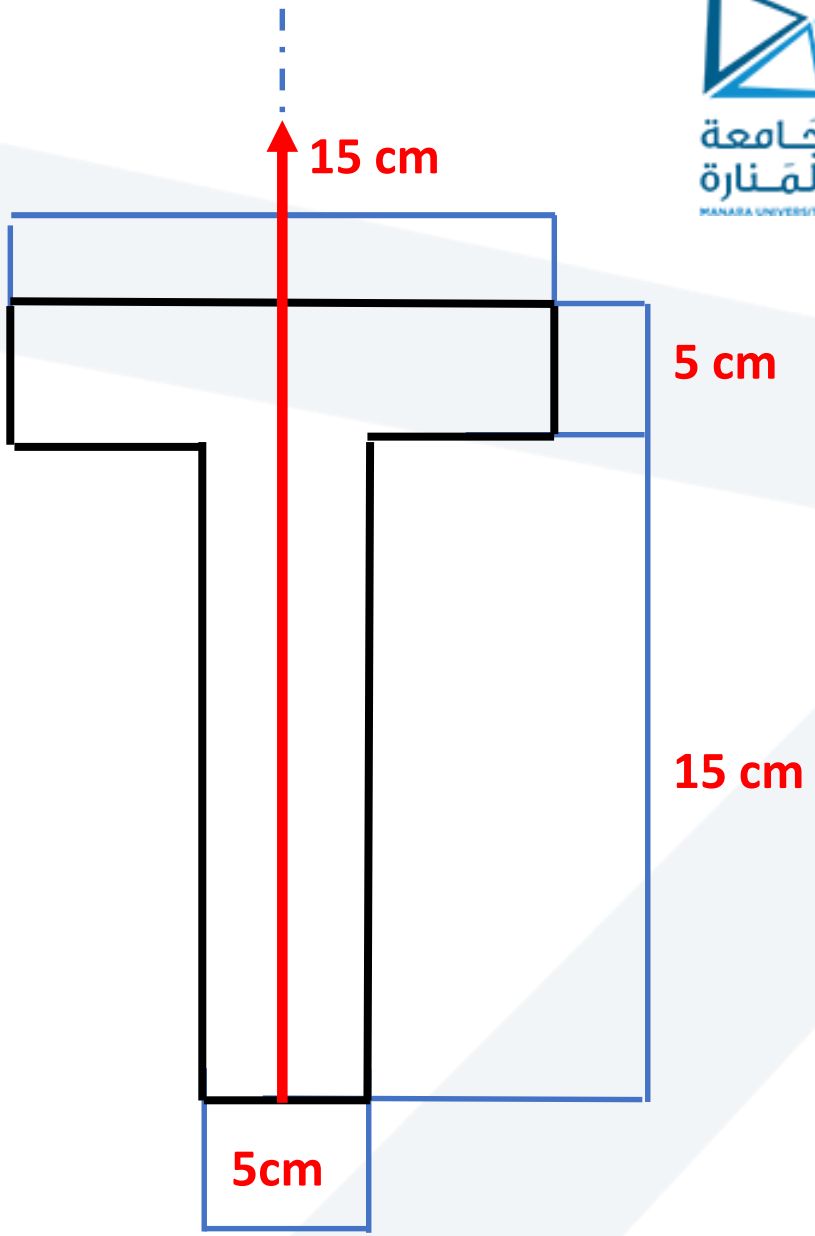

$$I_{ZCtOTAL} = I_{ZC1} - I_{ZC2}$$

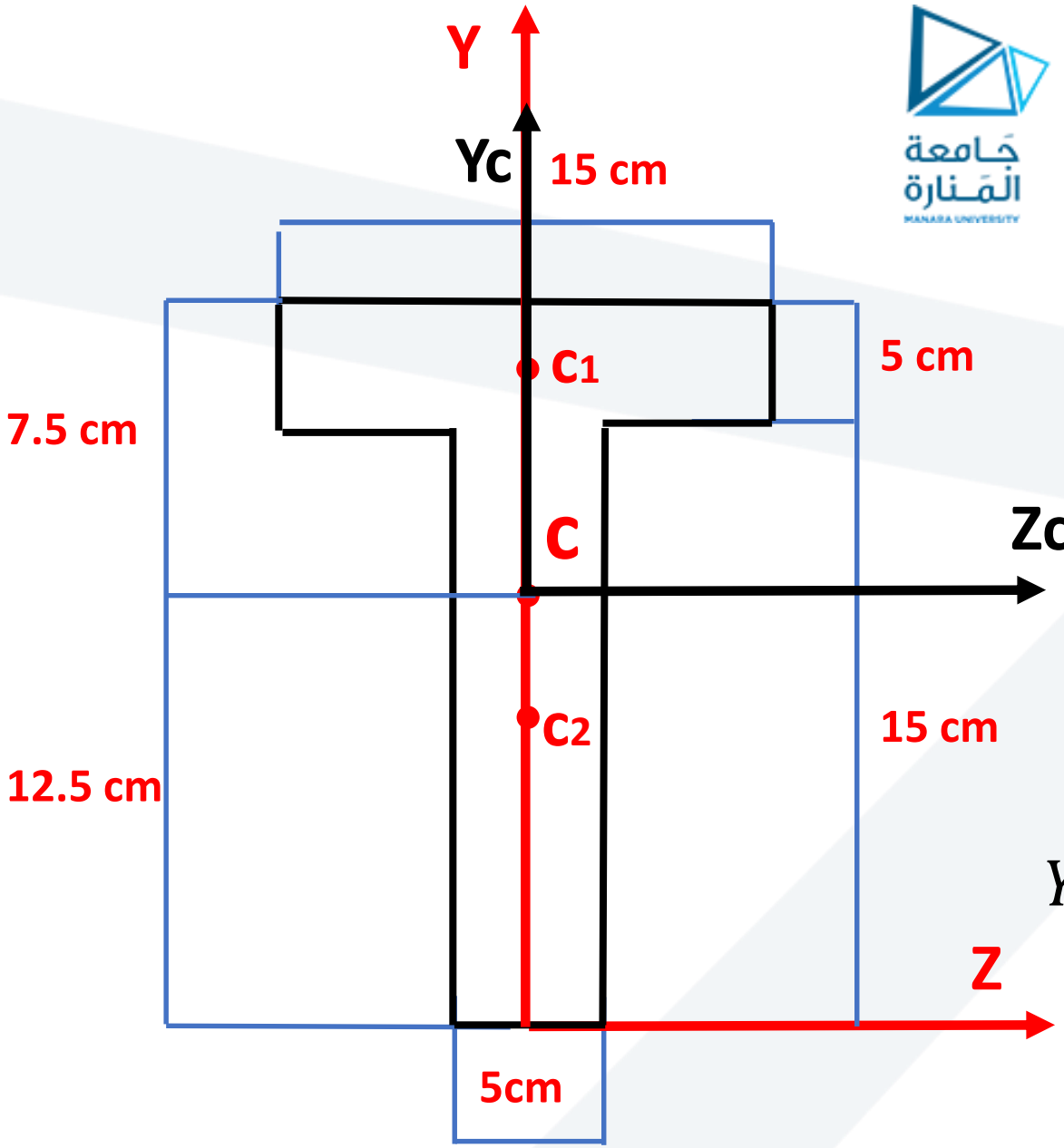
المستطيل مصمت — الدائرة (التفريغة)

$$I_{ZCtOTAL} = \left[\frac{80\,(100)^3}{12}\right] - \left[\frac{\pi(60)^4}{64}\right] = 6030494.15\,mm^4$$

# مسألة

حدد احداثيات مركز ثقل المقطع المبين بالشكل
واحسب عزم عطالة هذا المقطع C (ZC,YC)
بالنسبة لمحور مار من ثقله IZC TOTAL






# الحل

لتحديد مركز ثقل المقطع C (ZC,YC) ننسب الشكل
إلى محوري احداثيات Y, Z
نلاحظ أن المحور Y هو محور تناظر هذا يعني
أن الاحداثي ZC = 0
نقسم الشكل إلى شكلين شهرين (مستطيلين)

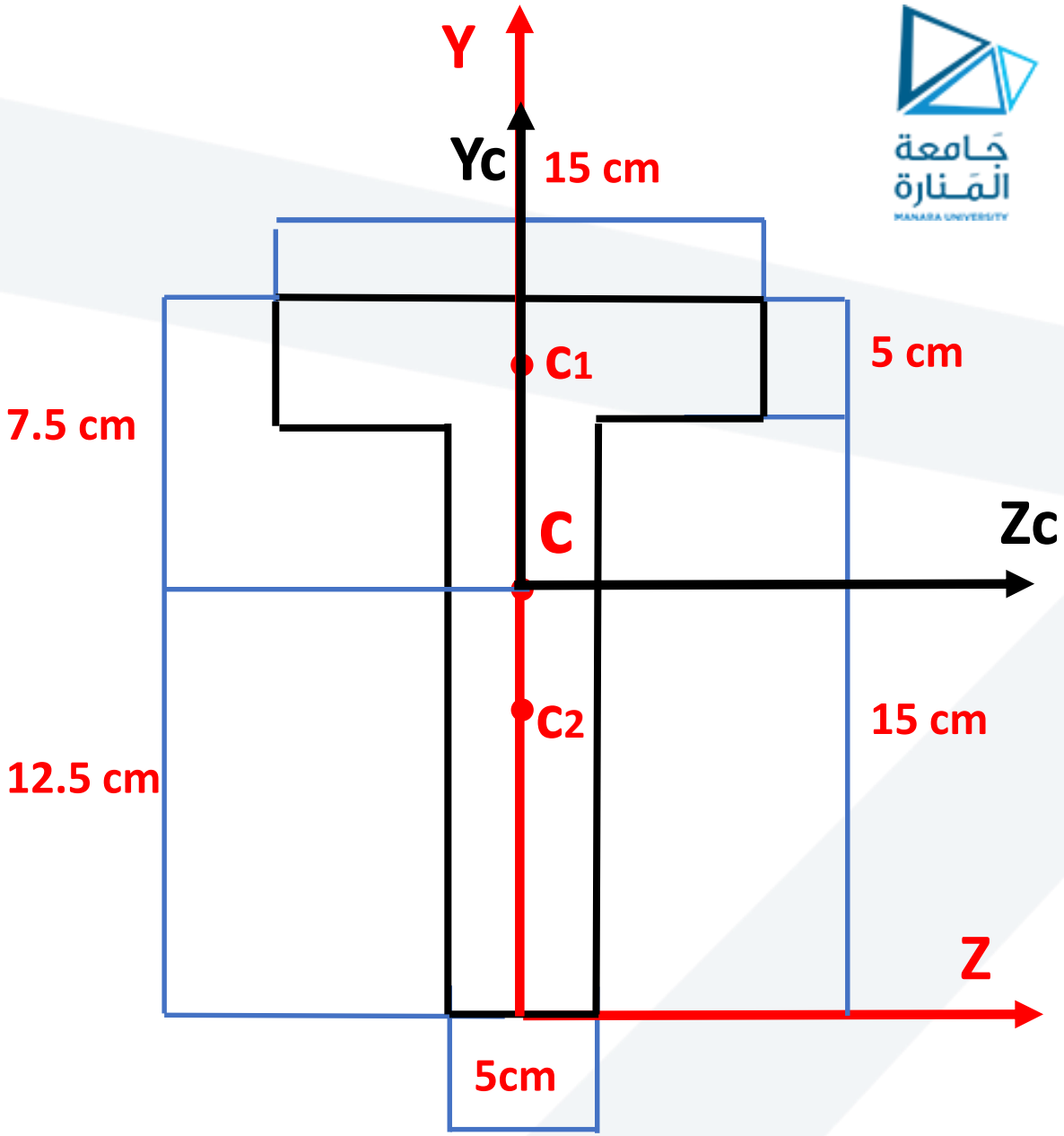
$$Y_C = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2}{A_1 + A_2}$$

$$Y_C = \frac{15 * 5(17.5) + 15 * 5(7.5)}{75 + 75} = 12.5\text{cm}$$

**C (0 , 12.5cm)**

# الحل

## لحساب عزم العطالة الكلي



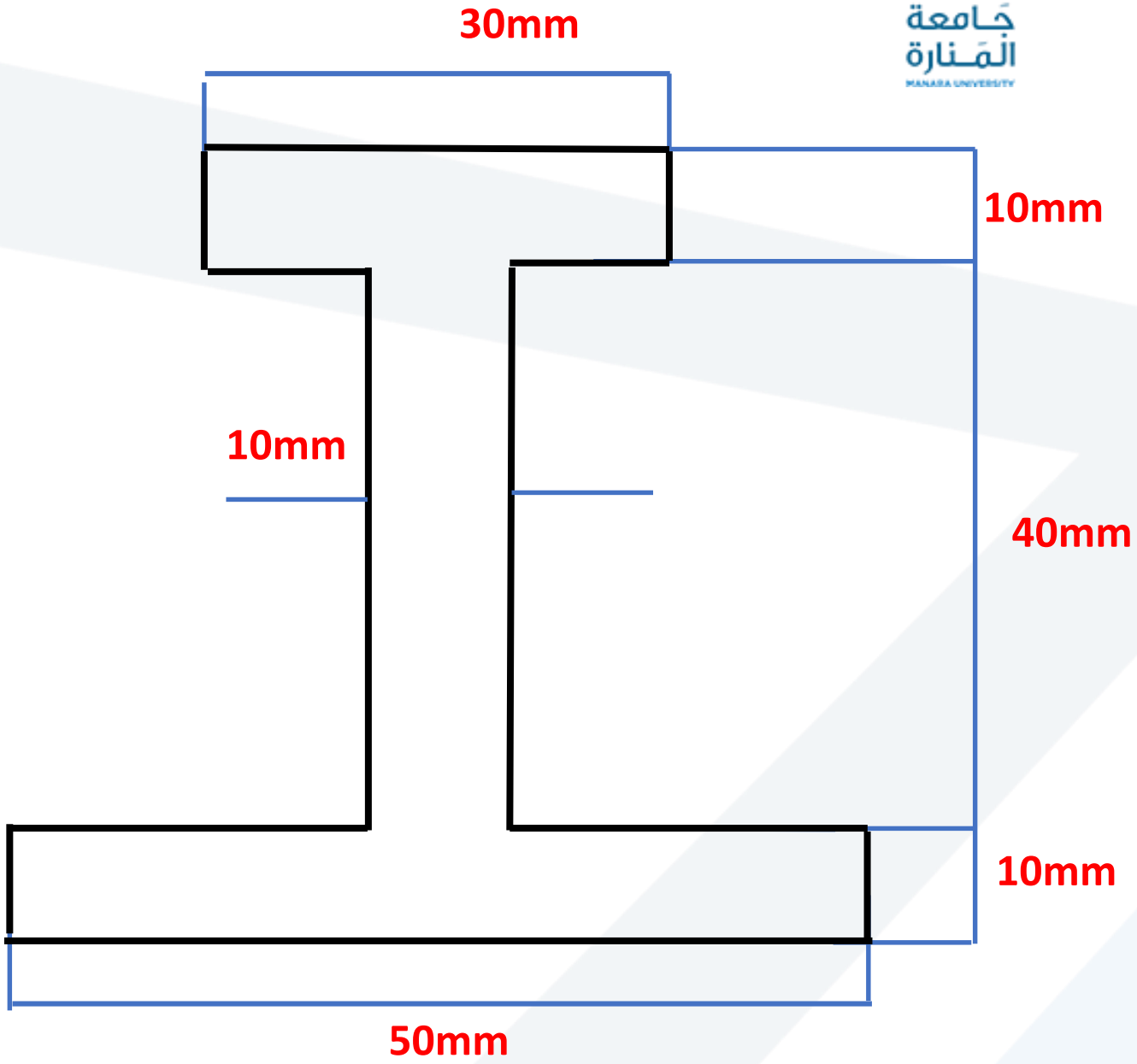

$$I_{ZCtOTAL} = I_{ZC1} + I_{ZC2}$$

$$I_{ZCtOTAL} = \left[\frac{15\,(5)^3}{12} + 75(5)^2\right] + \left[\frac{5\,(15)^3}{12} + 75(5)^2\right]$$

$$I_{ZCtOTAL} = 5312.5\ cm^4$$

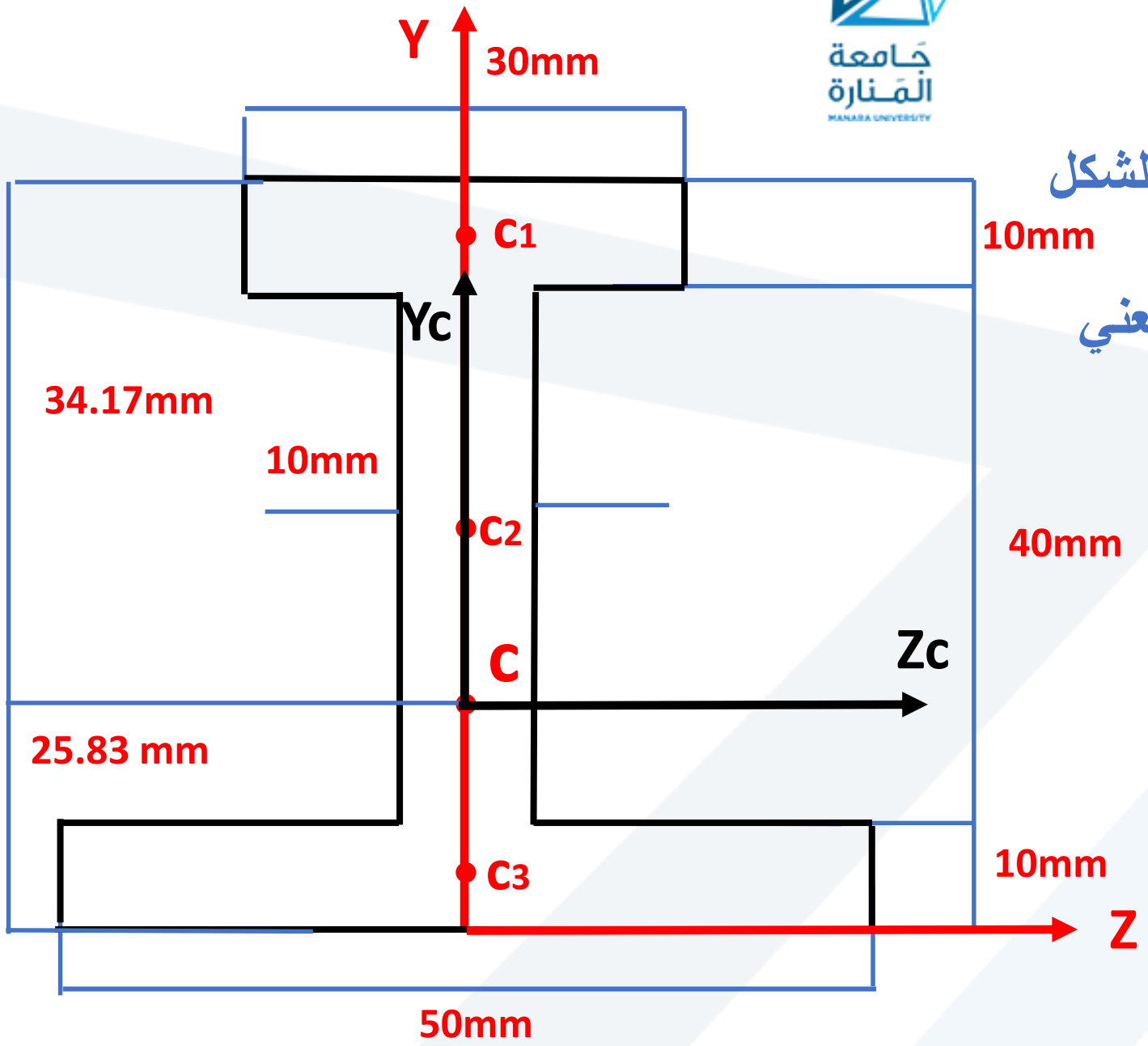
# مسألة

حدد احداثيات مركز ثقل المقطع المبين بالشكل
واحسب عزم عطالة هذا المقطع C (ZC,YC)
بالنسبة لمحور مار من ثقله IZC TOTAL



# الحل

لتحديد مركز ثقل المقطع C (ZC,YC) ننسب الشكل
إلى محوري احداثيات Y, Z
نلاحظ أن المحور Y هو محور تناظر هذا يعني
أن الاحداثي Zc = 0
نقسم الشكل إلى ثلاثة
أشكال شهيرة
(ثلاثة مستطيلات)



الحل

$$Y_C = \frac{A_1Y_1 + A_2Y_2 + A_3Y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$Y_C = \frac{30 * 10(55) + 40 * 10(30) + 50 * 10(5)}{300 + 400 + 500} = 25.83\text{mm}$$

C (0 , 25.83 mm)

لحساب عزم العطالة الكلي

$$I_{ZCtOTAL} = I_{ZC1} + I_{ZC2} + I_{ZC3}$$

$$I_{ZCtOTAL} = \left[\frac{30(10)^3}{12} + 300(29.17)^2\right] + \left[\frac{10(40)^3}{12} + 400(4.17)^2\right] + \left[\frac{50(10)^3}{12} + 500(20.83)^2\right]$$

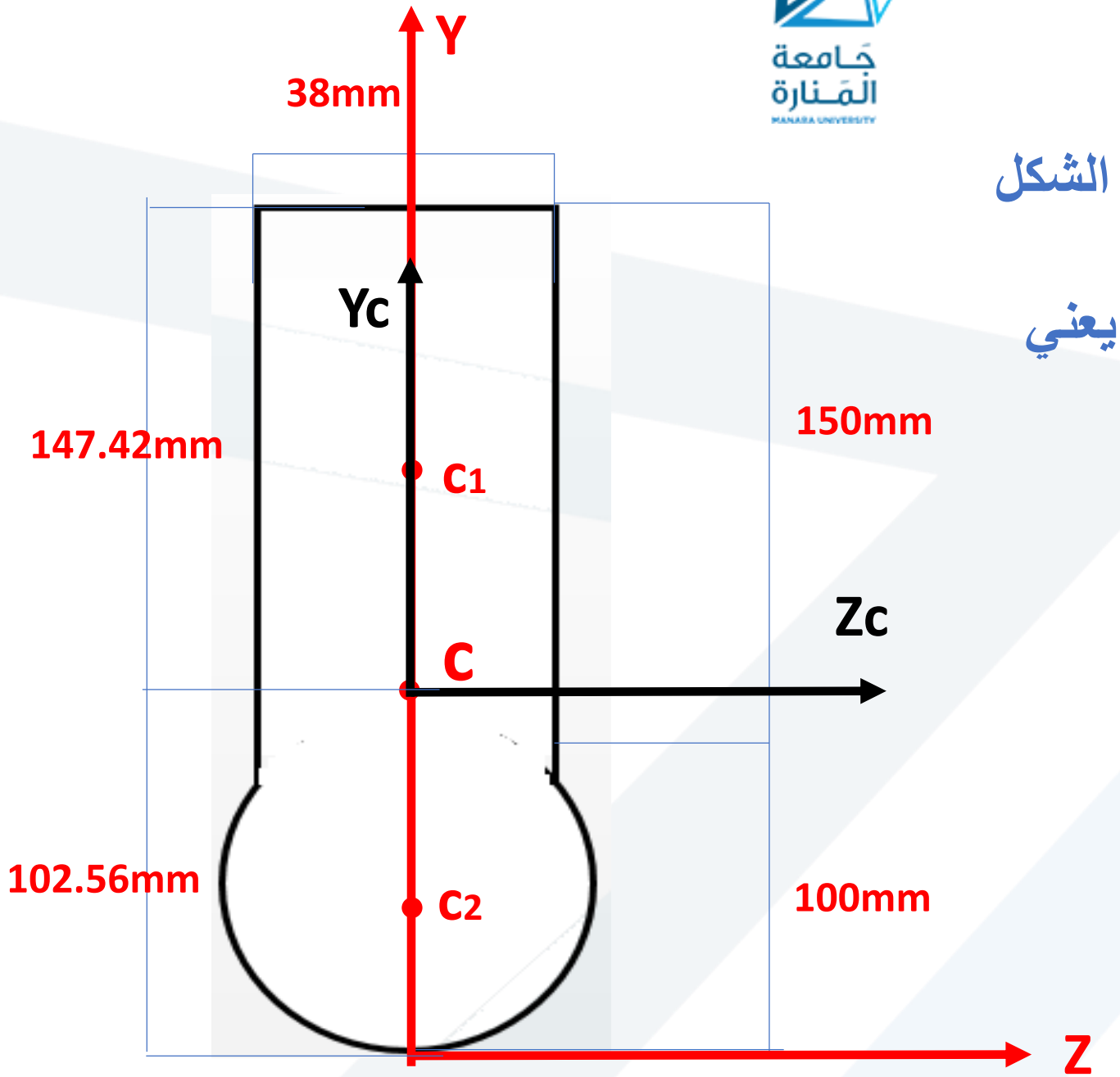
$$I_{ZCtOTAL} = 539167\ mm^4$$

# مسألة

حدد احداثيات مركز ثقل المقطع المبين بالشكل
واحسب عزم عطالة هذا المقطع C (ZC,YC)
بالنسبة لمحور مار من ثقله IZC TOTAL

# الحل

لتحديد مركز ثقل المقطع C (ZC,YC) ننسب الشكل
إلى محوري احداثيات Y, Z
نلاحظ أن المحور Y هو محور تناظر هذا يعني
أن الاحداثي ZC = 0
نقسم الشكل إلى مستطيل ودائرة



جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

# الحل

$$Y_C = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2}{A_1 + A_2}$$

$$Y_C = \frac{150 * 38(175) + \pi \frac{(100)^2}{4} * 50}{150 * 38 + \pi \frac{(100)^2}{4}} = 102.56\text{mm}$$

C (0 , 102.56mm)

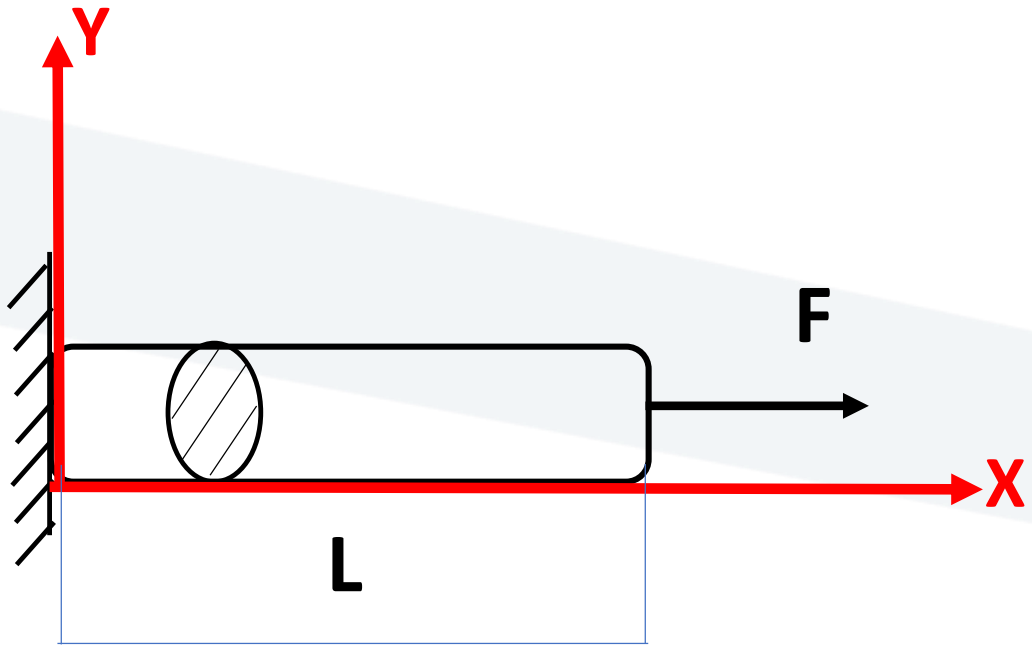
لحساب عزم العطالة الكلي

$$I_{ZCtOTAL} = I_{ZC1} + I_{ZC2}$$

$$I_{ZCtOTAL} = \left[\frac{38(150)^3}{12} + (38 * 150)(147.42 - 75)^2\right] + \left[\pi \frac{(100)^4}{64} + \pi \frac{(100)^2}{4}(102.56 - 50)^2\right]$$

$$I_{ZCtOTAL} = 67.19 * 10^6 \ mm^4$$

# الاجهادات المحورية (الناظمية)




شد +

ضغط -

$$\sigma_X = \frac{F_X}{A_X} = \frac{+F}{A} \quad \frac{N}{mm^2} \quad (MPa)$$

الانفعال الطولي
وهو الانفعال الموافق لمنحى القوة

$$\varepsilon_X = \frac{\Delta L}{L}$$

## قانون هوك البسيط

$$\sigma_X = \varepsilon_X E$$

معامل يونغ
عامل المرونة الطولي

للفولاذ $E = 2.10^5$ Mpa

## حساب الاستطالة للجائز $\Delta L$

تطاول +

تقاصر -

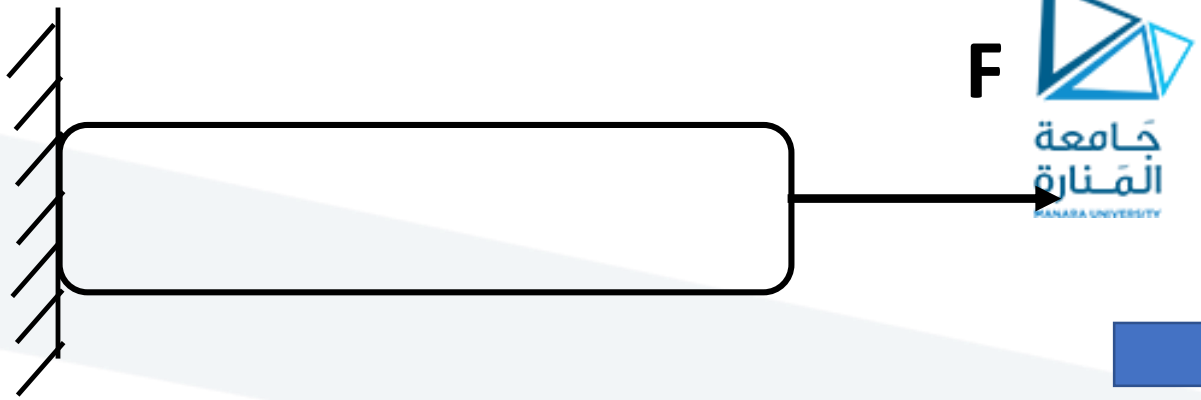
$$\varepsilon_x = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma_x}{E} \Rightarrow \Delta L = \frac{\sigma_x L}{E} = \frac{FL}{EA}$$

