المنشآت المعدنية

كلية العمارة – السنة الرابعة

المهندس عثمان الشيخ خليل

العام الدراسي: ٢٠١٨-٢٠١٩

الفصل الأول: مقدمة عن المنشآت المعدنية

تعريف:

المنشآت المعدنية هي المنشآت التي تتكون جميع أو بعض عناصرها الحاملة من الم عدن وهي على أنواع:

-منشآت جميعها من المعدن كالأبنية الصناعية.

-منشآت مختلطة من المعدن والبيتون.

ميزات المنشآت المعدنية:

-سرعة الإنشاء وإمكانية النقل.

-انخفاض التكلفة خاصة عندما تكون التباعدات بين الأعمدة كبيرة أو يكون المنشأ ذو ارتفاع عال.

-خفة الوزن مما يؤدي إلى صغر الأساسات.

عيوب المنشآت المعدنية:

-تحتاج إلى صيانة خاصة في الأجزاء المعرضة للتعرية منعاً لتشكل الصدأ.

-يتآكل المعدن عند تعرضه للأبخرة والمواد الكيميائية لذلك يحتاج لمعالجة خاصة.

-تظهر فيها عيوب كبيرة قد تصل إلى الانصهار عند تعرضها للحريق.

أنواع الفولاذ المستخدم في المنشآت:

يصنف الفولاذ الإنشائي حسب الكود البريطاني وفق التركيب الكيميائي وحد الانقطاع والاستطالة النسبية إلى ثلاث ماركات رئيسية: Gr43 , Gr50 , Gr55.

المقاطع القياسية للفولاذ الإنشائي:

يوجد عدة أشكال من المقاطع الجاهزة المصنعة في المعامل حي ث تعطى جداول بأبعادها وكامل خصائصها الهندسية. وأهم هذه المقاطع حسب المواصفات البريطانية:

١ المقاطع بشكل I (Universal Beam): يمتاز بأن عزم عطالته حول محوره الرئيسي أكبر بكثير من عزم عطالته حول محوره الثانوي . ويستخدم عادة في الجوائز المعرضة للانعطاف.

٢ المقاطع بشكل H (Universal Column): يمتاز بأن عزم عطالته حول محوره الرئيسي قريب من عزم عطالته حول محوره الثانوي. ويستخدم عادة في الأعمدة.

٣ المقاطع بشكل L وهي زاوية قائمة قد تكون متساوية الساقين أو ذات ساقين غير متساويتين. وتستخدم في العناصر الشبكية.

٤ المقاطع بشكل T.

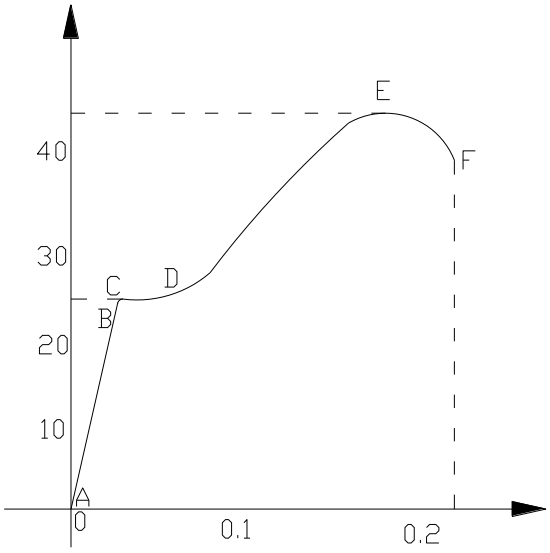
٥ المقاطع بشكل U. (المجراة).

الفصل الثاني: التصميم على الطريقة المرنة

حتى نتعرف على طريقة تصميم المقاطع بطريقة المرونة سنشرح باختصار السلوك المرن للفولاذ الإنشائي وفكرة عامل الأمان.

السلوك المرن للفولاذ الإنشائي:

يختبر سلوك الفولاذ تحت تـأثير القوى المطبقة عليه بواسطة اختباره على الشد . حيث يتم تطبيق قوة شادة على عينة اختبار وتقاس الاستطالة الناتجة في العينة . والشكل التالي يبين المخطط المثالي لعلاقة الإجهاد والانفعال للفولاذ الإنشائي.



-الجزء AB يمثل المرحلة المرنة.

-النقطة C هي نقطة السيلان.

-الجزء CD هو المرحلة المرنة اللدنة التي يزداد ضمنها الانفعال دون زيادة بالإجهاد.

-الجزء DE هو مرحلة اللدونة التي يزداد ضمنها الانفعال بزيادة الإجهادات.

-النقطة E تقابل أكبر إجهاد للفولاذ ويسمى إجهاد الانكسار.

-الجزء EF يمثل مرحلة الانهيار والنقطة F هي نقطة الانكسار.

تعتبر نظرية المرونة أن الإجهاد الأقصى الذي يمكن أن يتعرض له أي ليف من ألياف المقطع هو إجهاد السيلان (الخضوع).

مفهوم عامل الأمان:

لتصميم منشأ ما يلزم المصمم معلومات كاملة عن : نوع المادة والحمولات المطبقة وطريقة عمل المنشأ والقوى الداخلية المتولدة في المنشأ . لذلك يمكن أن تقع أخطاء في التقدير منها: أن تكون مادة الإنشاء غير مضمونة الخواص، وأن تتغير الحمولات المفروضة بتغيير طبيعة المنشأ، وأيضاً تغيير طريقة عمل المنشأ نتيجة أخطاء التنفيذ . يضاف إلى ذلك أخطاء الحساب والتقدير الناتجة عن عامل الخطأ الإنساني.

كل ما ذكرناه سابقاً يدعو المصمم للابتعاد عن استخدام إجهاد الخضوع كحد أعظمي للإجهاد الذي يتعرض له مقطع ما . لذلك وبالعودة إلى مخطط (الإجهاد–الانفعال) أعلاه لا يسمح في التصميم أن يصل أي ليف من ألياف المقطع إلى النقطة C وإنما إلى نقطة ما على المستقيم AB تسمى الإجهاد المسموح به ويعطى بالعلاقة: $\sigma_{ad} = \frac{\sigma_y}{n}$ حيث :

n : عامل أمان أكبر من الواحد وتتغير قيمته حسب دقة المصمم وأهمية المنشأ ودقة التنفيذ ونوعية الإجهادات المأخوذة في التصميم.

أنواع عناصر المنشآت:

- **عناصر مشدودة:** تكون معرضة لحمولات محورية شادة فقط مثل العناصر السفلية في الجوائز الشبكية.
- **عناصر مضغوطة:** تكون معرضة لحمولات محورية ضاغطة فقط مثل العناصر العلوية في الجوائز الشبكية والأعمدة الحاملة للجوائز البسيطة.
- **عناصر معرضة لانعطاف بسيط:** مثل الجوائز الثانوية للإطارات والمدادات.
- **عناصر معرضة لانعطاف مركب:** مثل أعمدة الإطارات ذات الوصلات الصلبة.
- **عناصر معرضة للقص:** وهي كل العناصر المعرضة للانعطاف.

الفصل الثالث: تصميم العناصر المعرضة للشد المحوري

مقدمة:

تستعمل العناصر المشدودة في معظم المنشآت المعدنية : فهي تدخل في تصميم الأكبا ل الفولاذية للجسور المعلقة وعناصر الجوائز الشبكية للأسقف حيث تتعرض الأوتار السفلية لقوى شد وكذلك أبراج نقل الطاقة الكهربائية.....

يمكن أن تكون مقاطع العناصر المشدودة على شكل كابلات أو قضبان فولاذية أو مقاطع زاوية مفردة أو مركبة أو أنبوبية أو مجراية أو تيه حسب موقع العنصر المشدود.

المساحة الفعالة لمقاطع العناصر المشدودة:

-تعتبر المساحة الفعالة للعناصر المشدودة ذات المقاطع المتناظرة محورياً هي المساحة الصافية : وهي تساوي المساحة الكلية للمقطع مطروحاُ منها مساحة الثقوب إذا كان العنصر مربوطاً في نهايتيه بالبراغي . أما إذا كان العنصر موصولاً باللحام فتؤخذ المساحة الفعالة هي المساحة الكلية للمقطع.

-إذا كانت المقاطع على شكل (T , L) لا يمر حامل القوة من مركز ثقل الوصلة وبالتالي يوجد لامركزية . ولإهمال أثر هذه اللامركزية تحسب المساحة المكافئة حسب المقطع وفق ما يلي:

١ **مقطع العنصر مكون من زاوية واحدة** : لإهمال اللامركزية تحسب مساحة مكافئة للمقطع من العلاقة التالية: $A_e = a_1 + \frac{3a_1}{3a_1 + a_2} \cdot a_2$ حيث:

a_1 : المساحة الصافية للساق الموصولة من الزاوية.

a_2 : المساحة الصافية للساق غير الموصولة من الزاوية.

٢ **مقطع العنصر مكون من زاويتين مربوطتين على جانب واحد من صفيحة الوصل**: لإهمال اللامركزية تحسب مساحة مكافئة للمقطع من العلاقة التالية:

$$A_e = a_1 + \frac{5a_1}{5a_1 + a_2} \cdot a_2$$ حيث:

a_1 : المساحة الصافية للجزء الموصول من المقطع.

a_2 : المساحة الصافية للجزء غير الموصول من المقطع.

٣- عندما تكون الزاويتان مربوطتان على جانبي صفيحة الوصل : في هذه الحالة لا حاجة لأخذ مساحة مكافئة وإنما تؤخذ المساحة الكاملة الصافية بشرط أن يكون المقطعان مربوطين مع بعضهما كل متر على الأكثر بواسطة براغي أو لحام دون الحاجة لحساب البراغي أو اللحام.

٤- مقطع العنصر مكون من زاوية واحدة ومدعم بزاوية للربط : في هذه الحالة تؤخذ المساحة الكاملة الصافية ولا حاجة لأخذ مساحة مكافئة.

الإجهادات المسموحة على الشد المحوري:

يعطى الإجهاد المسموح على الشد المحوري حسب شكل المقطع و نوع الفولاذ وسماكة الصفائح وفق الجدول رقم (١):

نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
مقاطع U+ مقاطع I صفائحية	Gr43	كل السماكات	155
مقاطع (UB–UC)	Gr43	≤ 40	155
		> 40	140
صفائح وقضبان وباقي المقاطع	Gr43	≤ 40	155
		> 40	140
كل المقاطع	Gr50	≤ 65	215
		> 65	$\sigma_y / 1.63$
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	265
		> 40	245

نسبة النحافة للعناصر المشدودة:

رغم أن المساحة الصافية هي العامل الوحيد في تصميم العناصر المشدودة . إلا أن المواصفات العالمية تنص على تحديد قيمة لنسبة النحافة للعناصر المشدودة كما يلي:

-للعناصر الرئيسية : $\lambda = \frac{L}{r_{\min}} \le 240$

-للعناصر الثانوية : $\lambda = \frac{L}{r_{\min}} \le 300$

-ارتفاع المقطع يجب أن يحقق العلاقة: $\frac{L}{h} \le 50$

حيث l : طول العنصر مقاساً من مركز الوصلة إلى مركز الوصلة الأخرى.

$r_{\min}$: نصف قطر العطالة الأصغر لمقطع العنصر المشدود.

والسبب هو أن المنشأ قد يتعرض لاهتزازات معينة نتيجة حمولات الرياح أو حالات أخرى قد تحدث في العناصر المشدودة قوى ضغط غير متوقعة.

الطريقة العامة للتصميم:

تصمم العناصر المعرضة للشد البسيط وفق العلاقة التالية:

$$f_t = \frac{P}{A_e} \le \sigma_t \quad \text{حيث:}$$

f_t : إجهاد الشد الفعلي. ، P : قوة الشد المركزية المطبقة.

A_e : المساحة الفعالة. ، σ_t : الإجهاد المسموح به على الشد المحوري.

ولتصميم مقطع لعنصر مشدود نتبع الخطوات التالية:

- نحسب المساحة المطلوبة من العلاقة : $A_n = \frac{P}{\sigma_t}$.
- من الجداول الخاصة بالمقاطع نختار مقطعاً مساحته تعادل $A`(1.2 \to 1.4)$.
- نحسب المساحة الفعالة حسب حالة المقطع كما هو مبين أعلاه.
- لكي يكون التصميم مقبولاً يجب أن يكون: $A_e > A_n$. وأن تكون شروط النحافة محققة.

مثال ١: المطلوب حساب القوة القصوى التي يمكن أن يتحملها عنصر مشدود مقطعه مؤلف من زاوية واحدة (57*57*6.7mm) وذلك في الحالات التالية:

الحالة الأولى: العنصر ملحوم عند نهايتيه ومدعم بزاوية ربط.

الحالة الثانية: العنصر مربوط عند نهايتيه ببواغي قطر ٢٠ مم ومدعم بزاوية ربط.

الحالة الثالثة: بفرض أن العنصر غير مدعم بزاوية ربط. يطلب حساب قدرة تحمل مقطع العنصر لنفس شروط الحالتين السابقتين.

الحـــــــــــل:

من الجداول نستخرج قيمة مساحة المقطع: $A = 6.82 \quad cm^2$.

ويكون الإجهاد المسموح على الشد من الجدول: $\sigma_t = 155 \ N/mm^2$

الحالة الأولى: العنصر ملحوم ومدعم بزاوية ربط . لذلك تكون المساحة A هي المساحة الكاملة: $A = 6.82 \quad cm^2$ وبالتالي:

$$P = A \cdot \sigma_t = 6.82 \cdot 10^2 \cdot 155 = 105710 \ N = 105.71 \ kN$$

الحالة الثانية: العنصر مدعم بزاوية ربط ومربوط بالبراغي. لذلك تكون المساحة A هي المساحة الصافية للمقطع:

$$A = 6.82 - 2 \cdot 0.62 = 5.58 \quad cm^2$$
$$P = 5.58 \cdot 10^2 \cdot 155 = 86490 \quad N = 86.49 \quad kN$$

الحالة الثالثة: لا يوجد زاوية ربط. لذلك يجب حساب المساحة المكافئة.

١ حالة اللحام:

$$a_1 = a_2 = \frac{6.82}{2} = 3.41 \quad cm^2 \quad \Rightarrow \quad A = 3.41 + \frac{3.41*3}{3*3.41+3.41} * 3.41 = 5.97 \quad cm^2$$
$$P = 5.97 \cdot 10^2 \cdot 155 = 92496 \ N = 92.5 \ kN$$

٢ – حالة البراغي:

$$a_1 = 3.41 - 2 \cdot 0.62 = 2.17 \quad cm^2$$
$$a_2 = 3.41 \quad cm^2$$
$$A = 2.17 + \frac{2.17*3}{3*2.17+3.41} * 3.41 = 4.46 \quad cm^2$$
$$P = 4.46 \cdot 10^2 \cdot 155 = 69071.2 \ N = 69.07 \ kN$$

مثال ٢ : يبين الشكل عقدة من جائز شبكي تتعرض العناصر المكونة لها للقوى المحورية التالية:

$$F_{AB} = +235\ kN\ ,\ F_{AC} = +188\ kN\ ,\ F_{AE} = -37.5\ kN$$
$$F_{AD} = +60\ kN\ ,\ F_{AF} = +90\ kN$$

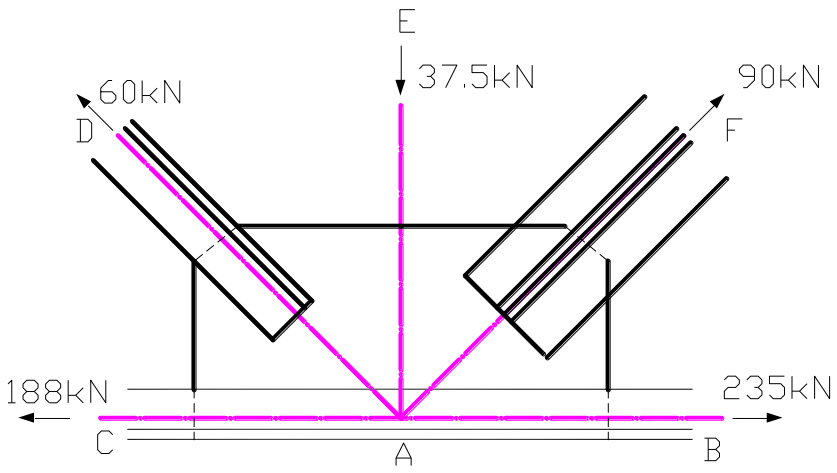
أطوال عناصر العقدة: $L_{AB} = L_{AC} = 2\ m$, $L_{AE} = 1.6\ m$, $L_{AD} = L_{AF} = 2.561\ m$ المطلوب :

١ تصميم الوتر السفلي بحيث يكون مستمراً ومؤلفاً من زاويتين مجمعتين على جانبي لوح الوصل.

٢ تصميم العنصر القطري AD من زاوية واحدة.

٣ تصميم العنصر القطري AF من زاويتين متظاهرتين على جهة واحدة من لوح الوصل.

علماً أن الفولاذ Gr43 ، سماكة لوح الوصل 8 mm ، قطر البراغي 18 mm



١ **تصميم الوتر السفلي**: بما أن العنصر مستمر نصمم الوتر على القوة الأكبر.

L = 2 m , F = 235 kN

- **تحديد شروط الاستقرار**:

$$h \geq \frac{L}{50} = \frac{2000}{50} = 40\ \ mm \qquad , \qquad \lambda \leq 240$$

- **تحديد الإجهاد المسموح على الشد :**

الفولاذ Gr 43 ، بفرض السماكة أقل من ٤٠ مم: من الجدول نجد:

$$\sigma_t = 155\ \ N/mm^2$$

- **حساب المساحة اللازمة :**

$$A_n = \frac{235 \cdot 10^3}{155} = 1516.12 \qquad mm^2$$

بما أن العنصر مؤلف من زاويتين نبحث في الجداول عن زاوية مساحتها أكبر من نصف المساحة المطلوبة:

$$a_1 = \frac{1516.12}{2} \approx 758.06 \quad mm^2$$

نختار الزاوية L 70*70*7 mm ذات المواصفات التالية:

$$a = 9.4 \ cm^2 \ , \ I_x = I_y = 42.3 \ cm^4 \ , \ r_x = r_y = 2.12 \ cm \ , \ d = 1.97 \ cm$$

ثم نحسب مواصفات المقطع المركب من زاويتين مجمعتين على جانبي لوح الوصل.

$$A_{net} = 2\left[940 - 7 \cdot 19.5\right] = 1607 \ mm^2$$

$$A = 2 \cdot 940 = 1880 \ mm^2$$

$$r_{x-x} = r_x = 21.2 \ mm$$

$$I_{y-y} = 2\left[I_y + a\, d_1^2\right] = 2\left[42.3 + 9.4(1.97 + .4)^2\right] = 190.2 \ cm^4$$

$$r_{y-y} = \sqrt{\frac{I_{y-y}}{A}} = \sqrt{\frac{190.2}{18.8}} = 3.18 \ cm = 31.8 \ mm$$

- **تحقيق المقطع :**

أ – شروط المتانة :

$$\sigma = \frac{F}{A_{net}} = \frac{235 \cdot 10^3}{1607} = 146.25 \quad N/mm^2 \ < \sigma_t$$

ب – شروط الاستقرار :

$$\lambda_{x-x} = \frac{L_{ex}}{r_{x-x}} = \frac{2000}{21.2} = 94.34 \quad < \quad 240$$

$$\lambda_{y-y} = \frac{L_{ey}}{r_{y-y}} = \frac{2000}{31.8} = 62.89 \quad < \quad 240$$

٢ – تصميم العنصر القطري AD :

العنصر مؤلف من زاوية واحدة. F = 60 kN , L = 2.561 m

- **شرط الاستقرار :**

$$h \geq \frac{L}{50} = \frac{2561}{50} = 51.22 \quad mm \qquad , \qquad \lambda \leq 240$$

- **نحسب المساحة اللازمة :**

$$A_n = \frac{60 \cdot 10^3}{155} = 387.1 \quad mm^2$$

نختار الزاوية L 70*70*6 حيث $r_x = r_y = 21.3$ mm ، $A = 813 \ mm^2$

- **تحقيق المقطع :**

أ- شرط المتانة :

بما أن وصل الزاوية المفردة غير مركزي تحسب المساحة الصافية من العلاقة التالية :

$$A_e = a_1 + \frac{3a_1}{3a_1 + a_2} \cdot a_2$$ حيث :

a_1 : المساحة الصافية للجناح المتصل.

a_2 : المساحة الكلية للجناح غير المتصل.

$$a_1 = \frac{813}{2} - 19.5 \cdot 6 = 289.5 \ mm^2$$

$$a_2 = \frac{813}{2} = 406.5 \ mm^2$$

$$A_e = 289.5 + \frac{3 \cdot 389.5}{3 \cdot 389.5 + 406.5} \cdot 406.5 = 566.4 \ mm^2 > A_n \qquad OK$$

ب- شرط الاستقرار :

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{2561}{21.3} = 120.24 < 240 \qquad OK$$

٣- تصميم العنصر القطري AF :

العنصر مؤلف من زاويتين تتصلان بجهة واحدة من لوح الوصل.

