المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تقنية مدنية

إنشاءات معدنية

٢١١ مدن

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " إنشاءات معدنية " لمتدربي قسم" تقنية مدنية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تعتبر الإنشاءات المعدنية من أكثر المنشآت شيوعا بعد الخرسانة المسلحة حيث يكثر استخدامها في المنشآت الهامة كالجسور و المباني العالية و حظائر الطائرات و الأوناش و الصالات و الأنفاق...الخ. و تتميز الإنشاءات المعدنية بسرعة إنشائها و مدى تحملها للإجهادات العالية.

تهدف حقيبة الإنشاءات المعدنية الى إعطاء طلاب الكلية التقنية، تخصص تقنية مدنية، المبادئ الأساسية للإنشاءات المعدنية ومن خلالها يتعرف الطالب على مختلف أنواع المقاطع الفولاذية لعناصر التشييد في المنشآت المعدنية، و معرفة مبادئ التصميم الإنشائي، كما يتعرف على مختلف أنواع البراغي و اللحام و بعض التفاصيل الخاصة بالوصلات الفولاذية و مبادئ تصميمها عند أماكن ارتكاز المنشآت المعدنية على الأساسات.

و بعون الله و توفيقه نأمل إن تكون بمثابة مرجع يمكن إن يزود الطلبة بمعلومات ضرورية في هذا المجال. و تحتوي هذه الحقيبة على أربعة فصول موزعة كالتالي:

- يتضمن الفصل الأول مدخلاً للوحدات و التحليل الإنشائي و الذي يحتوي على أنواع المنشآت الفولاذية، مميزات و عيوب المنشآت الفولاذية و خواص الفولاذ المستخدم في المنشآت و الإجهادات المسموح بها لكل نوع.
- يشمل الفصل الثاني المبادئ الأساسية في التصميم الإنشائي للعناصر الفولاذية المختلفة.
- يتعرض الفصل الثالث إلى أنواع الوصلات البراغي واللحام.
- يتطرق الفصل الرابع و الأخير إلى التفاصيل الخاصة بالوصلات الفولاذية عند أماكن ارتكاز المنشآت المعدنية على الأساسات.

و لقد زودت الحقيبة في آخرها بعدد من المراجع التي استقيت منها بعض المعلومات و الأفكار و لقد زودت كذلك بملحق يضم خواص قضبان الفولاذ العيارية.

و في الأخير نرجو من الله العلي القدير إن يسدد خطانا و إن يجعل في هذه الحقيبة النفع الكثير و نأمل إن نكون قد وفقنا في إعدادها و قدمنا ما يفيد الطلبة و العاملين في الإنشاءات المعدنية.

إنشاءات معدنية

مدخل للوحدات و التحليل الإنشائي

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة : تعلّم مختلف الوحدات الدولية و أصناف المنشآت الفولاذية و مميزاتها و عيوبها و كذلك أنواع و خواص الفولاذ المستخدم في المنشآت المعدنية.

الأهداف :

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

- أنواع و خواص الفولاذ المستخدم في المنشآت و الإجهادات المسموح بها لكل نوع.
- مميزات و عيوب المنشآت الفولاذية.
- مختلف الوحدات الدولية.
- أصناف و أنواع القطاعات و الأعضاء الإنشائية.

مستوى الأداء المطلوب : إن يصل الطالب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة **100**٪.

الوقت المتوقع للفصل:

٨ ساعات.

الوسائل المساعدة :

- مبادئ خواص المواد الهندسية.
- أساسيات مقاومة المواد.

متطلبات الجدارة:

اجتياز حقيبة الستاتيكا.

الإنشاءات المعدنية

١. مقدمة

إن سرعة انتشار و استعمال الفولاذ في شتى المجالات يتطلب تطوير التقنيات الحديثة القادرة على توقع و معرفة سلوك المنشآت تحت تأثير الأحمال و المحيط الخارجي و تحليل الإجهاد الناتج عن تلك الأحمال. فبفضل الإنشاءات الفولاذية استطاع الإنسان إن يخترق السحاب بإنشائه للمباني العالية و التي لقبت بناطحات السحاب كذلك استطاع إيصال المدن ببعضها البعض بفضل الجسور الطويلة و التي أنشأت باستعمال الفولاذ. ففي عصرنا هذا أصبحت المنشآت المعدنية من أكثر المنشآت استعمالا حيث انتشرت في شتى المجالات الهندسية بسرعة كبيرة وفي المنشآت الهامة مثل:

- الجسور.
- المباني و الأبراج.
- الأنفاق.
- حظائر الطائرات.
- الصالات الرياضية ...الخ.

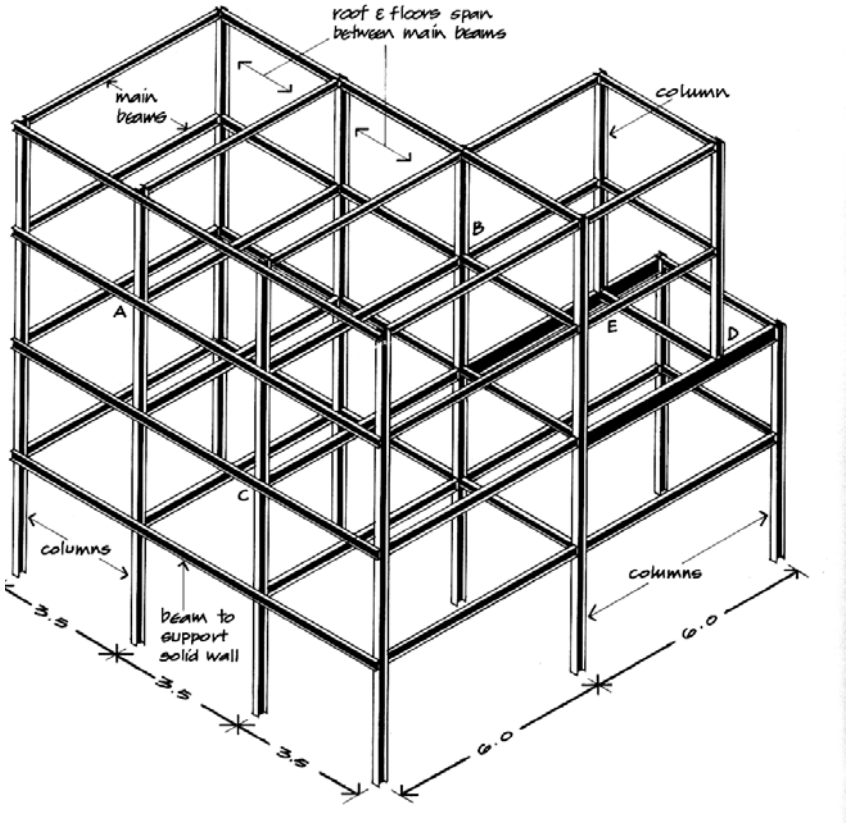
2. مجالات استعمال الفولاذ في الإنشاءات Areas of using steel in structures

يستخدم الفولاذ في المجالات التالية :

١،٢. الجسور Bridges

يستخدم الصلب في إنشاء جسور السكك الحديدية المختلفة نظرا لسهولة إنشاء الأنواع المختلفة كالشبكيات Trusses من صلب الإنشاء و التي هي قادرة على تحمل الأحمال المعتبرة الناتجة من ثقل أوزان القطارات و كذلك من سعة الفتحات المطلوبة لعبور الأنهار والوديان والتي باستطاعتها مقاومة الاهتزازات الناتجة عن تلك الحركة كذلك يستخدم في إنشاء جسور الطرقات و الجسور المتحركة التي يمكن فتحها و غلقها.

2.٢. المباني الهيكلية



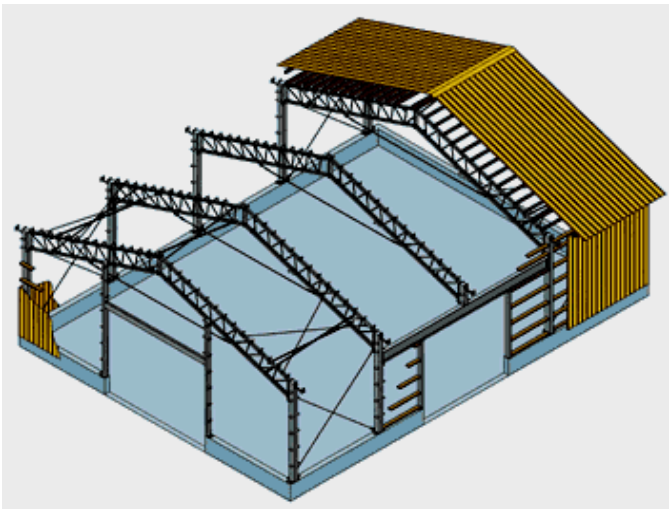
الشكل ١،١ : نموذج لمباني هيكلية

و تشمل المباني السكنية أو الصناعية أو العالية كما هو مبين على الشكل 1.1 ، و خير مثال على المباني العالية ناطحات السحاب Skyscrapers التي قد تصل إلى مائة طابق أو أكثر و التي تتكون أعمدتها من الصلب.

3.2. الأوناش Cranes

يستعمل الفولاذ في إنشاء أجزاء الأوناش بكافة أنواعها مثل الأوناش العلوية التي ترتكز على أعمدة المبنى أو المستخدمة في الموانئ. و للأوناش فائدة جد مهمة كنقل البضائع على أرصفة الموانئ ولنقل الأجزاء المصنعة داخل الورش كقطع الغيار الثقيلة أو أجزاء الماكينات لنقلها من مكان إلى آخر في ظرف زمني قصير.

4.2. الصالات Halls



الشكل ٢،١: منظر لمنشأة معمل

يستعمل صلب الإنشاء في تغطية المسطحات الكبيرة و التي تلزم لأغراض معينة مثل المسارح و دور السينما و قاعات الاجتماعات و مواقف الحافلات و محطات السكك الحديدية و كذلك منشآت المصانع و المعامل و منشآت الموانى (الشكل 2.1).

5.2. الأنفاق Tunnels

تستعمل دعامات الصلب لسند جوانب الأنفاق لحمايتها من الانهيارات. و تستخدم هذه الأنفاق لمرور القطارات و قطارات المترو و العربات كما تشق الأنفاق في المناجم للوصول إلى مسافات بعيدة.

6.2.أبراج نقل القدرة الكهربائية Power Transmission Towers

وهي أبراج من الصلب تحمل أسلاك تنقل الكهرباء من أماكن توليدها إلى حيث استهلاكها.

7.2. الخزانات Tanks

يستعمل الصلب في إنشاء الخزانات الكبيرة مثل خزانات الوقود كالبترول و الغازات و أحيانا يستخدم الصلب في إنشاء خزانات المياه العلوية.

8.2. خطوط أنابيب البترول Pipe line

وهي عبارة عن مواسير من الصلب تنقل خام البترول من أماكن استخراجه إلى حيث يتم تكريره أو شحنه.

9.2. الخوازيق و الخوازيق اللوحية Piles and Sheet Piles

تستخدم الخوازيق المعدنية اللولبية screw piles في دعم الجسور كما إن الخوازيق اللوحية sheet piles تستخدم بكثرة في سند جوانب السدود الترابية Cofferdams و في الأعمال البحرية حيث يحاط المكان المراد الإنشاء فيه بسد من الخوازيق ثم يفرغ الماء من داخل السد و يحفظ جافا حتى نهاية الإنشاء.

10.2. الهياكل ذات الفتحات الكبيرة

و التي تستخدم في المصانع الكبرى و حظائر الطائرات.

٣. التحليل و التصميم الإنشائي Structural Analysis and Design

إن تطبيق الأحمال على الإنشاء يحدث قوى وتشوهاً بداخله. فتعيين كل من هذه القوى و التشوهات يسمى التحليل الإنشائي. بينما التصميم الإنشائي يشمل التنظيم و التوزيع النسبي للإنشاء بمختلف أجزائه بحيث يضمن الدعامة للأحمال المعرضة عليه. على العموم فإن التصميم الإنشائي يتضمن 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 منشأ يتوافر فيه الأمان و قلة التكلفة.
- تحقيق متطلبات المنشأ مع مراعاة العامل الجمالي له.
- قابلية المنشأ إلى الامتداد في المستقبل.
- اختيار العناصر الإنشائية القادرة على تحمل الجهود الناتجة من تلك الأحمال.

ولهذا الغرض يجب على المصمم الإنشائي إن يكون على دراية كافية بخواص المواد و اختبارات المواد الهندسية و مواصفاتها و بسلوك المنشآت تحت تأثير الأحمال و بالتحليل الإنشائي.

٤. النظام الدولي للوحدات SI UNITS

من أهم مميزات النظام الدولي للوحدات هو أنه يحتوي على وحدة فقط لكل كمية فيزيائية، على سبيل المثال : المتر (م) للطول (Meter, m) ، الكيلو غرام (كجم) للكتلة (Kilogram, Kg)، الثواني (ث) للوقت (Seconds, S) ، و نيوتن (ن) للقوة (Newton, N) و هكذا. الجدول 1.1 يبين الوحدات الرئيسية للنظام الدولي، و الجدول ٢,١ يبين العلاقة بين وحدات القياس الدولي و وحدات النظام الإنجليزي.

الجدول ١,١: الوحدات الرئيسية للنظام الدولي

المساحة **Area**	المتر مربع (م^2) **Square meter (m^2)**
التسارع Acceleration	المتر على الثانية مربع Meter per Second squared (m/s^2)
القوة Force	كيلو غرام على الثانية مربع أو النيوتن (ن) Kilogram-meter per second squared ($Kg\text{-}m/s^2$)=Newton (N)
الإجهاد Stress	نيوتن على المتر مربع = الباسكال Newton per squared meter (N/m^2) = Pascal

الجدول ٢،١: العلاقة بين وحدات القياس الدولي و النظام الإنجليزي

وحدات القياس الدولي	وحدات النظام الإنجليزي
= 25.400 mm = 0.25400 m	1 in. بوصة
= 645.16 mm^2 = 6.451600 x 10^{-4} m^2	1 in^2. بوصة
= 304.800 mm = 0.304800 m	**1 ft.** قدم
= 4.44822 N	1 lb. رطل
= 4448.222N = 4.448222 KN	1 Kip كيلو رطل
=6.894757 Kn/m^2=0.006895 Mn/m^2=0.006895 N/mm^2	1 PSI (Pounds per square inch) رطل/ بوصة مربع
= 47.880 N/m^2 = 0.047800 Kn/m^2	1 PSF (pounds per square foot) رطل / قدم مربع
= 6.894757 Mn/m^2 = 6.894757 MPa	1 KSI (Kips per square inch) كيلو رطل / بوصة مربع

٥. مميزات المنشآت الفولاذية Steel structures characteristics

تمتاز المنشآت الفولاذية بالمواصفات التالية:

- لا تحتاج إلى شدات خشبية أو أي مواد تستهلك أثناء الأشغال مما يوفر في تكلفة الإنشاء.
- الفولاذ مادة متجانسة مما يسهل التحكم في خواصها و في تكوينها الكيميائي و هي ميزة لا تتمتع بها مواد الإنشاء الآخرى.
- الصلب ذو قدرة عالية لتحمل الإجهادات المتساوية تقريبا في الشد و الضغط مما يوفر في المواد و بالتالي في الأوزان و التكاليف.
- السرعة في الإنشاء حيث يتم تصنيع أجزاء المنشأ في الورش و يتم تجميعها و تركيبها في موقع الإنشاء
- دقة التصنيع حيث يمكن التحكم في جودة إنتاج العناصر الفولاذية في الورش.
- يمكن فك المنشأ و إعادة تركيبه في موقع آخر.
- يمكن إجراء تعديلات في المنشآت الفولاذية أثناء الإنشاء أو بعده بسهولة و دون اللجوء إلى هدم المبنى كحالة الإنشاءات الخرسانية.

- يمكن القيام بتقوية بعض العناصر الإنشائية الفولاذية و ذلك بإضافة أعضاء جديدة للقطاعات بسهولة كما هو في حالة استخدام اللحام.
- المادة قابلة للاستطالة Ductility بحيث يمكن ملاحظة التشوه و التشكل في المنشآت وبالتالي يمكن علاجها قبل حدوث الانهيار.
- حد المرونة Elastic Limit للفولاذ عالي نسبيا بمقارنته بالمواد الآخرى بحيث يمكن تطبيق نظريات المرونة عليه بدون تجاوزات و التي تعرف بما يسمى بقانون هوك.
- الفولاذ قابل للسحب مما يجعل طرق نقله بسيطة و غير مكلفة.

٦. عيوب استعمال الفولاذ في الإنشاءات

تتلخص عيوب استعمال الصلب فيما يلي :

- قابلية الفولاذ للصدأ في الجو الرطب أو المشبع بالأملاح أو الأحماض و يلزم لصيانته الكشف على الأجزاء المعرضة للجو و تنظيفها و إعادة طلائها بمادة غير قابلة للصدأ من حين إلى آخر.
- مقاومة الفولاذ للحرائق ضعيفة خصوصا بعد ٥٠٠ درجة مئوية و يسيل تماما عند درجة ١٢٠٠ درجة مئوية لذا يجب تغطيته بطبقة عازلة مقاومة للحرائق كالخرسانة بسمك حوالي ٣ سم لزيادة قدرة الفولاذ على مقاومة الحرائق.

٧. أنواع فولاذ الإنشاء

توجد عدة أنواع من فولاذ الإنشاء تختلف فيها نسبة الكربون حيث تدخل هذه النسبة في مقاومة الفولاذ و تتراوح هذه النسبة بين 0.1% و 0.3% كما توجد بعض الشوائب في فولاذ الإنشاء تبعا لمقدرته على مقاومة الإجهاد و يسمى كل نوع منه بالرقم الدال على أدنى قيمة للإجهاد الأقصى Fu فمثلا فولاذ الإنشاء 37 يدل على إن القيمة الأدنى لإجهاد الشد الأقصى (Fu) هي 37 كجم/ مم^2 .

و أكثر أنواع فولاذ الإنشاء شيوعا من حيث محتوى الكربون هي :

- الحديد المطاوع (حديد مليف: له جسيمات ليفية المظهر) Wrought Iron

نسبة الكربون فيه أقل من 0.1%

- حديد غفل (كتل مصبوبة من حديد الزهر) Pig Iron

نسبة الكربون فيه تتراوح بين أقل من 2 ٪ و 4٪ و تتوفر هذه النسبة أثناء انصهار الفولاذ بالفرن والتي يجب إن يعاد انصهارها لنزع المواد الغير مرغوب فيها.

- حديد الزهر (حديد الصب) Cast Iron

نسبة الكربون فيه أقل من 2% إلى 4% مصنوع من حديد الصب القاسي.

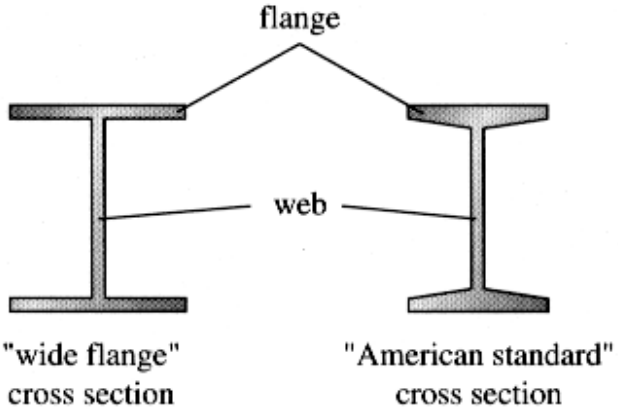
- الفولاذ الصلب Steel

نسبة الكربون اقل من 2%.

٨. مصطلحات و تعاريف أساسية

يمكن إن تكون الأعضاء الإنشائية مفردة أومرتبطة ببعضها البعض بوصلات عن طريق لوح التجميع Gusset Plate كما تجمع الأضلاع مع بعضها البعض عن طريق لوح العصب Web Plate وبالتالي يمكن تعريف ما يلي:

- **العصب** Web : هو الجزء العمودي من المقطع الذي يقع عليه الحمل. (الشكل ٣،١).
- **الشفة** Flange : هو الجزء المنبسط المحمول بالعصب و يستخدم للربط.
- **لوح التجميع** Gusset Plate : لوحة توضع في زوايا المنشآت عموما لتقوية الاتصال.
- **الساق** Leg : هو أحد ساقي مقطع الزاوية Angle .
- **الخطوة** Pitch : هي المسافة بين خطي تناظر مسماري تبشيم متتاليين.
- **الخلوص** Clearance : فراغ بين عنصرين متجاورين نتركه لتسهيل الفك و التركيب.
- **الحشوة** Filler : لوحة Plate تستخدم لملء فراغ بين سطحي عنصرين متجاورين.

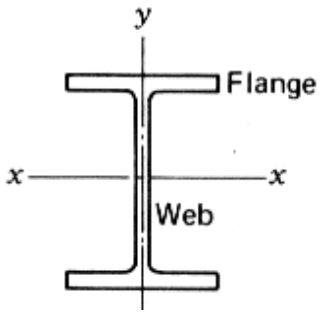


الشكل ٣،١: وضع العصب و الشفة على المقاطع

هناك عدة أشكال و مقاطع للكمرات المركبة و حسب المصطلحات الأمريكية AISC فكل كمرة لها رمز فعلى سبيل المثال الكمرة W 10 x 49 تعني كمرة عريضة الشفة عمقها 10 بوصة (25.4 سم) و وزنها 49 رطل لكل قدم (73.1 كغ لكل متر) و في ما يلي بعض أنواع الكمرات المركبة و رموزها.

- **الكمرة ذات الشفة العريضة** (Wide Flange Beam)

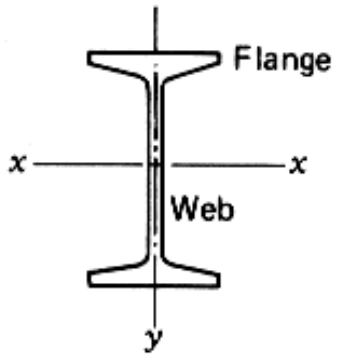
و هي من أصناف W(Wide) عريضة أو M (Miscellaneous) متنوعة (الشكل ٤،١)



الشكل ٤،١: الكمرة عريضة الشفة Wide flange Beam

- **الكمرة القياسية الأمريكية** American Standard Beam

و تكون من أصناف **S** (Standard) **(الشكل ٥،١)**

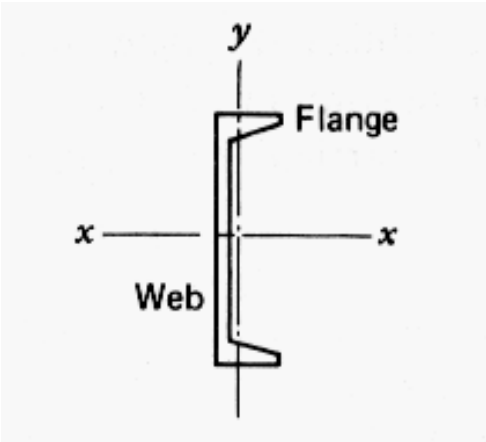


الشكل ٥،١: الكمرة القياسية الأمريكية American Standard Beam

- **المجرى القياسي الأمريكي و المجرى المتنوع**

American Standard Channel and Miscellaneous Channel

و تكون من أصناف **C (American Standard Channel)** المجرى القياسية الأمريكية و **MC (Miscellaneous Channel)** المجرى المتنوعة **(الشكل ٦،١)**.

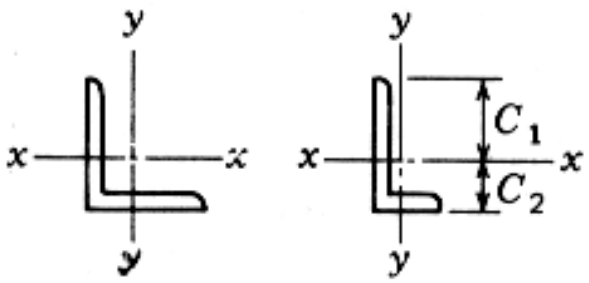


الشكل ٦،١: المجرى القياسية الأمريكية و المجرى المتنوعة

American Standard Channel and Miscellaneous Channel

- **قطاع الزوايا** Angles

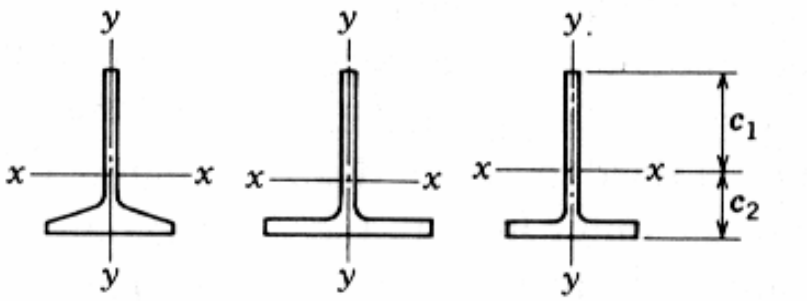
و تكون من أصناف L (**الشكل ٧،١).**



الشكل ٧،١: قطاع الزوايا (أشكال L) Angles L Shapes

- **الكمرات الإنشائية** Structural Tees T

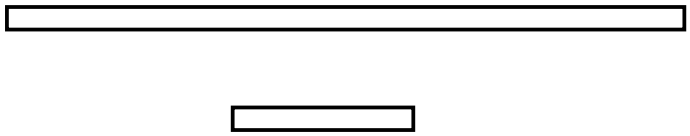
و هي من أصناف **(ST, WT, MT)** (**الشكل 8.1).**



الشكل ٨،١: الكمرات الإنشائية T Structural Tees

- **الألواح و القضبان Plates and bars**

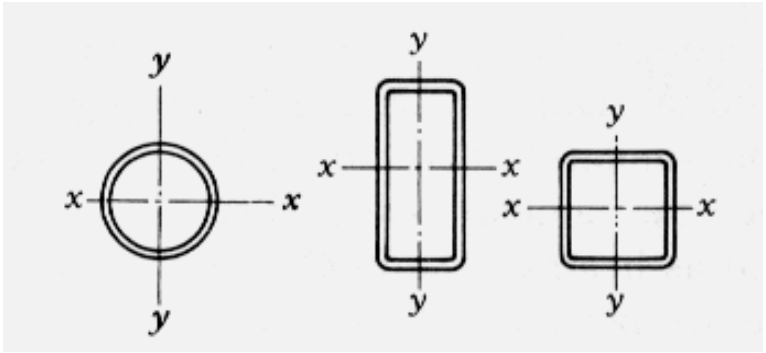
و هي من أصناف **PL** و **BAR** (الشكل ٩،١).



الشكل ٩،١: ألواح و قضبان Plates and Bars

- **المواسير و الأنابيب الإنشائية Pipes and Structural Tubing**

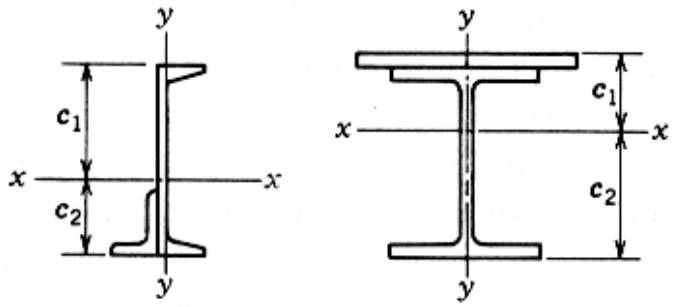
و هي من أصناف **TS** و هي عبارة عن مواسير فولاذية و أنابيب إنشائية تأخذ أشكال مختلفة كدائرية، مستطيلة أو مربعة (الشكل ١٠،١).