تستخدم هذه العلاقة
عندما يكون الاجهاد ثابتاً

أما إذا كان الاجهاد متغيراً لحساب الاستطالة نستخدم التكامل

$$\Delta L = \int_0^L \frac{\sigma_x dx}{E}$$

# حساب الاستطالة الناتجة عن الحرارة

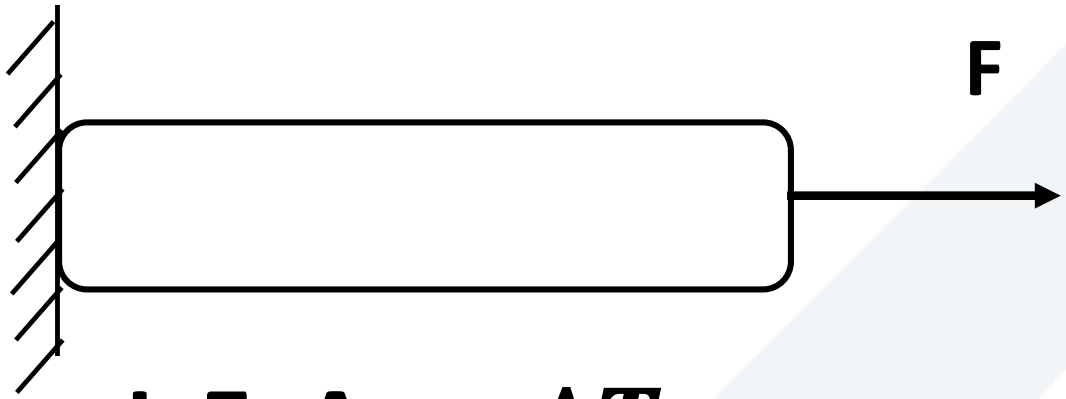



$$\Delta L_T = \alpha . L . \Delta T$$

التغير في درجة الحرارة

عامل التمدد الطولي

L,E, A, $\alpha, \Delta T$




L,E, A, $\alpha, \Delta T$

مثال هام: احسب الاستطالة الكلية $\Delta L_{TOT}$

$$\Delta L_{TOT} = \Delta L_{(F)} + \Delta L_{(T)}$$

$$\Delta L_{TOT} = \frac{FL}{EA} + \alpha L \Delta T$$

# شرط المتانة

- التحقق من تحمل الجائز للحمولات المؤثرة عليه
- حساب مساحة مقطع الجائزA
- حساب أعظم قوة يتحملها الجائز

$$|\sigma_{max}| = \frac{|F_{max}|}{A} \leq [\sigma]$$

الاجهاد المسموح به لمعدن الجائز وهو يعطى في نص المسألة

$$[\sigma] = \frac{\sigma_y}{f_s}$$

اجهاد الخضوع

عامل الأمان

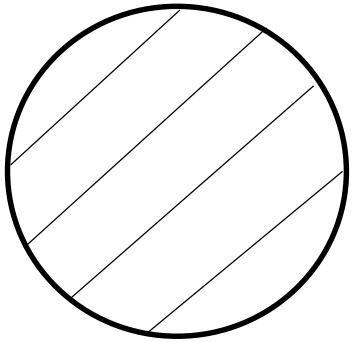
# مسألة

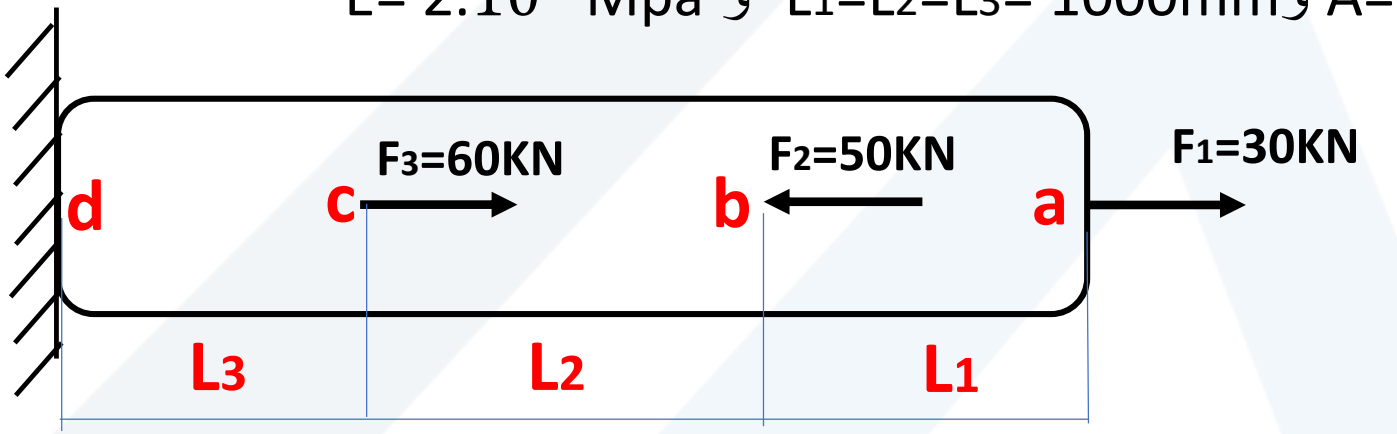
ليكن لدينا الجائز المبين بالشكل والمطلوب

- أوجد قيمة القوة المطبقة في كل حقل من حقول الجائز ثم ارسم مخطط القوى على كامل طول الجائز
- أوجد قيمة الاجهاد في كل حقل من حقول الجائز ثم ارسم مخطط الاجهاد على كامل طول الجائز
- ارسم مخطط توزع الاجهاد على المقطع العرضي للجائز
  - عند الوثاقة
  - عند الطرف الحر
- تحقق من متانة الجائز حيث $[\sigma] = 350\ \text{Mpa}$
- احسب استطالة النقاط التالية a,b,c,d ثم احسب الاستطالة الكلية للجائز $\Delta L_{TOT}$

المعطيات $A= 200\ mm^2$ و $L_1=L_2=L_3= 1000mm$ و $E= 2.10^5\ \text{Mpa}$

$A= 200\ mm^2$





# الحل الطلب الأول والثاني

الحقل الأول $0 \leq x_1 \leq L_1$

$F_{x1} = 30\text{KN} = 30.10^3\text{N}$ و $\sigma_{X1} = \frac{F_{X1}}{A_{X1}} = \frac{3010^3}{200} = +150\ \text{Mpa}$

الحقل الثاني $0 \leq x_2 \leq L_2$

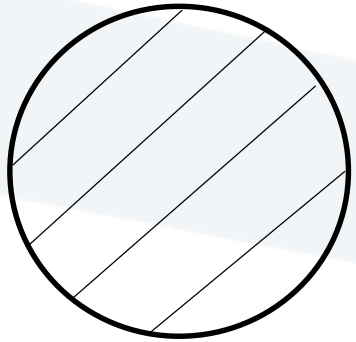
$F_{x2} = 30 - 50 = -20\text{KN} = -20.10^3\text{N}$ و $\sigma_{X2} = \frac{F_{X2}}{A_{X2}} = \frac{-2010^3}{200} = -100\ \text{Mpa}$

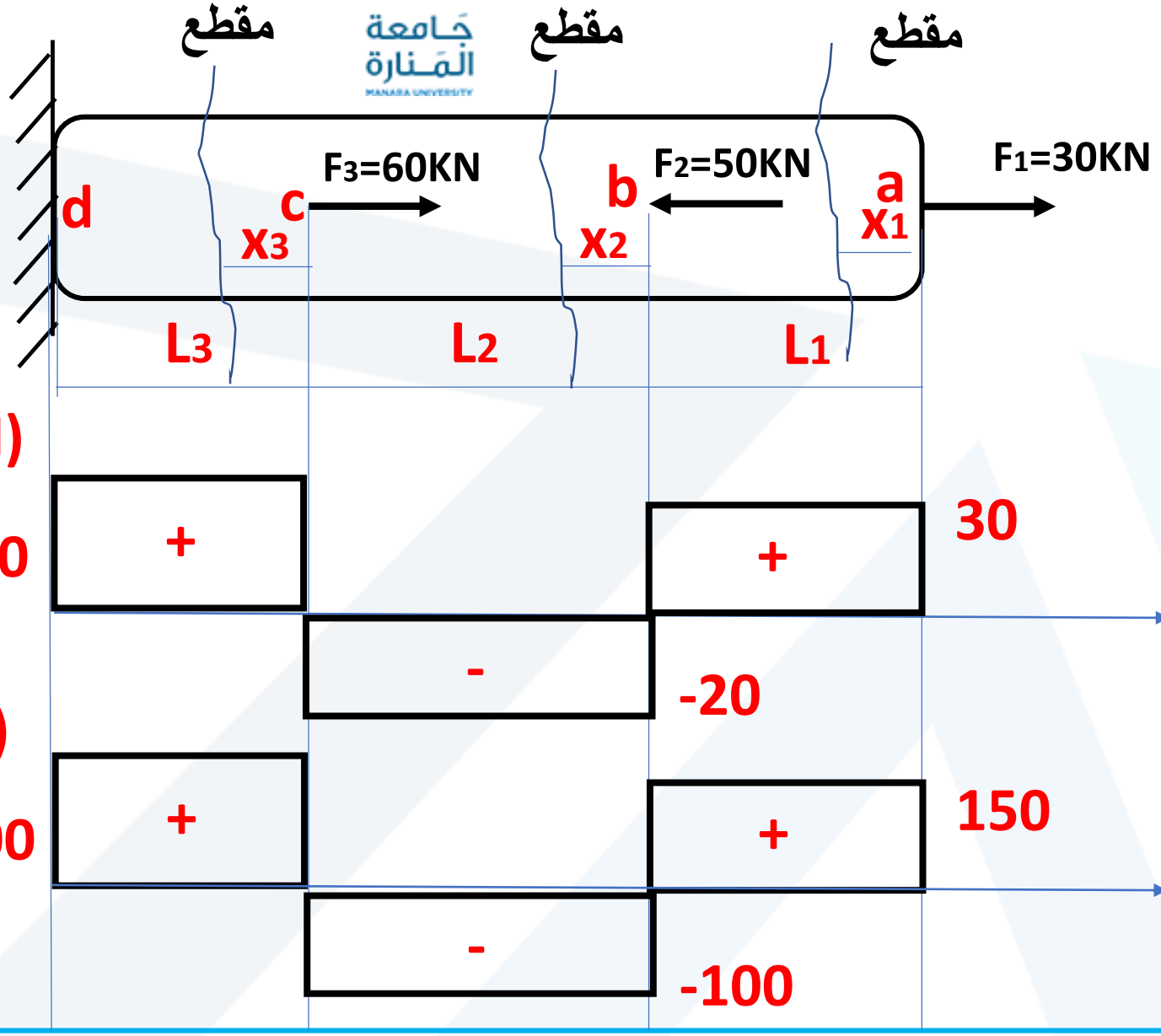
الحقل الثالث $0 \leq x_3 \leq L_3$

$F_{x2} = -20 + 60 = +40\text{KN} = 400.10^3\text{N}$ و $\sigma_{X3} = \frac{F_{X3}}{A_{X3}} = \frac{4010^3}{200} = +200\ \text{Mpa}$

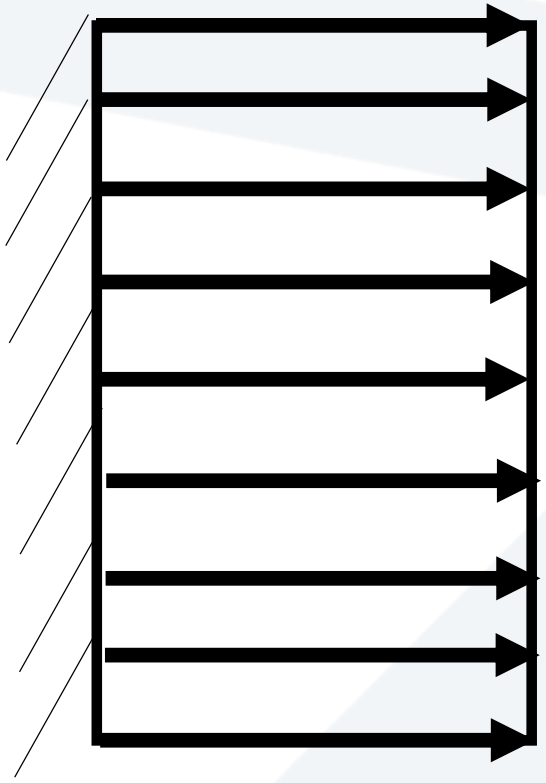
# الحل

$A = 200\ mm^2$



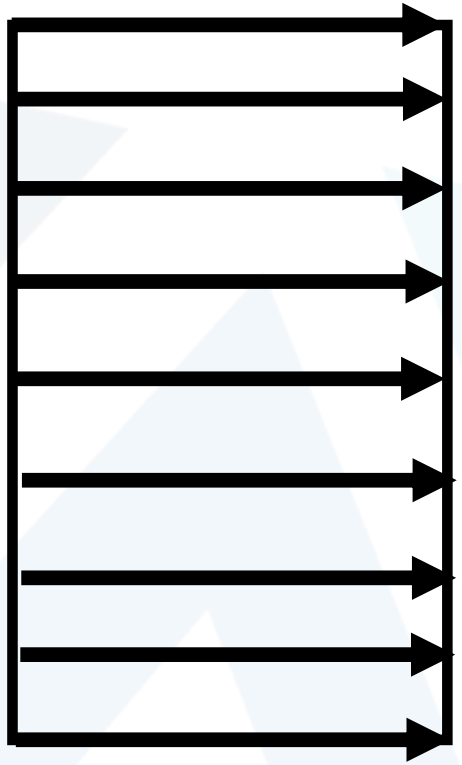


$\sigma = +200$ Mpa



الوثاقة

$\sigma = +150$ Mpa



الطرف الحر

نلاحظ أن أعظم اجهاد يساوي 200Mpa و هو اصغر من الاجهاد المسموح به و بالتالي شرط المتانة محقق و الجائز لن ينهار

$\sigma_{max} \leq [\sigma]$

$200 \leq 350$

$$\Delta L_{tot}=\Delta L_a=\frac{\sigma_1 L_1}{E}+\frac{\sigma_2 L_2}{E}+\frac{\sigma_3 L_3}{E}$$

$$\Delta L_{tot}=\Delta L_a=\frac{150*1000}{2*10^5}+\frac{-100*1000}{2*10^5}+\frac{200*1000}{2*10^5}=\ 1.25\text{mm}$$

$$\Delta L_b=\frac{-100*1000}{2*10^5}+\frac{200*1000}{2*10^5}=\ 0.5\text{mm}$$

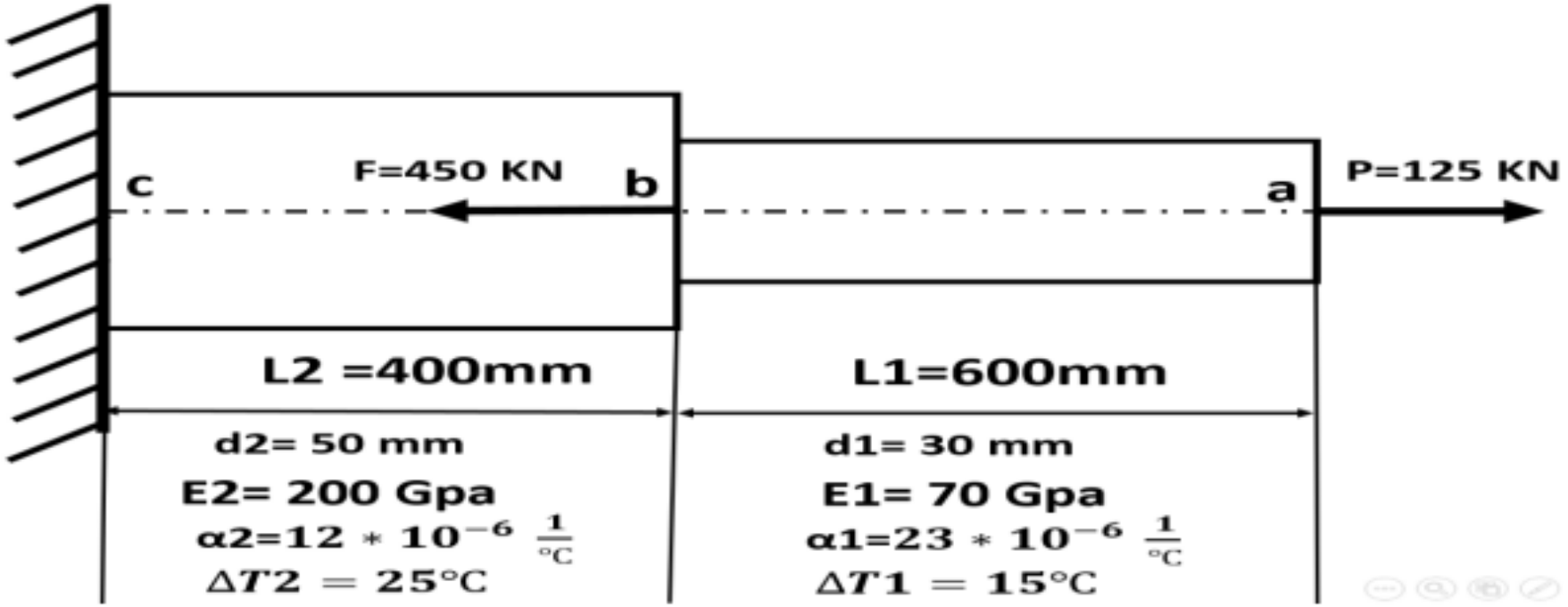
$$\Delta L_c=+\frac{200*1000}{2*10^5}=\ 1\text{mm}$$

$$\Delta L_d=\ 0$$ وثاقة

## مسألة

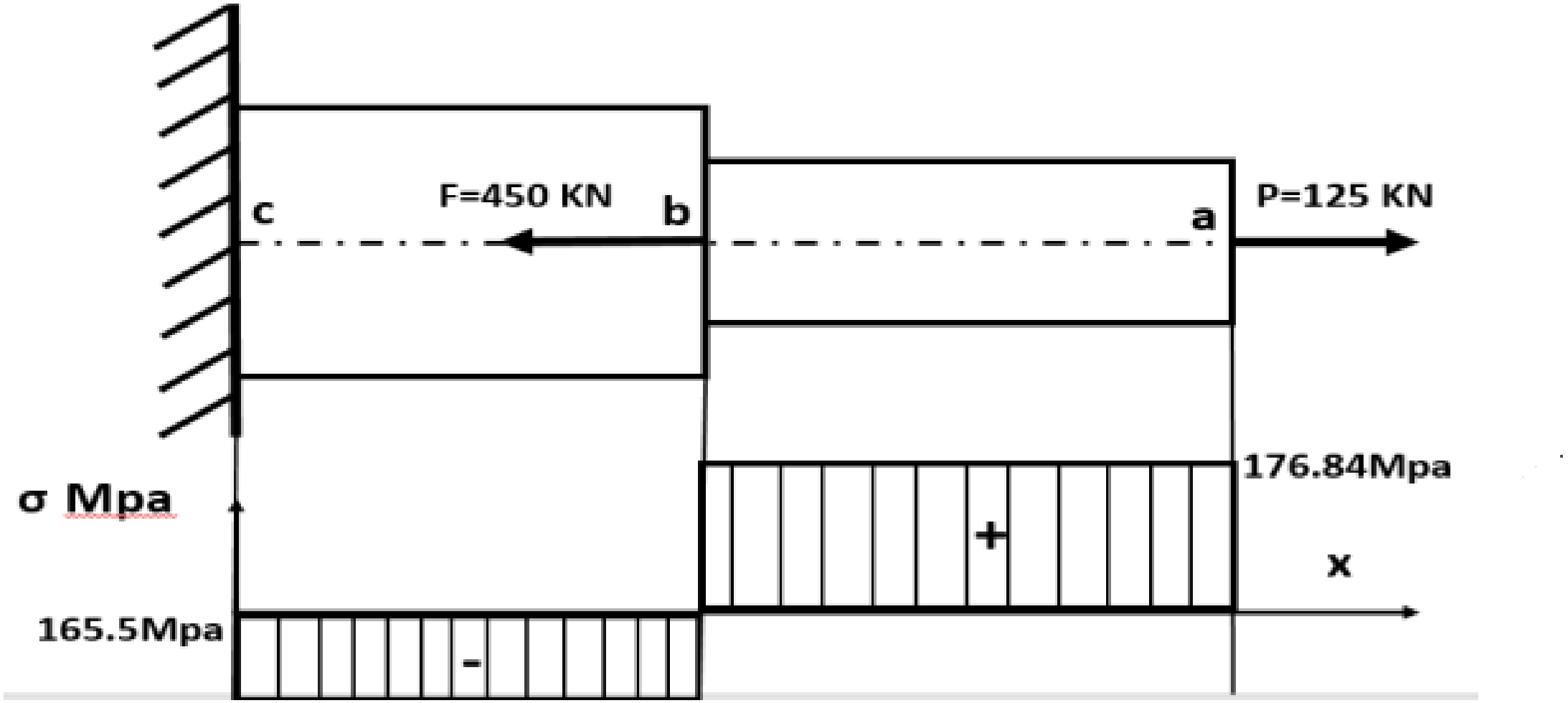
ليكن لدينا الجائز المبين بالشكل في الأسفل والمطلوب

- احسب الاجهادات في كل حقل من حقول الجائز بمقدار Mpa و ارسم مخطط الاجهاد على كامل طول الجائز
- ارسم مخطط توزع الاجهاد على المقطع العرضي عند الوثاقة
- تحقق من شرط المتانة حيث $[\sigma]=300MPa$
- احسب الاستطالة الكلية للجائز $\Delta L_{TOTAL}$ واحسب الاستطالة $\Delta L_b$



جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

## الحل مخطط الاجهادات على طول الجائز



## الطلب الأول

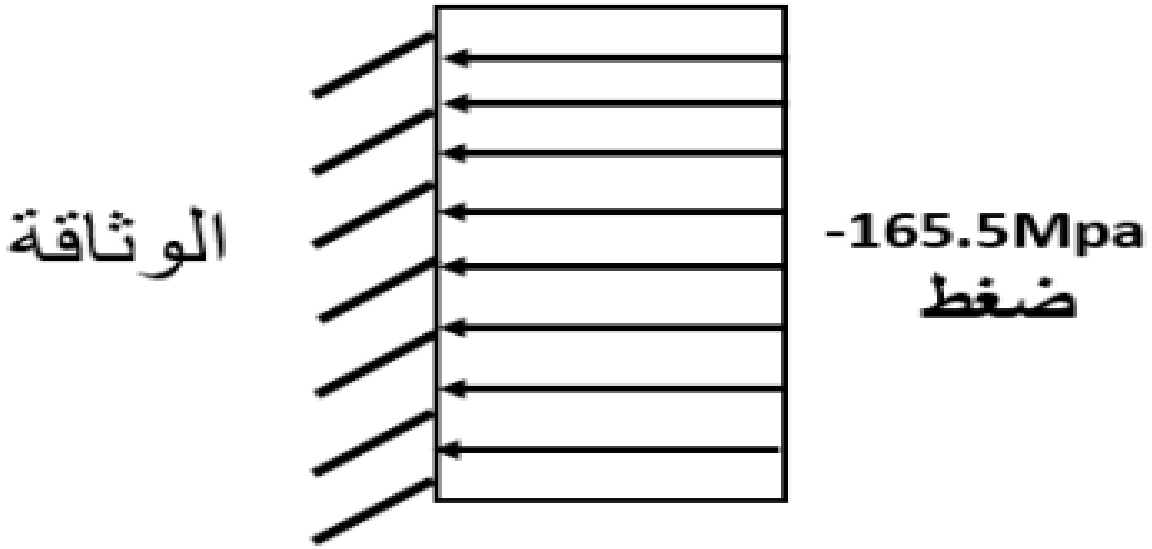
الحقل الأول $0 \leq X1 \leq L1$

$$\sigma x1 = Fx1/Ax1 = P/A1 = 125\ 10^3/3.14\ (30)^2/4 = 176.84\ Mpa$$

الحقل الثاني $0 \leq X2 \leq L2$

$$\sigma x2 = Fx2/Ax2 = P-F/A2 = (125 - 450)10^3/3.14\ (50)^2/4 = -165.5\ Mpa$$

## الطلب الثاني



جَامعة
المَنارة
MANARA UNIVERSITY

## الطلب الثالث

نلاحظ أن أعظم اجهاد يساوي 176.84 Mpa وهو أصغر من الاجهاد المسموح به و بالتالي شرط المتانة محقق و الجائزلن ينهار

$$\sigma_{max} \leq [\sigma]$$

$$176.84 \leq 300$$

## الطلب الرابع

$$\Delta L_{TOTAL} = \Delta La = \Delta L1 + \Delta L2 + \Delta LT1 + \Delta LT2$$

$$\Delta L_{TOTAL} = \Delta La = 176.84*600/70\ 10^3 - 165.5*400/200\ 10^3 + 23*10^{-6}*600*15$$

$$+12*10^{-6}*400*25 = +1.5\ mm$$ تطاول

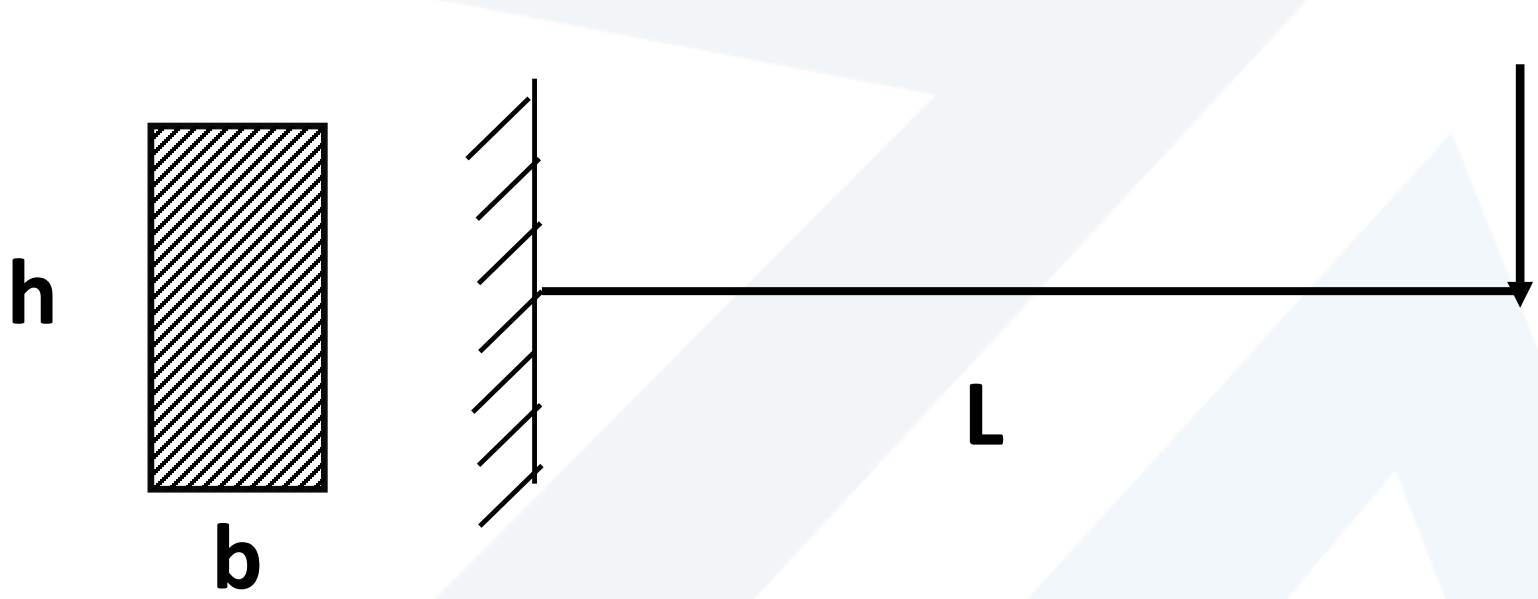
$$\Delta L_b = \Delta L2 + \Delta LT2$$

$$\Delta L_b = -165.5 * 400/200\ 10^3 + 12 * 10^{-6} * 400 * 25 = -0.211mm$$ تقاصر

جَامعة
المَنارة
MANARA UNIVERSITY

# بحث الانعطاف
# (الانحناء)

## كل قوة عمودية على محور الجائز تسبب له انحناء



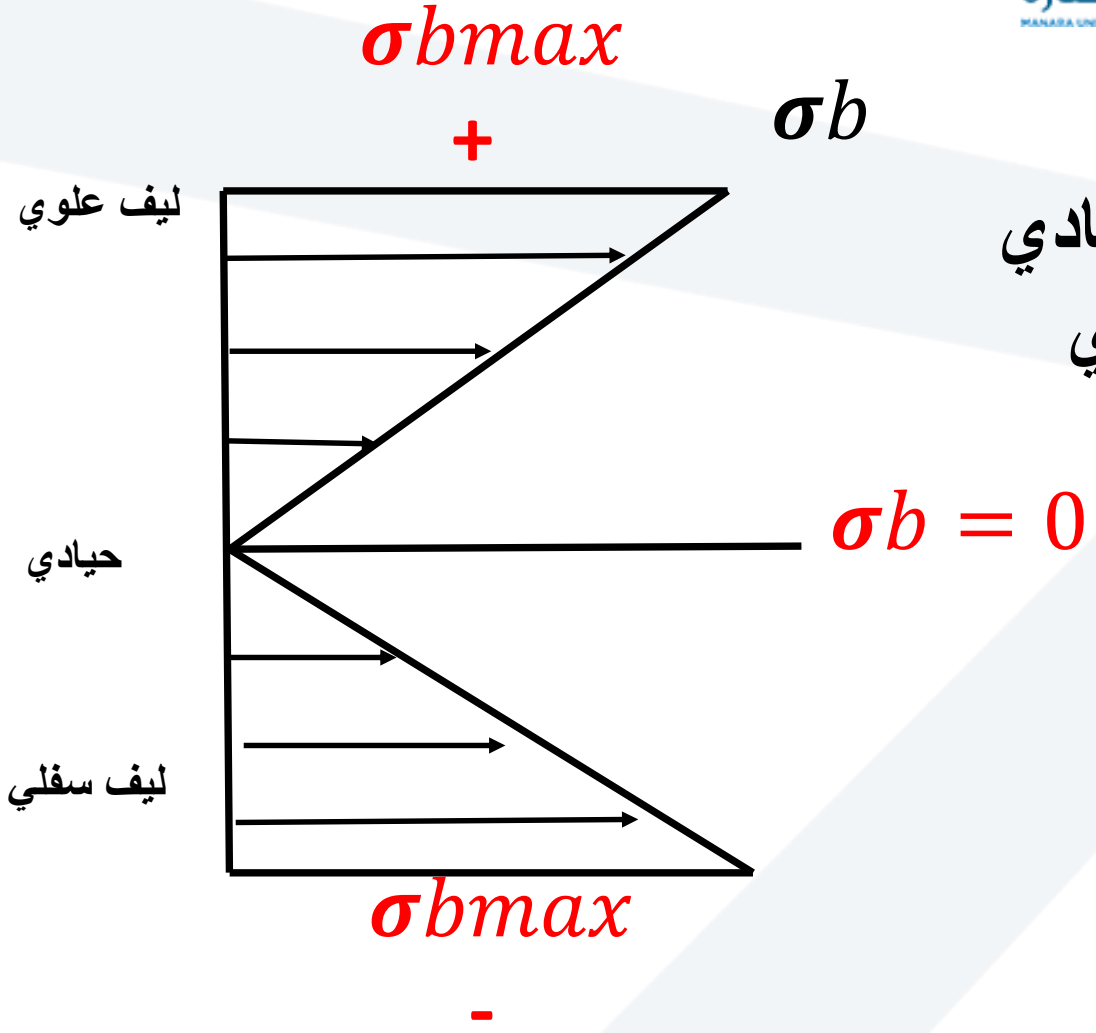

**المحور الحيادي**

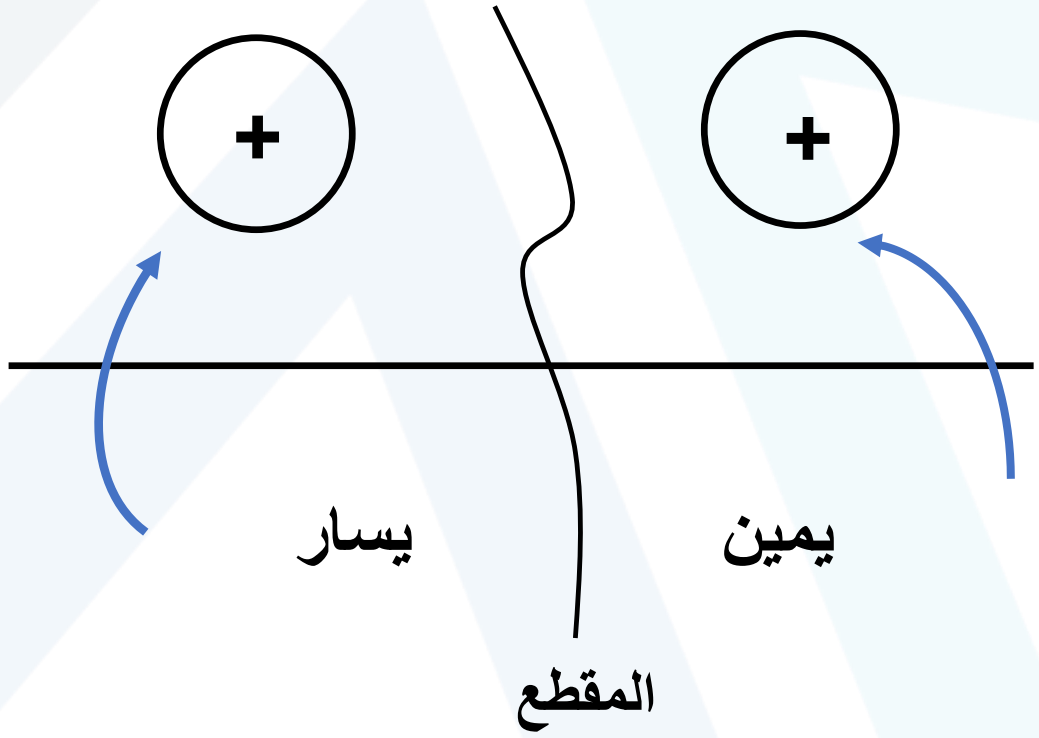
**هو تقاطع المستوي الحيادي مع مستوي المقطع العرضي للحائز**

