الجمهورية العربية السورية
نقابة المهندسين

الكود العربي السوري

لتصميم المنشات الفولاذية وتنفيذها

لتصميم المباني العالية وتنفيذها

الطبعة الأولى - دمشق
2020

الجمهورية العربية السورية

نقابة المهندسين

الكود العربيّ السوريّ
لتصميم المنشآت الفولاذيّة وتنفيذها

الطبعة الأولى

دمشق (٢٠٢٠م)

مقدمة الطبعة الأولى

بعدَ صدور الكود العربيّ السوريّ لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلّحة في الجمهوريّة العربيّة السوريّة، وصدور ملاحقة المختلفة بطبعاتها المتعدّدة، توجّه الزملاء اعضاء لجنة تطوير الكود؛ مشكورين، إلى إعداد الطبعة الأولى من الكود العربيّ السوريّ الخاصّ بالمنشآت الفولاذيّة؛ لا سيّما بعد أن أصبح استعمال هذه المنشآت شائعاً في الصالات والمستودعات والجسور، وغيرها. وقد كان الاعتماد في إعداد القسم الأوّل من هذا الكود على الكود الأوروبيّ للمنشآت الفولاذيّة (**EC3**).

وقد أسهم في إنجاز القسّم الأوّل من هذا الكود الزملاء:

د. م. محمد كرامة بدورة	**رئيساً**	د .م. احمد الغفري	**مدققاً لغوياً**
د. م. أحمد الحسن	عضواً	د. م. عمار عنبى	عضواً
د. م. محمد نزيه إيلوش	عضواً	د. م. ماهر السراج	عضواً
د. م. محمد السمارة	عضواً	د. م. عبد الاله زعرور	عضواً
د. م. نادر نبيل أنيس	عضواً	د. م. علاء الدين ناصر	عضواً
د. م. وهيب زين الدين	عضواً	د. م. غياث حلاق	عضواً
م. محمد سمير بنى المرجة	عضواً		

وتلبية للطلب الملحّ من بعض الزملاء؛ بإدراج الكود البريطانيّ إلى جانب الكود الأوربيّ؛ نظراً لاعتمادهم عليه في التصميم سنوات طويلة، فقد تمّ اعتماد قسم ثانٍ للكود مأخوذ من الكود البريطانيّ: **(BS 5950 : 2000)**.

ويُمكن للمهندس المصمم العمل والتصميم بأحدهما، على أن يقوم بالاعتماد على أحد الكودين فقط الموجودين في قسمين، القسم الأول (المعتمد على الكود الأوروبي) أو القسم الثاني (المعتمد على الكود البريطاني) ولا يجوز المزج بينهما.

وقد ساهم في إنجاز القسم الثاني من هذا الكود الزملاء:

د. م. محمد كرامة بدورة	**رئيساً**	م. غسان كامل ونوس	**مدققاً لغوياً**
د. م. أحمد الحسن	عضواً	د. م. عمار عنبى	عضواً
د. م. محمد نزيه إيلوش	عضواً	م. محمد سمير بنى المرجة	عضواً
د. م. محمد السمارة	عضواً	د. م. علاء الدين ناصر	عضواً
د. م. نادر نبيل أنيس	عضواً	د. م. غياث حلاق	عضواً

وقامت لجنة الكود مكتملةً بمراجعته وإكماله، وهي المكونة من:

د. م. محمد كرامة بدورة	رئيساً	أ. م. غسّان كامل ونّوس	مدقّقاً لغويّاً
د. م. أحمد الحسن	عضواً	د. م. محمد نزيه اليافي	عضواً
د. م. نادر نبيل أنيس	عضواً	د. م. علاء الدين ناصر	عضواً
د. م. محمد نزيه أيلوش	عضواً	د. م. عمار كعدان	عضواً
د. م. هالة حسن	عضواً	د. م. محمد سمارة	عضواً
د. م. محمد فريز عابدين	عضواً	د. م. ميادة كوسا	عضواً
د. م. إبراهيم عطية	عضواً	د. م. غياث حلاق	عضواً
د. م. عصام ملحم	عضواً	د. م. نبيل عدس	عضواً
م. سمير بني مرجة	عضواً	د. م. بسام حويجة	عضواً
م. عماد درويش	عضواً	م. محمد عيد دياب	عضواً
م. محمد أيمن الحافظ	عضواً	م. بسام أبو النعاج	عضواً
الجيولوجي د. رضا السبيناتي	عضواً	م. حلمي السكري	عضواً

وإذ نشكر الزملاء أعضاء لجنة الكود على ما بذلوه من جهد في إعداد هذا الكود، فإننا نشكر أيضا جميع الزملاء الذين ساهموا مع اللجنة بالحوارات وبالمناقشات او الإضافات.

ويجدر التنويه إلى أنّ هذا الكود جزء لا يتجزّأ من الكود العربيّ السوريّ لتصميم وتنفيذ المنشآت، ويلزم تطبيقه في تصميم المنشآت الفولاذيّة وتنفيذها؛ وفقاً لبلاغ السيّد رئيس مجلس الوزراء الصادر في الشهر التاسع (٢٠١٧م) والواردة نسخة منه في الكود الأساس.

ونتمنّى أخيرا لجميع الزملاء مزيداً من التقدّم في إنجازاتهم الهندسيّة، على جميع الصعد التصميميّة والتنفيذيّة، وفي جميع القطاعات العامّة والخاصّة.

***

دمشق في: (٢٠١٩/٨/٢١م)

نقيب المهندسين

المهندس: غياث القطيني

جدول محتويات القسم الأول (بالاعتماد على الكود الأوروبي EC3)

الباب والفصل والبند والفقرة	العنوان	رقم الصفحة
الباب الأول	المجال والتطبيق والغاية	٣٩
١-١	مجال الكود وتطبيقاته	٣٩
١-٢	أغراض الكود	٣٩
١-٣	طرائق الحساب	٣٩
الباب الثاني	المصطلحات	٤١
الباب الثالث	الوحدات والرموز	
٣-١	الوحدات	٤٨
٣-٢	الرموز والدلالات	٤٨
٣-٢-١	رموز تتعلق بالمقاطع	٤٨
٣-٢-٢	رموز تتعلق بالإجهادات، والانفعالات، والانتقالات	٤٩
٣-٢-٣	دلالات وتسمية عناصر المقاطع المعدنية	٥٠
الباب الرابع	خواص المواد	٥١
٤-١	عموميات	٥١
٤-٢	المنشآت المعدنية	٥١
٤-٢-١	مواصفات مواد	٥١
٤-٢-٢	المطاوعة المطلوبة	٥١
٤-٢-٣	مقاومة التشقق	٥١
٤-٢-٤	التسامح في الأبعاد	٥٢
٤-٢-٥	الخواص الميكانيكية التصميمية للفولاذ	٥٢
٤-٣	أدوات الوصل	٥٣
٤-٣-١	عموميات	٥٣
٤-٣-٢	البراغي والصمن والحلقات (الروانديلات)	٥٣
٤-٣-٢-١	عموميات	٥٣

٤-٣-٢-٢	براغي مسبقة الإجهاد	٥٣
٤-٣-٣	أصناف أخرى من أدوات الوصل مسبق الإجهاد	٥٤
٤-٣-٤	أدوات الوصل باللحام	٥٤
الباب الخامس	**تحديد الأمان**	٥٥
٥-١	المتطلبات الأساسية	٥٥
٥-٢	تعريفات	٥٥
٥-٢-١	الحالات الحدية وحالات التصميم	٥٥
٥-٢-١-١	الحالات الحدية	٥٥
٥-٢-١-٢	حالات التصميم	٥٦
٥-٢-٢	الأفعال	٥٦
٥-٢-٢-١	التعريف والتصنيف الرئيسي للأفعال	٥٦
٥-٢-٢-٢	القيم المميزة للأفعال	٥٧
٥-٢-٢-٣	القيم الممثلة للأفعال المتغيرة	٥٧
٥-٢-٢-٤	القيم التصميمية للأفعال	٥٧
٥-٢-٢-٥	القيم التصميمية لتأثيرات الأفعال	٥٨
٥-٢-٣	خصائص المادة	٥٩
٥-٢-٣-١	القيم المميزة	٥٩
٥-٢-٣-٢	القيم التصميمية	٥٩
٥-٢-٤	الأبعاد الهندسية	٦٠
٥-٢-٥	وضعيات الحمولة وحالات الحمولة	٦٠
٥-٣	متطلبات التصميم	٦٠
٥-٣-١	عموميات	٦٠
٥-٣-٢	الحالات الحدية القصوى	٦٠
٥-٣-٢-١	شروط التحقق	٦٠
٥-٣-٢-٢	تراكيب الأفعال	٦١
٥-٣-٢-٣	القيم التصميمية للأفعال الدائمة	٦٢
٥-٣-٢-٤	التحقق من التوازن الساكن	٦٣
٥-٣-٣	عوامل الأمان الجزئية للحالات الحدية القصوى	٦٣
٥-٣-٣-١	عوامل الأمان الجزئية للأفعال على منشآت المباني	٦٣

٥-٣-٣-٢	عوامل الأمان الجزئية للمقاومات	٦٤
٥-٣-٤	حالات حدود الاستثمار	٦٥
٥-٤	الديمومة	٦٥
٥-٥	مقاومة الحريق	٦٦
الباب السادس	**اشتراطات الحساب والتصميم**	٦٧
٦-١	اشتراطات التحليل الانشائي	٦٧
٦-٢	تأثير العيوب والتشوهات الأولية على المنشأة	٦٧
٦-٣	استقرار الإطارات	٦٩
٦-٤	العيوب (التشوهات الأولية)	٧٠
٦-٥	طرائق التحليل المعتمدة على لا خطيه المادة	٧١
٦-٥-١	عموميات	٧١
٦-٥-٢	التحليل المرن	٧٢
٦-٥-٣	التحليل اللدن	٧٢
٦-٦	تصنيف المقاطع العرضية	٧٤
الباب السابع	**طريقة حالات الحدود**	٨١
٧-١	عموميات	٨١
٧-٢	حساب مقاومات العناصر	٨١
٧-٣	خصائص المقطع	٨٢
٧-٣-١	المساحة الاجمالية للمقطع العرضي	٨٢
٧-٣-٢	المساحة الصافية	٨٢
٧-٣-٣	الخصائص الفعلية للمقاطع بجسد مصنف 3 وأجنحة مصنفة 1و2	٨٣
٧-٣-٤	الخصائص الفعلية للمقاطع العرضية من الصنف 4	٨٤
٧-٤	تصميم العناصر المشدودة	٨٤
٧-٥	تصميم العناصر المضغوطة	٨٥
٧-٦	تصميم العناصر المنعطفة	٨٥
٧-٧	تصميم العناصر على القص	٨٦

٧-٨	تصميم العناصر على الفتل	٨٧
٧-٩	تصميم العناصر لمقاومة الانعطاف والقص	٨٩
٧-١٠	العناصر المعرضة للانعطاف والقوة المحورية	٩٠
٧-١٠-١	المقاطع من الصنفين 1 و2	٩٠
٧-١٠-٢	المقاطع من الصنف 3	٩١
٧-١٠-٣	المقاطع من الصنف ٤	٩١
٧-١١	العناصر المعرضة لعزم انعطاف ولقوة قص ولقوة محورية	٩٢
٧-١٢	مقاومة التحنيب للعناصر	٩٢
٧-١٢-١	مقاومة التحنيب للعناصر الثابتة المقطع والمعرضة للضغط	٩٢
٧-١٢-٢	منحنيات التحنيب	٩٣
٧-١٢-٣	معامل النحافة للتحنيب الناتج عن ضغط الانعطاف	٩٣
٧-١٢-٤	معامل النحافة للتحنيب الناتج عن الفتل وتحنيب الفتل والانعطاف	٩٤
٧-١٣	تحنيب العناصر ذات المقطع الثابت والمعرضة لعزوم انعطاف	٩٥
٧-١٣-١	مقاومة التحنيب	٩٥
٧-١٣-٢	منحنيات التحنيب الجانبي الفتلي– الحالة العامة	٩٥
٧-١٣-٣	منحنيات التحنيب الجانبي الفتلي للمقاطع المُدرفله ومثيلاتها الملحومة (المشكلة)	٩٧
٧-١٣-٤	طرائق مبسطة للجوائز المقيدة جانبياً في المباني	٩٩
٧-١٤	العناصر المعرضة للانعطاف وللضغط المحوري	١٠٠
٧-١٥	الطريقة العامة للتحنيب الجانبي والجانبي الفتلي (التحنيب الدوراني) في المنشآت	١٠١
الباب الثامن	**الوصلات المعدنية تحت تأثير الحمولات الساكنة (الستاتيكية)**	١٠٩
٨-١	أساسيات	١٠٩
٨-١-١	عموميات	١٠٩
٨-١-٢	القوى المؤثرة على المقطع	١٠٩
٨-١-٣	حساب مقدرة تحمل الوصلات	١١٠
٨-١-٤	افتراضات التصميم	١١٠
٨-١-٥	التصنيع والتركيب	١١٠

٨-٢	الوصلات	١١١
٨-٣	الوصلات المجهدة بالقص المعرضة لحمولات الاهتزاز والحمولات المتناوبة	١١١
٨-٤	تصنيف الوصلات	١١١
٨-٤-١	عموميات	١١١
٨-٤-٢	تصنيف الوصلات حسب قابلية التشوه –صلابتها–	١١٢
٨-٤-٢-١	الوصلات المفصلية	١١٢
٨-٤-٢-٢	الوصلات غير القابلة للتشوه (الوصلات الصلبة)	١١٢
٨-٤-٢-٣	الوصلات القابلة للتشوه (الشبه صلبة)	١١٢
٨-٤-٣	تصنيف الوصلات حسب المقاومة	١١٢
٨-٤-٣-١	الوصلات المفصلية	١١٢
٨-٤-٣-٢	الوصلات ذات قدرة التحمل الكاملة	١١٣
٨-٤-٣-٣	الوصلات ذات قدرة التحمل الجزئية	١١٣
٨-٥	وصلات البراغي	١١٣
٨-٥-١	تباعد ثقوب البراغي عن بعضها وعن أطراف الصفائح	١١٣
٨-٥-١-١	أساسيات	١١٣
٨-٥-١-٢	الحدود الدنيا للتباعد الطرفي في اتجاه القوة	١١٣
٨-٥-١-٣	الحدود الدنيا للتباعد الطرفي في اتجاه عمودي على القوة	١١٤
٨-٥-١-٤	الحدود العليا للتباعد الطرفي في اتجاه القوة واتجاه عمودي عليه	١١٤
٨-٥-١-٥	الحد الأدنى للتباعد بين الثقوب	١١٤
٨-٥-١-٦	الحد الأقصى للتباعد بين الثقوب في العنصر الإنشائي المضغوط	١١٥
٨-٥-١-٧	الحد الأقصى للتباعد بين الثقوب في العنصر الإنشائي المشدود	١١٥
٨-٥-١-٨	الثقب الطولي	١١٦
٨-٥-٢	ضعف المقطع العرضي من خلال ثقوب البراغي	١١٦
٨-٥-٢-١	عموميات	١١٦
٨-٥-٢-٢	الانهيار بسبب انكسار القص	١١٧
٨-٥-٢-٣	وصلات مقطع الزاوية L المتصلة عبر ساق واحدة	١١٨
٨-٥-٣	تصنيف وصلات البراغي	١١٩
٨-٥-٣-١	وصلات القص (ذات البراغي المعرضة للقص)	١١٩

٨-٥-٣-٢	وصلات الشد (براغي الوصلة معرضة للشد)	١٢٠
٨-٥-٤	توزيع القوى بين عناصر الوصل عند التصميم وفقاً للحالة الحدية	١٢١
٨-٥-٥	قدرة (قابلية) التحمل للبراغي و البراشيم	١٢٣
٨-٥-٦	قابلية التحمل للبراشيم	١٢٦
٨-٥-٧	البراشيم والبراغي المنخفضة (الرأس بمستوى الصفيحة)	١٢٧
٨-٥-٨	البراغي عالية المقاومة في الوصلات المثبتة ضد الانزلاق (مانعة الانزلاق)	١٢٧
٨-٥-٨-١	مقاومة الانزلاق التصميمة	١٢٧
٨-٥-٨-٢	سبق الإجهاد	١٢٧
٨-٥-٨-٣	عامل الاحتكاك	١٢٨
٨-٥-٨-٤	القص والشد	١٢٨
٨-٥-٩	قوة الاستناد	١٢٩
٨-٥-١٠	الوصلات الطولية	١٣٠
٨-٥-١١	وصلة التغطية بطبقة واحدة وبرغي واحد	١٣٠
٨-٥-١٢	عناصر الوصل في الصفائح التقابلية مع وجود صفائح داخلية	١٣١
٨-٥-١٣	مقاومة مجموعة البراغي أو البراشيم	١٣١
٨-٦	وصلات اللحام	١٣١
٨-٦-١	عموميات	١٣١
٨-٦-٢	الأبعاد والتصميم	١٣٢
٨-٦-٢-١	أنواع خيوط (خطوط) اللحام	١٣٢_
٨-٦-٢-٢	خيوط (خطوط) اللحام الزاوي	١٣٤
٨-٦-٢-٣	خيوط (خطوط) لحام العرواي (لحام على كامل محيط الثقوب)	١٣٦
٨-٦-٢-٤	خيط (خط) اللحام طرفاً لطرف (اللحام التقابلي)	١٣٦
٨-٦-٢-٥	لحام الثقب (لحام العراوي)	١٣٧
٨-٦-٢-٦	الخيط الزاوي المفرغ	١٣٧
٨-٦-٣	انكسار السطح	١٣٨
٨-٦-٤	توزيع قوى القطع المطبقة على وصلة اللحام	١٣٩
٨-٦-٥	المقاومة التصميمية للحام الخيط الزاوي	١٣٩
٨-٦-٥-١	الطول الفعال	١٣٩
٨-٦-٥-٢	السماكة الفعالة لعنق اللحام	١٤٠

٨-٦-٥-٣	المقاومة التصميمية لخيط اللحام الزاوي	١٤١
٨-٦-٦	القوة الحدية لخيط اللحام طرفاً لطرف	١٤٢
٨-٦-٦-١	خيط اللحام النافذ طرفاً لطرف	١٤٢
٨-٦-٦-٢	خيط اللحام غير النافذ (غير المستمر) طرفاً لطرف	١٤٢
٨-٦-٦-٣	عقدة وصل T	١٤٢
٨-٦-٧	القوة الحدية للحام التقوب	١٤٣
٨-٦-٨	الوصلات على الجناح غير المدعم	١٤٤
٨-٦-٩	الوصلات الطويلة	١٤٤
٨-٦-١٠	وصلات المقطع الزاوي المتصلة بساق واحدة	١٤٥
٨-٧	الوصلات الهجينة	١٤٥
٨-٨	**الوصلات التقابلية مع أو بدون جوائز**	١٤٦
٨-٩	وصلات الجوائز مع الأعمدة	١٤٧
٨-٩-١	أساسيات	١٤٧
٨-٩-٢	مخطط العزم مع الدوران	١٤٧
٨-٩-٣	المقاومة العزمية	١٤٩
٨-٩-٤	صلابة الدوران	١٤٩
٨-٩-٥	قدرة الدوران	١٥٠
٨-٩-٦	تصنيف وصلات العقد بين الجوائز والأعمدة	١٥١
٨-٩-٦-١	أساسيات	١٥١
٨-٩-٦-٢	صلابة الدوران	١٥١
٨-٩-٦-٣	التصنيف وفقاً للمقاومة العزمية	١٥٣
٨-٩-٧	الخواص المحسوبة	١٥٣
٨-٩-٧-١	القيمة الحدية للعزم	١٥٣
٨-٩-٧-٢	صلابة الدوران	١٥٦
٨-٩-٧-٣	قدرة الدوران	١٥٦
٨-٩-٨	قواعد الاستعمال	١٥٦
٨-١٠	عُقد الجائز الشبكي ذي عناصر بمقطع مغلق مفرغ (حلقة أو مستطيل مفرغ)	١٥٧
٨-١٠-١	المقاومة التصميمية	١٥٧
٨-١٠-٢	قواعد الاستعمال	١٥٧

٨-١١	أقدام الأعمدة	١٥٧
٨-١١-١	صفيحة القدم	١٥٧
٨-١١-٢	براغي الإرساء	١٥٨
٨-١١-٣	قواعد الاستعمال	١٥٨
الباب التاسع	**الجوائز الصفائحية وتحقيقات الاستقرار في صفيحة الجسد (الجوائز ذات مقاطع الجسد المليء)**	١٥٩
٩-١	أساسيات	١٥٩
٩-٢	عرض توزيع القوة	١٦١
٩-٣	الانضغاط اللدن	١٦١
٩-٤	التواء صفيحة الجسد	١٦٢
٩-٥	تقوس كامل الحقل	١٦٣
٩-٦	الدعامات العرضية	١٦٤
٩-٧	التحنيب الموضعي للجناح	١٦٤
الباب العاشر	**الجوائز والأعمدة الشبكية**	
١٠-١	الجوائز الشبكية	١٦٦
١٠-١-١	عموميات	١٦٦
١٠-١-٢	أطوال التحنيب لعناصر الجوائز الشبكية	١٦٦
١٠-١-٣	عنصر قطرية مضغوط بمقطع زاوية L	١٦٧
١٠-٢	الأعمدة الشبكية المضغوطة ذات المقطع المؤلف من عدة أجزاء	١٦٨
١٠-٢-١	أساسيات	١٦٨
١٠-٢-٢	العمود الشبكي العادي	١٦٨
١٠-٢-٢-١	مجال الاستعمال	١٦٨
١٠-٢-٢-٢	ترتيبات إنشائية	١٦٨
١٠-٢-٢-٣	عزوم العطالة	١٧٠
١٠-٢-٢-٤	قوى الوتر في منتصف العمود	١٧٠
١٠-٢-٢-٥	أطوال التحنيب للأوتار	١٧١
١٠-٢-٢-٦	القوى في عناصر الربط	١٧٢

١٠-٢-٣	العمود الإطاري	١٧٣
١٠-٢-٣-١	مجال الاستعمال	١٧٣
١٠-٢-٣-٢	ترتيبات إنشائية	١٧٣
١٠-٢-٣-٣	عزوم العطاله	١٧٤
١٠-٢-٣-٤	قوى الوتر في منتصف العمود	١٧٤
١٠-٢-٣-٥	أطوال التحنيب للأوتار	١٧٥
١٠-٢-٣-٦	حساب عزم الانعطاف والقوة القاطعة في صفائح الربط	١٧٥
الباب الحادي عشر	**التصنيع والتركيب**	١٧٧
١١-١	عموميات	١٧٧
١١-١-١	مجال الصلاحية	١٧٧
١١-١-٢	المتطلبات	١٧٧
١١-٢	تفصيلات المشروع	١٧٨
١١-٣	تصنيع وتنفيذ القواعد	١٧٨
١١-٤	التجهيزات الأولية لمادة الإنشاء	١٧٩
١١-٥	وصلات البراغي	١٧٩
١١-٥-١	الثقوب	١٧٩
١١-٥-٢	مسافة تحرك البرغي في ثقبه	١٨٠
١١-٥-٣	البراغي	١٨٠
١١-٥-٤	الصمنه	١٨١
١١-٥-٥	الحلقات (الروندیلات)	١٨١
١١-٥-٦	البراغي مسبقة الإجهاد	١٨٢
١١-٥-٧	سطوح الاحتكاك في الوصلات المثبتة ضد الانزلاق	١٨٢
١١-٥-٨	إجراءات ملائمة سطوح الاحتكاك	١٨٢
١١-٦	وصلات اللحام	١٨٣
١١-٧	أبعاد الفروق (حدود أبعاد الأخطاء وانحرافات التنفيذ، التسامح)	١٨٣
١١-٧-١	تصنيف درجات الفروق	١٨٣
١١-٧-٢	استعمال الفروق	١٨٤
١١-٧-٣	أبعاد فروق التنفيذ العادية	١٨٤
١١-٧-٤	فروق التنفيذ	١٨٦

١١-٧-٥	موقع براغي الإرساء	١٨٦
١١-٨	التجارب والاختبارات	١٨٧
الباب الثاني عشر	**تعب المواد**	١٨٩
١٢-١	عام	١٨٩
١٢-١-١	أساسيات	١٨٩
١٢-١-٢	المجال	١٨٩
١٢-١-٣	الاشتراطات	١٨٩
١٢-١-٤	ضرورة تقييم التعب	١٨٩
١٢-١-٥	تعاريف	١٩٠
١٢-١-٦	الرموز	١٩٢
١٢-٢	تحميل التعب	١٩٣
١٢-٣	عوامل الأمان الجزئية	١٩٤
١٢-٣-١	عموميات	١٩٤
١٢-٣-٢	عوامل الأمان الجزئية لتحميل التعب	١٩٤
١٢-٣-٣	عوامل الأمان الجزئية لمقاومة التعب	١٩٥
١٢-٣-٤	القيم المقترحة للعامل γ_{Mf}	١٩٥
١٢-٤	أطياف إجهاد التعب	١٩٥
١٢-٤-١	حساب الإجهادات	١٩٥
١٢-٤-٢	مجال الإجهاد في المعدن	١٩٦
١٢-٤-٣	مجال الإجهاد في اللحامات	١٩٦
١٢-٤-٤	طيف مجال الإجهاد التصميمي	١٩٦
١٢-٥	إجراءات تقييم التعب	١٩٦
١٢-٥-١	عموميات	١٩٦
١٢-٥-٢	تقييم التعب استناداً إلى مجالات الإجهاد	١٩٧
١٢-٥-٢-١	التحميل ثابت السعة	١٩٧
١٢-٥-٢-٢	التحميل متغير السعة	١٩٧
١٢-٥-٢-٣	مجالات إجهاد القص	١٩٩
١٢-٥-٢-٤	تركيب مجالي الإجهاد الناظمي وإجهاد القص	١٩٩
١٢-٥-٣	تقييمات التعب المستندة إلى مجالات الإجهاد الهندسي	٢٠٠

٦-١٢	مقاومة التعب	٢٠٠
١-٦-١٢	عموميات	٢٠٠
٢-٦-١٢	منحنيات مقاومة التعب للتفاصيل المصنفة	٢٠٣
١-٢-٦-١٢	منحنيات مقاومة التعب للمقاطع المفتوحة	٢٠٣
٢-٢-٦-١٢	منحنيات مقاومة التعب للمقاطع المفرغة	٢٠٦
٣-٦-١٢	منحنيات مقاومة التعب للنماذج غير المصنفة	٢٠٧
٧-١٢	تعديلات مقاومة التعب	٢٠٧
١-٧-١٢	مجال الإجهاد في النماذج غير الملحومة أو المحددة من الإجهاد في التفاصيل غير الملحومة أو المحررة من الإجهاد	٢٠٧
٢-٧-١٢	تأثير السماكة	٢٠٨
٣-٧-١٢	منحنيات مقاومة التعب المعدلة	٢٠٨
٨-١٢	جداول التصنيف	٢٠٩
الباب الثالث عشر	**نصائح وإرشادات في تصميم الصالات المعدنية (مكمّلة لنصوص الكود)**	٢٢٥
١-١٣	عموميات	٢٢٥
٢-١٣	الميزات الرئيسة للتصميم والعوامل المؤثرة عليها	٢٢٥
٣-١٣	استقرار الجملة الإنشائية للصالة المعدنية	٢٢٦
٤-١٣	عناصر تساعد في استقرار الجملة الإنشائية للصالة المعدنية	٢٢٧
٥-١٣	فواصل التمدد في الصالة المعدنية	٢٣٠
٦-١٣	أنواع الجمل الإنشائية المستعملة في الصالة المعدنية ذات الفتحة الواحدة	٢٣١
١-٦-١٣	الإطارات	٢٣١
٢-٦-١٣	جملونات على أعمدة نوسيه مع روابط طولانية	٢٣٢
٧-١٣	الجملة الإنشائية للصالات المتعددة الفتحات	٢٣٢
٨-١٣	عناصر التغطية للسقف	٢٣٣
١-٨-١٣	مقدمة	٢٣٣
٢-٨-١٣	أشكال التغطية لسقوف الصالات	٢٣٤
٩-١٣	عناصر التغطية للجدران	٢٣٥
١٠-١٣	الأواصف	٢٣٦

١٣-١٠-١	أشكال الأواصف	٢٣٧
١٣-١٠-٢	إجهادات الأواصف	٢٣٩
١٣-١١	الجملونات وعناصر الربط في الصالة	٢٤٠
١٣-١١-١	الجملونات على شكل جوائز شبكية	٢٤١
١٣-١١-٢	الجملونات على شكل جوائز جسد مليء	٢٤٣
١٣-١١-٣	عناصر الربط بين الجملونات	٢٤٤
	المراجع للقسم الأول	٢٤٥

جدول محتويات القسم الثاني (بالاعتماد على الكود البريطاني BS 5950)

الباب والفصل والبند والفقرة	العنوان	رقم الصفحة
الباب الأول	**عام**	**٢٤٩**
١-١	المجال	٢٤٩
١-٢	المصطلحات والتعاريف	٢٤٩
١-٣	رموز أساسيّة	٢٥٢
١-٤	وثائق التصميم	٢٥٥
الباب الثاني	**التصميم وفق طريقة حالات الحدود**	**٢٥٦**
٢-١	المبادئ العامّة وطرائق التصميم	٢٥٦
٢-١-١	المبادئ العامّة	٢٥٦
٢-١-١-١	أهداف التصميم الإنشائيّ	٢٥٦
٢-١-١-٢	الاستقرار الإجماليّ	٢٥٦
٢-١-١-٣	دقّة الحسابات	٢٥٧
٢-١-٢	طرائق التصميم	٢٥٧
٢-١-٢-١	عام	٢٥٧
٢-١-٢-٢	التصميم البسيط	٢٥٧
٢-١-٢-٣	التصميم المستمرّ	٢٥٧
٢-١-٢-٤	التصميم شبه المستمرّ	٢٥٧
٢-١-٢-٥	التحقّق التجريبيّ	٢٥٨
٢-١-٣	مفهوم حالات الحدود	٢٥٨
٢-٢	التحميل	٢٥٩
٢-٢-١	عام	٢٥٩
٢-٢-٢	الحمولات الميّتة والحيّة والرياح	٢٥٩
٢-٢-٣	حمولات الرافعات العلويّة المتنقّلة فوق الرأس (الروافع الجسريّة)	٢٥٩
٢-٢-٤	أحمال المياه السطحيّة والجوفيّة	٢٥٩
٢-٣	تغيّر درجة الحرارة	٢٦٠
٢-٤	حالات الحدّ الأقصى	٢٦٠

٢-٤-١	حالة حدّ المقاومة	٢٦٠
٢-٤-١-١	عام	٢٦٠
٢-٤-١-٢	المباني من دون روافع	٢٦١
٢-٤-١-٣	الروافع العلويّة المتنقّلة فوق الرأس (الروافع الجسريّة)	٢٦١
٢-٤-١-٤	الروافع خارج المباني	٢٦٢
٢-٤-٢	حالات حدّ الاستقرار	٢٦٢
٢-٤-٢-١	عام	٢٦٢
٢-٤-٢-٢	التوازن السكونيّ (الستاتيكيّ)	٢٦٢
٢-٤-٢-٣	مقاومة القوى الأفقيّة	٢٦٢
٢-٤-٢-٤	القوى الأفقيّة الافتراضيّة	٢٦٣
٢-٤-٢-٥	صلابة (قساوة) الانزياح	٢٦٤
٢-٤-٢-٦	الإطارات عديمة الانزياح	٢٦٤
٢-٤-٢-٧	الإطارات الحسّاسة للانزياح	٢٦٥
٢-٤-٢-٨	تأثيرات الانزياح	٢٦٦
٢-٤-٢-٩	تصميم الأساسات	٢٦٦
٢-٤-٣	التعب	٢٦٦
٢-٤-٤	الانكسار الهشّ	٢٦٧
٢-٤-٥	التكامل الانشائيّ	٢٧٢
٢-٤-٥-١	عام	٢٧٢
٢-٤-٥-٢	تربيط المباني	٢٧٢
٢-٤-٥-٣	تجنّب الانهيار غير المتناسب	٢٧٣
٢-٤-٥-٤	العناصر المفتاحيّة	٢٧٥
٢-٥	حالات حدّ الاستثمار	٢٧٦
٢-٥-١	الأحمال الاستثماريّة	٢٧٦
٢-٥-٢	السهم	٢٧٦
٢-٥-٣	الاهتزاز والتأرجح	٢٧٦
٢-٥-٤	الديمومة	٢٧٦
الباب الثالث	**مواصفات المواد والمقاطع**	٢٧٨
٣-١	الفولاذ الإنشائيّ	٢٧٨

٣-١-١	المقاومة التصميميّة	٢٧٨
٣-١-٢	قساوة الثلم	٢٧٨
٣-١-٣	خصائص أخرى	٢٧٨
٣-٢	البراغي واللّحام	٢٧٩
٣-٢-١	البراغي، وصمولة وحلقات (رنديلات) التثبيت	٢٧٩
٣-٢-٢	مثبّتات مماسك (مقابض) الاحتكاك	٢٧٩
٣-٢-٣	عناصر اللحام (مستهلكات اللحام)	٢٨٠
٣-٣	صبّ الفولاذ وتطريقِه	٢٨٠
٣-٤	خصائص المقطع	٢٨٠
٣-٤-١	المقطع العرضيّ الإجماليّ	٢٨٠
٣-٤-٢	المساحة الصافية	٢٨١
٣-٤-٣	المساحة الصافية الفعّالة	٢٨١
٣-٤-٤	اقتطاع ثقوب البراغي	٢٨١
٣-٤-٤-١	مساحة الثقب	٢٨١
٣-٤-٤-٢	الثقوب غير المتناوبة	٢٨١
٣-٤-٤-٣	الثقوب المتناوبة	٢٨١
٣-٥	تصنيف المقاطع العرضيّة	٢٨٣
٣-٥-١	عام	٢٨٣
٣-٥-٢	التصنيفات	٢٨٥
٣-٥-٣	الأجنحة المركبة للمقاطع H أو I	٢٨٥
٣-٥-٤	العناصر المقوّاة طوليّاً	٢٨٦
٣-٥-٥	نسب الإجهاد للتصنيف	٢٨٩
٣-٥-٦	المعامل اللّدن الفعّال	٢٩٠
٣-٥-٦-١	عام	٢٩٠
٣-٥-٦-٢	المقاطع H أو I ذات الأجنحة المتساوية	٢٩٠
٣-٥-٦-٣	المقاطع المستطيلة المفرَغة	٢٩١
٣-٥-٦-٤	المقاطع الدائريّة المفرّغة	٢٩٢
٣-٦	المقاطع النحيفة	٢٩٢
٣-٦-١	خصائص المقطع الفعّال	٢٩٢

٣-٦-٢	المقاطع العرضيّة المتناظرة حول محورين	٢٩٢
٣-٦-٢-١	عام	٢٩٢
٣-٦-٢-٢	المساحة الفعّالة	٢٩٣
٣-٦-٢-٣	المعامل الفعّال في حال كون الجسد بكامله فعّالاً	٢٩٤
٣-٦-٢-٤	معامل المقطع الفعّال في حالة الجسد النحيف	٢٩٥
٣-٦-٣	المقاطع المتناظرة وغير المتناظرة حول محور واحد	٢٩٦
٣-٦-٤	مقاطع الزوايا متساوية الساقين	٢٩٦
٣-٦-٥	طريقة بديلة	٢٩٦
٣-٦-٦	المقاطع الدائريّة المفرّغة	٢٩٧
الباب الرابع	**تصميم العناصر الإنشائيّة**	**٢٩٨**
٤-١	عام	٢٩٨
٤-١-١	التطبيق	٢٩٨
٤-١-٢	تصنيف المقطع الأرضيّ	٢٩٨
٤-١-٣	المقاومة التصميميّة	٢٩٨
٤-٢	العناصر المعرّضة للعزم	٢٩٨
٤-٢-١	عام	٢٩٨
٤-٢-١-١	اشتراطات عامّة	٢٩٨
٤-٢-١-٢	مجازات الجوائز	٢٩٨
٤-١-٢-٣	أطوال الأظفار	٢٩٩
٤-٢-٢	التقييد الجانبيّ اكامل	٢٩٩
٤-٢-٣	طاقة تحمّل القصّ	٢٩٩
٤-٢-٤	إجهاد القصّ المرن	٣٠٠
٤-٢-٥	طاقة تحمّل العزم	٣٠٠
٤-٢-٥-١	عام	٣٠٠
٤-٢-٥-٢	القصّ المخفض	٣٠٠
٤-٢-٥-٣	القصّ العالي	٣٠١
٤-٢-٥-٤	العناصر ذات النهايات المثلومة (الطرف المقطوع جزئيّاً)	٣٠٢
٤-٢-٥-٥	ثقوب البراغي	٣٠٢

٤-٣	تحنيب الفتل الجانبيّ	٣٠٢
٤-٣-١	عام	٣٠٢
٤-٣-٢	القيد الجانبيّ الوسطيّ	٣٠٣
٤-٣-٢-١	عام	٣٠٣
٤-٣-٢-٢	قوى التقييد	٣٠٣
٤-٣-٣	قيود الفتل	٣٠٤
٤-٣-٤	حمل عدم الاستقرار	٣٠٤
٤-٣-٥	الطول الفعّال لتحنيب الفتل الجانبيّ	٣٠٥
٤-٣-٥-١	الجوائز البسيطة من دون قيود جانبيّة وسطيّة	٣٠٥
٤-٣-٥-٢	الجوائز البسيطة مع قيود جانبيّة وسطيّة	٣٠٥
٤-٣-٥-٣	الجوائز ذات الانعطاف المزدوج	٣٠٥
٤-٣-٥-٤	الأظفار من دون قيود وسطيّة	٣٠٧
٤-٣-٥-٥	أظفار مزوّدة بقيود وسطيّة	٣٠٧
٤-٣-٦	مقاومة تحنيب الفتل الجانبيّ	٣٠٨
٤-٣-٦-١	عام	٣٠٨
٤-٣-٦-٢	المقاطع H و I والمجراية والصندوقيّة ذات الأجنحة المتساوية	٣١٠
٤-٣-٦-٣	المقاطع I والمقاطع الصندوقيّة ذات الأجنحة غير المتساوية	٣١٠
٤-٣-٦-٤	العزم المقاوم لتحنيب الفتل الجانبيّ	٣١٠
٤-٣-٦-٥	مقاومة الانعطاف p_b	٣١١
٤-٣-٦-٦	عامل العزم المنتظم المكافئ m_{LT}	٣١١
٤-٣-٦-٧	النحافة المكافئة λ_{LT}	٣١٥
٤-٣-٦-٨	بارامتر (معامل) التحنيب u ومؤشّر الفتل x	٣١٨
٤-٣-٦-٩	النسبة β_W	٣١٨
٤-٣-٧	المقاطع المُدرفلة ذات الأجنحة المتساوية	٣١٩
٤-٣-٨	العزم المقاوم للتحنيب من أجل الزوايا المفردة	٣١٩
٤-٣-٨-١	عام	٣١٩
٤-٣-٨-٢	الطريقة الأساسيّة	٣١٩
٤-٣-٨-٣	الطريقة المبسّطة	٣١٩
٤-٤	الجوائز الصفائحيّة	٣٢٥
٤-٤-١	عام	٣٢٥

٤-٤-٢	المقاومة التصميميّة	٣٢٥
٤-٤-٣	أبعاد الأجساد والأجنحة	٣٢٦
٤-٤-٣-١	عام	٣٢٦
٤-٤-٣-٢	سماكة الجسد الدنيا من أجل الحالة الاستثماريّة	٣٢٦
٤-٤-٣-٣	سماكة الجسد الدنيا لمنع تحنيب الجناح المضغوط	٣٢٦
٤-٤-٤	طاقة تحمل العزم	٣٢٦
٤-٤-٤-١	جسد غير عرضة لتحنيب القصّ	٣٢٦
٤-٤-٤-٢	الجسد عرضة لتحنيب القصّ	٣٢٧
٤-٤-٤-٣	تأثيرات القوّة المحوريّة	٣٢٧
٤-٤-٥	مقاومة تحنيب القصّ	٣٢٧
٤-٤-٥-١	عام	٣٢٧
٤-٤-٥-٢	الطريقة المبسّطة	٣٢٨
٤-٤-٥-٣	الطريقة الأكثر دقّة	٣٢٩
٤-٤-٥-٤	الإرساء عند النهاية	٣٢٩
٤-٤-٥-٥	الألواح ذات الفتحات	٣٣٠
٤-٤-٦	تصميم مدعّمات الجسد العرضيّة الوسطيّة	٣٣٥
٤-٤-٦-١	عام	٣٣٥
٤-٤-٦-٢	التباعدات	٣٣٥
٤-٤-٦-٣	نتوءات (بروزات) المدعّمات	٣٣٥
٤-٤-٦-٤	الصلابة الدنيا	٣٣٥
٤-٤-٦-٥	صلابة إضافيّة من أجل التحميل الخارجيّ	٣٣٥
٤-٤-٦-٦	مقاومة التحنيب	٣٣٦
٤-٤-٦-٧	الوصلة بين الجسد والمدعّمة المتوسّطة	٣٣٧
٤-٥	طاقة تحمّل الجسد، ومقاومة التحنيب وتصميم المدعّمات	٣٣٧
٤-٥-١	عام	٣٣٧
٤-٥-١-١	مدعّمات الجسد	٣٣٧
٤-٥-١-٢	أكبر نتوء (بروز) لمدعّمات الجسد	٣٣٧
٤-٥-١-٣	طول التحميل الصلب	٣٣٨
٤-٥-١-٤	اللامركزيّة	٣٣٨
٤-٥-١-٥	المقاطع المفرّغة	٣٣٨

٤-٥-٢	طاقة تحمّل الجسد	٣٣٩
٤-٥-٢-١	جسد غير مدعّم	٣٣٩
٤-٥-٢-٢	الجسد المدعّم	٣٣٩
٤-٥-٣	مقاومة التحنيب	٣٣٩
٤-٥-٣-١	الجسد غير المدعّم	٣٣٩
٤-٥-٣-٢	الحمولات المطبّقة بين المدعّمات	٣٤٠
٤-٥-٣-٣	مقاومة التحنيب لمدعّمات حمل الأحمال	٣٤١
٤-٥-٤	مدعّمات الشدّ	٣٤٢
٤-٥-٥	مدعّمات الجسد العرضيّة الوسطيّة	٣٤٢
٤-٥-٦	المدعّمات القطريّة	٣٤٣
٤-٥-٧	مدعّمات الفتل	٣٤٣
٤-٥-٨	وصلة المدعّمات إلى الأجساد	٣٤٣
٤-٥-٩	وصلة مدعّمات الجسد إلى الأجنحة	٣٤٣
٤-٥-٩-١	المدعّمات في الضغط	٣٤٤
٤-٥-٩-٢	مدعّمات الشدّ	٣٤٤
٤-٥-١٠	طول مدعّمات الجسد	٣٤٤
٤-٦	العناصر المشدودة	٣٤٤
٤-٦-١	طاقة تحمّل الشدّ	٣٤٤
٤-٦-٢	عناصر بوصلات لامركزيّة	٣٤٥
٤-٦-٣	العناصر المشدودة البسيطة	٣٤٥
٤-٦-٣-١	العناصر بمقطع زاوية منفردة، مجراية أو T	٣٤٥
٤-٦-٣-٢	العناصر بمقطع زاويتين، أو مجرايتين أو مقطعين T	٣٤٥
٤-٦-٣-٣	العناصر المشدودة البسيطة الأخرى	٣٤٦
٤-٦-٣-٤	العناصر المشدودة	٣٤٦
٤-٦-٤	العناصر المشدودة ذات قضبان التربيط أو العوارض	٣٤٦
٤-٧	العناصر المضغوطة	٣٤٧
٤-٧-١	عام	٣٤٧
٤-٧-١-١	طول الجزء (القطعة)	٣٤٧
٤-٧-١-٢	القيود (نقاط السند)	٣٤٧
٤-٧-٢	النحافة	٣٤٧

٤-٧-٣	الأطوال الفعّالة	٣٤٨
٤-٧-٤	مقاومة الضغط	٣٤٩
٤-٧-٥	قدرة (مقاومة) الضغط	٣٤٩
٤-٧-٦	الوصلات اللامركزيّة	٣٦٠
٤-٧-٧	الأعمدة في المنشآت البسيطة	٣٦٠
٤-٧-٨	الأعمدة المربّطة بقضبان (الأعمدة المجمعة الشبكية)	٣٦١
٤-٧-٩	الضواغط المدعّمة بعوارض (مبسطات) فقط	٣٦٢
٤-٧-١٠	الضواغط (عناصر مضغوطة) ذات المقطع T، أو مجرايات، أو زوايا	٣٦٣
٤-٧-١٠-١	عام	٣٦٣
٤-٧-١٠-٢	الزوايا المنفردة	٣٦٤
٤-٧-١٠-٣	الزوايا المزدوجة	٣٦٤
٤-٧-١٠-٤	المجرايات المنفردة	٣٦٥
٤-٧-١٠-٥	المقاطع T المنفردة	٣٦٦
٤-٧-١١	الضواغط (عناصر مضغوطة) ذات مقطع من زاويتين على شكل نجمة	٣٦٨
٤-٧-١٢	الضواغط (عناصر مضغوطة) المؤلّفة من زاويتين متوازيتين مدعمتين بعوارض	٣٦٨
٤-٧-١٣	الضواغط (عناصر مضغوطة) ذات المقاطع المتوضّعة ظهراً إلى ظهر	٣٦٩
٤-٧-١٣-١	المكوّنات منفصلة	٣٦٩
٤-٧-١٣-٢	المكونات مُتماسة (متصلة)	٣٦٩
٤-٨	العناصر المعرّضة لعزم ولقوّة محوريّة	٣٧٠
٤-٨-١	عام	٣٧٠
٤-٨-٢	العناصر المشدودة المعرّضة لعزوم	٣٧١
٤-٨-٢-١	عام	٣٧١
٤-٨-٢-٢	الطريقة المبسّطة	٣٧١
٤-٨-٢-٣	طريقة أكثر دقة	٣٧٢
٤-٨-٣	العناصر المضغوطة المعرّضة لعزوم	٣٧٣
٤-٨-٣-١	عام	٣٧٣

٤-٨-٣-٢	طاقة تحمّل المقطع العرضيّ	٣٧٣
٤-٨-٣-٣	مقاومة التحنيب للعنصر	٣٧٣
٤-٨-٣-٣-١	الطريقة المبسّطة	٣٧٣
٤-٨-٣-٣-٢	طريقة أكثر دقّة من أجل المقاطع I أو H بأجنحة متساوية	٣٧٤
٤-٨-٣-٣-٣	الطريقة الأكثر دقّة من أجل المقاطع CHS و RHS، أو الصندوقية ذات الأجنحة المتساوية	٣٧٥
٤-٨-٣-٣-٤	عوامل العزم المنتظم المكافئ	٣٧٧
٤-٩	العناصر المعرّضة لعزوم ثنائيّ (عزوم حول كلا المحورين)	٣٧٧
٤-١٠	العناصر في الإطارات الشبكيّة والجوائز الشبكيّة	٣٧٩
٤-١١	الجوائز الحاملة للروافع	٣٨٠
٤-١١-١	عام	٣٨٠
٤-١١-٢	فرملة العربة	٣٨٠
٤-١١-٣	تحنيب الفتل الجانبيّ	٣٨٠
٤-١١-٤	الضغط الموضعيّ تحت الدواليب	٣٨٠
٤-١١-٥	الجوائز الصفائحيّة الملحومة	٣٨١
٤-١٢	المدادات والسكك الجانبيّة	٣٨١
٤-١٢-١	عام	٣٨١
٤-١٢-٢	السهوم	٣٨١
٤-١٢-٣	حمولات الرياح	٣٨٢
٤-١٢-٤	التصميم التجريبيّ للمدّادات والسكك الجانبيّة	٣٨٢
٤-١٢-٤-١	عام	٣٨٢
٤-١٢-٤-٢	الاشتراطات	٣٨٢
٤-١٢-٤-٣	المدّادات	٣٨٢
٤-١٢-٤-٤	السكك الجانبيّة	٣٨٣
٤-١٣	قواعد الأعمدة	٣٨٤
٤-١٣-١	عام	٣٨٤
٤-١٣-٢	طريقة المساحة الفعّالة	٣٨٥
٤-١٣-٢-١	المساحة الفعّالة	٣٨٥
٤-١٣-٢-٢	القوى المحوريّة	٣٨٥
٤-١٣-٢-٣	العزوم المطبّقة	٣٨٥

٤-١٣-٢-٤	براغي الارساء	٣٨٦
٤-١٣-٢-٥	المدعّمات	٣٨٦
٤-١٣-٣	وصلة صفيحة القاعدة	٣٨٦
٤-١٤	المقاطع المغلّفة	٣٨٦
٤-١٤-١	عام	٣٨٦
٤-١٤-٢	الأعمدة المغلّفة	٣٨٧
٤-١٤-٣	العناصر المغلّفة والمعرّضة لعزوم الانحناء	٣٨٨
٤-١٤-٤	العناصر المغلّفة المعرّضة لقوّة محوريّة وعزم	٣٨٩
٤-١٥	الفتحات في الجسد	٣٩٠
٤-١٥-١	عام	٣٩٠
٤-١٥-٢	الفتحات الدائريّة المنفصلة	٣٩٠
٤-١٥-٢-١	فتحات من دون تقوية	٣٩٠
٤-١٥-٢-٢	الفتحات المقوّاة	٣٩١
٤-١٥-٣	العناصر بفتحات منعزلة	٣٩١
٤-١٥-٣-١	عام	٣٩١
٤-١٥-٣-٢	التحنيب الموضعيّ	٣٩١
٤-١٥-٣-٣	القصّ	٣٩١
٤-١٥-٣-٤	طاقة تحمّل العزم	٣٩١
٤-١٥-٣-٥	الحمولات المركّزة	٣٩١
٤-١٥-٣-٦	السهم	٣٩٢
٤-١٥-٤	العناصر بفتحات متعدّدة	٣٩٢
٤-١٥-٤-١	عام	٣٩٢
٤-١٥-٤-٢	التحنيب الموضعيّ	٣٩٢
٤-١٥-٤-٣	القصّ	٣٩٢
٤-١٥-٤-٤	طاقة تحمّل العزم	٣٩٢
٤-١٥-٤-٥	العزم المقاوم للتحنيب	٣٩٢
٤-١٥-٤-٦	السهم	٣٩٢
٤-١٥-٤-٧	مقاومة الحمولات المركّزة	٣٩٢
٤-١٥-٤-٨	أعمدة الجسد	٣٩٣
٤-١٥-٥	الجوائز ذات الجسد المفرّغ	٣٩٣

٤-١٦	الفواصل والديافرامات	٣٩٣
٤-١٧	الحمولات المركّزة على الجوائز	٣٩٤
٤-١٧-١	عام	٣٩٤
٤-١٧-٢	الحمولات الموزّعة	٣٩٤
٤-١٧-٣	الحمولات المركّزة	٣٩٤
الباب الخامس	**المنشآت المستمرّة**	**٣٩٥**
٥-١	عام	٣٩٥
٥-١-١	التطبيق	٣٩٥
٥-١-٢	نمط التحميل	٣٩٥
٥-١-٢-١	الحمولة الميّتة	٣٩٥
٥-١-٢-٢	الحمولة الحيّة للطوابق	٣٩٥
٥-١-٢-٣	الحمولة الحيّة للسطح	٣٩٦
٥-١-٢-٤	حمولة الرياح	٣٩٦
٥-١-٢-٥	تراكب حمولة الرياح مع الحمولة الحيّة	٣٩٦
٥-١-٣	صلابة القاعدة	٣٩٦
٥-١-٣-١	عام	٣٩٦
٥-١-٣-٢	القاعدة الصلبة اسميّاً	٣٩٦
٥-١-٣-٣	القاعدة المفصليّة اسميّاً	٣٩٧
٥-١-٣-٤	القاعدة شبه الصلبة اسميّاً	٣٩٧
٥-١-٤	الإطارات المكثّفة بشكل مستقلّ	٣٩٧
٥-٢	التحليل العام	٣٩٧
٥-٢-١	الطرائق	٣٩٧
٥-٢-٢	التحليل المرن	٣٩٨
٥-٢-٣	التحليل اللدن	٣٩٨
٥-٢-٣-١	عام	٣٩٨
٥-٢-٣-٢	نوع التحميل	٣٩٨
٥-٢-٣-٣	ماركة (درجة جودة) الفولاذ	٣٩٨
٥-٢-٣-٤	تقييدات التصنيع	٣٩٨
٥-٢-٣-٥	تقييدات المقطع العرضيّ	٣٩٩

٥-٢-٣-٦	ثقوب البراغي	٣٩٩
٥-٢-٣-٧	المدعمات عند مواقع المفاصل اللدنة	٣٩٩
٥-٢-٣-٨	الشطفات	٤٠٠
٥-٣	الاستقرار خارج المستوي عند استعمال التحليل اللدن	٤٠٠
٥-٣-١	عام	٤٠٠
٥-٣-٢	القيود عند المفاصل اللدنة	٤٠٠
٥-٣-٣	الجزء المجاور للمفصل اللدن	٤٠١
٥-٣-٤	عنصر أو جزء منه مقيد بجناح واحد	٤٠٢
٥-٣-٥	الشطفات	٤٠٣
٥-٣-٥-١	شطفات بثلاثة أجنحة	٤٠٣
٥-٣-٥-٢	شطفات بجناجين	٤٠٤
٥-٤	الجوائز المستمرة	٤٠٤
٥-٤-١	التصميم المرن	٤٠٤
٥-٤-٢	التصميم اللدن	٤٠٤
٥-٥	الإطارات البابيّة	٤٠٤
٥-٥-١	عام	٤٠٤
٥-٥-٢	التصميم المرن	٤٠٥
٥-٥-٣	التصميم اللدن	٤٠٥
٥-٥-٤	الاستقرار في المستوي	٤٠٥
٥-٥-٤-١	عام	٤٠٥
٥-٥-٤-٢	طريقة التحقّق من الانزياح	٤٠٦
٥-٥-٤-٢-١	عام	٤٠٦
٥-٥-٤-٢-٢	حمولات الجاذبيّة	٤٠٧
٥-٥-٤-٢-٣	الحمولات الأفقيّة	٤٠٨
٥-٥-٤-٣	الانتقال الشاقوليّ المفاجئ	٤٠٩
٥-٥-٤-٤	طريقة العزوم المضخّمة	٤٠٩
٥-٥-٤-٥	التحليل من الدرجة الثانية	٤٠٩
٥-٥-٤-٦	الإطارات البابيّة بشدّادات	٤٠٩
٥-٥-٥	الاستقرار خارج المستوي	٤١٠
٥-٦	التصميم المرن للإطارات الصلبة متعدّدة الطوابق	٤١١

٥-٦-١	عام	٤١١
٥-٦-٢	الإطارات المكتّفة بشكل مستقلّ (المسندة جانبيّاً)	٤١١
٥-٦-٣	إطارات من دون انزياح	٤١٢
٥-٦-٤	الإطارات الحساسة للانزياح	٤١٢
٥-٧	التصميم اللدن للإطارات الصلبة متعدّدة الطوابق	٤١٣
٥-٧-١	عام	٤١٣
٥-٧-٢	الإطارات المكتّفة (المربطة بقضبان) بشكل مستقل	٤١٣
٥-٧-٣	الإطارات غير المكتّفة	٤١٣
٥-٧-٣-١	عام	٤١٣
٥-٧-٣-٢	تحقيق استقرار الإطار	٤١٤
الباب السادس	**الوصلات**	**٤١٥**
٦-١	توصيات عامّة	٤١٥
٦-١-١	التفاصيل	٤١٥
٦-١-٢	التقاطعات	٤١٦
٦-١-٣	العُقد في التصميم البسيط	٤١٦
٦-١-٤	العُقد في التصميم المستمر	٤١٦
٦-١-٥	العُقد في التصميم شبه المستمر	٤١٦
٦-١-٦	الوصلات المعرضة للاهتزاز، أو لانعكاس التحميل، أو للتعب	٤١٧
٦-١-٦-١	الاهتزاز	٤١٧
٦-١-٦-٢	انعكاس التحميل	٤١٧
٦-١-٦-٣	التعب	٤١٧
٦-١-٧	وصلات التراكب	٤١٧
٦-١-٧-١	عام	٤١٧
٦-١-٧-٢	وصلات التراكب في العناصر المضغوطة	٤١٧
٦-١-٧-٣	وصلات التراكب في العناصر المشدودة	٤١٨
٦-١-٧-٤	وصلات التراكب في الجوائز	٤١٨
٦-١-٨	منطقة لوح جسد العمود	٤١٨
٦-٢	الوصلات باستعمال البراغي	٤١٩
٦-٢-١	تباعدات البراغي	٤١٩

٦-٢-١-١	التباعدات الدنيا	٤١٩
٦-٢-١-٢	التباعدات القصوى في الصفائح غير المدعّمة	٤٢٠
٦-٢-٢	المسافات عند النهايات والأطراف	٤٢٠
٦-٢-٢-١	عام	٤٢٠
٦-٢-٢-٢	ثقوب الانزلاق المُتطاولة	٤٢٠
٦-٢-٢-٣	الثقوب ذات القياس الكبير	٤٢١
٦-٢-٢-٤	المسافة الدنيا من النهاية والأطراف	٤٢١
٦-٢-٢-٥	المسافة القصوى من النهاية والأطراف	٤٢١
٦-٢-٣	تأثير ثقوب البراغي على طاقة تحمّل القصّ	٤٢١
٦-٢-٤	قصّ المجموعة (انهيار مجموعة البراغي في القص)	٤٢٢
٦-٣	البراغي غير المحمّلة مسبقاً	٤٢٣
٦-٣-١	المساحات الفعّالة للبراغي	٤٢٣
٦-٣-٢	طاقة تحمّل القصّ	٤٢٣
٦-٣-٢-١	عام	٤٢٣
٦-٣-٢-٢	الحشوة	٤٢٣
٦-٣-٢-٣	أطوال المقابض (المماسك) الكبيرة	٤٢٤
٦-٣-٢-٤	ثقوب طويلة بشكل كلية	٤٢٤
٦-٣-٢-٥	العُقد الطويلة	٤٢٤
٦-٣-٣	طاقة تحمل الاستناد (الدهس)	٤٢٥
٦-٣-٣-١	عام	٤٢٥
٦-٣-٣-٢	طاقة التحمّل (الدهس) للبرغي	٤٢٥
٦-٣-٣-٣	طاقة التحمل (الدهس) للجزء الموصول	٤٢٦
٦-٣-٤	البراغي المعرّضة للشدّ	٤٢٧
٦-٣-٤-١	عام	٤٢٧
٦-٣-٤-٢	الطريقة المبسّطة	٤٢٧
٦-٣-٤-٣	الطريقة الأكثر دقّة	٤٢٨
٦-٣-٤-٤	قصّ وشدّ مشترك	٤٢٩
٦-٤	البراغي مسبقة التحميل	٤٣٠
٦-٤-١	عام	٤٣٠
٦-٤-٢	مقاومة الانزلاق	٤٣٠

٦-٤-٣	عامل الانزلاق	٤٣١
٦-٤-٤	طاقة التحمّل بعد الانزلاق	٤٣٢
٦-٤-٥	القصّ والشدّ المشتركين	٤٣٢
٦-٤-٦	ثقوب البراغي مسبقة التحميل	٤٣٣
٦-٤-٦-١	أبعاد الثقوب	٤٣٣
٦-٤-٦-٢	الثقوب بأبعاد أكبر من من النظاميّة والثقوب الانزلاقيّة القصيرة	٤٣٣
٦-٤-٦-٣	الثقوب الانزلاقيّة الطويلة	٤٣٣
٦-٤-٦-٤	التباعد والمسافة الطرفيّة	٤٣٣
٦-٥	الوصلات المفصليّة	٤٣٤
٦-٥-١	العناصر المشدودة المتّصلة مفصليّاً	٤٣٤
٦-٥-٢	الصفائح المفصليّة (صفائح المسمار)	٤٣٤
٦-٥-٣	تصميم مسامير المفاصل	٤٣٥
٦-٥-٣-١	عام	٤٣٥
٦-٥-٣-٢	طاقة تحمّل القصّ	٤٣٥
٦-٥-٣-٣	طاقة التحمّل	٤٣٥
٦-٥-٣-٤	الانعطاف (الانحناء)	٤٣٥
٦-٦	براغي الارساء	٤٣٦
٦-٧	وصلات اللحام	٤٣٧
٦-٧-١	الشدّ خلال السماكة	٤٣٧
٦-٧-٢	تفاصيل اللحام الزاويّ	٤٣٧
٦-٧-٢-١	عام	٤٣٧
٦-٧-٢-٢	تدوير اللحام عند النهايات	٤٣٧
٦-٧-٢-٣	وصلات التراكب	٤٣٧
٦-٧-٢-٤	وصلات النهاية	٤٣٧
٦-٧-٢-٥	اللحام الزاويّ الفرديّ	٤٣٨
٦-٧-٢-٦	اللحام الزاويّ المتقطّع	٤٣٨
٦-٧-٣	تفاصيل من أجل المقاطع الإنشائيّة المفرّغة	٤٣٨
٦-٧-٣-١	العُقد الملحومة بلحام إملاء (تقابلي)	٤٣٨
٦-٧-٣-٢	وصلات النهاية	٤٣٨
٦-٧-٣-٣	ترتيب العُقد	٤٣٨

٦-٧-٣-٤	تصميم العُقدة	٤٣٩
٦-٧-٥	لحام الإملاء (التقابلي) باختراق جزئيّ	٤٣٩
٦-٧-٦	الوصلات الملحومة إلى أجنحة غير مدعّمة	٤٣٩
٦-٨	تصميم اللحام الزاويّ	٤٤٠
٦-٨-١	زاوية التقاطع	٤٤٠
٦-٨-٢	الطول الفعال	٤٤١
٦-٨-٣	قياس العنق	٤٤١
٦-٨-٤	لحام زاويّ باختراق عميق	٤٤١
٦-٨-٥	المقاومة التصميميّة	٤٤٢
٦-٨-٦	الإجهاد التصميميّ	٤٤٣
٦-٨-٧	طاقة تحمّل اللحام الزاويّ	٤٤٣
٦-٨-٧-١	عام	٤٤٣
٦-٨-٧-٢	الطريقة المبسّطة	٤٤٣
٦-٨-٧-٣	الطريقة الاتّجاهيّة	٤٤٣
٦-٩	تصميم لحام الإملاء	٤٤٤
٦-٩-١	المقاومة التصميميّة	٤٤٤
٦-٩-٢	قياس عمق لحام الإملاء (التقابل) ذي الاختراق الجزئيّ	٤٤٥
٦-٩-٣	طاقة تحمل لحام الإملاء (التقابل) ذي الاختراق الجزئيّ	٤٤٥
الباب السابع	**اختبارات التحميل**	**٤٤٧**
٧-١	عام	٤٤٧
٧-١-١	هدف الاختبار	٤٤٧
٧-١-٢	أنواع اختبارات التحميل	٤٤٧
٧-١-٣	التحكّم بالجودة	٤٤٨
٧-٢	شروط الاختبار	٤٤٨
٧-٢-١	عام	٤٤٨
٧-٢-٢	القياسات	٤٤٩
٧-٢-٣	التحميل	٤٤٩
٧-٣	إجراءات الاختبار	٤٤٩
٧-٣-١	التحميل الأوّليّ	٤٤٩

٧-٣-٢	تزايد الحمولة	٤٤٩
٧-٣-٣	قطع الاختبارات	٤٥٠
٧-٣-٤	تقرير الاختبار	٤٥٠
٧-٤	معامل المقاومة النسبيّ	٤٥٠
٧-٤-١	عام	٤٥٠
٧-٤-٢	من أجل اختبار المقاومة	٤٥٠
٧-٤-٣	من أجل اختبار الانهيار	٤٥١
٧-٥	اختبار الإثبات	٤٥٣
٧-٥-١	عام	٤٥٣
٧-٥-٢	حمولة اختبار الإثبات	٤٥٣
٧-٥-٣	معايير اختبار الإثبات	٤٥٤
٧-٦	اختبار المقاومة	٤٥٤
٧-٦-١	عام	٤٥٤
٧-٦-٢	حمولة اختبار المقاومة	٤٥٥
٧-٦-٣	معايير اختبار المقاومة	٤٥٥
٧-٧	اختبار الانهيار	٤٥٥
٧-٧-١	عام	٤٥٥
٧-٧-٢	معيار الانهيار	٤٥٦
٧-٧-٣	تحديد قدرة التحمّل التصميميّة	٤٥٦
	الملاحق	٤٥٨
الملحق ب	**تحنيب الفتل الجانبيّ للعناصر المعرّضة للانعطاف**	٤٥٨
ب-١	الحالة الأساسيّة	٤٥٨
ب-٢	مقاومة التحنيب	٤٥٨
ب-٢-١	مقاومة الانعطاف	٤٥٨
ب-٢-٢	عامل بيري وثابت روبيرتسون	٤٥٩
ب-٢-٣	المقاطع المنتظمة I، H والمجراية بأجنحة متساوية	٤٥٩
ب-٢-٤	المقاطع النظاميّة I و H ذات الأجنحة غير المتساوية	٤٦٠
ب-٢-٤-١	النحافة المكافئة	٤٦٠

ب-٢-٤-٢	الانعطاف ثنائي الانحناء	٤٦١
ب٢-٥	العناصر ذات المقطع I و H أو مجراية ذات مقطع متغيّر العطالة أو مزودة بشطفة	٤٦٢
ب-٢-٦	المقاطع الصندوقيّة (متضمّنة المقاطع المستطيلة المفرّغة RHS)	٤٦٢
ب٢-٦-١	النحافة المكافئة	٤٦٢
ب٢-٦-٢	ثابت الفتل للمقطع الصندوقيّ	٤٦٣
ب٢-٦-٣	ثابت الفتل من أجل مقطع مستطيل مفرّغ RHS	٤٦٣
ب-٢-٧	الصفائح والمبسّطات	٤٦٣
ب-٢-٨	المقاطع T	٤٦٤
ب-٢-٨-١	المحاور	٤٦٤
ب-٢-٨-٢	النحافة المكافئة	٤٦٤
ب-٢-٨-٣	ثابت الورب	٤٦٥
ب-٢-٩	المقاطع بشكل زاوية	٤٦٥
ب-٢-٩-١	المحاور	٤٦٥
ب-٢-٩-٢	الزوايا المتساوية	٤٦٦
ب-٢-٩-٣	الزوايا غير المتساوية	٤٦٦
ب-٣	العزوم الداخليّة	٤٦٧
ب٣-١	عام	٤٦٧
ب-٣-٢	المقاطع T	٤٦٧
ب-٣-٣	الزوايا	٤٦٧
الملحق ج	**مقاومة الضغط**	٤٦٨
ج-١	صيغة الضاغط (عنصر مضغوط)	٤٦٨
ج-٢	عامل بيري Perry وثابت روبرتسون Robertson	٤٦٨
ج-٣	فعل الضاغط (العنصر المضغوط)	٤٦٩
الملحق د	**الأطوال الفعّالة في أعمدة المنشآت البسيطة**	٤٧٠
د-١	الأعمدة في المباني ذات الطابق الواحد	٤٧٠
د-١-١	الحالات النمطيّة (النموذجيّة)	٤٧٠

د-١-٢	التغييرات	٤٧٠
د-٢	الأعمدة الساندة للأرضيّات المنبسّطة (المنصّات) الداخليّة	٤٧٥
الملحق هـ	**الأطوال الفعّالة للعناصر المضغوطة في المنشآت المستمرّة**	٤٧٧
هـ -١	عام	٤٧٧
هـ -٢	الأعمدة الموجودة في المباني المتعدّدة الطوابق	٤٧٧
هـ -٢-١	طريقة الإطار المحدود	٤٧٧
هـ -٢-٢	صلابة الجائز	٤٧٨
هـ -٢-٣	صلابة القاعدة	٤٨٢
هـ -٢-٤	صلابة العمود	٤٨٢
هـ -٣	تربيط الانزياح الجزئيّ	٤٨٢
هـ -٣-١	عام	٤٨٢
هـ -٣-٢	الألواح الجداريّة	٤٨٢
هـ -٣-٣	الصلابة (القساوة) النسبيّة	٤٨٣
هـ -٣-٤	صلابة الألواح	٤٨٣
هـ -٤	العناصر المضغوطة الأخرى	٤٨٥
هـ -٤-١	الإطارات المستقيمة	٤٨٥
هـ -٤-٢	تأثير القوى المحوريّة على العناصر الساندة (المُقيّدة)	٤٨٦
هـ -٥	الإطارات المختلطة	٤٨٧
هـ -٦	استعمال عامل الحمولة الحرج المرن	٤٨٧
الملحق و	**استقرار الاطار**	**٤٨٩**
و-١	عام	٤٨٩
و-٢	طريقة السهم	٤٨٩
و-٣	تربيط الانزياح الجزئي	٤٩٠
الملحق ز	**العناصر ذات جناح واحد مُقيّد جانبيّاً**	٤٩١
ز-١	عام	٤٩١

ز-١-١	التطبيق	٤٩١
ز-١-٢	نوع (نمط) الشطفات	٤٩٢
ز-١-٣	مواصفات المقطع	٤٩٢
ز-١-٤	الاجراء	٤٩٢
ز-٢	مقاومة التحنيب الجانبيّ	٤٩٣
ز-٢-١	العناصر المنتظمة	٤٩٣
ز-٢-٢	العناصر المشطوفة أو ذات المقطع المتغيّر	٤٩٤
ز-٢-٣	النحافة λ_{Tc}	٤٩٤
ز-٢-٤	النحافة المكافئة λ_{TB}	٤٩٤
ز-٢-٤-١	العناصر المنتظمة	٤٩٤
ز-٢-٤-٢	العناصر المشطوفة ومتغيّرة العطالة	٤٩٥
ز-٢-٥	عامل تغيّر المقطع	٤٩٥
ز-٣	القيد الجانبي المجاور للمفاصل اللدنة	٤٩٦
ز-٣-١	عام	٤٩٦
ز-٣-٢	القيود عند المفاصل اللدنة	٤٩٧
ز-٣-٣	الجزء المجاور للمفصل اللدن	٤٩٧
ز-٣-٣-١	العناصر المنتظمة	٤٩٧
ز-٣-٣-٢	العناصر المشطوفة أو مُتغيّرة المقطع	٤٩٨
ز-٣-٣-٣	الطول المحدد L_k	٤٩٨
ز-٤	العزوم غير المنتظمة	٤٩٨
ز-٤-١	الطرائق	٤٩٨
ز-٤-٢	عامل العزم المنتظم المكافئ m_t	٤٩٩
ز-٤-٣	عامل تصحيح النحافة n_t	٥٠١
الملحق ح	**مقاومة تحنيب الجسد**	٥٠٣
ح-١	مقاومة (قدرة تحمل) تحنيب القصّ	٥٠٣
ح-٢	المقاومة الحرجة لتحنيب القصّ	٥٠٤
ح-٣	مقاومة الجسد للتأثيرات المتراكبة	٥٠٤
ح-٣-١	عام	٥٠٤
ح-٣-٢	عامل التخفيض من أجل تحنيب القصّ	٥٠٥

ح-٣-٣	المقاطع الأخرى غير المقاطع المستطيلة المفرّغة	٥٠٥
ح-٣-٣-١	تراكب القص والعزم والقوة المحوريّة الضاغطة	٥٠٥
ح-٣-٣-٢	تراكب القصّ مع العزم والشدّ المحوريّ	٥٠٦
ح-٣-٣-٣	تراكب القصّ مع العزم والتحميل الطرفيّ	٥٠٧
ح-٣-٤	المقاطع المفرّغة المستطيلة	٥٠٨
ح-٣-٤-١	تراكب القصّ مع العزم والضغط المحوريّ	٥٠٨
ح-٣-٤-٢	تراكب القصّ مع العزم والشدّ المحوريّ	٥٠٩
ح-٤	إرساء النهاية	٥١٠
ح-٤-١	عام	٥١٠
ح-٤-٢	قائمة طرفيّة مدعّمة مفردة	٥١١
ح-٤-٣	القائمة الطرفيّة المدعّمة المزدوجة	٥١١
ح-٤-٤	لوح الإرساء	٥١٢
الملحق ط	**تراكب الضغط المحوريّ مع عزم الانعطاف**	**٥١٣**
ط-١	العناصر القصيرة الممتلئة	٥١٣
ط-٢	طاقة تحمل العزم اللدن المخفّضة	٥١٥
ط٢-١	المقاطع I أو H بأجنحة متساوية	٥١٥
ط-٢-٢	الحالات الأخرى	٥١٦
ط-٣	العناصر غير المتناظرة	٥١٦
ط-٤	العناصر بمقطع زاوية منفردة	٥١٧
ط-٤-١	عام	٥١٧
ط-٤-٢	الطريقة الأساسيّة	٥١٧
ط-٤-٣	الطريقة المبسّطة	٥١٧
ط-٥	العزوم الداخليّة	٥١٨
ط-٥-١	عام	٥١٨
ط-٥-٢	المقاطع T	٥١٩
ط-٥-٣	الزوايا	٥١٩
	المراجع للقسم الثاني	٥٢٠

القسم الأول من الكود العربي السوري للمنشآت الفولاذية

(بالاعتماد على الكود الأوروبي EC3)

الباب الأول

1 المجال والتطبيق والغاية

1-1 مجال الكود وتطبيقاته

1- يُحدد هذا الكود الأحكام والتوصيات الدنيا التي يجب اتباعها في حساب المنشآت المعدنية وتصميمها وتنفيذها وتحقيقها. ويشمل القواعد الأساسية لدراسة واستعمال المقاطع المعدنية ومواصفاتها وتشغيلها في درجات الحرارة العادية.

2- يُعد هذا الكود جزءاً من أنظمة البناء وقوانينه في الجمهورية العربية السورية.

3- يطبق هذا الكود على عناصر المنشآت الإطارية والشبكية المعدنية وعناصر الجسور والروافع، عندما لا تتعارض بنوده مع الميزات الخاصة لهذه المنشآت.

4- تُحدد الأفعال (القوى الخارجية من أحمال مختلفة) التي تؤثر على المنشآت المعدنية، وتعتمد في التصميم من أنظمة وقوانين البناء واشتراطات التصميم المعترف بها قانوناً في حال وجودها، أو تعتمد نصوص هذا الكود.

5- تُؤخذ خواص المواد ومقاومتها وطرائق اختبارها من المواصفات القياسية والاشتراطات المعترف بها، وفي حال عدم وجودها تعتمد نصوص هذا الكود.

6- يُمكن استعمال الكود الأوروبي الموحد (EC3) وملاحقه، أو المواصفات البريطانية (BS 5950)، أو الكود الأمريكي (AISC) لحساب وتصميم المقاطع في حالة الحد الأقصى، على أن لا تقل نتائج التصميم عن مثيلاتها الناتجة عن تطبيق هذا الكود.

2-1 أغراض الكود

يهدف هذا الكود إلى تحقيق متطلبات الاستثمار والتشغيل للمنشأة المعدنية في أجزائها المختلفة بصفتها وحدة متكاملة، مع توفير عامل أمان كاف ضد الانهيار، وجميع حالات فقدان الاستقرار في نطاقي المقاومة والاستثمار.

3-1 طرائق الحساب

يتم الحساب في هذا الكود وفق حالات الحدود، ويسمح الكود باعتماد نظرية المرونة، مع التحقق من حالات المقاومة (حالات الانهيار) وحالات الاستثمار.

كما يجب التنويه بأنه في حال التحقق من الحالات الحدية على المقاومة، تعتمد الفرضيات التي توافق حالة توازن الأفعال الناجمة عن القوى والأحمال الخارجية والأفعال الأخرى المصعدة مع المقاومات الداخلية الدنيا التي يسمح بتصميم المنشأة على أساسها، وذلك باعتماد السلوك اللدن للمواد والفرضيات الاحتمالية في تحديد عامل الأمان.

أما عند التحقق من حالة حد تجاوز الإجهادات المسموح بها (حد الاستثمار، حالة التشغيل)، فتعتمد الفرضيات التي توافق حالة توازن الأفعال الناتجة عن القوى والأحمال والأفعال الأخرى الاستثمارية من دون تصعيد مع المقاومات الداخلية، بحيث لا تجاوز الإجهادات الفعلية المتولدة قيم الإجهادات المسموح بها للمواد، وذلك باعتماد فرضيات السلوك المرن لهذه المواد وإدخال عوامل الأمان ضمناً في الإجهادات المسموح بها.

الباب الثاني

2 المصطلحات

فيما يلي جدول المصطلحات الخاصة بالكود مع معادلاتها باللغة الإنجليزية.