L = 2.561 m , F = 90 kN

- **شرط الاستقرار :**

$$h \geq \frac{L}{50} = \frac{2561}{50} = 51.22 \ mm \qquad , \qquad \lambda \leq 240$$

- **نحسب المساحة اللازمة :**

$$A_n = \frac{90 \cdot 10^3}{155} = 580.65 \ mm^2$$

نختار الزاوية L 60*60*6 حيث $r_x = r_y = 18.2$ mm ، $A = 691 \ mm^2$

$I_x = I_y = 22.8 \ cm^4$, d = 16.9 mm

ثم نحسب مواصفات المقطع المركب من زاويتين مجمعتين على جانب واحد من لوح الوصل.

$$A = 2 \cdot 691 = 1382 \ mm^2$$

$$r_{x-x} = r_x = 18.2 \ mm$$

$$I_{y-y} = 2\left[I_y + a\,d^2\right] = 2\left[22.8 + 6.91(1.69)^2\right] = 85.07 \ cm^4$$

$$r_{y-y} = \sqrt{\frac{I_{y-y}}{A}} = \sqrt{\frac{85.07}{13.82}} = 2.48 \ cm = 24.8 \ mm$$

- **تحقيق المقطع :**

أ – شروط المتانة : الوصل غير مركزي لذلك تحسب المساحة الصافية من العلاقة :

$$A_e = a_1 + \frac{5a_1}{5a_1 + a_2} \cdot a_2$$

$$a_1 = 2\left[\frac{691}{2} - 19.5 \cdot 6\right] = 457 \ \ mm^2$$

$$a_2 = 2\,\frac{691}{2} = 691 \ \ mm^2$$

$$A_e = 457 + \frac{5 \cdot 457}{5 \cdot 457 + 691} \cdot 691 = 987.6 \ \ mm^2 \ > A_n \qquad OK$$

ب – شروط الاستقرار :

$$\lambda_{x-x} = \frac{L_{ex}}{r_{x-x}} = \frac{2561}{18.2} = 140.7 \quad < \quad 240$$

$$\lambda_{y-y} = \frac{L_{ey}}{r_{y-y}} = \frac{2561}{24.8} = 103.3 \quad < \quad 240$$

الفصل الرابع: تصميم العناصر المعرضة لضغط محوري

مقدمة:

تتواجد العناصر المضغوطة في الجوائز الشبكية (الوتر العلوي) والأعمدة والهياكل الإطارية، كما أن الجناح العلوي للجوائز يكون معرضاً لقوى ضاغطة .

طرق انهيار العناصر المضغوطة:

- **انهيار المقطع العرضي بالتمزق:** يحصل في الأعمدة القصيرة عندما يزيد الإجهاد الفعلي عن إجهاد الخضوع للمادة.
- **الانهيار بالتحنيب:** يحصل في الأعمدة الطويلة عندما تتجاوز الحمولة قيم ة حرجة P_{cr} مما يؤدي إلى زيادة إجهادات الانعطاف والتقوس.
- **الانهيار المختلط بالتمزق والتحنيب:** ويحصل في الأعمدة متوسطة الطول.

نسبة النحافة العظمى:

هي حاصل نسبة الطول الفعال للعمود L_e إلى نصف قطر العطالة الأصغري للمقطع .

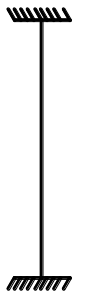
وتصنف الأعمدة حسب قيم نسبة النحافة إلى:

- أعمدة قصيرة: $\lambda_{max} = \frac{L_e}{r_{min}} \leq 60$
- أعمدة متوسطة: $60 \leq \lambda_{max} = \frac{L_e}{r_{min}} \leq 100$
- أعمدة طويلة: $\lambda_{max} = \frac{L_e}{r_{min}} \geq 100$

الطول الفعال للتحنيب:

هو الطول الذي يتم وفقه تحنيب العمود أو العنصر المضغوط . ويساوي الطول الحقيقي مضروباً بعامل التحنيب K_e. ويتعلق K_e بشروط الاستناد الطرفية للعنصر المضغوط.

- تعطى القيم العملية لعامل التحنيب للأعمدة حسب شروط الاستناد وفق الجدول رقم (٢) :



شروط الاسناد الطرفية	موثوق وحر	متصل من الطرفين	موثوق ومتصل	موثوق من الطرفين
القيم العملية لعامل التحنيب	2.1	1	0.8	0.65

-في العناصر الشبكية المضغوطة يؤخذ عامل التحنيب كما يلي:

- في مستوي الجائز الشبكي يؤخذ عامل التحنيب: $K_{ex} = 0.85$
- في المستوي العمودي على الجائز الشبكي يؤخذ: $K_{ey} = 1$

الإجهاد المسموح على الضغط:

يتعلق الإجهاد المسموح به على الضغط المحوري بشكل أساسي بنوع الفولاذ المستخدم ونسبة النحافة العظمى . ويعطى ضمن الجدول رقم (٣) لكل نوع من أنواع الفولاذ حسب نسبة النحافة العظمى.

ملاحظات تصميمية:

-يجب ألا تزيد نسبة النحافة للعنصر المضغوط عن 180.

-في العناصر المضغوطة المجمعة من مقطعين يجب ألا تزيد المسافة بين براغي الربط عن 60 cm. وذلك منعاً لحدوث تحنيب منفرد للعناصر المشكلة للعنصر. ويجب ألا يقل عدد براغي ربط العنصر المركب في نهايتيه عن 2 أو ما يعادلهما من اللحام.

-عندما يكون العنصر مكوناً من زاوية واحدة أو زاويتين مجمعتين على جانب واحد من لوح الوصل (حالة الوصل اللامركزي). تهمل اللامركزية بشرط ألا تزيد الإجهادات الفعلية عن 80% من الإجهاد المسموح على الضغط.

خطوات تصميم العناصر المضغوطة:

-نفرض قيمة للإجهاد المسموح على الضغط σ_C .

-نوجد المساحة المطلوبة من العلاقة: $A_n = \frac{P}{\sigma_C}$.

-نختار مقطعاً من الجداول ونحدد $\lambda_{\max}, r_{\min}$.

-نوجد القيمة الحقيقية لـ σ_C من الجدول رقم (٣) حسب نوع الفولاذ و $\lambda_{\max}$.

-نحسب إجهاد الضغط الفعلي $f_c = \frac{P}{A}$.

-لكي يكون المقطع مقبولاً يجب أن يكون:

$$f_C \le \sigma_C \quad ، \quad \lambda_{\max} \le 180$$

مثال ١: عمود متفصل من الطرفين طوله 5m يتعرض لحمولة ضغط مركزية P=500 kN . المطلوب تصميم المقطع المناسب لهذا العمود علماً أن الفولاذ Gr43.

- **نفرض قيمة للإجهاد المسموح على الضغط:** $\sigma_C = 80 \quad N/mm^2$
- **نحسب المساحة المطلوبة:** $A_n = \frac{P}{\sigma_C} = \frac{500 \cdot 10^3}{80} = 6250 \quad mm^2$
- **اختيار المقطع:** من جدول مقاطع ا لأعمدة UC نختار مقطعاً مساحته تقترب من A_n. نختار المقطع UC 203*203*52 ذي المواصفات التالية:

$$A = 6640 \ mm^2 \quad , \quad r_x = 89 \ mm \quad , \quad r_y = 51.6 \ mm$$

- **نوجد القيمة الحقيقية للإجهاد المسموح:** العمود متفصل من الطرفين: $k_e = 1$

$$\lambda_{\max} = \frac{1 \cdot 5000}{51.6} = 96.9 \quad < 180 \quad ok$$

الفولاذ نوع Gr43

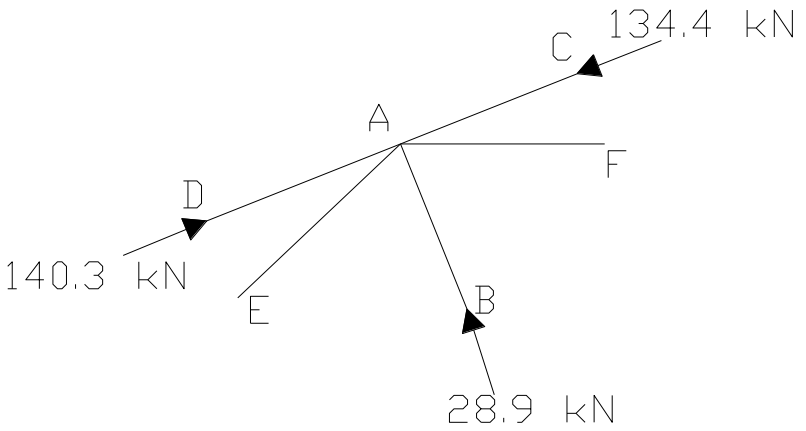
من الجدول نجد : $\sigma_C = 83 \quad N/mm^2$

- **نحسب الإجهاد الفعلي:** $f_c = \frac{P}{A} = \frac{500 \cdot 10^3}{6640} = 75.3 \quad N/mm^2 < \sigma_C$

مثال ٢: يبين الشكل عقدة من جائز شبكي. المطلوب:

١ -تصميم العنصر المضغوط AD من زاويتين مجمعتين على جانبي صفيحة الوصل.

٢ -تصميم العنصر المضغوط AB من زاوية واحدة. علماً أن $L_{AD}=2.7m$ ، $L_{AB}=2.15m$ سماكة صفيحة الوصل 8 mm. الفولاذ Gr 43.



الحـــــــل :

١ **تصميم مقطع العنصر AD:**

- **نفرض قيمة للإجهاد المسموح:** $\sigma_C = 70 \ \ N/mm^2$
- **نحسب المساحة اللازمة:** $A_n = \frac{P}{\sigma_C} = \frac{140.3 * 10^3}{70} = 2004.3 \quad mm^2$
- **اختيار المقطع :** من الجداول نختار المقطع 2L70*70*8 ومواصفاته هي:

$$A = 2120 \quad mm^2 \quad , \quad r_x = 21.1 \quad mm \quad , \quad r_y = 32.1 \quad mm$$

- **حساب الإجهاد المسموح الحقيقي:**

$$\lambda_x = \frac{L_{ex}}{r_x} = \frac{0.85 \cdot 2700}{21.1} = 108.8 \quad < 180$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ey}}{r_y} = \frac{1 \cdot 2700}{32.1} = 84.1 \quad < 180$$

$$\lambda_{\max} = 108.8 \quad , \quad St\ (Gr43) \quad \Rightarrow \quad \sigma_C = 70.2$$

- **حساب الإجهاد الفعلي:**

$$f_C = \frac{P}{A} = \frac{140.3*10^3}{2120} = 66.2 \quad N/mm^2 \ < \sigma_C \qquad ok$$

٢ **تصميم مقطع العنصر AB:**

- **نفرض قيمة للإجهاد المسموح:** $\sigma_C = 50 \ \ N/mm^2$
- **نحسب المساحة اللازمة:** $A_n = \frac{P}{\sigma_C} = \frac{28.9 * 10^3}{50} = 578 \quad mm^2$
- **اختيار المقطع :** من الجداول نختار المقطع L60*60*6 ومواصفاته هي:

$$A = 691 \quad mm^2 \quad , \quad r_x = 18.2 \quad mm = r_y$$

- **حساب الإجهاد المسموح الحقيقي:**

$$\lambda_x = \frac{L_{ex}}{r_x} = \frac{0.85 \cdot 2150}{18.2} = 100.4 \quad < 180$$

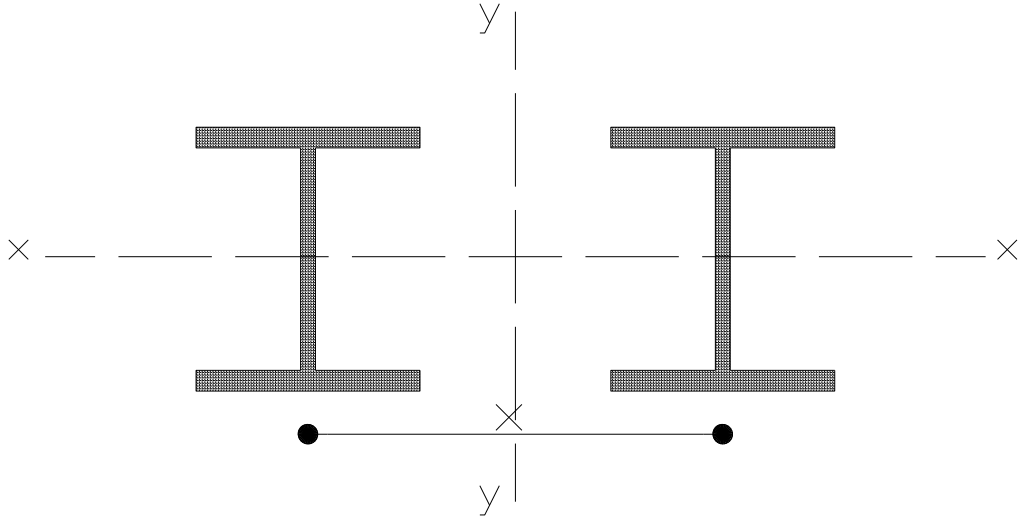
$$\lambda_y = \frac{L_{ey}}{r_y} = \frac{1 \cdot 2150}{18.2} = 118.1 \ < 180$$

$$\lambda_{\max} = 118.1 \quad , \quad St\ (Gr43) \quad \Rightarrow \quad \sigma_C = 61$$

- **حساب الإجهاد الفعلي:**

$$f_C = \frac{P}{A} = \frac{28.9*10^3}{691} = 41.8 \quad N/mm^2 \ < 0.8\sigma_C = 48.8 \qquad ok$$

مثال ٣ : عمود معدني طوله $L = 9 \ m$ موثوق من أحد طرفيه ومتمفصل من الآخر، يتعرض لحمولة ضغط مركزية قيمتها $P = 1400 \ kN$. المطلوب تصميم مقطع لهذا العمود من مقاطع I المزدوجة علماً أن نوع الفولاذ $Gr43$.



الحل:

١- نفرض قيمة للإجهاد المسموح σ_C :

نفرض $\sigma_C = 120 \ N/mm^2$

٢- حساب المساحة اللازمة واختيار المقطع المناسب :

$$A_n = \frac{P}{\sigma_C} = \frac{1400 * 10^3}{120} = 11666.67 \quad mm^2$$

نختار مقطعاً مؤلفاً من $2 * UB305 * 127 * 48$ مواصفات المقطع الواحد كالتالي:

$$a = 6090 \quad mm^2 \ , \ I_x = 9507 * 10^4 \quad mm^4 \ , \quad I_y = 460 * 10^4 \quad mm^4$$

نحسب مواصفات المقطع المركب :

$$A = 2 * 6090 = 12180 \quad mm^2$$

$$I_{xx} = 2 * 9507 * 10^4 = 19014 * 10^4 \quad mm^4$$

$$I_{yy} = 2 * \left[460 * 10^4 + 6090 * \left(\frac{x}{2} \right)^2 \right] = 920 * 10^4 + 3045 \ x^2$$

$$I_{xx} = I_{yy} \quad \Rightarrow \quad x = 243.8 \quad mm$$

$$r_{xx} = r_{yy} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}} = \sqrt{\frac{19014 * 10^4}{12180}} = 124.9 \quad mm$$

٣-تدقيق كفاءة المقطع :

$$\lambda_{xx} = \lambda_{yy} = \frac{0.8 * L}{r_{xx}} = \frac{0.8 * 9000}{124.9} = 57.6 < 180$$

$$\lambda = 57.6 \ , \ Gr\ 43 \ \Rightarrow \ \sigma_C = 127.5 \quad N/mm^2$$

$$f_C = \frac{P}{A} = \frac{1400 * 10^3}{12180} = 114.9 \quad N/mm^2 < \sigma_C \qquad ok$$

مثال ٤: عنصر شبكي مضغوط طوله L=3m . المطلوب حساب الحمولة القصوى على الضغط لهذا العنصر في الحالات التالية:

-المقطع مؤلف من زاوية واحدة قياس L80*80*8 mm.

-المقطع مؤلف من زاويتين 2L50*50*6 mm مجمعتين على جانبي صفيحة الوصل.

-المقطع مؤلف من زاويتين 2L50*50*6 mm مجمعتين على جانب واحد من صفيحة الوصل. علماً أن الفولاذ Gr50، سماكة صفيحة الوصل 8 mm.

الحـــــــــل:

-الحالة الأولى:

من الجداول نجد : $A=1230 \quad mm^2 \quad , \quad r_x=24.3 \ mm=r_y$

$$\lambda_x=\frac{L_{ex}}{r_x}=\frac{0.85\cdot 3000}{24.3}=104.9 \ <180 \quad ; \quad \lambda_y=\frac{L_{ey}}{r_y}=\frac{1\cdot 3000}{24.3}=123.5 \ <180$$

$$\lambda_{\max}=123.5 \quad , \quad St\ (Gr50) \quad \Rightarrow \quad \sigma_C=63.5$$

$$P_{\max}=0.8\sigma_C\cdot A=0.8\cdot 63.5\cdot 1230\cdot 10^{-3}=62.5 \ kN$$

-الحالة الثانية:

من الجداول نجد : $A=1138 \quad mm^2 \quad , \quad r_x=15 \ mm \quad , \quad r_y=23.8 \ mm$

$$\lambda_x=\frac{L_{ex}}{r_x}=\frac{0.85\cdot 3000}{15}=170 \ <180 \quad ; \quad \lambda_y=\frac{L_{ey}}{r_y}=\frac{1\cdot 3000}{23.8}=126.1 \ <180$$

$$\lambda_{\max}=170 \quad , \quad St\ (Gr50) \quad \Rightarrow \quad \sigma_C=35$$

$$P_{\max}=\sigma_C\cdot A=35\cdot 1138\cdot 10^{-3}=39.8 \ kN$$

-الحالة الثالثة:

من الجداول نجد : $A=1138 \quad mm^2 \quad , \quad r_x=15 \ mm \quad , \quad r_y=20.8 \ mm$

$$\lambda_x=\frac{L_{ex}}{r_x}=\frac{0.85\cdot 3000}{15}=170 \ <180$$

$$\lambda_y=\frac{L_{ey}}{r_y}=\frac{1\cdot 3000}{20.8}=144.2 \ <180$$

$$\lambda_{\max}=23.5 \quad , \quad St\ (Gr50) \quad \Rightarrow \quad \sigma_C=35$$

$$P_{\max}=0.8\sigma_C\cdot A=0.8\cdot 35\cdot 1138\cdot 10^{-3}=31.8 \ kN$$

الفصل الخامس: تصميم المقاطع على الانعطاف

تصميم المقطع على الانعطاف:

يتعرض مقطع جائز في الحالة العامة إلى إجهادات ناظمية وإجهادات مماسية . وتعطي الإجهادات الناظمية في الحالة العامة قيمتين أعظميتين :

-إجهاد الضغط: $$f_{bc}=\frac{M\cdot y_{c\max}}{I}=\frac{M}{W_c}$$

-إجهاد الشد: $$f_{bt}=\frac{M\cdot y_{t\max}}{I}=\frac{M}{W_t}$$

ويلزم للتصميم السليم ألا تزيد قيمة كل من إجهاد الضغط وإجهاد الشد عن قيمة الإجهاد المسموح به على الشد وعلى الضغط نتيجة الانعطاف:

$$f_{bc}=\frac{M}{W_c}\le\sigma_{bc}\quad ;\quad f_{bt}=\frac{M}{W_t}\le\sigma_{bt}$$

وعندما يكون المقطع متناظراً بالنسبة للمحور السليم يكون إجهاد الشد مساوياً لإجهاد الضغط.