**وهو يمر دوما من مركز ثقل المقطع العرضي للجائز وهو يفصل دوما بين اجهادات الشد و اجهادات الضغط**

## ينشأ عن الانحناء

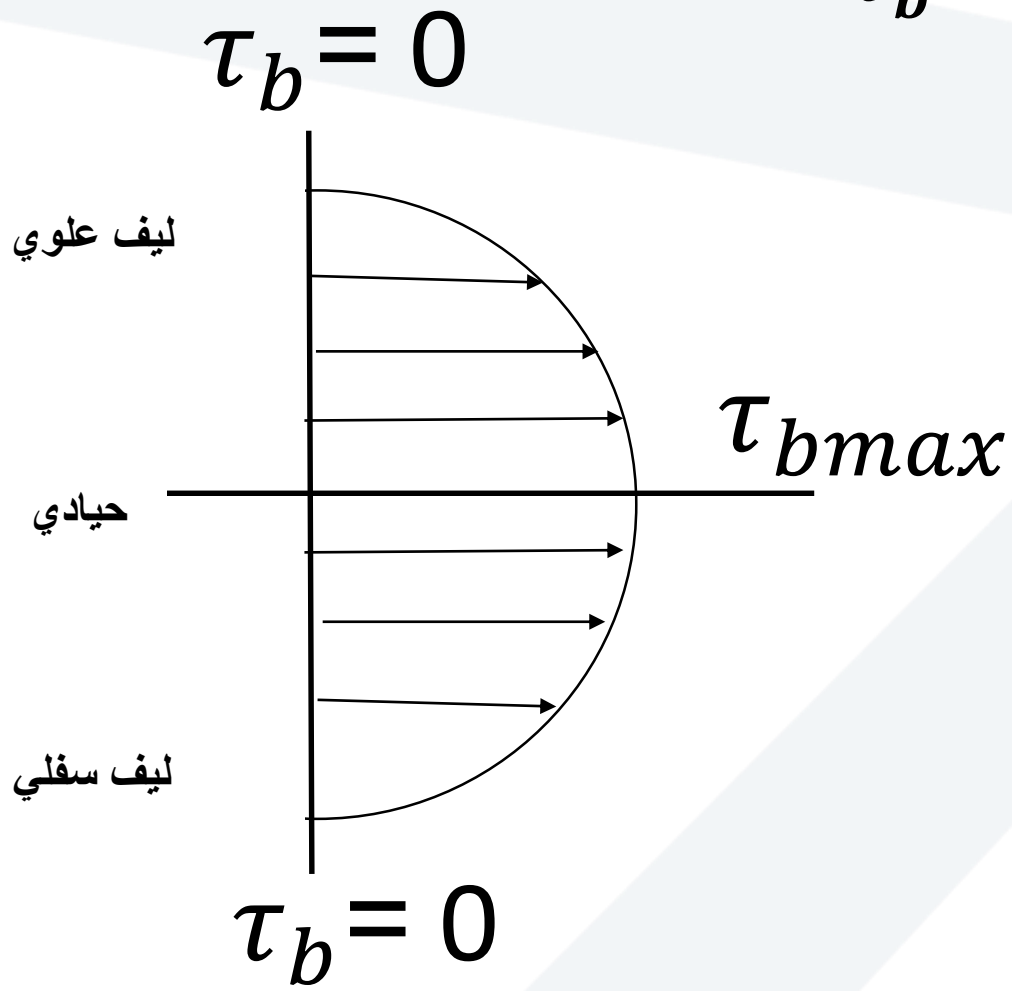
عزوم انحناء Mb وعنها تنشأ اجهادات ناظمية تكون أعظمية في النقاط الابعد عن المحور الحيادي وتتناقص قيمتها حتى تنعدم عند المحور الحيادي

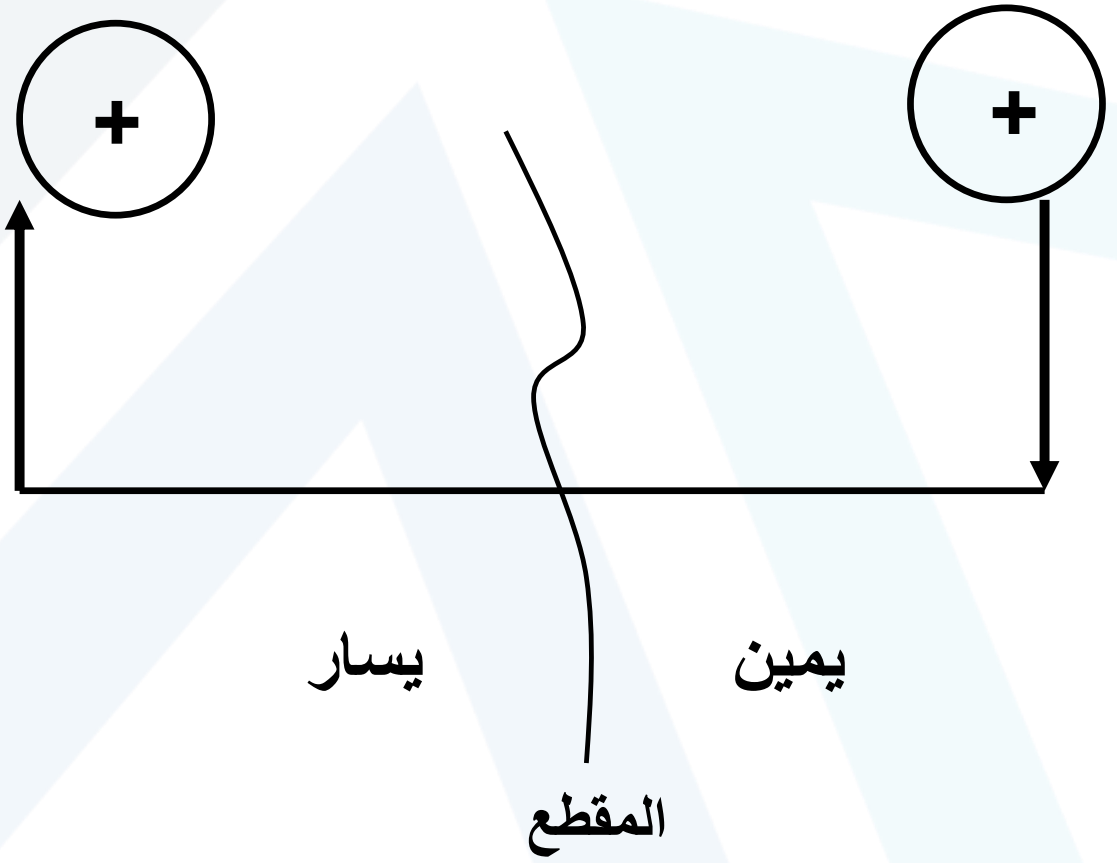


## ينشأ عن الانحناء

- قوى قاصة T وعنها تنشأ اجهادات مماسية قاصة $\tau_b$



جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

# شرط المتانة

$$\sigma_{bmax} = \frac{|Mbmax|Y_{max}}{I_Z} \leq [\sigma]$$

حيث أن Mbmax هو عزم الانحناء الأعظمي و يؤخذ من مخطط عزم الانحناء بعد رسمه

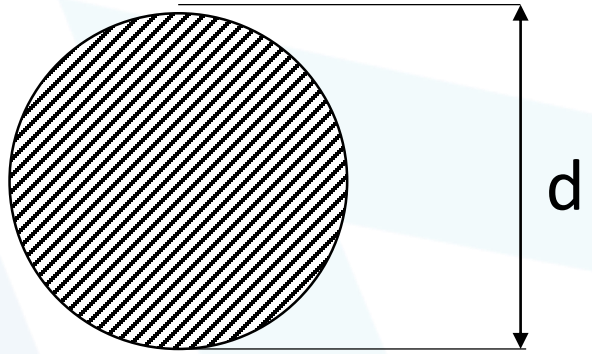
Iz عزم العطالة للمقطع العرضي بالنسبة للمحور الحيادي الذي يمر من مركز ثقل الشكل

Ymax بعد الليف العلوي أو السفلي عن المحور الحيادي

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

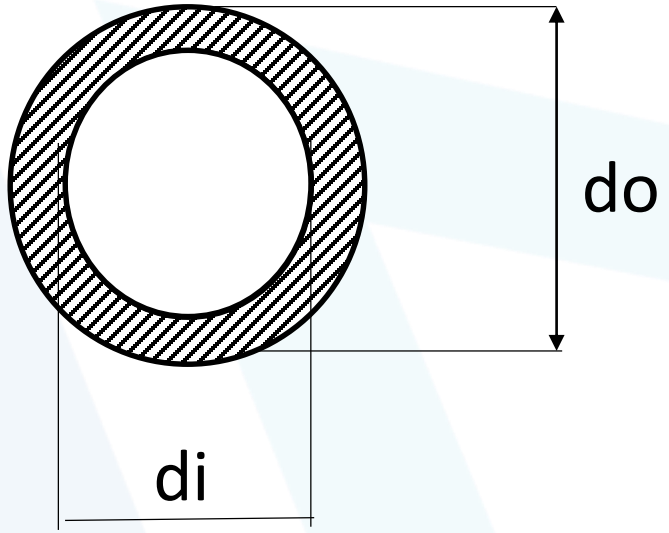
# شرط المتانة للمقطع العرضي الدائري المصمت

$$\sigma_{bmax} = \frac{32|Mbmax|}{\pi d^3} \leq [\sigma]$$



## شرط المتانة للمقطع العرضي الدائري المفرغ

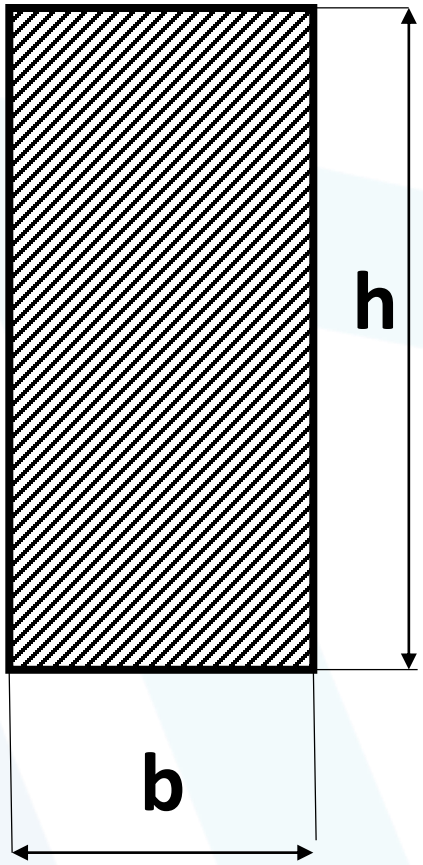
$$\sigma_{bmax} = \frac{32|Mbmax|}{\pi {d_o}^3 \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]} \leq [\sigma]$$



جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

# شرط المتانة للمقطع العرضي على شكل مستطيل

$$\sigma_{bmax} = \frac{6|Mbmax|}{bh^2} \leq [\sigma]$$



## شرط المتانة للاجهادات المماسية

$$\tau_{bmax} = \beta \frac{|Tmax|}{A} \leq [\tau]$$

معامل يأخذ بعين الاعتبار شكل المقطع

مساحة المقطع العرضي

# شرط المتانة للاجهادات المماسية

المقطع العرضي مستطيل

$$\tau_{bmax} = \frac{2}{3}\frac{|Tmax|}{A} \leq [\tau]$$

المقطع العرضي دائري مصمت

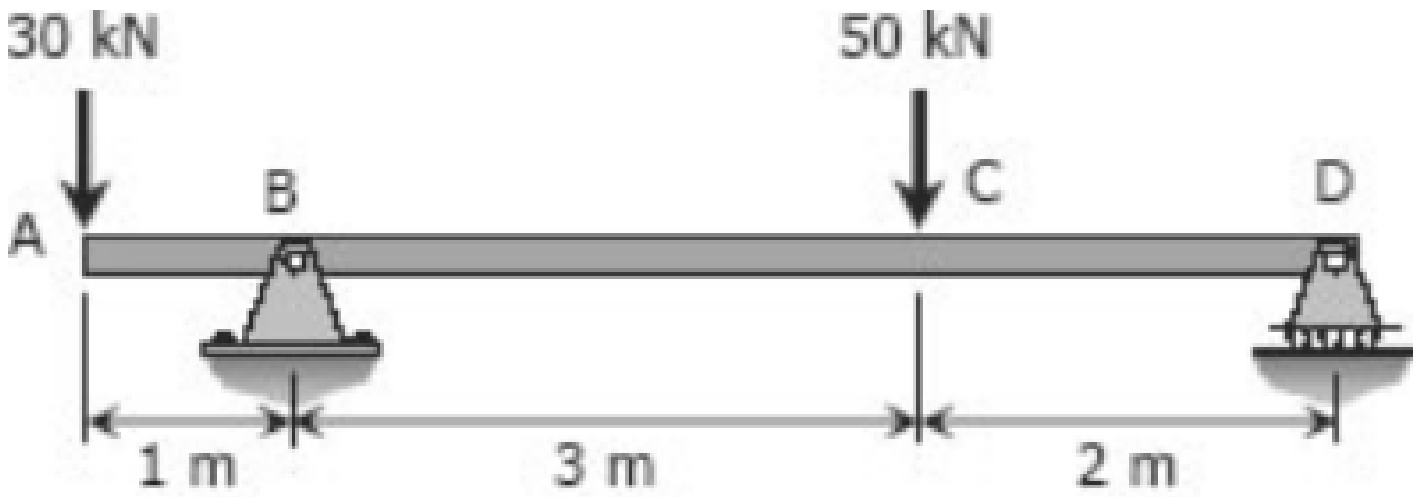
$$\tau_{bmax} = \frac{4}{3}\frac{|Tmax|}{A} \leq [\tau]$$

المقطع العرضي دائري مفرغ

$$\tau_{bmax} = 2\frac{|Tmax|}{A} \leq [\tau]$$

# مسألة

للجائز المبين بالشكلMb ومخطط عزم الانعطاف Tالمطلوب حساب ردود أفعال المساند و رسم مخططات قوى القص



الحل

From the load diagram:

$\sum M_B = 0$

$5R_D + 1(30) = 3(50)$

$R_D = 24$ kN

حساب ردود الافعال

$\sum M_D = 0$

$5R_B = 2(50) + 6(30)$

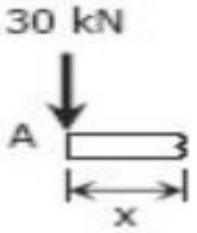
$R_B = 56$ kN

حساب قوى القص وعزم الانعطاف في الحقل الأول

Segment $AB$:

$V_{AB} = -30$ kN

$M_{AB} = -30x$ kN·m




حساب قوى القص وعزم الانعطاف في الحقل الثاني

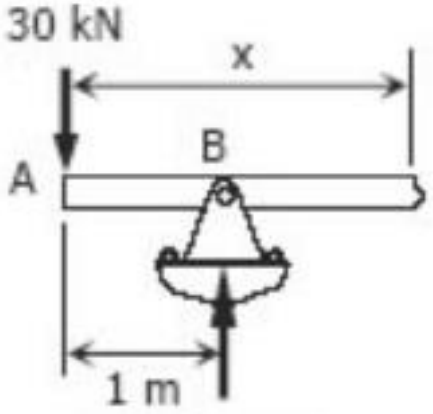
Segment $BC$:

$V_{BC} = -30 + 56$

$= 26$ kN

$M_{BC} = -30x + 56(x - 1)$

$= 26x - 56$ kN·m




حساب قوى القص وعزم الانعطاف في الحقل الثالث

Segment $CD$:

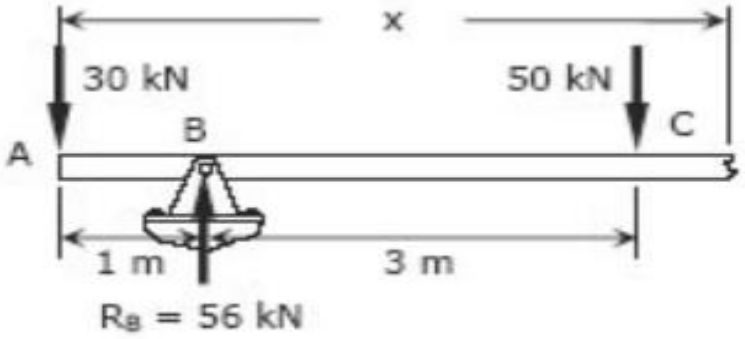
$V_{CD} = -30 + 56 - 50$

$= -24$ kN

$M_{CD} = -30x + 56(x - 1) - 50(x - 4)$

$= -30x + 56x - 56 - 50x + 200$

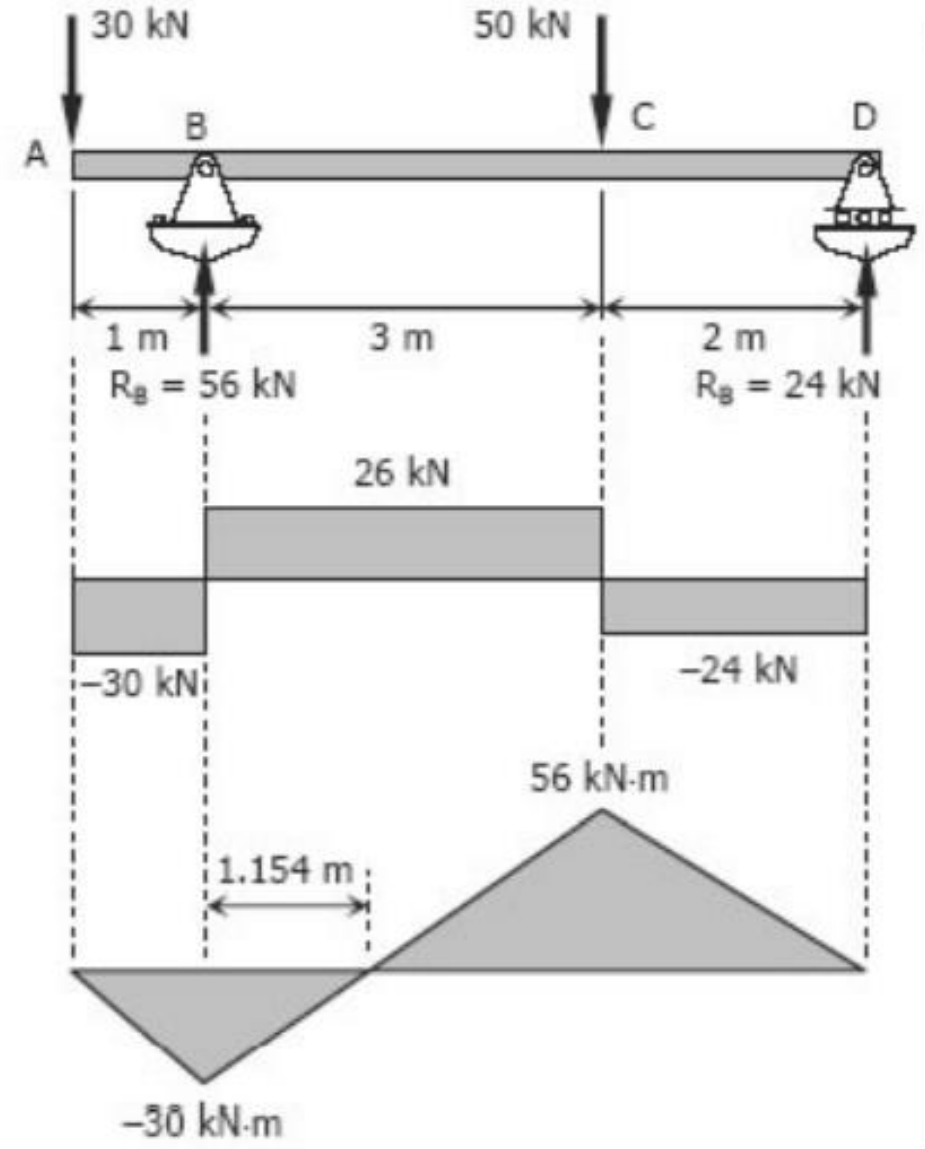
$= -24x + 144$



جَـامعة
المَـنارة
MANARA UNIVERSITY

# الحل

Load Diagram




مخطط
قوى القص

مخطط
عزم الانعطاف

**To draw the Shear Diagram:**

(1) In segment AB, the shear is uniformly distributed over the segment at a magnitude of −30 kN.

(2) In segment BC, the shear is uniformly distributed at a magnitude of 26 kN.

(3) In segment CD, the shear is uniformly distributed at a magnitude of −24 kN.

**To draw the Moment Diagram:**

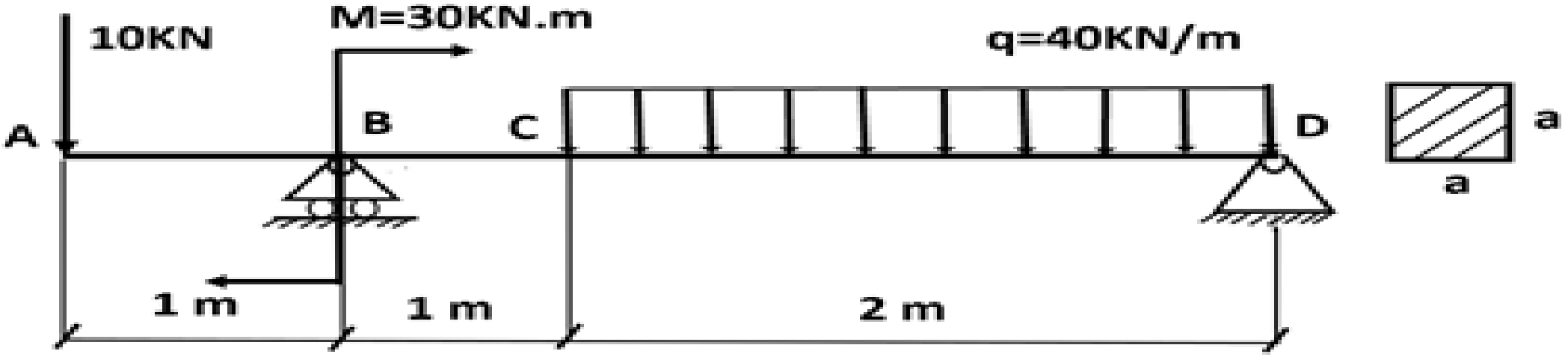
(1) The equation $M_{AB} = -30x$ is linear, at $x = 0$, $M_{AB} = 0$ and at $x = 1$ m, $M_{AB} = -30$ kN·m.

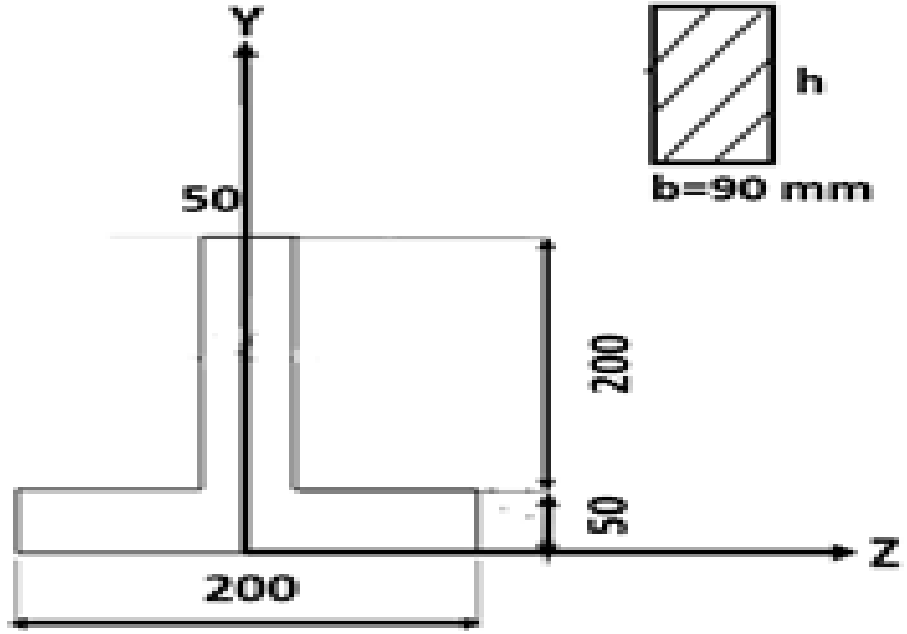
(2) $M_{BC} = 26x - 56$ is also linear. At $x = 1$ m, $M_{BC} = -30$ kN·m; at $x = 4$ m, $M_{BC} = 48$ kN·m. When $M_{BC} = 0$, $x = 2.154$ m, thus the moment is zero at 1.154 m from B.

(3) $M_{CD} = -24x + 144$ is again linear. At $x = 4$ m, $M_{CD} = 48$ kN·m; at $x = 6$ m, $M_{CD} = 0$.

# مسألة

- احسب ردود افعال المسندين B و D ثم احسب وارسم مخطط قوى القص T و احسب وارسم مخطط عزم الانعطاف $M_b$ و احسب طول ضلع المقطع العرضي للجائز باعتباره مربع طول ضلعه a وفيه $[\sigma]=300MPa$

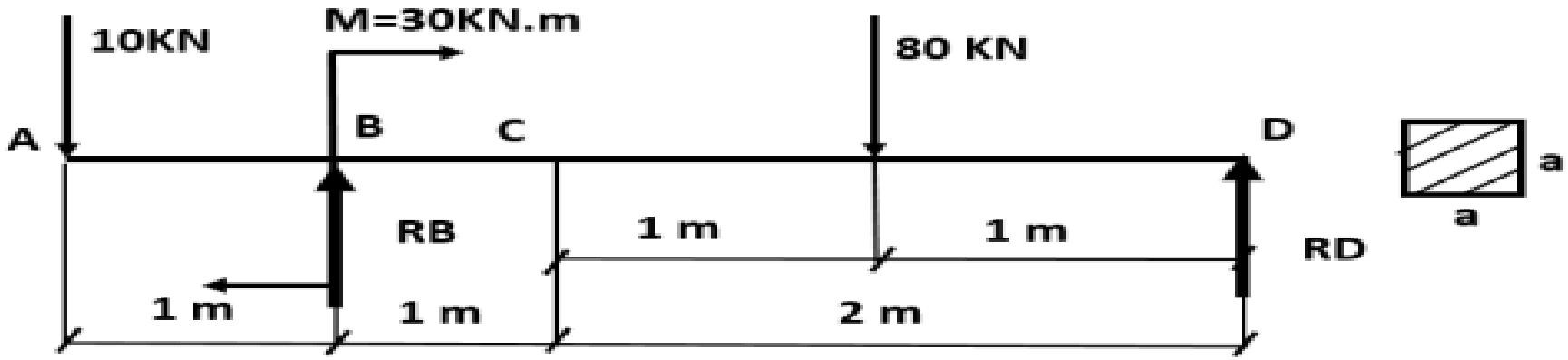



- احسب الطول h اذا اعتبرنا المقطع العرضي للجائز مستطيل عرضه b=90mm وفيه $[\sigma]=300MPa$

- فيما لو كان المقطع العرضي للجائز له الشكل المجاور احسب الاجهاد الناظمي عند الليف العلوي و عند الليف السفلي و ارسم مخطط توزع الاجهاد الناظمي على المقطع العرضي للجائز مبينا الليف المشدود و الليف المضغوط