إنكليزي	عربي
ا، أ، إ، آ	
Stress	إجهاد
Buckling stress	إجهاد التحنيب
Principal stresses	إجهادات أساسية (رئيسة)
Shearing stress	إجهاد قص
Residual stresses	إجهادات متبقية
Yield strength	إجهاد خضوع
Ultimate strength	إجهاد الانقطاع
Relaxation	ارتخاء
Purlin	آصف (جائز ثانوي في سقف–مدادة)
Frame	إطار
Tow-hinged frames	إطار ثنائي المفصل
Three-hinged frames	إطار ثلاثي المفصل
Safety	أمان
Friction coefficient	أمثال الاحتكاك (عوامل الاحتكاك)
Thin walled shapes	أشكال (مقاطع) رقيقة الحواف
Bending	انعطاف
Simple bending	انعطاف بسيط (صافي)
biaxial bending	انعطاف منحرف (عزوم حول المحورين)
Standard deviation	انحراف معياري
Bridge floor	أرضية الجسر
Failure	انهيار
Displacements	انتقالات

Deflection	انتقال عمودي على محور العنصر – سهم
Lateral buckling	انقلاب (تحنيب جانبي)
ب	
Bolt	برغي
High strength bolt	برغي عالي المقاومة
Rivet	برشيم
Profile	بروفيل (مقطع جاهز)
ت	
Buckling	تحنيب
Elastic buckling	تحنيب مرن
Inelastic buckling	تحنيب لدن
Buckling of bars	تحنيب القضبان
Buckling of plates	تحنيب الصفائح
Fatigue	تعب
Deformations	تغيرات
Angular deformation	تغيّر زاوي
Strain	تغيّر نسبي (انفعال)
Warping	تشوه طولي (عمودي على مستوي المقطع) نتيجة الفتل
ث	
Stiffness of spring	ثابت النابض
Throat depth	ثخانة (سماكة) عنق اللحام
ج	
Simply supported beam	جائز بسيط
Gerber beam	جائز جيربر
Three-hinged beam	جائز ثلاثي مفصل
Truss	جائز شبكي
Box girder	جائز صندوقي
Continuous beam	جائز مستمر
Web of beam	جسد المقطع
Plastic creep	جريان لدن
Flange	جناح

Plate Beams	جيزان صفائحية
ح	
State of stress	حالة الإجهاد
Elastic limit	حد السيلان
Fatigue limit	حد مقاومة التعب
Load	حمولة
Critical load	حمولة حرجة
Life load	حمولة إضافية، حمولة حية، حمولة متحركة
Dead load	حمولة دائمة، حمولة ميتة
Concentrated load	حمولة وحيدة (مركزة)
خ	
Influence line	خط التأثير
Zero axis	خط صفر، المحور المحايد للإجهادات
pass	خط اللحام
Elastic curve	خط المرن
د	
Degree of statically indeterminacy	درجة عدم التقرير الستاتيكي
ذ	
Lever Arm	ذراع الرافعة
ر	
Crane	رافعة متحركة
Support reaction	رد فعل المسند
Support	ركيزة، المسند
Shear connectors	روابط القص
ز	
Angles	زوايا
س	
Plastic behaviour	سلوك لدن
Throat depth	سماكة (ثخانة) عنق اللحام

ش	
Tension element, Tie	شداد، عنصر شد
Polar line	شعاع قطبي
Compatibility conditions	شروط التوافق
Boundary conditions	شروط الأطراف، شروط النهايات
ص	
Corrosion	صدأ
Flexural stiffness	صلابة الانعطاف
Bearing Plate	صفيحة استناد
Plate	صفيحة (بلاطة)
Nut	صمنه–عزقة
ط	
Energy	طاقة (قدرة)
Kinematics energy	طاقة حركية
Potential energy	طاقة كامنة
Kinematics method	طريقة حركية
Force method	طريقة قيم القطع (طريقة القوى)
Effective length of buckling	طول التحنيب الفعال
ع	
Safety factor	عامل أمان
Shape factor	عامل الشكل
Load factor	عامل الحمولة
Dynamic factor	عامل حركي (ديناميكي)
Poisson's ratio	عامل التقلص العرضي (بواسون)
Shear modulus	عامل القص
Modulus of elasticity	عامل المرونة
Slenderness ratio	عامل النحافة
Moment	عزم
Bending moment	عزم انعطاف (انحناء)
Limiting moment	عزم حدي (أعظمي آمن)
Resisting moment	عزم مقاوم

Moment of inertia	عزم عطالة
Torsion moment	عزم فتل
Bracing	عضو (عنصر) تكتيف (تربيط) لمقاومة الرياح
Joint	عقدة
Rigid joint	عقدة صلبة
Euler differential equation	علاقة أويلر التفاضلية
Work	عمل
welding process	عملية اللحام
Column	عمود
Tension member	عنصر مشدود
ف	
Torsion	فتل
Action	فعل (حمل)
High tensile Steel	فولاذ عالي المقاومة
ق	
Hooke's law	قانون هوك
Shear	قص
Bar	قضيب
Compressed member	قضيب مضغوط
Force	قوة
Critical force	قوة حرجة
External force	قوة خارجية
Support force	قوة المسند
Internal force	قوة داخلية
Shearing force	قوة قص
Longitudinal (axial) force	قوة طولية، قوة محورية
Transverse (shear) force	قوة عرضية، قوة القص
Normal force	قوة ناظمية
Arch	قوس
Three-hinged arch	قوس ثلاثية المفصل
Trussed arch	قوس شبكي

ل	
لحام زاوي	Fillet weld
لحام طرف لطرف	Butt weld
م	
متجانس	Homogeneous
مادة	Material
مبدأ العمل الافتراضي	Theorem of virtual work
مبدأ الانتقالات الوهمية	Theorem of virtual displacements
مجال	range
مجال مرن	Elastic limit
مُجهد، مُحمّل	Strained
محاور أساسية (رئيسة)	Principal axis
محور حيادي	Neutral axis
مخطط	Diagram
مخطط عزم الانعطاف	Bending moment diagram
مخطط الإجهاد–الانفعال	Stress-strain diagram
مركز القص	Shear center
مركز دوران رئيسي	Instant centre of velocity
مركز دوران ثانوي	Relative instant centre
مساحة إجمالية	Gross section
مفصل	Hinge
مقاطع رقيقة الحافة	Thin walled shapes
مقاومة حدية	Ultimate strength
مقطع أنبوبي	Pipe section
مقطع صاف	Net section
معادلة المرونة	Equation of elasticity
مسند ثابت	Hinged support
مسند متحرك	Rolling support
مسند موثوق	Fixed support
مشتق جزئي	Partial differentiation
ن	

Spring	نابض
Slenderness	نحافة
Radius	نصف قطر
Theory of stability	نظرية الاستقرار
Theory of elasticity	نظرية المرونة
First order theory	نظرية العزوم من المرتبة الأولى
Second order theory	نظرية العزوم من المرتبة الثانية
Third order theory	نظرية العزوم من المرتبة الثالثة
Core of section	نواة المقطع العرضي
و	
Connection	وصلة

الباب الثالث

3 الوحدات والرموز

3-1 الوحدات

إن الوحدات المستعملة في هذا الكود هي الوحدات المقررة في المؤتمر العام للأوزان والمقاييس والمسماة بالنظام الدولي (SI). ويُمكن استعمال وحدات النظام المتري التقليدي (MKS)، لأجل الحسابات الإحصائية ينصح بالوحدات الآتية:

القوى والحمولات $kN , kN/m, kN/m^2$ ، الكتلة kg/m^3 ، الأوزان والأثقال kN/m^3، الإجهادات والمقاومات N/mm^2 $(MN/m^2 = MPa)$، العزوم $kN\cdot m$.

3-2 الرموز والدلالات

يبين الجدول الآتي أهم الرموز والدلالات المعتمدة في هذا الكود.

3-2-1 رموز تتعلق بالمقاطع Notations Related to Cross-Section

Distance, Length	a	مسافة، طول
Gross sectional area	A	مساحة المقطع العرضي الإجمالية
Effective area of cross section	A_{eff}	المساحة الفعالة للمقطع العرضي
Net area of cross section	A_{net}	المساحة الصافية للمقطع العرضي
Area of the flange	A_f	مساحة الجناح
Area of the web	A_w	مساحة الجسد
Effective shear area	$A_{v,eff}$	المساحة الفعالة المقاومة للقص
Width of section	b	عرض المقطع
Effective width of compression flange	b_{eff}	العرض الفعال لجناح المقطع المضغوط
Width or depth of a part of cross section	c	عرض أو ارتفاع جزء من المقطع
depth of a straight portion of web	d	ارتفاع الجزء المستقيم من الجسد
Diameter of hole	d_o	قطر الثقب
Eccentricity of normal force from the centroid of axis	e	لامركزية القوة عن محور المقطع
Depth of section	h	ارتفاع المقطع
Inner depth between flanges	h_w	ارتفاع المقطع بين الجناحين
Radius of gyration	i	نصف قطر العطالة

Moment of inertia	I	عزم العطالة
St. Venant Torsional constant	I_T	ثابت فينانت للفتل
Coefficient	k	معامل
Span	L	طول المجاز
Radius of root fillet	r, r_1	نصف قطر الاتصال بين الجسد والجناح
Toc radius	r_2	نصف قطر نهاية الجناح أو الساق
Number of holes in line across the member	n	عدد الثقوب في المقطع
Static moment of area	S	العزم الاستاتيكي للمساحة
Thickness	t	سماكة
Flange thickness	t_f	سماكة جناح المقطع
Web thickness	t_w	سماكة جسد المقطع
Elastic section modulus	W_{el}	معامل المقطع المرن
Plastic section modulus	W_{pl}	معامل المقطع اللدن
Distance of center of gravity along y-axis	y_s	بعد مركز الثقل بالاتجاه Y
Distance of center of gravity along z-axis	z_s	بعد مركز الثقل بالاتجاه Z

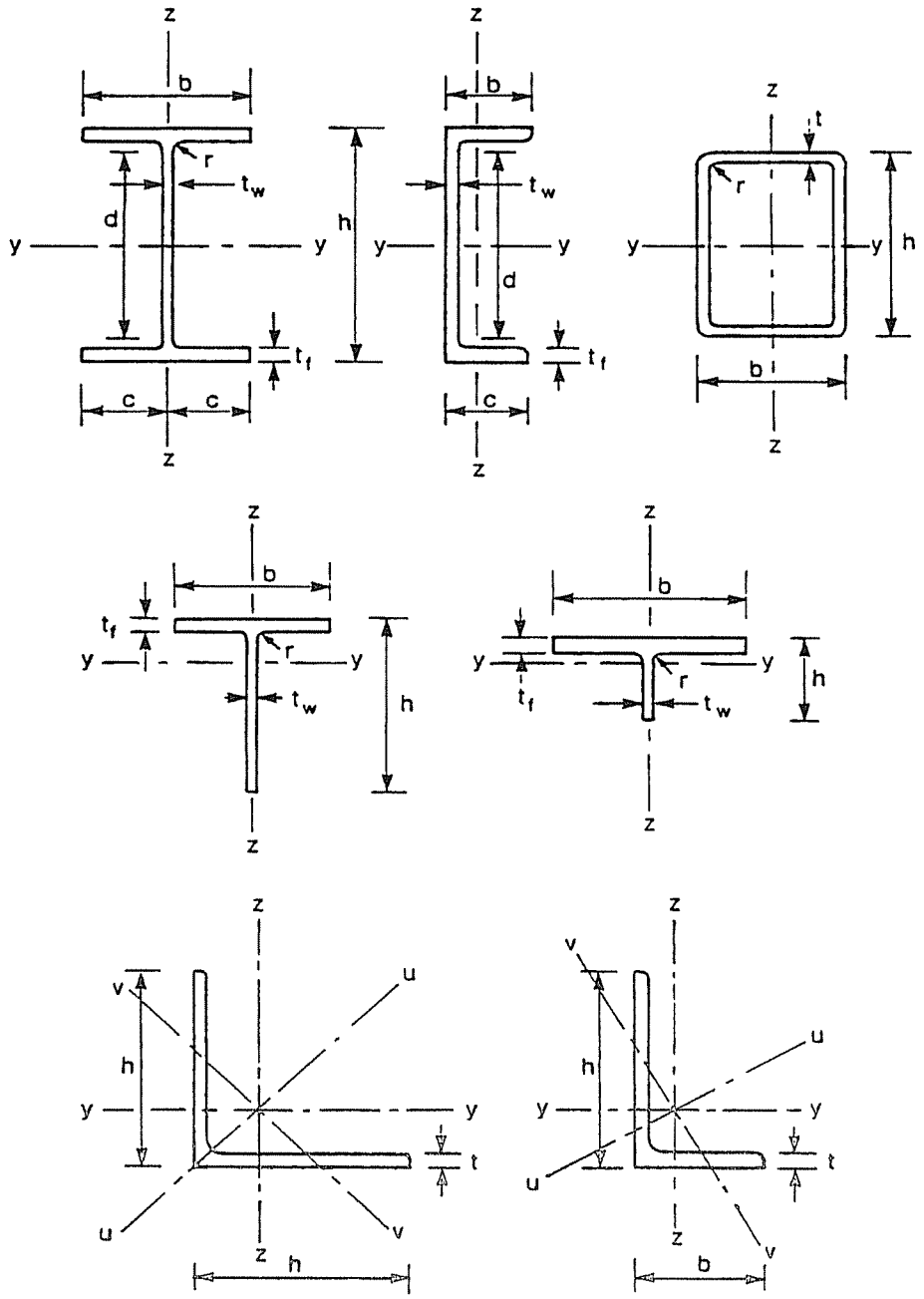
2-2-3 رموز تتعلق بالإجهادات، والانفعالات، والانتقالات

Notations Related to Stresses, Strains and Displacements

Axial force	N	قوة محورية
Shear force	V	قوة القص
Bending moment	M	عزم الانعطاف
Torsion	M_t	عزم الفتل
Uniform force per unit length	q	حمولة موزعة بانتظام
Yield strength	f_y	إجهاد خضوع
Ultimate strength	f_u	إجهاد انقطاع
Yield strain	ε_y	الانفعال عند الخضوع
Ultimate strain	ε_u	الانفعال عند الانقطاع
Modulus of Elasticity	E	معامل المرونة
Shear modulus	G	معامل القص المرن
Poisson,s ratio	υ	معامل بواسون
Coefficient of linear thermal expansion	α	معامل التمدد الطولي الحراري
Stress	σ	إجهاد
Bending stress	σ_b	إجهاد الانعطاف
Tension stress	σ_t	إجهاد شد

Compression stress	σ_c	إجهاد الضغط
Shear stress	τ	إجهاد القص
Ultimate tangential stress	τ_u	إجهاد مماسي حدي
Deflection	δ	السهم

3-2-3 دلالات وتسمية عناصر المقاطع المعدنية



الشكل (3-1): المقاطع المعدنية مع تسميات عناصرها

الباب الرابع

4 خواص المواد

1-4 عموميات

يجب أن تعتمد مواصفات المواد في معطيات التصميم والتي تعطى وفق الجدول (4-1).

2-4 المنشآت المعدنية

1-2-4 مواصفات مواد

يتم اعتماد قيم إجهاد الخضوع (f_y) وقيم إجهاد الانقطاع (الإجهاد الأعظمي) (f_u) وفق الجدول (4-1).

2-2-4 المطاوعة المطلوبة

أ- تحدد المطاوعة الدنيا للفولاذ وفق ما يلي:

يتم اعتماد إجهاد الخضوع (f_y) والإجهاد الأعظمي (f_u) بافتراض:

- نسبة المقاومة الحدية الدنيا إلى المقاومة عند الخضوع (f_u/f_y).
- الاستطالة عند الانهيار مُقاسة على طول قدره ($5.65\cdot\sqrt{A_0}$) للعينة المختبرة، حيث (A_0) تمثل مساحة المقطع العرضي الأصلي لهذه العينة.
- التطاول الحدي (ε_u) وهو المعرف عند بلوغ إجهاد الانقطاع (f_u). ويوصى باعتماد القيم الآتية:
  - $f_u/f_y \geq 1.2$.
  - التطاول الأقصى عند الانهيار لا يقل عن 15%.
  - $\varepsilon_u \geq 20\cdot\varepsilon_y$، حيث تمثل ε_y التشوه عند الخضوع $\varepsilon_y = f_y/E$.

ب- يُعد الفولاذ المطابق لأحد ماركات الفولاذ المبينة في الجدول (4-1) إذا حقق الاشتراطات والمواصفات في الفقرة (4-2-2-أ).

3-2-4 مقاومة التشقق

أ- يجب أن يتمتع الفولاذ بمقاومة تشقق كافية لمنع أي انهيار مفاجئ للعناصر المشدودة في درجات الحرارة الطبيعية.

ب- يجب أن يمتلك الفولاذ مقاومة دنيا للتشقق من أجل المنشآت المعرضة لحمولات ضاغطة.

جدول (4-1): أنواع وماركات فولاذ المقاطع المعدنية المدلفنة والمفرغة

السماكة الإسمية للمقاطع المفرغة بـ mm				نوع وماركة الفولاذ
40 mm < t ≤ 80 mm		t ≤ 40 mm		
f_u	f_y	f_u	f_y	
EN 10210-1				
340	215	360	235	S 235 H
410	255	430	275	S 275 H
490	335	510	355	S 355 H
370	255	390	275	S 275 NH/NLH
470	335	490	355	S 355 NH/NLH
520	390	540	420	S 420 NH/NLH
550	430	560	460	S 460 NH/NLH
EN 10219-1				
		360	235	S 235 H
		430	275	S 275 H
		510	355	S 355 H
		470	355	S 355 NH/NLH
		360	275	S 275 NH/NLH
		500	420	S 420 NH/NLH
		530	460	S 460 NH/NLH

قيم الإجهادات المعطاة بالجدول أعلاه هي بـ N/mm^2.

4-2-4 التسامح في الأبعاد

- يحدد التسامح في أبعاد وكتلة المقاطع المسحوبة والمفرغة والصفائحية وفق النشرات التطبيقية للمصنع.
- تعتمد أبعاد المقاطع الإسمية في التحليل والتصميم الإنشائي.

5-2-4 الخواص ميكانيكية التصميمية للفولاذ

تعتمد الخواص الميكانيكية الآتية للفولاذ في تحليل وتصميم المنشآت المعدنية.

- معامل المرونة: $E = 210000\ N/mm^2$، معامل بواسون: $\nu = 0.3$
- معامل القص: $G = \frac{E}{2 \cdot (1+\nu)}$، الكتلة الحجمية: $\gamma = 7850\ kg/m^3$
- معامل التمدد الطولي: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}\ per\ C$ لدرجات الحرارة أقل من $(100\ C^0)$

3-4 أدوات الوصل

1-3-4 عموميات

1- يجب أن تكون أدوات الوصل ملائمة للكود الخاص بالمنشأة المُراد تصميمها (استعمالها).

2- تُحدد مواصفات وشروط استعمال أدوات الوصل الملائمة مثل البراغي والبراغي عالية المقاومة والبراغي مسبقة الإجهاد والبراشيم وخيوط اللحام، كل حسب تبعيَّته للكود المناسب.

2-3-4 البراغي والصمن والحلقات (الروندیلات)

1-2-3-4 عموميات

1- يجب أن تحدد مقاومة البراغي والصمن والروندیلات من القيم الإسمية وفق الجدول (4-2).

2- البراغي ذات التصنيف الأصغر من 4.6 والأكبر 10.9 لا يمكن أن تستعمل إلا إذا كانت نتائج التجارب تثبت قابلية استعمالها في كل حالة.

3- من التصنيف الاسمي في الجدول (4-2) يستنتج قيمة حد المرونة ($f_{y,b}$) وحد الانقطاع ($f_{u,b}$) كقيم مميزة للحسابات الإحصائية.

جدول (4-2): أصناف ومقاومة البراغي

تصنيف مقاومة البراغي	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{y,b}$ N/mm^2	240	320	300	400	480	640	900
$f_{u,b}$ N/mm^2	400	400	500	500	600	800	1000

ملاحظة: تستنتج قيمة حد الانقطاع وحد المرونة للبرغي من التصنيف الاسمي الذي يتألف من رقمين بضرب الرقم الأول من اليسار بالعدد 100 لاستنتاج حد الانقطاع، والرقم الثاني يضرب بقيمة حد الانقطاع لاستنتاج حد المرونة.

بالنسبة للصنف 5.6، الرقم الأول من اليسار هو 5، ضرب 100 نحصل على 500 والذي يمثل حد الانقطاع، للحصول على حد المرونة يضرب حد الانقطاع السابق بالجزء الثاني من رقم تصنيف البرغي والذي هو لحالتنا 0.6، أي $500x0.6=300$ فنحصل على حد المرونة بالوحدات N/mm^2.

2-2-3-4 براغي مسبقة الإجهاد

1- يمكن استعمال البراغي العالية المقاومة كبراغي مسبقة الإجهاد مع مراقبة قوى سبق الإجهاد.

2- الأصناف الأخرى من البراغي عالية المقاومة يمكن أيضاً استعمالها كبراغي مسبق الإجهاد مع المراقبة.

3-3-4 أصناف أخرى من أدوات الوصل مسبق الإجهاد

1- يمكن استعمال الأصناف الأخرى من أدوات الوصل عالية المقاومة (مثل مسمار القلاووز مسبق الإجهاد) كأدوات وصل مسبق الإجهاد، بشرط أن يكون لها الميزات الميكانيكية ذاتها للبراغي مسبقة الإجهاد.

4-3-4 أدوات الوصل باللحام

1- يجب أن توافق أدوات الوصل باللحام الجزء الخاص بذلك من الكود

2- يجب أن تحدد جودة قيم اللحام مثل قيم حد المرونة وحد الانقطاع والتطاول عند الكسر بحيث تكون مساوية أو أكبر من قيم مادة الفولاذ الأم التي يجري فيها اللحام.

الباب الخامس

5 تحديد الأمان

5-1 المتطلبات الأساسية

1- يجب تصميم المنشأة وتنفيذها بحيث:

– تكون مناسبة للاستثمار المطلوب مع الأخذ بالحسبان العمر التصميمي والكلفة.

– تقاوم جميع الأفعال والمؤثرات التي يتعرض لها بشكل آمن أثناء الإنشاء والاستثمار، وأن تكون كلفة الصيانة والأسعار خلال قدرة الاستعمال مقبولة.

2- يجب أن تتم دراسة المنشأة بحيث لا تتضرر، وتخرج عن الاستثمار نتيجة أفعال استثنائية كالانفجارات أو الصدمات أو نتيجة الأخطاء البشرية.

3- يجب التقليل من الضرر المتوقع حدوثه أو تجنبه، باختيار مناسب لإجراء أو أكثر من الإجراءات الآتية:

- تجنب أو استبعاد، أو تخفيف الأخطار التي يمكن أن تؤثر في المنشأة.
- اختيار الجمل الانشائية الأقل حساسية للأخطار المذكورة.
- اختيار الجمل الانشائية وطرائق الحسابات بحيث لا يؤدي انهيار أحد عناصر المنشأة إلى انهيارها كاملةً.
- استعمال مناسب لجمل التربيط.

4- يجب تحقيق المتطلبات أعلاه باختيار مواد البناء المناسبة والتصميم والتنفيذ الملائمين، وتحديد طرائق الاختبارات لضمان الإنشاء وصولاً إلى استثمار مناسب للمشروع.

5-2 تعريفات

5-2-1 الحالات الحدية وحالات التصميم

5-2-1-1 الحالات الحدية

1- الحالات الحدية: هي الحالات التي يؤدي تجاوزها إلى عدم تلبية المنشأة لمتطلبات التصميم، وتُصنّف الحالات الحدية إلى حالتين، هما الحالة الحدية القصوى (قدرة التحمل)، وحالة حد الاستثمار.

2- الحالة الحدية القصوى: هي تتألف من عدة حالات، منها الحالة المتعلقة بالانهيار أو الحالات الأخرى من الضرر الإنشائي الذي يمكن أن يُعرّض سلامة الإنسان للخطر.

3- تُعد الأضرار الخاصة التي تظهر قبل انهيار المنشأة هي حالات انهيار المنشأة الفعلية، وتعامل وتُصنّف على أنها الحالات الحدية القصوى.

4- تتضمن الحالات الحدية القصوى التي يجب أخذها بالحسبان:

- فقدان توازن المنشأة، أو أي جزء منها على افتراض أن المنشأة هي جسم صلد.
- تضرر المنشأة، أو أي جزء منها نتيجة التشوه الزائد أو الانهيار أو عدم الاستقرار، ويشمل ذلك المساند والأساسات أيضاً.

5- حالة حد الاستثمار: تتألف من عدة حالات، تلك التي يؤدي تجاوزها إلى عدم تلبية المنشأة لمعايير الاستثمار.

6- تتضمن حالات حدود الاستثمار التي يجب أخذها بالحسبان:

- التشوهات والسهوم التي تؤثر سلباً على مظهر المنشأة أو كفاءة الاستثمار (ويشمل ذلك التأثير السيئ في تشغيل الآلات والرافعات الجسرية أو تجهيزات المبنى)، أو تحدث ضرراً في العناصر غير الإنشائية.
- الاهتزازات التي تبعث على عدم الراحة للإنسان أو تحدث ضرراً في البناء وتجهيزاته أو تُحدْ من كفاحه الوظيفية.

5-2-1-2 حالات التصميم

تُصنّف حالات التصميم إلى:

- الحالات الدائمة وهي الحالات التي توافق شروط الاستثمار الطبيعية المنشأة.
- الحالات المؤقتة كحالة المنشأة أثناء التنفيذ أو الإصلاح وما شابه.
- الحالات الاستثنائية.

5-2-2 الأفعال

5-2-2-1 التعريف والتصنيف الرئيسي للأفعال

1- الفعل (F) هو:

- إما حمولة (قوة) مطبقة على المنشأة (فعل مباشر).
- أو نتيجة لتشوه (فعل غير مباشر) كالتشوه الناتج عن تأثير الحرارة أو هبوط المساند.

2- تصنيف الأفعال:

أ- حسب تغيرها مع الزمن:

- أحمال دائمة (G, g) كالوزن الذاتي للمنشأة وتجهيزات البناء الرئيسية الثابتة والأجهزة الخاصة بالمبنى.
- أحمال متغيرة (Q, q) كالأحمال الحية وأحمال الرياح وأحمال الثلج.
- أحمال استثنائية (A) كالانفجارات أو صدمات المركبات.

ب- حسب تغير موضعها:

- أفعال ثابتة كالوزن الذاتي بالنسبة للمنشآت الشديدة التأثر بتغير الوزن الذاتي.
- أفعال حرة تؤدي إلى أحمال ذات وضعيات مختلفة، كالأحمال الحية المتحركة وأحمال الرياح وأحمال الثلج.

5-2-2-2 القيم المميزة للأفعال

1- يتم تحديد القيم المميزة F_k من الكود العربي السوري الملحق (1)، أو من الكودات الأخرى المتعلقة بالأحمال، ومن قبل المُصمم بالتشاور مع صاحب المنشأة، ولكن بشرط التقيد بالحد الأدنى من الاشتراطات المحددة في كود الأحمال.

2- يتم تمييز الأفعال الدائمة التي يكون معامل تغيرها كبيراً، أو الأفعال التي يمكن أن يتغير خلال العمر التصميمي (كالأحمال الدائمة المضافة) بقيمتين مميزتين: قيمة كبرى ($G_{k,sup}$) وقيمة دنيا ($G_{k,inf}$)، وتكفي بشكل عام قيمة مميزة واحدة (G_k).

3- يتم حساب الوزن الذاتي للمنشأة في معظم الحالات اعتماداً على الأبعاد الإسمية لمقطع العنصر ومتوسط الكثافة للفولاذ المستعمل.

4- في الأفعال المتغيرة تكون القيمة المميزة (Q_k):

- إما القيمة الكبرى مع احتمال محدد بعدم تجاوزها، أو القيمة الدنيا مع احتمال محدد بعدم الوصول إليها، وهذه القيم الحدية تُحدد إما حسب العمر التصميمي للمنشأة، أو خلال قدرة استثمار المنشأة المتوقعة، أو العمر الافتراضي.
- أو قيمة محددة لحمولات خاصة.

5- في الأفعال الاستثنائية تكون القيمة المميزة A_K بشكل عام قيمة محددة معطاة.

5-2-2-3 القيم الممثلة للأفعال المتغيرة

1- القيمة الأهم الممثلة للأفعال المتغيرة هي القيمة المميزة Q_k.

2- تمثل القيم الأخرى بالقيمة المميزة Q_k مع استعمال المعامل ψ_i. وتعرف هذه القيم كما يلي:

قيمة التركيب: $\psi_0 \cdot Q_K$

القيمة الأكثر حدوثاً: $\psi_1 \cdot Q_K$

القيمة شبه الدائمة: $\psi_2 \cdot Q_K$

3- تستعمل قيم إضافية للتحقق على التعب والتحليل الديناميكي.

4- تؤخذ قيم العوامل ψ_2 , ψ_1 , ψ_0 من الجدول (5-1).

5-2-2-4 القيم التصميمية للأفعال

1- تعطى القيمة التصميمية للفعل بشكل عام وفق العلاقة الآتية:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_K \qquad (1\text{-}5)$$

حيث γ_F: عامل الأمان الجزئي للفعل المدروس الذي يأخذ بالحسبان، على سبيل المثال إمكانية الانحرافات غير المناسبة للأفعال وإمكانية النمذجه غير الدقيقة للأفعال والارتياب في تقييم القوى الداخلية وكذلك الارتياب في تقييم الحالة الحدية المدروسة.

2- من الأمثلة على استعمال γ_F نذكر:

$$G_d = \gamma_G \cdot G_K$$

$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_K \quad \text{أو} \quad \gamma_Q \cdot \psi_1 \cdot Q_K$$

$$A_d = \gamma_A \cdot A_K$$

شريطة أن تكون A_d غير محددة بشكل مباشر.

3- تعرف القيم العليا والدنيا للأفعال الدائمة على الشكل الآتي:

أ في حالة استعمال قيمة مميزة واحدة G_K:

$$G_{d,sub} = \gamma_{G,sup} \cdot G_K$$

$$G_{d,inf} = \gamma_{G,inf} \cdot G_K$$

ب في حالة استعمال القيمتين المميزتين العليا والدنيا للأفعال الدائمة:

$$G_{d,sup} = \gamma_{G,sup} \cdot G_{K,sup}$$

$$G_{d,inf} = \gamma_{G,inf} \cdot G_{K,inf}$$

$G_{K,inf}$: القيمة المميزة الدنيا للفعل الدائم

$G_{K,sup}$: القيمة المميزة القصوى للفعل الدائم

G_K: القيمة المميزة العليا للفعل الدائم

$\gamma_{G,inf}$: القيمة الصغرى لعامل الأمان الجزئي للفعل الدائم

$\gamma_{G,sup}$: القيمة العظمى لعامل الأمان الجزئي للفعل الدائم.

5-2-2-5 القيم التصميمية لتأثيرات الأفعال

1- تأثيرات الأفعال (E): هي القوى الداخلية للمنشأة نتيجة الأفعال (القوى والعزوم الداخلية، الإجهادات والتشوهات)، وتحدد قيم تأثيرات الأفعال التصميمية (E_d) من القيم التصميمية للأفعال والأبعاد الهندسية والخصائص الميكانيكية للمواد.

$$E_d = E \cdot (F_d, a_d ....) \qquad (2\text{-}5)$$

تُحدد a_d وفق البند 5-2-4.

5-2-3 خصائص المادة

5-2-3-1 القيم المميزة

1- تتمثل خصائص المادة بقيمة مميزة X_K والتي تقابل بشكل عام قيمة بدرجة وثوقيه معينة حسب المنحني الاحتمالي المناسب لسلوك المادة (منحني التكرار). ودرجة الموثوقية تحدد حسب أهمية المنشأة.

2- في حالات معينة تُستعمل القيمة الإسمية على أنها القيمة المميزة.

3- تتمثل خواص المادة في المنشآت الفولاذية عادة بقيم إسمية تستعمل على أنها قيم مميزة.

4- قد يكون لخصائص المادة قيمتان مميزتان مختلفتان، بمعنى آخر قيمة مميزة دنيا وأخرى قصوى، وفي معظم الحالات يجب الأخذ بالحسبان فقط القيمة المميزة الصغرى. ولكن على سبيل المثال يجب الأخذ بالحسبان القيم القصوى لإجهاد الخضوع، في الحالات التي يمكن أن تؤثر زيادة المقاومة فيها سلباً على أمان المنشأة.

الجدول (5-1): قيم المعامل ψ من أجل الأبنية

الفعل	ψ_0	ψ_1	ψ_2
حمولات مطبقة على المبنى			
المنازل، أبنية سكنية	0.7	0.5	0.3
مكاتب	0.7	0.5	0.3
ساحات تسوق، مناطق التجمع	0.7	0.7	0.6
مستودعات	1.0	0.9	0.8
مواقف سيارات (ساحات نقل، لا تزيد عن 30 kN)	0.7	0.7	0.6
مواقف سيارات (ساحات نقل، أكبر 30 kN وحتى 160)	0.7	0.5	0.3
أسطح	0.7	0.2	0.0
حمولات الثلج على المبنى			
منشآت ذات ارتفاع أكثر من 1000 m عن سطح البحر	0.7	0.5	0.2
منشآت على ارتفاع حتى 1000 m عن سطح البحر	0.5	0.2	0.0
حمولة الرياح على المبنى	0.6	0.2	0.0
حمولة الحرارة على المبنى	0.6	0.5	0.0

5-2-3-2 القيم التصميمية

1- تحدد القيمة التصميمية X_d لخصائص المادة بشكل عام بالعلاقة:

$$X_d = (X_K / \gamma_M)$$

γ_M : عامل الأمان الجزئي لخصائص المادة.

2- في المنشآت الفولاذية، تحدد المقاومة التصميمية R_d عادة بشكل مباشر من القيم المميزة لخصائص المادة والأبعاد الهندسية.

$$R_d = R \cdot (X_K, \quad a_K, ...)/\gamma_M \qquad (3\text{-}5)$$

γ_M: عامل الأمان الجزئي للمقاومة.

3- يمكن تحديد القيمة التصميمية R_d من التجارب المخبرية.

4-2-5 الأبعاد الهندسية

1- تتمثل الأبعاد الهندسية عادة بقيمها الإسمية:

$$a_M = a_{nom} \qquad (4\text{-}5)$$

2- تحدد القيم التصميمية في بعض الحالات بالعلاقة:

$$a_d = a_{nom} + \Delta a \qquad (5\text{-}5)$$

حيث: Δa تمثل التغير في الأبعاد.

3- تُؤخذ عيوب الصنع بالحسبان في التحليل العام للمنشأة.

5-2-5 وضعيات الحمولة وحالات الحمولة

1- وضعية الحمولة تصف موضع ومقدار واتجاه الفعل.

2- حالة الحمولة تصف ارتباط وضعيات الحمولة والتشوهات والعيوب في تحقيق معين.

3-5 متطلبات التصميم

1-3-5 عموميات

1- يجب التأكد من أنه لن يحصل تجاوز على الحالة الحدية المطلوبة.

2- يجب أن تشمل الدراسة كل حالات التصميم وحالات التحميل المطلوبة.

3- يجب الأخذ بالحسبان الانحرافات الممكنة لاتجاهات أو مواضع الأفعال.

4- يجب إجراء الحسابات باستعمال نماذج تصميم مناسبة تضمن جميع المتغيرات المطلوبة. ويجب أن تكون هذه النماذج على دقة كافية للتنبؤ بالسلوك الإنشائي، وأن تكون متكافئة مع مستوى جودة الصنع المتوقع تحقيقه، وكذلك وثوقيه المعلومات التي يعتمد عليها التصميم.

2-3-5 الحالات الحدية القصوى

1-2-3-5 شروط التحقق

1- عند الأخذ بالحسبان الحالة الحدية للتوازن الساكن أو لمجمل الانتقالات أو التشوهات للمنشأة يجب أن تحقق العلاقة الآتية:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb} \qquad (6\text{-}5)$$

$E_{d,dst}$: القيمة التصميمية لتأثير الأفعال المسببة لعدم الاستقرار (عدم التوازن)

$E_{d,stb}$: القيمة التصميمية لتأثير الأفعال التي تعمل على الاستقرار (التوازن).

2- عند الأخذ بالحسبان الحالة الحدية للمتانة–الانقطاع أو التشوه الكبير للعنصر أو الوصلة (باستثناء حالة التعب) فيجب أن تتحقق العلاقة الآتية:

$$S_d \le R_d \qquad (7\text{-}5)$$

S_d: القيمة التصميمية للقوة أو العزم الداخلي (أو لشعاع القوة، شعاع العزم)

R_d: المقاومة التصميمية المقابلة للقيمة S_d، وكل مقاومة أخرى تأخذ بالحسبان القيم التصميمية الخاصة لكل الخصائص الإنشائية.

3- عند الأخذ بالحسبان الحالة الحدية لتحول المنشأة إلى ميكانيزم، يجب التحقق من أن الميكانيزم لا يحدث ما لم تتجاوز الأفعال قيمها التصميمية، مع الأخذ بالحسبان القيم التصميمية الخاصة لكل الخصائص الإنشائية.

4- عند الأخذ بالحسبان الحالة الحدية للاستقرار الناتج عن التأثيرات من المرتبة الثانية، يجب التحقق من أن عدم الاستقرار لا يحدث ما لم تتجاوز الأفعال قيمها التصميمية، مع الأخذ بالحسبان القيم التصميمية الخاصة لكل الخصائص الإنشائية، بالإضافة إلى التحقق من المقاطع حسب ما ورد في (2) أعلاه.

5- عند الأخذ بالحسبان الحالة الحدية للانهيار الناتج عن التعب، يجب التحقق من أن القيمة التصميمية لمؤشر الضرر D_d لا تتجاوز الواحد، انظر الباب المتعلق بتعب المواد.

6- عند الأخذ بالحسبان تأثيرات الأفعال، يجب التحقق من أن:

$$E_d \le C_d \qquad (8\text{-}5)$$

E_d: القيمة التصميمية لتأثير الأفعال المدروسة

C_d: طاقة التحمل التصميمية لتأثير الأفعال المدروسة.

5-2-3-2 تراكيب الأفعال

1- في كل حالة تحميل، يجب تحديد القيم التصميمية E_d لتأثيرات الأفعال من علاقات التراكيب المشتملة على القيم التصميمية للأفعال المعطاة في الجدول (5-2).

الجدول (5-2): القيم التصميمية للأفعال لاستعمالها في تراكيب الأفعال

الحالة التصميمية	G_d الأفعال الدائمة	Q_d الأفعال المتغيرة		A_d الأفعال الطارئة
		الفعل الرئيس المتغير	الفعل المتغير المرافق	
الدائمة والمؤقتة	$\gamma_G \cdot G_k$	$\gamma_Q \cdot Q_k$	$\psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_k$	
طارئة، ما لم تحدد بشكل مختلف في مكان آخر	$\gamma_{GA} \cdot G_k$	$\psi_1 \cdot Q_k$	$\psi_2 \cdot Q_k$	$\gamma_A \cdot A_k$ وذلك إذا لم تحدد A_d بشكل مباشر

2- يجب أن تتراكب القيم التصميمية الواردة في الجدول (5-2) باستعمال العلاقات الآتية:

- للتحقق من حالات التصميم الدائمة والمؤقتة ماعدا المتعلقة بالتعب:

التراكيب الأساسية:

$$\Sigma_j \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{K,1} + \Sigma_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i} \qquad (9\text{-}5)$$

- للتحقق من حالات التصميم الاستثنائية (ما لم تحدد بشكل مختلف في مكان آخر).

$$\Sigma_j \gamma_{G,A,j} \cdot G_{K,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{K,1} + \Sigma_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i} \qquad (10\text{-}5)$$

$G_{K,j}$: القيم المميزة للأفعال الدائمة

$Q_{K,1}$: القيمة المميزة لأحد الأفعال المتغيرة

$Q_{K,i}$: القيم المميزة لبقية الأفعال المتغيرة

A_d: القيمة التصميمية (قيمة محددة) للفعل الطارئ

$\gamma_{G,j}$: عامل الأمان الجزئي للفعل الدائم $G_{K,j}$

$\gamma_{GA,j}$ مثل $\gamma_{G,j}$ لكنه لحالات التصميم الطارئة

$\gamma_{Q,i}$: عامل الأمان الجزئي للفعل المتغير $Q_{K,i}$

ψ_0 ، ψ_1 ، ψ_2 عوامل معطاة في الجدول (5-1).

3- التراكيب في حالات التصميم الاستثنائية يجب أن تتضمن فعل استثنائي صريح A أو تشير إلى حالة بعد الحادث الاستثنائي ($A = 0$). ويمكن استعمال $\gamma_{GA} = 1$ ما لم يرد خلاف ذلك.

4- يجب إدخال الأفعال غير المباشرة ذات الصلة في العلاقات (2-9) و (2-10).

5- في حالة التعب، انظر الباب الخاص بذلك.

5-3-2-3 القيم التصميمية للأفعال الدائمة

1- في التراكيب المختلفة الواردة أعلاه، يجب أن تمثل الأفعال الدائمة التي تزيد من تأثير الأفعال المتغيرة (أي تحدث تأثيرات غير مواتية) بقيمها التصميمية القصوى، وأن تمثل الأفعال الدائمة التي تقلل من تأثير الأفعال المتغيرة (أي تحدث تأثيرات مواتية) بقيمها التصميمية الدنيا.

2- في الحالة التي قد تتأثر فيها نتائج التحقق بشكل كبير بتغيرات قيمة الفعل الدائم المفرد من مكان إلى آخر في المنشأة، يجب التعامل مع هذا الفعل وكأنه يتألف من أجزاء غير مواتية وأخرى مواتية، وينطبق هذا بشكل خاص على تحقيق التوازن الساكن.

3- في حال التعامل مع الفعل الدائم على أنه يتألف من أجزاء غير مواتية وأخرى مواتية، يمكن الأخذ بالحسبان العلاقة بين هذه الأجزاء باتخاذ قيم تصميمية خاصة.

4- استثناء الحالات الواردة في (2) يجب تمثيل كل فعل دائم يتعلق بالمنشأة بقيمته التصميمية الدنيا أو القصوى بحيث تعطي قيمته أعظم تأثير غير متوافقة.

5- في الجوائز المستمرة والإطارات يمكن تطبيق نفس القيمة التصميمية للوزن الذاتي للمنشأة على المجازات

جميعها، ماعدا الحالات التي تشتمل على التوازن الساكن للأظفار.

5-3-2-4 التحقق من التوازن الساكن

1- للتحقق من التوازن الساكن يجب تمثيل أفعال عدم الاستقرار (غير المواتية) بقيمها التصميمية القصوى وتمثيل أفعال الاستقرار (المواتية) بقيمها التصميمية الدنيا.

2- بالنسبة لتأثيرات الاستقرار، يجب أن يشتمل التركيب المناسب فقط على الأفعال التي يفترض وجودها بشكل موثوق في الوضعية المدروسة.

3- يجب أن تطبق الأفعال المتغيرة عندما تزيد من تأثيرات عدم الاستقرار، وأن تحذف عندما تزيد من تأثيرات الاستقرار.

4- يجب أن تؤخذ بالحسبان إمكانية أن تحذف أو تزال العناصر غير الانشائية.

5- يجب أن تمثل الأفعال الدائمة بالقيم التصميمية المناسبة اعتماداً على كون تأثيرات الاستقرار أو عدمه تنتج عن:

- الأجزاء غير المواتية والمواتية لحمل دائم واحد
- و/أو أحمال دائمة مختلفة.

6- يجب أن تعامل الأوزان الذاتية لأية عناصر إنشائية غير متصلة، أو عناصر غير إنشائية، مصنوعة من مواد بناء مختلفة على أنها أفعال دائمة أخرى.

7- يجب أن يُعامل الوزن الذاتي لمنشأة متجانس على أنه فعل دائم واحد، يتألف من أجزاء غير مواتية وأخرى مواتية منفصلة عن بعضها.

8- يمكن أيضاً معاملة الأوزان الذاتية للأجزاء المتشابهة أساساً من المنشأة (أو للعناصر غير الانشائية الموجدة أساساً) على أنها أجزاء منفصلة غير مواتية ومواتية لحمل دائم مفرد.

9- في منشآت المباني، تُتطبق عوامل الأمان الجزئية الخاصة على الأجزاء غير المواتية والمواتية لكل فعل دائم مفرد.

10- في منشآت المباني، تُتطبق عوامل الأمان الجزئية العادية على الأفعال الدائمة.

11- في حالة الأحمال الدائمة المحدودة أو المضبوطة بدقة، يمكن استعمال نسب أصغر من عوامل الأمان الجزئية المذكورة في الكود.

12- عند الارتياب في قيمة بعد هندسي ما، يؤثر بشكل كبير في التحقق من التوازن الساكن، يجب تمثيل ذلك البعد بالقيمة الأكثر سوءاً في تأثيرها على هذا التحقق، والتي يمكن أن يصلها هذا البعد.

5-3-3 عوامل الأمان الجزئية للحالات الحدية القصوى

5-3-3-1 عوامل الأمان الجزئية للأفعال على منشآت المباني

1- يجب استعمال عوامل الأمان الجزئية المعطاة في الجدول (5-3) في حالات التصميم الدائمة والمؤقتة.

الجدول (5-3): عوامل الأمان الجزئية للأفعال لحالات التصميم الدائمة والموقتة

الأفعال	الأفعال الدائمة γ_G	الأفعال المتغيرة γ_Q	
		الفعل الرئيس المتغير	الفعل المتغير المرافق
التأثيرات الملائمة (المؤاتية) $\gamma_{F,int}$	1.0 (1	(2	(2
التأثيرات غير الملائمة (غير المؤاتية) $\gamma_{F,sup}$	1.35	1.5	1.5

١) إذا كانت أجزاء الأفعال الدائمة يجب أن تؤخذ كأفعال صفات دائمة فيأخذ العامل للأجزاء الملائمة القيمة $\gamma_{G,inf}=1.1$ وللأجزاء غير الملائمة $\gamma_{G,sup}=1.35$ وذلك تحت فرضية أن استعمال $\gamma_{G,inf}=1.0$ للأجزاء الملائمة وغير الملائمة عندما تدخل تحت التأثير غير الملائم

٢) في الحالة الطبيعية للعناصر الحمالة للأبنية العالية $\gamma_{Q,inf}=0$

2- تؤخذ عوامل الأمان الجزئية للأفعال المتغيرة على أنها مساوية لـ (1) في حالات التصميم الاستثنائية التي تنطبق عليها العلاقة (5-10).

3- عندما يلزم افتراض الفعل الدائم الوحيد يتألف من أجزاء غير مواتية (غير ملائمة) وأخرى مواتية (ملائمة) فيمكن تصعيد الجزء الملائم كطريقة بديلة: $\gamma_{G,inf}=1.1$

وتصعيد الجزء غير الملائم: $\gamma_{G,sup}=1.35$

بشرط أن تطبيق $\gamma_{G,inf}=1.0$ على الجزء الملائم وغير الملائم معاً لا يعطي تأثيراً أسوأ.

4- في حالات تباين التأثير الشعاعي بشكل مستقل تضرب المركبات المتوافقة بعامل التخفيض:

$$\psi_{vec}=0.8$$

5- يمكن للتسهيل في منشآت المباني استبدال العلاقة (5-2) بأي من التراكيب الآتية التي تعطي القيمة الأسوأ:

عند الأخذ بالحسبان فقط الفعل المتغير غير الملائم الأكثر سوءاً:

$$\sum_j \gamma_{G,j}\cdot G_{K,j}+\gamma_{Q,1}\cdot Q_{K,1} \qquad (11\text{-}5)$$

عند الأخذ بالحسبان كل الأفعال المتغيرة غير الملائمة:

$$\sum_j \gamma_{G,j}\cdot G_{K,j}+0{,}9\cdot\sum_{i\geq 1}\gamma_{Q,i}\cdot Q_{K,i} \qquad (12\text{-}5)$$

5-3-3-2 عوامل الأمان الجزئية للمقاومات

1- تعطى عوامل الأمان الجزئية للمقاومات في البنود المناسبة من الباب السابع.

2- في حالة تحديد الخصائص الإنشائية بواسطة الاختبار يجب العودة للمراجع المختصة.

3- بخصوص التحقيقات على التعب انظر الباب الخاص بتعب المواد.

4-3-5 حالات حدود الاستثمار

1- يجب التحقق من أن:

$$E_d \le R_d \quad \text{أو} \quad E_d \le C_d \qquad (13\text{-}5)$$

C_d: هي قيمة إسمية أو تابعة لبعض خواص المواد التصميمية المتعلقة بتأثيرات الأفعال التصميمية المدروسة.

E_d: هي تأثيرات الأفعال التصميمية وتحدد اعتماداً على أحد التراكيب المعرفة أدناه.

2- تتحدد التراكيب الثلاثة للأفعال في حالات حدود الاستثمار بالعلاقات الآتية:

أ- التركيب النادر:

$$\sum_j G_{K,j} + Q_{K,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i} \qquad (14\text{-}5)$$

ب- التركيب المتكرر:

$$\sum_j G_{K,j} + \psi_{1,1} . Q_{K,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} . Q_{K,i} \qquad (15\text{-}5)$$

ت- التركيب شبه الدائم:

$$\sum_j G_{K,j} + \sum_{i\ge1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i} \qquad (16\text{-}5)$$

3- عندما تعطى قواعد مبسطة يتقيد بها في الفقرات المناسبة لحالات حدود الاستثمار، فإنه لا يلزم حسابات مفصلة باستعمال تراكيب الأفعال.

4- عندما يأخذ التصميم بالحسبان التقيد بحالات حدود الاستثمار بالحسابات المفصلة، فإنه يمكن استعمال العلاقات المبسطة لمنشآت المباني.

5- يمكن في منشآت المباني للتسهيل استبدال العلاقة الخاصة بالتركيب النادر (14-5) بأحد التراكيب الآتية الذي يعطي القيمة الأكبر:

- عند الأخذ بالحسبان الفعل المتغير (الإضافي، الحي) غير المواتي الأسوأ فقط:

$$\sum_j G_{K,j} + Q_{K,1} \qquad (17\text{-}5)$$

- عند الأخذ بالحسبان كل الأفعال المتغيرة غير المواتية:

$$\sum_j G_{K,j} + 0.9 \cdot \sum_{i\ge1} Q_{K,i} \qquad (18\text{-}5)$$

يمكن استعمال هاتين العلاقتين أيضاً بديلاً عن العلاقة (15-5) حالة التركيب المتكرر.

6- يمكن تؤخذ قيم γ_M على أنها تساوي (1.0) في كل حالات حدود الاستثمار، إلا إذا ذكر بخلاف ذلك في البنود والفقرات المختصة.

4-5 الديمومة

يجب أن تؤخذ العوامل (المتداخلة) الآتية بالحسبان لضمان ديمومة المنشأة على نحو مقبول.

أ- استثمار المنشأة.

ب- المعايير المطلوبة لأداء المنشأة.

ت- الظروف البيئية المتوقعة.

ث- تركيب وخصائص وسلوك المواد.

ج- شكل العناصر والتفاصيل الإنشائية.

ح- جودة الصنع ومستوى التحكم.

خ- الإجراءات الوقائية الخاصة.

د- الصيانة المتوقعة خلال العمر التصميمي.

يجب تقدير الشروط البيئية الداخلية والخارجية في مرحلة التصميم الأولية، لتقييم أهمية دورها فيما يتعلق بديمومة المنشأة وللتمكن من اتخاذ الاجراءات الكافية لحماية المواد.

5-5 مقاومة الحريق

فيما يتعلق بمقاومة الحريق يتم الرجوع إلى الكودات المختصة.

الباب السادس

6 اشتراطات الحساب والتصميم

6-1 اشتراطات التحليل الانشائي

1- يجب أن يتوافق التحليل الإنشائي مع معايير التصميم وفق الطريقة الحدية.

2- يجب أن يُعبر النموذج الإنشائي المعتمد في التحليل عن السلوك المرن اللدن لعناصر المنشأة والعقد والوصلات فيه.

3- يجب أن يكون التحليل الإنشائي متوافقاً ومُعبراً عن طريقة تجميع وتركيب المنشأة.

4- يمكن إهمال تأثير سلوك الوصلات على انتشار وتوزيع العزوم في المنشأة خلال التجميع، إلا إذا كان هذا التأثير واضح، فيجب عندها أخذه بالحسبان عند التحليل الإنشائي.

5- لمعرفة الحالات التي يكون لسلوك الوصلة (عقد الاتصال) تأثير على التحليل الانشائي، نُميّز الأنواع الثلاث الآتية من الوصلات:

- وصلات بسيطة حيث لا تنقل العقدة أية عزوم بين العناصر المتصلة فيها.
- وصلات مستمرة لا يكون لسلوك الوصل فيها تأثير على التحليل الإنشائي.
- وصلات نصف مستمرة حيث يجب أن يدخل تأثير سلوك العقد في الدراسة والتحليل الإنشائي.

6-2 تأثير العيوب والتشوهات الأولية على المنشأة

1- يجب أن تحسب القوى والعزوم الداخلية باعتماد:

- التحليل المرن (الأثر الأول) الحاصل من تحليل عناصر المنشأة الأصلية من دون تشوهات.
- أو التحليل بافتراض الأثر الثاني الذي يدخل عيوب تشوهات العناصر بالحسبان.

2- يجب إدخال تأثيرات التشوهات (تأثيرات الدرجة الثانية) في التحليل، عندما تؤثر بوضوح على إضعاف مقاومة المنشأة، أو على سلوكها.

3- يتم اعتماد التحليل المرن العادي (تأثيرات الدرجة الأولى)، عندما يمكن إهمال أثر التشوهات الناتجة من التحليل الإنشائي وفق نظرية العزوم من الدرجة الثانية على قيم القوى الداخلية والعزوم والتشوهات، وهو ما يتحقق بالشرط وفق العلاقة (6-1).

عند استعمال التحليل المرن:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \qquad \text{(a-1-6)}$$

عند استعمال التحليل اللدن:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \qquad \text{(b-1-6)}$$

α_{cr} : معامل تصعيد الحمولات المسبب لفقدان استقرار المنشأة المرن

F_{Ed} : الحمولات التصميمية في المنشأة

F_{cr} : الحمولة الحرجة للتحنيب المرن

4- يُمكن تحقيق الإطارات الحاملة الصلدة (الأسقف الأفقية أو ذات الميل أقل من 1:2 أو 26°) ذات العمل المستوي، على الانهيار الجانبي في حالة التحليل المرن، الشكل (6-1)، بتحقيق العلاقة السابقة عند كل طابق. في هذا النوع من المنشآت تحسب قيمة المعامل α_{cr} من العلاقة (6-2) التقريبية، شريطة أن تكون قيم القوى الضاغطة المحورية في العناصر الأفقية أو السنمية مهملة.

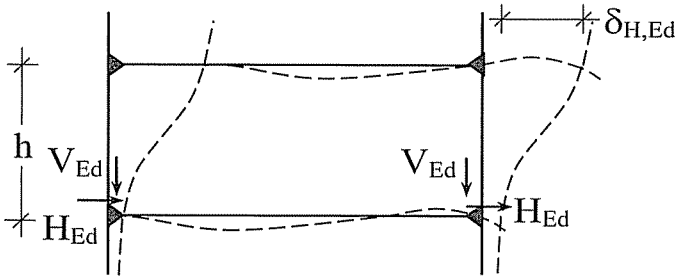
$$\alpha_{cr} = (\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}}) \cdot (\frac{h}{\delta_{H,Ed}}) \qquad \text{(2-6)}$$

H_{Ed}: القيمة التصميمية لرد الفعل الأفقي في أسفل الطابق مُتضمنة القوى الأفقية المكافئة

V_{Ed}: القيمة التصميمية الكلية لرد الفعل الشاقولي للبناء على الطابق السفلي

$\delta_{H,Ed}$: الانتقال الأفقي الصافي الحاصل في الطابق العلوي منسوباً إلى الانتقال الحاصل في الطابق السفلي

h: ارتفاع الطابق



الشكل (6-1): الإطارات المعرضة للانتقال الجانبي

– بفرض ميول للسقف لا تزيد على (1:2)، أي ما يعادل (26°) وذلك عند غياب المعلومات.

– في حال عدم معرفة تفاصيل عن الجوائز يمكن فرض أن القوة المحورية المؤثرة على الجوائز غير مهملة (ذات تأثير ملموس) إذا تحققت العلاقة:

$$\overline{\lambda} \geq 0.3 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}} \qquad \text{(3-6)}$$

N_{Ed}: القوة الضاغطة المحورية التصميمية

$\overline{\lambda}$: معامل النحافة النسبي للجائز المتفصل الطرفين في مستوي الإطار، بحيث يُؤخذ طوله بين المساند.

5- يجب أن يُؤخذ تأثير القص في المستوي والتحنيب الموضعي على صلابة الاطار بالحسبان، إذا كانت هذه الظواهر تُؤثر بشكل واضح على التحليل الإنشائي الكلي. المقاطع المسحوبة على الساخن أو الملحومة ذات الأبعاد المتماثلة، يكون فيها تأثير القص في مستويها مهملاً عادة.

6- يؤخذ أثر ثقوب البراغي والتشوهات في الوصلات بالحسبان عند التحليل الإنشائي، إذا كانت بالغة الأهمية.

3-6 استقرار الإطارات

1- يجب أن يُؤخذ بالحسبان تأثير التشوهات الحاصلة في المنشأة المذكورة سابقاً لتحقيق استقرار المنشأة.

2- لابد من أخذ التشوهات الأولية والأفعال من الدرجة الثانية بالحساب من أجل تحقيق استقرار الإطارات، أو أجزاء منها.

3- يُؤخذ تأثير الأفعال من الدرجة الثانية والتشوهات الأولية، باعتماد إحدى الطرائق الآتية وذلك حسب نوع الإطار ونوع التحليل الإنشائي المعتمد:

أ- تحليل إنشائي يأخذ الأثرين معاً كلياً.

ب- تحليل إنشائي يأخذ الأثرين جزئياً مع تحقيق جزئي لاستقرار العناصر.

ت- تحقيق استقرار كل عنصر وفق الطرائق المبسطة باعتبار أطوال التحنيب الفعلية للعناصر.

4- يمكن أن يحسب أثر الأفعال من الدرجة الثانية باستعمال تحليل إنشائي وفق طرائق التقريب المتتالي. ومن أجل الإطارات (التي يكون فيها نمط الانزياح الجانبي للتحنيب هو المتحكم) يجب أن يُعتمد التحليل المرن مع الأخذ بالحسبان عامل تضخيم مناسب لنتائج هذا التحليل.

5- من أجل الإطارات ذات الطابق الواحد والمصممة باعتماد تحليل كلي مرن فإن التشوهات من الدرجة الثانية الحاصلة بفعل الحمولات الشاقولية يمكن أن تؤخذ بالحسبان من خلال تصعيد الحمولات الأفقية (H_{Ed}) كالرياح والحمولات المكافئة ($V_{Ed} \cdot \phi$) الحاصلة بفعل التشوهات الأولية من خلال المعامل:

$$\frac{1}{1-1/\alpha_{cr}} \qquad (4\text{-}6)$$

وذلك في حال $\alpha_{cr} \geq 3.0$

أما عندما تكون ($\alpha_{cr} < 3.0$) يجب اعتماد دقة أعلى في تحديد الأثر الناتج من الدرجة الثانية (التشوهات).

6- يُمكن حساب أثر الأفعال من المرتبة الثانية في حالة الإطارات متعددة الطوابق باعتماد مفهوم البند السابق، حيث تتماثل العوامل الآتية في الطوابق جميعها، وفيها:

- توزع الحمولات الشاقوليه
- توزع الحمولات أفقية
- توزع عطالات الإطار وفق قوى القص الطابقية.

7- يجب تحقيق استقرار عناصر الإطار بشكل مستقل وفق ما يلي:

- إذا كانت الأفعال من المرتبة الثانية والتشوهات الأولية قد أُخذت بالحسبان لكل عنصر أثناء التحليل الانشائي الكلي، عندها لا داعي لاجراء أي تحقيق يتعلق باستقرار هذه العناصر.
- إذا كانت الأفعال من الدرجة الثانية والتشوهات الأولية في بعض العناصر غير محسوبة من تحليل إنشائي كلي. عندها يتم تحقيق استقرار العناصر وفق بنود الباب السابع.

8- عندما يتحقق الاستقرار باعتماد طريقة العمود المكافئ، كما سيرد في الفصل 7-13 فإن طول التحنيب يجب أن يُؤخذ اعتماداً على شكل التحنيب الكلي للإطار الذي يأخذ بالحسبان صلابات العناصر والعُقد، وكذلك ظهور المفاصل اللدنة وتوزّع الحمولات الضاغطة. في هذه الحالة، تكون القوى الداخلية الناتجة والتي ستُستعمل في تحقيق مقاومة العناصر خالية من أثر التشوهات الأولية.

4-6 العيوب (التشوهات الأولية)

يجب أن تُدخل قيم مناسبة للتسامح في تصنيع العناصر في التحليل الإنشائي لتغطي حالات عيوب التصنيع (التشوهات الأولية) المختلفة (في العناصر والوصلات والحمولات)، بما فيها الإجهادات المتبقية ولا مركزيات العُقد واللا مركزيات الناتجة عن عدم الشاقولية وعدم الاستقامة.

العيوب التي يجب أن تؤخذ بالحسبان هي:

- عيوب (تشوهات أولية) عامة في جملة الإطارات وأربطة التقوية
- عيوب (تشوهات أولية) موضعية في بعض العناصر.

1-4-6 العيوب للتحليل العام للإطارات

1- يتم اختيار شكل التشوهات الأولية (أو العيوب العامة) والموضعية اعتماداً على نمط التحنيب المرن للمنشأة في مستوي التحنيب المدروس.

2- يجب أن تُؤخذ في الحسبان كلا حالتي التحنيب ضمن وخارج المستوي وحالة تحنيب الفتل.

3- في الإطارات التي يُتوقع فيها حدوث تحنيب بنمط انزياح جانبي، فيجب أخذ تأثير التشوه الأولي (عيوب التصنيع) في التحليل الإنشائي لهذا الإطار. ويتم ذلك بأخذ تشوهات أولية مُكافئة (على هيئة انزياح جانبي للإطار وتقوس أولي للعناصر إفرادياً).

أ- عيوب انزياح جانبي كلي كما في الشكل (6-2):

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \qquad (5\text{-}6)$$

بحيث:

$$2/3 \le \alpha_h = 2/\sqrt{h} \le 1.0$$

ϕ_0: القيمة البدائية وتساوي $\phi_0 = 1/200$

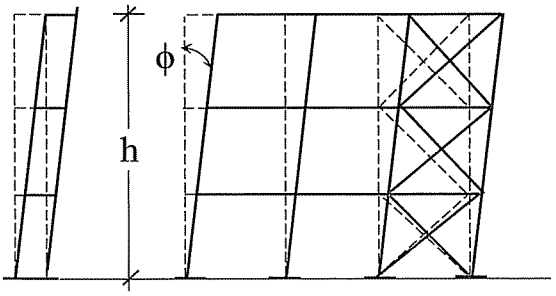
α_h: معامل تخفيض متعلق بارتفاع الأعمدة

h: ارتفاع المنشأة مقدراً بالمتر

α_m: معامل تخفيض متعلق بعدد الأعمدة في الصف الواحد ويحسب بالعلاقة:

$$\alpha_m = \sqrt{0.5 \cdot (1 + \frac{1}{m})}$$

m: عدد الأعمدة في الصف الواحد فقط تلك المعرضة لحمولات شاقوليه (N_{Ed}) لا تقل عن (50%) من متوسط حمولات الأعمدة الموجودة في المستوي الشاقولي المدروس.



الشكل (6-2): مكافئة عيوب التشوه الجانبي

ب – عيوب التقوس الأولية الموضعية في العناصر المنعطفة:

$$\frac{e_0}{L} \qquad (6\text{-}6)$$

L: طول العنصر، ويمكن اعتماد القيم الآتية للنسبة ($\frac{e_0}{L}$) من الجدول (6-1).

يمكن إهمال العيوب أو التشوهات الأولية في المباني الإطارية الخاضعة للانزياح الجانبي طالما أن:

$$H_{Ed} \geq 0.15 \cdot V_{Ed}$$

الجدول (6-1): القيم التصميمية لعيوب التقوس الأولية

شكل منحني التحنيب	تحليل مرن e_0/L	تحليل لدن e_0/L
a_o	**1/350**	**1/300**
a	**1/300**	**1/250**
b	**1/250**	**1/200**
c	**1/200**	**1/150**
d	**1/150**	**1/100**

6-5 طرائق التحليل المعتمدة على لا خطيه المادة

6-5-1 عموميات

1- يمكن الحصول على القوى الداخلية والعزوم باستعمال أحد التحليلين المرن أو اللدن للمنشأة.

2- مع الإشارة لإمكانية استعمال التحليل المرن في جميع الحالات.

3- يمكن استعمال التحليل اللدن عندما تملك المنشأة طاقة دوران كافية في أماكن تشكل المفاصل اللدنة،

سواء كانت في العناصر أم في العقد، عندما ينشأ المفصل اللدن في العنصر فإن المقطع العرضي يجب أن يكون متناظراً حول محوريه العرضيين، أو حول محور عرضي واحد هو محور الانعطاف. وعندما ينشأ المفصل في عقدة ما يجب أن تحتوي هذه العقدة صلابة كافية لبقاء المفصل في العنصر.

كطريقة مبسطة من أجل إعادة توزيع العزوم اللدنة في الجوائز المستمرة، حيث يمكن أن تتجاوز بعض قيم عزوم التحليل المرن نسبة (15%) من العزم المقاوم اللدن كحد أقصى. يمكن إعادة توزيع قيمة التجاوز في العزوم هذه في أي عنصر بحيث:

أ- يبقى التوازن محققاً بين القوى والعزوم الداخلية مع الحمولات الخارجية المطبقة

ب- جميع العناصر التي خفضت فيها العزوم ذات مقاطع من الصنف 1 أو 2

ت- التحنيب الجانبي الفتلي ممنوع في العناصر.

6-5-2 التحليل المرن

1- يجب أن يعتمد التحليل المرن على السلوك الخطي لمخطط الإجهاد–الانفعال.

2- يمكن حساب القوى والعزوم الداخلية باستعمال تحليل مرن، حتى لو حُسبت مقاومة المقطع استناداً على خصائصه اللدنة.

3- يُمكن استعمال التحليل المرن في المقاطع العرضية التي تكون مقاومتها محدودة بحدوث التحنيب الموضعي.

6-5-3 التحليل اللدن

1- يسمح التحليل اللدن بأخذ تأثير السلوك اللاخطي للمواد وانعكاس ذلك على سلوك المنشآت، ويجب تمثيل هذا السلوك بإحدى الطرائق الآتية:

أ– تحليل مرن–لدن مع مقاطع متلدنة و/أو عُقد كمفاصل لدنة.

ب– تحليل لا خطي لدن بفرض التلدّن الجزئي للعناصر

ج– تحليل صلب لدن بإهمال التصرف المرن بين المفاصل.

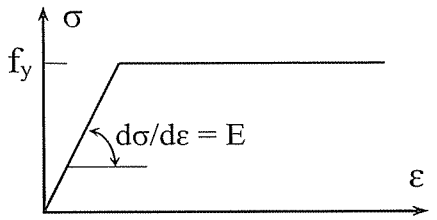
2- يُمكن استعمال التحليل اللدن الكلي، عندما تملك عناصر المنشأة مقاومة كافية للدوران، مما يسمح بإعادة توزيع عزوم الانعطاف.

3- يُمكن أن يُستعمل التحليل اللدن فقط، عندما يتم تأمين استقرار العناصر المُلتقية في المفاصل اللدنة.

4- يُمكن اعتماد مخطط الإجهاد–الانفعال (خطي ثنائي) المبين بالشكل (6-3) لتحليل المنشآت المعدنية.

5- يُمكن اعتماد تحليل صلب لدن عندما يكون تأثير العيوب الهندسية مهملاً. في هذه الحالة تُصنَّف العُقد حسب صلابتها.

6- يتم التحقق من تأثير العيوب (التشوهات الأولية) الهندسية على المنشأة، واستقرار الإطارات، وفقاً للفصل 6-2.



الشكل (6-3): مخطط الإجهاد–الانفعال (خطي ثنائي)

الجدول (6-2): فرضيات التصميم

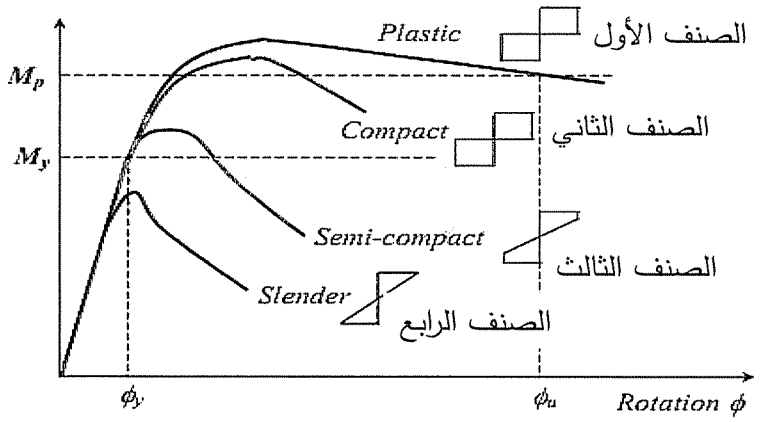
نوع المنشآت	طرائق الحساب	أشكال الوصلات المستعملة
المنشآت المتمفصلة	الجميع	-مفصلية، 8-4-2-1 -مفصلية، 8-4-3-1
منشآت صلبة، جيزان مستمرة أو إطارات	مرنه	-غير قابلة للتشوه (صلبة)، 8-4-2-2 -مفصلية، 8-4-2-1
	طريقة تشكل مفاصل السيلان وفق نظرية العزوم من الدرجة الأولى	-قدرة تحمل كاملة، 8-4-3-2 -مفصلية، 8-4-3-1
	طرائق حساب مرونة – لدونة	-قدرة تحمل كاملة، 8-4-3-2، 8-4-2-2 -مفصلية، 8-4-3-1، 8-4-2-1
منشآت غير صلبة، جيزان مستمرة أو إطارات	مرنه	-قابلة للتشوه (مرنه)، 8-4-2-3 -غير قابلة للتشوه، 8-4-2-2 -مفصلية، 8-4-2-1
	طريقة تشكل مفاصل السيلان وفق نظرية العزوم من الدرجة الأولى	-قدرة تحمل جزئية، 8-4-3-3 -قدرة تحمل كاملة، 8-4-3-2 -مفصلية، 8-4-3-1
	طرائق حساب مرونة–لدونة	-قدرة تحمل جزئية–قابلة للتشوه، 8-4-3-3، 8-4-2-3 -قدرة تحمل جزئية–غير قابلة للتشوه، 8-4-3-3، 8-4-2-2 -قدرة تحمل كاملة–قابلة للتشوه، 8-4-3-2، 8-4-2-3 -قدرة تحمل كاملة–غير قابلة للتشوه، 8-4-3-2، 8-4-2-2 -مفصلية، 8-4-3-1، 8-4-2-1

6-6 تصنيف المقاطع العرضية

إن مبدأ تصنيف المقاطع معتمد على أن مقاومة، وسعة دوران المقاطع محدودة بظاهرة التحنيب الموضعي.

1- تُقسَّم المقاطع العرضية إلى أربع أصناف وفق ما يلي:

- الصنف الأول (مقاطع لدنة): هي المقاطع التي يمكن أن يتشكل فيها مفصل لدن مع قدرة دوران مطلوبة لإجراء تحليل لدن من دون تخفيض في المقاومة.
- الصنف الثاني (مقاطع مكتنزة): يمثل المقاطع التي يمكن أن تصل فيها العزوم إلى قيمة العزم اللدن، لكن تكون الدورانات فيها محدودة بسبب التحنيب الموضعي.
- الصنف الثالث (مقاطع نصف مكتنزة): تمثل المقاطع التي تصل الإجهادات فيها عند أبعد ليف مضغوط إلى قيمة إجهاد الخضوع (بفرض التوزع المرن للإجهادات)، ويحول التحنيب الموضعي من الوصول إلى العزم اللدن.
- الصنف الرابع (مقاطع نحيفة): وهي المقاطع التي يحدث فيها التحنيب الموضعي قبل بلوغ وصول الفولاذ لإجهاد الخضوع، لذا يجب دراستها على التحنيب.
-



الشكل (6-4): أصناف المقاطع

2- يمكن إدخال تأثير التحنيب الموضعي على تخفيض المقاومة في المقاطع ذات التصنيف 4 باعتماد العرض الفعال للمقطع.

3- يعتمد تصنيف المقاطع على نسبة العرض إلى السماكة في الجزء المضغوط من المقطع.

4- تشمل الأجزاء المضغوطة أي جزء من المقطع العرضي مضغوط جزئياً، أو كلياً وتحت تأثير مختلف حالات التحميل.

5- يمكن لأجزاء المقطع العرضي المختلفة (جناح وجسد) أن تكون من أصناف مختلفة.

6- يُصنَّف المقطع العرضي وفق أسوء صنف للجزء المضغوط فيه.

7- يمكن تحديد صنف المقطع العرضي تبعاً لصنف الجناح والجسد.

8- تؤخذ حدود خصائص المقاطع المضغوطة من الأصناف (1, 2, 3) من الجدول (6-3)، الذي يُعدّ أن المقطع الذي لا يحقق حدود الصنف 3 يجب أن يؤخذ من الصنف 4.

9- يمكن معاملة المقطع من الصنف 4 كأنه من الصنف 3، إذا كانت نسبة العرض إلى السماكة أقل مما هو معروف للصنف 3 في الجدول (6-3) حيث تُصعد قيمة ε بالحد:

$$\sqrt{\frac{f_y / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}}}$$

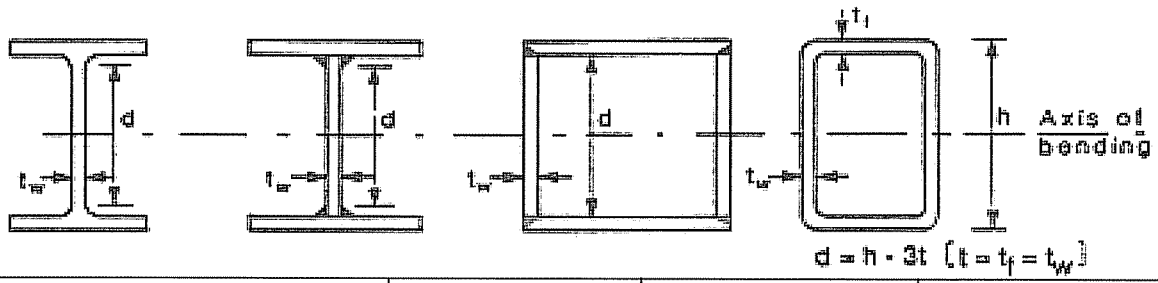
$\sigma_{com,Ed}$: إجهاد الضغط التصميمي الأقصى

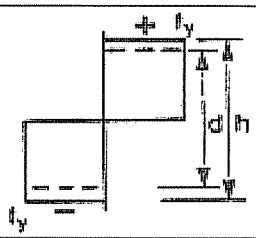
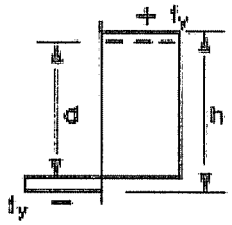
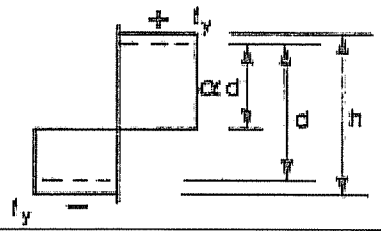
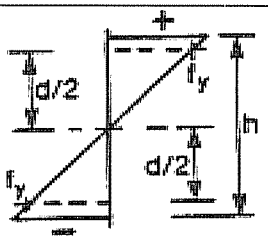
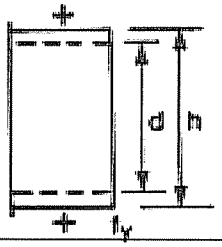
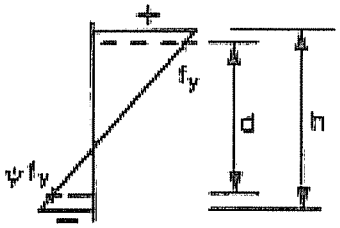
10- عند تحقيق مقاومة المقطع للتحنيب في عنصر ما، وفق الفصل (7-12) فإن حدود نسبة الصنف 3 يجب أن تؤخذ من الجدول (6-3).

11- المقاطع ذات الصنف 3 للجسد و1 أو 2 للجناح يمكن أن توضع ضمن الصنف 2 للمقطع باعتماد عرض فعال للجسد وفق البند 7-3-2.

12- عندما يفترض أن جسد المقطع يقاوم القص فقط، ولا يساهم في مقاومة الانعطاف والقوى المحورية، عندئذ يمكن تصميم المقطع العرضي بافتراضه من الصنف 2 أو 3 أو 4 اعتماداً على صنف الجناح فقط.