الإجهاد المسموح به على الشد نتيجة الانعطاف:

تتبع قيمة الإجهاد المسموح به على الشد نتيجة الانعطاف لنوع الفولاذ وشكل المقطع وسماكة صفائح المقطع وتعطى في الجدول رقم (٤) :

نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
جوائز ثانوية – مجاري	Gr43	كل السماكات	165
مقاطع (UB–UC) وباقي المقاطع	Gr43	≤ 40	165
		>40	150
كل المقاطع	Gr50	≤ 65	230
		>65	$\sigma_y/1.52$
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	280
		>40	260

الإجهاد المسموح به على الضغط نتيجة الانعطاف:

-بما أن قسماً من مقطع الجائز يكون معرضاً للضغط كما رأينا يكون هذا القسم معرضاً للتحنيب . وحيث أن التحنيب لا يمكن أن يكون رأسياً لارتباط الجزء المضغوط من المقطع بالجزء المشدود . لذلك يتعرض الجزء المضغوط من المقطع إلى تحنيب جانبي مما يعرضه للانهيار نتيجة لإجهادات أقل من إجهادات الشد المذكورة أعلاه.

-يمكن منع هذا التحنيب بمسك الجناح المضغوط بمساند جانبية . وأيضاً تعتبر البلاطات البيتونية التي توضع فوق الجوائز مانعة للتحنيب الجانبي . وفي هذه الحالة يعتبر الإجهاد المسموح به على الضغط $\sigma_{bc} = \sigma_{bt}$.

-في الجوائز المعرضة للتحنيب الجانبي يعطى الإجهاد المسموح به σ_{bc} في الجدول رقم (٦) حسب نوع الفولاذ وحسب النسب التالية:

- النسبة $\frac{l}{r_y}$: حيث : l : الطول المكافئ لتحنيب الجناح المضغوط . ويؤخذ المسافة بين المساند الجانبية الرابطة لجناح المقطع.

  r_y : نصف قطر العطالة للمقطع حول المحور yy.

  ويجب ألا تزيد هذه النسبة عن 300.

- النسبة $\frac{D}{T}$: حيث : D : الارتفاع الكلي للمقطع.

  T : السماكة الوسطية للجناح المضغوط.

الإجهاد المسموح به على القص الوسطي:

بشكل عام يتحمل جسد المقطع أغلب قوة القص . لذلك يحسب عادة الإجهاد الوسطي على الجسد من العلاقة التالية: $\tau = \frac{F}{D \cdot t_w}$ حيث : F : قوة القص المطبقة على المقطع.

D : ارتفاع المقطع ، t_w : سماكة جسد المقطع.

وفي هذه الحالة يعطى الإجهاد المسموح به على القص الوسطي τ_p حسب نوع الفولاذ وسماكة الصفائح وفق الجدول رقم (٧) :

نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
كل المقاطع	Gr43	≤ 40	100
		>40	90
كل المقاطع	Gr50	كل السماكات	140
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	170
		>40	160

الإجهادات المركبة:

تحصل الإجهادات المركبة في الجوائز نتيجة ترافق إجهادات الانعطاف والقص في نفس المقطع وتحقق هذه الإجهادات في المقاطع التي تتعرض لقص أعظمي مترافقاً مع انعطاف أعظمي مثل الوثاقات والمساند الداخلية وأماكن القوى المركزة . وتحسب هذه الإجهادات من العلاقة التالية: $f_e = \sqrt{\overline{f_{bt}}^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_e$

ويعطى الإجهاد المسموح به للإجهادات المرك بة σ_e وفق الجدول رقم (٨) حسب شكل المقطع ونوع الفولاذ وسماكة الصفائح:

نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
جوائز ثانوية – مجاري	Gr43	كل السماكات	230
مقاطع (UB–UC) وباقي المقاطع	Gr43	≤ 40	230
		>40	210
كل المقاطع	Gr50	≤ 65	320
		>65	$\sigma_y/1.1$
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	390
		>40	360

السهم المسموح في الجوائز:

يجب ألا يزيد السهم في الجوائز عن $\frac{L}{360}$. حيث : L : مجاز الجائز.

خطوات تصميم مقاطع الجوائز المعرضة للانعطاف:

-نحسب العزم والقص الناتجين عن الحمولات الخارجية.

-نحسب عامل المقطع المرن اللازم من العلاقة: $W_{xn} = \frac{M_{\max}}{\sigma_{bt}}$.

-نختار مقطعاً مناسباً من الجداول بحيث يكون: $W_x > W_{xn}$.

-نحقق المقطع المختار على العزم والقص والإجهادات المركبة والسهم . ويجب أن يتحقق ما يلي:

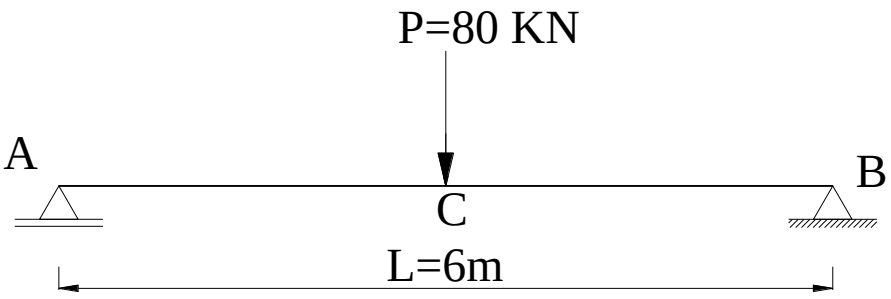
$$f_{bt} = \frac{M_{\max}}{W_{xt}} \le \sigma_{bt} \quad , \quad f_{bc} = \frac{M_{\max}}{W_{xc}} \le \sigma_{bc}$$

$$\tau = \frac{F}{D \cdot t_w} \le \tau_p$$

$$f_e = \sqrt{\overline{f_{bt}}^2 + 3\tau^2} \le \sigma_e$$

$$\delta \le \frac{L}{360}.$$

مثال ١ : جائز بسيط طوله L=6 m محمل بحمولة مركزة في وسطه قيمتها P=80 kN مسنود جانبياً عند نهايتيه وعند نقطة تطبيق القوة المركزة . المطلوب تصميم مقطع لهذا الجائز علماً أن الفولاذ Gr 43. $E = 2 \cdot 10^5 \quad N/mm^2$.



الحـــــــــل:

١ حساب العزم والقص الأعظميين:

$$M_{\max} = \frac{P \cdot L}{4} = \frac{80 \cdot 6}{4} = 120 \quad kN.m$$

$$F_{\max} = \frac{P}{2} = \frac{80}{2} = 40 \quad kN$$

٢ حساب المقطع المرن اللازم:

الفولاذ Gr 43 ، من الجدول نجد : $\sigma_{bt} = 165$.

$$W_{xn} = \frac{M_{\max}}{\sigma_{bt}} = \frac{120 \cdot 10^6}{165} = 727272.7 \quad mm^3$$

٣ اختيار المقطع المناسب:

من الجداول نختار مقطعاً بحيث يكون: $W_x > W_{xn}$.

نختار المقطع UB 406*140*46 ذي المواصفات التالية:

$$W_x = 779000 \quad mm^2 \quad , \quad r_y = 30.3 \quad mm$$

$$I_x = 15670 \cdot 10^4 \quad mm^2 \quad , \quad t_w = 6.9 \quad mm$$

$$D = 402.3 \quad mm \quad , \quad T = 11.2 \quad mm$$

٤ تدقيق المقطع المختار:

- **على القص** : الفولاذ Gr 43 ، السماكات أقل من 40 $\leftarrow \quad \tau_p = 100$

$$\tau = \frac{F_{\max}}{D \cdot t_w} = \frac{40 \cdot 10^3}{402.3 \cdot 6.9} = 14.41 \quad N/mm^2 \leq \tau_p$$

- **على الانعطاف** : الفولاذ Gr 43 ، السماكات أقل من 40 $\leftarrow \quad \sigma_{bt} = 165$

لحساب الإجهاد المسموح على الضغط نحسب النسب التالية:

$$\frac{l}{r_y} = \frac{3000}{30.3} = 99 \text{ ـ} \quad ، \quad \frac{D}{T} = \frac{402.3}{11.2} = 35.9$$

من الجداول نجد : $\sigma_{bc} = 157 \quad N/mm^2$

$$f_{bt} = \frac{M_{\max}}{W_{xt}} = \frac{120 \cdot 10^6}{779000} = 154 \quad N/mm^2 \le \sigma_{bt}$$

$$f_{bc} = \frac{M_{\max}}{W_{xc}} = \frac{120 \cdot 10^6}{779000} = 154 \quad N/mm^2 \le \sigma_{bc}$$

- **الإجهادات المركبة:** تدقق في المقطع الوسطي للجائز حيث يترافق العزم الأعظمي مع قوة القص الأعظمية.

من الجداول نجد : $\sigma_e = 230 \quad N/mm^2$

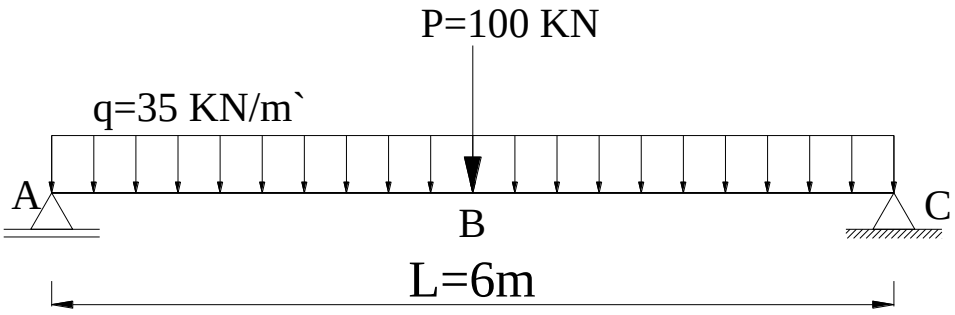
$$f_e = \sqrt{\overline{f_{bt}}^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(154)^2 + 3 \cdot (14.41)^2} = 156.1 \quad N/mm^2 \le \sigma_e$$

- **السهم الأعظمي :** يحسب السهم الناتج عن حمولة مركزة من العلاقة التالية:

$$\delta = \frac{P.L^3}{48EI} = \frac{80 \cdot 10^3 \cdot (6000)^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 15670 \cdot 10^4} = 11.5 \quad mm$$

$$\delta_p = \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16.7 \quad mm$$

مثال ٢ : صمم الجائز الخاضع لحمولة موزعة بانتظام تتضمن الوزن الذاتي قدرها $35 \quad KN/m$ وحمولة مركزة في منتصف فه قدرها $100 \quad KN$ طول الجائز $6 \, m$ وهو غير مدعم جانبياً . الفولاذ المستخدم Gr 43 وعامل يونغ للفولاذ $E = 2.1*10^5 \, Mpa$.



الحل :

❁ **نوجد العزم والقص الأعظميين :**

$$M_{\max} = \frac{q.L^2}{8} + \frac{P.L}{4} = \frac{35.6^2}{8} + \frac{100.6}{4} = 307.5 \ KN.m$$

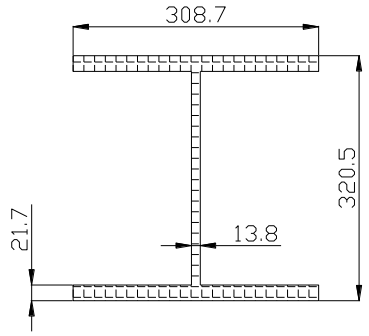
$$Q_{\max} = \frac{q.L}{2} + \frac{P}{2} = 155 \ KN \ ; \quad Q_B = 50 \ KN$$

❁ **نوجد معامل المقطع المرن :** من الجداول نجد: $\sigma_{bt} = 165 \ N/mm^2$

$$W_{xn} = \frac{M_{\max}}{[\sigma_{b.c}]} = \frac{307.5*10^6}{165} = 1863.64*10^3 \ mm^3$$

❁ **اختيار المقطع المناسب :**

بما أن الجائز غير مدعم جانبياً يفضل اختيار المقطع من مقاطع UC التي تتمتع بعطالة عالية في الاتجاه Y.



$$UC305*305*137 \begin{bmatrix} D = 320.5 \ mm & , & t_w = 13.8 \ mm \\ I_x = 32770*10^4 \ mm^4 & , & T = 21.7 \ mm \\ W_x = 2045*10^3 \ mm^3 \ ; & r_y = 78.2 \ mm & \end{bmatrix}$$

❁❁ **– التحقق من المقطع المختار :**

- **إجهاد الشد الفعلي :**

$$\sigma_{bt} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{307.5*10^6}{2045*10^3} = 150.4 \ Mpa < 165 \ Mpa \quad (o.k)$$

- **إجهاد الضغط الفعلي :**

$$\sigma_{b.c} = \frac{M_{\max}}{W_x} = 150.4 \ MPa$$

بما أن الجائز غير مدعم جانبياً نقارن الإجهاد الفعلي الضاغط بالإجهاد المسموح والذي نحسبه وفقاً للجداول البريطانية :

$$\frac{L}{r_y} = \frac{6000}{78.2} = 76.7 \quad ; \quad \frac{D}{T} = \frac{320.5}{21.7} = 14.8$$

ومن الجدول نجد : $\sigma_{bc} = 165 \ N/mm^2$.

ونلاحظ أن إجهاد الضغط الفعلي أصغر من المسموح.

❁ **إجهاد القص الوسطي الفعلي :**

$$\tau = \frac{Q_{\max}}{D.t_w} = \frac{155*10^3}{320.5*13.8} = 35 \quad N/mm^2$$

من الجداول نجد : $\tau_p = 100 \quad N/mm^2$

❁ تحقيق الإجهادات المركبة :

$$f_e = \sqrt{{f_{bt}}^2 + 3.\tau^2} = \sqrt{(150.4)^2 + 3*(35)^2} = 162.1 \; Mpa$$

من الجداول نجد : $\sigma_e = 230 \quad N/mm^2$

❁ تحقيق السهم :

يحسب السهم الفعلي من العلاقة :

$$\delta = \frac{1}{48}.\frac{P.L^3}{EI} + \frac{5.q.L^4}{384.EI} =$$

$$= \frac{1}{48}.\frac{100*10^3*(6000)^3}{2.1*10^5*32770*10^4} + \frac{5*35*(6000)^4}{384*2.1*10^5*32770*10^4} = 15.1 \; mm$$

أما السهم المسموح فيساوي :

$$\delta_p = \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16.7 \; mm \rangle 15.1 \; mm$$

الفصل السادس: تصميم العناصر المحملة لا مركزياً

هي نوعان : العناصر المنعطفة والمضغوطة، والعناصر المنعطفة والمشدودة.

العناصر المنعطفة والمضغوطة:

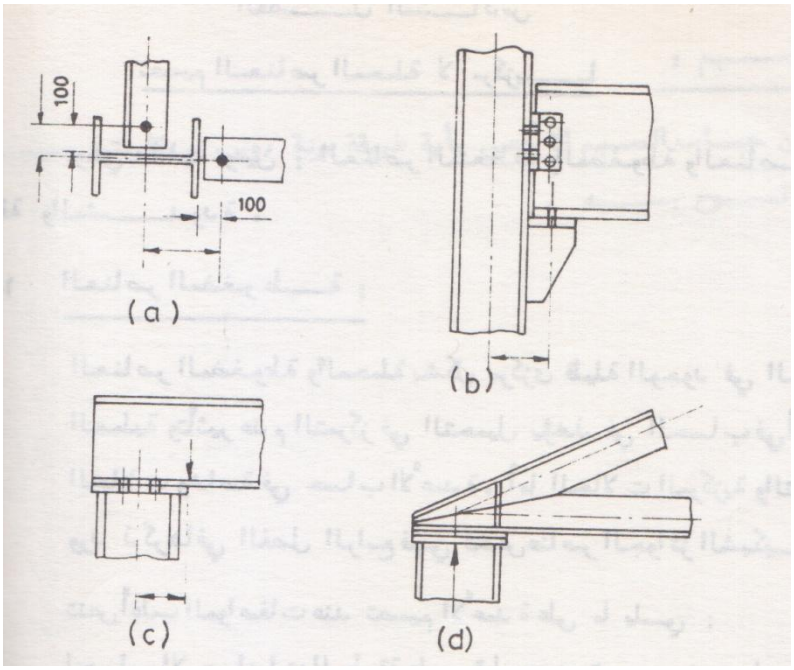
إن العناصر المضغوطة المحملة بشكل مركزي قليلة الوجود في الحياة العملية وتقتصر على عناصر الجوائز الشبكية.

بشكل عام يؤخذ تأثير عدم التمركز في الحساب وخاصة في تصميم الأعمدة . وتنص المواصفات عند تصميم الأعمدة على ما يلي:

لحساب الإجهادات المطبقة على عمود تحسب ردود أفعال الجوائز المطبقة عليها على بعد ١٠٠ مم من وجه مقطع العمود أو عند مركز التحميل (أيهما أكبر). ويستثنى من هذه القاعدة الحالتان التاليتان:

-في حالة الوصلة التي يركب الجائز بها كلياً فوق العمود تعتبر نقطة رد الفعل عند وجه العمود.

-في حالة الجائز الشبكي المستند كلياً فوق العمود تعتبر نقطة تطبيق رد الفعل مركزية ويصمم العمود في هذه الحالة على الضغط المحوري.



تصميم العناصر المضغوطة المحملة لا مركزياً:

يتعرض المقطع المحمل بحمولة ضاغطة P تبعد عن مركز ثقله بمقدار e لنوعين من الإجهادات:

-إجهاد ناظمي منتظم ناتج عن الحمولة الضاغطة: $f_C = \frac{P}{A}$.

-إجهاد ضغط ناتج عن عزم الانعطاف الناتج عن اللامركزية e :

$$f_{bC} = \frac{M}{W} = \frac{P \cdot e}{W}$$

-ويكون الإجهاد الكلي الضاغط: $f_C + f_{bC}$.

-ولتحقيق المقطع يجب تحقيق العلاقة التالية: $\frac{f_C}{\sigma_C} + \frac{f_{bC}}{\sigma_{bC}} \le 1$ حيث:

σ_C : الإجهاد المسموح به على الضغط المحوري.

σ_{bC} : الإجهاد المسموح به على الضغط نتيجة الانعطاف.

تصميم العناصر المشدودة المحملة لامركزياً:

يتعرض المقطع المحمل بحمولة شد P تبعد عن مركز ثقله بمقدار e لنوعين من الإجهادات:

-إجهاد ناظمي منتظم ناتج عن حمولة الشد: $f_t = \frac{P}{A}$.

-إجهاد شد ناتج عن عزم الانعطاف الناتج عن اللامركزية e :

$$f_{bt} = \frac{M}{W} = \frac{P \cdot e}{W}$$

-ويكون الإجهاد الكلي: $f_t + f_{bt}$.

-ولتحقيق المقطع يجب تحقيق العلاقة التالية: $\frac{f_t}{\sigma_t} + \frac{f_{bt}}{\sigma_{bt}} \le 1$ حيث:

σ_t : الإجهاد المسموح به على الشد المحوري.

σ_{bt} : الإجهاد المسموح به على الشد نتيجة الانعطاف.

مثال ١ : المطلوب تصميم مقطع لعمود متمفصل من الطرفين يحمل حمولة ضاغطة مقدارها P=500 kN وعزم انعطاف M=37 kN.m، ارتفاع العمود h=6.1 m، الجناح المضغوط للمقطع غير ممنوع من التحنيب الجانبي على كامل ارتفاع المقطع، الفولاذ Gr 43.

الحـــــــل:

-نفرض قيمة للإجهاد المسموح على الضغط: $\sigma_C = 70 \quad N/mm^2$.

-نحسب المساحة اللازمة: $A_n = \frac{P}{\sigma_C} = \frac{500 \cdot 10^3}{70} = 7142.9 \ mm^2$.

-نختار من الجداول مقطعاً تكون مساحته $A > 1.5A_n$.

نختار المقطع UC 203*203*86 ذي المواصفات التالية:

$$A = 11000 \quad mm^2 \quad ; \quad W_x = 851 \cdot 10^3 \quad mm^3$$
$$r_y = 53.2 \quad mm \quad ; \quad T = 20.5 \quad mm \quad ; \quad D = 222.3$$

-نحسب الإجهادات المسموحة :

$$\frac{l_e}{r_y} = \frac{6100}{53.2} = 114.7 \quad \Rightarrow \quad \sigma_C = 65.3 \quad N/mm^2$$

$$\frac{D}{T} = \frac{222.3}{20.5} = 10.8 \quad \Rightarrow \quad \sigma_{bc} = 165 \quad N/mm^2$$

-نحسب الإجهادات الفعلية:

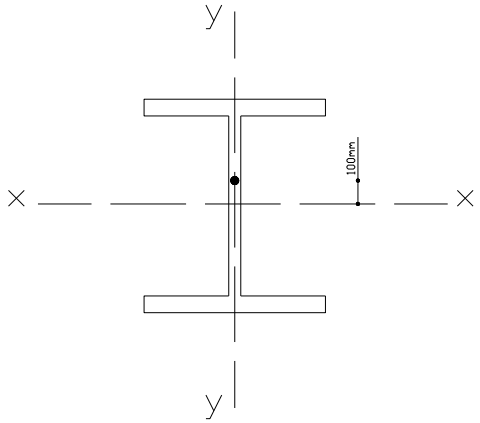
$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{500 \cdot 10^3}{11000} = 45.5 \quad N/mm^2$$

$$f_{bc} = \frac{M}{W_x} = \frac{37 \cdot 10^6}{851 \cdot 10^3} = 43.5 \quad N/mm^2$$

-نطبق علاقة التحقيق:

$$\frac{f_C}{\sigma_C} + \frac{f_{bC}}{\sigma_{bC}} = \frac{45.5}{65.3} + \frac{43.5}{165} = 0.96 < 1 \quad ok$$

مثال ٢ : عمود معدني طوله $L=8\ m$ موثوق من الطرفين ومسنود جانبياً عند نهايتيه وعلى ارتفاع 6m عن قاعدته، يتعرض لحمولة ضغط لامركزية قيمتها $P=500\ kN$. تبعد عن المحور $x-x$ بمقدار ١٠٠ مم. المطلوب تصميم مقطع لهذا العمود علماً أن نوع الفولاذ $Gr\,43$.



-نفرض قيمة للإجهاد المسموح على الضغط: $\sigma_C=100\ \ N/mm^2$.

-نحسب المساحة اللازمة: $A_n=\dfrac{P}{\sigma_C}=\dfrac{500\cdot10^3}{100}=5000\ \ mm^2$.

-نختار من الجداول مقطعاً تكون مساحته $A>1.5A_n$.

نختار المقطع UC 203*203*71 ذي المواصفات التالية:

$A=9090\ \ mm^2$; $W_x=707\cdot10^3\ \ mm^3$; $r_x=91.6$

$r_y=52.8\ \ mm$; $T=17.3\ \ mm$; $D=215.9$

-نحسب الإجهادات المسموحة :

$$\left.\begin{aligned}\frac{l_{ex}}{r_x}&=\frac{0.65\cdot8000}{91.6}=56.8\\ \frac{l_{ey}}{r_y}&=\frac{0.65\cdot6000}{52.8}=73.9\end{aligned}\right| \quad\Rightarrow\quad \sigma_C=111.1\ \ N/mm^2$$

$$\frac{D}{T}=\frac{215.9}{17.3}=12.5 \quad\Rightarrow\quad \sigma_{bc}=165\ \ N/mm^2$$

-نحسب الإجهادات الفعلية:

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{500 \cdot 10^3}{9090} = 55 \qquad N/mm^2$$

$$f_{bc} = \frac{M}{W_x} = \frac{500 \cdot 10^3 \cdot 100}{707 \cdot 10^3} = 70.7 \qquad N/mm^2$$

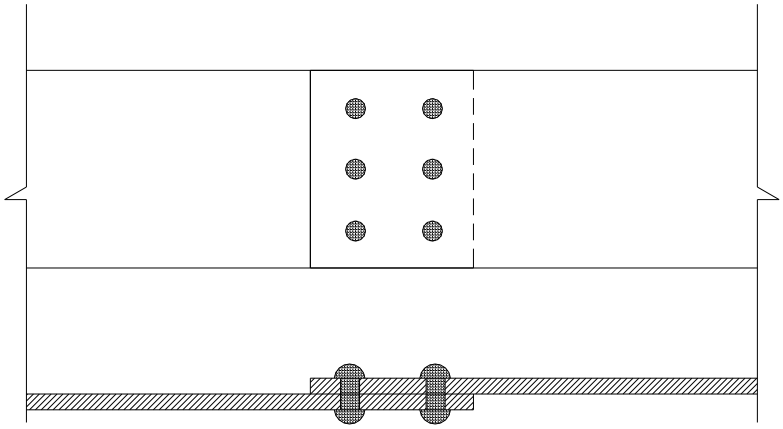
-نطبق علاقة التحقيق:

$$\frac{f_C}{\sigma_C} + \frac{f_{bC}}{\sigma_{bC}} = \frac{55}{111.1} + \frac{70.7}{165} = 0.92 < 1 \quad ok$$

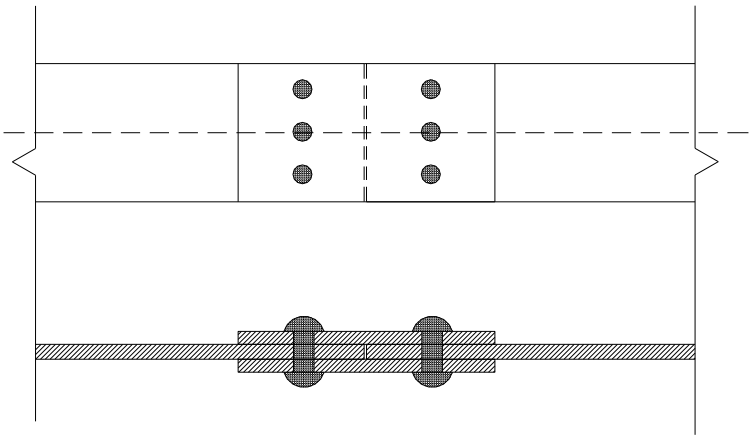
الفصل السابع : تصميم وصلات البراغي

أنواع وصلات البراغي:

-**الوصلات التراكبية:** توضع الألواح فوق بعضها وتوزع البراغي في صف أو أكثر ضمن منطقة التراكب.



-**الوصلات التناكبية (التقابلية):** توضع الصفائح مقابل بعضها البعض ويستخدم لوحا تغطية لعملية الوصل.



طرق انهيار وصلات البراغي:

تنهار وصلات البراغي إما بانهيار الصفائح أو انهيار البراغي ويمكن أن يحدث الانهيار وفق ثلاثة نماذج:

-تمزق اللوح بالشد: يحدث عندما تكون مجموعة البراغي أقوى من الصفيحة ويكون موضع الانهيار هو المقطع المار بالبراغي لأنه الأضعف نتيجة الثقوب.

-انهيار البراغي بالقص : يحدث قص للبرغي عند مستوي التماس المشترك بين اللوحين المجمعين. ويكون القص وفق مستو واحد إذا كان عدد الألواح المجمعة اثنان (الوصلات التراكبية) ويسمى القص المفرد . ويكون القص وفق مستويين إذا كان عدد الألواح ثلاثة كما في الوصلات التناكبية ويسمى القص المضاعف.

-انهيار البراغي بالدهس: يتلدن اللوح حول محيط البرغي.

حساب مقاومة البرغي:

-تعمل البراغي على القص إذا كان محور القوة المطبقة على الوصلة عمودياً على محور البرغي. وتكون مقاومة البرغي هي الأصغر بين مقاومتيه على القص وعلى الدهس. وتحسب من العلاقات التالية:

- **على القص:** $R_S = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sigma_S$ حيث:

n : عدد مستويات القص. ، d : القطر الاسمي للبرغي.

σ_S : الإجهاد المسموح للبراغي على القص.

- **على الدهس:** $R_B = d \cdot t_{\min} \cdot \sigma_B$ حيث :

$t_{\min}$: السماكة الدنيا للصفائح الموصولة.

σ_B : الإجهاد المسموح للبراغي على الدهس.

-وتعمل البراغي على الشد عندما يكون محور القوة المطبقة موازياً لمحور البرغي وتحسب مقاومة البرغي على الشد من العلاقة التالية:

$$R_t = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot \sigma_t$$ حيث:

d_0 : قطر البرغي عند الحلزنة ويؤخذ عادة $d_0 = 0.85d$.

σ_t : الإجهاد المسموح للبراغي على الشد.

الإجهادات المسموحة للبراغي : تعطى الإجهادا ت المسموحة للبراغي حسب نوع الفولاذ المصنوعة منه. والجدول رقم (٨) يعطي هذه الإجهادات حسب إجهاد الخضوع.

الإجهاد المسموح	$\sigma_y = 250$	$\sigma_y = 350$	$\sigma_y = 430$
على الشد	100	140	170
على القص	110	155	190
على الدهس	315	440	540

توزيع البراغي: توزع البراغي على صفوف منتظمة مع مراعاة ما يلي:

- لا تقل المسافة بين برغيين متجاورين عن $2.5d$.
- لا تقل المسافة بين محور البرغي وطرف الصفيحة عن $1.5d$.
- لا تزيد المسافة بين برغيين متجاورين عن $5d$.
- لا تزيد المسافة بين محور البرغي وطرف الصفيحة عن $3d$.

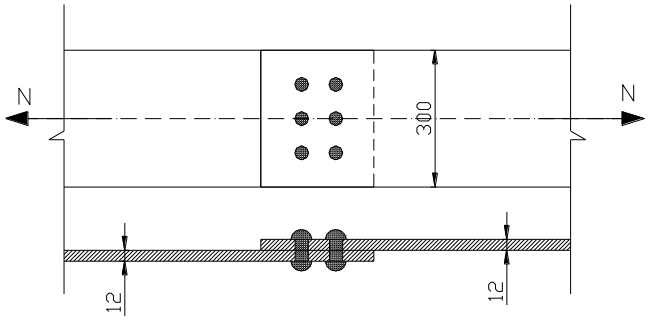
تصميم وصلة البراغي المعرضة لقوة محورية:

- **تحديد قطر البراغي اللازم للوصلة** : يمكن الاعتماد على العلاقة التجريبية التالية : $d = 6.05\sqrt{t_{\min}}$ حيث : $t_{\min}$: السماكة الدنيا للصفائح الموصولة.
- **حساب مقاومة البرغي الواحد:** كما هو مبين أعلاه.
- **حساب عدد البراغي اللازم** : $n = \dfrac{N}{R_v}$ حيث : N : القوة الكلية المطبقة على الوصلة ، R_v : مقاومة البرغي الواحد.
- **توزيع البراغي:** مع مراعاة المسافات الدنيا والقصوى.
- تحقيق إجهادات الشد في الصفيحة: $f_t = \dfrac{N}{A_{net}} \le \sigma_t$ حيث:

N : قوة الشد المطبقة. ، A_{net} : المساحة الصافية لمقطع الصفيحة.

σ_t : الإجهاد المسموح على الشد لفولاذ الصفيحة.

مثال ١: المطلوب تصميم وصلة براغي عادية للصفيحتين المبينتين في الشكل علماً أن الوصلة تخضع لحمولة شد مركزية مقدارها N = 300 kN ، إجهاد الخضوع لفولاذ البراغي: $\sigma_y = 250$ ، فولاذ الصفائح $Gr43$.



الحل :

١ – تحديد القطر المناسب للبرغي :

يحدد قطر البرغي اعتماداً على العلاقة التجريبية التالية :

$d = 6.05\sqrt{t_{\min}}$ حيث : d : القطر الاسمي للبرغي مقدراً بـ mm.

t_{min} : السماكة الصغرى للصفائح الموصولة مقدرة بـ mm

$$d = 6.05\sqrt{12} = 20.9\ mm \quad \Rightarrow \quad d = 22\ mm$$

٢ – حساب عدد البراغي اللازم :

يحسب عدد البراغي من العلاقة التالية : $n = N / R_v$ حيث :

N : قوة الشد الكلية R_v : مقاومة البرغي الواحد وهي تحسب كما يلي :

$$R_v = \min\ (R_S\ ,\ R_B)$$

$$R_S = n \cdot \frac{\pi\ d^2}{4} \cdot \sigma_S$$

n=1 : عدد مستويات القص ، من الجدول : $\sigma_B = 315$, $\sigma_S = 110$

$$R_S = 1 \cdot \frac{\pi\ (22)^2}{4} \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 41.8\ kN$$

$$R_B = d \cdot t_{\min} \cdot \sigma_B = 22 \cdot 12 \cdot 315 \cdot 10^{-3} = 83.16\ kN$$

$$\Rightarrow \qquad R_v = 41.8\ kN$$

- عدد البراغي : $n = \frac{300}{41.8} = 7.2 \Rightarrow \quad n = 8$

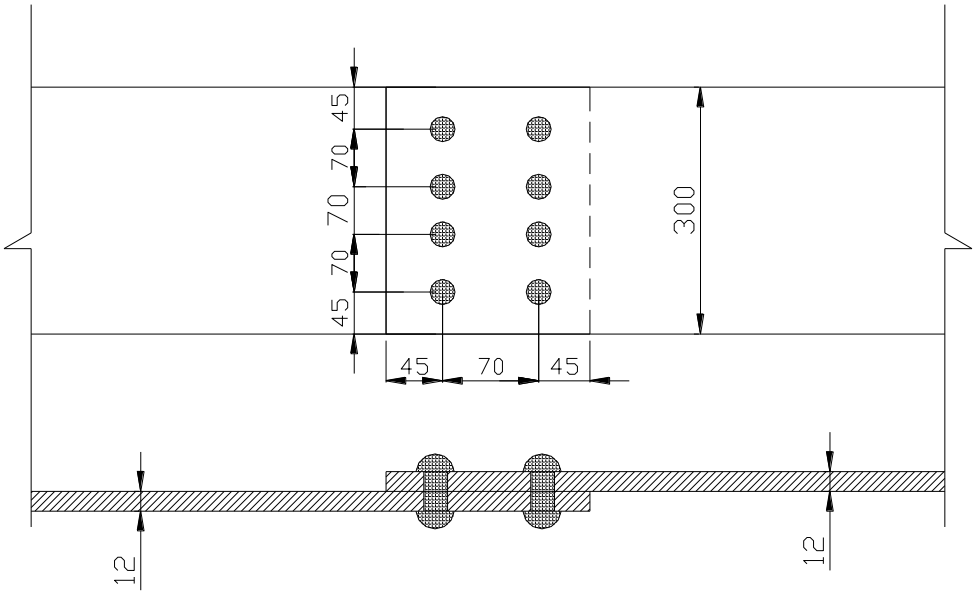
٣ - توزيع البراغي :

يجب أن تحقق المسافات بين صفوف البراغي والمسافات الطرفية الشروط التالية :

- المسافة بين البراغي : $2.5d \le e_1 \le 5d \Rightarrow 55 \le e_1 \le 110 \ mm$

- المسافة الطرفية : $1.5d \le e_2 \le 3d \Rightarrow 33 \le e_2 \le 66 \ mm$

نوزع البراغي على صفين.



٤ - تحقيق الإجهادات في مقطع الصفيحة الصافي :

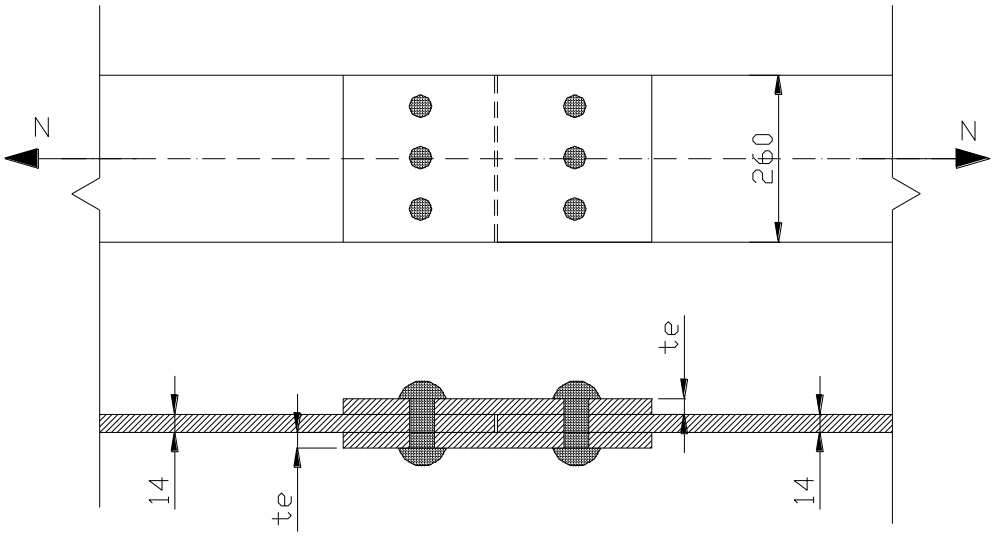
من الجداول نجد: $\sigma_t = 155$

$$f_t = \frac{N}{A_{net}} \le \sigma_t$$

$$A_{net} = 300 \cdot 12 - 4 \cdot 23.5 \cdot 12 = 2472 \ mm^2$$

$$f_t = \frac{300 \cdot 10^3}{2472} = 121.4 \ MPa < \sigma_t \Rightarrow (OK)$$

مثال ٢ : المطلوب تصميم وصلة تناكبية لصفيحتين أبعادهما 14 mm * 260 من الفولاذ Gr 55 علماً أن الوصلة تخضع لحمولة شد مركزية N = 540 kN ، إجهاد الخضوع لفولاذ البراغي: $\sigma_y = 250$.



الحـل :

١ – تحديد قطر البرغي:

يحدد قطر البرغي اعتماداً على العلاقة التجريبية التالية :

$d = 6.05\sqrt{t_{\min}}$ حيث : d : القطر الاسمي للبرغي مقدراً بـ mm.

t_{min} : السماكة الصغرى للصفائح الموصولة مقدرة بـ mm

$$d = 6.05\sqrt{14} = 22.6\ mm \quad \Rightarrow \quad d = 22\ mm$$

٢ – تحديد أبعاد ألواح الوصل :

$$t_e \geq \frac{t}{2} = 7\ mm \quad \Rightarrow \quad t_e = 8\ mm$$

٣ – تحديد عدد البراغي اللازم :

$$R_v = \min\ (R_S\ ,\ R_B)$$

$$R_S = n \cdot \frac{\pi\ d^2}{4} \cdot \sigma_S$$

n=2 : عدد مستويات القص ، من الجدول : $\sigma_B = 315$, $\sigma_S = 110$

$$R_S = 2 \cdot \frac{\pi (22)^2}{4} \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 83.6 \ kN$$

$$R_B = d \cdot t_{\min} \cdot \sigma_B = 22 \cdot 14 \cdot 315 \cdot 10^{-3} = 97.02 \ kN$$

$$\Rightarrow \qquad R_v = 83.6 \ kN$$

- عدد البراغي :

$$n = \frac{540}{83.6} = 6.5 \ \Rightarrow \qquad n = 8$$

٤ - توزيع البراغي :

يجب أن تحقق المسافات بين صفوف البراغي والمسافات الطرفية الشروط التالية :

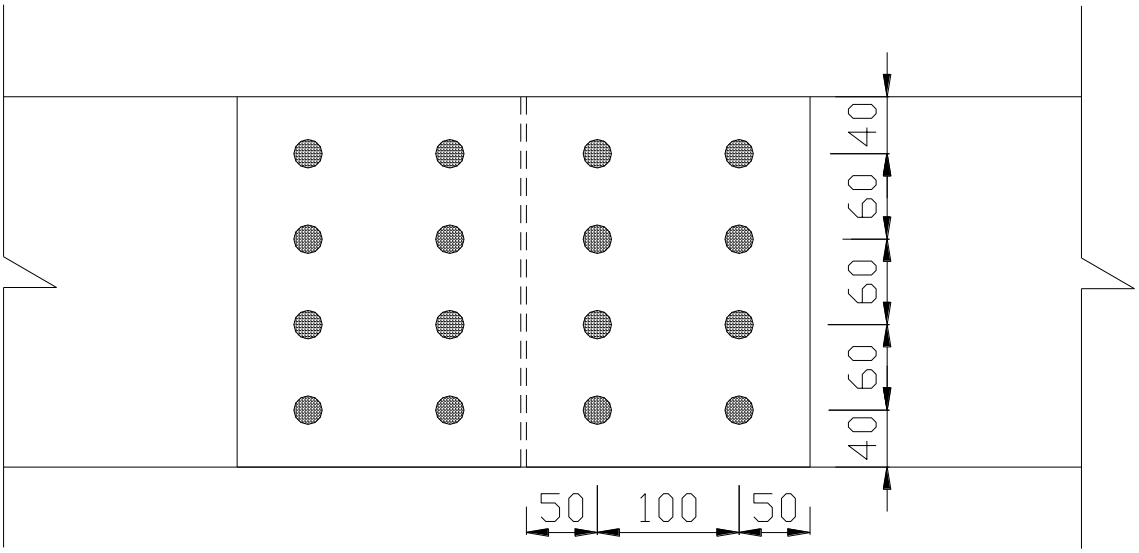
- المسافة بين البراغي :

$$2.5d \le e_1 \le 5d \ \Rightarrow \ 55 \le e_1 \le 110 \ mm$$

- المسافة الطرفية :

$$1.5d \le e_2 \le 3d \ \Rightarrow \ 33 \le e_2 \le 66 \ mm$$

نوزع البراغي على صفين.



٥ - تحقيق الإجهادات في مقطع الصفيحة الصافي :

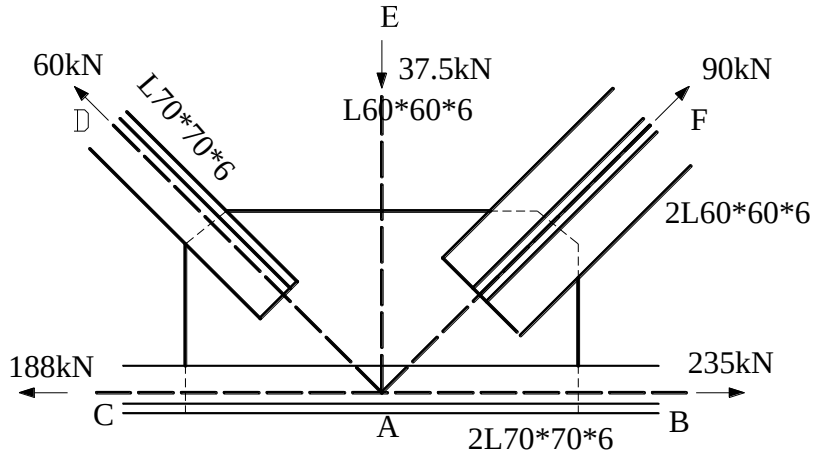
من الجداول نجد: $\sigma_t = 265$

$$f_t = \frac{N}{A_{net}} \le \sigma_t$$

$$A_{net} = 260 \cdot 14 - 4 \cdot 23.5 \cdot 14 = 2324 \ mm^2$$

$$f_t = \frac{540 \cdot 10^3}{2324} = 232.4 \ MPa < \sigma_t \ \Rightarrow \ (OK)$$

مثال ٣: المطلوب تصميم الوصلات للعناصر الشبكية المبينة في الشكل . إجهاد الخضوع لفولاذ البراغي: $\sigma_y = 250$. سماكة صفيحة الوصل 8 mm. البراغي قطر 18 mm.



١ وصلة الوتر السفلي :

من الجداول نجد: $\sigma_B = 315$, $\sigma_S = 110$

الوتر السفلي مستمر ومكون من زاويتين 2L 70*70*6 mm مجمعتين على جانبي صفيحة الوصل لذلك تصمم البراغي على محصلة القوى:

$$F = 235 - 188 = 47 \ \text{kN}$$

البراغي تعمل على القص المزدوج

$$R_S = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sigma_s = 2 \cdot \frac{\pi (18)^2}{4} \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 56 \ kN$$

$$R_b = t_{\min} \cdot d \cdot \sigma_b = 8 \cdot 18 \cdot 315 \cdot 10^{-3} = 45.36 \ kN$$

$$R_v = 45.36 \ kN \ \Rightarrow \ n = \frac{47}{45.36} = 1.04 \approx 2$$

توضع البراغي في صف واحد على محور مركز ثقل المقطع منعاً للامركزية.

٢ وصلة العنصر القطري AD :

العنصر من زاوية واحدة L 70*70*6 لذلك البراغي تعمل على القص المفرد.

$$R_S = \frac{56}{2} = 28 \ kN$$

$$R_b = t_{\min} \cdot d \cdot \sigma_b = 6 \cdot 18 \cdot 315 \cdot 10^{-3} = 34.02 \ kN$$

$$R_v = 28 \ kN \ \Rightarrow \ n = \frac{60}{28} = 2.1 \approx 3$$

توضع البراغي في صف واحد على محور مركز ثقل المقطع منعاً للامركزية.

٣ وصلة العنصر القطري AF :

العنصر مكون من زاويتين 2L 60*60*6 مجمعتين على جانب واحد من الصفيحة. لذلك البراغي تعمل أيضاً على القص المفرد.

$$R_S = \frac{56}{2} = 28 \ kN$$

$$R_b = t_{\min} \cdot d \cdot \sigma_b = 6 \cdot 18 \cdot 315 \cdot 10^{-3} = 34.02 \quad kN$$

$$R_v = 28 \ kN \ \Rightarrow \ n = \frac{90}{28} = 3.2 \approx 4$$

توضع البراغي في صفين (صف واحد لكل زاوية) .

٤ وصلة العنصر القطري AE :

العنصر من زاوية واحدة L 60*60*6 . لذلك البراغي تعمل على القص المفرد.

$$R_S = \frac{56}{2} = 28 \ kN$$

$$R_b = t_{\min} \cdot d \cdot \sigma_b = 6 \cdot 18 \cdot 315 \cdot 10^{-3} = 34.02 \quad kN$$

$$R_v = 28 \ kN \ \Rightarrow \ n = \frac{37.5}{28} = 1.4 \approx 2$$

توضع البراغي في صف واحد على محور مركز ثقل المقطع منعاً للامركزية.

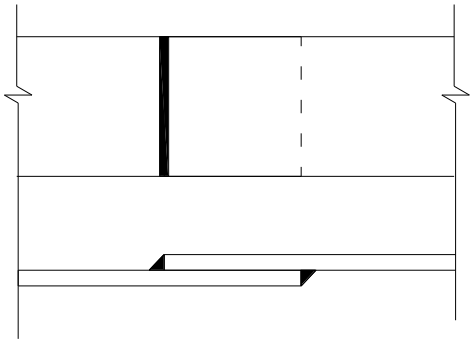
ملاحظة: في كل الأحوال يجب ألا يقل عدد البراغي في الوصلة عن برغيين اثنين.

الفصل الثامن : تصميم الوصلات الملحومة

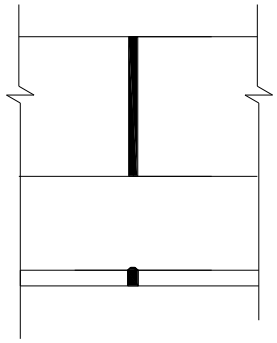
أنواع الوصلات الملحومة:

-**الوصلات التناكبية:** تستعمل لوصل الألواح ذات السماكات المتقاربة. وتمتاز بعدم وجود أي لا مركزية في الوصل. توضع الصفيحتان مقابل بعضهما البعض ويملأ ما بينهما باللحام دون الحاجة لصفائح وصل كما في البراغي.

-**الوصلات التراكبية :** توضع الصفائح فوق بعض ها البعض وتلحم إلى بعضها بأشرطة لحام مستمرة مقطعها على شكل مثلث وتسمى اللحامات الزاوية.



وصلة تراكبية



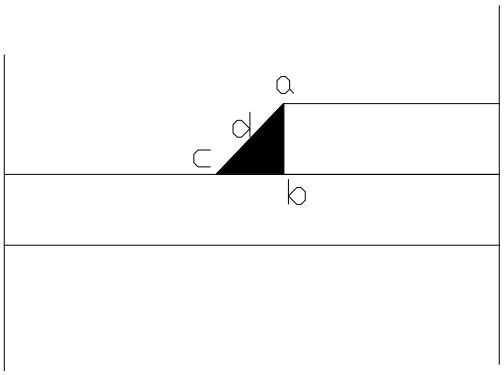
وصلة تناكبية

أنواع اللحام الرئيسية:

-**اللحام التقابلي:** يستخدم في الوصلات التناكبية.

-**اللحام الزاوي أو الركني:** ويستخدم في الوصلات التراكبية.

تصميم اللحام الزاوي:



يكون مقطع اللحام الزاوي عبارة عن مثلث متساوي الساقين

-**سعة اللحام الركني :** هي ضلع المثلث القائم المتساوي الساقين . ويرمز لها بـ S.

ويجب ألا تقل سعة اللحام عن القيم المعطاة في الجدول رقم (٩):

سعة اللحام الدنيا				
سماكة الصفيحة	$\leq 10\ mm$	$10 < t \leq 20$	$20 < t \leq 32$	$32 < t$
السعة الدنيا	$3\ mm$	$5\ mm$	$6\ mm$	$8\ mm$

ويجب ألا تزيد سعة اللحام عن القيم التالية:

- في الصفائح: السعة العظمى أقل من سماكة الصفيحة بـ 1.5 mm.
- في المقاطع الجاهزة: $S_{\max} = 0.75\ t$

-**الارتفاع الفعال :** هو ارتفاع المثلث المتساوي الساقين الممثل لمقطع اللحام . وبالتالي يكون: $t = 0.7\ S$.

-**الطول الفعال لشريط اللحام الزاوي :** يساوي الطول الفعلي مطروحاً منه ضعف سعة اللحام أي: $l_S = L - 2S$. وبالتالي يكون الطول المنفذ لشريط اللحام يساوي الطول المحسوب مضافاً إليه ضعف السعة.

-**مساحة مقطع اللحام :** هي الطول الفعال مضروباً بالارتفاع الفعال أي : $A_S = l_S \cdot t$.

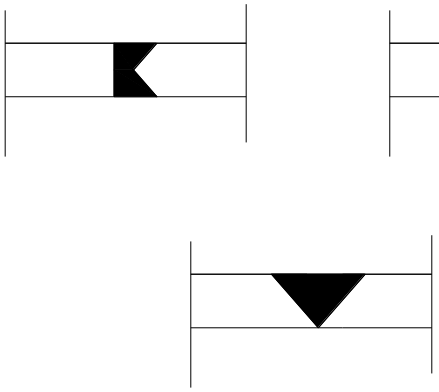
-**الإجهادات المسموحة:** تكون الإجهادات في اللحام الزاوي دائماً إجهادات قص ويؤخذ الإجهاد المسموح عادة : $\tau_p = 90 \rightarrow 120\ \ N/mm^2$. وبالتالي يجب أن تحقق الإجهادات الفعلية العلاقة التالية:

$$\tau = \frac{N}{A_S} = \frac{N}{l_S \cdot t} \leq \tau_p$$

-**ملاحظة :** يجب ألا تزيد المسافة بين أشرطة اللحام عن 16t في حالة الشد وعن 12t في حالة الضغط. وإلا يجب إضافة لحامات طرفية.

تصميم اللحام التقابلي:

-يكون اللحام التقابلي بين صفيحتين على شكل أخاديد (k,X,V).



-**الارتفاع الفعال:** إذا كان الاختراق الكامل للحام مؤكداً (وهذا يتحقق إذا استخدمت أخاديد k , x) يكون الارتفاع الفعال يساوي سماكة الصفيحة الأصغر . وعند استخدام أخاديد (V) يكون الاختراق غير تام وبالتالي يكون الارتفاع الفعال يساوي $\frac{5}{8}$ من سماكة الصفيحة الأصغر.

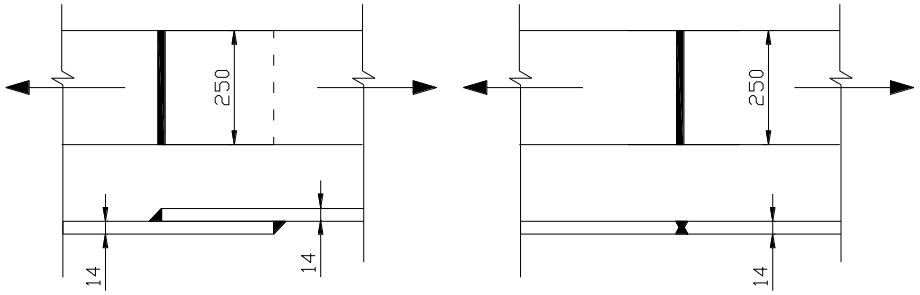
-**الإجهادات المسموحة:** تكون الإجهادات في اللحام التقابلي على نوعين:

- إجهادات قص : إذا كانت القوة المطبقة موازية لشريط اللحام . وفي هذه الحالة يكون: $\tau = \frac{N}{A_S} = \frac{N}{l_S \cdot t} \le \tau_p$.
- إجهادات ناظمية: إذا كانت القوة المطبقة معامدة لشريط اللحام . وفي هذه الحالة يكون: $\sigma = \frac{N}{A_S} = \frac{N}{l_S \cdot t} \le \sigma_p$.

-**ملاحظة:** إذا كانت الصفيحتان مختلفتان في السماكة لا يجوز أن يكون تغير السماكة مفاجئاً وإنما بشكل تدريجي حيث تجلخ الصفيحة الأسمك بميل مقداره $\frac{1}{5}$.

مثال ١: المطلوب تصميم أشرطة اللحام اللازمة لوصل صفيحتين قياس 250 * 14 mm . تتعرض الوصلة إلى قوة شد N = 300 kN ، الإجهادات المسموحة للحام :

$$\sigma_p = 230 \quad N/mm^2 \quad , \quad \tau_p = 110 \quad N/mm^2$$



الحل :

١ - تصميم الوصلة التراكبية :

-تحديد سعة وارتفاع اللحام:

من الجدول نجد : $S_{\min} = 5 \quad mm$ ، $S_{\max} = 14 - 1.5 = 12.5 \quad mm$

نفرض: $S = 10 \quad mm \quad \Rightarrow \quad t = 0.7S = 7 \quad mm$

-تحديد طول شريط اللحام:

$$\tau = \frac{N}{A_S} = \frac{N}{l_S \cdot t} \le \tau_p \quad \Rightarrow \quad l_S = \frac{N}{\tau_p \cdot t} = \frac{300 \cdot 10^3}{110 \cdot 7} = 389.6 \quad mm$$

$$l_1 = \frac{l_S}{2} = \frac{389.6}{2} = 194.8 \quad mm \quad \Rightarrow$$

$$L_1 = l_1 + 2S = 194.8 + 2 \cdot 10 = 216.8 \approx 220 \quad mm \qquad ok$$

٢ - تصميم الوصلة التناكبية:

-تحديد ارتفاع اللحام:

بفرض أن الاختراق كامل للحام $\leftarrow \quad t = t_{\min} = 14 \quad mm$

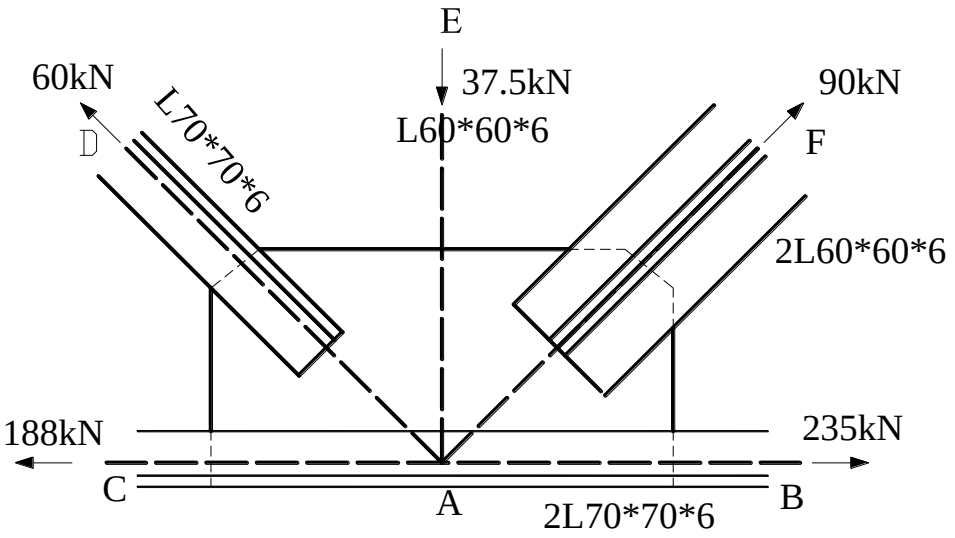
-تحديد طول شريط اللحام:

$$\sigma = \frac{N}{A_S} = \frac{N}{l_S \cdot t} \le \sigma_p \quad \Rightarrow \quad l_S = \frac{N}{\sigma_p \cdot t} = \frac{300 \cdot 10^3}{230 \cdot 14} = 93.17 \quad mm$$

$$L = l_S + 2S = 93.17 + 2 \cdot 14 = 121.2 \approx 125 \quad mm \qquad ok$$

مثال ٢: المطلوب تصميم الوصلات الملحومة للعناصر الشبكية المبينة في الشكل . الإجهادات المسموحة للحام : $\sigma_p = 230 \quad N/mm^2$, $\tau_p = 110 \quad N/mm^2$

. سماكة صفيحة الوصل 8 mm.



١ وصلة الوتر السفلي :

من الجداول نجد: $\sigma_B = 315$, $\sigma_S = 110$

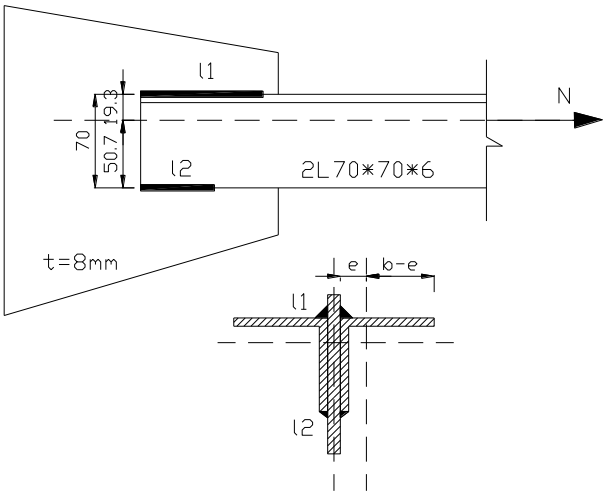
الوتر السفلي مستمر ومكون من زاويتين 2L 70*70*6 mm مجمعتين على جانبي صفيحة الوصل لذلك تصمم الوصلة على محصلة القوى:

F = 235 – 188 = 47 kN

-تحديد سعة اللحام:

$$S = 4 \; mm \Rightarrow t = 2.8 \; mm \quad \leftarrow \quad S_{\max} = 0.75 \cdot 6 = 4 \; mm \; ، \; S_{\min} = 3 \; mm$$

-تحديد طول شريط اللحام.



$$l_S = \frac{N/2}{\tau_p \cdot t} = \frac{23.5 \cdot 10^3}{110 \cdot 2.8} = 76.3 \ \ mm$$

توزع اللحامات على شريطين بحيث ينطبق مركز ثقل اللحام على محور القوة المطبقة في مركز ثقل المقطع. ولذلك تحسب أطوال شريطي اللحام من العلاقتين التاليتين:

$$l_1 = \frac{b-e}{b} \cdot l_S = \frac{70-19.3}{70} \cdot 76.3 = 55.3 \ \ mm \ \ \Rightarrow$$

$$L_1 = l_1 + 2 \cdot 4 = 55.3 + 8 = 63.3 \approx 65 \ \ mm$$

$$l_2 = \frac{e}{b} \cdot l_S = \frac{19.3}{70} \cdot 76.3 = 21.04 \ \ mm \ \ \Rightarrow$$

$$L_2 = l_2 + 2 \cdot 4 = 21.04 + 8 = 29.04 \approx 30 \ \ mm$$

٢ وصلة العنصر القطري AD :

-تحديد سعة اللحام:

$$S = 4 \ mm \ \Rightarrow t = 2.8 \ mm \ \leftarrow \ S_{\max} = 0.75 \cdot 6 = 4 \ mm \ ، \ S_{\min} = 3 \ mm$$

-تحديد طول شريط اللحام.

$$l_S = \frac{N}{\tau_p \cdot t} = \frac{60 \cdot 10^3}{110 \cdot 2.8} = 194.8 \ \ mm$$

$$l_1 = \frac{b-e}{b} \cdot l_S = \frac{70-19.3}{70} \cdot 194.8 = 141.1 \ \ mm \ \ \Rightarrow$$

$$L_1 = l_1 + 2 \cdot 4 = 141.1 + 8 = 149.1 \approx 150 \ \ mm$$

$$l_2 = \frac{e}{b} \cdot l_S = \frac{19.3}{70} \cdot 194.8 = 53.7 \ \ mm \ \ \Rightarrow$$

$$L_2 = l_2 + 2 \cdot 4 = 53.7 + 8 = 61.7 \approx 65 \ \ mm$$

٣ وصلة العنصر القطري AF :

-تحديد سعة اللحام:

$$S = 4\ mm \Rightarrow t = 2.8\ mm \quad \leftarrow \quad S_{\max} = 0.75 \cdot 6 = 4\ mm \ ، \ S_{\min} = 3\ mm$$

-تحديد طول شريط اللحام.

العنصر مؤلف من زاويتين على جانب واحد من لوح الوصل لذلك يوز ع اللحام على شريطين متساويين (شريط لكل زاوية).

$$l_S = \frac{N}{\tau_p \cdot t} = \frac{90 \cdot 10^3}{110 \cdot 2.8} = 292.2\ mm$$

$$l_1 = \frac{l_S}{2} = 146.1\ mm = l_2 \quad \Rightarrow$$

$$L_2 = l_2 + 2 \cdot 4 = 146.1 + 8 = 154.1 \approx 155\ mm = L_2$$

٤ وصلة العنصر القطري AE :

-تحديد سعة اللحام:

$$S = 4\ mm \Rightarrow t = 2.8\ mm \quad \leftarrow \quad S_{\max} = 0.75 \cdot 6 = 4\ mm \ ، \ S_{\min} = 3\ mm$$

-تحديد طول شريط اللحام.

$$l_S = \frac{N}{\tau_p \cdot t} = \frac{37.5 \cdot 10^3}{110 \cdot 2.8} = 121.8\ mm$$

$$l_1 = \frac{b-e}{b} \cdot l_S = \frac{60-16.9}{60} \cdot 121.8 = 87.5\ mm \quad \Rightarrow$$

$$L_1 = l_1 + 2 \cdot 4 = 87.5 + 8 = 95.5 \approx 100\ mm$$

$$l_2 = \frac{e}{b} \cdot l_S = \frac{16.9}{60} \cdot 121.8 = 34.3\ mm \quad \Rightarrow$$

$$L_2 = l_2 + 2 \cdot 4 = 34.3 + 8 = 42.3 \approx 45\ mm$$

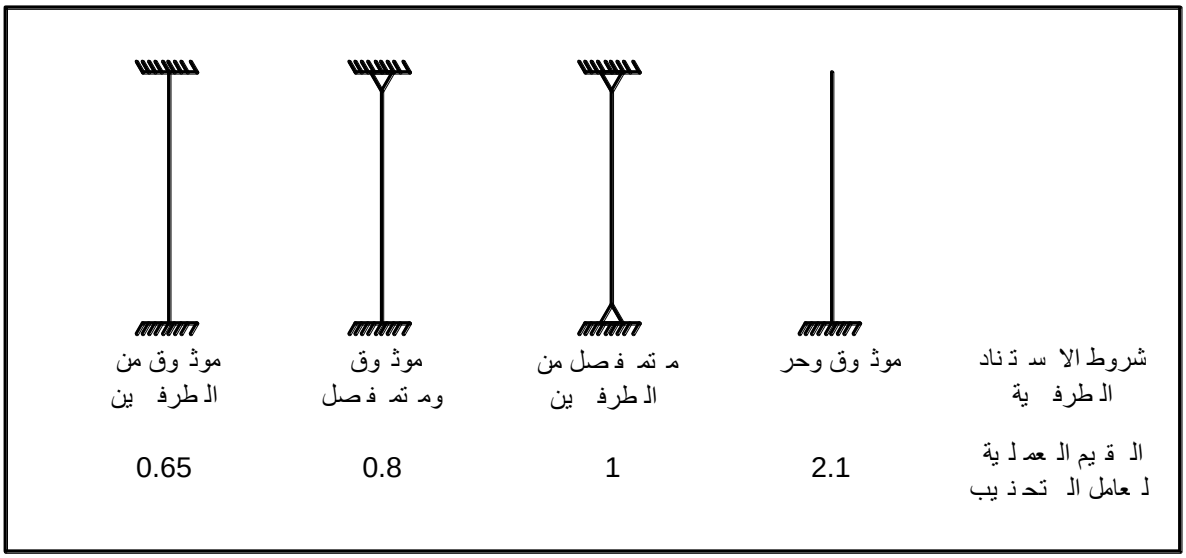
ملحق

الجداول

الجدول رقم (١)

الإجهاد المسموح به على الشد المحوري			
نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
مقاطع U+ مقاطع I صفائحية	Gr43	كل السماكات	155
مقاطع (UB–UC)	Gr43	≤ 40	155
		>40	140
صفائح وقضبان وباقي المقاطع	Gr43	≤ 40	155
		>40	140
كل المقاطع	Gr50	≤ 65	215
		>65	$\sigma_y/1.63$
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	265
		>40	245

الجدول رقم (٢): قيم عامل التحنيب للأعمدة



-في العناصر الشبكية المضغوطة يؤخذ عامل التحنيب كما يلي:

- في مستوي الجائز الشبكي يؤخذ عامل التحنيب: $K_{ex} = 0.85$
- في المستوي العمودي على الجائز الشبكي يؤخذ: $K_{ey} = 1$

الجدول رقم (٣-١)

TABLE 17a. ALLOWABLE STRESS p_o ON GROSS SECTION FOR AXIAL COMPRESSION

l/r	p_o (N/mm²) for grade 43 steel									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	155	155	154	154	153	153	153	152	152	151
10	151	151	150	150	149	149	148	148	148	147
20	147	146	146	146	145	145	144	144	144	143
30	143	142	142	142	141	141	141	140	140	139
40	139	138	138	137	137	136	136	136	135	134
50	133	133	132	131	130	130	129	128	127	126
60	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117
70	115	114	113	112	111	110	108	107	106	105
80	104	102	101	100	99	97	96	95	94	92
90	91	90	89	87	86	85	84	83	81	80
100	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70
110	69	68	67	66	65	64	63	62	61	61
120	60	59	58	57	56	56	55	54	53	53
130	52	51	51	50	49	49	48	48	47	46
140	46	45	45	44	43	43	42	42	41	41
150	40	40	39	39	38	38	38	37	37	36
160	36	35	35	35	34	34	33	33	33	32
170	32	32	31	31	31	30	30	30	29	29
180	29	28	28	28	28	27	27	27	26	26
190	26	26	25	25	25	25	24	24	24	24
200	24	23	23	23	23	22	22	22	22	22
210	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20
220	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18
230	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17
240	17	16	16	16	16	16	16	16	16	15
250	15									
300	11									
350	8									

Intermediate values may be obtained by linear interpolation.

NOTE. For material over 40 mm thick, other than rolled I-beams or channels, and for Universal columns of thicknesses exceeding 40 mm, the limiting stress is 140 N/mm².

الجدول رقم (٣-٢)

الإجهاد المسموح به على الضغط المحوري للفولاذ Gr 50

l/r	p_c (N/mm²) for grade 50 steel									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	215	214	214	213	213	212	212	211	211	210
10	210	209	209	208	208	207	207	206	206	205
20	205	204	204	203	203	202	202	201	201	200
30	200	199	199	198	197	197	196	196	195	194
40	193	193	192	191	190	189	188	187	186	185
50	184	183	181	180	179	177	176	174	173	171
60	169	168	166	164	162	160	158	156	154	152
70	150	148	146	144	142	140	138	135	133	131
80	129	127	125	123	121	119	117	115	113	111
90	109	107	106	104	102	100	99	97	95	94
100	92	91	89	88	86	85	84	82	81	80
110	78	77	76	75	74	72	71	70	69	68
120	67	66	65	64	63	62	61	60	60	59
130	58	57	56	55	55	54	53	52	52	51
140	50	50	49	48	48	47	47	46	45	45
150	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
160	39	39	38	38	37	37	36	36	36	35
170	35	34	34	34	33	33	33	32	32	31
180	31	31	30	30	30	30	29	29	29	28
190	28	28	27	27	27	27	26	26	26	26
200	25	25	25	25	24	24	24	24	23	23
210	23	23	23	22	22	22	22	22	21	21
220	21	21	21	20	20	20	20	20	20	19
230	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
240	18	18	17	17	17	17	17	17	17	16
250	16									
300	11									
350	8									

الجدول رقم (٣-٣)

الإجهاد المسموح به على الضغط المحوري للفولاذ Gr 55

l/r	p_c (N/mm²) for grade 55 steel									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	265	264	264	263	262	262	261	260	260	259
10	258	258	257	256	256	255	254	254	253	252
20	252	251	250	250	249	248	248	247	246	246
30	245	244	244	243	242	241	240	239	239	238
40	236	235	234	233	232	230	229	227	226	224
50	222	220	219	217	214	212	210	208	205	203
60	200	197	195	192	189	186	183	180	178	175
70	172	169	166	163	160	157	154	151	148	146
80	143	140	138	135	133	130	128	125	123	121
90	118	116	114	112	110	108	106	104	102	100
100	99	97	95	93	92	90	89	87	86	84
110	83	82	80	79	78	76	75	74	73	72
120	71	69	68	67	66	65	64	63	62	62
130	61	60	59	58	57	56	56	55	54	53
140	53	52	51	50	50	49	49	48	47	47
150	46	45	45	44	44	43	43	42	42	41
160	41	40	40	39	39	38	38	37	37	37
170	36	36	35	35	34	34	34	33	33	33
180	32	32	32	31	31	31	30	30	30	29
190	29	29	28	28	28	28	27	27	27	27
200	26	26	26	25	25	25	25	25	24	24
210	24	24	23	23	23	23	23	22	22	22
220	22	22	21	21	21	21	21	20	20	20
230	20	20	20	19	19	19	19	19	19	18
240	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17
250	17									
300	12									
350	9									

الجدول رقم (٤)

الإجهاد المسموح به على الشد نتيجة الانعطاف			
نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
جوائز ثانوية – مجاري	Gr43	كل السماكات	165
مقاطع (UB–UC) وباقي المقاطع	Gr43	≤ 40	165
		>40	150
كل المقاطع	Gr50	≤ 65	230
		>65	$\sigma_y/1.52$
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	280
		>40	260

الجدول رقم (٥)

الإجهاد المسموح به على القص الوسطي في الجوائز			
نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
كل المقاطع	Gr43	≤ 40	100
		>40	90
كل المقاطع	Gr50	كل السماكات	140
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	170
		>40	160

الجدول رقم (٦-١)

الإجهاد المسموح به على الضغط نتيجة الانعطاف للفولاذ Gr 43

l/r_y	D/T							
	10	15	20	25	30	35	40	50
90	165	165	165	165	165	165	165	165
95	165	165	165	163	163	163	163	163
100	165	165	165	157	157	157	157	157
105	165	165	160	152	152	152	152	152
110	165	165	156	147	147	147	147	147
115	165	165	152	141	141	141	141	141
120	165	162	148	136	136	136	136	136
130	165	155	139	126	126	126	126	126
140	165	149	130	115	115	115	115	115
150	165	143	122	104	104	104	104	104
160	163	136	113	95	94	94	94	94
170	159	130	104	91	85	82	82	82
180	155	124	96	87	80	76	72	71
190	151	118	93	83	77	72	68	62
200	147	111	89	80	73	68	64	59
210	143	105	87	77	70	65	61	55
220	139	99	84	74	67	62	58	52
230	134	95	81	71	64	59	55	49
240	130	92	78	69	61	56	52	47
250	126	90	76	66	59	54	50	44
260	122	88	74	64	57	52	48	42
270	118	86	72	62	55	50	46	40
280	114	84	70	60	53	48	44	39
290	110	82	68	58	51	46	42	37
300	106	80	66	56	49	44	41	36

الجدول رقم (٦-٢)

الإجهاد المسموح به على الضغط نتيجة الانعطاف للفولاذ Gr 50

l/r_y	D/T							
	10	15	20	25	30	35	40	50
80	230	230	230	230	230	230	230	230
85	230	230	230	227	227	227	227	227
90	230	230	228	220	220	220	220	220
95	230	230	222	212	212	212	212	212
100	230	230	215	204	204	204	204	204
105	230	226	209	196	196	196	196	196
110	230	221	203	188	188	188	188	188
115	230	216	196	181	181	181	181	181
120	230	211	190	173	173	173	173	173
130	230	202	177	157	157	157	157	157
140	225	193	165	142	142	142	142	142
150	219	183	152	126	126	126	126	126
160	213	174	139	112	110	110	110	110
170	207	165	126	106	97	94	94	94
180	201	155	114	101	91	85	80	77
190	195	146	109	96	86	80	75	68
200	189	136	104	91	82	75	70	64
210	183	127	100	87	77	71	66	60
220	177	118	96	83	74	67	62	56
230	171	112	92	79	70	64	59	53
240	165	108	89	76	67	61	56	50
250	159	105	86	73	64	58	53	47
260	153	102	83	70	62	56	51	45
270	147	99	80	68	59	53	49	43
280	141	96	77	65	57	51	47	41
290	135	93	75	63	55	49	45	39
300	129	90	72	61	53	47	43	37

الجدول رقم (٦-٣)

الإجهاد المسموح به على الضغط نتيجة الانعطاف للفولاذ Gr 55

l/r_y	D/T							
	10	15	20	25	30	35	40	50
75	280	280	280	280	280	280	280	280
80	280	280	280	277	277	277	277	277
85	280	280	277	267	267	267	267	267
90	280	280	269	257	257	257	257	257
95	280	278	261	247	247	247	247	247
100	280	272	253	238	238	238	238	238
105	280	266	245	228	228	228	228	228
110	280	260	237	218	218	218	218	218
115	280	254	228	208	208	208	208	208
120	280	248	220	198	198	198	198	198
130	273	236	204	178	178	178	178	178
140	266	224	188	158	158	158	158	158
150	258	212	171	138	138	138	138	138
160	250	200	155	121	119	119	119	119
170	243	188	139	114	103	99	99	99
180	235	176	123	107	97	89	84	80
190	227	164	117	101	91	83	78	71
200	219	152	111	96	86	78	73	66
210	212	140	106	91	81	74	69	62
220	204	128	102	87	77	70	65	58
230	196	120	97	83	73	66	61	54
240	189	116	94	79	70	63	58	51
250	181	112	90	76	67	60	55	49
260	173	108	87	73	64	57	53	46
270	165	105	84	70	61	55	50	44
280	158	101	81	68	59	53	48	42
290	150	98	78	65	57	51	46	40
300	142	95	76	63	55	49	44	38

الجدول رقم (٧)

الإجهاد المركب المسموح به في الجوائز			
نوع المقطع	ماركة الفولاذ	السماكة (مم)	الإجهاد المسموح
جوائز ثانوية – مجاري	Gr43	كل السماكات	230
مقاطع (UB–UC) وباقي المقاطع	Gr43	≤ 40	230
		> 40	210
كل المقاطع	Gr50	≤ 65	320
		> 65	$\sigma_y / 1.1$
كل المقاطع	Gr55	≤ 40	390
		> 40	360

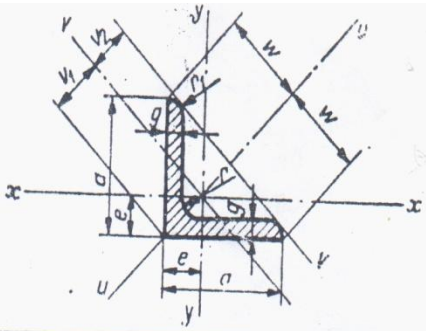
الجدول رقم (٨)

الإجهادات المسموحة للبراغي			
الإجهاد المسموح	$\sigma_y = 250$	$\sigma_y = 350$	$\sigma_y = 430$
على الشد	100	140	170
على القص	110	155	190
على الدهس	315	440	540

الجدول رقم (٩)

سعة اللحام الدنيا				
سماكة الصفيحة	$\leq 10\ mm$	$10 < t \leq 20$	$20 < t \leq 32$	$32 < t$
السعة الدنيا	$3\ mm$	$5\ mm$	$6\ mm$	$8\ mm$

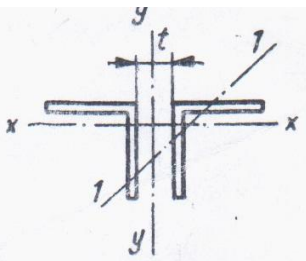
الخصائص الهندسية لمقطع زاوية متساوية الساقين



Denumirea cornierei L	Dimensiunile secţiunii, mm				Aria secţiunii A	Masa G	Distanţa axelor, cm				Mărimile statice pentru axele de încovoiere							
											x–x	y–y		u–v		v–v		
	a	g	r	r_1	cm²	kg/m	e	w	v_1	v_2	$I_x=I_y$ cm⁴	$W_x=W_y$ cm³	$i_x=i_y$ cm	I_u cm⁴	i_u cm	I_v cm⁴	W_v cm³	i_v cm
20×20×3	20	3	3,5	2	1,12	0,88	0,60	1,41	0,84	0,70	0,39	0,28	0,59	0,61	0,74	0,16	0,19	0,38
20×20×4		4			1,45	1,14	0,64		0,90	0,71	0,41	0,36	0,58	0,77	0,73	0,21	0,23	0,38
25×25×3	25	3	3,5	2	1,42	1,11	0,72	1,77	1,02	0,87	0,80	0,45	0,75	1,26	0,94	0,33	0,32	0,48
25×25×4		4			1,85	1,45	0,76		1,08	0,89	1,01	0,58	0,74	1,60	0,93	0,43	0,40	0,48
25×25×5		5			2,26	1,77	0,80		1,13	0,91	1,20	1,71	0,73	1,89	0,91	0,52	0,46	0,48
30×30×3*	30	3	5	2,5	1,74	1,36	0,84	2,12	1,18	1,04	1,40	0,65	0,90	2,23	1,13	0,58	0,49	0,58
30×30×4		4			2,27	1,78	0,88		1,24	1,05	1,80	0,85	0,89	2,85	1,12	0,75	0,61	0,58
30×30×5		5			2,78	2,18	0,92		1,30	1,07	2,16	1,04	0,88	3,41	1,11	0,92	0,70	0,57
35×35×3*	35	3	5	2,5	2,04	1,60	0,96	2,47	1,36	1,23	2,29	0,90	1,06	3,63	1,34	0,95	0,70	0,68
35×35×4		4			2,67	2,09	1,00		1,42	1,24	2,95	1,18	1,05	4,68	1,33	1,23	0,86	0,68
35×35×5		5			3,28	2,57	1,04		1,48	1,25	3,56	1,45	1,04	5,64	1,31	1,49	1,01	0,67
40×40×3*	40	3	6	3	2,35	1,84	1,07	2,83	1,52	1,40	3,45	1,18	1,21	5,46	1,52	1,44	0,96	0,78
40×40×4		4			3,08	2,42	1,12		1,58	1,40	4,47	1,55	1,21	7,09	1,52	1,85	1,17	0,78
40×40×5		5			3,79	2,97	1,16		1,64	1,42	5,43	1,91	1,20	8,60	1,51	2,26	1,37	0,77
45×45×4*	45	4	7	3,5	3,49	2,74	1,23	3,18	1,75	1,57	6,43	1,97	1,36	10,2	1,71	2,67	1,53	0,87
45×45×5		5			4,30	3,38	1,28		1,81	1,58	7,84	2,43	1,35	12,4	1,70	3,25	1,80	0,87
45×45×6		6			5,08	4,00	1,32		1,87	1,59	9,16	2,88	1,34	14,5	1,69	3,82	2,04	0,87
50×50×4*	50	4	7	3,5	3,89	3,06	1,36	3,54	1,92	1,75	8,97	2,46	1,52	14,2	1,91	3,72	1,94	0,98
50×50×5		5			4,80	3,77	1,40		1,98	1,76	11,0	3,05	1,51	17,4	1,90	4,54	2,59	0,97
50×50×6		6			5,69	4,47	1,45		2,04	1,77	12,8	3,61	1,50	20,4	1,89	5,33	2,61	0,97
50×50×7		7			6,56	5,15	1,49		3,10	1,78	14,6	4,16	1,49	23,1	1,88	6,10	2,91	0,96
60×60×5	60	5	8	4	5,82	4,57	1,64	4,24	2,32	2,11	19,4	4,45	1,82	30,7	2,30	8,02	3,45	1,17
60×60×6		6			6,91	5,42	1,69		2,39	2,11	22,8	5,29	1,82	36,2	2,29	9,43	3,95	1,17
60×60×8		8			9,03	7,09	1,77		2,50	2,14	29,2	6,89	1,80	46,2	2,26	12,1	4,86	1,16
60×60×10		10			11,10	8,69	1,85		2,61	2,17	34,9	8,41	1,78	55,1	2,23	14,8	5,67	1,16
70×70×6	70	6	9	4,5	8,13	6,38	1,93	4,95	2,73	2,46	36,9	7,27	2,13	53,5	2,68	15,2	5,59	1,37
70×70×7		7			9,40	7,38	1,97		2,79	2,47	42,4	8,41	2,12	67,1	2,67	17,5	6,27	1,36
70×70×8		8			10,60	8,36	2,01		2,85	2,49	47,5	9,52	2,11	75,3	2,66	19,7	6,91	1,36
70×70×9**		9			11,90	9,34	2,05		2,90	2,50	52,6	10,6	2,10	83,1	2,64	22,0	7,59	1,36
70×70×10		10			13,10	10,3	2,09		2,96	2,52	57,2	11,7	2,09	90,5	2,63	23,9	8,09	1,35
80×80×6	80	6	10	5	9,35	7,36	2,17	5,66	3,07	2,82	55,8	9,57	2,44	88,5	3,08	23,1	7,55	1,56
80×80×8		8			12,30	9,63	2,26		3,19	2,82	72,2	12,6	2,43	115	3,06	29,8	9,36	1,55
80×80×10		10			15,10	11,9	2,34		3,30	2,85	87,5	15,4	2,41	139	3,03	36,3	11,0	1,55

الخصائص الهندسية لمقطع زاوية مختلفة الساقين

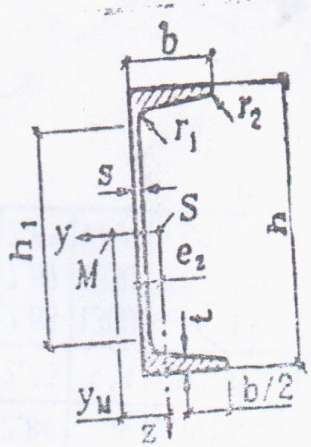
Profilmaße			Achsen		Statische Werte												g
a × b × s mm	r_1 mm	r_2 mm	e_y cm	e_z cm	A cm²	I_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm	I_z cm⁴	W_z cm³	i_z cm	I_η cm⁴	i_η cm	I_ζ cm⁴	i_ζ cm	kN/m
30× 20× 3	3,5	2	0,99	0,50	1,42	1,25	0,62	0,94	0,44	0,29	0,56	1,43	1,00	0,25	0,42	0,0111
4			1,03	0,54	1,85	1,59	0,81	0,93	0,55	0,38	0,55	1,81	0,99	0,33	0,42	0,0145
40× 20× 3	3,5	2	1,43	0,44	1,72	2,79	1,08	1,27	0,47	0,30	0,52	2,96	1,31	0,30	0,42	0,0135
4			1,47	0,48	2,25	3,59	1,42	1,26	0,60	0,39	0,52	3,79	1,30	0,39	0,42	0,0177
45× 30× 4	4,5	2	1,48	0,74	2,87	5,78	1,91	1,42	2,05	0,91	0,85	6,65	1,52	1,18	0,64	0,0225
5			1,52	0,78	3,53	6,99	2,35	1,41	2,47	1,11	0,84	8,02	1,51	1,44	0,64	0,0277
50× 30× 4	4,5	2	1,68	0,70	3,07	7,71	2,33	1,59	2,09	0,91	0,82	8,53	1,67	1,27	0,64	0,0241
5			1,73	0,74	3,78	9,41	2,88	1,58	2,54	1,12	0,82	10,4	1,66	1,56	0,64	0,0296
50× 40× 5	4	2	1,56	1,07	4,27	10,4	3,02	1,56	5,89	2,01	1,18	13,3	1,76	3,02	0,84	0,0335
60× 30× 5	6	3	2,15	0,68	4,29	15,6	4,04	1,90	2,60	1,12	0,78	16,5	1,96	1,69	0,63	0,0337
60× 40× 5	6	3	1,96	0,97	4,79	17,2	4,25	1,89	6,11	2,02	1,13	19,8	2,03	3,50	0,86	0,0376
6			2,00	1,01	5,68	20,1	5,03	1,88	7,12	2,38	1,12	23,1	2,02	4,12	0,85	0,0446
65× 50× 5	6	3	1,99	1,25	5,54	23,1	5,11	2,04	11,9	3,18	1,47	28,8	2,28	6,21	1,06	0,0435
70× 50× 6	6	3	2,24	1,25	6,88	33,5	7,04	2,21	14,3	3,81	1,44	39,9	2,41	7,94	1,07	0,0540
75× 50× 7	6,5	3,5	2,48	1,25	8,30	46,4	9,24	2,36	16,5	4,39	1,41	53,3	2,53	9,56	1,07	0,0651
75× 55× 5	7	3,5	2,31	1,33	6,30	35,5	6,84	2,37	16,2	3,89	1,60	43,1	2,61	8,68	1,17	0,0495
7			2,40	1,41	8,66	47,9	9,39	2,35	21,8	5,52	1,59	57,9	2,59	11,8	1,17	0,0689
80× 40× 6	7	3,5	2,85	0,88	6,89	44,9	8,73	2,55	7,59	2,44	1,05	47,6	2,63	4,90	0,84	0,0541
8			2,94	0,95	9,01	57,6	11,4	2,53	9,68	3,18	1,04	60,9	2,60	6,41	0,84	0,0707
80× 60× 7	8	4	2,51	1,52	9,38	59,0	10,7	2,51	28,4	6,34	1,74	72,0	2,77	15,4	1,28	0,0736
80× 65× 8	8	4	2,47	1,73	11,0	68,1	12,3	2,49	40,1	8,41	1,91	88,0	2,82	20,3	1,36	0,0866
90× 60× 6	7	3,5	2,89	1,41	8,69	71,7	11,7	2,87	25,8	5,61	1,72	82,8	3,09	14,6	1,30	0,0682
8			2,97	1,49	11,4	92,5	15,4	2,85	33,0	7,31	1,70	107	3,06	19,0	1,29	0,0896
100× 50× 6	9	4,5	3,49	1,04	8,73	89,7	13,8	3,20	15,3	3,86	1,32	95,2	3,30	9,73	1,06	0,0685
8			3,59	1,13	11,5	116	18,0	3,18	19,5	5,04	1,31	123	3,28	12,6	1,05	0,0899
10			3,67	1,20	14,1	141	22,2	3,16	23,4	6,17	1,29	149	3,25	15,5	1,04	0,111
100× 65× 7	10	5	3,23	1,51	11,2	113	16,6	3,17	37,6	7,54	1,84	128	3,39	21,6	1,39	0,0877
9			3,32	1,59	14,2	141	21,0	3,15	46,7	9,52	1,82	160	3,36	27,2	1,39	0,111
100× 75× 9	10	5	3,15	1,91	15,1	148	21,5	3,13	71,0	12,7	2,17	181	3,47	37,8	1,59	0,118
120× 80× 8	11	5,5	3,83	1,87	15,5	226	27,6	3,82	80,8	13,2	2,29	261	4,10	45,8	1,72	0,122
10			3,92	1,95	19,1	276	34,1	3,80	98,1	16,2	2,27	318	4,07	56,1	1,71	0,150
12			4,00	2,03	22,7	323	40,4	3,77	114	19,1	2,25	371	4,04	66,1	1,71	0,178
130× 65× 8	11	5,5	4,56	1,37	15,1	263	31,1	4,17	44,8	8,72	1,72	280	4,31	28,6	1,38	0,119
10			4,65	1,45	18,6	321	38,4	4,15	54,2	10,7	1,71	340	4,27	35,0	1,37	0,146
150× 75× 9	10,5	5,5	5,28	1,57	19,5	455	46,8	4,83	78,3	13,2	2,00	484	4,98	50,0	1,60	0,153
11			5,37	1,65	23,6	545	56,6	4,80	93,0	15,9	1,98	578	4,95	59,8	1,59	0,186
150×100×10	13	6,5	4,80	2,34	24,2	552	54,1	4,78	198	25,8	2,86	637	5,13	112	2,15	0,190
12			4,89	2,42	28,7	650	64,2	4,76	232	30,6	2,84	749	5,10	132	2,15	0,226
180× 90×10	14	7	6,28	1,85	26,2	880	75,1	5,80	151	21,2	2,40	934	5,97	97,4	1,93	0,206
200×100×10	15	7,5	6,93	2,01	29,2	1220	93,2	6,46	210	26,3	2,68	1300	6,66	133	2,14	0,230
12			7,03	2,10	34,8	1440	111	6,43	247	31,3	2,67	1530	6,63	158	2,13	0,273
14			7,12	2,18	40,3	1650	128	6,41	282	36,1	2,65	1760	6,60	181	2,12	0,316



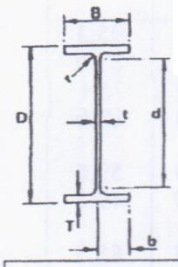
الخصائص الهندسية لمقطع مكون من زاويتين

Denumirea secţiunii	A cm²	i_1 cm	i_x cm	i_y (cm) pentru distanţa t (mm) egală cu :				
				0	8	10	12	15
40×40× 3	4,70	0,78	1,21	1,61	1,90	1,98	2,06	2,18
4	6,16	0,78	1,21	1,65	1,94	2,02	2,10	2,23
5	7,58	0,77	1,20	1,67	1,97	2,05	2,13	2,25
45×45× 4	6,98	0,87	1,36	1,83	2,12	2,20	2,28	2,40
5	8,60	0,87	1,35	1,86	2,16	2,23	2,31	2,44
6	10,16	0,87	1,34	1,88	2,18	2,28	2,34	2,48
50×50× 4	7,78	0,98	1,52	2,03	2,32	2,39	2,48	2,59
5	9,60	0,97	1,51	2,06	2,35	2,43	2,51	2,63
6	11,38	0,97	1,50	2,08	2,38	2,46	2,54	2,66
7	13,12	0,96	1,49	2,11	2,41	2,48	2,57	2,69
60×60× 5	11,64	1,17	1,82	2,44	2,73	2,81	2,89	3,00
6	13,82	1,17	1,82	2,48	2,77	2,85	2,92	3,04
8	18,06	1,16	1,80	2,52	2,82	2,90	2,97	3,10
10	22,20	1,16	1,78	2,56	2,87	2,94	3,02	3,15
70×70× 6	16,26	1,37	2,13	2,88	3,16	3,23	3,30	3,42
7	18,80	1,36	2,12	2,90	3,18	3,26	3,33	3,45
8	21,20	1,36	2,11	2,92	3,21	3,28	3,36	3,48
9	23,80	1,36	2,10	2,93	3,23	3,31	3,38	3,50
10	26,20	1,35	2,09	2,96	3,25	3,32	3,41	3,53
80×80× 6	18,70	1,56	2,44	3,26	3,54	3,62	3,70	3,81
8	24,60	1,55	2,43	3,31	3,60	3,67	3,75	3,87
10	30,20	1,55	2,41	3,36	3,65	3,72	3,80	3,92
90×90× 8	27,80	1,76	2,74	3,70	3,98	4,06	4,13	4,26
9	31,00	1,76	2,74	3,73	4,02	4,09	4,16	4,28
11	37,40	1,75	2,72	3,77	4,06	4,14	4,21	4,33
100×100× 8	31,00	1,96	3,06	4,10	4,39	4,45	4,54	4,65
10	38,40	1,95	3,04	4,14	4,43	4,50	4,57	4,69
12	45,40	1,94	3,02	4,19	4,47	4,55	4,62	4,74
120×120×10	46,40	2,36	3,67	4,95	5,22	5,30	5,36	5,49
12	55,00	2,35	3,65	5,00	5,26	5,35	5,41	5,54
130×130×12	60,·0	2,54	3,97	5,38	5,66	5,73	5,81	5,92
14	69,40	2,53	3,94	5,42	5,70	5,78	5,85	5,96
16	78,60	2,52	3,92	5,46	5,75	5,82	5,90	6,01
140×140×12	65,00	2,76	4,31	5,80	6,09	6,15	6,25	6,33
14	75,20	2,74	4,30	5,85	6,14	6,21	6,29	6,40
16	84,40	2,72	4,28	6,00	6,29	6,36	6,41	6,53
150×150×12	69,60	2,95	4,60	6,18	6,45	6,52	6,60	6,70
14	80,60	2,94	4,58	6,23	6,50	6,57	6,64	6,76
16	91,40	2,93	4,56	6,26	6,54	6,61	6,68	6,79
18	102,00	2,92	4,54	6,29	6,57	6,65	6,73	6,84
160×160×12	74,80	3,17	4,94	6,61	6,89	6,95	7,01	7,12
14	86,60	3,16	4,92	6,65	6,92	6,99	7,06	7,17
16	98,20	3,14	4,89	6,68	6,95	7,04	7,09	7,21
18	109,60	3,13	4,87	6,71	6,98	7,08	7,15	7,25

الخصائص الهندسية لمقطع مجراية



U	Profilmaße in mm						Statische Werte								e_z	y_M	g
	h	b	s	$t=r_1$	r_2	h_1	A cm²	I_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm	I_z cm⁴	W_z cm³	i_z cm	S_y cm³	cm	cm	kN/m
30 x 15	30	15	4	4,5	2	12	2,21	2,53	1,69	1,07	0,38	0,39	0,42	–	0,52	0,74	0,017
30	30	33	5	7	3,5	14	5,44	6,39	4,26	1,08	5,33	2,68	0,99	–	1,31	2,22	0,043
40 x 20	40	20	5	5,5	2,5	18	3,66	7,58	3,79	1,44	1,14	0,86	0,56	–	0,67	1,01	0,029
40	40	35	5	7	3,5	11	6,21	14,1	7,05	1,50	6,68	3,08	1,04	–	1,33	2,32	0,049
50 x 25	50	25	5	6	3	25	4,92	16,3	6,73	1,85	2,49	1,48	0,71	–	0,81	1,34	0,039
50	50	38	5	7	3,5	20	7,12	26,4	10,6	1,92	9,12	3,75	1,13	–	1,37	2,47	0,056
60	60	30	6	6	3	35	6,46	31,6	10,5	2,21	4,51	2,16	0,84	–	0,91	1,50	0,051
65	65	42	5,5	7,5	4	33	9,03	57,5	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25	–	1,42	2,60	0,071
80	80	45	6	8	4	47	11,0	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	15,9	1,45	2,67	0,086
100	100	50	6	8,5	4,5	64	13,5	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	24,5	1,55	2,93	0,106
120	120	55	7	9	4,5	82	17,0	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	36,3	1,60	3,03	0,134
140	140	60	7	10	5	97	20,4	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	51,4	1,75	3,37	0,160
160	160	65	7,5	10,5	5,5	116	24,0	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89	68,8	1,84	3,56	0,188
180	180	70	8	11	5,5	133	28,0	1 350	150	6,95	114	22,4	2,02	89,6	1,92	3,75	0,220
200	200	75	8,5	11,5	6	151	32,2	1 910	191	7,70	148	27,0	2,14	114	2,01	3,94	0,253
220	220	80	9	12,5	6,5	166	37,4	2 690	245	8,48	197	33,6	2,30	146	2,14	4,20	0,294
240	240	85	9,5	13	6,5	185	42,3	3 600	300	9,22	248	39,6	2,42	179	2,23	4,39	0,332
260	260	90	10	14	7	201	48,3	4 820	371	9,99	317	47,7	2,56	221	2,36	4,66	0,379
280	280	95	10	15	7,5	216	53,3	6 280	448	10,9	399	57,2	2,74	266	2,53	5,02	0,418
300	300	100	10	16	8	232	58,8	8 030	535	11,7	495	67,8	2,90	316	2,70	5,41	0,462
320	320	100	14	17,5	8,75	247	75,8	10 870	679	12,1	597	80,6	2,81	413	2,60	4,82	0,595
350	350	100	14	16	8	283	77,3	12 840	734	12,9	570	75,0	2,72	459	2,40	4,45	0,606
380	380	102	13,5	16	8	313	80,4	15 760	829	14,0	615	78,7	2,77	507	2,38	4,58	0,631
400	400	110	14	18	9	325	91,5	20 350	1 020	14,9	846	102	3,04	618	2,65	5,11	0,718



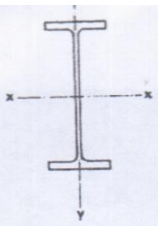
الخصائص الهندسية لمقاطع الجوائز

UNIVERSAL BEAMS

DIMENSIONS

Designation		Depth Of Section D mm	Width Of Section B mm	Thickness		Root Radius r mm	Depth Between Fillets d mm	Ratios For Local Buckling	
Serial Size Mm	Mass per Metre Kg			Web t mm	Flange T mm			Flange b / T	Web d / t
406 × 178	74	412.8	179.7	9.7	16.0	10.2	360.4	5.62	37.2
	67	409.4	178.8	8.8	14.3	10.2	360.4	6.25	41.0
	60	406.4	177.8	7.8	12.8	10.2	360.4	6.95	46.2
	54	402.6	177.6	7.6	10.9	10.2	360.4	8.15	47.4
406 × 140	46	402.3	142.4	6.9	11.2	10.2	359.5	6.36	52.1
	39	397.3	141.8	6.3	8.6	10.2	359.7	8.24	57.1
356 × 171	67	364.0	173.2	9.1	15.7	10.2	312.2	5.52	34.3
	57	358.6	172.1	8.0	13.0	10.2	312.2	6.62	39.0
	51	355.6	171.5	7.3	11.5	10.2	312.2	7.46	42.8
	45	352.0	171.0	6.9	9.7	10.2	312.2	8.81	45.2
356 × 127	39	352.8	126.0	6.5	10.7	10.2	311.0	5.89	47.8
	33	348.5	125.4	5.9	8.5	10.2	311.1	7.38	52.7
305 × 165	54	310.9	166.8	7.7	13.7	8.9	265.7	6.09	34.5
	46	307.1	165.7	6.7	11.8	8.9	265.7	7.02	39.7
	40	303.8	165.1	6.1	10.2	8.9	265.6	8.09	43.5
305 × 127	48	310.4	125.2	8.9	14.0	8.9	264.6	4.47	29.7
	42	306.6	124.3	8.0	12.1	8.9	264.6	5.14	33.1
	37	303.8	123.5	7.2	10.7	8.9	264.6	5.77	36.8
305 × 102	33	312.7	102.4	6.6	10.8	7.6	275.9	4.74	41.8
	28	308.9	101.9	6.1	8.9	7.6	275.9	5.72	45.2
	25	304.8	101.6	5.8	6.8	7.6	276.0	7.47	47.6
254 × 146	43	259.6	147.3	7.3	12.7	7.6	219.0	5.80	30.0
	37	256.0	146.4	6.4	10.9	7.6	219.0	6.72	34.2
	31	251.5	146.1	6.1	8.6	7.6	219.1	8.49	35.9
254 × 102	28	260.4	102.1	6.4	10.0	7.6	225.2	5.11	35.2
	25	257.0	101.9	6.1	8.4	7.6	225.0	6.07	36.9
	22	254.0	101.6	5.8	6.8	7.6	225.2	7.47	38.8
203 × 133	30	206.8	133.8	6.3	9.6	7.6	172.4	6.97	27.4
	25	203.2	133.4	5.8	7.8	7.6	172.4	8.55	29.7
203 × 102	23	203.2	101.6	5.2	9.3	7.6	169.4	5.46	32.6
178 × 102	19	177.8	101.6	4.7	7.9	7.6	146.8	6.43	31.2
152 × 89	16	152.4	88.9	4.6	7.7	7.6	121.8	5.77	26.5
127 × 76	13	127.0	76.2	4.2	7.6	7.6	96.6	5.01	23.0

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTE 2



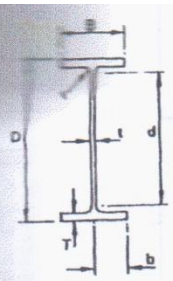
UNIVERSAL BEAMS

الخصائص الهندسية لمقاطع الجوائز

PROPERTIES

Designation		Second Moment Of Area		Radius Of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Area of Section
Serial Size mm	Mass per Metre Kg	Axis X-X cm^4	Axis Y-Y cm^4	Axis X-X cm	Axis Y-Y cm	Axis X-X cm^3	Axis Y-Y cm^3	Axis X-X cm^3	Axis Y-Y cm^3	A cm^2
406×178	74	27430	1551	17.0	4.03	1329	173	1509	268	95.3
	67	24330	1365	16.9	3.99	1189	153	1346	237	85.5
	60	21540	1201	16.8	3.97	1060	135	1195	209	76.1
	54	18670	1019	16.5	3.86	927	115	1051	178	68.6
406×140	46	15670	540	16.3	3.03	779	75.9	889	119	59.0
	39	12410	410	15.9	2.89	625	57.8	718	90.7	49.2
356×171	67	19540	1362	15.1	3.99	1073	157	1213	243	85.5
	57	16060	1106	14.9	3.91	896	129	1009	198	72.2
	51	14160	968	14.8	3.87	796	113	895	174	64.6
	45	12080	810	14.6	3.77	686	94.7	773	146	57.0
356×127	39	10100	358	14.3	2.69	573	56.8	654	88.9	49.4
	33	8192	280	14.0	2.59	470	44.7	539	70.2	41.8
305×165	54	11690	1061	13.1	3.94	752	127	843	195	68.2
	46	9935	896	13.0	3.90	647	108	722	166	58.8
	40	8551	766	12.9	3.85	563	92.8	626	142	51.6
305×127	48	9507	460	12.5	2.75	613	73.5	706	116	60.9
	42	8159	389	12.4	2.70	532	62.6	612	98.4	53.4
	37	7162	337	12.3	2.67	471	54.6	540	85.6	47.4
305×102	33	6501	194	12.5	2.15	416	37.9	481	60.0	41.8
	28	5439	158	12.2	2.08	352	30.9	408	49.2	36.4
	25	4364	119	11.8	1.96	286	23.5	336	37.8	31.2
254×146	43	6554	677	10.9	3.51	505	92.0	568	141	55.0
	37	5547	571	10.8	3.47	433	78.0	485	119	47.4
	31	4428	448	10.5	3.35	352	61.3	395	94.2	39.9
254×102	28	4013	178	10.5	2.21	308	34.9	354	54.8	36.3
	55	3420	149	10.3	2.15	266	29.2	307	46.1	32.3
	22	2853	119	10.0	2.06	225	23.5	260	37.3	28.3
203×133	30	2888	384	8.72	3.18	279	57.4	313	88.0	38.0
	25	2349	309	8.54	3.10	231	46.3	259	71.2	32.2
203×102	23	2091	163	8.49	2.37	206	32.1	232	49.5	29.0
178×102	19	1357	138	7.49	2.39	153	27.2	171	41.9	24.2
152×89	16	838	90.4	6.40	2.10	110	20.3	124	31.4	20.5
127×76	13	477	56.2	5.33	1.83	75.1	14.7	85.0	22.7	16.8

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTE 3



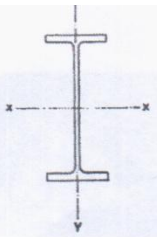
UNIVERSAL BEAMS

الخصائص الهندسية لمقاطع الجوائز

DIMENSIONS

Designation		Depth Of Section D mm	Width Of Section B mm	Thickness		Root Radius r mm	Depth Between Fillets d mm	Ratios For Local Buckling	
Serial Size Mm	Mass per Metre Kg			Web t mm	Flange T mm			Flange b/T	Web d/t
914×419	388	920.5	420.5	21.5	36.6	24.1	799.1	5.74	37.2
	343	911.4	418.5	19.4	32.0	24.1	799.2	6.54	41.2
914×305	289	926.6	307.8	19.6	32.0	19.1	824.4	4.81	42.1
	253	918.5	305.5	17.3	27.9	19.1	824.5	5.47	47.7
	224	910.3	304.1	15.9	23.9	19.1	824.3	6.36	51.8
	201	903.0	303.4	15.2	20.2	19.1	824.4	7.51	54.2
838×292	226	850.9	293.8	16.1	26.8	17.8	761.7	5.48	47.3
	194	840.7	292.4	14.7	21.7	17.8	761.7	6.74	51.8
	176	834.9	291.6	14.0	18.8	17.8	761.7	7.76	54.4
762×267	197	769.6	268.0	15.6	25.4	16.5	685.8	5.28	44.0
	173	762.0	266.7	14.3	21.6	16.5	685.8	6.17	48.0
	147	753.9	265.3	12.9	17.5	16.5	685.9	7.58	53.2
686×254	170	692.9	255.8	14.5	23.7	15.2	615.1	5.40	42.4
	152	687.6	254.5	13.2	21.0	15.2	615.2	6.06	46.6
	140	683.5	253.7	12.4	19.0	15.2	615.1	6.68	49.6
	125	677.9	253.0	11.7	16.2	15.2	615.1	7.81	52.6
610×305	238	633.0	311.5	18.6	31.4	16.5	537.2	4.96	28.9
	179	617.5	307.0	14.1	23.6	16.5	537.3	6.50	38.1
	149	609.6	304.8	11.9	19.7	16.5	537.2	7.74	45.1
610×229	140	617.0	230.1	13.1	22.1	12.7	547.4	5.21	41.8
	125	611.9	229.0	11.9	19.6	12.7	547.3	5.84	46.0
	113	607.3	228.2	11.2	17.3	12.7	547.3	6.60	48.9
	101	602.2	227.6	10.6	14.8	12.7	547.2	7.69	51.6
533×210	122	544.6	211.9	12.8	21.3	12.7	476.6	4.97	37.2
	109	539.5	210.7	11.6	18.8	12.7	476.5	5.60	41.1
	101	536.7	210.1	10.9	17.4	12.7	476.5	6.04	43.7
	92	533.1	209.3	10.2	15.6	12.7	476.5	6.71	46.7
	82	528.3	208.7	9.6	13.2	12.7	476.5	7.91	49.6
457×191	98	467.4	192.8	11.4	19.6	10.2	407.8	4.92	35.8
	89	463.6	192.0	10.6	17.7	10.2	407.8	5.42	38.5
	82	460.2	191.3	9.9	16.0	10.2	407.8	5.98	41.2
	74	457.2	190.5	9.1	14.5	10.2	407.8	6.57	44.8
	67	453.6	189.9	8.5	12.7	10.2	407.8	7.48	48.0
457×152	82	465.1	153.5	10.7	18.9	10.2	406.9	4.06	38.0
	74	461.3	152.7	9.9	17.0	10.2	406.9	4.49	41.1
	67	457.2	151.9	9.1	15.0	10.2	406.8	5.06	44.7
	60	454.7	152.9	8.0	13.3	10.2	407.7	5.75	51.0
	52	449.8	152.4	7.6	10.9	10.2	407.6	6.99	53.6

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTE 2



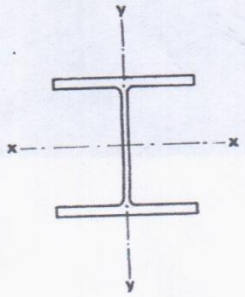
UNIVERSAL BEAMS

الخصائص الهندسية لمقاطع الجوائز

PROPERTIES

Designation		Second Moment Of Area		Radius Of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Area of Section
Serial Size mm	Mass per Metre Kg	Axis X-X cm^4	Axis Y-Y cm^4	Axis X-X cm	Axis Y-Y cm	Axis X-X cm^3	Axis Y-Y cm^3	Axis X-X cm^3	Axis Y-Y cm^3	A cm^2
914×419	388	719300	45440	38.1	9.58	15630	2161	17670	3342	495
	343	625200	39160	37.8	9.46	13720	1871	15470	2890	437
914×305	289	504800	15610	37.0	6.50	10900	1015	12590	1603	369
	253	436400	13300	36.8	6.42	9503	871	10940	1371	323
	224	376300	11240	36.3	6.27	8268	739	9533	1163	286
	201	325900	9433	35.6	6.06	7217	622	8372	983	257
838×292	226	339700	11360	34.3	6.27	7985	773	9155	1212	289
	194	279200	9066	33.6	6.06	6641	620	7640	974	247
	176	246000	7791	33.1	5.90	5892	534	6806	841	224
762×267	197	239800	8175	30.9	5.71	6232	610	7164	959	251
	173	205200	6850	30.5	5.58	5385	514	6195	807	220
	147	168800	5462	30.0	5.39	4478	412	5169	648	188
686×254	170	170300	6630	28.0	5.53	4916	518	5631	811	217
	252	150400	5784	27.8	5.46	4375	455	5001	710	194
	140	136300	5183	27.6	5.39	3987	409	4558	638	178
	125	118000	4383	27.2	5.24	3481	346	3991	542	159
610×305	238	207700	15850	26.1	7.22	6564	1018	7462	1576	304
	179	151500	11400	25.8	7.08	4907	742	5515	1143	228
	149	124700	9308	25.6	6.99	4093	611	4575	938	190
610×229	140	111700	4499	25.0	5.03	3619	391	4139	611	178
	125	98500	3932	24.9	4.97	3219	343	3673	535	159
	113	87380	3434	24.6	4.88	2878	301	3287	470	144
	101	75820	2915	24.2	4.75	2518	256	2887	401	129
533×210	122	76180	3388	22.1	4.66	2798	320	3203	500	156
	109	66800	2939	21.9	4.60	2476	279	2827	435	139
	101	61650	2696	21.8	4.57	2297	257	2619	400	129
	92	55330	2389	21.7	4.50	2976	228	2366	356	118
	82	47520	2004	21.3	4.38	1799	192	2058	300	105
457×191	98	45770	2347	19.1	4.33	1959	243	2234	379	125
	89	41140	2093	19.0	4.28	1775	218	2020	339	114
	82	37090	1871	18.8	4.23	1612	196	1832	304	105
	74	33430	1674	18.7	4.20	1462	176	1659	273	95.1
	67	29410	1452	18.5	4.12	1297	153	1472	237	85.5
457×152	82	36250	1144	18.6	3.31	1559	149	1802	236	105
	74	32470	1013	18.5	3.26	1408	133	1624	209	95.1
	67	28600	879	18.3	3.21	1251	116	1442	183	85.3
	60	25450	795	18.3	3.24	1119	104	1283	163	75.8
	52	21370	645	17.9	3.11	950	84.6	1096	133	66.6

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTE 3



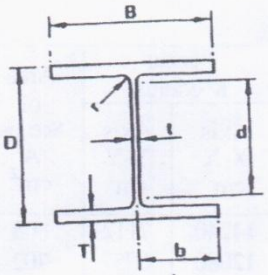
UNIVERSAL COLUMNS

الخصائص الهندسية لمقاطع الأعمدة

PROPERTIES

Designation		Second Moment Of Area		Radius Of Gyration		Elastic Modulus		Plastic Modulus		Area of Section A cm^2
Serial Size mm	Mass per Metre Kg	Axis X-X cm^4	Axis Y-Y cm^4	Axis X-X cm	Axis Y-Y cm	Axis X-X cm^3	Axis Y-Y cm^3	Axis X-X cm^3	Axis Y-Y cm^3	
356×406	634	275000	98190	18.5	11.0	11590	4631	14240	7112	808
	551	227000	82670	18.0	10.9	9964	3951	12080	6057	702
	467	183100	67930	17.5	10.7	8388	3295	10010	5040	595
	393	146700	55370	17.1	10.5	7001	2721	8225	4154	501
	340	122500	46850	16.8	10.4	6029	2325	6997	3543	433
	287	99930	38680	16.5	10.3	5077	1939	5814	2949	366
	235	79150	31040	16.2	10.2	4155	1572	4691	2386	300
COLCORE	477	172500	68090	16.9	10.6	8078	3209	9704	4981	607
356×368	202	66330	23630	16.0	9.57	3541	1262	3978	1917	258
	177	57110	20450	15.9	9.52	3101	1099	3455	1667	226
	153	48640	17510	15.8	9.46	2687	946	2970	1433	196
	129	40300	14580	15.6	9.39	2266	792	2485	1198	165
305×305	283	78800	24540	14.8	8.25	4314	1525	5101	2337	360
	240	64150	20220	14.5	8.14	3639	1272	4243	1945	305
	198	50860	16240	14.2	8.02	2993	1034	3438	1577	252
	158	38690	12500	13.9	7.89	2365	805	2675	1225	201
	137	32770	10650	13.7	7.82	2045	690	2293	1049	174
	118	27610	9006	13.6	7.76	1756	587	1952	892	150
	97	22200	7272	13.4	7.68	1443	477	1589	724	123
254×254	167	29920	9792	11.9	6.79	2070	740	2418	1131	212
	132	22550	7506	11.6	6.67	1632	575	1872	877	169
	107	17500	5894	11.3	6.57	1312	456	1484	695	137
	89	14280	4835	11.2	6.52	1097	378	1225	574	114
	73	11370	3880	11.1	6.46	895	306	990	463	92.9
203×203	86	9461	3114	9.27	5.32	851	298	979	455	110
	71	7634	2530	9.16	5.28	707	245	801	373	90.9
	60	6103	2047	8.96	5.19	582	199	654	303	76.0
	52	5254	1767	8.90	5.16	510	173	567	263	66.4
	46	4565	1539	8.81	5.12	449	151	497	230	58.8
152×152	37	2213	706	6.84	3.87	274	91.5	309	140	47.3
	30	1748	560	6.75	3.82	222	73.3	248	112	38.4
	23	1258	402	6.51	3.68	165	52.7	184	80.5	29.7

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTE 3



UNIVERSAL COLUMNS

الخصائص الهندسية لمقاطع الأعمدة

DIMENSIONS

Designation		Depth Of Section	Width Of Section	Thickness		Root Radius	Depth Between Fillets	Ratios For Local Buckling	
Serial Size Mm	Mass per Metre Kg	D mm	B mm	Web t mm	Flange T mm	r mm	d mm	Flange b / T	Web d / t
356×406	634	474.7	424.1	47.6	77.0	15.2	290.3	2.75	6.10
	551	455.7	418.5	42.0	67.5	15.2	290.3	3.10	6.91
	467	436.6	412.4	35.9	58.0	15.2	290.2	3.56	8.08
	393	419.1	407.0	30.6	49.2	15.2	290.3	4.14	9.49
	340	406.4	403.0	26.5	42.9	15.2	290.2	4.70	11.0
	287	393.7	399.0	22.6	36.5	15.2	290.3	5.47	12.8
	235	381.0	395.0	18.5	30.2	15.2	290.2	6.54	15.7
COLCORE	477	427.0	424.4	48.0	53.2	15.2	290.2	3.99	6.05
356×368	202	374.7	374.4	16.8	27.0	15.2	290.3	6.93	17.3
	177	368.3	372.1	14.5	23.8	15.2	290.3	7.82	20.0
	153	362.0	370.2	12.6	20.7	15.2	290.2	8.94	23.0
	129	355.6	368.3	10.7	17.5	15.2	290.2	10.5	27.1
305×305	283	365.3	321.8	26.9	44.1	15.2	246.7	3.65	9.17
	240	352.6	317.9	23.0	37.7	15.2	246.8	4.22	10.7
	198	339.9	314.1	19.2	31.4	15.2	246.7	5.00	12.8
	158	327.2	310.6	15.7	25.0	15.2	246.8	6.21	15.7
	137	320.5	308.7	13.8	21.7	15.2	246.7	7.11	17.9
	118	314.5	306.8	11.9	18.7	15.2	246.7	8.20	20.7
	97	307.8	304.8	9.9	15.4	15.2	246.6	9.90	24.9
254×254	167	289.1	264.5	19.2	31.7	12.7	200.3	4.17	10.4
	132	276.4	261.0	15.6	25.3	12.7	200.4	5.16	12.8
	107	266.7	258.3	13.0	20.5	12.7	200.3	6.30	15.4
	89	260.4	255.9	10.5	17.3	12.7	200.4	7.40	19.1
	73	254.0	254.0	8.6	14.2	17.7	200.2	8.94	23.3
203×203	86	222.3	208.8	13.0	20.5	10.2	160.9	5.09	12.4
	71	215.9	206.2	10.3	17.3	10.2	160.9	5.96	15.6
	60	209.6	205.2	9.3	14.2	10.2	160.8	7.23	17.3
	52	206.2	203.9	8.0	12.5	10.2	160.8	8.16	20.1
	46	203.2	203.2	7.3	11.0	10.2	160.8	9.24	22.0
152×152	37	161.8	154.4	8.1	11.5	7.6	123.6	6.71	15.3
	30	157.5	152.9	6.6	9.4	7.6	123.5	8.13	18.7
	23	152.4	152.4	6.1	6.8	7.6	123.6	11.2	20.3

FOR EXPLANATION OF TABLES SEE NOTE 2