# الحل




من معادلات التوازن

RB = 30 KN  RD= 60KN

الحقل الأول

TX= -10KN

X=0  Mb=0

X=1m  Mb=-10KN.m

الحقل الثاني

TX= 20KN

X=0  Mb =20 KN.m

X=1m  Mb = 40KN.m

الحقل الثالث

# الحل

$X=0 \qquad TX = -60\ KN.m$

$X=2m \qquad TX = 20KN.m$

$X=1.5m$ عند $TX3=0$

$X=0 \qquad Mb = 0\ KN.m$

$X=2m \qquad Mb = 40KN.m$

$X=1.5m \qquad Mb = 45KN.m$

$$\sigma bm = 6Mbmax/a^3 \leq [\sigma]$$

$$a=96.549\ mm$$

<u>في حال المقطع مستطيل</u>

$$\sigma bm = 6Mbmax/bh^2 \leq [\sigma]$$

$$h= 100mm$$

<u>في حال المقطع كما هو مبين جانبا نعين مركز الثقل</u>

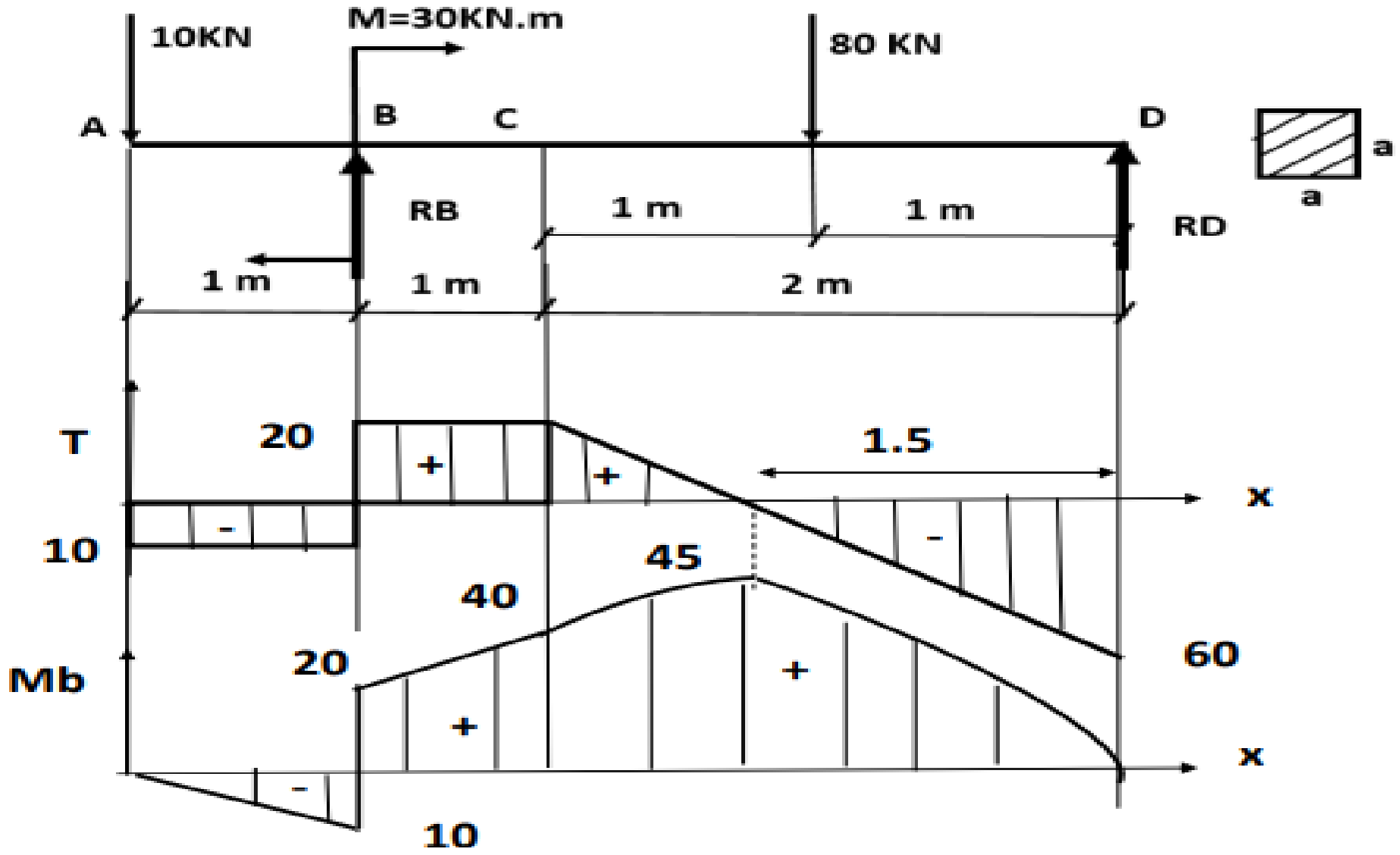
$$C= (0,87.5mm)$$

<u>نحسب عزم العطالة</u>

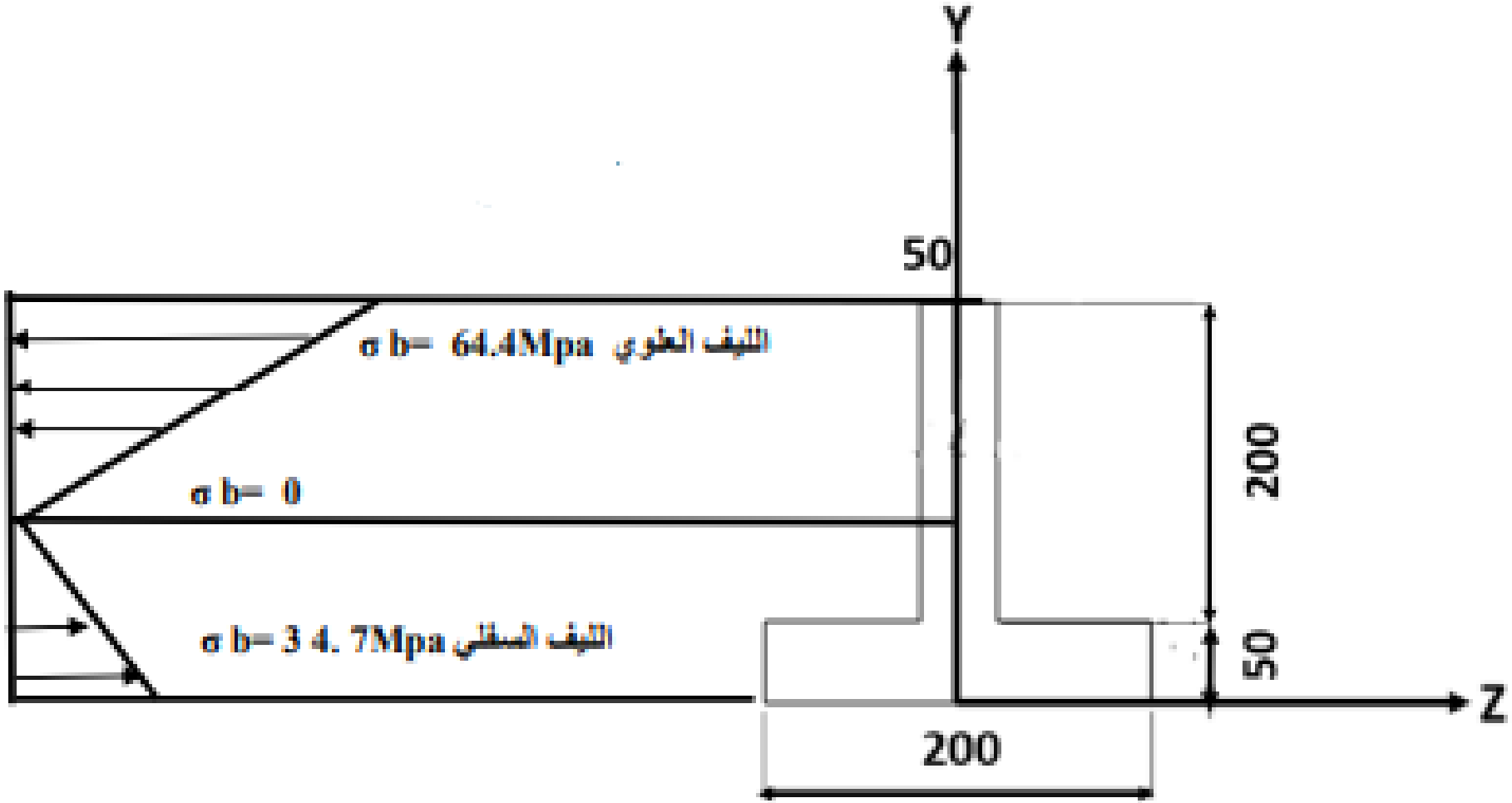
$$I_{ZC} = 112541666\ mm^4$$

# الحل

σ b= Mbmax . Ymax/Iz= 64.4Mpa الليف العلوي
σ b= Mbmax . Ymax/Iz= 34.7Mpa الليف السفلي
بما ان اكبر عزم انحناء في المخطط اشارته موجبة هذا يعني
ضغط لليف العلوي
شد لليف السفلي

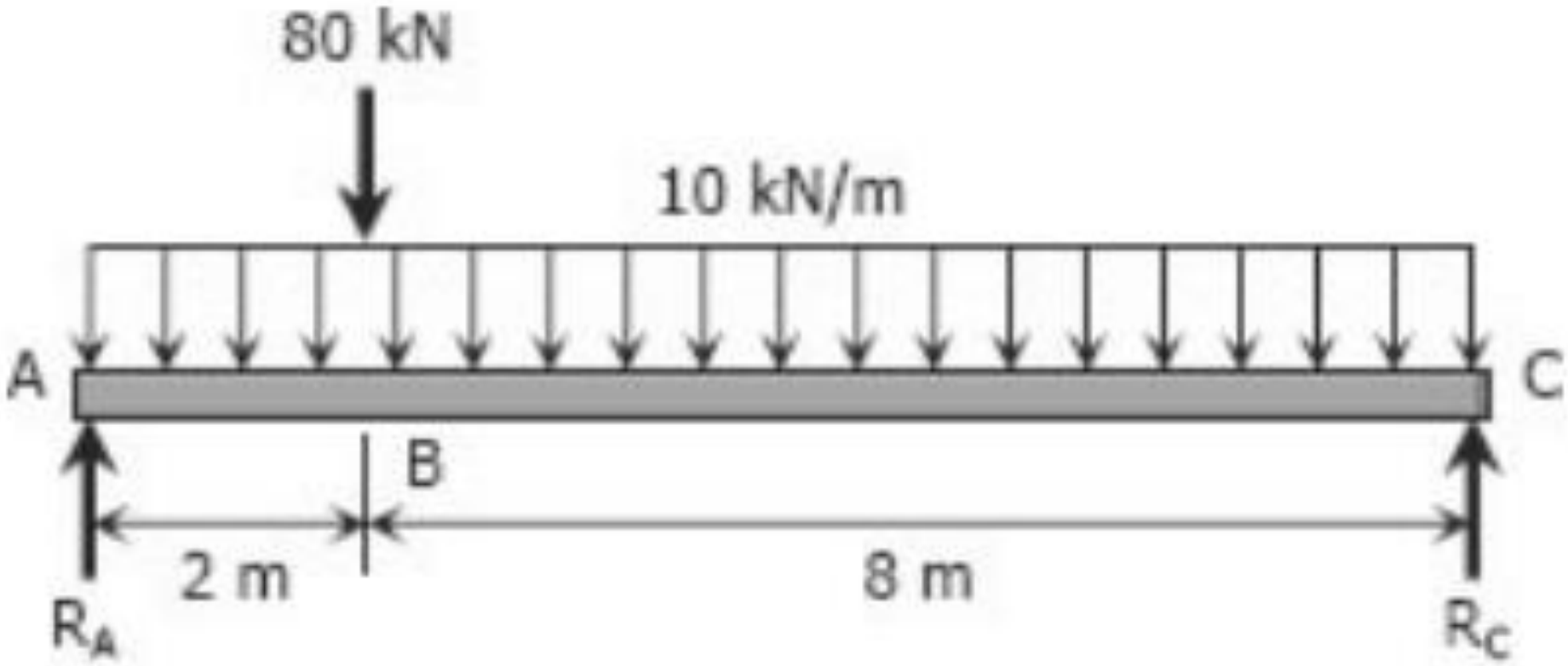


# الحل


Y
50
σ b= 64.4Mpa الليف العلوي
σ b= 0
σ b= 3 4. 7Mpa الليف السفلي
200
50
Z
200

## الحل

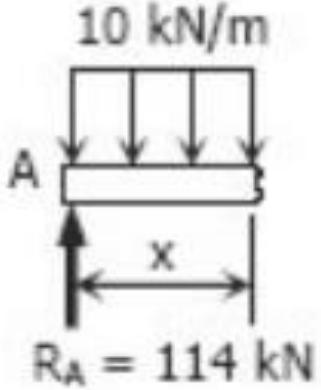
للجائز المبين بالشكلMb ومخطط عزم الانعطاف Tالمطلوب حساب ردود أفعال المساند و رسم مخططات قوى القص



الحل

$$\sum M_A = 0$$
$$10R_C = 2(80) + 5[10(10)]$$
$$R_C = 66 \text{ kN}$$

$$\sum M_C = 0$$
$$10R_A = 8(80) + 5[10(10)]$$
$$R_A = 114 \text{ kN}$$

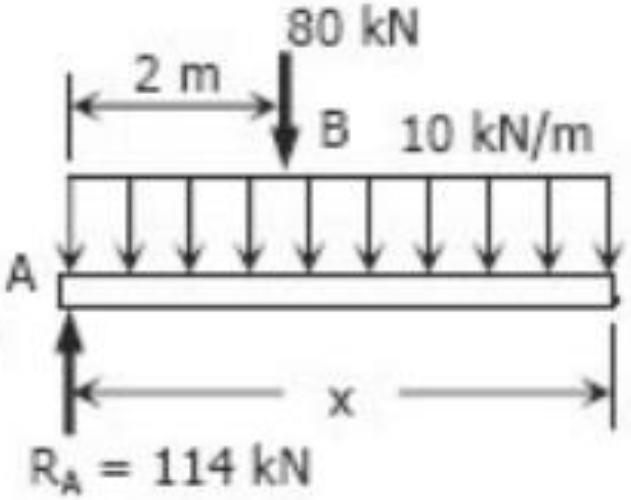



Segment $AB$:

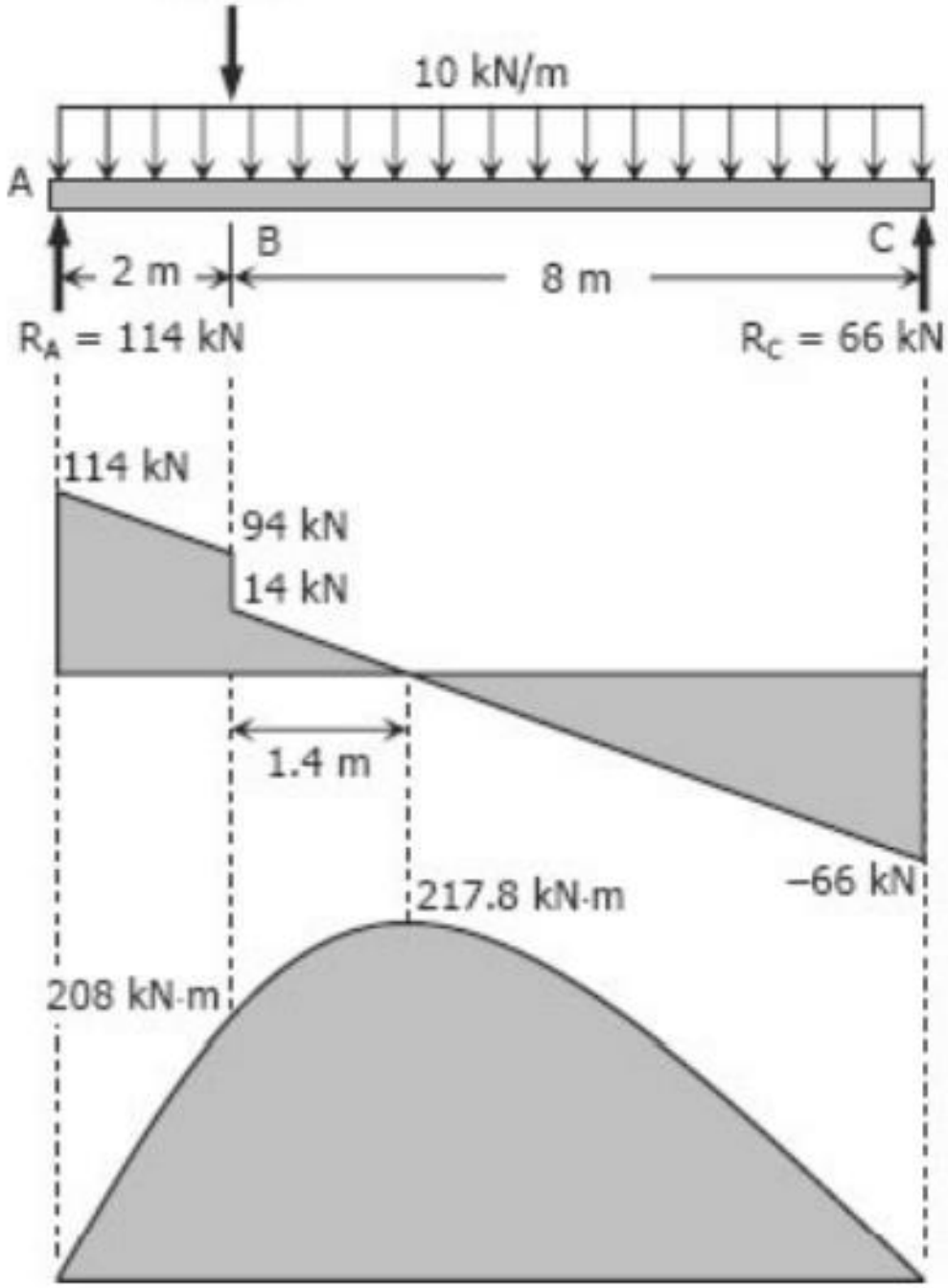
$$V_{AB} = 114 - 10x \text{ kN}$$
$$M_{AB} = 114x - 10x(x/2)$$
$$= 114x - 5x^2 \text{ kN·m}$$

Segment $BC$:

$$V_{BC} = 114 - 80 - 10x$$
$$= 34 - 10x \text{ kN}$$
$$M_{BC} = 114x - 80(x - 2) - 10x(x/2)$$
$$= 160 + 34x - 5x^2$$



الحل




**To draw the Shear Diagram:**

(1) For segment AB, $V_{AB} = 114 - 10x$ is linear; at $x = 0$, $V_{AB} = 14$ kN; at $x = 2$ m, $V_{AB} = 94$ kN.

(2) $V_{BC} = 34 - 10x$ for segment BC is linear; at $x = 2$ m, $V_{BC} = 14$ kN; at $x = 10$ m, $V_{BC} = -66$ kN. When $V_{BC} = 0$, $x = 3.4$ m thus $V_{BC} = 0$ at 1.4 m from B.

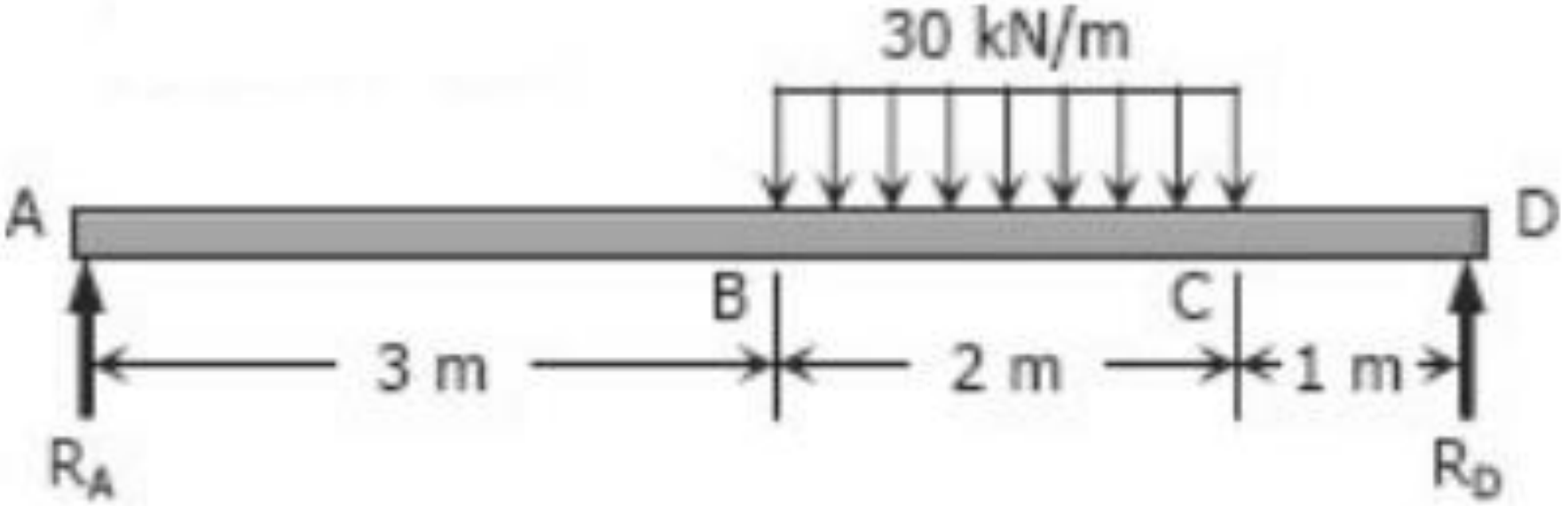
**To draw the Moment Diagram:**

(1) $M_{AB} = 114x - 5x^2$ is a second degree curve for segment AB; at $x = 0$, $M_{AB} = 0$; at $x = 2$ m, $M_{AB} = 208$ kN·m.

(2) The moment diagram is also a second degree curve for segment BC given by $M_{BC} = 160 + 34x - 5x^2$; at $x = 2$ m, $M_{BC} = 208$ kN·m; at $x = 10$ m, $M_{BC} = 0$.

(3) Note that the maximum moment occurs at point of zero shear. Thus, at $x = 3.4$ m, $M_{BC} = 217.8$ kN·m.

للجائز المبين بالشكلMb ومخطط عزم الانعطاف Tالمطلوب حساب ردود أفعال المساند و رسم مخططات قوى القص



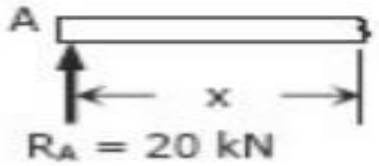
الحل

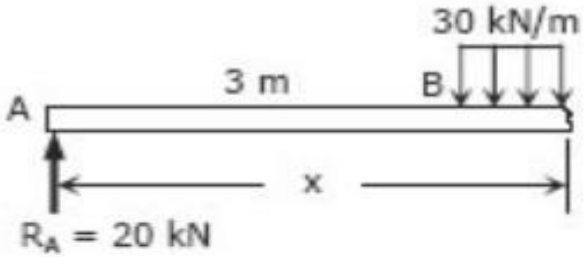
$$\sum M_A = 0$$
$$6R_D = 4[2(30)]$$
$$R_D = 40 \text{ kN}$$

$$\sum M_D = 0$$
$$6R_A = 2[2(30)]$$
$$R_A = 20 \text{ kN}$$

Segment $AB$:

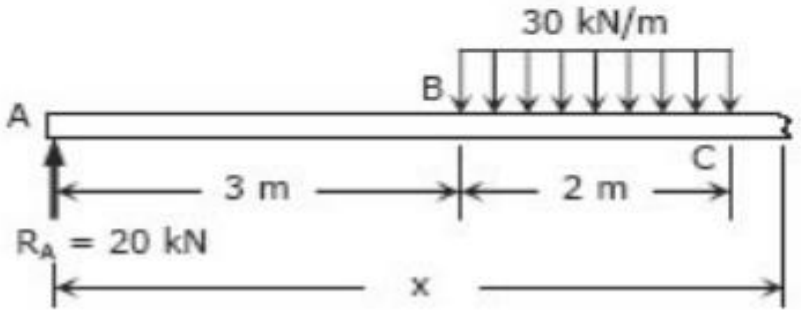
$$V_{AB} = 20 \text{ kN}$$
$$M_{AB} = 20x \text{ kN-m}$$




Segment $BC$:

$$V_{BC} = 20 - 30(x - 3)$$
$$= 110 - 30x \text{ kN}$$
$$M_{BC} = 20x - 30(x - 3)(x - 3)/2$$
$$= 20x - 15(x - 3)^2$$



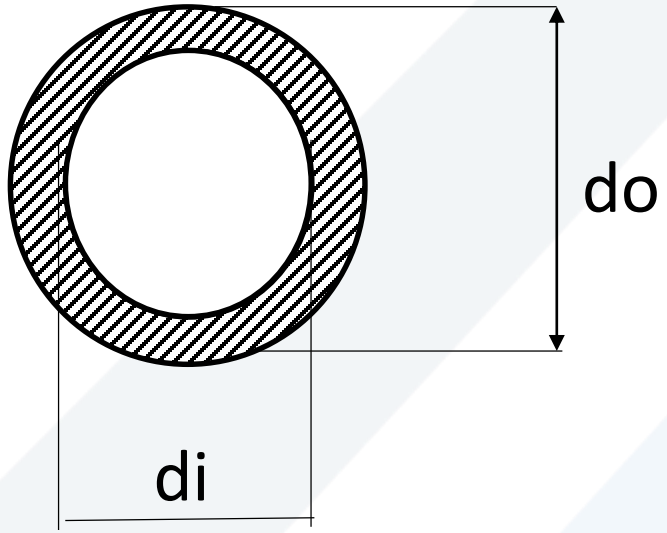

Segment $CD$:

$$V_{CD} = 20 - 30(2)$$
$$= -40 \text{ kN}$$
$$M_{CD} = 20x - 30(2)(x - 4)$$
$$= 20x - 60(x - 4)$$

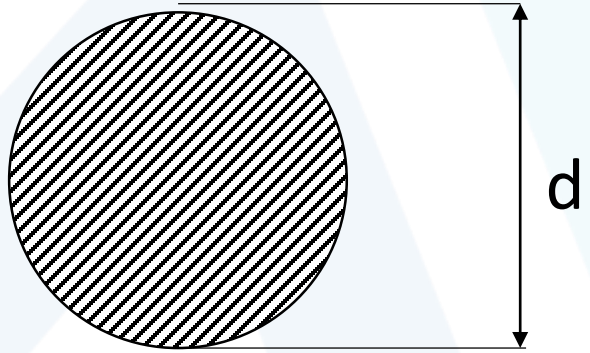
# بحث فتل المقاطع الدائرية

# فتل المقاطع الدائرية

## مفرغة



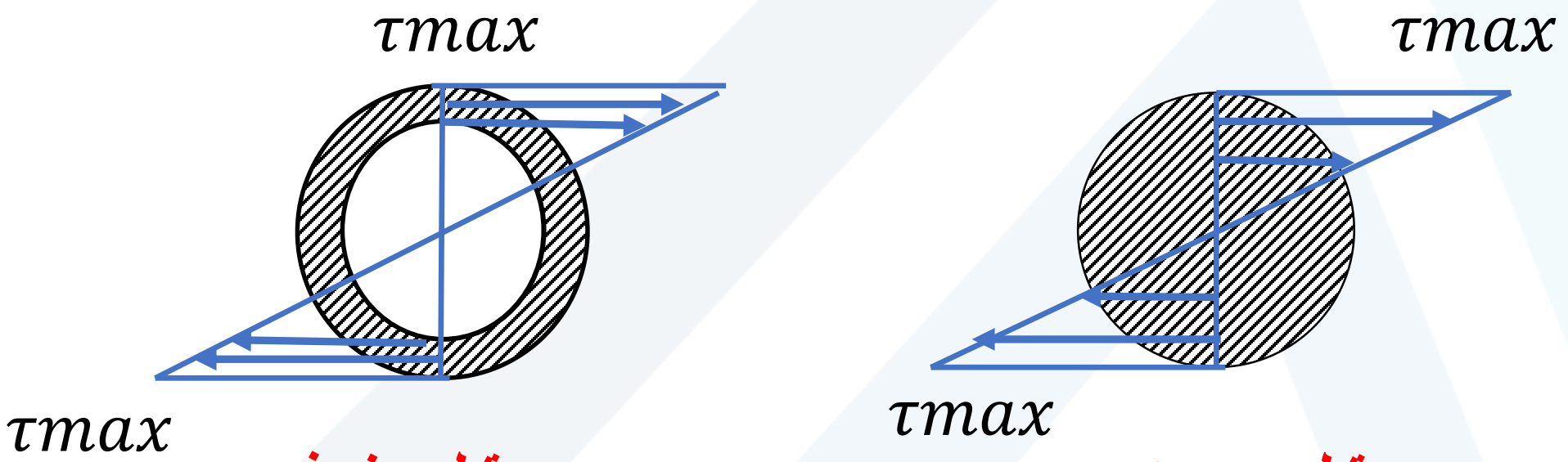

## مصمتة



# ينشأ عن الفتل

- عزم فتل Mt وعنها تنشأ مماسية (قاصة) $\tau$

وهذه الاجهادات تكون أعظمية عند كافة نقاط المحيط الخارجي للمقطع العرضي
و تتناقص قيمتها تدريجيا حتى تنعدم عند المركز وندعوه المركز الحيادي




مقطع مفرغ

مقطع مصمت

مخطط توزع اجهاد القص الناتج عن الفتل

# ينشأ عن الفتل

كلية عند الطرف الحر

- زاوية فتل تقاس بالراديان $\varphi$ (rad)

معدومة عند الوثاقة

العزم المطبقN.mm

طول المحورmm

$$\varphi = \frac{M_t L}{GJ}$$

عامل الجساءة أو عامل المرونة العرضي أوعامل المرونة على القص Mpa

عزم العطالة القطبي

للمقطع المصمت $J = \frac{\pi d^4}{32}$

للمقطع المفرغ $J = \frac{\pi [d_o{}^4 - d_i{}^4]}{32}$

# ينشأ عن الفتل

كلية عند الطرف الحر

- زاوية فتل تقاس بالراديان $\varphi$ (rad)

معدومة عند الوثاقة

العزم المطبق N.mm

طول المحور mm

$$\varphi = \frac{M_t L}{GJ}$$

عامل الجساءة أو عامل المرونة العرضي أوعامل المرونة على القص Mpa

عزم العطالة القطبي

للمقطع المصمت $J = \frac{\pi d^4}{32}$

للمقطع المفرغ $J = \frac{\pi [d_o{}^4 - d_i{}^4]}{32}$

## شرط المتانة

المقطع المصمت

$$\tau_{max} = \frac{16|M_{tmax}|}{\pi d^3} \leq [\tau]$$

المقطع المفرغ

$$\tau_{max} = \frac{16|Mtmax|}{\pi {d_o}^3 \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]} \leq [\tau]$$

# شرط الصلابة

$$\alpha = \frac{\varphi}{L} = \frac{|M_{tmax}|}{GJ} \leq [\alpha]$$

زاوية الفتل النسبية

زاوية الفتل النسبية المسموح بها

# الغاية من شرطي المتانة والصلابة

التحقق من تحمل الجائز للحمولات

- متانة تتحقق عن طريق الاجهاد
- صلابة تتحقق عن طريق الزاوية

حساب عزم الفتل

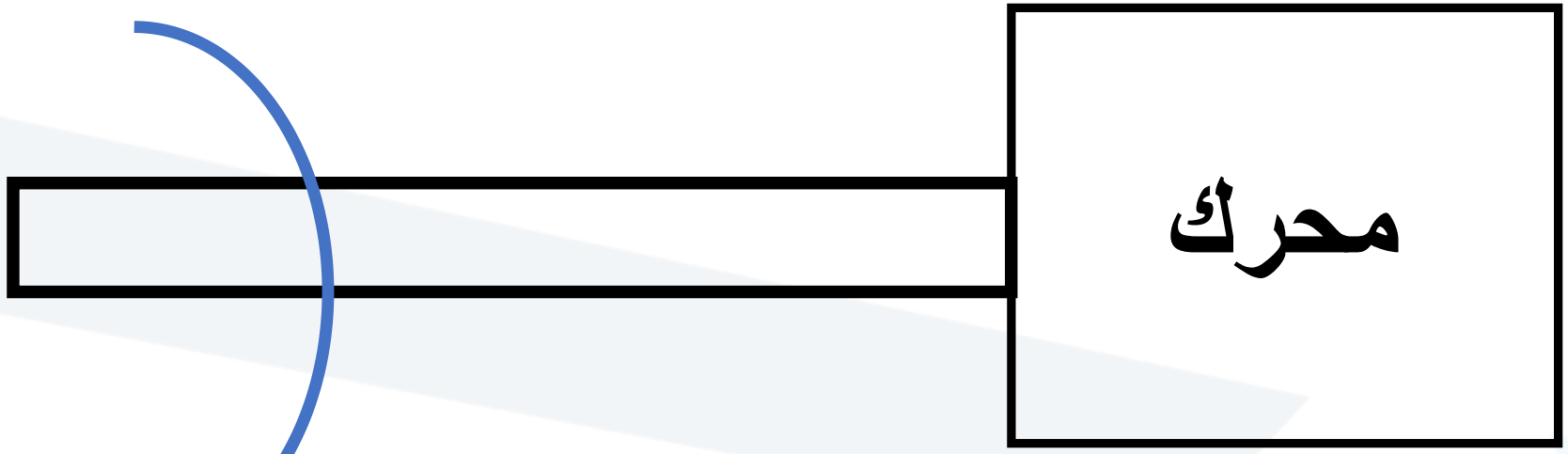
حساب قطر المحور

## اذا طلب حساب قطر مقطع الجائز و أعطي $[\tau]$ $[\alpha]$

نحسب القطر مرتان أولا من شرط المتانة وثانيا من شرط الصلابة ونختار القيمة الأكبر للقطر

## اذا طلب حساب عزم الفتل و أعطي $[\tau]$ $[\alpha]$

نحسب العزم مرتان أولا من شرط المتانة وثانيا من شرط الصلابة ونختار القيمة الأصغر للعزم




n عدد الدورات
rpm

N استطاعة المحرك
W KW Hp

واط

كيلو واط

حصان بخاري

$$M_t = \frac{N}{w}$$

N,m

استطاعة المحرك واط
Watt

السرعة الزاوية

$$w = \frac{2\pi n}{60}$$

rpm

أو

$$M_t = 7162 \frac{N}{n}$$

N,m

استطاعة المحرك
حصان بخاري
HP

عدد الدورات
rpm

دورة في الدقيقة

**n= rpm** ⟹ $$w = \frac{2\pi n}{60}$$

دورة في الثانية

**n= rps** ⟹ $$w = 2\pi n$$

**1KW= 1000 W**

**1HP= 746 W**

لحساب عدد البراغي m الواجب وضعها لنقل عزم الفتل من المحور الأول إلى المحور الثاني

$$M_t = [\tau] \frac{\pi d^2}{4} \frac{D}{2} m$$

عزم الفتل

قطر البرغي

قطر دائرة البراغي

اجهاد القص المسموح به للبراغي

عدد البراغي

## مسألة

احسب مقدار عزم الفتل الذي ينقله محور مفرغ بحيث أن [z]=60MPa و di= 4cm و do= 5cm ثم احسب مقدار العزم الذي ينقله محورا أخر مصمت اذا علمت أن مساحة المقاطع العرضية للمحورين متماثلة ولهما نفس الطول ومن نفس المعدن وناقش النتائج.

## الحل

الطلب الاول

$$Z_{max} = 16\, M_{tmax} / \pi do^3 [1-(di/do)^4] \leq [z]$$

$$M_{tmax} = 869436 \text{ N.mm}$$

الطلب الثاني

$$Z_{max} = 16\, M_{tmax} / \pi d^3 \leq [z]$$

لحساب العزم لابد من حساب القطر ويحسب من تساوي مساحات المقاطع العرضية للمحورين

مصمت A2 = مفرغ A1

d= 3cm

$$M_{tmax} = 318086 \text{ N.mm}$$

بالمقارنة بين العزمين نجد ان المحاور المفرغة المماثلة بالطول للمحاور المصمتة ولها نفس مساحة المقطع العرضي تستطيع ان تنقل عزم فتل اكبر من المحاور المصمتة

# مسألة

محرك كهربائي استطاعته 20kw و n= 120 rpm يقوم بتشغيل مضخة مائية اذا علمت أن المحور الذي يصل بين المحرك و المضخة دائري المقطع وطوله L= 3m والمطلوب

- احسب قطر هذا المحور حيث أن [Z]= 40 Mpa و [φ]= 6° و G= $83.10^3$ Mpa
- اذا تم الوصل بين محوري المحرك والمضخة عن طريق زوج من فلنجات البراغي احسب عدد البراغي اذا علمت ان قطر البرغي 12mm وقطر دائرة البراغي 80mm و ان [Z]= 75Mpa لمادة البرغي

## الحل

$$Mt = N/w = 1591.55\ N.m$$

**حساب القطر من شرط المتانة**

$$Z_{max} = 16Mtmax/\pi d^3 \leq [Z]$$

$$d = 58.73\ mm$$

**حساب القطر من شرط الصلابة**

$$\varphi = Mt \cdot L/G.J \leq [\varphi]$$

$$d = 48.63\ mm$$

نختار القطر الأكبر $d = 58.73\ mm$

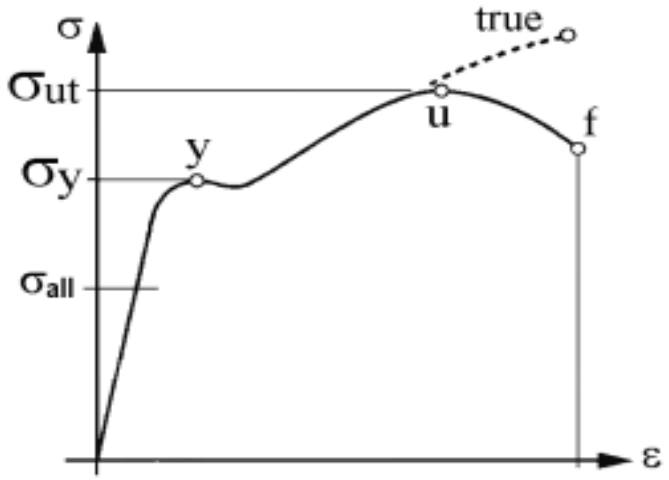
لحساب عدد البراغي

$Mt = [Z]\pi d^2/4 \cdot D/2.m$

براغي $m=5$

# تصميم العناصر الخاضعة للحمولات الساكنة

## الإجهاد المسموح به




في مجال التصميم ولضمان عدم حدوث الانهيار يجب على الإجهاد الأعظمي أو المكافئ عدم تجاوز قيمته الحديّة المقابلة لحدوث الانهيار، وغالباً لا يتم التصميم على القيمة الحديّة وإنّما على قيمة أقل بحيث يُترك هامش أمان لاعتبارات عديدة مثل تلافي خطورة التحميل الزائد، عدم الدقّة في تحديد الحمولات، عدم الثقة في خواص المادة المستعملة، درجة خطورة القطعة على الحياة البشريّة... وهذه القيمة الأقل تُعرف بالإجهاد المسموح $\sigma_{all}$ , $\tau_{all}$ الذي يُحسب عند تصميم المواد المطيليّة مع اعتبار أنّ الخضوع هو معيار الانهيار وفق:

$$\sigma_y = (0.5-0.7)\sigma_u \qquad \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s}, \quad \tau_{all} = \frac{\tau_y}{f.s} \qquad \boxed{\tau_y = \frac{\sigma_y}{2}}$$

حيث f.s عامل أمان التصميم، $\sigma_y, \tau_y$ إجهادي الخضوع على الشد والقص للمادّة المطيليّة.

عند استخدام تجربة الشد البسيط لتعيين إجهاد الخضوع يكون $\tau_y = \frac{\sigma_y}{2}$

## النقطة الخطرة والمقطع الخطر ومعادلات التصميم

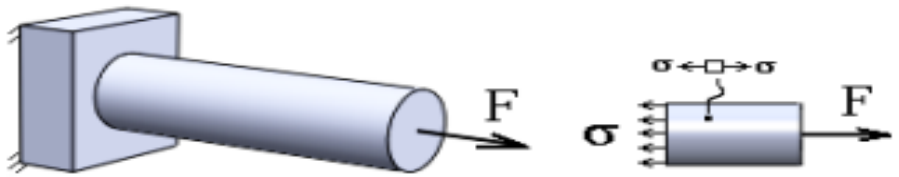
النقطة الخطرة بالتعريف هي النقطة من الجسم التي تتعرض لأكبر إجهاد والمقطع الخطر هو المقطع من الجسم الذي يحتوي النقطة الخطرة ويتم تحديد كل من المقطع الخطر والنقطة الخطرة وفقاً للحمولة المطبقة والشكل الهندسي للجسم كما سيرد تفصيله لاحقاً. تتم عملية التصميم بحساب الإجهاد في النقطة الخطرة بدلالة الحمولة وأبعاد المقطع الخطر وأبعاد الجسم ثمّ المساواة بين الإجهاد في النقطة الخطرة والإجهاد المسموح به وفق:

$$\tau_{\max} = \tau_{all} = \frac{\tau_y}{f.s} \qquad \sigma_{\max} = \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s},$$

## الإجهادات في حالات التحميل البسيطة

في هذه الحالات يكون مصدر الإجهادات في النقطة الخطرة وحيد أو متماثل.

### 1- قوّة محورية (شد أو ضغط):




يتوزع الإجهاد بشكل منتظم على كامل المقطع والنقطة الخطرة هي أي نقطة ويحسب الإجهاد في أي نقطة من المقطع وفق:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

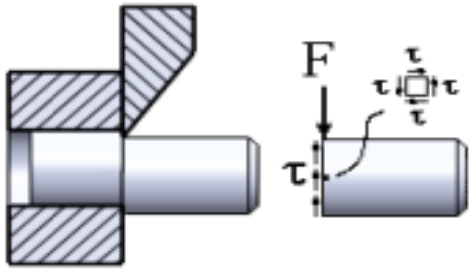
من أجل مقطع دائري مصمت قطره d:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2}$$

من اجل مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي $d_o$ وقطر داخلي $d_i$:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi (d_o^2 - d_i^2)} = \frac{4F}{\pi d_o^2 \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^2\right]}$$

## 2- قوّة قص مباشر

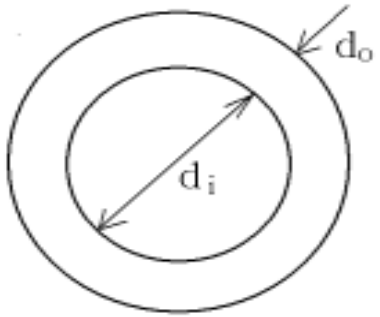



يتوزع الإجهاد بشكل منتظم على كامل المقطع والنقطة الخطرة هي أي نقطة ويحسب الإجهاد في أي نقطة من المقطع وفق:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

من أجل مقطع دائري مصمت قطره d:

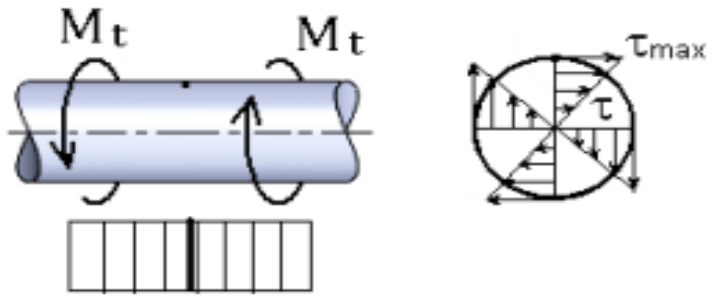
$$\tau = \frac{4F}{\pi d^2}$$




من أجل مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي $d_o$ وقطر داخلي $d_i$:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi (d_o^2 - d_i^2)} = \frac{4F}{\pi d_o^2 \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_o}\right)^2\right]}$$

## 3- فتل المقاطع الدائرية







ينتج إجهاد مماسي (قص) يتوزع في المقطع الدائري كما هو مبيّن في الشكل ويُحسب في نقطة ما من أحد المقاطع المفتولة بالصيغة التالية:

$$\tau = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t.r}{J}$$

حيث: $M_t$ يمثل عزم الفتل على المقطع الذي يحتوي النقطة التي يُطلب حساب الإجهاد فيها ويتم إيجاد قيمته من مخطط عزم الفتل.

$r$ نصف القطر الواصل من مركز المقطع حتى نقطة حساب الإجهاد.

$J$ عزم العطالة القطبي للمقطع المدروس.

الإجهاد الأعظمي من الفتل في مقطع دائري مصمت قطره d:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t \cdot r_{\max}}{J} = \frac{M_t \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16 M_t}{\pi d^3}$$

الإجهاد الأعظمي من الفتل في مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي $d_o$ وقطر داخلي $d_i$::

$$\tau_{\max} = \ldots = \ldots = \frac{16M_t}{\pi d_o^3\left[1-\left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]}$$

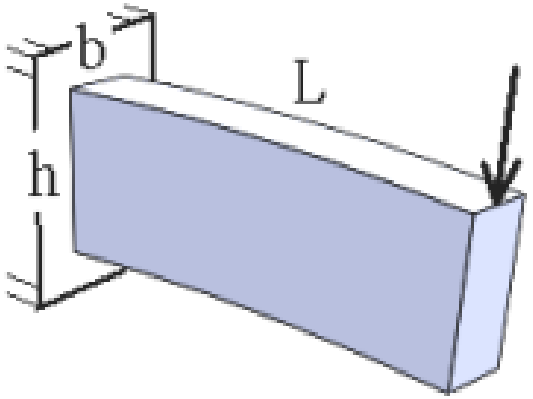
## 4- فتل المقاطع غير الدائرية

تعتبر المقاطع الدائرية هي الأنسب لتحمّل الفتل غير أنّه في بعض الحالات ولضرورات تصميمية يمكن استعمال مقاطع غير دائرية وعند فتل المقاطع غير الدائرية لا تبقى المقاطع مستوية والخطوط القطرية لا تبقى مستقيمة وتوزّع الإجهادات ليس بالضرورة أن يبقى خطيّاً غير أنّ الإجهاد الأعظمي يتوضّع على محيط أكبر دائرة يحتويها المقطع ويُحسب بالصيغة التالية:

$$\tau = \frac{T}{W_T}$$

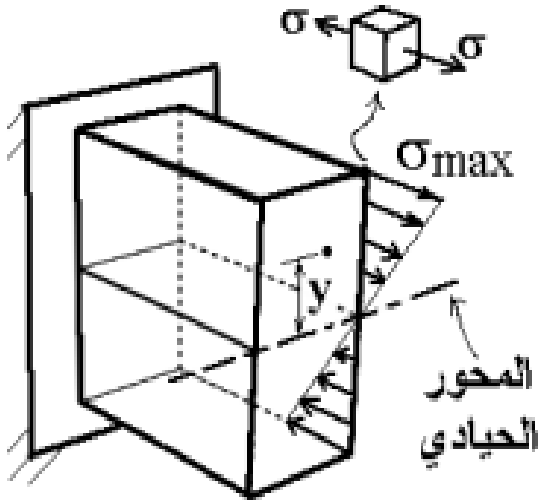
حيث $W_T$ يمثل مقاومة المقطع للفتل وهو تابع لشكل المقطع يتم إيجاده من جداول حسب شكل المقطع.

## 5- الانحناء في جائز مستقيم




لتعيين الإجهادات في الجوائز المعرّضة للانحناء يجب أولاً رسم مخططات القوى الداخليّة (مخطط عزم الانحناء ومخطط القوى القاصة) وتدل هذه المخططات أنّه يتولّد في نقاط الجائز نوعين من الإجهادات ناظميّة ومماسيّة.

### إجهادات ناظمية




سببها تقوّس الجائز حيث ينقسم الجائز إلى قسمين بواسطة المستوي الحيادي في أحدهما يحدث تمدّد للألياف (شد) وفي الآخر يحدث التقلّص (ضغط) وتُحسب قيمة الإجهاد الناظمي في نقطة من الجائز بالصيغة التالية:

$$\sigma = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b \cdot y}{I}$$

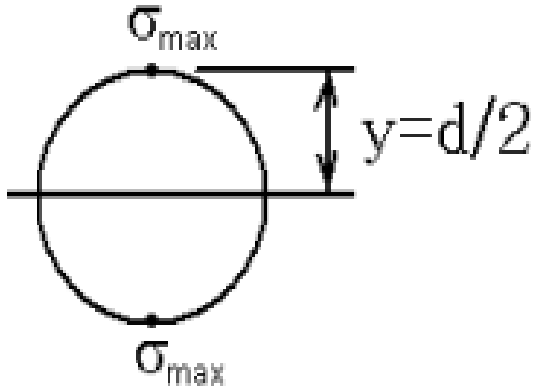
حيث: $M_b$ يمثل الانحناء على المقطع الذي يحتوي النقطة ويتم تقدير قيمته من مخطط عزم الانحناء.

$y$ بعد نقطة حساب الإجهاد عن المحور الحيادي للمقطع.

$I$ عزم عطالة المقطع المدروس حول المحور الحيادي.

- **ملاحظة 1:** المحور الحيادي هو الفصل المشترك بين المستوي الحيادي للجائز ومستوي المقطع وهو يمر من مركز المقطع ويفصل بين منطقة الشد ومنطقة الضغط في المقطع المدروس.
- **ملاحظة 2:** تتوضع الإجهادات الناظميّة العظمى في نقاط المقطع الأبعد عن المحور الحيادي.

الإجهاد الأعظمي من الانحناء في مقطع دائري مصمت قطره d:

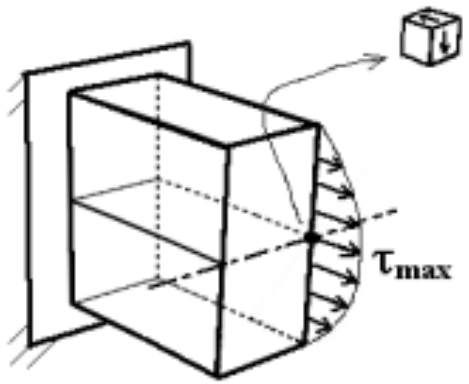



$$\sigma_{max} = \frac{M_b \cdot y_{max}}{I} = \frac{M_b \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{32 M_b}{\pi d^3}$$

الإجهاد الأعظمي من الانحناء في مقطع دائري مفرغ له قطر خارجي $d_o$ وقطر داخلي $d_i$

$$\sigma_{\max} = \ldots = \ldots = \frac{32M_b}{\pi d_o^3\left[1-\left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]}$$

## إجهادات مماسية



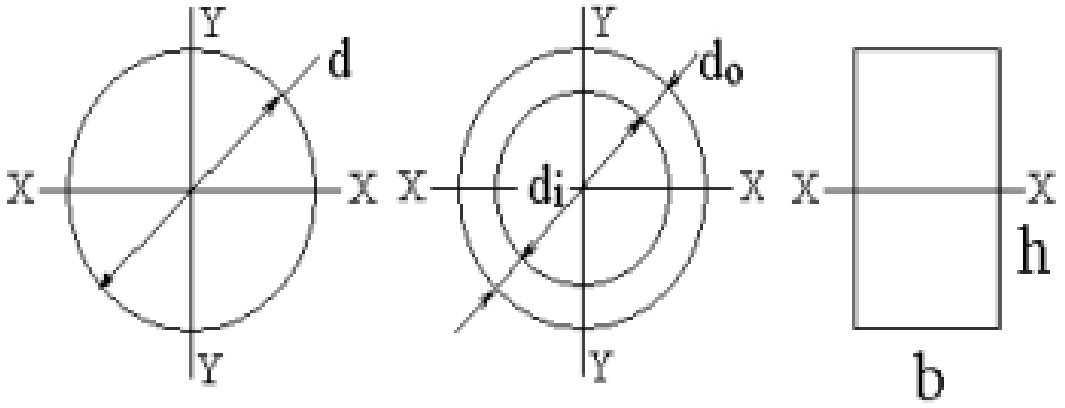

سببها محاولة انزلاق طبقات الجائز على بعضها بسبب التغيّر في طول هذه الطبقات، يتوزع هذا الإجهاد حسب شكل المقطع بحيث يكون أعظمي في نقاط المحور المحايد ومعدوم في النقاط العلويّة والسفليّة، كما هو مبيّن في الشكل.

تحسب القيمة الأعظميّة لإجهاد القص وفق:

$$\tau = \beta\frac{F}{A}$$

حيث : $\beta = \frac{3}{2}$ للمقطع المستطيل و $\beta = \frac{4}{3}$ للمقطع الدائري المصمت و $\beta = 2$ للمقطع الدائري المفرغ الرقيق.

- **ملاحظة 3:** يُلاحظ عدم توافق القيم العظمى للإجهادين $\sigma, \tau$ في نفس النقطة وبالتالي يتم التصميم على أحدهما فقط بحيث عندما تكون نسبة طول الجائز إلى سماكته $(L/h)>10$ يتم التصميم فقط على $\sigma$ لأنه الأخطر، بينما يجب التحقق من المتانة على $\sigma$ و $\tau$ كلاً بمفرده عندما $(L/h)\leq 10$.
- **ملاحظة 4:** يتطلب حساب الإجهادات الناظميّة معرفة الخواص الهندسيّة لمقطع الجائز ونبين فيما يلي عزوم العطالة لبعض المقاطع الشهيرة.



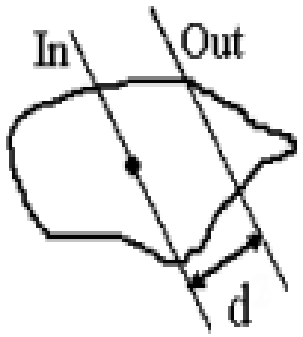

- دائرة مصمتة $I_{XX}=I_{YY}=\dfrac{\pi.d^4}{64}$, $J=\dfrac{\pi.d^4}{32}$

- دائرة مفرغة $J = \frac{\pi}{32}\left(d_o^4 - d_i^4\right)$ $I_{XX} = I_{YY} = \frac{\pi}{64}\left(d_o^4 - d_i^4\right)$

- مستطيل مصمت $I_{XX} = \frac{b.h^3}{12}$

- **ملاحظة 5:** يتم حساب عزم العطالة لشكل مركّب بحساب عزوم العطالة لكل من أجزائه بشكل منفرد ثم إجراء التحصيل الجبري جمعاً أو طرحاً.

- **ملاحظة 6:** لحساب عزم العطالة لأحد المقاطع حول محور لا يمر من مركز المقطع بمعرفة عزم العطالة حول المحور المار من مركز المقطع والذي يوازيه نطبّق نظرية شتاينر:

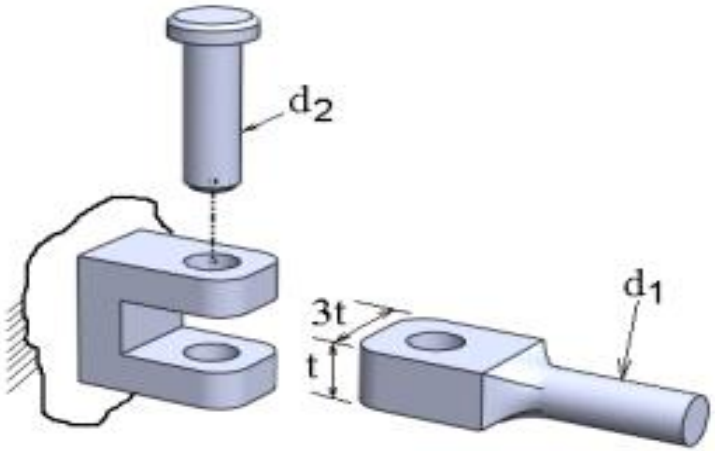


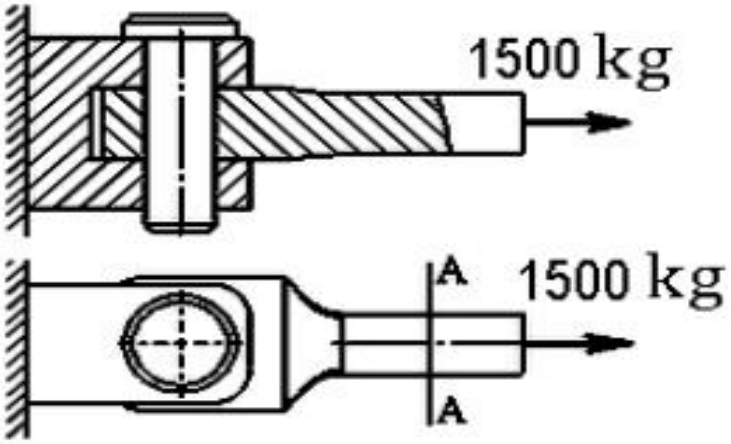

$$I_{OUT} = I_{IN} + A.d^2$$

حيث A مساحة المقطع

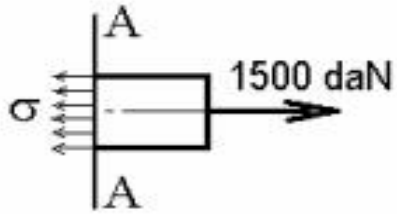
**مسألة** في وصلة المفصلة المبيّنة في الشّكل

1- احسب: قطر ذراع المفصلة في المقطع A-A ، قطر محور المفصلة d ،البعد t لمقطع ذراع المفصلة عند محور الثقب؟ مادّة التصنيع $St_{42}$ وعامل الأمان f.s=2




**الحل**




1- حساب d1: يخضع ذراع المفصلة إلى إجهاد شد متساوي في جميع نقاط المقطع الواحد كما في الشكل وعلى اعتبار أنّ مقطعه دائري يتم التصميم وفق:

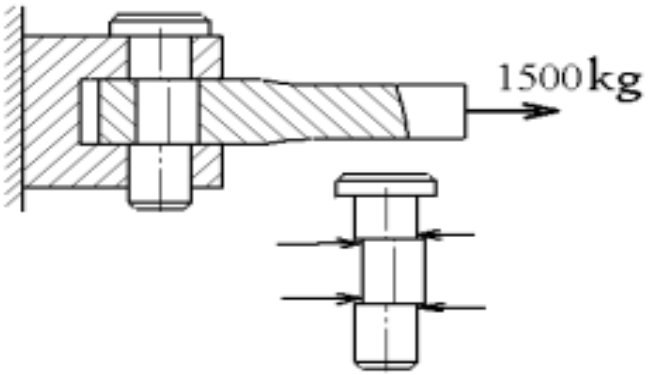
$$\sigma = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{\sigma_Y}{f.s}$$

$$St_{42} \Rightarrow \sigma_u = 42\ \mathrm{kg/mm^2}$$

$$\sigma_y = (0.5-0.7)\sigma_u \Rightarrow \sigma_y = 21\ \text{kg/mm}^2$$

$$\frac{4\times 1500}{\pi d^2} = \frac{21}{2} \Rightarrow d_1 = 13.49\ \text{mm}$$

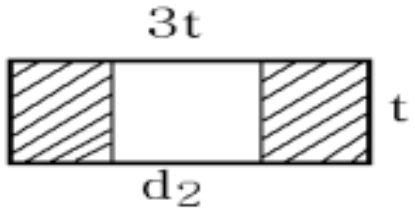
نختار للتصنيع $d_1 = 14\ \text{mm}$

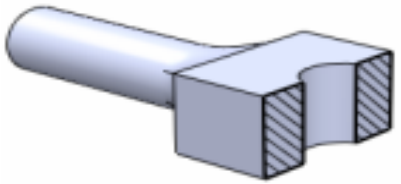



- حساب d2: يخضع محور المفصلة بإهمال الخلوصات إلى القص المباشر في مستويين كما في الشكل وعلى اعتبار أنّ مقطعه دائري يتم التصميم وفق:

$$\tau = \tau_{all} \Rightarrow \frac{F}{2\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{\tau_y}{f.s} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

$$\frac{4\times 1500}{2\pi d^2} = \frac{10.5}{2} \Rightarrow d_2 = 13.49\ \text{mm} \Rightarrow d_2 = 14\ \text{mm}$$

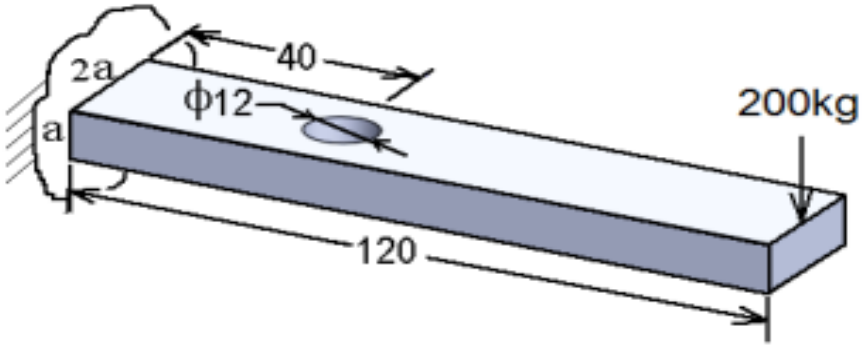


- حساب t: يخضع مقطع ذراع المفصلة عند الثقب إلى إجهاد شد متساوي على مساحة المقطع المبيّنة في الشكل والتصميم يتم وفق:

$$\sigma = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{F}{3t\cdot t - 14\cdot t} = \frac{\sigma_y}{f.s} \qquad \frac{1500}{3t^2 - 14t} = \frac{21}{2} \Rightarrow t = 9.62\ \text{mm}$$

**مسألة** جائز موثوق مقطعه مستطيل يحتوي على ثقب نافذ كما في الشكل ويخضع للحمولة المبيّنة.المطلوب حساب البعد a لمقطع الجائز في أخطر مقطع علماً أنّ إجهاد الخضوع لمادّة الجائز $\sigma_y = 20\ \text{kg/mm}^2$ وعامل الأمان f.s=1.5

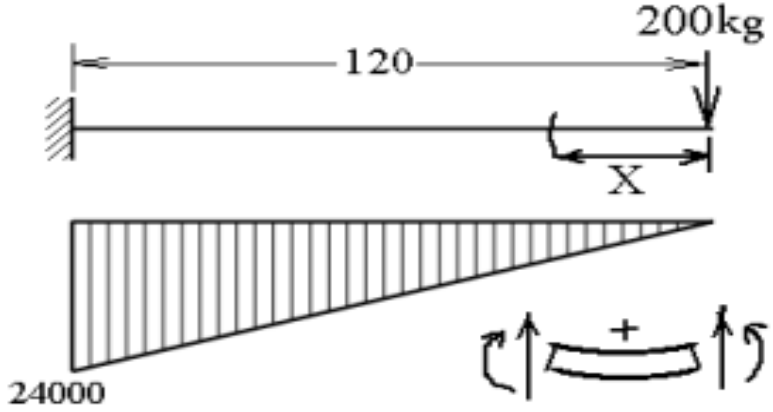



**الحل**

يخضع الجائز إلى الانحناء ويُصمم مقطعه الخطر على الإجهاد σ وفق:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \sigma_{all}$$

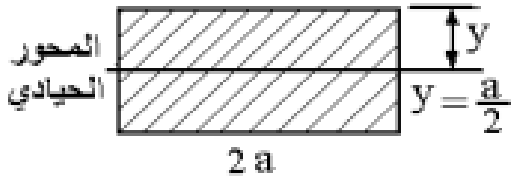
نحدّد أولاً قيم عزوم الانحناء المؤثّرة على مقاطع الجائز عن طريق رسم مخطط عزم الانحناء، يعتمد رسم مخطّط عزم الانحناء على دراسة العزم الداخلي في المقاطع مع اصطلاح جهة التقوّس المبيّنة على الشكل.




$$M = -200X \begin{cases} X = 0 \Rightarrow M_1 = 0 \\ X = 120 \Rightarrow M_1 = -24000 \end{cases}$$

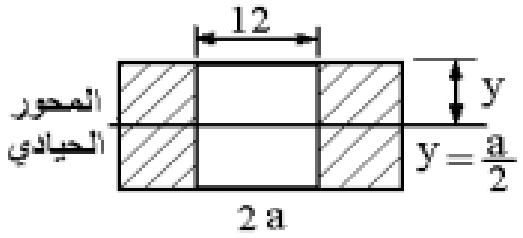
يجب دراسة المقطعين: عند الوثاقة حيث القيمة الأكبر لعزم الانحناء وعند مقطع وجود الثقب حيث يوجد نقص في مساحة المقطع.

- مقطع الوثاقة:




$$\left.\begin{aligned} M_b &= 24000\ \text{kg.mm} \\ y &= \frac{a}{2} \\ I &= \frac{2a.a^3}{12} = \frac{a^4}{6} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{24000 \cdot \dfrac{a}{2}}{\dfrac{a^4}{6}} = \dfrac{20}{1.5} \\ \Rightarrow a = 17.54\ \text{mm} \end{cases}$$

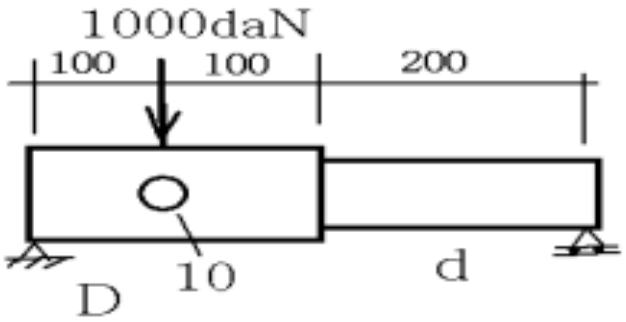
- مقطع وجود الثقب:

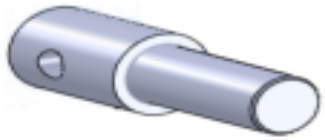



$$\left.\begin{aligned} M_b &= 16000\ \text{kg.mm} \\ y &= \frac{a}{2} \\ I &= \frac{2a \cdot a^3}{12} - \frac{12 \cdot a^3}{12} = \frac{a^3}{12}(2a-12) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{16000 \cdot \dfrac{a}{2}}{\dfrac{a^3}{12}(2a-12)} = \dfrac{20}{1.5} \\ \Rightarrow a = 17.6\ \text{mm} \end{cases}$$

نلاحظ أنّ المقطع عند الثقب أخطر لأنّه يحتاج لبُعد أكبر ونختار للجائز a=18mm

## مسألة



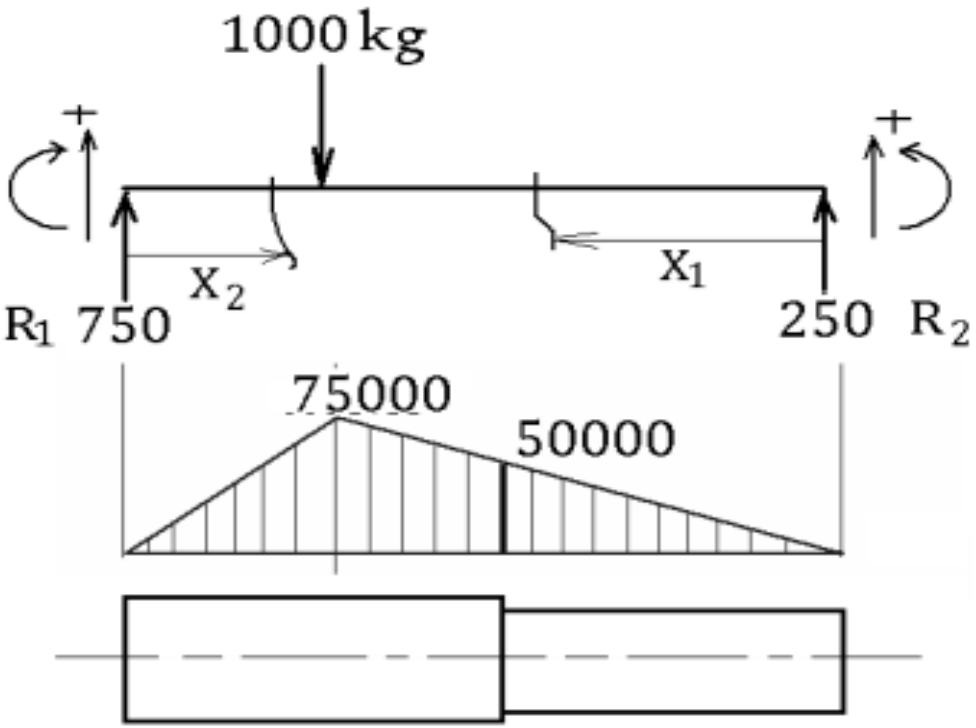



احسب القطر لكل من جزئي المحور المبين.

$\sigma_y = 20\ \text{kg/mm}^2$ وعامل الأمان f.s=1.5

**الحل**

يخضع المحور للانحناء ونوجد قيمة الانحناء على المقطع الخطر لكل من الجزئين برسم مخطط الانحناء




$$\sum M_1 = 0 \Rightarrow -1000 \times 100 + R_2 \times 400 = 0$$

$$\Rightarrow R_1 = 250daN$$

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow R_1 - 1000 + R_2 = 0$$

$$\Rightarrow R_2 = 750daN$$

$$M_1 = +250X_1 \begin{cases} X_1 = 0 \Rightarrow M_1 = 0 \\ X_1 = 300 \Rightarrow M_1 = 75000 \end{cases}$$

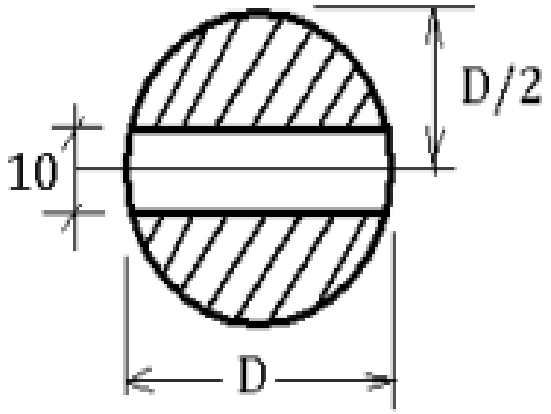
$$M_2 = +750X_2 \begin{cases} X_2 = 0 \Rightarrow M_2 = 0 \\ X_2 = 100 \Rightarrow M_2 = 75000 \end{cases}$$

**حساب d:** يخضع المقطع الخطر في هذا الجزء لعزم انحناء قيمته 50000 kg.mm والتصميم وفق:

$$\sigma = \frac{32\,M_b}{\pi d^3} = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{32 \times 50000}{\pi d^3} = \frac{20}{1.5} \Rightarrow d = 33.67\ \text{mm} \Rightarrow d = 34\ \text{mm}$$

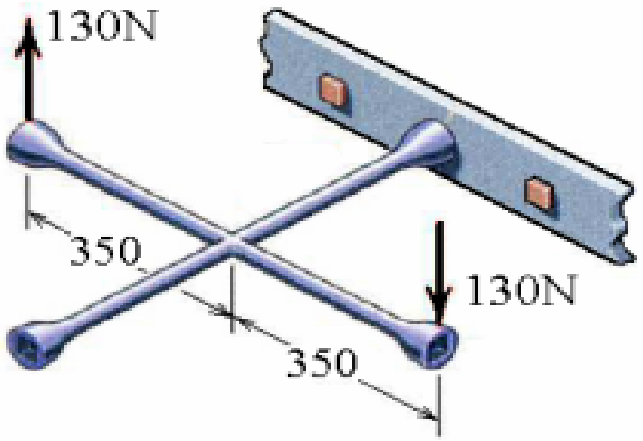
**حساب D:** يخضع المقطع الخطر في هذا الجزء لعزم انحناء قيمته 75000 kg.mm والتصميم وفق:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \sigma_{all}$$




$$\left.\begin{aligned} M_b &= 75000\ \text{kg.mm} \\ y &= \frac{D}{2} \\ I &= \frac{\pi D^4}{64} - \frac{D \cdot 10^3}{12} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{aligned} &\frac{75000 \cdot \frac{D}{2}}{\frac{\pi D^4}{64} - \frac{D \cdot 10^3}{12}} = \frac{20}{1.5} \\ &\Rightarrow D = 38.9\ \text{mm} \end{aligned}\right.$$

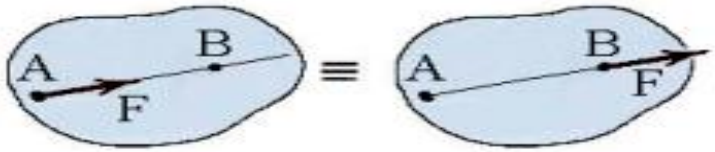
# المزدوجة



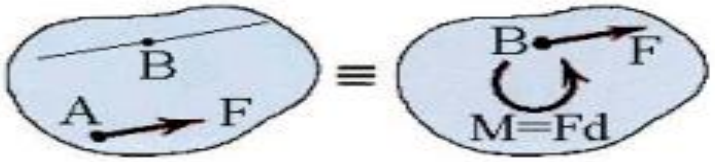

هي كل قوتين متساويتين بالقيمة ومتعاكستين بالاتجاه محمولتين على حاملين متوازيين، نسمّي المستوي الذي تقع فيه القوتان بمستوي المزدوجة والمسافة العموديّة بين منحيي القوّتين بذراع المزدوجة وتمثّل المزدوجة عزم منفرد بدون قوّة قيمته هي حاصل جداء إحدى القوّتين بذراع المزدوجة.

يبين الشكل مزدوجة قيمة عزمها $M = 130 \times 700 \ N \cdot mm$

## نقل القوّة

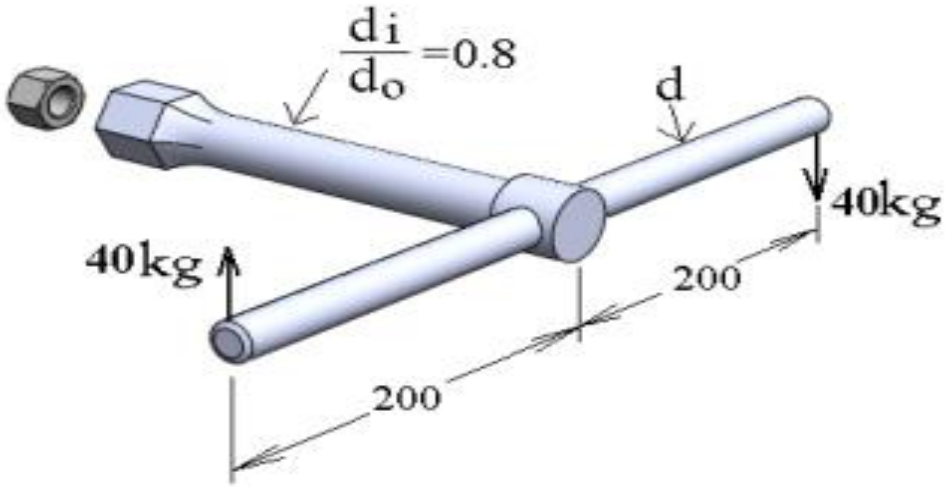



**نقل القوّة على حاملها (زلق القوة):** من حيث التأثير الخارجي على الأجسام يمكن نقل القوّة على حاملها دون أن يغيّر ذلك من تأثير هذه القوّة.




**النقل المتوازي للقوّة:** من حيث التأثير الخارجي على الأجسام يمكن نقل القوّة من حاملها إلى حامل آخر يوازيه ولكن يُشترط إضافة عزم هو نفسه عزم القوّة محسوباً من مكانها القديم حول مكانها الجديد.

**مسألة** يبيّن الشّكل نموذجاً لأحد مفاتيح فك وتركيب الصواميل يخضع لتأثير التحميل المبيّن والمطلوب:

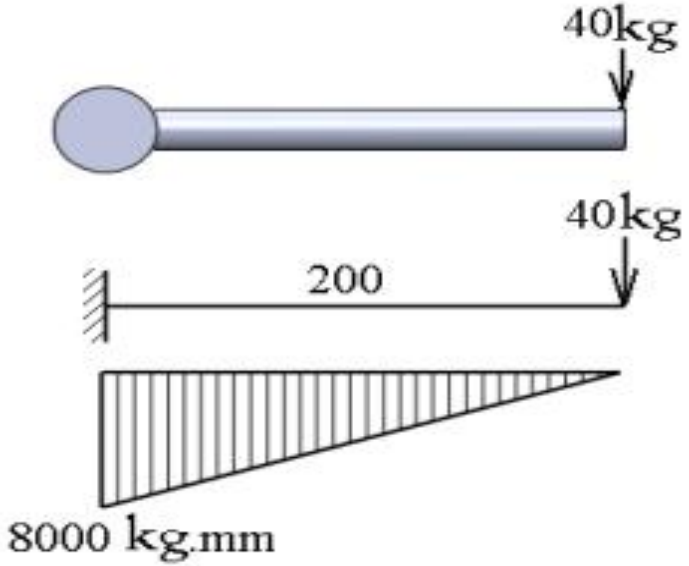



1- حساب قطر ذراع التدوير حيث إنّ مقطعه دائري مصمت؟

2- حساب القطر الداخلي والخارجي لساق المفتاح حيث مقطعه مفرّغ

مادّة الجائز $\sigma_y = 20\ \text{kg/mm}^2$ ، عامل الأمان f.s=1.5

**الحل**



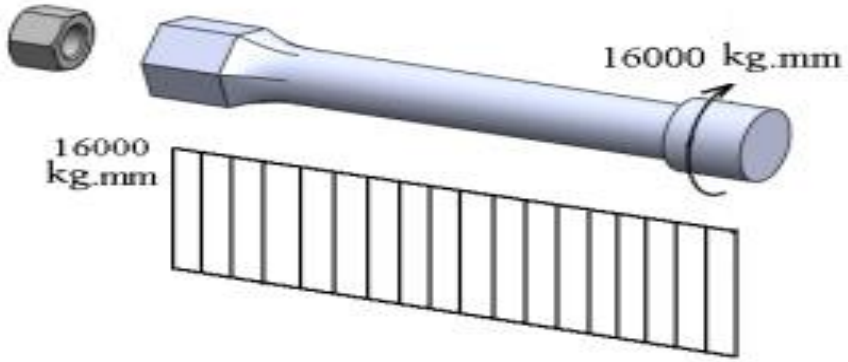

1- تصميم ذراع التدوير: يخضع ذراع التدوير إلى الانحناء وعند رسم مخطّط الانحناء يستبين أنّ المقطع الخطر يكون في مقطع اتصاله مع ساق المفتاح كما هو مبيّن في الشكل.

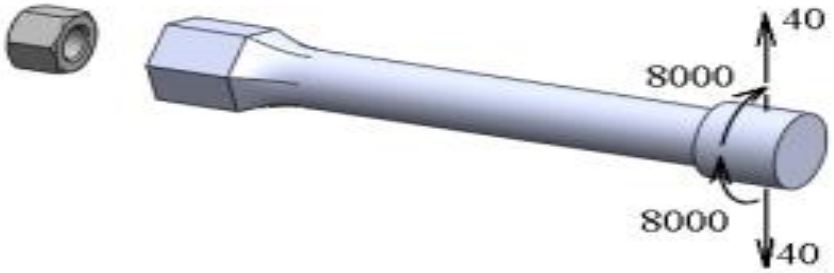
يُصمّم الذراع على إجهاد الانحناء وفق:

$$\sigma = \frac{32\,M_b}{\pi d^3} = \sigma_{all} \Rightarrow \frac{32 \times 8000}{\pi d^3} = \frac{20}{1.5}$$

$$\Rightarrow d = 18.28\ \text{mm} \Rightarrow d = 20\ \text{mm}$$

2- تصميم ساق المفتاح: ننقل القوى بحيث تؤثّر على طرف الساق مع اعتبار مكان الصامولة كوثاقة، نلاحظ أنّ القوى تفني بعضها والعزوم الناتجة عن نقل القوى تؤثر كعزوم فتل على الساق تُحصّل بعزم فتل واحد كما يبين الشكل.



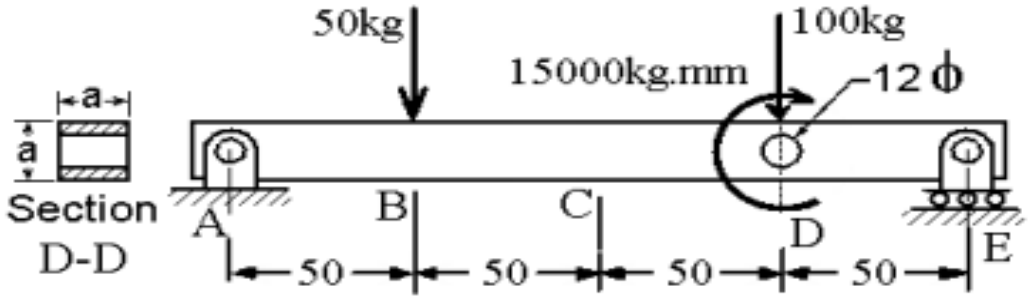




يبيّن رسم مخطط الفتل أنّ جميع المقاطع لها نفس الخطورة ويُصمم المقطع وفق:

$$\tau = \frac{16\,M_t}{\pi\, d_o^3\left[1-\left(\frac{d_i}{d_o}\right)^4\right]} = \tau_{all} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{16 \times 16000}{\pi\, d_o^3[1-(0.8)^4]} = \dfrac{10}{1.5} \\ \Rightarrow d_o = 27.46\ \text{mm} \\ \Rightarrow d_o = 30\ mm\ , \quad d_i = 24\ \text{mm} \end{cases}$$

**مسألة**

جائز بسيط مقطعه مربع 20x20 فيه ثقب عرضي قطره 12mm يخضع للحمولات كما هو مبيّن في الشكل والمطلوب حساب عوامل الأمان للنقطة الخطرة في كل من المقاطع B, C, D المادة: St42 ؟



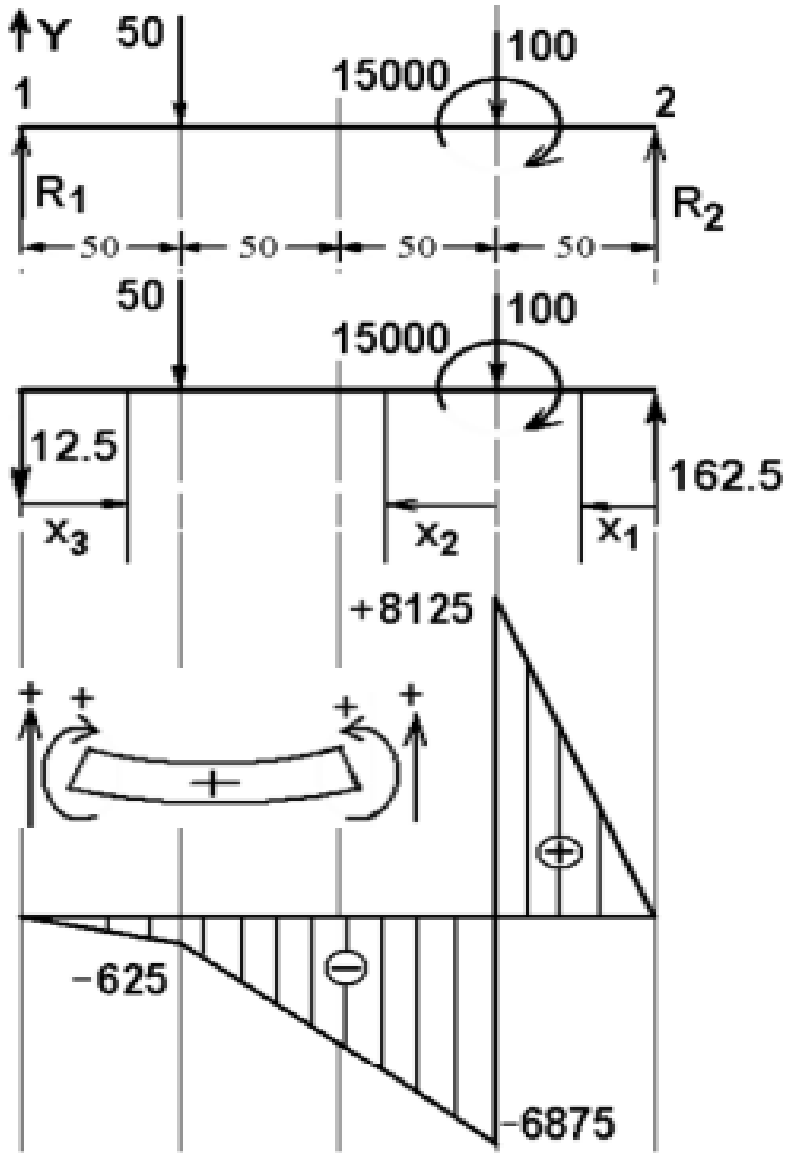

**الحل**

1- يخضع الجائز إلى الإنحناء ويُصمّم وفق الإجهاد الناظمي.

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \sigma_{all}$$

نحدّد أولاً المقطع الخطر برسم مخطّط عزم الانحناء المؤثر على الجائز الذي يتطلب أولاً حساب ردود الأفعال بالاعتماد على معادلات التوازن:

$$\sum M_2 = 0 \Rightarrow 100 \times 50 + 50 \times 150$$
$$-15000 - R_1 \times 200 = 0$$




$$\Rightarrow R_1 = -12.5daN$$

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow R_1 - 50 - 100 + R_2 = 0$$

$$\Rightarrow -12.5 - 50 - 100 + R_2 = 0$$

$$\Rightarrow R_2 = 162.5\text{kg}$$

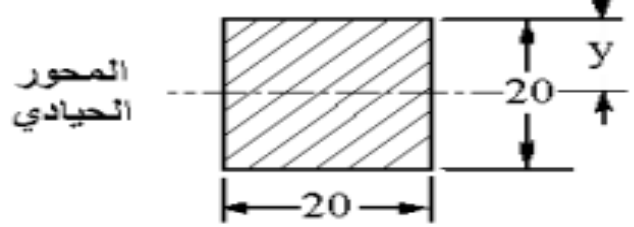
يعتمد رسم مخطّط عزم الانحناء على دراسة العزم الداخلي في المقاطع مع اصطلاح جهة التقوّس المبيّنة على الشكل.

$$M_1 = +162.5X_1 \begin{cases} X_1 = 0 \Rightarrow M_1 = 0 \\ X_1 = 50 \Rightarrow M_1 = 8125 \end{cases}$$

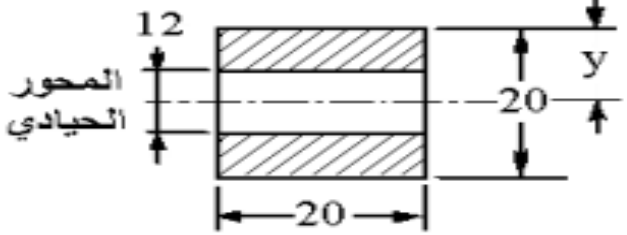
$$M_2 = +162.5(50 + X_2) - 15000 - 100X_2$$

$$\rightarrow \begin{cases} X_2 = 0 \Rightarrow M_2 = -6875 \\ X_2 = 100 \Rightarrow M_2 = -625 \end{cases}$$

$$M_3 = -12.5X_3 \begin{cases} X_3 = 0 \Rightarrow M_3 = 0 \\ X_3 = 50 \Rightarrow M_3 = -625 \end{cases}$$




المقاطع B , C




المقطع D

عامل الأمان في المقطع B:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{\sigma_y}{f.s} \Rightarrow \frac{625 \times 10}{(20^4/12)} = \frac{21}{f.s} \Rightarrow f.s = 44.8$$

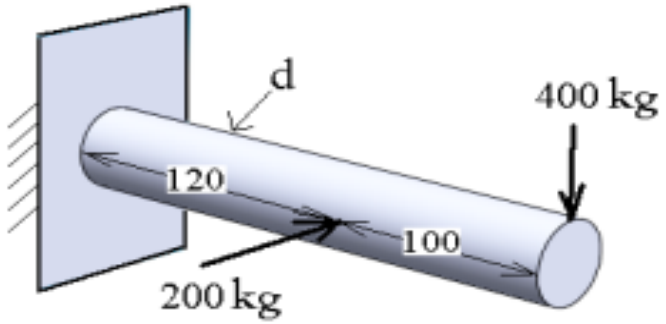
عامل الأمان في المقطع C:

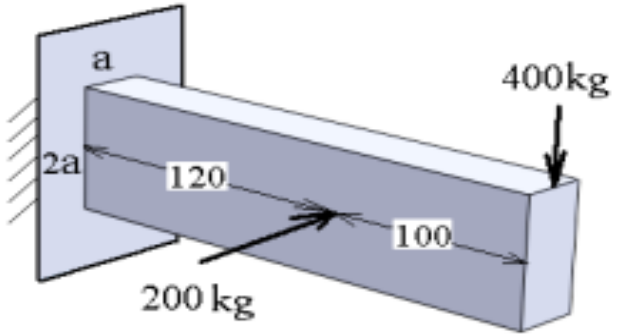
$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{\sigma_y}{f.s} \left\{ \begin{array}{l} M_b = M_{2(X_2=50)} = -3750 \\ y = 10 \\ I = (20^4/12) \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{3750 \times 10}{(20^4/12)} = \frac{21}{F.S} \Rightarrow f.s = 7.5$$

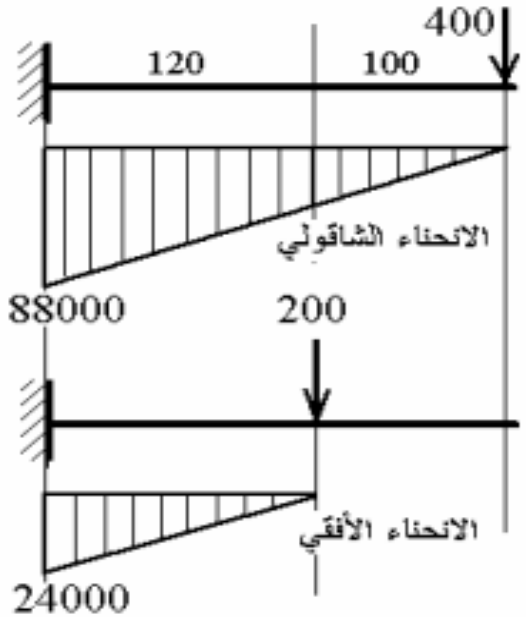
عامل الأمان في المقطع D:

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{\sigma_y}{f.s} \left\{ \begin{array}{l} M_b = 8125\ kg.mm \\ y = 10\ mm \\ I = \dfrac{20^4}{12} - \dfrac{20\,(12)^3}{12} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{8125 \times 10}{\dfrac{20^4}{12} - \dfrac{20\,(12)^3}{12}} = \frac{21}{f.s} \Rightarrow F.S = 2.7$$

**مسألة** احسب أبعاد المقطع لجائز موثوق في حالتين (مقطع مستطيل أبعاده $a\times 2a$ ، مقطع دائري قطره d) والذي يخضع لتحميل شاقولي وتحميل أفقي كما هو مبيّن في الشكل؟ $\sigma_y = 18\ \mathrm{kg/mm^2}$ وعامل الأمان f.s=1.5



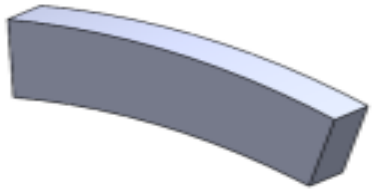



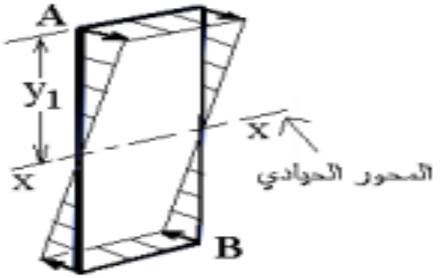

**الحل**

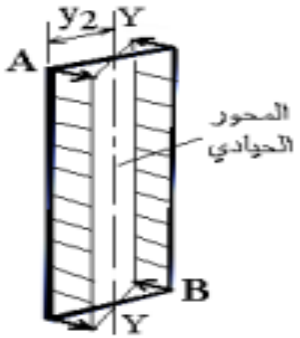
يخضع الجائز إلى الانحناء في مستويين ويتم تحديد المقطع الخطر برسم مخططي الانحناء الشاقولي والأفقي ويتبيّن من المخطّطات أنّ المقطع الخطر هو مقطع الوثاقة وعليه:

$$M_b^V = 88000\ \mathrm{kg.mm}$$
$$M_b^H = 24000\ \mathrm{kg.mm}$$

**حالة المقطع المستطيل:** نبيّن في الشّكل توزّع الإجهادات على المقطع الخطر ومنها يتبيّن أنّ النقطة الخطرة هي A أو B والتصميم عليها.








$$\sigma_{max} = \sigma_V + \sigma_H = \sigma_{all}$$

$$\Rightarrow \frac{M_b^V \cdot y_1}{I_{XX}} + \frac{M_b^H \cdot y_2}{I_{YY}} = \sigma_{all}$$

$$\frac{88000 \cdot a}{a \cdot (2a)^3/12} + \frac{24000 \cdot a/2}{2a \cdot (a)^3/12} = \frac{18}{1.5}$$

$$\frac{132000}{a^3} + \frac{72000}{a^3} = \frac{18}{1.5}$$

$$\Rightarrow a = 25.71\,\text{mm}$$

**حالة المقطع الدائري:** في هذه الحالة تكون النقطة الخطرة على محيط المقطع في المكان الذي يوافق المحصّلة الشعاعيّة للانحناء الأفقي والشاقولي والتصميم يتم وفق:

$$\left.\begin{aligned} \sigma &= \frac{32\,M_b^T}{\pi d^3} = \sigma_{all} \\ M_b^T &= \sqrt{(M_b^V)^2 + (M_b^H)^2} = 91214 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{32 \times 91214}{\pi d^3} = \dfrac{18}{1.5} \\ \Rightarrow d = 42.62\,\text{mm} \end{cases}$$

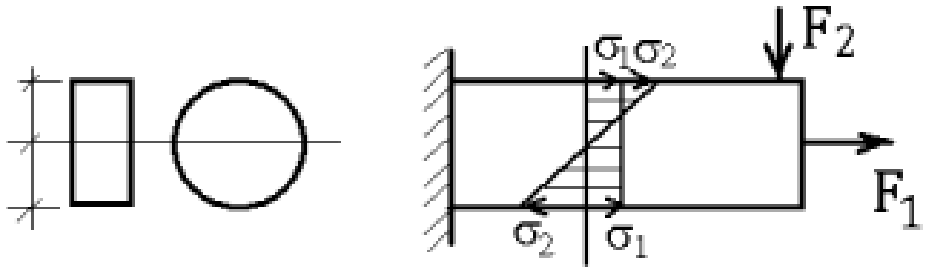
# الإجهادات في حالات التحميل المركّبة

في هذه الحالات يكون للإجهادات في النقطة الخطرة أكثر من مصدر.

## 1- حالة انحناء مع قوة محوريّة

ندرس حالة المادّة مطيليّة حيث انهيار الشد مساوي لانهيار الضغط.

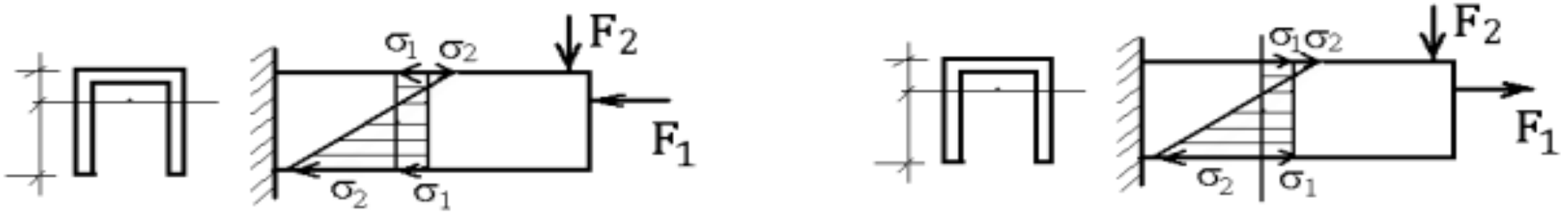
**حالة مقطع متناظر بالنسبة للمحور الحيادي** (مستطيل، دائرة):




النقطة الخطرة دوماً حيث يجتمع الإجهادين مكان القيمة العظمى لإجهاد الانحناء ولا داعي لرسم توزع الإجهادات ومهما تغيرت اتجاهات القوة والعزم دوما يكون:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

**حالة مقطع غير متناظر بالنسبة للمحور الحيادي:**

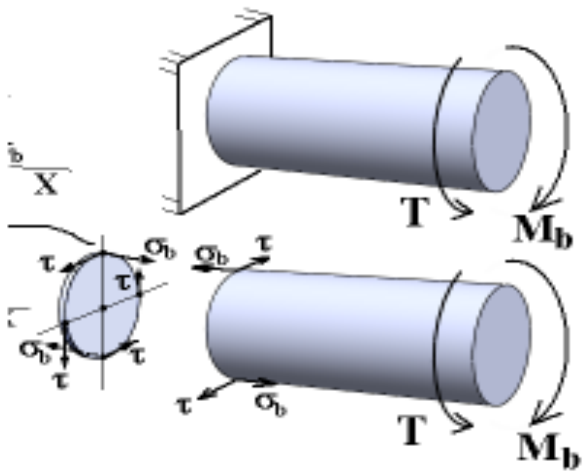



عندما يجتمع الإجهادين في النقطة البعيدة عن المحور الحيادي تكون هي الخطرة وفيها:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

عندما يجتمع الإجهادين في النقطة القريبة من المحور الحيادي يجب حساب محصلة الإجهادين في النقطة القريبة جمعاً وف النقطة البعيدة طرحاً وتكون النقطة الخطرة في المكان ذو المحصلة الأكبر نصمم عليها:

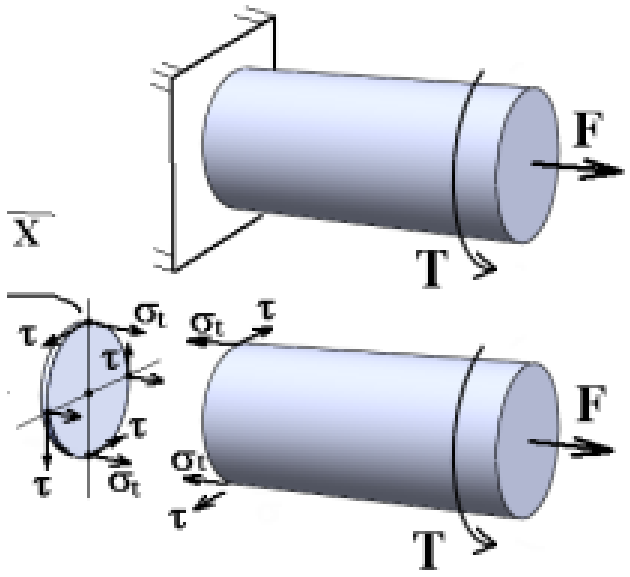
## 2- حالة انحناء مع فتل




يتم التصميم وفق إجهاد القص الأعظمي الذي يتم إيجاده برسم دائرة مور للنقطة الخطرة وللتصميم يجب أن يتحقق:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

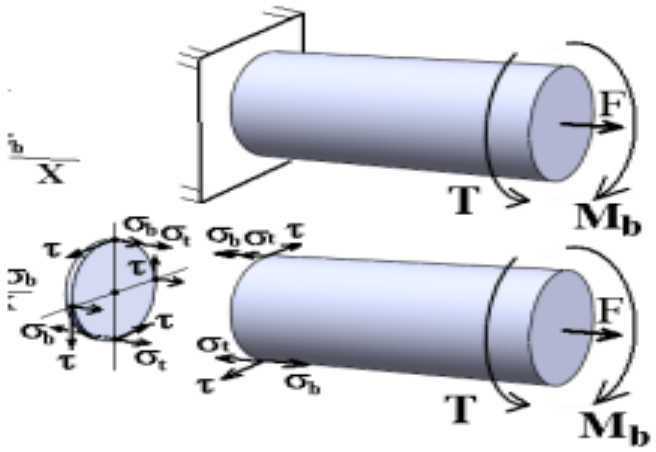
## 3- حالة قوة محورية مع فتل




يتم التصميم وفق القص الأعظمي الذي يتم إيجاده برسم دائرة مور للنقطة الخطرة وللتصميم يجب أن يتحقق:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_t}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

## 4- حالة قوة محورية مع انحناء مع فتل




يتم التصميم وفق القص الأعظمي الذي يتم إيجاده برسم دائرة مور للنقطة الخطرة وللتصميم يجب أن يتحقق:

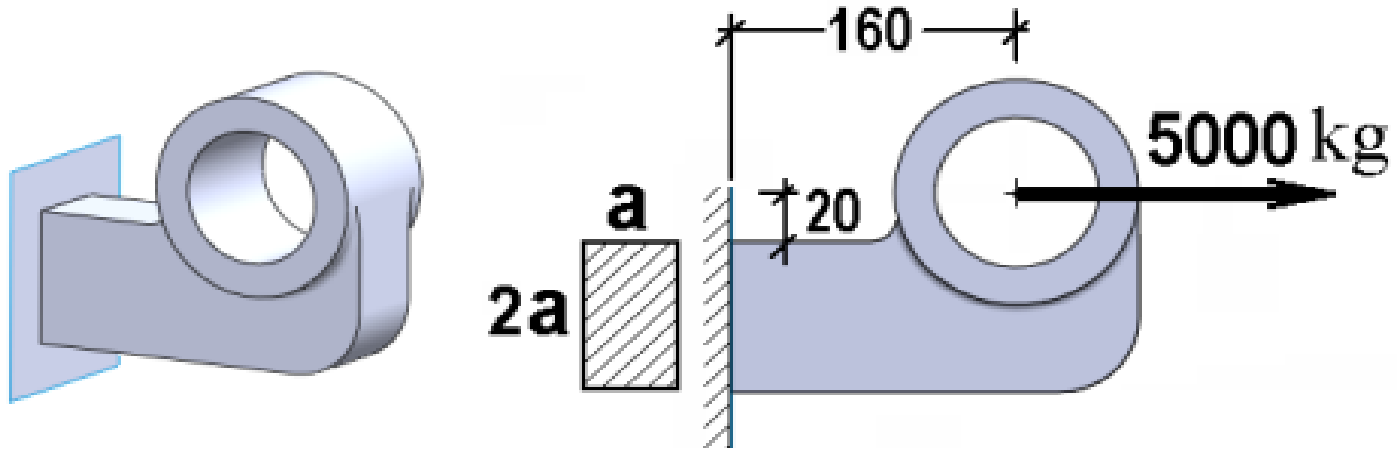
$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all} = \frac{\sigma_y}{2f.s}$$

# معادلات تصميم محور غير دوّار تحت الحمولات الساكنة

يُعتبر المحور جائز ذو مقطع دائري قد يكون مصمت أو مفرَّغ وهو قطعة ميكانيكيّة شائعة الاستخدام لذلك نورد في الجدول التالي معادلات تصميم المقطع الخطر في محور غير دوّار وفقاً لنظريّة القص الأعظمي مستنتجة على أساس حساب الإجهادات في النقاط الخطرة من المقطع الخطر وذلك بوضع $(r_{max} = d/2)$ في علاقة إجهاد الفتل ووضع $(y_{max} = d/2)$ في علاقة حساب إجهاد الانحناء واستخدام علاقات حساب عزوم العطالة لدائرة مصمتة ودائرة مفرّغة.

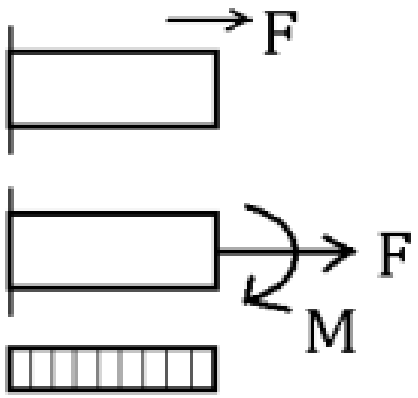
| الحمولة | محور مصمت قطره d | محور مفرغ أقطاره D, d |
|---|---|---|
| قوة محورية | $\frac{4F}{\pi d^2}=\frac{\sigma_y}{f.s}$ | $\frac{4F}{\pi D^2\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}=\frac{\sigma_y}{f.s}$ |
| فتل | $\frac{16M_t}{\pi.d^3}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$ | $\frac{16M_t}{\pi.D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$ |
| انحناء | $\frac{32M_b}{\pi d^3}=\frac{\sigma_y}{f.s}$ | $\frac{32M_b}{\pi D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}=\frac{\sigma_y}{f.s}$ |
| فتل+ انحناء | $\frac{16}{\pi d^3}\sqrt{M_b^2+M_t^2}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$ | $\frac{16}{\pi D^3\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}\sqrt{M_b^2+M_t^2}=\frac{\sigma_y}{2f.s}$ |

**مسألة** يخضع حامل المحور المبيّن في الشكل لتأثير القوّة المبيّنة عليه والمطلوب حساب البعد a لمقطع الحامل عند الوثاقة ؟ مادّة الحامل St42 وعامل الأمان f.s=2.



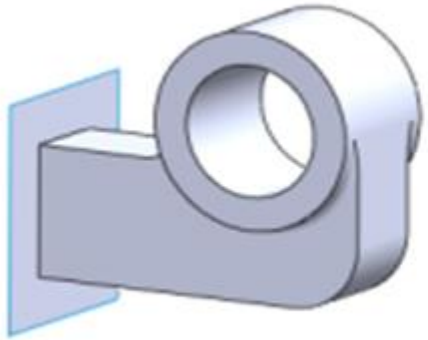

**الحل**

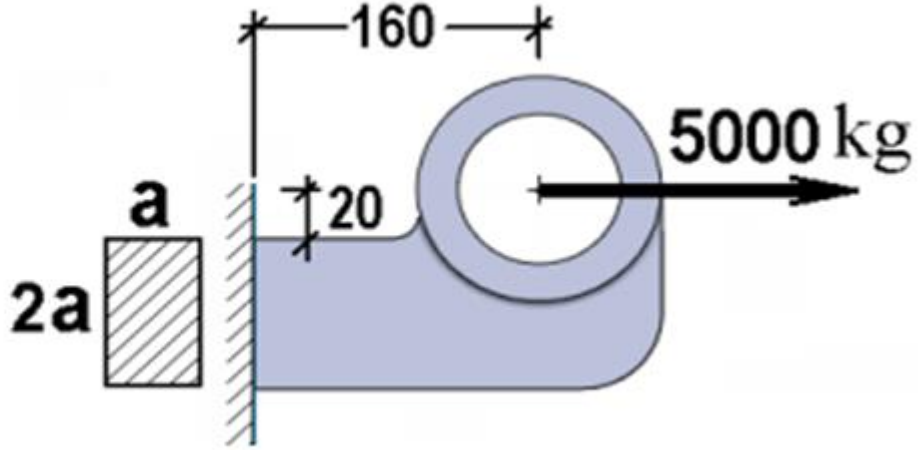
1- نبين على الشكل التالي الحمولة على مقطع الوثاقة يخضع المقطع المدروس لـ

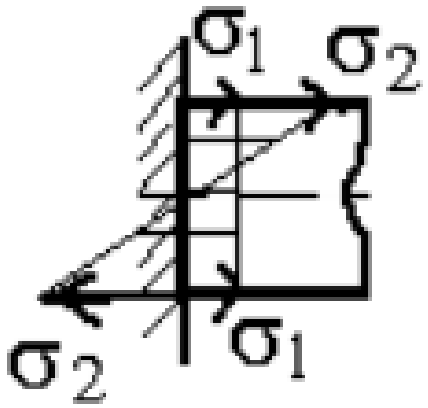



- قوة شد محورية: $F = 5000\ \text{kg}$
- عزم انحناء: $M_b = 5000(20 + a)\ \text{kg} \cdot \text{mm}$

المقطع متناظر بالنسبة للمحور الحيادي والنقطة الخطرة في الأعلى والتصميم يتم وفق:





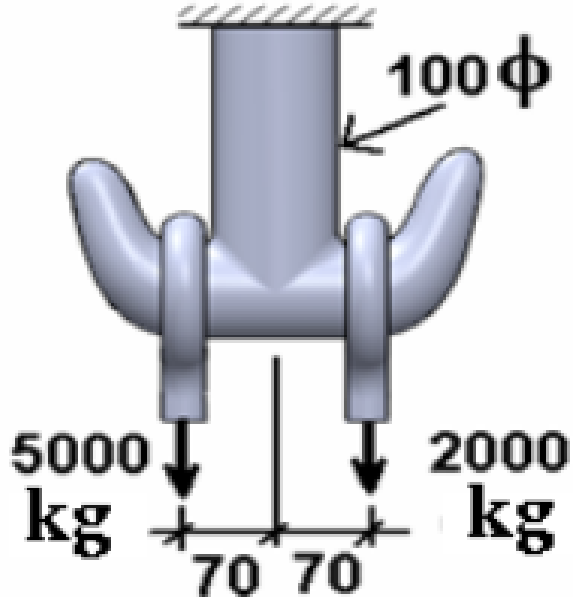

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{all}$$

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} = \frac{5000}{2a \times a} = \frac{2500}{a^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{5000(20+a)a}{a(2a)^3/12} = \frac{150000}{a^3} + \frac{7500}{a^2}$$

$$\frac{2500}{a^2} + \frac{150000}{a^3} + \frac{7500}{a^2} = \frac{42}{2 \times 2} \quad \Rightarrow \quad a = 36.6\text{mm}$$

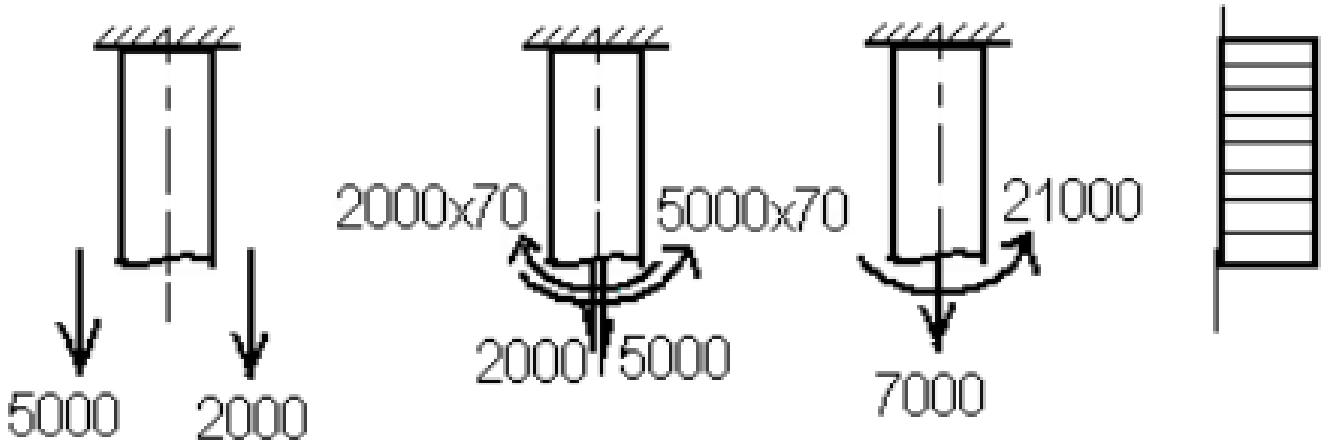
## مسألة




يبيّن الشكل خطّاف مزدوج محمّل بالقوى المبيّنة والمطلوب حساب عامل الأمان للنقطة الخطرة من المحور الرئيسي للخطّاف الذي قطره 100 mm مادّة الخطّاف St42.

**الحل**

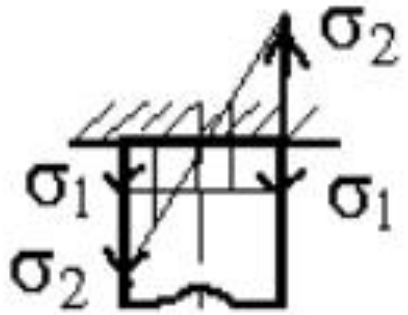
نبين الحمولة على محور الخطاف



يخضع المقطع الخطر (أي مقطع من العمود) لـ

- قوة محورية شادة: $F=7000\ kg$
- عزم انحناء: $M_b= 210000\ kg.mm$

المقطع دائري متناظر بالنسبة للمحور الحيادي والتصميم يتم وفق:

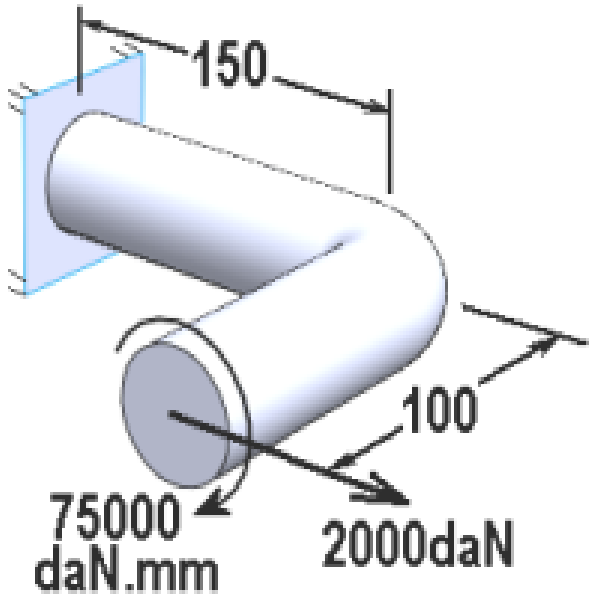



$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\sigma_1 = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4\times 7000}{\pi 100^2} = 0.89\ kg/mm^2$$

$$\sigma_2 = \frac{32M_b}{\pi d^3} = \frac{32\times 210000}{\pi 100^3} = 2.1\ kg/mm^2$$

$$0.89 + 2.1 = \frac{42}{2f.s} \quad \Rightarrow \quad f.s = 7$$

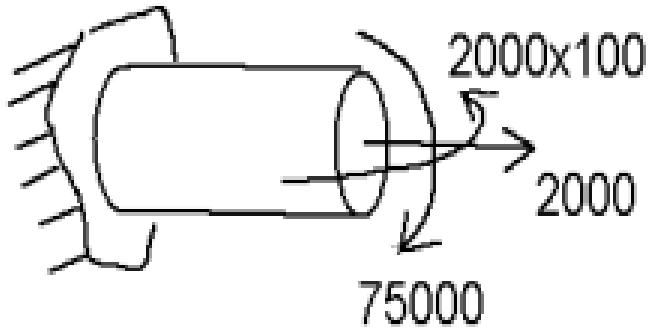



**مسألة** يبلغ قطر الذراع المثني بزاوية قائمة والمبيّن في الشّكل القيمة d=50mm ويخضع للحمولات المبيّنة والمطلوب حساب عامل الأمان في نقطة الإجهاد الأعظمي من الوثاقة؟ مادّة الذراع St50.

**الحل**

نبين الحمولة على مقطع الوثاقة

برسم المخططات (غير مرسومة) نجد أنّ مقطع الوثاقة يخضع لـ:




- قوة محورية شادة: F=2000 kg
- عزم انحناء شاقولي: $M_b$= 75000 kg.mm
- عزم انحناء أفقي: $M_b$= 200000 kg.mm

وبالتالي عزم الانحناء كلي:

$$M_b^T = \sqrt{\left(M_b^V\right)^2 + \left(M_b^H\right)^2} = \sqrt{75000^{\ 2} + 200000^{\ 2}} = 213600 \quad \text{kg.mm}$$

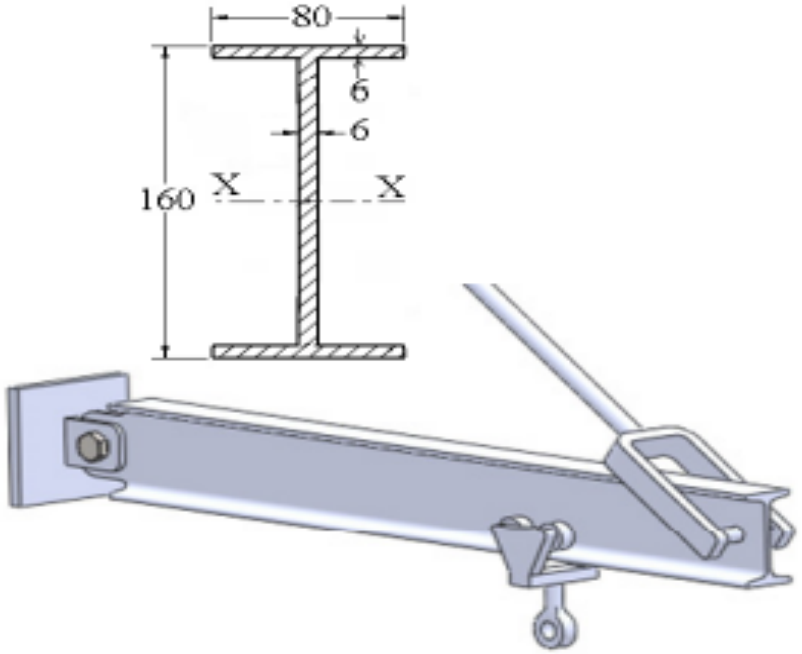
المقطع دائري متناظر بالنسبة للمحور الحيادي والتصميم يتم وفق:

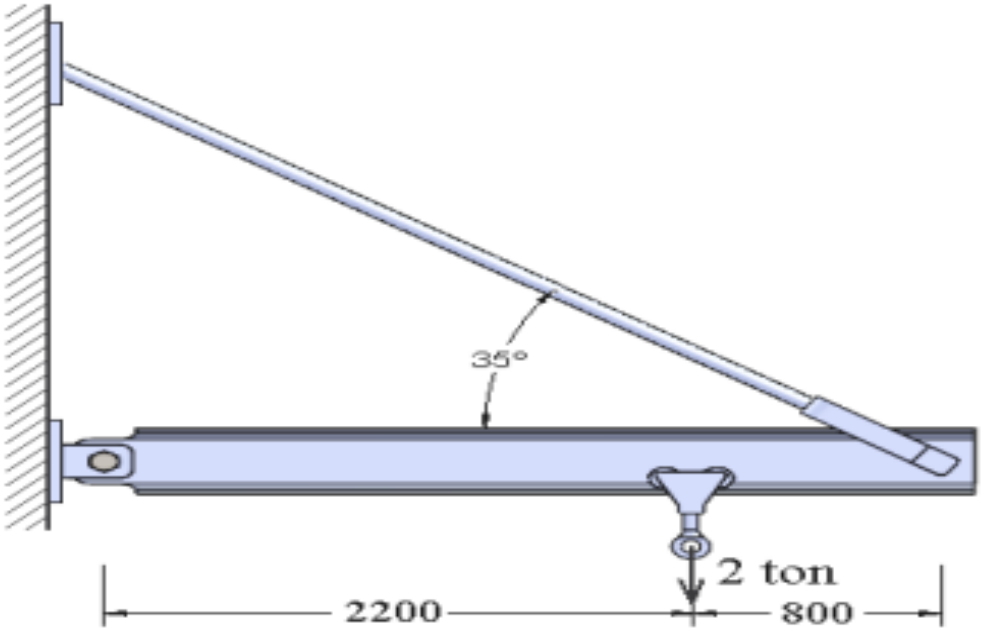
$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{f.s} \quad \begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{4F}{\pi d^2} = \dfrac{4 \times 2000}{\pi (50)^2} = 1.08 \text{ kg/mm}^2 \\ \sigma_2 = \dfrac{32M_b^T}{\pi d^3} = \dfrac{32 \times 213600}{\pi (50)^3} = 17.4 \text{ kg/mm}^2 \end{cases}$$

نعوض:

$$1.08 + 17.4 = \frac{50}{2f.s} \quad \Rightarrow \quad f.s = 1.35$$

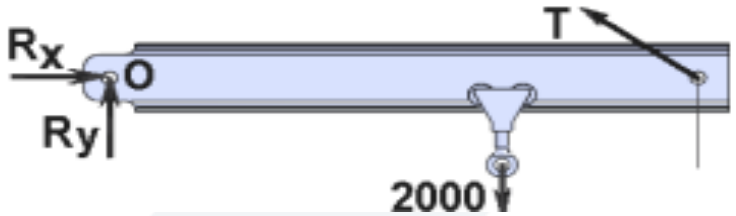
**مسألة** يُبيّن الشكل جسر رافعة مقطعه I معلوم الأبعاد يحمل وزن 2ton في الوضعيّة المبيّنة، المطلوب حساب عامل الأمان للمقطع الخطر لوضعيّة التحميل المبيّنة حيث مادة الجسر St50 ؟

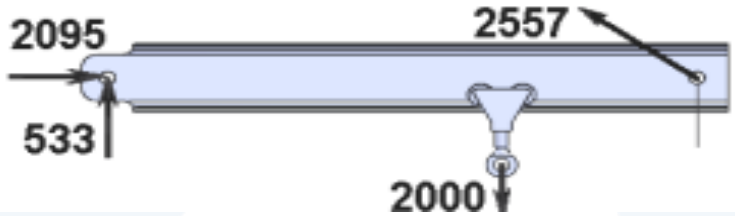


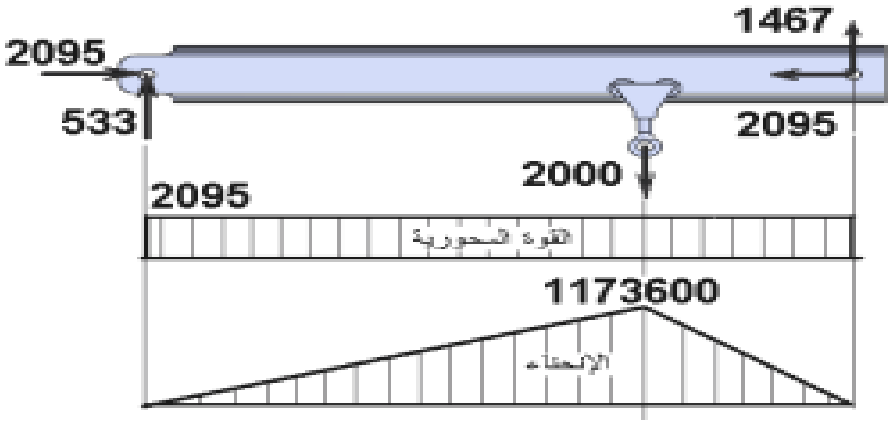

**الحل:**

نحسب قوة الشد في قضيب الدعم ومركبتي رد الفعل في المفصل من دراسة التوازن.



$$\sum M_O = 0 \Rightarrow T \cdot Sin(35) \cdot (3000) - 2000 \times 2200 = 0 \Rightarrow T = 2557 \text{ daN}$$
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow R_x - 2557 \cdot Cos(35) = 0 \Rightarrow R_x = 2095 \text{ daN}$$
$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_y - 2000 + 2557 \cdot Sin(35) = 0 \Rightarrow R_y = 533 \text{ daN}$$




برسم مخطّطات الحمولة المبيّنة نجد أنّ المقطع الخطر يخضع لـ:

- قوّة ضغط محوريّة: 2095 kg
- عزم انحناء: 1173600 kg.mm

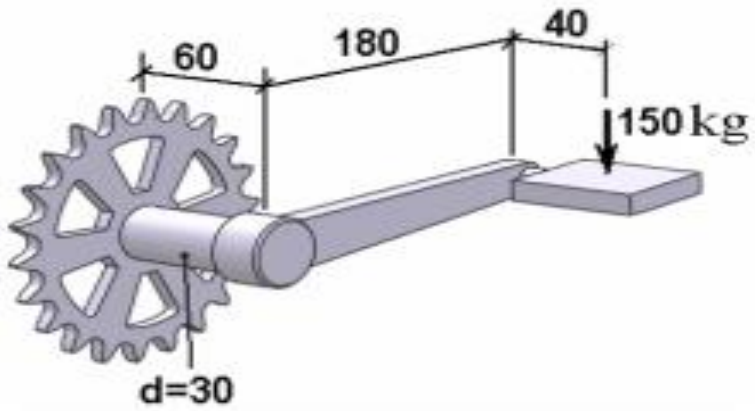
المقطع متناظر بالنسبة للمحور الحيادي ويُحسب الإجهاد الأعظمي الذي يتوضّع في النقاط العلوية من المقطع الخطر وفق:

$$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{R_x}{A} = \frac{2095}{(160-12)\times 6 + 2(80\times 6)} = 1.13 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \\ \sigma_2 &= \frac{M_b \cdot y}{I} = \frac{117360 \cdot 80}{\frac{80(160)^3}{12} - 2\frac{37(148)^3}{12}} = 12.83 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{max} = 1.13 + 12.83 \\ = 14 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \end{cases}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{all} \Rightarrow 14 = \frac{25}{f.s} \Rightarrow f.s = 1.8$$

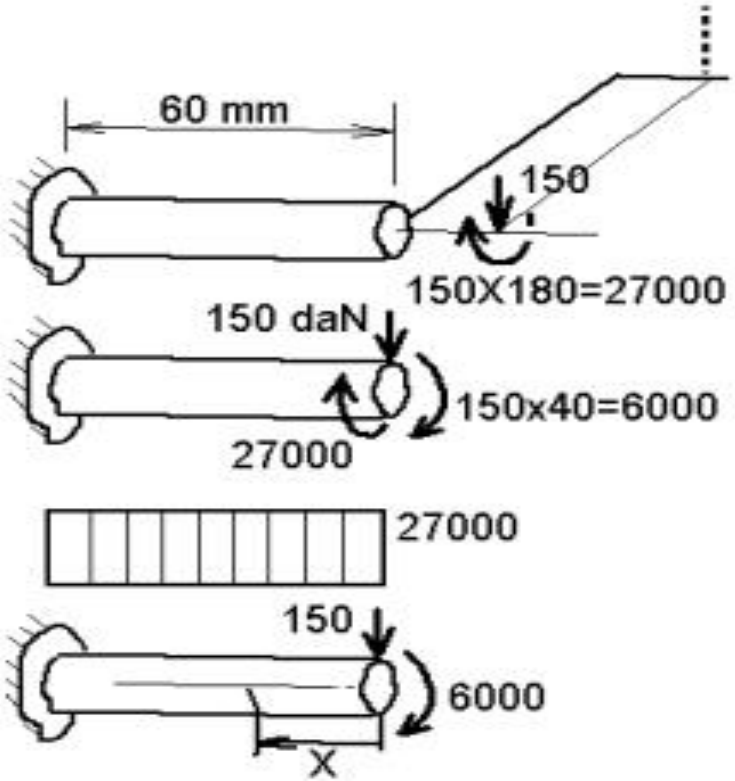
## مسألة




يتم اختبار دوّاسة درّاجة هوائيّة بتطبيق القوّة كما هو مبيّن في الشكل مع تثبيت نجمة التدوير فإذا كان قطر محور نجمة التدوير d=30mm وإجهاد الخضوع لمادّة التصنيع $\sigma_y=25\ kg/mm^2$ .

احسب عامل الأمان لهذا المحور؟

**الحل**




نبيّن تأثير القوّة على المحور بنقلها إلى طرف المحور مع إضافة العزوم الناتجة عن النقل مع اعتبار أنّ مكان اتصال المحور مع نجمة التدوير يُعتبر كوثاقة للمحور. نرسم مخططات الانحناء والفتل لتحديد المقطع الخطر

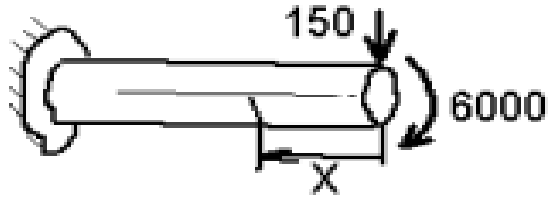
$$M = -6000 - 150\ x \qquad \begin{cases} x = 0 \Rightarrow M = -6000 \\ x = 60 \Rightarrow M = -15000 \end{cases}$$

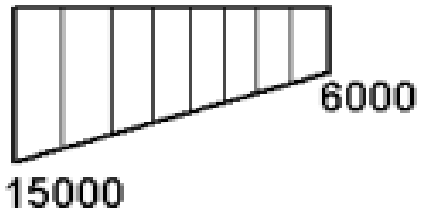
برسم المخططات نلاحظ أنّ المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_b = 15000\ kg \cdot mm \quad \rightarrow \quad \sigma$$

$$M_t = 27000\ kg \cdot mm \quad \rightarrow \quad \tau$$

ويتم تصميم المحور وفق معادلة القص الأعظمي:



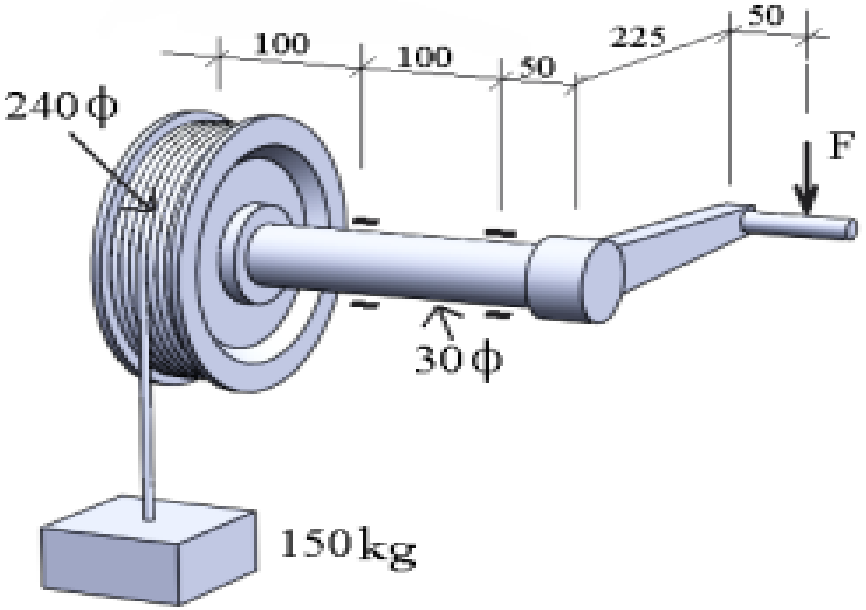

ويتم تصميم المحور وفق معادلة القص الأعظمي:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + (\tau)^2} = \tau_{all}$$

التي تأخذ الشكل التالي لمحور مصمت خاضع لفتل وانحناء:

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi d^3}\sqrt{(M_b)^2 + (M_t)^2} = \tau_{all} \quad \Rightarrow \quad \frac{16}{\pi (30)^3}\sqrt{(15000)^2 + (27000)^2} = \frac{25}{2f.s} \Rightarrow f.s = 2.15$$

## مسألة



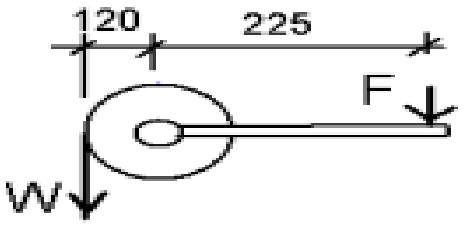

يبيّن الشّكل آليّة رفع تُستخدم لرفع الوزن 150kg والمطلوب:

1- حساب القوّة F اللازمة لحالة التوازن؟

2- بين فيما إذا كان محور حامل البكرة يتحمل الحمولات المطبقة علماً أنّ قطره 35 mm ؟ مادّة المحور St42 f.s=2.

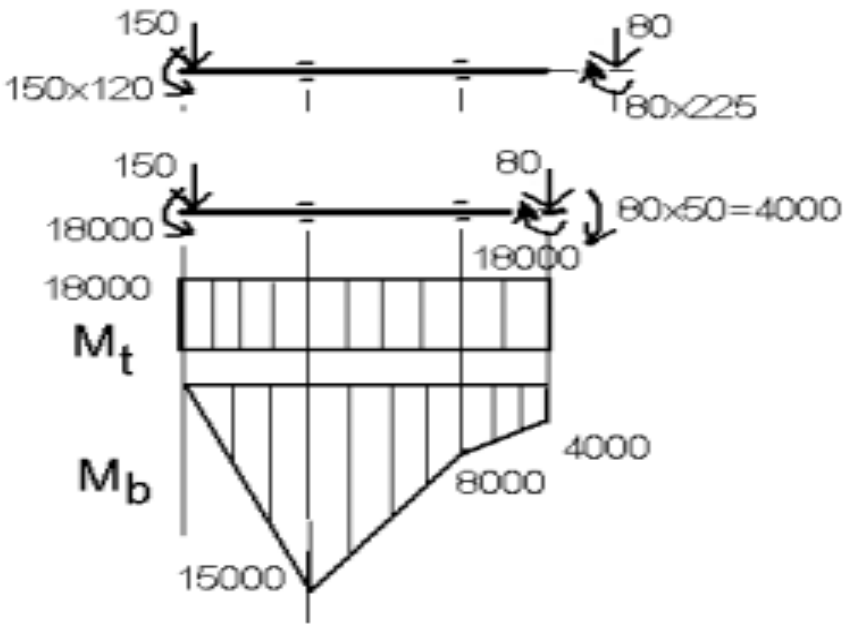
**الحل**

1- من توازن الفتل حول محور الدوران:




$$W \times 120 = F \times 225$$
$$150 \times 120 = F \times 225 \quad \Rightarrow \quad F = 80\,\text{kg}$$

2- يتم الحل بحساب الإجهاد الأعظمي في المحور حسب التحميل والمقارنة مع المسموح به لذلك نبين الحمولات:




برسم المخططات نلاحظ أنّ المقطع الخطر يخضع لـ:

$$M_b = 15000\ \text{kg.mm}$$
$$M_t = 18000\ \text{kg.mm}$$

الإجهاد الأعظمي يحسب وفق معادلة القص الأعظمي التي تأخذ الشكل التالي لمحور مصمت خاضع لفتل وانحناء:

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi \cdot d^3}\sqrt{(M_b)^2 + (M_t)^2}$$
$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi \cdot (35)^3}\sqrt{(15000)^2 + (18000)^2} = 2.78$$
$$\tau_{all} = \frac{\tau_y}{f.s} = \frac{\sigma_y}{2f.s} = \frac{21}{2 \times 2} = 5.25\,\text{kg/mm}^2$$

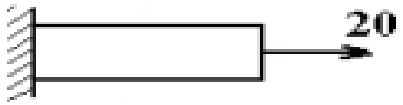
المحور يتحمل

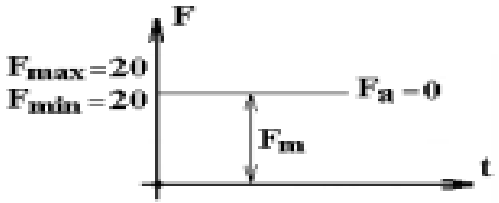
# تصميم العناصر الخاضعة للحمولات المتغيّرة

## الحمولات المتغيرة

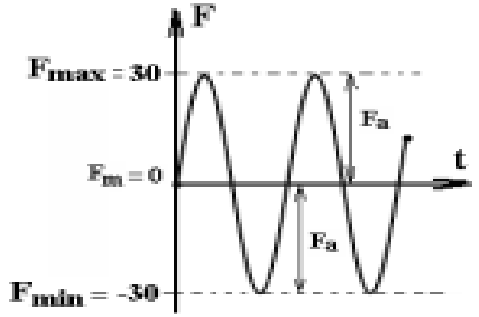
الحمولة المتغيّرة بالتعريف هي الحمولة التي تتغيّر قيمتها أو اتجاهها أو مكان تأثيرها مع الزمن ويمكن أن يشمل التغيّر جميع المقادير السابقة، تنتج الحمولات المتغيّرة بسبب حركة عناصر الآلات وتنتشر الحمولات الدوريّة غالباً في الآلات الدورانيّة ويتغيّر الحمل غالباً بشكل جيبي بسبب الدوران، تبيّن الأشكال اللاحقة المخططات الزمنيّة للأنواع المختلفة للحمولات الدوريّة ممثّلة بقوة محوريّة ومرفقة بمخطط الحمولة الساكنة للتوضيح.

**الحمولة الساكنة** Static load

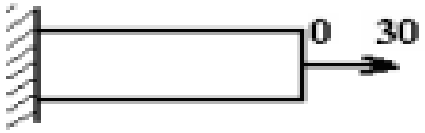


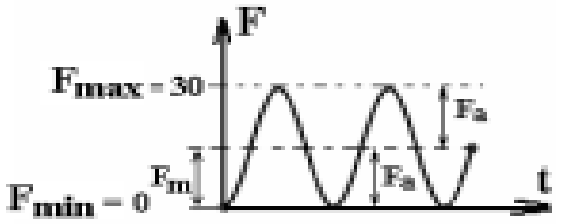




**الحمولة المنعكسة المتناظرة** Fully reversed load

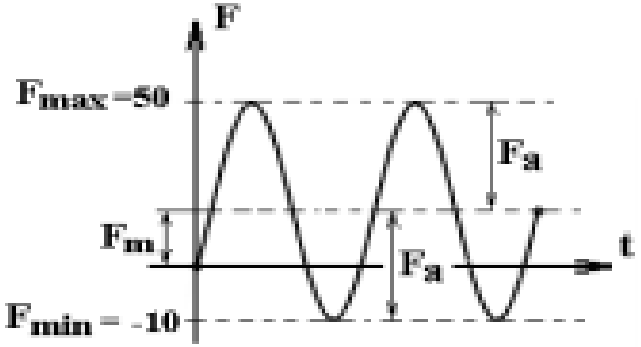


## Repeated load الحمولة المتكررة

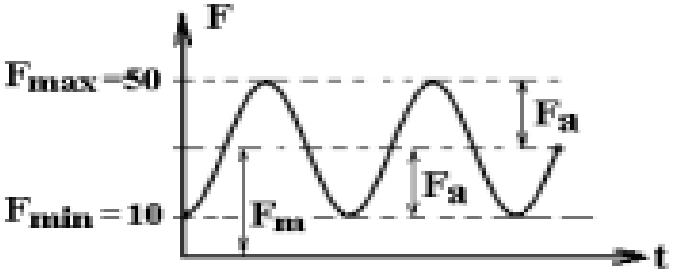



## Alternating load الحمولة المنعكسة غير المتناظرة




## Fluctuating load الحمولة المتراوحة

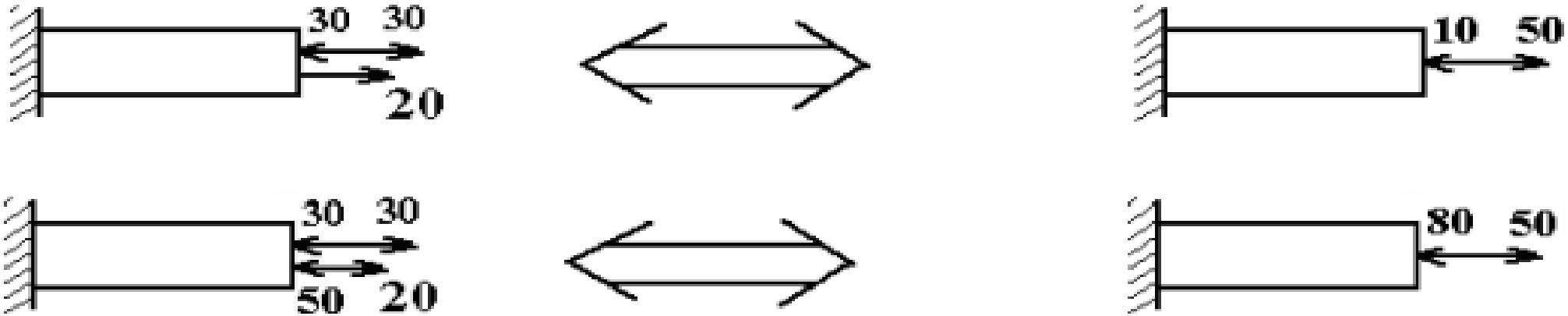


تبيّن المخططات وجود قيمة عظمى $F_{max}$ وقيمة صغرى $F_{min}$ للحمولة وبالتالي يتم تعريف قيمة وسطية $F_m$ وقيمة متناوبة $F_a$ وفق العلاقات:

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}, \quad F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

**جمع الحمولات الساكنة والمتغيرة**

عندما تؤثر الحمولات في نفس النقطة تجمع كما يلي:

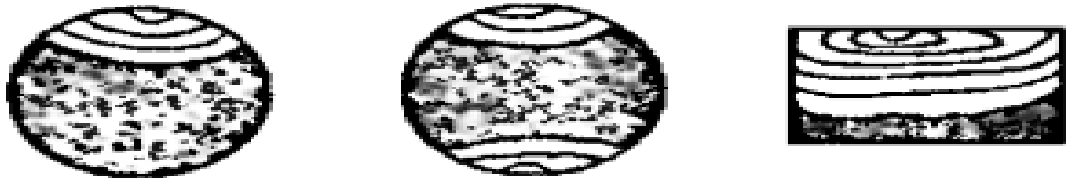


# ظاهرة انهيار المواد بالتعب

يبدأ انهيار التعب بشق Crack قد يكون موجوداً في المادّة منذ إنتاجها أو أنّه ينشأ مع الوقت بآلية حصول خضوع موضعي في مناطق تركيز الإجهادات التي قد تكون معالماً هندسيّةً للجسم أو أماكن تواجد جزيئات غير المادّة الأصليّة أو على حدود البلّورات.

حالما ينشأ الشق الميكروسكوبي تتركّز الإجهادات بشكل أكبر على الزوايا الحادّة للشق ويؤدي تردّد الإجهاد إلى فتح وإغلاق الشق وبالتالي توسّعه على طول المستوي العمودي على إجهاد الشد الأعظم ويستمر الشق بالنمو ما دامت دورة الإجهاد قائمة حتى الوصول إلى مرحلة يصبح فيها الشق كبيراً وتصبح مساحة المقطع الباقية صغيرة على مقاومة الإجهاد عندها يحدث الكسر الفجائي في أول دورة شد لاحقة للإجهاد.

عند فحص مقطع الكسر في عيّنة مكسورة بالتعب نجد أنّها تحتوي على منطقة بشكل أمواج لامعة وأخرى باهتة خشنة، تقابل المنطقة اللامعة مرحلة انتشار الشق وينتج اللمعان بفعل احتكاك السطوح مع بعضها عند فتح وإغلاق الشق الذي يؤدّي إلى تنعيم السطوح، وتقابل المنطقة الخشنة مرحلة الكسر الفجائي النهائي وهذا مبيّن في الشكل.



## حد التعب المعدل وعوامل تعديل حد التعب

من أجل استخدام قيمة حد التعب في التصميم لا بد من إدخال تصحيحات على هذه القيمة تأخذ بعين الاعتبار الفروق بين العيّنة المختبَرة والقطعة موضوع التصميم من مناحي متعددة وبالتالي نعرف حد التعب المعدل

وفق العلاقة التالية:

$$S_{nr} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_g \cdot S'_{nr}$$

عامل تصحيح حالة السطح (ka) ، عامل تصحيح الحجم (kb) ، عامل تصحيح الوثوقية (kc) ، عامل تركيز إجهادات التعب (kf) ، عامل تصحيح درجة الحرارة (ke) ، العوامل الأخرى (kg)

# التصميم في الحمولات الدورية البسيطة (معادلة سودربرغ)

لهذه الحالات نحسب إجهاد مكافئ ساكن للحمولة المتغيرة والتصميم وفق:

$$\sigma_m + \frac{\sigma_a \, \sigma_y}{A \, S_{nr}} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\tau_m + \frac{\tau_a \, \tau_y}{A \, S_{nr}} = \frac{\tau_y}{f.s}$$

حيث $\sigma_m, \sigma_a$ الإجهادين المتناوب والمتوسط، $\sigma_y, \tau_y$ حد الخضوع في القص وفي الشد للمواد المطيليّة، $S_{nr}$ حد التعب المعدل ، A عامل الحمولة يؤخذ وفق ما يلي:

- من أجل إجهاد ناتج عن انحناء يُؤخذ A=1
- من أجل إجهاد ناتج عن قوّة محوريّة يُؤخذ A=0.7
- من أجل إجهاد ناتج عن فتل أو قص يُؤخذ A=0.6

٩

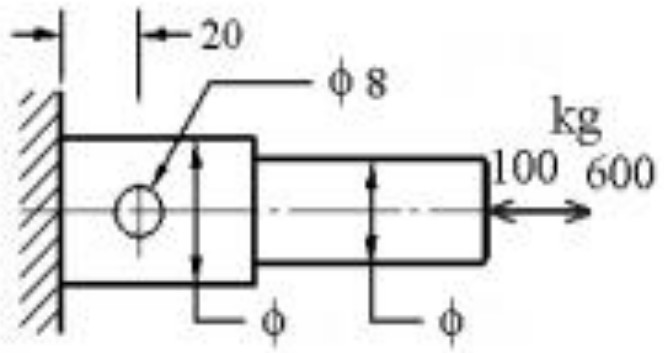
محور موثوق متدرّج المقطع يخضع لتأثير قوّة محوريّة متغيّرة كما هو مبيّن في الشكل والمطلوب:

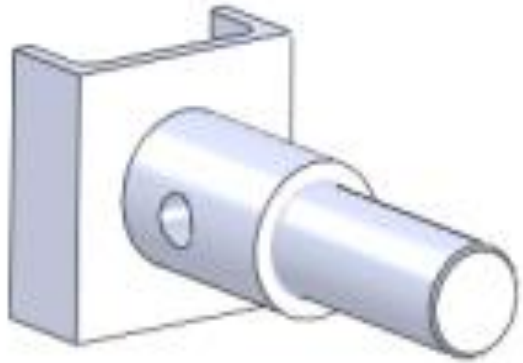
1- رسم مخطط تغير الحمولة مع الزمن

2- حساب قطر المحور في جزئيه؟ معطيات مادّة المحور: $St_{42}$ $\sigma_y=0.7\sigma_u$ $S'_{nr}=0.5\sigma_u$ $f.s=2.5$

جداء عوامل تعديل حد التعب عند مقطع تغير القطر 0.8.

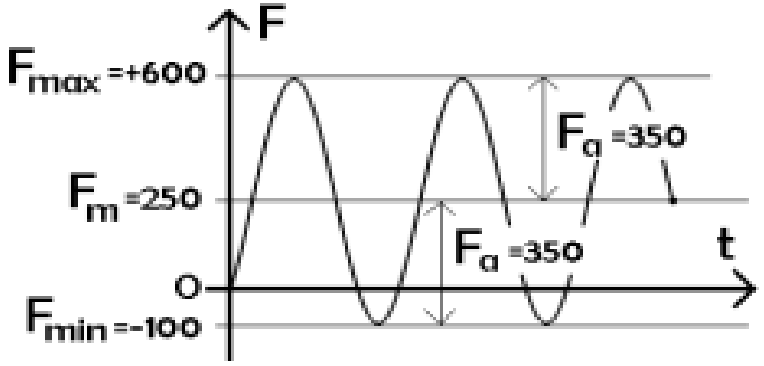
جداء عوامل تعديل حد التعب عند مقطع وجود الثقب 0.54.



ملاحظة: يتم تحديد القيمة العظمى والصغرى للحمولة كما يلي:

القيمة العظمى هي الحد ذو القيمة الأكبر وإشارته موجبة دوماً أما القيمة الصغرى فهي الحد ذو القيمة الأصغر وإشارته موجبة إذا وافق الحد الأكبر بالاتجاه وسالبة إذا عاكس الحد الأكبر بالاتجاه.




-1

2- تصميم الجزء AB : يتوضّع المقطع الخطر عند التغيّر الفجائي في المقطع ويخضع لقوّة محوريّة متغيّرة:

$$F_{max} = +600 \qquad F_{min} = -100$$

نصمم وفق معادلة سودربرغ:

$$\sigma_m + \frac{\sigma_a \cdot \sigma_y}{A \cdot S_{nr}} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\sigma_y = 0.7\sigma_u = 0.7 \times 42 = 29.4\,\text{kg/mm}^2$$

$$A = 0.7$$

$$S'_{nr} = 0.5\sigma_u = 0.5 \times 42 = 21 \Rightarrow S_{nr} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_g \cdot S'_{nr} = 0.8 \times 21 = 16.8\,\text{kg/mm}^2$$

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} = \frac{600 + (-100)}{2} = 250\ \text{kg} \Rightarrow \sigma_m = \frac{4F_m}{\pi\, d^2} = \frac{4 \times 250}{\pi\, d^2}$$

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} = \frac{600 - (-100)}{2} = 350\ \text{kg} \Rightarrow \sigma_a = \frac{4F_a}{\pi\, d^2} = \frac{4 \times 350}{\pi\, d^2}$$

نعوّض في معادلة سودربرغ:

$$\frac{4 \times 250}{\pi \cdot d^2} + \frac{4 \times 350 \times 29.4}{\pi \cdot d^2 \times 0.7 \times 16.8} = \frac{29.4}{2.5} \Rightarrow d = 11\ mm$$

2- تصميم الجزء CD : يتوضّع المقطع الخطر عند مقطع وجود الثقب ويخضع لقوّة محوريّة متغيّرة:

$$F_{\max} = +600, \qquad F_{\min} = -100$$

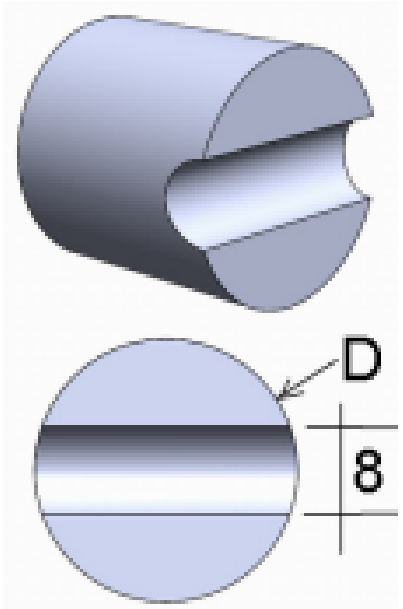
نصمم وفق معادلة سودربرغ:

$$\sigma_m + \frac{\sigma_a \cdot \sigma_y}{A \cdot S_{nr}} = \frac{\sigma_y}{f.s}$$

$$\sigma_y = 0.7\sigma_u = 0.7 \times 42 = 29.4\,\text{kg/mm}^2$$

$$A = 0.7$$

$$S'_{nr} = 0.5\sigma_u = 0.5 \times 42 = 21 \Rightarrow S_{nr} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_g \cdot S'_{nr} = 0.54 \times 21 = 11.34\,\text{kg/mm}^2$$




$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} = \frac{600 + (-100)}{2} = 250\text{kg} \Rightarrow \sigma_m = \frac{F_m}{Area} = \frac{250}{\frac{\pi D^2}{4} - 8D}$$

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} = \frac{600 - (-100)}{2} = 350\text{kg} \Rightarrow \sigma_a = \frac{F_a}{Area} = \frac{350}{\frac{\pi D^2}{4} - 8D}$$

نعوّض في معادلة سودربرغ:

$$\frac{250}{\left(\frac{\pi D^2}{4} - 8D\right)29.4} + \frac{350}{\left(\frac{\pi D^2}{4} - 8D\right) \times 0.7 \times 11.3} = \frac{1}{2.5} \Rightarrow D = 18.07\text{ mm}$$

# حساب الاجهادات

**إجهاد الشد أو الضغط**

$$\sigma_{x,d} = \frac{F}{A} \qquad (1.2)$$

**إجهاد الانعطاف**

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \qquad (2.2)$$

حيث إن:

$M_b$ : عزم الانعطاف المؤثر على الشغلة ويقاس بـ(N.m).

$W_b$ : عزم المقاومة للمقطع المعني. ويقاس بـ $(mm^3)$ ويعطى بالعلاقة:

$$W_b = \frac{I}{e} \qquad (3.2)$$

حيث إن:

I : عزم عطالة السطح حول محور الانعطاف وتقاس بـ$(mm^4)$.

e : المحور المحايد وهو المحور الذي يمر من المنتصف ويقاس بـ(mm).

إن عزم العطالة والمحور المحايد يؤخذ من جداول المقاومة.

**-إجهاد القَص النَاتج عن قوة عرضية .**

$$\tau_s = \frac{F}{A} \qquad (4.2)$$

**-إجهاد القَص النَاتج عن عزم فتل .**

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \qquad (5.2)$$

حيث إن:

$M_t$ : عزم الفتل المؤثر على الشغلة ويقاس بـ(N.m).

$W_t$ : عزم المقاومة للمقطع في حالة الفتل ،ويقاس بـ $(mm^3)$ ويعطى بالعلاقة:

$$W_t = \frac{I_p}{r} \qquad (6.2)$$

حيث إن:

$I_p$ : عزم عطالة السطح القطبي وتقاس بـ$(mm^4)$.

r : نصف القطر ويقاس بـ(mm) .

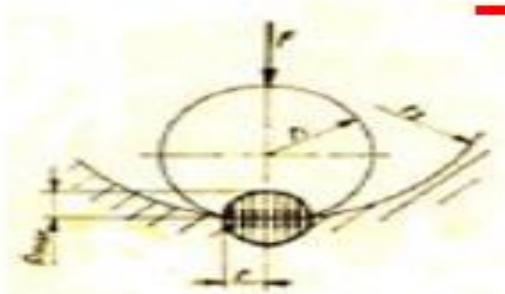
إن عزم العطالة والمحور المحايد يؤخذان من جداول مقاومة المواد.

الرمز ( z ) يرمز الى الشد والرمز ( d ) الى الضغط والرمز ( b ) الى الانعطاف والرمز (t) الى الفتل و الرمز (s) الى القص .

إن عامل الأمان هو حاصل قسمة القيمة المسموح به ا للإجهاد المتكون بالمادة و القيمة الحقيقية للإجهاد الموجود في الجسم ويرمز له بالرمز (υ) و يؤخذ كقيمة تتراوح بين (1.3 و 2) أما عامل أمان الكسر فيؤخذ من نسبة إجهاد الكسر لمعدن القضيب الى الإجهاد المتكون فيه ويرمز له بالرمز ( $\upsilon_b$ ) وتتراوح قيمته من (2...إلى 3 ).

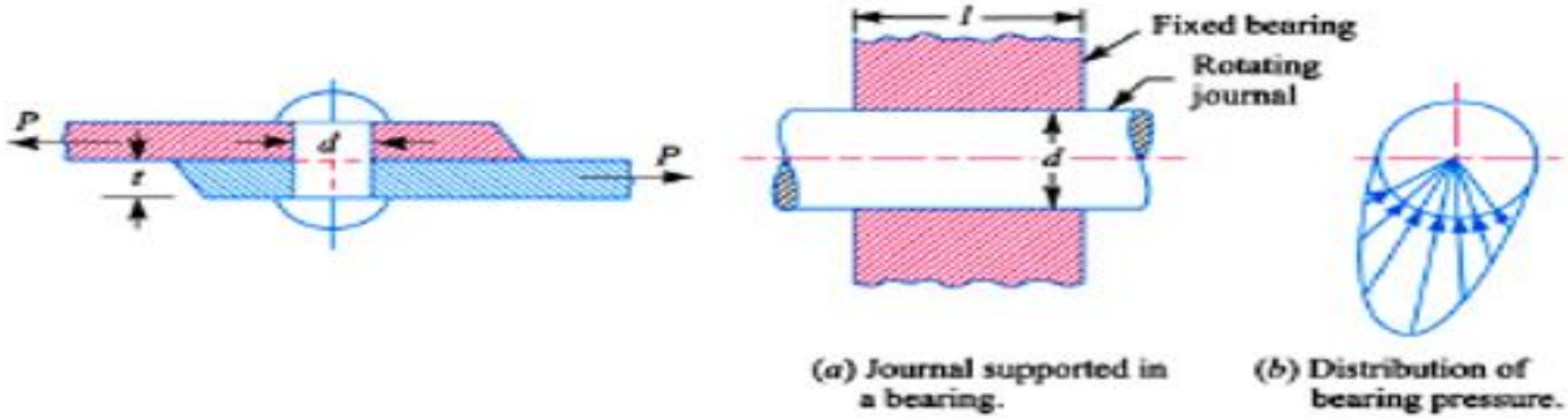
- إجهاد الهصر :

في حالة نقل القوى بواسطة العناصر المتماسة ، كما في المسننات، فإنه ينتج إجهاد هصر في منطقة التلامس الشكل (2–5 ).



(5.2)إجهاد الهصر في كرة داخل كرة مفرغة

وأهم ظهور لإجهاد الهصر هو في البراشيم والمحامل الانزلاقية أو الكروية حسب ما يبينه الشكل( 2–6). ويحسب إجهاد الهصر من حاصل قسمة القوة على السطح المسقط على مستوي تأثير القوة ، ويسمى أيضا توزيع الضغط على السطح والذي يأخذ قيمة عظمى كما في المحامل :




(a) Journal supported in a bearing. (b) Distribution of bearing pressure.

***الشكل ( 2–6 ): اجهاد الهصر في البراشيم (الصورة اليسارية) وفي المحامل(الصورة اليمينية)***

ويحسب إجهاد الهصر من العلاقة:

$$\sigma_c = \frac{P}{d\,t} \qquad (7-2)$$

بالنسبة الى البراشيم

$$\sigma_c = \frac{P}{d.l} \qquad (8-2)$$

بالنسبة الى المحاور

حيث إن:

$\sigma_c$: اجهاد الهصر ويقاس بـ (Mpa).

P: القوة المؤثرة والمتعامدة على السطح وتقاس بالنيوتن(N)

d: قطر البرشام او المحور ويقاس بـ (mm ).

t: سماكة الصفيحة وتقاس ب (mm)

l: طول المحور المتواجد في حقل التأثير ويقاس بـ (mm )

## إجهاد التحنيب وعامل الاستقرار

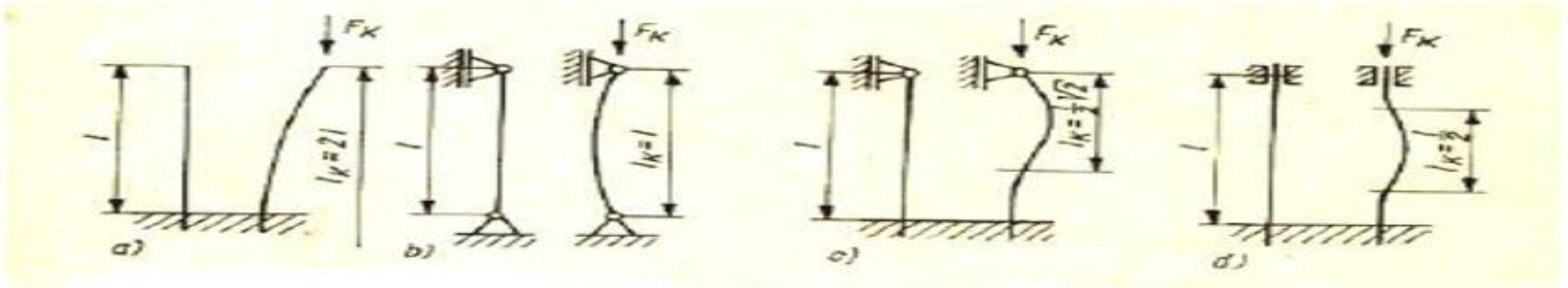
عندما يكون الجائز رفيعاً وطويلاً ويحمل تحميلاً طولياً وعندما تبلغ القوة حدا معينا فان القضيب ينحني كما في الشكل( 7.2) وتسمى هذه الظاهرة (التحنيب)،حيث يتشوه الجائز بشكل كبير و تتشكل فيه إجهادات انعطاف. .إن حساب حمولة التحنيب تتعلق بالنسبة الى طول القضيب وإلى أصغر نصف قطر العطالة وتسمى "عامل التحنيب " أو درجة النحافة ويرمز له بالرمز (λ):

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \qquad (9.2)$$

حيث إن:

$l_k$ : طول الجزء العامل من الجائز .

i : نصف قطر العطالة الأصغري .




الشكل(7.2) :التحنيب في قضيب

a: التثبيت من طرف واحد.

b: التثبيت من طرفين.

c: طرف مثبت بإحكام والطرف الآخر مستند على مفصل متحرك .

d: طرف مثبت بإحكام والطرف الآخر حر في دليل.

إن ($\lambda$) متعلق بنوع المعدن وقد وضع العالم (Euler ) قيما وذلك في حالة التحميل المرن وفيما يلي قيم عامل التحنيب لبعض أنواع الفولاذ.

$\lambda$>100 St38.

$\lambda$>93 St60.

$\lambda$>60 فولاذ نوابض.

$\lambda$>80 حديد صب (GG).

$\lambda$>59 برونز.

$\lambda$>100 خشب إبري.

عندما تكون درجة النحافة ($\lambda$) أقل من (20) تهمل حسابات التحنيب.

# المراجع


AARON.D(Machine Design theory and practice) Macmillan publishing CO New- York

M.F SPOTTS (Design of Machine Elements) prentice Hall India Pvt Limeted

Winkler,J.:Festkoerperbeanspruchung.Fachbuchverlag Leipzig1985

Scheuermann,G.: Verbindungselemente Fachbuchverlag Leipzig1966

Rothbart.H.A.:Mechanical Design and Systems.Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY New York 1964

Moisseif,L.S.,E.F. Hartmannand R.L. Moor: Riveted and Pin-connected Joints of Steel and Aluminum Alloys>ASCE vol.109 1944.

Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.

# المراجع


- Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.
- Belyaev, N. M: Strength of Materials,., Moscow1979.
- Shigley, J. E., Theory of Machines McGraw-Hill Book Company, 1990.
- G James H. Earle Graphics for Engineers, , 5 th ed., Prentice-Hall, UK, 1998
- ديناميك الالات الدكتور محمد نجيب عبد الواحد منشورات جامعة حلب ١٩٩٠٩
- تصميم الالات (1) الدكتورعلاء سيد باكير والمشرف على الأعمال محمد البكار جامعة حلب ٢٠١١
- د.زهير طحان تصميم الالات منشورات جامعة حلب
- دوبروفسكي و اخرون تصميم أجزاء الماكينات دار مير للنشر و الطباعة ١٩٧٩
- ستوبين مقاومة المواد دار مير للنشر والطباعة ١٩٨٧
- تصميم الالات الدكتور نوفل الأحمد منشورات جامعة تشرين ١٩٩٩
- تصميم الالات (١) الدكتور مفيد موقع منشورات جامعة حلب ١٩٩٧