الشكل ١٠،١: مواسير و أنابيب إنشائية Pipe and Structural Tubing

- **قطاعات مركبة Built up Sections**

القطاعات المركبة تتكون من عنصرين أو أكثر لتشكيل قطاع مركب (الشكل **11.1**).



الشكل ١١،١: كمرة ذات شفة عريضة مركبة مع لوح و مجرى مركب مع زاوية

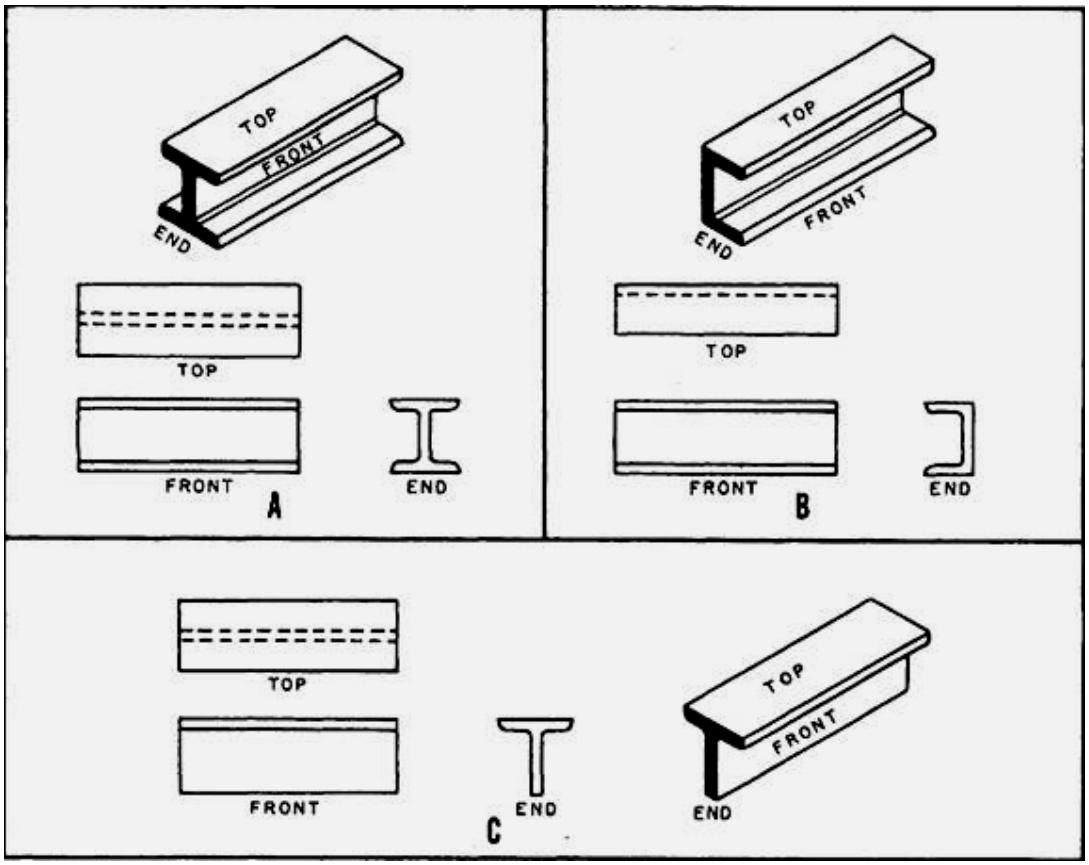
٩. القطاعات الإنشائية Structural Sections

يتم إنشاء منشآت الفولاذ من القطاعات المدلفنة Rolled Steel Sections حيث تنتج القطاعات بمرور الكتل خلال معامل الدلفنة حتى تصل إلى السمك و الأبعاد القياسية و تعطى جداول لكل قطاع يبين مقاسات القطاع و خصائص المساحة و وزن المتر الطولي و مركز الثقل و اتجاهات المحاور و عزوم القصور الذاتية و أنصاف أقطار القصور و أوزان المتر الطولي من القطاع. و تنتج القطاعات المدلفنة في صور شتى كما هو مبين على الشكل ١٢،١ الذي يظهر بعض القطاعات الإنشائية :

A) مقاطع الكمرة القياسية **Standard I-Beam**

B) مقاطع المجرى **Channel**

C) مقاطع مقطع على شكل T **Tee Section**



الشكل ١٢،١: بعض القطاعات الإنشائية

- **الألواح Plates**

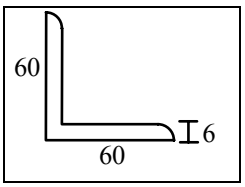
و تكون بأسماك مختلفة و بأبعاد قياسية (الشكل 13.1).

Plate لوح

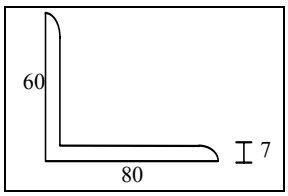
الشكل ١٣،١: لوح فولاذي

- **الزوايا Angles**

وقد تكون متساوية الأضلاع أو غير متساوية الأضلاع حيث تختلف أبعاد ضلعي الزاوية وقد تكون بأسماك مختلفة (الشكل **14.1** و الشكل **15.1**).



الشكل ١٤،١: زوايا متساوية الأضلاع



الشكل ١٥،١: زاوية غير متساوية الأضلاع

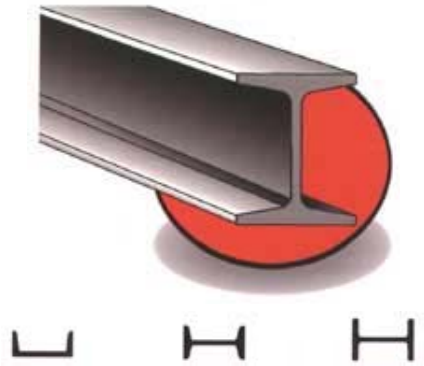
- **المجرى (الكمرة المجرة) Channels**

و يتراوح ارتفاعها عموما من 80 مم إلى 400 مم (**الشكل** ١٦،١).

الشكل ١٦،١: بعض نماذج المجرى

- **الكمرة القياسية I Standard I Beam**

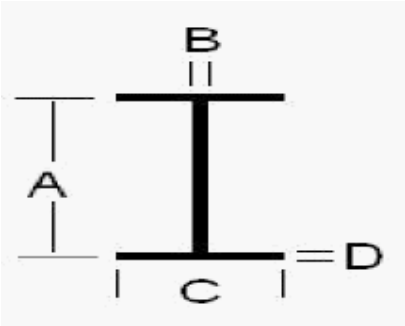
و يتراوح ارتفاعها من 80 مم إلى 600 مم و تستعمل في الكمرات الأفقية و كمرات الأوناش و المدادات (الشكل ١٧،١).



الكمرة القياسية الشكل ١٧،١ : I Standard I Beam

- **الكمرة عريضة الشفة Broad (Wide) Flange I Beam**

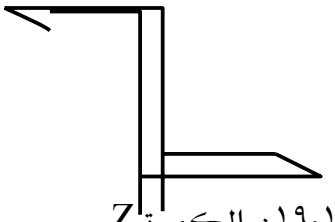
و تتميز عن السابقة بالشفة العريضة حيث يصل ارتفاعها إلى 1000 مم و يبين في الشكل ١٨،١ مختلف عناصرها الأساسية.



الشكل ١٨،١ : عناصر الكمرة عريضة الشفة

- A :depth (العمق)
- B: Web thickness (سمك العصب)
- C: flange width (عرض الشفة)

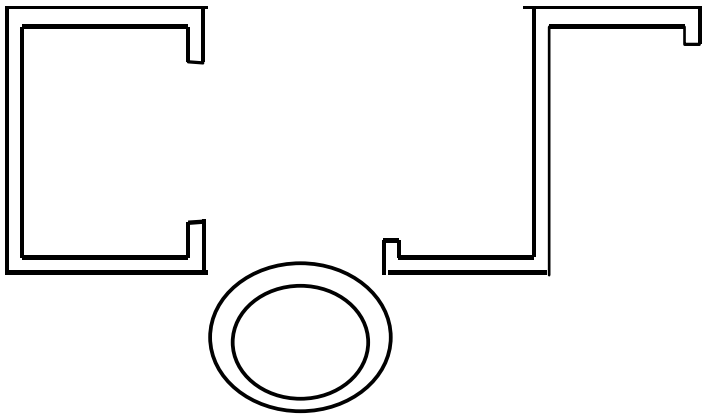
و توجد بعض القطاعات الإنشائية الآخرى كالكمرة Z (الشكل 19.1).



الشكل ١٩،١: الكمرة Z

- **القطاعات المشكلة على البارد Cold Formed Sections**

و تنتج هذه القطاعات من الألواح التي تشكل على البارد و تتميز هذه القطاعات الرقيقة بخفة وزنها وعلى سبيل المثال المواسير (الشكل ٢٠،١).



الشكل ٢٠،١ : بعض القطاعات المشكلة على البارد

١٠. الخواص الميكانيكية للصلب

الخواص الميكانيكية للمواد الإنشائية تحدد عادة عن طريق الاختبارات العملية التي من خلالها تتعرض العينة إلى ظروف معينة من الإجهادات بحالات مختلفة للمقارنة. و من خلال استعمال نظريات المقاومة يمكن تعيين تلك الإجهادات المسموح بها لبعض حالات الإجهادات المعقدة التي بإمكانها إن تحدث عادة في الطبيعة. و من خلال هذه النظريات يمكن أيضا توقع حدوث الانهيار تحت إجهادات موحدة. فمنحنى الإجهاد و الانفعال مهم جدا لترسيخ طبيعة المقاومة و خاصية المرونة للمادة.

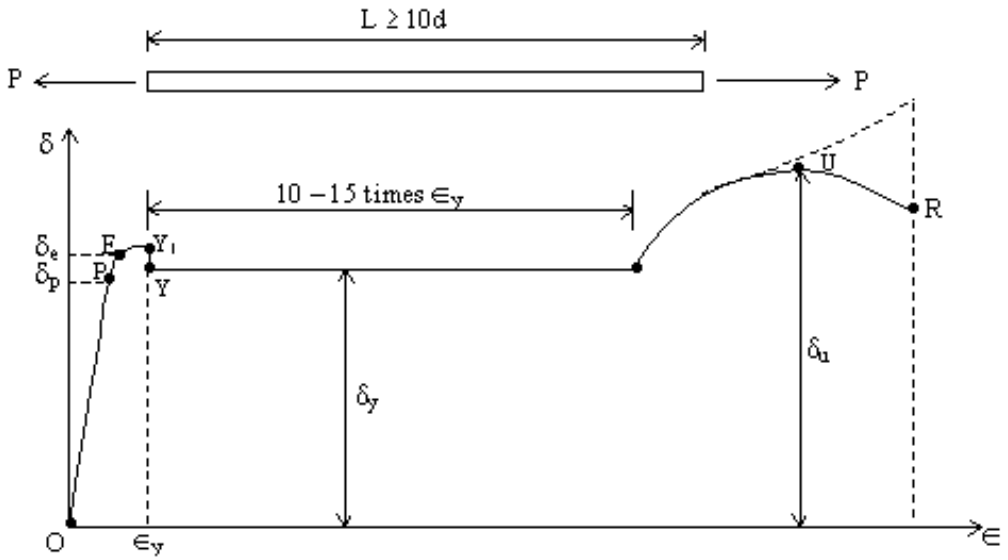
أفضل وسيلة لتوقع تجاوب الإنشاء للأحمال المطبقة عليه هي معرفة المصمم لـ: نقطة الخضوع (نهاية حد المرونة) **Yield Point** ، حد التناسب **proportional Limit** ، حد المرونة **Elastic Limit** و المقاومة النهائية للمادة المكونة للإنشاء. كل هذه المعلومات يمكن الحصول عليها من منحنى

الإجهاد و الانفعال. هذا المنحنى يعطي معلومات تفيد ما إذا كانت المادة طروقة **Ductile** أو قصفة **Brittle.** و معظم الطرق المستعملة للحصول على هذه الخواص تتم عن طريق اختبار الشد.

و من خلال هذا الاختبار تطبق أحمال الشد حسب المواصفات المطلوبة و تحسب الاستطالة للعينة بالتوازي مع الحمل المماثل. على سبيل المثال و حسب المواصفات الأمريكية **ASTM** فإن عينة الاختبار تكون على شكل أسطواني ذي قطر **0.505** بوصة (**1.28** سم) و طول العينة يجب إن لا يتعدى **10** مرات قطرها. لنأخذ كمثال منحنى الإجهاد و الانفعال النموذجي للفولاذ الطري **Mild Steel** كما هو مبين على الشكل **21.1**. نلاحظ إن الإجهاد ممثل بالإحداثيات الرأسية أما الانفعال فهو ممثل بالإحداثيات الأفقية.

من المبدأ 0 إلى النقطة P نلاحظ إن المنحنى يبدأ على شكل خط مستقيم حيث يتناسب الإجهاد و الانفعال. فحد التناسب (**Proportional Limit**) σ_P يدل على الإجهاد الأقصى، الذي يمكنه إن يحدث و هو عبارة عن دالة خطية مرتبطة بالانفعال (و إن هذه الدالة تخضع إلى قانون هوك). فحد التناسب يدل أيضا على حد المرونة الخطية و ثابت التناسب (الميل) يطلق عليه اسم معاير المرونة. النقطة **E** على المنحنى تطابق تقريبا النقطة **P** و تسمى بحد المرونة σ_e .

و تتميز هذه المرحلة بعدم وجود أي تشوه دائم (**Permanent Deformation**) أو أي تشوه متبقي (**Residual Deformation**) أثناء رفع الحمل. فالمرحلة من P إلى E هي مرحلة المرونة غير الخطية، ولكن بعد النقطة E فالمادة تصبح غير مرنة.



الشكل 21.1 : منحنى الإجهاد و الانفعال للفولاذ الطري

النقاط الموضحة على المنحنى Y_1 و Y هما نقطة الخضوع العليا و نقطة الخضوع السفلى على التوالي. و قيمة نقطة الخضوع السفلى تؤخذ عموما كقيمة الإجهاد الذي من خلاله توجد زيادة في الانفعال (تتراوح بين 10 و 15 مرة قيمة الانفعال المرن) دون زيادة مماثلة للإجهاد. فظاهرة الخضوع ترجع إلى انهيار أسطح الهيكل الذي هو مكوّن من حبيبات المادة المرتبطة مع بعضها البعض، و الذي يمنع حدوث تشوهات لدنة للحبيبات أثناء الإجهاد المنخفض.

عند نهاية الخضوع، نلاحظ إن المادة تسترجع كل خواصها المرنة و بعد زيادة في التشوه ترفق بزيادة في الإجهاد و هذه المرحلة تسمى بالأصلاد الانفعالي Strain Hardening و عند النقطة U نحصل على المقاومة النهائية Ultimate Strength σ_u للمادة. و بعد النقطة U و زيادة الشد للمادة يرفقه انخفاض في الإجهاد حتى يحدث التصدع فجأة و الموضع يكون في النقطة R.

مرحلة المنحنى للإجهاد و الانفعال و الممتد من البداية حتى حدود المرونة تسمى بنطاق المرونة Elastic Range بينما بدأ منحنى للإجهاد و الانفعال و الممتد من نقطة الخضوع حتى نقطة التصدع تسمى بنطاق اللدونة Plastic Range. و فيما يلي بعض التعريفات الخاصة بالمنحنى:

أ- المرونة Elasticity

هذه ميزة المرحلة الأولية للصلب الإنشائي و من خلال المنحنى تظهر على شكل خط مستقيم و من خلالها يتناسب الإجهاد و الانفعال و ينتهي الخط المستقيم عند حد التناسب، حيث أن:

الإجهاد = (الحمل) / (مساحة المقطع)

الانفعال = (الاستطالة)/ ا(الطول الاصلي)

ب- معاير المرونة Young's Modulus of Elasticity

معاير المرونة هو ميل الخط المستقيم من منحنى الإجهاد و الانفعال و تتراوح قيمته ما بين 200000 Mpa و 210000 Mpa و القيمة التقريبية التي تؤخذ غالبا هي 200000 Mpa 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 معاير المرونة كنسبة قيمة الزيادة في الإجهاد على الزيادة المماثلة في الانفعال التي تؤخذ كميل الخط المستقيم لمنحنى الإجهاد و الانفعال ووحدته هي: N/m^2 نيوتن/م^2 حسب وحدات القياس الدولي أو بـ P.S.I الرطل/بوصة مربع حسب المواصفات البريطانية و يعبر عن معاير المرونة E بالمعادلة التالية:

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

حيث:

E - معاير المرونة

F - الإجهاد

e - الانفعال

ففي حالة الشد أو الضغط يمكن كتابة المعادلات السابقة على النحو التالي:

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

حيث إن:

ΔL- الفرق بين الطول الحالي و الطول الأصلي

L- الطول الحالي

و منه نجد :

$$E = \frac{F}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{F\,L}{\Delta L}$$

جـ- 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 تنقص 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 للفولاذ.

د - اللدونة Plasticity

تتميز هذه المرحلة بزيادة الانفعال دون الزيادة في الإجهاد و تسمى هذه المرحلة بمنطقة الخضوع و لا تسترجع الأعضاء المعرضة للأحمال شكلها الأصلي و إنما يبقى التشوه دائماً.

هـ- منطقة التقسية

يزداد الانفعال بزيادة الإجهاد حتى يصل إلى أقصى قيمة و هي القوى القصوى و يبدأ بعدها الاختناق و الانهيار. و يعرف الصلب بقيمة الإجهاد الأقصى فعلى سبيل المثال الصلب (37) يرمز إلى إن القيمة الأدنى لأقصى الإجهاد هي 37 كجم/مم^2 وهو أكثر أنواع الصلب شيوعا و استخداما في الإنشاء و يستخدم الصلب 44 و كذلك الصلب عالي المقاومة (52). و فيما يلي قيم الكثافة النوعية لبعض أنواع الحديد:

أ - فولاذ الزهر (Cast Iron) **7.2 t/m^3**

ب -الفولاذ الطروق (المطاوع)) (wrought Steel) **7.7 t/m^3**

جـ - الفولاذ المدلفن (على شكل صفائح) (Steel Rolled or cast) **7.8 t/m^3**

و فيما يلي بعض خواص أنواع الفولاذ حسب المواصفات الأمريكية **ASTM** و الإجهادات المسموح بها.

الجدول 3.1 : الإجهادات المسموح بها لبعض أنواع الفولاذ حسب المواصفات الأمريكية ASTM

رمز الفولاذ	إجهاد الخضوع الأدنى (كيلو رطل / بوصة مربع) Minimum Yield Stress (K.S.I)	إجهاد الخضوع الأدنى (كغ/سم^2)	إجهاد الشد (كيلو رطل / بوصة مربع) Tensile Stress (K.S.I)	إجهاد الشد (كغ/سم^2)
A36	36	2483	58-80	3999 - 5515
A441	40	2758	60	4137
	42	2895	63	4344
	46	3172	67	4620
	50	3447	70	4826
A242	42	2895	63	4344
	46	3172	67	4620
	50	3447	70	4826
A588	42	2895	63	4344
	46	3172	67	4620
	50	3447	70	4826

إنشاءات معدنية

مبادئ في التصميم الإنشائي للعناصر الفولاذية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة :

تعلّم مختلف أنواع الأحمال التي يمكن إن تطبق على الإنشاء، و الاحتمالات الممكنة .و تعلم مبادئ التصميم الإنشائي للعناصر الفولاذية المحملة مركزيا واللامركزيا.

الأهداف :

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة :

- أنواع الأحمال و الاحتمالات الممكنة لهذه الأحمال
- التصميم الإنشائي للعناصر الفولاذية المحملة مركزيا و اللامركزيا.
- تصميم العناصر المعرضة لقوى الشد و الضغط
- تصميم العناصر المعرضة للقص و عزوم الانحناء

مستوى الأداء المطلوب :

إن يصل الطالب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة **100**٪.

الوقت المتوقع للفصل :

21 ساعة.

الوسائل المساعدة :

- مبادئ التصميم و التحليل الإنشائي.
- أساسيات الستاتيكا.
- مبادئ مقاومة المواد.

متطلبات الجدارة :

اجتياز حقيبة الستاتيكا.

مبادئ في التصميم الإنشائي للعناصر الفولاذية المختلفة

١ . مقدمة

إن تصميم الأعضاء الإنشائية المكونة للمنشأ من قوى عمودية و قوى قص و عزوم انحناء وغيرها وتحديد أبعاد القطاعات المقاومة لهذه القوى يعتبر من الخطوات الرئيسية في تصميم أي منشأ. و عند تحليل و تصميم المنشآت يتم افتراض إن الإجهادات في كل مكونات الأجزاء الإنشائية للمنشأ لا تتجاوز حدود المرونة للصلب المستخدم في الإنشاء و ذلك تحت تأثير أحمال التشغيل التي يتعرض لها المنشأ ودراستنا تقتصر على افتراض إن الإجهادات لا تتجاوز حدود المرونة.

٢. الأحمال Loads

تعتبر أهم و أصعب مهمة يواجهها المهندس الإنشائي هي تقدير بدقة للأحمال التي يمكن إن تطبق على الإنشاء خلال مدة حياته. فبعد تحديد الأحمال تأتي الخطوة الثانية و هو الحسم في أسوأ الاحتمالات الممكنة لهذه الأحمال و التي بإمكانها إن تحدث في نفس الوقت.

1.2. الأحمال الميتة Dead Loads

الأحمال الميتة هي أحمال ثابتة المقدار و تبقى في موضع واحد. و تتكون من أوزان الإطارات الإنشائية و الأحمال الآخرى و التي مرتبطة باستمرار بالإطار. بالنسبة للإنشاءات المكونة من الإطارات الفولاذية (المعدنية) بعض الأحمال الميتة هي إطارات، حوائط، أدوار، أسقف، ....الخ. لتصميم أي إنشاء لا بد إن الأوزان أو الأحمال الميتة لمختلف الأجزاء إن تحسب قبل استعمال أي تحليل إنشائي.

2.2. الأحمال الحية Live Loads

الأحمال الحية هي الأحمال التي يمكنها إن تغير موضعها و مقدارها. ببساطة فإن كل الأحمال التي ليست بأحمال ميتة هي أحمال حية. الأحمال الحية التي تتحرك تحت قدرتها الذاتية تسمى الأحمال المتحركة (Moving Loads) و تشمل على سبيل المثال الأشخاص، الأوناش (Cranes) بينما الأحمال التي بإمكانها إن تنتقل تسمى أحمال متنقلة (Movable Loads) كالتجهيزات، مخزن بضائع، ثلج ...الخ. أحمال آخرى تشمل التي أحدثت عن طريق الأحمال الإنشائية، الرياح، الأمطار، الزلازل، الانفجارات، التغيرات في درجة الحرارة.

3.2. أحمال الثلوج و الجليد Snow and Ice Loads

في البلدان الأكثر برودة يؤخذ بعين الاعتبار الثلج و الجليد في أي تصميم إنشائي بحيث إن واحد بوصة (2.54 سم) سمك الثلج يعادل تقريبا 0.5 PSI (رطل/قدم مربع) أي 23.94 نيوتن/متر مربع. و يمكن إن تكون هذه القيمة أكبر خصوصا على الارتفاعات السفلية حيث إن كثافة الثلج تكون أكبر. بالنسبة إلى تصميمات الأسقف فإن أحمال الثلج تكون من 10 إلى 40 (رطل/قدم مربع) و الملاحظ إن أحمال الثلج تعتمد بالدرجة الأولى على ميل (زاوية الانحدار) السقف و بدرجة أقل على طبيعة مساحة السقف. فالقيم الأكبر تستعمل عادة في حالة الأسقف المستوية و الأصغر في حالة الأسقف ذات الميول. حيث إن الثلج له قابلية الانزلاق على الأسقف ذات الميول، خصوصا تلك الأسقف التي سطوحها مكونة من الفولاذ أو الإردواز. و تكون عموما الأحمال تقريبا 10 (رطل/قدم مربع) تستعمل على 45 درجة ميول و 40 (رطل/قدم مربع) للأسقف المستوية. فالدراسات المسجلة في المناطق التي تتساقط بها الثلوج بكثرة بينت ظهور أحمال ثلوج أكبر من 40 (رطل/قدم مربع). فالثلج باختصار عبارة عن حمل متغير بإمكانه تغطية سقف بأكمله أو جزء منه فقط. على سبيل المثال الجسور ليست عموما مصممة لأحمال الثلوج لأن الأحمال ليست دائما معتبرة.

4.2. أحمال المرور بالنسبة للجسور Traffic Loads for Bridges

الجسور معرضة لسلسلة من الأحمال المركزة ذات قيم مختلفة تسببها مجموعة من دواليب أو عجلات القطارات.

5.2. أحمال الصدم Impact Loads

أحمال الصدم تسببها أحمال الاهتزازات المتحركة أو المتنقلة. من الواضح إن إسقاط صندوق شحن على أرضية مستودع تسبب قوى أكبر من التي كانت ستنشأ لو الأحمال طبقت بطريقة تدريجية. أحمال الصدم هي عبارة عن الفرق بين قيمة الأحمال المتسببة في الوقت الحالي و قيمة الأحمال التي كانت سابقا أحمال ميتة.

6.2. الأحمال الجانبية (أحمال ديناميكية) Lateral Loads

الأحمال الجانبية نوعان رئيسيان هما: أحمال الرياح و أحمال الزلازل.

أ- أحمال الرياح Wind Loads

قيم أحمال الرياح تتغير من المواقع الجغرافية; الارتفاعات فوق سطح الأرض; أنواع التربة المحيطة بالمباني، بما في ذلك المنشآت الآخرى المجاورة; و عوامل آخرى. و يمكن حساب ضغط الرياح بالمعادلة التالية:

$$q = C.V^2$$

حيث إن:

q - ضغط الرياح بـ (كغ/م^2)

C - معامل يسمى معامل الشكل (Shape Coefficient) يتوقف على وحدة وزن الهواء و علاقة التسارع الأرضي.

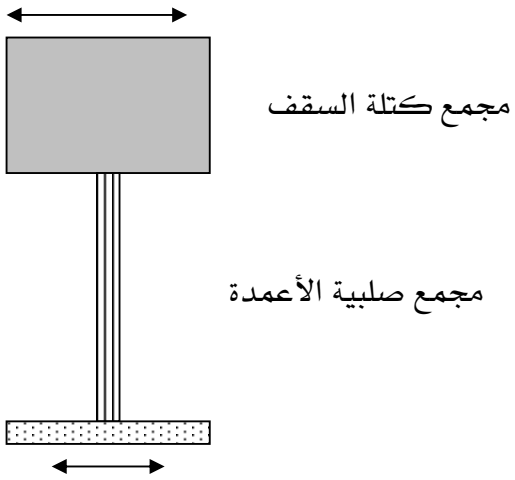
V - سرعة الريح بـ (م/ث)

و الضغط الأفقي للريح على الأسطح الرأسية تتوقف قيمتها على ارتفاع المنشأ عن سطح الأرض و يمكن اعتبار قيمتها كالتالي:

- 75 كغ/م^2 إذا كان ارتفاع المنشأ أقل من 20 مترا
- 100 كغ/م^2 إذا كان ارتفاع المنشأ بين 20 - 100 مترا
- 120 كغ/م^2 إذا كان ارتفاع المنشأ أكبر من 100 مترا

ب – أحمال الزلازل Earthquake Loading

الزلازل تحدث حمولة على المنشأ من خلال تفاعل حركة الأرض مع تجاوب خواص المنشأ فهذه الحمولة تحدث تشوهاً للمنشأ تحت تأثير حركة الأرض و المقاومة الجانبية. و مقدار الحمولة يتوقف على كمية و نوع تسارع الأرض و كذلك على كتلة (Mass) و صلبية (Stiffness) المنشأ. لنأخذ على سبيل المثال نموذجاً يمثل منشأ ذا طابق واحد (الشكل ١,٢)، مقسماً إلى مجمعين: مجمع كتلة السقف و مجمع صلبيه الأعمدة. خلال مرور الزلازل فإن الأرض تهتز في الاتجاهين الأفقي و العمودي. فالحركة العمودية طفيفة بمقارنتها بالحركة الأفقية (الجانبية) و عموما تهمل هذه الحركة أثناء التصميم. و نتيجة التسارع الأفقي فإن قوى القص في الأعمدة تحاول جعل المنشأ في حركة متتابعة مع الأرض.



الشكل ١،٢: نموذج لمنشأ ذي طابق واحد

ففي حالة كون العمود صلباً و الكتلة ذات قيمة غير معتبرة، فإن فترة الاهتزاز للمنشأ تكون قصيرة و الكتلة يكون تسارعها بنفس حركة الأرض و ينتج عن هذا إزاحة نسبيا طفيفة و تعتبر هذه الحالة جد مفيدة للمنشأ لكون الإجهادات داخل أعضاء المنشأ صغيرة بينما في حالة وجود عمود قابل للانثناء و الكتلة معتبرة فإن حركة زلزال مستحث يسبب للكتلة تسارعاً صغيراً و إزاحات نسبيا معتبرة. بينما في حالة إنشاءات صغيرة يمكن تطبيق التحليل الاستاتيكي في تصميم الزلازل عوض التحليل الديناميكي. و هذه الطريقة تقرب الأحمال الديناميكية بواسطة مجموعة من القوى الاستاتيكية مطبقة خارجيا و تكون جانبية (أفقية) على المنشأ و تستخدم لتحديد القص القاعدي داخل الأعمدة والذي يرمز له بالرمز V و الممثل بالمعادلة التالية:

$$V = Z.I.K.C.S.W$$

حيث إن:

Z- معامل مرتبط بمنطقة الزلزال

I - معامل يتوقف على نوع المنشأ

K - معامل مرتبط بنوع هيكل المنشأ

C - خاصية الاهتزاز

S - نوع التربة الساندة

W- كتلة التربة

٣. عامل الأمان ، عامل التحميل، و عامل المقاومة

يمكن تقدير تصميم الأمان للإنشاءات المعدنية بطريقتين:

أ- المقاومة المتوقعة للعضو الإنشائي المعدني، أو الأعضاء الآخرى، عادة ما يعبر عنها بإجهادات الشد أو إجهادات الضغط، أو إجهادات آخرى حيث تقسم هذه الإجهادات على معامل الأمان للحصول على الإجهاد المسموح به (Allowable Stress) أو الإجهاد الفعال (Working Stress)، وهذا الجزء يختار بحيث إن الإجهاد المستحث عن طريق الحمولة العملية المتوقعة أو احتمال الأحمال العملية تكون مساوية أو أقل من القيمة المسموح بها. هذه الطريقة تسمى طريقة تصميم الإجهاد المسموح به أو طريقة تصميم الإجهاد الفعال، و بما إن تحليل القوى عموما يخضع إلى طرق تعتمد على قانون هوك (Hook's Law) لذلك تسمى أحيانا بالتصميم المرن. و الإجهادات المسموح بها بطبيعة الحال مرتبطة باحتمالات الأحمال فعلى سبيل المثال، الإجهادات المسموح بها فيما يخص أحمال الرياح أو أحمال الزلازل مع قوى الأحمال الميتة و الحية فإنها تكون غالبا أكبر من تلك المعتمدة على الأحمال الميتة و الحية فقط.

ب - العضو الإنشائي أو الأعضاء الآخرى تختار بحيث إن مقاومتها مضروبة بعامل المقاومة بحيث إنها تساوي أو أكبر من الحمولة العملية أو احتمالات الحمولة العملية مضروبة بعامل الحمولة. فعلى سبيل المثال الحمل الميت و الذي غالبا ما يحسب بدقة عالية يمكن ضربه بعدد أصغر من الذي سيطبق على الحمل الحي فهذه الطريقة تسمى بعدة أسماء منها:

تصميم عامل الحمل (Load factor design) أو تصميم عامل الحمل و المقاومة(Load and resistance factor design)، أو تصميم الحالات النهاية (Limit States Design).

الأحمال المختلفة المذكورة سابقا لا تحدث كلها غالبا في إن واحد ولكن هناك بعض الاحتمالات لحدوثها. و حسب المواصفات الأمريكية American Institute of Steel Construction, AISC

فإن احتمالات الأحمال الممكنة تكون على النحو التالي:

- 1.4 **م**
- 1.2 **م** + 1.6 ح + 0.5 (**س** أو **ث** أو **ط**)
- 1.2 **م** + 1.6 (**س** أو **ث** أو **ط**) + (0.5 **ح** أو 0.8 **ر**)
- 1.2**م** + 1.3 **ر** + 0.5 **ح** + 0.5 (**س** أو **ث** أو **ط**)
- 1.2 **م** + 1.5 **ز** + (0.5 **ح** أو 0.2 **ث**)
- 0.9 **م** - (1.3 **ر** أو 1.5 **ز**)

حيث إن:

م - الحمل الميت الذي يمثل أوزان الأعضاء الإنشائية.

ح - الحمل الحي الذي يمثل التجهيزات المتنقلة.

س - الحمل الحي للأسقف.

ث - حمل الثلوج.

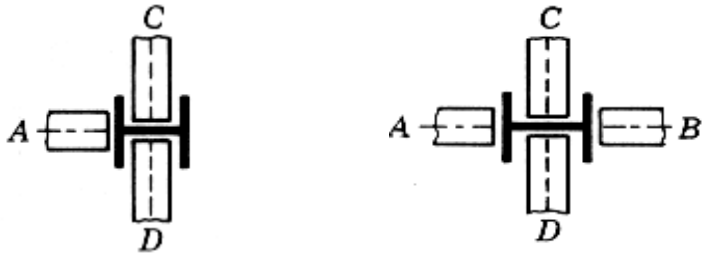
ز - حمل الزلازل.

ط - حمل ماء المطر أو خاص بالجليد.

4. تصميم مقاطع العناصر المحملة مركزيا و لا مركزيا

تصميم المقاطع المفردة أو المركبة حسب الحمل المنقول بها سواء كان الحمل مركزيا أو لا مركزيا. بالنسبة إلى مقاطع العناصر المحملة مركزيا ففي هذه الحالة تكون معرضة للضغط أو الشد وسوف نتعرض لهذا بالتفصيل فيما بعد.

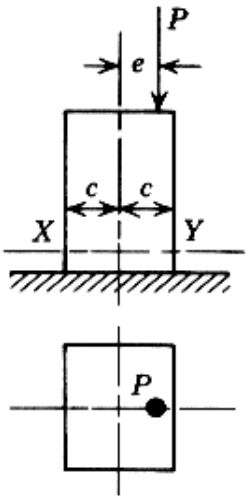
أما بالنسبة لمقاطع العناصر المحملة لا مركزيا فإن قوة الحمل العمودية غير محورية و يتولد عن هذا عزم الانحناء مقداره هو القوة ضرب المسافة بين مركز ثقل العضو و نقطة اتصال الحمل. و في ما يلي مثال يبين الفرق بين التحميل المركزي والتحميل اللامركزي (الشكل ٢،٢).



(ب) **(أ)**

الشكل ٢،٢: يبين (أ) عمود محمل مركزيا و (ب) عمود محمل لا مركزيا

ففي حالة تعرض العمود لقوى غير محورية (غير مركزية) فإنه يتولد عنه إجهادان الأول يمثل إجهاد الحمل المحوري (P/A) و الإجهاد الثاني يمثل الإجهاد الناتج عن عزم الانحناء (M=P.e)، حيث إن e تمثل المسافة بين محور مركز ثقل المقطع و نقطة اتصال الحمل و الإجهاد يساوي (M/Z) حيث إن Z تمثل معامل المقطع (الشكل ٣،٢).



الشكل ٣،٢: مقطع معرض لقوة ضغط و عزم انحناء

و يمكن كتابة الإجهاد الكلي على النحو التالي:

$$f = \frac{P}{A} + \frac{M}{I}c$$

و بالنسبة إلى تصميم هذه المقاطع يجب استخدام المعادلة التالية.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \le 1$$

و يمكن كتابة هذه المعادلة بصيغة آخرى:

$$\frac{P/A}{F_a} + \frac{Mc/I}{F_b} \le 1$$

حيث إن:

F_a - إجهاد الحمل المحوري المسموح به.

F_b - إجهاد عزوم الانحناء المسموح به.

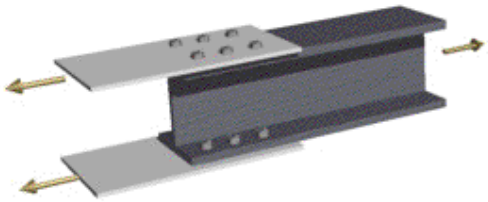
f_a - إجهاد الحمل المحوري .

f_b - إجهاد عزم الانحناء.

5. أعضاء الشد Tension Members

تعتبر أعضاء الشد المعرضة لقوى محورية (مركزية) منتظمة أبسط الأعضاء الإنشائية (الشكل ٢4. و الشكل ٢,٥).

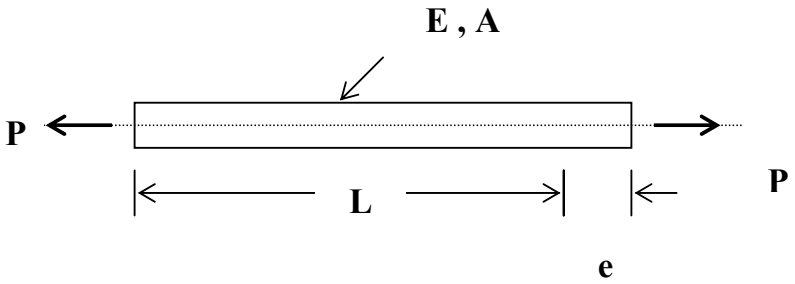
الشكل ٢,٤ : قضيب فولاذي معرض لقوة الشد



الشكل ٢,٥ : وصلات مسمارية معرضة لقوة الشد

- **الأعضاء المنتظمة**

ليكن عضو الشد الفولاذي المعرض إلى قوة مركزية مستقيمة طوله L و مساحة مقطعة ثابتة A كما هو مبين على الشكل ٢,٦.



الشكل ٢,٦ : مقطع فولاذي معرض لقوة شد محورية

أثناء تعرض العضو الفولاذي إلى قوة شد محورية فإنه تنتج استطالة محورية **e** تتغير مع الحمل P في نفس الاتجاه لكل من الانفعال $(\varepsilon = \frac{e}{L})$ و الإجهاد **f** $(f = \frac{P}{A})$ و العلاقة بين الحمل والاستطالة يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$e = \frac{PL}{EA}$$

حيث إن:

E- هو معامل المرونة لقياس المرونة Young's Modulus of Elasticity

هذه الزيادة الخطية تستمر حتى والوصول إلى إجهاد الخضوع Yield Stress للفولاذ عند قوة حمل الخضوع Yield Load.

$$\mathbf{P_y = A.F_y}$$

حيث إن:

A- مساحة المقطع

F_y - إجهاد الخضوع

P_y - حمل الخضوع

أثناء الزيادة في الاستطالة مع زيادة قليلة في الحمل أو تكاد تكون معدومة حتى بداية الأصلاد الانفعالي (Strain Hardening)، بعد ذلك الحمل يتزايد ببطء حتى يبلغ القيمة العظمى :

$$\mathbf{P_u = A.\ F_u}$$

حيث إن:

P_u - الحمل الأقصى Ultimate Load

F_u- إجهاد الشد الأقصى للفولاذ Ultimate Tensile Stress of the Steel

و أخيرا مساحة المقطع المحلية للعضو تخصر (Necks down) و الحمل P يتناقص حتى حدوث الانكسار (Fracture).

إذا إجهاد الشد للعناصر تحسب بقسمة قوى الشد على المساحة الصافية للقطاع (A_{net}) :

$$\sigma_t = \frac{N}{A_{net}} \leq \sigma_e$$

و منه يمكن حساب المساحة:

$$A_{net} = \frac{N}{\sigma_t} \leq \sigma_e$$

حيث أن:

σ_t : إجهاد الشد يحسب بـ كن/م2 (Tension Stress)

N : حمل (قوة) الشد (Tension Load)

A_{net} : المساحة الصافية (Net Area)

σ_e : حد إجهاد المرونة (Elastic Stress Limit)

أما في حالة وجود ثقوب لمسامير البرشام Rivet Holes فإن المساحة الصافية تكون المساحة الإجمالية مطروح منها مساحة الثقوب.

$$A_{\mathbf{net}} = A_{Gross} - \sum d.e$$

حيث إن :

A_{Gross} : المساحة الإجمالية (Gross Area)

d : قطر الثقب (Diameter of the Rivet)

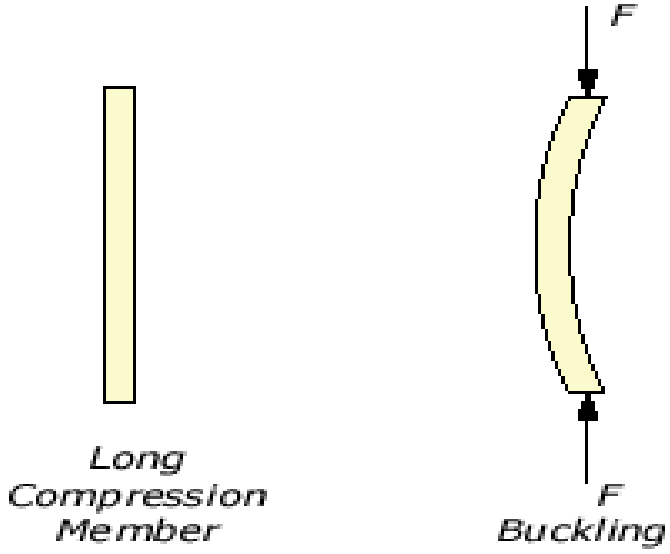
e : سمك المقطع (Thickness of the member)

٦. **أعضاء الضغط** Compression Members

تعتبر أعضاء الضغط المعرضة لقوى محورية (مركزية) و أعضاء الشد من أبسط الأعضاء الإنشائية (الشكل ٧,٢).

الشكل ٧,٢: 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 ٨,٢).

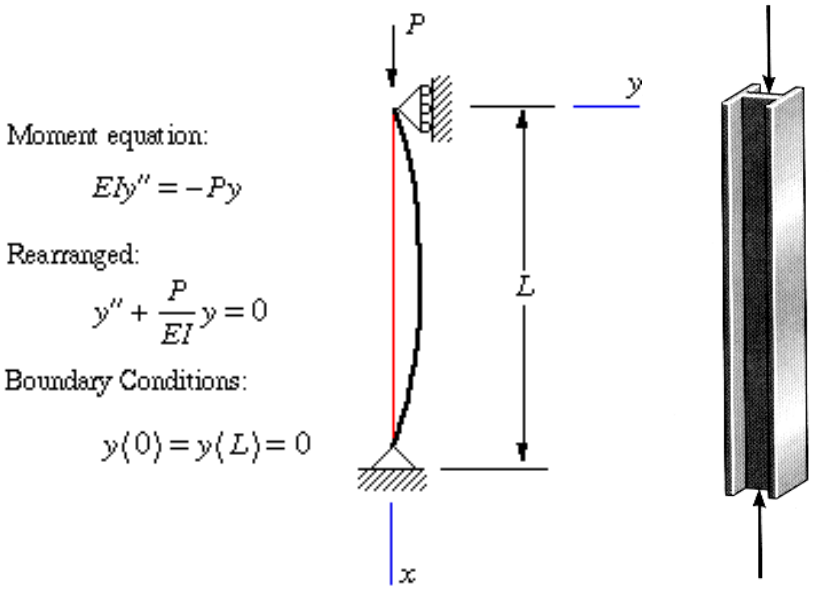


الشكل ٨,٢: انبعاج عضو الضغط

- **الانبعاج المرن Elastic Buckling**

إن الأضلاع التي تؤثر عليها قوى ضاغطة تكون عرضة لحدوث انبعاج بها تبعا لنسبة النحافة (Slenderness Ratio) و فيما يلي المعادلات الأساسية التي تستنتج من ظاهرة الانبعاج المرن(الشكل٩,٢).

P



P

الشكل ٩،٢ : المعادلات الأساسية للانبعاج

عدة معادلات لحساب الحمل المسموح به لأعضاء الضغط قد اقترحت منها على شكل صيغ تجريبية و آخرى تعتمد على حلول رياضية و أهمها :

- **معادلة أولر Euler Formula**

هذه المعادلة مشتقة من الحلول الرياضية، و قاعدتها تعتمد على دراسة اتزان العضو و ليس دراسة مقاومته. فالحمل الحرج Crippling Load هو:

$$P = \frac{\pi^2 E I}{L^2}$$

حيث إن:

I : هو عزم القصور

L : الطول الفعلي للعضو

و بما إن : $I = A.r^2$

فيمكن كتابة الحمل الحرج على النحو التالي:

$$P = \frac{\pi^2 E A r^2}{L^2}$$

$$\frac{P}{A} = f_c = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

حيث إن:

f_c : الإجهاد الحرج Crippling Stress

$\frac{L}{r}$: نسبة النحافة Slenderness Ratio

من المنطقي اعتبار إن الحد الأقصى للانبعاج المرن عند الانهيار يحدث عندما يكون معدل إجهاد العمود مساويا لنصف إجهاد الخضوع و منه،

$$\frac{F_y}{2} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

و بالتالي:

$$\frac{L}{r} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

و نرمز لقيمة L/r بـ C_c و منه،

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

و قيم C_c تختلف حسب نوعية الفولاذ، على سبيل المثال فإن قيمة C_c للفولاذ A36 تقدر بـ 126.1 بينما بالنسبة للفولاذ ذو نقطة خضوع (50 K.S.I) فهي مقدرة بـ 107.6.

كخلاصة، إذا كانت نسبة النحافة $KL/r \geq C_c$ فإن الانبعاج المرن هو نوع الانهيار المفترض، أما إذا كانت النسبة $KL/r < C_c$ فإن الانبعاج غير المرن هو المفترض في هذه الحالة.

المواصفات الأمريكية AISC تعطي معادلة مختصرة خاصة بـ F_a لكل حالة:

- الانبعاج غير المرن Inelastic Buckling

المعدل الأقصى لوحدة الإجهاد لا يتعدى،

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{F_s}$$

حيث إن: F_s يمثل معامل الأمان Factor of Safety

و منه يمكن كتابة معامل الأمان على الشكل:

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3\,(K.L/r)}{8\,C_c} - \frac{(K.L/r)^3}{8\,C_c^3}$$

و من المعادلة السابقة نلاحظ أنه عندما $(KL/r) = 0$ فإن $F_s = 1.67$ ، و عندما $(KL/r) = C_c$ فإن $F_s = 23/12 = 1.92$

- **الانبعاج المرن Elastic Buckling**

أقصى معدل وحدة الإجهاد يجب إن لا تتعدى الناتج من معادلة أولر Euler Equation في حالة الانبعاج المرن و عند استخدام معامل الأمان نجد أن:

$$F_a = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2 . F_s}$$

و كخلاصة يمكن القول إنه:

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3\,(K.L/r)}{8\,C_c} - \frac{(K.L/r)^3}{8\,C_c^3}$$

- لتحديد حمل محوري مناسب يجب أولا تعيين نسبة النحافة Slenderness ratio التي تساوي L/r و مقارنتها بقيمة C_c لصنف الفولاذ محدد المواصفات، و بعد ذلك يحدد العمود ضمن إحدى الفئتين:
- انبعاج غير مرن في حالة $(KL/r) < C_c$ ، أو

- انبعاج مرن في حالة $(KL/r) \geq C_c$ ، (K تمثل معامل الطول الفعلي Effective length factor

و بعد ذلك نختار قطاع العمود الذي يحقق شرط المساحة المطلوبة ثم نتحقق من نسبة النحافة مرة آخرى و منه إلى إجهاد الانبعاج الفعلي و مقارنته بإجهاد الانبعاج المسموح به F_P^b

تطبيق:

احسب الحمل المحوري الكلي المناسب للعمود W 12 x 72 الذي طوله .14 ft . حيث إن نهايتي العمود يفترض إن تكون مثبتة لمنع الحركة على الركائز. صنف العمود A36.

الحل:

حسب المواصفات الأمريكية AISC فإن كل من مساحة المقطع، نصف القصور الذاتي (radii of gyration) ، معاير المرونة و نقطة الخضوع هم على التوالي:

$F_y = 36000$ P.S.I ، $E = 29000$ K.S.I ، $r_y = 5.31$ in. ، $r_x = 5.31$ in. ، $A = 21.1$ in.

لنحسب أولا قيمة C_c من المعادة التالية:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2\ 2900}{36}} = 126.1$$

أقصى نسبة النحافة ، $(KL/r) = 55.3 \quad = \frac{1(14)12}{3.04}$

لنحسب معامل الأمان F_s من المعادلة التالية:

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3(K.L/r)}{8C_c} - \frac{(K.L/r)^3}{8C_c^3} = \frac{5}{3} + \frac{3(55.3)}{8(126.1)} - \frac{(55.3)^3}{8(126.1)^3} = 1.82$$

و منه نحسب معدل الإجهاد المسموح به:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right]F_y}{F_s} = \frac{\left[1 - \frac{(55.3)^2}{2.(126.1)^2}\right].36000}{1.82} = 17900 \text{ P.S.I}$$

و منه نحسب الحمل المحوري المسموح به من المعادلة التالية:

$$P = F_a \,.\, A = 17900 \,.\, (21.1) = 377000 \text{ Kips}$$

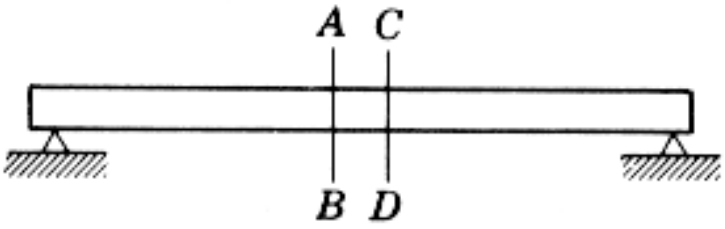
و فيما يلي بعض أطوال الانبعاج لأعضاء الضغط طبقا للمواصفات الأمريكية (AISC).

الجدول ١,٢: 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 conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End-condition code		Rotation fixed		Translation fixed		
		Rotation free		Translation fixed		
		Rotation fixed		Translation free		
		Rotation free		Translation free		

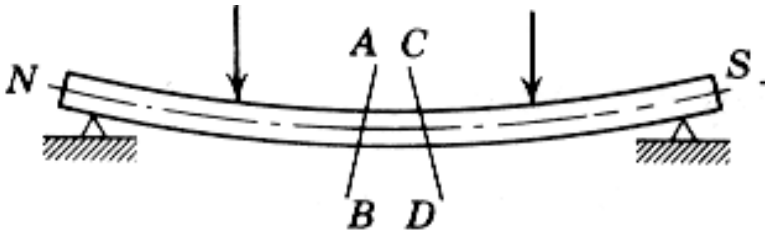
٧. عزوم الانحناء Bending Moments

إن اشتقاق عبارة مقاومة الانحناء تعتمد أساسا على فرضيتين أساسين هما: الأولى هو إن المقطع المستوي للكمرة قبل الانحناء يظل مقطعاً مستوياً حتى بعد الانحناء. فالمقطعان المستويان و المتوازيان AB و CD كما هو مبين على (الشكل ١٠،٢أ). يظلان مقطعين مستويان بعد انحناء الكمرة كما هو مبين على (الشكل ١٠،٢ب). (الشكل ١٠،٢جـ) يبين مقطع للكمرة بين المستويين و الواضح من خلال هذا الشكل هو إن مقطع الكمرة المحصور بين المقطعين كان مستطيلا قبل الانحناء و أصبح شبه منحرف

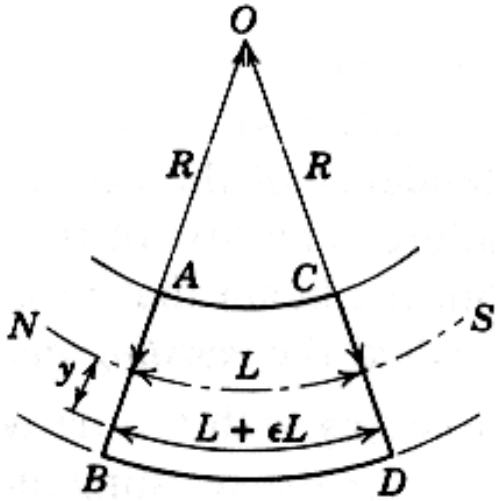


الشكل ١٠،٢ (أ): مقطعين مستويين ومتوازيين AB و CD من الكمرة.

بعد الانحناء، و عليه فإن الألياف في الجزء العلوي من الكمرة أصبح أقصر من طوله الأصلي أما بالنسبة إلى الجزء السفلي فالعكس أي إن الألياف أصبحت أطول من الطول الأصلي. و من خلال ما سبق، يفترض أنه توجد مساحة بين ألياف الجزء العلوي و الجزء السفلي للكمرة بحيث أنه لا يوجد تغير في الطول. هذه المساحة تسمى المساحة المحايدة Neutral Surface و مصممة على الشكل بالخط NS ، فالخط الذي يقطع المقطع العمودي للكمرة يسمى المحور المحايد Neutral Axis.



الشكل ١٠،٢ (ب): حالة المقطعين المستويين بعد انحناء الكمرة



الشكل ١٠،٢(جـ): مقطع توضيحي للكمرة بين المستويين AB و CD

و الافتراض الثاني هو أنه داخل حد المرونة للمادة فإن الإجهاد يتغير مباشرة بتغير التشوه و بمعنى آخر بتغير المسافة عن المحور المحايد. و هذا يعني إن الإجهاد الأكبر للضغط في الكمرة يحدث على أقصى الألياف العلوية و يتناقص بانتظام حتى يصل الصفر على المحور المحايد. و نفس الشيء بالنسبة إلى الإجهاد الأكبر للشد يحدث على أقصى الألياف السفلية و يتناقص تدريجيا بانتظام حتى يصل الصفر على المحور المحايد.

لنفرض أن:

R- نصف قطر الانحناء للمساحة المحايدة (Neutral Surface)

L- الطول الأصلي للألياف قبل الانحناء.

Y- المسافة من المساحة إلى أي ليفة من الكمرة داخل المساحة المستوية.

ε - وحدة التشوه (الانفعال) على المسافة الليفية Y من المساحة المحايدة.

بواسطة الطريقة الهندسية نجد أن

$$\frac{R}{L} = \frac{R + Y}{L + \varepsilon L}$$

$$R\,(L + \varepsilon L) = L(R + Y)$$

$$R\,L + R\,\varepsilon\,L = R\,L + L\,Y$$

$$R\,\varepsilon\,L = L\,Y$$

و باختصار نجد إن:

$$\varepsilon = \frac{Y}{R}$$

و من جهة آخرى لدينا:

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

حيث إن:

f - الإجهاد

E- معاير المرونة

$$\frac{f}{E}=\frac{Y}{R} \qquad \text{و منه،} \quad f=\frac{E\,Y}{R}$$

بما إن معاير المرونة ثابت بالنسبة إلى المادة المعطاة، و نصف قطر الانحناء أيضا ثابت. من المعلوم إن الإجهاد الليفي يتناسب مع بعد المسافة من المحور المحايد. و بما إن أغلب المواد الإنشائية لديها نفس معاير المرونة للضغط مشابه تماما للشد فإن الإجهاد الليفي الأقصى للشد و الضغط للكمرات متساوٍ أيضا بحيث تكون من نفس المادة و لها نفس تناظر المقطع العرضي.

- **معادلة الانحناء للكمرة**

عبارة المعادلة العامة لعزم الانحناء هو :

$$M=\frac{f}{Y}I$$

حيث إن:

I- عزم القصور ($I=\sum Y^2\,dA$)

A- مساحة المقطع

M- عزم الانحناء

f - إجهاد الانحناء

فالإجهاد الأكبر يحدث في أقصى الألياف أي إن أقصى المسافة من المحور المحايد و لنرمز لها بالرمز C حيث إن Y=C ، ومنه نحصل على المعادلة : $M=\frac{f}{C}I$

فالإجهاد الانحناء المسموح به للمادة هو f_b و مقاومة الانحناء الكبرى المسموح بها هي M_R

و منه تصبح المعادلة على النحو التالي: $M_R=\frac{f_b}{C}I$

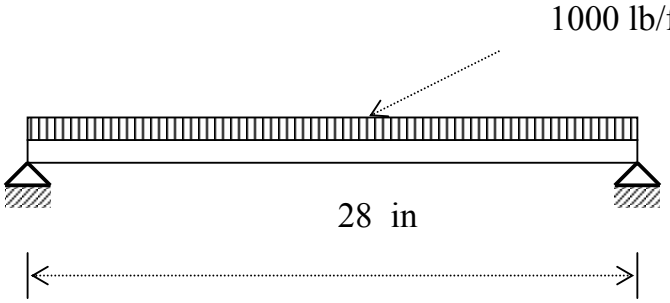
الكمية $\frac{I}{C}$ تسمى معامل المقطع Section Modulus

و في الأخير يمكن اختصار معادلات الكمرات على النحو التالي :

$$M=\frac{f_b\,I}{C} \quad ; \quad f_b=\frac{M\,C}{I} \quad ; \quad \frac{I}{C}=\frac{M}{f_b}$$

تطبيق ١ :

أوجد مقاومة عزوم الانحناء العظمى للكمرة W 16 x 36 كما هو مبين على الشكل ١١,٢ و إذا كان إجهاد الانحناء المسموح به $f_b = 0.6\, f_Y$ ونوع الفولاذ هو A36 . هل مساحة المقطع يمكن اعتبارها بأنها في أمان من حيث الانحناء مع العلم إن الحمولة المنتظمة هي 1000 lb/ft و كم يكون الإجهاد الليفي الأكبر بالنسبة إلى هذه الحمولة.



الشكل ١١,٢ : كمرة محملة عموديا بانتظام

بالنسبة إلى W 16 x 36 لدينا $\frac{I}{C} = 56.5\ in^3$

$$f_b = 0.6\, F_Y = 0.6\ (36000) = 22000\ P.S.I$$

$$M = f_b . S = 22000 \times 56.5 = 1240000\ in\text{-}lb$$

$$M = 103\ 000\ ft\text{-}lb$$

الوزن الكلي للكمرة هو : $1000 + 36 = 1036\ lb/ft$

الانحناء الأكبر يحدث في منتصف الكمرة :

$$M = \frac{W L^2}{8} = \frac{1036 . (28)^2}{8} = 102000\ ft\text{-}lb$$

المقطع في أمان ما دامت مقاومة العزوم المسموح بها أكبر.

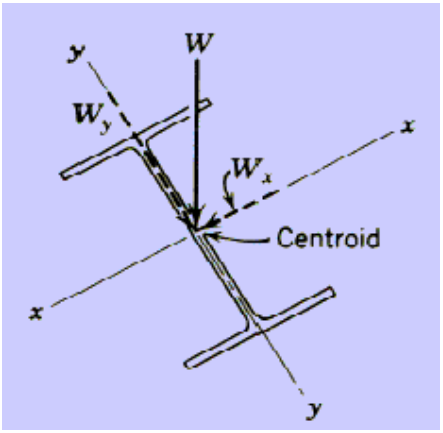
فالإجهاد الليفي يكون في أقصى الكمرة أي في النقطة أين يحدث أكبر عزم انحناء.

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{102000 \times 12}{56.5} = 21700 \text{ P.S.I}$$

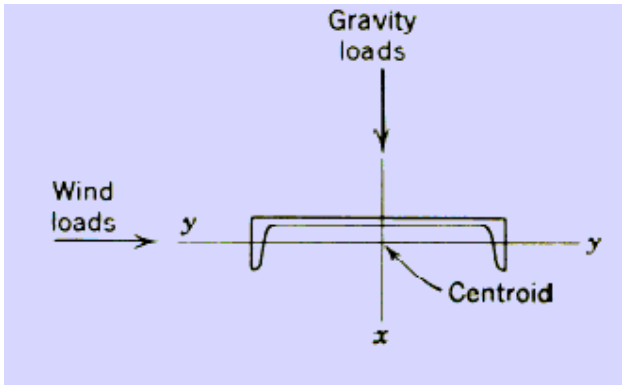
و هذا يثبت مرة آخرى أمان الكمرة مادام الإجهاد الليفي الحالي 21700 P.S.I أصغر من المسموح به 22000 P.S.I .

8. العناصر المعرضة للانحناء حول محورين Bending members about two axes

في بعض الأحيان تتعرض الكمرة إلى أحمال مائلة على محوريها أو مطبقة عموديا على المحورين. ففي الحالة الأولى يمكن إن تحدث عندما تكون الكمرة مائلة و الأحمال عمودية كما هو مبين على الشكل ١٢,٢. و في الحالة الثانية يوجد اثنان أو أكثر من الأحمال مطبقة من عدة اتجاهات في نفس الوقت الشكل ١٣,٢.



الشكل ١٢,٢: حالة كمرة مائلة و أحمال عمودية



الشكل ١٣,٢: حالة كمرة معرضة لأحمال من عدة اتجاهات

لأي نقطة على طول الكمرة يكون إجهاد الانحناء هو عبارة عن المجموع الجبري لكل الإجهادات الناتجة عن الانحناء حول كل محور و تحسب مستقلة عن بعضها و يعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$f = \frac{M_X C_X}{I_X} \pm \frac{M_Y C_Y}{I_Y}$$

حيث إن:

M_X - العزم الناتج عن الانحناء حول المحور X-X

I_X - عزم القصور حول المحور X-X

C_X - المسافة من المحور X-X إلى الألياف f مقاسه عموديا على المحور X-X

M_Y - العزم الناتج عن الانحناء حول المحور Y-Y

I_Y - عزم القصور حول المحور Y-Y

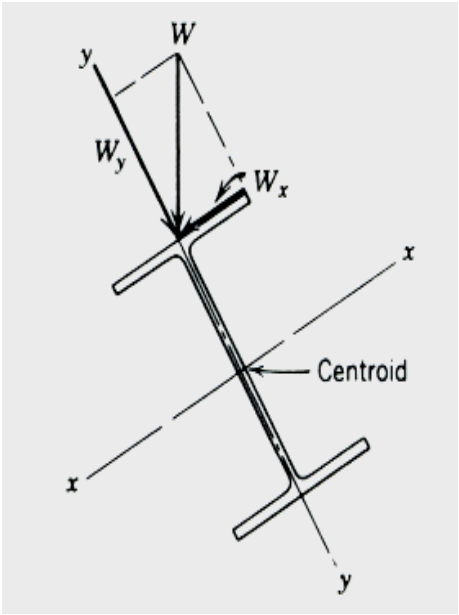
C_Y - المسافة من المحور Y-Y إلى الألياف f مقاسه عموديا على المحور Y-Y

أما بالنسبة إلى الكمرة المحملة عن طريق مركز ثقلها. فإن هذه الحالة نادرا ما نصادفها عمليا في المنشآت. عموما الأحمال دائما تكون مطبقة على مركز الشفة العليا كما هو مبين على الشكل ١٤,٢ . وفي هذه الحالات فإن محور الحمولة لا يمر عن طريق مركز الثقل للكمرة، و نتيجة لذلك فإن الالتواء (Twisting) أو الفتل (Torsion) يحدث بالإضافة إلى الانحناء.

فالقوة المركبة (Load Component) W_Y تمر من خلال مركز الثقل و الإجهادات الناتجة تحسب بنفس الطريقة. و القوة المركبة W_X لا تمر عن طريق مركز الثقل و عليه فإن أغلب مقاومة الانحناء تنتج عن طريق هذه المركبة و لهذا الغرض زودت الشفة العليا. فعزم القصور للشفة العليا وحدها يمكن استعمالها عند حساب إجهادات الثني (Flexural Stress) الناتجة عن W_X . بما إن الشفتين متساويتين والعصب (الوترة) يساهم بقدر ضئيل جدا في عزم القصور حول المحور Y-Y ، لذلك يمكن استعمال نصف عزم القصور I_Y . و عليه فإن معادلة الإجهاد تكون على النحو التالي:

$$f = \frac{M_X C_X}{I_X} \pm \frac{M_Y C_Y}{I_Y/2}$$

إذا كان مقطع الكمرة متناظراً حول المحورين، فإن بالنسبة إلى معامل المقطع يمكن استعمال $\frac{I}{C}$ بدل ($\frac{C_X}{I_X}$ و $\frac{C_Y}{I_Y}$).



الشكل ١٤,٢: كمرة محملة على مركز الشفة العليا

تطبيق :

لتكن الكمرة W 8 x 18 امتدادها 14 قدم بين عارضتين (Girders) لسقف مائل. الحمل بما فيه وزن الكمرة هو 300 lb/ft على طول الامتداد. العوارض المائلة بـ 15 درجة عن الخط الأفقي. تأكد ما إذا كانت الكمرة في وضع آمن من حيث الانحناء مع العلم إن $f_b = 23800$ P.S.I (استعن بالشكلين ١٥,٢ و ١٦,٢).

الحل :

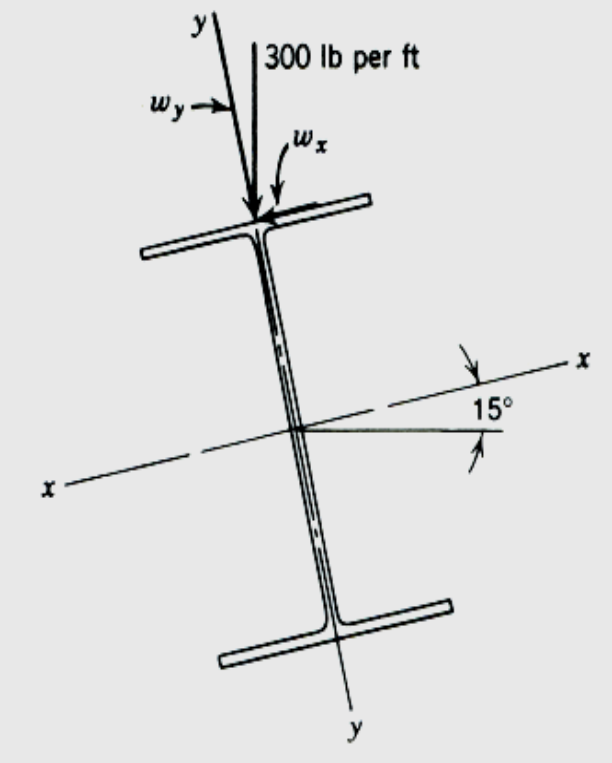
من خلال المقطع العرضي للكمرة يمكن تحديد المركبتين المطبقة عموديا على المحورين X-X و Y-Y .

W_X = 300 جتا 15 = 290 lb/ft

W_Y = 300 جا 15 = 77.6 lb/ft

بالنسبة إلى الانحناء حول المحور X-X ، فإن عزم الانحناء الأكبر يكون في الوسط:

$$M_X = \frac{W_X L^2}{8} = \frac{290 \times 14^2}{8} = 7110 \text{ ft-lb}$$



الشكل ١٥,٢: كمرة مائلة محملة عموديا

بالنسبة إلى الانحناء حول المحور Y-Y ، فإن عزم الانحناء الأكبر يكون كذلك في الوسط:

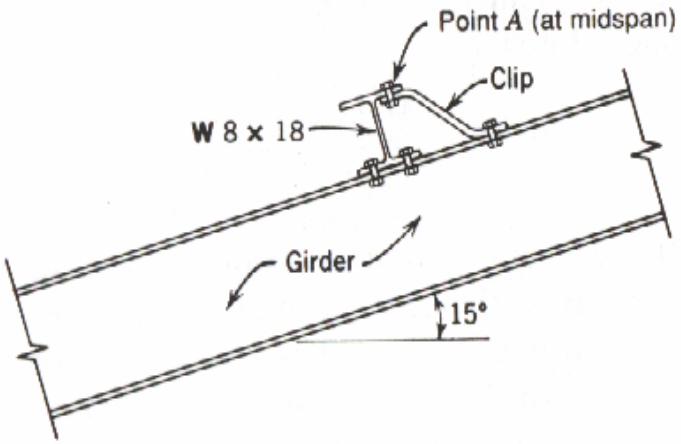
$$M_Y = \frac{W_Y L^2}{8} = \frac{77.6 \times 14^2}{8} = 1900 \text{ ft-lb}$$

بما إن العزمين الأكبرين يحدثان في الوسط فإن الإجهاد الأكبر يحدث أيضا في الوسط و عليه فإن إجهاد الانحناء هو :

$$f_b = \frac{M_X}{S_X} + \frac{M_Y}{S_{Y/2}} = \frac{7110\,(12)}{15.2} + \frac{1900\,(12)}{1.52}$$

$$f_b = 20613 \text{ P.S.I} < 23800 \text{ P.S.I}$$

فالإجهاد المسموح به يحدث على الجانب الأعلى للشفة العليا (النقطة A) كما هو مبين على الشكل.



الشكل ١٦,٢: كمرة بين عارضتين (Girders) لسقف مائل.

.٩العناصر المعرضة لحمل محوري و عزم انحناء

بالنسبة إلى الأعضاء المعرضة لقوة محورية و عزم انحناء حول المحور الرئيسي كما هو مبين على الشكل و الذي يمثل عموداً معرضاً إلى حمل محوري و عزم انحناء، و نحصل على الإجهادات النهائية من المعادلة التالية:

$$f = \pm \frac{P}{A} \pm \frac{M\,c}{I}$$

حيث إن:

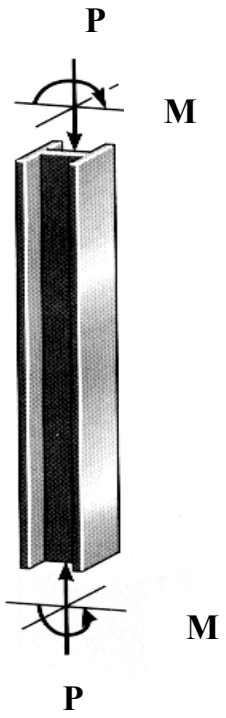
P – الحمل المحوري

A - مساحة المقطع

M- عزم الانحناء

I - عزم القصور

c - المسافة من المحور إلى الألياف f مقاسه عموديا على المحور



الشكل 17.2: عمود معرض لحمل محوري و عزم انحناء

١٠العناصر المعرضة لحمل محوري و عزوم انحناء

الأعضاء المعرضة لحمل محوري و عزوم انحناء حول المحاور الرئيسية يمكن الحصول على الإجهادات النهائية من المعادلة التالية:

$$f = \pm\frac{P}{A} \pm \frac{M_x}{Z_x} \pm \frac{M_Y}{Z_Y} \leq 1$$

بحيث لا يتجاوز الإجهاد الأقصى قيمة الإجهاد المسموح به الكلي $f_{Tot.}$ و يمكن كتابة هذه المعادلة على النحو التالي:

$$f = f_a + f_{bx} + f_{by} < f_{Tot.}$$

حيث إن:

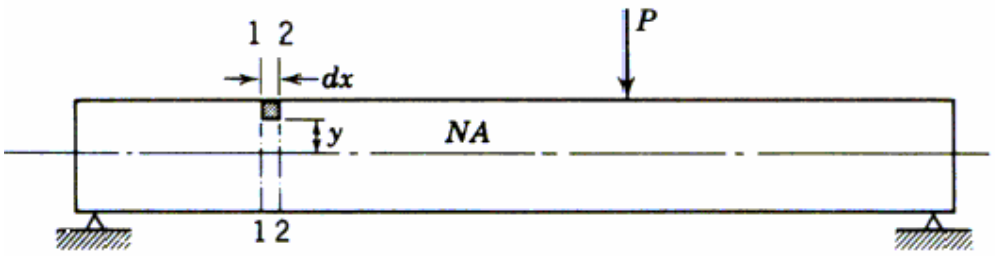
f_a - الإجهاد المحوري ($= \frac{P}{A}$)

f_{bx} - إجهاد عزوم الانحناء حول المحور **X**

f_{by} - إجهاد عزوم الانحناء حول المحور **Y**

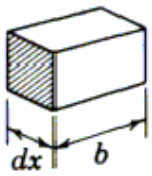
١١. العناصر المعرضة لإجهاد القص Shear Stress Members

من أجل تحديد كيفية تغير إجهاد القص داخل المقطع العرضي للكمرة يجب إظهار العلاقة التي تمثل إجهاد القص في أي نقطة. و لإيجاد هذه العلاقة نقوم بعزل عنصر صغير من الكمرة كعنصر حر و نطبق عليه قوانين الستاتيكا. مع العلم إن هذا العنصر يؤخذ من الكمرة كما هو مبين على الشكل . فالشكل ١٨,٢ (أ) يظهر الكمرة مستقيمة بدل من شكلها بعد الانحناء. العنصر المعتبر يسقط بين المستويين العموديين 1-1 و 2-2 . هذان المسويان يفترض إن يكونا قريبين من بعضهما البعض حيث تفصلهما إلا المسافة التفاضلية dx.



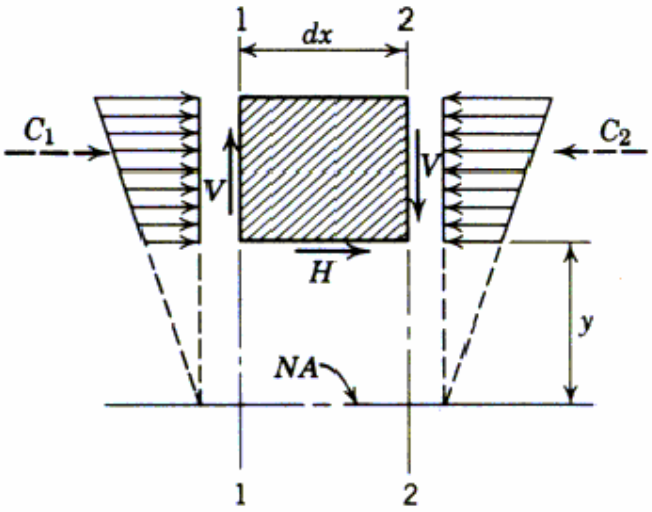
الشكل ١٨,٢ (أ): الكمرة قبل الانحناء

لندرس عنصراً من الكمرة له نفس عرض الكمرة الموجود بين المستويين العموديين 1-1 و 2-2 كما هو مبين على الشكل ١٨,٢ (ب) . هذان المسويان يفترض إن يكونا قريبين من بعضهما البعض حيث لا يفصلهما إلا المسافة التفاضلية dx.



الشكل ١٨,٢ (ب): مقطع عنصر الكمرة

ليكن عزما الانحناء للمستوين 1-1 و 2-2 على التوالي M_1 و M_2 هذه العزوم ينتج عنها إجهادات الانحناء على جانبي العنصر كما هو مبين على الشكل ١٨,٢ (جـ).



الشكل ١٨ (جـ) إجهادات الانحناء على جانبي عنصر الكمرة

ليكن كل من C_1 و C_2 هما محصلتا إجهادات الانحناء ولنفرض إن M_2 أكبر من M_1 و بالتالي لتحقيق الاتزان يتطلب إضافة إجهاد آخر و ليكن H فعال على المقطع b.dx و عليه يمكن كتابة المعادلة على النحو التالي:

$$C_2 - C_1 = H = v\,(b)\,dx$$

كذلك يمكن كتابة هذه المعادلة بصيغة آخرى أي:

$$C_2 - C_1 = \frac{M_2 - M_1}{I} \sum y\,dA$$

و كما هو معلوم يمكن كتابة العلاقة بين حمل القص و عزم الانحناء على النحو التالي:

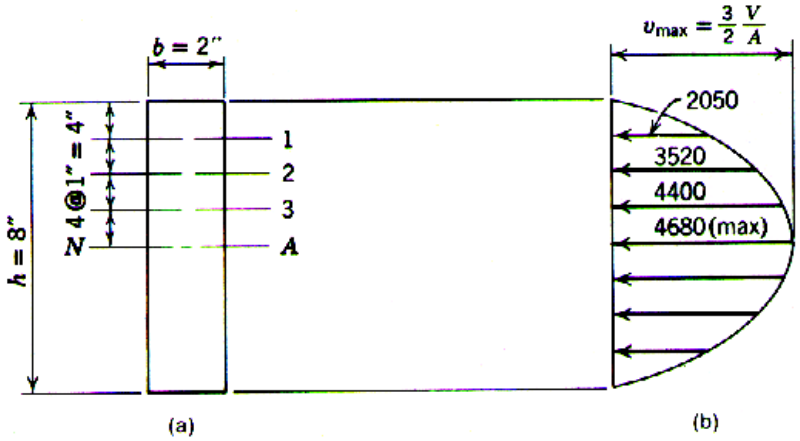
$$V = \frac{dM}{dx}$$

و القيمة $\sum y\, dA$ ما هي إلا العزم استاتيكي و منه نحصل على المعادلة العامة لإجهاد القص:

$$f_v = \frac{V.Q}{b.I}$$

تطبيق :

لنفرض كمرة مستطيلة المقطع كما هو مبين على الشكل ١٩,٢ عرضها b يبقى ثابت ٢ بوصة و لنحسب العزم الاستاتيكي Q بالنسبة إلى المستويات الأربعة ١، ٢، ٣، و NA :



الشكل ١٩,٢: توزيع إجهادات القص

$$Q_1 = 2(1)\ .3.5 = 7\ in.^3$$
$$Q_2 = 2(2)\ .3 = 12\ in.^3$$
$$Q_3 = 2(3)\ .2.5 = 15\ in.^3$$
$$Q_{NA} = 2(4)\ .2 = 16\ in.^3$$

عزم القصور بالنسبة إلى محور التعادل هو ($bh^3/12$) أي هو ٨٥,٥ $in.^4$ و لنعوض هذه القيم في المعادلة $v = \frac{V.Q}{I.b}$ و بتعويض قوة القص V بالقيمة ٥٠ kips نحصل على الإجهادات الموضحة على الشكل ١٩. فالمصمم بطبيعة الحال يهتم أكثر بالإجهاد الأكبر والذي يكون حول محور التعادل والذي يكتب على النحو التالي:

$$v = \frac{V.Q}{b.I} = \frac{V(b)(h/2)(h/4)}{b(bh^3/12)}$$

لنضع القيمة $A = bh$ و نعوضها في المعادلة السابقة، نحصل على :

$$v = \frac{V.Q}{b.I} = \frac{V(b)(h/2)(h/4)}{b(bh^3/12)}$$

إذا يمكن القول أنه بالنسبة إلى المقاطع المستطيلة فإن إجهاد القص الأكبر يساوي 3/2 ضرب إجهاد القص المعدل.

بالنسبة إلى تصميم الكمرات المعرضة إلى قوة القص V و إذا كانت A_W هي مساحة مقطع الشفة فإن إجهاد القص المسموح به هو :

$$F_V = \frac{V}{A_W}$$

حسب المواصفات الأمريكية فإن إجهاد القص المسموح به F_v لشفات الكمرات يجب إن لا يتعدى

$0,4\ F_y$ حيث إن F_y هو إجهاض الخضوع. فعلى سبيل المثال بالنسبة إلى الفولاذ A36 ($F_y = 36$ k.s.i) فإن إجهاد القص المسموح به هو $0,4\ F_y = 14.4$ k.s.i.

تطبيق

ما هو أقصى إجهاد القص للكمرة S 10 x 25.4 ، إذا كان إجهاد القص المسموح به F_v هو ١٤٥٠٠ p.s.i للفولاذ A36.

الحل:

لدينا $V = F_V . A_W$ ، F_v = ١٤٥٠٠ p.s.i

ومن خلال جدول المواصفات الأمريكيةِ AISC فإن مساحة الشفة للكمرة S 10 x 25.4 هو $10\,(0.311) = 3.11\,in.^2$ و منه نحصل على قوة القص:

$$V = 14500\ (3.11) = 45100\ lb.$$

12. تصميم العناصر المعرضة لقوى محورية و قوى قص و عزوم انحناء

الأعضاء المعرضة لقوى محورية و قوى قص و عزوم انحناء حول المحاور الرئيسية يمكن الحصول على الإجهادات النهائية من المعادلة التالية:

$$f = \pm\frac{P}{A} \pm \frac{V.Q}{b.I} \pm \frac{M_X}{Z_X}$$

بحيث لا يتجاوز الإجهاد الأقصى قيمة الإجهاد المسموح به الكلي $f_{Tot.}$ و يمكن كتابة هذه المعادلة على النحو التالي:

$$f = f_a + f_{bx} + f_V < f_{Tot.}$$

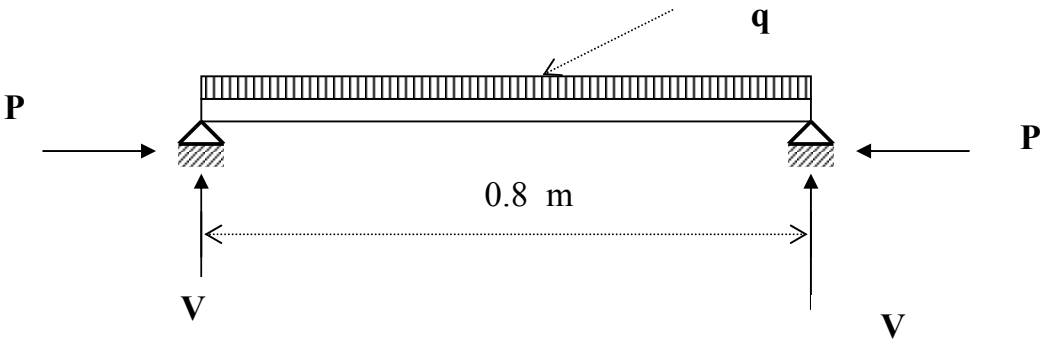
حيث إن:

f_a - الإجهاد المحوري ($= \frac{P}{A}$)

f_{bx} - إجهاد عزوم الانحناء حول المحور **X**

f_V - إجهاد القص ($= \frac{V.Q}{b.I}$)

فالشكل 20.2 يبين كمرة معرضة إلى كل من حمل محوري و حمل قص و عزوم انحناء حول المحاور الرئيسية.



الشكل ٢٠,٢: كمرة معرضة إلى كل من حمل محوري و حمل قص و عزوم انحناء.

إنشاءات معدنية

أنواع الوصلات البراغي و اللحام

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة :

تعلم التمييز بين مختلف أنواع البراغي و مختلف طرق اللحام و بعض التفاصيل الخاصة بهما ، وتعلم مبادئ تصميم و رسم بعض التفاصيل الخاصة بمختلف الوصلات.

الأهداف :

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة:

أنواع الوصلات المبرشمة و المشدودة ببراغي و المفصلية.

أنواع الوصلات الملحومة و طرق تنفيذها.

مستوى الأداء المطلوب: إن يصل الطالب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ١٠٠٪.

الوقت المتوقع للفصل:

١٠ ساعات.

الوسائل المساعدة:

مبادئ الرسومات الإنشائية.

متطلبات الجدارة:

اجتياز حقيبة الستاتيكا.

١. مقدمة

المنشأ المعدني عبارة عن مجموعة من الأجزاء المركبة موصولة فيما بينها بواسطة و سائل وصل (ربط) و في حالة استعمال وصلات غير ملائمة فإنها تؤثر سلبيا على المنشأ إذ يكون غير قادر على نقل الأحمال المطبقة على هذه الأجزاء. ووسائل الوصل الأكثر استعمالا هي :

أ - وصلات المسامير المبرشمة Riveted Connections

ب - الوصلات المشدودة ببراغي Bolted Connections

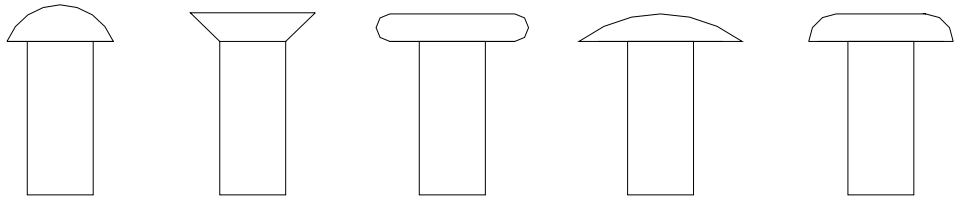
جـ - الوصلات الملحومة Welded Connections

د - الوصلات الفصلية Pin Connections

٢. مسامير البرشام Rivets

تصنع مسامير البرشام من أسياخ الحديد الطري (المطاوع)، Mild Steel و يتكون مسمار البرشام من الرأس (Head) و الجذع (Shank).

تنجز مسامير البرشام من الأسياخ عن طريق آلة (مكنة) حيث تشكل الرأس و تقطع مسامير البرشام حسب الطول المطلوب. يصنف حجم مسامير البرشام بمقدار قطر الجذع. و على العموم،فالرأس يكون على عدة أشكال منها: مستدير (مدور) و يسمى رأس زر Button Head ، أو مستو (مسطح) إذا كان حيز الخلوص محدود. و في حالة سطح أملس يستخدم برشمة غاطسه. الشكل ١,٣ يبين الأنواع المختلفة لرؤس مسامير البرشام.



الشكل ١,٣ : أنواع رؤوس مسامير البرشام

1.2. أنواع وصلات المسامير المبرشمة Types of Riveted Joints

هناك نوعان من وصلات المسامير المبرشمة: وصلة تراكب (الوصلة المفردة) Lap Joint , وصلة تقابل (الوصلة المزدوجة)Butt Joint .

أ) وصلة تراكب (الوصلة المفردة) Lap Joint

هذا النوع من الوصلات يعتبر الأبسط و فيه تربط صفيحة معدنية على الآخرى بواسطة المسامير المبرشمة إذا كان صفاً واحداً من الوصلات المبرشمة تسمى وصلة تراكب مفردة البرشمة Single riveted lap joint أما إذا كان صفين من الوصلات المبرشمة فالوصلة تسمى وصلة تراكب مزدوجة البرشمة Double riveted lap joint و هكذا. المسافة بين مركزي كل مسمارين مبرشمين مجاورين تسمى الخطوة **Pitch**.

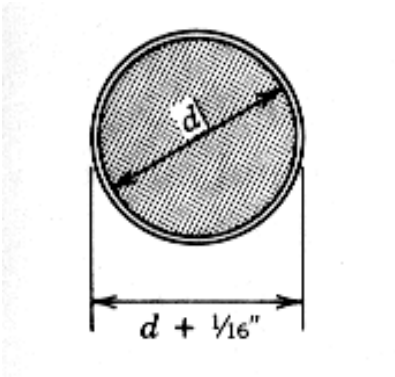
ب) وصلة تراكب (الوصلة المزدوجة) Butt Joint

في الوصلة المزدوجة يوضع العضوان على مستوى واحد و يرتبطان ببعضهما البعض بواسطة لوح تجميع من جانب واحد أو من جانبين.

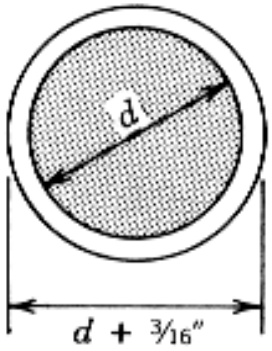
٢،٢. نوعية ثقوب الألواح (أو الأضلاع) المراد ربطها

تعيين حجم، نوع، و ترتيب ثقوب (فتحات) الألواح (أو الأضلاع) المراد ربطها يعتبر جزءاً هاماً في عملية تصميم الوصلات. عموما يتم عمل الثقوب بالتخريم المباشر **Punching** باستعمال قوالب قياسية. وفي هالة ما إذا كان السمك معتبراً فيتم عمل الثقوب (أو الفتحات) بالتثقيب **Drilling** و ذلك باستعمال آلة التثقيب **Driller** . و هناك عدة أنواع من الثقوب نبين بعض منها حسب المواصفات الأمريكية AISC.

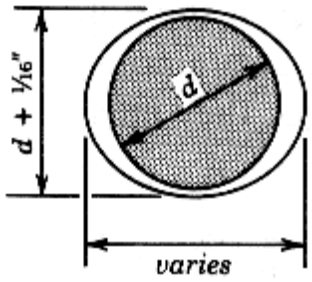
أ – الثقب القياسي Standard Hole و يرمز له بالرمز **(STD)**



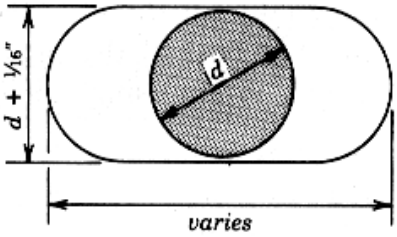
ب – الثقب الأكبر من المعتاد Oversized Hole **و يرمز له بالرمز** (OVS)



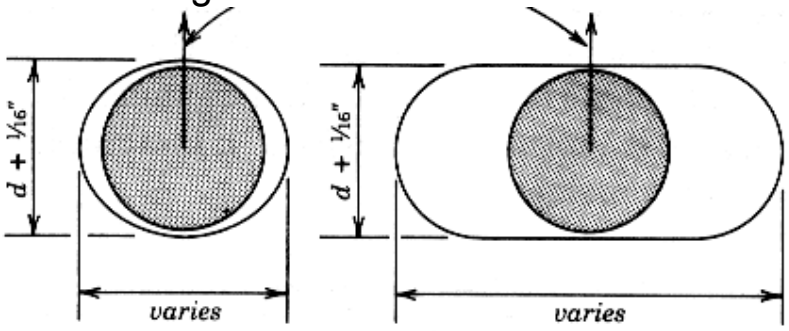
جـ - **الثقب قصير الشقب** Short Slotted Hole و يرمز له بالرمز (SSL)



د – **الثقب طويل الشقب** Long Slotted Hole **ويرمز له بالرمز** (LSL)

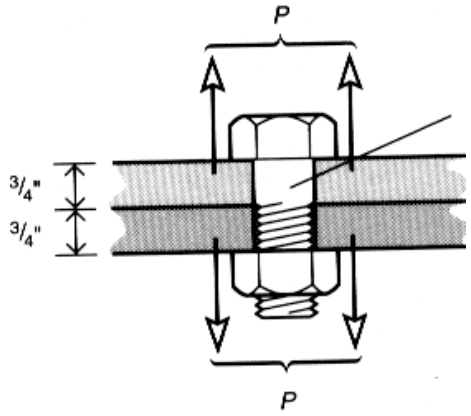


هـ - الثقب قصير أو طويل الشقب عمودي على اتجاه الحمل و يرمز له بالرمز (NSL)
Short or Long Slotted Hole Normal to Load Direction



٣،٢. مقاومة المسمار للشد Bolts in Tension

يختلف عضو الشد المبرشم (ثقوب مسامير البرشام) عن عضو الشد الملحوم حيث إن عضو الشد الملحوم يقاوم كله الحمل المنقول له (المساحة الكلية) بينما في حالة عضو الشد المبرشم فنأخذ المساحة المتبقية بعد استقطاع ثقوب المسامير والتي تسمى بالمساحة الصافية A_{net} . و الشكل ٢،٣ يبين عضو شد مبرشم.



الشكل ٢،٣ : عضو شد مبرشم

وحدة الإجهاد لعناصر الشد يفترض إن تكون منتظمة حول كامل مساحة المقطع و يعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$f_t = \frac{P_t}{A}$$

حيث إن:

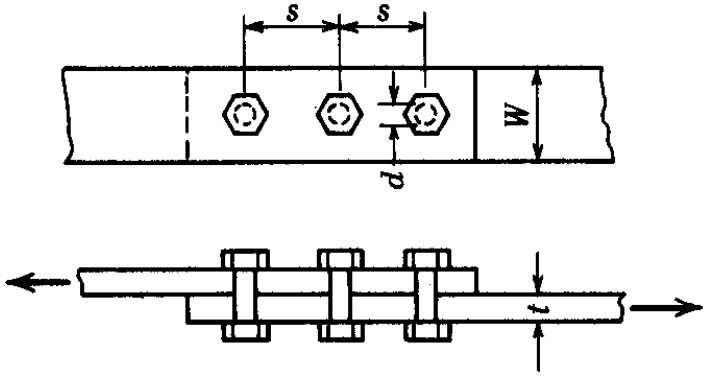
f_t - إجهاد الشد (نيوتن/سم^2)

P_t - حمل الشد الكلي (نيوتن)

A - المساحة الكلية لمقاومة الإجهاد (سم^2)

فوجود الوصلات المسمارية يقلل من المساحة الفعلية المتوفرة لمقاومة الإجهاد. و على العموم فإن مقاومة عضو الشد يجب إن تكون مبنية على المساحة المتوفرة لمقاومة الإجهاد بعد عملية التثقيب بالتخريم أو موسع الثقوب. وهذه المساحة تسمى المساحة الصافية Net Section.

- حالة وجود صف واحد من الثقوب كما هو مبين على الشكل ٣,٣.



الشكل ٣,٣ : صف واحد من مسامير البرشام

فإن المساحة الصافية تحسب من المعادلة التالية :

$$A_{net} = t\,(W - d)$$

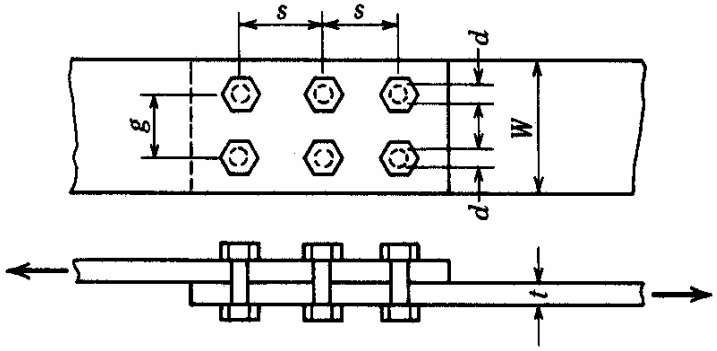
حيث إن:

d - قطر المسمار

t - سمك اللوح

W - عرض اللوح

- حالة وجود أكبر من صف واحد من الثقوب بحيث تكون غير متعرجة (غير شطر نجية) not Staggered كما هو مبين على الشكل ٤,٣.



الشكل ٤,٣ : صفان من مسامير البرشام

فإن المساحة الصافية تحسب من المعادلة التالية:

$$A_{net} = t\,(W \; - \; n\,.\,d)$$

حيث إن:

n - تمثل عدد الثقوب لمساحة المقطع

حسب المواصفات الأمريكية AISC يشترط أنه في كل الحالات يجب إن لا تتعدى المساحة الصافية 85% من المساحة الإجمالية أي بمعنى آخر أقصى مقدار المساحة الصافية (A_{net}) هو 85% من المساحة الإجمالية (A_{gross}) و عليه فإن المساحة المستقطعة بالثقوب (A_{φ}) تقدر بحوالي 15% من المساحة الإجمالية ، و تكون مساحة المقطع اللازمة لعضو الشد هو :

$$A_{net} = \frac{T}{F_{tp}} \quad \text{أو} \quad A_{gross} = \frac{T}{0.85\,.\,F_{tp}}$$

F_{tp} - إجهاد الشد المسموح به.

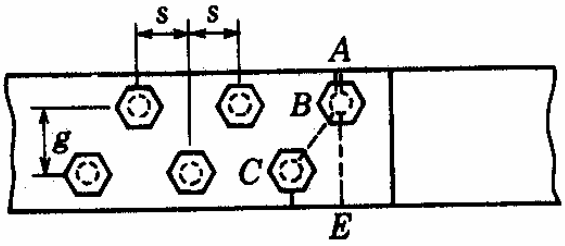
T - قوة القص

A_{net} - المساحة الصافية

A_{gross} - المساحة الإجمالية

خطوة الربط (fastener Pitch) تعرَف بالمسافة بين مركزي الثقبين المتجاورين في اتجاه القوة و يرمز لها بالرمز S بينما المسافة بين مركزي الثقبين في الاتجاه العمودي على القوة يرمز لها بالرمز g.

- حالة وجود صفوف من الثقوب المتعرجة (شطر نجية) Staggered Rows كما هو مبين على الشكل ٥,٣.



الشكل ٥,٣ : صفوف من الثقوب المتعرجة (شطر نجية) لمسامير البرشام

المواصفات الأمريكية توصي باستعمال صيغة تجريبية لتحديد المساحة الصافية في حالة وجود صفوف من ثقوب الربط المتعرجة.، و تطبق على كل مسارات الانهيار بالشد:

$$A_{net} = t\,(W - n.d + \Sigma \frac{S^2}{4\,g})$$

حيث إن:

S - الخطوة (المسافة بين مركزي الثقبين المتجاورين في اتجاه القوة).

g - المسافة بين مركزي الثقبين في الاتجاه العمودي على القوة.

d - قطر ثقب المسمار.

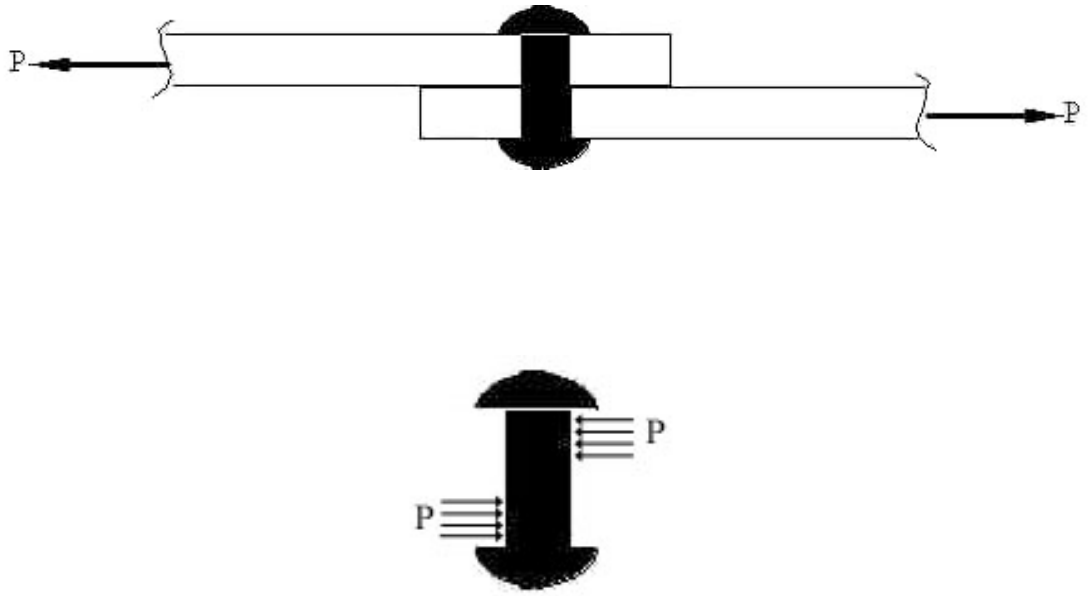
المساحة الصافية A_{net} تطبق خصوصا في حالة الوصلات (Splices) و ألواح التجميع (Gusset plates) فقط و لا يجب إن تكون أكبر من ٨٥٪ من المساحة الإجمالية.

٤,٢. مقاومة القص في المسمار Shear Strength of Rivet

يقاوم المسمار الحمل المنقول بإحدى الطريقتين :

- القص المفرد **Single Shear**

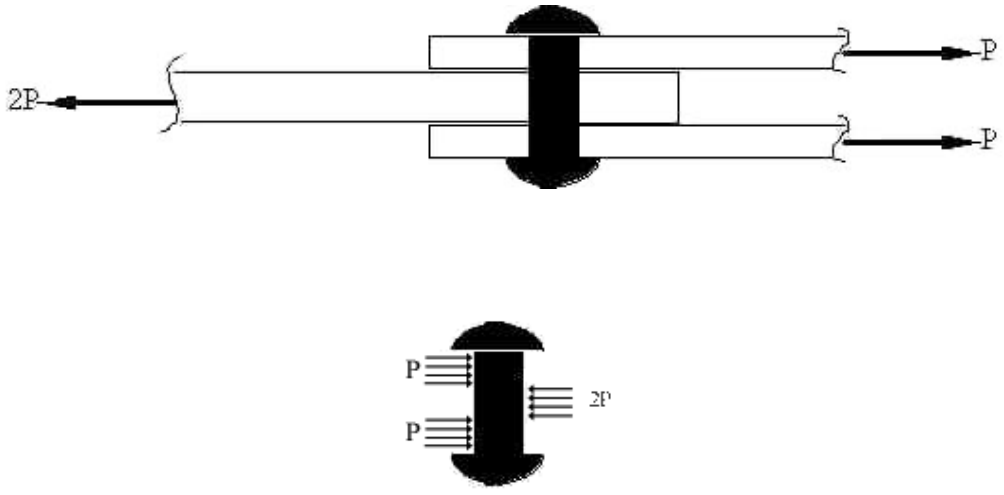
و يحدث عندما يقاوم المسمار الحمل المنقول له على مستويان واحد كما هو مبين على الشكل ٦,٣.



الشكل ٦,٣ : قص مفرد

- القص المزدوج Double Shear

و يحدث عندما يقاوم المسمار الحمل المنقول له مستويين و تحسب مقاومة المسمار في القص المفرد بفرض إن مساحة مقطع المسمار تتحمل بالتساوي إجهاد القص المسموح به لمادة المسمار، كما هو مبين على الشكل ٧,٣.



الشكل ٧,٣ : قص مزدوج

- ففي حالة انهيار مسمار في وصلة مفردة فإنه يحدث انزلاق لأحد اللوحين على الآخر و يقص المسمار على مستوى واحد (Single Shear) و تكون أقصى مقاومة المسمار للقص في هذه الحالة كما يلي:

$$V_s = F_v \cdot A$$

حيث إن:

V_s- أقصى مقاومة المسمار للقص

F_v - إجهاد القص المسموح به لمادة المسمار

A - مساحة مقطع ساق المسمار ($\frac{\pi d^2}{4}$)

- أما في حالة انهيار مسمار في وصلة مزدوجة فإنه يحدث انزلاق على مستويين (Double Shear) و تكون مقاومة المسمار القصوى للقص في هذه الحالة:

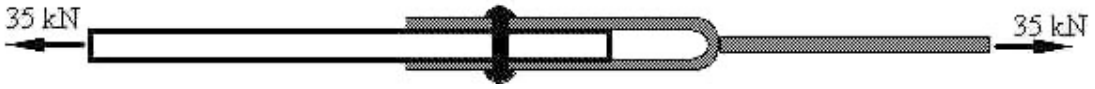
$$V_s = 2. F_v \cdot A$$

- و إذا كان الانزلاق على عدد n من المستويات فتكون مقاومة المسمار في القص :

$$V_s = n. F_v \cdot A$$

تطبيق 1:

أوجد إجهاد القص للمسمار في الوصلة المبينة على الشكل ٨،٣ إذا كان قطره 12 مم .



الشكل ٨،٣ : مسمار معرض لإجهاد قص

الحل:

في هذه الوصلة نلاحظ إن المسمار يقاوم القص على مستوى واحد فقط أي أنه قص مفرد فنحسب قيمة المقاومة للقص المفرد:

$$V_s = F_v \cdot A$$

لدينا $V_s = 35$ **كن**

مساحة مقطع الساق للمسمار ، $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \times 12^2}{4} = 113.04\ mm^2$

إذا مساحة مقطع الساق للمسمار هي : 113.04 مم^2

و بالتالي فإن إجهاد القص للمسمار في الوصلة هو :

$$F_v = \frac{V_S}{A} = \frac{35 \times 10^3}{113.04} = 309.62 \text{ N/mm}^2$$

إذا إجهاد القص للمسمار في الوصلة هو : 309.62 N/mm^2

تطبيق 2:

أوجد القوة اللازمة لانهيار المسامير عن طريق القص في حالة ثلاث ألواح فولاذية مربوطة بمسمارين كما هو مبين على الشكل ٩،٣ . علما بأن كل من المسمارين ذو قطر قدره 15 مم و إن الإجهاد المسموح به هو $210 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

الشكل ٩،٣ : ثلاث ألواح فولاذية مربوطة بمسمارين

الحل:

في حالة انهيار مسمار في وصلة مزدوجة فإنه يحدث انزلاق على مستويين (Double Shear) و تكون مقاومة المسمار القصوى للقص في هذه الحالة:

$$V_s = 2. F_v . A$$

مساحة مقطع الساق للمسمار ،

$$A = \frac{\pi . d^2}{4} = \frac{3.14 \times 15^2}{4} = 176.625 \text{ mm}^2$$

$$A = 176.625 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

القوة اللازمة لانهيار المسامير عن طريق القص هي:

$$V_S = 2 . F_V . A = 2 \times 210 \times 10^6 \times 176.625 \times 10^{-6} = 74182.5 \text{ N}$$

تطبيق:

أوجد قيمة القص المفرد للبرشيم A307 ذي قطر ¾ in. و يحتوي على ثقوب قياسية. وأوجد كذلك قيمة القص المزدوج للبرشيم A325 عالي المقاومة و ذي قطر ¾ in. .

الحل:

نحسب مساحة مسمار البرشيم

$$A_V = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14\,(0.75)^2}{4} = 0.4418\ \text{in.}^2$$

إجهاد القص المسموح به لصنف A307 هو F_V = 10 k.s.i و منه نحسب قيمة القص المطلوبة :

$$V_s = F_V \,.\, A_V = 10 \times 0.4418 = 4.42\ \text{Kips}$$

بنفس الطريقة نحسب قيمة القص بالنسبة لمسمار البرشيم A325

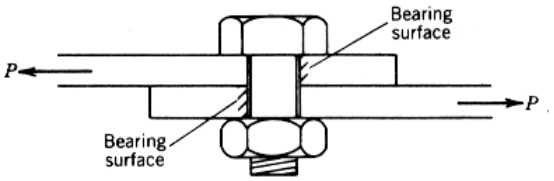
فمساحة مسمار البرشيم هي: $A_V = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14\,(0.75)^2}{4} = 0.4418\ \text{in.}^2$

إجهاد القص المسموح به لصنف A325 هو F_V =17k.s.i و منه نحصل على قيمة القص المزدوج لمسمار البرشيم.

$$V_s = 2\ F_V \,.\, A_V = 2 \times 17 \times 0.4418 = 15.0\ \text{Kips}$$

٥،٢. الانهيار للمسمار بواسطة التحميل (مقاومة الارتكاز بين المسمار و اللوح المربوط) Bearing stress Failure

يكون سطح التلامس بين المسمار و اللوح المربوط نصف أسطواني و يكون إجهاد التحميل (إجهاد الارتكاز) Bearing Stress بين جذع المسمار و اللوح المربوط ذا قيمة عظمى في المنتصف (الشكل ١٠،٣) و تصل إلى إجهاد الخضوع Yield Stress و يمكن تقريب التوزيع الحقيقي الإجهادات بتوزيع منتظم ذا قيمة ثابتة



الشكل ١٠،٣ : انهيار المسمار بواسطة التحميل

على مسقط قطر المسمار و التي لا يجب إن تتعدى حدود إجهاد التحميل F_p المنصوص عنها لنوع الصلب المستعمل. و تكون مقاومة المسمار للارتكاز على اللوح V_b هي حاصل ضرب إجهاد الارتكاز في سطح التلامس بين المسمار و اللوح.

$$V_b = F_p . A = F_p . d . t$$

فإذا كان سمك اللوح 14 مم و قطر المسمار (A36) 19 مم ، و إجهاد التحميل للمسمار

$$F_p = 477.11 \times 10^6 \ N/m^2$$

F_p فإن مقاومة الارتكاز تكون :

$$V_b = F_p . A = F_p . d . t = 477.11 \times 10^6 \times 0.019 \times 0.014 = 126911 \ N$$

أما إذا كانت الألواح المربوطة مختلفة من ناحية السمك فإن أقلها سمكا هو الذي يؤخذ في الاعتبار لتحديد مقاومة الوصلة.

٣. الوصلات الملحومة Welded Connections

١،٣. عملية اللحام Welding Process

اللحام هو عملية وصل أجزاء من الفولاذ عند درجة حرارة الانصهار (Molten State) دون اللجوء إلى أي ضغط ميكانيكي، فأجزاء الفولاذ المراد لحامها يتم انصهارها بواسطة قوس كهربائي (Electric arc) أو لهب الأوكسجين و الأسيتلين (Oxyacetylene Flame) مع وجود سيخ اللحام (Weld Rod) والتي بدورها تعمل كمادة لاصقة من الفولاذ بالنسبة إلى الأجزاء المراد لحامها.

ففي في الماضي كان هناك نوعان من عملية اللحام هما :

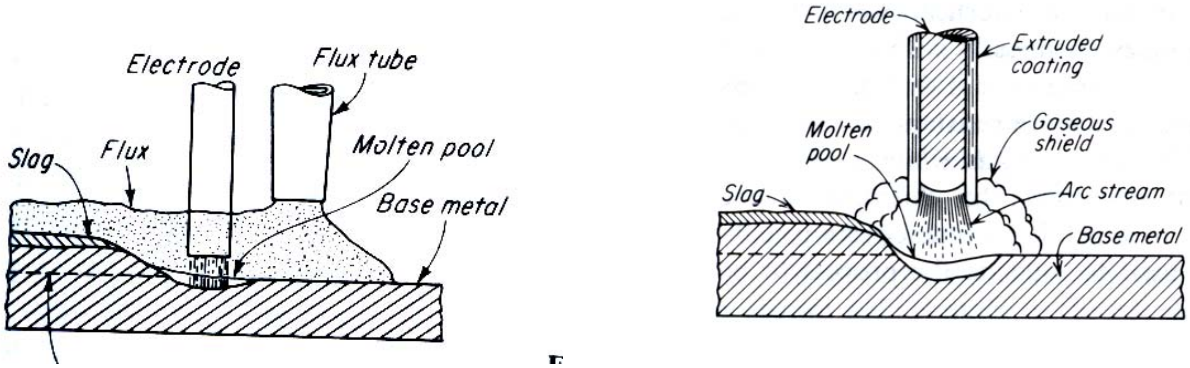
- **اللحام بالقوس المعدني** Metal Arc Welding

و تنتج الحرارة اللازمة عن طريق قضيب اللحام الذي يستخدم كأحد قطبي الكهرباء و القطب الآخر هو الجزء المراد لحامه و يستخدم محول للحصول على تيار ذي فرق جهد منخفض و شدة تيار عالية. و يتم حماية قضيب اللحام من التأكسد (Shielded Electrodes) أو تستخدم مواد مساعدة (Flux) تساعد على عدم أكسدة الأجزاء الملحومة. و من أشهر أنواع اللحام بالقوس المعدني هما: اللحام بالقوس المعدني المحجب (Shield -metal arc welding) و اللحام القوسي المغمور (بمساعد الصّهر) Submerged arc welding و الشكل ١١،٣ يبين هذين النوعين:

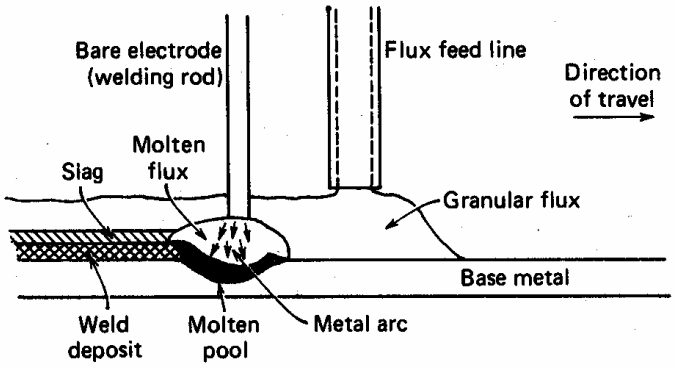
- **اللحام القوسي المعدني الغازي** Gas-metal arc welding

تختلف طريقة اللحام القوسي المعدني الغازي عن العملية السابقة في كون إن المواد المساعدة تعوض بغاز .

و يستخدم خليط من الأكسجين و الأستيلين لصهر قضيب اللحام و لتسخين الأجزاء المراد لحامها وتستخدم في قطع القطاعات الصلب و لا تستخدم هذه الطريقة في الوصلات الإنشائية.



الشكل ١١،٣ : اللحام بالقوس المعدني المحجب و اللحام القوسي المغمور



الشكل ١٢،٣ : اللحام القوسي المعدني الغازي

- **اللحام بطريقة المقاومة (لحام التماس)** Resistance Welding

و فيه يستخدم قطبان يتم توصيلهما بتيار كهربائي و نتيجة للحرارة الشديدة المتولدة بين القطبين يتم صهر المنطقة بين اللوحين و عندما تبرد تصبح وحدة واحدة و يتم نقل القطبين لتكوين خطوط لحام و هذه الطريقة محدودة الاستعمال.

٢،٣. مزايا اللحام Advantages of Welding

الإنشاءات الملحومة عموما أخف وزنا من الإنشاءات المبرشمة و هذا الجانب الاقتصادي في المواد المستعملة يرجع إلى عدم استخدام ألواح التجميع (Gusset Plates) أو مواد وصل آخرى على عكس الوصلات المبرشمة أين توجد بها فتحات مثقبة تقلل من حجم المساحة الفعالة، بينما في اللحام تأخذ كامل مساحة المقطع ، فعلى سبيل المثال، الأجزاء المسطحة الصغيرة، الزوايا، و المساحات الآخرى يمكن لحامها بسهولة.

- اللحام يسمح بترتيب الأجزاء المعدنية المراد لحامها بحيث تعطي أكبر فعالية.
- إمكانية الإضافة و التغير للمنشأ القائم بسهولة.

- المنشآت الملحومة تتميز بحسن جمالها و نعومة مظهرها مما يساعدها على استعمال أقل الدهانات و الصيانة (بحيث يجعلها لا تحتاج إلى كمية معتبرة من الصيانة و الدهانات).
- يمكن لحام أي مساحة مهما كان شكلها و حتى التي يتعذر برشمتها.

٣،٣. عيوب اللحام Disadvantages of Welding

- عملية اللحام تحتاج إلى إشراف و مهارة عالية
- أثناء عملية اللحام هناك تسخين و برودة غير منتظمة مما يسبب انكماشا غير متساوٍ في الأجزاء الملحومة.

و هناك بعض الاحتياطات يجب مراعاتها خلال عملية اللحام:

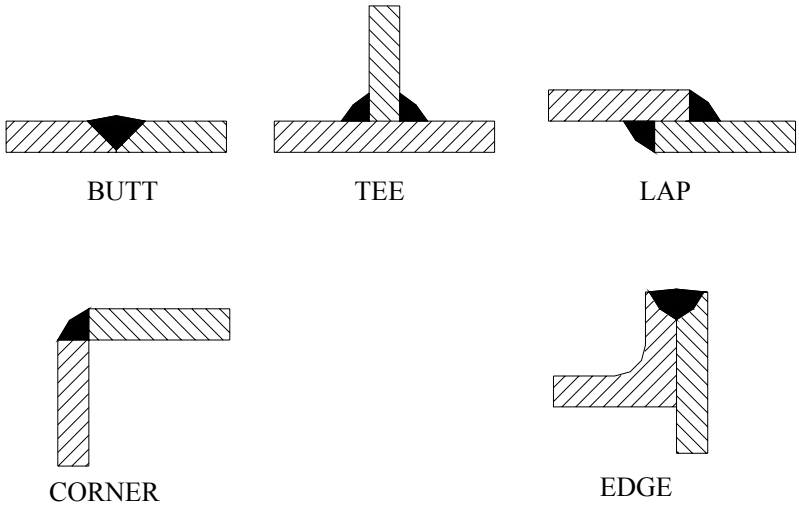
- يجب استعمال أقل كمية من أسياخ اللحام.
- يجب استعمال أقل عدد من الأجزاء المركبة.

4.3. أنواع اللحام Types of Welded Connections

يمكن تصنيف و صلات اللحام كالتالي:

- وصلات تقابل Butt Joint
- وصلة تائية Tee Joint
- وصلة تراكب Lap Joint
- وصلة زاوية Corner Joint
- وصلة طرفية Edge Joint

الشكل ١٣،٣(أ) و ٣،١٣ (ب) يبين بعض أنواع وصلات اللحام.



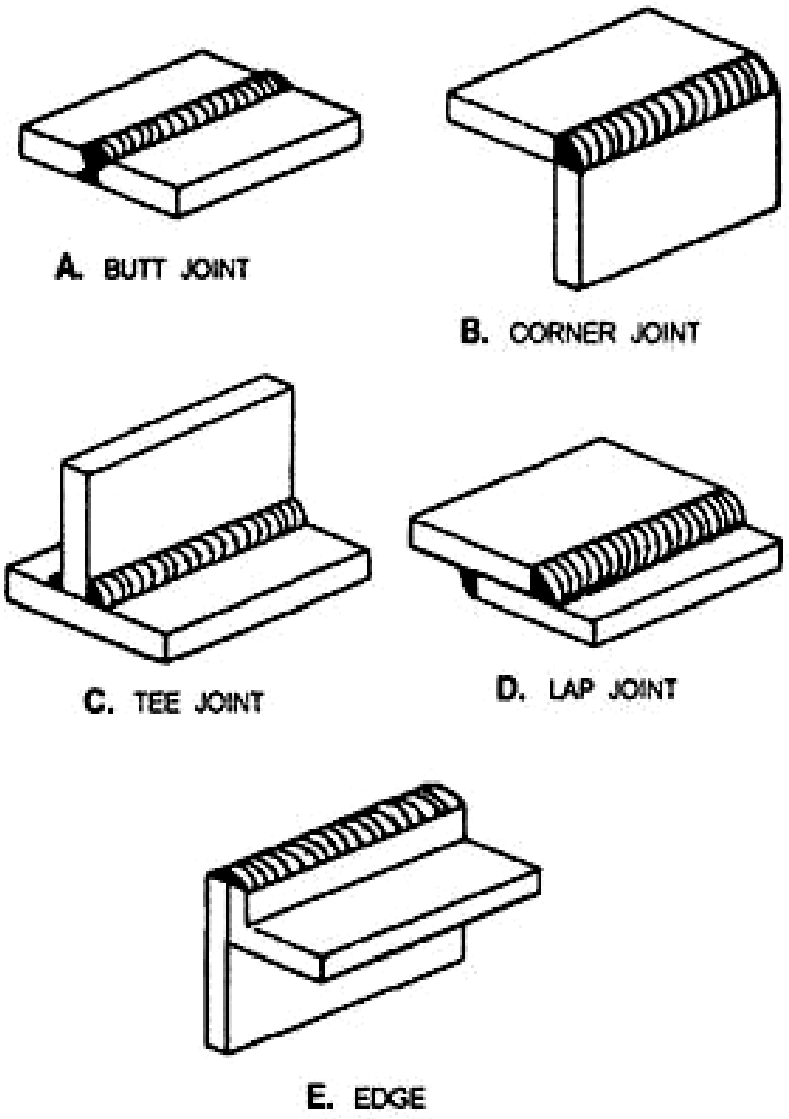
الشكل ١٣،٣(أ) : أنواع وصلات اللحام

اللحام يمكن تصنيفها طبقا إلى موضع اللحام خلال التلحيم كما يلي :

- مستو Flat
- عمودي Vertical
- أفقي Horizontal
- علوي Overhead

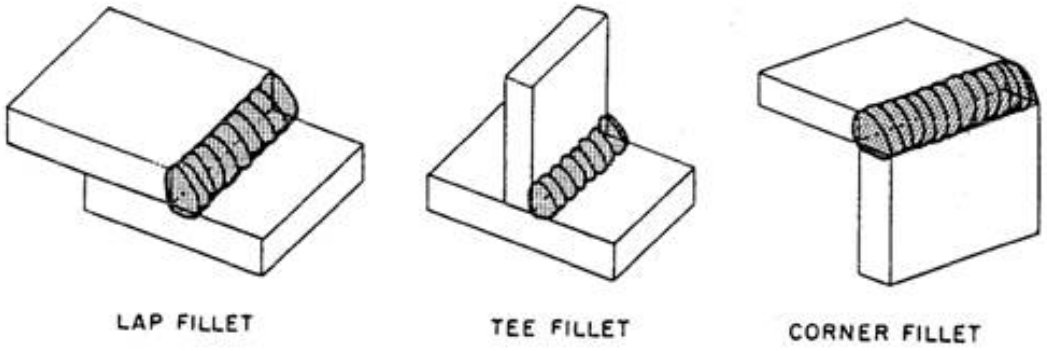
يمكن أيضا تصنيف اللحام طبقا إلى نوعيته إلى:

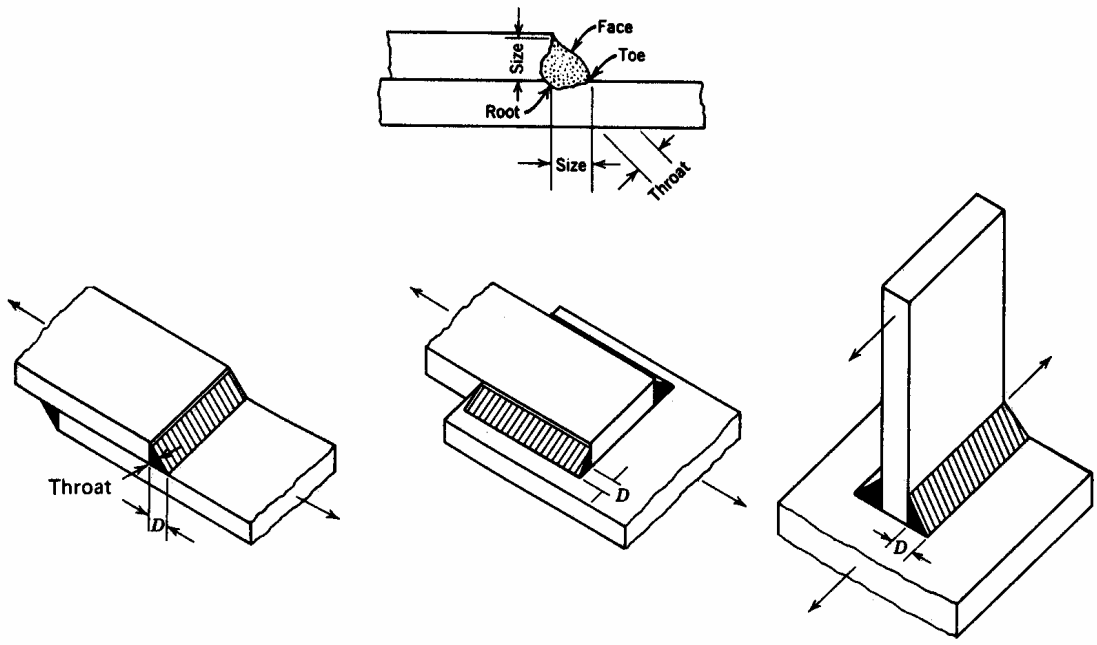
- لحام حزي (أخدودي) Groove Weld
- لحام زاوي Fillet Weld
- لحام سدادي Plug Weld
- لحام شقي Slot Weld



الشكل ١٣,٣(ب) : أنواع وصلات اللحام

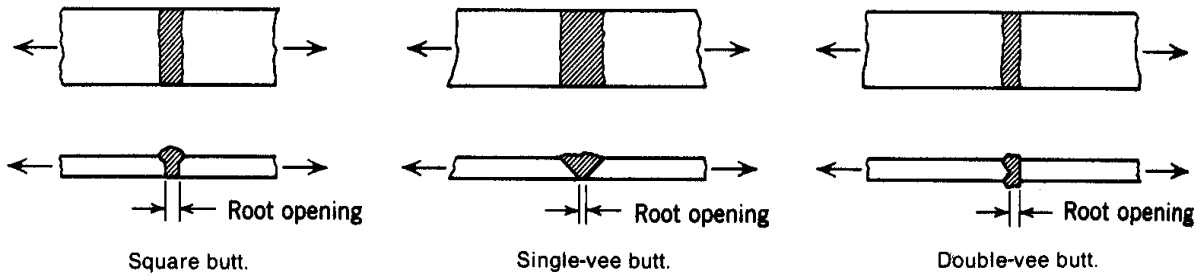
بالنسبة إلى اللحام الزاوي Fillet Weld يمكن تصنيفه (الشكل ١٥,٣) إلى :





الشكل ١٥,٣ : أنواع اللحام الزاوي

أما بالنسبة إلى اللحام الحزي (الأخدودي) Groove Weld يمكن تصنيفه (الشكل ٣,١٦) إلى:



الشكل ١٦,٣: أنواع اللحام الأخدودي

٥,٣. الإجهادات المسموح بها في اللحام Allowable Stresses of Welding

تختلف الإجهادات المسموح بها في اللحام حسب نوع اللحام و كذلك حسب طريقة نقل اللحام للقوى. وتعامل الإجهادات المسموح بها في اللحام كنسبة من الإجهادات المسموح بها للمعدن الأصلي المراد لحامه. و تنص المواصفات على الحدود التالية:

أ) لحام تقابلي Butt Weld

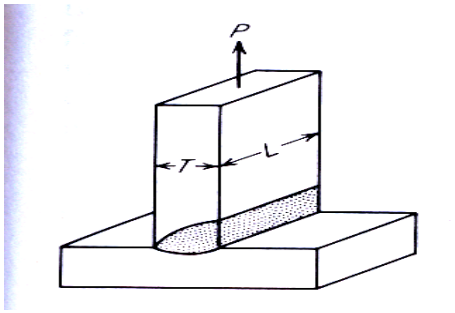
- **إجهاد الشد**

$$f_t = 0.7\, f_{pt}$$

حيث إن:

f_{pt} - إجهاد الشد المسموح به للمعدن المراد لحامه.

على سبيل المثال بالنسبة إلى اللحام الأخدودي Groove Weld كما هو مبين على الشكل ١٧,٣ فإن إجهاد الشد يكتب على النحو التالي :



الشكل ١٧,٣: إجهاد الشد على اللحام الأخدودي

$$f_t = \frac{P}{L.T_e}$$

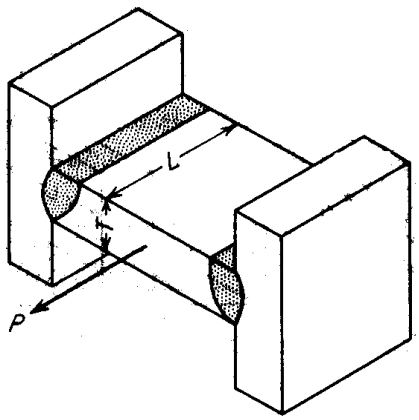
حيث إن:

P - حمل الشد

L - طول اللحام

T_e - سمك اللحام الفعلي

أما بالنسبة إلى إجهاد القص كما هو مبين على الشكل ١٨,٣ ، فيكتب على النحو التالي:



الشكل ١٨,٣: إجهاد القص على اللحام الأخدودي

$$f = \frac{P/2}{L.T_e}$$

- **إجهاد الضغط**

$$F_c = 1.0\ f_{pc}$$

حيث إن:

f_c - إجهاد الضغط المسموح به للمعدن المراد لحامه.

- **إجهاد القص**

$$q = 0.55\, f_{pt}$$

ب) **لحام زاوي Fillet Weld**

- لكل أنواع الإجهادات تساوي $0.4\, f_{pt}$

الجدول ١,٣ الإجهادات المسموح بها في اللحام.

نوع الإجهاد	الإجهاد المسموح به كغ/سم^2
إجهاد الشد و الضغط (لحام تقابلي)	1420
إجهاد عزم الانحناء (لحام تقابلي)	١٥٧٥
إجهاد القص (لحام تقابلي و زاوي)	١٠٢٥

٤. الوصلات المسمارية (المفصلية) Pin Connections

الوصلات المسمارية (المفصلية) للإنشاء تصنع من الفولاذ الطري. قطر المسمار يتراوح من ٩ مم بالنسبة إلى قضبان الحديد و إسارات معدنية إلى ٣٠٠ مم أو أكثر بالنسبة إلى الجسور المعدنية، و هناك عدة أنواع من المسامير منها:

أ - مسامير من الحديد مشكلة بالتطرق Forged Steel Pins

هذه المسامير محكمة بواسطة دبوس خابوري (مشقوق)

ب - دبوس غير مثقب Undrilled Pins

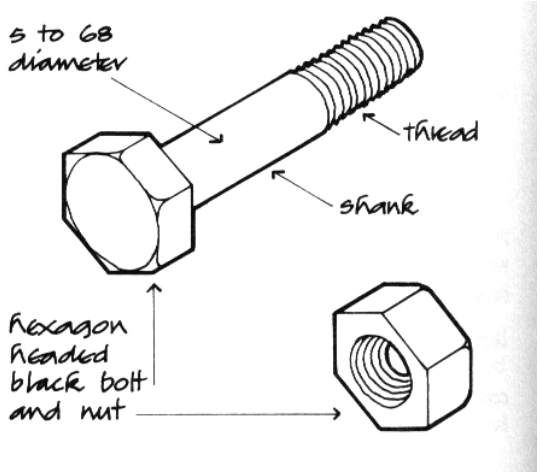
يتكون من دبوس غير مثقب مع صمولة دليليه (Pilot nut) و صمولة تدوير (Driving nut) ضروريين لتثبيت الدبوس عندما يوضع في المكان المطلوب.

جـ - دبوس مثقب Drilled Pins

الدبوس يثقب عندما يكون قطره ٢٠ سم أو أكثر. يستعمل مسمار و صامولات لتثبيت الدبوس عندما يوضع في المكان المطلوب.

5. الوصلات المشدودة ببراغي (مسمار القلاووظ) Bolted Connections

يتكون مسمار القلاووظ (البراغي) كماهو مبين على الشكل ١٩,٣ ، من جزء أسطواني يسمى الساق (Shank) متصل بالرأس (Head). نهاية جزء المسمار القلاووظ مسننة تسمى أسنان (Threads) وتدور بها صامولة (Nut). كل من الرأس و الصامولة يمكن إن تكون مربعة أو مسدسة و يمكن إن يحتوي مسمار القلاووظ على وردة (Washer) لحماية الأعضاء أثناء الربط.



- **أنواع مسامير القلاووظ**

مسامير القلاووظ ثلاثة أنواع:

أ) مسامير القلاووظ سوداء Black Bolts

و تصنف حسب المواصفات الأمريكية (ASTM) بمسامير A307 و هي تصنع من الحديد الكربوني و أقل مقاومة للشد هي 60 P.S.I و تستخدم في أعمال التركيبات المؤقتة و تتراوح أقطارها لتصل 4 بوصة.

ب) **مسامير القلاووظ** A325 و هذا حسب المواصفات الأمريكية ASTM حيث تتراوح مقاومة الشد من 105 p.s.i على 120 p.s.i.

جـ) **مسامير القلاووظ** A490 حسب المواصفات الأمريكية ASTM و تبلغ مقاومة الشد حوالي 150 p.s.i و يعتبر عالي المقاومة حيث يستخدم في الأعمال الإنشائية الدائمة و يصنع من الصلب عالي المقاومة.

إنشاءات معدنية

الوصلات الفولاذية عند أماكن ارتكاز المنشآت المعدنية على الأساسات

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة :

تعلم مختلف أنواع قواعد الأعمدة، و تعلم مبادئ تصميم الوصلات عند القاعدة.

الأهداف :

عندما تكمل هذا الفصل يكون لديك القدرة على معرفة :

- أنواع قواعد الأعمدة.
- مبادئ تصميم الوصلات عند القاعدة.

مستوى الأداء المطلوب :

أن يصل الطالب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة ١٠٠٪ .

الوقت المتوقع للفصل :

٦ ساعات.

الوسائل المساعدة :

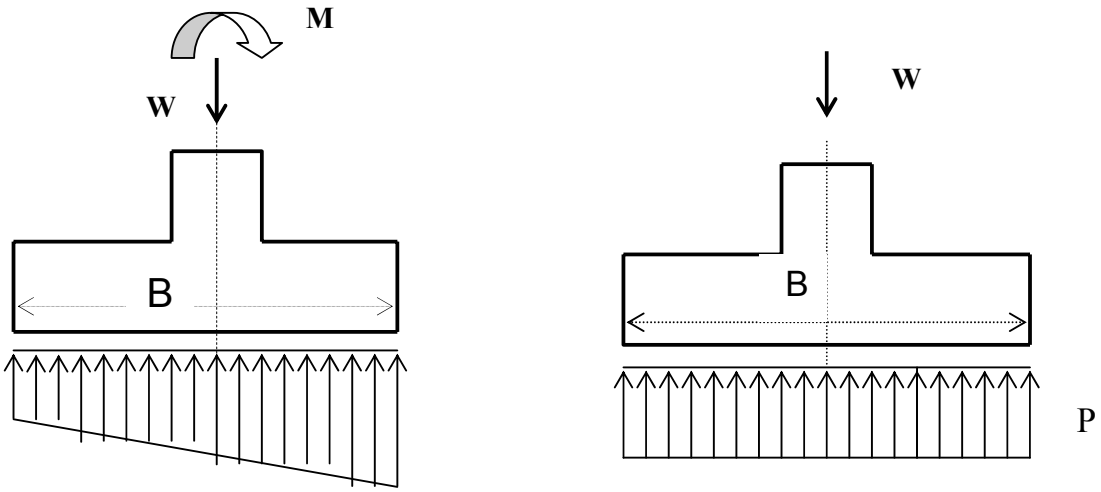
- مبادئ الرسومات الإنشائية.
- مبادئ مقاومة المواد.

متطلبات الجدارة :

اجتياز حقيبة الستاتيكا.

١. مقدمة :

أحمال المبنى تنقل بواسطة الأعمدة و نظرا لثقل هذه الأحمال فيصعب تحويلها مباشرة إلى التربة. فلهذا السبب أصبح من الضروري استعمال وسيط آخر بين الأعمدة و التربة. وتعتبر القاعدة أداة نقل حمل العمود إلى طبقة الارتكاز و منه إلى التربة. أي بمعنى آخر فإن قاعدة العمود تنقل الحمل إلى القواعد الخرسانة المسلحة أو قواعد الخرسانة العادية و منها إلى التربة. بالنسبة إلى تصميم القواعد يفترض إن القاعدة تكون صلبة بحيث يكون توزيع الضغط على القاعدة منتظم ومركز الثقل للأحمال يتطابق مع مركز الثقل للقاعدة أو التغيير للضغط يكون خطياً في حالة مركز الثقل للأحمال لا يتطابق مع مركز الثقل للقاعدة الشكل ١,٤ يبين هاتين الحالتين.



(أ) عمود محمل مركزيا (ب) عمود معرض لحمل غير مركزي

الشكل ١,٤: توزيع الإجهادات للوح القاعدة

لنفرض إن عرض لوح القاعدة يساوي واحد فمساحة المقطع تكون B . ففي الحالة (أ) من الشكل ١,٤ يكون الإجهاد على النحو التالي :

$$P = \frac{W}{B}$$

حيث إن:

W - الحمل المحوري.

B - طول لوح القاعدة.

بينما بالنسبة إلى الحالة الثانية (ب) من الشكل ١,٤ فإن الإجهاد يكون:

$$P_{max} = \frac{W}{A} + \frac{M}{Z} = \frac{W}{B} + \frac{6M}{B^2}$$

$$P_{min} = \frac{W}{A} - \frac{M}{Z} = \frac{W}{B} - \frac{6M}{B^2}$$

حيث إن:

A- هي مساحة المقطع للوح القاعدة تساوي (B x ١)

M- عزم الانحناء

Z - معامل المقطع يساوي ($\frac{B^2}{6}$)

باختصار العمود هو جزء المنشأ الذي ينقل الأحمال المعرض لها السقف بالإضافة إلى وزن السقف والكمرات ووزن الأوناش المرتكزة عليه في حالة وجودها ، ثم هذه الأحمال تنقل إلى التربة عن طريق الأساسات. فالعمود يعتبر عضو ضغط و أبسط قطاعات الأعمدة تنشأ من قطاع الكمرة القياسية Standard I Beam و قطاع الكمرة ذات الشفة العريضة Broad (Wide) Flange I Beam.

٢. قطاعات الأعمدة

قطاعات الأعمدة تنقسم إلى قسمين رئيسيين هما :

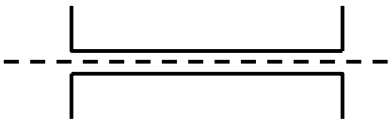
١،٢. قطاعات مفردة : Single Rolled Steel Sections

وهي إما كمرة قياسية Standard I Beam أو كمرة ذات الشفة العريضة Broad (Wide) Flange I Beam ، و استخدامها محدود في الحالات البسيطة.

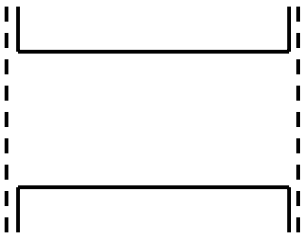
٢،٢. قطاعات مركبة : Built up Sections

و تتكون هذه الأعمدة من قطاعات مفردة مربوطة مع بعضها البعض بألواح عصب أو ألواح ربط و منها :

- مجرتان ملتصقتان من الظهر

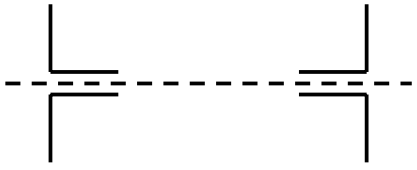


- مجرتان معكوستان بينهما مسافة و مرتبطتان بأحزمة الربط Lacing Bars

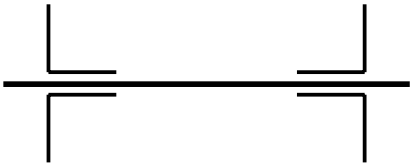


- مجرتان متوا جهتان بينهما مسافة و مرتبطتان بأحزمة الربط

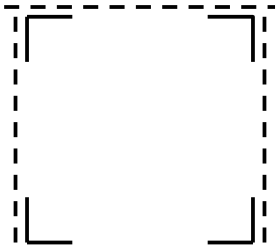
- أربع زوايا على شكل I مرتبطة بأحزمة الربط



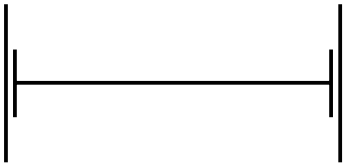
- أربع زوايا على شكل I مرتبطة بلوح العصب Web Plates



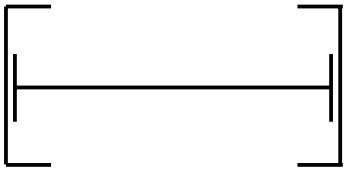
- أربع زوايا على شكل صندوق مرتبط بأحزمة الربط



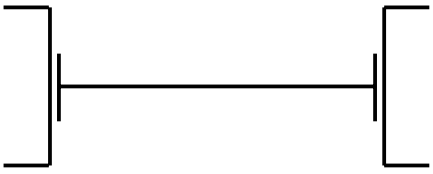
- كمرة قياسية Standard I Beam يرتبط بكل شفة لوح عريض



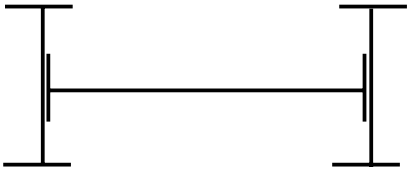
- كمرة قياسية يرتبط بشفتيها مجرتان متواجهتان



- كمرة قياسية يرتبط بشفتيها مجرتان معكوستان



- كمرة قياسية يرتبط بكل شفة كمرة قياسية آخرى في الاتجاه العمودي على لوح العصب كمرة قياسية



- صندوق ملحوم Welded Box مكون من ألواح ملحومة عند الأركان.

٣. أنواع القواعد

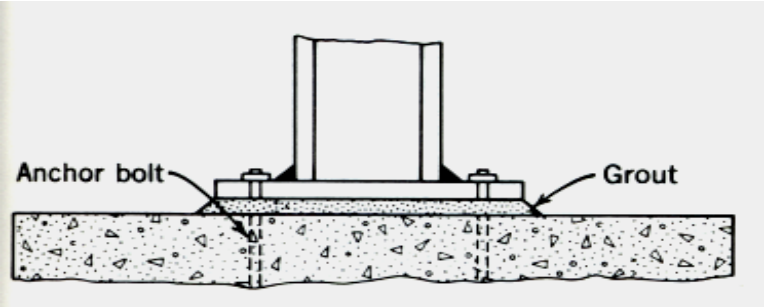
هناك نوعان من ألواح قواعد الأعمدة :

1) لوح قاعدة عمود بدون ألواح تقوية Base Plate without Gusset Plates

2) لوح قاعدة بألواح تقوية Gusseted base

بالنسبة إلى الأعمدة الحاملة لأحمال خفيفة فيستخدم لوح قاعدة بدون ألواح تقوية. فالحمل يحوّل إلى صفيحة القاعدة من خلال سطح الارتكاز (Bearing). أما بالنسبة إلى الأعمدة الحاملة لأحمال ثقيلة فيستخدم لوح قاعدة مزودة بألواح تقوية Gusseted base. فالحمل ينقل إلى القاعدة جزء من خلال سطح الارتكاز و الجزء الآخر من خلال ألواح التقوية Gussets.

1.3. لوح قاعدة عمود بدون ألواح تقوية



الشكل 2.4: قاعدة عمود بدون ألواح تقوية

لوح قاعدة عمود بدون ألواح تقوية (الشكل ٢،٤) لا يحتاج إن يكون مجهز بألواحاً التقوية، ولكن إن يكون مزوداً بأدوات ربط كافية للحفاظ على سلامة الأجزاء في الموقع لتقاوم كل العزوم والقوى غير الضغط المباشر التي تشمل القوى التي تظهر خلال الانتقال، و التحمل و التركيب. عند توزيع الأحمال بانتظام عن طريق لوحة القاعدة وحدها، فإن أقل سمك لوحة قاعدة مستطيلة يمكن تحديده من خلال المعادلة التالية:

$$t = \sqrt{\frac{3W}{F_b}(A^2 - \frac{B^2}{4})}$$

حيث إن:

t - سمك اللوح

P- الإجهاد أو الحمولة على الجانب السفلي للقاعدة

A- العرض الأكبر للوحة المعدنية خارج حدود العمود

B- العرض الأصغر للوحة المعدنية خارج حدود العمود

F_b - إجهاد الانحناء المسموح به الذي يقدر بـ 1890 كغ/سم^2

و تشتق هذه المعادلة كما يلي:

لنفرض عمود معرض لقوى محورية W

فإن الجهد على القاعدة:

$$P = \frac{W}{\text{مساحة القاعدة}}$$

لنفرض وحدة عرض اللوح

عزوم الانحناء الأكبر في اتجاه A هو: $= \frac{P A^2}{2}$

عزوم الانحناء الأكبر في اتجاه B هو: $= \frac{P B^2}{2}$

بما إن الانحناء على لوحة القاعدة يتم على الجهتين فإن عزوم الانحناء الصافي في اتجاه A هو :

$$M_A = \frac{PA^2}{2} - \frac{1}{m}\frac{PB^2}{2}$$

حيث إن $\frac{1}{m}$ هو نسبة بواسن Poisson`s Ratio

$$M_A = \frac{P}{2}(A^2 - \frac{B^2}{m})$$

$$M = f.z$$

$$\frac{P}{2}(A^2 - \frac{B^2}{M}) = F_b \times \frac{1}{6} \times 1 \times t^2$$

$$t^2 = \frac{3P}{F_b}(A^2 - \frac{B^2}{m})$$

$$t = \sqrt{\frac{3P}{F_b}(A^2 - \frac{B^2}{m})}$$

نعوض قيمة بواسن بـ ٠,٢٥ ، فنحصل على :

$$t = \sqrt{\frac{3P}{F_b}(A^2 - \frac{B^2}{4})}$$

عندما يكون توزيع حمولة اللوح غير منتظمة أو إن اللوح غير مستطيل فإن التصميم في هذه الحالة يكون على أساس القيمة الكبرى لعزوم الانحناء.

في حالة الأعمدة الفولاذية الدائرية أو إن الحمولة تكون على سدادة (cap) أو تحت القاعدة موزعة بانتظام على المساحة الكلية و تشمل كذلك جذع العمود (column shaft) فإن أقل سمك للسداد المربع أو القاعدة هو:

$$t = \sqrt{\frac{9W}{16F_b}\ \frac{D}{D-d}}$$

حيث إن:

t - سمك اللوحة

W - الحمل المحوري الكلي

D- طول جانب السداد أو القاعدة

F_b - إجهاد الانحناء المسموح به

d - القطر المخفض لطرف العمود إن وجد

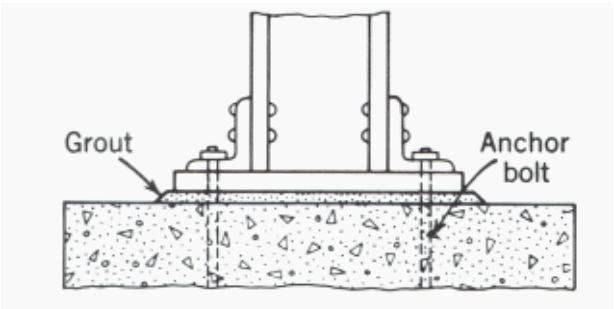
الأعمدة يجب إن تثبت على القاعدة بواسطة مسماري التثبيت بحيث إن لا يكون القطر أقل من 25 سم.

التثبيت يجب إن يحسب ليقاوم 1,5 عزم الانحناء على قاعدة العمود.

٢،٣. لوح قاعدة بألواح تقوية Gusset bases

بالنسبة لهذه الأعمدة فإن أدوات الرباط تشمل ألواح التقوية، كتيفة من زاوية حديدية، روابط إلخ.

بالاشتراك مع مساحة الارتكاز للجدع فإن كل التسطح المصنوع للركائز يجب إن يكون كافياً لتحمل الأحمال و عزوم الانحناء و قوى رد الفعل لألواح القاعدة دون تجاوز الإجهادات المحددة (الشكل ٣،٤).



الشكل 3.4: قاعدة عمود بألواح تقوية

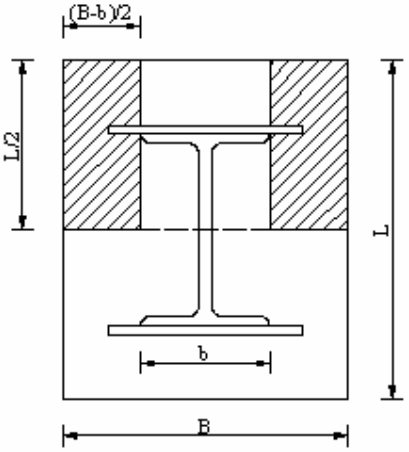
٣،٣. تصميم ألواح القواعد Design of gusset plates

القوة على كل لوح تقوية تكون مساوية للإجهاد على المساحة المظللة (الشكل ٤،٤).

القوة هي:

$$= 2P \ \frac{L}{2} \ (\frac{B-b}{2})$$
$$= \frac{PL}{2} (B-b)$$

عدد مسامير البرشام لتوصيل لوح التقوية بالعمود يكون القوة في لوح التقوية مقسومة على مقاومة مسمار البرشم. إذا كان لوح التقوية موصولاً عن طريق اللحام، فإن الطول الفعلي للحام يكون القوة في لوح التقوية مقسومة على مقاومة اللحام المستعملة بالسنتيمتر. لوح التقوية (Gusset plate) يكون معرض لعزوم الانحناء:



الشكل ٤,٤: الإجهاد على المساحة المظللة

$$\frac{P\,L}{4}(B-b)\left(\frac{B-b}{4}\right)$$

$$\frac{P\,L^2}{16}(B-b)^2$$

مساحة لوح التقوية يجب إن تكون كافية لمقاومة عزم الانحناء، كذلك لا يجب إن يكون سمكه أقل من ١ سم .

٤,٣. تصميم كتيفة الزاوية الحديدية Design of Cleat Angle

القوة داخل لوح التقوية تحول على كتيفة الزاوية الحديدية عن طريق الركائز Bearings . مساحة كتيفة الزاوية الحديدية يجب إن تكون كافية بحيث إن إجهادات الركائز يجب إن لا تتعدى 1890 كغ/سم^2. عدد مسامير البرشمة التي تربط الزاوية الجانبية مع لوح التقوية يكون نفس عدد مسامير البرشمة التي تربط لوح التقوية بالعمود.

٥،٣. تصميم لوح القاعدة Design of Base Plate

لوح القاعدة و كتيفة الزاوية الحديدية من المفروض أنهما يعملان معا. فعدد مسامير البرشام المزودة يجب إن تكون كافية لتحمل القص الأفقي و سمك لوح القاعدة يجب على الأقل إن يكون مساوياً للزاوية الجانبية. إذا كان لوح التقوية ملحوماً إلى لوح القاعدة، فإن سمك لوح القاعدة يكون أساسه مرتبطاً بعزم الانحناء على العرض.

٦،٣. تصميم ألواح القواعد المعرضة إلى أحمال غير محورية

أ) القواعد المعرضة إلى عزم انحناء صغير بحيث إن القوة المحصلة تقع طفيفا خارج الوسط الثالث. لنفرض إن l و b طول و عرض لوح القاعدة على التوالي و e المسافة عن المركز بالنسبة إلى الحمل (الشكل ٥،٤).

مساحة لوح القاعدة الملامس مع الخرسانة :

$$= 3\left(\frac{l}{2} - e\right).b$$

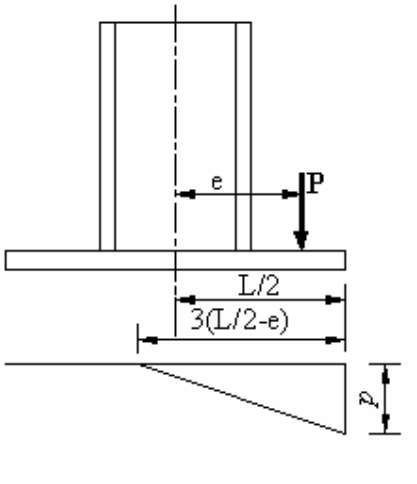
الضغط الأكبر هو :

$$\mathbf{P} = \frac{p}{\frac{1}{2}.3\left(\frac{l}{2} - e\right).b}$$

و منه :

$$p = \frac{\mathbf{4\,P}}{3\,(l - 2.e).b}$$

يمكن تصميم سمك لوح القاعدة بأخذ عرض لوح القاعدة على أساس كابول مع تغيير الحمل بانتظام. مسامير التثبيت المزودة مهمتها هو الحفاظ على وضع العمود.



الشكل ٥،٤: لوح قاعدة معرض إلى أحمال غير محورية

تطبيق 1.

صمم القاعدة البلاطية لعمود ISHB 300 x 58.8 Kg/m و الناقل لحمل قدره 70 tonnes ويرتكز على قاعدة خرسانية سعة تحميلها (bearing capacity) ، 40 Kg/cm^2 .

الحل :

مساحة لوح القاعدة المطلوبة يمكن حسابها من المعادلة التالية :

$$\text{الضغط على القاعدة (P)} = \frac{\text{الحمل}}{\text{مساحة القاعدة}}$$

$$\text{المساحة} = \frac{W}{P} = \frac{70000}{40} = 1750 \text{ سم}^2$$

و لنأخذ لوح القاعدة ذات مقاسات 45 سم x 40 سم

فيكون الضغط على القاعدة هو : $\frac{70000}{45x40} = 38.9 Kg/cm^2$

و منه : A = B = 7.5 سم

و سمك القاعدة يحسب من المعادلة التالية :

$$t = \sqrt{\frac{3P}{F_b}(A^2 - \frac{B^2}{4})}$$

$$t = \sqrt{\frac{3 \times 38.9}{1890}((7.5)^2 - \frac{(7.5)^2}{4})}$$

$$t = 1.614 \text{ سم}$$

لنأخذ سمك لوح القاعدة $t = ١٨$ مم

لنستعمل زاويتين 65 مم x 65 مم x 6 مم و ربط الشفتين إلى لوح القاعدة بـ 20 مم قطر مسامير كما هو مبين على الرسم.

٤. تصميم لوح القاعدة للأعمدة الفولاذية

عندما يرتكز العمود الفولاذي على قاعدة خرسانية، ركيزة، أو أساس فإنه يستخدم لوحاً فولاذياً مدلفناً لتوزيع أحمال العمود على الركيزة الخرسانية. السطح السفلي للعمود و سطح اللوح الفولاذي تحت العمود يجب إن يكونا مستويين بحيث إن الحمل المنقول إلى اللوح عن طريق الارتكاز المباشر. بالنسبة إلى الجانب السفلي للوح ليس شرطا إن يكون مستويا و لكن يستند على ملاط أسمنتي Cement Grout سمكه حوالي 1 بوصة (2.54 سم) أعلى الأساس.

و كما ذكرنا من قبل فإن ألواح القاعدة تستخدم لنقل القوى التي تتعرض لها الأعمدة عند قواعدها على القواعد الخرسانية للأساسات و لذا تستخدم هذه الألواح لنقل المؤثرات إلى العضو الحامل وتتعرض هذه الألواح إما لأحمال محورية أو أحمال غير محورية. يمكن تزويد الألواح بزوايا لربط العمود باللوح و يتم ذلك بواسطة مسامير تثبيت Anchor Bolt و كذلك اللوح بالقاعدة. يمكن الاستغناء عن الزوايا في حالة ما إذا كانت الألواح ملحومة بالعمود.

فمساحة اللوح المطلوبة تحسب من المعادلة التالية:

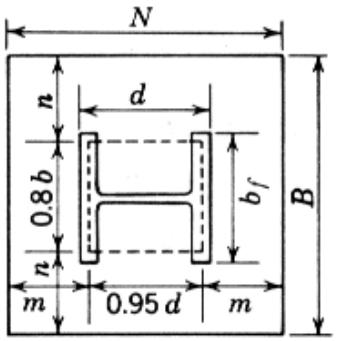
$$A = \frac{P}{f_b}$$

حيث إن:

P - حمل العمود (Column load)

f_b - إجهاد الارتكاز المسموح به للقاعدة الخرسانية

لنفرض إن إجهاد الارتكاز أسفل لوح القاعدة هو منتظم و إن حمل العمود يتم توزيعه بانتظام على مساحة المستطيل أعلى اللوح. أبعاد المستطيل المكافئ Equivalent Rectangle يكون مساويا 0.95 من ارتفاع مقطع العمود و 0.80 من عرض شفة العمود. فجزء الإسقاط للوح القاعدة بالنسبة للمستطيل المكافئ (الشكل٦،٤) يؤثر ككابول مقلوب مع عزم انحناء أكبر يحدث على الجانب حيث النتوء إما n أو m أكبر. هذه الطريقة ليست دقيقة للتحليل و لكن تعطي نتائج مرضية عمليا و هذا حسب المواصفات الأمريكية AISC.



الشكل ٦،٤ : أبعاد المستطيل المكافئ

ويتم اختيار مساحة لوح القاعدة حسب قدرة تحمل مادة الأساس و تقدر مقاومة الخرسانة المسلحة في الضغط بحوالي من 40 إلى 60 كجم/سم^2. بحيث إن المساحة هي: $A = N \times B$

N - طول لوح القاعدة (سم أو بوصة)

B- عرض لوح القاعدة (سم أو بوصة)

P - حمل العمود (نيوتن أو رطل)

b_f - عرض شفة العمود (سم أو بوصة)

F_p - إجهاد الارتكاز المسموح به للقاعدة الخرسانية (كجم/سم^2 أو p.s.i)

A - مساحة لوح القاعدة (سم^2 ، بوصة مربع)

f_P- إجهاد الارتكاز الحالي أسفل لوح القاعدة ($f_P = \frac{P}{N \cdot B}$)

t - سمك لوح القاعدة (سم أو بوصة)

F_b- إجهاد الليف الأقصى المسموح به للانحناء

مساحة اللوح $A = \frac{P}{F_b}$ ، و الأبعاد N و B يتم اختيارهما بحيث تعطي المساحة المطلوبة.

لنفرض شريط من اللوحة الفولاذية عرضه 1 بوصة فعزم الانحناء لهذا الشريط يوجد على جانب المستطيل المكافئ Equivalent Rectangle هو :

$$M = f_P\,(m)\,\frac{m}{2} = \frac{f_P\,m^2}{2}$$

$$M = f_P\,(n)\,\frac{n}{2} = \frac{f_P\,n^2}{2}$$

فإن معامل المقطع S Section Modulus هو :

$$S = \frac{M}{F_b} = f_P \cdot \frac{m^2}{2 \cdot F_b}$$

$$S = \frac{M}{F_b} = f_P \cdot \frac{n^2}{2 \cdot F_b}$$

و لكن معامل المقطع يساوي أيضا I/C

و عزم القصور بالنسبة إلى المستطيل الذي عرضه 1 بوصة و سمكه t_P بوصة هو :

$$I = \frac{1\,(t_P)^3}{12} = \frac{t_P}{12}$$

و قيمة C بالنسبة إلى المستطيل هي: $C = \frac{t_P}{2}$

و منه:

$$S = \frac{I}{C} = \frac{\frac{t_P^3}{12}}{\frac{t_P}{2}} = \frac{t_P^3}{12} . \frac{2}{t_P} = \frac{t_P^2}{6}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{M}{F_b} = \frac{t_P^2}{6} = \frac{f_P . m^2}{2 F_b}$$

$$S = \frac{I}{C} = \frac{t_P^2}{6} = \frac{f_P . n^2}{2 F_b}$$

$$t_P^2 = \frac{3 . f_P . n^2}{F_b} \quad \text{أو} \quad t_P^2 = \frac{3 . f_P . m^2}{F_b}$$

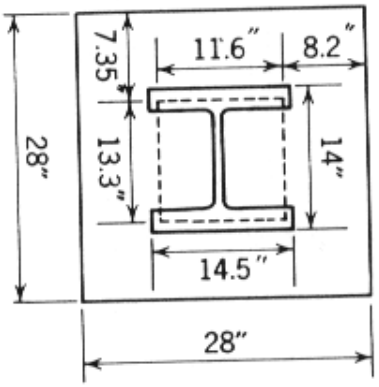
حسب المواصفات الأمريكية AISC فإن إجهاد الليف الأقصى بالنسبة إلى ألواح الركائز Bearing Plates إلى $F_b = F_y$ و منه :

$$t_P = \sqrt{\frac{3 . f_P . m^2}{F_y}} = \sqrt{3} . m \sqrt{\frac{f_P}{F_y}}$$

و حسب المواصفات الأمريكية AISC فإن : $t_P = 2 . m \sqrt{\frac{f_P}{F_y}}$ أو $t_P = 2 . n \sqrt{\frac{f_P}{F_y}}$

تطبيق 1:

صمم لوح القاعدة من الفولاذ المد لفن لعمود W 14 x 90 و ينقل حمل قدره 383000 lb (KN ١٧٠٣,٥) كما هو مبين على الشكل ٧,٤ ، مع العلم فإن إجهاد الارتكاز المسموح به للقاعدة الخرسانية هو
50 p.s.i. (٣٤٤,٧ KN/m^2) .



الشكل ٧,٤: لوح قاعدة لعمود

الحل :

مساحة لوح القاعدة تحسب عن طريق المعادلة التالية :

$$A = \frac{P}{F_P} = \frac{383000}{500} = 766 \text{ in.}^2 \ (\text{٠,٥٠ m}^2)$$

هذه المساحة تستلزم لوح مربع ضلعه 27.7 in. و نأخذ المقاسات 28 x 28 لمساحة لوح القاعدة.

إجهاد الارتكاز الحالي :

$$\mathbf{f_b} = \frac{P}{N.B} = \frac{383000}{(28)^2} = 489 \text{ p.s.i.} \ (\text{٣٣٧١,١٦ Kn/m}^2)$$

من خلال الشكل لدينا:

$d = 14.5$ in. (36.8 cm) ; $b_f = 14$ in.(35.5 cm) ;
$m = 8.2$ in.(20.8 cm) ; $n = 7.35$ in.(18.7 cm)

بما إن $m > n$ نأخذ قيم m لحساب سمك لوح القاعدة.

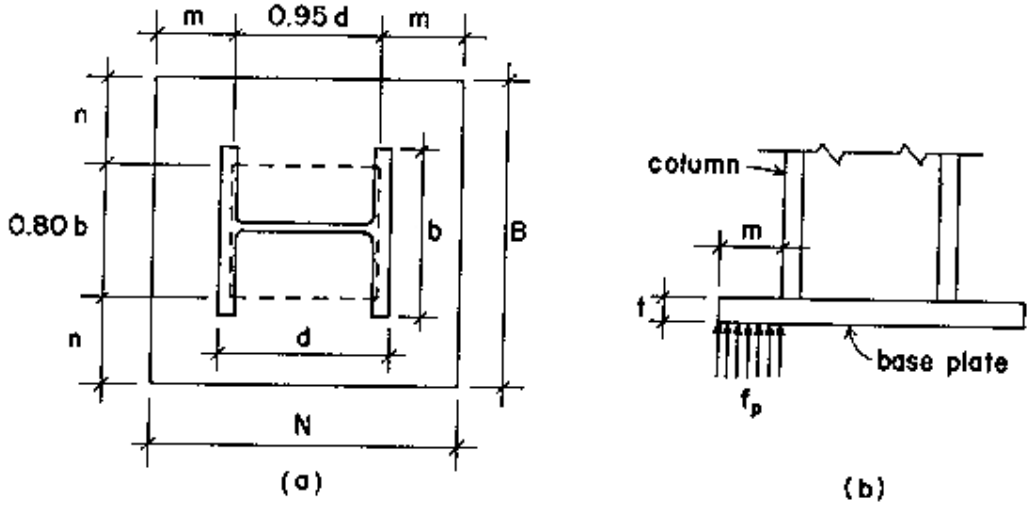
$$t_P = 2.m\sqrt{\frac{f_P}{F_y}} = 2.(8.2).\sqrt{\frac{489}{36000}} = 1.91\,in.(4.85\,cm)$$

لنحدد السمك بـ ٢ بوصة (٥ سم) فمقاسات الأبعاد النهائية للوح القاعدة تكون على النحو التالي:

٧١ سم x ٧١ سم x ٥ سم.

تطبيق 2:

صمم لوح القاعد من نوع الفولاذ A36 للعمود W 12 x 58 و المعرض لحمولة قدرها 250 Kips (١١١٢ Kn) . العمود يرتكز على قاعدة من الخرسانة المسلحة و الإجهاد المسموح به على هذه القاعدة الخرسانية يقدر بـ **1.8** ksi (١٢ Mpa) كما هو مبين على الشكل ٨,٤.



الشكل ٨,٤: لوح لقاعدة عمود

الحل:

ليكن ،

N - طول لوح القاعدة

B - عرض لوح القاعدة

t - سمك لوح القاعدة

m- مسافة طرف اللوح بالنسبة إلى المحور س كما هو مبين على الشكل.

n - مسافة طرف اللوح بالنسبة إلى المحور ص كما هو مبين على الشكل.

لنحسب مساحة المقطع للوح القاعدة و ليكن A :

$$A = P / Fp$$

$$A = 250 \text{ kips} / 1.8 \text{ ksi}$$

$$A = 138.9 \text{ in.}^2 \ (0.09 \text{ m}^2)$$

و من جهة آخرى، لنفرض إن مساحة مقطع لوح القاعدة مربع الشكل ، و بالتالي نحدد ضلع المربع بـ
N = B = 11.8 in.(٣٠ cm)
و منه أيضا يكون m=n.

من خلال الجداول الأعمدة نحصل عل مقاسات العمود، فنجد أن:

d - ارتفاع مقطع العمود يساوي ١٢,١٩ in.

b - عرض الشفة يساوي ١٠,٠١٤ in.

لنحسب قيمة m = n من خلال الشكل .

$$N = 2m + 0.95 \ d$$
$$2 \ m = N - 0.95 \ d = 11.8 - 0.95 \times 12.19$$
$$2 \ m = 11.8 - 11.58 = 0.22 \text{ in.}$$

و منه نجد قيمة $m = 0.11$ in.

لكن هذه القيمة غير مقبولة للتصميم لكونها لا تستوفي شروط تثبيت اللوح بالقاعدة ، و يجب على الأقل إن تساوي .m = 1.21 in لذا يستلزم تغيير مساحة اللوح طبقا للقيمة الأدنى لـ m.

$$N = 2m + 0.95\,d = 2 \times 1.21 + 0.95 \times 12.19$$

$$N = 2 \times 1.21 + 0.95 \times 12.19 = 2.42 + 11.58 = 14 \text{ in.}$$

لنفرض إن قيمة B هي .١٢ in

و منها نحسب قيمة n.

$$B = 2n + 0.80\,b$$
$$2n = B - 0.80\,b = 12 - 0.80 \times 10.014$$
$$2n = 3.99 \text{ in.}$$

$$n = 2 \text{ in.}$$

و منها نحسب الإجهاد الحالي : $f_P = \frac{250 \text{ kips}}{12 \times 14} = 1.49 \text{ k.s.i}$

و لحساب إجهاد عزوم الانحناء المسموح به:

$$F_b = 0.75\,F_Y = 0.75 \times 36 = 27 \text{ k.s.i}$$

و من المعادلتين التاليتين ، نحسب سمك لوح القاعدة:

$$t = \sqrt{\frac{3 . f_P . n^2}{F_b}} = \sqrt{\frac{3 . f_P . m^2}{F_b}}$$

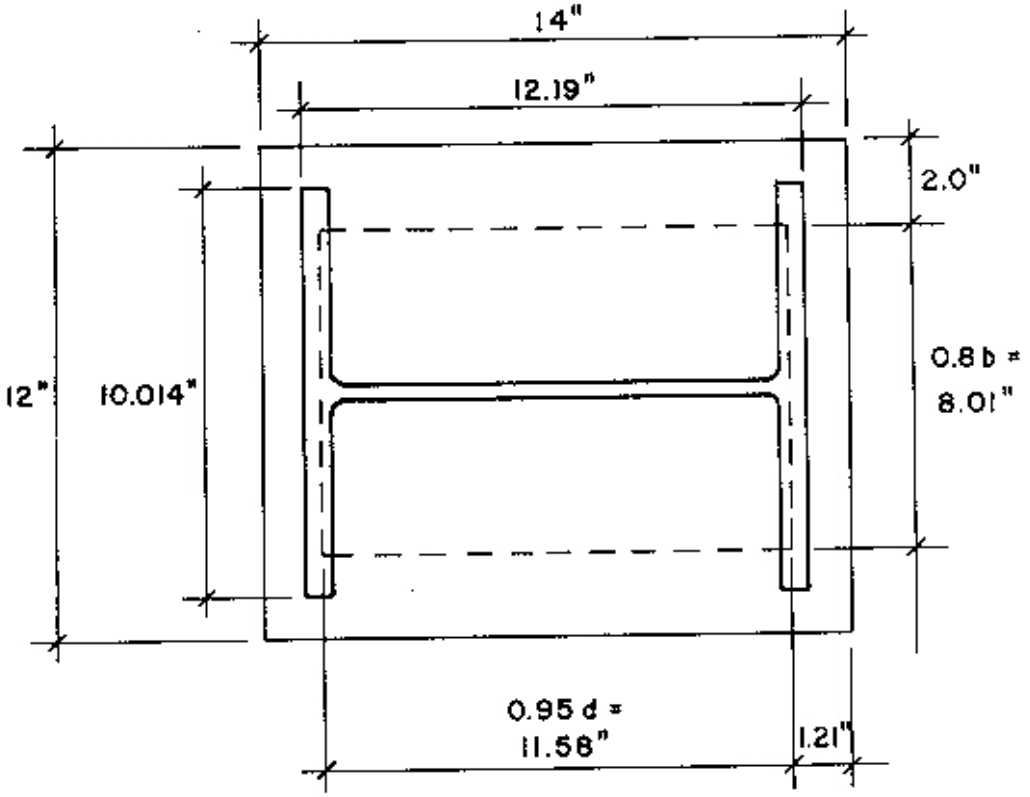
$$t = \sqrt{\frac{3 . f_P . m^2}{F_b}} = \sqrt{\frac{3 \times 1.49 \times 1.21^2}{27}} = 0.50 \text{ in.}$$

$$t = \sqrt{\frac{3 . f_P . m^2}{F_b}} = \sqrt{\frac{3 \ x 1.49 x \ 2^2}{27}} = 0.81 \text{ in.}$$

لتصميم اللوح و لاعتبارات إنشائية ، نأخذ القيمة الأخيرة كسمك للوح .

$t = 0.81$ in.

و أخيرا يكون تصميم اللوح النهائي كما هو مبين على الشكل ٩،٤ .



الشكل ٩،٤: التصميم النهائي للوح القاعدة.

تطبيق:

صمم لوح لكمرة صنف W 10 x 22 من الفولاذ نوع A 36 ، و التي تنقل قوة مقدارها lb ٢٤٠٠٠ إلى حائط من الطوب مزود بلوح قاعدة طوله .in ٨ كما هو مبين على الشكل ١٠,٤ و الضغط المسموح به على الحائط هو F_P =225 P.S.I .

الحل:

يمكن إيجاد مقطع اللوح بتقسيم رد فعل الكمرة على الضغط المسموح به:

$$A = \frac{R}{F_P} = \frac{24000}{225} = 107 \text{ in.}^2$$

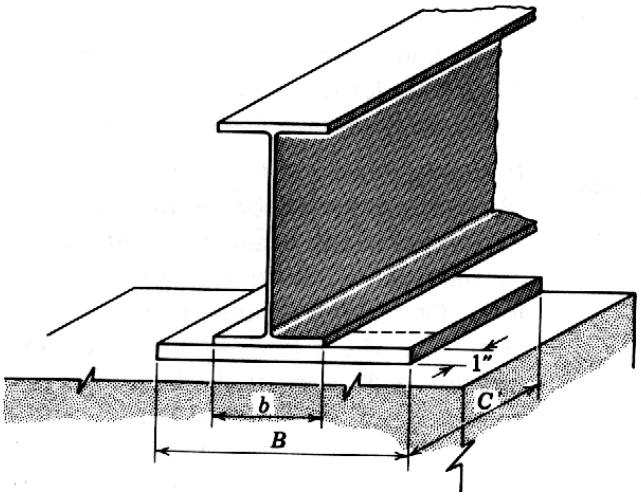
لنتخذ مقطع اللوح = ٨ x ١٣,٥ أي إن C = 8in. و B = 13.5 in.

و منه نحسب ضغط الركائز الحالي:

$$f_P = \frac{24000}{8 \times 13.5} = 222 \text{ P.S.I}$$

و من خلال جداول AISC فإن قيم K هي .in ٠,٧٥

و من خلال الشكل ١١,٤ يمكن حسا ب n :



الشكل ١٠,٤: لوح كمرة يرتكز على حائط من الطوب.

$$n = \frac{B}{2} - K = \frac{13.5}{2} - 0.75 = 6.0 \text{ in.}$$

لنفرض إن شريط اللوح هو .in ١ عرض ، فعزم الانحناء الأكبر (الشكل ١٢،٤) على المقطع:

$$M = \frac{f_b \cdot n^2}{2} = \frac{222 .(6.0)^2}{2} = 3996 \text{ in - lb}$$

لنحسب إجهاد الانحناء المسموح به:

$$F_b = 0.75\,(36) = 27 \text{ K.S.I}$$

و منه نحسب معامل المقطع:

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{4.0}{27} = 0.148 \text{ in.}^3$$

و لحساب السمك ، نحسب معامل المقطع على النحو التالي :

$$S = \frac{b\,t^3}{12\,c}$$

حيث إن:

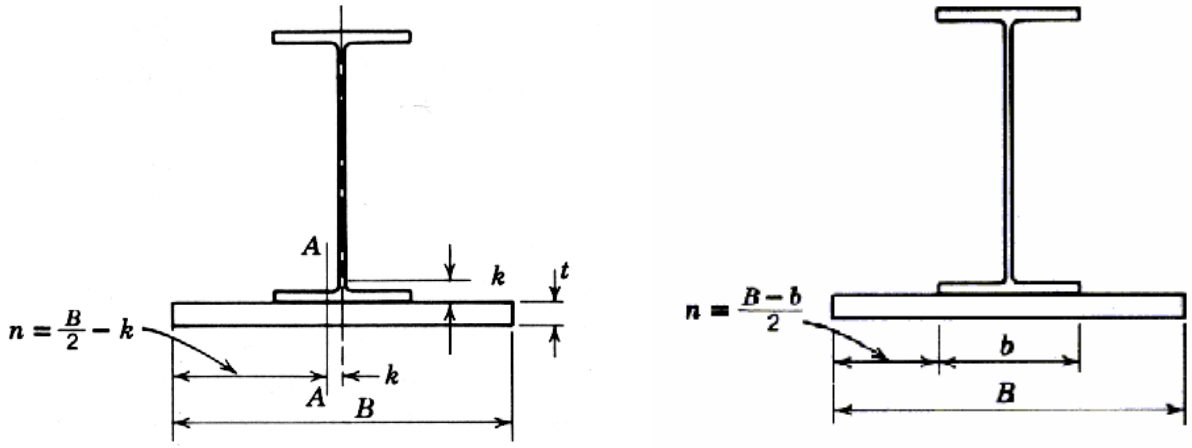
c - هو نصف المقطع ، ($C = \frac{t}{2}$)

t - سمك اللوح

و بتعويض قيمة C ، نجد معامل المقطع:

$$S = \frac{b\,t^3}{12\,\frac{t}{2}} = \frac{b\,t^3}{6\,t} = \frac{b\,t^2}{6}$$

و بافتراض إن عرض المقطع (b) يساوي.in ١ ، نحصل على قيمة t .

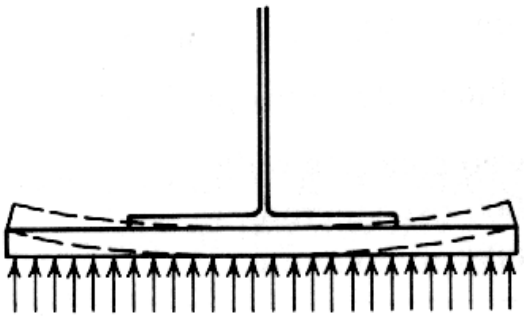


الشكل ١١,٤: مقاسات لوح الكمرة.

$$S = \frac{t^2}{6} \Rightarrow t = \sqrt{6.S} = \sqrt{6.(0.148)}$$

و منه نجد ، t = 0.94 in.

و بالتالي نحدد مقاسات اللوح كما يلي: 8 x 13.5 x 1 in.



الشكل ١٢,٤: عزم الانحناء للوحة الكمرة.

و يمكن حساب السمك t بطريقة آخرى باستخدام معادلات حسب المواصفات الأمريكية AISC و التي من خلالها نحصل على السمك t دون حساب عزوم الانحناء و معامل المقطع.

$$t = \sqrt{\frac{3 . f_b . n^2}{F_b}} = \sqrt{\frac{3\,(222).\,6^2}{27000}} = 0.94\ \text{in.}$$

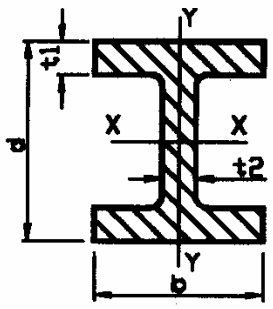
أي إن العلاقة بين المعادلة الحالية و المعادلة السابقة هي:

$$\sqrt{6.S} = \sqrt{\frac{3 . f_b . n^2}{F_b}}$$

و يمكن القول إنه عندما ترتكز الكمرات الثقيلة على حوائط غير سميكة فإن B تكون أكبر.

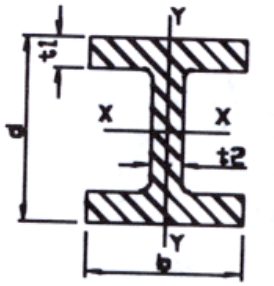
خواص قضبان الفولاذ العيارية

W Shape (Wide flange shapes)



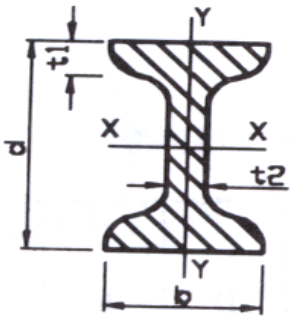
Designation	d mm	b mm	t_1 mm	t_2 mm	Ix 10^6 mm^4	Sx 10^3 mm^3	Iy 10^6 mm^4	Sy 10^3 mm^3
W920 x 446	٩٣٣	٤٢٣	٤٢,٧	٢٤,٠	٨٤٥٠	١٨١١٠	٥٤١	٢٥٦٠
W920 x 201	٩٠٣	٣٠٤	٢٠,١	١٥,٢	٣٢٥٠	٧٢٠٠	٩٣,٧	٦١٦
W840 x 299	855	400	٢٩,٢	١٨,٢	٤٧٩٠	١١٢٠٠	٣١٢	٩٠,٤
W840 x 176	835	٢٩٢	١٨,٨	١٤,٠	٢٤٦٠	٥٨٩٠	٧٧,٨	٥٨,٩
W760 x 257	773	381	٢٧,١	١٦,٦	٣٤١٠	٨٨٢٠	٢٤٩	٨٧,١
W690 x 217	٦٩٥	٣٥٥	٢٤,٨	١٥,٤	٢٣٤٠	٦٧٩٠	١٨٤,٤	٨١,٥
W610 x 155	611	324	١٩,٠	١٢,٧	١٢٩٠	٤٢٢٠	١٠٧,٨	٧٣,٩
W530 x 150	543	312	20.3	١٢,٧	١٠٠٧	٣٧١٠	١٠٣,٢	٧٣,٤
W460 x 158	476	284	23.9	15.0	795	٣٣٤٠	٩١,٦	٦٧,٦
W410 x 114	420	261	19.3	11.6	462	2200	57.4	٦٢,٧
W360 x 551	٤٥٥	٤١٨	٦٧,٦	٤٢,٠	٢٢٦٠	٩٩٣٠	٨٢٨	١٠٨
W360 x 39	٣٥٣	١٢٨	١٠,٧	٦,٥	١٠٢,٠	٥٧٨	٣,٧١	٢٧,٤

W Shape (Wide flange shapes)



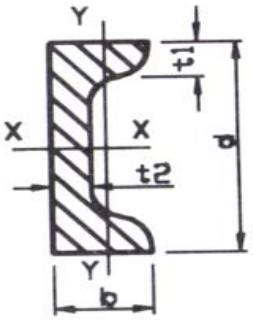
Designation	d mm	b mm	t_1 mm	t_2 mm	Ix 10^6 mm^4	Sx 10^3 mm^3	Iy 10^6 mm^4	Sy 10^3 mm^3
W310 x 143ˇ	323	309	22.9	14.0	347	٢١٥٠	١١٢,٤	728
W310 x 60	303	203	١٣,١	٧,٥	١٢٩	٨٥١	١٨,٣٦	180
W310 x 23.8ˇ	305	101	6.7	5.6	42.9	281	1.174	23.2
W250 x 167ˇ	289	265	31.8	19.2	298	2060	98.2	741
W250 x 58ˇ	252	203	13.5	8.0	87	690	18.73	184.5
W200 x 86ˇ	222	209	20.6	13.0	94.9	855	31.3	300
W200 x 52	206	204	12.6	7.9	52.9	514	17.73	173.8
W200 x 35.9	201	165	10.2	6.2	34.5	343	7.62	92.4
W150 x 37.1	162	154	11.6	8.1	22.2	274	7.12	92.5
W130 x 28.1	131	128	10.9	6.9	10.91	166.6	3.8	59.4
W130 x 23.8	127	127	9.1	6.1	8.87	139.7	3.13	49.3
W100 x 19.3	106	103	8.8	7.1	4.7	88.7	1.607	31.2

S Shapes (American Standard Shapes)



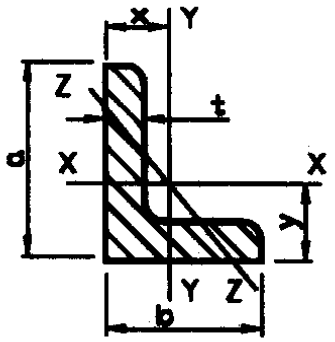
Designation	d mm	b mm	t_1 mm	t_2 mm	Ix 10^6 mm^4	Sx 10^3 mm^3	Iy 10^6 mm^4	Sy 10^3 mm^3
S610 x 149	610	184	22.1	19.0	995	3260	19.9	216
S610 x 134	610	181	22.1	15.8	937	3070	١٨,٦٩	٢٠٧
S510 x 141	508	183	23.3	20.3	670	2640	20.69	226
S510 x 112	508	162	20.1	16.3	533	2100	12.32	172.1
S460 x 104	٤٥٧	159	17.6	18.1	385	1685	10.03	126.2
S380 x 74	381	١٤٣	15.8	14	202	1060	6.53	91.3
S310 x 74	305	١٣٩	16.8	17.4	127	833	٦,٥٣	٩٤
S250 x 52	254	126	12.5	15.1	61.5	482	3.48	55.2
S200 x 34	203	106	10.8	١١,٢	27	266	1.794	33.8
S180 x 30	178	97	10	11.4	17.65	198.3	١,٣١٩	٢٧,٢
S130 x 22	127	83	8.3	12.5	6.33	99.7	0.695	16.75
S100 x 14.1	102	70	7.4	8.3	2.83	55.5	0.376	10.74
S 75 x 11.2	76	63	6.6	8.9	1.22	32.1	0.244	٧,٧٥

C Shapes (American Standard Channels)



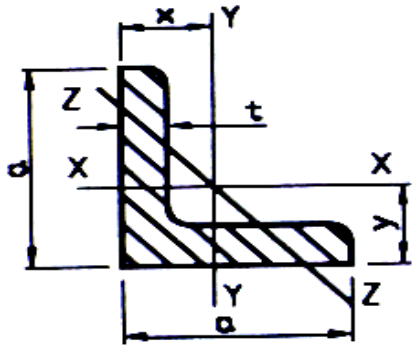
Designation	d mm	b mm	t_1 mm	t_2 mm	Ix 10^6 mm^4	Sx 10^3 mm^3	Iy 10^6 mm^4	Sy 10^3 mm^3
C389 x 74′	381	94	16.5	18.2	188.2	883	4.58	62.1
C389 x 60	381	89	16.5	13.2	145.3	763	3.84	55.5
C310 x 45′	305	80	12.7	13	67.7	442	2.14	34
C250 x 45′	254	76	11.1	17.1	42.9	338	1.64	27.6
C230 x 30′	229	67	10.5	11.4	25.4	222	1.01	19.29
C230 x 22′	229	63	10.5	7.2	21.4	185	0.80	16.69
C200 x 27.9	203	64	9.9	12.4	18.31	180	0.82	16.6
C180 x 22	178	58	9.3	10.6	11.32	127	0.57	12.9
C150 x 19.3	152	54	8.7	11.1	7.24	95.3	0.44	10.67
C130 x 13.4	127	47	8.1	8.3	3.7	58.3	0.26	7.54
C100 x 10.8	102	43	7.5	8.2	1.911	37.5	0.18	5.74
C75 x 8.9	76	40	6.9	9.0	0.862	22.7	0.13	4.47

Angles (Equal Legs)



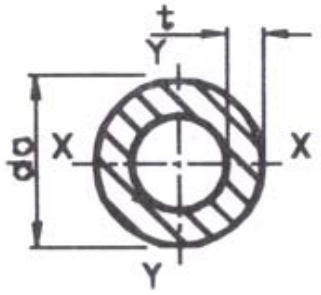
Designation	Mass per Meter Kg / m	Area mm^2	I 10^6 mm^4	S_x 10^3 mm^3	x or y mm
L 203 x 203 x 25.4	٧٥,٩	٩٦٨٠	٣٧	٢٥٩	٦٠,٢
L 203 x 203 x 19.0	57.9	7360	29	200	٥٧,٩
L 152 x 152 x 25.4	55.7	7100	14.78	140.4	47.2
L 152 x 152 x 15.9	36	4590	11.74	92.8	43.9
L 127 x 127 x 9.0	35.1	4480	6.53	74.2	38.6
L 127 x 127 x 12.7	24.1	3070	4.7	51.8	36.3
L 102 x 102 x 19.0	27.5	3510	3.19	46	32.3
L 102 x 102 x 6.4	9.8	1252	1.265	17.21	27.7
L 89 x 89 x 12.7	16.5	2100	1.515	24.4	26.9
L 76 x 76 x 12.7	14	1774	0.924	17.53	23.7
L 64 x 64 x 12.7	11.4	1452	0.512	11.86	20.5
L 51 x 51 x 9.5	7	877	0.1994	5.75	16.15

Angles (Unequal Legs)



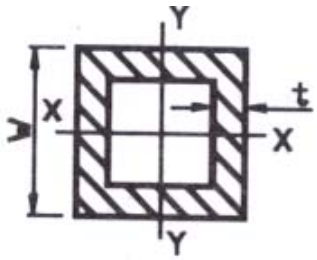
Designation	I_x 10^6 mm^4	S_x 10^3 mm^3	y mm	I_y 10^6 mm^3	S_y 10^3 mm^3	x mm
L 203 x 150 x 25.4	٣٣,٦	٢٤٧	٦٧,٣	١٦,١٥	١٤٦,٢	٤١,٩
L 203 x 150 x 19.0	٢٦,٤	١٩٢	٦٥,٠	١٢,٧	١١٣,٤	٣٩,٦
L 152 x 102 x 19.0	10.2	102.4	52.8	3.61	48.7	27.4
L 152 x 102 x 9.5	5.62	54.4	49.3	2.04	26.2	23.9
L 127 x 76 x 12.7	3.93	47.7	44.5	1.074	18.85	19.0
L 127 x 76 x 6.4	2.13	25.1	42.2	0.599	10.06	16.7
L 102 x 76 x 12.7	2.1	31	33.8	1.007	18.35	21.0
L 102 x 76 x 6.4	1.15	16.36	31.5	0.566	9.82	18.7
L 89 x 76 x 12.7	1.35	23.1	30.5	0.566	12.45	17.9
L 89 x 76 x 9.5	1.06	17.86	29.5	0.454	9.7	١٦,٨
L 64 x 51 x 9.5	0.38	8.96	21.1	0.214	5.95	14.8
L 64 x 51 x 6.4	0.27	6.24	20.0	0.1548	4.16	13.4

Round Tubing



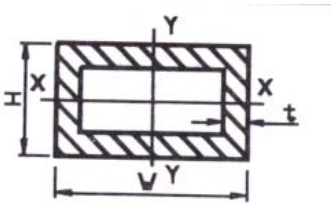
Size and Thickness mm	Mass per Meter Kg / m	Area mm^2	I 10^6 mm^4	S_x 10^3 mm^3
12 x 2	٠,٤٩	٠,٦٢٨	٠,٠٨٢	٠,١٣٦
16 x 2	0.687	0.879	0.22	0.275
16 x 3	0.956	١,٢٥٥	٠,٢٧٣	٠,٣٤١
20 x 4	1.569	2.01	0.684	0.684
25 x 4	2.06	2.638	1.508	1.206
25 x 5	2.452	3.14	١,٦٦٠	١,٣٣٦
30 x 5	٣,٠٦٥	٣,٩٢٥	٣,١٩٢	٢,١٢٨
42 x 5	٤,٥٣٦	٥,٨٠٩	١٠,١٣	٤,٨٢٥
50 x 4	٤,٥١٢	٥,٧٧٨	١٥,٤٠٩	٦,١٦٤
50 x 5	٥,٥١٧	٧,٠٦٥	١٨,١١٨	٧,٢٤٧

Square Tubing



Square Side mm	**Mass per Meter** Kg / m	**Thickness** mm
٢٠	٠,٨٧	١,٥
٢٥	١,١١	١,٥
	١,١١	١,٥
٣٠	١,٣٤	١,٥
	١,٧٦	٢,٠
٣٥	٢,٠٧	٢,٠
٤٠	١,٨٠	١,٥
	٢,٣٩	٢,٠
٤٥	٢,١٢	١,٥
٥٠	٣,٠٢	٢,٠
	٣,٧٣	٢,٥
٦٠	٣,٦٤	٢,٠
٧٠	٦,٣٢	٣,٠
٨٠	٧,٢٦	٣,٠

Rectangular Tubing



Width , W mm	Mass per Meter Kg / m	Height, H mm	Thickness mm
٢٠	٠,٦٧	١٠	١,٥
٢٥	٠,٨٧	١٥	١,٥
٣٠	٠,٨٧	١٠	١,٥
	١,١١	٢٠	١,٥
	١,٤٥	٢٠	٢,٠
٤٠	١,٣٨	٢٠	١,٥
	١,٧٦	٢٠	٢,٠
	١,٥٨	٣٠	١,٥
	٢,٠٧	٣٠	٢,٠
٤٥	٢,٠٦	٢٥	٢,٠
٥٠	٢,٠٧	٢٠	٢,٠
	٢,٢٥	٢٥	٢,٠
	٢,٣٩	٣٠	٢,٠
٦٠	٣,٠٢	٤٠	٢,٠

1. Stanley, W. Crawley & Robert, M. Dillon (1993), Steel Buildings, Analysis and Design, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc.

2. Vazirani, V. N. & Ratwani, M. M. (1984), Steel Structures, Analysis. Design and Deatails of Structures, Vol. III, Khanna Publishers, Delhi.

3. Edwin, H. Gaylord, Jr. , Charles, N. Gaylord & James, E. Stallmeyer (1992), Design of Steel Structures, 3rd Edition, McGraw-Hill, Inc.

4. Russell C. Hibbeler (1995), Structural Analysis, 3rd Edition, Prentice Hall International, Inc.

5. Robert Englekirk (1994), Steel Structures, Controlling Behavior Through Design, John Wiley & Sons, Inc.

٦. محمود حسن متولّي (١٩٨٦)، المنشآت المعدنية ، شركة منشورات دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان.

٧. حسام محمَّد غانم (١٩٨٧)، تصميم المنشآت المعدنية، شركة منشورات دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان.

٨. محمود صالح زعموط (٢٠٠١)، المرجع في الرسم الهندسي، دار الشرق للنشر و التوزيع، عمإن: الأردن.

الصفحة

مقدمة

الفصل الأول: الإنشاءات المعدنية

مقدمة ٢
مجلات استعمال الفولاذ في الإنشاءات ٢
التحليل و التصميم الإنشائي ٥
٤. النظام الدولي للوحدات ٦
٥. مميزات المنشآت الفولاذية ٧
عيوب استعمال الفولاذ في الإنشاءات ٨
٧. عيوب استعمال الفولاذ في الإنشاءات ٨
٨. أنواع فولاذ الإنشاء ٨
٩ . القطاعات الإنشائية ١٤
١٠. الخواص الميكانيكية للصلب ١٨

الفصل الثاني : مبادئ في التصميم الإنشائي للعناصر الفولاذية المختلفة

١. مقدمة ٢٤
٢. الأحمال ٢٤
٣. عامل الأمان ، عامل التحميل، و عامل المقاومة ٢٨
٤. تصميم مقاطع العناصر المحملة مركزيا و لا مركزيا ٢٩
٥. أعضاء الشد ٣١
٦. أعضاء الضغط ٣٤
٧. عزوم الانحناء ٤٠
٨. العناصر المعرضة للانحناء حول محورين ٤٥
٩. العناصر المعرضة لحمل محوري و عزم انحناء ٤٩
١٠. العناصر المعرضة لحمل محوري و عزوم انحناء ٥٠
١١. العناصر المعرضة لإجهاد القص ٥١
١٢. تصميم العناصر المعرضة لقوى محورية و قوى قص و عزوم انحناء ٥٥

الفصل الثالث : أنواع الوصـلات الـبـراغي و اللـحام

مقدمة ٥٧
مسامير البرشام ٥٨
٢ -١ أنواع وصلات المسامير المبرشمة ٥٩
٢ -٢ نوعية ثقوب الألواح (أو الأضلاع) المراد ربطها ٦٠
٢ -٣ مقاومة المسمار للشد ٦٢
٢ -٤ مقاومة القص في المسمار ٦٥
٢ -٥ الانهيار للمسمار بواسطة التحميل ٦٩
3. الوصلات الملحومة ٧٠
٣ -١ عملية اللحام ٧٠
٣ -٢ مزايا اللحام ٧١
٣ -٣ عيوب اللحام ٧٢
٣ -٤ أنواع اللحام ٧٢
٣ -٥ الاجهاد المسموح بها في اللحام ٧٦
٤. الوصلات المسمارية (المفصلية) ٧٨
٥. الوصلات المشدودة ببراغي (مسمار القلاووظ) ٧٩

الفصل الرابع : أنواع الوصـلات الـبـراغي و اللـحام

١. مقدمة ٨٢
٢. قطاعات الأعمدة ٨٣
١,٢. قطاعات مفردة ٨٤
٢,٢. قطاعات مركبة ٨٤
٣. أنواع القواعد ٨٦
١,٣. لوح قاعدة عمود بدون ألواح تقوية ٨٧
٢,٣. لوح قاعدة بألواح تقوية ٩٠
٣,٣. تصميم ألواح القواعد ٩٠
٤,٣. تصميم كتيفة الزاوية الحديدية ٩١
٥,٣. تصميم لوح القاعدة ٩٢

٦,٣. تصميم ألواح القواعد المعرضة إلى أحمال غير محورية ٩٢
٤. تصميم لوح القاعدة للأعمدة الفولاذية ٩٤
الملحق ١٠٧
المراجع ١١٦

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS