

## إنشاءات معدنية

مبادئ التصميم الإنشائي للأعضاء الفولاذية

## الوحدة الرابعة: مبادئ التصميم الإنشائي للأعضاء الفولاذية

**الجدارة :** التعرف من خلال هذه الوحدة على الخواص الميكانيكية للصلب الإنشائي ، و نظريات التصميم المختلفة و معامل الأمان، و تصميم الأعضاء المعرضة إلى : قوى شد محورية، و قوى ضغط محورية ، قوى القص و عزوم الانحناء ، و قوى محورية و قص و عزوم الانحناء.

### الأهداف :

عندما تكتمل دراسة هذه الوحدة تكون قادراً (بإذن الله) على أن:

- تتعرف على الخواص الميكانيكية للصلب الإنشائي.
- تتعرف على نظريات التصميم المختلفة و معامل الأمان.
- تصمم الأعضاء المعرضة إلى : قوى شد محورية، و قوى ضغط محورية، و قوى القص و عزوم الانحناء.

**مستوى الأداء المطلوب :** أن يصل أداء المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

### الوقت المتوقع للوحدة:

٢٤ ساعة.

### الوسائل المساعدة :

- مبادئ خواص المواد الهندسية.
- أساسيات مقاومة المواد.

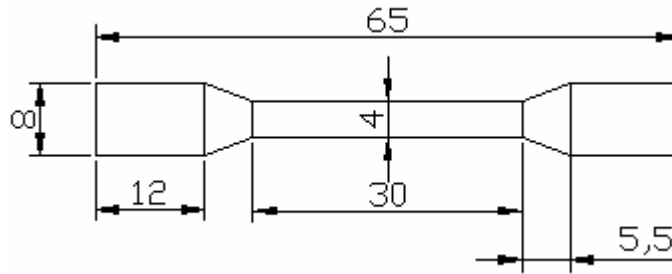
### متطلبات الجدارة:

اجتياز حقيبة ستاتيكا.

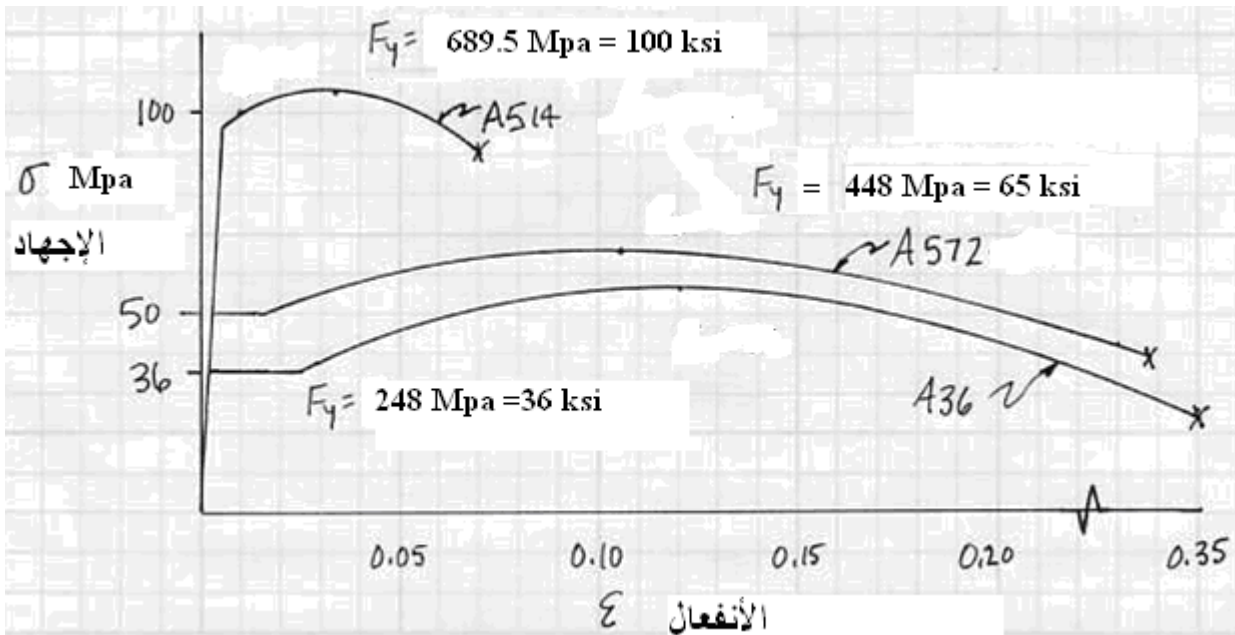
## مبادئ التصميم الإنشائي لأعضاء الفولاذية

### ١. الخواص الميكانيكية للصلب الإنشائي

الخواص الميكانيكية للصلب الإنشائي تحدد عن طريق الاختبارات العملية، وذلك بتجهيز عينة من الحديد لاختبار الشد كما هو مبين على الشكل ٤,١، وفقا للمواصفات الأمريكية (ASTM E8) ومعرفة بالأبعاد المبينة على الشكل. والمنحنى البياني (الشكل ٤,٢) يبين العلاقة بين الإجهاد و الانفعال لبعض أنواع الحديد حسب المواصفات الأمريكية (ASTM).



الشكل ٤,١ : أبعاد عينة الشد وفقا للمواصفات الأمريكية ASTM E8  
الأبعاد بالميليمتر (mm).



الشكل 4.1: منحنى الإجهاد و الانفعال لبعض أنواع الحديد  
حسب المواصفات الأمريكية (ASTM)

و عند التحميل على عينة الحديد يجب ملاحظة المراحل التالية :

#### أ- مرحلة المرونة

تكون عند بداية التحميل على العينة و يصاحبها تغيير طفيف في الطول و تعود العينة إلى وضعها الطبيعي بعد زوال الحمل المؤثر. و يكون المنحنى في هذه المرحلة على شكل خط مستقيم حيث خلالها يتناسب الإجهاد و الانفعال.

#### ب- مرحلة الخضوع

تبدأ بعد مرحلة المرونة بحيث تقل مقاومة الحديد للشد مع زيادة واضحة في طول العينة و يبقى التغير في الطول بعد زوال الحمل المؤثر و لكن بدون نقص يذكر في مقطع العينة.

#### ج- مرحلة اللدونة

تبدأ بعد مرحلة الخضوع و تتميز بزيادة ملحوظة في مقاومة العينة للشد مع زيادة في الطول يصاحبها نقص واضح في مقطع العينة و تسمى هذه المرحلة بمرحلة الخضوع و لا تسترجع العينة المعرضة للأحمال شكلها الأصلي و إنما يبقى التشوه دائماً.

#### د- مرحلة التصلد الانفعال

يزداد الانفعال بزيادة الإجهاد حتى يصل إلى أقصى قيمة و هي القيمة أو إجهاد الشد الأقصى و يبدأ بعدها الاختناق و الانتهاء. و يعرف الصلب بقيمة الإجهاد الأقصى فعلى سبيل المثال الصلب (37) يرمز إلى أن القيمة الأدنى لأقصى الإجهاد في الشد هي 37 كجم/مم<sup>2</sup> وهو أكثر أنواع الصلب شيوعاً و استخداماً في الإنشاء و يستخدم الصلب 44 و كذلك الصلب عال المقاومة (52).

و بعد الانتهاء من الاختبار يمكن تعيين النتائج التالية :

$$\text{الإجهاد} = \frac{\text{(الحمل)}}{\text{(مساحة المقطع)}}$$

$$f = \frac{P}{A}$$

حيث إن

f – الإجهاد  
P – الحمل  
A – مساحة المقطع

الانفعال = (الاستطالة) / (الطول الأصلي)

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

حيث إن

e – الانفعال  
 $\Delta L$  – الاستطالة و هي الفرق بين الطول الحالي و الطول الأصلي  
L – الطول الأصلي

- معايير المرونة Young's Modulus of Elasticity

معايير المرونة هو ميل الخط المستقيم من منحنى الإجهاد و الانفعال و القيمة التقريبية التي تؤخذ غالباً هي  $2100 \text{ t/cm}^2$  لكل أنواع الصلب. و في هذه المرحلة تسترجع الأعضاء المعرضة للأحمال شكلها الأصلي إذا رفع الحمل عنها وتكون نهايتها عند حد المرونة. و يمكن تعريف معايير المرونة كنسبة قيمة الزيادة في الإجهاد على الزيادة المماثلة في الانفعال التي تؤخذ كميل الخط المستقيم لمنحنى الإجهاد و الانفعال.

$$E = \frac{f}{e}$$

حيث:

-E معايير المرونة

-f الإجهاد

-e الانفعال

و منه يمكن كتابة المعادلة التالية :

$$E = \frac{f}{e} = \frac{f}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{f.L}{\Delta L}$$

- نسبة بواسن Poisson's ratio

عندما يتعرض جسم الصلب إلى إجهاد فإنه لا يتشكل فقط في اتجاه ذلك الإجهاد و إنما يتشكل كذلك في الاتجاه العمودي لذلك الإجهاد فعلى سبيل المثال في حالة إجهاد الشد فإن تلك الأبعاد المستعرضة Transverse تتقصص أما في حالة إجهاد الضغط فإن تلك الأبعاد تزيد. و تكون النسبة بين الانفعال الجانبي Lateral Strain و الانفعال الطولي Longitudinal Strain هي نسبة بواسن و تساوي نسبة 0.26 تقريبا للفولاذ.