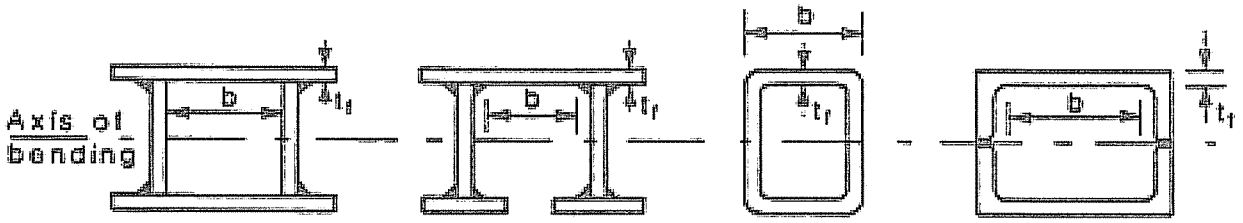
الجدول (6-3): القيم القصوى لنسبة العرض إلى السماكة في العناصر المضغوطة

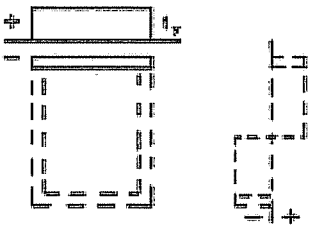
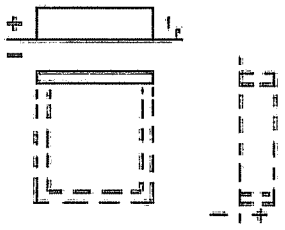
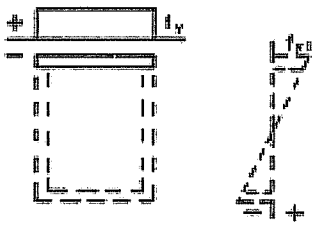
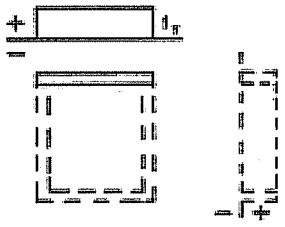


التصنيف	الجسد معرض للانعطاف	الجسد معرض للضغط	الجسد معرض للانعطاف وللضغط
توزيع الإجهادات في العنصر، الضغط موجب			
1	$d/t_w \le 72\cdot\varepsilon$	$d/t_w \le 33\cdot\varepsilon$	when $\alpha > 0.5 : d/t_w \le \frac{396\cdot\varepsilon}{13\cdot\alpha - 1}$ when $\alpha \le 0.5 : d/t_w \le \frac{36\cdot\varepsilon}{\alpha}$
2	$d/t_w \le 83\cdot\varepsilon$	$d/t_w \le 38\cdot\varepsilon$	when $\alpha > 0.5 : d/t_w \le \frac{456\cdot\varepsilon}{13\cdot\alpha - 1}$ when $\alpha \le 0.5 : d/t_w \le \frac{41.5\cdot\varepsilon}{\alpha}$
توزيع الإجهادات في العنصر، الضغط موجب			
3	$d/t_w \le 124\cdot\varepsilon$	$d/t_w \le 42\cdot\varepsilon$	when $\psi > -1 : d/t_w \le \frac{42\cdot\varepsilon}{0.67 + 0.33\psi}$ when $\psi \le -1$: $d/t_w \le 62\cdot\varepsilon\cdot(1-\psi)\cdot\sqrt{-\psi}$
f_y	235	275	355
ε	1	0.92	0.81

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$

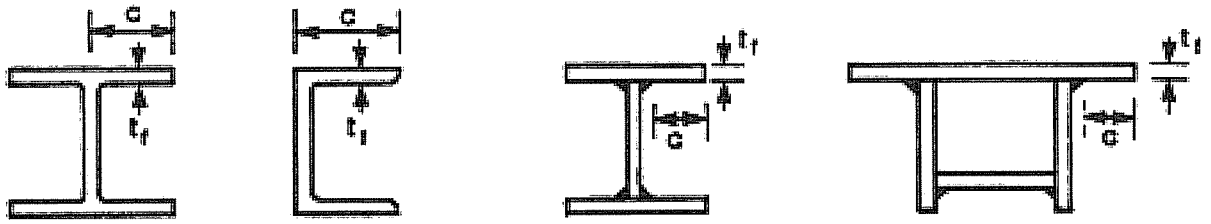
تابع الجدول (6-3): القيم القصوى لنسبة العرض إلى السماكة في العناصر المضغوطة



التصنيف		الجسد معرض للانعطاف	الجسد معرض للضغط
الإجهادات في العنصر، وفي المقطع العرضي، الضغط موجب			
1	المقاطع المدرفلة المفرغة	$\frac{b-3\cdot t_f}{t_f} \le 33\cdot\varepsilon$	$\frac{b-3\cdot t_f}{t_f} \le 42\cdot\varepsilon$
	بقية المقاطع	$\frac{b}{t_f} \le 33\cdot\varepsilon$	$\frac{b}{t_f} \le 42\cdot\varepsilon$
2	المقاطع المدرفلة المفرغة	$\frac{b-3\cdot t_f}{t_f} \le 38\cdot\varepsilon$	$\frac{b-3\cdot t_f}{t_f} \le 42\cdot\varepsilon$
	بقية المقاطع	$\frac{b}{t_f} \le 38\cdot\varepsilon$	$\frac{b}{t_f} \le 42\cdot\varepsilon$
الإجهادات في العنصر، وفي المقطع العرضي، الضغط موجب			
3	المقاطع المدرفلة مفرغة	$\frac{b-3\cdot t_f}{t_f} \le 42\cdot\varepsilon$	
	بقية المقاطع	$\frac{b}{t_f} \le 42\cdot\varepsilon$	

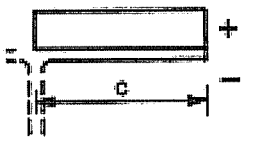
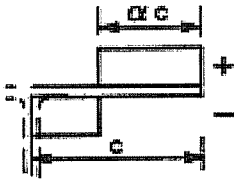
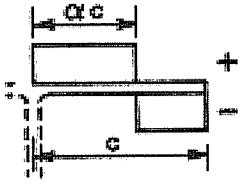
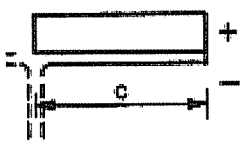
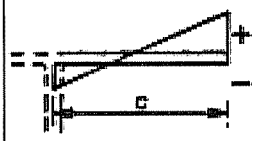
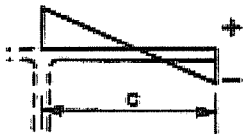
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ε	1	0.92	0.81

تابع الجدول (6-3): القيم القصوى لنسبة العرض إلى السماكة في العناصر المضغوطة



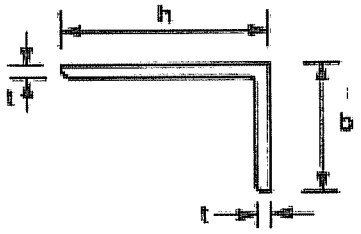
مقاطع ملحومة

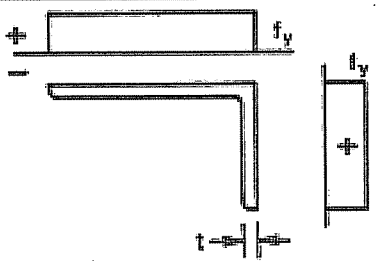
مقاطع المدرفلة

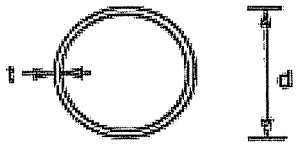
التصنيف		الجناح معرض للضغط	الجناح معرض للانعطاف وللضغط	
			طرف الضغط	طرف الشد
توزيع الإجهادات في العنصر، الضغط موجب				
1	مدرفلة	$c/t_f \le 10\cdot\varepsilon$	$c/t_f \le 10\cdot\varepsilon/\alpha$	$c/t_f \le \dfrac{10\cdot\varepsilon}{\alpha\cdot\sqrt{\alpha}}$
	ملحومة	$c/t_f \le 9\cdot\varepsilon$	$c/t_f \le 9\cdot\varepsilon/\alpha$	$c/t_f \le \dfrac{9\cdot\varepsilon}{\alpha\cdot\sqrt{\alpha}}$
2	مدرفلة	$c/t_f \le 11\cdot\varepsilon$		$c/t_f \le \dfrac{11\cdot\varepsilon}{\alpha\cdot\sqrt{\alpha}}$
	ملحومة	$c/t_f \le 10\cdot\varepsilon$		$c/t_f \le \dfrac{10\cdot\varepsilon}{\alpha\cdot\sqrt{\alpha}}$
توزيع الإجهادات في العنصر، الضغط موجب				
3	مدرفلة	$c/t_f \le 15\cdot\varepsilon$	$c/t_f \le 23\cdot\varepsilon\cdot\sqrt{k_\sigma}$	انظر الجدول (6-4) من أجل قيم $\sqrt{k_\sigma}$
	ملحومة	$c/t_f \le 14\cdot\varepsilon$	$c/t_f \le 21\cdot\varepsilon\cdot\sqrt{k_\sigma}$	

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$			
f_y	235	275	355
ε	1.0	0.92	0.81

تابع الجدول (6-3): القيم القصوى لنسبة العرض إلى السماكة في العناصر المضغوطة



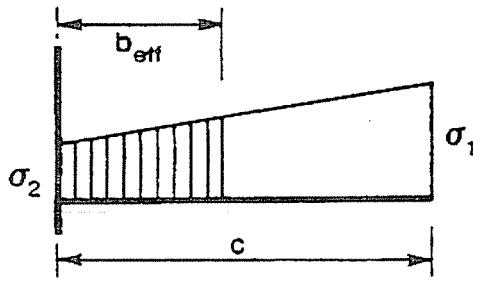
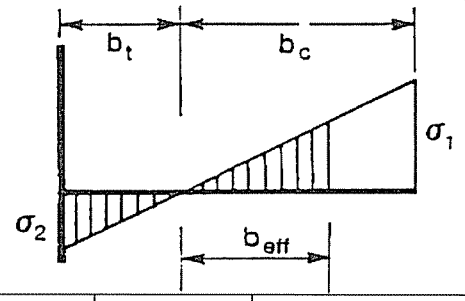
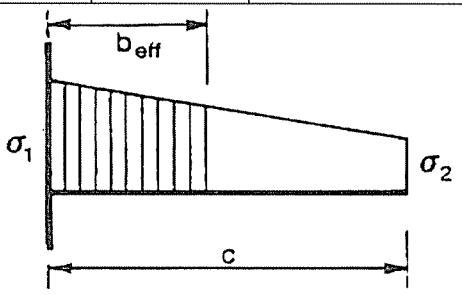
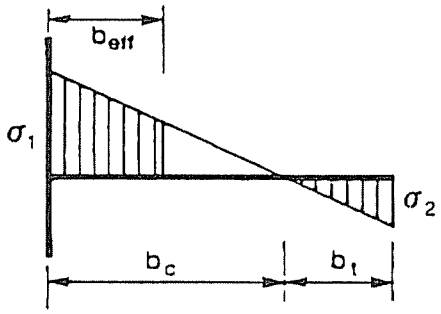
التصنيف	المقطع معرض للضغط
توزيع الإجهادات في المقطع العرضي، الضغط موجب	
a	$\frac{b+h}{2\cdot t} \le 11.5\,\varepsilon$: $h/t \le 15\cdot\varepsilon$

المقاطع الدائرية	

التصنيف	المقطع معرض للانعطاف و/أو الضغط
1	$d/t \le 50\cdot\varepsilon^2$
2	$d/t \le 70\cdot\varepsilon^2$
3	$d/t \le 90\cdot\varepsilon^2$

355	275	235	f_y	$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$
0.81	0.92	1.0	ε	
0.66	0.85	1.0	ε^2	

الجدول (6-4): عامل التحنيب k_σ والعرض الفعال وفق توزع الإجهادات

العرض الفعال b_{eff}			توزع الإجهادات (الضغط موجب)		
$1 \geq \psi \geq 0 \quad \rightarrow \quad b_{eff} = \rho \cdot c$					
$\psi < 0 \quad \rightarrow \quad b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1-\psi}$					
$1 > \psi > -1$		-1	0	1	$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$
$0.57 - 0.21 \cdot \psi + 0.07\psi^2$		0.85	0.57	0.43	عامل التحنيب k_σ
$1 \geq \psi \geq 0 \quad \rightarrow \quad b_{eff} = \rho \cdot c$					
$\psi < 0 \quad \rightarrow \quad b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1-\psi}$					
-1	$0 > \psi > -1$	0	$1 > \psi > 0$	1	$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$
23.8	$17 - 5 \cdot \psi + 17.1 \cdot \psi^2$	1.7	$\frac{0.578}{\psi + 0.34}$	0.43	عامل التحنيب k_σ

الباب السابع

7 طريقة حالات الحدود

7-1 عموميات

تحدد قيم معامل تخفيض المقاومة (γ_M) في حالاته الآتية:

$\gamma_{M0}=1.1$ عند حساب مقاومة المقاطع العرضية للأصناف جميعها.

$\gamma_{M1}=1.1$ عند حساب مقاومة العناصر لتحقيق استقرارها أو التحنيب.

$\gamma_{M2}=1.25$ عند حساب مقاومة الشد للمقاطع العرضية الصافية.

7-2 حساب مقاومة العناصر

1- يجب أن لا تتجاوز قيم الأفعال المطبقة لأي مقطع مقاومته التصميمية.

2- يجب تحقيق مقاومة العنصر للتحنيب الموضعي وكذلك للتحنيب الفتلي وللتحنيب القصي.

3- تتعلق المقاومة التصميمية بصنف المقطع العرضي المدروس.

4- تكون تحقيقات المرونة غالباً مستوفاة من أجل الأصناف الثلاث الأولى من المقاطع، ويطلب تحقيقها من أجل الصنف الرابع، باستعمال المساحة الفعالة للمقطع.

5- من أجل تحقيقات المرونة يمكن اعتماد العلاقة الآتية:

$$\left(\frac{\sigma_{X,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{Z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2-\left(\frac{\sigma_{X,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\cdot\left(\frac{\sigma_{Z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)+3\cdot\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2\le 1 \qquad (1-7)$$

$\sigma_{X,Ed}$: الإجهادات الطولية التصميمية في النقطة المدروسة من المقطع

$\sigma_{Z,Ed}$: الإجهادات العرضية التصميمية في النقطة المدروسة من المقطع

$\tau_{Z,Ed}$: إجهادات القص الموضعية في النقطة المدروسة من المقطع

6- يتم تحقيق المقاومة اللدنة للمقطع من خلال توزّع الإجهادات الحاصل فيه بتأثير القوى الداخلية والعزوم بحيث لا تتجاوز إجهاد الخضوع.

7- يمكن استعمال العلاقة الآتية للمقاطع من الصنف (1, 2, 3) والمعرضة لقوى محورية وعزم انعطاف.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}+\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}+\frac{M_{Z,Ed}}{M_{Z,Rd}}\le 1 \qquad (2-7)$$

$N_{Rd}, M_{y,Rd}, M_{Z,Rd}$: القيم التصميمية لمقاومة العنصر تبعاً لصنف المقطع العرضي متضمنه أي تخفيض بسبب القص.

8- عندما تكون كافة الأجزاء المضغوطة من المقطع من الصنف (2) على الأقل، يمكن افتراض أن المقطع

العرضي له مقاومة لدونة كاملة على الانعطاف.

9- عندما تكون كافة الأجزاء المضغوطة من المقطع من الصنف (3)، فإن مقاومته يجب أن تحسب على افتراض توزع مرن للتشوهات الحاصلة في المقطع العرضي، أما إجهادات الضغط فيجب ألا تتجاوز إجهاد الخضوع عند الألياف الخارجية للمقطع.

10- عندما يحصل أول تلدن في الجزء المشدود من المقطع العرضي فإن احتياطي اللدونة للمنطقة المشدودة يمكن اعتماده لحساب مقاومة العناصر من الصنف (3) والمتلدنة جزئياً.

3-7 خصائص المقطع

1-3-7 المساحة الاجمالية للمقطع العرضي

تُعتمد الأبعاد الإسمية في تحديد مواصفات المقاطع العرضية، حيث يتم إهمال فتحات ثقوب البراغي، وأية صفائح مُضافة إلى المقطع، والتي تعمل كجبائر في مناطق الوصل التقابُلي.

2-3-7 المساحة الصافية

1- تُعتمد الأبعاد الإسمية في تحديد مواصفات المقاطع العرضية.

2- تحسب المساحة الصافية للمقطع العرضي باعتماد المساحة الإجمالية بعد حذف مساحة الثقوب والفتحات.

3- تحسب المساحة الصافية للمقطع العرضي في المستوي المار من مجموعة الثقوب.

4- عند توزع الثقوب بشكل منتظم تحسب المساحة الصافية في المقطع المار من أكبر عدد من الثقوب.

5- في حالة التوزع المتناثر (زك زاك) للثقوب فإن المساحة الصافية تؤخذ كأصغر القيمتين:

– مساحة المقطع العرضي المار بالعدد الأكبر من الثقوب بالعلاقة:

$$A_{net} = (b - n \cdot d_0) \cdot t \qquad (3\text{-}7)$$

– المساحة المحسوبة بالعلاقة:

$$A_{net} = (b - n \cdot d_0 + m \cdot \frac{S^2}{4p}) \cdot t \qquad (4\text{-}7)$$

b: عرض الصفيحة

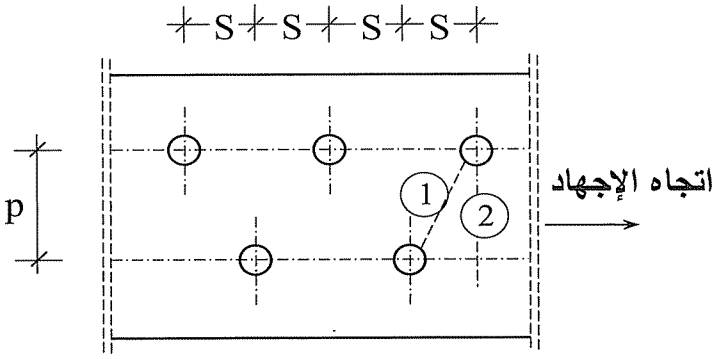
n: عدد الثقوب في خط الانهيار المدروس

d_0: قطر الثقب

m: عدد الخطوط المائلة (عدد الفراغات) في خط الانهيار المدروس

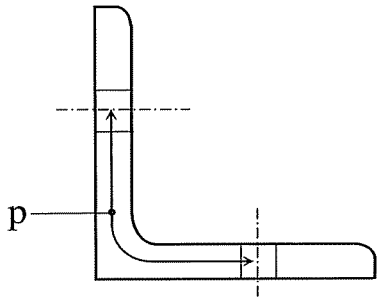
S: المسافة بين ثقبين متتاليين في اتجاه القوة المطبقة، الشكل (7-1)

p: المسافة بين ثقبين متتاليين في اتجاه عمودي على القوة المطبقة



الشكل (7-1): توزع غير منتظم للثقوب في الوصلة

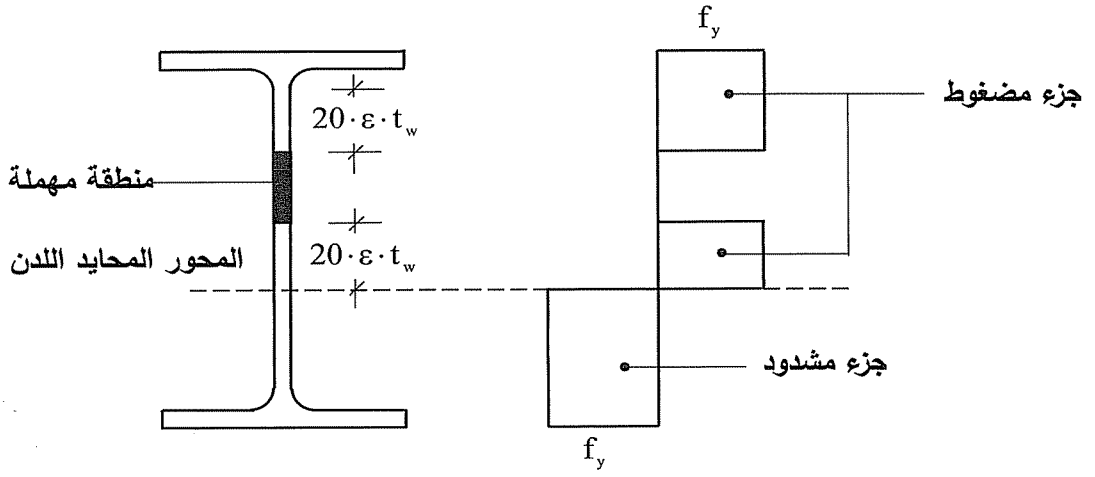
6- من أجل المقطع بشكل زاوية فإن المسافة العرضية (p) تحسب من المقطع العرضي كما في الشكل (7-2).



الشكل (7-2): مقطع زاوية مثقب في الجناحين

7-3-3 الخصائص الفعلية للمقاطع بجسد مصنف 3 وأجنحة مصنفة1 و2

1- عندما يكون المقطع ذي جسد من الصنف 3 والأجنحة من الصنف 1 أو 2 فإنه يمكن اعتبار كامل المقطع من الصنف 2، حيث يحدد الجزء المضغوط من المقطع بمسافة $(20\cdot\varepsilon\cdot t_w)$ من الجناح المضغوط وكذلك جزء قدره $(20\cdot\varepsilon\cdot t_w)$ من المحور المحايد اللدن كما في الشكل (7-3).



الشكل (7-3): التصنيف الفعلي للجسد

4-3-7 الخصائص الفعلية للمقاطع العرضية من الصنف 4

1- تحدد مواصفات المقطع العرضي من الصنف 4، بالاعتماد على العرض الفعال للجزء المضغوط من المقطع.

2- في حال تعرض المقطع من الصنف (4) إلى قوة محورية ضاغطة، لابد من أخذ تأثير لامركزية اعتبارية (e_N) لمساحة المقطع الفعلي، وحساب مقدار عزم الانعطاف الإضافي المؤثر على المقطع بالعلاقة:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_N \qquad (5\text{-}7)$$

– في حالة المقاطع الأنبوبية من الصنف 4، يفضل العودة إلى المراجع المختصة (EN 1993-1-6).

4-7 تصميم العناصر المشدودة

1- يجب أن تُحقق القيم التصميمية لقوة الشد المحوري في أي مقطع عرضي بالعلاقة:

$$N_{Ed} \le N_{t,Rd} \qquad (6\text{-}7)$$

2- من أجل المقاطع ذات الثقوب تؤخذ مقاومة العنصر على الشد ($N_{t,Rd}$) أصغر القيم الآتية:

أ– المقاومة التصميمية اللدنة للمقطع العرضي:

$$N_{p\ell,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (7\text{-}7)$$

ب – المقاومة التصميمية الحدية للمقطع الصافي:

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M2}} \qquad (8\text{-}7)$$

حيث تحسب المساحة الصافية للمقطع العرضي عند الوصل كما يلي:

مقطع زاوية متصل بجناح واحدة الشكل (4-7).

$$A_{net} = a_1 + K \cdot b_1 \qquad (9\text{-}7)$$

a_1: المساحة الصافية للجناح المتصل (المربوط)

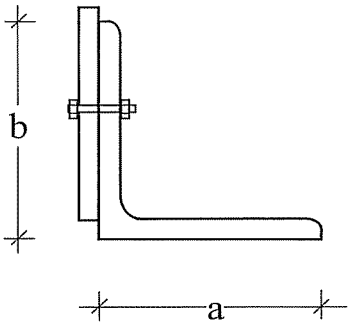
b_1: مساحة الجناح غير المتصل (الحر)

K: عامل أثر لامركزية المقطع عند الوصلة

زاويتان متصلتان بصفيحة واحدة وفي جهة واحدة منها أو مقطع T، كما في الشكل (5-7).

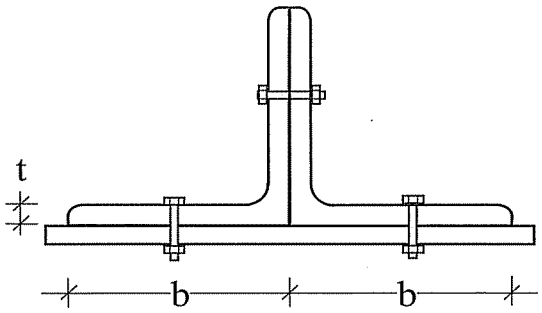
تعتمد ذات العلاقة (9-7) بحيث يعطى عامل أثر لامركزية المقطع قيمة مختلفة، كما في الشكل.

المقطع C متصل بجسده يعامل معاملة الزاوية.



$$k = \frac{1}{1 + \frac{b_1}{3 \cdot a_1}}$$

الشكل (7-4): زاوية متصلة بجناح واحد



$$k = \frac{1}{1 + \frac{b_1}{5 \cdot a_1}}$$

الشكل (7-5): اتصال زاويتين بشكل حرف مع الصفيحة

5-7 تصميم العناصر المضغوطة

1- يجب أن تحقق القيم التصميمية لقوة الضغط المحوري (N_{Ed}) في أي مقطع عرضي العلاقة:

$$N_{Ed} \le N_{C,Rd} \qquad (10\text{-}7)$$

2- تحدد مقاومة المقطع على الضغط المنتظم ($N_{c,Rd}$) كما يلي وذلك للمقاطع من الصنف 1، 2، 3:

$$N_{C,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} \qquad (11\text{-}7)$$

أما للمقاطع من الصنف 4 فتعطى بالعلاقة:

$$N_{C,Rd} = A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0} \qquad (12\text{-}7)$$

6-7 تصميم العناصر المنعطفة

1- يجب أن تُحقق القيم التصميمية لعزم الانعطاف (M_{Ed}) في أي مقطع عرضي العلاقة الآتية:

$$M_{Ed} \le M_{C,Rd} \qquad (13\text{-}7)$$

2- تحسب مقاومة المقطع على الانعطاف وفق محور رئيسي واحد ($M_{C,Rd}$) كما يلي، مقاطع من الصنف 1 و 2:

$$M_{C,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (14\text{-}7)$$

مقاطع من الصنف 3:

$$M_{C,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (15\text{-}7)$$

مقاطع من الصنف 4:

$$M_{C,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (16\text{-}7)$$

$W_{el,min}$: المعامل المرن للمقطع، ويحسب من أجل أبعد ليف مجهد من المقطع.

$W_{eff,\,min}$: المعامل المرن للمقطع الفعال ويحسب من أجل أبعد ليف مجهد من المقطع.

3- يُمكن إهمال أثر الثقوب الموجودة في الأجنحة المشدودة إذا تحققت العلاقة:

$$0.9 \cdot \frac{A_{f,net}}{A_f} \geq \frac{\gamma_{M2} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot f_u} \qquad (17\text{-}7)$$

A_f: مساحة الجناح المشدود

7-7 تصميم العناصر على القص

1- يجب أن تُحقق القيم التصميمية لقوة القص (V_{Ed}) في أي مقطع عرضي العلاقة:

$$V_{Ed} \leq V_{C,Rd} \qquad (18\text{-}7)$$

2- تُحسب المقاومة التصميمية اللدنة على القص في حال عدم وجود فتل بالعلاقة:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \qquad (19\text{-}7)$$

تؤخذ مساحة المقطع على القص (A_v) كما يلي:

أ- مقاطع I و H مدلفنه محملة بشكل موازي للجسد:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

ب- مقاطع مجرياه مدلفنة محملة بشكل موازي للجسد:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

ت- مقاطع T مدلفنة محملة بشكل موازي للجسد: $\boxed{A_v = A - b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot \frac{t_f}{2}}$

ث- مقاطع ملحومة I و H وصندوقية محملة بشكل موازي للجسد: $A_v = \eta \cdot \sum(h_w \cdot t_w)$

ج- مقاطع ملحومة I و H ومجراه وصندوقية محملة بشكل موازي للجناح: $A_v = A - \sum(h_w \cdot t_w)$

ح- مقاطع صندوقية مجوفة مسحوبة وذات سماكة ثابتة:

- محملة بشكل موازي لارتفاعها: $A_v = A \cdot h/(b+h)$
- محملة بشكل موازي لعرضها: $A_v = A \cdot b/(b+h)$

خ- مقاطع أنبوبية مجوفة مسحوبة وذات سماكة ثابتة: $A_v = 2 \cdot A/\pi$

A: مساحة المقطع العرضي، b: عرض المقطع، h: ارتفاع المقطع، h_w: ارتفاع الجسد

r: نصف قطر الاتصال بين الجسد والجناح، t_f: سماكة الجناح، t_w: سماكة الجسد وفي حال لم تكن ثابتة فتؤخذ القيمة الدنيا

η: معامل تصعيد ويؤخذ في الحالة العامة مساوياً $(\eta = 1)$.

3- عند تحقيق مقاومة القص بالتصميم المرن $V_{C,Rd}$ يُمكن اعتماد العلاقة الآتية:

$$\tau_{Ed} \le \frac{f_y}{\sqrt{3}\cdot\gamma_{M0}} \quad ; \quad \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}\cdot S}{I\cdot t} \qquad (20\text{-}7)$$

V_{Ed}: قوة القص التصميمية

S: العزم الستاتيكي لجزء من المقطع المحصور بالنقطة المطلوب عندها حساب القص وحافة المقطع العرضي حول المحور المركزي.

I: عزم عطالة المقطع عند النقطة المطلوب عندها القص

t: سماكة المقطع عند النقطة المطلوب عندها حساب القص

4- من أجل المقاطع (I أو H) تُحسب إجهادات القص في الجسد في حال $A_f / A_w \ge 0.6$ بالعلاقة:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \qquad (21\text{-}7)$$

A_f: مساحة الجناح

A_w: مساحة الجسد ويساوي $A_w = t_w \cdot h_w$

5- يُهمل التحقق من مقاومة الجسد غير المدعم على التحنيب القصي إذا كان:

$$\frac{h_w}{t_w} \le 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} \qquad (22\text{-}7)$$

تُؤخذ η في الحالة العامة لصالح الأمان بالقيمة $\eta = 1$.

إذا ترافق القص مع عزم فتل عندئذ تحسب المقاومة التصميمية اللدنة على القص $V_{pl,Rd}$ وفق بنود الفصول الآتية.

6- يمكن التغاضي عن تخفيض مساحة الثقوب وإلغائها عندما تتحقق العلاقة:

$$A_{v,net} \ge \frac{f_y}{f_u} \cdot A_v$$

A_V: مساحة القص، $A_{v,net}$: مساحة المقطع الصافية.

8-7 تصميم العناصر على الفتل

1- من أجل العناصر المعرضة للفتل، يجب أن تحقق عزوم الفتل (T_{Ed}) في المقطع العرضي العلاقة:

$$T_{Ed} \le T_{Rd} \qquad (23\text{-}7)$$

T_{Rd}: مقاومة المقطع العرضي لعزوم الفتل

2- قيمة عزم الفتل الكلي (T_{Ed}) في أي مقطع عرضي، يجب أن تُؤخذ كمجموع مركبتين:

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed} \qquad (24\text{-}7)$$

$T_{t,Ed}$: عزم الفتل الداخلي الذي يُسبب دوران المقطع العرضي في مستويه حول المحور الطولي للعنصر (St. Venant)

$T_{w,Ed}$: عزم الفتل الداخلي الذي يُسبب انتقالات طولية للمقطع العرضي خارج مستويه، وموازية للمحور الطولي للعنصر Warping.

3- يمكن أن تُحسب قيم ($T_{w,Ed}$ ،$T_{t,Ed}$) لأي مقطع من تحليل مرن يأخذ بالحسبان مواصفات المقطع العرضي للعنصر، وكذلك الشروط الطرفية، وتوزّع الحمولات على العناصر.

4- يجب أن تأخذ قيم الإجهادات الحاصلة بتأثير الفتل بالحسبان:

- إجهادات القص ($\tau_{t,Ed}$) الحاصلة بفعل الفتل St. Venant ($T_{t,Ed}$) الفعلي.
- الإجهادات المباشرة ($\sigma_{w,Ed}$) الحاصلة بتأثير العزم الأفقي (B_{Ed}) وإجهادات القص $\tau_{w,Ed}$ الحاصلة بتأثير عزم الفتل ($T_{w,Ed}$) الفعلي.

5- من أجل التحقيق في المجال المرن يمكن اعتماد إجهاد الخضوع عند تطبيق العلاقة (7-1).

6- لحساب العزم اللدن لمقطع عرضي ما معرض لانعطاف وفتل، يجب فقط أخذ تأثير الفتل من خلال تأثير المركبة (B_{Ed}) على أن يُحسب بالتحليل المرن.

7- للتبسيط، يُمكن افتراض أن تأثير الفتل الذي يُسبب انتقالات طولية للمقطع العرضي خارج مستويه وموازية للمحور الطولي للعنصر (Warping) مهملاً في المقاطع المفرغة، وللتبسيط أيضاً، يُمكن أيضاً افتراض أن تأثير الفتل الذي يُسبب دوران المقطع العرضي في مستويه حول العنصر الطولي (St. Venant) مُهملاً في المقاطع العرضية المفتوحة مثل (I و H).

8- لحساب مقاومة المقاطع المفرغة على الفتل (T_{Rd}) يجب إدخال مقاومة القص للمقطع الصافي للعنصر في الحساب.

في حال ترافقت قوة القص مع عزم الفتل، فإن مقاومة القص اللدن يجب أن تخفض من قيمة ($V_{pl,Rd}$) إلى ($V_{pl,T,Rd}$)، ويجب أن تُحقق قوة القص للمقاطع H و I العلاقة:

$$V_{Ed} \le V_{pl,T,Rd} \qquad (25\text{-}7)$$

$$\boxed{V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1.25 \cdot (f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} \cdot V_{pl,Rd}} \qquad (26\text{-}7)$$

للمقاطع بشكل مجراه [:

$$\boxed{V_{pl,T,Rd} = \left(\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1.25 \cdot (f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right) \cdot V_{pl,Rd}} \qquad (27\text{-}7)$$

للمقاطع المفرغة:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} \cdot V_{pl,Rd} \qquad (28\text{-}7)$$

($V_{pl,Rd}$): تحسب كما سبق في الفصل (7-7).

9-7 تصميم العناصر لمقاومة الانعطاف والقص

1- عندما يترافق عزم الانعطاف مع وجود قوى القص، فلا بُد من أخذ تأثير هذا القص على مقاومة العزم للمقطع.

2- عندما تكون قوة القص أقل من نصف مقاومة المقطع اللدنة على القص فإن تأثيرها على الانعطاف يمكن أن يهمل، ماعدا في الحالة التي يسبب فيها التحنيب القصي تخفيضاً لمقاومة المقطع.

3- من جهة أخرى فإن تخفيض مقاومة الانعطاف يجب أن تحسب للمقطع العرضي باعتماد إجهاد الخضوع المخفض بالقيمة الآتية من أجل المناطق التي تُقاوم القص من المقطع العرضي فقط.

$$(1-\rho)\cdot f_y \qquad (29\text{-}7)$$

حيث معامل التخفيض:

$$\rho = \left(\frac{2\cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2$$

$V_{pl,Rd}$: تحسب كما سبق.

4- وعندما يتواجد الفتل فإن معامل التخفيض (ρ) يُحسب من العلاقة:

$$\rho = \left(\frac{2\cdot V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1\right)^2$$

عندما تكون ($V_{Ed} \le 0.5\cdot V_{Pl,T,Rd}$) فإن معامل التخفيض يصبح ($\rho = 0$)، أي لا نحتاج لتخفيض مقاومة الانعطاف.

5- وكطريقة بديلة لأخذ تأثير القص، تُحسب المقاومة التصميمية اللدنة على الانعطاف المترافق مع القص للمقاطع I بالعلاقة:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_{pl,y} - \frac{\rho\cdot A_w^{\,2}}{4\cdot t_w}\right)\cdot f_y}{\gamma_{M0}} \le M_{y,C,Rd} \qquad (30\text{-}7)$$

$M_{y,C,Rd}$: تحسب كما ورد في الفصل 7-6

A_w: مساحة الجسد وتساوي ($A_w = h_w \cdot t_w$)

10-7 العناصر المعرضة للانعطاف والقوة المحورية

1-10-7 المقاطع من الصنف 1 و2

1- عندما يتعرض العنصر لقوة محورية، فإنه يجب أخذ تأثير وجود هذه القوى المحورية على العزم اللدن المقاوم للمقطع.

2- من أجل المقاطع من الصنف 1 و2 يجب أن تحقق العلاقة:

$$M_{Ed} \le M_{N,Rd}$$

$M_{N,Rd}$: العزم اللدن التصميمي المُخفض والمحسوب من تأثير القوة المحورية N_{Ed}.

3- من أجل المقاطع المستطيلة المصمتة الخالية من الثقوب فإن العزم ($M_{N,Rd}$) يُحسب من العلاقة:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1-(N_{Ed}/N_{pl,Rd})^2\right] \qquad (32\text{-}7)$$

4- من أجل المقاطع المتناظرة I وH فإنه لا حاجة لإدخال تأثير القوة المحورية على العزم اللدن التصميمي حول المحور (y-y) حيث تكون العلاقتين الآتيتين محققتين:

$$N_{Ed} \le 0.25 \cdot N_{pl,Rd} \qquad (33\text{-}7)$$

$$N_{Ed} \le \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (34\text{-}7)$$

5- وفي حالة المقاطع المتناظرة I وH فإنه لا حاجة لإدخال تأثير القوة المحورية في حساب العزم اللدن التصميمي حول المحور (z-z) حيث يكون:

$$N_{Ed} \le \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (35\text{-}7)$$

6- من أجل المقاطع ذات الثقوب التي لا تدخل في الحساب، يُمكن اعتماد العلاقات التقريبية الآتية من أجل المقاطع I أو H المدلفنة النظامية وكذلك الملحومة المتساوية الأجنحة:

$$\boxed{M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Ed} \cdot \frac{1-n}{1-0.5 \cdot a} \le M_{pl,y,Ed}} \qquad (36\text{-}7)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \quad \text{وذلك من أجل } n \le a \qquad (37\text{-}7)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1-\left(\frac{n-a}{1-a}\right)^2\right] \quad \text{وذلك من أجل } n > a \qquad (38\text{-}7)$$

حيث:

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$$

$$a = (A - 2b \cdot t_f)/A \le 0.5$$

- ومن أجل المقاطع من دون ثقوب للبراغي، عندها يُمكن استعمال العلاقات التقريبية الآتية لحساب العزوم في المقاطع الصندوقية المفرغة ذات السماكة الثابتة ($t_f = t_w = t$) الملحومة والنظامية.

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \left(\frac{1-n}{1-0.5 \cdot a_w} \right) \le M_{pl,y,Rd} \quad (39\text{-}7)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left(\frac{1-n}{1-0.5 \cdot a_f} \right) \le M_{pl,z,Rd} \quad (40\text{-}7)$$

حيث:

$a_w = (A - 2b \cdot t)/A \le 0.5$ من أجل المقاطع المفرغة النظامية.

$a_f = (A - 2h \cdot t)/A \le 0.5$ من أجل المقاطع المفرغة النظامية.

$a_w = (A - 2b \cdot t_f)/A \le 0.5$ من أجل المقاطع الصندوقية الملحومة.

$a_f = (A - 2h \cdot t_w)/A \le 0.5$ من أجل المقاطع الصندوقية الملحومة.

7- ومن أجل المقاطع المعرضة للانعطاف ثنائي المحور (للانعطاف المنحرف) يمكن استعمال العلاقة:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{Z,Ed}}{M_{N,Z,Rd}} \right]^{\beta} \le 1.0 \quad (41\text{-}7)$$

حيث: α, β ثوابت يُمكن أن تُؤخذ بشكل متحفظ مساوية للواحد، أو بشكل دقيق وفق ما يلي:

من أجل I , H: $\beta = 5 \cdot n$; $\alpha = 2$، بحيث $\beta \ge 1$.

من أجل المقاطع الدائرية المفرغة: $\beta = 2$; $\alpha = 2$.

من أجل المقاطع المستطيلة المفرغة: $\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \le 6$

من أجل المقاطع المستطيلة المليئة: $\alpha = \beta = 1.73 + 1.8 \cdot n^3$

حيث: $n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$.

7-10-2 المقاطع من الصنف 3

1- في حال عدم وجود قوى قاصة (قاطعة) فإن الإجهاد الطولي الأعظمي الحاصل في المقاطع من الصنف 3 يجب أن يحقق العلاقة:

$$\sigma_{X,Ed} \le f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (a\text{-}42\text{-}7)$$

$\sigma_{X,Ed}$: القيمة التصميمية للإجهاد الطولي الموضعي الحاصل من تأثير العزم والقوة المحورية، مع الأخذ في الحسبان تأثير الثقوب (إن وجدت).

7-10-3 المقاطع من الصنف 4

1- في حال عدم وجود القص، فإن الإجهاد الطولي الأعظمي الحاصل في المقاطع من الصنف 4، والمحسوب اعتماداً على المساحة الفعالة من المقطع العرضي، يجب أن يُحقق العلاقة:

$$\sigma_{X,Ed} \le f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \qquad (43\text{-}7)$$

$\sigma_{X,Ed}$: القيمة التصميمية للإجهاد الطولي الموضعي الحاصل من تأثير العزم والقوة المحورية مع أخذ بالحسبان تأثير الثقوب إن وجدت.

2- يجب تحقيق العلاقة الآتية:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y,min} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z,min} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \le 1 \qquad (44\text{-}7)$$

A_{eff}: المساحة الفعالة للمقطع العرضي المعرض للضغط المنتظم

$W_{eff,min}$: المعامل المرن للمقطع الفعال المُعرض للانعطاف حول المحور المدروس

e_N: الفرق بين مركز ثقل المقطع الكلي ومركز ثقل المقطع الفعال نتيجة تطبيق قوى محورية ضاغطة فقط

11-7 العناصر المعرضة لعزم انعطاف ولقوة قص ولقوة محورية

1- عندما تُطبق قوى محورية وقوى قاصة على عنصر ما، فيجب أخذ تأثيرهم على العزم المقاوم للمقطع.

2- من أجل قوة القص (V_{Ed}) والتي لا تزيد على (50%) من مقاومة القص اللدن ($V_{pl,Rd}$)، لا حاجة للتخفيض المذكور في البند السابق 7-11-1، ماعدا حالة التحنيب القصي التي تُخفض من مقاومة المقطع.

3- وعندما يتجاوز القص ($V_{Ed} > 0.5 \cdot V_{pl,Rd}$)، فيتم حساب المقاومة التصميمية من تأثير العزم والقوة المحورية معاً، عندها يجب أن يخفض إجهاد الخضوع إلى القيمة:

$$(1-\rho) \cdot f_y \qquad (45\text{-}7)$$

حيث معامل التخفيض:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$V_{pl,Rd}$: تُحسب كما سبق.

12-7 مقاومة التحنيب للعناصر

1-12-7 مقاومة التحنيب للعناصر الثابتة المقطع والمعرضة للضغط

1- يجب أن تحقق العناصر المضغوطة مقاومة التحنيب بالعلاقة:

$$N_{Ed} \le N_{b,Rd} \qquad (46\text{-}7)$$

N_{Ed}: القوة المحورية التصميمية على الضغط المحوري

$N_{b,Rd}$: مقاومة العنصر للتحنيب بفعل القوة الضاغطة

2- في العناصر غير المتناظرة ومن الصنف 4، يجب أن تأخذ المقاومة التصميمية تأثير العزم الإضافي (ΔM_{Ed}) والحاصل بفعل لامركزية المقطع العرضي الفعال.

3- تحسب مقاومة التحنيب لعنصر مضغوط بالعلاقة:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \qquad (47\text{-}7)$$

وذلك من أجل الصنف 1, 2, 3.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \qquad (48\text{-}7)$$

وذلك من أجل الصنف 4.

χ: معامل تخفيض متعلق بشكل التحنيب.

عند حساب (A_{eff} , A) للأعمدة المثبتة بالبراغي لا تدخل مساحة الثقوب.

7-12-2 منحنيات التحنيب

1- تحدد قيمة المعامل (χ) للعناصر المضغوطة بدلالة معامل النحافة النسبي ($\overline{\lambda}$):

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} \le 1.0 \qquad (49\text{-}7)$$

$$\phi = \frac{[1 + \alpha \cdot (\overline{\lambda} - 0.2) + \overline{\lambda}^2]}{2}$$

للمقاطع من الصنف 1 , 2 , 3:

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

للمقاطع من الصنف 4:

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

α: معامل يأخذ بالحسبان عيوب العنصر (التشوهات الأولية)

N_{cr}: القوة الضاغطة المحورية الحرجة عند التحنيب محسوبة للمقطع الكلي

2- تتأثر عيوب العنصر (α) بشكل منحني التحنيب وتؤخذ من الجدول (7-1).

3- يمكن أن تحدد قيم معامل التخفيض (χ) بدلالة معامل النحافة ($\overline{\lambda}$) من الشكل (7-6).

4- من أجل معامل النحافة النسبي ($\overline{\lambda} \le 0.2$) أو ($N_{Ed} / N_{cr} \le 0.04$)، يمكن إهمال تأثير التحنيب والاعتماد على تحقيق مقاومة المقطع فقط.

الجدول (7-1): عيوب العنصر (α) ارتباطاً بشكل منحني التحنيب

منحني التحنيب	a_0	a	b	c	d
معامل العيوب (α)	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

7-12-3 معامل النحافة للتحنيب الناتج عن ضغط الانعطاف

1- يعطى معامل النحافة بالعلاقة:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \qquad \text{للمقاطع من الصنف 1, 2 , 3.} \qquad (50\text{-}7)$$

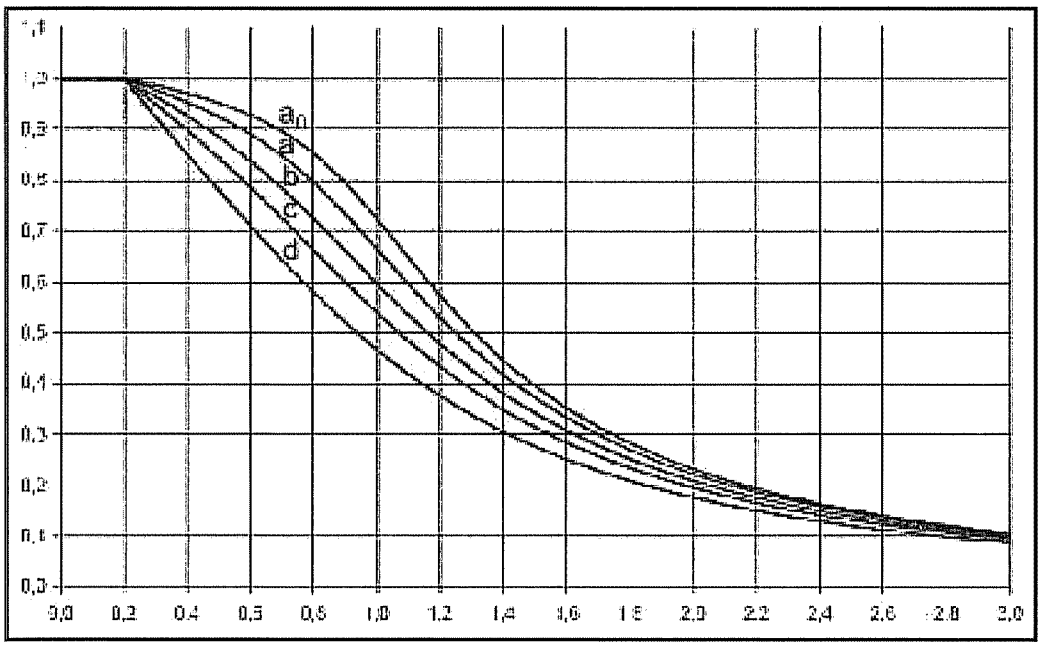
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \qquad \text{للمقاطع من الصنف 4.} \qquad (51\text{-}7)$$

L_{cr}: طول التحنيب في مستوي التصميم (المستوي المدروس)

i: نصف قطر العطالة بالاتجاه المدروس، f_y مقدرة بـ N/mm^2.

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \cdot \varepsilon \quad ; \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

2- من أجل التحنيب الناتج عن ضغط الانعطاف، يتم تحديد المنحني المناسب من الجدول (7-2).



الشكل (7-6): قيم عامل التخفيض للتحنيب (χ) كتابع لمعامل النحافة النسبي ($\bar{\lambda}$)

7-12-4 معامل النحافة للتحنيب الناتج عن الفتل والتحنيب المركب للفتل والانعطاف معاً

1- من أجل المقاطع المفتوحة، يجب أن يُراعى ضمن التصميم بأن مقاومة العنصر للتحنيب الفتلي، أو المركب الناتج عن الفتل والانعطاف (التحنيب المركب الفتلي–الانعطافي) أقل من مقاومته للتحنيب الناتج عن ضغط الانعطاف (التحنيب الانعطافي) فقط.

2- يُعطى معامل النحافة النسبي للتحنيب الفتلي $\bar{\lambda}_T$، أو للتحنيب المركب الفتل والانعطاف كما يلي:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \qquad \text{للمقاطع من الصنف1, 2 , 3.} \qquad (52\text{-}7)$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} \qquad (53\text{-}7)$$

للمقاطع من الصنف 4.

حيث: $N_{cr} = N_{cr,TF}$ ولكن $N_{cr} < N_{cr,T}$

$N_{cr,TF}$: قوة التحنيب المرن المركب الفتلي–الانعطافي

$N_{cr,T}$: قوة التحنيب المرن الفتلي

3- يتم تحديد المنحني المناسب للتحنيب الفتلي، أو للتحنيب المركب الفتلي– الانعطافي من الجدول (7-2).

13-7 تحنيب العناصر ذات المقطع الثابت والمعرضة لعزوم انعطاف

1-13-7 مقاومة التحنيب

1- يجب أن تُحقق العناصر غير المقيدة جانبياً والمعرضة للانعطاف حول المحور الرئيسي على التحنيب الجانبي الفتلي بالعلاقة:

$$M_{Ed} \le M_{b,Rd} \qquad (54\text{-}7)$$

M_{Ed}: العزم التصميمي للمقطع، $M_{b,Rd}$: العزم المقاوم للتحنيب على الانعطاف.

لا يحدث التحنيب الجانبي الفتلي في الحالات الآتية:

– الجيزان (الجوائز) التي أجنحتها المضغوطة مُقيدة جانبياً.

– الجيزان المفرغة النظامية أو الملحومة الدائرية والمربعة المقطع العرضي.

3- تُعطى مقاومة التحنيب الجانبي الفتلي للجائز غير المقيد جانبياً بالعلاقة:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \qquad (55\text{–}7)$$

$W_y = W_{pl,y}$ لأجل المقاطع ذات التصنيف 1 و2

$W_y = W_{el,y}$ لأجل المقاطع ذات التصنيف 3.

$W_y = W_{eff,y}$ لأجل المقاطع ذات التصنيف 4.

χ_{LT} : عامل التخفيض للتحنيب الجانبي الفتلي.

4- لا تُؤخذ الثقوب بالحسبان عند حساب معامل المقطع اللدن (W_y) للجوائز.

2-13-7 منحنيات التحنيب الجانبي الفتلي–الحالة العامة

1- في العناصر ذات المقطع الثابت والمعرضة لانعطاف تحسب قيمة المعامل (χ_{LT}) بدلالة معامل النحافة الفتلي ($\bar{\lambda}_{LT}$) بالعلاقة:

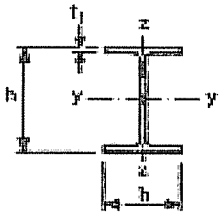
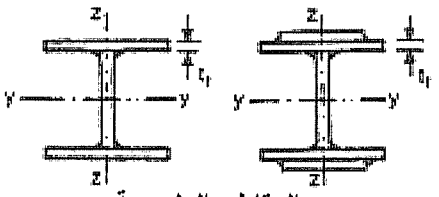
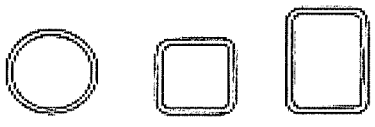
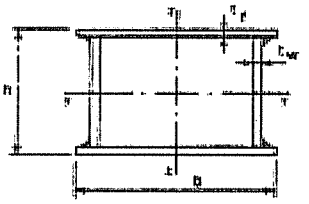
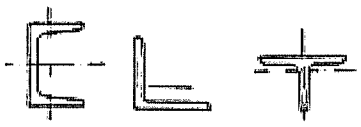
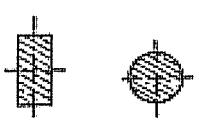
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \le 1.0 \qquad (56\text{-}7)$$

$$\phi_{LT} = \frac{[1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0.2) + \overline{\lambda}_{LT}^2]}{2}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

α_{LT}: معامل يأخذ بالحسبان عيوب العنصر، M_{cr}: العزم الحرج لحالة التحنيب الجانبي الفتلي

الجدول (7-2): منحنيات التحنيب تبعاً للمقطع العرضي

المقطع العرضي	الحدود	حول المحور	منحني التحنيب	
			S 235-S 420	S 460
 المقاطع المدرفلة	$t_f \le 40$ mm $b/h > 1.2$	y-y z-z	a b	a_0 a_0
	$40 < t_f \le 100$ mm $b/h > 1.2$	y-y z-z	b c	a a
	$t_f \le 100$ mm $b/h \le 1.2$	y-y z-z	a b	a a
	$t_f > 100$ mm $b/h \le 1.2$	y-y z-z	d d	c c
 المقاطع الملحومة	$t_f \le 40$ mm	y-y z-z	b c	b c
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d
 مقاطع مفرغة	شكلت على الساخن	any	a	a_0
	شكلت على البارد باستعمال f_{yb}	any	b	b
	شكلت على البارد باستعمال f_{ya}	any	c	c
 المقاطع الصندوقية الملحومة	بشكل عام ، ما عدا ما ذكر أدناه	any	b	b
	$b/t_f \le 30$	y-y	c	c
	$h/t_w \le 30$	z-z	c	c
 المقاطع بشكل حرف U or L or T  المقاطع المصمتة		any	c	c

2-تُحسب قيمة (M_{cr}) اعتماداً على خصائص المقطع العرضي وتأخذ بالحسبان شكل الحمولات وتوزع العزم الفعلي على العنصر وكذلك القيود الجانبية له.

3- تعطى القيم العملية للمعامل (α_{LT}) في الجدول (7-3).

4- عندما تكون درجة النحافة النسبية $\overline{\lambda}_{LT} \le \overline{\lambda}_{LT,0}$ أو عندما يتحقق $M_{Ed}/M_{cr} \le \overline{\lambda}^2_{LT,0}$ لا حاجة لتحقيق التحنيب الجانبي الفتلي.

الجدول (7-3): القيم المناسبة لمعامل العيوب بمنحنيات التحنيب الجانبي

منحنى التحنيب	a	b	c	d
معامل العيوب α_{LT}	0.21	0.34	0.49	0.76

الجدول (7-4): القيم المناسبة لمنحنيات التحنيب الجانبي الفتلي لأنواع المقاطع العرضية

منحنى التحنيب	الحدود	شكل المقطع
a	$h/b \le 2$	المقاطع المدلفنة I
b	$h/b > 2$	
c	$h/b \le 2$	المقاطع الملحومة I
d	$h/b > 2$	
d	-	المقاطع الأخرى

3-13-7 منحنيات التحنيب الجانبي الفتلي للمقاطع المُدرفله ومثيلاتها الملحومة (المشكلة)

1- في المقاطع المدلفنة ومثيلاتها الملحومة المعرضة لانعطاف، تُؤخذ قيمة (χ_{LT}) بدلالة معامل النحافة النسبية ($\overline{\lambda}_{LT}$):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi^2_{LT} - \beta \cdot \overline{\lambda}^2_{LT}}} \le \begin{cases} 1 \\ \le \dfrac{1.0}{\overline{\lambda}^2_{LT}} \end{cases} \qquad (57\text{-}7)$$

$$\phi_{LT} = \frac{[1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \overline{\lambda}^2_{LT}]}{2}$$

القيمة الأعظمية لمعامل النحافة النسبية هي $\overline{\lambda}_{LT,0} = 0.4$، القيمة الدنيا للمعامل $\beta = 0.75$.

تعطى القيم العملية لمنحنيات التحنيب من الجدول (7-5).

الجدول (7-5): القيم المناسبة لمنحني التحنيب الجانبي الفتلي للمقاطع العرضية وفق العلاقة (7-57)

شكل المقطع	الحدود	منحنى التحنيب
المقاطع المدلفنة I	$h/b \le 2$	b
	$h/b > 2$	c
المقاطع الملحومة I	$h/b \le 2$	c
	$h/b > 2$	d

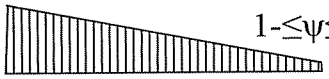
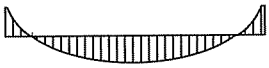
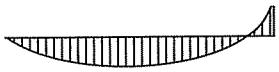
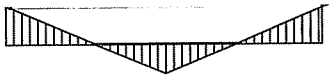
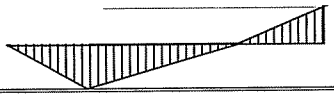
2- من أجل إدخال تأثير توزع العزوم بين نُقاط المسند الجانبي في العنصر، تُعدل قيمة معامل التخفيض (χ_{LT}) كما يلي:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \le \begin{cases} 1 \\ \le \dfrac{1.0}{\overline{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \qquad (58\text{-}7)$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - K_c) \cdot [1 - 2.0 \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0.8)^2] \le 1$$

K_c: معامل التصحيح ويؤخذ من الجدول (7-6).

الجدول (7-6): قيم معامل التصحيح k_c

مخطط العزم على العنصر	K_c
$\psi=1$  $1-\leq\psi\leq1$ ψ تمثل النسبة بين طرفي المخطط	1.0 $\frac{1}{1.33-0.33\cdot\psi}$
	0.94
	0.90
	0.91
	0.86
	0.77
	0.82

7-13-4 طرائق مبسطة للجوائز المقيدة جانبياً في المباني

– بالنسبة للعناصر ذات القيود الجانبية المُتقاربة من بعضها للجناح المضغوط، فهي لا تتأثر بالتحنيب الجانبي الفتلي، إذا كان التباعد بين هذه القيود (L_c)، أو معامل النحافة المكافئ للجناح المضغوط ($\overline{\lambda}_f$) يحقق الشرط:

$$\overline{\lambda}_f = \frac{k_C \cdot L_C}{i_{f,Z} \cdot \lambda_1} \leq \overline{\lambda}_{C0} \cdot \frac{M_{C,Rd}}{M_{y,Ed}} \qquad (59\text{-}7)$$

$M_{y,Ed}$: عزم الانعطاف التصميمي الأعظمي بين القيود الجانبية

العزم المُقاوم الأعظمي: $M_{C,Rd} = W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

W_y: المعامل اللدن لمقطع الجناح المضغوط

k_c: معامل تصحيح النحافة وفق مخطط العزوم بين القيود، ويُؤخذ من الجدول (7-6).

$i_{f,z}$: نصف قطر العطالة للجناح المضغوط المكافئ (الجناح المضغوط+ثلث المساحة المضغوطة من الجسد) حول المحور الثانوي للمقطع.

$\overline{\lambda}_{c0}$: حد نحافة مكافئ للجناح المضغوط والمعرفة أعلاه. يُمكن اعتماد القيمة المقترحة الآتية لحد النحافة:

$$\overline{\lambda}_{C0} = \overline{\lambda}_{L,T0} + 0.1$$

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 92.9 \cdot \varepsilon \quad ; \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad ; \quad f_y : N/mm^2$$

– من أجل المقاطع من الصنف 4 يمكن حساب نصف قطر العطالة بالعلاقة:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + \frac{1}{3} \cdot A_{eff,W,C}}}$$

$I_{eff,f}$: عزم العطالة الفعال المُكافئ للجناح المضغوط حول المحور الثانوي للمقطع.

$A_{eff,f}$: المساحة الفعالة المُكافئة للجناح المضغوط

$A_{eff,w,C}$: المساحة الفعالة للجزء المضغوط من الجسد

إذا تجاوزت قيم معامل النحافة للجناح المضغوط ($\overline{\lambda}_f$) القيمة المحسوبة بالعلاقة (7-59)، عندئذ يُؤخذ العزم المقاوم للتحنيب الجانبي الفتلي مساوياً:

$$M_{b,Rd} = K_{f\ell} \cdot \chi \cdot M_{C,Rd} < M_{C,Rd} \qquad (60\text{-}7)$$

χ : معامل تخفيض للجناح المضغوط المكافئ ويحدد حسب ($\overline{\lambda}_f$)

$K_{f\ell}$: معامل تعديل النتائج المُتحفظة لطريقة الجناح المضغوط المكافئ، ويؤخذ (1.1) كقيمة عملية.

تُؤخذ منحنيات التحنيب للحالة السابقة كما يلي: المنحني (d) للمقاطع الملحومة، حيث ($h/t_f \le 44 \cdot \varepsilon$)، والمنحني (c) لباقي المقاطع جميعها.

h: ارتفاع المقطع العرضي، t_f: سماكة الجناح المضغوط.

14-7 العناصر المعرضة للانعطاف وللضغط المحوري

1- يجب تحقيق استقرار العناصر المتناظرة حول محورين كما سيرد، حيث تُقسم العناصر إلى:

- عناصر غير معرضة لتشوهات فتلية: مقاطع أنبوبية مفرغة أو عناصر مُقيدة على الفتل.
- عناصر معرضة لتشوهات فتليه: مقاطع مفتوحة غير مقيدة على الفتل.

2- يجب تحقيق مقاطع العناصر عند أطرافها كما ورد في الفصل (7-2).

3- يجب أن يعتمد التحقيق على العنصر بشكل مستقل ولمجاز واحد بشكل منفصل عن المنشأة وذلك في عناصر المنشآت المتناظرة. كما يجب إدخال أثر ($P-\Delta$) في الحساب وذلك من أجل عزوم الانعطاف والتحنيب معاً.

4- يجب أن تحقق العناصر المعرضة لانعطاف والضغط المحوري ما يلي:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{RK}/\gamma_{M1}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{y,RK}/\gamma_{M1}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{z,RK}/\gamma_{M1}} \le 1 \qquad (61\text{-}7)$$

$$\boxed{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{RK}/\gamma_{M1}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{y,RK}/\gamma_{M1}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{z,RK}/\gamma_{M1}} \le 1} \qquad (62\text{-}7)$$

N_{Ed} : القيم التصميمية للقوة الضاغطة الأعظمية

$M_{y,Ed}$ و $\boxed{M_{z,Ed}}$: القيم التصميمية لعزوم الانعطاف القصوى وفق المحاور Z, Y.

$\Delta M_{y,Ed}$ و $\Delta M_{z,Ed}$: القيم التصميمية لعزوم الانعطاف بتأثير اللامركزية في حالة المقاطع من الصنف 4، كما في الجدول (7-7).

χ_y, χ_Z: معاملات التخفيض للتحنيب الناتج عن ضغط الانعطاف (العام).

χ_{LT}: معامل التخفيض للتحنيب الجانبي الفتلي

k_{yy}, k_{ZZ}, k_{Zy}: معاملات التأثير المتبادل

- تؤخذ $(\chi_{LT}=1)$ بالنسبة للعناصر غير المعرضة لتشوه فتلي.

5- تعتمد معاملات التأثير المتبادل k_{ij} Interaction factors على الطريقة المختارة، وتؤخذ من الجدولين (7-8) و (7-9). ويمكن للتبسيط اعتماد التحليل في المجال المرن فقط.

الجدول (7-7): قيم $N_{Rk}=f_y\cdot A_i$ ، $M_{i,Rk}=f_y\cdot W_i$ و $\boxed{\Delta M_{i,Ed}=f_y\cdot W_i}$ **بدلالة صنف المقطع**

4	3	2	1		صنف المقطع
A_{eff}	A	A	A		A_i
$W_{eff,y}$	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$		W_y
$W_{eff,z}$	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$		W_z
$N_{y,Ed}\cdot e_{N,y}$	0	0	0		$\Delta M_{y,Ed}$
$N_{y,Ed}\cdot e_{N,z}$	0	0	0		$\Delta M_{z,Ed}$

15-7 الطريقة العامة للتحنيب الجانبي والجانبي الفتلي (التحنيب الدوراني) في المنشآت

1- تُطبّق هذه الطريقة عندما لا يمكن تطبيق ما جاء في الفصول (12-7) ، (13-7) ، (14-7) والطريقة هي تحقيق مقاومة العناصر للتحنيب الجانبي والتحنيب الجانبي الفتلي في المنشآت كما يلي:

- للعناصر الأحادية مجمعة أو عادية، نظامية أو غير نظامية، ذات مساند معقدة أو بسيطة.
- عناصر من إطارات رئيسية أم من إطارات ثانوية.

عندما تكون هذه العناصر معرضة للضغط ومنعطفة وفق أحد المحاور، لكنها لا تحتوي مفاصل لدنة.

2- يُمكن تحقيق مقاومة التحنيب خارج المستوي لأي عنصر في المنشآت بالعلاقة:

$$\frac{\chi_{0p} \cdot \alpha_{ult,K}}{\gamma_{M1}} \geq 1.0$$

$\alpha_{ult,k}$: معامل التضخيم الأدنى للحمولات التصميمية للحصول على مقاومة المقطع الحدية للمنشأة المدروسة في مستوي العنصر من دون حسبان للتحنيب الجانبي أو الجانبي الفتلي، حيث يتم أخذ تأثير التشوهات الأولية والعيوب الموضعية والعامة في مستوي العنصر بحسب وجودها.

χ_{0P}: معامل تخفيض لقيمة النحافة النسبية ($\overline{\lambda}_{0P}$).

3- تُحسب النحافة النسبية ($\overline{\lambda}_{0P}$) لعناصر المنشآت بالعلاقة: $\overline{\lambda}_{0P} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,K}}{\alpha_{cr,op}}}$

$\alpha_{cr,op}$: معامل التضخيم الأدنى للحمولات التصميمية في المستوي للحصول على المقاومة الحرجة لعناصر المنشأة مع حسبان التحنيب الجانبي أو الجانبي الفتلي ومن دون حسبان التحنيب الانعطافي.

يُمكن اعتماد تحليل إنشائي بطريقة العناصر المحدودة لتحديد قيم ($\alpha_{ult,k}$) و ($\alpha_{cr,op}$).

4- يُمكن تحديد قيمة معامل التخفيض (χ_{0P}) بالطريقة الآتية:

أ- حساب عوامل التخفيض (χ) و (χ_{LT}) وفقاً لما سبق في الفصلين (7-12، 7-13) وتُحسب من أجل نسبة النحافة (λ_{0P})، ومن ثم يتم اختيار القيمة الدنيا بينهما.

على سبيل المثال عندما تحدد ($\alpha_{ult,k}$) من المقطع العرضي يجب أن تحقق:

$$\frac{1}{\alpha_{ult,K}} = \frac{N_{Ed}}{N_{RK}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,RK}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{RK}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,RK}/\gamma_{M1}} \leq \chi_{0p} \qquad (64\text{-}7)$$

ب- افتراض قيمة واقعة بين قيمتي (χ) و(χ_{LT}) المحسوبتان في الفقرة السابقة (أ)، واستعمال العلاقة ($\alpha_{ult,k}$) الموافقة للمقطع العرضي الحرج.

على سبيل المثال: عندما تُحدد ($\alpha_{ult,k}$) من المقطع العرضي يجب أن يتحقق:

$$\frac{1}{\alpha_{ult,K}} = \frac{N_{Ed}}{N_{RK}} + \frac{M_{y.Ed}}{M_{y,RK}}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{RK}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,RK}/\gamma_{M1}} \leq 1 \qquad (65\text{-}7)$$

الجدول (a-8-7): معاملات التبادل Interaction factors k_{ij}

عوامل التبادل	فرضيات التصميم	
	خصائص المقطع العرضي المرن الصنف 3 والصنف 4	خصائص المقطع العرضي اللدن الصنف 1 و الصنف 2
k_{yy}	$C_{my}\cdot C_{m,LT}\dfrac{\mu_y}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my}\cdot C_{m,LT}\dfrac{\mu_y}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}\cdot\dfrac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{mz}\dfrac{\mu_y}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz}\dfrac{\mu_y}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}\cdot\dfrac{1}{C_{yz}}\cdot 0{,}6\cdot\sqrt{\dfrac{W_z}{W_y}}$
k_{zy}	$C_{my}\cdot C_{m,LT}\cdot\dfrac{\mu_z}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my}\cdot C_{m,LT}\cdot\dfrac{\mu_z}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}\cdot\dfrac{1}{C_{zy}}\cdot 0{,}6\cdot\sqrt{\dfrac{W_y}{W_z}}$
k_{zz}	$C_{mz}\cdot\dfrac{\mu_z}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz}\cdot\dfrac{\mu_z}{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}\cdot\dfrac{1}{C_{zz}}$

عوامل مساعدة

$\mu_y=\dfrac{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1-\chi_y\cdot\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{yy}=1+(w_y-1)\left[\left(2-\dfrac{1.6}{w_y}\cdot C_{my}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}-\dfrac{1.6}{w_y}\cdot C_{my}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2\right)\cdot n_{pl}-b_{LT}\right]\geq\dfrac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$
$\mu_z=\dfrac{1-\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1-\chi_z\cdot\dfrac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$b_{LT}=0.5\cdot a_{LT}\cdot\bar{\lambda}_0^2\cdot\dfrac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{pl,y,Rd}}\cdot\dfrac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$
$W_y=\dfrac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}\leq 1.5$	$C_{yz}=1+(w_z-1)\left[\left(2-14\cdot\dfrac{C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right)\cdot n_{pl}-c_{LT}\right]\geq 0.6\cdot\sqrt{\dfrac{W_z}{W_y}}\dfrac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$
$W_z=\dfrac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}\leq 1.5$	$c_{LT}=10\cdot a_{LT}\cdot\dfrac{\bar{\lambda}_0^2}{5+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\dfrac{M_{y,Ed}}{C_{my}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,y,Rd}}$
$n_{pl}=\dfrac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M0}}$	$C_{zy}=1+(w_y-1)\left[\left(2-14\cdot\dfrac{C_{my}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right)\cdot n_{pl}-d_{LT}\right]\geq 0.6\cdot\sqrt{\dfrac{W_y}{W_z}}\dfrac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$
$a_{LT}=1-\dfrac{I_T}{I_y}\geq 0$	$d_{LT}=2\cdot a_{LT}\cdot\dfrac{\bar{\lambda}_0^2}{0.1+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\dfrac{M_{y,Ed}}{C_{my}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,y,Rd}}\cdot\dfrac{M_{z,Ed}}{C_{mz}\cdot M_{pl,z,Rd}}$
من أجل C_{my} انظر الجدول (b-8-7)	$C_{zz}=1+(w_z-1)\cdot\left[2-\dfrac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}-\dfrac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2-e_{LT}\right]\cdot n_{pl}\geq\dfrac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$
	$e_{LT}=1.7\cdot a_{LT}\cdot\dfrac{\bar{\lambda}_0^2}{0.1+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\dfrac{M_{y,Ed}}{C_{my}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,y,Rd}}$

تابع الجدول (7-8-a): معاملات التبادل Interaction factors k_{ij}

$$\overline{\lambda} = \max\cdot\left(\overline{\lambda}_y;\overline{\lambda}_z\right)$$

$\overline{\lambda}_0$: النحافة النسبية للتحنيب الجانبي الفتلي تحت تأثير العزم الموزع بانتظام

$\overline{\lambda}_{LT}$: النحافة النسبية للتحنيب الجانبي الفتلي

$$\overline{\lambda}_0 \le 0.2\cdot\sqrt{C_1}\cdot\sqrt[4]{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\cdot\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)} \quad \Rightarrow$$

$$C_{my} = C_{my,o} \quad ; \quad C_{mz} = C_{mz,o} \quad ; \quad C_{mLT} = 1$$

$$\overline{\lambda}_0 > 2\cdot\sqrt{C_1}\cdot\sqrt[4]{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\cdot\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)} \quad \Rightarrow$$

$$C_{my} = C_{my,o} + \left(1-C_{my,o}\right)\cdot\frac{\sqrt{\varepsilon_y}\cdot a_{LT}}{1+\sqrt{\varepsilon_y}\cdot a_{LT}}$$

$$C_{mz} = C_{mz,o}$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2\cdot\frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\cdot\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}} \ge 1$$

من أجل $C_{mi,0}$ انظر الجدول (7-8-b)

للمقاطع ذات التنصيف 1، 2، 3 :
$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}}\cdot\frac{A}{W_{el,y}}$$

للمقاطع ذات التنصيف 4:
$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}}\cdot\frac{A_{eff}}{W_{eff,y}}$$

C_1 : عامل يتعلق بالحمولة وظروف النهايات ويمكن أن يعطى القيمة: $C_1 = k_c^{-2}$، حيث تؤخذ قيمة K_c من الجدول رقم (7-6)

$N_{cr,y}$: القوة المرنة للتحنيب الانعطافي حول المحور y-y

$N_{cr,z}$: القوة المرنة للتحنيب الانعطافي حول المحور z-z

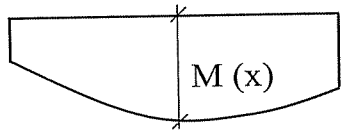
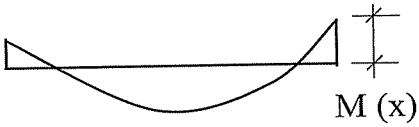
$N_{cr,T}$: القوة المرنة للتحنيب الفتلي

I_T : ثابت فينانت للفتل

I_y : عزم العطالة حول المحور y-y

الجدول (7-8-b): معاملات مخطط العزم المنتظم المكافئ $C_{mi,0}$

Equivalent uniform moment factors $C_{mi,0}$

مخطط العزم على العنصر	$C_{mi,0}$
M_1 $M_1\,\psi$ $1-\leq\psi\leq 1$	$C_{mi,0}=0.79+0.21\cdot\psi_{\circ}+0.36\cdot(\psi_i-0.33)\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
 M (x)  M (x)	$C_{mi,0}=1+\left(\frac{\pi^2\cdot EI_i\cdot\lvert\delta_x\rvert}{L^2\cdot\lvert M_{i,Ed}(x)\rvert}-1\right)\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ $M_{i,Ed}(x)=\max\left(M_{y,Ed};M_{z,Ed}\right)$ $\lvert\delta_x\rvert$: الانتقال الأعظمي على طول العنصر
	$C_{mi,0}=1-0.18\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{mi,0}=1+0.03\cdot\frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

الجدول (7-a-9): معاملات التبادل k_{ij} للعناصر غير المعرضة لتشوهات ناتجة عن الفتل

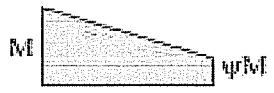
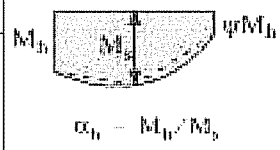
عوامل التبادل	نوع المقطع	فرضيات التصميم	
		خصائص المقطع العرضي المرن الصنف 3 والصنف 4	خصائص المقطع العرضي اللدن الصنف 1 و الصنف 2
k_{yy}	مقاطع I مقاطع RSH	$C_{my}\cdot\left(1+0.6\cdot\bar{\lambda}_y\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$ $\le C_{my}\cdot\left(1+0.6\cdot\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$	$C_{my}\cdot\left(1+(\bar{\lambda}_y-0.2)\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$ $\le C_{my}\cdot\left(1+0.8\cdot\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$
k_{yz}	مقاطع I مقاطع RSH	k_{zz}	$0.6\cdot k_{zz}$
k_{zy}	مقاطع I مقاطع RSH	$0.8\cdot k_{yy}$	$0.6\cdot k_{yy}$
k_{zz}	مقاطع I	$C_{mz}\cdot\left(1+0.6\cdot\bar{\lambda}_z\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$	$C_{mz}\cdot\left(1+(2\cdot\bar{\lambda}_z-0.6)\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$ $\le C_{mz}\cdot\left(1+1.4\cdot\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$
	مقاطع RSH	$\le C_{mz}\cdot\left(1+0.6\cdot\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$	$C_{mz}\cdot\left(1+(\bar{\lambda}_z-0.2)\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$ $\le C_{mz}\cdot\left(1+0.8\cdot\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$

يمكن أن يأخذ العامل k_{zy} القيمة $k_{zy}=0$ وذلك من أجل المقاطع I والمقاطع H والمقاطع المستطيلة المفرغة الخاضعة لقوة محورية ضاغطة وعزم وحيد $M_{y,Ed}$

الجدول (7-9-b): معاملات التبادل k_{ij} للعناصر المعرضة لتشوهات ناتجة عن الفتل

عوامل التبادل	فرضيات التصميم	
	خصائص المقطع العرضي المرن الصنف 3 والصنف 4	خصائص المقطع العرضي اللدن الصنف 1 و الصنف 2
k_{yy}	كما في الجدول (7-9-a)	
k_{yz}	كما في الجدول (7-9-a)	
k_{zy}	$\geq \left(1-\frac{0.05\cdot\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT}-0.25)}\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$	$\geq \left(1-\frac{0.1}{(C_{mLT}-0.25)}\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$ $\left(1-\frac{0.1\cdot\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT}-0.25)}\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$ من أجل $\bar{\lambda}_z < 0.4 \Leftarrow$ $k_{zy}=0.6+\bar{\lambda}_z \leq \left(1-\frac{0.1\cdot\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT}-0.25)}\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z\cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right)$
k_{zz}	كما في الجدول (7-9-a)	

الجدول (7-9-c): معاملات مخطط العزم المنتظم المكافئ C_m

مخطط العزم	المجال		C_{my} ; C_{mz} ; C_{mLT}	
			حمولة موزعة بانتظام	حمولة مركزة
	$-1 \le \psi \le 1$		$0.6+0.4\cdot\psi \ge 0.4$	
	$-1 \le \psi \le 1$	$0 \le \alpha_s \le 1$	$0.2+0.8\cdot\alpha_s \ge 0.4$	
	$0 \le \psi \le 1$	$-1 \le \alpha_s < 0$	$0.1-0.8\cdot\alpha_s \ge 0.4$	$-0.8\cdot\alpha_s \ge 0.4$
	$-1 \le \psi < 0$		$0.1(1-\psi)-0.8\alpha_s \ge 0.4$	$0.2(-\psi)-0.8\alpha_s \ge 0.4$
	$-1 \le \psi \le 1$	$0 \le \alpha_h \le 1$	$0.95+0.05\cdot\alpha_h$	$0.90+0.10\cdot\alpha_h$
	$0 \le \psi \le 1$	$-1 \le \alpha_h < 0$		
	$-1 \le \psi < 0$		$0.95+0.05\alpha_h(1+2\psi)$	$0.90-0.1\cdot\alpha_h(1+2\psi)$
تُستعمل قيمة لـ $C_{my}=0.9$ و $C_{mz}=0.9$ وذلك للعناصر التي تخضع لتحنيب الانزياح الجانبي				

نحصل على C_{mLT} ; C_{mz} ; C_{my} تبعاً لمخطط العزم بين نقطتي التقييد، كما يلي:

عامل العزم	العزم حول المحور	نقطة التقييد في الاتجاه
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y
C_{mLT}	y-y	y-y

الباب الثامن

8 الوصلات المعدنية

تحت تأثير الحمولات الساكنة (الستاتيكية)

8-1 أساسيات

8-1-1 عموميات

1- يجب أن تُصمم الوصلات المعدنية بحيث يُحافظ على أمان المنشأ مع تنفيذ قواعد وأساسيات الباب رقم (5).

2- تُعطى عوامل الأمان الجزئية γ_M التي تستعمل في حساب قابلية التحمل كما يلي:

- البراغي $\gamma_{Mb} = 1.25$
- البراشيم $\gamma_{Mr} = 1.25$
- مسمار القلاووظ $\gamma_{Mp} = 1.25$
- خيوط (خطوط) اللحام $\gamma_{Mw} = 1.25$
- البراغي مسبقة الإجهاد حسب الفقرة المخصصة
- وصلات اللحام للعناصر ذات المقاطع المفرغة والمغلقة (مجوفة) $\gamma_{M5} = 1.0$

3- يجب إجراء تحقيقات إضافية لأجل الوصلات التي تتعرض لإجهادات غير الساكنة (إجهادات ديناميكية) يدرس فيها تعب الفولاذ وفق الباب تعب المواد

8-1-2 القوى المؤثرة على المقطع

يتم تحديد القوى والعزوم الحدية المُطبقة على الوصلات من خلال التحليل الإنشائي للمنشأة والتي تم ذكرها في الأبواب السابقة.

يجب أن تُؤخذ بالحسبان المؤثرات الآتية خلال عمليات التحليل الإنشائي للمنشأة:

أ- تأثير الحسابات وفق نظرية العزوم من الدرجة الثانية (إعادة حسابات التحليل الإنشائي للمنشأ مع الأخذ بالحسبان التشوهات الحاصلة من العزم).

ب- انحرافات التنفيذ المسموحة لأبعاد المنشأ الهندسية عن الأبعاد المقررة بالمخططات.

ت- اختلاف تشوهات الوصلات عن النموذج المحسوب.

8-1-3 حساب مقدرة تحمل الوصلات

1- يجب حساب قدرة تحمل الوصلات من خلال حساب القوى الحدية لكل عنصر من عناصر الوصل.

2- تُستعمل الحسابات المرنة الخطية أو المرنة – اللدنة في تصميم الوصلات.

3- يجب التأكد (من خلال التجارب) من وجود عتبة اللدونة في خواص الفولاذ، في حال استعمال طريقة التصميم الحدية.

8-1-4 افتراضات التصميم

1- يمكن افتراض أي توزيع عملي لقوى والعزوم الداخلية عند تصميم الوصلات يناسب الوصلة طالما:

- أن القوى الداخلية المفترضة (قوى قاطعة وناظميه وعزوم) تحقق التوازن.
- أن كل عنصر من عناصر الوصل يتحمل الإجهادات أو القوى المخصصة له.
- أن تمتلك عناصر الوصل، أو خيوط (خطوط) اللحام، وأجزاء الوصلة الأخرى إمكانية التشوه، بحيث يتحقق توزيع القوى والعزوم الداخلية المفترض لموديل التصميم.
- لا تتجاوز التشوهات الحاصلة في موديل التصميم، والناتجة بشكل أساسي عن دوران عناصر الوصلة، تشوهات السيلان.

2- إضافة لذلك فإن التوزيع المفترض لقوى الوصلة يتعلق بنسب صلابة عناصر الوصلة.

3- يُهمل أثر الاجهادات المتبقية الناتجة عن التصنيع، أو تلك الناتجة عن عمليات إدخال البراغي في الثقوب غير المتطابقة، وشدها.

8-1-5 التصنيع والتركيب

1- يجب مراعاة سهولة التنفيذ في الإنتاج والتصنيع عند التشكيل الإنشائي للوصلات وللعقد.

2- يجب مراعاة النقاط الآتية في التصميم:

أ- تأمين المكان الكافي من أجل جمع عناصر الإنشاء بشكل أمين.

ب- تأمين الفراغ المناسب لإتمام عمليات شد البراغي.

ت- تأمين المتطلبات اللازمة لأجل الوصول وتنفيذ أعمال اللحام.

ث- مراعاة شروط التنفيذ الخاصة بطريقة اللحام المختارة.

ج- تأثير دقة تنفيذ الزوايا والثقوب لأجل التركيب المناسب.

ح- فحص عناصر الوصل.

خ- معالجة السطوح في الوصلة.

د- مراعاة الديمومة من خلال إمكانية الصيانة.

2-8 الوصلات

1- يجب عند وصل عناصر المنشأ الحمالة أن تلتقي محاور العناصر في نقطة مركز الوصلة.

2- يجب أن تؤخذ بالحسبان لا مركزية الوصلة، ماعدا في تحقيقات المنشآت الخاصة التي لا تكون ضرورية فيها.

3- في حال وجود لا مركزية للوصلة، يجب تصميم الوصلة والعناصر المتصلة معها لتحمل القوى المحورية والعزوم الناتجة في الوصلات المشكلة من مقطع بشكل زاوية أو بشكل T، والمثبتة بصف واحد أو صفين من البراغي، فيجب حساب اللامركزية في مستوي الوصلة وخارج مستويها، وذلك بحسبان الفرق بين الموقع النسبي لمركز ثقل العنصر ومركز ثقل مجموعة البراغي.

3-8 الوصلات المجهدة بالقص المعرضة لحمولات الاهتزاز والحمولات المتناوبة

1- عندما تتعرض الوصلات المجهدة بالقص إلى حمولات اهتزازية كبيرة، أو صدم، فيُمكن استعمال إحدى طرائق الوصل الآتية:

- اللحام؛
- برغي مع قفل؛
- براغي مسبقة الاجهاد؛
- براغي مغروسة بالضغط؛
- أي نوع آخر من البراغي يقوم بمنع حركة الأجزاء المتصلة؛
- البراشيم.

2- في الوصلات التي لا يُسمح بحدوث انزلاق بين أجزائها (نتيجة تعرضها لحمولات قاصة متناوبة، أو لأي سبب آخر) يُمكن استعمال اللحام أو البراشيم أو البراغي التي تُحشر في ثقوبها، أو البراغي المسبقة الاجهاد، المستعملة في الوصلات، صنف B أو C.

3- يُمكن استعمال وصلات البراغي العادية، صنف A، في وصلات شبكات تربيط الرياح، أو شبكات تربيط الاستقرار.

4-8 تصنيف الوصلات

1-4-8 عموميات

1- يجب أن تطابق الخواص الإنشائية للوصلات، الفرضيات التي وضعت عند تصميم وحساب العناصر الإنشائية الحمالة.

2- يمكن تصنيف الوصلات حسب قابلية التشوه –صلابتها– وفق البند 8-4-2، أو حسب قدرة التحمل –مقاومتها– وفق البند 8-4-3.

3- يجب أن يوافق شكل تشوه الوصلة الجدول (6-2)، ويتعلق بفرضيات تصميم العناصر الحمالة وطريقة الحساب للجملة الإنشائية.

8-4-2 تصنيف الوصلات حسب قابلية التشوه (حسب صلابتها)

8-4-2-1 الوصلات المفصلية

1- يجب أن يتم تشكيل الوصلات المفصلية بحيث لا يتشكل فيها عزم كبير، يُحدث أضراراً في العناصر الحاملة.

2- يجب أن تتحمل الوصلات المفصلية القوى الداخلية الملحقة بها، وتستطيع استقبال وامتصاص دوران المفصل العائد لها.

8-4-2-2 الوصلات غير القابلة للتشوه (الوصلات الصلبة)

1- يجب أن تُصمم هذه الوصلات بحيث تكون تشوهاتها صغيرة، لدرجة أنها لن تُؤثر على القوى الداخلية أو على التشوهات العامة للمنشأة ككل، والناتجة عن التحليل الانشائي بحسبان استمرارية العناصر.

2- يجب أن لا تُخفض تشوهات الوصلات غير القابلة للتشوه من قدرة التحمل للجملة الإنشائية أكثر من 5%.

3- تُصمم الوصلات غير القابلة للتشوه، بحيث تستطيع أن تتحمل جميع القوى والعزوم الملحقة بها.

8-4-2-3 الوصلات القابلة للتشوه (شبه الصلبة)

1- تُصنَّف الوصلات على أنها وصلات قابلة للتشوه (شبه صلبة)، عندما تكون غير محققة لسمات وميزات الوصلات المفصلية، والوصلات غير القابلة للتشوه المعروضة في الفقرتين: 8-4-2-1 و8-4-2-2.

2- يجب أن تكون درجة التأثير المتبادل بين العنصر الإنشائي والوصلة شبه الصلبة محددة وفقاً لمنحني العزم– الدوران المميز للوصلة.

3- تُصمم الوصلات شبه الصلبة، بحيث تستطيع أن تتحمل جميع القوى والعزوم الملحقة بها.

8-4-3 تصنيف الوصلات حسب المقاومة

8-4-3-1 الوصلات المفصلية

1- يجب أن تكون الوصلات المفصلية قادرة على تحمل القوى المطبقة عليها من دون نشوء عزم مهم فيها. وهذا العزم قد يسبب ضرراً على العنصر الإنشائي المرتبط بها، أو لكامل المنشأة.

2- يجب أن تكون إمكانية الدوران في الوصلات المفصلية كبيرة بشكل كافٍ، لكي تستطيع أن تُوافق الدورانات الناشئة عن تطبيق الأحمال التصميمية.

8-4-3-2 الوصلات ذات قدرة التحمل الكاملة

1- يجب أن تساوي المقاومة الحدية للوصلات ذات قدرة التحمل الكاملة، على الأقل قدرة التحمل الكاملة للعناصر الإنشائية الموصولة بها.

2- عندما تكون إمكانية الدوران للوصلات ذات قدرة التحمل الكاملة محددة، فيجب الأخذ بالحسبان تأثير إمكانية تجاوز قدرة التحمل الكاملة لهذه الوصلات. أما إذا وصلت قدرة التحمل للوصلة على الأقل القيمة (1.2) من حد المقاومة اللدنة للعنصر الإنشائي فلا حاجة لفحص إمكانية الدوران في الوصلة.

3- يجب أن تملك الوصلات ذات قدرة التحمل الكاملة تحت تأثير الحمولات التصميمية إمكانية الدوران إلى الحد الذي يتجاوز قيمة دوران مفاصل السيلان المتشكلة فيها.

8-4-3-3 الوصلات ذات قدرة التحمل الجزئية

1- يمكن أن تكون المقاومة الحدية للوصلات ذات قدرة التحمل الجزئية، أصغر من قدرة التحمل للعناصر الإنشائية الموصولة معها، وكبيرة بحيث تستطيع أن تتحمل قيم القوى والعزوم التصميمية المعرضة لها.

2- يجب أن تكون إمكانية الدوران للوصلات ذات قدرة التحمل الجزئية، التي تتشكل فيها مفاصل لدنة، كبيرة بشكل كافي لكي تسمح بتشكيل جميع المفاصل اللدنة اللازمة تحت تأثير الحمولات التصميمية.

3- يُمكن تحديد المقدرة الدورانية للوصلات ذات قدرة التحمل الجزئية من خلال التجارب، ولا ضرورة لتكرار التجارب إذا كانت الوصلة مجربة بنجاح سابقاً.

4- يجب أن تكون صلابة الوصلات ذات قدرة التحمل الجزئية تحت تأثير الحمولات التصميمية كافية إلى الحد الذي لا تتجاوز مقدرتها الدورانية قيمة المقدرة الدورانية لأي مفصل لدن متشكل.

8-5 وصلات البراغي

8-5-1 تباعد ثقوب البراغي عن بعضها وعن أطراف الصفائح

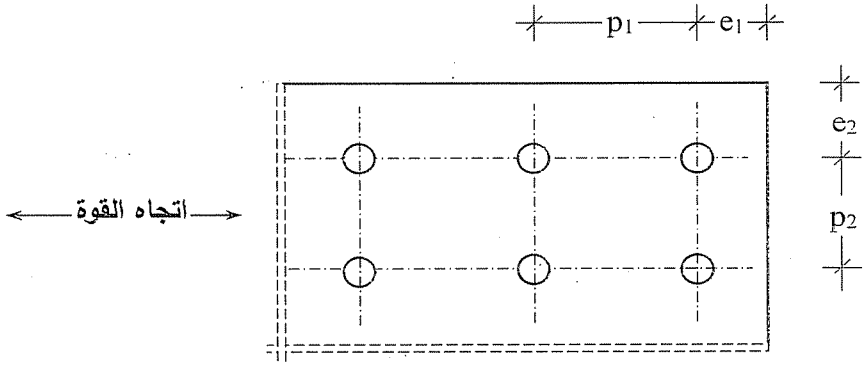
8-5-1-1 أساسيات

1- يجب أن يُحدد تباعد الثقوب لأجل البراغي لمنع تسلل الصدأ، ومنع التحنيب الموضعي للصفائح، وتسهيل إمكانية تركيب البراغي.

2- يجب أن يناسب تباعد الثقوب الشروط الحدية لقابلية تحمل البراغي التي تحويها أيضاً.

8-5-1-2 الحدود الدنيا للتباعد الطرفي في اتجاه القوة

1- يجب أن لا يقل الحد الأدنى للتباعد الطرفي e_1 باتجاه القوة (التباعد عن أطراف الصفائح) عن $1.2\ d_o$، ويُقاس من محور الثقب إلى طرف الصفيحة، حيث d_o قطر الثقب، كما في الشكل (8-1).



الشكل (8-1): رموز التباعدات بين الثقوب

2- يجب زيادة الحد الأدنى للتباعد الطرفي من أجل المتطلبات العالية لقوة الضغط القطري الحدية.

8-1-5-3 الحدود الدنيا للتباعد الطرفي في اتجاه عمودي على القوة

1- يجب أن لا يقل الحد الأدنى للتباعد الطرفي e_2 باتجاه عمودي على القوة (التباعد الأصغر عن أطراف الصفائح) عن $1.5d_o$، ويقاس من محور الثقب إلى طرف الصفيحة حيث d_o قطر الثقب، كما هو موضح في الشكل (8-1).

2- يمكن تصغير التباعد الأدنى الطرفي إلى $1.2d_o$، وذلك إذا خفضت القوة الحدية للضغط القطري وفق البند 8-5-5 والبند 8-5-6.

8-1-5-4 الحدود العليا للتباعد الطرفي في اتجاه القوة واتجاه عمودي عليها

1- يجب أن لا يتجاوز الحد الأقصى، في العناصر الإنشائية المعرضة إلى تأثير الطقس وتأثير الاحتكاك، لقيمة التباعد الطرفي باتجاه القوة واتجاه عمودي على القوة، (40mm+4t) حيث t سماكة الصفيحة الأدنى من صفائح التغطية.

2- يجب أن لا يتجاوز الحد الأقصى للتباعد الطرفي قيمة 12t أو 150 mm، في الحالات الأخرى.

3- يجب تحقيق النسبة الحدية (b/t) لضمان أمان التقوس الموضعي، وذلك عند تحديد تباعد ثقوب البراغي عن الأطراف. يمكن التغاضي عن هذه الشروط في وصلات التجميع المستعملة في العناصر الإنشائية المعرضة لإجهادات الشد، وكذلك حالات التباعد الطرفي في اتجاه القوة.

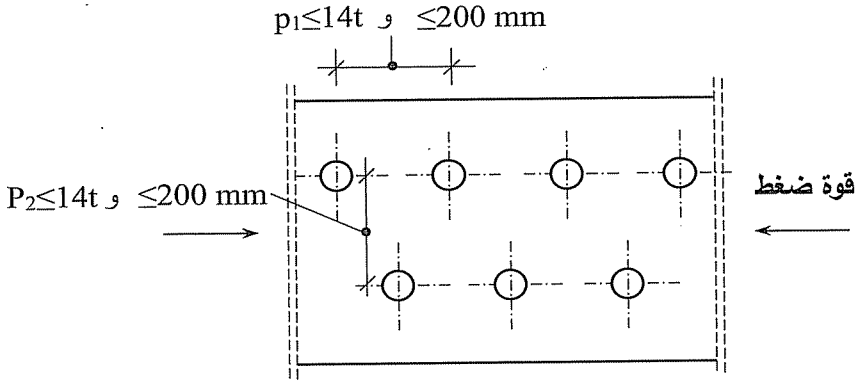
8-1-5-5 الحد الأدنى للتباعد بين الثقوب

1- يجب أن لا تقل قيمة الحد الأدنى للتباعد بين الثقوب p_1 عن $2.2d_o$ في اتجاه القوة، وتقاس من المحور إلى المحور لعناصر الوصل، كما في الشكل (8-1)، ويمكن زيادة قيمة هذا الحد من أجل المتطلبات العالية لحدود قوة الضغط القطري.

2- يجب أن لا تقل قيمة الحد الأدنى للتباعد بين الثقوب p_2 في اتجاه عمودي على القوة عن $3d_o$، الشكل (8-1) ويسمح بتخفيض هذه القيمة إلى $2.4d_o$، إذا خفضت حدود قوة الضغط القطري وفق البند 8-5-5 والبند 8-5-6.

8-1-5-6 الحد الأقصى للتباعد بين الثقوب في العنصر الإنشائي المضغوط

1- يجب أن لا يتجاوز الحد الأقصى للتباعد بين الثقوب p_1 في اتجاه القوة و p_2 في اتجاه عمودي على القوة أصغر القيمتين (200 mm, 14 t)، عندها يمكن لعناصر الوصل أن تتداخل بشكل منتظم، كما في الشكل (8-2).

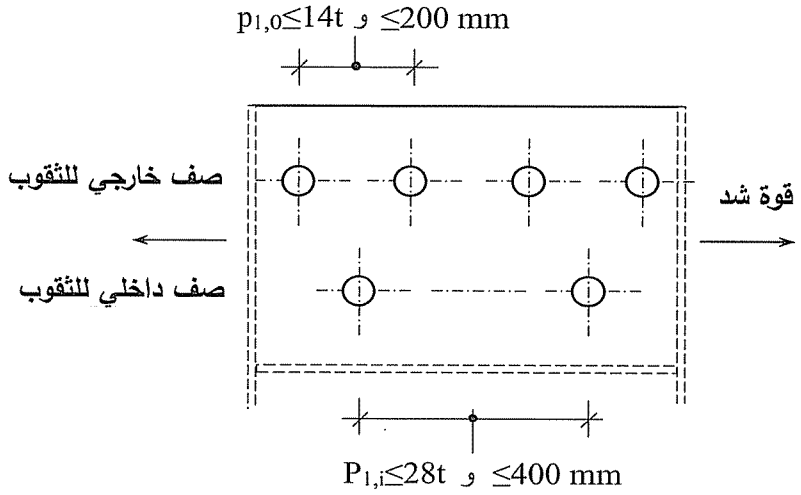


الشكل (8-2): تداخل الثقوب في العناصر الإنشائية المضغوطة

2- يجب تحقيق النسبة الحدية b/t لضمان أمان التقوس الموضعي ضمن الحقل الداخلي، وذلك عند تحديد تباعد الأطراف.

8-1-5-7 الحد الأقصى للتباعد بين الثقوب في العنصر الإنشائي المشدود

1- يمكن افتراض قيمة الحد الأقصى للتباعد بين ثقوب عناصر الوصل $p_{1,i}$ للصفوف الداخلية، ضعف قيم الحدود العليا للتباعد في حالة العنصر الإنشائي المضغوط في الفقرة (8-5-1-6-1)، وذلك في حال العنصر الإنشائي المعرض لإجهادات الشد إذا لم تتجاوز قيم التباعد بين ثقوب عناصر الوصل $p_{1,0}$ للصفوف الخارجية هذه القيم (قيمة الحد الأقصى للتباعد في حالة العنصر الإنشائي المضغوط في الفقرة 8-5-1-6-1)، كما في الشكل (8-3).

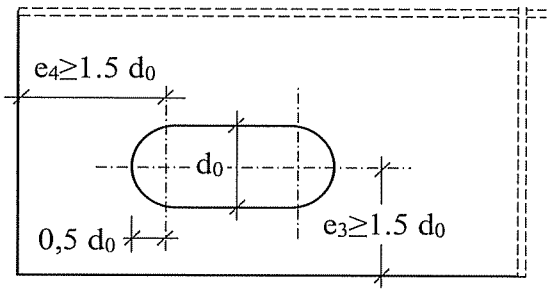


الشكل (8-3): التباعد بين الثقوب في العناصر الإنشائية المشدودة

2- يُمكن تكبير قيمة الحد الأقصى بنسبة 50% للتباعد بين ثقوب عناصر الوصل $p_{1,i}$ في الصفوف الداخلية، وذلك في العناصر الإنشائية المشدودة التي لا تقع تحت تأثير الطقس والاحتكاك.

8-1-5-8 الثقب الطولي

1- يجب أن لا يقل الحد الأدنى للبعد e_3 بين محور الثقب الطولي وطرف الصفيحة عن $1.5d_o$، كما في الشكل (8-4).



الشكل (8-4): التباعدات في اتجاه القوة وعمودي عليها للثقب الطولي

2- يجب أن لا يقل الحد الأدنى للبعد بين نقطة التوسط للقطر الطرفي في الثقب الطولي حتى نهاية الصفيحة عن $1.5d_0$، كما في الشكل (8-4).

8-5-2 ضعف المقطع العرضي من خلال ثقوب البراغي

8-5-2-1 عموميات

1- يُمكن إهمال تأثير الثقوب عند تصميم وصلات العناصر الإنشائية المعرضة لإجهادات الضغط، ماعدا حالات الثقوب الكبيرة والثقوب الطويلة.

2- عند تصميم وصلات العناصر الإنشائية الأخرى، فإن الاشتراطات حول الثقوب الواردة في الفصل (4-7) للعناصر المشدودة، وأيضاً في البند (3-6-7) للعناصر المعرضة لعزم انعطاف وفي البند (6-7-7) للعناصر المعرضة لقوة القص تبقى جميعها سارية المفعول.

8-5-2-2 الانهيار بسبب انكسار القص

1- يجب منع انهيار صفيحة الجسد أو الصفيحة الحاملة للمسند بسبب الانكسار الناتج عن القص، كما في الشكل (8-5)، وذلك من خلال استعمال تباعد الثقب التصميمي (المحسوب) عن طرف الصفيحة والتقيد به. ينشأ هذا النوع من الانهيار عادة من خلال انكسار الشد على امتداد خط الوصلة للصف الخارجي لمجموعة ثقوب البراغي، من جهة قوة الشد المرافقة للقص في المقطع الصافي على امتداد خط الوصلة للصف الخارجي لمجموعة ثقوب البراغي.

2- يجب تحديد القيمة الحدية لمنع انكسار القص $V_{eff,Rd}$ كما يلي:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{V,eff}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \qquad (1\text{-}8)$$

حيث: $A_{V,eff}$ المساحة الفعالة لانكسار القص، تستنتج قيمتها كما يلي:

$$A_{V,eff} = t \cdot L_{V,eff} \qquad (2\text{-}8)$$

حيث t: سماكة صفيحة الجسد، أو صفيحة حامل المسند، n: عدد الثقوب من جهة طرف القص.

$$L_{V,eff} = L_v + L_1 + L_2 \le L_3 \qquad (3\text{-}8)$$

$$L_1 = a_1 \le 5 \cdot d_0$$

كما أن:

$$L_2 = (a_2 - k \cdot d_{0,t}) \cdot (f_u / f_y)$$

$$L_3 = L_v + a_1 + a_3 \le (L_v + a_1 + a_3 - n \cdot d_{0,v}) \cdot (f_u / f_y)$$

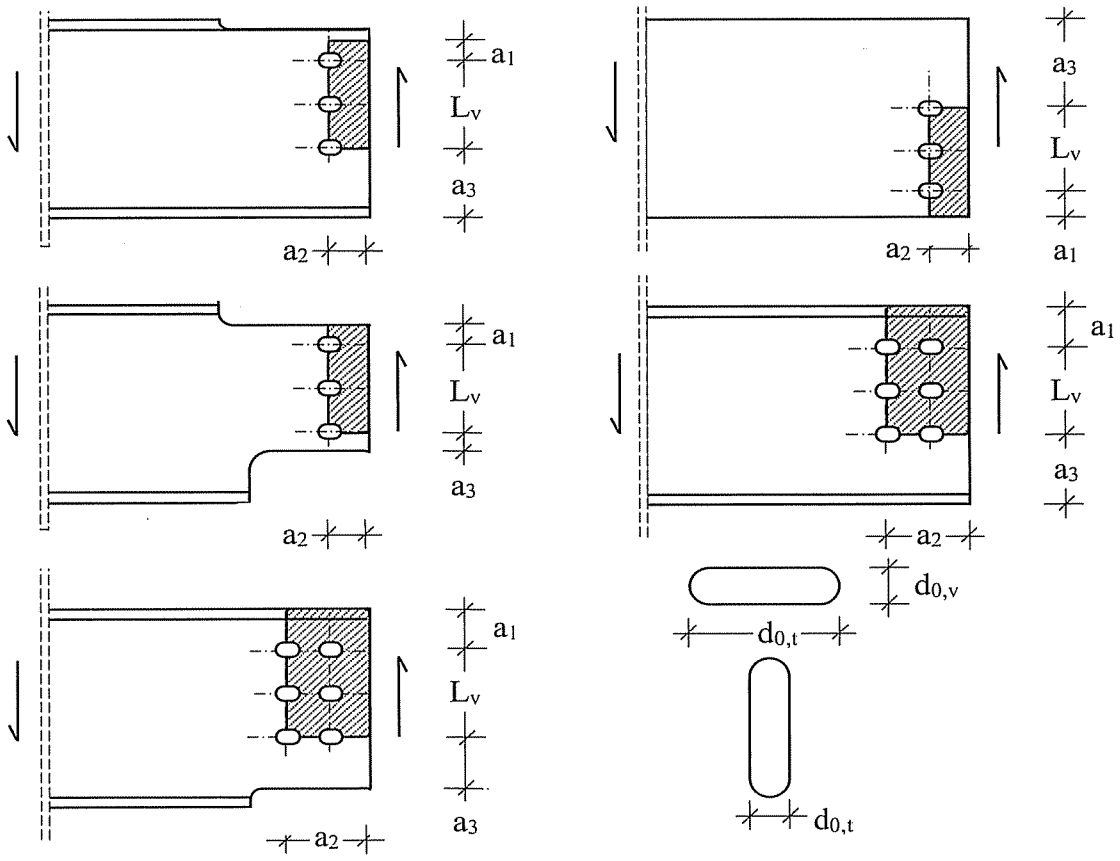
a_1, a_2, a_3 و L_V رموز موضحة بالشكل (8-5).

d: قطر البرغي.

$d_{0,t}$: بعد الثقب لجهة الشد، يؤخذ عادة قطر البرغي، ويستعمل طول البرغي الأفقي من أجل الثقب الطولي الموضوع أفقياً.

$d_{0,V}$: بعد الثقب لجهة القص، يؤخذ عادة قطر البرغي، ويستعمل طول البرغي الشاقولي من أجل الثقب الطولي الموضوع شاقولياً.

يقدر العامل K بالقيمة $K = 0.5$ من أجل صف واحد من البراغي، وبالقيمة $K = 2.5$ من أجل صفين من البراغي.



الشكل (8-5): التباعد

8-5-2-3 وصلات مقطع الزاوية L المتصلة عبر ساق واحدة

1- يجب أن يؤخذ تأثير اللامركزية، وتأثير التباعد بين الثقوب، والتباعد عن الحواف لعناصر الوصل، وذلك من أجل حساب قدرة التحمل في الوصلات غير المتناظرة مثل وصلات مقطع الزاوية L.

2- تُعدّ مقطع الزاوية بوصلة ذات صف براغي، الشكل (8-6)، وصلة مركزية وتُحسب قوة الشد الحدية على المقطع الصافي كما يلي:

تثبيت ببرغي واحد $$N_{u,Rd} = \frac{2.0 \cdot (e_2 - 0.5 \cdot d_0) \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \qquad (4\text{-}8)$$

تثبيت ببرغيين $$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \qquad (5\text{-}8)$$

تثبيت بثلاثة براغي أو أكثر $$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \qquad (6\text{-}8)$$

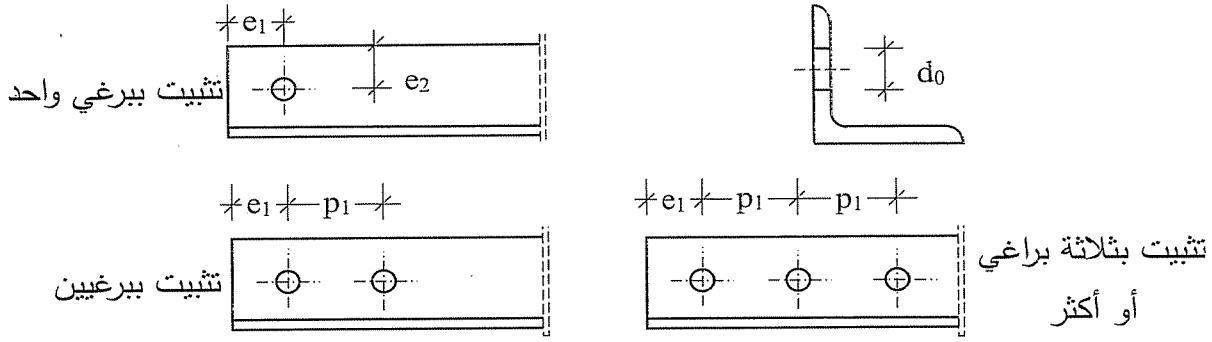
A_{net}: مساحة المقطع الصافي، وفي حالة الزاوية غير متساوية الساقين المتصلة عبر الساق القصير، يجب اعتبار مساحة المقطع الصافية A_{net} لوصلة مقطع الزاوية على أنها زاوية ذات ساقين متساويين، مساويين للساق الصغير.

β_2, β_3: عاملا التخفيض متعلقان بتباعد الثقب p_1 وفق الجدول رقم (8-1)، ويمكن استنتاج القيم المتوسطة بينهما بالتوسط الداخلي.

الجدول (8-1): عاملا التخفيض β_2, β_3

عاملا التخفيض β_2, β_3		
تباعد الثقب P_1	$\leq 2.5 \cdot d_o$	$\geq 5.0 \cdot d_o$
β_2 للبرغي رقم (2)	0.4	0.7
β_3 للبرغي رقم (3)	0.5	0.7

3- تحسب القيمة الحدية لتحقيق التحنيب في عنصر مقطع الزاوية المضغوط وفق فقرة العناصر المضغوطة، باعتماد قيمة مساحة المقطع الخام، بشرط أن لا تزيد عن القيمة الحدية المحسوبة للوصلة وفق العلاقات أعلاه.



الشكل (8-6): مقطع الزاوية بوصلة ذات صف براغي

8-5-3 تصنيف وصلات البراغي

8-5-3-1 وصلات القص (ذات البراغي المعرضة للقص)

1- يجب أن يتم تصميم الوصلات المعرضة إلى قوى قص وفقاً لأحد الأصناف الآتية، أنظر الجدول (8-2).

2- **الصنف A: وصلات الارتكاز المباشر للبراغي على صفائح الوصل**

- تُستعمل البراغي من النوع 4.6 حتى النوع 10.9، ومن غير الضروري تطبيق أي سبق اجهاد على البراغي، أو اتخاذ أي تدابير خاصة للسطوح المتماسة في هذه الوصلة.
- يجب أن لا تزيد قوى القص التصميمية المطبقة، على مقاومة القص التصميمية أو مقاومة الدهس التصميمية (الضغط القطري)، المحسوبة وفق البند 8-5-5.

3- **الصنف B: الوصلات المانعة للانزلاق في مرحلة حد الاستثمار**

يجب استعمال البراغي المسبقة الإجهاد عالية المقاومة، ويجب أن لا يحصل أي انزلاق في الوصلة ضمن مرحلة حد الاستثمار. كما يجب ألا تزيد أحمال القص الاستثمارية على مقاومة الانزلاق التصميمية للوصلة، والمحسوبة وفقاً للبند 8-5-8، وأن لا تتجاوز القيمة التصميمية لقوة القص المطبقة، مقاومة القص التصميمية ومقاومة الدهس (الضغط القطري) التصميمية، المحسوبة لهذه الوصلة وفق البند 8-5-5.

4- **الصنف C: الوصلات المانعة للانزلاق في مرحلة حمل الحد الأقصى**

يجب استعمال البراغي المسبقة الإجهاد عالية المقاومة، ويجب أن لا يحصل أي انزلاق في الوصلة ضمن مرحلة حمل الحد الأقصى، كما يجب أن لا يحصل أي انزلاق في الوصلة ضمن مرحلة حمل الحد الأقصى، ويجب أن لا تزيد أحمال القص الحدية المطبقة على مقاومة الانزلاق التصميمية والمحسوبة وفقاً للبند 8-5-5، ومقاومة الدهس (الضغط القطري) التصميمية للوصلة. إضافة لذلك، يجب حساب قوة الشد الحدية اللدنة $N_{net,Rd}$ في المقطع الصافي الحرج المار عبر ثقوب البراغي (وفق الفصل 7-4) كما يلي ومقارنتها بالقوة المطبقة:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} \qquad (7\text{-}8)$$

8-5-3-2 وصلات الشد (براغي الوصلة معرضة للشد)

1- يجب ان تُصمم وصلات البراغي المعرضة للشد وفقاً لأحد الأصناف المذكورة في الجدول (8-2).

2- **الصنف D: الوصلات غير مسبقة الإجهاد**

تُستعمل البراغي من النوع 4.6 حتى النوع 10.9، ومن غير الضروري تطبيق أي سبق اجهاد، على البراغي، أو اتخاذ أي تدابير خاصة للسطوح المتماسة في هذه الوصلة، ولا يُمكن استعمال مثل هذه الوصلات في حالة أحمال الشد المتغيرة بشكل متكرر. ولكن يُمكن استعمال هذا الصنف لتصميم الوصلات المعرضة لأحمال الرياح.

3- **الصنف E: الوصلات مسبقة الإجهاد**

تُستعمل البراغي من النوع 8.8 والنوع 10.9، مع تطبيق سبق اجهاد عليها، مع ضبط شد البرغي بما يتوافق مع التوصيات الواردة في قائمة مراجع الكود الأوروبي – المجموعة 8 (راجع الملحق B من المرجعين (1) و(2)). يحسن سبق الإجهاد مقاومة تعب الفولاذ، ودرجة التحسين تتعلق بشكل العنصر الإنشائي وفرق الإجهادات.

الجدول (8-2): أنواع وصلات البراغي

تقسيم وصلات البراغي		
التصنيف	الحدود	الحاشية والملاحظات
وصلات الارتكاز المباشر للبراغي A	$F_{v,Ed} \le F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \le F_{b,Rd}$	لا يوجد لزوم لسبق الإجهاد جميع أنواع البراغي من 4.6 حتى 10.9
وصلات مانعة للانزلاق في مرحلة حد الاستثمار B	$F_{v,Ed,ser} \le F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \le F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \le F_{b,Rd}$	براغي عالية المقاومة مسبقة الإجهاد (نوع 8.8 و10.9) لا يوجد انزلاق في الحالة الحدية للاستثمار
وصلات مانعة للانزلاق في مرحلة الحد الأقصى للحمل C	$Fv,Ed \le Fs,Rd$ $Fv,Ed \le Fb,Rd$ $Fv,Ed \le Nnet,Rd$	براغي عالية المقاومة مسبقة الإجهاد (نوع 8.8 و10.9) لا يوجد انزلاق في الحالة الحدية للتحمل
وصلات معرضة لإجهادات شد		
وصلات غير مسبقة الإجهاد D	$F_{t,Ed} \le F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \le B_{p,Rd}$	لا يوجد لزوم لسبق الإجهاد جميع أنواع البراغي من 4.6 حتى 10.9
وصلات مسبقة الإجهاد E	$F_{t,Ed} \le F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \le B_{p,Rd}$	براغي عالية المقاومة مسبقة الإجهاد، (نوع 8.8 و10.9)

$F_{V,Ed}$، $F_{V,Ed,ser}$: القيم التصميمية لقوة القص على البرغي في حالتي الحدية للاستثمار والحدية للتحمل

$F_{V,Rd}$: قوة القص الحدية لكل برغي (القوة التي يتحملها البرغي) على القص.

$F_{b,Rd}$: قوة الدهس (الضغط القطري) الحدية لكل برغي(القوة التي يتحملها البرغي) على الدهس.

$F_{S,Rd}$، $F_{S,Rd,ser}$: قوة الانزلاق الحدية لكل برغي في حالتي الحدية للاستثمار والحدية للتحمل

$F_{t,Ed}$: القيمة التصميمية لقوة الشد المطبقة على كل برغي في الحالة الحدية للتحمل

$F_{t,Rd}$: قوة الشد الحدية لكل برغي (القوة التي يتحملها البرغي).

8-5-4 توزيع القوى بين عناصر الوصل عند التصميم وفقاً للحالة الحدية

1- عند تطبيق عزم على الوصلة، فإن توزع القوى الداخلية يُمكن افتراضه خطياً (مرناً) (أي يتناسب طرداً مع البُعد عن مركز الدوران)، أو لدناً (أي توزيع يضمن توازن هذه القوى، وبحيث أن لا تتجاوز مقاومة عناصر الوصل، وأن نُحافظ على مطاوعة كافية لهذه العناصر)، كما في الشكل (8-7):

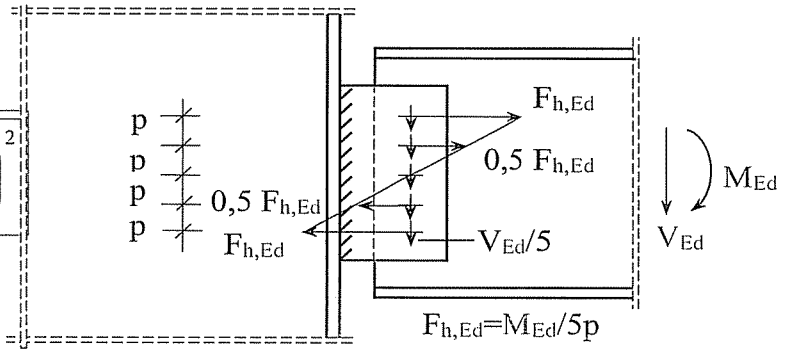
2- يجب استعمال التوزيع المرن الخطي للقوى الداخلية في الحالات الآتية (الشكل 8-7):

- حالات الوصلات المانعة للانزلاق الصنف C.
- حالات وصلات القص التي تكون فيها مقاومة القص التصميمية $F_{V,Rd}$ لعنصر الوصل، أصغر من مقاومته التصميمية للدهس (الضغط القطري) $F_{b,Rd}$.
- حالات الوصلات المُعرضة للصدم، أو الاهتزاز، أو الأحمال المتناوبة (باستثناء أحمال الرياح).

التوزيع الخطي

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{M_{Ed}}{5p}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{5}\right)^2}$$

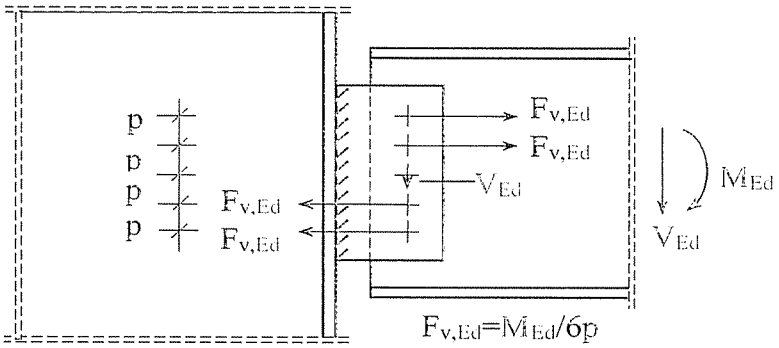
التوزيع متناسب مع البعد عن
مركز الدوران



الشكل (8-7): التوزيع الخطي للقوى والعزوم على البراغي

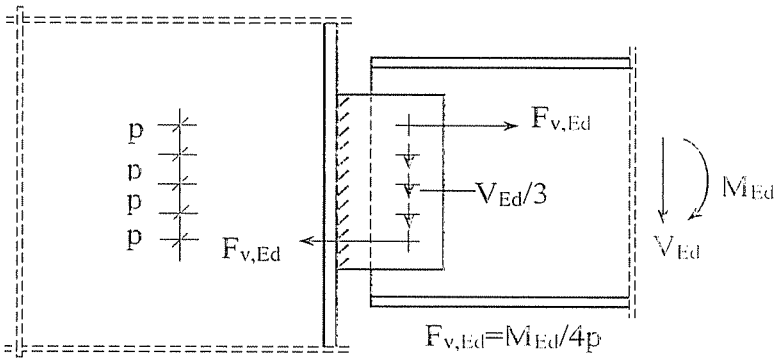
التوزيع اللدن

إمكانية التوزيع اللدن، عنصر واحد
يتحمل القوة القاطعة V_{Ed}
وأربع عناصر وصل تتحمل العزم M_{Ed}



التوزيع اللدن

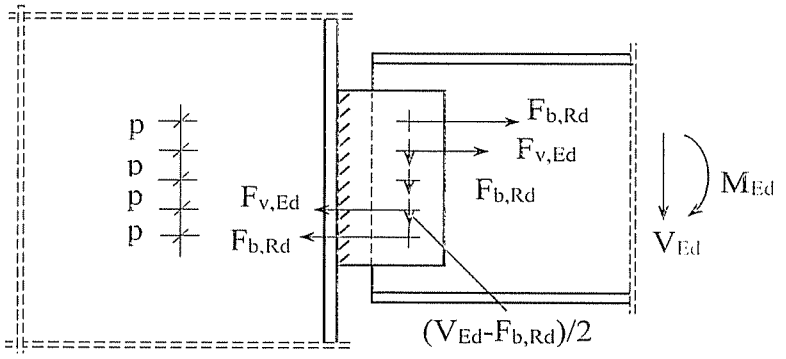
إمكانية التوزيع اللدن، ثلاثة عناصر
يتحمل القوة القاطعة V_{Ed}
وعنصران وصل تتحمل العزم M_{Ed}



التوزيع اللدن

إمكانية التوزيع اللدن، ثلاثة عناصر
يتحمل القوة القاطعة V_{Ed}
وثلاثة عناصر وصل تتحمل العزم M_{Ed}

$$F_{v,Ed} = \frac{M_{Ed}}{2p} - 2 \cdot F_{b,Rd}$$



الشكل (8-8): التوزيع اللاخطي اللدن لقوى القطع على البراغي – ثلاث حالات

3- في الحالات الأخرى يُمكن لتوزيع القوى المطبقة في الحالة الحدية القصوى للتحمل أن يتم إما كما جاء في الحالة السابقة، أو أن يتم بالتوزيع اللدن الشكل (8-8). وطالما أن الشروط وفرضيات التصميم (البند 8-1-4) محققة، يُمكن افتراض أي توزيع مناسب.

4-عندما تتعرض الوصلات لأحمال مركزية فقط، عندها يُمكن افتراض أي توزيع منتظم للقوى على كافة عناصر الوصل، شريطة أن تملك هذه العناصر القطر والنوع ذاتهما.

8-5-5 قدرة (قابلية) التحمل للبراغي والبراشيم

1- تشمل قدرة التحمل للبراغي الموضحة في هذه الفقرة البراغي المدرجة بالكود ذات درجات المقاومة من 4.6 إلى 10.9، والموافقة لمجموعة الكود الأوروبي رقم 3 بالملحق B من المرجعين (1) و (2) (راجع الملحق B من المرجعين (1) و (2)). كما أن صمنه البرغي والرنديلة (الحلقة التي توضع تحت الصمنه ورأس البرغي) متوافقتان مع المجموعة المذكورة أعلاه وقيم المقاومة التي تحددها.

2- يجب إجراء التحقيقات في الحالة الحدية للتحمل، بحيث أن القيم التصميمية لقوة القص ولقوة الضغط القطري المطبقتان على البراغي $F_{V,Ed}$، يجب أن لا تتجاوزان قيمة القوة الحدية للقص $F_{V,Rd}$ والقوة الحدية للضغط القطري (الدهس) $F_{b,Rd}$ كما هو موضح بالجدول (8-2).

3- لا يُمكن أن تتجاوز القيمة التصميمية لقوة الشد $F_{t,Ed}$، بما فيها القوة الإضافية الناتجة عن تأثير المسند، القوة الحدية للشد $B_{t,Rd}$ (التي يتحملها البرغي) في وصلة صفيحة الرأس (الصفيحة الجبهية).

4- تُستنتج القوة الحدية للشد في وصلة صفيحة الرأس كأصغر قيمتي القوة الحدية لشد البرغي $F_{t,Rd}$ المعطاة بالجدول (8-3) والقوة الحدية لرأس البرغي أو صمنه البرغي وتحسب كما يلي:

$$B_{P,Rd} = 0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{Mb} \qquad (8-8)$$

tp: سماكة الصفيحة تحت رأس البرغي أو الصمنه

dm: القيمة المتوسطة للبعد بين زاويا رأس البرغي، أو الصمنه، أو مقاس مفتاح الرأس

5- يجب أن تحقق البراغي التي تتعرض إلى إجهادات شد وإجهادات قص معاً شرط إضافي لتراكب الإجهادات:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \le 1 \qquad (9-8)$$

6- تكون المقاومة الحدية للشد والمقاومة الحدية للقص (القص المار في الجزء المحلزن من البرغي، والمحسوب وفقاً للجدول (8-3)) صالحة فقط من أجل البراغي الموافقة لمجموعة الكود الأوروبي رقم 4 (راجع الملحق B من المرجعين (1) و (2)). يجب تخفيض قيمة المقاومة الحدية للشد والمقاومة الحدية للقص المحسوبة وفق الجدول (8-3) بعامل 0.85، وذلك من أجل المنتجات الأخرى التي لا تتوافق منطقتها المحلزنة مع مواصفات الكود الأوروبي ، مثل براغي التثبيت وأسياخ الشد.

7- قوة القص الحدية $F_{V,Ed}$ التي يتحملها البرغي المحسوبة وفق الجدول (8-3)، صالحة من أجل البراغي ذات الحالة النظامية لمسافة حركة البرغي في ثقبه (الفرق بين قطر البرغي وقطر الثقب) كما يجب أن تطبق شروط التنفيذ وفق الفقرة 11-5-2-1.

8- يُمكن استعمال ثقوب بأقطار أكبر بـ 2mm من أقطار البراغي M12 ,M14، شريطة أن تكون المقاومة التصميمية لمجموعة البراغي على الدهس (الضغط القطري) أكبر أو تُساوي المقاومة التصميمية لمجموعة البراغي على القص، بالإضافة إلى أن المقاومة التصميمية للبراغي في القص $F_{v,Ed}$ للأنواع 4.8, 5.8, 6.8 , 8.8, 10.9 يجب أن تتم بضرب القيم الواردة في الجدول (8-3) بـ 0.85.

9- يجب تصميم البراغي المحكمة القياس (أي الموضوعة في ثقوب بقياس قطر جذع البرغي ذاته) على القص بافتراض أن مستوى القص يمر من الجزء غير المحلزن.

10- يجب احتساب البراغي المحكمة القياس على القص بافتراض أن مستوى القص يمر من الجزء غير المحلزن.

11- يجب أن لا يزيد طول الجزء المحلزن للبراغي المحكمة القياس الذي يخترق منطقة الدهس (الضغط القطري)، على ثلث سمك الصفيحة الوصل.

12- القوة الحدية للضغط القطري (التي يتحملها البرغي) المحسوبة وفق الجدول (8-3) صالحة فقط إذا تحققت الشروط الآتية: التباعد الطرفي $e_2 \geq 1.5 \cdot d_0$ والتباعد بين الثقوب باتجاه عمودي على القوة $p_2 \geq 3 \cdot d_0$.

13- إذا تم افتراض أن البعد الطرفي $e_2 = 1.2 \cdot d_0$ والتباعد بين الثقوب إلى $p_2 = 2.4 \cdot d_0$، فيجب تخفيض القوة الحدية للضغط القطري $F_{b,Rd}$ إلى ثلثي قيمتها المحسوبة وفق الجدول (8-3)، أما القيم الوسطية بين $1.2 \cdot d_0 < e_2 \leq 1.5 \cdot d_0$ و $2.4d_0 < p_2 \leq 3d_0$ فيُمكن أن تحسب لأجلها $F_{b,Rd}$ بشكل خطي.

14- يجب أن تُحقق الثقوب المُستعملة للبراغي المُحكمة القياس الشروط الواردة في الكود.

الجدول (8-3): قابلية التحمل للبرغي

القوة الحدية للقص لكل سطح قص: في حال وقوع سطح القص ضمن القسم الأملس من البرغي: • من أجل البراغي ذات درجة المقاومة 4.6, 5.6, 8.8 $F_{v,Rd}=\frac{0.6\cdot f_{ub}\cdot A_S}{\gamma_{Mb}}$ • من أجل البراغي ذات درجة المقاومة 4.8, 5.8, 6.8, 10.9 $F_{v,Rd}=\frac{0.5\cdot f_{ub}\cdot A_S}{\gamma_{Mb}}$ في حال وقوع سطح القص على القسم ذي الشرار من البرغي $F_{v,Rd}=\frac{0.6\cdot f_{ub}\cdot A}{\gamma_{Mb}}$
القوة الحدية للضغط القطري: (من أجل الحالات الأخرى أنظر الجدول (8-4)) $F_{b,Rd}=\frac{2.5\cdot\alpha\cdot f_u\cdot d\cdot t}{\gamma_{Mb}}$ حيث α أصغر القيم الأربع الآتية : $\alpha=\min\left(\frac{e_1}{3d_0};\frac{P_1}{3d_0}-\frac{1}{4};\frac{f_{ub}}{f_u};1\right)$
القوة الحدية للشد: $F_{b,Rd}=\frac{0.9\cdot f_{ub}\cdot A_S}{\gamma_{Mb}}$
A: مساحة المقطع العرضي للقسم الأملس من البرغي، A_S: مساحة مقطع الإجهادات العرضي من البرغي، d: قطر مقطع القسم الأملس من البرغي، d_0: قطر الثقب.

الجدول (8-4): القوة الحدية للضغط القطري

على جهة الأمان لأجل المسافة النظامية لحركة البرغي في ثقبه تبعاً لقيمة d قطر البرغي حيث $\gamma_{Mb}=1.25$			
إجهادات الضغط القطري	القيم الصغرى		القوة الحدية للضغط القطري $F_{b,Rd}$
	e_1	P_i	
منخفضة	$1.7\cdot d$	$2.5\cdot d$	$1.0\cdot f_u\cdot dt\le 2.0\cdot f_{ub}\cdot dt$
متوسطة	$2.5\cdot d$	$3.4\cdot d$	$1.5\cdot f_u\cdot dt\le 2.0\cdot f_{ub}\cdot dt$
عالية	$3.4\cdot d$	$4.3\cdot d$	$2\cdot f_u\cdot dt\le 2.0\cdot f_{ub}\cdot dt$

6-5-8 قابلية التحمل للبراشيم

1- يجب إجراء التحقيقات في الحالة الحدية للتحمل بحيث لا تتجاوز القيمة التصميمية لقوة القص المطبقة على البرشيم، ولقوة الضغط القطري المطبقة على البرشيم، قيمة القوة الحدية للقص التي يتحملها البرشيم $F_{V,Rd}$ والقوة الحدية للضغط القطري $F_{b,Rd}$ للبرشيم المحسوبة وفق الجدول (8-5).

2- يفضل أن تُصمم إنشائياً وصلات البراشيم بحيث أن القوى تُحمل من خلال القص والضغط القطري فقط. أما إذا كان من الضروري تحميل البرشيم على الشد لتحقيق التوازن فيجب أن لا تتجاوز القيمة التصميمية لقوة الشد المطبقة $F_{t,Ed}$ القوة الحدية لشد البرشيم $F_{t,Rd}$ المحسوبة وفق الجدول (8-5).

3- يجب تحقيق شرط التراكب الإضافي إذا أجهد البرشيم على القص والشد معاً:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \le 1 \qquad (10\text{-}8)$$

4- القوة الحدية للضغط القطري $F_{b,Rd}$ المحسوبة وفق الجدول (8-5) صالحة فقط إذا تحققت الشروط: التباعد الطرفي $e_2 \ge 1.5 \cdot d_0$ والتباعد بين الثقوب باتجاه عمودي على القوة $p_2 \ge 3 \cdot d_0$.

5- يجب تخفيض القوة الحدية للضغط القطري $F_{b,Rd}$ إلى ثلثي قيمتها المحسوبة وفق الجدول (8-5) عند اعتبار البعد الطرفي الأصغر $e_2 = 1.2 \cdot d_0$ والتباعد الأصغر بين الثقوب إلى $p_2 = 2.4 \cdot d_0$ في الحساب.

6- يمكن افتراض مقاومة الشد f_{ur} للبراشيم بقيمة $400\ N/mm^2$ بعد تركيبها من أجل الفولاذ S 235.

7- يجب أن لا يتجاوز طول التصلب (التقلص) للبرشيم بعد تركيبه (مجموع سماكات الصفائح المثبتة باالبرشيم) قيمة 4.5 d إذا كان التركيب بالمطرقة وقيمة 6.5 d إذا كان التركيب آلياً (هيدروليكي).

الجدول (8-5): قابلية التحمل للبرشيم

القوة الحدية للقص لكل سطح قص:	$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{Mr}}$
القوة الحدية للضغط القطري:	$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d_0 \cdot t}{\gamma_{Mr}}$
حيث α أصغر القيم الأربع الآتية:	$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{P_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ur}}{f_u}; 1\right)$
القوة الحدية للشد:	$F_{t,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_0}{\gamma_{Mr}}$
A_0: مساحة المقطع العرضي لثقب البرشيم، d_0: قطر ثقب البرشيم، f_{ur}: مقاومة الشد للبرشيم.	

8-5-7 البراشيم والبراغي المنخفضة (الرأس بمستوى الصفيحة)

1- تُؤخذ قوة الشد الحدية للبراشيم وللبراغي المنخفضة الرأس بـ 70 % من قيمة القوة الحدية للشد المحسوبة وفق الجدول (8-5) للبرشيم، ووفق الجدول (8-3) للبرغي.

2- يجب أن توافق زاوية التخفيض وعمق التخفيض شروط مجموعة الكود الأوروبي رقم 3 (راجع الملحق B من المرجعين (1) و (2)) ، وإلا يجب أن تعدل قوة الشد.

3- تُستنتج المقاومة التصميمية للدهس (الضغط القطري) للبرشيم وللبرغي المنخفض الرأس $F_{b,Rd}$ من الجدول (8-5) والجدول (8-3)، بحيث تُخفض سماكة صفيحة الوصلة إلى النصف.

8-5-8 البراغي عالية المقاومة في الوصلات المثبتة ضد الانزلاق (مانعة الانزلاق)

8-5-8-1 مقاومة الانزلاق التصميمية

1- تُحسب مقاومة الانزلاق التصميمية للبراغي عالية المقاومة (8.8 و 10.9)، والمسبقة الإجهاد كما يلي:

$$F_{S,Rd} = \frac{K_S \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,Cd} \qquad (11\text{-}8)$$

حيث: $F_{p,Cd}$ القوة الحدية لسبق الإجهاد، n: عدد سطوح الانزلاق، μ: عامل الاحتكاك.

2- يُفرض العامل K_S كما يلي:

للثقوب ذات المسافة النظامية للتحرك $K_S = 1.0$، للثقوب الموسعة أو للثقوب الطولية القصيرة $K_S = 0.85$، وللثقوب الطولية الكبيرة $K_S = 0.7$.

3- يُستعمل عامل الأمان $\boxed{\gamma_{M3}}$ للبراغي ذات الثقوب بمسافة تحرك نظامية، أو للبراغي ذات ثقوب طولية، عندما يكون اتجاه محور الثقب الطولي فيها عمودي على القوة كما يلي:

أ- لأجل تحقيقات الحالة التحمل: $\gamma_{M3,ult} = 1.25$

ب- لأجل تحقيقات الحالة صلاحية الاستثمار: $\gamma_{M3,ult} = 1.1$

4- تُصنَّف الوصلات ببراغي ذات ثقوب موسعة، أو ببراغي ذات ثقوب طولية عندما يكون اتجاه محور الثقب الطولي فيها باتجاه القوة كوصلات من الصنف C، ويقدر عامل الأمان بـ $\gamma_{M3,ult} = 1.4$.

8-5-8-2 سبق الإجهاد

1- في البراغي عالية المقاومة (8.8 و 10.9)، الموافقة لمجموعة الكود الأوروبي رقم 3 (راجع الملحق B من المرجعين (1) و (2)) مع سبق إجهاد مراقب، تحسب القوة الحدية لسبق الإجهاد $F_{p,Cd}$ في التحقيقات كما يلي:

$$F_{p,Cd} = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_S \qquad (12\text{-}8)$$

2- في الحالات الأخرى للبراغي عالية المقاومة ومسبقة الإجهاد، أو لعناصر الوصل تحدد قيمة القوة الحدية لسبق الإجهاد $F_{p,Cd}$ بالاتفاق بين المهندس المصمم والإدارة المسئولة عن مراقبة الأبنية في المحافظة (البلدية).

3-8-5-8 عامل الاحتكاك

1- تتعلق القيمة التصميمية لعامل الاحتكاك μ بمعالجة وتجهيز سطح الانزلاق وفقاً مجموعة الكود الأوروبي رقم 3 المذكورة بالملحق B من المرجعين (1) و (2) ويفرض كما يلي:

$\mu = 0.5$ لأجل سطح الانزلاق درجة التصنيف A

$\mu = 0.4$ لأجل سطح الانزلاق درجة التصنيف B

$\mu = 0.3$ لأجل سطح الانزلاق درجة التصنيف C

$\mu = 0.2$ لأجل سطح الانزلاق درجة التصنيف D.

2- تُقسّم درجات الجودة لمعالجة سطح الانزلاق على أساس التجارب المحددة لمجموعة الكود الأوروبي رقم 3 المذكورة بالملحق B من المرجعين (1) و (2) في معالجة السطوح الظاهرية.

3- في حال إجراء معالجة سطح الاحتكاك وفق مجموعة الكود رقم ٣ السابقة الذكر يمكن تصنيف درجات جودة لمعالجة السطح من دون إجراء التجارب كما يلي:

- درجة الجودة A:
  - السطح الظاهري مفروش بحبيبات فولاذية أو رمل معدني لا يوجد استواء.
  - السطح الظاهري مفروش بحبيبات فولاذية أو رمل مع التثبيت.
  - السطح الظاهري مفروش بحبيبات فولاذية أو رمل مع التعدين بأساس من منتج التوتياء بحيث لا يقل عامل الاحتكاك عن قيمة 0.5.
- درجة الجودة B: دهان قلوي توتياء مع سيليكات بسماكة طبقة الدهان من 50 إلى 80 ميكرون على السطح الظاهري المفروش بحبيبات الفولاذ والرمل.
- درجة الجودة C: السطح الظاهري مفروش بأسلاك أو منظف ومصقول باللهب.
- درجة الجودة D: السطح غير معالج.

4-8-5-8 القص والشد

1- إذا أُجهدت وصلة سبق الإجهاد إضافة لقوة الشد $F_{t,Ed,ser}$ و $F_{t,Ed}$، بقوة القص $F_{V,Ed}$، فإن مقاومة الانزلاق الحدية لكل برغي تُحسب بالتخفيض كما يلي:

- الصنف B: الوصلة المثبتة ضد الانزلاق في الحالة الحدية لصلاحية الاستثمار:

$$F_{S,Rd,ser} = \frac{K_S \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{P,Cd} - 0.8 \cdot F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \qquad (13\text{-}8)$$

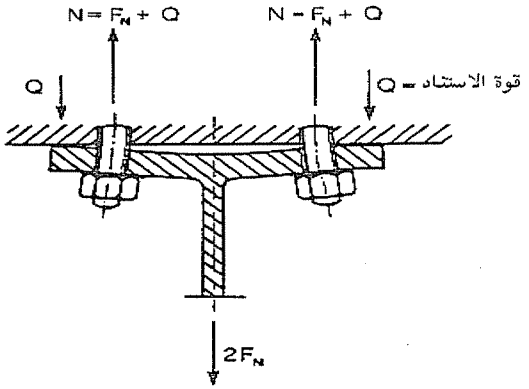
- الصنف C: الوصلة المثبتة ضد الانزلاق في الحالة الحدية للتحمل:

$$F_{S,Rd} = \frac{K_S \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{P,Cd} - 0.8 \cdot F_{t,Ed})}{\gamma_{M3,ult}} \qquad (14\text{-}8)$$

2- يتعرض البرغي في الوصلة المحملة بعزم وبسبب التوازن، إلى قوة شد إلى جانب قوة الضغط المطبقة، عندها لا ضرورة إلى تخفيض المقاومة الحدية للانزلاق.

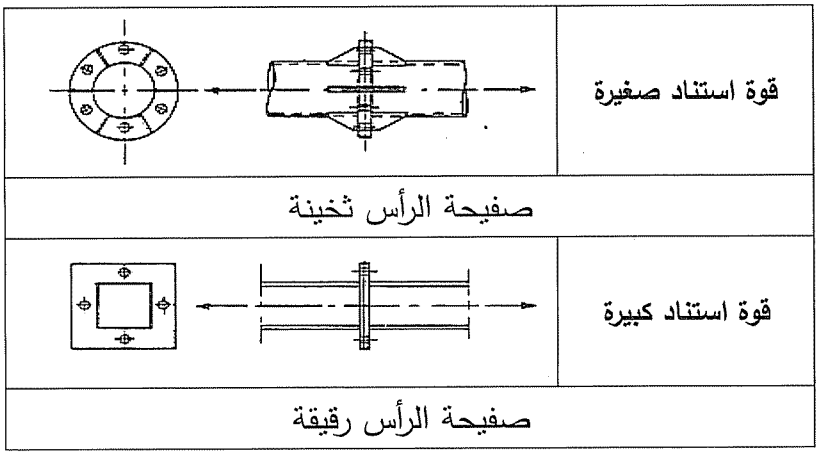
8-5-9 قوة الاستناد

- عند دراسة عناصر الوصلة المحملة بقوة الشد يجب الانتباه لإمكانية نشوء قوة استناد إضافية على أطراف الصفيحة، كما في الشكل (8-9).



الشكل (8-9): قوة الاستناد

- تتعلق قوة الاستناد بصلابة والأبعاد التصميمية لأجزاء الوصلة، كما في الشكل (8-10).



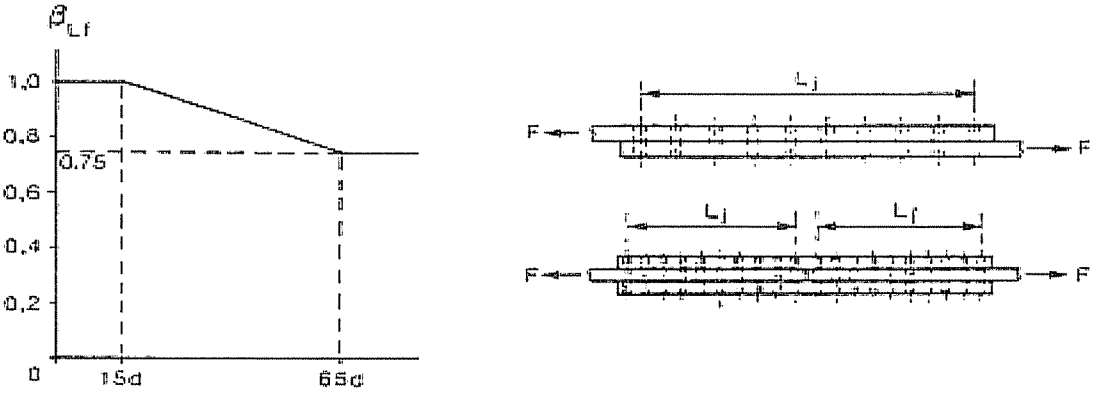
الشكل (8-10): تأثير أجزاء الوصلة على قوة الاستناد

- عند الأخذ بالحسبان تأثير قوة الاستناد في تصميم أجزاء الوصلة يجب أن تحدد من خلال الحسابات المناسبة للحالة المعروضة في الملحق J من المرجعين (1) أو (2) لوصلات الأعمدة والجوائز.

10-5-8 الوصلات الطولية

1- إذا كان البعد L_j بين محور عنصر الوصل الأول ومحور عنصر الوصل الأخير، في الوصلة باتجاه القوة المطبقة، أكبر من 15d، الشكل (8-11)، (d تمثل قطر المنطقة الملساء في البرغي أو قطر البرشيم) يجب تخفيض المقاومة التصميمة للقص $F_{V,Rd}$ لجميع عناصر الوصل (براغي، براشيم، ...) المحسوبة من الجدول (8-3) بضرب قيمة المقاومة التصميمية للقص بعامل β_{Lf} يحسب كما يلي:

$$0.75 \le \beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d}{200 \cdot d} \le 1.0 \qquad (15\text{-}8)$$

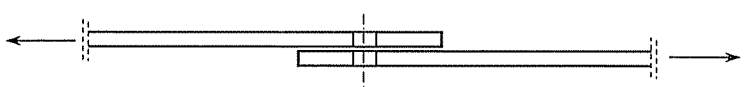


الشكل (8-11): طول الوصلة

2- العامل في البند السابق غير صالح إذا كان توزيع القوة المطبقة منتظماً على عناصر الوصلة، مثلاً في حالة انتقال قوى القص بين الجسد والأجنحة في المقاطع الفولاذية.

11-5-8 وصلة التغطية بطبقة واحدة وبرغي واحد

1- وصلة التغطية المؤلفة من صفائح طبقة واحدة وبرغي واحد، كما في الشكل (8-12) يجب أن تزود بحلقة (رنديلة) تحت الرأس وتحت الصمنه لمنع انفكاك البرغي، علماً أنه يجب عدم تنفيذ مثل هذه الوصلة ببرشيم واحد فقط.



الشكل (8-12): وصلة التغطية ذات الطبقة الواحدة والبرغي الواحد

2- تُحسب المقاومة التصميمية للضغط القطري (الدهس) $F_{b,Rd}$ لكل برغي، كما يلي:

$$F_{b,Rd} \le \frac{1.5 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \qquad (16\text{-}8)$$

3- يجب استعمال الحلقات (الرنديلات) الصلبة (القاسية) عند استعمال البراغي ذات صنف المقاومة 8.8, 10.9 في وصلة التغطية بطبقة واحدة وبرغي واحد ولو كانت البراغي غير مسبقة الإجهاد.

8-5-12 عناصر الوصل في الصفائح التقابلية مع وجود صفائح داخلية

1- إذا حُمل البرغي بإجهادات ناتجة عن القص، أو الضغط القطري (الدهس) عبر صفيحة داخلية (بطانة) وكانت سماكة كامل الصفائح t_p أكبر من ثلث قطر البرغي أو البرشيم المذكور، عندئذ يجب تخفيض مقاومة القص التصميمية $F_{b,Rd}$ التي يتحملها البرغي أو البرشيم المحسوبة وفق البند 8-5-5 أو البند 8-5-6 بضربها بعامل β_p، والذي يُحسب كما يلي:

$$\beta_p = \frac{9 \cdot d}{8 \cdot d + 3t_p} \le 1 \qquad (17\text{-}8)$$

2- في الوصلات التقابلية المعرضة للضغط القطري (الدهس) والقص المُضاعف (ذات سطحين قص)، مع وجود صفائح داخلية (بطانة) من طرفي الوصلة، تُؤخذ السماكة t_p السماكة الأكبر بين الصفائح الداخلية.

8-5-13 مقاومة مجموعة البراغي أو البراشيم

يُمكن حساب المقاومة التصميمية لمجموعة براغي (أو مجموعة براشيم) بأخذ مجموع المقاومات الافرادية للبراغي (أو للبراشيم) على الدهس $F_{b,Rd}$، شريطة أن تكون مقاومتها التصميمية الافرادية على القص $F_{v,Rd}$ أكبر أو تساوي مقاومتها الافرادية على الدهس $F_{b,Rd}$، وإلا فتُحسب بأخذ المقاومة التصميمية الأدنى لأي برغي (أو برشيم) مضروباً بعدد براغي (أو براشيم) المجموعة.

8-6 وصلات اللحام

8-6-1 عموميات

1- يجب أن توافق الوصلات المنفذة بواسطة اللحام متطلبات مواد الإنشاء والتنفيذ كما هو منصوص عليها بباب خواص المواد وبباب التصنيع والتركيب.

2- تشمل القواعد الموجودة في هذا الفصل 8-6:

- فولاذ الإنشاء القابل للحام والمتطلبات المنصوص عنها في باب خواص المواد وباب التصنيع والتركيب.
- اللحام بطريقة القوس الكهربائية وفق التعليمات الخاصة بطرائق اللحام.

- صفائح الإنشاء ذات السماكة التي لا تقل عن 4 mm، خلاف ذلك يجب إجراء تحقيقات الكود الخاص بخيوط اللحام للصفائح الرقيقة.
- الوصلات التي تتوافق فيها الميزات الميكانيكية لمادة معدن الإنشاء مع الميزات الميكانيكية لمعدن اللحام.

3- يجب إجراء متطلبات التحقيق وفق الباب تعب المواد، عندما تتعرض خيوط اللحام إلى حمولات غير ساكنة (ديناميكية).

8-6-2 الأبعاد والتصميم

8-6-2-1 أنواع خيوط (خطوط) اللحام

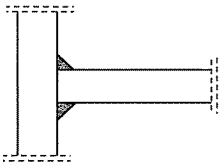
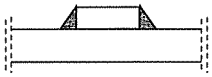
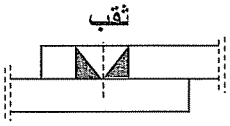
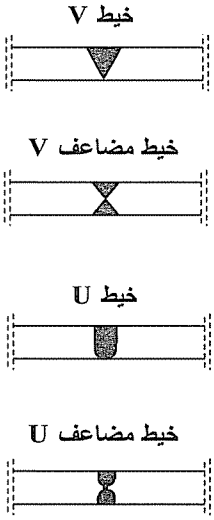
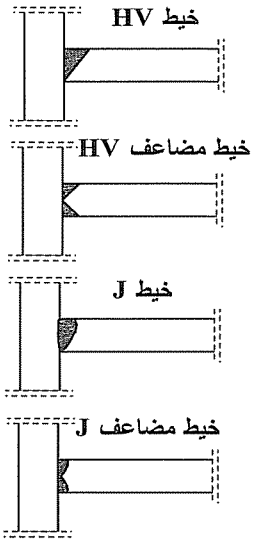
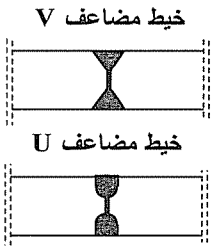
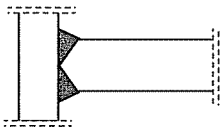
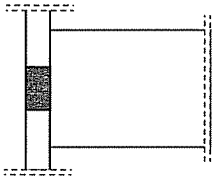
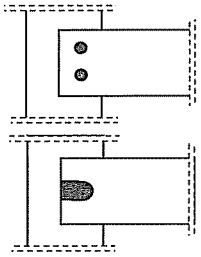
1- تُقسَّم خيوط اللحام المشار إليها في الكود إلى:

خيط لحام زاوي، خيط لحام الشق (خيط لحام زاوي على كامل المحيط)، خيط اللحام طرفاً لطرف (لحام تقابلي)، خيط لحام محيط بالثقب (لحام عراوي)، خيط لحام مفرغ زاوي.

2- يمكن أن يكون اللحام طرفاً لطرف لحام نافذ، أي لحام تقابلي باختراق كامل (متصل طرف بطرف)، أو لحام غير نافذ أي لحام تقابلي باختراق جزئي (غير متصل طرف بطرف).

3- سواء كان اللحام يملأ شق خيط اللحام، أو كان اللحام مطبقاً على محيط الثقب، فيُمكن أن يكون لحام محيط ثقب دائري أو متطاول، أو لحام محيط ثقب طولي، انظر الجدول (8-6).

الجدول (8-6): أنواع خيوط اللحام

	أنواع خيوط اللحام		
	اللحام طرفاً لطرف	وصلات بشكل تيه	وصلات التغطية
وصلات اللحام الزاوي			
وصلات اللحام في الشق (عبر الثقوب)			
خيط اللحام مستمر طرفاً لطرف (لحام تقابلي باختراق كامل)			
خيط اللحام غير مستمر (لحام تقابلي باختراق جزئي)			
لحام الثقب لحام عراوي			

8-2-6-2 خيوط (خطوط) اللحام الزاوي

1- يُمكن استعمال خيوط اللحام الزاوي في وصلات العناصر الإنشائية إذا كانت العناصر المراد وصلها تُشكل فيما بينها زاوية مقدارها بين 60 و 120 درجة مئوية.

2- يُسمح بخيوط اللحام الزاوي في حالات الزوايا الصغيرة فيما بين العناصر، أقل من 60 درجة، على أن تُصنَّف بأنها لحام تقابلي باختراق جزئي.

3- لا تُحمل خيوط اللحام أي قوة في حال الزوايا أكبر من 120 درجة مئوية فيما بين العناصر.

4- يجب أن يستمر اللحام الزاوي بطول مساوي على الأقل (عند نهايات وأطراف العناصر الملحومة) ضعفي طول امتداد خيط اللحام حول زاوية العنصر الإنشائي، وذلك عندما توجد إمكانية الاستمرار في اللحام.

5- يجب أن تُوضَّح تدويره اللحام في نهايات العناصر الإنشائية بالرسومات.

6- يُمكن أن تلحم الخيوط الزاوية بشكل مستمر أو بشكل منقطع.

7- لا يُمكن استعمال خيوط اللحام الزاوية المتقطعة، في المواقع التي تتعرض للصدأ.

8- تُستنتَج القيمة العظمى للتباعد الحر للجزء (الشق) غير الملحوم في خيط اللحام المتقطع L_2 , L_1، من أصغر القيم الآتية كما في الشكل (8-15).

أ- 200 mm.

ب- 12 مرة من سماكة الصفيحة الأدنى في العنصر الإنشائي في حالة إجهاد العنصر بإجهادات ضغط.

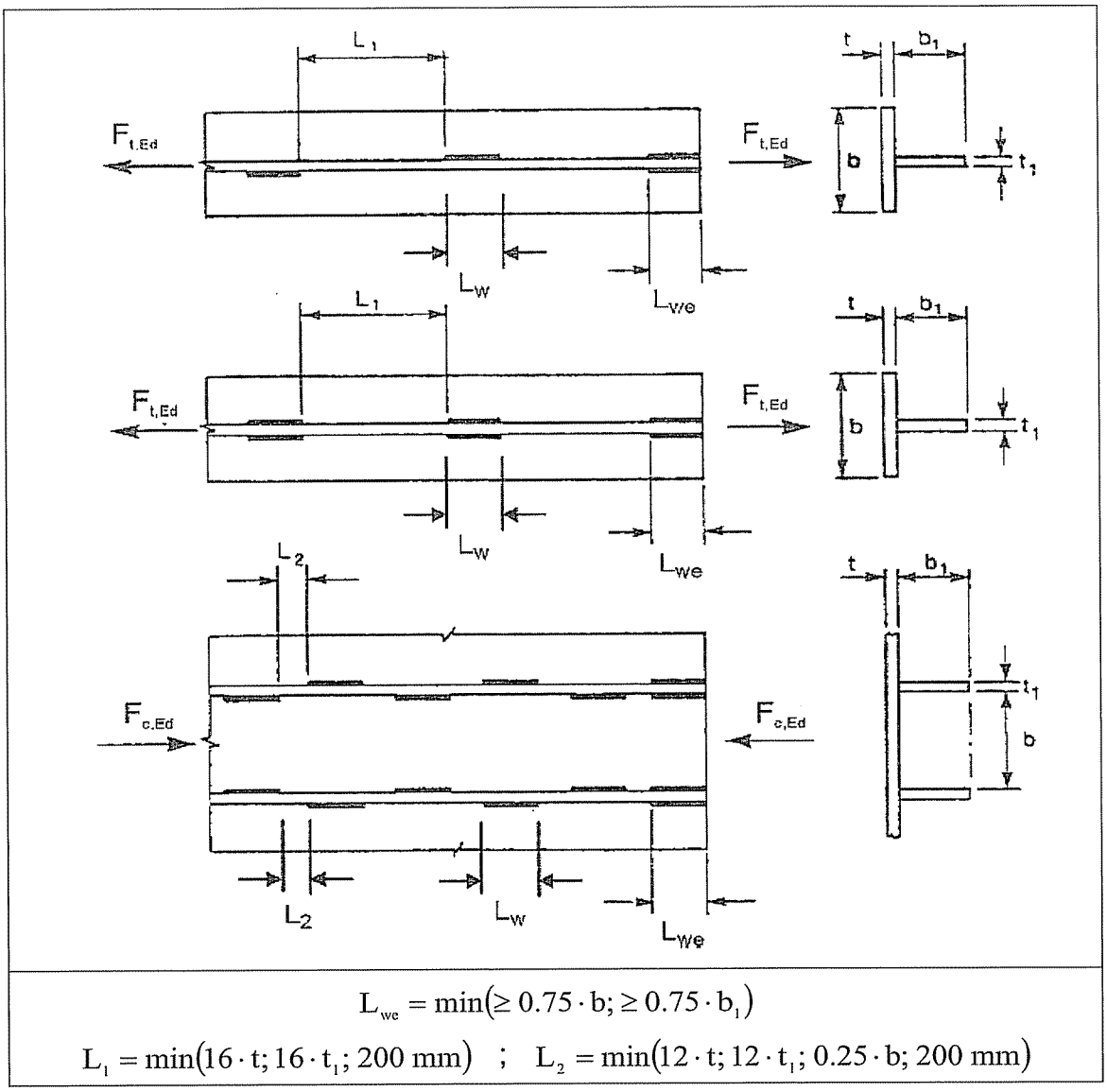
ت- 16 مرة من سماكة الصفيحة الأدنى في العنصر الإنشائي في حالة إجهاد العنصر بإجهادات شد.

ث- 0.25 مرة التباعد بين الدعامات في حال استعمل الخيط الزاوي في وصلات الدعامات بين الصفائح، أو عناصر إنشائية أخرى مجهدة بالضغط أو القص.

9- يجب أن يُحدد طول الجزء غير الملحوم (الفجوة L_1 أو L_2)، في خيوط اللحام الزاوية المتقطعة، من الجهتين المتقابلتين أو من نفس الجهة، حسب الحالة أيهما أقصر.

10- خيوط اللحام الزاوية المتقطعة التي تجمع أجزاء العنصر الإنشائي يجب أن تبدأ وتنتهي باللحام L_{we}.

11- يجب أن تلحم نهايتي الصفيحة من الطرفين بخيط مستمر بطول على الأقل (0.75) مرة من عرض الصفيحة الأدنى، وذلك للعنصر الإنشائي المجمع من صفائح ملحومة بخيوط (خطوط) لحام زاوي، كما في الشكل (8-13).



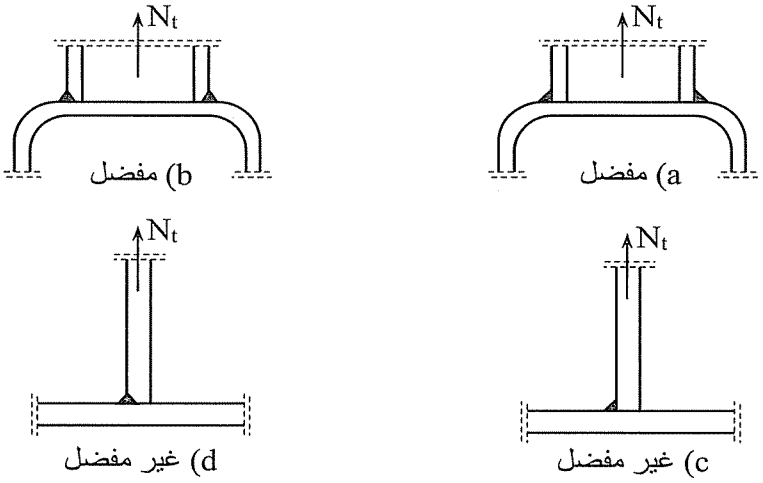
$$L_{we} = \min(\geq 0.75 \cdot b; \geq 0.75 \cdot b_1)$$

$$L_1 = \min(16 \cdot t; 16 \cdot t_1; 200\ mm) \quad ; \quad L_2 = \min(12 \cdot t; 12 \cdot t_1; 0.25 \cdot b; 200\ mm)$$

الشكل (8-13): خيوط اللحام المتقطعة

12- لا يمكن استعمال الخيط الزاوي من جهة واحدة في مقاومة عزم الانعطاف المحمل على المحور الطولي لخيط اللحام، لأنه يُولد الشد في جذر خيط اللحام، ولا يمكن استعماله أيضاً في تحمل قوة الشد المنتظمة المطبقة عرضياً على خيط اللحام، لأنها تولد عزم انعطاف حول محور خيط اللحام.

13- يمكن أن يشكل الخيط الزاوي جزء من مجموعة خيوط لحام تقع حول محيط المقطع المفرغ المغلق، كما في الشكل (8-14-a)، ويجب الابتعاد عن استعمال الحالات الموضحة في الشكلين (8-14-c)، (8-14-d).



الشكل (8-14): خيط لحام زاوي من جهة والجهة الأخرى غير ملحومة

14- إذا استعمل خيط اللحام الزاوي في مقاومة قوة مطبقة عرضياً على خيط اللحام، يجب الأخذ بالحسبان لامركزية خيط اللحام بالنسبة لخط تأثير رد فعل القوة المؤثرة.

15- لا تحسب عادة اللامركزية في وصلات لحام المقاطع المفرغة المغلقة (المجوفة).

8-2-6-3 خيوط (خطوط) لحام العرواي (لحام على كامل محيط الثقوب)

1- خيط لحام العراوي هو خيط لحام زاوي في الثقوب المدورة والثقوب الطولية، ويمكن استعماله في حالة مقاومة القص فقط، أو لمنع تقوس (تحنيب) أجزاء صفائح التغطية المتراكبة وانفصالها.

2- يجب أن يكون قطر دائرة الثقب أو عرض الثقب الطولي لأجل خيط لحام الشق أكبر بأربع مرات من سماكة صفيحة الثقب.

3- يجب أن تنفذ نهاية الشق اللحامي (الثقب الطولي) بشكل نصف دائري باستثناء الحالة التي يتمدد الثقب فيها ليصل إلى طرف (الحرف) الصفيحة.

8-2-6-4 خيط (خط) اللحام طرفاً لطرف (اللحام التقابلي)

1- يُعرف خيط اللحام التقابلي مع اختراق كامل (النافذ، طرفاً لطرف) بأنه خيط اللحام الذي يخترق كامل سماكة الوصلة، ويتم اندماج مادة معدن اللحام ومعدن الإنشاء الأساسي (الأم) على كامل السماكة.

2- يُعرف خيط اللحام غير النافذ (تقابلي مع اختراق جزئي) بأنه خيط اللحام الذي ينتج وصلة يكون فيها جذر اللحام أصغر من كامل سماكة معدن الإنشاء.

3- لا يُمكن استعمال خيط اللحام غير النافذ (تقابلي مع اختراق جزئي) من جهة واحدة في مقاومة عزم الانعطاف المحمل على المحور الطولي لخيط اللحام، لأنه يولد الشد في جذر خيط اللحام، ولا يمكن

استعماله أيضاً في تحمل قوة الشد المنتظمة المطبقة عرضياً على خيط اللحام، لأنها تولد عزم انعطاف حول محور خيط اللحام.

4- يُمكن أن يكون خيط اللحام غير النافذ (تقابلي مع اختراق جزئي) من جهة واحدة، جزء من مجموعة خيوط اللحام حول محيط المقطع المفرغ المغلق، كما في الشكل (8-14-b) ويجب الابتعاد عن استعمال الحالة الموضحة بالشكل (8-14-d).

5- إذا استعمل خيط اللحام غير النافذ (تقابلي مع اختراق جزئي) من جهة واحدة في مقاومة قوة مطبقة عرضياً على خيط اللحام، يجب الأخذ بالحسبان لامركزية خيط اللحام بالنسبة لخط تأثير القوة المطبقة.

6- لا يوجد لا مركزية في وصلات اللحام للمقاطع المفرغة المغلقة (المجوفة) عادة.

7- لا يمكن استعمال خيوط اللحام المتقطعة في اللحام التقابلي.

8-6-2-5 لحام الثقب (لحام العراوي)

1- لحام الثقب هي الخيوط التي تملأ الثقوب الدائرية والثقوب الطولية، والتي لا يمكن استعمالها في حالة الوصلات المجهدة بالشد، إنما تُستعمل في الحالات الآتية:

- في حالات إجهادات القص (لنقل قوى القص).
- لمنع التقوس (التحنيب) في أجزاء التغطية أو انفصال الأجزاء المتراكبة.
- لوصل مركبات أجزاء العناصر الإنشائية المجمعة.

2- يجب أن يزيد قطر الثقب الدائري، أو عرض الثقب الطولي، من أجل خيط الشق اللحامي (لحام العراوي) بمقدار 8 mm على الأقل عن سماكة العنصر الملحوم عليه.

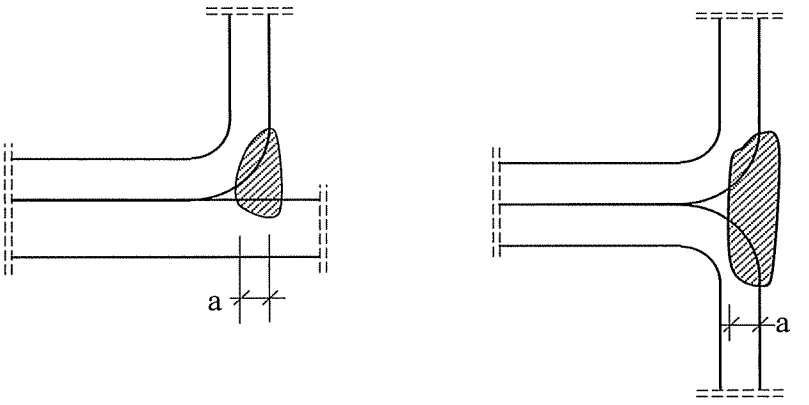
3- يجب أن تنفذ نهاية الثقب الطولي أما بشكل نصف دائرة، أو أن تدور بنصف قطر لا يقل عن سماكة العنصر الذي يوضع فيه الثقب الطولي، ما عدا نهاية الثقب التي تتمدد إلى نهاية العنصر الملحوم.

4- يجب أن تساوى سماكة لحام الثقب (العراوي) مع سماكة معدن الإنشاء (الأم)، وذلك عندما لا تزيد سماكة معدن الإنشاء (الأم) عن 16 mm، خلاف ذلك يجب أن تبلغ سماكة لحام الثقب (العراوي) نصف سماكة معدن الإنشاء (الأم) على الأقل، على أن لا تقل عن 16 mm.

5- لا يصح أن تتجاوز المسافة الفاصلة بين نقطتي مركزي وسط لحام ثقبين متتالتين عن القيمة الدنيا الضرورية لمنع التقوس الموضعي.

8-6-2-6 الخيط الزاوي المفرغ (اللحام الأخدودي المفرغ)

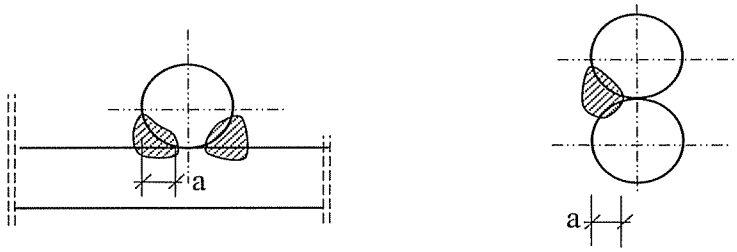
1- يجب استنتاج السماكة الفعالة للخيط الزاوي المفرغ (اللحام الأخدودي المنحني) في حالة المقاطع المفرغة (المجوفة) المستطيلة من خلال تشكيل القيمة المتوسطة لخيط اللحام على العنصر، الذي تجري عليه التجربة الإنشائية من أجل كل جملة بشروطها، كما في الشكل (8-15).



الشكل (8-15): السماكة الفعالة لخيط اللحام المفرغ للمقطع المفرغ المستطيل

2- يجب أن يقطع خيط اللحام ويقاس في العنصر الإنشائي الذي هو قيد التجربة لكي نستطيع تحديد مقاييس اللحام وضمان بلوغ السماكة التصميمية للخيط بالتنفيذ المقبل.

3- يجب استعمال نفس الطريقة في حالات القضبان بمقاطع مليئة لاستنتاج السماكة الفعالة للخيط الزاوي المفرغ (اللحام الأخدودي المنحني)، إذا كان خيط اللحام الزاوي المفرغ منفذ بشكل واضح على السطح الظاهري للمقطع المليء للعنصر الإنشائي، كما في الشكل (8-16).



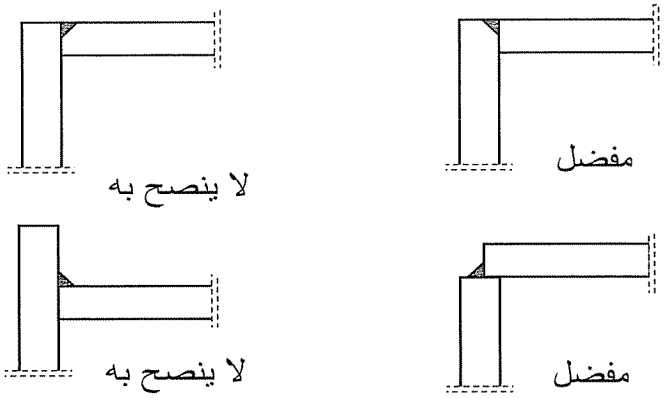
الشكل (8-16): السماكة الفعالة لخيط اللحام الزاوي للمقطع المليء

8-6-3 انكسار السطح

1- يجب تجنب تنفيذ تفاصيل الوصل باللحام ما أمكن، عندما تكون الإجهادات ناتجة عن التمدد المعاق أو الانكماش الناشئ باتجاه السماكة.

2- عندما لا يمكن تجنب ما ذكر بالفقرة 1، يجب إجراء ترتيبات مناسبة لتقليل إمكانية انكسار السطح.

3- يجب اختيار طريقة اللحام المناسبة لميزات مادة معدن الإنشاء باتجاه السماكة، أو مناسبة لتفاصيل الوصلة، عند تطبيق إجهادات شد عمودية على السطح الخارجي للصفيحة ناتجة عن حمولات خارجية أو إجهادات داخلية ذاتية للحام وسماكة الصفيحة أكبر من 15 mm، وذلك لتجنب انكسار السطح، كما في الشكل (8-17).



الشكل (8-17): تجنب انكسار السطح

8-6-4 توزيع قوى القطع المطبقة على وصلة اللحام

1- يُمكن حساب توزيع القوى والعزوم الداخلية (قوى القطع) في وصلة اللحام، إما وفق فرضية التصرف المرن أو وفق فرضية التصرف اللدن حسب البند 8-1-3 و 8-1-4.

2- يفضل افتراض التوزيع الأسهل لقوى القطع ضمن خيط اللحام عادة.

3- لا يحتاج المهندس في إجراء تحقيقات تصميم خيط اللحام لأن يُدخل الاجهادات المُتبقية والإجهادات الداخلية الذاتية غير الناتجة عن الحمولات الخارجية، وخاصة الإجهادات الطولية الموازية لمحور خيط اللحام.

4- يجب أن تُصمم وصلات اللحام مع وجود إمكانية كافية لحصول التشوهات فيها.

5- يجب أن تُصمم خيوط اللحام عند وجود إمكانية تشكُّل مفصل لدن في الوصلة، بحيث تساوي المقاومة التصميمية لتحمل الوصلة، الجزء الإنشائي الأضعف الموصول بها.

6- إذا كان من الضروري إعطاء قدرة للتشوه في الوصلة لأجل دوران العقدة بسبب إمكانية تطاول مُتزايد، فإن ذلك يتطلب مقاومة لخيوط اللحام، بحيث لا ينشأ أي انكسار فيها قبل سيلان مادة عنصر الإنشاء الأساسي (الأم).

7- يجب إجراء التحقيق لتكون القوة الحدية لخيط اللحام ليست أصغر من 80 % من القوة الحدية للعنصر الإنشائي الأضعف من العناصر الموصولة بهذه الوصلة.

8-6-5 المقاومة التصميمية للحام الخيط الزاوي

8-6-5-1 الطول الفعال

1- يجب أن يُساوي الطول الفعال للخيط الزاوي كامل طول خيط اللحام المنفذ، بما فيه نهايات خيط اللحام مطروحاً منه ضعفي سماكة عنق اللحام الفعال a. وإذا نُفذَّ خيط اللحام على كامل الطول (بما

فيه نهايات خيط اللحام بقياس لحام ثابت) فلا حاجة لإجراء تخفيض الطول الفعال من بداية خيط اللحام ونهايته.

2- لا يؤخذ بالحسبان خيط اللحام الذي يقل طوله الفعال عن 40 mm أو عن ست مرات سماكته (أي القيمتين أصغر)، عند تحميل القوى وحساب الإجهادات على خيوط اللحام.

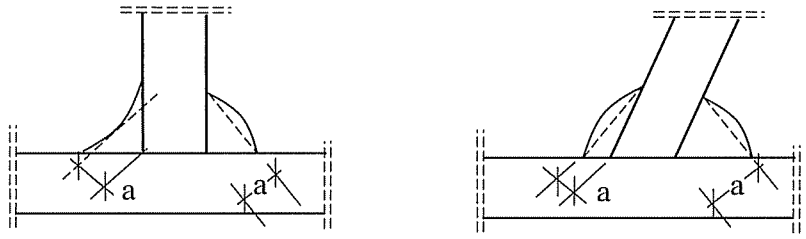
3- إذا كان تأثير صلابة عناصر المنشأ، أو الأجزاء الموصولة بوصلة اللحام واضح وكبير على توزيع الإجهادات على امتداد خيط اللحام، يمكن إهمال التوزيع غير المنتظم الإجهادات، إذا خفضت القوة الحدية التي يتحملها خيط اللحام.

4- يجب استنتاج العرض الفعال لوصلة اللحام لأجل تحميل القوة القاطعة على الجناح غير المدعم لمقطع I , H أو مقطع صندوقي وفق البند 8-6-8.

5- يجب تخفيض القوة الحدية لخيط اللحام في الوصلة الطولية وفق البند 8-6-9.

8-6-5-2 السماكة الفعالة لعنق اللحام

1- تُؤخذ السماكة الفعالة لعنق اللحام الزاوي a مساوية إلى الارتفاع المتعلق برأس نقطة جذر اللحام في المثلث الأكبر (المتساوي أو غير المتساوي الساقين)، الممثل لمنطقة اللحام، كما في الشكل (8-18).

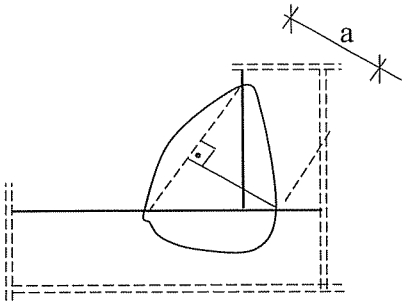


الشكل (8-18): سماكة خيط اللحام الزاوي

2- يجب أن لا تقل القيمة الدنيا للسماكة الفعالة لعنق خيط اللحام الزاوي عن 3 mm.

3- عند تحديد المقاومة التصميمية لخيط اللحام الزاوي ذات الجذر العميق، يُمكن الأخذ بالحسبان تأثير زيادة السماكة الفعالة لعنق اللحام، وذلك بزيادة هذه المقاومة التصميمية، بافتراض أن فحص طريقة تنفيذ الجذر العميق أعطى أماناً واضحاً، كما في الشكل (8-19).

إذا نفذ خيط اللحام بطريقة اللحام الأوتوماتيكية، بوجود مسحوق اللحام، يمكن تكبير جذر اللحام بنسبة 20 % أو 2 mm (أي القيمتين أصغر) من دون إجراء فحص للطريقة.



الشكل (8-19): خيط اللحام الزاوي ذات الجذر العميق

8-6-5-3 المقاومة التصميمية لخيط اللحام الزاوي

1- يجب تحديد المقاومة التصميمية لخيط اللحام الزاوي لأجل واحدة الطول، إما باستعمال الطريقة المبسطة الآتية، أو الطريقة المعروضة في الملحق M من المرجعين (1) أو (2).

2- يمكن فرض أن المقاومة التصميمية لخيط اللحام الزاوي كافية، إذا كانت محصلة جميع القوى المؤثرة المطبقة في كل نقطة من واحدة الطول، على امتداد طول خيط اللحام، لا تتجاوز قيمة المُقاومة التصميمية $F_{w,Rd}$.

3- تُستنتَج المقاومة التصميمية لواحدة الطول لخيط اللحام بشكل مستقل عن زاوية تموضع مستوي عنق اللحام بالنسبة ‘لى القوى المطبقة، بالعلاقة الآتية:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \qquad (18\text{-}8)$$

حيث: $f_{vw,d}$ إجهاد القص التصميمي لخيط اللحام $F_{vw,d}$ كما يلي:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \qquad (19\text{-}8)$$

حيث تمثل f_u إجهاد الشد الأعظمي الإسمي للفولاذ الأضعف من أجزاء المنشأ الموصولة، β_w عامل الارتباط تؤخذ قيمه من الجدول (8-7).

الجدول (8-7): قيم عامل الارتباط β_w

الفولاذ	مقاومة الشد f_u	β_w
Fe 360	360 N/mm^2	0.80
Fe 430	430 N/mm^2	0.85
Fe 510	510 N/mm^2	0.90
Fe E 275	390 N/mm^2	0.80
Fe E 355	490 N/mm^2	0.90

5- يمكن أن تستنتج قيم β_w من أجل القيم الوسطى لـ f_u بالحساب الخطي.

8-6-6 المقاومة التصميمية لخيط اللحام طرفاً لطرف (اللحام التقابلي)

8-6-6-1 خيط اللحام التقابلي مع اختراق كامل

تُعد المقاومة التصميمية للحام التقابلي مع اختراق كامل مُساوية إلى المقاومة التصميمية الأدنى للعناصر الموصولة، مع افتراض أن خيط اللحام نُفّذ بواسطة الكترود (معدن خارجي) مناسب، وأعطت عينات تجاربه على الشد المشكلة لمعدن اللحام قيمة دنيا لإجهاد الخضوع ولإجهاد الشد الأعظمي، ليست أقل من مثيلاتها من معدن الإنشاء الأساسي (المعدن الأم).

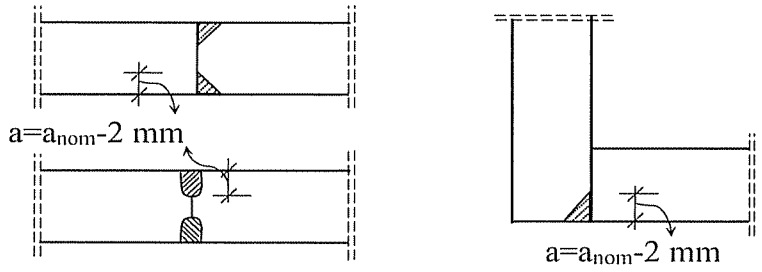
8-6-6-2 خيط اللحام غير النافذ طرفاً لطرف (التقابلي مع اختراق جزئي)

1- تُستنتَج المقاومة التصميمية لخيط اللحام غير النافذ (غير المستمر) من طرف لطرف، كما في حالة الخيط الزاوي ذات الجذر العميق، كما في البند 8-6-5.

2- يجب أن لا تزيد سماكة عنق خط اللحام التقابلي مع اختراق جزئي على عمق الجذر الذي يمكن بلوغه باستمرار (بشكل متسق).

3- يمكن تحديد سماكة خيط اللحام الذي يمكن بلوغه باستمرار من خلال طرائق الاختبار والقياس.

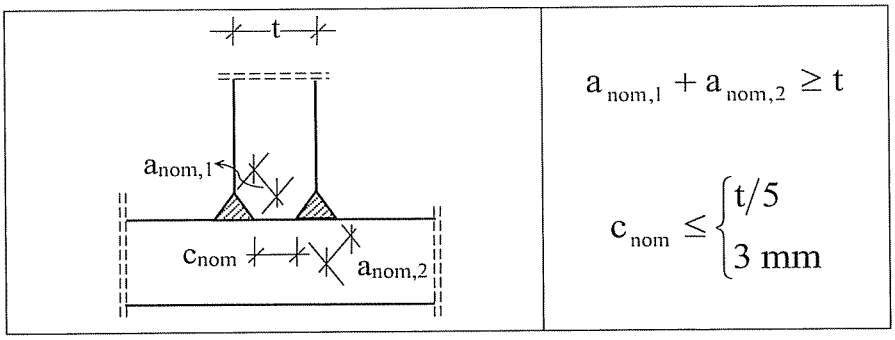
4- عندما تجري التحضيرات لخيط اللحام بشكل U, V, J, HV، كما في الشكل (8-20) تؤخذ سماكة اللحام مساوية عمق الخيط المنفذ منقوص منه 2 mm عادة، القيم الأكبر من ذلك يجب أن تُبرر من خلال تجارب.



الشكل (8-20): خيط اللحام غير النافذ طرفاً لطرف (تقابلي مع اختراق جزئي)

8-6-6-3 عقدة وصل T باللحام التقابلي

1- يُمكن افتراض المقاومة التصميمية لوصلة عقدة T المشكلة من خيوط اللحام التقابلي مع اختراق جزئي، والمدعمة بواسطة خيوط زاوية مساوية للمقاومة التصميمية لحالة خط اللحام التقابلي مع اختراق كامل (انظر الفقرة 8-6-6-1)، إذا كانت سماكة كامل خيط اللحام ليست أكبر من t سماكة صفيحة جسد الجزء الملحوم، وبشرط أن الجزء الأفقي غير الملحوم ليس أكبر من t/5 أو 3mm (أي القيمتين أصغر)، كما في الشكل (8-21).



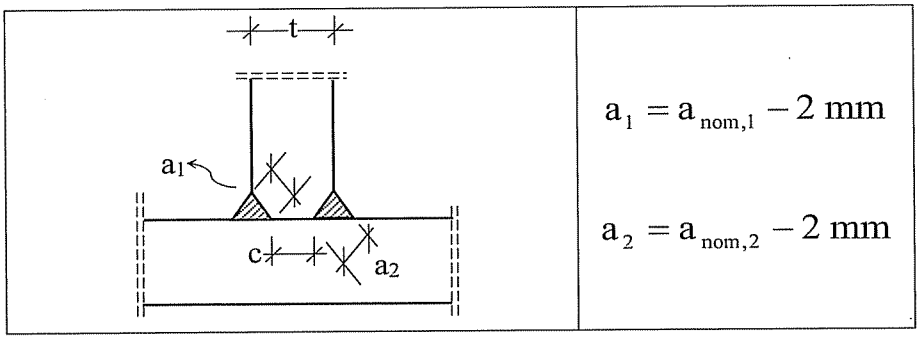
$$a_{nom,1} + a_{nom,2} \geq t$$

$$c_{nom} \leq \begin{cases} t/5 \\ 3\ mm \end{cases}$$

الشكل (8-21): خيط اللحام التقابلي ذي الاختراق الكلي الفعال في وصلة T

2- يجب حسبان المقاومة التصميمية لوصلة عقدة T التي لم يشملها البند السابق، مُساوية للمقاومة التصميمية لحالة خيط اللحام الزاوي ذات الجذر العميق (الفقرة 8-6-5-2). يجب تحديد سماكة اللحام وفق تعليمات الخيط الزاوي أو وفق خيط اللحام التقابلي مع اختراق جزئي (غير النافذ)، وفق الفقرة (8-6-6-2)، وذلك بما هو أقرب لواقع التنفيذ.

3- يجب إنقاص سماكة اللحام 2 mm عن سماكة اللحام الفعلية، الشكل (8-22)، إلا إذا نتج قيم أكبر من ذلك بواسطة الاختبارات.



$$a_1 = a_{nom,1} - 2\ mm$$

$$a_2 = a_{nom,2} - 2\ mm$$

الشكل (8-22): خيط اللحام غير النافذ طرف لطرف في وصلة T

8-6-7 المقاومة التصميمية للحام الثقوب (لحام العراوي)

1- تُحسب المقاومة التصميمية $F_{w,Rd}$ للحام الثقب (لحام العراوي) من العلاقة:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot A_w$$

حيث: $f_{vw,d}$ إجهاد القص التصميمي لخيط اللحام.

A_w هي المساحة التصميمية لعنق اللحام، ويجب أن تساوي مساحة الثقب.

2- يُعد خيط اللحام المتوضع عبر الثقوب هو لحام زاوي، ويجب حساب مقاومته التصميمية وفق البند 8-6-5.

8-6-8 الوصلات على الجناح غير المدعم

1- يجب أن يأخذ بالحسبان في صفيحة وصلة عقدة T على جناح غير مدعم لمقطع I, H، أو مقطع صندوقي، تخفيض العرض الفعال لمعدن الإنشاء ومعدن خيط اللحام، كما في الشكل (8-23).

2- يجب حساب العرض الفعال b_{eff} لأجل مقطع H , I كما يلي:

$$b_{eff} = t_w + 2\cdot r + 7\cdot t_f \le t_w + 2\cdot r + 7\cdot (t_f^2 / t_p)\cdot (f_y / f_{yp}) \qquad (20\text{-}8)$$

f_y: إجهاد الخضوع لجناح المقطع H أو I

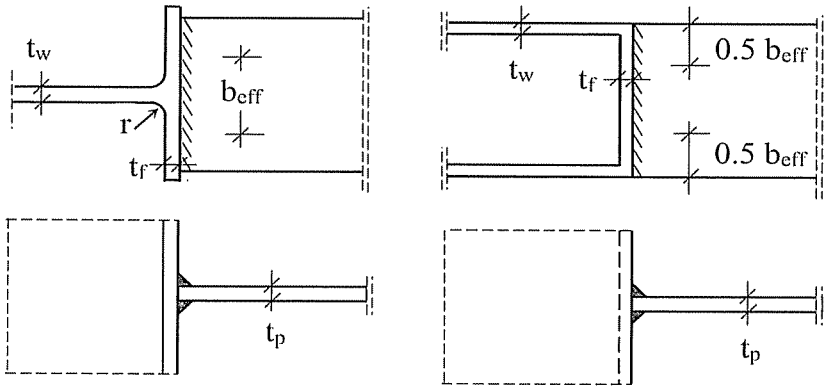
f_{yp}: إجهاد الخضوع للصفيحة الملحومة على جناح المقطع H أو I

3- يجب تدعيم الوصلة، في حال b_{eff} أصغر من 0.7 من العرض الكامل للجناح.

4- يجب حساب العرض الفعال b_{eff} لأجل المقطع الصندوقي كما يلي:

$$b_{eff} = 2\cdot t_w + 5\cdot t_f \le 2t_w + 5\cdot (t_f^2 / t_p)\cdot (f_y / f_{yp}) \qquad (21\text{-}8)$$

5- حتى لو كان: $b_{eff} <= b_p$ ، يجب تصميم خيط اللحام الذي يجمع الصفيحة إلى الجناح بحيث يمرر القيمة القصوى لمقاومة الصفيحة التصميمية $(b_p \cdot t_p \cdot f_{yp} / \gamma_{M0})$ ، وذلك بافتراض توزعاً منتظماً للإجهاد عبر خط اللحام.



الشكل (8-23): العرض الفعال لوصلة عقدة T غير مدعمة

8-6-9 الوصلات الطويلة

1- يجب تخفيض المقاومة التصميمية لخيط اللحام الزاوي في وصلات التراكب عبر ضربها بعامل تخفيض β_{Lw} وذلك للأخذ بالحسبان تأثير التوزيع غير المنتظم للإجهادات على امتداد الطول.

2- لا تنطبق الشروط الواردة في هذا البند (8-6-9) إذا توافق توزع الاجهاد على امتداد خط اللحام مع توزع الاجهاد المجاور له في المعدن الأساس (المعدن الأم)، كمثال حالة اللحام الذي يجمع الجناح إلى الجسد في الجوائز الصفائحية.

3- يُسمى عامل التخفيض β_{Lw1} في وصلات التراكب التي تبلغ طولها أكبر من 150a، بدلاً من β_{Lw} ويحسب كما يلي:

$$\beta_{Lw1} = 1.2 - 0.2L_j/(150a) \le 1.0 \qquad (22\text{-}8)$$

L_j: الطول الكامل لوصلة التغطية باتجاه تحميل القوة.

4- إذا كان خيط اللحام الزاوي الذي يجمع دعامات عرضية في العناصر الصفائحية بطول أكبر 1.7 متر يمكن تسميته β_{Lw2} بدلاً من β_{Lw} ويحسب كما يلي:

$$0.6 \le \beta_{Lw2} = 1.1 - L_w/17 \le 1.0 \qquad (23\text{-}8)$$

L_w: طول خيط اللحام بالمتر

8-6-10 وصلات المقطع الزاوي المتصلة بساق واحدة

1- يمكن أن تؤخذ بالحسبان اللامركزية في وصلة اللحام لحرف نهاية ساق مقطع الزاوية المدرفل الجاهز، من خلال افتراض مساحة المقطع العرضي الفعال، وبذلك فإن مقطع الزاوية الجاهز المدرفل يحسب على أساس حمولة مركزية.

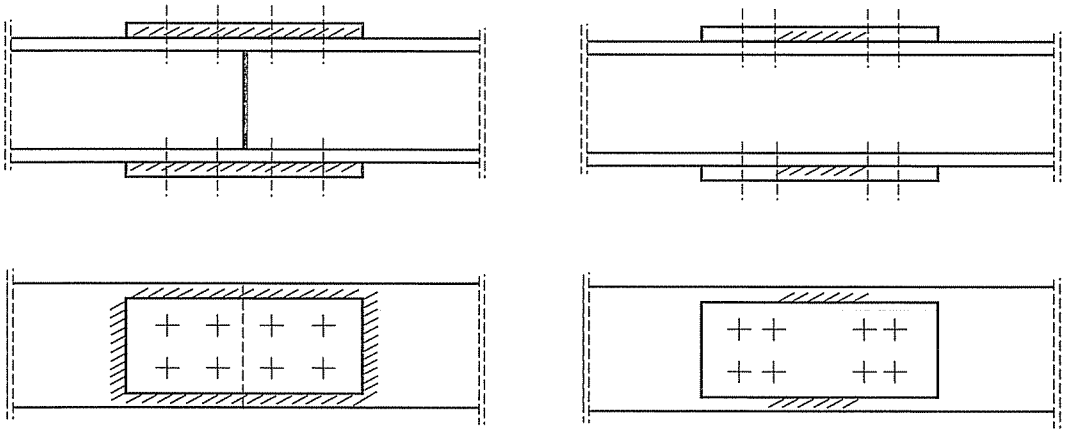
2- يمكن افتراض مساحة المقطع العرضي الفعال لأجل الزاوية المتساوية الساقين، أو غير متساوية الساقين، ذات الساق الكبيرة الموصولة، مساوية مساحة المقطع العرضي الصافية.

3- أما في حال وصلات الزوايا غير متساوية الساقين ذات الساق الصغيرة الموصولة، فتكون المساحة الفعالة للمقطع العرضي مساوية إلى مساحة المقطع العرضي المُكافئة لزاوية متساوية الساقين، طول ساقها هو طول الساق الصغيرة الموصولة. ولتحديد قابلية التحمل في المقطع راجع الفصل (7-4) من الباب السابع. ولتحديد القيم الحدية راجع الفصل (7-5) حيث يجب استعمال مساحة المقطع الصافي.

8-7 الوصلات الهجينة

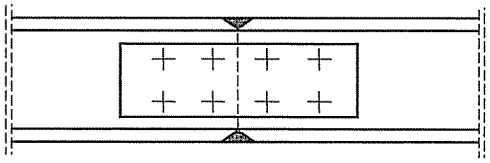
1- إذا استعملت عناصر وصل متعددة مختلفة في تحمل قوى عرضية، أو أذا أثرت معاً، كما في الشكل (8-24)، يأخذ في التصميم فقط نوع واحد لتحمل القوى عادة.

2- خلافاً عن ما ذكر أعلاه يمكن افتراض تحميل القوة المطبقة على وصلات تحوي نوعين من عناصر الوصل خيط لحام، وبراغي مسبقة عالية المقاومة، وتُصمم في الحالة الحدية للتحمل (الصنف C الفقرة 8-5-3-1) بافتراض أن الشد النهائي للبراغي يتم بعد تنفيذ أعمال اللحام.



a) وصلة الجناح

b) وصلة صفيحة الجسد



c) وصلة صفيحة الجسد ولحام الجناح

الشكل (8-24): الوصلات الهجينة

8-8 الوصلات التقابلية مع أو بدون جوائز

1-8-8 عموميات

يهتم هذا الباب في تصميم وصلات عناصر المنشأ، أو الجمل الإنشائية باتجاه العنصر الطولي. يفضل أن ترتب عناصر البناء (المنشأ) بحيث تنطبق مراكز الثقل لكل جزء من الوصلة مع المحاور الرئيسة لعناصر المنشأ المرتبط بها، وفي حال وجود لامركزية فيجب أخذها بالحسبان عند التصميم. كما يجب تصميم الوصلة بحيث تبقى عناصر البناء الموصولة بها متماسكة في مكانها.

2-8-8 الوصلات التقابلية في العناصر الإنشائية المضغوطة

1- إذا لم يتم تجهيز العنصر المراد وصله، بحيث يكون هناك ارتكاز مباشر بين عنصري الوصل، عندها لا بد من أن تقوم عناصر الوصلة التقابلية من نقل القوى الداخلية والعزوم بين طرفي الوصلة بشكل آمن. يتضمن العزم المنقول العزم الناتج عن اللامركزية والتشوهات والانحرافات الابتدائية الناتجة عن نظرية العزوم من الدرجة الثانية (إدخال أثر التشوهات على زيادة العزوم).

2- إذا تم تجهيز العنصر المراد وصله عند مكان الوصل بحيث يكون هناك ارتكاز مباشر بين عنصري الوصل، عندها لا بد من أن تُصمم عناصر الوصلة التقابلية بحيث يتم تأمين استمرار الصلابة حول المحورين الرئيسيين بين طرفي الوصلة، وكذلك مقاومة الشد الناتج عن وجود عزوم انعطاف قد تنشأ للأسباب الواردة في الفقرة (1) السابقة.

3- يجب أن يكون الأمان كافياً لاستناد نهايات أجزاء البناء (المنشأة) المتجاورة بالاتجاهين، إما بواسطة صفائح تغطية أو بوسيلة أخرى. يجب أن تُقاوم عناصر الوصلة التقابلية، بما فيها عناصر التثبيت، أية قوى تنشأ وبأي اتجاه عمودي على المحور الطولي للعنصر، وبحيث لا تقل عن 2.5% من القوة الضاغطة الناشئة في العنصر الانشائي.

3-8-8 الوصلات التقابلية في العناصر الإنشائية المشدودة

3- يجب أن يكون الأمان كافياً لاستناد أجزاء البناء (المنشأ) بالاتجاهين، أما بواسطة ظفر أو بوسيلة أخرى. ويجب تحقيق الإجهادات في المسند المشترك لأجزاء البناء على أن يبق الأمان كافياً، لتستطيع أجزاء الوصلة وعناصر التثبيت أن تقاوم قوة لا تقل 2.5 % من القوة الضاغطة للعنصر الإنشائي التي تؤثر في اتجاه محور العنصر.

4-8-8 الوصلات التقابلية في العناصر الإنشائية المشدودة

تُصمم الوصلة للعنصر الإنشائي المشدود بحيث تستطيع أن تتحمل كامل القوى والعزوم الداخلية للمقط، الناشئة عند نقطة الوصل.

9-8 وصلات الجوائز مع الأعمدة

1-9-8 أساسيات

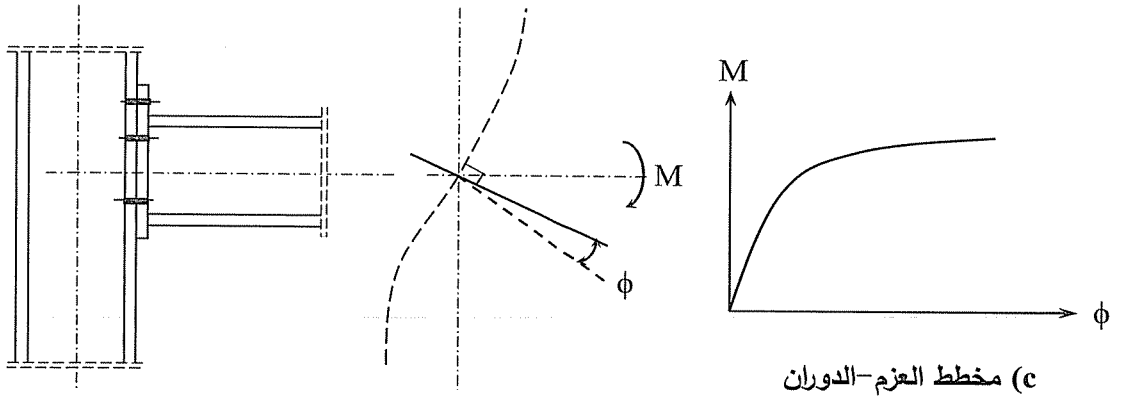
1- يجب أن لا تقل المقاومة العزمية التصميمية لوصلة الجائز مع العمود M_{Rd} عن العزم المطبق التصميمي M_{Ed}.

2- يجب أن يطابق مخطط العزم–الدوران في العقدة بين الأعمدة والجوائز، فرضيات حسابات القوى والعزوم الداخلية للجمل الإنشائية وتصميم العناصر الإنشائية، الباب السادس، البند (6-1).

2-9-8 مخطط العزم مع الدوران

إن تحديد العلاقة بين الدوران والعزم للعقدة، (بين الأعمدة والجوائز)، يجب أن يعتمد على دراسات نظرية متطورة مثبتة من خلال تجارب عملية.

بشكل تقريبي، يُمكن تحديد التصرف الحقيقي لوصلة العمود والجائز بمساعدة نابض دوراني موصول إلى مركز ثقل العمود، وإلى مركز ثقل الجائز في نقطة القطع، كما في الشكل (8-25).

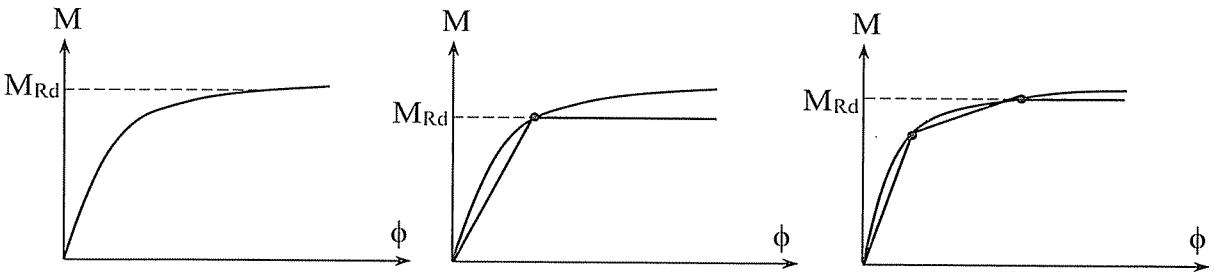


a) الوصلة b) الموديل c) مخطط العزم–الدوران

الشكل (8–25): علاقة العزم مع الدوران

إن العلاقة الفعلية بين الدوران والعزم في العقدة (بين الأعمدة والجوائز) هي علاقة غير خطية. يمكن اشتقاق علاقة تقريبية بين الدوران والعزم من العلاقة الدقيقة، اعتماداً على منحنيات تقريبية خطية مناسبة، مثلاً اعتماد أشكال خطية ثنائية أو ثلاثية (bi-linear أو tri–linear)، بافتراض أن منحني التقريب يقع تحت شكل العلاقة الدقيقة، كما في الشكل (8-26).

تُعرف العلاقة الفعلية بين الدوران والعزم من خلال قيمة المقاومة العزمية وصلابة الدوران وقدرة الدوران، كما في الشكل (8-27).

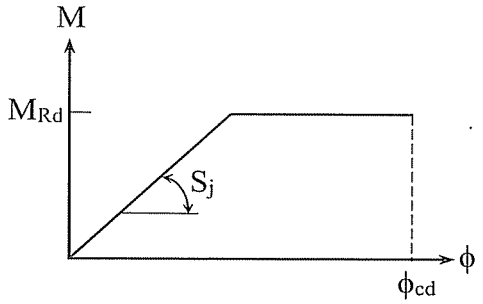


المخطط الفعلي للعلاقة بين العزم والدوران، علاقة غير خطية — علاقة تقريبية بين العزم والدوران — علاقة تقريبية بين العزم والدوران

علاقة بشكل خطي ثلاثي، Tri-linear علاقة بشكل خطي ثنائي، Bi-linear

الشكل (8-26): تطور العلاقة التقريبية بين العزم والدوران

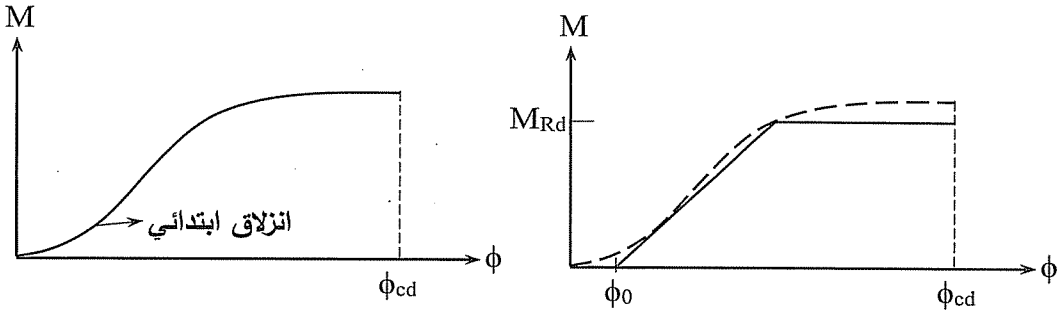
إذا استعملت طريقة الحسابات المرنة الخطية في تحديد القوى والعزوم الداخلية للمقطع لكامل الجملة الإنشائية، فإن قدرة الدوران في الوصلات الصلبة وشبه الصلبة، وغير القابلة للتشوه لا تحتاج لإجراء التحقيقات.



M_{Rd} المقاومة العزمية التصميمية للعزم، S_j: صلابة الدوران، ϕ_{cd}: إمكانية الدوران

الشكل (8-27): ميزات العلاقة بين العزم والدوران

تحتوي علاقة العزم مع الدوران لعقدة الوصلة بين الأعمدة والجوائز (في حالات معينة) على دوران ابتدائي بسبب انزلاق البراغي، أو بسبب عدم دقة تنفيذ أماكن خيط اللحام، كما في الشكل (8-28). وإذا نشأ مفصل بدوران ابتدائي ϕ_o فإن ذلك يؤثر على علاقة العزم مع الدوران، كما في الشكل (8-28-b).



a) العلاقة الفعلية بين العزم والدوران

b) العلاقة بين العزم والدوران من أجل التصميم

الشكل (8-28): العلاقة بين العزم والدوران بوجود مفصل دوران ابتدائي

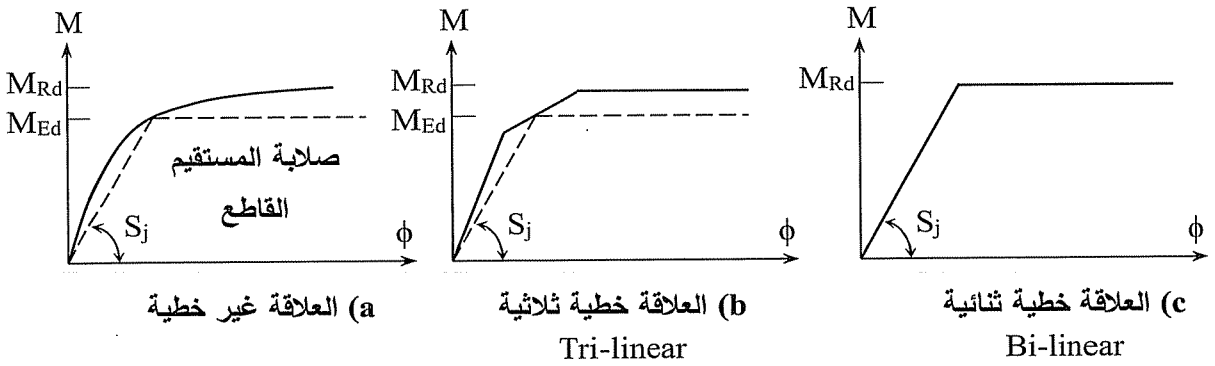
8-9-3 المقاومة العزمية

المقاومة العزمية التصميمية M_{Rd} تساوي القيمة العظمى في علاقة العزم مع الدوران

8-9-4 صلابة الدوران

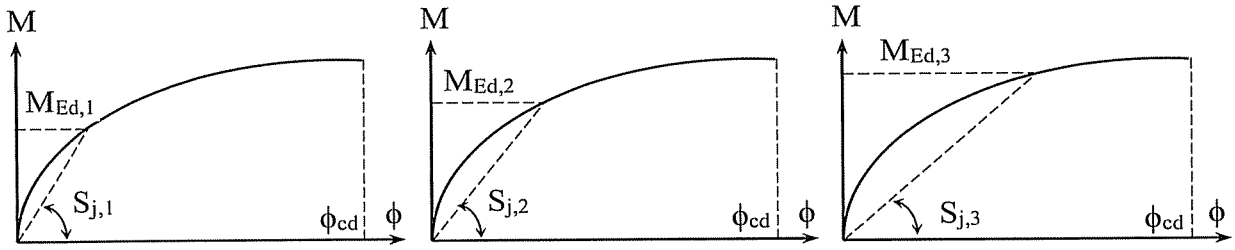
1- يمكن الحصول على مزايا العلاقة غير الخطية بين الدوران والعزم، من خلال استعمال طريقة الحسابات بالخطوات المتتابعة بتجزئة المنحني وتمثيل كل جزء بمستقيم.

2- يجب أن تؤخذ صلابة الدوران S_j من ميل المستقيم القاطع الموازي لمنحني العلاقة كما في الشكل (8-29)، ما عدا ما هو مستعمل في الفقرة 1، أعلاه.



الشكل (8-29): صلابة الدوران

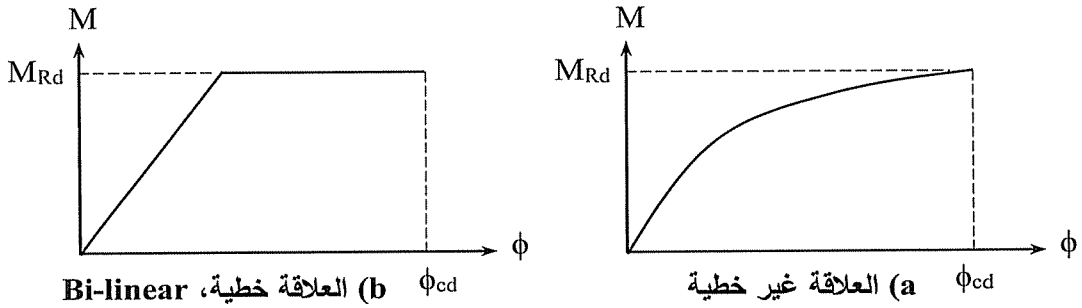
3- يمكن استعمال قيم الصلابة المختلفة من المستقيم القاطع المتعلقة بالقيم التصميمية للعزم المؤثرة في حالات التحميل المختلفة والحالات الحدية، كما في الشكل (8-30).



الشكل (8-30): تغير صلابة الدوران ارتباطاً مع قيمة العزم المطبق

8-9-5 قدرة الدوران

تُفرض قدرة الدوران ϕ_{Cd} لوصلة العقدة بين الأعمدة والجوائز مساوية للدوران الأعظمي في منطقة العزم الأعظمي للوصلة، كما في الشكل (8-31).



الشكل (8-31): قدرة الدوران

8-9-6 تصنيف وصلات العقد بين الجوائز والأعمدة

8-9-6-1 أساسيات

يُمكن تصنيف الوصلات بين الجوائز والأعمدة وفقاً لصلابة الدوران، أو وفقاً قيم العزوم الحدية.

8-9-6-2 صلابة الدوران

8-9-6-1 أساسيات

يُمكن تصنيف الوصلات بين الجوائز والأعمدة وفقاً لصلابة الدوران، أو وفقاً لمقاومتها العزمية.

8-9-6-2 التصنيف وفقاً للصلابة الدورانية

1- يُمكن تصنيف الوصلات وفقاً لصلابتها الدورانية إلى:

أ- وصلات العقد المفصلية

ب- وصلات العقد غير القابلة للتشوه (صلبة)

ت- وصلات العقد شبه الصلبة

وذلك بمقارنة صلابتها الدورانية الأولية $S_{j,ini}$ مع حدود التصنيف المعتمد في الشكل (8-32).

2- يُمكن أن يتم تصنيف وصلات العقد بين الجوائز والأعمدة كوصلات مفصلية أو كوصلات غير قابلة للتشوه (صلبة) بالاستناد إلى التجارب العملية، أو حصيلة الخبرات من تنفيذ وتصميم مشاريع مشابهه حسب نتائج التجارب.

8-9-6-2-1 وصلات العُقد المفصلية اسمياً

1- يجب أن تنقل الوصلات المفصلية الاسمية القوى الداخلية – قوة قص وان تُؤمن الوصلات قوة محورية مع قيمة صغيرة جداً لعزوم الانعطاف – حيث أن نقل قيمة كبيرة للعزوم يُؤدي إلى تأثير سلبي على عناصر المنشأة.

2- يجب أن تُؤمن الوصلات المفصلية الاسمية الدورانات التي تنشأ نتيجة تطبيق القوى التصميمية على المنشأة.

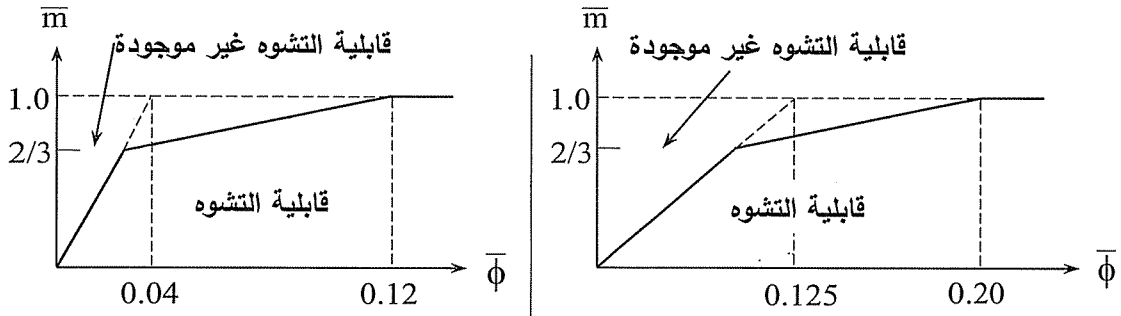
8-9-6-2-2 وصلات العقد الصلبة

يجب أن تملك الوصلات المصنفة كوصلة صلبة صلابة دورانية كافية بحيث تُوافق التحليل الانشائي الذي افترض أن هناك استمرارية كاملة بين العناصر عند العُقد.

8-9-6-2-3 وصلات العقد شبه الصلبة

1- تُصنف الوصلات التي لا تنطبق عليها شروط الوصلات المفصلية إسمياً، أو شروط الوصلات الصلبة كوصلات شبه صلبة.

2- يجب أن تنقل الوصلات شبه الصلبة القوى الداخلية – قوى قص وقوى محورية – بالإضافة إلى العزوم.



a) إطار متحرك

$$\overline{m} \le \frac{2}{3} \rightarrow \overline{m} = 25 \cdot \overline{\phi}$$

$$\frac{2}{3} < \overline{m} \le 1.0 \rightarrow \overline{m} = \frac{(25 \cdot \overline{\phi} + 4)}{7}$$

b) إطار غير متحرك

$$\overline{m} \le \frac{2}{3} \rightarrow \overline{m} = 8 \cdot \overline{\phi}$$

$$\frac{2}{3} < \overline{m} \le 1.0 \rightarrow \overline{m} = \frac{(20 \cdot \overline{\phi} + 3)}{7}$$

$$\overline{m} \le \frac{M}{M_{P\ell,Rd}} \qquad \overline{\phi} \le \frac{E \cdot I_b \cdot \phi}{L_b \cdot M_{P\ell,Rd}}$$

الشكل (8-32): حدود التصنيف المنصوح به لأجل الوصلات بين الجوائز والأعمدة

يُمكن استعمال الخطوط المبينة في الشكل (8-32-a) من أجل جملة الإطارات المتحركة التي تحقق العلاقة (8-25) في طوابقها:

$$K_b / K_c \ge 0.1 \qquad (25\text{-}8)$$

K_b: القيمة المتوسطة لـ I_b/L_b لجميع الجوائز في الجملة الإنشائية للحرف العلوي للطابق.

K_C: القيمة المتوسطة لـ I_C/L_C لجميع الأعمدة في الجملة الإنشائية للطابق.

I_b: عزم عطالة الجائز، I_C: عزم عطالة العمود، L_b: طول فتحة الجائز، I_b: ارتفاع العمود في الطابق.

إذا كان المجال المتصاعد (المتزايد) لعلاقة العزم والدوران يقع تحت مستوى الخط في المنحني الموافق كما في الشكل (8-32)، عندها تُصنَّف الوصلة بين الجائز والعمود كوصلة قابلة للتشوه (مرنة)، إذا كانت متطلبات وصلة المفصل أيضاً غير كافية.

يُمكن معالجة الوصلات التي تُصنّف على أنها وصلات غير قابلة للتشوه، أو وصلات مفصلية، بشكل اختياري كوصلات قابلة للتشوه.

8-9-6-3 التصنيف وفقاً للمقاومة العزمية

يُمكن تصنيف الوصلات وفقاً لمقاومتها العزمية إلى:

أ- وصلات عقد مفصلية إسمياً

ب- وصلات عُقد مقاومتها العزمية تامة

ت- وصلات عُقد مقاومتها العزمية جزئية

وذلك بمقارنة مقاومتها العزمية $M_{j,RD}$ مع المقاومة العزمية التصميمية للعناصر المشكلة للعقدة (جوائز وأعمدة). تُحسب المقاومة العزمية التصميمية للعناصر المشكلة للعُقدة (جوائز وأعمدة) بجوار العُقدة مباشرة.

8-9-6-3-1 وصلات عُقد مفصلية إسمياً

تُصنَّف وصلة العُقدة بين الجائز والعمود كوصلة مفصلية، إذا كانت قيمة مقاومتها العزمية التصميمية $M_{j,RD}$ لا تتجاوز 0.25 من قيمة المقاومة العزمية التصميمية للوصلة، وإذا أظهرت الوصلة قدرة كافية للدوران.

8-9-6-3-2 وصلات عُقد مقاومتها العزمية تامة

1- يجب أن لا تقل المقاومة العزمية التصميمية للوصلات العزمية التامة عن المقاومة التصميمية للعناصر المتصلة بهذه العُقدة.

2- تُصنف الوصلة بأنها وصلة عزمية تامة عندما تتحقق الاشتراطات الواردة في الشكل (8-5-5).

8-9-6-3-3 وصلات عُقد مقاومتها العزمية جزئية

1- تُصنف الوصلات التي لا تنطبق عليها شروط الوصلات المفصلية اسمياً أو شروط الوصلات العزمية التامة كوصلات عزمية جزئية.

8-9-7 الخواص المحسوبة

8-9-7-1 المقاومة العزمية

1- تتعلق المقاومة العزمية في الوصلة بين الأعمدة والجوائز بقابلية التحمل للمناطق الثلاث الآتية، كما في الشكل (8-34): منطقة الشد، منطقة الضغط، منطقة القص.

2- عند تحديد المقاومة العزمية التصميمية يجب الأخذ بالحسبان الحدود الآتية:

أ- منطقة الشد:

- سيلان صفيحة جسد مقطع العمود
- سيلان صفيحة جسد مقطع الجائز
- سيلان جناح العمود

- سيلان مادة الوصلة (صفيحة النهاية)
- انهيار خيط اللحام
- انهيار البراغي

ب- منطقة الضغط:

- هرس (دهس) صفيحة جسد مقطع العمود
- تحنيب (تقوس) صفيحة جسد مقطع العمود

ت- منطقة القص:

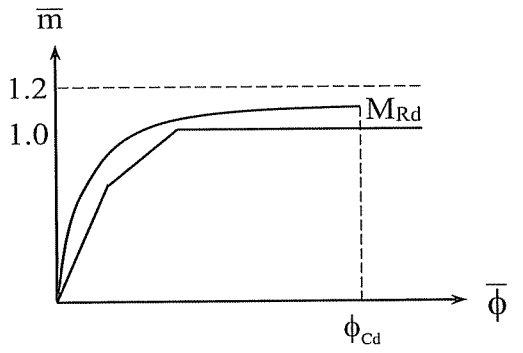
- انهيار في القص لصفيحة جسد العمود

3- يمكن أن تتغير قدرة (قابلية) التحمل لمنطقة الضغط في الوصلة، من خلال التأثير الموضعي الناتج عن نظرية العزوم من الدرجة الثانية، وذلك بسبب الإجهادات الطولية (الناظمية) في العمود بسبب عمله الإطاري.

4- يمكن تحديد قدرة التحمل لمناطق الوصلة من دون الأخذ بالحسبان تأثير الإجهادات الناتجة عن العمل الإطاري باستثناء الفقرة (3) أعلاه.

5- يتم احتساب المقاومة العزمية التصميمية، في وصلات العقد بين الأعمدة والجوائز، بأنها القيمة الأصغر بين مقاومة منطقة الشد ومنطقة الضغط مضروباً بالمسافة التي تفصل مراكز مرور هذه المقاومات (هذه القيم المخفضة يجب أن لا تتجاوز قدرة التحمل لصفيحة جسد العمود في القص).

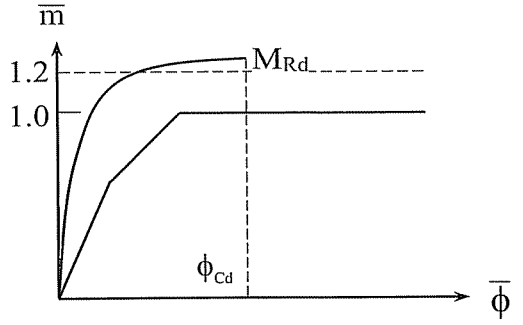
6- إذا كانت قدرة التحمل لمنطقة القص أكبر أو تساوي أصغر القيمتين، قدرة التحمل لمنطقة الشد وقدرة التحمل لمنطقة الضغط، لا ضرورة لاختبار قدرة تحمل القص لصفيحة جسد العمود.



قدرة التحمل كاملة، غير قابلة للتشوه

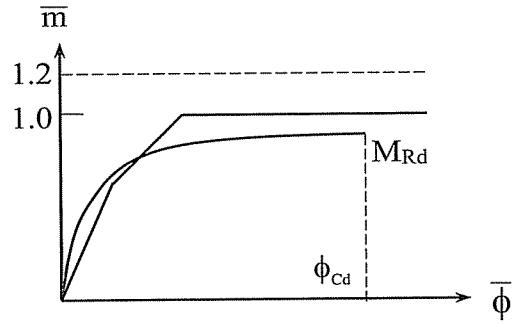
اختبار فيما إذا قدرة الدوران كافية

$$M_{Rd} < 1.2 \cdot M_{P\ell,Rd}$$



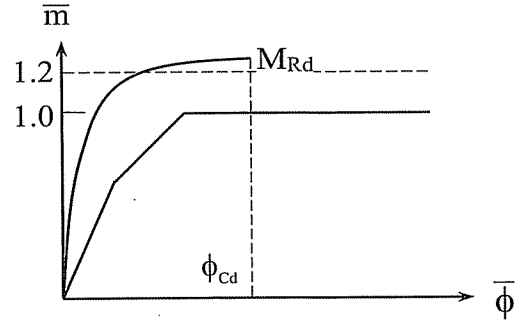
قدرة تحمل كاملة، غير قابلة للتشوه

$$M_{Rd} < 1.2 \cdot M_{P\ell,Rd}$$



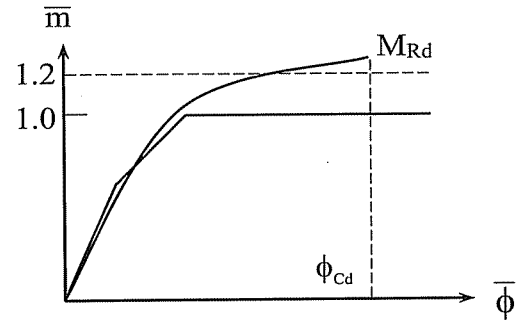
غير قابلة للتشوه، قدرة تحمل جزئية

$$M_{Rd} < M_{P\ell,Rd}$$



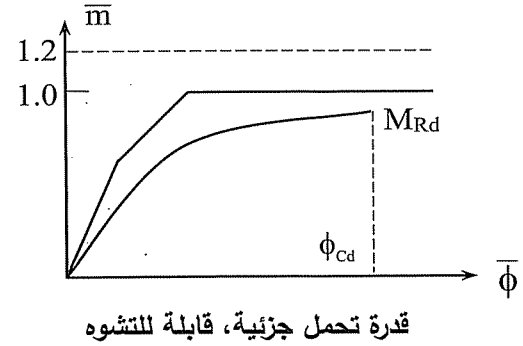
قدرة تحمل كاملة، غير قابلة للتشوه

$$M_{Rd} > 1.2 \cdot M_{P\ell,Rd}$$



قدرة تحمل كاملة، قابلة للتشوه

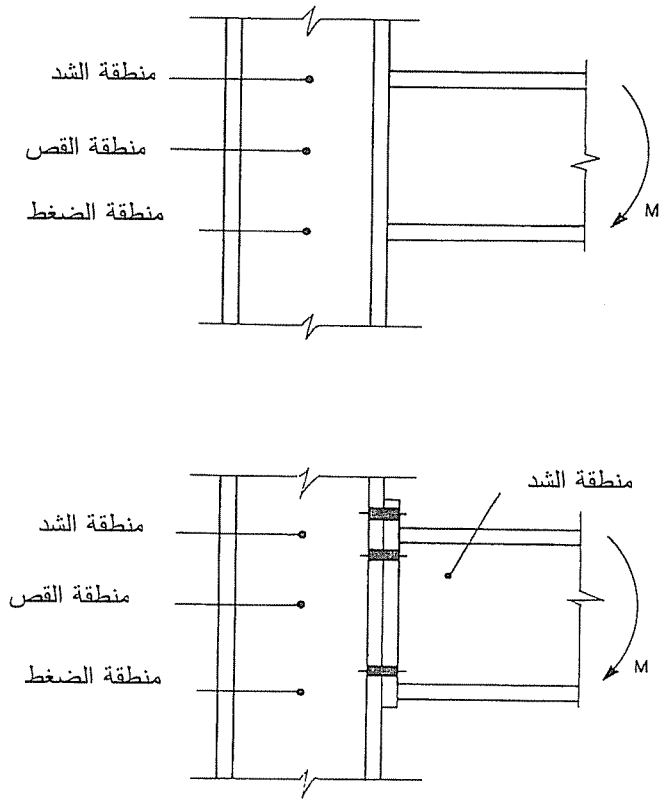
$$M_{Rd} > 1.2 \cdot M_{P\ell,Rd}$$



قدرة تحمل جزئية، قابلة للتشوه

$$M_{Rd} < M_{P\ell,Rd}$$

الشكل (8-33): أمثلة لتصنيف العلاقة بين العزم والدوران للوصلات الأعمدة مع الجوائز



الشكل (8-34): المناطق الحرجة في وصلة الجوائز والأعمدة

8-9-7-2 صلابة الدوران

صلابة الدوران المحسوبة، لعقدة الوصلة بين الأعمدة والجوائز، تطابق تصرفات العناصر المنفردة في المجال.

8-9-7-3 قدرة الدوران

1- يجب أن تؤمن صلاحية طريقة الحسابات المستعملة لاستنتاج قدرة الدوران مع بإجراء التجارب اللازمة.

2- يجب أن تحدد قدرة الدوران المحسوبة، لعقدة الوصلة بين الأعمدة والجوائز، من خلال قدرة التشوه اللدنة في ذات المجال الذي تستنتج فيه القيمة الحدية للعزم في الوصلة.

8-9-8 قواعد الاستعمال

1- تنفذ العلاقات الأساسية التي عرضت في الفصل 8-9 لأجل تصميم عقدة الوصلة بين الأعمدة والجوائز من خلال تطبيق قواعد الاستعمال في الملحق J من المرجع (1) أو (2).

2- إن تصميم أشكال أخرى من الوصلات غير الموجودة في الملحق J، يجب أن تُبنى على قواعد تشابه تطابق القواعد الأساسية في الملحق J.

3- قواعد الاستعمال يمكن تطبيقها بافتراض أنها:

- تتطابق مع القواعد الأساسية
- يمكن إثبات على أنها بنفس مستوى الأمان على الأقل.

8-10 عُقد الجائز الشبكي المُصنع من عناصر مفرغة مغلقة

8-10-1 المقاومة التصميمية

1- يجب أن تُستنتج مقاومة وصلة عناصر بمقاطع مغلقة ومفرغة (مجوفة حلقة أو مستطيل) من خلال حدود حالات الانهيار، وذلك حسب إمكانية الحدوث:

أ- الانهيار نتيجة تلدن جناح مقطع عنصر الوتر (العنصر العلوي والسفلي الرئيسي).

ب- الانهيار نتيجة تلدن أو فقدان استقرار صفيحة الجسد في مقطع عنصر الوتر.

ت- الانهيار نتيجة القص في المقطع العرضي لعنصر الوتر.

ث- الانهيار نتيجة الثقب لجناح عنصر الوتر.

ج- الانهيار نتيجة انهيار العناصر القطرية والتي تُؤدي بدورها إلى تخفيض المسافة بين الأوتار العُلوية والسفلية، وتزيد من الطول الفعال التصميمي للوتار المضغوكة.

ح- الانهيار نتيجة التحنيب (التقوس) الموضعي.

2- تُصمم خيوط اللحام لتتحمل مقاومة ومطاوعة كافية لتسمح بإعادة توزيع الاجهادات غير المنتظمة والعزوم الثانوية الناشئة.

8-10-2 قواعد الاستعمال

القواعد الأساسية المقدمة في الفصل رقم 8-10 من أجل تصميم عقد الجائز الشبكي ذي العناصر بمقاطع مفرغة ومغلقة (المجوفة) تعد محققة باستعمال قواعد الملحق K من المرجع (1) أو (2).

قواعد الاستعمال يمكن أن تستعمل أيضاً بافتراض أنها تُطابق القواعد الأساسية، ويمكن إثبات على أنها بنفس مستوى الأمان على الأقل.

8-11 أقدام الأعمدة

8-11-1 صفيحة القدم

تُزود الأعمدة بصفيحة قدم لتوزيع قوى الضغط في منطقة ضغط العمود فوق مساحة المسند، من دون أن يتجاوز ضغط المسند القيمة الحدية المسموحة في المسند.

تُستنتج قدرة التحمل بين صفيحة القدم والأساس، بأخذ ميزات المعدن ونوعية المونة الإسمنتية وصُنف خرسانة الأساس بالحسبان.

8-11-2 براغي الإرساء

يجب أن يتم وضع براغي الإرساء لتستطيع تحمل ومقاومة القوى المطبقة من الحمولات التصميمية، وتكون ضرورية في منطقة الشد الناتج عن قوة الرفع وعزم الانعطاف.

لا يمكن أن تكون ذراع قوة الشد الناتجة عن العزم أكبر من البعد بين مركز الثقل لمساحة الاستناد من جهة الضغط ومركز الثقل لمجموعة براغي الإرساء، مع الأخذ بالحسبان تفاوت أبعاد براغي الإرساء.

يتم تثبيت براغي الإرساء أما بواسطة خطاف، أو مسند، أو عنصر مناسب آخر لتوزيع الحمولات ويُثبَّت في الخرسانة كأداة إرساء في الأساس.

عندما لا يوضع عنصر خاص لتحمل القوى القاطعة يجب إجراء التحقيقات على قدرة التحمل لمقاومة القوة القاطعة بين العمود والأساس، بحيث تكون كافية وتشكل أماناً من زيادة قوى المقاومة الآتية:

أ- قوة الانزلاق الحدية للوصلة بين صفيحة القدم والأساس

ب- قوة القص الحدية لبراغي المرساة

ت- قوة القص الحدية لإطار الأساس

8-11-3 قواعد الاستعمال

1- تعد القواعد الأساسية المقدمة في الفصل رقم 8-11 من أجل تصميم أقدام الأعمدة ذي العناصر بمقاطع مفرغة ومغلقة (المجوفة) محققة باستعمال قواعد الملحق L من المرجع (1) أو (2).

2- قواعد الاستعمال يمكن أن تعتمد أيضاً بافتراض:

أنها تطابق القواعد الأساسية، أو يمكن إثبات على أنها بنفس مستوى الأمان على الأقل.

الباب التاسع

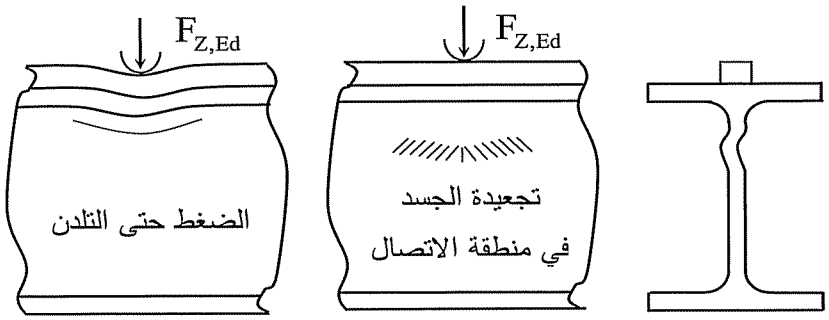
9 الجوائز الصفائحية وتحقيقات الاستقرار في صفيحة الجسد (الجوائز ذات مقاطع الجسد الملي)

9-1 أساسيات

يتألف الجائز الصفائحي، أو الجائز ذا الجسد المليء، من صفيحة علوية أفقية، تدعى الجناح العلوي ويقابلها صفيحة سفلية، يدعى الجناح السفلي، يصل بينهما صفيحة جسد عمودية عليهما واحدة أو أكثر.

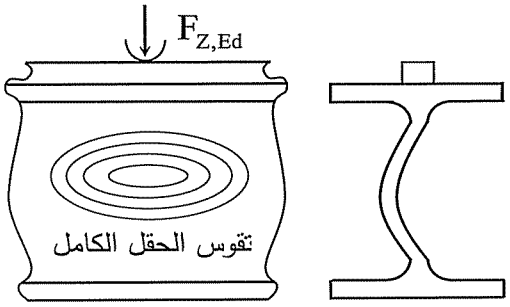
1- هناك ثلاث إمكانيات لانهيار صفيحة الجسد غير المدعمة والمجهدة بقوة مطبقة عرضياً على الجناح:

- الانضغاط اللدن لصفيحة الجسد نتيجة تطبيق القوة عليه، وهي إجهادات ضغط الجناح العلوي والذي يقوم بنقلها وتوزيعها على الجسد، مما يؤدي إلى تلدن المنطقة المضغوطة المجاورة من صفيحة الجسد، والتي تتعرض لها مباشرة، كما في الشكل (9-1).
- التواء منطقة اتصال الجسد بالجناح وظهور ندبة (تجعيده) فيه نتيجة للقوة، مما يؤدي إلى ثني الصفيحة في المنطقة العلوية بقرب الجناح المضغوط، الشكل (9-1).



الشكل (9-1): تجعيده في الجسد أو تلدن المنطقة المضغوطة

-تقوس صفيحة الجسد وذلك من خلال الجزء الأكبر لارتفاع صفيحة الجسد، الشكل (9-2).



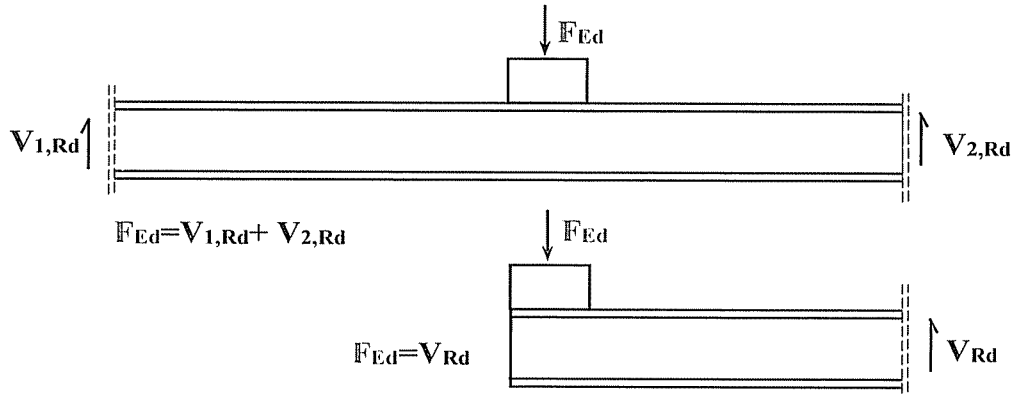
الشكل (9-2): تقوس صفيحة الجسد

2- عند تحميل القوة يجب التفريق بين حالتين:

- القوة مطبقة على الجناح الواحد للجائز من جهة واحدة وتوازن القوى العرضية محقق.
- القوة مطبقة على الجناحين للجائز من جهتي متقابلتين.

3- يجب إجراء التحقيقات الآتية في حالة القوة المطبقة من جهة واحدة على جناح الجائز الصفائحي (ذي الجسد المليء) الشكل (9-3) مع تحقيق التوازن:

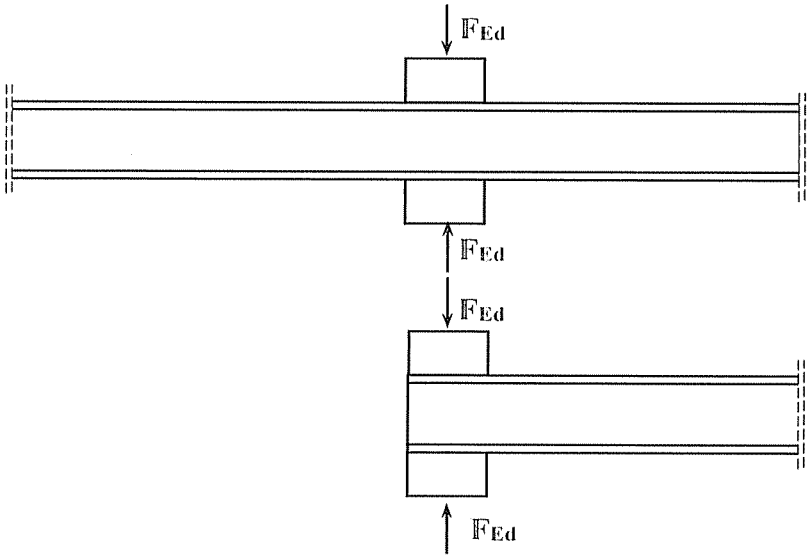
- التأكد من المقاومة الكافية لصفيحة الجسد ضد الضغط اللدن.
- التأكد من الأمان الكافي ضد التقوس الموضعي في صفيحة الجسد.



الشكل (9-3): القوة المطبقة من جهة واحدة على جناح الجائز الصفائحي

4- يجب إجراء التحقيقات الآتية فقط في حالة قوتين مطبقتين من جهتين على الجناحين بالتقابل (على محور واحد) في الجائز الصفائحي (ذي الجسد المليء) الشكل (9-4):

- التأكد من المقاومة الكافية لصفيحة الجسد من الطرفين ضد الضغط اللدن.
- التأكد من الأمان الكافي ضد التقوس لكامل حقل التقوس في صفيحة الجسد.



الشكل (9-4): القوة المطبقة من جهتين متقابلتين على الجائز الصفائحي

5- في الحالات التي يكون فيها شكل الانهيار غير محدد من البداية يجب الأخذ بالحسبان في التحقيقات أشكال الانهيار الثلاث السابقة.

6- إضافة لإشكال الانهيار، يجب الأخذ بالحسبان تأثير إجهادات قوة القص على كامل قيمة حدود العزم لكامل العنصر الإنشائي وفقاً للفصل رقم (7-7).

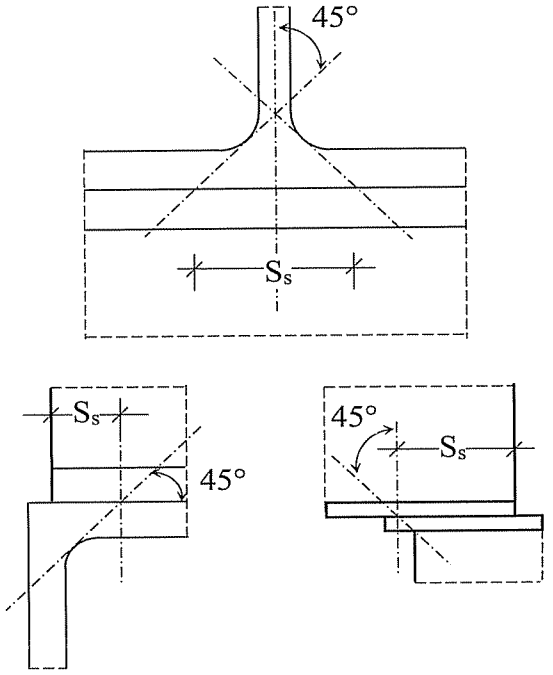
7- يجب أن تعامل صفيحة الجسد المدعمة بدعائم طولية بين الدعائم العرضية، في تحقيقات المقاومة ضد الالتواء بشكل مشابه لصفائح الجسد غير المدعمة.

2-9 عرض توزيع القوة

1- يحدد عرض منطقة توزيع القوة المطبقة على الجناح بالعرض الفعال، حسب الفرضيات الأساسية لتوزيع القوة على كتل العناصر الفولاذية.

2- تحدد مقاومة صفيحة الجسد مقابل القوة العرضية الموزعة عليها من خلال عرض توزيع القوة المطبقة.

3- يحسب عرض توزيع القوة S_S وفق فرضية ميل توزيع الإجهادات (1:1) المتعلق بتوزيع القوة على كتل العناصر الفولاذية الشكل (9-5).



الشكل (9-5): القوة المطبقة من جهتين متقابلتين على الجائز الصفائحي

3-9 الانضغاط اللدن

1- تحسب القيمة الحدية للضغط اللدن $R_{y,Rd}$ لصفيحة الجسد في المقاطع I, H, U وفق العلاقات الآتية:

$$R_{y,Rd} = (S_s + S_y) \cdot t_w \cdot f_{yw} / \gamma_{M1} \qquad (1\text{-}9)$$

$$S_y = 2t_f \cdot \sqrt{(b_t / t_w) \cdot (f_{yt} / f_{yw})} \cdot \sqrt{(1-(\sigma_{f,Ed} / f_{y,f})^2)}$$

ولا يسمح أن تؤخذ قيمة b_f أكبر من $25t_f$ ، $\sigma_{f,Ed}$ تمثل الإجهادات الطولية في الجناح.

2- يمكن حساب قيمة S_y للمقاطع المدرفلة الجاهزة، كما يلي:

$$S_y = \frac{2.5 \cdot (h-d) \cdot \sqrt{[1-(\gamma_{Mo} \cdot \sigma_{f,Ed} / f_{yf})^2]}}{(1+0.8 \cdot S_s / (h-d))} \qquad (2\text{-}9)$$

3- يجب تعويض قيمة S_y بنصف قيمتها في نهايات العناصر.

4- عند توزيع قوة دولاب الرافعة على سكة الرافعة المثبتة على الجناح الحمال، يجب حساب القيمة الحدية ضد الانضغاط اللدن بالعلاقة الآتية:

$$R_{y,Rd} = S_y \cdot t_w \cdot f_{yw} / \gamma_{M1} \qquad (3\text{-}9)$$

حيث تحسب S_y بالعلاقة الدقيقة:

$$S_y = k_R \cdot \left[\frac{I_f + I_R}{t_w}\right]^{1/3} \cdot \sqrt{(1-(\sigma_{f,Ed} / f_{y,f})^2)} \qquad (4\text{-}9)$$

أو بالعلاقة التقريبية:

$$S_y = 2 \cdot (h_R + t_f) \cdot \sqrt{(1-(\sigma_{f,Ed} / f_{y,f})^2)} \qquad (5\text{-}9)$$

h_R: ارتفاع مقطع سكة الرافعة، I_f: عزم عطالة الجناح العلوي حول المحور الأفقي الرئيسي

I_R: عزم عطالة سكة الرافعة العلوي حول المحور الأفقي الرئيسي

K_R: ثابت قيمته في حالة الاستناد المباشر لسكة الرافعة على الجناح $K_R = 3.25$

وفي حالة وجود طبقات استناد بين السكة والجناح لا تقل سماكتها أكبر عن 5mm، تؤخذ $K_R = 4.0$.

4-9 التواء صفيحة الجسد

1- تحسب القيمة الحدية ضد التواء صفيحة الجسد $R_{a,Rd}$ للمقاطع بشكل I ,H, U بالعلاقة الآتية:

$$R_{a,Rd} = 0.5 \cdot t_w^2 \cdot \sqrt{(E f_{yw})} \cdot [\sqrt{(t_f / t_w)} + 3(t_f / t_w) \cdot (S_S / d)] / \gamma_{M1} \qquad (6\text{-}9)$$

حيث: S_s عرض توزيع القوة، كما في الشكل (5-9)، ويجب أن لا تزيد قيمة (S_s/d) عن 0.2.

2- في العناصر الإنشائية المعرضة للعزم أيضاً، يجب الالتزام بالحدود الآتية:

$$\boxed{\begin{array}{l} F_{Ed} \le R_{a,Rd} \\ M_{Ed} \le M_{C,Rd} \end{array}}$$

$$\boxed{\frac{R_{Ed}}{R_{a,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} \le 1.5}$$

5-9 تقوس كامل الحقل

1- تحسب القيمة الحدية ضد التقوس لكامل حقل التقوس $R_{b,Rd}$ في صفيحة الجسد للمقاطع بشكل I H, U، من خلال تمثيل صفيحة الجسد بعنصر افتراضي إنشائي، معرض لقوى ضغط ذي عرض فعال، يحسب بدوره كما يلي:

$$b_{eff} = \sqrt{(h^2 + S_S^2)} \qquad (7\text{-}9)$$

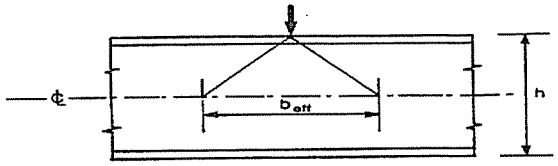
2- يجب أن لا تتجاوز قيمة العرض الفعال b_{eff} في نهايات العنصر الإنشائي (أو في فتحات صفيحة الجسد) العرض الفعال الموجود في منتصف ارتفاع صفيحة الجسد.

3- تحسب القيمة الحدية ضد التقوس لكامل حقل التقوس، وفق علاقة التحنيب المستعملة للعناصر المضغوطة ($N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$) بخط التحنيب C وفق الفصل 7-12.

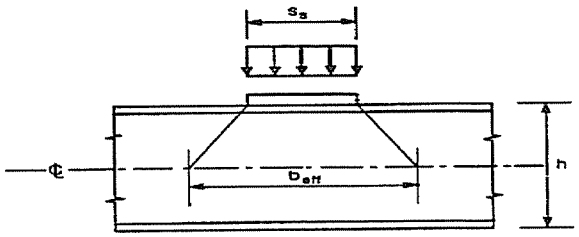
4- يجب تحديد طول التحنيب للعنصر الافتراضي الإنشائي المضغوط، حسب شروط النهايات الموجودة في أماكن توزيع القوة (مقابل الانزياح والدوران).

5- يُدعّم الجناح جانبياً عادة، عندما تطبق عليه قوة، وذلك في أماكن توزيع القوة، وفي حال عدم التمكن من ذلك، يجب إجراء تحقيقات حقيقية (فعلية) خاصة به على التقوس.

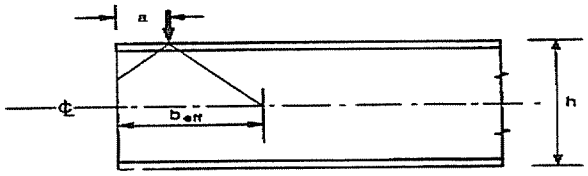
$b_{eff}=h$



$$b_{eff} = \left(h + S_s^2\right)^{1/2}$$

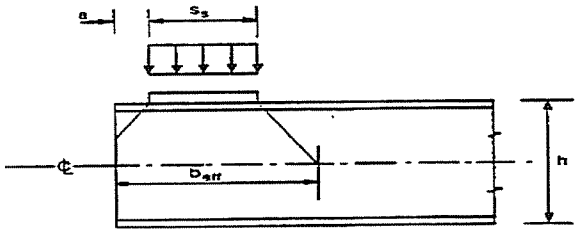


$$b_{eff} = \frac{h}{2} + a \le h$$



$$b_{eff} = 0.5 \cdot \left(h^2 + S_s^2\right)^{1/2} + a + \frac{S_s}{2}$$

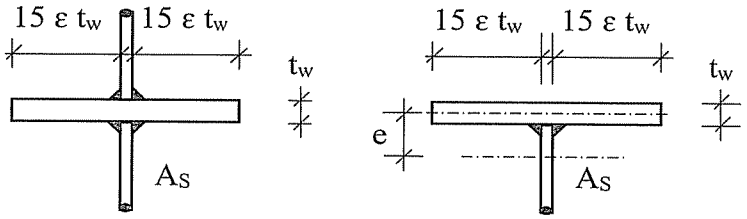
$$b_{eff} \le \left(h^2 + S_s^2\right)^{1/2}$$



الشكل (9-6): العرض الفعال لتوزيع القوة في تحقيقات التقوس لصفيحة الجسد

6-9 الدعامات العرضية

1- يجب حساب مقطع صفيحة التدعيم الفعال، من أجل تحقيقات الدعامات العرضية مع الأخذ بالحسبان مساحة الجزء المشترك من صفيحة الجسد $30\varepsilon t_w$ بطرفي صفيحة التدعيم، من كل طرف $15\varepsilon t_w$، الشكل (9-7)، وأما في نهاية العنصر الإنشائي، أو عند الفتحات في صفيحة الجسد فيحدد الطول بقيمة $15\varepsilon t_w$ من الطول الفعلي الموجود.



الشكل (9-7): المقطع العرضي الفعال للتدعيم

2- يجب أن تجرى تحقيقات أمان في مستوى التحنيب وفق علاقة التحنيب المستعملة للعناصر المضغوطة ($N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$) بخط التحنيب C، وطول التحنيب $\ell \geq 0.75d$ حسب شروط النهايات.

3- توضع التدعيمية العرضية الطرفية (في نهايتي العمود)، والتدعيمية الداخلية العرضية المجاورة للمسند الداخلي، عادة من الطرفين بشكل متناظر بالنسبة لصفيحة الجسد.

4- يجب وضع تدعيم عرضي متناظر بالنسبة لصفيحة الجسد، في النقاط التي تطبق فيها قوة مركزة كبيرة.

5- في حالة التدعيم العرضي من طرف واحد أو التدعيم غير المتناظر لصفيحة الجسد يجب الأخذ بالحسبان اللامركزية في التحقيقات وفق حالة عدم الاستقرار الموضحة سابقاً.

6- إلى جانب تحقيقات التحنيب، يجب إجراء تحقيق أمان مقطع التدعيم العرضية في أماكن توزع القوى، وعليه يجب حساب المساحة الفعالة لصفيحة الجسد من خلال تحديد العرض S_y كما جاء بالفصل رقم (3-9).

7- يكفي إجراء تحقيق واحد للتحنيب، وذلك في الدعامات العرضية الداخلية غير المجهدة بقوى خارجية.

7-9 التحنيب الموضعي للجناح

1- يجب تحقيق النسبة d/t_w في أبعاد صفيحة الجسد، وذلك لتجنب التحنيب الموضعي لضغط الجناح على صفيحة الجسد، وفق العلاقة الآتية:

$$d / t_w = k \cdot (E / f_{yf}) \cdot \sqrt{A_w / A_{fc}} \qquad (8\text{-}9)$$

A_w: مساحة صفيحة الجسد، A_{fc}: مساحة الجناح المضغوط، f_{yf}: حد المرونة للجناح المضغوط

2- يعطى العامل K كما يلي:

$K = 0.3$ لأجل الجناح من التصنيف درجة 1، $K = 0.4$ لأجل الجناح من التصنيف درجة 2، $K = 0.55$ لأجل الجناح من التصنيف درجة 3 و4.

3- يجب تحقيق النسبة d/t_w في العناصر الإنشائية التي يشكل فيها انحناء وجناحها المضغوط يقع في جهة التقعر من خلال الشرط الآتي:

$$d/t_w \le \frac{k \cdot (E/f_{yf}) \cdot \sqrt{A_w / A_{fc}}}{\sqrt{\left(1 + \frac{d \cdot E}{(3 \cdot r \cdot f_{yf})}\right)}} \qquad (9\text{-}9)$$

حيث: r قطر الانحناء للجناح المضغوط

4- يمكن رفع القيمة الحدية للنسبة d/t_w عند احتواء العنصر دعامات عرضية.

الباب العاشر

10 الجوائز و الأعمدة الشبكية

10-1 الجوائز الشبكية

10-1-1 عموميات

1- يقصد بالجوائز الشبكية الحاملة تلك التي تعمل وتُحسب وفق فرضية العناصر مفصلية العقد (متمفصلة النهايات)، وذلك تحت تأثير الحمولات الستاتيكية (غير الديناميكية).

2- يجب إجراء التحقيقات الخاصة بالتحنيب في عناصر الجائز الشبكي المضغوطة اعتماداً على الفصل رقم (7-12) الخاص بالعناصر المضغوطة، وفي حال تعرض هذه العناصر لحالة عزم وقوة ضاغطة معاً، يمكن أن تجرى التحقيقات وفق الفصل رقم (7-14) الخاص بالعناصر المضغوطة والمعرضة إلى عزم انعطاف.

3- تحدد أطوال التحنيب لعناصر الجائز الشبكي كما هو معطى بالفصل 10-1-2.

4- يمكن استعمال قواعد التصميم لمقاطع الزاوية (مقطع L) والاعتماد على التسهيلات المحددة في البند الخاص بمقطع الزاوية L.

10-1-2 أطوال التحنيب لعناصر الجوائز الشبكية

1- تؤخذ أطوال التحنيب (ℓ) لعناصر الأوتار (العناصر العلوية والسفلية) في الجائز الشبكي والقطريات المستعملة في مستوي الجوائز الشبكية مساوية للأطوال الهندسية للجملة الإنشائية L (حيث L التباعد بين مراكز العقد)، وذلك في حال عدم التمكن من تحديدها بشكل دقيق.

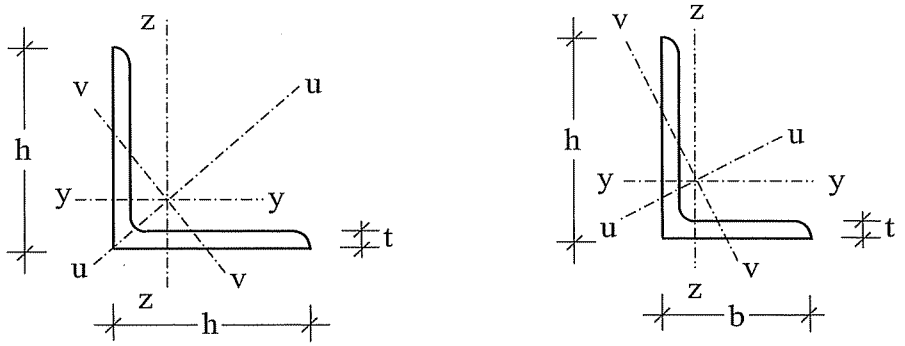
2- يمكن أن يقل طول التحنيب، خلال تحقيقات التحنيب للقطريات في مستوى الجائز الشبكي، عن الطول الهندسي للعنصر في الجملة المدروسة، إذا مُنعت نهاية عنصر القطرية من الدوران بسبب اتصاله بالوتر وعقدة نهاية العنصر (حتى لو كانت هذه العقدة مؤلفة على الأقل من برغيين).

3- يمكن حساب طول التحنيب بقيمة (0.9 L) لإجراء تحقيقات التحنيب لعناصر القطريات في مستوييها فقط، ويستثنى من ذلك العناصر ذات مقاطع الزاوية (مقطع L).

4- عناصر القطريات بمقاطع الزاوية ستبحث لاحقاً.

3-1-10 عنصر قطرية مضغوط بمقطع زاوية L

1- عنصر القطرية المشكل من مقطع زاوية L والذي يُمنع من دوران نهايتيه، بسبب استناده بالوتر العلوي والسفلي، أو بوصلة العنصر (عندما تكون ببرغيين على الأقل)، عندها يمكن إهمال لا مركزية الوصلة الملاصقة لأحد ساقي الزاوية، وذلك بحساب درجة النحافة النسبية الفعالة $\overline{\lambda}_{eff}$ كما يلي وأخذ أكبر القيم الثلاث الآتية كما في الشكل (10-1).



الشكل (10-1): مقطع الزاوية L

التحنيب حول المحور V–V: $\overline{\lambda}_{eff,V} = 0.35 + 0.7 \cdot \overline{\lambda}_V$

التحنيب حول المحور Y–Y: $\overline{\lambda}_{eff,Y} = 0.50 + 0.7 \cdot \overline{\lambda}_Y$

التحنيب حول المحور Z–Z: $\overline{\lambda}_{eff,Z} = 0.50 + 0.7 \cdot \overline{\lambda}_Z$

وتحدد قيم درجة النحافة النسبية $\overline{\lambda}$ من النحافة العادية: $\lambda = \frac{\ell}{i}$ كما يلي:

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\beta_A} \qquad (1\text{-}10)$$

حيث: $\beta_A = 1$ من أجل المقاطع ذات الدرجة 3,2,1.

$\beta_A = A_{eff} / A$ من أجل المقطع ذي الدرجة 4 تحسب:

$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 92.9 \cdot \varepsilon \quad , \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \qquad N/mm^2 \qquad (2\text{-}10)$$

2- يعتمد على درجة النحافة النسبية الفعالة $\overline{\lambda}_{eff}$ المحسوبة في البند السابق في تحقيقات التحنيب لعناصر القطريات بمقطع L مع اعتماد خط التحنيب C وفقد البند (2-12-7).

3- يجب أن تؤخذ بالحسبان لامركزية الوصلة في حال استعمال وصلة ببرغي واحد لعنصر القطرية بمقطع زاوية L، وكانت هذه الوصلة قابلة للتشوه، ويؤخذ طول التحنيب ℓ مساوياً للطول الهندسي في الجملة الشبكي L.

10-2 الأعمدة الشبكية المضغوطة ذات المقطع المؤلف من عدة أجزاء

10-2-1 أساسيات

1- تدعى العناصر الإنشائية المعرضة لإجهادات ناتجة عن قوة ضاغطة، والتي تتكون مقاطعها العرضية من جزئين أو أكثر بالأعمدة الشبكية، وتتألف من أجزاء رئيسة (أوتار) تتباعد عن بعضها بأبعاد منتظمة، وتربط بينها عوارض (عناصر ربط)، وتصمم مع الأخذ بالحسبان تشوه ابتدائي بقيمة $e_o = \ell / 500$.

2- تحسب قيم القطع (القوى والعزوم الداخلية) في الأجزاء الرئيسة (الأوتار) المشكلة لمقطع العمود الشبكي، المعرض إلى قوى ضاغطة مع الأخذ بالحسبان التشوهات الحاصلة في العمود، وكذلك في الوصلات الداخلية والمقاطع المساعدة (عناصر الربط).

3- تُحقق الإجهادات في العناصر الرئيسة والعناصر المساعدة وفق الباب السابع، بما يخص التحنيب وقابلية التحميل للعناصر المضغوطة وفق الفصل رقم (7-12)، أما الوصلات فتحقق وفق الباب الثامن.

4- تشمل طريقة تحقيق الإجهادات في الأعمدة الشبكية المضغوطة ذات المقاطع المؤلفة من جزئين، وهي بشكل استثنائي قابلة للاستعمال لتحقيق الأعمدة الشبكية المضغوطة ذات المقاطع المؤلفة من أكثر من جزئين.

بالإضافة إلى القوى الضاغطة الطولية يجب الأخذ بالحسبان العزم والقوى الأخرى المؤثرة على الأعمدة الشبكية المضغوطة الناتجة عن الوزن الذاتي وحمولات الرياح.

10-2-2 العمود الشبكي العادي

10-2-2-1 مجال الاستعمال

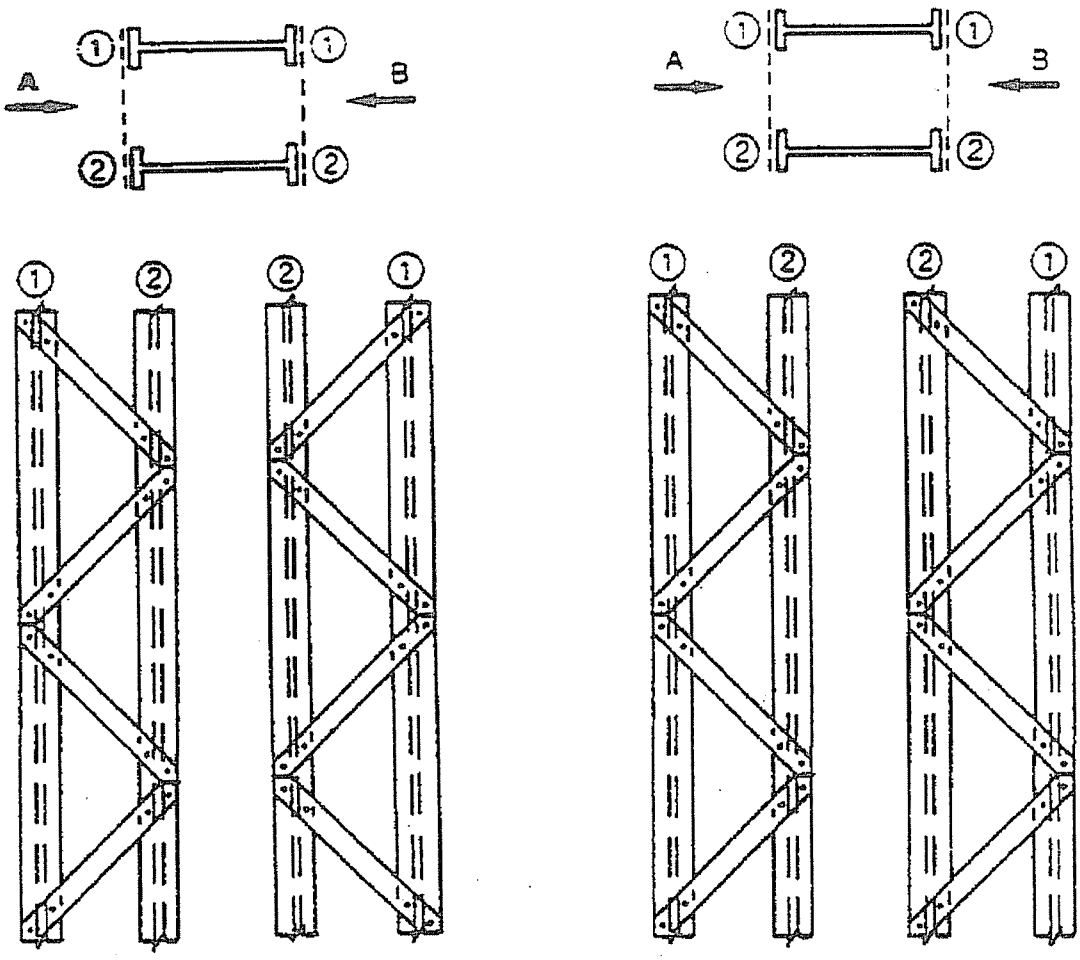
1- تشمل القواعد المقدمة لاحقاً علاقات حساب وتصميم العناصر المتشابهة من الأعمدة الشبكية العادية المجهدة بقوة ضاغطة N_{Ed}، والمشكلة مقاطعها من جزئين، أو ثلاثة أجزاء رئيسة (أوتار).

2- يمكن أن يتألف مقطع الوتر كعنصر إنشائي حمال من جزء واحد، أو عدة أجزاء متعامدة على المستوى المعتبر بالدراسة.

3- عند وجود أي اختلاف أو انحراف عن هذه الفرضيات، يجب تغيير أو إكمال هذه القواعد.

10-2-2-2 ترتيبات إنشائية

1- ينصح بالتشبيك المتماثل لعناصر الربط من الجهتين المتقابلتين للأوتار في الأعمدة الشبكية، كما في الشكل (10-2).



عناصر ربط من الجهة A عناصر ربط من الجهة B لا ينصح بعناصر الربط المتخالفة

عناصر ربط من الجهة A عناصر ربط من الجهة B ينصح بعناصر الربط المتماثلة

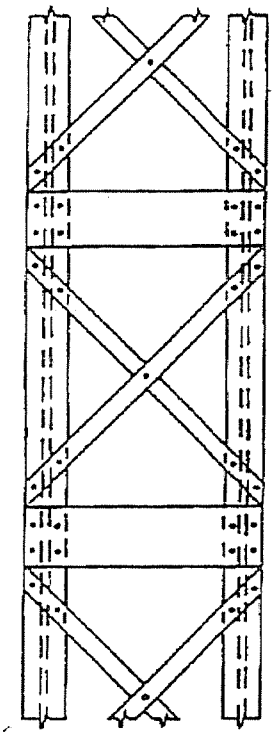
الشكل (10-2): التشبيك المتماثل والمتخالف في واجهات الأعمدة الشبكية

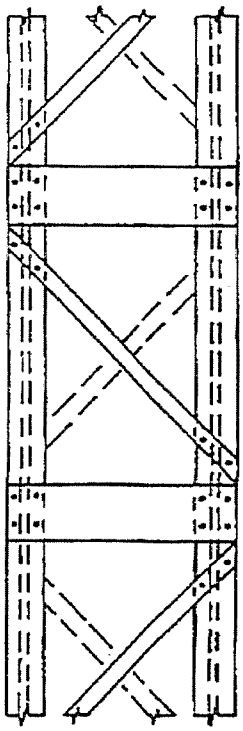
2- يجب تجنب التشبيك المتخالف لعناصر الربط من الجهتين المتقابلتين للأوتار في الأعمدة الشبكية كما في الشكل (10-2).

3- هناك ضرورة لإضافة عناصر ربط عرضية بين الأوتار في نهاية عناصر الأوتار، حيث يوجد إمكانية لكسر عناصر الربط، أو في منطقة وصلة العمود الشبكي مع عناصر إنشائية أخرى.

4- يمكن أن تكون عناصر الربط العرضية بين الأوتار صفائح، أو عناصر تشبيك بمقاطع متناظرة، أو عناصر بمقطع L أو غير ذلك.

5- يجب استنتاج قوى القطع (القوى الداخلية في المقطع) في عناصر الربط العرضية الناتجة عن تشوهات الأوتار، وتصميم مقاطع عناصر الربط ووصلاتها مع الأخذ بالحسبان هذه التشوهات، إذا كانت الروابط العرضية بين الأوتار شكلت بالتشبيك المتصالب من طرف واحد وهو المفضل، أو التشبيك المتصالب لعناصر الربط من طرفي الأوتار فلا ينصح بها، كما في الشكل (10-3).





ينصح بعناصر الربط المتصالبة　　لا ينصح بعناصر الربط المتقابلة

الشكل (10-3): عناصر الربط في الوصلات مع عناصر عرضية أخرى عمودية على محور الأوتار

6- يجب استعمال اللحام أو عناصر التجميع الأخرى في وصلات عناصر الربط مع الأوتار.

10-2-2-3 عزوم العطالة

يحسب عزم العطالة الفعال للأوتار I_{eff} للعمود الشبكي بمقطع ذي جزئين بالعلاقة:

$$I_{eff} = 0.5 \cdot h_o^2 \cdot A_f \qquad (3\text{-}10)$$

A_f: مساحة المقطع العرضي للجزء الواحد

h_o: التباعد بين مراكز الثقل للأوتار في المقطع

10-2-2-4 قوى الوتر في منتصف العمود

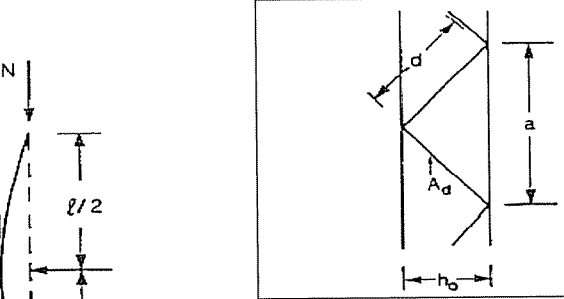
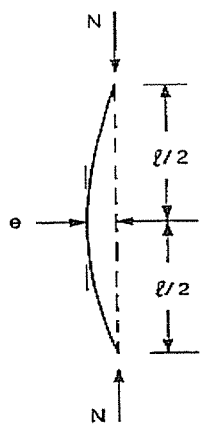
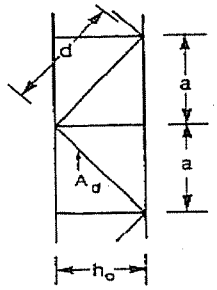
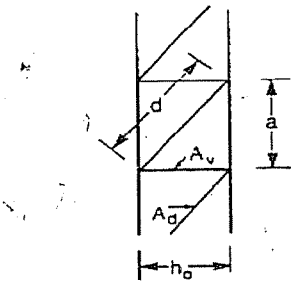
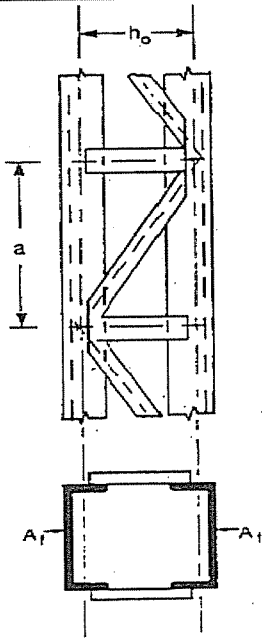
1- يجب أن تستنتج قوة الوتر في المنتصف $N_{t,Ed}$ من العلاقة الآتية:

$$N_{t,Ed} = 0.5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_S}{h_o} \qquad (4\text{-}10)$$

حيث تحسب :

$$M_S = \frac{N_{Ed} \cdot e_o}{(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_V})} \quad ; \quad e_o = \frac{\ell}{500} \quad ; \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{eff}}{\ell^2}$$

2- أما S_v فهي صلابة القص لعناصر الربط (قوة القص التي تؤدي إلى تشوه قيمته $\gamma = 1$)، وهي معطاة في الشكل (10-4) لعدة أشكال من الأعمدة الشبكية.

S_v	الجملة	
$\frac{n \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{2 \cdot d^3}$		
$\frac{n \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3}$		
$\frac{n \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3 \cdot \left(1+\frac{A_d \cdot h_0^3}{A_v \cdot d^3}\right)}$		
n: عدد الأوتار المتوازية A_v أو A_d: مساحة مقطع للوتر الواحد		

الشكل (10-4): بعض الأشكال من الأعمدة الشبكية

10-2-2-5 أطوال التحنيب للأوتار

1- يستنتج طول التحنيب للعمود الشبكي في مستوي الجملة الإنشائية من طول العنصر الهندسي ونستعمل لذلك الطول بين وصلتي عنصر الوتر.

2- يتعلق طول التحنيب (1) المستعمل في حساب التقوس حول المحور الضعيف للأعمدة الشبكية، بمقاطع مؤلفة من أربع أوتار متساوية من مقاطع بشكل زاوية، مع عناصر ربط من كلا الطرفين وبشكل التشبيك لعناصر الربط، ويؤخذ كما في الشكل (10-5).

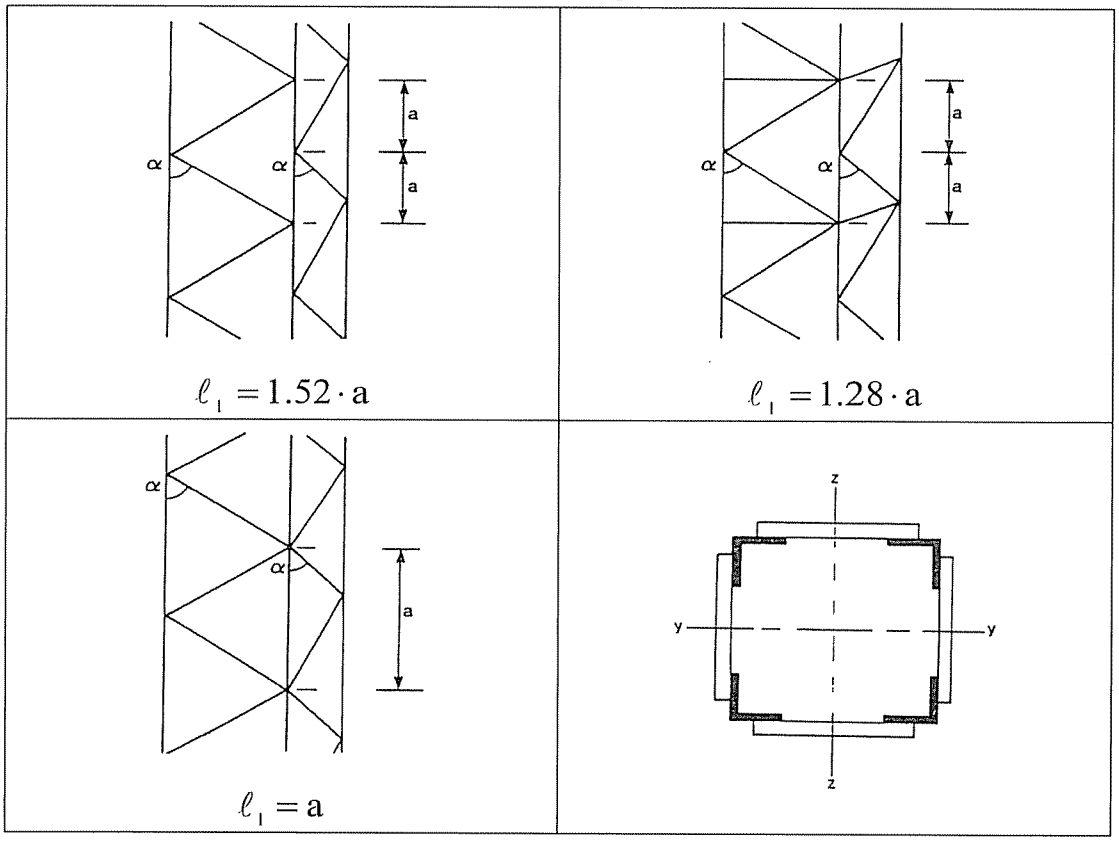
10-2-2-6 القوى في عناصر الربط

- يجب أن تحسب القوى في عناصر الربط في نهاية الأعمدة الشبكية من القوة القاطعة V_s المحددة بالعلاقة الآتية:

$$V_S = \frac{\pi \cdot M_S}{\ell} \qquad (5\text{-}10)$$

- تحسب قيمة M_S كما في 10-2-2-4، أما القوة المحورية N_d في القطريات تحسب بالعلاقة الآتية وقيم h_o, n, d وفقاً للشكل (10-4):

$$N_d = \frac{V_S \cdot d}{n \cdot h_o} \qquad (6\text{-}10)$$



الشكل (10-5): أطوال تحنيب الأوتار في الأعمدة الشبكية

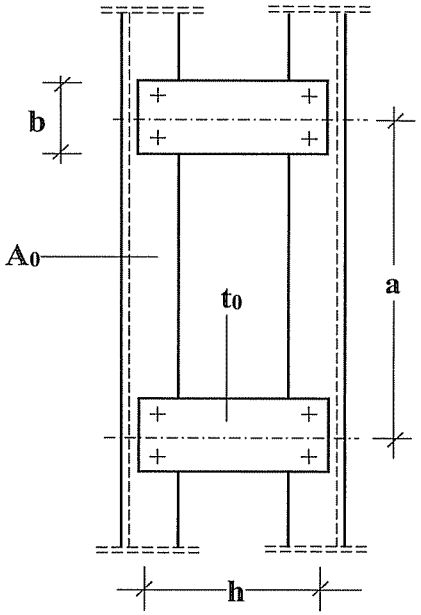
10-2-3 العمود الإطاري

10-2-3-1 مجال الاستعمال

1- تشمل القواعد المقدمة لاحقاً للحساب والتصميم العناصر المتشابهة من الأعمدة المطوقة، وهي التي تكون فيها عناصر الربط صفائح مبسطة أفقية، فتسمى بالأعمدة المطوقة، وفي بعض المراجع تسمى بالأعمدة الإطارية، لأنها على شكل إطار معدني بعدة طوابق. وهذه الأعمدة المجهدة بقوة ضاغطة N_{Ed} مشكلة مقاطعها من جزئين رئيسين (أوتار) بتباعد متساوي، الشكل (10-6).

2- يمكن أن يتألف مقطع الوتر كعنصر إنشائي حمال من جزء واحد أو عدة أجزاء متعامدة مع المستوى المعتبر بالدراسة.

3- عند وجود أي اختلاف أو انحراف عن هذه الفرضيات، يجب تحسين وإكمال هذه القواعد.



الشكل (10-6): الأعمدة الإطارية

10-2-3-2 ترتيبات إنشائية

1- يجب تركيب صفائح رابطة في نهايات العمود الشبكي الإطاري الحمال.

2- من الضروري أن تركب صفائح الربط بعيدة عن موقع نقطة تطبيق القوة ونقطة الاستناد الجانبية.

3- تقسم صفائح الربط الأفقية طول العنصر إلى أجزاء، ويجب أن يزيد عددها عن ثلاثة، وهذا ساري المفعول لأجل الاستناد الجانبي، والذي يؤخذ التباعد فيه كطول للتحنيب، يجب أن تكون صفائح الربط متشابهة، ومتساوية التباعد عن بعضها قدر الإمكان.

4- توضع الصفائح بشكل متناوب عند ترتيبها في عدة مستويات.

5- عند إهمال تشوهات الانعطاف في صفائح الربط لتحديد قيمة S_v، يجب أن يكون عرض صفيحة الربط في نهاية العمود ليس أصغر من h_o، وأن التباعد بين صفائح الربط ليس أصغر من $0.5h_o$، ويعرف h_o بأنه التباعد بين مراكز ثقل محاور الأوتار في مقطع العمود الشبكي الإطاري.

6- إذا أهملت تشوهات الانعطاف في صفائح الربط عند تهديد قيمة S_v، يجب أن تحقق الصفائح الشرط الآتي:

$$\frac{n \cdot I_b}{h_o} \geq 10 \cdot \frac{I_f}{a} \qquad (7\text{-}10)$$

حيث I_b : عزم العطالة لصفيحة الربط

I_f : عزم العطالة لعنصر الوتر

h_o : التباعد بين مراكز ثقل الأوتار

a : محاور صفائح الربط

n : عدد صفائح الربط في المستوي

3-3-2-10 عزوم العطالة

يحسب عزم العطالة الفعال I_{eff} للعمود الشبكي الإطاري ذي وترين بالعلاقة الآتية:

$$I_{eff} = 0.5 \cdot h_o^2 \cdot A_f + 2 \cdot \mu \cdot I_f \qquad (8\text{-}10)$$

ومن أجل $\lambda \leq 75 \leftarrow \mu = 1$، $150 > \lambda > 75 \leftarrow \mu = \frac{2 \cdot \lambda}{75}$، $\lambda > 150 \leftarrow \mu = 0$

وتحسب درجة النحافة المعروفة كما يلي: $\lambda = \frac{\ell}{i_o}$ حيث:

A_f: مساحة مقطع عنصر الوتر

I_f: عزم العطالة لعنصر الوتر

h_o: التباعد بين مراكز ثقل الأوتار

تحسب $I_o = \sqrt{\frac{0.5 \cdot I_l}{A_f}}$ و $I_{eff} = I_l$ عندما $\mu = 1$.

4-3-2-10 قوى الوتر في منتصف العمود

1- يجب أن تستنتج قوى الوتر $N_{t,Ed}$ في المنتصف من العلاقة الآتية:

$$\boxed{N_{t,Ed} = 0.5 \cdot \left(N_{Ed} + \frac{M_S \cdot h_o \cdot A_f}{I_{eff}} \right)} \qquad (9\text{-}10)$$

تحسب:

$$M_S = \frac{N_{Ed} \cdot e_o}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_V}\right)} \quad ; \quad e_o = \frac{\ell}{500} \quad ; \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff}}{\ell^2}$$

2- إذا تحقق الشرط اللازم لإهمال تشوهات الانعطاف في صفائح الربط وفق العلاقة (10-7)، فإن S_v صلابة القص لعناصر الربط تعطى بالعلاقة الآتية:

$$S_V = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_f}{a^2} \qquad (10\text{-}10)$$

3- وإذا لم يتحقق الشرط لإهمال تشوهات الانعطاف في صفائح الربط فإن قيمة S_v تحسب مع الأخذ بالحسبان قابلية التشوه في صفائح الربط، بالعلاقة (10-11).

$$S_V = \frac{24 \cdot E \cdot I_f}{a^2 \cdot \left(1 + \frac{2I_f}{n \cdot I_b} \cdot \frac{h_o}{a}\right)} \leq \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_f}{a^2} \qquad (11\text{-}10)$$

10-2-3-5 أطوال التحنيب للأوتار

يجب أن يؤخذ البعد الهندسي بين محاور صفائح الربط عند حساب طول التحنيب لعنصر الوتر في مستوي صفائح الربط.

10-2-3-6 حساب عزم الانعطاف والقوة القاطعة في صفائح الربط

1- يجب أن تحسب قيم القطع في صفائح الربط التي تقع وصلاتها على الأوتار وبين عناصر الأوتار وفقاً لمعطيات الشكل (10-7)، وعلى ذلك تحسب القوة القاطعة V_s كما يلي:

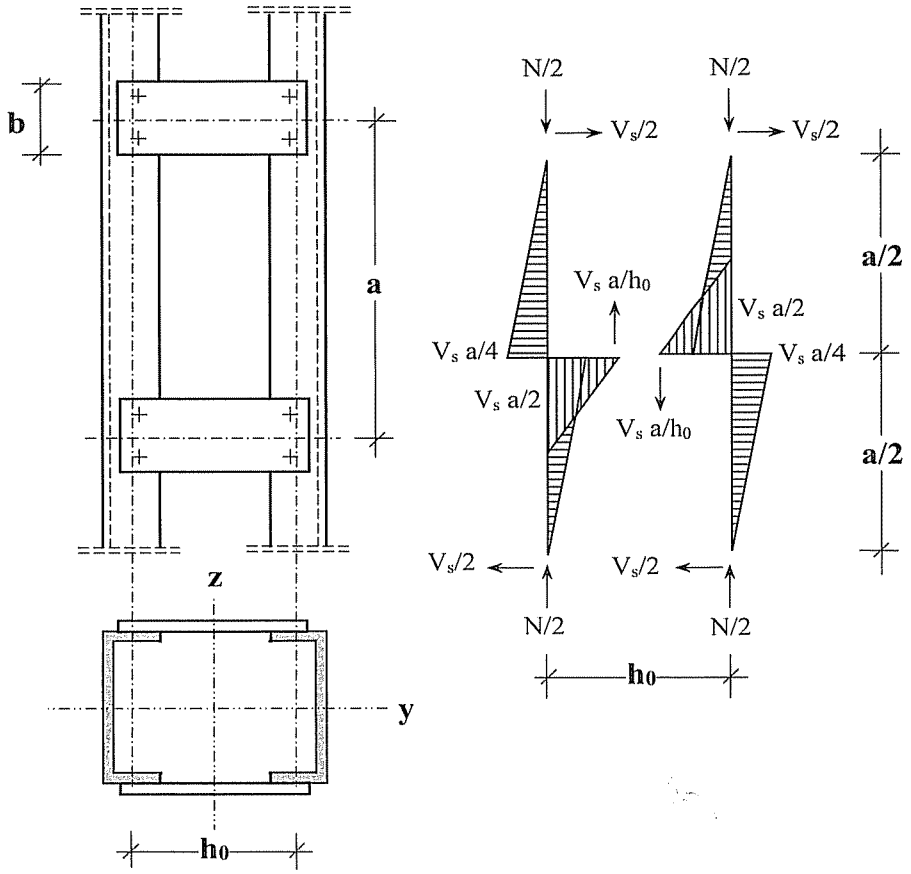
$$V_S \leq \frac{\pi \cdot M_s}{\ell} \qquad (a\text{-}12\text{-}10)$$

وتحسب قيمة العزم:

$$M_S = \frac{N_{Ed} \cdot e_o}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_V}\right)} \qquad (b\text{-}12\text{-}10)$$

2- يمكن وفق هذه التحقيقات أن نطبق جزء من القوة الناظميه ($0.5\ N_{Ed}$) في الوتر الواحد على امتداد طول العمود الإطاري.

3- يمكن استعمال التخفيض لحدود العزم اللدن، عندما يكون عنصر الوتر ذي مقطع عرضي غير متناظر بالنسبة لمحورين (مثلاً مقطع]]، والمحسوب للمقطع كقيمة متوسطة لقيمة عزم الانعطاف الموجب والسالب.



الشكل (10-7): وصلات صفائح الربط في الأعمدة الإطارية

الباب الحادي عشر

11 التصنيع والتركيب

1-11 عموميات

1-1-11 مجال الصلاحية

1- يعرض هذا الباب المتطلبات الأساسية لأجل التصنيع والتنفيذ السليم، والتي تُحقق من خلالها فرضيات التصميم المقترحة من الكود، مثل الحسابات والقياسات، وبتحقيق بهذه المتطلبات يتم الوصول إلى مستوى جيد للأمان.

2- إن المتطلبات الدنيا تكون كافية لأجل المنشآت المجهدة بالحمولات الستاتيكية (الساكنة)، أما المتطلبات العليا للتصنيع والمستوى الرفيع بالنسبة للفحص وتنفيذ التجارب، يجب إجراءها لأجل المنشآت المجهدة بالحمولات غير الستاتيكية، وذلك تبعاً لتفاصيل الإنشاء ومتطلبات مقاومة تعب الفولاذ أو ضروريات أساسية أخرى.

3- في حال وجود بعض المتطلبات الأخرى يجب أن تحدد حسب خصوصية المشروع.

2-1-11 المتطلبات

1- مع افتراض أن مادة البناء الأساسية وعناصر الوصل ومعدن خيط اللحام تطابق الشروط المنصوص عنها في الفصل رقم (11-3)، يجب أن يكون التنفيذ ومتطلباته يوافق مجموعات الكود الأوروبي الآتية والمذكورة بالملحق B من المرجع (1) و (2):

- مجموعة الكود رقم 6: تصنيع المنشأ المعدني
- مجموعة الكود رقم 7: تنفيذ وتركيب المنشأ المعدني
- مجموعة الكود رقم 8: رص وتركيب البراغي مسبقة الإجهاد
- مجموعة الكود رقم 9: لحام المنشأ المعدني

2- في حال استعمال عناصر إنشاء أخرى، يجب تحديد متطلبات أخرى إضافية لضمان مستوى أمان متساوي.

2-11 تفصيلات المشروع

1- على مهندس التنفيذ أن يتولى خصوصيات وتفاصيل المشروع، التي تحتوي جميع متطلبات مواد الإنشاء والتنفيذ والتصنيع، إلى أن يحصل التوافق بين فرضيات الحسابات وكل جملة إنشائية.

2- يجب أن تحوي تفاصيل وخصوصية المشروع في الفصل المحدد على الأمور الأربعة الآتية:

- التصنيع، التنفيذ، الاختبار، الاستلام.

3- يجب أن تحوي تفصيلات المشروع جميع المتطلبات الهامة التي يقدمها هذا الباب وذلك في الفصول (3-11) وحتى (7-11).

4- يمكن توضيح تفاصيل وخصوصية المشروع من خلال إضافة الرسومات المناسبة.

5- يمكن استكمال متطلبات مجموعات الكود المذكورة بالملحق B من المرجع (1) و (2) من خلال تفصيلات المشروع، بحيث لا يفرط بالمتطلبات التقنية، ومن دون استبدال المتطلبات الدنيا المنصوص عنها في هذا الباب.

6- بعد تقديم تفاصيل مقبولة للمشروع لا يمكن إجراء تغيرات أو تعديلات في المخططات المقدمة للجهات الحكومية (البلديات) أو النقابية المراقبة للمشاريع من دون موافقة المهندس المصمم.

7- يجب أن تطابق المتطلبات المحددة في تفاصيل المشروع قواعد مجموعات الكود المذكورة بالملحق B من المرجع (1) و (2) ، طالما أن هناك إمكانية لتنفيذ ذلك.

3-11 تصنيع وتنفيذ القواعد

1- يجب استبعاد المواد المتصلبة مثل الفولاذ القصيف (الفولاذ من دون مصطبة لدونة)، أو الفولاذ ذو نسبة تطاول صغيرة، نتيجة تجربة الشد وذلك في الحالات الآتية:

أ- عند استعمال طريقة الحسابات اللدنة في التصميم، وفي حال افتراض تشكل مفصلي سيلان في العنصر الإنشائي الحمال من كلا الطرفين على بعد مساوي من ارتفاعه

ب- عندما تسيطر الحمولات الديناميكية (غير الساكنة) وفي حال تم التصميم وفق نموذج التفصيل رقم 140 و 160 في حسابات تعب الفولاذ

ت- عند التصميم مع الأخذ بالحسبان فعل الهزات الأرضية، أو الأفعال غير الاعتيادية واستعمال حالة التشوهات اللدنة.

2- يجب تحديد المناطق التي لا يمكن وضع مواد متصلبة فيها، في تفصيلات ومخططات المشروع، وذلك حسب ما ذكر من الحالات المشروحة في البند السابق.

3- يجب تطبيق التفاصيل الآتية في الأساس لمجموعة الكود رقم 6 المذكورة بالملحق B من المرجع (1) و (2)، وذلك في المناطق التي يجب أن تكون خالية من المواد المتصلبة:

- تقليم الزوايا المعرضة للحريق وقص الحواف

- تسوية حواف الثقوب المنفذة بالانبعاج
- وضع علامات خاصة بواسطة أرقام
- إجراء خيوط لحام مساعدة بالتنفيذ
- تحسين السطوح.

4- يجب توضيح المناطق التي يجب إخلاءها من المواد المتصلبة في الرسومات وأن توضع لها علامات.

4-11 التجهيزات الأولية لمادة الإنشاء

1- يجب أن تتم عملية التهيئة والتجهيز الضروريين لتشكيل القطع المعدنية باستعمال طرائق لا تخفض ميزات مواد البناء تحت القيم المعتمدة المحددة.

2- يجب الحفاظ على الأجزاء الفولاذية المطلية بالتوتياء، إذا كان ذلك ضرورياً، وذلك ضمن الحدود الدنيا المسموحة خلال عملية التجهيز أو التشكيل.

3- يجب أن تكون السطوح الظاهرية أو الحواف (الزوايا) خالية من الأخطاء، لكي لا تؤثر بالضرر على فاعلية حماية السطوح الظاهرية من خلال تنفيذ تفاصيل المشروع.

4- يجب تحديد متطلبات استواء سطوح الاتصال بين العناصر لتحمل قوى الضغط بشكل واضح.

5- بعض الأوامر والتعليمات لا يمكن إلا أن تحدد ضمن تفاصيل المشروع على المخططات.

5-11 وصلات البراغي

1-5-11 الثقوب

1- يمكن تنفيذ ثقوب البراغي بالثقب، أو بعملية انبعاج الصفيحة، طالما أنه ليس هناك تفاصيل أخرى.

2- يفضل الثَقب بالآلات لتنفيذ الثقوب، ويمكن تنفيذ عملية الثقب بالانبعاج أيضاً بمرافقة حك أطراف الثقب وتسوية جدران الثقب.

3- ميلان الثقب لأجل البراغي الشاقولية يجب أن يطابق المواصفات المحددة في مجموعة الكود رقم 3 المذكورة بالملحق B من المرجع (1) و (2) من أجل البراغي الشاقولية.

4- يجب الانتباه إلى أن مسافة عمق الانخفاض تحت رأس البرغي، أن تكون كافية لسحب رأس البرغي إلى الأسفل، حيث يكون هذا الانخفاض ضرورياً في أكثر من موقع من وصلات البراغي.

5- تنفذ الثقوب الطولية أما بانبعاج الصفيحة، أو بثقب الصفيحة بآلة الثقب، أو إجراء الانبعاج للصفيحة بثقبين دائرين، ومن ثم تشكيل شق وقص الصفيحة بينهما، ويتبع هذا العمل تأمين إمكانية أن يتحرك البرغي في ثقبه بسهولة على امتداد الثقب الطولي.

11-5-2 مسافة تحرك البرغي في ثقبه

1- تبلغ المسافة النظامية لتحرك البرغي في ثقبه لأجل الوصلات البراغي العادية ما يلي:

- 1 mm لأجل براغي بأقطار M 12 و M 14.
- 2 mm لأجل براغي بأقطار M 16 حتى M 24.
- 3 mm لأجل براغي بأقطار M 27 وأكبر.

ويستثنى من ذلك حالات البراغي المحشورة في الثقوب (البرغي ذات مسافة التحرك الصغيرة في الثقب)، أو البرغي ذات المسافة المحدودة للتحرك في ثقبه، أو الثقوب الكبيرة المحددة.

2- يمكن استعمال الثقوب ذات المسافة الصغيرة لحركة البرغي في وصلات البراغي العادية.

3- يمكن أن تكون ثقوب براغي المرساة كبيرة في الأساس، ويجب تحديد ذلك في تفاصيل المشروع بافتراض أن هذه الثقوب مغطاة بصفائح تغطية ذات أبعاد وسماكة كافية. لا يمكن أن تكون هذه الثقوب أكبر في صفائح التغطية من الثقوب العادية.

4- يجب أن لا تزيد حدود قياسات الثقوب النظامية للثقوب الطولانية القصيرة في وصلات الانزلاق عن مما يلي:

- $(d+1)\,mm$ حتى $(d+4)\,mm$ لأجل براغي بأقطار M 12 و M 14.
- $(d+2)\,mm$ حتى $(d+6)\,mm$ لأجل براغي بأقطار M 16 و M 22.
- $(d+2)\,mm$ حتى $(d+8)\,mm$ لأجل براغي بقطر M 24.
- $(d+3)\,mm$ حتى $(d+10)\,mm$ لأجل براغي بأقطار M 27 وأكبر.

5- لا يمكن أن تكون حدود قياسات ثقوب النظامية للثقوب الطولية الكبيرة في وصلات الانزلاق أكبر مما يلي:

- $(d+1)\,mm$ حتى $2.5 \cdot d\,mm$ لأجل براغي بأقطار M 12 و M 14.
- $(d+2)\,mm$ حتى $2.5 \cdot d\,mm$ لأجل براغي بأقطار M 16 حتى M 24.
- $(d+3)\,mm$ حتى $2.5 \cdot d\,mm$ لأجل براغي بقطر M 27 وأكبر.

6- يجب تغطية الثقوب الطولية الكبيرة في المساحات الظاهرية عبر صفائح التغطية ذات الأبعاد والسماكة الكافية.

7- يجب تحديد الأبعاد الضرورية لأجل الثقوب الطولية الكبيرة في الوصلات المتحركة بشكل واضح.

11-5-3 البراغي

1- طالما أن التصميم يعتمد على أن سطوح القص تقع في الجزء الأملس من جسد البرغي، يجب أن تحدد الإجراءات المطابقة لضمان تنفيذ ذلك، مع الأخذ بالحسبان الفروق المسموحة لكي لا يقع الشرار ولا يترك ضمن سطح القص.

2- يمكن استعمال البراغي ذات الشرار حتى رأس البرغي (الشرار على كامل جسد البرغي)، إلا إذا منع ذلك في تفصيلات المشروع ضمن المخططات.

3- يجب أن يكون طول البرغي غير مسبق الإجهاد كبير، بحيث يأخذ بالحسبان الفروق المسموحة الآتية:

- يبرز الشرار خارجاً بعد شد البرغي من طرف الصمنة.
- يبقى من الشرار داخلاً بين الصمنة والمنطقة الخالية من الشرار (الملساء)، على الأقل دائرة شرار واحدة.

4- يجب أن يكون طول البرغي المسبق الإجهاد كبير، بحيث يأخذ بالحسبان الفروق المسموحة الآتية:

- يبرز الشرار خارجاً بعد شد البرغي من طرف الصمنة.
- يبقى داخلاً على الأقل 4 دوائر شرار بين الصمنة والمنطقة الخالية من الشرار (الملساء).

11-5-4 الصمنه

1- يجب تنفيذ الإجراءات اللازمة لضمان عدم حل الصمنه بشكل غير مقصود في وصلات البراغي، وذلك في الجمل الإنشائية المعرضة للإجهادات المتعاكسة.

2- يجب ضمان شد الصمن عبر أجهزة الفرملة، أو أدوات أخرى ميكانيكية، في حال استعمال براغي غير مسبقة الإجهاد في الجمل الإنشائية ذات الإجهادات المتعاكسة.

3- يمكن ضمان شد الصمن عبر سبق إجهاد كافي لأجل البراغي مسبقة الإجهاد.

11-5-5 الحلقات (الروانديلات)

1- الحلقة (الروانديله) التي توضع تحت الرأس والصمنه، ليست ضرورية للبراغي غير مسبقة الإجهاد ما عدا الحالات الآتية:

- يجب استعمال روانديلات بشكل أسافين إذا كانت المساحة المحددة تميل بزاوية أكبر بثلاث درجات عن مستوى عمودي على محور البرغي.
- يجب تركيب روانديلات عندما يكون من متطلبات تفاصيل المشروع استعمال البراغي الطويلة من دون أن يقع شرار البرغي في سطح القص.

2- إن استعمال الروانديلات الصلبة (من فولاذ قاسي) في البراغي مسبقة الإجهاد ضرورياً في الحالات الآتية:

- يجب تركيب حلقات (روانديلات) صلبة تحت جزء البرغي الدوار والصمنه.
- يجب تركيب حلقات صلبة أيضاً تحت جزء البرغي غير الدوار أو الصمنه، إذا ذكر ذلك في مخططات المشروع.

- يجب استعمال روندیلات مثبته بشكل أسافين إذا كان ذلك ضرورياً لضمان أن الجزء الدوار من البرغي يتحرك على مساحة عمودية على محور البرغي.
- يجب تركيب روندیلات مثبته بشكل أسافين تحت الجزء غير الدوار إذا كانت المساحة المحددة تميل بزاوية أكثر بثلاث درجات عن مستوى عمودي على محور البرغي.

11-5-6 البراغي مسبقة الإجهاد

1- يجب أن تشد البراغي غير مسبقة الإجهاد إلى الحد الذي يضمن بأن العناصر، أو الصفائح التي تربطها البراغي، مجتمعة مع بعضها.

2- ليس من الضروري أن تشد البراغي غير مسبقة الإجهاد، بحيث يتولد فيها إجهادات محددة القيمة. ويوصى أن تكون قيمة قوة الشد عموماً مضبوطة بحيث:
- يمكن توليد القوة بواسطة جهاز وبمساعدة مفتاح براغي نظامي.
- النقطة التي يجري شد جسد البرغي فيها لأول مرة تبدي مقاومة.

3- يجب إجراء عملية سبق الإجهاد للبراغي مسبقة الإجهاد، طبقاً لمجموعة الكود الأوروبي رقم 8 المذكورة بالملحق B من المرجع (1) و (2). وفي تفاصيل ومخططات المشروع يجب توضيح طرائق شد البراغي التي يمكن استعمالها لتحقيق تعليمات مجموعة الكود المذكورة أعلاه.

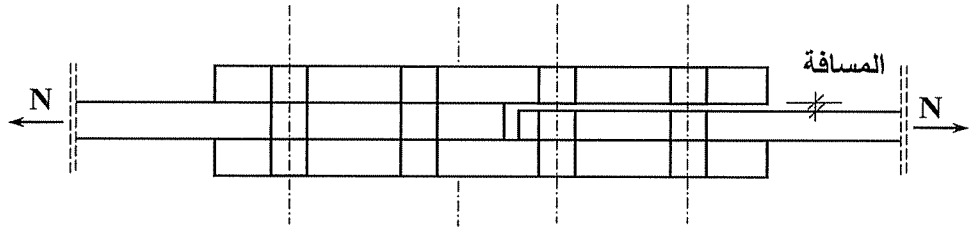
11-5-7 سطوح الاحتكاك في الوصلات المثبتة ضد الانزلاق

1- يجب تحديد المعالجة الضرورية لسطوح الاحتكاك في تفاصيل ومخططات المشروع عندما تتطلب هذه السطوح الظاهرية في وصلات البراغي معالجة خاصة.

2- إذا استعملت بعض الصفائح كحشوه في الوصلات المثبتة ضد الانزلاق، يجب إجراء تحضيرات مختلفة ضرورية لسطوح الاحتكاك لهذه الصفائح.

11-5-8 إجراءات ملائمة سطوح الاحتكاك

1- طالما تفاصيل المخططات المشروع لا تحدد قيم أصغر من القيم الآتية فإنه يجب عدم تجاوز القيم العظمى الآتية للمسافة الفاصلة بين سطوح الاحتكاك في الوصلات كما في الشكل (11-1).



الشكل (11-1): الشق الأعظمي بين سطوح الاحتكاك

- 2 mm عند استعمال البراغي غير مسبقة الإجهاد.

- 1 mm عند استعمال البراغي مسبقة الإجهاد.

2- يجب على المهندس المصمم عند استعمال البرغي مسبق الإجهاد أن يأخذ بالحسبان استغناءه عن الفاصل بسبب الفروق الضيقة.

3- يُعد تركيب صفائح حشوه ضرورياً لتأمين بقاء الفاصل، بحيث لا يتجاوز الحدود المذكورة في المخططات.

4- ماعدا الفواصل الكبيرة المحددة يجب أن تحدد السماكة الدنيا لصفائح الحشوة كما يلي:

- 2 mm ضمن الأبنية ومن دون وجود تأثير للصدأ.
- 4 mm خارج الأبنية أو مع جود تأثير الصدأ.

6-11 وصلات اللحام

1- يجب أن يتم تنفيذ التجميع باللحام بحيث تطابق الأبعاد النهائية متطلبات الفروق.

2- يجب أن تحوي تفاصيل المشروع في المخططات، المعطيات المطابقة لأجل جميع الوصلات الممكنة بالمتطلبات الآتية:

- الطرائق الخاصة للحام.
- المتطلبات الخاصة لمراقبة النوعية.
- الطريقة الخاصة للفحص.
- التنفيذ الخاص للتجارب.

3- يمكن تنفيذ اللحام في ورشة البناء، إلا إذا ذكر خلاف ذلك في مخططات المشروع.

4- يجب أن تكون الرسومات واضحة التفاصيل، فيما إذا كانت خيوط اللحام طرفاً لطرف، أو أن تكون مستمرة أو غير مستمرة. وفي حال الخيوط غير المستمرة طرفاً لطرف يجب تحديد السماكة الضرورية.

7-11 أبعاد الفروق (حدود أبعاد الأخطاء وانحرافات التنفيذ، التساهل)

1-7-11 تصنيف درجات الفروق

1- "**عادية**" تشمل أبعاد الأخطاء والفروق وأساسيات حدود انحرافات التنفيذ وهي ضرورية وتشمل:

- الفروق التي تقدمها فرضيات التصميم لأجل أمان الجمل الإنشائية المجهدة بحمولات ساكنة (ستاتيكية).
- يجب تعريف الفروق المقبولة لأجل عيوب المنشآت العالية ومتطلباتها.

2- "**خاصة**" أبعاد الفروق وحدود انحرافات التنفيذ وهي فروق ضيقة وتُعد ضرورية لتأمين فرضيات التصميم لأجل:

- المنشآت العالية العادية وغيرها.
- الجمل الإنشائية المجهدة التي يسيطر عليها حمولات غير ساكنة (غير ستاتيكية).

3- "**دقيقة**" أبعاد الفروق وحدود انحرافات التنفيذ وهي فروق ضيقة وتُعد ضرورية لتأمين وظيفة الصلابة لمنشآت خاصة أو عناصر البناء وهي تشمل:

- وصلات في منشآت غير عادية أو عناصر إنشائية مختلفة.
- منور المصعد (بئر المصعد).
- مسار الرافعة لأجل الرافعة المتحركة.
- تجهيزات المساحة الخارجية للبناء.

11-7-2 استعمال الفروق

1- يجب افتراض كل قيم الفروق في الفصل 11-7 كفروق الدرجة "عادية".

2- أبعاد فروق الدرجة العادية صالحة لأجل جُمل الإطارات العادية بطابق واحد، أو بعدة طوابق المستعملة في المنشآت السكنية وصالات صناعية ومحلات تجارية. يستثنى من ذلك ما جاء في أبعاد الفروق المحددة بالدرجة الخاصة وبالدرجة الخصوصية.

3- يجب أن تحدد أصناف أو درجات التسامح وخاصة للدرجة الخاصة وللدرجة الخصوصية بشكل واضح في مخططات المشروع.

4- يجب أن تحتوي الرسومات ذات الشأن جميع أبعاد الفروق اللازمة للدرجة التنصيف "خاصة" ولدرجة التصنيف "دقيقة" أيضاً.

11-7-3 أبعاد فروق التنفيذ العادية

1- يجب أن يوافق تنفيذ الجمل الإنشائية المعدنية غير الحمالة أبعاد الحدود المذكورة في الجدول (11-1) بالإضافة إلى الفروق المحددة الشكل (11-3).

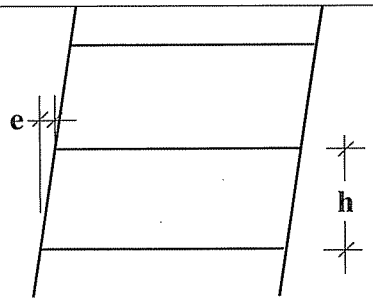
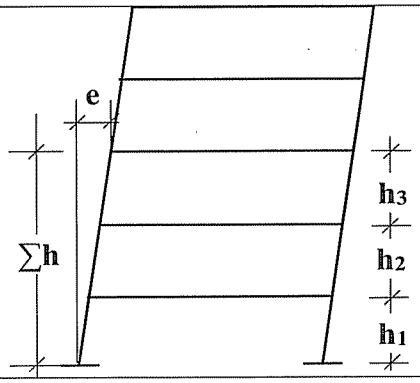
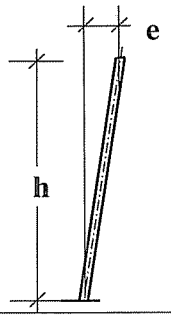
2- تُأخذ جميع الحدود المقدمة في الجداول بالحسبان منفصلة عن بعضها البعض، ويجب تطبيقها بشكل غير متعلق بعضها ببعض.

3- أبعاد فروق التنفيذ وفق الجدول (11-2) صالحة لأجل النقاط النسبية الآتية:

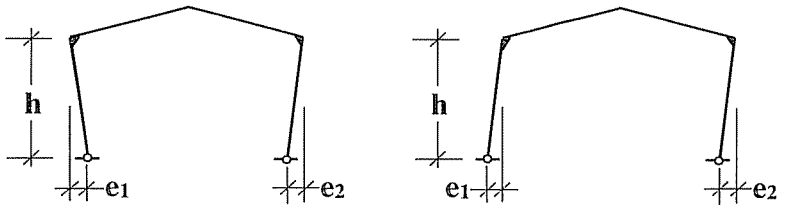
- من أجل عمود: نقطة توسط فعلية للعمود في مستوى الطابق وأرضية قدم العمود، من دون الأخذ بالحسبان صفيحة القدم وصفيحة الرأس (العمود فقط).
- من أجل جائز: نقطة توسط فعلية للمساحة الخارجية المحدودة بين نهايتي الجائز من دون الأخذ بالحسبان صفيحتي النهاية.

الجدول (11-1): أبعاد الفروق العادية بعد انتهاء التنفيذ

التحديد	الانحرافات المسموحة
انحراف التباعد بين العمدة عن بعضها	± 5 mm
وضعية العمود المائل للأعمدة فوق بعضها	**0.002 h** حيث **h**: ارتفاع الطابق
انحراف شاقولية العمود في البناء متعدد الطوابق عن مقاسه في أي طابق من سقفه إلى نقطة التثبيت في أساس العمود	$0.0035 \cdot \Sigma h / n^{1/2}$ **n**: عدد الطوابق بين السطح الأخير وأساس العمود Σh : مجموع الارتفاعات بين الطابق المعتبر وأساس العمود
وضعية العمود المائل في بناء من طابق واحد كإطار بوابة من دون مسند لجسر الرافعة	**0.0035 h** حيث **h**: ارتفاع الطابق
وضعية العمود المائل كإطار بوابة من دون مسند لجسر الرافعة	**0.002 h** عموماً **0.01 h** في حالة واحدة

الشرح	الوصف	الانحراف المسموح
وضعية العمود المائل في البناء الطابقي		$e \le 0.002 \cdot h$
انحراف وضع العمود في أي سقف طابق من نقطة قدم العمود		$e \le \frac{0.0035 \cdot \sum h}{\sqrt{n}}$
انحراف وضع العمود في بناء من طابق واحد من دون جسر رافعة		$e \le 0.0035 \cdot h$

الشكل (11-2): أبعاد الفروق العادية بعد انتهاء التنفيذ جزء 1

وضعية الميل للعمود كإطار من دون مسند رافعة

وضعية الميلان للعمود $e_1 \le 0.01 \cdot h \; ; \; e_2 \le 0.01 \cdot h$
متوسط الميلان لجملة الإطار $\frac{e_1 + e_2}{2} \le 0.002 \cdot h \quad ; \quad e_1 \ge e_2$

الشكل (11-3): أبعاد الفروق العادية بعد انتهاء التنفيذ جزء 2

11-7-4 فروق التنفيذ

1- إن فروق التنفيذ العادية من أجل المنشآت موضحة بمجموعة الكود الأوروبي رقم 6 المذكورة بالملحق B من المرجع (1) و (2).

2- فرضت فروق الاستقامة وفق الجدول (11-2) بالنظر إلى قواعد التصميم من أجل عناصر الأبنية ذات الشأن، وطالما أن الانحناء لا يتجاوز هذه القيم، فإن قيم الانحناء المسموحة هذه يجب أن تؤخذ بالحسبان خلال التصميم.

الجدول (11-2): فروق الاستقامة في تحديد قواعد التصميم

التحديد	الانحرافات المسموحة
استقامة العمود أو قضبان أخرى في البناء مجهدة بالضغط بين نقط التجميع خلال التنفيذ.	$\pm 0.001 \cdot L$ عموماً $\pm 0.002 \cdot L$ لأجل قضبان الأعمدة المضغوطة بمقاطع مفرغة ومغلقة (المجوفة)، L : الطول بين النقط الجانبية
استقامة الأجنحة للجائز المجهد بالضغط بالنسبة للمحاور الرئيسية بين نقط التجميع خلال التنفيذ.	$\pm 0.001 \cdot L$ عموماً $\pm 0.002 \cdot L$ لأجل قضبان الأعمدة المضغوطة بمقاطع مفرغة ومغلقة (مقاطع مجوفة) L: الطول بين النقط الجانبية

11-7-5 موقع براغي الإرساء

1- يمكن تحديد أبعاد الفروق لأجل انحراف موقع براغي الإرساء، بحيث تكون حدود الفروق محققة في عمليات تنفيذ المنشآت المعدنية.

2- يجب تحديد حدود الفروق العليا لانحراف براغي الإرساء، بحيث يجب أن تحدد متطلبات الفروق مع الأخذ بالحسبان تأثير العوامل الآتية:

- مستوى صفيحة القدم
- سماكة شق الصب تحت صفيحة القدم
- مسافة بروز البرغي مقابل الصمنه
- بقاء عدد من دوائر الشرر بعد الصمنه.

3- لأجل حدود انحراف بُعد الثقوب بين البرغي المنفرد ومجموعة براغي أخرى من براغي الإرساء لا يمكن تجاوز هذه القيم الآتية:

- من أجل البراغي الكبيرة الصلبة بين النقط الوسطية للبراغي ± 5 mm
- من أجل البرغي المتبدلة بين النقط الوسطية للبراغي ± 10 mm.

8-11 التجارب والاختبارات

- يجب أن تأخذ الاشتراطات المتعلقة بالاختبار والتجارب لأجل الحالة العادية، من الأنظمة المخصصة لذلك، وفي حال وجود متطلبات خصوصية للاختبار فيجب تحديدها.
- يجب أن تأخذ حدود الأبعاد من أجل الحالة العادية من الأنظمة والتعليمات الخاصة، وفي حال وجود متطلبات خصوصية للاختبار فيجب تحديدها.

الباب الثاني عشر

12 تعب المواد

12-1 عام

12-1-1 أساسيات

1- إن الهدف من تصميم منشأ على الحالة الحدية للتعب هو ضمان (مستوى مقبول للوثوقية) عمله بشكل مقبول خلال العمر التصميمي، بحيث لا ينهار المنشأ أو يتطلب إصلاح ضرر ناتج عن التعب.

2- يجب الحصول على مستوى الأمان المطلوب بتطبيق عوامل الأمان الجزئية المناسبة (انظر 12-3).

12-1-2 المجال

1- يقدم هذا الباب طريقة عامة لتقييم تعب المنشآت أو العناصر الإنشائية الخاضعة لتناوب الإجهادات المتكررة.

2- تفترض إجراءات تقييم التعب أن المنشأ يتوافق أيضاً مع متطلبات الحالات الحدية الأخرى في هذا الكود.

3- تطبق إجراءات تقييم التعب المعطاة في هذا الباب عندما تتوافق كافة المواد الفولاذية الإنشائية والدعامات والمواد المستهلكة في اللحام مع المتطلبات المحددة في الباب خواص المواد.

12-1-3 الاشتراطات

1- في تقييم التعب، يجب أن تكون جميع الإجهادات (انظر 12-1-5-7) ضمن الحدود المرنة للمادة. ويجب ألا يتجاوز مجال القيم التصميمية لهذه الإجهادات ($1.5 \cdot f_y$) في حالة الإجهادات الناظميه أو في $1.5 \cdot f_y / \sqrt{3}$ حالة إجهادات القص.

2- تطبق مقاومات التعب المحددة في هذا الباب على منشآت ذات حماية مناسبة من الصدأ وخاضعة فقط لبيئة تأكليه على نحو معتدل، كالظروف الجوية العادية (عمق التآكل لا يزيد من 1mm).

3- تطبق إجراءات تقييم التعب المعطاة في هذا الباب فقط على المنشآت الخاضعة لدرجات حرارة لا تتجاوز 150 °C.

12-1-4 ضرورة تقييم التعب

1- لا يُطلب تقييم التعب عادة في الأبنية باستثناء ما يلي:

أ- العناصر الداعمة لمعدات الرفع أو الأحمال المتحركة

ب- العناصر الخاضعة لدورات الإجهاد المتكررة من اهتزاز المهيات

ج- العناصر الخاضعة لاهتزازات بسبب الرياح.

2- لا يطلب تقييم التعب عند تحقق أحد الشروط الآتية:

أ- عندما يحقق أكبر مجال للإجهاد الإسمي $\Delta\sigma$ العلاقة:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \le 26/\gamma_{Mf} \qquad N/mm^2 \tag{1-12}$$

ب- عندما يحقق العدد الكلي لدورات الإجهاد:

$$N \le 2.10^6 \cdot [\frac{36/\gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}}]^3 \tag{2-12}$$

$\Delta\sigma_{E2}$ مجال الإجهاد الثابت السعة المكافئ (N/mm^2)

ت- في حالة مجال حد التعب الثابت السعة له $\Delta\sigma_D$. عندما يتحقق أكبر مجال للإجهاد $\Delta\sigma$ الإسمي:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_D \le \Delta\sigma/\gamma_{Mf} \tag{3-12}$$

5-1-12 تعاريف

1- **التعب:** تضرر في جزء إنشائي من خلال النمو التدريجي لشق بسبب تناوبات الإجهاد المتكرر.

2- **تحميل التعب:** مجموعة من أفعال التحميل النموذجية المحددة بأماكن الأحمال وشدتها وتكرار حدوثها النسبي.

3- **حدث التحميل:** تعاقب معين للتحميل مطبق على المنشأ ويسبب تغيراً في الإجهاد مع الزمن.

4- **تحميل التعب ثابت السعة المكافئ:** تحميل مبسط ثابت السعة يشمل **تأثير** التعب لأفعال تحميل حقيقية متغيرة السعة.

5- **تغير الإجهاد مع الزمن:** تسجيل، أو حساب، تغير الإجهاد في نقطة ما من المنشأ أثناء تطبيق حمولات التعب.

6- **مجال الإجهاد:** الفرق الجبري بين القيمتين العظمى والصغرى في دورة إجهاد معينة تشكل جزءاً من تغير الإجهاد مع الزمن.

$$\Delta\sigma_D = \sigma_{max} - \sigma_{min} \qquad \text{or} \qquad \Delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min}$$

7- **الإجهاد الاسمي:** الإجهاد في المعدن الأساسي بجوار مكان شق محتمل، محسوباً وفقاً لنظرية بمقاومة المواد المرنة البسيطة، باستثناء كافة تأثيرات تركيز الإجهاد.

8- **الإجهاد الاسمي معدل:** الإجهاد الإسمي المصعد بعامل تركيز إجهاد ملائم ليأخذ بالحسبان انقطاعاً هندسياً لم يؤخذ عند تصنيف التفصيلات الإنشائية.

9- **الإجهاد الهندسي:** الإجهاد الرئيسي الأعظمي في المعدن الأساسي بجوار جذر اللحام، حيث يأخذ بالحسبان تأثيرات تركيز الإجهاد الناتجة عن الشكل الهندسي العام للتفصيلات الإنشائية، لكنه يستثني

تأثيرات تركيز الإجهاد الموضعية الناتجة عن مقطع اللحام والانقطاعات في اللحام والمعدن المجاور.

10- **طريقة "تدفق المطر" وطريقة "الخزان"**: طرائق خاصة لتقييم طيف مجال الإجهاد من تغير معطى للإجهاد مع الزمن.

ملاحظة: هما حالتان للطريقة الأساسية نفسها.

11- **طيف مجال الإجهاد**: المخطط التجميعي لتكرار حدوث كل مجالات الإجهاد ذات المقادير المختلفة المسجلة أو المحسوبة لحمولة معينه.

12- **طيف التصميم**: مجموع كل أطياف مجالات الإجهاد ذات الصلة الوثيقة بتقييم التعب، انظر الشكل 12-1.

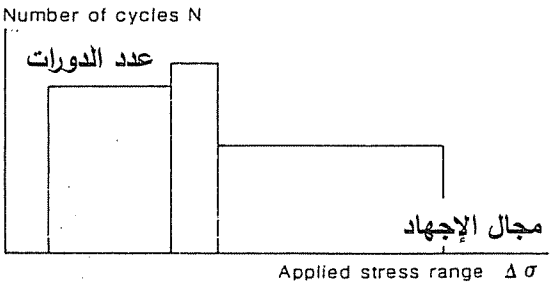
13- **مجال الإجهاد ثابت السعة المكافئ**: مجال الإجهاد ثابت السعة الذي يعطي عمر التعب نفسه الذي يؤديه طيف مجالات الإجهاد الأخرى مختلطة السعة عندما تستند المقارنة إلى "مجموع ماينر"

14- للسهولة يمكن ربط مجال الإجهاد ثابت السعة المكافئ بعدد كلي 2 مليون من دورات مجالات الإجهاد مختلفة السعة.