## ٢. نظريات التصميم المختلفة ومعامل الأمان

أهم خصائص الحديد (الفولاذ) لأغراض التصميم تتمثل فيما يلي :

- إجهاد الخضوع Yield Stress (Fy)
- الإجهاد الأقصى Ultimate Stress (Fu)
- معامل المرونة Modulus of Elasticity (E)
- الانفعال  $\epsilon$  Strain ( )
- عامل التمدد الحراري  $\alpha$  Coefficient of Thermal Expansion ( )

عند تصميم المنشآت لا يجوز أن تتعدى الإجهادات إجهاد الخضوع و إلا تعرض المنشأ إلى تغير كبير في الشكل و لذا يلزم تحديد الإجهاد المأمون بحيث يمكن تحميل المادة بأمان دون حدوث تشوه، و تؤثر العوامل الآتية على الجهد المسموح به بأمان.

هناك طريقتان لنظرية التصميم الأكثر استعمال و هما :

## ١- طريقة التصميم بالإجهاد المسموح به (ASD) Allowable Stress Design Method

و تتمثل هذه الطريقة في اختيار العضو الإنشائي بحيث إن الإجهاد الأكبر الناتج عن أحمال التشغيل لا يتعدى الإجهاد المسموح به. وتسمى هذه الطريقة بالتصميم المرن أو تصميم إجهادات التشغيل.

معامل الأمان = (إجهاد الخضوع)/(الإجهاد المسموح به)

$$\text{Safety Factor} = \frac{\text{Yield Stress}}{\text{Allowable Stress}}$$

وحيث إن: الإجهاد الحالي  $\geq$  الإجهاد المسموح به

## ٢- طريقة التصميم بمعامل الحمل و المقاومة

و تتمثل هذه الطريقة في اختيار العضو الإنشائي بحيث إن معاملات المقاومة يجب أن تكون أكبر من معاملات الأحمال.

$$\sum [(Loads \times L \text{ factors}) \leq (Resistance \times R \text{ factor})]$$

كل تاثير حمل (أحمال ميتة أو أحمال حية،..... إلخ) له معامل خاص به يختلف عن معاملات الأحمال الأخرى بحيث قيمته تعتمد على احتمالات الأحمال المؤثرة . ومعامل المقاومة يأخذ القيم من ٠.٧٥ إلى ١.٠ حسب طبيعة المقاومة (شد أو أنحناء أو ضغط،..... إلخ).

ويتضمن التصميم الإنشائي النقاط التالية:

- التخطيط العام للإنشاءات General Layout of Structures .
- دراسة احتمالات لنماذج أو أصناف إنشائية و التي بإمكانها إعطاء حلول عملية قابلة للتنفيذ.
- دراسة الحالات المحتملة للأحمال.
- دراسة أولية (تمهيدية) للتحاليل و التصميمات بغية الحصول على الحلول الممكنة.

- اختيار أحسن الحلول عن طريق التحليل و التصميم الإنشائي النهائي و التي تحتوي على إعداد تصميمات الرسومات

و الهدف من التصميم الإنشائي لهذه المنشآت هو:

- الحصول على منشآت معدنية يتوافر فيها الأمان و قلة التكلفة.
  - تحقيق متطلبات المنشأ المعدني مع مراعاة العامل الجمالي له.
  - قابلية المنشأ المعدني إلى الامتداد في المستقبل.
  - اختيار العناصر المعدنية القادرة على تحمل الجهود الناتجة من تلك الأحمال.
- ولهذا الغرض يجب على المصمم الإنشائي أن يكون على دراية كافية بخواص المواد و اختبارات المواد الهندسية و مواصفاتها و سلوك المنشآت المعدنية تحت تأثير الأحمال و بالتحليل الإنشائي.

### • معامل الأمان في التصميم

معامل الأمان هو نسبة إجهاد الخضوع على الإجهاد المسموح به، و يتراوح معامل الأمان في الضغط من ١,٧ إلى ٣ للأعضاء النحيفة.

### ٣. تصميم الأعضاء المعرضة إلى:

#### • قوى شد محورية:

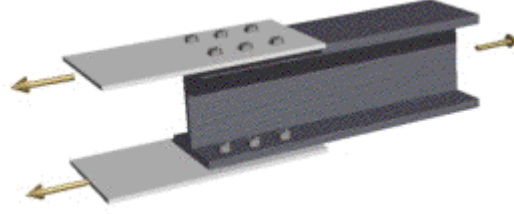
تعتبر أعضاء الشد المعرضة لقوى محورية (مركزية) منتظمة أبسط الأعضاء الإنشائية (الشكل

4.2 و الشكل 4.3).



الشكل 4.2: أعضاء معرضة لقوة الشد





الشكل 4.3: وصلات مسمارية معرضة لقوة الشد

وفي بعض الحالات نجد أن أعضاء الشد في الجمالونات متماثلة حول ألواح التجميع و تكون إجهادات الشد موزعة بالتساوي على المقطع.

و لتصميم أعضاء الشد نتبع الخطوات التالية :

#### أ- في حالة الوصلات عن طريق اللحام :

١- تحديد الحمل و ليكن  $T$

٢- حساب مساحة المقطع :

$$A_{req} = \frac{T}{f_{pt}}$$

حيث إن :

$f_{pt}$  - إجهاد الشد المسموح به و يساوي  $f_{pt} = 1.4 \text{ t/cm}^2 = 1400 \text{ kg/cm}^2$

$T$  - قوة الشد

$A_{req}$  - مساحة المقطع المطلوبة. مع العلم أن نوع الحديد هو صلب ٣٧.

٣- اختيار العضو من الجدول على أساس مساحة المقطع  $A_{req}$

٤- مراجعة الإجهادات الحقيقية داخل القطاع :

$$f_{act} = \frac{T}{A} \leq f_{pt}$$

**ب- في حالة الوصلات عن طريق المسامير :**

١- تحديد حمل الشد على العضو و ليكن  $T$

٢- حساب مقطع العضو و لتكن :

$$A_{gross} = \frac{T}{0.85 f_{pt}}$$

٣- اختيار القطاع من الجدول على أساس المساحة  $A_{gross}$

٤- مراجعة الإجهادات الحقيقية

$$f_{act} = \frac{T}{A_{net}} \leq f_{pt}$$

٥- حيث إن :

$A_{net}$  - هي المساحة الصافية للقطاع أي المساحة بعد خصم المساحة المستغلة بواسطة ثقوب المسامير.

$$A_{net} = 0.85 A_{gross}$$

$A_{gross}$  - هي المساحة الكلية للعضو قبل خصم ثقوب المسامير.

و بالتالي

يمكن كتابة المساحة الصافية على النحو التالي :

$$A_{net} = A_{gross} - A_{\phi}$$

$$A_{net} = A_{gross} - d \cdot t$$

حيث إن :

d - قطر ثقب المسمار

t - سمك اللوح

إذا كان :

$$f_{act} \leq f_{pt} \text{ فالقطاع آمن}$$

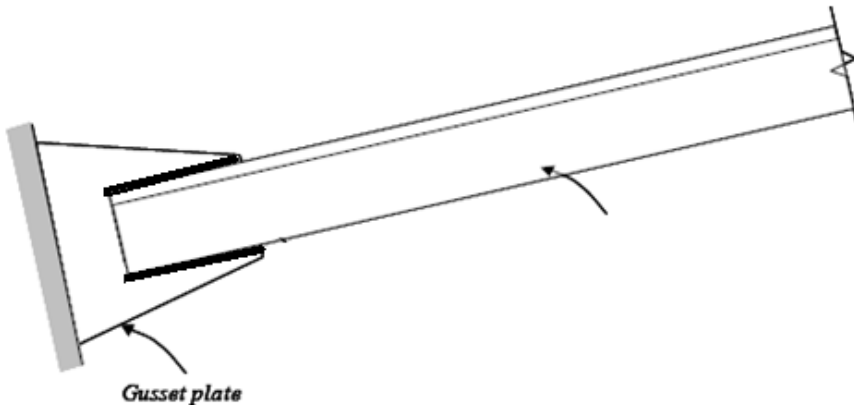
$$f_{act} \leq f_{pt} \text{ فالقطاع غير آمن}$$

و بالتالي مراجعة الخطوة ٣ و أخذ مساحة أكبر

مثال :

اوجد مساحة القطاع المطلوبة لتحمل قوة شد محورية قدرها ٢١ t (عضو الشد ملحوم)

$$f_{pt} = 1.4 \text{ t/cm}^2 = 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ وأقصى إجهاد مسموح به في الشد يساوي}$$



وصلة ملحومة

الحل:١- قوة الشد  $t_{21}$ 

٢- مساحة القطاع المطلوبة

$$A_{req} = \frac{T}{f_{pt}}$$

$$A_{req} = \frac{21000}{1400} = 15.00 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{req}}{2} = \frac{15.00}{2} = 7.50 \text{ cm}^2 = \text{مساحة القطاع لزواوية واحدة متساوية الأضلاع}$$

لنختار من الجداول الزواوية المتساوية الأضلاع و التي مساحة مقطعها

$$A \text{ of } 1 \text{ L } ( 55 \times 8 ) = 8.23 \text{ cm}^2 \text{ هه}$$

الإجهاد الناتج عن الزوايا المتساوية الأضلاع :

$$f_{act} = \frac{T}{2 \times A_{act}} = \frac{21000}{2 \times 8.23} = \frac{21000}{16.46} = 1275.82 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = 1275.82 \text{ kg/cm}^2 < f_{pt} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

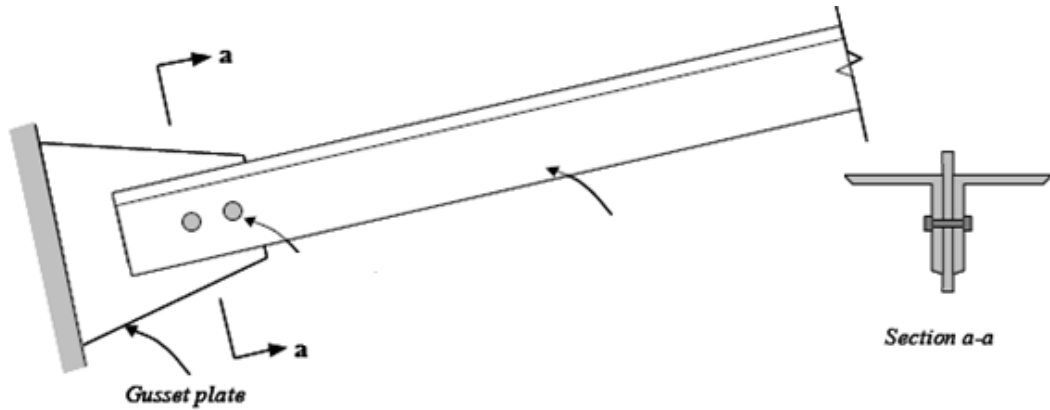
العضو آمن

مثال:

اوجد مساحة القطاع المطلوبة لتحمل قوة شد محورية قدرها 21 طن حيث إن قطر المسمار

10 mm و سمك اللوح ٧ mm

وأقصى إجهاد مسموح به في الشد يساوي  $f_{pt} = 1.4 \text{ t/cm}^2 = 1400 \text{ kg/cm}^2$



### وصلة مسمارية

الحل :

١- قوة الشد ٢١٤

٢- مساحة القطاع المطلوبة

$$A_{\text{gross}} = \frac{T}{0.85 f_{pt}}$$

$$A_{\text{gross}} = \frac{21000}{0.85 \times 1400} = 17.64 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{\text{gross}}}{2} = \frac{17.64}{2} = 8.82 \text{ cm}^2 = \text{مساحة القطاع لزاوية واحدة متساوية الأضلاع}$$

لنختار من الجداول الزاوية المتساوية الأضلاع و التي مساحة مقطعها

$$x 65 \times 8) = 9.85 \text{ cm}^2 \quad (A \text{ of } 1 L ٦٥)$$

$$A_{\text{net}} = A_{\text{gross}} - d \cdot t$$

$$A_{\text{net}} = 2 (9.85 - 0.7 \times 1.7)$$

$$A_{\text{net}} = 2 (9.85 - 1.19) = 17.32 \text{ cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{T}{A_{net}} = \frac{21000}{17.32} = 1212.47 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = 1212.47 \text{ kg/cm}^2 < f_{tp} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

### العضو آمن

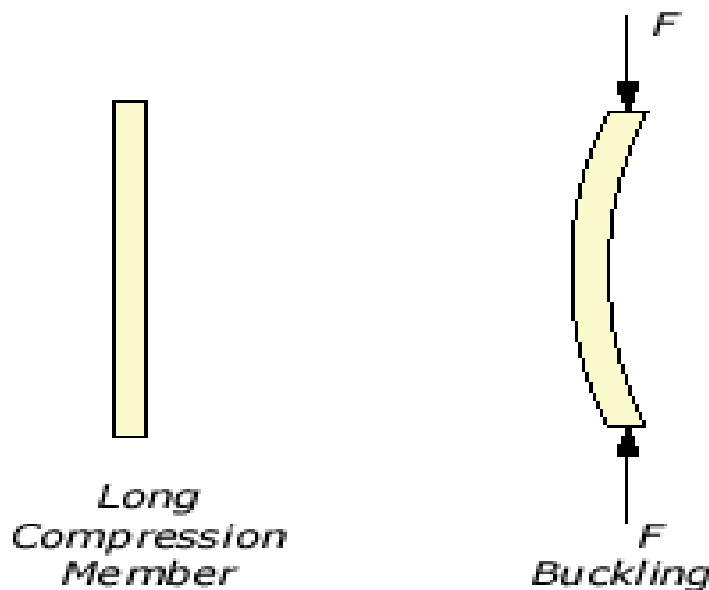
#### • قوى ضغط محورية

تعتبر أعضاء الضغط المعرضة لقوى محورية (مركزية) من أبسط الأعضاء الإنشائية (الشكل 4.4).



الشكل 4.4: قضيب فولاذي معرض لقوة الضغط

عند تصميم الأعضاء المعدنية المعرضة لقوى الضغط المحوري فإنه يجب معرفة أولا مدى مقاومة هذه الأعضاء للانبعاج (Buckling) و الذي بدوره يتوقف على قيمة نسبة النحافة (Slenderness Ratio) حيث إن نسبة النحافة هي قيمة الطول الفعلي  $L$  (و الذي يتوقف على نهايتي العضو) على نصف قطر القصور  $r$  (Radius of gyration) (الشكل 4.5).



الشكل 4.5: انبعاج عضو الضغط

مقاومة الأعمدة للضغط على (سبيل المثال) تعود إلى عدة عوامل و هي :

- نوعية المادة المستخدمة
- الطول
- الخصائص الهندسية لقطاع العمود أو عزم القصور الذاتي حول محور الانبعاج.
- حالة نهايتي طرفي العمود

الأعمدة القصيرة لها القابلية على تحمل القوى أكثر من الأعمدة الطويلة، و نفس الشيء فيما يخص الحجم فكلما كان العمود عريضاً كلما كانت له القابلية على تحمل القوى.








ونوعية الركائز المستخدمة في نهايتي العمود (الجدول 4.1 ) لها علاقة في تحديد قيمة الحمل الذي بإمكان العمود تحمله. و هناك نوعان شائعان من الركائز على نهايتي العمود و هما : ركيزة مفصلية و ركيزة مثبتة. فكلما كانت نهايتي العمود مثبتتين أكثر كلما كانت له القابلية على التحمل أكثر.

وأولى الخطوات لتصميم الأضلاع المعرضة للضغط هي تحديد نسبة النحافة Slenderness Ratio للعضو و يحسب عن طريق المعادلة التالية :

$$\lambda = \frac{K.L}{r} = \text{نسبة النحافة}$$

- K معامل الانبعاج، ثابت يعتمد على حالة نهايتي طرفي العضو
- L طول العضو
- r نصف قطر القصور Radius of gyration

الجدول 4.1: أطوال الانبعاج لأعضاء الضغط طبقا للمواصفات الأمريكية (AISC).

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
							
	Theoretical $K$ value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
	Recommended design value when ideal condi- tions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End-condition code		Rotation fixed Rotation free Rotation fixed Rotation free	Translation fixed Translation fixed Translation free Translation free				

### اختيار القطاع :

عندما يتعرض عضو الضغط لقوة محورية  $N$  تستخدم المعادلة التالية للحصول على مساحة القطاع المطلوبة.

$$A_{req} = \frac{N}{f_{pB}}$$



حيث إن

N - قوة الضغط المحورية

 $f_{pB}$  - الإجهاد المسموح به في الانبعاج  $f_C = 700 \text{ Kg/cm}^2$ A<sub>req</sub> - مساحة القطاع المطلوبةو من الأنسب فرض نسبة النحافة  $\lambda = \frac{K.L}{r} = 100$ خطوات تصميم أعضاء الضغط المحورية :١- تحديد حمل الضغط و ليكن N و حساب الطول الانبعاجي ( L<sub>bx</sub> , L<sub>by</sub> )٢- تصميم اولي و يحسب A<sub>req</sub> على أساس  $A_{req} = \frac{N}{f_{pB}}$ حيث إن  $f_{pB}$  الإجهاد المسموح به في الانبعاج و يساوي

$$f_{pB} = 700 \text{ Kg/cm}^2 = 0.7 \text{ t/cm}^2$$

٣- يتم اختيار العضو من الجدول و يتم تحديد ( A , i<sub>x</sub> , i<sub>y</sub> )

٤- حساب الإجهادات :

أ- حساب نسبة النحافة (  $\lambda_x$  ,  $\lambda_y$  ) حيث إن :

$$\lambda_x = \frac{L_{bx}}{i_x} , \lambda_y = \frac{L_{by}}{i_y}$$

ب- نختار القيمة الأكبر من  $(\lambda_x, \lambda_y)$

ج- نقارن  $\lambda$  إلى ١٠٠ حيث :

$$f_{pB} = 1400 - 0.06 \lambda^2 \quad \lambda < 100 \Rightarrow \text{أ-}$$

$$f_{pB} = \frac{7 \times 10^6}{\lambda^2} \quad \lambda > 100 \Rightarrow \text{ب-}$$

$$f_{act} = \frac{N}{A} \leq f_{pB} \quad \text{هـ- التحقق من الإجهادات}$$

$$f_{act} \leq f_{pB} \quad \text{آمن}$$

$$f_{act} > f_{pB} \quad \text{غير آمن}$$

مثال :

صمم عموداً يحمل ضغطاً محورية قدرها ٤٠ طن والطول الانبعاجي هو  $L_{by} = 4.5 \text{ m}$  و  $L_{bx} = 6 \text{ m}$

الحل :

$$N = 40 \text{ t} \quad L_{by} = 450 \text{ cm} \quad L_{bx} = 600 \text{ cm} \quad \text{أ-}$$

$$A_{req} = \frac{N}{f_{pB}} = \frac{40}{0.7} = 57.14 \text{ cm}^2 \quad \text{ب-}$$

٣- نختار  $B.F.I$  180

$$\begin{aligned} A &= 65.8 \text{ cm}^2 \\ i_x &= 7.63 \text{ cm} \\ i_y &= 4.55 \text{ cm} \end{aligned}$$

٤- حساب الإجهادات

$$\lambda_x = \frac{L_{bx}}{i_x} = \frac{600}{7.63} = 78.64$$

$$\lambda_y = \frac{L_{by}}{i_y} = \frac{450}{4.55} = 98.90$$

$$\lambda_y < 100 \quad \text{٩٨,٩٠} =$$

$$f_{pB} = 1400 - 0.06 \lambda^2$$

$$f_{pB} = 1400 - 0.06 (98.90)^2 = 813.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{act} = \frac{N}{A} = \frac{40}{65.8} = 0.6079 \text{ t/cm}^2 = 607.9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{act} = 607.9 \text{ Kg/cm}^2 < f_{pB} = 813.13 \text{ Kg/cm}^2$$

العضو آمن

مثال :

صمم عضو ضغط في جمالون مكون من زاويتين متساويتين معرض لقوة ٢٠ طن و طول الانبعاج للعضو في مستوى الجمالون  $L_x = 2.40 \text{ m}$  ، و طول الانبعاج العمودي على مستوى الجمالون  $L_y = 3.00 \text{ m}$  .

$$\lambda = \frac{K.L}{r} = 100 \quad \text{لنفرض نسبة النحافة}$$

$$f_c = 700 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{الإجهاد المسموح في الانبعاج}$$

الحل :

١. نحسب مساحة القطاع المطلوبة  $A_{req}$

$$A_{req} = \frac{F}{f_c} = \frac{20000 \text{ Kg}}{700 \text{ Kg/cm}^2} = 28.57 \cong 28.60 \text{ cm}^2$$

مساحة مقطع الزاوية الوحدة يساوي

$$A \text{ of } 1 L = \frac{28.60}{2} = 14.3 \text{ cm}^2$$

لنختار  $2 L 90 \times 90 \times 9$  من الجداول نحصل على :

$$A \text{ of } 1 L = 15.5 \text{ cm}^2 \quad \text{مساحة مقطع الزاوية ألواح دة يساوي}$$

• عضو ضغط + عزم انحناء:

لتصميم عضو ضغط + عزم انحناء نتبع الخطوات التالية :

- ١- حساب حمل الضغط  $N$  و حساب عزم الانحناء  $M_x$  و حساب الطول الانبعاجي
- ٢- حساب المساحة  $A_{req} = \frac{N}{f_{pB}}$  حيث  $f_{pB} = 700 \text{ Kg/cm}^2 = 0.7 \text{ t/cm}^2$
- ٣- اختيار العضو من الجدول و يتم تحديد  $(A, i_x, i_y, Z_x)$ .
- ٤- حساب الإجهادات الحقيقية :

أ- حساب نسبة النحافة  $\lambda_x, \lambda_y$

ب- اختيار القيمة الأكبر

ج- نقارن  $\lambda$  إلى ١٠٠ حيث :

ج- نقارن  $\lambda$  إلى ١٠٠ حيث :

$$f_{pB} = 1400 - 0.06 \lambda^2 \quad \lambda < 100 \Rightarrow \quad -١$$

$$f_{pB} = \frac{7 \times 10^6}{\lambda^2} \quad \lambda > 100 \Rightarrow \quad -٢$$

٥- التحقق من الإجهادات :

$$f_{act} = \frac{f_{pt}}{f_{pB}} \times \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{Z_x} \leq 1.4 \text{ t/cm}^2$$

إذا كان  $f_{act} \leq 1.4$  آمن

$f_{act} \leq 1.4$  غير آمن

### • قوى القص وعزوم الانحناء

نجد قوى القص و عزوم الانحناء خصوصا في العضو الإنشائي (المدادة) حيث يتعرض للأحمال في المستوى العمودي على محاورها الطولية و تسبب في حدوث عزم انحناء مصحوب بقوى قص و قد يحدث عزم انحناء في مستوى واحد أو عزم انحناء مزدوج إذا كان الحمل مائلاً عن محوره و

$$V_B = \frac{M}{Z} \text{ حيث يكون انحناء :}$$

### خطوات التصميم :

١- حساب الأحمال  $W$

٢- حساب عزم الانحناء  $M_x$

٣- حساب قوى القص  $Q_x$

٤- حساب  $Z_{req} = \frac{M_x}{f_{pt}}$  حيث إن :

$$f_{pt} = 1.4 \text{ t/cm}^2 = 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ أقصى إجهاد مسموح به في الشد يساوي}$$

٦- إختيار العضو من الجدول على أساس  $Z_{req}$  و تحديد ( $I_x$  و  $Z_x$ )

٧- حساب الإجهادات

$$f_{act} = \frac{M_x}{Z_x} \leq f_{pt}$$

$$q_{act} = \frac{Q_x}{A_w} \leq 0.84 \text{ t/cm}^2$$

حيث  $A_w = S \times (h - 2t)$  مساحة العصب من الجدول.

$$-٨ \text{ مراجعة الترخيم : } \Delta_{act} \leq \Delta_{max} = \frac{L}{360}$$

$$\Delta_{act} = \frac{5 W_{LL} L^4}{384 E I}$$

حيث إن :

$W_{LL}$  - الحمل المنتظم على الكمرة ( t/m )

$L$  - بحر الكمرة

$E$  - معامل المرونة ( t/cm<sup>2</sup> )

$$M_{max} = \frac{W_{LL} L^2}{8} \text{ من جهة أخرى لدينا عزم الكمرة الأكبر}$$

$$\Delta_{act} = \frac{5 M_{max} L^2}{48 E I}$$

$$E = 2100 \text{ t/cm}^2$$

**مثال:**

سقف من الخرسانة المسلحة سمكه ١٢ سم على كميرات فولاذية بسيطة طول بحرهما ٥ مترو المسافة العرضية بين الكميرات ٢ متر. صمم كمرة متوسطة إذا كان وزن الأرضيات ١٠٠ kg/m<sup>2</sup> و الحمل الحي على السقف منتظم قيمته ٣٠٠ kg/m<sup>2</sup>.

الحمل المنتظم على الكمرة ٥٠ kg/m

**الحل:**

$$٢,٥ \text{ t/m} = 0.6 \times 2 \times 0.12$$

وزن الخرسانة المسلحة

$$x 2 = 0.2 \text{ t/m}, ١٠ \quad \text{وزن الأرضيات}$$

$$x 2 = 0.6 \text{ t/m}, ٣ \quad \text{الحمل الحي}$$

$$\text{t/m}, ٥ \quad \text{وزن الكمره}$$

$$W_{D+L} = 1.45 \text{ t/m} \quad \text{المجموع}$$

$$M_{\max} = \frac{W_{LL} L^2}{8} = \frac{1.45 \times 5^2}{8} = 4.53 \text{ t.m} \quad \text{العزم الأكبر}$$

$$Q_{\max} = \frac{W_{LL} L}{2} = \frac{1.45 \times 5}{2} = 3.62 \text{ t} \quad \text{قوة القص الأكبر}$$

$$Z_{req} = \frac{M_x}{f_{pt}} = \frac{4.53 \times 100}{1.4} = 323.57 \text{ cm}^2 \quad \text{حساب}$$

$$\text{B.F.I N0. 160} , Z_x = 329 \text{ cm}^3 , I_x = 2630 \text{ cm}^4 \quad \text{نختار من الجداول}$$

$$f_{act} = \frac{M_x}{Z_x} \leq f_{pt} = \frac{4.53 \times 100}{329} = 1.37 \text{ t/cm}^2 < 1.4 \text{ t/cm}^2$$

$$q_{act} = \frac{Q_x}{A_W} \leq 0.84 \text{ t/cm}^2$$

$$A_W = S \times (h - 2t)$$

$$S = 0.9 \text{ cm} , h = 1.60 \text{ cm} , t = 1.4 \text{ cm}$$

$$A_W = S \times (h - 2t) = 0.9(1.6 - 2 \times 1.4) = 11.88 \text{ cm}^2$$

$$q_{act} = \frac{Q_x}{A_W} = \frac{3.62}{11.88} = 0.304 \text{ t/cm}^2 < 0.84 \text{ t/cm}^2$$



$$\Delta_{act} \leq \Delta_{max} = \frac{L}{360} = \frac{500}{360} = 1.38 \text{ cm}$$

$$\Delta_{act} = \frac{5 W_{LL} L^4}{384 E I} = \frac{5 \times 0.0145 \times 500^4}{384 \times 2100 \times 2630} = 2.13 \text{ cm}^2$$

$$\Delta_{act} = 2.13 \text{ cm}^2 > \Delta_{max} = \frac{L}{360} = 1.38 \text{ cm}^2$$

العضو غير آمن ويجب تغيير القطاع