15- **عمر التعب**: العدد الكلي لدورات تغير الإجهاد المتوقع أن يحدث انهيار على التعب.

16- **مجموع ماينر**: حساب الضرر التراكمي الخطي المستند إلى قاعدة بالمجرين وماينر.

17- **حد التعب الثابت السعة**: قيمة مجال الإجهاد الحدي الذي يصبح تحقيق مقاومة المقطع على التعب ضرورياً في حال تجاوزت الإجهادات هذه القيمة.



الشكل (12-1): طيف التصميم على التعب

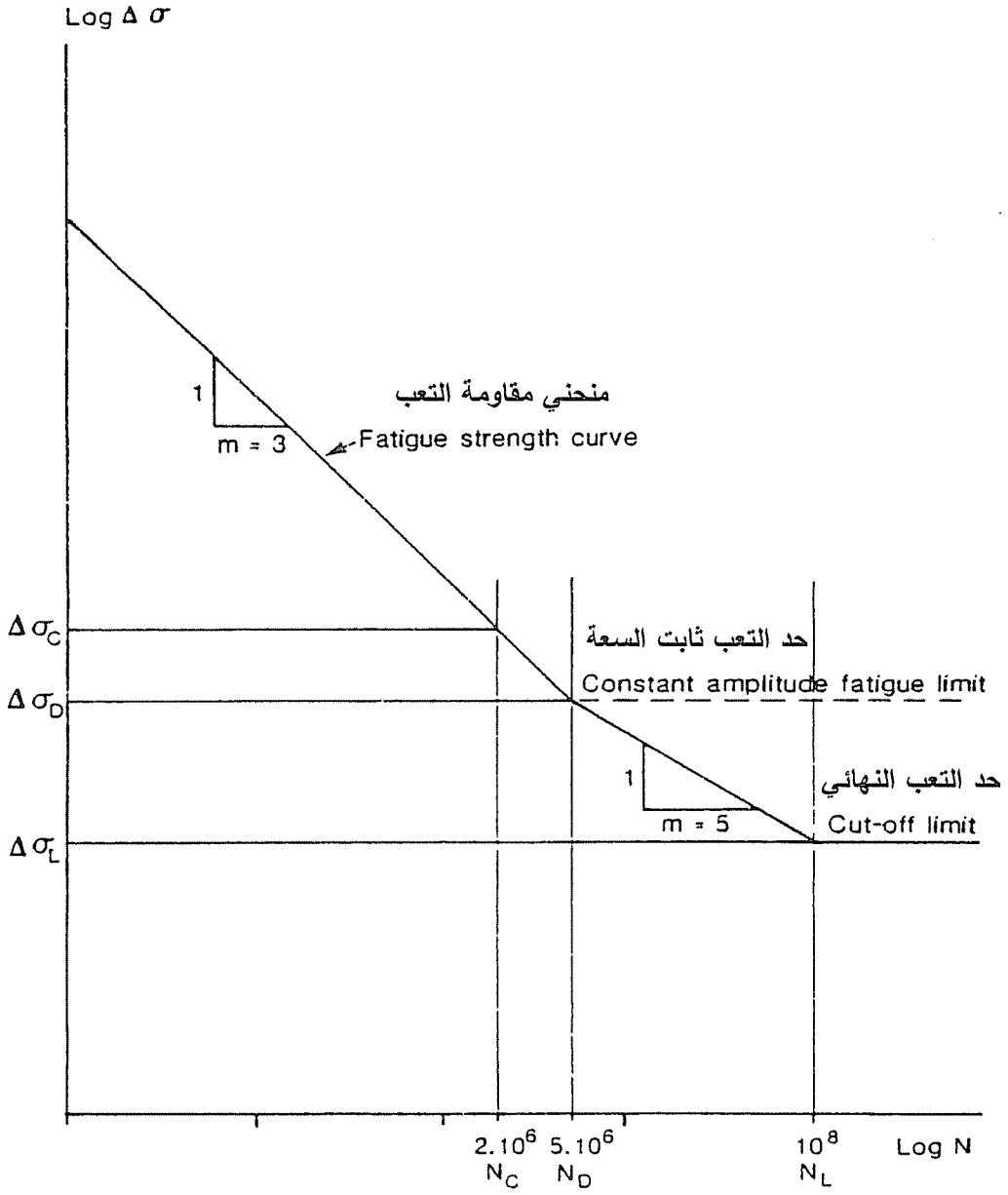
18- **صنف الوصلات**: الاسم المعطى لوصلة معينة ملحومة، أو موصول بالبراغي للإشارة إلى منحني من منحنيات مقاومة التعب يُطبق لتقييم التعب.

19- **منحني مقاومة التعب**: العلاقة الكمية التي تربط انهيار التعب بمجال الإجهاد وعدد دورات الإجهاد، يُستعمل لتقييم التعب للوصلات الإنشائية، انظر الشكل (12-2).

20- **العمر التصميمي**: الفترة الزمنية المرجعية التي يطلب فيها **أن** يعمل المنشأ بأمان مع احتمال مقبول أنه لن يحدث فشل ناتج عن تشقق التعب.

21- **حد التعب النهائي**: الحد الذي دونه لا تساهم مجالات إجهاد طيف التصميم في حساب الضرر

التراكمي.



الشكل (12-2): منحني مقاومة التعب

12-1-6 الرموز

γ_{Ff} : عامل الأمان الجزئي لأحمال التعب

γ_{Mf} : عامل الأمان الجزئي لمقاومة التعب

σ_{max} , σ_{min} : القيمتان العظمى والصغرى للإجهادات المتناوبة في دورة الإجهاد

$\Delta\sigma$: مجال الإجهاد الاسمي (الإجهاد الناظمي)

$\Delta\sigma_D$: حد التعب ثابت السعة

$\Delta\sigma_R$: مقاومة التعب (الإجهاد الناظمي)

$\Delta\sigma_C$: القيمة المرجعية لمقاومة التعب عند 2 مليون دورة (الإجهاد الناظمي)

$\Delta\sigma_E$: مجال الإجهاد ثابت السعة المكافئ (الإجهاد الناظمي)

$\Delta\sigma_{E2}$: مجال الإجهاد الثابت السعة المكافئ (الإجهاد الناظمي) من أجل 2 مليون دورة

$\Delta\sigma_L$: حد التعب النهائي

$\Delta\tau$: مجال الإجهاد الاسمي (إجهاد القص)

$\Delta\tau_R$: مقاومة التعب (إجهاد القص)

$\Delta\tau_E$: مجال الإجهاد ثابت السعة المكافئ (إجهاد القص)

$\Delta\tau_{E2}$: مجال الإجهاد ثابت السعة المكافئ (إجهاد القص) من أجل 2 مليون دورة

$\Delta\tau_C$: القيمة المرجعية لمقاومة التعب عند 2 مليون دورة (إجهاد القص)

m: ثابت ميل منحني مقاومة التعب، ويأخذ القيم 3 و/أو 5

n_1: عدد الدورات من مجال الإجهاد $\Delta\sigma_1$

N: عدد (أو العدد الكلي) دورات مجال الإجهاد

N_1: عدد دورات مجال الإجهادات $\Delta\sigma_1\ \gamma_{Mt}\ \gamma_{FF}$ لحدوث الانهيار

N_C: عدد الدورات (2 مليون دورة) الذي يتحدد عنده القيمة المرجعية لمقاومة التعب

N_D: عدد الدورات (5 مليون دورة) الذي يتحدد عنده حد التعب الثابت السعة

N_L: عدد الدورات (100مليون دورة) الذي يتحدد عنده حد التعب النهائي

2-12 تحميل التعب

1- يجب الحصول على أحمال التعب من كود الأحمال، أو أي كود آخر يوصف الحمولات.

2- يجب أن تعطى الحمولات المطبقة لتقييم التعب قيمة مميزة تمثل حمولات الاستثمار المتوقعة خلال العمر التصميمي المطلوب للمنشأ مع درجة وثوقيه كافية.

3- يمكن أن يشتمل تحميل التعب أحداث تحميل مختلفة التي تحدد بسلاسل تحميل المنشأ الكاملة، وكل منها يتميز بتكرار حدوثها النسبي إضافة إلى مقاديرها وموضعها الهندسي.

4- يجب الأخذ بالحسبان التأثيرات الديناميكية عندما تقود استجابة المنشأ إلى تعديل طيف التصميم.

5- في حالة غياب المعلومات الدقيقة الحمولات، يمكن استعمال عوامل التصعيد الديناميكية المستعملة في الحالة الحدية الستاتيكي.

6- يجب تمثيل تأثير حدث التحميل بتغير الإجهاد مع الزمن، أنظر الفقرة 12-1-5-5.

7- نماذج الأحمال المستعملة لتقييم تعب المنشآت كالجسور والروافع يجب أن تأخذ بالحسبان التغيرات الممكنة في الاستعمال كازدياد حركة المرور أو تغيرات معدل التحميل.

8- يجب أن تؤخذ بالحسبان مثل هذه التغيرات المستقبلية حيثما كان ذلك ضرورياً لدراسة أثر التعب على تغير الإجهاد مع الزمن.

9- يمكن أن تستند حسابات التصميم المبسطة إلى تحميل التعب المكافئ الذي يمثل تأثيرات التعب للحمولات حسب الموقع.

10- يمكن أن يتباين تحميل التعب المكافئ مع الأبعاد وموضع العنصر الإنشائي.

12-3 عوامل الأمان الجزئية

12-3-1 عموميات

1- يجب التوافق على عوامل الأمان الجزئية المستعملة بين الزبون والمصمم والسلطة العامة المؤهلة بشكل ملائم، يُأخذ بالحسبان:

- سهولة الوصول إلى التفتيش أو الإصلاح والتكرار المتوقع للتفتيش والصيانة
- عواقب الانهيار.

2- يمكن أن تظهر المراقبة شقوق التعب قبل حدوث ضرر لاحق، وهذه المراقبة تكون بالعين المجردة ما لم تحدد طرائق أخرى في مواصفات المشروع.

ملاحظة: المراقبة أثناء الاستثمار ليست مطلباً في الكود وإذا طلبت فيجب أن يتم ذلك بتكليف إضافي.

3- لا يسمح بحصول انهيار تام من دون أية إنذارات مسبقة مهما كانت الظروف.

4- صعوبات الوصول إلى المراقبة أو الإصلاح قد تكون من النوع الذي يجعل الكشف أو إصلاح الشقوق غير عملي. ويجب أن يكون الزبون على علم بذلك، بحيث يمكن أخذ إجراءات للقيام بالمراقبة.

12-3-2 عوامل الأمان الجزئية لتحميل التعب

1- لأخذ الارتياب بالحسبان في تحليل استجابة التعب، يجب أن تتضمن مجالات الإجهاد التصميمية لإجراء تقييم التعب عامل أمان جزئي γ_{Ff}.

2- يغطي عامل الأمان الجزئي γ_{Ff} الارتياب في تقدير:

- مقادير الأحمال المطبقة
- تحويل هذه الأحمال إلى إجهادات ومجالات إجهاد
- مجال الإجهاد ثبت السعة المكافئ من طيف مجال الإجهاد التصميمي
- العمر التصميمي للمنشأ وتحول تحميل التعب ضمن العمر التصميمي المطلوب للمنشأ.

3- تحميل التعب المعطى في الكود يتضمن مسبقاً قيمة ملائمة لعامل الأمان الجزئي.

4- ما لم يذكر خلاف ذلك في الأجزاء اللاحقة من الكود، أو معيار التحميل المعني، فإنه يمكن تطبيق قيمة $\gamma_{Ff} = 1$ عند تحميل التعب.

12-3-3 عوامل الأمان الجزئية لمقاومة التعب

1- عند إجراء تقييم التعب، ولأخذ الارتياب في مقاومة التعب يجب الحصول على قيمة مقاومة التعب التصميمية بتقسيمها على عامل أمان جزئي γ_{Mf}.

2- يغطي العامل γ_{Mf} الارتياب من تأثيرات:

- الأبعاد الهندسية للوصلة
- أبعاد وشكل وقرب الانقطاعات
- تركز الإجهادات الموضعية الناتجة عن ارتياب اللحام
- عمليات اللحام المختلفة والتغيرات في الخصائص الميكانيكية للمعدن.

12-3-4 القيم المقترحة للعامل γ_{Mf}

1- القيم المقترحة والمعطاة في هذا البند تفترض أن إجراءات الجودة مطبقة لضمان أن الوصلات الإنشائية المصنعة تتوافق مع متطلبات الجودة في المنشآت الخاضعة للتعب، كما هو محدد في المواصفات.

2- فيما يتعلق بنتائج الانهيار، قد تنشأ الحالتان المحتملتان على الشكل الآتي:

- العناصر الإنشائية "مأمونة الانهيار" ذات عواقب انهيار منخفضة بحيث لا يؤدي الانهيار الموضعي لأحد عناصرها إلى انهيار كلي للمنشأ.
- العناصر الإنشائية غير "مأمونة الانهيار" حيث يؤدي الانهيار الموضعي لعنصر ما إلى انهيار كلي وتام للمنشأ.

3- القيم المقترحة لعامل الأمان الجزئي معطاة في الجدول (12-1). ويجب تطبيق هذه القيم على مقاومة التعب.

4- عندما يعطى عامل الأمان الجزئي γ_{Ff} قيماً لا تساوي الواحد من أجل حمولات التعب، فقد تحتاج قيم γ_{M1} تعديل بشكل مناسب.

الجدول (12-1): عامل الأمان الجزئي لمقاومة التعب γ_{M1}

التفتيش والوصول	عناصر مأمونة الانهيار	عناصر غير مأمونة الانهيار
تفتيش وصيانة دورية مع سهولة الوصول للوصلة	1.00	1.25
تفتيش وصيانة دورية مع صعوبة الوصول للوصلة	1.15	1.35

12-4 أطياف إجهاد التعب

12-4-1 حساب الإجهادات

يجب تحديد الإجهادات بواسطة تحليل مرن للمنشأ الخاضع لتحميل التعب، ويجب أن تؤخذ استجابة المنشأ الديناميكية بالحسبان أو تأثير الصدم عندما يكون ذلك ملائماً.

12-4-2 مجال الإجهاد في المعدن

1- اعتماداً على تقييم التعب المنجز يجب تقدير إما مجالات الإجهاد أو مجالات الإجهاد الهندسية.

2- عند تحديد الإجهاد في وصلة ما، يجب الأخذ بالحسبان الإجهادات الناشئة عن لامركزية الوصلة والتشوهات المفروضة والإجهادات الثانوية الناتجة عن صلابة الوصلة وإعادة توزيع الإجهاد الناتج عن التحنيب وأية تأثيرات أخرى.

12-4-3 مجال الإجهاد في اللحامات

1- في الوصلات الملحومة باختراق جزئي أو بلحام زاوي، يجب تحليل القوى المنتقلة بواحدة الطول من اللحام إلى مركبات متعامدة وموازية لمحور اللحام الطولي.

2- يجب أن تؤخذ إجهادات التعب في اللحام:

- إجهاد ناظمي σ_w مستعرض على محور اللحام
- إجهاد قص τ_w طولي على محور اللحام.

3- يمكن الحصول على الإجهادات σ_w و τ_w بتقسيم مركبة القوة المعنية المنتقلة بواحدة الطول من اللحام على قياس (سعة) اللحام u.

4- يمكن الحصول على الإجهادات σ_w و τ_w بطريقة بديلة باستعمال العلاقة:

$$\sigma_w = (\sigma^2_{\perp} + \tau^2_{\perp})^2 \quad , \quad \tau_w = \tau \qquad (4\text{-}12)$$

12-4-4 طيف مجال الإجهاد التصميمي

1- يجب تحويل تغيّر الإجهاد مع الزمن الناتج عن تكرار التحميل إلى طيف لمجال الإجهاد باستعمال طريقة تستند كلياً على عدد الدورات.

2- في وصلة معينة، يجب أن تجمع كل أطياف الإجهاد التي تسببها أحداث التحميل للتوصل إلى طيف مجال الإجهاد التصميمي الذي يستعمل في تقييم التعب.

3- يمكن استخراج طيف مجال الإجهاد التصميمي لوصلة نموذجية أو عنصر إنشائي من تغير الإجهاد مع الزمن الذي يتم الحصول عليه باختبارات ملائمة أو بتقييمات عددية مستندة إلى نظرية المرونة.

4- إن طريقتي "تدفق المطر" أو "الخزان" لعدد دورات الإجهاد في كثير من التطبيقات هما طريقتان ملائمتان للاستعمال بالاشتراك مع مجموع ماينر–بالمجرين.

5- يمكن أن يكون لعناصر المنشأ المختلفة أطياف مختلفة من أطياف مجال الإجهاد التصميمي.

12-5 إجراءات تقييم التعب

12-5-1 عموميات

1- يجب القيام بالتحقق من الأمان:

- إما من ناحية الضرر التراكمي بمقارنة الضرر المطبق مع الضرر الحلي
- أو من ناحية مجال الإجهاد المكافئ بمقارنته مع مقاومة التعب لعدد معطى من عدد الدورات.

2- في نموذج لوصلة إنشائية، يمكن أن تكون الإجهادات المدروسة هي الإجهادات الناظميه أو إجهادات القص أو كلاهما.

3- عند تحديد أي نموذج في جداول تصنيف النماذج (الجدول 12-8-1 إلى الجدول 12-8-7) فيجب استعمال مجال الإجهاد الإسمي.

4- يجب أن يؤخذ تأثير الانقطاعات الهندسية التي هي ليست جزءاً من النماذج الإنشائية نفسها بشكل منفصل، كالثقوب أو القطوعات أو القطوعات الزاوية، وذلك إما بتحليل خاص أو باستعمال عوامل تركيز الإجهاد الملائمة لتحديد مجال الإجهاد الإسمي المعدل.

5- عندما تختلف النماذج الإنشائية عما هو في جداول تصنيف الوصلات بوجود انقطاع هندسي في الوصلة، فيجب استعمال مجال الإجهاد الهندسي.

6- في حال عدم ورود النموذج الإنشائي المدروس في جداول التصنيف ذات الشأن، فيجب عندها استعمال مجال الإجهاد الهندسي، كما في البند 12-5-3.

12-5-2 تقييم التعب استناداً إلى مجالات الإجهاد

12-5-2-1 التحميل ثابت السعة

يكون معيار تقييم التعب في التحميل ثابت السعة:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_D \leq \Delta\sigma_R / \gamma_{Mf} \qquad (5\text{-}12)$$

$\Delta\sigma$: مجال الإجهاد الإسمي

$\Delta\sigma_R$: مقاومة التعب لشكل النموذج المعين (انظر 12-8) لكامل عدد دورات الإجهاد أثناء العمر التصميمي المطلوب.

12-5-2-2 التحميل متغير السعة

1- في التحميل متغير السعة المعرف بطيف التصميم، يجب تقييم التعب استناداً إلى قاعدة الضرر التراكمي ماينر–بالمجرين.

2- إذا كان مجال الإجهاد الأعظمي الناتج عن التحميل متغير السعة أعلى من حد التعب ثابت السعة، فيجب عندها من أجل تقييم الضرر التراكمي (لتقييم التعب) القيام بأحد الشكلين الآتيين:

ا– الضرر التراكمي، انظر الفقرة (3) من هذا البند.

ب– السعة الثابتة المكافئة، انظر الفقرة (7) من هذا البند.

3- يمكن تقييم الضرر التراكمي بواسطة:

$$D_d = \sum n_I / N_I \le 1 \qquad (6\text{-}12)$$

n_I : عدد دورات مجال الإجهاد $\Delta\sigma_L$ أثناء العمر التصميمي المطلوب

N_I: عدد دورات مجال الإجهاد $\gamma_{FF} \cdot \gamma_{Mt} \cdot \Delta\sigma_I$ لحدوث الانهيار، في وصلة معينة، انظر (12-8).

4- يجب أن تستند حسابات الضرر التراكمي على أحد المنحنيات الآتية:

a) منحني مقاومة التعب بثابت ميل وحيد $m = 3$

b) منحني مقاومة التعب بثابتي ميل (m=3 & m=5) يتغير ثابت الميل بشكل لافت عند حد التعب ثابت السعة.

c) منحني مقاومة التعب بثابتي ميل (m=3 & m=5) وحد تعب نهائي عند ($N=10^8$) مائة مليون دورة.

d) في الحالة المذكورة في منحني مقاومة التعب بثابت ميل وحيد m=5 وحد تعب نهائي عند (10^8=N) مائة مليون دورة.

5- الحالة (C) هي الأكثر عمومية، ويمكن إهمال مجالات الإجهاد المنخفض من حد التعب النهائي.

6- عند استعمال الحالة (C) بحد التعب ثابت السعة $\Delta\sigma_D$ عند 5 مليون دورة يمكن حساب N_i كالآتي:

وإذا كان: $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \ge \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}$

$$N_i = 5.10^6 \cdot \left[\frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Ff}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i}\right]^3 \qquad (7\text{-}12)$$

وإذا كان: $\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf} > \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i \ge \Delta\sigma_i / \gamma_{Mf}$

$$N_i = 5.10^6 \cdot \left[\frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i}\right]^5 \qquad (8\text{-}12)$$

إذا كان: $\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i < \Delta\sigma_i / \gamma_{Mf}$

$$N_i = \infty \qquad (9\text{-}12)$$

7- يمكن القيام بقيم التعب ثابت السعة المكافئ بالتحقق من المعيار:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_E < \Delta\sigma_R / \gamma_{Mf} \qquad (10\text{-}12)$$

$\Delta\sigma_E$: هو مجال الإجهاد ثابت السعة المكافئ الذي يؤدي بالعدد المعطى من الدورات إلى الضرر التراكمي نفسه الذي يعمله الطيف التصميمي.

$\Delta\sigma_R$: مقاومة التعب لصنف من الوصلات، انظر (12-8)، للعدد نفسه من الدورات الذي استعمل لتحديد $\Delta\sigma_E$.

8- يمكن (بشكل أمين) في تقييم $\Delta\sigma_R$ و $\Delta\sigma_E$ باستعمال منحني مقاومة التعب وحيد ثابت الميل m=3

9- بشكل عام يمكن حساب $\Delta\sigma_E$ بأخذ منحني مقاومة التعب مضاعف ثابت الميل وحد التعب النهائي بالحسبان كما هو معرف في الشكل (12-2).

10- يمكن إجراء تحقيق التعب بقيم التعب ثابت السعة المكافئ وذلك بالتحقق من المعيار الخاص، بدلاً عن أعلاه:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} < \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf} \qquad (11\text{-}12)$$

$\Delta\sigma_{E2}$: مجال الإجهاد ثابت السعة المكافئ 2 مليون دورة، $\Delta\sigma_R$: القيمة المرجعية لمقاومة التعب عند 2 مليون دورة لصنف التفصيل المعني، انظر البند 12-8.

12-5-2-3 مجالات إجهاد القص

1- يجب أن تعالج مجالات إجهاد القص $\Delta\tau$ بشكل مماثل لمجالات الإجهاد الناظمية $\Delta\sigma$، ولكن باستعمال ثابت ميل واحد m=5 في إجهادات القص.

2- يمكن حساب N_i كالآتي:

إذا كان:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_i \geq \Delta\tau_i / \gamma_{Mf}$$

$$N_i = 2.10^6 \cdot [\frac{\Delta\tau_C / \gamma_{Ff}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_i}]^5 \qquad (12\text{-}12)$$

وإذا كان:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_i < \Delta\tau_L / \gamma_{Mf}$$

$$N_i = \infty \qquad (13\text{-}12)$$

12-5-2-4 تركيب مجالي الإجهاد الناظمي وإجهاد القص

1- في حالة تركيب مجالي الإجهاد الناظمي وإجهاد القص يجب أن يدرس تقييم التعب تأثيراتها المشتركة.

2- إذا كان مجال إجهاد القص الإسمي المكافئ أقل من 15% من مجال الإجهاد الناظمي الإسمي المكافئ، يمكن إهمال تأثير مجال إجهاد القص.

3- في المواضع البعيدة عن اللحام، إذا كانت الإجهادات الناظميه وإجهادات القص الناشئة عن حمولة ذات قيمة متباينة في وقت واحد، أو كان مستوي الإجهاد الرئيسي الأعظمي لا يتغير بشكل ملحوظ أثناء حدث التحميل، فيمكن استعمال مجال الإجهاد الرئيسي الأعظمي.

4- عندما تكون الإجهادات الطولية وإجهادات القص متعلقة مع بعضها البعض في نموذج ما، فيجب تحقيق التعب لكل منهما بشكل منفصل باستعمال قاعدة ماينر–بالمجرين ثم تجمع باستعمال المعيار:

$$D_{d,\sigma} + D_{d,\tau} \leq 1 \qquad (14\text{-}12)$$

وفيها $D_{d\sigma} = \sum n_1 / N_1$ لمجالات الإجهاد الناظمي $\Delta\sigma_i$، و $D_{d\tau} = \sum n_1 / N_1$ لمجالات إجهاد القص $\Delta\tau_i$.

5- عند استعمال مجالات الإجهاد ثابتة السعة المكافئة، يصبح هذا المعيار بشكل عام:

$$[\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Ff}}]^3 + [\frac{\Delta\tau_{E2} \cdot \gamma_{Ff}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Ff}}]^5 \leq 1 \qquad (15\text{-}12)$$

6- كطريقة بديلة يمكن القيام بتقييم التعب ثابت السعة المكافئ باستعمال المعيار المحدد:

$$[\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_E}{\Delta\sigma_R / \gamma_{Ff}}]^3 + [\frac{\Delta\tau_E . \gamma_{Ff}}{\Delta\tau_R / \gamma_{Ff}}]^5 \leq 1 \qquad (16\text{-}12)$$

7- يجب تحديد مجالات الإجهاد في اللحامات كما هو مبين في البند 12-4-3، ويجب أن تقييم مركبات الضرر للإجهادات الناظمية والقص بشكل منفصل باستعمال قاعدة ماينر–بالمجرين، ثم تجمع باستعمال المعيار:

$$D_{d,\sigma} + D_{d,\tau} \leq 1 \qquad (17\text{-}12)$$

وفيها $D_{d\sigma} = \sum n_1 / N_1$ لمجالات الإجهاد الناظمي σ_W، و $D_{d\tau} = \sum n_1 / N_1$ لمجالات إجهاد القص τ_W المحددة في البند 12-4-3.

12-5-3 تقييمات التعب المستندة إلى مجالات الإجهاد الهندسي

1- الإجهاد الهندسي هو الإجهاد الرئيسي الأعظمي في المعدن بجوار قدم اللحام الذي يأخذ بالحسبان الشكل الهندسي العام للوصلة فقط ويستثني تأثير تركيز الإجهاد الموضعي الناتج عن الشكل الهندسي للحام وعن الانقطاعات عند جذر اللحام.

2- يجب إيجاد القيمة الأعظمية لمجال الإجهاد الهندسي بتحري أماكن مختلفة عند قدم اللحام حول الوصلة الملحومة أو منطقة تركيز الإجهاد.

3- يمكن تحديد الإجهادات الهندسية باستعمال عوامل تركيز الإجهاد التي تؤخذ من العلاقات الوسطية ضمن مجال صلاحيتها، أو من تحليل بطريقة العناصر المحدودة أو من نموذج تجريبي.

4- يجب معاملة تقييم التعب المستند إلى مجال الإجهاد الهندسي بشكل مماثل للتقييمات المعطاة في البند 12-5-3، ولكن باستبدال مجال الإجهاد الاسمي بمجال الإجهاد الهندسي.

5- تحدد مقاومة التعب المستعملة بناء على تقييمات تستند إلى مجالات الإجهاد الهندسي بالرجوع إلى البند 12-6-3.

12-6 مقاومة التعب

12-6-1 عموميات

1- تُعرف مقاومة التعب في حالة الإجهادات الناظمية بسلسلة من منحنيات $\log\Delta\sigma_R - \log N$ وكل منحني ينطبق على صنف لوصلة نموذجية. وكل صنف وصلة يسمى بعدد $\Delta\sigma_R$ القيمة المرجعية والمحددة بالواحدات N / mm^2، لمقاومة التعب عند 2 مليون دورة، أنظر الشكل (12-3).

2- إن منحنيات مقاومة التعب من أجل الإجهادات الناظمية الإسمية تعرف كالآتي:

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R \qquad (18\text{-}12)$$

$\Delta\sigma_R$: مقاومة التعب

N: عدد دورات الإجهاد

m: ثابت ميل منحنيات مقاومة التعب، ويأخذ القيمة 3 أو 5

log a: ثابت يعتمد على الجزء المتعلق بالميل، أنظر الفقرة (12-6-2-1).

3- تستعمل منحنيات لمقاومة التعب مماثلة في حالة إجهادات القص، أنظر الشكل (12-4).

4- تستند المنحنيات إلى تجارب تجريبية على أبنية نموذجية ولذلك فهي تتضمن تأثيرات:

- تركيزات الإجهاد الموضعية الناتجة عن الشكل الهندسي للحام.
- قياس وشكل الانقطاعات المقبولة.
- اتجاه الإجهاد.
- الإجهادات المتبقية.
- المواصفات الميكانيكية للمعدن.
- في بعض الحالات، عملية اللحام وإجراءات التحسين بعده.

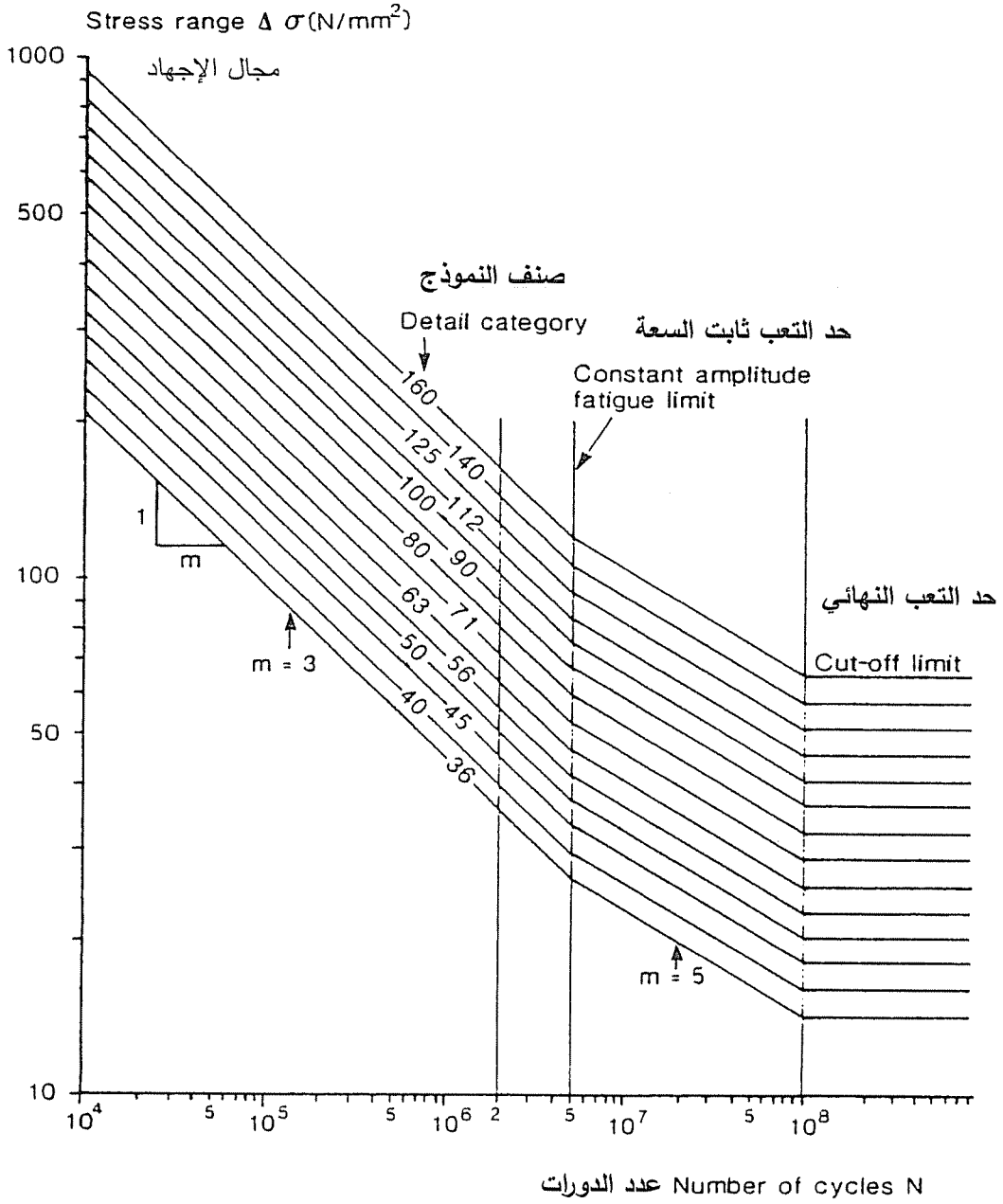
5- عند استعمال بيانات الاختبار لتحديد صنف الوصلة الملائم لتفصيلات إنشائية معينة، فيجب حساب قيمة مجال الإجهاد $\Delta\sigma_R$ المقابلة لقيمة N المساوية 2 مليون دورة لفترة ثقة تساوي 95% واحتمال بقاء 95% للوغاريتم N مع الأخذ بالحسبان الانحراف المعياري وقياس العينة. كما يجب أن لا تقل نقاط البيانات عن 10 في التحليل الاحصائي، حتى تؤخذ في الحسبان.

6- عند تقييم نتائج التجارب، يجب أن لا تنسى أن الإجهادات الذاتية تكون منخفضة في النماذج صغيرة المقياس، لذلك يجب أن تصحيح منحنيات مقاومة التعب الناتجة عن هكذا تجارب للأخذ بالحسبان تأثير الإجهادات الذاتية الأكبر في المنشآت بمقياسها الكامل.

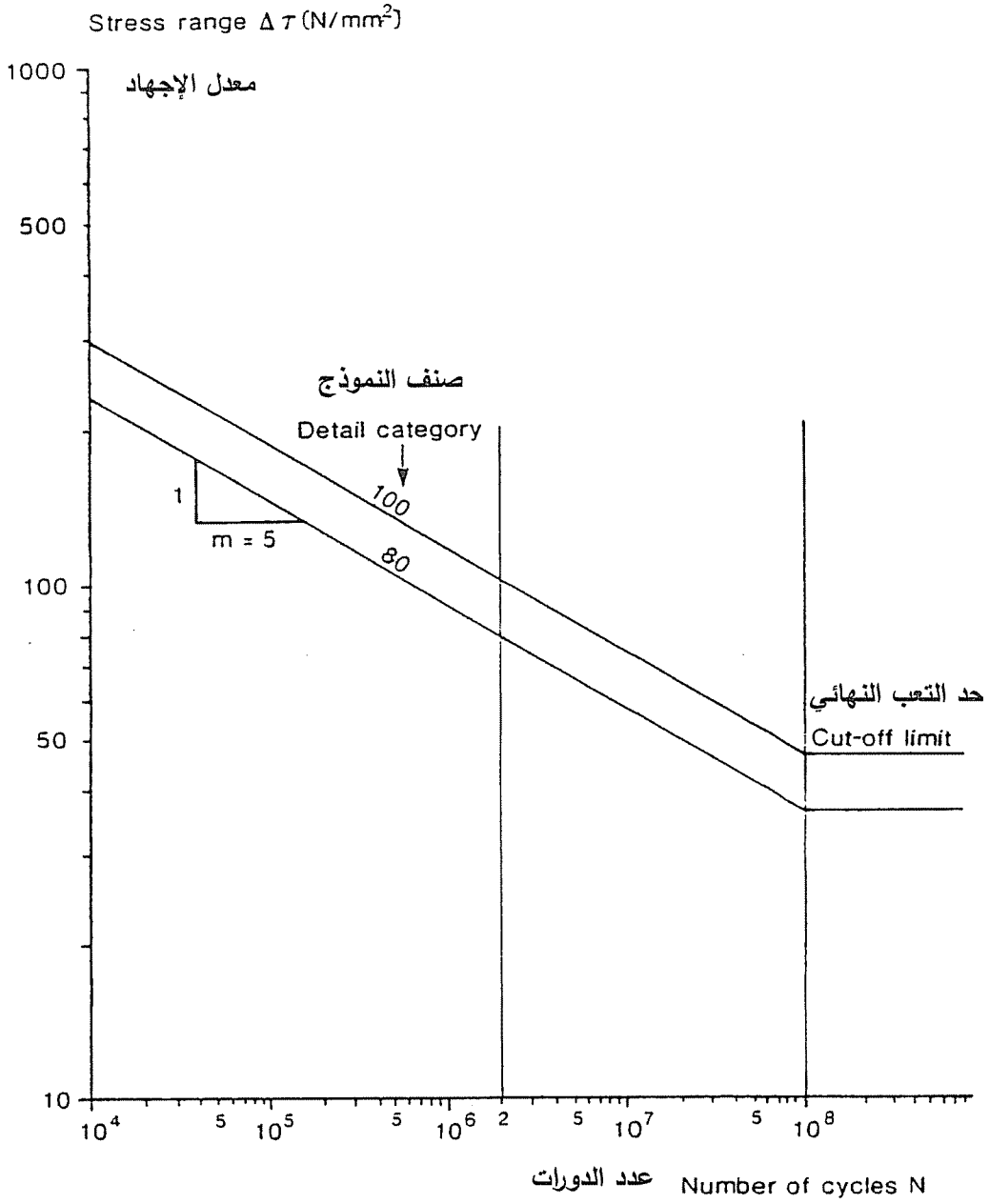
7- تحدد مستوى الانقطاعات المقبولة من المراجع المختصة، أو من المحلق B المرجع (1) أو (2).

8- تعطى تعريفات منحنيات مقاومة التعب مستقلة:

- تفاصيل مصنفة تتطبق عليها إجراءات مجال الإجهاد الاسمي، أنظر (12-6-2).
- تفاصيل غير مصنفة تتطبق عليها إجراءات مجال الإجهاد الهندسي، أنظر (12-6-3).



الشكل (12-3): منحنيات مقاومة التعب لمجالات الإجهاد الناظمي



الشكل (12-4): منحنيات مقاومة التعب لمجالات إجهاد القص

12-6-2 منحنيات مقاومة التعب للتفاصيل المصنفة

12-2-6-1 منحنيات مقاومة التعب للمقاطع المفتوحة

1- تعطى أصناف النماذج ذات المقاطع المفتوحة التي تستعمل في التفاصيل الإنشائية النموذجية المتنوعة في خمسة جداول على الشكل الآتي:

- الجدول 12-8-1: الوصلات غير الملحومة
- الجدول 12-8-2: المقاطع المركبة الملحومة
- الجدول 12-8-3: لحامات الإملاء العرضية

- الجدول 12-8-4: العناصر المثبتة بلحامات غير ناقلة للحمولة
- الجدول 12-8-5: الوصلات المنفذة بلحامات ناقلة للحمولة.

2- في الجدول 12-8-1 وحتى 12-8-5 تشير الأسهم في الأشكال إلى مكان واتجاه الإجهادات الذي تتطبق عليه مقاومات التعب المعنية.

3- يطابق صنف النموذج المستعمل لتعيين منحني تعب معين القيمة المرجعية (N/mm^2) لمقاومة التعب عند 2 مليون دورة، $\Delta\sigma_C$ أو $\Delta\tau_C$ حسب ما هو ملائم.

4- تعطى منحنيات مقاومة التعب لمجالات الإجهاد الناظمية في الشكل (12-3) لعدد من أصناف التفاصيل النموذجية. ويطابق حد التعب ثابت السعة مقاومة التعب 5 مليون دورة ويطابق حد التعب النهائي مقاومة التعب 10 مليون دورة.

5- تعطى القيم المطابقة لحساب مقاومة التعب في الجدول (12-2).

الجدول (12-2): القيم العددية لمنحنيات مقاومة التعب لمجالات الإجهاد الناظمي

صنف النموذج $\Delta\sigma_c\ N/mm^2$	loga من أجل $N<10^8$		مجال الإجهاد عند حد التعب ثابت السعة $N=5\cdot10^8$ $\Delta\sigma_D\ N/mm^2$	مجال الإجهاد عند حد التعب النهائي $N=10^8$ $\Delta\sigma_c\ N/mm^2$
	$N\leq5\cdot10^8$ m=3	$N\geq5\cdot10^8$ m=5		
160	12.901	17.036	117	64
140	12.751	16.786	104	57
125	12.601	16.536	93	51
112	12.451	16.286	83	45
100	12.301	16.036	74	40
90	12.151	15.786	66	36
80	12.001	15.536	59	32
71	11.851	15.286	52	29
63	11.701	15.036	46	26
56	11.551	14.786	41	23
50	11.401	14.536	37	20
45	11.251	14.286	33	18
40	11.101	14.036	29	16
36	10.951	13.786	26	14

6- تعطى منحنيات مقاومة التعب لمجالات إجهاد القص الإسمي في الشكل (12-4)، ولها ثابت ميل وحيد $m = 5$، حيث لا يوجد لها حد تعب ثابت السعة بل ينطبق عليها حد التعب النهائي عند 100 مليون دورة كما هو في مجالات الإجهاد الناظمي الإسمي.

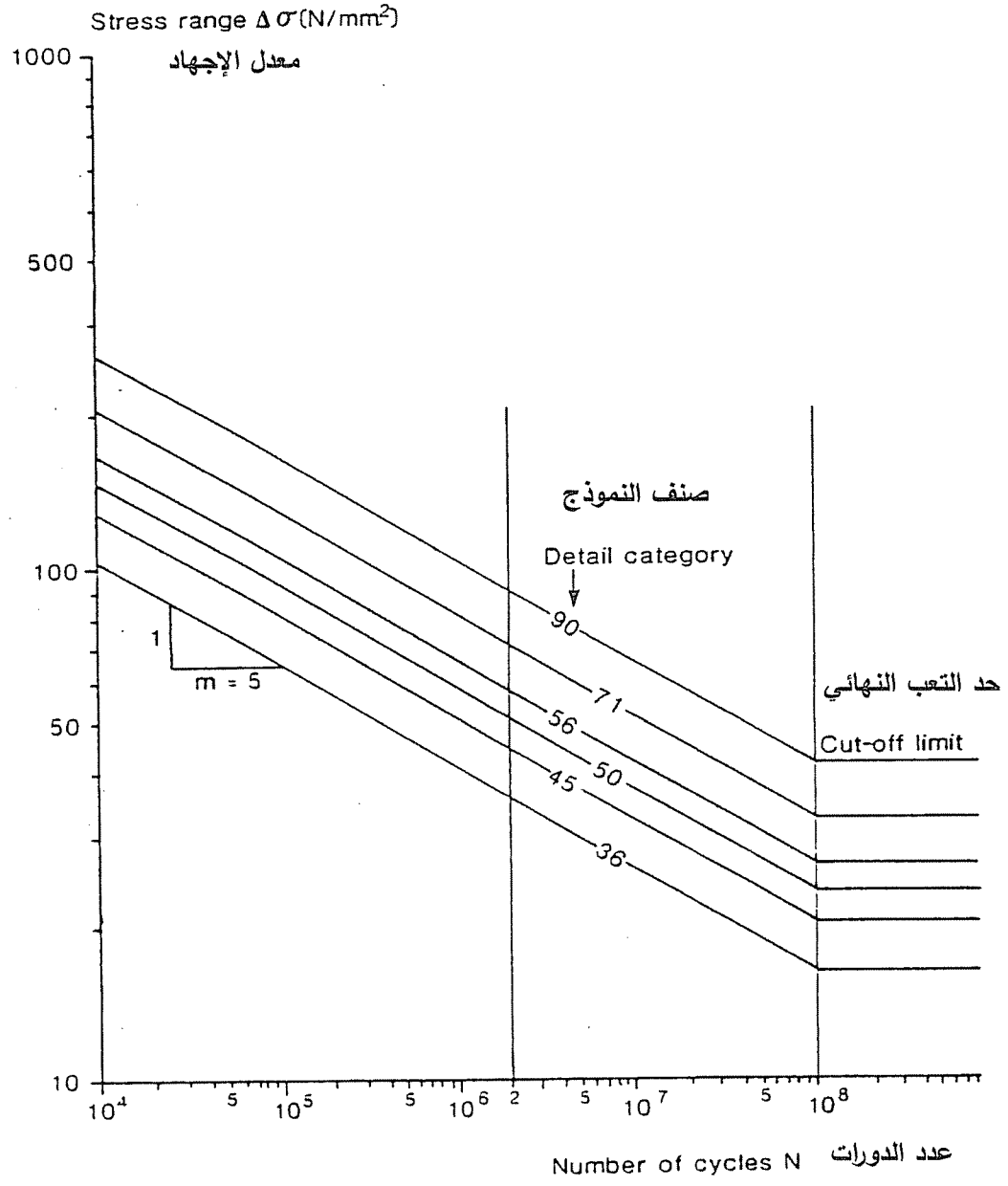
7- تعطى القيم المطابقة لحساب مقاومة التعب في الجدول (12-3).

8- يكون نموذج الوصلة 100 للمعدن الأساسي وللحامات الإملاء ذات الاختراق التام وللبراغي الملائمة لشكل المحمل في حالة القص.

9- يكون نموذج الوصلة 80 للحامات الزاوية، وللحامات الإملاء ذات الاختراق الجزئي في حالة القص

الجدول (12-3): القيم العددية لمنحنيات مقاومة التعب لمجالات إجهاد القص

صنف نموذج $\Delta\sigma_c$ N/mm^2	loga من أجل $N<10^8$ m=5	مجال الإجهاد عند حد التعب النهائي، $N=10^8$
100	16.301	46
80	15.801	36



الشكل (12-5): منحنيات مقاومة التعب لوصلات المقاطع المفرغة في الجوائز الشبكية

12-2-6-2 منحنيات مقاومة التعب للمقاطع المفرغة

1- منحنيات مقاومة التعب المستعملة في تفاصيل المقاطع المفرغة المبينة في الجدول (12-8-6)، هي تلك المعطاة في الشكل (12-3)، ولها ثابتان للميل هما m= 3 و m=5.

2- منحنيات مقاومة التعب المستعملة في تفاصيل وصلات المقاطع المفرغة للجوائز الشبكية المبينة في الجدول (12-8-7)، معطاة في الشكل (12-5) لها ثابت ميل وحيد m=5.

3- تعطى القيم المطابقة لحسابات مقاومة التعب العددية في الجدول (12-4).

4- يجب ألا تقل سماكة قياس اللحام الزاوي عن سماكة جدار العنصر مفرغ المقطع الذي يتم وصله.

الجدول (12-4): القيم العددية لمنحنيات مقاومة التعب في المقاطع المفرغة

صنف النموذج $\Delta\sigma_c$ N/mm^2	loga من أجل $N<10^8$ m=5	مجال الإجهاد عند حد التعب النهائي، $N=10^8$
90	16.051	41
71	15.551	32
56	15.051	26
50	14.801	23
45	14.551	20
36	14.051	16

5- يمكن أن تحلل قوى العنصر بإهمال تأثير اللامركزيات وصلابة الوصلة وذلك بفرض أن الاتصالات مفصلية بشرط أن تؤخذ تأثيرات عزوم الانعطاف الثانوية في مجالات الإجهاد بأي وسيلة كانت.

6- في حال غياب التحليل الدقيق للإجهاد والنمذجة للوصلة يمكن أخذ تأثيرات عزوم الانعطاف الثانوية بالحسبان بتصعيد مجالات الإجهاد الناتجة عن القوى المحورية بعوامل ملائمة كالآتي:

- وصلات الجوائز الشبكية المصنوعة من مقاطع دائرية مفرغة، أنظر الجدول (12-5).
- وصلات الجوائز الشبكية المصنوعة من مقاطع مستطيلة مفرغة، أنظر الجدول (12-6).

الجدول (12-5): العوامل التي تأخذ بالحسبان عزوم الانعطاف الثانوية في وصلات الجوائز الشبكية المصنوعة من مقاطع دائرية مفرغة

نوع الوصلة		الأوتار	العناصر الشاقولية	العناصر القطرية
وصلات بفجوة	نوع K	1.5	1.00	1.30
	نوع N		1.80	1.40
وصلات متراكبة	نوع K		1.00	1.20

	نوع N		1.65	1.25

7- يمكن الرجوع إلى الجدول (12-8-7) لاستيضاح المصطلحات المستعملة في الجدول (12-5) والجدول (12-6).

الجدول (12-6): العوامل التي تأخذ بالحسبان عزوم الانعطاف الثانوية في وصلات الجوائز الشبكية المصنوعة من مقاطع مستطيلة مفرغة

نوع الوصلة		الأوتار	العناصر الشاقولية	العناصر القطرية
وصلات بفجوة	نوع K	1.5	1.00	1.50
	نوع N		2.20	1.60
وصلات متراكبة	نوع K		1.00	1.30
	نوع N		2.00	1.40

12-6-3 منحنيات مقاومة التعب للنماذج غير المصنفة

1- تقييم التعب لجميع النماذج الإنشائية غير المشمولة في الجداول من (12-8-1) إلى (12-8-7) من كل العناصر المفرغة المقطع والوصلات الأنبوبية التي تزيد سماكة جدرانها على (12.5 mm) يجب إنجازه باستعمال الإجراء المستند إلى مجالات الإجهاد الهندسية المعطاة في البند (12-5-3) .

2- يجب أن تكون منحنيات مقاومة التعب المستعملة في تقييم التعب المستند إلى مجالات الإجهاد الهندسية:

أ- في لحامات الإملاء ذات الاختراق التام:

- الصنف 90، في الشكل (12-3)، عندما يتحقق معيار القبول بخصوص كل من شكل اللحام الطولي وعيوب اللحام المسموحة.
- الصنف 71، في الشكل (12-3)، عندما يتحقق معيار القبول بخصوص عيوب اللحام المسموحة.

ب- في لحامات الإملاء ذات الاختراق الجزئي الناقلة للحمولة واللحامات الزاوية:

- الصنف 36، في الشكل (12-3)، أو كطريقة بديلة من منحني مقاومة التعب يتم الحصول عليه من نتائج كافية لاختبار التعب.

3- في مجالات الإجهاد في اللحامات أنظر البند (12-4-3).

12-7 تعديلات مقاومة التعب

12-7-1 مجال الإجهاد في النماذج غير الملحومة أو المحددة من الإجهاد في التفاصيل غير الملحومة أو المحررة من الإجهاد

يجب تحديد مجال الإجهاد الفعال المستخدم في تقييم التعب بجمع قسم إجهاد الشد من مجال الإجهاد

و60% من قسم إجهاد الضغط من مجال الإجهاد.

12-7-2 تأثير السماكة

1- تعتمد مقاومة التعب على سماكة المعدن الأم الذي يمكن أن ينشآ ويتنشر فيه شق محتمل.

2- يجب الأخذ بالحسبان تغيّر مقاومة التعب مع السماكة عندما تزيد سماكات المادة عن (25 mm) وذلك بتخفيض مقاومة التعب باستعمال العلاقة:

$$\sigma\Delta_{R,t} = \sigma\Delta_R (25/t)^{0.25} \quad \text{وذلك من أجل } t > 25mm \qquad (19\text{-}12)$$

3- عندما تكون سماكة مادة النموذج الإنشائي أقل من (25 mm) فيجب أن تؤخذ مقاومة التعب كما هو الحال عليه للسماكة (25 mm).

4- يجب تطبيق هذا التخفيض المتعلق بالسماكة فقط على النماذج الإنشائية ذات اللحامات المستعرضة هذه على اتجاه الإجهادات الناظميه.

5- عندما يختلف مسبقاً صنف النموذج في جداول التصنيف بالسماكة، فلا يلزم تطبيق تصحيح السماكة الوارد أعلاه.

12-7-3 منحنيات مقاومة التعب المعدلة

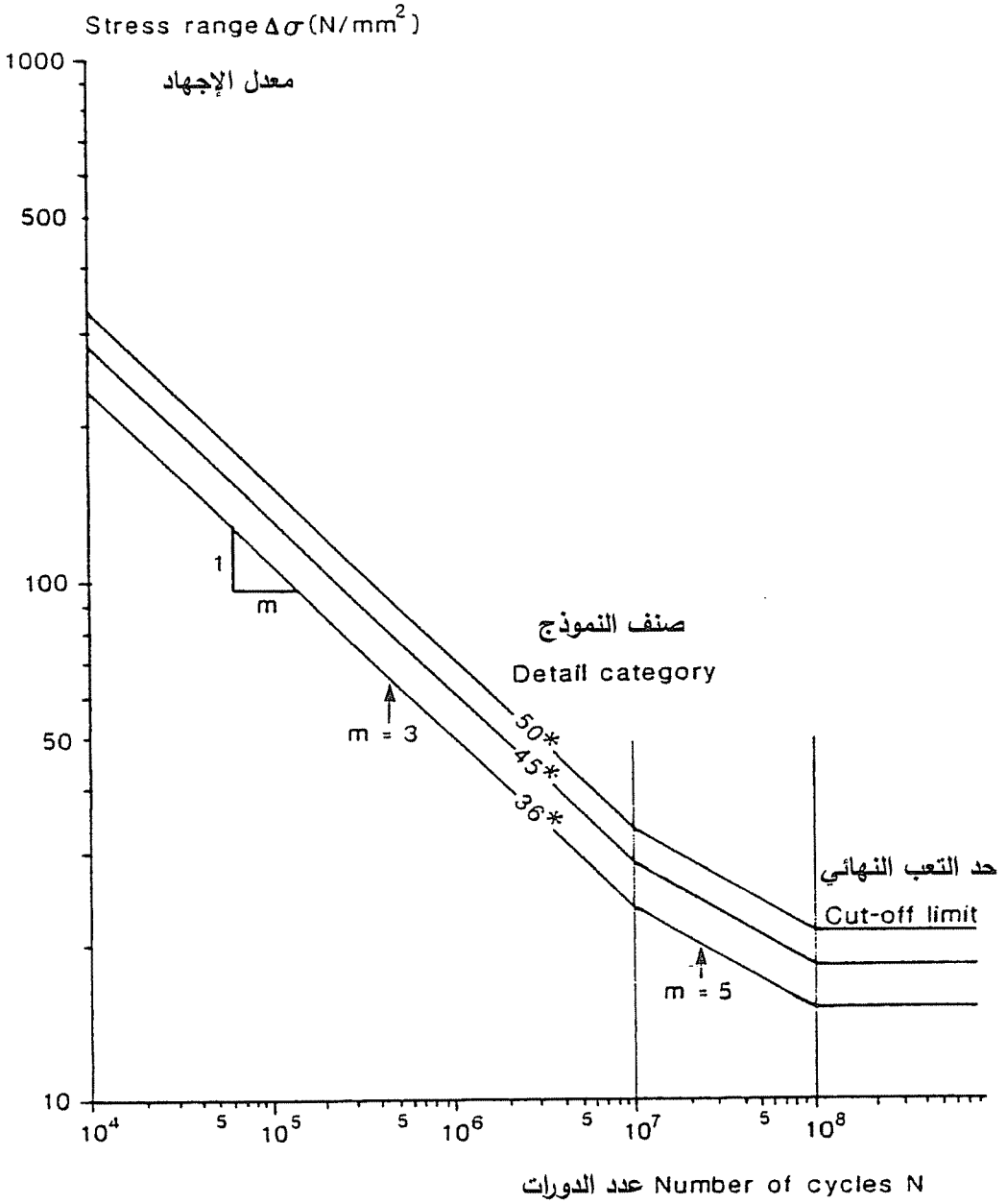
1- عندما تتلاءم بيانات الاختبار لبعض الوصلات مع منحنيات مقاومة التعب المعطاة في الشكل (12-3)، ولتجنب أية حالات أخرى، تدرج هذه النماذج في صنف أقل بصنف واحد من مقاومتها للتعب التي تدل عليها عند 2 مليون دورة.

2- تحدد النماذج المذكورة في الفقرة أعلاه بإشارة نجمية في الجداول من (12-8-1) إلى (12-8-5)، ويمكن أن يزداد صنف النموذج صنفاً واحداً في الجدول (12-2)، بشرط اعتماد منحنيات مقاومة التعب المعدلة التي يؤخذ فيها حد التعب ثابت السعة على أنه مقاومة التعب عند 10 مليون دورة **من** أجل $m = 3$، انظر الشكل (12-6).

3- يبين الجدول (12-7) القيم العددية الضرورية لحساب قيمة مقاومة التعب المعدلة.

الجدول (12-7): القيم العددية لمنحنيات مقاومة التعب المعدلة لمجالات الإجهاد الناظمي

صنف النموذج $\Delta\sigma_c$ N/mm²	loga من أجل $N<10^8$		مجال الإجهاد عند حد التعب ثابت السعة $N=10^7$ $\Delta\sigma_D$ N/mm²	مجال الإجهاد عند حد التعب النهائي، $N=10^8$ $\Delta\sigma_c$ N/mm²
	$N\leq10^7$ m=3	$N\geq10^7$ m=5		
50*	11.551	14.585	33	21
45*	11.401	14.335	29	18
36*	11.101	13.835	23	15

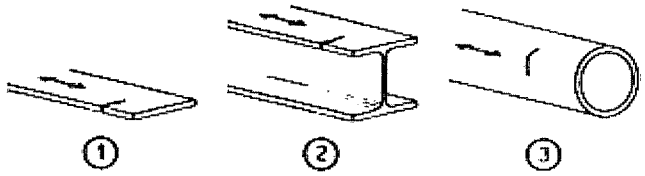
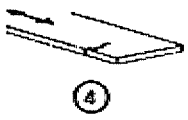
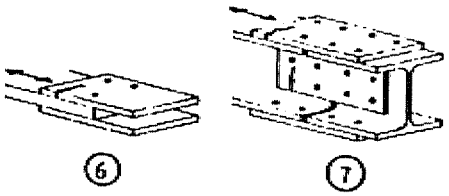


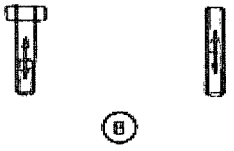
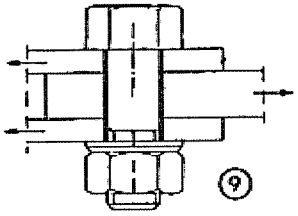
الشكل (12-6): منحني مقاومة التعب المعدل

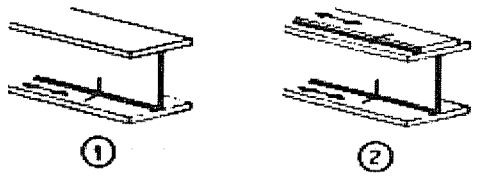
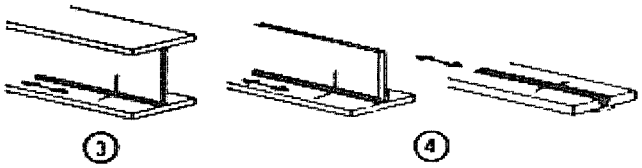
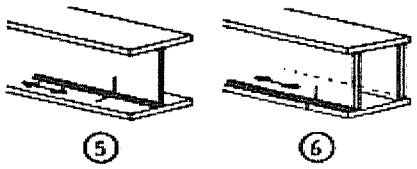
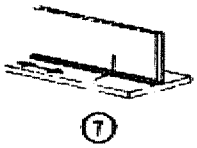
12-8 جداول التصنيف

1- تم إنشاء تصنيف النماذج الإنشائية الواردة في الجداول من (12-8-1) إلى (12-8-7)، اعتماداً على الإجهادات المحاذية للاتجاه المشار إليه بالسهم بخصوص الشقوق المحتملة على سطح المعدن الأم، أو على الإجهاد المحسوب في قياس اللحام، بخصوص حالة تشقق قياس اللحام.

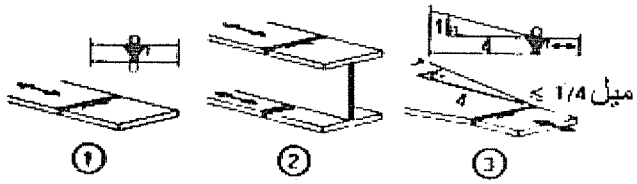
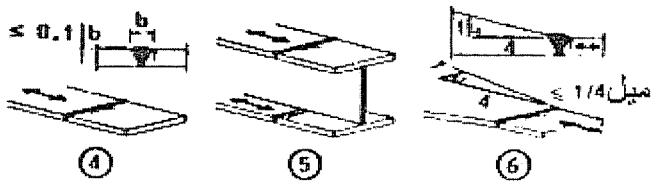
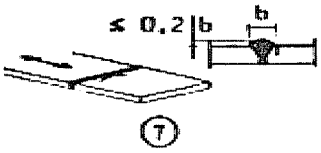
2- يجب حساب الإجهادات باستعمال المقطع الكلي أو المقطع الصافي للعنصر المحمل حسب ما هو ملائم.

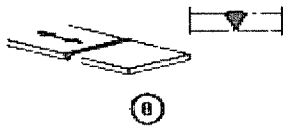
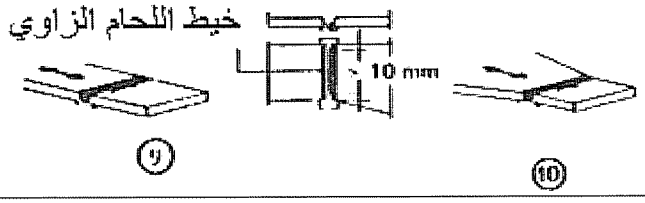
الجدول: 12-8-1	
نموذج التشكيل 160	
الوصف	**المنتجات المدرفله والمضغوطة** 1- صحيفة وفولاذ مسطح، 2- مقطع مدرفل جاهز، 3- أنبوب من دون لحام.
المتطلبات	من 1 حتى 3، يجب القضاء على النهايات الحادة وعيوب السطوح الخارجية من خلال عمليات القشط والتسوية.
نموذج التشكيل 140	
نموذج التشكيل 125	
الوصف	**الصفائح المقصوصة والمحروقة** 4- الصفائح المقصوصة ميكانيكياً بالحرق أو المواد المصنعة المقصوصة حرقاً بشكل غير منتظم. 5- المواد المصنعة المقصوصة ميكانيكياً بالحرق أو المواد المقصوصة حرقاً بشكل منتظم.
المتطلبات	4- يجب استبعاد جميع الشقوق الطرفية المرئية. 5- القيام بأعمال التثبيت لتجنب الشقوق الطرفية. 4←5: • إصلاحات من خلال إملاء الشقوق بمواد اللحام. • الزوايا بالنهايات (الزوايا المائلة ميل أقل 1:4) يجب أن تصنع وتعالج بالتسوية • يجب أن تحدد إجهادات الفتحات في المقاطع الصافية.
نموذج التشكيل 112	

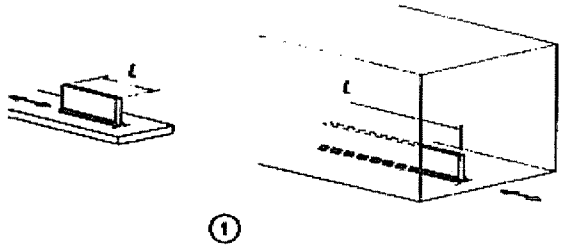
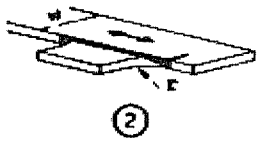
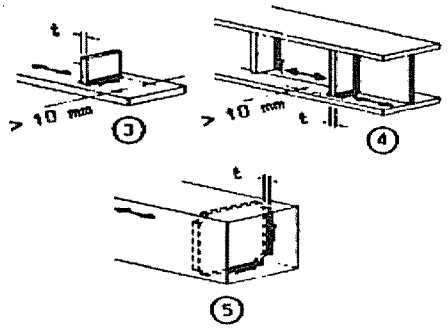
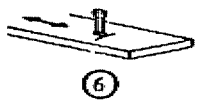
نموذج التشكيل 36*	 ⑧
الوصف	**وصلات البراغي** 6- يجب تجنب الوصلات القص غير المحمية وأيضاً الأخذ بالحسبان تأثير اللامركزية في حساب الإجهادات. 7- وصلات عنصر البناء أو وصلات صفائح الأجنحة. 8- البراغي والشرار في جسد البرغي المعرضة لإجهادات الشد. تتعلق عرض تأرجح الإجهادات في البراغي المسبقة الإجهاد بدرجة سبق الإجهاد وبأبعاد الوصلة.
المتطلبات	6←7: يجب تحديد الإجهادات في الوصلات المنزلقة، وفي جميع الوصلات الأخرى في المقاطع الصافية. 8- يجب تحديد إجهادات الشد تبعاً لإجهادات المقطع.
نموذج التشكيل 100 m=5	 ⑨
الوصف	**البراغي بسطح قص واحد وبسطحين** 9- البراغي العالية المقاومة في وصلات القص والضغط القطري مثل براغي ذات التصنيف 8.8 و 10.9.
المتطلبات	9- يجب أن تقع إجهادات القص للبرغي على المنطقة الملساء منه ونموذج التشكيل هذا يغطي فقط البراغي ذات الجزء الأملس.

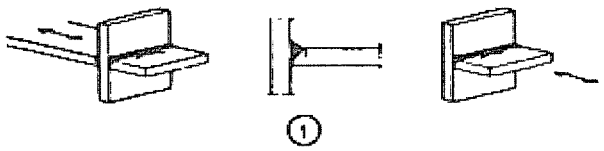
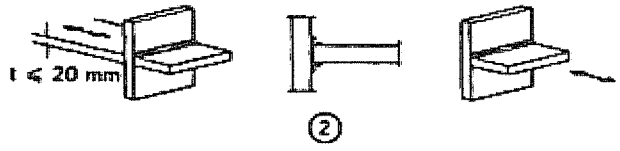
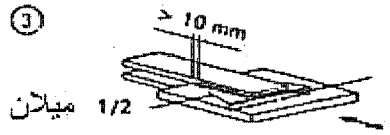
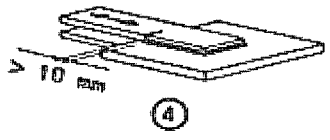
الجدول: 12-8-2	
نموذج التشكيل 125	
نموذج التشكيل 112	
نموذج التشكيل 100	
الوصف	**خيوط اللحام المستمرة** 1- خيوط اللحام الآلية طرفاً لطرف المستمرة من الطرفين وحال التثبت من عدم وجود أخطاء يستعمل نموذج التشكيل 140. 2- خيوط اللحام الزاوية الآلية طرفاً لطرف المستمرة من الطرفين. 3- خيوط اللحام الزوايا الآلية المضاعفة أو خيوط اللحام طرفاً لطرف من الجهتين بوجود مراقبة. 4- خيوط لحام طرف لطرف مع جذر سفلي لكن من دون مراقبة. 5- خيوط لحام يدوية زاوية أو طرف لطرف. 6- خيوط لحام آلية أو يدوية من طرف واحد في المقطع الصندوقية.
المتطلبات	1←2: من الممكن عدم وجود مراقبة مع أعمال إصلاح مع فحص إصلاحات اللحام. 4- عدم وجود مراقبة تثبت الجودة يمكن استخدام نموذج التشكيل 100. 6- مطلوب درجة عالية بالتنفيذ للحام بين الجسد والجناح.
نموذج التشكيل 100	
الوصف	7- التحسين باللحام الآلي أو اللحام اليدوي لخيوط اللحام الزاوي أو اللحام طرف لطرف.
المتطلبات	7- يمكن من خلال إجراء عمليات اللحام الموثوقة (المضمونة) إعادة تعيين نموذج التشكيل (تصنيف التشكيل) الأساسي.

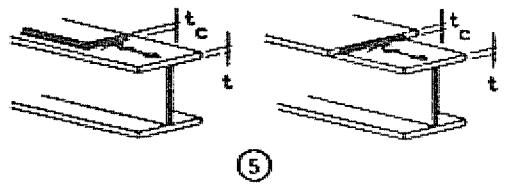
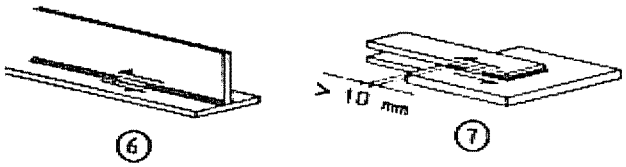
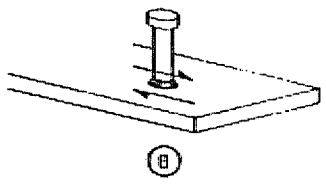
نموذج التشكيل 80	 ⑧
نموذج التشكيل 71	 ⑨
الوصف	**خيوط اللحام المتقطعة** 8- هي خيوط التجميع التي لا تصنف تحت أي تصنيف خيوط أخرى. 9- نهاية خيوط اللحام في المقاطع الحرة.
المتطلبات	8- هي خيوط اللحام الزاوي نسبة فراغ بينها تبلغ $g/h < 2.5$. 9- المقاطع الحرة التي تملء بمواد اللحام.

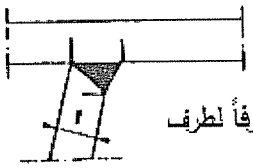
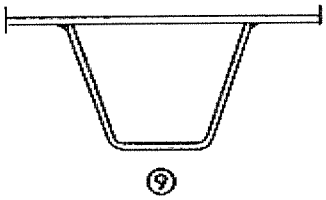
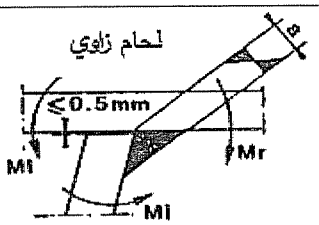
الجدول: 12-8-3	
نموذج التشكيل 112	
نموذج التشكيل 90	خيوط اللحام من دون تسوية 
نموذج التشكيل 80	
الوصف	**من دون وجود جذر لحام** 1- وصلة عرضية بين الصفائح للفولاذ المسطح أو مقاطع المدرفله الجاهزة. 2- قبل إنشاء وصلات الأجنحة في عناصر البناء المشكلة باللحام. 3- الوصلات العرضية للصفائح أو الفولاذ المسطح في العرض أو سماكة مع زاوية ميلان عظمى 1:4. 4- وصلات عرضية بين الصفائح أو للفولاذ المسطح. 5- وصلات عرضية للمقاطع المدرفله أو للعناصر المشكلة باللحام. 6- الوصلات العرضية للصفائح أو الفولاذ المسطح في العرض أو سماكة مع زاوية ميلان عظمى 1:4.
المتطلبات	1←2: التصنيف في حالة 1 و2، يمكن أن تأخذ نموذج التصنيف 125 إذا كان جودة الخيوط مراقبة بشكل جيد وخالية من العيوب التصنيع. 1←3: جميع الخيوط تعالج بالتسوية على سطح الصفائح الظاهر بشكل مواز للسهم على الشكل. 4←6: ارتفاع الخيط يجب لا يكون أكبر من 10% من عرض الخيط. 7: ارتفاع الخيط الحام ليس أكبر من 20% من عرض الخيط. 1←7: - يجب إجراء تسوية لحواف الصفائح في اتجاه الإجهادات. - جذر ضروري للحام.

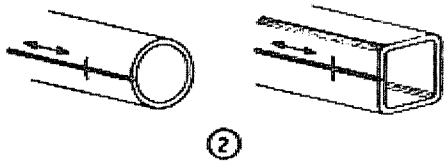
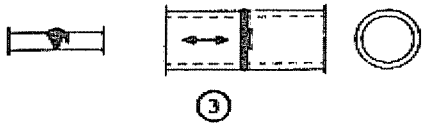
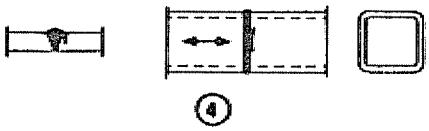
نموذج التشكيل 36*	 ⑧
الوصف	8- خيوط اللحام التي تنفذ من طرف واحد للصفيحة.
المتطلبات	8- خيوط لحام من دون جذر سفلي.
نموذج التشكيل 71	 ⑨ ⑩
نموذج التشكيل 50	⑪
الوصف	**خيوط اللحام المنفذة بجذر سفلي** 9- الوصلات العرضية. 10- خيوط عرض الصفائح المنفذة بالعرض أو بالسماكة مع درجة ميلان أكبرها 1:4. 11- خيوط اللحام العرضية من دون جذر سفلي.
المتطلبات	9←10: خيط اللحام الزاوي المنفذة مع جذر سفلي يجب أن تنفذ في الصفيحة بتباعد عن نهايتيها على الأقل 10 mm. 11: إذا كانت دقة تنفيذ الخيوط فير مضمونه أو كانت خيوط الجذر لوصلة خيوط اللحام تبتعد عن نهاية طرف الصفيحة ما يقارب 10 mm.

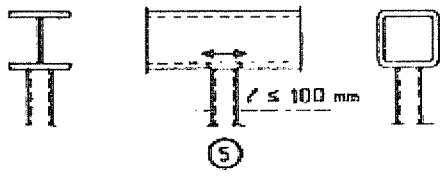
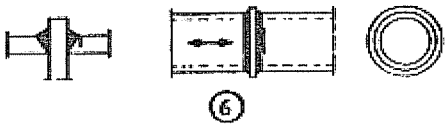
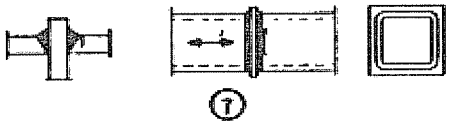
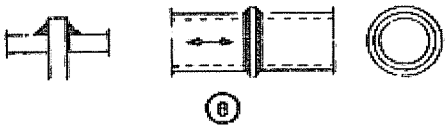
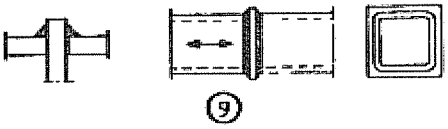
الجدول: 12-8-4		
نموذج التشكيل 80	$\ell \leq 50$ mm	
نموذج التشكيل 71	50 mm $< \ell \leq 100$ mm	
نموذج التشكيل *50	$\ell > 100$ mm	
نموذج التشكيل 90	$1/3 \leq r/w$ $r > 150$mm	
نموذج التشكيل 71	$1/6 \leq r/w \leq 1/3$	
نموذج التشكيل *45	$r/w \leq 1/6$	
الوصف	1- يتعلق نموذج التشكيل (تصنيف التشكيل) بطول الخيط. 2- صفيحة العقدة الملحومة عند طرف الصفيحة أو عند جناح الجائز.	
المتطلبات	2- عند صفيحة العقدة من اللازم أن يكون اللحام مُنتظماً عند مداخلها مع قطر r سواء بالأعمال الآلية أو القطع اليدوي وإجراء عمليات التسوية بعد الانتهاء من اللحام بالتوازي مع اتجاه السهم.	
نموذج التشكيل 80	$t \leq 12$mm	
نموذج التشكيل 71	$t > 12$mm	
الوصف	**الخيط العرضي** 3- يجب أن يكون تباعد نهاية خيط اللحام أكبر من 10 mm عن طرف الصفيحة. 4- تلحم الدعامات الأفقية على الجوائز أو عنصر الإنشاء المشكل باللحام. 5- تلحم الدعائم العرضية في الجائز ذات المقطع الصندوقي على الجسد أو على الأجنحة.	
المتطلبات	4- يجب أن يحسب عرض تأرجح الإجهادات مع الإجهادات الرئيسة إذا كانت الدعامات على صفيحة الجسد عند النهاية.	
نموذج التشكيل 80		
الوصف	6- اللحام الفعال الذي يلحم مسمار القلاووظ على الصفائح البناء الأساسية.	
المتطلبات	---	

الجدول: 12-8-5	
نموذج التشكيل 71	 ①
نموذج التشكيل 36*	 ②
الوصف	**وصلات عناصر حمالة متصالبة** 1- خيوط لحام طرفاً لطرف. 2- وصلات خيوط لحام ليست طرفاً لطرف أو خيوط لحام زاوية كما هو مبين بالشكل.
المتطلبات	1- إجراء تجارب للتأكد من الخلو من العيوب. 2- تحقيقان ضروريان فقط: • التحقيق ضد تشكل شقوق وفق نموذج التشكيل 36 والإجهادات العادية σ_w ونموذج التشكيل 80 لإجهادات القص τ_w . • التحقيق الآخر ضد الشقوق في الخيوط، حيث يحدد عرض تأرجح الإجهادات في الصفائح المجهدة نموذج التشكيل 71. 1←2: أكبر لامركزية مسموحة في الصفائح 15% لسماكة الصفحتين.
نموذج التشكيل 63	مساحة حساب الإجهادات في الصفيحة الرئيسية 
الوصف	**وصلات لعناصر إنشائية متراكبة** 3- وصلات بين الصفائح بخيوط لحام زاوية.
المتطلبات	3- يمكن أن تحسب الإجهادات في الصفائح الرئيسة في المساحة المبينة.
نموذج التشكيل 45*	
الوصف	**وصلات لعناصر حمالة متراكبة** 4- وصلات الصفائح بخيوط اللحام.
المتطلبات	4- تحسب الإجهادات في الصفائح. 3←4:

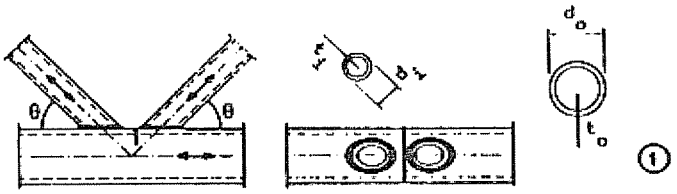
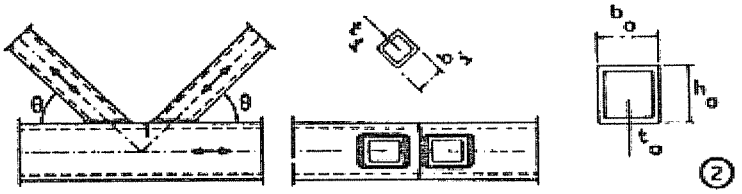
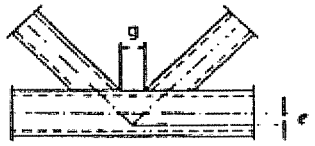
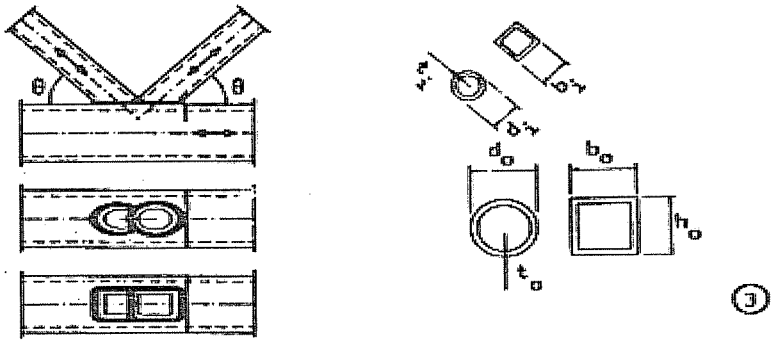
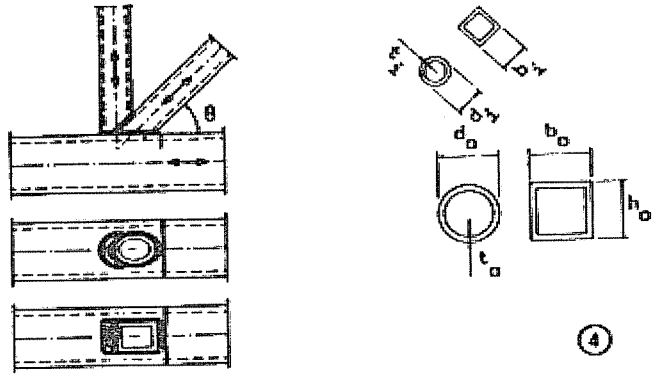
	– يجب أن تبتعد نهاية خيوط اللحام أكثر من 10 mm عن نهاية الصفائح. – الشق في خيوط اللحام يجب أن يفحص وفق حالة النموذج 7.	
نموذج التشكيل 50° **نموذج التشكيل 36**	t و $t_c \leq 20mm$ t و $t_c > 20mm$	 ⑤
الوصف	**خيوط اللحام المجهدة بالقوى القاطعة** 5– منطقة نهاية الصفائح المدعمة واحدة أو أكثر باللحام لجناح المقطع مع أو من دون صفيحة جبهيه.	
المتطلبات	5– إذا كان عرض الصفائح المدعمة للجناح أكبر من عرض الجناح مع اللازم وضع صفيحة جبهيه.	
نموذج التشكيل 80 m=5	 ⑥ ⑦	
الوصف	**خيوط اللحام المجهدة بالقوى القاطعة** 6- خيوط اللحام طرف لطرف التي تتحمل تأثير القص مثل لحام الرقبة بين الجسد والجناح في عنصر البناء. 7- خيوط اللحام الزاوي لصفائح الوصلات.	
المتطلبات	6- يجب أن يحسب عرض تأرجح الإجهادات تبعاً سماكة خيط اللحام. 7- يجب أن يحسب عرض تأرجح الإجهادات تبعاً سماكة خيط اللحام مع الأخذ بالحسبان كامل طول خيط اللحام، نهاية خيط اللحام يجب أن تبعد 10 mm عن نهاية الصفيحة.	
نموذج التشكيل 80 m=5	 ⑧	
الوصف	**خيوط اللحام المجهدة بحمولات قص** 8- مسمار القلاووظ (برشيم) والانهيار يتم في خيوط اللحام أو في منطقة التي تتعرض إلى التسخين أثناء اللحام.	

نموذج التشكيل 71	لحام طرفاً لطرف 	 ⑨
نموذج التشكيل 50	لحام زاوي 	
الوصف	**صفائح التغطية المدعمة بدعائم بشكل شبع منحرف** 9- خيوط لحام زاوي أو طرفاً لطرف.	
المتطلبات	9: – من أجل خيوط اللحام طرفاً لطرف يحسب عرض تأرجح الإجهادات الناتجة عن إجهادات العزم مع الأخذ بالحسبان سماكة الدعامة. – من أجل خيوط اللحام الزاوي يحسب عرض تأرجح الإجهادات الناتجة عن إجهادات العزم مع الأخذ بالحسبان القيمة (الأصغر) للسماكة الدنيا لخيط اللحام وسماكة صفيحة لدعامة.	

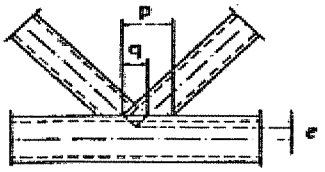
الجدول: 12-8-6، سماكة الجدران $t \leq 12.5$ mm	
نموذج التشكيل 160	
الوصف	**العناصر المدرفله** 1- العناصر غير الملحومة.
المتطلبات	1- الأطراف المائلة والأخطاء على السطوح الظاهرية يجب معالجاتها بالتسوية.
نموذج التشكيل 140	
الوصف	**العناصر الملحومة بخيط على امتداد الطول** 2- خيط اللحام ألي على امتداد الطول للعنصر.
المتطلبات	2- إذا لم توجد مراقبة على التنفيذ أو إمكانية التثبت من خلو الأخطاء المعروفة.
نموذج التشكيل 71	
نموذج التشكيل 56	
الوصف	**الخيوط العرضية** 3- وصلات خيوط اللحام طرفاً لطرف للمقاطع الحلقية. 4- وصلات خيوط اللحام طرفاً لطرف للمقاطع المستطيلة المفرغة.
المتطلبات	3←4: - زيادة ارتفاع خيط اللحام يجب أن لا يزيد عن 10% سماكة خيط اللحام ويجب أن يكون بمستوى السطح الظاهري للصفائح. - إذا لم توجد مراقبة على التنفيذ أو إمكانية التثبت من خلو الأخطاء المعروفة. - التفاصيل الإنشائية للجدران ذات السماكة أكبر من 8 mm يمكن رفع قيمة نموذج التشكيل درجتين.

نموذج التشكيل 71	
الوصف	**خيوط اللحام غير الحمالة** 5- المقاطع الحلقية أو المستطيلة المفرغة التي تلحم على المقطع العرضية الأخرى بخيوط لحام زاوية.
المتطلبات	5: – خيوط اللحام غير الحمالة. – عرض المقطع العرضي الموازي للاتجاه الإجهادات لا يزيد عن 100 mm. – كل الحالات الأخرى تتبع الجدول 12-8-5.
نموذج التشكيل 50	
نموذج التشكيل 45	
نموذج التشكيل 40	
نموذج التشكيل 36	
الوصف	**خيوط اللحام الحمالة** 6- وصلة مع وجود صفيحة رأسية (جبهيه) وخيوط لحام طرفاً لطرف في نهايات العناصر ذات المقاطع الحلقية. 7- وصلة مع وجود صفيحة رأسية (جبهيه) وخيوط لحام طرفاً لطرف في نهايات العناصر ذات المقاطع المستطيلة المفرغة. 8- وصلة مع وجود صفيحة رأسية (جبهيه) وخيوط لحام زاوي في نهايات العناصر ذات المقاطع الحلقية. 9- وصلة مع وجود صفيحة رأسية (جبهيه) وخيوط لحام زاوي في نهايات العناصر ذات المقاطع المستطيلة المفرغة.

المتطلبات	6←7: – خيوط اللحام الحمالة. – الخيوط يمكن أن تخضع للتحقق من خلوها من الأخطاء المعروفة. – النماذج الإنشائية للعناصر بسماكة الجدار أكبر من 8 mm يمكن أن تصنف بنموذج تشكيل أعلى. 8←9: – خيوط اللحام الحمالة. – النماذج الإنشائية للعناصر بسماكة الجدار أقل من 8 mm.

الجدول: 12-8-7، m=5		
نموذج التشكيل 90	$t_o / t_i \geq 2$	
نموذج التشكيل 45	$t_o / t_i = 1$	
نموذج التشكيل 71	$t_o / t_i \geq 2$	
نموذج التشكيل 36	$t_o / t_i = 1$	
الوصف	**الوصلات بوجود فاصل بين العناصر** 1- مقاطع العناصر حلقات مفرغه والوصلات بشكل K و N 2- مقاطع العناصر مستطيلة مفرغه والوصلات بشكل K و N	
المتطلبات	$0.5 \cdot (b_0 - b_i) \leq g \leq 1.1 \cdot (b_0 - b_i)$ $g \geq 2 \cdot t_0$ 	
نموذج التشكيل 71	$t_o / t_i \geq 1.4$	
نموذج التشكيل 56	$t_o / t_i = 1$	
نموذج التشكيل 71	$t_o / t_i \geq 1.4$	
نموذج التشكيل 50	$t_o / t_i = 1$	

الوصف	**وصلات مباشرة بعناصر متراكبة** 3- وصلات بشكل K، 4- وصلات بشكل N
المتطلبات	3←4: تراكب بين 30% و100%. e لامركزية سالبة. g/p درجة التراكب.
المتطلبات	من 1 حتى 4: $t_o, t_i \le 12.5\,mm$ - ، $35° \le \theta \le 50°$ ، $\frac{b_0}{t_o} \le 25$ ، $\frac{d_0}{t_o} \le 25$ $0.4 \le b_i/b_0 \le 1$ - ، $0.25 \le d_i/d_0 \le 1$ ، $b_0 \le 200\,mm$ $d_0 \le 300\,mm$ - ، $0.5 \cdot h_0 \le e \le 0.25 \cdot h_0$ ، $0.5 \cdot d_0 \le e \le 0.25 \cdot d_0$ - يجب أن تكون اللامركزية بالنسبة لمستوى الوصلة أصغر من $0.02b_o$، أو $0.02d_0$. - خيوط اللحام الزاوية مسموحة في العناصر القطرية عندما سماكة جدرانها أصغر من $8\,mm$. - ومن أجل سماكة الجدران أكبر من 12.5 mm، راجع البند 14-6-3.



الباب الثالث عشر

١٣ نصائح وإرشادات في تصميم الصالات المعدنية (مكمّلة لنصوص الكود)

13-1 عموميات

- يُبيّن هذا الباب إرشادات ونصائح في تصميم الصالات غير ملزمة للمهندس المصمم ويمكن تجاوزها في حال وجود حلول أفضل.
- تعرَّف الصالات أنها أبنية ذات طابق واحد، تُعد لاستعمالات عديدة من مثل مخازن ومعارض وصالات صناعية، لتجهيز الطائرات والسيارات والآلات وفضاءات لممارسة الرياضية والاجتماعات العامة، وغير ذلك. كما تصمم الصالات الصناعية في معظم الأحيان بإضافة روافع متحركة.
- ومع وجود حرية كاملة لتصميم العناصر الحمالة للصالة أو تغطيتها والتي يمكن أن تكون ثقيلة من الخرسانة المسلحة، أو قد تكون خفيفة من الأشكال المختلفة لصفائح الفولاذ، أو الألمنيوم كما سيرد لاحقاً. أما العناصر الحمالة المعدنية فهي إما أن تكون عناصر مقاطع جسد مليء أو عناصر شبكية مع إمكانية جعلها عناصر مختلطة من الخرسانة المسلحة مع مقاطع فولاذية.

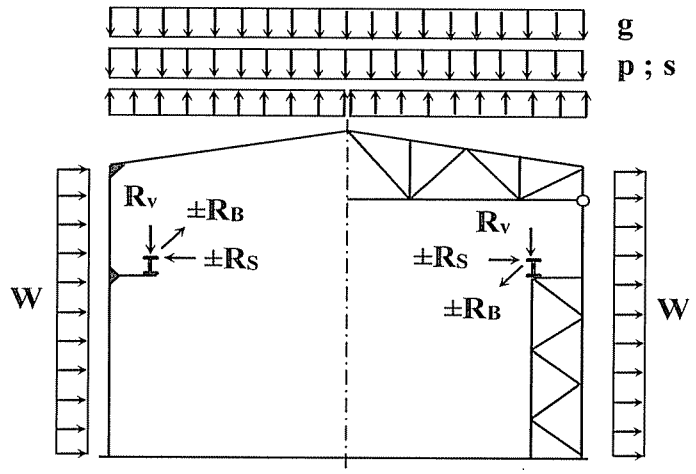
13-2 الميزات الرئيسة للتصميم والعوامل المؤثرة عليها

- إن إنشاء صالات معدنية متعددة الوظائف والأغراض تُعد مهمة متكاملة تتأثر بعوامل عدة. إذ تشمل هذه المهمة تخطيط الصالة مع تصميم وحساب مقاطعها بالشكل الاقتصادي، بالإضافة إلى اعتماد طرائق التنفيذ المناسبة والسهلة، إلا أن إيجاد حل مثالي لهذه المسألة يتطلب تضافر جهود المهندسين من مختلف الاختصاصات (المعماري، الإنشائي، البيئي، الكهربائي، الميكانيكي، مع مهندس الإدارة والتنفيذ).
- يجب أن يكون العمل متناسقاً بين الزملاء، ليقترب الحل من المثالية، ومن المفيد جداً قبل البدء بالتصميم، التعرف إلى التقنيات المستعملة ضمن زمن استثمار للصالة، بالإضافة إلى ظروف موقع الإنشاء مع طبيعة الأرض ومقاومة التربة ومستوى سطح الأرض وتحديد الشقوق في حالة وجودها في الأرض، لأن ذلك يؤثر على اختيار الجملة الإنشائية للهيكل.
- يجب الأخذ بالحسبان عند تخطيط الصالة ومحيطها العوامل الآتية: الإنارة، تحديد الألوان، التكييف والتدفئة، وسائل النقل، الإمداد والتفريغ، الحماية من الحريق.

3-13 استقرار الجملة الإنشائية للصالة المعدنية

- تتألف الجملة الإنشائية في الصالة من جملون رئيس حامل، وهو أما شبكي، أو ذي مقطع جسد مليء، أو كابلات مع أعمدة، تحمل الجملون، الذي يحمل بدوره أواصف (جوائز ثانوية)، تستند عليها عناصر التغطية، بالإضافة إلى ما ذكر يوجد توابع للجملة الإنشائية مثل الجسور الحاملة للروافع وعناصر التدعيم والتقوية الجانبية والعلوية، والتي تكون عادة بين الجزئين الحاملين في بداية الصالة ونهايتها مع عناصر التدعيم الممتدة على طول الصالة.
- يتحقق استقرار الصالة عندما يستطيع الهيكل الإنشائي استقبال وتحمل الحمولات المتوقعة جميعها من الاتجاهات كلها، ومقاومتها ونقلها إلى الأساسات، والحمولات المفروضة تكون على أنواع كما موضحة بالشكل (13-1).

g: الأوزان الذاتية للهيكل والسقف والجدران، P: الحمولات المتحركة، S: حمولة الثلج، W: الرياح. بالإضافة إلى ذلك يوجد حمولات أخرى نذكر منها الحمولات التكنولوجية، على سبيل الأمثلة نذكر حمولة الحرارة، هبوط المساند مع الهزات الأرضية واصطدام المركبات. هذه الحمولات تؤثر على العناصر بشكل منفرد، إلا أن تراكبها يؤخذ وفق حالات التحميل.



الشكل (13-1): حمولات الرافعة المتحركة في الاتجاهات الثلاث (R_v, R_g, R_p, R_m, R_s, R_B)

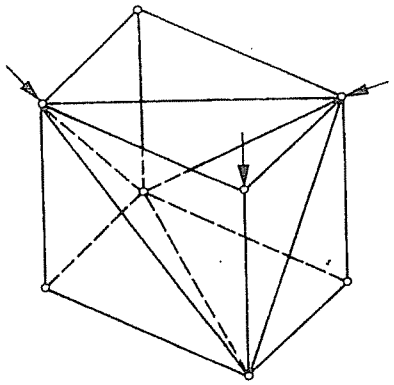
- تجزئ الجملة الإنشائية للصالة عند الدراسة إلى شرائح مستوية للتسهيل ونذكر منها:

– هيكل عرضي متعامد مع امتداد الصالة يتلقى القوى الشاقولية والقوى الأفقية في الاتجاه العرضي، ويكون إما على شكل إطار أو جائز محمول على عمودين.

– عناصر الاستقرار إطارات، جوائز داعمة مع عناصر الربط لاستقبال القوى الأفقية في الاتجاه الطولي للصالة.

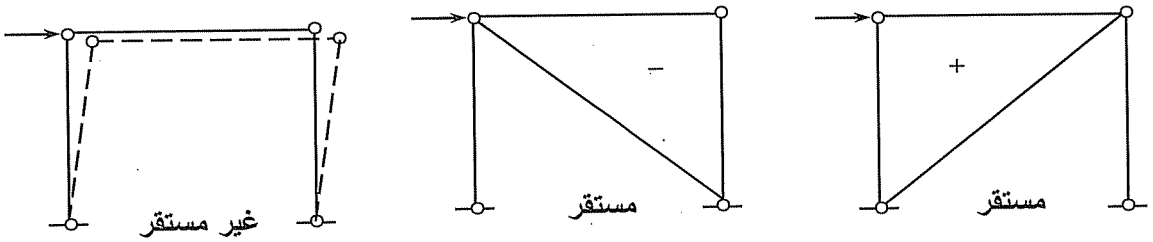
– هيكل على شكل مكعب يمثل جملة إنشائية كبيرة، واستقرار كما في الشكل (13-2)، يجب أن يكون فراغياً، فإذا فرضنا أن عقد زوايا هذا المكعب مفصلية، وهي النقط التي يلتقي بها ثلاثة عناصر من

ثلاثة مستويات متعامدة، وبالتالي فإن هذه العقد تنتقل بثلاثة اتجاهات. إن هذا الهيكل مستقر بسبب وجود الدعائم في جميع سطوحه، ويصبح غير مستقر من دون هذه الدعائم، حتى لأجل القوى الشاقولية، ولا يستطيع استقبال القوى الأفقية.



الشكل (13-2): هيكل على شكل مكعب يمثل جملة إنشائية كبيرة

- يُبيّن الشكل (13-3) إطار بأربع مفاصل وهو غير مستقر، ويصبح مستقراً بإضافة عنصر واحد، وهذا العنصر مضغوط (−) أو مشدود (+) حسب وضعه بالنسبة للقوة.

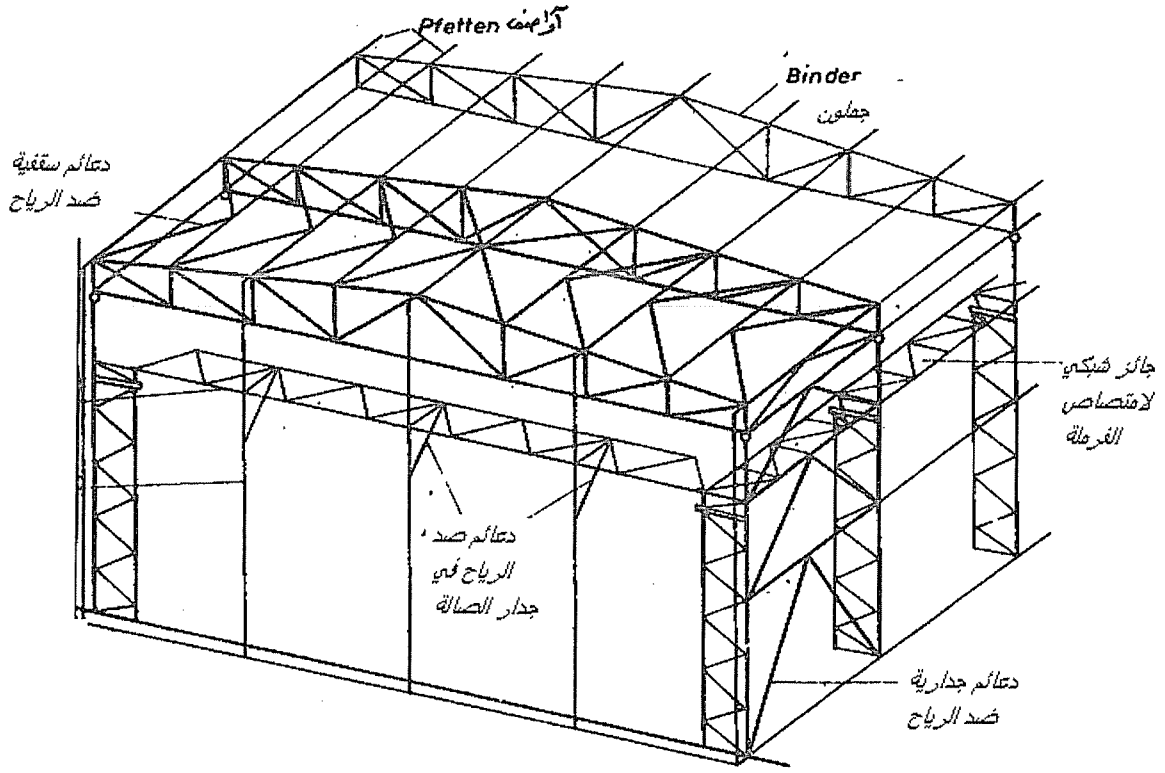


الشكل (13-3): إطار بأربع مفاصل

- إن استقرار الصالات الصناعية يتطلب دعائم في الاتجاهات الثلاثة، المستوي العرضي والطولي والأفقي (السقف)، ويمكن أن يتم التدعيم بأشكال متعددة ومتنوعة مثل الجدران، أو عناصر إضافية، أو بجعل العقد موثوقة، أو جعل الأساسات ذات وثاقه تامة وإلى غير ذلك.

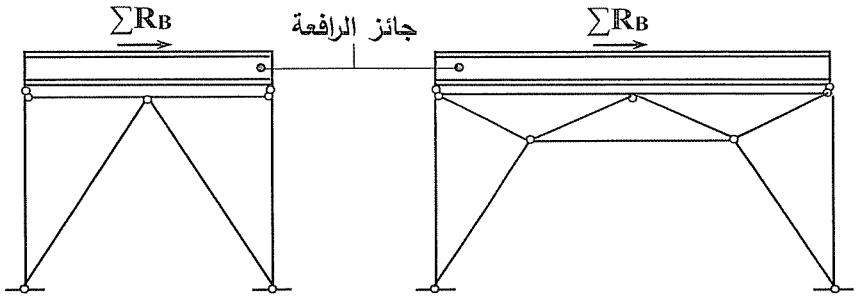
13-4 عناصر تساعد في استقرار الجملة الإنشائية للصالة المعدنية

- تزود الصالة بدعائم وروابط في الاتجاه الطولي عادة ، أو جدران كتليه، وذلك لمقاومة القوى الأفقية، يبين الشكل (13-4) بعض أنواع هذه الدعائم ونذكر منها.
- الروابط السقفية لمقاومة الرياح تقام بين كلا الجملونين (الجملون إطار مائل من الطرفين) الواقعين عند بداية الصالة وعند نهايتها، لاستقبال القوة الناتجة عن حمولات الرياح التي تواجهها الجدران الخارجية في بداية ونهاية الصالة، أو لتخفيف تأثير عدم الاستقرار في عناصر الوتر العلوي للجملونات (إطارات تشبه سنم الجمل) الرئيسة في الصالة.



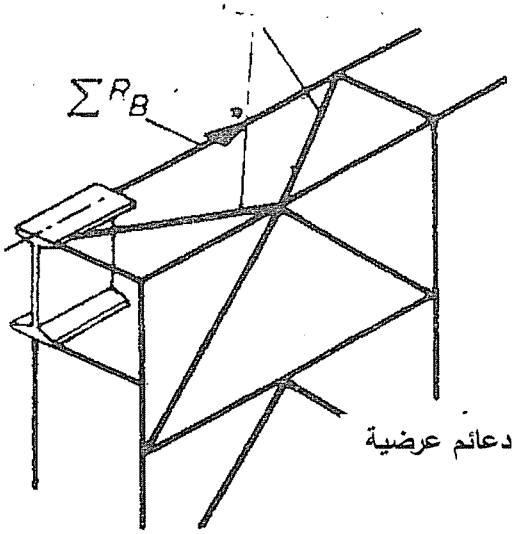
الشكل (13-4): بعض أنوع الدعائم لمقاومة القوى الأفقية

- الروابط الأفقية التي تنفذ في الجدران الخارجية الجانبية بين كلا الجملونين الواقعين عند بداية الصالة ونهايتها، وذلك لامتصاص قوى المساند للروابط السقفية الخاصة بمقاومة الرياح ونقلها إلى الأساس.
- الروابط المساعدة في التنفيذ، وتوضع بين كل 5 فتحات، لتأمين جودة التنفيذ في منشأة السقف فهي ضرورية في التنفيذ، وضرورية في فترة الإنشاء، وتُشكل من عناصر متصالبة مع القطريات.
- عناصر مقاومة الفرملة، تقع في مستوى جائز الرافعة المتحركة وسط الصالة لمقاومة قوى الفرملة للروافع المتوسطة والثقيلة، الشكل (13-5).
- الروابط المقاومة للاهتزاز أو التأرجح، وتنفذ في مستوى الوتر العلوي لجائز الرافعة المتحركة عادة، وذلك لامتصاص قوى الصدم الجانبية للروافع المتحركة الثقيلة.



الشكل (13-5): عناصر مقاومة الفرملة

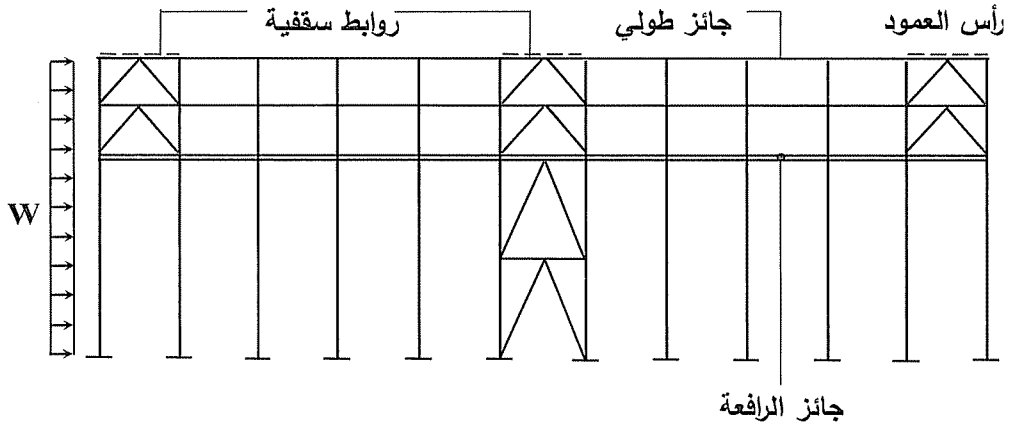
- الجائز المقاوم للرياح في الجدار الأمامي والخلفي للصالة، ويكون في مستوى الوتر العلوي لجائز الرافعة، وذلك لتقصير ارتفاع الأعمدة في الجدران الأمامية والخلفية للصالات ذات الارتفاعات العالية، ويمكن أن يستعاض عن الروابط السقفية المعدة لمقاومة الرياح بصفائح تغطية صلبه، مثل بلاطات الكاسيت المسبقة الصنع من الخرسانة المسلحة أو العادية.
- تحتاج الروافع المتوسطة والثقيلة التي تصل حمولتها إلى 125 kN إلى عناصر مقاومة لقوى الفرملة وللاهتزاز، حيث تزود جسور الرافعة بهذه العناصر أيضاً عندما يزيد فتحة الجسر L عن تسعة امتار، ولا حاجة لهذه العناصر مع الروافع الخفيفة ذات حمولات حتى 80 kN وذات فتحات لا تزيد عن تسعة أمتار، $L \leq 9m$.
- في هذه الحالة تستقبل الصدمات الجانبية للرافعة عبر دعائم إضافية جانبية، توضع في الجناح العلوي لجسر الرافعة، ولإيصال قوة الفرملة $\sum R_B$ إلى الروابط الأفقية، تحتاج إلى قضيبين مائلين في مستوى الجناح العلوي لجائز الرافعة أو لروابط إضافية مناسبة الشكل (13-6).



الشكل (13-6): روابط إضافية مناسبة لإيصال قوة الفرملة إلى الروابط الأفقية (قضبان مائلة)

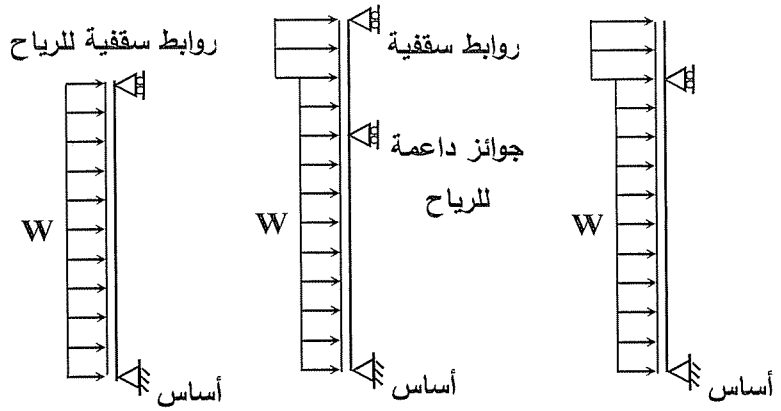
5-13 فواصل التمدد في الصالة المعدنية

- يوكل إلى الروابط الأفقية مهمة مقاومة الإجهادات الناتجة عن تمدد العناصر بسبب الحرارة على امتداد الاتجاه الطولي للصالة، أما عندما يزيد طول الصالة عن حد معين، فإنها تزود بفواصل تمدد طولية، تجزئها بحيث يتحمل كل جزء منها تمدد الطولاني الخاص به بمفرده، وتعطى القيمة الحدية للتباعدات بين فواصل التمدد كما يلي:
- 120 متر للمنشآت المنفذة بالوصلات المرنة مثل البراغي العادية والبراشيم.
- 95 متر للمنشآت المنفذة بالوصلات القاسية والصلبة مثل البراغي العالية المقاومة واللحام.
- عندما يقام في منتصف الصالة نقطة تثبيت وارتكاز للجملونات الشكل (13-7) فان الطول المسموح لأجزاء الصالة يمكن أن يبلغ 145 متر.



الشكل (13-7): نقطة تثبيت وارتكاز للجملونات لزيادة الطول المسموح

- يجب تدعيم الأواصف ضد الضغط في الصالات التي لا تحتوي على روافع، ويفضل إقامة نقطتي تثبيت في بداية الصالة ونهايتها، ولاسيما أثناء الإنشاء.
- يبين الشكل (13-8) بعض الجمل الإنشائية التي تستعمل فيها الجدران تحت الجملونات (العناصر الإنشائية بشكل سنم الجمل) لتحمل حمولات الرياح، والحالة القاعدية أن تزود هذه الجدران بعمود كل 6 متر، ذي فتحة واحدة ومقطع I متمفصل من الطرفين، أما ردود أفعال مسانده الأفقية فتستقبل من قبل الأساسات والروابط السقفية لمقاومة الرياح، وذلك كافي عندما لا يزيد ارتفاع الصالة عن 10 أمتار.
- إذا كان الارتفاع أكبر من 10 أمتار فمن الضروري إقامة جائز شبكي في مستوى الجناح العلوي لجائز الرافعة بين الأعمدة المتمفصلة، ويمكن استعمال هذا الجائز بوصفه ممر خدمة العاملين لصيانة الرافعة.



الشكل (13-8): بعض الجمل الإنشائية التي تستعمل فيها الجدران

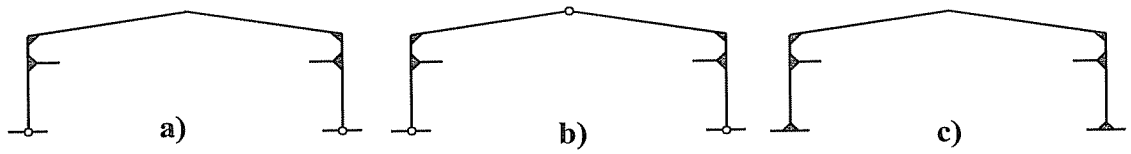
13-6 أنواع الجمل الإنشائية المستعملة في الصالة المعدنية ذات الفتحة الواحدة

13-6-1 الإطارات

- تستعمل الإطارات ذات مقاطع الجسد المليء (العناصر الصفائحية) كعناصر حمالة بثلاثة أشكال متفاوتة بالصلابة الجانبية والشاقولية:

a) إطار بمفصلين، b) إطار بثلاثة مفاصل، c) إطار موثوق الأساسات، الشكل (13-9).

- يتم تصميم مقاطع الإطارات على هذا الأساس، ويمكن تدوين الملاحظات الآتية على هذه الأشكال الثلاث.



الشكل (14-9): بعض أنواع الإطارات

a – الإطار بمفصلين يشكل جملة غير مقررة إنشائياً من الدرجة الأولى، احتياج الفولاذ اللازم في تصميمه متوسط، تكاليف تنفيذ الأساسات متوسطة صلابته الأفقية قليلة بالمقارنة مع الإطار الموثوق ويستعمل بكثرة.

b – الإطار بثلاثة مفاصل وهو جملة مقررة، الفولاذ اللازم في تصميمه عالي تكاليف، تنفيذ الأساسات متوسط، صلابته الأفقية مشابهة للإطار بمفصلين، نحتاج في تنفيذ المفصل الوسطي إلى تكاليف إضافية، وكذلك يجب تثبيت المقاطع المجاورة للمفصل عند القمة لمنعها من التحنيب.

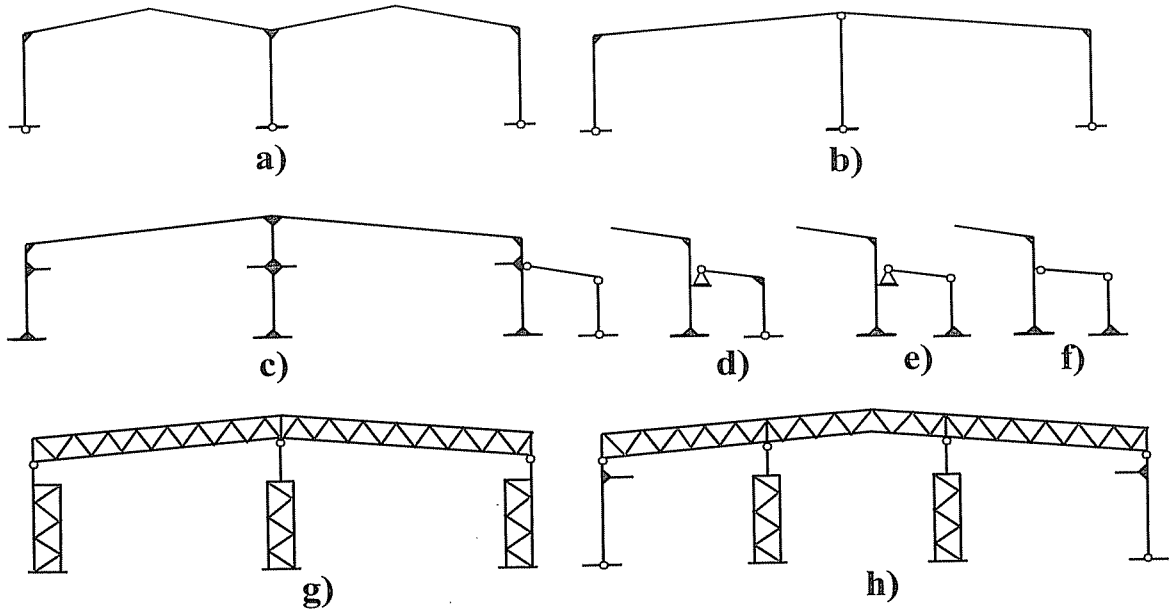
c – الإطار الموثوق والذي يشكل جملة غير مقررة من الدرجة الثالثة، الفولاذ اللازم في تصميمه قليل، تنفيذ الأساسات ذات كلفة عالية، صلابته الأفقية جيدة، والإطار ذو الجسد المليء صالح للصالات ذات الفتحات الواحدة، أو المتعددة الفتحات برافعة متحركة متوسطة أو خفيفة الحمل أو من دون رافعة، وهو اقتصادي حتى فتحة (30) متراً.

13-6-2 جملونات على أعمدة نوسيه مع روابط طولانيه

- تستعمل هذه الجملة الإنشائية غالباً بوصفها جملونات (جوائز بشكل سنم الجمل) شبكية أو ذات مقطع جسد مليء، فتحتها أقل من 18 m مستندة على أعمدة متمفصلة من الطرفين، أي في نقطة استناد الجملون السقفي وفي نقطة أساس العمود.
- توضع روابط أفقية في رأس العمود من أجل القوى الأفقية الناتجة عن حمولات الرياح والصدم الجانبي من الرافعة المتحركة في هذه الجمل، ونادراً ما تنفذ في مستوى السقف، وتكون على امتداد الصالة وتثبت في جدران الجملون، وقد تكون هذه الروابط الأفقية كتلية أو عناصر شبكية، أما استقرار الصالة في الاتجاه الطولي فيصمم بشكل مشابه للإطارات مع الروابط الأفقية.
- القوة الرئيسة المؤثرة على الأساس في هذه الجمل هي القوة الشاقولية، لذلك تكون تكاليف تنفيذ الأساسات قليلة، كما أن استهلاك الفولاذ قليل في الأعمدة النوسية (المتمفصلة من الطرفين بقوة شاقولية فقط).
- نحتاج إلى كلفة عالية لتنفيذ الروابط والدعامات المختلفة، ومن الجدير ذكره أن أي توسع في الصالة أو فتحات في جدران الصالة لا يمكن إجراءه بسهولة بل ضمن شروط محددة.
- أن الصلابة الأفقية الضعيفة لهذه الجمل تمنع من تركيب روافع متحركة ذات استطاعات ثقيلة أو متوسطة.

13-7 الجملة الإنشائية للصالات المتعددة الفتحات

- تشكل الصالات المتعددة الفتحات بوضع سلسلة من الإطارات المتجاورة، أو الجملونات المستندة على أعمدة، وعندها ترتفع درجة عدم التقرير في الهيكل.
- يبين الشكل (13-10) بعض الأمثلة على هذه الصالات الجمل (a, b, c) إطارات ذات مقاطع بجسد مليء، وهي صالحة للصالات من دون روافع متحركة متوسطة أو معها أو خفيفة، أما الصالات التي تحتوي روافع متحركة ثقيلة تحتاج إلى هياكل ذات أعمدة شبكية موثوقة.
- نلجأ إلى وصل فتحات جانبية بوصفها هياكل مقررة على جانبي الفتحات الرئيسة أحياناً، الشكل (13-10-c, d, e, f) وينصح في حالة توسيع الصالة بالنموذج d نظراً لأن القوى الأفقية المتولدة في عمود الهيكل الرئيس المنشأ سابقاً وأساساته تكون صغيرة.



الشكل (13-10): صالات متعددة الفتحات ذات سلسلة من الإطارات، أو الجملونات المتجاورة

13-8 عناصر التغطية للسقف

13-8-1 مقدمة

- يتعلق اختيار عناصر التغطية للسقف والجدران الخارجية بالوظائف الموكلة إليها للحماية من تأثيرات الطقس، مثل الأمطار والثلوج والرياح وأشعة الشمس، ويجب أن تفي بالمتطلبات الفيزيائية للبناء، وبشكل رئيس تأمين العزل من الحرارة والبرودة والرطوبة التي يتعرض لها المنشأ، مع كونها خفيفة ذات مدة استعمال طويلة ومقبولة من الناحية الجمالية، بالإضافة إلى قابليتها للتجهيز والنقل والتركيب السريع.
- ينشأ في عناصر التغطية قوى قص إضافية ناتجة عن الرياح، بالإضافة إلى قوى القص الموجودة الناتجة عن الأحمال، ويجب إن تقاوم بعناصر التثبيت على الهيكل، كما أن صلابة عناصر التغطية يجب أن تكون كافية، بحيث تكون المسافة بين الأواصف التي تحملها مناسبة.
- يجب البحث عن عناصر تغطية جديدة للسقف والجدران، ذات قدرة أفضل على العزل الحراري، للتخفيف من استهلاك الطاقة في التكييف، مع سهولة التجهيز والتركيب، والاستفادة من واقعية التحميل على الجمل الإنشائية للصالات.
- السقوف من دون عزل حراري: نذكر منها صفائح مشكلة، أو بلاطات خرسانية، أو صفائح مموجة من الإنترنيت، أو صفائح مدعمة بالألياف.

- السقوف ذات عزل حراري، منها سقوف باردة ومنها سقوف ساخنةً تكون أحياناً مغطاة بمواد خرسانية BDD، أو صفائح على شكل صندويش، ومن المعلوم أن زيادة صلابة صفائح التغطية تسمح بزيادة التباعد بين الأواصف التي تحملها، ولزيادة الصلابة تأثير على أماكن العقد وشكل الجملون.
- في حالات التغطية الخرسانية الثقيلة مثل البلاطات الخرسانية المفرغة وبلاطات الكاسيت، وغيرها من التغطية الصلبة، فإنه يسمح أحياناً بإلغاء الأواصف، أما في حالات التغطية الأخرى فيكون وضع الأواصف ضرورياً.
- تعمل العوارض الأفقية في الجدران الخارجية عمل الآصف في السقف بالنسبة للتغطية، وعليه يمكن إلغاؤها في حالة استعمال البلاطات الخرسانية لتغطية الجدران، ولمقاومة قوى الرياح الأفقية الشديدة، مع أن وزنها يتم تحويله مباشرة إلى الأساس، وفي استعمال جدران القرميد أو الحجر يجب إتباع التعليمات الخاصة بهما.
- أن تحديد زاوية ميلان السقف على جائز واحد أو على جانبين، يجب أن يتعلق بنوعية التغطية لسطح السقف، بحيث يستطيع ماء المطر أن يسيل عليها بسرعة مقبولة، من دون نفاذ إلى داخل المنشأ، وقد حددت زاوية الميلان الدنيا التي ينصح بأخذها حسب نوعية التغطية في الجدول رقم (13-1) عموماً.

الجدول (13-1): ميلان السقف ارتباطاً بنوع التغطية

الميلان بالدرجة	نوعية التغطية
3°	الصفائح المطلية بالزنك، الورق المقوى مع الزفت
10°	الصفائح المستوية المعدنية المطلية بالزنك والمموجة
18°	التغطية بالآجر الأحمر والأترنيت
30°	زجاج، صفائح معدنية عادية، صفائح صندويش

- يؤخذ ميلان السطح العلوي للصالات الصناعية بنسبة 2,5 % إلى 10%.

13-8-2 أشكال التغطية لسقوف الصالات

- تشمل التغطية المعدنية الفولاذ المطلي بالزنك والألمنيوم وتكون وحمولتهما على الآصف خفيفة، وهي ذات عزل جيد للماء لقلة الشقوق فيها. ولكن يجب تغطية الشقوق الناتجة عن وصلها مع بعضها بعضاً في الأطراف، وتكون فيها فتحات النور والتهوية والنوافذ سهلة التجهيز والتركيب.
نذكر من مساوئ التغطية المعدنية قابليتها لنقل الحرارة الخارجية، مما يدعوا إلى استعمال عوازل واقية، تثبت تحت الصفائح أو فوقها مع تهوية هذه الصفائح لمنع تكاثف الأبخرة.

- الصفائح المشكلة من الألمنيوم: والتي تُشكل أما بشكل منحني (موجات)، وأما على شكل شبه منحرف. يجب أن تكون حماية الألمنيوم من التآكل دائمة، إذ يُعد الألمنيوم شره كيميائياً، لذلك لابد من عزله بوساطة شرائح خاصة، عن العناصر والمقاطع المعدنية التي يرتكز عليها أو بمواد خرسانية وغيرها مثل الزفت.
- الصفائح المشكلة من الفولاذ: تطلى الصفائح الفولاذية عادة بالتوتياء أو بمواد أخرى، حيث تشكل على البارد بشكل شبه منحرف.
- بلاطات من الخرسانة المسلحة المفرغة: وهي بلاطات خرسانية ذات تسليح خفيف، وتتعرض هذه البلاطات لحمولات ساكنة موزعة بانتظام، وتكون أحياناً مفرغة بأنابيب ولها عناصر متداخلة في بعضها لتصبح متماسكة بشكل أفضل.
- البلاطات الخرسانية الكاسيت: هذه البلاطات هي بلاطات مسبقة الصنع إبعادها 6 m عادة، أو قد تكون مسبقة الإجهاد وحتى 12 متر، تحملها أواصف وقد يصمم الهيكل من دون أواصف.
- صفائح الأترنيت المموجة: يفضل الابتعاد عن هذه المادة لأنها من المواد المسرطنة.
- صفائح الصندويش: وهي عناصر تغطية خفيفة قابلة للتجهيز بسرعة، مؤلفة من ثلاث طبقات سطحاها الخارجيان معدنيان كاتمان للماء (صفائح معدنية)، تضم بداخلها نواة من عازل خفيف، وتوصل الطبقات الثلاث مع بعضها بعناصر وصل لمقاومة الشد والقص مع عازل حراري، أو قد تكون النواة من مواد لاصقة، وتستعمل لتغطية سقف وجدران الصالة. وبالنسبة للطبقتين المعدنيتين فإن هناك أنواع متعددة من الصفائح تستعمل لهذا الغرض.

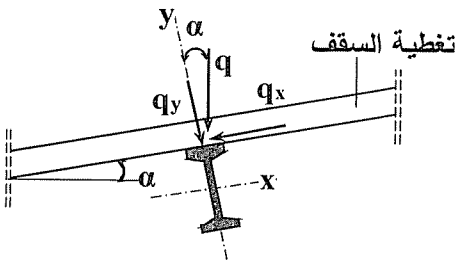
9-13 عناصر التغطية للجدران

- تستعمل لتغطية الجدران عناصر مشابهة تقريباً لعناصر السقف، إلاّ أن هناك بعض الخصوصيات لهذه العناصر تجعلها أحياناً مختلفة.
- صفائح الألمنيوم: لا تختلف صفائح الألمنيوم في الجدران عن صفائح الألمنيوم في السقف، إلاّ في مسافة الوصلات، أي تراكب الصفائح مع بعضها البعض، حيث تكون مسافة الوصل في هذه الحالة أكبر، أما الوصلات العرضية يجب أن تزيد عن 100 mm.
- صفائح الفولاذ: هناك أنواع جيدة من هذه الصفائح ومناسبة تستعمل لهذا الغرض، ويجب أن تكون أسمك قليلاً من صفائح السقف المعدني.
- الجدران الخارجية الخرسانية: تستعمل لذلك بلاطات مسبقة الصنع من الخرسانة الخفيفة، أو الخرسانة العادية، أو من الخرسانة التي تحوي على سيليكات، أو الخرسانة الغازية.
- صفائح الصندويش: وهي كما ذكرنا صفائح من الألمنيوم أو الفولاذ، تحتوي على نواة عازلة وقد تكون الصفائح الخارجية من الأترنيت.

- جدران القرميد أو الحجر: تستعمل بكثرة ويجب العناية عند استعمالها بعملية تعشيقها بالعناصر المقاطع المعدنية.

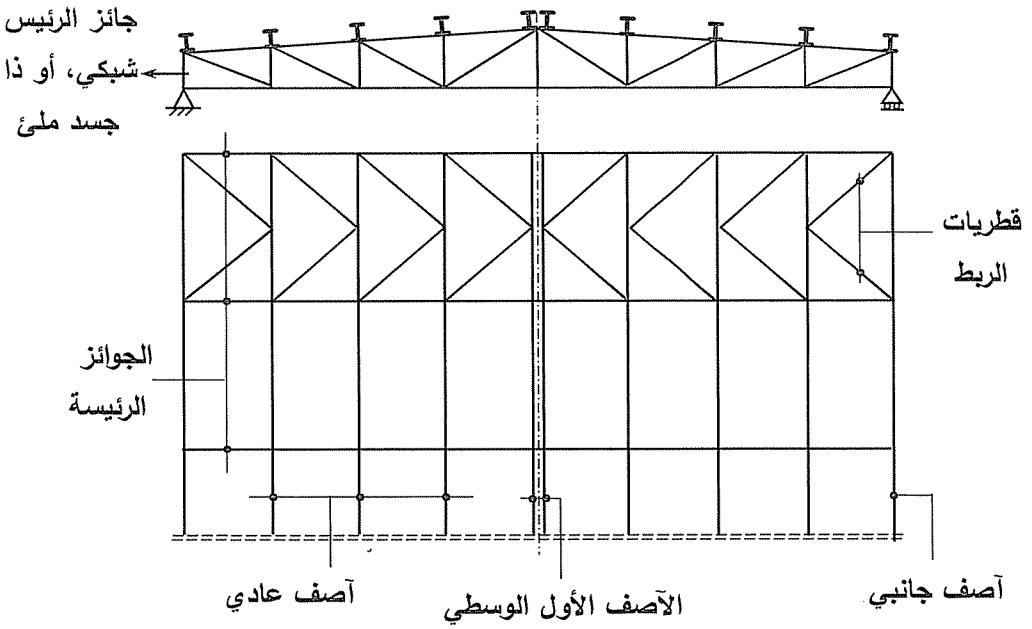
10-13 الأواصف

- تستند عناصر التغطية إلى جوائز ثانوية، هي الأواصف تنقل حمولتها إلى العناصر الرئيسة الحمالة، والأواصف عادة ممتدة بالاتجاه الطولي للصالة بشكل معامد للجملونات الحمالة، ترتكز عليها الأفعال مثل الوزن الذاتي والثلج والرياح وغير ذلك.
- يتعلق تحديد التباعد بين الأواصف بفتحة الجملون وبصلابة عناصر التغطية، كما يجب الانتباه على التباعدات بين عقد الوتر العلوي، في حالة الجائز الشبكي في الأبنية الصناعية ذات السقوف الأفقية.
- توضع الأواصف بشكل شاقولي تماماً لتستقبل حمولات المساحة السقفية المناسبة، وتثبت بشكل سهل على الجملونات، كما يجب أن تكون نقاط استناد التغطية عليها غير مكلفة.
- عند ميلان مقطع الآصف تحلل الحمولة q إلى مركبتين منطبقتين على محوري الآصف الرئيسيين، $q_x = q \cdot \sin\alpha \; ; \; q_y = q \cdot \cos\alpha$، كما في الشكل (13-11).



الشكل (13-11): تحلل الحمولة q إلى مركبتين

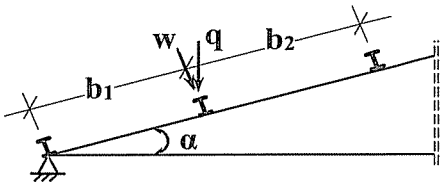
- المركبة q_y تولد إجهادات على محور الانعطاف لمقطع الآصف (x-x)، أما المركبة q_x فتكون إجهاداتها على المحور (y-y)، وتسمى إجهادات قص السقف وتسبب فتل المحور (Z-Z).
- يجب أن لا تؤثر عزوم الانعطاف وعزم الفتل في الآصف على عناصر التغطية مطلقاً، وذلك بنقل الإجهادات بشكل كامل إلى العناصر الحمالة الرئيسة. إلاّ أن إجهادات مركبة الانعطاف الأفقية حول المحور الشاقولي تكون صغيرة نوعاً ما، وبالتالي يفضل أن تكون الإجهادات الناتجة عن العزم في مقطع الآصف حول المحور الأفقي فقط، إذا ضمن نقل إجهادات القص للسقف من الأواصف الوسطية إلى الأواصف الطرفية ومنها إلى الجملونات، الشكل (13-12).



الشكل (13-12): نقل إجهادات القص من الأواصف الوسطية إلى الأواصف الطرفية

تحتل عناصر الربط بين الجملونات موقع هام في تحمل إجهادات الرياح، وتتحمل قوى ناظمية إضافية من الأواصف يجب حسابها.

- تنفذ عوارض الجدران عموماً بمقطع مدرفل]، كجائز بسيط بمسندين، يتعرض إلى حمولة الوزن الذاتي لعناصر الجدران q وهي باتجاه قص السقف q_x، ويتعرض أيضاً إلى حمولة الرياح W وهي توافق مركبة الحمولة q_x، أما حساب الحمولات فهي تشابه من حيث المبدأ الأواصف، لذلك لا حاجة للتنويه عنها.
- يتحمل الآصف الطرفي مع الآصف الوسطي في قمة الجملون، قسم كبير من الرياح من الطرفين، ويجب تحقيق الإجهادات في مقاطع الأواصف ضد التحنيب الجانبي (13-13).



الشكل (13-13): حمولة الرياح على الآصف الطرفي أيضاً

13-10-1 أشكال الآصف

يمكن تصميم الأواصف بهياكل إنشائية مختلفة منها، جائز بسيط بمسندين، أو جائز مستمر.

أ- الجائز البسيط:

- يُعد من أبسط الهياكل الإنشائية، ويكون العزم هو المسيطر في مقاطعه عادة، حيث تحسب قيمة العزم بالاتجاهين للحمولة الموزعة بانتظام.

$$M_y = \frac{q_y \cdot L^2}{8} \quad ; \quad M_x = \frac{q_x \cdot L^2}{8} \qquad (1\text{-}13)$$

- إن استهلاك المواد في تصميم مقاطعة يُعد عالياً نسبياً، كما أن الترتيبات الإنشائية السهلة (مثل الطول المتساوي للأواصف والثقوب القليلة) تؤمن سهولة تواصل عمليات التنفيذ والتجهيز.
- السهم في منتصف الجائز الناتج عن الحمولة الموزعة بانتظام باتجاه المحور Y:

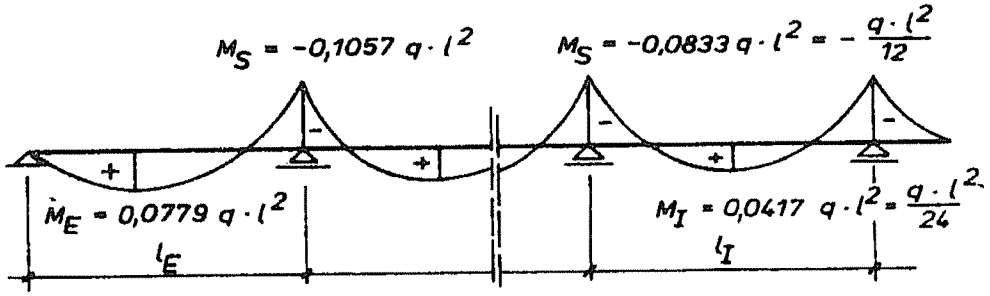
$$f = \frac{5 \cdot q_y \cdot L^2}{384 \cdot EI_x} = \frac{5 \cdot M_x \cdot L^2}{48 \cdot EI_x} \qquad (2\text{-}13)$$

L: فتحة الجائز بالمتر.

وتعطى قيمة السهم f الأعظمي المسموح للصفائح $\frac{L}{200}$.

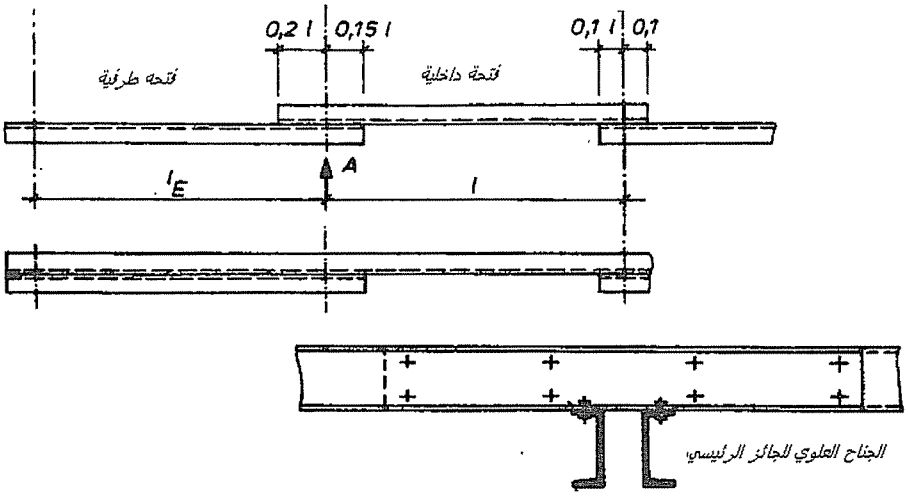
ب- الآصف بشكل جائز مستمر:

- جائز مستند على ثلاث مساند أو أكثر بفتحات مستمرة، تستنتج قوى والعزوم في المقطع بالطرائق المعروفة، ويمكن أن تصمم المقاطع في كل الفتحات متماثلة، أو أن تكون المقاطع متغيرة على امتداد الفتحات، تستعمل أنواع من المقاطع المختلفة المدرفلة، كما في الجائز البسيط، ومما يجدر الانتباه إليه أن قيمة عزم المسند الداخلي الأول هي الحاكمة في التصميم، الشكل (13-14) يعرض قيم العزوم للاستئناس.



الشكل (13-14): قيم العزوم في الجائز المستمر على عدة فتحات

- يساعد الجائز المستمر في تخفيض استهلاك الفولاذ أكثر من الجائز البسيط. يجب الانتباه لحالة الجائز المستمر ذي المقاطع المتغيرة إلى اختلاف قيم العزم عن الحالة السابقة، الشكل (13-15).

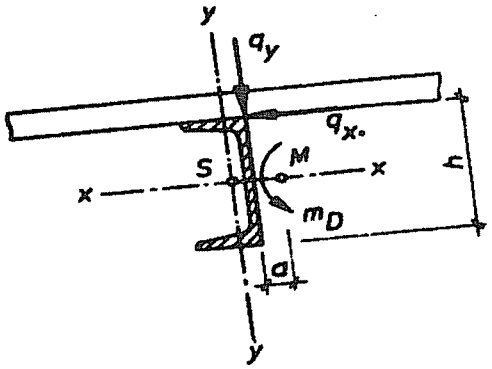


الشكل (13-15): جائز مستمر ذي المقاطع المتغيرة

13-10-2 إجهادات الأواصف

- تتعرض الأواصف إلى عزوم وقوى قاطعة ناتجة عن أحمال التغطية عليها، وتولد محصلة القوى على مقطع الآصف، عندما يكون مقطعه بشكل]، إجهادات فتل m_o، تحسب قيمتها بالعلاقة الآتية، انظر الشكل (14-16):

$$m_0 = q_y \cdot a + q_x \cdot \frac{h}{2} \qquad (3\text{-}13)$$

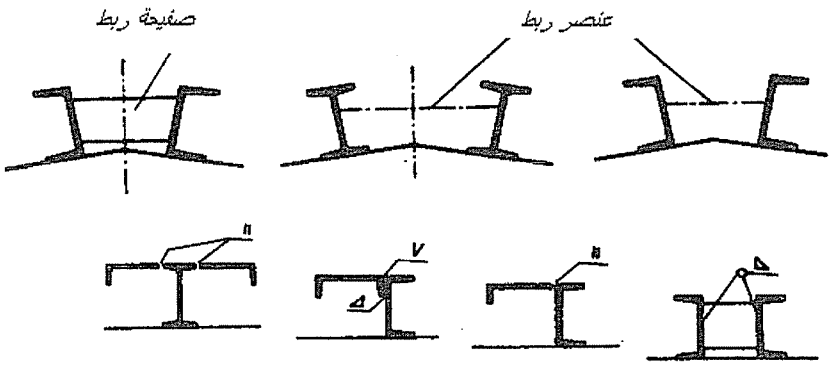


الشكل (13-16): عزوم فتل في المقاطع بشكل مجريه

- يجب أن يؤخذ بالحسبان التأثير المشترك السلبي للإجهادات الناتجة عن الوصلات على الأواصف والتغطية، لأن تصميم الآصف يتطلب قدرة تحمل عالية، مع مراعاة توفير مواد البناء، وهذا يدعو إلى استعمال مقاطع فولاذية فعالة ذات جدران رقيقة، وملاحظة زيادة الإجهادات في عناصر التغطية.
- من أجل تحقيق الإجهادات العادية في مقاطع الآصف العادي I تحسب بالعلاقة:

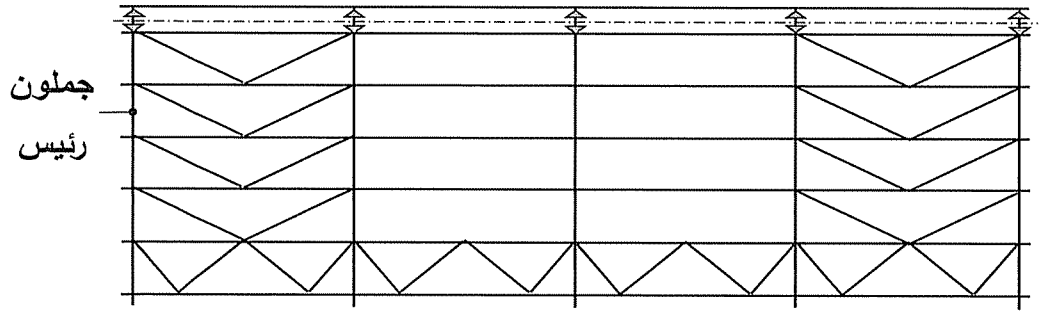
$$\sigma = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_x}{W_x} \le \overline{\sigma} \qquad (4\text{-}13)$$

- يجب تقوية الآصف الموجود في القمة أو منتصف الصالة لاستقبال قص السقف بواسطة صفيحة، الشكل (13-17).



الشكل (13-17): تقوية الآصف الموجود في القمة بصفيحة أو بعنصر ربط

- يجب تقوية مقطع الآصف الموجود في طرف الجملون المعدني لأهميته خاصة، لأن عليه استقبال قوى إضافية مثل الرياح والروافع وقص السقف، أما عناصر الربط بين الجملونات فهي ضرورية لتثبيت الجملونات أثناء التنفيذ، ولمقاومة حمولات الرياح أثناء الاستثمار مع الحمولات الأفقية، الشكل (13-18).



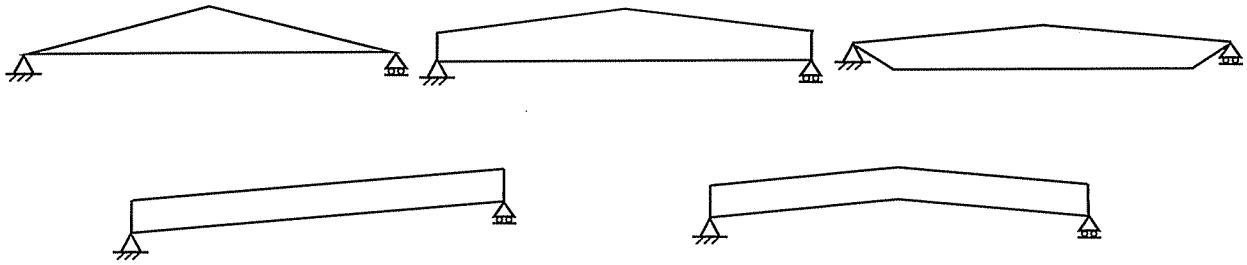
الشكل (13-18): تقوية مقطع الآصف الموجود في طرف الجملون

13-11 الجملونات وعناصر الربط في الصالة

- مهمة الجملونات استقبال حمولات الأواصف ونقلها إلى الأساسات، ويوضع الجملون بشكل عرضي على امتداد الصالة، وعندما تكون فتحة الجملون أصغر من البعد بين العمودين يوضع مسند مساعد بينهما.
- تُصمم الجملونات بمقاطع ذات جسد مليء، أو بشكل جوائز شبكية، وهي تُناسب الصلات المعدنية أكثر من مقاطع ذات الجسد المليء.
- تضاف عناصر ربط سقفية في مستوى الجملون الطرفي في بداية ونهاية الصالة، مهمتها استقبال حمولات الرياح مع قوى الضغط الناظمية المولدة في الوتر العلوي للجملون من تأثير الحمولات الخارجية، أو من تأثير انحراف التنفيذ، و تكرر عناصر الربط كل 5 فتحات كما ذُكر سابقاً.

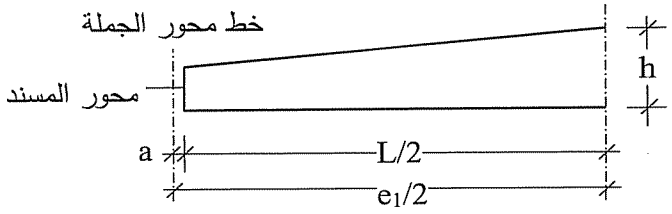
13-11-1 الجملونات على شكل جوائز شبكية

- يجب التنويه إلى أن فرض الحمولات على الجوائز الشبكية هي نفسها الحمولات من الأواصف: حمولات الوزن الذاتي للآصف والتغطية والرياح والثلج بالنسبة للوزن الذاتي للجائز الشبكي.
- يجب أن لا ينسى المهندس المصمم وزن معدات الإنارة والتهوية المعلقة على السقف، توزع الحمولات السقفية على العقد بين الأوتار العلوية أو السفلية، وتحسب القوى الناظمية لكل حالة من حالات التحميل، بما في ذلك الحالة التي تكون فيها حمولة الثلج على إحدى نصفي الجملون، حيث تتولد في بعض عناصر الجائز الشبكي قيمة كبيرة للقوى الناظمية، ويمكن إتباع طرائق عديدة لإيجاد القوى والعزوم الداخلية للمقطع، ويمكن حسابها باستعمال الحاسب.
- إن أشكال الجوائز الشبكية متعددة، ولا يمكن حصرها، وهناك أنواع عديدة مألوفة ومستعملة في الحياة العملية، وقد أثبتت جدارتها في الصالات المعدنية كما في الشكل (13-19).



الشكل (13-19): بعض أشكال الجوائز الشبكية

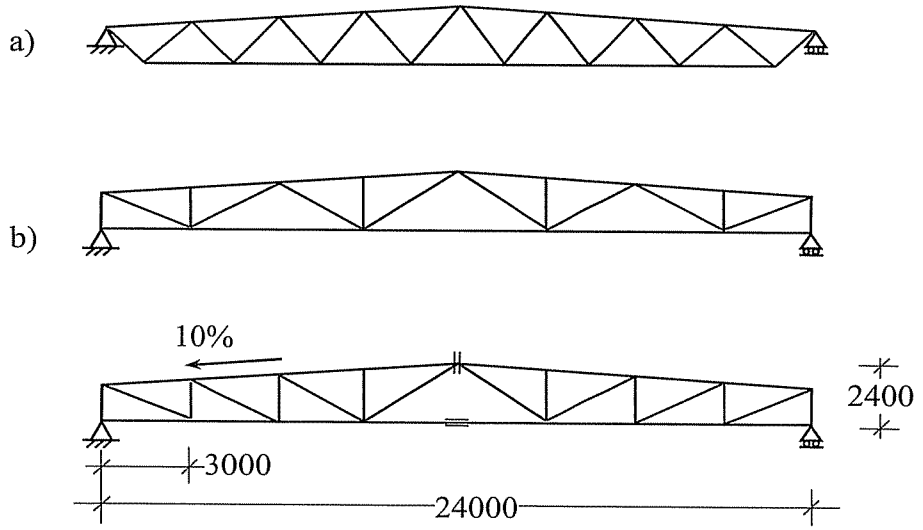
- يمكن للمساند أن تكون في مستوى الوتر العلوي، أو في مستوى الوتر السفلي، أما فتحة الجائز الشبكي فهي كما في الشكل (13-20)، تختلف باختلاف الصالة وتقدر $a = 100 \rightarrow 200\,mm$ ، أما $L = e_1 - 2 \cdot a$.
- يجب أن يتراوح ارتفاع الجائز الشبكي الاقتصادي بين $\frac{L}{10}$ و $\frac{L}{7}$، وقد يصل أحياناً $\frac{L}{15}$، والارتفاع المفضل هو $\frac{L}{10}$، أما العقد فهي مفصلية قابلة للتنفيذ بواسطة اللحام أو البراغي.



الشكل (13-20): فتحة الجائز الشبكي تصل إلى 200 متر

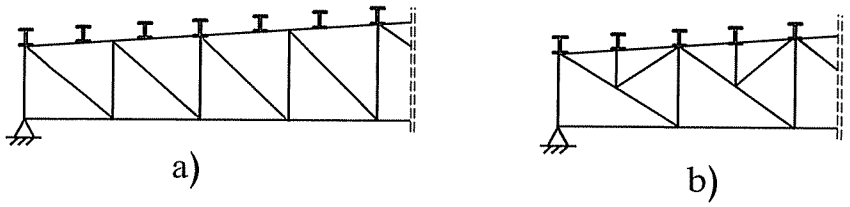
- يجب ملاحظة أمور عديدة عند اختيار شكل الجائز الشبكي، أهمها أن تكون العناصر مستقيمة غير منحنية، وعند اختيار عناصر منحنية يجب تنفيذ الانحناء بعناية، أما الزوايا بين العناصر فيجب أن

تكون أكبر من 30 درجة لتسهيل تنفيذ العقد، مع محاولة تركيز الأواصف على عقد الجائز الشبكي، يبين الشكل (13-21) أشكال متعددة للجائز الشبكي.



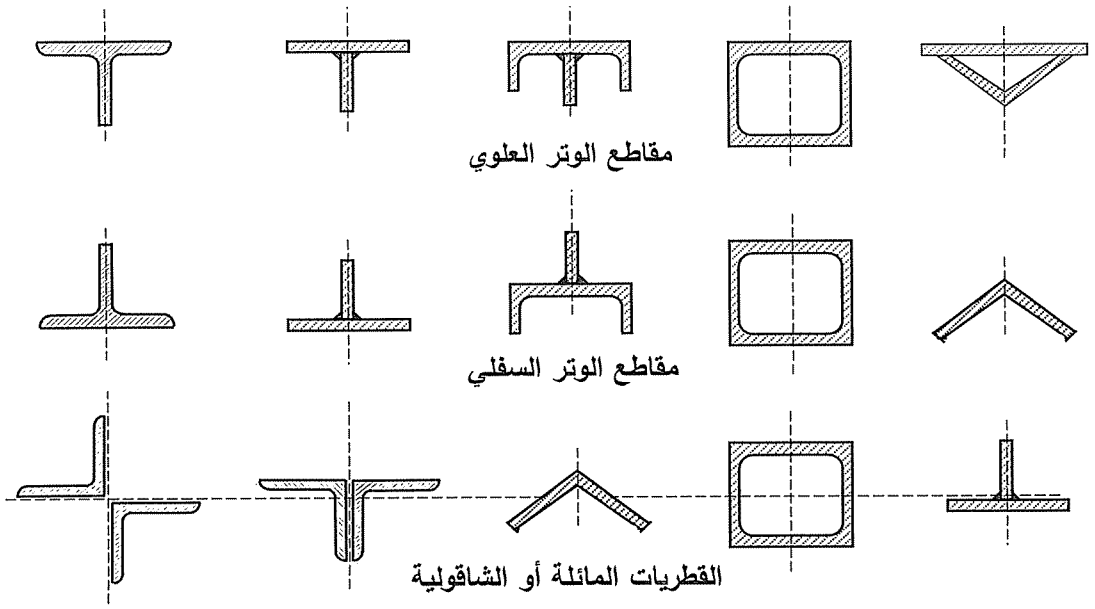
الشكل (13-21): أشكال متعددة للجائز الشبكي

- تنشأ مشاكل عديدة في الفتحات الكبيرة يجب حلها، مثل توزيع عناصر التغطية، ويمكن إضافة عناصر جديدة على الجائز الشبكي لتقوية الوتر العلوي، أو جعل الوتر العلوي كجائز مستمر يتحمل عزوم انعطاف مستندة على عناصر نحيفة شبكية، الشكل (13-22).



الشكل (13-22): تقوية الوتر العلوي بإضافة عناصر جديدة على الجائز الشبكي

- يلجأ مهندس التنفيذ أحياناً إلى تصنيع أقسام الجائز الشبكي في رحبة المنشآت المعدنية، ومن ثم نقلها إلى مكان المشروع لتجميعها هناك، مع الأخذ بالحسبان إمكانيات وسائل النقل الحاملة لمثل هذه العناصر والشوارع التي ستمر بها وغير ذلك، أما أشكال مقاطع عناصر الجائز الشبكي فهي متنوعة والشكل (13-23) يبين بعض المقاطع للوتر العلوي والوتر السفلي والقطريات.



الشكل (13-23): بعض مقاطع للوتر العلوي وللوتر السفلي وللقطريات

- يجب حساب التشوه الحاصل في الجائز الشبكي بالاتجاه الأفقي والشاقولي، وهو الانتقال في العقد U و V وتقارن بالسهم المسموح.

13-11-2 الجملونات على شكل جوائز جسد مليء

- وهي الجوائز الرئيسة الحاملة للسقوف المعدنية بشكل جسد مليء، إذ أنها تستقبل جميع الحمولات الآتية عن طريق التغطية وعناصر الربط وكذلك حمولات الروافع وحواملها.
- يجب أن يكون ميلان الوتر العلوي نفس ميلان السقف. كما أن سهم الجملون يتعلق بشكل رئيس بنوعية الفولاذ وارتفاع مقطعه، لذلك يتم اختيار شكل الجملون بحيث نحصل على أقل كلفة كلية.
- يتعلق التباعد الاقتصادي بين الجملونات بعوامل عديدة، منها فتحة الجملون L، والتباعد بين الأواصف a، والحمولة الكلية المطبقة على الجملون q تقدر بالـ kN/m^2 في العلاقة (13-5)، التي تستعمل لحساب البعد بين جملونين متتالين b، وتعوض باقي العوامل L , a بالمتر وتحسب b بالمتر، وهي علاقة توجيهيه غير ملزمة، يجب تعديلها لتناسب الطول الكلي للسقف.

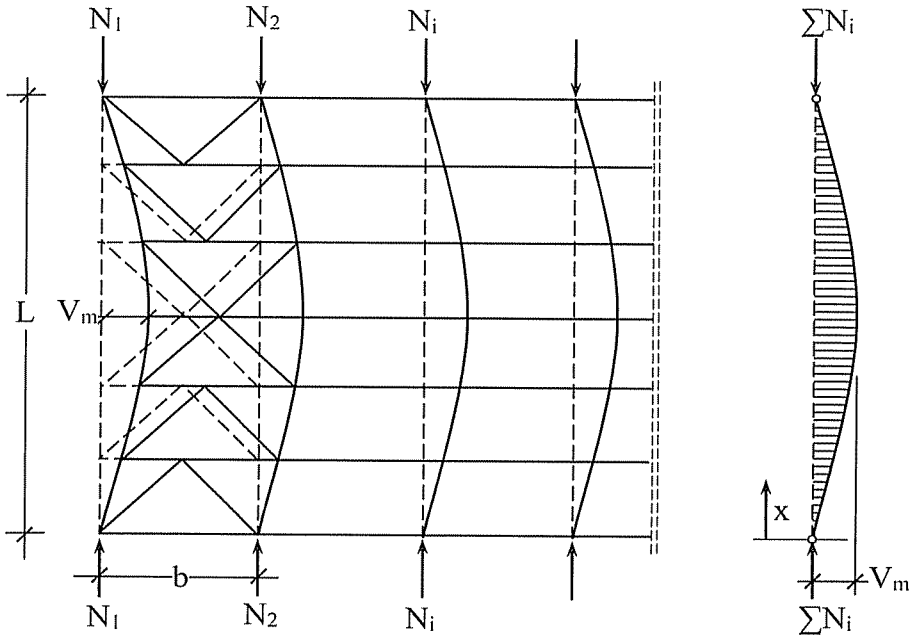
$$b = 0.28 \cdot (L+1) \cdot a^{0.18} \cdot q^{0.28} \qquad (5\text{-}13)$$

- عند استعمال عناصر التغطية الصلبة كصفائح الخرسانة الخفيف مثلاً، يمكن توفير كمية من فولاذ الأواصف وكلفة تجهيز المساند، ويكون ذلك بتكبير البعد بين الآصف وتثبيت البلاطات مباشرة على الجناح العلوي للجملون.
- أن تشكيل الجملونات من جائز ذي مقطع مليء، يمتاز عن الجائز الشبكي بمزايا عديدة، كصغر ارتفاعه وقلة تكلفة التصنيع. ويمكن استعمال المقاطع المدرفله في الفتحات الصغيرة، أما الجوائز

الشبكية فهي تستعمل للفتحات الكبيرة، وتمتاز بشكلها الجميل، وتسمح بمرور الضوء، كما تسمح بتمرير الأنابيب والكابلات خلالها من دون أي صعوبة، إلا أن كلفة التصنيع للجوائز الشبكية كبيرة، يمكن تغطيتها بقيمة كمية الفولاذ التي يمكن توفيرها من الوزن الذاتي، وقد يبلغ التوفير حتى الـ 30% من وزن الجائز ذي الجسد المليء.

3-11-13 عناصر الربط بين الجملونات

- يتم ربط الأوتار العلوية بين الجملونين الطرفين المتجاورين في الصالة بعناصر الربط الأفقية، مهمة هذه العناصر الأفقية جعل السقف مستمر أثناء التنفيذ، حيث يُربط الجملونان الأوليان ليكونا نقطة تثبيت واستقرار فراغية لكافة الجملونات التي ستقام لاحقاً، وهي تقاوم الرياح في الاتجاه الطولي وتمنع تحنيب الأوتار العلوية المضغوطة جانبياً أثناء الاستثمار، كما ذكر سابقاً.
- هناك أشكال متعددة لترتيب هذه العناصر التي تشكل في الواقع جوائز شبكية، وتحسب القوى الناظمية في العناصر على هذا الأساس، وتؤثر عليها قوى الرياح W، ويمكن أن تتداخل الأواصف فيها لتشكل قطريات شاقوليه والعناصر المتصالبة وتكون مشدودة أو مضغوطة حسب مكان وجودها .
- تؤثر قوة الرياح على عناصر الربط وتولد القوة الناظمية في العناصر التي يجب حسابها كما في الشكل (13-24).



الشكل (13-24): تأثير قوة الرياح على عناصر الربط

المراجع للقسم الأول

1. Eurocode 3: Design of steel structures, part 1.1: General; rules and rules for building, DD ENV 1993-1-1:1992, 25 March 2003.
2. Eurocode 3: Bemessung und konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau, Deutsche Fassung ENV 1993-1-1: 1992, DIN V, ENV 1993-1-1: 1992, April 1993.
3. Eurocode 3: Design of steel structures, part 1.1: General; rules and rules for building, EN 1993-1-1:2005, The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC.