

جمهورية العراق

وزارة التخطيط

الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية

وزارة الإعمار والإسكان

والبلديات والأشغال العامة

دائرة المباني

مدونة الانشاءات الفولاذية

مدونة بناء عراقية

م.ب.ع ٣٠٥

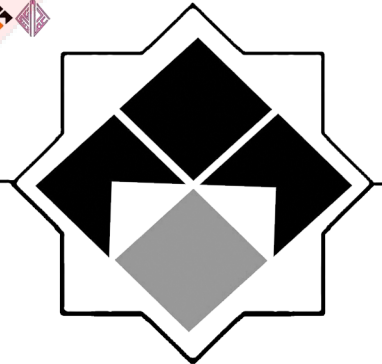
إن هذه المدونة معتمدة رسمياً وملزمة بموجب قانون الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ومنشورة في جريدة الوقائع العراقية في اصدارها ذي العدد ٤٣٧٧ في ٢٤/٨/٢٠١٥ وجميع ما تحتويه من اشتراطات ملزمة الاتباع والتطبيق من قبل الجهات الحكومية والقطاع الخاص لجميع المشاريع الانشائية وقطاع التشييد في جمهورية العراق وكل نسخة غير مختومة بختم الوزارة صاحبة حقوق الطبع والنشر والتوزيع تعتبر مزورة.

وزارة الاعمار والاسكان
والبلديات والأشغال العامة



الطبعة الاولى

٢٠١٥م-١٤٣٦هـ



فريق إعداد مدونة الانشاءات الفولانية

الأستاذ الدكتور/ نـمـير عبد الأمير حـمـيد

الأستاذ الدكتور/ هـيـثم حـسـن مـتـعـب

الأستاذ الدكتور/ عـمـار يـاسـر عـلـي

الأستاذ الدكتور/ مـصـطـفـى بـلـاسـم دـاود

الأستاذ المساعد الدكتور/ جـبـر مـهـدي عـمـران

الأستاذ المساعد/ عـبـد الرضا صـالـح هـادـي

فريق تدقيق مدونة الانشاءات الفولانية

الأستاذ المساعد الدكتور/ عـمـار عـبـد الجـبـار عـبـد الرـحـمـن

الأستاذ المساعد الدكتور/ عـادـل عـبـد الـامـير العـزـاوي

الأستاذ المساعد / مـوـفـق تـوـفـيق الـسـمـعـانـي

اللجنة الفنية للمشروع

سعد عبد الوهاب عبد القادر / رئيس اللجنة
الدكتور المهندس عماد حمزة محمد حسين
الدكتور المهندس علي عبد الحسين مجبـل
الدكتور المهندس خالد احمد جـودي
الدكتور المهندس رائد رمزي العمري
الدكتور المهندس ليث خالد كامـل
الدكتور المهندس محمد صالح سلمان
الدكتور المهندس خالد عبد الوهاب مصطفى
الدكتور المهندس رائد حسن عبـود
الدكتور المهندس مقـداد حيدر الجـودي
الدكتور المهندس منقـذ سلـيم داود
ر.مهندسين أقدم حسين محمد علي
الخبير المهندس نهاد قاسم محمد
ر.مهندسين أقدم جنان رضا محمد

اللجنة الادارية للمشروع

الخبير المهندس حسين مجيد حسين / مدير المشروع
الدكتور المهندس رائد حسن عبـود
رئيس مهندسين الهام ابراهيم عبد الرزاق
م. أقدم حيدر علاوي صالح
م.مهندس هبة محمد عبـود

لجنة متابعة المدونة

الخبير المهندس جبار حمزة لطيف / رئيس اللجنة
مهندس أقدم ضياء عبد الرزاق

تقديم

بسم الله الرحمن الرحيم

تستمر وزارة الاعمار والاسكان والبلديات والأشغال العامة على نهجها ودأبها وسعيها في رفد المكتبة الهندسية العراقية بما تحتاجه من مراجع تُعين المهندس في عمله، مصمماً أو منفذاً. فبعد إصداريتها الأولى من الخمس عشرة مدونة من مدونات متطلبات الحيز الفضائي في المباني، ومدونة السقالات، ومدونة التأسيسات المائية في المباني، ومدونة الإنارة الداخلية، ومدونة التأريض و الوقاية من الصواعق، ومدونة المصاعد، ومدونة التدفئة المركزية، ومدونة التهوية الميكانيكية، ومدونة حماية الأبنية من الحريق، ومدونة منظومات الكشف والإنذار بالحريق، ومدونة العزل الحراري، ومدونة العزل المائي، ومدونة الصوتيات، ومدونة التهوية الطبيعية والأصول الصحية، ومدونة الإنارة الطبيعية، وما تلاها من إصدار كل من الطبعة الثانية من دليل المهندس المقيم للمشاريع الانشائية، و الدليل القياسي لتحليل الأسعار لقطاع البناء والانشاءات بجزيئه (الأعمال المدنية وأعمال الخدمات الصحية والكهربائية والميكانيكية)، وكراس توصيف عناوين المهن والحرف والمؤهلات والإنتاجية للعاملين في قطاع التشييد والبناء، تأتي هذه المجموعة الجديدة من مدونات البناء لتُقدّم للمهندس الحاذق ما يجعله على بينة من دقائق حرفته التي يجب أن يُجهد نفسه في سبيل تحقيق شرائطها.

فقد عازمت الوزارة على أن تمضي نيتها على ذلك ولن تدخر دون ذلك سعيًا. فهذه الاصدارية من المدونات وما تشتمل عليه من مدونة النفايات، ومدونة السلامة العامة في تنفيذ المشاريع الإنشائية، ومدونة الملاحي، ومدونة التبريد، ومدونة الإنشاءات الفولاذية، ومدونة التثليج، ومدونة الأسس والجدران الساندة، والمواصفات الفنية للأعمال الصحية، والمواصفات الفنية للأعمال الكهربائية، والمواصفات الفنية لأعمال تكييف الهواء ومنظومات التثليج، ومدونة الأحمال والقوى، ومدونة متطلبات البناء الخاص بذوي الاحتياجات الخاصة، ومدونة التأسيسات الكهربائية، كلها تُقدّم للمهندس أجود ما يُحكّم به عمله. وحيث أن بيان العمل بالمدونات قد أُلزم الجميع بالرجوع إليها في جميع أمورها فعلى الله التكلان في نيل النفع الجزيل الذي سيتحقق من العمل بهذه المدونات. وذلك ليس أمراً بعيد المرام، بل يسير المنال.

وعلى الله قصد السبيل

طارق الخيكاني

وزير الإعمار والإسكان والبلديات والأشغال العامة

رئيس اللجنة العليا

لمشروع المدونات والمواصفات العراقية

كلمة فريق الاعداد

بسم الله الرحمن الرحيم

تم بتوفيق من الله وبفضل منه إعداد المدونة العراقية للإنشاءات الفولاذية وذلك بتكليف من وزارة الأعمار والإسكان. إن الهدف من إعداد هذه المدونة وضع أسس ومفاهيم وصيغ موحدة لتكون مرجعية في تصميم المنشآت الفولاذية المختلفة آخذين بالاعتبار ظروف ومتطلبات الإنشاء في العراق. تم إعداد وتدقيق المدونة من قبل عدد من المختصين كما تمت الاستفادة من ملاحظات اللجنة الفنية لمشروع إعداد المدونات وملاحظات وآراء المختصين في مختلف الوزارات. تعتبر هذه المدونة المحاولة الأولى لإعداد مدونة عراقية في مجال الإنشاءات الفولاذية حيث تكونت المدونة من ثلاثة عشر باباً واعتمدت في إعدادها على أحدث المواصفات والمدونات العالمية المختلفة. يسر فريق الأعداد وهو يضع بين أيدي المختصين هذه المدونة أن يقدم شكره وتقديره إلى اللجنة العليا لمشروع المدونات وإدارة مشروع إعداد وتطوير وتحسين مواصفات وتشريعات ومدونات البناء واللجنة الفنية للمشروع وكافة الجهات التي ساهمت في إظهار هذه المدونة. كما يبدي استعداده لاستقبال الآراء والملاحظات التي من شأنها تحسين المدونة مستقبلاً والتي نرى ضرورة تحديثها كل 5-10 سنوات لتأخذ بالاعتبار آخر ما توصلت إليه البحوث المحلية والأجنبية.

ومن الله التوفيق

فريق الإعداد

المحتوى

رقم الصفحة	الموضوع
الباب 1 : القواعد العامة	
1/1	1-1 الهدف
1/1	2-1 حدود التطبيق
1/1	1/2-1 تعريف الفولاذ الإنشائي
1/1	2/2-1 أنواع المنشآت
1/1	1/2/2-1 الهيكل الصلب او المستمر
1/1	2/2/2-1 الهيكل البسيط
1/1	3-1 المواد
1/1	1/3-1 الفولاذ الإنشائي
2/1	2/3-1 صب وتشكيل الفولاذ
2/1	1/2/3-1 الفولاذ المصبوب
2/1	2/2/3-1 تشكيل الفولاذ
3/1	3/3-1 المسامير الملولبة (البراغي) والحلقات المعدنية (الواشرات) والصامولات
3/1	4/3-1 المرساة اللولبية (البراغي ذات النهايات المعقوفة) والعصي المسننة
3/1	5/3-1 معدن التحشية والانصهار للحام
3/1	6/3-1 وصلات روابط القص
4/1	4-1 أساسيات التصميم
4/1	1/4-1 المقاومة المطلوبة
4/1	2/4-1 حالات تصميم الحد
5/1	3/4-1 التصميم لغرض التحمل
5/1	1/3/4-1 التصميم باستعمال طريقة الأحمال والمقاومة (LRFD)
6/1	2/3/4-1 التصميم باستعمال طريقة الاجهادات المسموحة (ASD)
6/1	4/4-1 التصميم للأغراض الخدمية ولاعتبارات أخرى
7/1	5-1 الأحمال والقوى
7/1	1/5-1 الأحمال ومعاملات الأحمال ومجموعات الأحمال
8/1	2/5-1 أحمال الصدم
9/1	3/5-1 القوى الأفقية في مسار الرافعة
9/1	6-1 المدونات والمواصفات القياسية المرجعية

الموضوع	رقم الصفحة
7-1 وثائق التصميم	9/1
1/7-1 المخططات	9/1
2/7-1 المصطلحات والرموز القياسية	10/1
3/7-1 رموز اللحام	10/1
الباب 2 : متطلبات التصميم	
1-2 مساحة المقطع الإجمالية	1/2
2-2 مساحة المقطع الصافية	1/2
3-2 مساحة المقطع الصافية الفعالة لأعضاء الشد	2/2
4-2 الاستقرارية	4/2
1/4-2 عام	4/2
2/4-2 استقرار الهياكل	4/2
1/2/4-2 تدعيم المنشآت	4/2
2/2/4-2 أساليب التدعيم	4/2
3/2/4-2 عامل الطول الفعال	4/2
1/3/2/4-2 الهياكل المدعمة ضد الانتقال المفصلي	4/2
2/3/2/4-2 الهياكل غير المدعمة ضد الانتقال المفصلي	5/2
5-2 الانبعاج الموضعي	5/2
1/5-2 تصنيف المقاطع الفولاذية	5/2
1/1/5-2 المقطع المكتنز	5/2
2/1/5-2 المقطع غير المكتنز	5/2
3/1/5-2 المقطع النحيف	5/2
4/1/5-2 العناصر غير المقواة	6/2
5/1/5-2 العناصر المقواة	6/2
6/1/5-2 الشفاه المستدقة من المقاطع المدلفنة	6/2
2/5-2 التصميم باستعمال التحليل اللدن	6/2
3/5-2 مقاطع الانضغاط ذات العناصر النحيفة	10/2
6-2 التدعيم عند المساند	10/2
7-2 حدود نسب النحافة	10/2
1/7-2 أعضاء الانضغاط	10/2

الموضوع	رقم الصفحة
2-7 أعضاء الشد	10/2
2-8 الفضاءات ذات الإسناد البسيط	10/2
2-9 تقييد النهايات	11/2
2-10 تناسب أبعاد مقاطع الروافد والعتبات	11/2
2-11 أقل سمك للألواح	13/2
الباب 3 : الهياكل والمنشآت الأخرى	
3-1 التأثيرات من المرتبة الثانية	1/3
3-2 استقرارية الهياكل	5/3
3-1/2 نسبة النحافة	5/3
3-1/2/1 الاستقرارية العامة أو الشاملة	5/3
3-1/2/2 القيم العظمى لنسب النحافة	6/3
3-1/2/3 عامل طول الانبعاج الفعال	6/3
3-1/2/3/1 الأعضاء المستقلة	6/3
3-1/2/3/2 المسنمات (الجميلونات)	7/3
3-1/2/3/3 الأعمدة في الهياكل	9/3
الباب 4 : أعضاء الشد	
4-1 تحمل الشد	1/4
4-2 الأعضاء المركبة	2/4
4-3 أعضاء مسمارية الوصل	2/4
4-1/3 تحمل الشد	2/4
4-2/3 المتطلبات التفصيلية	3/4
4-4 الأسلاك الفولاذية	4/4
4-1/4 تحمل الشد	4/4
4-2/4 المتطلبات التفصيلية	4/4
الباب 5 : الأعمدة والأعضاء الانضغاطية الأخرى	
5-1 طول الفعال وحدود النحافة	1/5
5-1/1 التصميم بطريقة التحليل اللدن	1/5
5-2 تحمل الانضغاط لانبعاج الانحناء	1/5
5-3 تحمل الانضغاط لانبعاج الانحناء-اللي	2/5

الموضوع	رقم الصفحة
4-5 الأعضاء المركبة	3/5
1/4-5 التحمل التصميمي	3/5
2/4-5 المتطلبات التفصيلية	4/5
5-5 الروابط لأعضاء الانضغاط مسمارية الوصل	6/5
الباب 6 : العتبات والأعضاء الانحنائية الأخرى	
1-6 تعريف	1/6
2-6 تصميم الأعضاء الانحنائية	2/6
1/2-6 اعتبارات عامة	2/6
1/1/2-6 المقاطع المكنزة المنحنية على محورها القوي (الرئيس)	3/6
2/1/2-6 المقاطع المكنزة المنحنية على محورها الضعيف (الثانوي)	5/6
3/1/2-6 المقاطع غير المكنزة المنحنية على محورها القوي (الرئيس)	5/6
4/1/2-6 المقاطع غير المكنزة المنحنية على محورها الضعيف (الثانوي)	6/6
5/1/2-6 المقاطع ذات العناصر النحيفة	6/6
2/2-6 محدد تحمل القص	6/6
1/2/2-6 خضوع القص	7/6
2/2/2-6 انبعاج القص غير المرن للوتر	7/6
3/2/2-6 انبعاج القص المرن للوتر	7/6
3/2-6 محددات الحمل المركز	7/6
1/3/2-6 انحناء الشفة الموضعي	7/6
2/3/2-6 خضوع الوتر الموضعي	8/6
3/3/2-6 تعرج الوتر	8/6
4/3/2-6 انبعاج الوتر الجانبي	9/6
5/3/2-6 انبعاج الانضغاط للوتر	10/6
4/2-6 محدد الهطول	10/6
3-6 العتبات المستمرة	11/6
4-6 تدعيم العتبات	12/6
1/4-6 متطلبات الجساء للتدعيم الجانبي	13/6
2/4-6 متطلبات التحمل للتدعيم الجانبي	13/6
3/4-6 متطلبات الجساء لتدعيم اللي	13/6

الموضوع	رقم الصفحة
4/4-6 متطلبات التحمل لتدعيم اللي	14/6
الباب 7 : الروافد اللوحية	
1-7 تعريف	1/7
1-7/1 الروافد اللوحية	1/7
1-7/2 أنواع المجسئات الجانبية	2/7
1-7/2/1 مجسئات الأسناد	2/7
1-7/2/2 المجسئات الوسطية	2/7
2-7 محدد تحمل الانحناء	2/7
1-7/2 للحالة الحديدية - خضوع الشد للشفة	2/7
2-7/2 للحالة الحديدية - انبعاج الانضغاط للشفة	2/7
3-7 محدد تحمل القص	4/7
4-7 تداخل الانحناء مع القص	5/7
5-7 تصميم المجسئات الجانبية	6/7
1-5/7 مجسئات الأسناد	6/7
1-5/7/1 الانبعاج الموضعي	6/7
1-5/7/2 إجهاد الانضغاط	6/7
1-5/7/3 إجهاد الإسناد	7/7
2-5/7 المجسئات الوسطية	7/7
1-5/7/2 الانبعاج الموضعي	7/7
2-5/7/2 مساحة المجسئ	7/7
3-5/7/2 عزم القصور الذاتي للمجسئ	8/7
4-5/7/2 طول المجسئ	8/7
5-5/7/2 المسافات البينية للمجسئات	8/7
الباب 8 : الإجهادات المشتركة	
1-8 تعريف	1/8
2-8 التصميم للتأثير المشترك للانحناء والقوة المحورية	1/8
1-8/2 قوى الشد	2/8
2-8/2 قوى الانضغاط	2/8
1-8/2/2 معامل حساب تدرج العزم C_m	4/8

الموضوع	رقم الصفحة
3-8 الانحناء ثنائي المحاور	5/8
4-8 التأثير المشترك للانحناء واللي والقوة المحورية	6/8
1/4-8 الخضوع تحت تأثير الإجهاد العمودي	6/8
2/4-8 الخضوع تحت تأثير إجهاد القص	6/8
3/4-8 الانبعاج	6/8
5-8 الهياكل	7/8
1/5-8 تصميم الهياكل	8/8
2/5-8 تدعيم الهياكل	9/8
الباب 9 : المنشآت المركبة	
1-9 شروط عامة	1/9
1/1-9 التحمل الإسمي للمقاطع المركبة	1/9
1/1/1-9 طريقة توزيع الإجهاد اللدن	1/9
2/1/1-9 طريقة الانفعال المتوافق	1/9
2/1-9 محددات المواد	2/9
2-9 التعاريف وفرضيات التصميم	2/9
1/2-9 التعاريف	2/9
1/1/2-9 الأعضاء المركبة كاملة الطمر بالخرسانة	2/9
2/1/2-9 الأعضاء المركبة غير كاملة الطمر بالخرسانة	2/9
3/1/2-9 العرض الفعال	3/9
2/2-9 فرضيات التصميم	3/9
3-9 الأعضاء الانضغاطية	5/9
1/3-9 المحددات	5/9
2/3-9 تحمل الانضغاط التصميمي	6/9
3/3-9 الأعمدة المركبة من عدة مقاطع فولاذية	7/9
4/3-9 نقل الأحمال	7/9
4-9 أعضاء الانحناء	8/9
1/4-9 العرض الفعال	8/9
2/4-9 التحمل التصميمي للعتبة مع روابط القص	8/9
3/4-9 التحمل التصميمي للعتبة المطمورة في الخرسانة	9/9

الموضوع	رقم الصفحة
9-4/4 التحمل في أثناء الانشاء	9/9
9-5/4 مسطحة الفولاذ المركبة	9/9
9-1/5/4 عام	9/9
9-2/5/4 المتطلبات الواجب أخذها في الاعتبار في حالة تعامد أضلاع المسطحة الفولاذية مع العتبة	10/9
9-3/5/4 المتطلبات الواجب أخذها في الاعتبار في حالة توازي أضلاع المسطحة الفولاذية مع العتبة	10/9
9-6/4 تحمل القص التصميمي	11/9
9-5 الانضغاط المشترك مع الانحناء	11/9
9-6 روابط القص	12/9
9-1/6 المواد	12/9
9-2/6 قوة القص الأفقية	12/9
9-3/6 تحمل روابط القص بشكل القضبان المسننة	13/9
9-4/6 تحمل روابط القص للساقية	14/9
9-5/6 عدد روابط القص المطلوبة	14/9
9-6/6 مكان ومسافة رابطة القص	15/9
9-7 حالات خاصة	15/9
الباب 10 : الروابط والمفاصل وال مثبتات	
10-1 الشروط العامة	1/10
10-1/1 أساسيات التصميم	1/10
10-2/1 الروابط البسيطة	1/10
10-3/1 روابط العزم	1/10
10-1/3/1 روابط العزم ذات التقييد التام	2/10
10-2/3/1 روابط العزم ذات التقييد الجزئي	2/10
10-4/1 أعضاء الانضغاط مع مفاصل الأسناد	2/10
10-1/4/1 الأعمدة	2/10
10-2/4/1 أعضاء الانضغاط الأخرى	2/10
10-3/4/1 مفاصل الانضغاط	3/10
10-5/1 الوصلات في المقاطع الثقيلة	3/10

الموضوع	رقم الصفحة
6/1-10 الأفاريز والتقوب الخاصة باللحام في العتبات	4/10
7/1-10 التحمل الأدنى للروابط	4/10
8/1-10 وضع اللحام والمسامير الملولة (البراغي) في أماكنها	4/10
9/1-10 المسامير الملولة (البراغي) المشتركة مع اللحام	5/10
1/9/1-10 الاعمال الجديدة	5/10
2/9/1-10 اعمال التغيير	5/10
10/1-10 المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل المشتركة مع مسامير البرشام	5/10
11 /1-10 المحددات على الروابط المثبتة بالمسامير الملولة (البراغي) أو اللحام	5/10
2-10 اللحام	6/10
1/2-10 لحام الأخدود	7/10
1/1/2-10 المساحة الفعالة	7/10
2/1/2-10 المحددات	8/10
2/2-10 اللحام الزاوي	8/10
1/2/2-10 المساحة الفعالة	8/10
2/2/2-10 المحددات	9/10
1/2/2/2-10 المقاس الأقل للحام الزاوي	9/10
2/2/2/2-10 المقاس الأكبر للحام الزاوي	9/10
3/2/2/2-10 الحد الأقل للطول الفعال للحام الزاوي	10/10
4/2/2/2-10 اللحام الزاوي المتقطع	10/10
5/2/2/2-10 المفاصل المتراكبة	10/10
6/2/2/2-10 نهايات اللحام الزاوي	10/10
7/2/2/2-10 اللحام الزاوي في الثقوب والشقوق	11/10
3/2-10 اللحام السدادي ولحام الشقب	11/10
1/3/2-10 المساحة الفعالة	11/10
2/3/2-10 المحددات	12/10
4/2-10 التحمل	12/10
5/2-10 التأثير المشترك لأنواع اللحام	13/10
6/2-10 المعدن الملائم للحام	13/10
7/2-10 معدن اللحام المختلط	15/10

الموضوع	رقم الصفحة
10-2/8 التسخين المسبق للمقاطع الثقيلة	15/10
10-3 المسامير الملولة (البراغي) والأجزاء المسننة	16/10
10-3/1 المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل	16/10
10-3/2 احجام الثقوب واستعمالها	17/10
10-3/2/1 الثقوب القياسية	17/10
10-3/2/2 الثقوب الموسعة	18/10
10-3/2/3 الثقوب الشقبية القصيرة	18/10
10-3/2/4 الثقوب الشقبية الطويلة	18/10
10-3/3 المسافات الأقل للتباعد	18/10
10-3/4 أقل مسافة لحافة الجزء مربوط	19/10
10-3/5 أكبر تباعد ومسافة لحافة الجزء مربوط	19/10
10-3/6 تحمل الشد أو القص	19/10
10-3/7 التأثير المشترك للشد والقص في الروابط من نوع الاسناد	22/10
10-3/8 المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل في روابط الانزلاق الحرج	22/10
10-3/8/1 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال المعاملة	23/10
10-3/8/2 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال الخدمية	24/10
10-3/9 التأثير المشترك للشد والقص في روابط الانزلاق الحرج	24/10
10-3/9/1 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال المعاملة	24/10
10-3/9/2 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال الخدمية	24/10
10-3/10 تحمل الاسناد في ثقوب المسامير الملولة (البراغي)	24/10
10-3/11 المقابض الطويلة	25/10
10-4 العناصر المتأثرة بالأعضاء المرتبطة بها والعناصر الرابطة	26/10
10-4/1 تحمل العناصر في حالة الشد	26/10
10-4/2 تحمل العناصر في حالة القص	26/10
10-4/3 تحمل كتلة القص	27/10
10-4/4 تحمل العناصر في حالة الانضغاط	27/10
10-5 الحشوات	28/10
10-6 الوصلات	28/10
10-7 تحمل الاسناد	28/10

الموضوع	رقم الصفحة
8-10 قواعد الاعمدة والاسناد على الخرسانة	29/10
9-10 قضبان التثبيت المسننة والعناصر المطمورة	30/10
الباب 11: اعتبارات تصميمية أخرى	
1-11 الشفاه والوترات تحت تأثير القوى المركزة	1/11
1-11 أساسيات التصميم	1/11
2-11 الانحناء الموضعي للشفة	2/11
3-11 الخضوع الموضعي للوترة	3/11
4-11 تعرج الوترة	4/11
5-11 الانبعاج الجانبي للوترة	5/11
6-11 انبعاج الانضغاط العرضي للوترة	8/11
7-11 قص الوترة في قطاع التحميل	8/11
8-11 النهايات غير المهيكلة للعتبات والروافد	11/11
9-11 متطلبات اضافية لعناصر التجسئة لمقاومة الاحمال المركزة	11/11
10-11 متطلبات اضافية للألواح المزدوجة لمقاومة الأحمال المركزة	13/11
2-11 تشكل البرك	13/11
3-11 الكلل	14/11
4-11 المطاوعة	24/11
5-11 الحد الأدنى لسمك الحديد	24/11
6-11 الحواجز والهياكل المستعرضة	25/11
1-6-11 الأعضاء ذات المقطع (I)	25/11
2-6-11 الأعضاء ذات المقطع الصندوقي	26/11
3-6-11 المسنمات (الجملونات) والأقواس	26/11
الباب 12 : اعتبارات تصميمية وخدمية	
1-12 قواعد حالات الخدمية	1/12
2-12 الهطول والإهتزاز والانحراف	1/12
1-2-12 الهطول	1/12
1-1-2-12 المتطلبات	1/12
2-1-2-12 قيم الحدود	2/12
1-2-12 الإهتزاز	3/12

الموضوع	رقم الصفحة
1/1/2-12 اهتزاز الأرضيات	3/12
2/2/2-12 المتطلبات	3/12
3/2/2-12 المنشآت العامة	4/12
4/2/2-12 تذبذب الرياح	4/12
5/2/2-12 تأثير الزلازل	4/12
3/2-12 الانحراف	4/12
3-12 مقاومة الحريق	5/12
4-12 الحماية من الصدا	6/12
5-12 انزلاق الرابط	7/12
6-12 التمدد والتقلص	7/12
7-12 التآكل	7/12
8-12 التحدب	7/12
الباب 13: التصنيع والتركيب والسيطرة النوعية	
1-13 مخططات التصنيع والتركيب	1/13
2-13 التصنيع	1/13
1/2-13 التحديد والتقويس والاستقامة	1/13
2/2-13 القطع الحراري	2/13
3/2-13 تسوية الحافات	2/13
4/2-13 المنشآت الملحومة	2/13
5/2-13 المنشآت المربطة بالمسامير الملولة (البراغي)	3/13
6/2-13 مفاصل الانضغاط	4/13
7/2-13 السماحات في الأبعاد	4/13
8/2-13 إنهاء قواعد الأعمدة	4/13
9/2-13 الثقوب لقضبان التثبيت المسننة	5/13
10/2-13 ثقوب التصريف	5/13
11/2-13 متطلبات الأعضاء المغلونة	5/13
3-13 أعمال الطلاء في المصنع	5/13
1/3-13 المتطلبات العامة	5/13
2/3-13 السطوح التي لا يمكن الوصول إليها	7/13

الموضوع	رقم الصفحة
13-3/ السطوح المتلامسة	7/13
13-4/ السطوح المنهارة	7/13
13-5/ السطوح المجاورة لمجال اللحام الموقعي	7/13
13-4 التركيب	7/13
13-1/4 تنظيم صف قواعد الأعمدة	7/13
13-2/4 التدعيم	8/13
13-3/4 الاستقامة	8/13
13-4/4 تطابق مفاصل الانضغاط في الأعمدة	8/13
13-5/4 اللحام الموقعي	8/13
13-6/4 الطلاء الموقعي	9/13
13-7/4 الروابط المنفذة موقعياً	9/13
13-5 السيطرة النوعية	9/13
13-1/5 عام	9/13
13-2/5 التعاون بين صاحب العمل أو من يمثله وبين المصنع	10/13
13-3/5 رفض الأعمال	10/13
13-4/5 معاينة أعمال اللحام	10/13
13-5/5 معاينة روابط الانزلاق الحرج المنفذة باستعمال المسامير الملولبة (البراغي) عالية المقاومة	10/13
13-6/5 ترميز الأعمال الفولاذية	10/13
الملاحق	
الملحق أ : متطلبات التصميم	أ/1
أ-1 الانبعاج الموضعي	أ/1
أ-1/1 مقاطع الانضغاط ذات العناصر النحيفة	أ/1
أ-2/1 العناصر النحيفة غير المقواة	أ/1
أ-3/1 العناصر النحيفة المقواة	أ/3
الملحق ب : الأعمدة والاعضاء الانضغاطية الأخرى	ب/1
ب-1 تحمل الانضغاط التصميمي لانبعاج الانحناء - اللي	ب/1
الملحق ج : العتبات واعضاء الانحناء الأخرى	ج/1
ج-1 التصميم للانحناء	ج/1

الموضوع	رقم الصفحة
ج-2 التصميم للقص	ج/2
ج-1/2 تصميم تحمل القص	ج/2
ج-2/2 المجسئات العرضية	ج/3
ج-3 الأعضاء مستدقة الوتائر	ج/4
ج-1/3 المتطلبات العامة	ج/4
ج-2/3 تحمل الشد التصميمي	ج/5
ج-3/3 تحمل الانضغاط التصميمي	ج/5
ج-4/3 تحمل الانحناء التصميمي	ج/5
ج-5/3 تحمل القص التصميمي	ج/7
ج-6/3 قوى الانحناء المشتركة مع القوى المحورية	ج/7
الملحق د : الروافد اللوحية	د/1
د-1 المحددات	د/1
د-2 تحمل الانحناء التصميمي	د/1
د-3 تحمل القص التصميمي مع تأثير حيز الشد	د/1
د-4 المجسئات العرضية	د/1
د-5 تداخل الانحناء والقص	د/1
الملحق هـ : الأعضاء المعرضة للقوى المشتركة مع اللي	هـ/1
هـ-1 معادلات التداخل البديلة للأعضاء المعرضة لإجهادات مشتركة	هـ/1
الملحق و : الروابط والمفاصل وال مثبتات	و/1
و-1 اللحام	و/1
و-1/1 تصميم التحمل	و/1
و-2 المسامير الملولة (البراغي) والاجزاء المسننة	و/2
الملحق ي : المقاطع الفولاذية	ي/1
الملحق ن : المصطلحات الفنية مرتبة بحسب الحروف العربية	ن/1

الباب 1

الشروط العامة (General Provisions)

1-1 الهدف (Aim)

ان الهدف من هذه المدونة هو الحصول على مرجعية ترشدنا في تصميم الإنشاءات الفولاذية أحادية او متعددة الطوابق من حيث انواع الأنشاء والأحمال والقوى المؤثرة وكذلك المواد المستعملة، التي تتحكم في تصاميم الأعضاء الإنشائية والمتطلبات التصميمية.

2-1 حدود التطبيق (Limits of Applicability)

1/2-1 تعريف الفولاذ الإنشائي (Structural Steel Definition)

إن مصطلح الفولاذ الإنشائي يشمل العناصر الإنشائية في الهياكل الإنشائية الضرورية لنقل الأحمال المسلطة عليها حيث من الممكن ان تكون هذه العناصر معرضة لقوى الشد او الضغط من عتبات واعمدة ومفاصل الاتصال بين العتبات والأعمدة وغيرها من العناصر الإنشائية.

2/2-1 أنواع المنشآت (Types of Construction)

من أنواع المنشآت:

1/2/2-1 الهيكل الصلب او المستمر (Rigid or Continuous Frame)

هو الهيكل الذي تكون فيه مفاصل الاتصال بين العتبات والأعمدة ذات جساءة تكفي لمنع حدوث أي تغير في قيم الزوايا الأصلية بين أعضائه المتقاطعة (Intersecting members) .

2/2/2-1 الهيكل البسيط (Simple Frame)

هو الهيكل الذي فيه نهايات العتبات والعتبات الرئيسة حرة الدوران تحت تأثير الأحمال وقادرة على مقاومة قوى القص المؤثرة.

3-1 المواد (Materials)

1/3-1 الفولاذ الإنشائي (Structural Steel)

إن الفولاذ الإنشائي المستعمل يجب أن يكون مطابقا للمواصفات القياسية المستعملة في هذه المدونة ويجب أن يخضع للفحص في مختبرات معترف بها رسميا". اما الأنواع الأخرى فتكون جائزة الاستعمال اذا ظهرت مواصفاتها تؤكد مطابقتها لأحد المواصفات القياسية العالمية.

الأنواع الأخرى من الفولاذ الإنشائي غير المعرفة جيداً يجب أن تخضع أيضاً إلى الفحوص المختبرية في أحد المختبرات المعترف بها رسمياً. إن نتائج الفحص يجب أن تأخذ بالحسبان الخواص الفيزيائية والكيميائية للفولاذ المراد فحصه والتي يمكن اعتمادها لتحديد نوع الفولاذ وحدود الاجهادات التي يمكن ان تتحملها المادة. الفولاذ غير المعرف يجوز استعماله في الأماكن غير المهمة من المنشأ حيث تكون شروط الخدمة لذلك العمل مطابقة لأحد الشروط والمواصفات العالمية أو ضمن حدود المواصفة القياسية العراقية (572) الخاصة بفولاذ الأنشاء.

1-2/3 صب وتشكيل الفولاذ (Steel Casting and Forgings)

1-1/2/3 الفولاذ المصبوب (Steel Casting)

يصنف الفولاذ المصبوب إلى نوعين بحسب مكان استعماله وضمن حدود المواصفات وهما :-

- حديد واطئ أو متوسط القوة للاستعمالات العامة ذي النوع Gr 65-35
- حديد ذو مقاومة عالية للاستعمالات الإنشائية Gr 80-50 والذي يكون تحت تأثير إجهادات ميكانيكية عالية.

كما ينبغي ان يكون الفولاذ المصبوب مطابقاً إلى المواصفة العراقية الخاصة بالفولاذ المصبوب للأغراض الهندسية (1852).

1-2/2/3 تشكيل الفولاذ (Steel Forgings)

يشكل الفولاذ بنوعين هما:

- الفولاذ من النوع F St 50 الحديد الملدن أو المعدل: وتشكل منه أجزاء التحميل والمفاصل وأعمدة التدوير (Shafts) والمسامير اللولبية (البراغي) والصامولات، والوصلات، والمفاتيح التي تتحمل اجهادات شد ضمن الحدين $(500-560 \text{ N/mm}^2)$ ونقطة إجهاد الخضوع الصغرى هي 240 N/mm^2 .
- الفولاذ من النوع F St 56 المعدل أو الفولاذ المطبوع والمعدل (Normalized and Tempered) ويستعمل لمختلف آلات الفولاذ الكربوني، وفي التروس المتداخلة، الأذرع (Levers)، وكذلك اذرع التدوير، العتلات، البكرات، وصفائح الدواسات. ولهذا النوع قوة تحمل الشد تتراوح بين 560-630 N/mm^2 ونقطة الخضوع لا تقل عن 280 N/mm^2 . ان النوع المطلوب يجب ان يبين على الرسوم او في مواصفات خاصة.

3/3-1 المسامير الملولة (البراغي) والحلقات المعدنية (الواشرات) والصامولات (Bolts, Nuts and Washers)

- تكون الصامولات والمسامير الملولة (البراغي) والحلقات المعدنية (الواشرات) مطابقة لأي من المواصفات القياسية المذكورة في المدونات المحلية أو المواصفات القياسية العالمية المعتمدة.
- المسامير الملولة (البراغي) من النوع الأقل من 4.6 أو أعلى من 10.9 لا يجوز استعمالها قبل أن تثبت النتائج المختبرية امكانية استعمالها (قبولها) بطلب خاص.
- صامولات الكربون وسبائك الحديد المستعملة للمسامير الملولة (البراغي) المعرضة للضغط العالي والحرارة المرتفعة يجب ان تكون مطابقة الى المواصفات المحلية أو العالمية المعتمدة كالمواصفات الأمريكية ASTM A563 و ASTM A194 والمواصفات البريطانية BS916 و BS1083 و BS4320 و BS4395 .
- إن شهادة التصنيع يجب أن تعطي دليلاً كافياً على مطابقة المواد للمواصفات المعتمدة.

4/3-1 المرساة اللولبية (البراغي ذات النهايات المعقوفة) والعصي المسننة

(Anchor Bolts and Threaded Rods)

- المرساة اللولبية والعصي المسننة يجب ان تكون مطابقة للمدونات المحلية أو المواصفات العالمية المعتمدة ذات العلاقة كالمواصفات الأمريكية ASTM A36 أو ASTM A194 أو ASTM A354 أو ASTM A572 أو ASTM F1554.

5/3-1 معدن التحشية والانصهار للحام (Filler Metal and Flux for Welding)

- تكون المواد المستعملة في لحام المنشآت الفولاذية وطرائق استعمالها مطابقة لأي من المدونات المحلية أو المواصفات القياسية العالمية.
- شهادة التصنيع يجب ان تعطي دليلاً كافياً على مطابقة المواد للمواصفات المذكورة آنفاً.
- يختار نوع القطب Electrode الذي يكون مناسباً طبقاً لما ذكر آنفاً.

6/3-1 وصلات روابط القص (Stud Shear Connections)

- يجب ان تكون وصلات روابط القص مطابقة لمتطلبات المدونات المحلية أو العالمية ذات العلاقة كما ان شهادة التصنيع يجب ان تحتوي على دليل كافٍ على مطابقة المواد لمتطلبات المدونة.

1-4 أساسيات التصميم (Design Basis)

يكون التصميم إما على وفق متطلبات ومحددات طريقة الأحمال والمقاومة (LRFD) أو على وفق متطلبات ومحددات طريقة الاجهادات المسموحة (ASD).

1-4/1 المقاومة المطلوبة (Required Strength)

المقاومة المطلوبة لأعضاء المنشأ وتوصيلاتها يجب أن تحدد عن طريق التحليل الإنشائي للأحمال المعاملة ومركباتها بحسب ما مبين في الفصل 1-5.

إن التصميم بطريقة التحليل المرن (Elastic analysis) أو التحليل اللدن (Plastic analysis) مسموح به، ماعدا أن التحليل اللدن المسموح به فقط للفولاذ والذي فيه تكون إجهادات الخضوع لا تتجاوز 450 N/mm^2 . العتبات والعوارض التي تشكل مقاطع مكتنزة كما في البند 2-1/5 وتكون مستوفية لمتطلبات الطول غير المسند كما مشار اليه في الباب 6 والتي تكون مستمرة فوق المساند أو مثبتة بإحكام مع الأعمدة فأن تسعة أعشار (0.90) العزوم السالبة تكون ناتجة من الأحمال في نقاط المساند بشرط زيادة العزم الموجب بمقدار عشر (0.10) من معدل العزوم السالبة. هذا التقليل غير مسموح به في العتبات المهجنة (Hybrid beams) أو العزوم الناتجة من تحميل العتبات النائثة. إذا كان العزم السالب يقاوم بواسطة العمود المثبت بإحكام الى العتبة او العارضة فإن التقليل بمقدار واحد لعشرة (0.10) من العزم السالب يمكن أن يستعمل لعمود يتحمل قوة محورية و قوة انحناء بشرط أن القوة المحورية لا تتجاوز ϕ_c مضروباً في $0.15 A_g F_y$.

حيث أن :

A_g : المساحة الكلية، mm^2 .

F_y : الحد الأدنى لإجهاد الخضوع، N/mm^2 .

ϕ_c : معامل تقليل المقاومة للانضغاط.

1-4/2 حالات تصميم الحد (Limit State)

إن تصميم الحد هو الشرط الذي يكون فيه المنشأ او جزء منه قد أصبح غير ملائم (غير صالح)، علماً بأن حالات تصميم الحد للتحميل متغيرة من عضو لآخر، فهناك عدة حالات من تصميم الحد يمكن أن تطبق على العضو نفسه. في حين يوجد نوعان من حالات التصميم الحد يمكن تطبيقهما على المنشأ هما حالة تصميم الحد لغرض التحمل والتي تعرف بالأمان مقابل الأحمال القصوى خلال الحياة المتوقعة للمنشأ وحالة تصميم الحد لموامة الظروف التشغيلية والتي تعرف بمتطلبات التشغيل.

إن حالات الحد للتحمل التي يمكن ان تشملها حالة تصميم الحد لغرض التحمل هي التالية: بداية الإذعان، تكوين المفصل اللدن، أو تكوين آلية اللدونة، عدم ثبات الهيكل أو العضو من خلال اللي الجانبي، اللي الموضعي، التشقق نتيجة الشد، تقدم الشقوق نتيجة الكلال، عدم الثبات نتيجة الانحناء، اللدونة المتناوبة والتشويه المفرط. أما حالة تصميم الحد للظروف التشغيلية فتشمل الحالات التالية: الانحناءات المرنة والانحرافات غير المسموح بها، الاهتزازات وكذلك التشوهات الدائمة غير المسموح بها.

3/4-1 التصميم لغرض التحمل (Design for Strength)

1/3/4-1 التصميم باستعمال طريقة الأحمال والمقاومة (LRFD)

إن LRFD هي طريقة تحليل الإنشاءات ذات الأجزاء المتناسبة بحيث أنه ليس من حالة تصميم الحد قابلة للتطبيق يمكن تجاوزها عندما يكون المنشأ تحت تأثير مجاميع الأحمال المعاملة الملائمة. إن معنى التصميم المعتمد على معاملات الأحمال والمقاومة LRFD يعكس فكرة كل من الأحمال والمقاومة المعاملة. إن مصطلح المقاومة يتضمن كل حالات حدود التحميل وكذلك حالات حدود التشغيل.

إن الشكل العام لحالة التصميم المعتمد على معاملات الأحمال والمقاومة LRFD هو بحسب مفهوم الصيغة التالية [1,2]:

$$\Sigma \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (1/4-1)$$

حيث أن:

Σ : الجمع

i: نوع الحمل (الحمل الحي، الحمل الميت ، الرياح...الخ)

Q_i : مقدار الحمل

γ_i : معامل الحمل Q_i

$\Sigma \gamma_i Q_i$: المقاومة المطلوبة للأحمال المفترضة

R_n : المقاومة الاسمية

ϕ : معامل المقاومة

ϕR_n : المقاومة التصميمية

إن المصطلح $\Sigma \gamma_i Q_i$ يمثل المقاومة المطلوبة أو (التحمل المطلوب) محسوبا بطريقة التحليل الإنشائي مبني على أساس الأحمال المفترضة ، أما المصطلح ϕR_n فهو يمثل حدود استيعاب المنشأ التي تتحقق من قبل

أعضائه المختارة. إن معاملات المقاومة ϕ ومعاملات التحميل γ تأخذ بالحسبان امكانية عدم الدقة التي لا يمكن تقاديتها في الجانب النظري والاختلافات في مكونات المادة ، والاختلاف في الأبعاد ، وعدم التأكد من تحديد الأحمال.

عند تصميم التحمل لأي من مكونات المنشأ أو مجموعة منه يجب أن تساوي المقاومة التصميمية مقدار التحميل المطلوب أو تزيد عليه لأي من حالات تصميم الحد الملائمة مبنية على مركبات الأحمال المعاملة كما مبين في الفصل 1-5. إن قيم المقاومة الاسمية R_n ومعامل المقاومة ϕ سوف تذكر في الأبواب القادمة.

1-2/3/4 التصميم باستعمال طريقة الاجهادات المسموحة (ASD)

إن ASD هي طريقة التصميم على أساس التحمل المسموح به (Allowable strength design) وهي مشابهة الى طريقة التصميم على أساس الإجهاد المسموح به (Allowable stress design) . إن جميع شروط طريقة ASD مبنية على ان التحمل المسموح به يجب ان يساوي أو يزيد على التحمل المطلوب (Required strength) وكما مبين في التالي [1]:

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (2/4-1)$$

حيث أن:

R_a : التحمل المطلوب الذي يمكن الحصول عليه بطريقة التحليل لمجاميع الأحمال

R_n : المقاومة الاسمية

Ω : معامل الأمان بحسب المواصفات لحالة حد محددة (Particular limit state)

1-4/4 التصميم للأغراض الخدمية ولاعتبارات أخرى

(Design for Serviceability and Other Considerations)

يجب التحقق من قدرة المنشأ وقدرة أي من أعضائه ووصلاته بشكل منفرد ، على مقاومة الظروف التشغيلية التي يتعرض لها المنشأ. إن شروط التصميم لمواءمة الظروف التشغيلية مبينة في الباب 12.

المقاومة الاسمية يجب ان تكون أكبر من الأحمال التصميمية التي تشترطها المدونة المطبقة فعليا والتي بواسطتها يصمم المنشأ أو من خلال الشروط التي تثبت للتصميم. إن الأحمال التي تشترطها المدونة العراقية للأحمال والقوى (م.ب.ع.301) التي تتحملها أجزاء المنشأ هي التي يجب ان تراعى عند التصميم.

5-1 الأحمال والقوى (Loads and Forces)

1/5-1 الأحمال ومعاملات الأحمال ومجموعات الأحمال

(Loads, Load Factors and Load Combinations)

الأحمال الإسمية D, L, L_r, W, S, E, R هي الأحمال التي تعتمد عليها المدونة حيث أن :

D : الحمل الميت الناتج من ثقل أجزاء المنشأ والمعالم الثابتة على المنشأ.

L : الحمل الحي الناتج من استغلال المنشأ أو من الأحمال المتحركة أو اهتزازاتها التي من ضمنها التأثيرات الديناميكية (كالصدمة والاهتزاز ... الخ).

L_r : الحمل الحي للسطح.

W : الحمل الناتج من الرياح.

E : حمل الهزة الأرضية.

S : حمل الثلوج.

R : حمل مياه الأمطار الابتدائي أو الجليد المتجمع في برك.

إن القوة المطلوب ان يتحملها المنشأ وأجزائه يمكن تحديدها من خلال تجميع الأحمال والقوى وتوزيعها بحيث تعطي أكثر الحالات خطورة على العضو قيد التصميم. إن أكبر تأثير حرج يمكن ان يتحقق عندما يكون أحد الأحمال أو أكثر غير مؤثر أو فعال.

إن مجموعات الأحمال المفترضة لبلوغ المقاومة المطلوبة وكذلك معاملات الاحمال المرادفة لها التي تستعمل مع طريقة (LRFD) هي كما يلي [2,3,4]:

$1.4 D$	(1/5-1)
$1.2 D + 1.6 L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	(2/5-1)
$1.2 D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (0.5L \text{ or } 0.8W)$	(3/5-1)
$1.2 D + 1.3W + 0.5L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	(4/5-1)
$1.2 D \pm 1.0E + 0.5L + 0.2S$	(5/5-1)
$0.9 D \pm (1.3W \text{ or } 1.0E)$	(6/5-1)

إن معاملات الأحمال وكذلك مجاميع الأحمال يؤخذ بها عندما تتوافر فرصة لاجتماع تأثير عدة أحمال سوية على المنشأ بالإضافة الى الحمل الميت. فعلى سبيل المثال عند اجتماع تأثير (الحمل الميت + الحمل الحي + حمل الرياح) سوية عندئذ يؤخذ تأثير احد هذه الاحمال بصورة مستمرة في حين يؤخذ تأثير الآخرين مؤقتا عند وقت معين يتوقع تأثيرهما على المنشأ.

إن معامل الحمل المضروب في L يؤخذ مساوياً الى 1.0 في المعادلات (3/5-1) , (4/5-1) و(1-5/5) لمواقف السيارات والأماكن المشغولة والأماكن العامة وفي جميع الأماكن التي يكون فيها الحمل الحي أكثر من 5 kN/m^2 .

أما المقاومة المطلوبة للأحمال المفترضة بحسب طريقة ASD فيمكن تحديدها من خلال مجموعات الأحمال التالية:

D	(7/5-1)
D+ L	(8/5-1)
D+ (Lr or S or R)	(9/5-1)
D+ 0.75L+0.75(Lr or S or R)	(10/5-1)
D ± (W or 0.7E)	(11/5-1)
D ± 0.75(W or 0.70E) + 0.75L + 0.75(Lr or S or R)	(12/5-1)
0.6 D± (W or 0.70E)	(13/5-1)

2/5-1 أحمال الصدم (Impact)

في المنشآت التي يكون الحمل الحي فيها مصدراً لحمل الصدم (كما في حركة المصاعد، الرافعات، الآلات، أو ما شابه ذلك)، فإن قيمة الحمل الحي الداخلة في حسابات الاحمال يجب ان تزداد حتى يمكن ان نعتبر حمل الصدم داخلاً ضمن المعادلات الخاصة بمجموعات الأحمال المشار اليها آنفاً، بحسب طريقة التصميم المعتمدة.

وإذا لم تذكر قيم أخرى مختلفة فإن الزيادة ستحسب بحسب ما يلي:

100%	- مساند المصاعد وآلات تشغيل المصاعد
20%	- مساند الآلات الخفيفة، عمود الإدارة (Shaft) او دافع المحرك ليس أقل من
50%	- مساند الآلات التناوبية (Reciprocating machinery) أو وحدات دافع الطاقة ، ليس أقل من
33%	- الحظائر (Hangars) التي تحمل طوابق وشُرف
25%	- عوارض سائدة وتوصيلاتها لغطاء رافعة متحركة
10%	- عوارض سائدة وتوصيلاتها لرافعة متحركة متدلية

3/5-1 القوى الأفقية في مسار الرافعة (Crane Runway Horizontal Forces)

القوة العرضية المؤثرة على مسار الرافعة التي تؤدي الى تحريك عجلات الرافعة تساوي 20% من مجموع الأحمال التي ترفعها الرافعة وكذلك وزن عربة الرافعة باستثناء الأجزاء الأخرى من الرافعة. القوة يفترض ان تؤثر عند أعلى مسار الرافعة في أي اتجاه عمودي على عتبة مسار الرافعة، وان توزع بشكل يتناسب مع جساءة الأعضاء الحاملة لعتبة مسار الرافعة. اما القوى الأفقية الطولية فيجب أن تكون على الأقل 10% من مجموع الاحمال التي ترفعها الرافعة المؤثرة في أعلى عتبة مسار الرافعة.[4]

1-6 المدونات والمواصفات القياسية المرجعية (Referenced Codes and Standards)

يجب الرجوع الى الطبقات الحديثة من المدونات العراقية والمواصفات القياسية المحلية والعالمية الحديثة ذات الصلة بالموضوع حيثما أشير إليها في هذه المدونة. ومن المواصفات:

- ASTM- A36 Standard Specification for Structural Steel.
- ASTM-A242 Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel.
- ASTM-A307 Carbon Steel Bolts and Studs (414) MPa Tensile Strength.
- ASTM-A325 High-Strength Bolts for Structural Steel Joints, Including Suitable Nuts and Plain Hardened Washers.
- ASTM-A500 Standard Specification for Cold Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shape.
- ASTM-A563 Carbon and Alloy Steel Nuts.
- ASTM-A709 Structural Steel for Bridges.
- BS 916 Black Bolts, Screws and Nuts.
- BS 4320 Metal Washers for General Engineering Purposes.
- BS 639 Covered Electrodes for the Manual Metal-Arc Welding of Carbon and Carbon Manganese Steels.
- BS 4620 Rivets for General Engineering Purposes.

1-7 وثائق التصميم (Design Documents)

1/7-1 المخططات (Plans)

ترسم المخططات التصميمية بمقياس رسم مناسب بحيث تكون واضحة وشاملة لجميع تفاصيل الأعضاء الإنشائية ومقاطعها وأبعادها ومواقعها بالنسبة الى بعضها ، بالإضافة الى مراكز الأعمدة ومحاورها ومناسيب الطوابق المختلفة ، كما يجب بيان نوع الهيكل الإنشائي كما نص على ذلك البند 1-2/2 من هذه المدونة،

وتتضمن المخططات الأحمال ومتطلبات التصميم اللازمة لاعداد المخططات التنفيذية ومخططات التصنيع (Shop drawings) بما فيها مجموعات الاحمال كافة التي تتعرض لها الأعضاء الإنشائية. أما الوصلات المنفذة بالمسامير اللولبية (البراغي) عالية المقاومة فينبغي بيان فيما إذا كانت الوصلة المستعملة احتكاكية أم تحميلية. كما يجب أن يحدد على المخططات مقدار التحدب (Camber) المطلوب للمسلمات (الجلونات) أو العتبات أو العوارض الرئيسة، بالإضافة الى أضلاع التقوية والتدعيم.

2/7-1 المصطلحات والرموز القياسية (Standard Symbols and Nomenclature)

يفضل استعمال الرموز المذكورة في المواصفات القياسية الأمريكية الصادرة عن جمعية اللحام الأمريكية (AWS) على المخططات التصميمية ومخططات التصنيع. ويسمح باستعمال أية رموز أخرى ملائمة شريطة أن يعطى تفسير واضح لها في وثائق التصميم لمنع أي لبس أو خطأ في فهمها.

3/7-1 رموز اللحام (Notation for Welding)

أطوال اللحام المثبتة على الوثائق التصميمية وكذلك على مخططات التصنيع تكون هي الأبعاد المؤثرة النهائية.

المراجع (References)

- [1] “Specification for Structural Steel Buildings”; An American National Standard ANSI/AISC 360-05, 1st Edition, 2005.
- [2] “Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)”; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [3] “Manual of Steel Construction”; American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition, 2005.
- [4] “International Building Code”; International Code Council, IBC, 2nd edition, 2009.
- [5] “Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design”; American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions, 2003.

الباب 2

متطلبات التصميم (Design Requirements)

1-2 مساحة المقطع الإجمالية (Gross Area)

تحدد مساحة المقطع الإجمالية (A_g) للعضو الإنشائي في أي نقطة من مجموع حاصل ضرب السمك (Thickness) في العرض (Width) الإجمالي لكل عنصر من العناصر المكونة للعضو مقاساً بالاتجاه المتعامد مع محوره [3,2,1].

بالنسبة للزاوية (Angle) فيكون العرض الإجمالي مساوياً لمجموع عرضي ساقها مطروحا منه سمكها.

2-2 مساحة المقطع الصافية (Net Area)

يتم حساب المساحة الصافية (A_n) للعضو الإنشائي من مجموع حاصل ضرب السمك في العرض الصافي لكل عنصر من العناصر المكونة للعضو. يحسب العرض الصافي كالاتي :

2-2/1 عند حساب المساحة الصافية للعضو الإنشائي تحت تأثير الشد أو القص فإن قطر ثقب المسمار الملولب (البرغي) (Bolt) أو ثقب البرشام (Rivet) يكون مساوياً للمقاس الإسمي لثقب المسمار الملولب (البرغي) أو البرشام مضافاً إليه (2mm).

2-2/2 يحسب العرض الصافي لسلسلة من الثقوب أو الشقوق (Slots) الموزعة باتجاه قطري (أو متعرج) على جزء ما من العضو الإنشائي بطرح مجموع أقطار الثقوب أو مجموع مقاسات الشقوق كما مبين في البند (10-2/3) لجميع ثقوب السلسلة أو شقوقها من العرض الإجمالي لذلك الجزء، و يضاف المقدار ($6.35s^2/g$) إلى كل خطوة مستعرضة في السلسلة حيث أن: [3,2,1]

s: الخطوة الطولية (Pitch) هي المسافة بالملمتر بين مركزي أي ثقبين متتاليين في السلسلة مقاسة على خط مراكز الثقوب أو مراكز الروابط (Connectors) باتجاه طول العنصر (أي بين خطين مستعرضين متتاليين في السلسلة).

g: الخطوة المستعرضة (Gage) هي المسافة بالملمتر بين خطين طوليين متتاليين من الخطوط المارة بمراكز الثقوب أو الروابط.

بالنسبة للزاوية فتحتسب الخطوة المستعرضة (g) بجمع الخطوتين في ساقى الزاوية لغاية مركز الثقب الأول في كل ساق (g_a , g_b) مقاستين على ظهر الزاوية وي طرح من المجموع سمك الزاوية (t) بمعنى: [3]

$$g = g_a + g_b - t \quad (1/2-2)$$

تحتسب المساحة الصافية الحرجة (A_{nc}) على طول العضو الإنشائي من حاصل ضرب سمكه في أقل عرض صاف له.

وبالنسبة للمساحة الصافية للمقطع ذي اللحام السدادي أو لحام الشقب (Plug or Slot weld) فتحتسب بضرب سمك المقطع في عرضه الصافي بدون اعتبار مساحة مقطع اللحام.

2-3 مساحة المقطع الصافية الفعالة لأعضاء الشد (Effective Net Area of Tension Members)

تحتسب المساحة الصافية الفعالة (A_e) كآلاتي :

- في حالة انتقال الحمل مباشرة عن طريق اللحام والمسامير ملولبة (براغي) والبراشيم إلى كل عنصر من عناصر المقطع المشتركة في الربط فتكون المساحة الصافية الفعالة مساوية للمساحة الصافية.
- في حالة انتقال الحمل عن طريق المسامير الملولبة (البراغي) أو البراشيم إلى بعض العناصر المكونة لمقطع العضو الإنشائي و ليس إلى عناصر المقطع كلها، فتحتسب المساحة الصافية الفعالة كآلاتي: [4, 3]

$$A_e = U \cdot A_n \quad (1/3-2)$$

- في حالة انتقال الحمل عن طريق اللحام إلى بعض العناصر المكونة لمقطع العضو الإنشائي وليس إلى عناصر المقطع كلها، فتحتسب المساحة الصافية الفعالة كآلاتي: [4, 3]

$$A_e = U \cdot A_g \quad (2/3-2)$$

حيث أن:

A_n : المساحة الصافية للعضو الإنشائي، (mm^2).

A_g : المساحة الإجمالية للعضو الإنشائي، (mm^2).

U: معامل التقليل (أقل من واحد). وتستعمل القيم التالية لمعامل التقليل (U):

للمقاطع (W,M,S) (راجع الملحق ي)، أو للمقاطع المعروفة عالميا والمكافئة لها، وكذلك للمقاطع على شكل الحرف (T) المقصوفة منها وكذلك المقاطع المجمعة منها عند ربطها عن طريق الشفة باستعمالها لا يقل عن (3) من المسامير الملولبة (البراغي) أو البراشيم في الخط الواحد وباتجاه الاجهاد:

-0.9 U عندما لا يقل عرض الشفة عن ثلثي عمق المقطع

-0.85 U عندما يقل عرض الشفة عن ثلثي عمق المقطع

أما بالنسبة للمقاطع المجمعة من المقاطع المشار إليها آنفاً عند ربطها باستعمال اثنين من المسامير الملولبة (البراغي) أو براشيم في الخط الواحد وباتجاه الاجهاد فتكون $U=0.70$.

فيما يخص مقاطع الزاوية فيكون :

-0.6 U عندما يكون عدد المسامير الملولبة (البراغي) أو براشيم التثبيت لكل خط باتجاه التحميل ثلاثة أو أقل

-0.8 U عندما يكون عدد المسامير الملولبة (البراغي) أو براشيم التثبيت لكل خط باتجاه التحميل أربعة فأكثر

• تكون المساحة الصافية الفعالة عند انتقال الحمل عن طريق اللحام العرضي (Transverse weld) إلى بعض مقاطع العناصر المكونة للعضو الإنشائي وليس إلى العناصر كلها، للمقاطع (W,M,S) والمقاطع الأخرى المعروفة عالمياً "والمكافئة لها، وكذلك المقاطع على شكل الحرف (T) المقصوفة منها، مساوية لمساحة العناصر المتصلة مع بعضها مباشرة.

• عندما ينتقل الحمل إلى لوح (Plate) عن طريق لحام طولي (Longitudinal weld) من الجانبين عند طرفه، يكون طول اللحام مساوياً لعرض اللوح على الأقل، ويكون معامل التقليل (U) :

-1.0 U عندما تكون: $(2w \leq l_w)$

-0.87 U عندما تكون: $(2w > l_w \geq 1.5w)$

-0.75 U عندما تكون: $(1.5w > l_w \geq w)$

حيث أن:

l_w : طول اللحام، (mm).

w : عرض اللوح (المسافة بين اللحام)، (mm).

تصمم وصلات التراكب المنفذة باستعمال المسامير الملولبة (البراغي) والبراشيم وألواح التجميع (Gusset plates) والقطع الأخرى (Other fittings) المعرضة لقوى الشد، بحسب ما هو منصوص عليه في الفصل (1-4)، حيث تؤخذ المساحة الصافية الفعالة مساوية للمساحة الصافية الحقيقية على أن لا تزيد المساحة الصافية الفعالة على (0.85) من المساحة الإجمالية.

4-2 الاستقرار (Stability)

1/4-2 عام

يجب أن تتحقق حالة الاستقرار العام للمنشأ ككل ولكل عنصر من عناصره. كذلك يجب الأخذ بالاعتبار التأثيرات المهمة للأحمال الناتجة من التشوهات الحاصلة في شكل المنشأ أو العناصر المكونة له (Second order effect).

2/4-2 استقرار الهياكل (Frames Stability)

1/2/4-2 تدعيم المنشآت (Bracing of Structures)

إن تحقيق الاستقرار الجانبي (Lateral stability) بالاتجاهين الأفقيين المتعامدين يتم بمنظومة من التدعيم الأفقي والعمودي ضمن المنشأ بحيث لا تتعرض الأعمدة (الأعضاء العمودية) إلى عزوم إضافية ناتجة من الإزاحة الجانبية. من المفضل أن يكون التدعيم موزعاً على المنشأ ككل، كما يجب أن تكون الفضاءات المدعمة فعالة على الارتفاع الكلي للمنشأ ولمختلف الطوابق.

2/2/4-2 أساليب التدعيم

• التدعيم الأفقي: [5]

- باستعمال عناصر تدعيم قطرية كالمستعملة في المسمنات (الجلونات) الفولاذية
- باستعمال سقوف وأرضيات خرسانية
- باستعمال أرضيات فولاذية مصممة ومثبتة جيداً

• التدعيم العمودي: [5]

- باستعمال عناصر تدعيم قطرية كما في المسمنات (الجلونات) الفولاذية
- باستعمال جدران خرسانية مسلحة أو طابوقية بسمك لا يقل عن 18 سم ومربوطة جيداً بالمنشأ الفولاذي.

بالنسبة لعناصر التدعيم القطرية، يجب أن لا تزيد زاوية ميل العنصر على 60° ولا تقل عن 30° .

3/2/4-2 عامل الطول الفعال (K) (Effective Length Factor)

1/3/2/4-2 الهياكل المدعمة (Braced Frames) ضد الانتقال المفصلي (Joint Translation)

- في المسمنات (الجلونات) (Trusses) وفي الهياكل التي يتحقق استقرارها الجانبي بأحد أساليب التدعيم المشار إليها في الفقرة 2/2/4-2، يكون عامل الطول الفعال (K) كما في المخطط - ب- في الشكل (3/2-3) - الباب 3.

2-4/3/2 الهياكل غير المدعمة (Unbraced Frames) ضد الانتقال المفصلي

في الهياكل التي يعتمد استقرارها الجانبي على جساءة الانحناء (Bending stiffness) لعناصرها والتي تتصل بمفاصل صلبة (Rigid joints) يتم الاستعانة بالمخطط أ- في الشكل (3-2/3) - الباب 3) لتحديد مقدار عامل الطول الفعال (K) .

2-5 الانبعاج الموضعي (Local Buckling)

2-5/1 تصنيف المقاطع الفولاذية (Classification of Steel Sections)

2-5/1/1 المقطع المكتنز (Compact Section) [6,3]

هو المقطع الذي له القدرة على مقاومة الاجهادات اللدنة الحاصلة على كامل مقطعه قبل حدوث انبعاج موضعي في أي من عناصره. ولكي يسمى المقطع مكتنزاً يجب استيفائه للشروط التالية:

2-5/1/1/1 أن تكون شفاهه (Flanges) مستمرة الاتصال مع الوتر (Web).

2-5/1/1/2 أن لا تتجاوز نسبة العرض إلى السمك لكل عنصر من عناصره المعرضة للانضغاط النسب الموجودة في الجدول (2-5/1).

2-5/1/2 المقطع غير المكتنز (Non-Compact Section) [6,3]

هو المقطع الذي له القدرة على مقاومة اجهاد مساوٍ لاجهاد الخضوع في عناصره المعرضة للانضغاط قبل حدوث انبعاج موضعي فيها ولا تكون له القدرة على مقاومة انبعاج موضعي غير مرن (Inelastic) عند مستويات انفعال يتطلبها توزيع الاجهادات اللدنة على كامل المقطع. يجب أن ينطبق الشرطان التاليان على المقطع لكي يسمى مقطعاً غير مكتنز:

2-5/1/2/1 أن لا تحقق نسب العرض إلى السمك لعناصره المعرضة للانضغاط النسب الخاصة بالمقاطع المكتنزة.

2-5/1/2/2 أن لا تتجاوز نسبة العرض إلى السمك لكل عنصر من عناصره المعرضة للانضغاط النسب المسموح بها في الجدول (2-5/1) الخاصة بالمقاطع غير المكتنزة.

2-5/1/3 المقطع النحيف (Slender Section) [6,3]

هو المقطع الذي يحصل في عناصره انبعاج موضعي عند مستوى اجهاد أقل من اجهاد الخضوع. يسمى المقطع نحيفاً عندما تتجاوز نسبة العرض إلى السمك لعناصره المعرضة للانضغاط النسب المسموح بها للعناصر غير المكتنزة في الجدول (2-5/1).

2-4/1/5 العناصر غير المقواة (Unstiffened Elements) [3,1]

يحدد عرض العناصر غير المقواة والمساندة على طول حافة واحدة من حافاتها فقط بشكل موازٍ لاتجاه قوة الانضغاط في تلك العناصر كما يلي :

2-4/1/5-1 لشفا المقاطع على شكل (I) و (T) (راجع الملحق ي)، يكون العرض (b) مساوياً لنصف العرض الإسمي الكلي.

2-4/1/5-2 لشفا المقاطع على شكل (Z) و (C) (راجع الملحق ي) ولسيقان الزوايا، يكون العرض (b) مساوياً للعرض الإسمي الكلي.

2-4/1/5-3 للألواح غير المقواة، يكون العرض (b) مساوياً للمسافة المحصورة بين الحافة الحرة وأول صف من المثبتات واللحام.

2-4/1/5-4 لجذوع المقاطع على شكل (T)، يكون العمق (d) مساوياً للعمق الإسمي الكلي.

2-5/1/5 العناصر المقواة (Stiffened Elements) [3,1]

يحدد عرض العناصر المقواة والمساندة على طول حافتيها بشكل موازٍ لاتجاه قوة الانضغاط في تلك العناصر كما يلي :

- لوتائر المقاطع المدلفنة (Rolled) أو المركبة (Built-up) أو المشكلة (Formed)، يكون العمق (h) مساوياً للمسافة الصافية بين الشفا (أنظر الملحق ي).
- لوتائر المقاطع المدلفنة أو المركبة أو المشكلة، يكون العمق (d) مساوياً للعمق الكلي الإسمي (أنظر الملحق ي).
- للألواح المقواة، يكون العرض (b) للمسافة المحصورة بين الخطوط المتجاورة من المثبتات واللحام.

2-6/1/5 الشفا المستدقة (Tapered) من المقاطع المدلفنة [3,1]

يكون سمك الشفا المستدقة من المقاطع المدلفنة مساوياً للسمك الإسمي عند منتصف المسافة بين الحافة الحرة ووجه الوتر.

2-2/5 التصميم باستعمال التحليل اللدن (Design by Plastic Analysis)

تعتبر الشفا والوتائر للأعضاء المعرضة إلى تمفصل لدن (Plastic hinging) تحت تأثير مشترك للانحناء والانضغاط المحوري، مكتنزة عندما تكون نسب العرض / السمك أقل أو مساوية للحدود الموجودة في الجدول (2-1/5) أو معدلة إلى النسب التالية:

2-2/5-1 في وتائر مقاطع الأعضاء على شكل عريضة الشفة (Wide flange) متناظرة حول المحورين والمقاطع الانشائية المستطيلة المجوفة (Rectangular hollow structural sections) والمعرضة إلى تأثير مشترك للانحناء وقوى الانضغاط، فإن حدود الانبعاج الموضعي تكون كالآتي: [2,1]

الجدول 2-1/5: حدود نسب العرض إلى السمك لعناصر الانضغاط

حدود نسب العرض إلى السمك		نسبة العرض إلى السمك	وصف العنصر
غير مكتنز (3) λ_r	مكتنز λ_p		
(أ) غير المقواة (Unstiffened)			
$375/\sqrt{F_y}$	$170/\sqrt{F_y}$	b/t	شفاه العتبات المدلفنة على شكل I و C المعرضة للانحناء (1)
$425\sqrt{k_c / F_L}$ (5)	$170/\sqrt{F_y}$	b/t	شفاه العتبات الملحومة على شكل I المعرضة للانحناء
$250/\sqrt{F_y}$	(6)-----	b/t	الأرجل الظاهرة من المقاطع المكونة من زوجين من الزوايا مستمرة التلامس، الزوايا أو الألواح من العتبات أو الأعمدة المكونة من المقاطع المدلفنة، أضلاع التقوية للعتبات الرئيسة المركبة (الروافد اللوحية) (2)
$286\sqrt{k_c / F_y}$	(6)-----	b/t	الزوايا أو الألواح البارزة من العتبات الرئيسة أو الأعمدة المجمعة أو أعضاء الانضغاط الأخرى، شفاه الانضغاط للعتبات الرئيسة المركبة (الروافد اللوحية) (4)
$335/\sqrt{F_y}$	(6)-----	d/t	جنوع المقاطع على شكل الحرف T
$440/\sqrt{F_y}$	$170/\sqrt{F_y}$	b/t	شفاه المقاطع على شكل الحرف T المعرضة للانحناء
$440/\sqrt{F_y}$	$170/\sqrt{F_y}$	b/t	العناصر غير المقواة المستندة استنادا بسيطا على أحد أطرافها مثل أرجل الدعامات الانضغاطية (Struts) المكونة من زوايا منفردة أو المكونة من زوايا مزدوجة مع مبادعات (Separators) أو ذات المقاطع المتصالبة (Cross) أو ذات المقاطع على شكل نجمة (Star-shaped)
$400/\sqrt{F_y}$	$240/\sqrt{F_y}$	b/t	ساقا مقطع الزاوية المعرض للانحناء
(1) يجب استعمال اجهاد الخضوع الخاص بالشفة (F_{yf}) في هذه المعادلات في حالة العتبات المركبة (2) يجب استعمال المساحة الصافية للوح عند أوسع ثقب (3) الرجوع إلى الملحق (أ) لغاية تصميم المقاطع النحيفة التي تزيد نسبة عرضها إلى سمكها عن حدود المقاطع غير المكتنزة. (4) الرجوع إلى البند (1/2-6) (5) إن قيمة k_c ستكون $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ (6) ليس لهذه المقاطع القدرة على مقاومة اجهادات لدنة قبل حدوث انبعاج موضعي فيها (7) إن قيمة F_L ستكون $F_L = 0.7F_y$، وذلك لحالات الانحناء حول المحور الثانوي والانحناء حول المحور الرئيس للأعضاء المركبة على شكل (I) ذات السيقان النحيفة وكذلك الانحناء حول المحور الرئيس للأعضاء المركبة على شكل (I) ذات السيقان المكتنزة وغير المكتنزة ذات نسبة معامل المقطع $S_{xt}/S_{xc} \geq 0.7$، وستكون $F_L = F_y S_{xt}/S_{xc} \geq 0.5F_y$			

تتمة الجدول 2-1/5

حدود نسب العرض إلى السمك		نسبة العرض إلى السمك	وصف العنصر
غير مكتنز ⁽³⁾ λ_r	مكتنز λ_p		
وذلك في حالة الانحناء حول المحور الرئيس للأعضاء المركبة على شكل (I) ذات السيقان المكتنزة وغير المكتنزة ذات نسبة معامل المقطع $S_{xt}/S_{xc} < 0.7$.			
(ب) المقواة (Stiffened)			
$625/\sqrt{F_y}$	$500/\sqrt{F_y}$	b/t	شفاه المقاطع الانشائية الصندوقية المستطيلة، المقاطع الانشائية المجوفة ذات السمك المنتظم والخاضعة جميعها إلى الانضغاط، كذلك ألواح التغطية (Cover plate) ذات الشفة والألواح الحاجبة (Diaphragm) بين خطوط الروابط واللحام.
$2500/\sqrt{F_y}$	$1000/\sqrt{F_y}$	h/t	وتائر المقاطع الانشائية الصندوقية المستطيلة، المقاطع الانشائية المجوفة ذات السمك المنتظم والخاضعة إلى الانحناء
$830/\sqrt{F_y}$	(4)-----	b/t	العرض غير المكتف لألواح التغطية المثقبة (Perforated) بفتحات متعاقبة ⁽²⁾ .
$665/\sqrt{F_y}$	-----	h/t _w	الوتائر المعرضة للانضغاط المنتظم في مقاطع على شكل (I) متناظرة حول المحورين.
$2550/\sqrt{F_y}$	$1680/\sqrt{F_y}$	h/t _w	الوتائر المعرضة للانحناء في مقاطع على شكل (I) المتناظرة حول المحورين وعلى شكل (C).
$2500/\sqrt{F_y}$	$\frac{\frac{h_c}{h_p} \frac{245}{\sqrt{F_y}}}{(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09)^2} \leq \lambda_r$ (1)	h _c /t _w	الوتائر المعرضة للانحناء في مقاطع على شكل (I) المتناظرة حول محور واحد فقط.
$665/\sqrt{F_y}$	(4)-----	b/t h/t _w	جميع العناصر المقواة الأخرى المعرضة للانضغاط بشكل منتظم والمسددة من الجانبين.
			المقاطع الدائرية المجوفة المعرضة:
$22000/F_y$	-----	D/t	- للانضغاط المحوري
$62000/F_y$	$14000/F_y$		- للانحناء
(1) h_c يمثل ضعف المسافة من أسفل الشفة العليا إلى مركز الثقل (Center of Gravity) و h_p يمثل ضعف المسافة من أسفل الشفة العليا إلى محور التعادل اللدن (Plastic Neutral Axis). أما M_p فهو يمثل عزم الانحناء اللدن (Plastic Bending Moment) في حين يمثل M_y عزم الانحناء عند حد الخضوع (Yielding Bending Moment). (2) يجب استعمال المساحة الصافية للوح عند أوسع ثقب (3) الرجوع إلى الملحق (أ) لغاية تصميم المقاطع النحيفة التي تزيد نسبة عرضها إلى سمكها عن حدود المقاطع غير المكتنزة (4) ليس لهذه المقاطع القدرة على مقاومة إجهادات لدنة قبل حدوث انبعاج موضعي فيها			

- عندما : $P_u / \phi_b P_y \leq 0.125$

$$h/t_w \leq \frac{1680}{\sqrt{F_y}} \left(1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_b P_y} \right) \quad (1/5-2)$$

- عندما : $P_u / \phi_b P_y > 0.125$

$$h/t_w \leq \frac{500}{\sqrt{F_y}} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \geq \frac{665}{\sqrt{F_y}} \quad (2/5-2)$$

حيث أن:

P_u : التحمل المطلوب للانضغاط المحوري، (N).

P_y : تحمل الخضوع الفعلي للانضغاط المحوري، (N).

ϕ_b : عامل المقاومة للانحناء، (0.9).

F_y : اجهاد الخضوع، (N/mm^2).

h/t_w : نسبة نحافة الوتر.

2/2/5-2 بالنسبة للأعضاء التي تتكون مقاطعها من اوتار وشفاة غير متساوية (مقاطع متناظرة حول محور واحد فقط) والتي تتعرض إلى تأثير مشترك لعزم انحناء وقوى انضغاط محورية، فتكون حدود الانبعاج الموضعي للوتر: [2,1]

$$h/t_w \leq \frac{660}{\sqrt{F_y}} \left[1.00 + 2.83 \left(\frac{h}{h_c} \right) \left(1 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \right] \quad (3/5-2)$$

حيث أن:

$$\frac{3}{4} \leq \frac{h}{h_c} \leq \frac{3}{2}$$

3/2/5-2 في شفاة المقاطع الصندوقية المستطيلة والمقاطع الانشائية المجوفة والتي لها سمك منتظم وتتعرض الى تأثير مشترك من الانحناء وقوى الانضغاط، وألواح التغطية على شفاة المقطع، وألواح الحاجب بين خطوط المثبتات أو اللحام :

$$b/t \leq \frac{420}{\sqrt{F_y}} \quad (4/5-2)$$

4/2/5-2 في المقاطع الدائرية المجوفة المعرضة للانحناء: [2,1]

$$D/t \leq \frac{9000}{F_y} \quad (5/5-2)$$

حيث أن:

D: القطر الخارجي للمقطع، (mm) .

2-3 مقاطع الانضغاط ذات العناصر النحيفة (Slender Compression Elements)

يجب مراعاة ما موجود في الملحق (أ) بخصوص تصميم المقاطع المعرضة للانضغاط والانحناء والتي تتكون من عناصر بعضها نحيفة ومعرضة للانضغاط.

2-6 التدعيم عند المساند (Bracing at Supports)

من الضروري تقييد الدوران عند نقاط استناد العتبات والروافد (Girders) والمسنمات (الجملونات) حول محاورها الطولية.

2-7 حدود نسبة النحافة (Slenderness Ratio Limits)

2-7/1 أعضاء الانضغاط (Compression Members)

- يفضل أن لا تزيد نسبة النحافة (KL/r) للأعضاء الرئيسة المعرضة لقوى الانضغاط عن (180). [4]
- يفضل أن لا تزيد نسبة النحافة (KL/r) للأعضاء الثانوية المعرضة لقوى الانضغاط (ومنها أعضاء أنظمة التدعيم) على (200). [4,1]

2-7/2 أعضاء الشد (Tension Members) [7,4,1]

يفضل ألا تزيد نسبة النحافة (KL/r) للأعضاء المعرضة لقوى الشد على (300)، وتستثنى القضبان المسننة (Rods) المعرضة لقوى الشد من ذلك. أما بالنسبة للأعضاء التي تكون قد صممت لتحمل قوى الشد في النظام الإنشائي والتي قد تتعرض لقوى انضغاط خلال التشغيل الفعلي فتستثنى من تحقيق متطلبات نسبة النحافة لأعضاء الانضغاط.

2-8 الفضاءات ذات الاسناد البسيط (Simple Spans)

عند تصميم العتبات والروافد والمسنمات (الجملونات) ذات الفضاءات البسيطة، يكون طول فضاءها الفعال مساوياً للمسافة بين مراكز ثقل الأعضاء التي تتحمل ردود أفعالها الطرفية.

2-9 تقييد النهايات (End Restrained)

يتم تصميم العتبات والروافد والمسنمات (الجمالونات) ومقاطع الأعضاء المتصلة بها، عند افتراض التقييد التام أو التقييد الجزئي لأطرافها (Full or partial end restrained) الناتج من الفضاءات المستمرة أو المستمرة جزئياً" أو الفضاءات النانئة (cantilevers)، على أساس إنها ستتحمل قوى القص والانحناء الناتجة بالإضافة إلى جميع القوى الأخرى، على أن لا تزيد الاجهادات عند أي نقطة عن تلك المحددة في الأبواب (4 و 5 و 6) من هذه المدونة.

يسمح في بعض الحالات الاستثنائية ببعض التشوهات غير المرنة المحددة ذاتياً" (Self-limiting) لبعض أجزاء الروابط عندما يكون ذلك ضرورياً لتجنب حصول اجهادات زائدة في المثبتات.

2-10 تناسب أبعاد مقاطع الروافد والعتبات (Proportions of Girders and Beams)

2-10/1 تحسب أبعاد المقاطع المدلفنة أو الملحومة للعتبات والروافد اللوحية (Plate girders) وأبعاد مقاطع العتبات المغطاة بالألواح على أساس عزم القصور (Moment of inertia) للمقطع الإجمالي. تهمل ثقوب البراشيم أو المسامير الملولة (البراغي) في أي من شفتي المقطع، سواء أنجزت الثقوب في المصنع أو في الموقع بشرط أن يكون: [3,2]

$$0.5F_u A_{fn} \geq 0.6F_y A_{fg} \quad (1/10-2)$$

حيث أن:

- A_{fg} : المساحة الكلية للشفة (mm^2)، وتحسب على وفق ما مبين في الفصل (2-1).
- A_{fn} : المساحة الصافية للشفة (mm^2)، وتحسب على وفق ما مبين في الفصل (2-2).
- F_y : اجهاد الخضوع، (N/mm^2).
- F_u : المقاومة القصوى، (N/mm^2).

أما إذا كانت: [3,2]

$$0.5F_u A_{fn} < 0.6F_y A_{fg} \quad (2/10-2)$$

فتحسب خصائص الانحناء للعضو على أساس المساحة الفعالة (A_{fe}) للشفة الخاضعة للشد، حيث: [3,2]

$$A_{fe} = \frac{5 F_u}{6 F_y} A_{fn} \quad (3/10-2)$$

2-10/2 تحسب مقاطع الروافد المهجنة (Hybrid girders) على أساس عزم القصور للمقطع الإجمالي، على أن تراعى المتطلبات المذكورة في الفصل (2/7) وبشرط أن لا تزيد القوة المحورية التي سيقاومها المقطع على $(0.15 F_y)$ مضروبة في المساحة الإجمالية للمقطع، حيث (F_y) تساوي اجهاد الخضوع للمادة المصنوعة منها الشفة. ولتأهيل الروافد لكي تكون روافد مهجنة، يجب أن يكون لشفاها نفس المساحة عند أي مقطع، وأن تكون مصنوعة من صنف الفولاذ نفسه. [3,2]

2-10/3 يمكن أن يختلف سمك أو عرض شفاه العتبات أو الروافد الملحومة بسبب التراكبات المتتالية للألواح أو بسبب استعمال ألواح التغطية. [3,2]

2-10/4 في حالة الروافد المنفذة باستعمال المسامير الملولة (البراغي) أو البراشيم، يجب أن لا تزيد المساحة الإجمالية لمقطع ألواح التغطية (Cover plates) على (70%) من المساحة الكلية للشفة.

2-10/5 تصمم المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل والبراشيم واللحام التي تربط الشفة بالوتر أو تربط لوح التغطية بالشفة بحيث تتحمل اجهادات القص الأفقية الكلية الناتجة من قوى الانحناء في الروافد. وتوزع هذه المسامير الملولة (البراغي) والبراشيم واللحام المتقطع بشكل يتناسب مع شدة اجهادات القص بشرط ألا تزيد المسافات الطولية على الحد الأقصى المسموح به بحسب الفصلين (2-4) و (4-5) على الترتيب. وتصمم المسامير الملولة (البراغي) والبراشيم واللحام التي تربط الشفة بالوتر بحيث يكون باستطاعتها نقل الأحمال المؤثرة مباشرة على الشفة الى الوتر، إلا إذا تم اتخاذ ترتيبات مناسبة لنقل هذه الأحمال بالتحميل المباشر. [3,2]

2-10/6 يجب مد ألواح التغطية الجزئية (Partial length cover plate) للشفة إلى ما بعد نقطة القطع النظرية (Theoretical cut-off point). ويجب تثبيت الجزء الممدود من هذه الألواح إلى العتبة أو الرافدة باستعمال إما المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل في روابط الانزلاق الحرج، أو البراشيم أو اللحام الزاوي وبما يتناسب مع الاجهادات ذات العلاقة المسموح بها في الفصول (2-10) أو (3-10) أو (3-11) بحيث تكون هذه الألواح قادرة على تحمل نصيبها من اجهادات الانحناء في العتبات والروافد عند نقطة القطع النظرية. [3,2]

2-10/7 إضافة إلى ما نص عليه البند (2-10/6)، وبخصوص ألواح التغطية الملحومة، يجب أن يكون اللحام المثبت لنهايات الألواح بالعتبات أو الروافد وعلى طول مقداره (a) المعروف لاحقاً، مناسباً بحيث أن هذه الألواح لها حصة من اجهادات عزوم الانحناء المتولدة في العتبات والروافد عند مسافة مقدارها (a) من

نهاية لوح التغطية و بحيث لا تزيد الاجهادات التي تتعرض لها مناطق اللحام على الاجهادات المسموح بها. ويجب أن يكون الطول (a)، مقاساً من نهاية لوح التغطية، مساوياً إلى: [3,2]

- عرض لوح التقوية، عندما يكون اللحام مستمراً على جانبي لوح التقوية لمسافة (a) وحول نهايته وعندما لا يقل مقاس اللحام عن (0.75) من سمك اللوح.
- مرة ونصف بقدر عرض لوح التقوية، عندما يكون اللحام مستمراً على جانبي لوح التقوية لمسافة (a) وحول نهايته وعندما يقل مقاس اللحام عن (0.75) من سمك اللوح.
- ضعف عرض لوح التقوية، عندما يكون اللحام مستمراً على جانبي لوح التقوية فقط لمسافة (a).

2-8 تناسب أبعاد مقاطع الروافد الساندة للرافعات (Proportions of crane girders) [3,2]

يجب أن تكون أبعاد شفاة مقاطع الروافد المركبة الساندة للرافعات أو للأحمال المتحركة الأخرى متناسبة بحيث تستطيع مقاومة القوى الأفقية الناتجة من هذه الأحمال، كما يجب الأخذ بالاعتبار اللي الناتج من هذه الأحمال عند تصميم تلك الروافد.

2-11 أقل سمك للألواح (Minimum thickness of plates)

- يكون أقل سمك مسموح به للألواح (عدا المقاطع المشكلة على البارد Cold-Formed Sections) ، 5 ملم.
- بالنسبة لألواح التجميع (Gusset plates) المستعملة في المسنمات (الجميلونات) الفولاذية فإن أقل سمك مسموح به هو 8 ملم. [4]
- أما بالنسبة للمقاطع المشكلة على البارد فأقل سمك مسموح به للألواح هو 1.5 ملم وللطبقات اللوحية (Sheets) هو 0.5 ملم. [4]

المراجع (References)

- [1] "Manual of Steel Construction"; American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition, 2005.
- [2] "Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design"; American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions. ,2003.

- [3] " كودة الإنشاءات الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والأسكان، الطبعة الثانية، 2002.

- [4] “*Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)*”; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [5] “*Manual for the Design of Steelwork Building Structures to EC3*”; The Institution of Structural Engineers, The Institution Of Civil Engineers, May 2000
- [6] الكود العربي الموحد - الإنشاءات الفولاذية ، مجلس وزراء الأسكان والتعمير العرب، الطبعة الأولى ، 1999.
- [7] “*Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C)*”; The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.

الباب 3

الهياكل والمنشآت الأخرى

(Frames and Other Constructions)

يتناول هذا الباب المتطلبات والشروط العامة اللازمة لتحقيق الاستقرارية للهياكل والمنشآت كمنشأ واحد.

1-3 التأثيرات من المرتبة الثانية

إن التأثيرات من المرتبة الثانية بين الحمل والإزاحة للعضو نفسه ($P - \delta$)، وبين الحمل وإزاحة مسند العضو ($P - \Delta$) والموضحة في الشكل (1/1-3)، يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار في تصميم الهياكل والمنشآت الحاوية على أعضاء معرضة لتأثير مشترك لكل من الضغط المحوري والانحناء البسيط.



($P - \Delta$): تأثير الأحمال المسلطة على الموقع المزاح للمفاصل والعقد في المنشأ.
($P - \delta$): تأثير الأحمال المسلطة على الشكل المشوه لعضو بين مفصلين أو عقدتين.

الشكل 1/1-3: تأثيرات ($P - \delta$) و ($P - \Delta$) في الهياكل (العتبة-العمود).

1/1-3 في المنشآت المصممة على أساس التحليل اللدن (Plastic Analysis) فإن مقاومة الانحناء المطلوبة (M_{II}) يجب أن تحدد من التحليل اللدن للمرتبة الثانية (Second Order Plastic Analysis) والذي يحقق المتطلبات المذكورة في الفصل (2-3).

2/1-3 في المنشآت المصممة على أساس التحليل المرن (Elastic Analysis) فإن المقاومة المحورية المطلوبة (P_{II}) ومقاومة الانحناء المطلوبة (M_{II}) لروابط (العتبة-العمود) والأعضاء المربوطة الأخرى يجب أن تحسب من التحليل المرن من المرتبة الثانية (Second Order Elastic Analysis) أو باعتماد الطريقة التقريبية التالية للتحليل من المرتبة الثانية، وذلك بتجميع التحليلات المرنة للمرتبة الأولى، يلاحظ الشكل (2/1-3)، على وفق الطريقة التالية:

$$M_u = B_2 M_{lt} + B_1 M_{nt} \quad (a1/1-3)$$

$$P_u = B_2 P_{lt} + P_{nt} \quad (b1/1-3)$$

حيث أن :

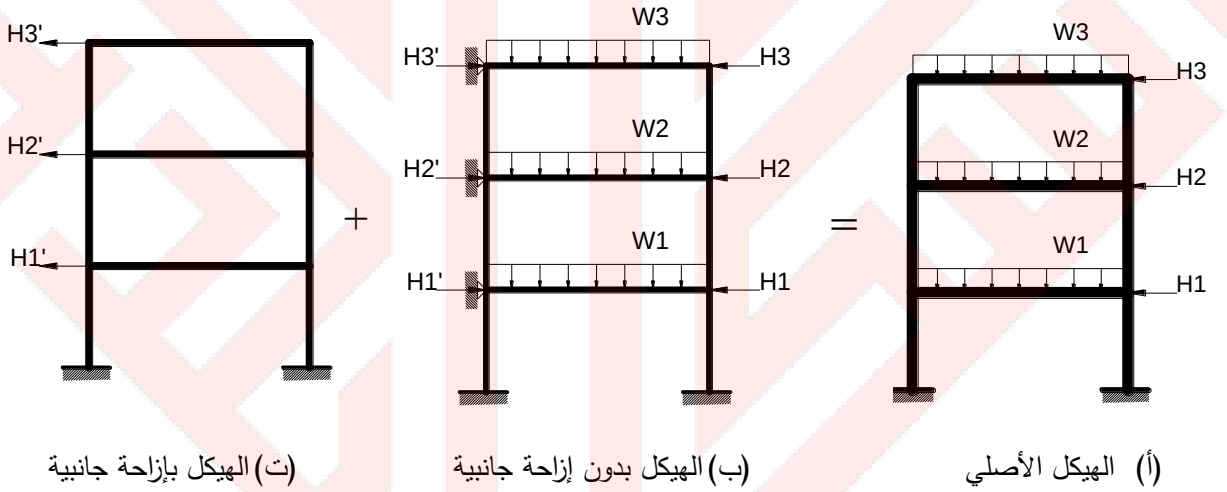
M_{nt} : مقاومة الانحناء المطلوبة في العضو الإنشائي على اعتبار عدم وجود إزاحة جانبية في الهيكل (kN.m)، يلاحظ الشكل (2/1-3 (ب)).

M_{lt} : مقاومة الانحناء المطلوبة في العضو الإنشائي نتيجة الإزاحة الجانبية للهيكل فقط (kN.m)، يلاحظ الشكل (2/1-3 (ت)).

P_{nt} : المقاومة المحورية المطلوبة في العضو على فرض عدم وجود إزاحة جانبية في الهيكل (kN)، يلاحظ الشكل (2/1-3 (ب)).

P_{lt} : المقاومة المحورية المطلوبة في العضو الإنشائي نتيجة الإزاحة الجانبية للهيكل فقط (kN)، يلاحظ الشكل (2/1-3 (ت)).

B_1 و B_2 : معاملات تضخيم العزم.



الشكل 2/1-3: الطريقة التقريبية لحساب العزوم المرنة من المرتبة الثانية M_{nt} و M_{lt} .

$$B_1 = \frac{Cm}{1 - \frac{P_u}{P_{e1}}} \geq 1.0 \quad (2/1-3)$$

$$P_{e1} = (A_g \cdot F_y) / \lambda_c^2 = \frac{200000\pi^2 I}{(KL)^2} \quad (3/1-3)$$

حيث أن:

I : العزم الثاني للمساحة حول محور الانحناء، (m^4).

λ_c : متغير النحافة، والذي فيه القيمة لعامل الطول الفعال ($K \leq 1$) في مستوى الانحناء، يجب أن تحدد على وفق اشتراطات البند (3-1/2) الخاصة بالهياكل المدعمة.

$$\lambda_c = \frac{0.00223}{\pi} \left(\frac{KL}{r} \right) \sqrt{F_y} \quad (4/1-3)$$

r : نصف قطر التدويم حول محور الانحناء، (m).

P_u : مقاومة الانضغاط المحورية المطلوبة للعنصر الإنشائي المحدد، (kN).

C_m : معامل تعديل العزم، ويحدد اعتماداً على التحليل المرن من المرتبة الأولى على اعتبار عدم

وجود إزاحة عرضيه للهيكل، وتؤخذ قيمته كما يلي:

أ- لأعضاء الانضغاط غير المعرضة لأحمال عرضية بين المساند في مستوى الانحناء فإن:

$$C_m = 0.60 - 0.40 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (5/1-3)$$

حيث أن:

$\left(\frac{M_1}{M_2} \right)$: نسبة العزم الأصغر إلى العزم الأكبر عند نهايات ذلك الجزء من العضو الإنشائي غير

المدعم في مستوى الانحناء موضوع البحث. وتؤخذ هذه النسبة بإشارة موجبة عندما يكون

الانحناء للعضو الإنشائي مزدوج التقوس (Double curvature) وتؤخذ الإشارة سالبة عندما

يكون الانحناء مفرد التقوس (Single curvature).

ب- لأعضاء الانضغاط المعرضة لأحمال عرضية بين المساند، فإن قيمة (C_m) تعين إما باستعمال التحليل

النسبي أو باستعمال القيم التالية:

1- للأعضاء التي بنهاياتها يوجد عزم تقييد فإن ($C_m = 0.85$).

2- للأعضاء التي بنهاياتها بسيطة المساند فإن ($C_m = 1$).

$$B_2 = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sum P_u}{\sum H} \right) \left(\frac{\Delta oh}{L} \right)} \geq 1 \quad (6/1-3)$$

أو

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}} \geq 1 \quad (7/1-3)$$

حيث أن:

$\sum P_u$: مجموع القوة المحورية المطلوبة لجميع الأعمدة للطابق موضوع البحث، (kN).

Δoh : الإزاحة العرضية الداخلية للطابق، (m).

ΣH : مجموع القوى الأفقية للطابق والتي تسبب (Δoh) ، (kN).

L: ارتفاع الطابق، (m).

ΣP_{e2} : مقاومة الانبعاج الحرجة المرنة للطابق تحتسب من تحليل الانبعاج للزحف الجانبي.

λ_c : متغاير النحافة، والذي فيه عامل الطول الفعال $(\geq 1K)$ في مستوى الانحناء، يجب أن يعين

على وفق اشتراطات البند (2/2-3) الخاصة بالهياكل غير المدعمة.

ملاحظة: المعامل (B_1) ، في المعادلة (2/1-3) مطلوب لتخمين تأثيرات $(P-\delta)$ على العزوم في حالة عدم

وجود الإزاحة الجانبية (M_{II}) ، للأعضاء المحملة محوريا. في حين ان المعامل (B_2) المعرف في المعادلتين

(6/1-3) و (7/1-3) هو مطلوب لتخمين تأثير $(P-\Delta)$ على العزوم لأعضاء الهيكل غير المدعم في

حالة وجود الإزاحة الجانبية فقط (M_{II}) ، أو نظام التهيكال المركب. [3,2]

3/1-3 يوصى باعتماد التحليل المرن الدقيق من المرتبة الثانية عند إيجاد القوى الداخلية للهيكل

عندما $(1.2 > B_1)$ أو عندما $(1.5 > B_2)$.

4/1-3 في المنشآت المصممة على أساس التحليل المرن، فإن مقاومة الانحناء المطلوبة (M_u) لمفصل

(العمود- العتبة)، الروابط والأعضاء المربوطة الأخرى يجب أن تحدد من التحليل المرن من المرتبة الثانية

أو من الطريقة التقريبية للتحليل من المرتبة الثانية، وكما يلي:

1- في مفصل (العتبة- العمود) مع تحميل عرضي، وذات مساند بسيطة عند النهايتين، فإن عزم المرتبة

الثانية يمكن حسابه بالشكل تقريبي من المعادلة:

$$C_m = 1 + \omega \left(\frac{P_u}{P_{e1}} \right) \quad (8/1-3)$$

$$\omega = \frac{200000\pi^2 \cdot \delta_0 \cdot I}{M_0 L^2} - 1 \quad (9/1-3)$$

حيث أن:

δ_0 : الهطول الأقصى بسبب التحميل العرضي، (mm).

M_0 : عزم التصميم الأقصى المعامل، بين المساند بسبب التحميل العرضي، (N.m).

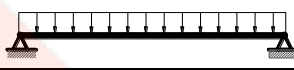
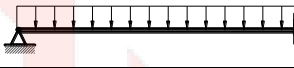
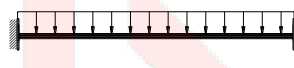
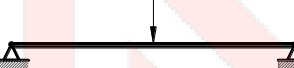
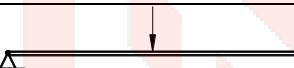
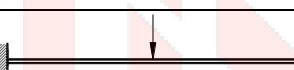
2- في مفصل (العمود- العتبة) مع تحميل عرضي، وذات نهايات مقيدة تمنع الدوران، فإن قيم (C_m) و

(ω) تؤخذ من الجدول (1/1-3) بحسب الحالات المحددة. تستعمل قيم (C_m) دائما مع العزم الأقصى في

العضو. بالامكان استعمال قيم لـ (C_m) أكثر تحفظا لحالة الاعضاء المحملة عرضيا، فلحالة النهايات غير

المقيدة تكون $(C_m = 1)$ ولحالة النهايات المقيدة تكون $(C_m = 0.85)$ [2].

الجدول 3-1/1: قيم (ω) و (C_m) لحالات أحمال مختلفة ونهايات مقيدة.

C_m	ω	الحالة
1.0	0	
$1 - 0.4 \left(\frac{P_u}{P_{e1}} \right)$	-0.4	
$1 - 0.4 \left(\frac{P_u}{P_{e1}} \right)$	-0.4	
$1 - 0.2 \left(\frac{P_u}{P_{e1}} \right)$	-0.2	
$1 - 0.3 \left(\frac{P_u}{P_{e1}} \right)$	-0.3	
$1 - 0.2 \left(\frac{P_u}{P_{e1}} \right)$	-0.2	

2-3 استقرار الهياكل

إن المتطلبات الأساسية لاستقرار المنشأ بالإضافة إلى الأعضاء المستقلة يجب تحقيقها. وهذا يتضمن تأثير المرتبة الثانية للحمل المحوري على إجهادات الانحناء بالإضافة إلى تحديد حمل الانبعاج الحرج وعامل الطول الفعال (K).

3-1/2 نسبة النحافة (Slenderness Ratio)

3-1/2-1 الاستقرار العامة أو الشاملة يجب أن تدقق للمنشأ ككل من ناحية ولكل عضو على إنفراد. من ناحية أخرى، نسبة النحافة لعضو معين تحسب من المعادلة التالية:

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (3-1/2)$$

أما متغير النحافة (λ_c) فيؤخذ:

$$\lambda_c = 0.00223\lambda \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2}} \quad (3-2/2)$$

حيث أن:

λ : نسبة النحافة.

K : عامل طول الانبعاج. في حالة عضو الانضغاط فإن (K) تعتمد على درجة تقييد الدوران عند نهايات العضو والوسائل المتوافرة لمنع الازاحات الجانبية. وفي حالة أعضاء الشد فإن ($K=1$).

L : الطول غير المسند لأعضاء الشد أو الضغط.

r : نصف قطر التدوير للمقطع الشامل والموافق لمحور الانبعاج.

2/1/2-3 القيم العظمى لنسب النحافة (Maximum Slenderness Ratio) لأعضاء الضغط أو الشد يجب أن لا تزيد على القيم المبينة في الجدول (1/2-3) [4,3,2].

الجدول 1/2-3: القيم العظمى لنسبة النحافة (λ) لأعضاء المحملة محوريا.

λ_{max}	العضو
180	الأعضاء الانضغاطية
200	منظومات التقييد والأعضاء الانضغاطية الثانوية
300	أعضاء الشد

3/1/2-3 عامل طول الانبعاج الفعال (K) (Effective Buckling Length Factor)

1/3/1/2-3 الاعضاء المستقلة (Individual Members)

القيم المقترحة لعامل طول الانبعاج (K) مبينة في الجدول (2/2-3) للأعضاء ذات النهايات المعرفة بشكل واضح. [3]

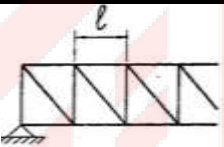
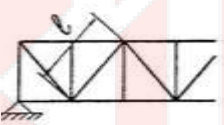
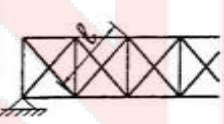
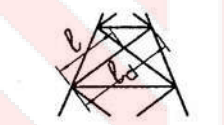
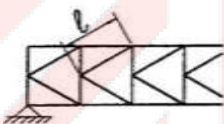
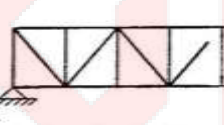
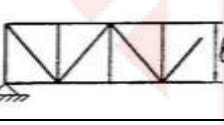
الجدول 2/2-3: عامل طول الانبعاج (K) لأعضاء المحملة محوريا وذات نهايات معرفة بالشكل واضح.

شكل الانبعاج للعمود موضح بالخط المنقط	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
القيمة النظرية للعامل (K)	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
القيمة التصميمية المعتمدة في حالة النهايات المثالية	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
	الدوران والانتقال مقيدان الدوران طليق والانتقال مقيد الدوران مقيد والانتقال طليق الدوران والانتقال طليقان					

2/3/1/2-3 المسمنات (الجمالونات) (Trusses)

طول الانبعاج الفعال (KL) لعضو الانضغاط في مسنم ما، يستحصل عليه من الجدول (3-2/3)، أو من التحليل المرن لانبعاج المسمن.

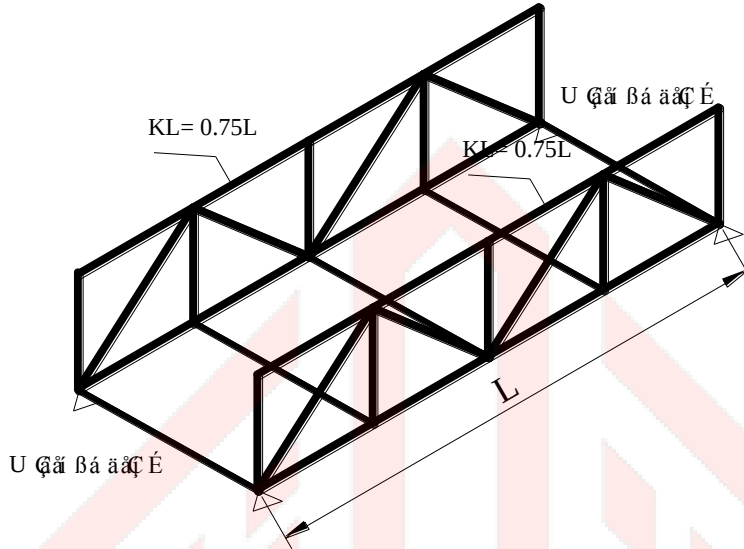
الجدول 3-2/3: طول الانبعاج الفعال (KL) لأعضاء الانضغاط في الجمالونات.

العضو	في المستوي	خارج المستوي	
		الوتر المضغوط	
		غير مقيد	مقيد
الوترات		L	0.75 span
الأعضاء القطرية نظام الوتر المثلثية المفردة		L	1.2L
نظام الوتر المستطيلة متعددة التقاطع والمربوطة بشكل فاعل		0.75L	L
نظام الوتر ذات الشبه منحرف متعددة التقاطع والمربوطة بشكل فاعل		0.8Ld	-
نظام (K)		1.2L	1.5L
الأعضاء العمودية نظام الوتر المثلثية المفردة		L	1.2L
نظام الوتر المتقاطعة بشكل (K)		0.5L	$\left(0.75 + 0.25 \frac{N_s}{N_t}\right) L$

N_s : القيمة الصغرى لقوة الانضغاط

N_t : القيمة الكبرى لقوة الانضغاط

للمسمن (الجمالون) المسند بالشكل بسيط، مع وترات انضغاط غير مسندة بالشكل جانبي وعدم وجود هياكل تقاطع ونهايتا المسمن مقيدتان بشكل كافٍ، كما في الشكل (3-1/2)، فإن عامل طول الانبعاج الفعال (K) يؤخذ (0.75). [1]



الشكل 3-1/2: مسنم (جملون) فيه الوتر العليا المعرضة للانضغاط غير مسندة عرضيا.

للمسلمات (الجلونات) التي فيها أعضاء انضغاط مقيدة جانبيا بواسطة هياكل على شكل الحرف (U) مؤلفة من روافد عرضية وأعمدة، يلاحظ الشكل (3-1/2)، يحسب طول الانبعاج الفعال لعضو الانضغاط (L_b) من المعادلة التالية: [1]

$$L_b = 16.8^4 \sqrt{I_y \cdot a \cdot \delta} \geq a \quad (3/2-3)$$

حيث إن:

I_y : عزم القصور الذاتي للعضو حول المحور (Y-Y) والمبين في الشكل (3-2/2)، (cm^4).

a: المسافة بين الهياكل على شكل الحرف (U)، (cm).

δ : المطاطية للهيكل على شكل الحرف (U): الهطول الجانبي قرب منتصف الفضاء عند المستوي

لمركز العضو موضوع البحث، والنتائج من تأثير حمل مقداره وحدة واحدة يؤثر جانبيا على كل

عضو مربوط مع الهيكل بالشكل (U). حمل الوحدة الواحدة يطبق فقط عند النقطة المراد

حساب (δ) لها. اتجاه كل حمل وحدة واحدة يجب أن يحقق القيمة العظمى لـ (δ)، (cm). [1]

إن الهيكل بشكل الحرف (U) يعتبر حرا وغير مربوط في كل النقاط عدا كل نقطة تقاطع بين الرفادة

العرضية والعمود للمسنم. حيث أن هذا الفصل يمكن اعتباره مربوط بشكل جاسئ. في حالة الهيكل بشكل

الحرف (U) المتماثل ويمتلك عزم قصور ذاتي ثابت لكل من مقاطع الرفادة العرضية والأعمدة خلال كل

طول الهيكل، فإن (δ) يمكن أن تحسب من المعادلة التالية:

$$\delta = \frac{d_1^3}{6120 I_1} + \frac{d_2^2 B}{4080 I_2} \quad (4/2-3)$$

حيث أن:

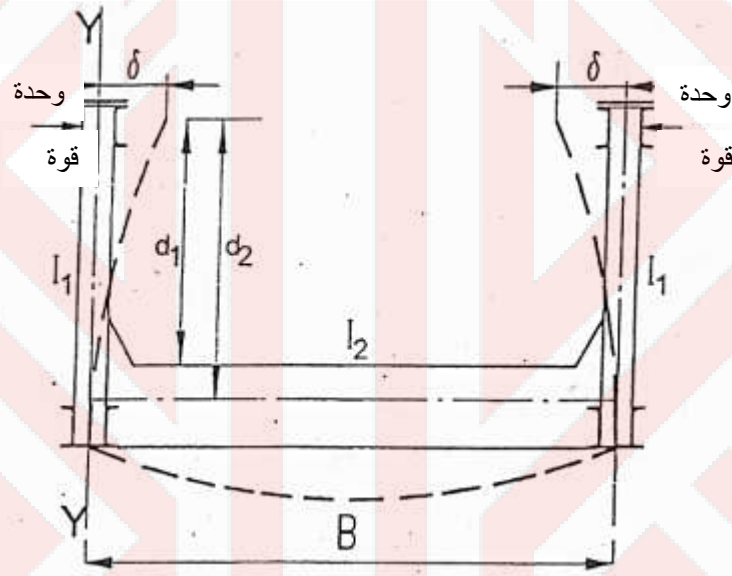
d_1 : المسافة بين مركز عضو الانضغاط إلى الوجه الأقرب للرافدة العرضية للهيكل بشكل الحرف (U)، (cm).

d_2 : المسافة بين المركز لعضو الانضغاط إلى المحور المركزي لمقطع الرافدة العرضية للهيكل بشكل الحرف (U)، (cm).

I_1 : عزم القصور الذاتي للعضو العمودي الذي يشكل الذراع للهيكل بشكل الحرف (U) حول محور الانحناء، (cm^4).

I_2 : عزم القصور الذاتي لمقطع الرافدة حول محور الانحناء، (cm^4).

B: المسافة بين مركز الروافد الرئيسة المتعاقبة والمربوطة بالهيكل على شكل الحرف (U)، (cm).



الشكل 2/2-3: التقيد العرضي لوترات المسنم (الجمالون) بواسطة هيكل على شكل الحرف (U).

3/3/1/2-3 الأعمدة في الهياكل

(أ) الهياكل المدعمة (Braced Frames)

(1) في المسنمات (الجمالونات) والهياكل التي تتوافر لها استقرارية عرضية بواسطة التدعيم القطري، أو جدران القص أو أي أساليب مكافئة أخرى، فإن عامل الطول الفعال للانبعاث (K) لأعضاء الانضغاط يؤخذ مساوياً (1)، ما لم يظهر التحليل الإنشائي امكانية استعمال مقدار أقل من ذلك. يمكن استعمال مخططات الرصف (Alignment chart)، في الشكل (3/2-3)، لإيجاد طول الانبعاث الفعال.

(2) يستعان بالتحليل الإنشائي لتحديد كفاية نظام التدعيم العمودي للهياكل المدعمة متعددة الطوابق، في منع حدوث الانبعاث للمنشأ، ولإبقاء الاستقرارية العرضية للمنشأ، متضمناً ذلك تأثيرات انقلاب الانحراف تحت تأثير الأحمال المعاملة والمبينة في العبارة الفرعية 3/3/1/2-3-(أ)-(4).

(Slope – Deflection). في الشكل (3/2-3)، يشير الرمز (A) و (B) إلى نقاط نهايتي العمود موضوع الدراسة. أما (G) فهي تعرف كما يلي: [3]

$$G = \frac{\sum(I/L) \text{ columns}}{\sum(I/L) \text{ girders}} \quad (5/2-3)$$

حيث إن:

G: معامل التقييد عند نهاية العمود.

Σ: يشير إلى مجموع الأعضاء المربوطة بشكل جاسئ للمفصل (A) أو (B) والواقعة في نفس المستوى الذي يحصل فيه الانبعاج للعمود موضوع البحث.

I: العزم الثاني للمساحة لكل عضو عند النهاية (A) أو (B) ويؤخذ حول المحور العمودي على مستوى الانبعاج، (mm⁴).

L: الطول غير المسند لكل عضو (رافدة أو عمود)، (mm).

(3) المعادلة (5/2-3) يجب أن تعدل للحالات الخاصة المبينة في الجدولين (3-4/2-أ) و (3-4/2-ب)، وكما يلي:

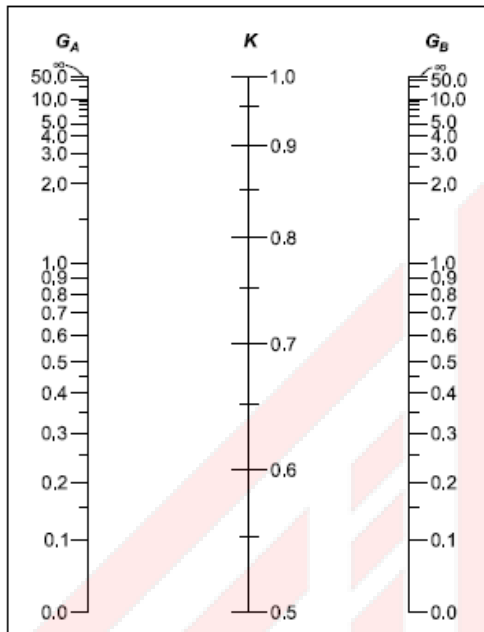
أولاً: لقاعدة العمود المربوطة مع أساس بواسطة مفصل عديم الاحتكاك ، فإن معامل التقييد (G) يساوي (∞) نظرياً، ولكن يجب أن يؤخذ (10) في التصميم العملي. [3]

ثانياً: لقاعدة العمود الملامسة بشكل جاسئ لأساس مصمم، فإن (G) يساوي (صفر) نظرياً، ولكن يجب أن يؤخذ (1) في التصميم العملي. [3]

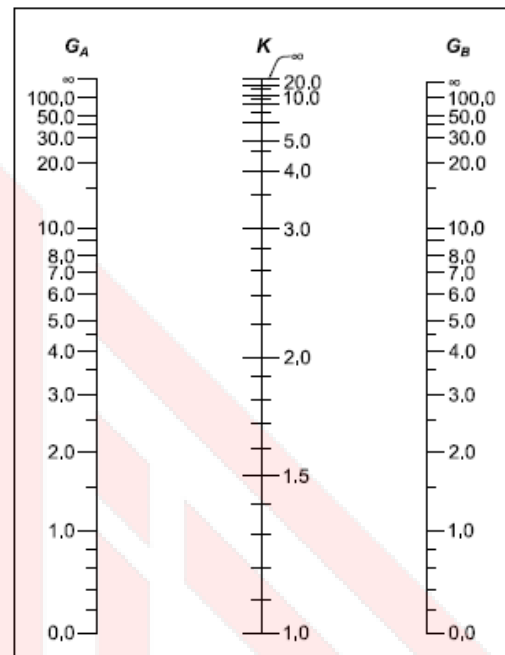
ثالثاً: جساءة الرافدة (I / L) يجب أن تضرب بمعامل عند وجود شروط محددة في النهاية البعيدة للرافدة وهي:

- في حالة كون الإزاحة الجانبية ممنوعة، فإن معامل الضرب هو (1.5) إذا كانت النهاية البعيدة للرافدة مفصلاً مسمارياً (Hinge) و (2) إذا كانت النهاية البعيدة للرافدة ثابتة (Fixed).
- في حالة كون متغيرات النخافة لعمود ما في الحالة غير المرنة ($\lambda c < 1.10$) وفي حالة الروافد المرنة، يضرب معامل التقييد (G) بمعامل تقليل (B_s) [1]، كما مبين في الجدول (5/2-3).
- في حالة كون الإزاحة الجانبية مسموحاً بها، فإن معامل الضرب هو (0.50) إذا كانت النهاية البعيدة للرافدة مفصلاً مسمارياً (hinge) و (0.67) إذا كانت النهاية البعيدة للرافدة ثابتة (Fixed). [4,1]

(4) وعند الحصول على قيمتي (G_A) و (G_B) لعمود ما، فإن عامل طول الانبعاج (K) يستحصل عليه من تقاطع الخط المستقيم المرسوم بين النقطتين المحددتين على التدرجين (G_A) و (G_B) مع خط التدرج الوسطي (K) [4,1].



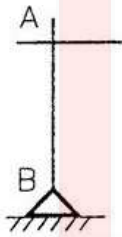
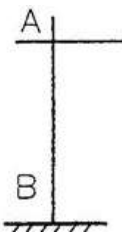
ب-هيكل مدعمة



أ-هيكل غير مدعمة

الشكل 3-2/3: مخططات الرصف (Alignments charts) لإيجاد عامل طول الانبعاج للأعمدة في الهياكل الجاسئة (K).

الجدول 3-2/4 - أ: قيم (G) للأعمدة بحالات نهاية خاصة.

حالة الاسناد لقاعدة العمود	 	
G_B	$G_B=10$	$G_B=1$

الجدول 3-4/2 ب: معاملات ضرب جساءة الروافد بحالات نهايات خاصة.

الإزاحة الجانبية غير مسموحة	$(I/L)_g \times 1.5$ 	$(I/L)_g \times 2.0$ 
	النهاية البعيدة للرافدة ذات مفصل مسماري	النهاية البعيدة للرافدة ثابتة
الإزاحة الجانبية مسموحة	$(I/L)_g \times 0.5$ 	$(I/L)_g \times 0.67$ 
	النهاية البعيدة للرافدة ذات مفصل مسماري	النهاية البعيدة للرافدة ثابتة

قيمة (G) تضرب بمعامل تقليل (B_s) عندما تكون نحافة العمود في الحالة غير المرنة ($\lambda_e < 1.10$) والعتبات المرنة كما مبين في الجدول (5/2-3).

الجدول 5/2-3: معامل التقليل (B_s) للأعمدة غير المرنة.

λ_{max}	0.10	0.20	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.80	0.90	1.00	1.10
B_s	0.01	0.06	0.13	0.23	0.35	0.48	0.61	0.75	0.86	0.95	1.00

المراجع (References)

- [1] "Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)"; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [2] "Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C)"; The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.
- [3] "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges"; American Institute of Steel Construction, Inc., 1st Edition, 2005.

[4] "كودة الإنشاءات الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الثانية، 2002.

الباب 4

أعضاء الشد (Tension Members)

يتناول هذا الباب تصميم الأعضاء الموشورية منتظمة الجساءة (Prismatic members) المعرضة إلى شد محوري ناتج من قوى ساكنة مسلطة من خلال المحور المركزي للمقطع. بالنسبة إلى تصميم الأعضاء المعرضة إلى إجهادات مشتركة من شد محوري وانحناء (Combined axial tension and flexure) وكذلك الاعضاء المعرضة للكلل (Fatigue) فيمكن الرجوع إلى الفصلين (2-8) و (3-11).

1-4 تحمل الشد (Tensile Strength)

تحمل الشد التصميمي ($\phi_t P_n$) وتحمل الشد المسموح به (P_n / Ω_t) لأعضاء الشد يحسبان على أساس القيمة الصغرى من تطبيق حدود حالة الخضوع في مساحة المقطع الإجمالية أو حالة التمزق في مساحة المقطع الصافي. [1]

1/1-4 حالة الخضوع في مساحة المقطع الإجمالية :

$$P_n = F_y A_g \quad (1/1-4)$$

عند التصميم بطريقة (LRFD) $\phi_t = 0.9$ ، وعند التصميم بطريقة (ASD) $\Omega_t = 1.67$ [2]

2/1-4 حالة التمزق في مساحة المقطع الصافية :

$$P_n = F_u A_e \quad (2/1-4)$$

عند التصميم بطريقة (LRFD) $\phi_t = 0.75$ ، وعند التصميم بطريقة (ASD) $\Omega_t = 2.00$

حيث أن:

A_e : مساحة المقطع العرضي الصافية الفعالة، (mm^2).

A_g : مساحة المقطع الإجمالية، (mm^2).

F_y : إجهاد الخضوع، (MPa).

F_u : تحمل الشد الأقصى، (MPa).

لأعضاء الشد غير الحاوية على فتحات والمربوطة كلياً باللحام، إن مساحة المقطع العرضي الفعالة المستعملة في المعادلة (2/1-4) تعرف بحسب الفصل (1-4). وفي حالة احتواء عضو الشد المربوط كلياً باللحام على فتحات أو في حالة استعمال الربط باللحام السداي (Plug) أو اللحام الشقي (Slot) فإن مساحة المقطع الصافية هي التي تستعمل في المعادلة (2/1-4). بالإضافة إلى ما ورد في الفصل (1-4) يجب التحقق من تحمل تمزق كتلة القص (Rupture strength of block shear) عند الوصلات الطرفية لأعضاء

الشّد وذلك بالرجوع الى الفصل (4-10) وكذلك يجب ان تحقق العصي المسننة (Threaded rods) المتطلبات المبينة في الفصل (3-10). [3]

2-4 الأعضاء المركبة (Built-up Members)

1/2-4 لغرض تحديد التباعد الأقصى المسموح به بين الروابط في اتجاه طول العناصر مستمرة التلامس والمتكونة من مقطع مدلفنمن لوحين، يمكن الرجوع إلى البند (5/3-10).

2/2-4 تحدد المسافة بين الروابط في اتجاه طول العناصر بحيث لا تزيد نسبة النخافة للجزء الواقع بين رابطتين متتاليتين ولكل واحد من عناصر المقطع على (300).

3/2-4 من الممكن استعمال ألواح الغطاء المثقبة (Perforated cover Plates) أو الألواح الرابطة (Tie Plates) غيرالمحزمة في الجوانب المفتوحة لأعضاء الشّد المركبة. [4,2,1]

4/2-4 يجب أن لا يقل طول اللوح الرابط عن $(\frac{2}{3})$ المسافة بين خطوط اللحام أو الروابط التي تربط عناصر العضو بعضها ببعض بحيث لا يقل سمك اللوح عن $(1/50)$ المسافة بين تلك الخطوط.

5/2-4 يجب ان لا تزيد المسافة الطولية بين الروابط أو اللحام المتقطع لألواح الربط على (150mm).

6/2-4 المسافات بين الألواح الرابطة يجب أن تحدد لكي تحقق نسبة نخافة لا تزيد على (300) لأي عنصر باتجاه الطول بين تلك الألواح. [5,2,1]

3-4 الأعضاء مسمارية الوصل (Pin – Connected Members)

1/3-4 تحمل الشّد (Tensile Strength)

تحمل الشّد التصميمي $(\phi_t P_n)$ وتحمل الشّد المسموح به (P_n / Ω_t) للأعضاء مسمارية الوصل يحسبان على أساس القيمة الصغرى من تطبيق حدود الحالات التالية : [1,2]

1/1/3-4 حالة الشّد في مساحة المقطع الصافية الفعالة :

$$P_n = 2tF_u b_{eff} \quad (1/3-4)$$

$$\phi_t = 0.75(\text{LRFD}) , \quad \Omega_t = 2.00(\text{ASD})$$

2/1/3-4 حالة القص في مساحة المقطع الفعالة:

$$P_n = 0.6F_u A_{sf} \quad (2/3-4)$$

$$\phi_{sf} = 0.75(\text{LRFD}) , \quad \Omega_{sf} = 2.00(\text{ASD})$$

حيث أن:

$$A_{sf} = 2t(a + d/2)$$

$$b_{eff} = 2t + 16$$

A_{sf} : مساحة المقطع الفعالة لأغراض القص، (mm^2).

b_{eff} : يجب أن لا تكون أكبر من المسافة الفعلية بين حافة الفتحة إلى حافة الجزء مقاسة بالاتجاه العمودي على القوة المسلطة.

a : اقصر مسافة من حافة فتحة المسمار إلى حافة العضو مقاسة بالاتجاه الموازي لاتجاه القوى المسلطة، (mm).

d : قطر المسمار، (mm).

t : سمك اللوح، (mm).

3/1/3-4 حالة السحق في المساحة المسقطة للمسمار (Projected Area of Pin) يمكن الرجوع الى الفصل (8-10).

4/1/3-4 لحالة الخضوع في مساحة المقطع الإجمالية تنطبق المعادلة (1/1-4).

2/3-4 المتطلبات التفصيلية (Detailing Requirements)

1/2/3-4 فتحة المسمار يجب أن تقع في منتصف المسافة بين حافات العضو بالاتجاه العمودي على اتجاه القوى المسلطة.

2/2/3-4 يجب أن لا يزيد قطر فتحة المسمار بأكثر من (1 mm) على قطر المسمار وذلك للمسامير التي من الممكن ان تستوعب الحركة النسبية بين الأجزاء الموصولة تحت تأثير الحمل الكامل.

3/2/3-4 يجب أن لا يقل عرض اللوح للأجزاء الواقعة بعد فتحة المسمار عن ($2b_{eff} + d$).

4/2/3-4 يمكن قطع زوايا اللوح الواقعة بعد فتحة المسمار بزاوية مقدارها (45°) نسبة إلى محور العضو بشرط أن تكون المسافة الصافية للأجزاء الواقعة بعد فتحة المسمار المأخوذة عند مستوي عمودي على القطع ليست أقل من تلك المأخوذة بشكل موازٍ إلى محور العضو.

4-4 الأسلاك الفولاذية (Steel Cables)

1/4-4 تحمل الشد (Tensile Strength)

تحمل الشد التصميمي ($\phi_t P_n$) وتحمل الشد المسموح به (P_n / Ω_t)، للأسلاك الفولاذية يحسبان على أساس حدود حالة التمزق في مساحة المقطع الإجمالي كآتي:

$$P_n = F_u A_g \quad (1/4-4)$$

$$\phi_t = 0.55 (\text{LRFD}) , \quad \Omega_t = 3.0 (\text{ASD})$$

حيث أن:

A_g : مساحة المقطع الإجمالية، (mm^2).

F_u : تحمل الشد الأقصى، (MPa).

2/4-4 المتطلبات التفصيلية (Detailing Requirements)

مقدار التقعر المقبول في الأسلاك الفولاذية التي تستعمل في تسقيف الفضاءات الكبيرة في الأبنية يتراوح بين (1/12 - 1/16) من المسافة الكلية للفضاء بكل اتجاه.

المراجع (References)

- [1] "Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design"; American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions, 2003.
- [2] "Manual of Steel Construction"; American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition, 2005.
- [3] "كودة الإنشاءات الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الثانية، 2002.
- [4] "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications"; American Association of State Highway and Transportation Officials, 4th Edition, 2007.
- [5] "Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)"; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.

الباب 5

الأعمدة و الأعضاء الانضغاطية الأخرى

(Columns and Other Compression Members)

يتناول هذا الباب الأعضاء الموشورية منتظمة الجساءة ذات المقاطع المكنزة وغير المكنزة (Compact and non-compact prismatic members) المعرضة إلى ضغط محوري مار من خلال مركز المقطع. بالنسبة إلى الأعضاء المعرضة إلى اجهادات مشتركة من ضغط محوري وانحناء (Combined axial compression and flexure) يمكن الرجوع إلى الباب 8 من هذه المدونة. أما بخصوص الأعضاء ذات العناصر النحيفة (Slender elements)، فيجب الرجوع إلى الملحق (أ). كما يجب الرجوع إلى المتطلبات المبينة في الفصل ج-3 (من الملحق ج) بخصوص الأعضاء المستدقة (Tapered members).

5-1 الطول الفعال وحدود النحافة (Effective Length and Slenderness Limitations)

عامل الطول الفعال (K) يحدد بحسب ما نص عليه الباب 2 وذلك لحساب نحافة العمود (KL/r)، على ان لا تزيد نسبة النحافة للأعضاء الرئيسة على (200)، وعندما تزيد هذه القيمة على (200) بالنسبة الى اعضاء التدعيم يجب ان لا يزيد اجهاد الضغط على اجهاد الضغط المسموح به.

5-1/1 التصميم بطريقة التحليل اللدن

يمكن التصميم بطريقة التحليل اللدن كما محددة في البند (2-5/2) إذا كان متغاير النحافة (λ_c) للعمود لا يتجاوز (1.5K).

5-2 تحمل الانضغاط لانبعاج الانحناء

(Compressive Strength for Flexural Buckling)

تحمل الانضغاط التصميمي $\phi_c P_n$ وتحمل الانضغاط المسموح به P_n / Ω_c لانبعاج الانحناء للأعضاء الانضغاطية التي تمتلك عناصرها نسبة العرض/السماك اقل من (λ_r) ، حيث ان λ_r تحدد بحسب ما نص عليه الجدول (2-5/1)، يحسبان كما يلي: [2,1]

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (1/2-5)$$

عند التصميم بطريقة (LRFD) $\phi_c = 0.9$ ، وعند التصميم بطريقة (ASD) $\Omega_c = 1.67$. [2,1]

حيث (F_{cr}) الاجهاد الحرج الذي يمكن ايجاده بحسب الحالات التالية:

5-2/1 في حالة $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (2/2-5)$$

5-2/2 في حالة $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (3/2-5)$$

حيث أن:

$$\lambda_c = \frac{7}{10000} \frac{KL}{r} \sqrt{F_y} \quad (4/2-5)$$

A_g : مساحة المقطع الاجمالية، (mm²).

F_y : اجهاد الخضوع، (MPa).

K : عامل الطول الفعال.

L : طول العضو غير المدعم جانبياً، (mm).

r : نصف القطر التدويري المتحكم حول محور الانبعاج، (mm).

Governing radius of gyration about the axis of buckling

بالنسبة للأعضاء التي تمتلك عناصر لا تتفق مع متطلبات الفصل (2-5) انظر إلى الملحق (أ).

5-3 تحمل الانضغاط لانبعاج الانحناء-اللي

(Compressive Strength for Flexural-Torsional Buckling)

تحمل الانضغاط التصميمي $\phi_c P_n$ وتحمل الانضغاط المسموح به P_n / Ω_c لانبعاج الانحناء-اللي للأعضاء الانضغاطية المكونة من الزوايا أو من المقاطع على شكل (T)، التي تمتلك عناصرها نسبة العرض/السماك أقل من (λ_r) ، يحسبان كالتالي: [2,1]

$$P_n = A_g F_{crt} \quad (1/3-5)$$

$$\phi_c = 0.9 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$F_{crt} = \left[\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2 H} \right] \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \quad (2/3-5)$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_o^2}$$

$$H = 1 - \frac{y_o^2}{\bar{r}_o^2}$$

$\bar{r}_o$: نصف القطر التدويمي القطبي (Polar radius of gyration) حول مركز القص (Shear center)، (mm).

y_o : المسافة بين مركز القص ومركز الشكل، (mm).

تحتسب قيمة F_{cry} بحسب الفصل (2-5) لانبعاج الانحناء حول محور التناظر (محور y) للحالات التي يكون $\lambda_c = \frac{7}{10000} \frac{KL}{r_y} \sqrt{F_y}$.

بالنسبة للأعضاء الانضغاطية المكونة من الزوايا أو من المقاطع على شكل (T) والتي تمتلك عناصر لا تتفق مع متطلبات الفصل (2-5) يمكن استعمال الملحق (أ) لإيجاد F_{cry} لاستعمالها في المعادلة (2-5/3). بالنسبة إلى الأعمدة المتناظرة حول أحد محوريها أو الأعمدة غير المتناظرة وكذلك الأعمدة المتناظرة حول محوريها مثل الأعمدة صليبية الشكل (Cruciform) أو الأعمدة المركبة ذات الجدران الرقيقة، فيكون تصميمها لتحمل انضغاط انبعاج الانحناء-اللي أو لانبعاج اللي على وفق متطلبات الملحق (ب).

4-5 الأعضاء المركبة (Built-Up Members)

1/4-5 التحمل التصميمي (Design Strength)

التحمل التصميمي للأعضاء المركبة والمكونة من أكثر من مقطع يمكن إيجاده على وفق الفصلين (2-5) و (3-5) وذلك بعد إجراء التعديلات الضرورية.

إذا كان شكل الانبعاج متضمناً تشوهات نسبية ينتج منها قوى قص في الروابط التي تربط المقاطع المنفصلة (المنفردة)، فيجب تغيير $\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ إلى $\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ والتي تحسب كما يلي:

1/1/4-5 بالنسبة للروابط الوسطية المكونة من المسامير الملولبة (البراغي) المرتبة محكمة الشد: -[2,1]

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \quad (1/4-5)$$

2/1/4-5 بالنسبة للروابط الوسطية المكونة من اللحام أو المسامير الملولبة (البراغي) الواقعة تحت تأثير

شد تام: -[2,1]

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + 0.82 \frac{\alpha^2}{1 + \alpha^2} \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2} \quad (2/4-5)$$

حيث أن:

$\left(\frac{KL}{r}\right)_o$: نحافة العمود للعضو المركب الذي يعمل كوحدة واحدة.

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m$: نحافة العمود المعدلة للعضو المركب.

a: المسافة بين الروابط، (mm).

r_i : نصف القطر التدويمي الاصغر للمركب الانفرادي، (mm).

r_{ib} : نصف القطر التدويمي للجزء الانفرادي نسبة إلى محوره المركزي الموازي إلى محور الانبعاج

للعضو، (mm).

α : نسبة الانفصال = $\frac{h}{2r_{ib}}$

h: المسافة بين مراكز الأجزاء الانفرادية والتي تكون عمودية على محور الانبعاج للعضو، (mm).

5-2/4 المتطلبات التفصيلية (Detailing Requirements)

5-2/4/1 تربط جميع أجزاء المقطع المحكمة مع بعضها عند نهايات الأعضاء المركبة المرتكزة على ألواح القاعدة (Base plates) أو على سطوح مهذبة (Milled surfaces) بواسطة لحام مستمر لمسافة طويلة لاتقل عن اكبر عرض للعضو، أو تربط بواسطة مسامير ملولبة (براغ) موزعة طولياً على مسافات لا تزيد على أربعة أمثال قطر المسامير الملولبة (البراغي) ولمسافة طويلة تساوي (1.5× أكبر عرض للعضو).

5-2/4/2 تثبت الروابط الوسطية على طول أعضاء الانضغاط المركبة بحيث يكون التباعد الطولي بين هذه الروابط والمتكونة من لحامات منقطعة وبرايشيم أو مسامير ملولبة (براغ) كافياً لنقل الاجهادات المحسوبة في العضو. ولغرض تحديد التباعد الطولي بين الروابط للأجزاء المتلامسة والمتكونة من لوحين أو مقطع حديدي مع لوح يمكن الرجوع إلى الباب 10. إضافة إلى ذلك فإن التباعد الطولي الأقصى بين الروابط للأعضاء المركبة التي يتألف الجزء الخارجي منها من ألواح، يجب أن لا يزيد على اصغر سمك اللوح الخارجي $\times \frac{330}{\sqrt{F_y}}$ ، ولا على (300mm) عندما يستعمل لحام منقطع على طول حافات الأجزاء أو استعمال روابط على طول خطوط الخطوات المستعرضة في كل مقطع. وفي حالة استعمال روابط موضوعة بشكل متخالف (staggered) يجب أن لا يزيد التباعد بينها على كل خط من الخطوط المستعرضة على اصغر سمك اللوح الخارجي $\times \frac{500}{\sqrt{F_y}}$ ولا على (450mm).

5-3/2/4 الأجزاء المنفصلة لأعضاء الانضغاط المكونة من مقطعين أو أكثر يجب أن تربط مع بعضها على مسافات بحيث لا تزيد نسبة النحافة الفعالة $\left(\frac{K_a}{r_i}\right)$ لأي من المقطعين بين الروابط على ثلاثة أرباع نسبة النحافة المتحكم للعضو المركب (governing slenderness ratio) ويتعين استعمال نصف القطر التدويمي الأدنى لحساب نسبة النحافة لكل جزء من هذه الأجزاء.

5-4/2/4 الجوانب المفتوحة لأعضاء الانضغاط المركبة والمكونة من ألواح أو من مقاطع يجب أن تكون ذات الواح تغطية مستمرة تحتوي على فتحات (ثقوب) لأغراض الصيانة. ويكون العرض غير المسند

(unsupported width) لهذه الألواح عند الفتحات، وكما هو مبين في الفصل (2-5) قادراً على إعطاء المقاومة المطلوبة إذا توافرت الشروط التالية: [3]

- 1- أن تكون نسبة العرض إلى السمك بحسب متطلبات الفصل (2-5).
 - 2- أن لا تزيد نسبة طول الفتحة في اتجاه الإجهاد إلى عرضها على (2).
 - 3- أن لا تقل المسافة الصافية بين فتحتين متتاليتين في اتجاه الإجهاد عن المسافة العرضية بين اقرب خطوط الربط للروابط أو اللحام.
 - 4- أن لا يقل نصف قطر التقوس عند أي نقطة على محيط الفتحة عن 40mm.
- تصمم الألواح المثقبة لمقاومة مجموع قوى القص الناتجة من الأحمال التصميمية وقوة قص اضافية تحسب كما مبين في المعادلة التالية: [4]

$$V = \frac{P_r}{100} \left[\frac{100}{\left(\frac{L}{r}\right) + 10} + \frac{4.5 \left(\frac{L}{r}\right) F_y}{100000} \right] \quad (3/4-5)$$

حيث أن:

P_r : مقاومة الانضغاط المطلوبة للألواح، $(P_r = \phi_c P_n)$ ، (N) .

L : طول العضو، (mm).

r : نصف القطر التدويري حول محور عمودي على الألواح، (mm).

5/2/4-5 يستعمل التحزيم بالألواح الرابطة (Lacing with tie plates) بديلاً لألواح التغطية المستمرة عند كل نهاية من نهايات الأعضاء المركبة ذات الجوانب المفتوحة وعند نقاط متوسطة في حالة انقطاع استمراريتها. ويجب أن تكون هذه الألواح موضوعة بحيث تكون اقرب ما يمكن من نهايات الأعضاء.

6/2/4-5 لا يقل طول لوح الربط الطرفي في الأعضاء الرئيسة ذات المقاومة المطلوبة عن المسافة بين خطوط الروابط أو اللحام التي تربطها بأجزاء العضو، كما يجب أن لا يقل طول لوح الربط الوسطي عن نصف هذه المسافة.

7/2/4-5 يجب أن لا يقل سمك الألواح الرابطة عن $(1/50)$ المسافة بين خطوط اللحام أو الروابط التي تربطها بأجزاء العضو. [5]

8/2/4-5 في الأعضاء الملحومة لا يقل طول كل خط من خطوط لحام لوح الربط بأجزاء العضو عن ثلث طول لوح الربط نفسه.

5-9/2/4 في الأعضاء التي تستعمل فيها المسامير الملولة (البراغي) والبراشيم لتثبيت ألواح الربط عليها لا يزيد تباعد المسامير الملولة (البراغي) والبراشيم على الألواح في اتجاه الإجهاد على ستة أمثال قطرها، على أن لا يقل عددها الذي يربط الألواح إلى كل جزء من أجزاء العضو عن ثلاثة.

5-10/2/4 تحدد المسافة بين شبكات التحزيم بما فيها القضبان المستوية (Flat bars) والزوايا ومقاطع حديد الساقية، أو أية مقاطع أخرى تستعمل للتحزيم بحيث لا تزيد نسبة نحافة الشفة (L/r) المحصورة بين أماكن تثبيت شبكات التحزيم على (3/4) نسبة النحافة المتحركة للعضو ككل.

5-11/2/4 تصمم شبكات التحزيم لمقاومة إجهادات قص عمودية على محور العضو تساوي (2.0%) من إجهاد الضغط الكلي في العضو.

5-12/2/4 يجب أن لا تزيد نسبة النحافة لقضبان التحزيم والمرتبطة على شكل نظام منفرد (Single system) على (140)، ولا تزيد نسبة النحافة في التحزيم المزدوج على (200) على أن تربط قضبان التحزيم المزدوج في نقاط تقاطعها. [5]

5-13/2/4 يحسب الطول (L) لقضبان التحزيم المعرضة للضغط على أساس الطول غير المسند (Unsupported length) للقضيب بين اللحام أو الروابط التي تربطها بأجزاء العضو المركب بالنسبة للتحزيم المفرد و (70%) من المسافة المذكورة آنفاً بالنسبة للتحزيم المزدوج.

5-14/2/4 يفضل أن لا يقل ميل قضبان التحزيم عن (60°) عن محور العضو للتحزيم المفرد ولا عن (45°) للتحزيم المزدوج.

5-15/2/4 عندما تكون المسافة بين خطوط اللحام أو الروابط في الشفاه أكبر من (350mm) يفضل استعمال التحزيم المزدوج أو استعمال الزوايا.

5-5 الروابط لأعضاء الانضغاط مسمارية الوصل

(Connection for Pin-Connected Compression Members)

يجب أن تكون الوصلات المسمارية في أعضاء الانضغاط مسمارية الوصل ملبية للمتطلبات المنصوص عليها في الفصل (3-4).

المراجع (References)

- [1] “*Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design*”; American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions. ,2003.
- [2] “*Manual of Steel Construction*”; American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition ,2005.
- [3] "كودة الإنشاءات الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الثانية، 2002.
- [4] “*AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*”; American Association of State Highway and Transportation Officials, 4th Edition, 2007.
- [5] “*Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)*”; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.

الباب 6

العتبات والأعضاء الانحنائية الأخرى (Beams and Other Flexural Members)

6-1 تعريف (Definition)

تصنف أعضاء الانحناء بالاعتماد على نسب العرض/السبك للعناصر التي يتركب منها المقطع الفولاذي على أنها مقاطع مكنتزة، أو مقاطع غير مكنتزة، أو عناصر ذات مقاطع نحيفة. يمكن اعتبار المقطع مكنتز إذا كانت مركباته جميعها تمتلك نسبة عرض/سبك أقل من حدود النسب للمعامل λ_p والمعرف بحسب طريقة التصميم المعتمدة على معاملات الأحمال والمقاومة (LRFD). ويعتبر المقطع غير مكنتز إذا كان على الأقل أحد عناصر مركباته يمتلك نسبة عرض/سبك تتراوح بين λ_p إلى λ_r . وكذلك فإن المقطع يعتبر ذا عناصر نحيفة إذا كان أحد عناصره على الأقل يمتلك نسبة عرض/سبك تتجاوز قيمة λ_r وكما مبين في الباب الثاني والملحق ج.

بالإضافة إلى معامل الاكتناز للمقاطع الفولاذية هنالك اعتبار آخر في تصميم العتبات ألا وهو التدعيم الجانبي للأعضاء والطول غير المدعم للعضو. للعتبات المحنية حول محاورها القوية أنماط فشل أو حالات حدية تعتمد على الطول غير المدعم وعدده لمنطقة شفة الانضغاط للعتبة.

تتصرف شفة الانضغاط للعتبات على أنها عضو انضغاط حيث تتبع على شكل يدعى (انبعاج اللي الجانبي) وذلك في حالة عدم توافر الاسناد الجانبي الكافي.

وكذلك فإن نمط انبعاج اللي الجانبي يمكن أن يرافقه خضوع ويصنف عندئذ، إما بالانبعاج المرن أو الانبعاج غير المرن معتمداً على الطول غير المدعم. حيث يكون الانبعاج مرناً في حالة كون الطول غير المدعم كبيراً. للمقاطع المكنتزة وفي حالة كون المساند الجانبية كافية فإن الحالة الحدية تدعى الخضوع الكامل للمقطع (تشكل المفصل اللدن).

أما للمقاطع غير المكنتزة وفي حالة كون التدعيم الجانبي كافياً فإن الحالة الحدية تدعى الانبعاج الموضعي للشفة أو الوتر.

للعتبات المحنية حول محورها الضعيف لا تحصل ظاهرة انبعاج اللي الجانبي لذلك فإن الطول غير المدعم لا يمتلك تأثيراً في تصميم العتبات. والحالات الحدية لمثل هذه الحالة هي حصول المفصل اللدن في حالة كون المقطع مكنتزاً أو حصول انبعاج الشفة أو الوتر في حالة كون المقطع غير مكنتز.

إن العتبات التي تتعرض للقص العالي يجب أن تدقق لاحتمالية فشل الوتر بالقص. وهو على نوعين يعتمدان على نسبة العرض/السبك للوتر، وهما فشل خضوع القص وفشل انبعاج القص للوتر.

إذا كان القص في الوترات حرجاً فيجب اللجوء إلى مقاطع أكثر سمكاً أو استعمال تسليح للوترات كالمجسئات.

أما العتبات المعرضة إلى أحمال مركزة ومسلطة في مستوي الوتره فيجب أن تدقق للعديد من انماط الفشل في الشفة و/أو الوتره. وأنماط الفشل المتوقعة هي:

- الانحناء الموضعي للشفة (Local Flange Bending) (لأحمال الشد المركزة)،
 - خضوع الوتره الموضعي (Local Web Yielding) (لأحمال الانضغاط المركزة)،
 - تعرج الوتره (Web Crippling)،
 - انبعاج الوتره الجانبي (Side Sway Web Buckling)،
 - انبعاج الانضغاط للوتره (Compression Buckling of the Web).
- وفي حالة حصول أي حالة من الحالات المذكورة آنفاً يجب تقوية الوتره بمجسئات عرضية ولمسافة لا تقل عن نصف عمق المقطع، ويجب أن توضع على جانبي منطقة الحمل المركز.
- (ملاحظة: يستعمل العمق الكامل على الأقل في حالة انبعاج الانضغاط للوتره)
- للعتبات الطويلة ذات الهطول المفرط ولغرض تقادي المشاكل من الناحية الخدمية لها، يجب تجهيز العتبة بمساند وسطية أو عتبات بجساءة انحناء أعلى.
- إن تصميم أعضاء الانحناء يجب أن يطابق على الأقل المحددات التالية:

1. محدد تحمل الانحناء.
2. محدد تحمل القص.
3. محدد الأحمال المركزة.
4. محدد الهطول.

2-6 تصميم الأعضاء الانحنائية (Design of Flexural Members)

1/2-6 اعتبارات عامة (General Provisions)

تحمل الانحناء التصميمي (Design Flexure Strength) $\phi_b M_n$ وتحمل الانحناء المسموح به (Allowable Flexure Strength) $\frac{M_n}{\Omega_b}$ يحسبان على وفق ما يلي: [5,3,2,1]

$$M_u \leq \phi_b M_n \text{ (LRDF)} \quad M_a \leq \frac{M_n}{\Omega_b} \text{ (ASD)} \quad (1/2-6)$$

حيث أن $\phi_b = 0.9$ لطريقة (LRFD) وان $\Omega_b = 1.67$ لطريقة (ASD) اما M_n فهو تحمل الانحناء الاسمي ويحسب على وفق الفقرات (1/1/2-6) ولغاية (5/1/2-6).

6-1/1/2 المقاطع المكتنزة المنحنية على محورها القوي (الرئيس)

(Bending of Compact Sections about Strong Axis)

6-1/1/2 للحالة $L_b < L_p$ (في هذه الحالة يتشكل المفصل اللدن عند الفشل)

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x \quad (2/2-6)$$

6-2/1/1/2 للحالة $L_p \leq L_b \leq L_r$ (انبعاج لي جانبي غير مرن)

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3/2-6)$$

6-3/1/1/2 للحالة $L_b > L_r$ (انبعاج لي جانبي مرن)

للأعضاء التي مقاطعها I أو ساقية:

$$M_n = C_b \left[\frac{\pi E}{L_b} \sqrt{I_y \frac{GJ}{E} + \left(\frac{\pi}{L_b} \right)^2 I_y C_w} \right] \leq M_p \quad (4/2-6)$$

للقضبان المستطيلة الصلدة والمقاطع الصندوقية المتناظرة:

$$M_n = C_b \frac{390 \sqrt{JA}}{L_b / r_y} \leq M_p \quad (5/2-6)$$

حيث أن:

L_b : الطول الفعلي لجزء العتبة غير المدعم جانبياً.

L_p : الحد الحرج للطول غير المدعم لانبعاج اللي الجانبى اللدن.

L_r : الحد الحرج للطول غير المدعم لانبعاج اللي الجانبى المرن.

قيم الأطوال غير المدعمة الحرجة L_p و L_r مبينة في الجدول التالي مقاسة بالأمتار.

الجدول 6-1/2: قيم الأطوال غير المدعمة والحرية L_r, L_p [2]

ت	شكل المقطع	L_p	L_r
1	مقطع I أو مقطع ساقية	$\frac{787 r_y}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{1.00 r_y X_1}{F_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}}$
2	مقاطع قضبان مستطيلة صلبة ومقاطع صندوقية متناظرة	$26000 \frac{r_y \sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{400000 r_y \sqrt{JA}}{M_r}$

حيث أن:

$$F_y Z_x = M_p : \text{عزم الانحناء اللدن، (N.mm).}$$

$$F_L S_x = M_r : \text{عزم الانحناء عند الانبعاج لمقطع I أو لمقطع ساقية، (N.mm).}$$

$$F_{yf} S_x = M_r : \text{عزم الانحناء عند الانبعاج للقضبان ذات المقاطع المستطيلة الصلبة والمقاطع الصندوقية، (N.mm).}$$

$$F_L : \text{القيمة الأقل من } (F_{yf} - F_r) \text{ أو } F_{yw}, \text{ (MPa).}$$

$$F_{yf} : \text{إجهاد الخضوع للشفة، (MPa).}$$

$$F_{yw} : \text{إجهاد الخضوع للوتر، (MPa).}$$

$$F_r : \text{إجهاد الانضغاط المتبقي للشفة (residual stress). قيمته (69 MPa) للمقاطع المدلفنة،}$$

$$\text{و (114 MPa) للمقاطع الملحومة (المركبة). [2,1]}$$

$$S_x : \text{معامل المقطع المرن حول المحور الرئيس، (mm}^3\text{).}$$

$$Z_x : \text{معامل المقطع اللدن حول المحور الرئيس، (mm}^3\text{).}$$

$$I_y : \text{العزم الثاني للمساحة حول المحور الثانوي، (mm}^4\text{).}$$

$$J : \text{ثابت اللي، (mm}^4\text{).}$$

$$C_w : \text{ثابت الاعوجاج، (mm}^6\text{).}$$

$$\frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EA \cdot GJ}{2}} = X_1 : \text{معامل انبعاج العتبة.}$$

$$\frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 = X_2 : \text{معامل انبعاج العتبة.}$$

$$C_b : \text{معامل تصحيح العزم الذي يحسب من المعادلة التالية: [5,2,1]}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (6/2-6)$$

حيث أن :

$$M_{\max} : \text{العزم الأقصى المطلق، (N.mm).}$$

M_A, M_B, M_C : عزوم الانحناء عند الأرباع الداخلية أو على التعاقب، ضمن الفضاء غير المدعم وذلك في حالة كون (M_{max}) ضمن الطول غير المدعم وبخلاف ذلك تعتمد قيمة C_b المعرفة ضمن مواصفات طريقة التصميم المعتمدة على الإجهادات المسموح بها للمعهد الأمريكي للإنشاءات الفولاذية (AISC-ASD). [7,6]

2/1/2-6 المقاطع المكتنزة المنحنية على محورها الضعيف (الثانوي) (Bending of Compact Sections about Weak Axis)

بغض النظر عن قيمة الطول غير المدعم L_b ، ستحصل الحالة الحدية عند تكوين مفصل لدن:

$$M_n = M_{py} = F_y Z_y \quad (7/2-6)$$

3/1/2-6 المقاطع غير المكتنزة المنحنية على محورها القوي (الرئيس) (Bending of Non-Compact Sections about Strong Axis)

1/3/1/2-6 الحالة $L_b > L'_p$ (انبعاث موضعي للساقية أو انحناء موضعي للشفة)

$$M_n = M'_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (8/2-6)$$

حيث أن:

$$L'_p = L_p + (L_r - L_p) \left[\frac{M_p - M'_n}{M_p - M_r} \right] \quad (9/2-6)$$

حيث أن:

L'_p : الحد الحرج للطول غير المدعم لانبعاث اللي الجانبى اللدن للمقاطع غيرالمكتنزة، (m).

لحالة انبعاث الشفة الموضعي تؤخذ القيمة λ كالآتي:

لمقطع I ($\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$) ولمقطع الساقية ($\lambda = \frac{b_f}{t_f}$).

أما المعاملان λ_p و λ_r فقد تم تعريفهما بشكل تفصيلي في الملحق ج، الجدول (ج-1/1).

ولحالة انبعاث الساقية الموضعي فان قيمة λ تؤخذ من $(\lambda = \frac{h_c}{t_w})$.

حيث أن h_c تمثل ضعف المسافة المحصورة بين محور التعادل للمقطع والوجه الداخلى لشفة الانضغاط من دون منطقة اللحام أو منطقة الركن المدور.

2/3/1/2-6 الحالة $L'_p \leq L_b \leq L_r$ (انبعاث لي جانبي غير مرن)

قيمة M_n تؤخذ من المعادلة (3/2-6) ماعدا الحدود القصوى تكون M'_n بدلا من M_p .

6-3/3/1/2-6 الحالة $L_b > L_r$ (انبعاج لي جانبي مرن)

قيمة M_n هي نفسها للأعضاء ذات المقطع المكتنز وتحسب من المعادلتين (4/2-6) أو (5/2-6).

6-4/1/2-6 المقاطع غير المكتنزة المنحنية على محورها الضعيف (الثانوي)

(Bending of Non-Compact Sections about Weak Axis)

بغض النظر عن قيمة الطول غير المدعم L_b ، الحالة الحدية ستكون إما على شكل انبعاج موضعي للشفة أو انبعاج موضعي للوتر وقيمة (M_n) تؤخذ من المعادلة (7/2-6).

6-5/1/2-6 المقاطع ذات العناصر النحيفة (Slender Sections)

وهي على نوعين:

6-1/5/1/2-6 المقطع I ومقطع الساقية (راجع الباب 7-الروافد اللوحية)

6-2/5/1/2-6 المقطع T ومقطع الزاويتين المحنية حول محورها الرئيس

تحمل الانحناء التصميمي للعتبات ذات المقاطع T والزاويتين ذات نسب النحافة للشفة والوتر أقل من نسبة النحافة الحرجة λ_r المبين في الجدول (ج-1/1)، يحسب من المعادلة التالية:

$$M_n = \left[\frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b} (B + \sqrt{1 + B^2}) \right] \leq \beta M_y \quad (10/2-6)$$

حيث أن:

$$B = \pm 2.3 \left(\frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (11/2-6)$$

تستعمل الإشارة الموجبة لقيمة المعامل (B) إذا كان الطول الداخلي للوتر في حالة شد على طول المسافة غير المدعمة وإلا فإشارة المعامل سالبة.

أما قيمة المعامل (β) فتؤخذ مساوية (1.5) إذا كانت الوتر في حالة شد وتؤخذ مساوية (1.0) إذا كانت في حالة انضغاط.

6-2/2-6 محدد تحمل القص (Shear Strength Criterion)

تحمل القص التصميمي (Design Shear Strength)، $\phi_v V_n$ وتحمل القص المسموح به (Allowable Shear Strength)، $\frac{V_n}{\Omega_v}$ يحسبان على وفق ما يلي: [3,2,1]

$$V_u \leq \phi_v V_n \text{ (LRDF)} \quad V_a \leq \frac{V_n}{\Omega_v} \text{ (ASD)} \quad (12/2-6)$$

حيث أن $\phi_v = 0.9$ لطريقة (LRFD) و $\Omega_v = 1.67$ لطريقة (ASD) أما V_n فهو تحمل القص الاسمي ويحسب على وفق الفقرات (1/2/2-6) ولغاية (3/2/2-6).

للتصميم المقبول يجب أن يتجاوز تحمل القص للوترة قيمة القص المعامل المؤثر على المقطع بالنسبة لطريقة (LRFD) وقيمة القص غير معامل بالنسبة لطريقة (ASD) والمحسوب من التحليل الإنشائي. بالاعتماد على نسبة النحافة للوترة، تم تحديد ثلاثة محددات للقص وهي:

$$1/2/2-6 \text{ خضوع القص وذلك عندما يكون } \frac{h}{t_w} \leq \frac{1096}{\sqrt{F_{yw}}}$$

$$V_n = 0.6F_{yw}A_w \quad (13/2-6)$$

$$2/2/2-6 \text{ انبعاج القص غير المرن للوترة وذلك عندما يكون } \frac{1096}{\sqrt{F_{yw}}} < h/t_w \leq \frac{1373}{\sqrt{F_{yw}}}$$

$$V_n = 0.6F_{yw}A_w \frac{1096}{\left(\frac{h}{t_w}\right)\sqrt{F_{yw}}} \quad (14/2-6)$$

$$3/2/2-6 \text{ انبعاج القص المرن للوترة وذلك عندما يكون } \frac{1373}{\sqrt{F_{yw}}} < h/t_w \leq 260$$

$$V_n = A_w \left[\frac{904000}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2} \right] \quad (15/2-6)$$

3/2-6 محددات الحمل المركز (Criteria for Concentrated Load)

عند تسليط حمل مركز بشكل عمودي على شفة عضو انحنائي وبمستويات موازية لمحور الوترية، عند ذلك يجب تدقيق شفة ووترية المقاطع للتأكد من امتلاكهما التحمل الكافي ϕR_n لتقاوم الحمل المركز R_u : التحمل التصميمي (Design Strength)، ϕR_n ، والتحمل المسموح به (Allowable Strength)، $\frac{R_n}{\Omega}$ ، يحسبان على وفق ما يلي:

$$R_u \leq \phi R_n \text{ (LRFD)} \quad R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \text{ (ASD)} \quad (16/2-6)$$

حيث أن R_n هو التحمل الاسمي، الذي يحسب من الفقرات (6-1/3) ولغاية (6/5/3). قيم ϕ لطريقة (LRFD) وقيم Ω لطريقة (ASD) ستذكر لكل فقرة.

1/3/2-6 انحناء الشفة الموضعي (Flange Local Bending)

في هذه الحالة $\phi = 0.9$ لطريقة (LRFD) و $\Omega_v = 1.67$ لطريقة (ASD) والتحمل الاسمي:

$$R_n \geq 6.25t_f^2 \cdot F_{yf} \quad (17/2-6)$$

هذه المعادلة تطبق فقط في حالة كون المسافة التي يؤثر فيها الحمل المركز على شفة العضو لا تقل عن $0.15b_f$ حيث أن b_f تمثل عرض شفة العضو.

اما إذا كانت المسافة التي يؤثر فيها الحمل المركز اقل من الحد $0.15b_f$ فان محدد الحالة غير مطلوب تدقيقه.

كذلك فإن المعادلة (6-17/2) تقلل بمعامل النصف إذا كان الحمل المركز موجوداً عند مسافة تقل عن $10t_f$ من حافة العتبة.

6-2/3/2 خضوع الوتر الموضعي (Web Local Yielding)

لحساب التحمل التصميمي لخضوع وتر العتبة عند الكعب المدور (Toe) تحت تأثير أحمال الشد أو انضغاط مسلطة على شفة واحدة أو كلتا الشفتين] وفي هذه الحالة $\phi = 1.0$ لطريقة (LRFD) و $\Omega = 1.5$ لطريقة (ASD) يكون التحمل الاسمي هو كالاتي:

6-2/3/2-1 إذا كان الحمل المركز مسلطاً على بعد مسافة من حافة العتبة تتجاوز عمق مقطع العضو

$$R_n = 4.45 [(5k + N)F_{yw}t_w] \quad (18/2-6)$$

6-2/3/2-2 إذا كان الحمل المركز مسلطاً على بعد مسافة من حافة العتبة لا تتجاوز عمق مقطع العضو

$$R_n = 4.45 [(2.5k + N)F_{yw}t_w] \quad (19/2-6)$$

حيث أن:

k : المسافة من الوجه الخارجي للشفة لغاية كعب الوتر المدور، (mm).

N : المسافة التي يؤثر فيها الحمل المركز على شفة العتبة، (mm).

F_{yw} : إجهاد الخضوع لحديد الوتر، (N/mm^2) .

t_w : سمك الوتر، (mm).

6-3/3/2 تعرج الوتر (Web Crippling)

لحساب التحمل التصميمي لتعرج وتر العتبة تحت تأثير حمل انضغاط مركز يؤثر على شفة واحدة أو كلتا شفتي العتبة] وفي هذه الحالة $\phi = 0.75$ لطريقة (LRFD) و $\Omega = 2.0$ لطريقة (ASD) يكون التحمل الاسمي هو كالاتي:

6-3/3/2-1 إذا كان الحمل المركز يؤثر على مسافة من حافة العتبة تتجاوز نصف عمق العتبة.

$$R_n = 1592t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}} \quad (20/2-6)$$

6-2/3/3/2 إذا كان الحمل المركز يؤثر على مسافة من حافة العتبة لا تتجاوز نصف عمق العتبة مع تحقق الشرط $\frac{N}{d} \leq 0.2$

$$R_n = 796t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}} \quad (21/2-6)$$

6-3/3/3/2 إذا كان الحمل المركز يؤثر على مسافة من حافة العتبة لا تتجاوز نصف عمق العتبة مع تحقق الشرط $\frac{N}{d} > 0.2$

$$R_n = 796t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.20 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}} \quad (22/2-6)$$

حيث أن d هي العمق الكلي للمقطع، (mm)، و t_f هي سمك الشفة، (mm)، أما باقي المتغيرات فهي نفسها المعرفة للمعادلتين (18/2-6) و (19/2-6).

6-4/3/2-6 انبعاج الوتر الجانبي (Side Sway Web Buckling)

انبعاج الوتر الجانبي للساقية ممكن أن يحدث إذا كان الحمل المركز مسلطاً على شفة المقطع غير المقيدة تجاه الحركة النسبية بواسطة مجسئات أو مساند جانبية.

[في هذه الحالة $\phi = 0.85$ لطريقة (LRFD) و $\Omega = 1.76$ لطريقة (ASD)] والتحمل الاسمي هو كالاتي:

- إذا كانت الشفة المحملة مقيدة تجاه الدوران حول المحور الطولي مع تحقق الشرط $\left(\frac{h}{t_w} \right) \left(\frac{l}{b_f} \right) \leq 2.3$ فان:

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[1 + 0.4 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right) \right] \quad (23/2-6)$$

- إذا كانت الشفة المحملة غير مقيدة تجاه الدوران حول المحور الطولي مع تحقق الشرط $\left(\frac{h}{t_w} \right) \left(\frac{l}{b_f} \right) \leq 1.7$ فان:

$$R_n = \frac{C_r t_w^3 t_f}{h^2} \left[0.4 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right)^3 \right] \quad (24/2-6)$$

حيث أن:

للحالة $\frac{M_u}{M_y} < 1.0$ لطريقة (LRFD) أو $\frac{1.5M_a}{M_y} < 1.0$ لطريقة (ASD)

يكون $C_r = 6600$ (MPa)

و للحالة $\frac{M_u}{M_y} \geq 1.0$ لطريقة (LRFD) أو $\frac{1.5M_a}{M_y} \geq 1.0$ لطريقة (ASD)

يكون $C_r = 3300$ (MPa)

حيث M_u هو العزم الأقصى المحسوب للأحمال المعاملة، (MPa)، في حين أن M_a هو العزم المحسوب للأحمال الخدمية (غيرالمعاملة) مقاس في منطقة التحمل، (MPa)، و M_y هو عزم الخضوع الأقصى للمقطع، (MPa) .

6-5/3/2 انبعاج الانضغاط للوترة (Compression Buckling of the Web)

هذه الحالة المحددة تحصل في الأعضاء ذات الوترات غير المجسئة وذلك عندما تكون الشفتان معرضتين لقوى انضغاطية.

[في هذه الحالة $\phi = 0.9$ لطريقة (LRFD) و $\Omega = 1.67$ لطريقة (ASD)] ، التحمل الاسمي لهذه الحالة هو:

$$R_n = \left[\frac{103t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} \right] \quad (25/2-6)$$

ان قيمة التحمل الاسمي يجب ان تقلل بمقدار النصف في حالة كون القوة المركزة تؤثر على مسافة اقل من نصف عمق العتبة من نهاية العتبة. [2,1]

حيث E هو معامل المرونة، (MPa)، اما باقي المتغيرات في المعادلة (25/2-6) هي نفسها المعرفة في المعادلات (22/2-6) إلى (24/2-6).

يجب أن تجهز المجسئات على شكل أزواج إذا كانت إحدى المحددات المذكورة في (1/3/2-6) حتى (5/3/2-6) حرجة. إذا كان انحناء الشفة موضعياً أو خضوع الوتره الموضعي في حالة حرجة، فإن زوج

المجسئات المجهزة لتحمل R_n الزائد، يجب أن لايمتد لأكثر من منتصف عمق الوتره. [4,3,2,1] يجب لحم المجسئات بالشفة المحملة إذا كانت القوى المسلطة في حالة شد. اما اذا كانت القوى المسلطة في حالة انضغاط، هذه المجسئات اما ان تحمل أو تلحم بالشفة المحملة. [4,2,1]

لحالتى تعرج الوتره (Web Crippling) أو انبعاج الوتره المعرضة للانضغاط، فإن زوج المجسئات المجهزة يجب أن يمد على العمق الكلي للوتره وتصمم على أنها عضو انضغاط محمل محوريا ذو عامل طول فعال ($K=0.75$) ومساحة مقطع إجمالية قدرها (A_g)، التي تساوي مساحة مقطع زوج المجسئات مضافا لها ($25t_w^2$) لحالة المجسئات الداخلية أو ($12t_w^2$) لحالة المجسئات الخارجية (أطراف الأعضاء).

6-4/2 محدد الهطول (Deflection Criterion)

بما أن محدد الهطول هو من متطلبات حدود الخدمية لذا ستعتمد الأحمال الخدمية عوضا عن الأحمال القصوى وسيعمل بالمحددات نفسها لطريقة التصميم المعتمدة على الاجهادات المسموح بها (ASD) وذلك في حساب الهطول.

يجب تصنيع اغلب أعضاء الانحناء بحيث تمتلك تقوساً معاكساً لهطول الأحمال الميتة. في هذه الحالة يعتمد مقدار الهطول للأحمال الحية فقط بحسب الجدول التالي:

الجدول 6-2/2: محددات الهطول

المحدد	استعمال العتبة
L/360	أرضيات سائدة لأعمال جصية أو بياض أو أي مواد قصفة أخرى
L/240	أرضيات غير سائدة لمواد قصفة
L/180	سقوف غير سائدة لمواد قصفة

حيث أن (L) يمثل فضاء العتبة الكلي.

3-6 العتبات المستمرة (Continuous Beams)

العتبات المستمرة يجب أن تصمم على نفس الاعتبارات والمحددات التصميمية لأعضاء الانحناء التي سبق ذكرها في الفصل (6-2)، إلا أنه يسمح بتخفيض أو تقليل ما مقداره 10% من قيمة العزوم السالبة الناجمة عن أحمال الجاذبية عند المساند، شريطة أن: [2,1]

1- زيادة العزم الموجب بعشر $\left(\frac{1}{10}\right)$ قيمة معدل العزمين السالبين عند المساند.

2- أن يكون المقطع مكتنزاً.

3- الطول غير المدعم جانبياً لا يتجاوز قيمة الحد (L_c) (بالنسبة لطريقة ASD) ولا قيمة الحد (L_{pd}) (بالنسبة لطريقة LFRD)، حيث أن قيمة (L_{pd}) تعرف بالآتي:

للمقطع I:

$$L_{pd} = \left\{ 0.12 + 600r_y \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \left(\frac{1}{F_y} \right) \right\} \geq \left(\frac{20000r_y}{F_y} \right) \quad (1/3-6)$$

للمقاطع الصلدة والصندوقية :

$$L_{pd} = \left\{ 0.17 + 800r_y \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \left(\frac{1}{F_y} \right) \right\} \geq \left(\frac{20000r_y}{F_y} \right) \quad (2/3-6)$$

حيث أن :

F_y : هي الحد الأدنى لإجهاد الخضوع لشدة الانضغاط، (MPa).

$\left(\frac{M_1}{M_2}\right)$: هي نسبة العزم الأقل الى العزم الأكبر ضمن المنطقة غير المدعمة. تؤخذ هذه النسبة بإشارة موجبة في حالة التقوس المعاكس وبإشارة سالبة في العزم ذي التقوس الواحد.

r_y : تمثل نصف قطر التدوير حول المحور الضعيف (أو الثانوي) ، (mm).

4- العتبة هي عضو غير هجين.

5- العتبة غير مصنوعة من فولاذ ذي تحمل عالٍ.

6- العتبة مستمرة على المساند (بمعنى أنها غير ناتئة).

4-6 تدعيم العتبات (Beam Bracing)

التحمل التصميمي الأقصى للعتبات المنحنية حول محاورها الرئيسية يعتمد على المسافة غير المدعمة جانبياً (L_b). ان أسلوب تدعيم العتبات تجاه تشوهها خارج مستوي الانحناء يؤثر على تصميم العتبات، لذا يمكن تنفيذ التدعيم بأساليب عديدة منها هياكل عرضية أو حواجز أو عتبات عرضية أو تغليف شفة العتبة ضمن نظام سقف الارضية.

هنالك نوعان من نظم التدعيم الجانبي وهما النظام النسبي والنظام العقدي. ولكلا النوعين يجب مراعاة الأمور التالية:

1- لحالة نظام التدعيم النسبي يجب ان يسيطر على حركة النقاط المدعمة بالنسبة للنقاط المدعمة المجاورة على طول فضاء العتبة.

2- لحالة نظام التدعيم العقدي (أو المحدد) يجب ان يسيطر على حركة النقطة المدعمة بغض النظر عن حركات النقاط المدعمة المجاورة.

3- بغض النظر عن نوع التدعيم المستعمل، فإن التدعيم يجب أن يصمم بتحمل وجساءة كافيتين لمنع حركة (نقاط التدعيم) خارج مستوي انحناء العتبة.

4- الحركة خارج مستوي الانحناء تعني حصول تشوهات عرضية ولي لمقطع العتبة. الاستقرار الجانبي للعتبات يمكن تحقيقها من خلال تدعيم جانبي، أو تدعيم اللي، أو بكليهما.

5- لحالة التدعيم الجانبي، فإن التدعيم يجب أن يسند إلى اقرب شفة انضغاط للأعضاء المنحنية بتقوس منفرد (عدا العتبات الناتئة).

6- لحالة العتبات الناتئة، التدعيم يجب أن يسند إلى شفة الشد عند النهاية الحرة.

7- لحالة الأعضاء المنحنية بتقوس مضاعف، فإن التدعيم يجب أن يسند كلتا الشفتين (الانضغاط والشد) وذلك بالقرب من منطقة انقلاب التقوس.

8- لحالة تدعيم اللي، فإن التدعيم يمكن إسناده لأي موقع من المقطع.

6-1/4 متطلبات الجساءة للتدعيم الجانبي (Stiffness Requirements for Lateral Bracing)

إن جساءة (التدعيم) المطلوبة لمجموعة التدعيم لاتجاه متعامد على المحور الطولي للعضو المدعم في مستوي الانبعاج، يمكن التعبير عنها، وبحسب نوع التدعيم، بالتالي:

$$\beta_{br} = \begin{cases} 700 \frac{M_u C_d}{\phi L_{br} h_o} & \text{نسبي} \\ 1750 \frac{M_u C_d}{\phi L_{br} h_o} & \text{عقدي} \end{cases} \quad (1/4-6)$$

حيث أن:

$\phi = 0.75$: معامل التقليل.

$C_d = 1.0$: لتقوس الانحناء المنفرد.

$C_d = 2.0$: لتقوس الانحناء المزدوج بالقرب من نقطة انقلاب العزم.

L_{br} : المسافة بين الدعامات.

h_o : المسافة بين مركزي الشفتين.

ملاحظة:

يمكن تغيير قيمة L_q بقيمة L_{br} المسافة القصوى لعدم الإسناد لقيمة M_u وذلك عندما يكون $L_{br} < L_q$.

6-2/4 متطلبات التحمل للتدعيم الجانبي (Strength Requirements for Lateral Bracing)

بالإضافة لمتطلبات الجساءة فالتدعيم يجب أن يصمم لتحمل مطلوب من نظام التدعيم، وبحسب نوعه، وكالاتي:

$$P_{br} = \begin{cases} 0.036 \frac{M_u C_d}{h_o} & \text{نسبي} \\ 0.09 \frac{M_u C_d}{h_o} & \text{عقدي} \end{cases} \quad (2/4-6)$$

حيث أن الرموز المعرفة في المعادلة (2/4-6) هي نفسها المعرفة في المعادلة (1/4-6).

6-3/4 متطلبات الجساءة لتدعيم اللي (Stiffness Requirements for Torsional Bracing)

إن جساءة التدعيم المطلوبة لمجموعة التدعيم لاتجاه متعامد على المحور الطولي للعضو المدعم في مستوي اللي، يمكن التعبير عنها، و بحسب نوع التدعيم، بالتالي: [2,1]

$$\beta_{Tbr} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}}\right)} \geq 0 \quad (3/4-6)$$

حيث أن:

$$\beta_T = \begin{cases} 271.2 \frac{M_u^2 L}{\phi E I_y C_b^2 n} & \text{العقدي} \\ 271.2 \frac{M_u^2}{\phi E I_y C_b^2} & \text{المستمر} \end{cases} \quad (4/4-6)$$

وحدات جساءة اللي للتدعيم العقدي هي، (N.m/rad angle)، أما جساءة اللي للتدعيم المستمر فوحداتها هي (N.m/rad angle/m length).

في المعادلة (4/4-6) تعرف الرموز الآتية:

$\phi = 0.75$: معامل التقليل.

L : طول فضاء العتبة، (m).

M_u : عزم الانحناء المطلوب، (N.mm).

n : عدد نقاط الإسناد ضمن فضاء العتبة.

C_b : معامل تصحيح العزم ويعرف بحسب المعادلة (6/2-6).

وان الجساءة الثانوية للمساند β_{sec} والمعرفة في المعادلة (3/4-6) تحسب كالتالي:

$$\beta_{sec} = \begin{cases} \frac{74600000}{h_o} \left(\frac{1.5 h_o t_w^3}{12} + \frac{t_s b_s^3}{12} \right) & \text{العقدي} \\ \frac{74600000}{h_o} \left(\frac{t_w^3}{12} \right) & \text{المستمر} \end{cases} \quad (5/4-6)$$

حيث أن:

t_s : سمك وترة المجسيء المدعم، (mm).

b_s : عرض المجسيء الساند (لحالة أزواج المجسئات يعتبر هو العرض الكلي لها)، (mm).

4/4-6 متطلبات التحمل لتدعيم اللي (Strength Requirements for Torsional Bracing)

إن مفصل الارتباط بين نظام تدعيم اللي والعتبة المطلوب تدعيمها يجب أن يقاوم عزم انحناء مقداره معرف بالآتي:

$$M_{Tbr} = 2.71 \frac{M_u L}{C_b L_{br} n} \quad (6/4-6)$$

حيث أن L_{br} هي المسافة بين مساند التدعيم ضد اللي (إذا كانت قيمة $L_{br} < L_q$ ، حيث أن L_q هو أقصى مسافة غير مدعمة لقيمة العزم M_u ، تعتمد قيمة L_q). أما باقي المصطلحات فقد عرفت مسبقاً.

المراجع (References)

- [1] “Manual of Steel Construction”; American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition, 2005.
- [2] “Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design”; American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions, 2003.
- [3] “Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD) ”; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [4] “Euro Code 3 :Design of Steel Structures , Part 1.5: Plated Structural Elements”, European Standard, prEN1993-1-5, 11 June 2004.
- [5] “Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C) ”; The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.
- [6] “كودة الإنشاءات الفولاذية ”، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الثانية، 2002.
- [7] “Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design”; American Institute of Steel Construction, AISC, 9th Edition, 1989.

الباب 7

الروافد اللوحية (Plate Girders)

1-7 تعريف (Definition)

1/1-7 الروافد اللوحية (Plate Girders)

الروافد اللوحية هي عتبات مركبة من ألواح، تستعمل كأعضاء انحناء لتتحمل أحمالاً عرضية كبيرة. يعتبر العضو الإنشائي رافدة لوحية إذا كانت نسبة عمق الوتر إلى سمكها (h/t_w) تتجاوز قيمة (λ_r) المذكورة في الملحق ج. وبسبب نسبة النحافة الكبيرة لوتر الرافدة اللوحية فإنها عادة تدعم بمجسّات عرضية (Transverse stiffeners) لتقوية الوتر وفي نفس الوقت تنتج ظاهرة مقاومة ما بعد الانبعاج (الناجم عن قوة القص) تدعى هذه المقاومة فعل حيز الشد (Tension Field Action). [2,1]

الجدول (1/1-7) يوجز المتطلبات اللازمة للمجسّات العرضية للروافد اللوحية وذلك بالاعتماد على نسبة النحافة للوتر (h/t_w). [2]

الجدول 1/1-7: متطلبات مجسّات الوتر

حدود نسبة نحافة الوتر (h/t_w)	متطلبات المجسّات
$\frac{h}{t_w} \leq 260$	يمكن تصميم الروافد اللوحية بدون مجسّات
$260 < \frac{h}{t_w} \leq \frac{96000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 114)}}$	يجب تصميم الروافد اللوحية باستعمال مجسّات، المسافة البينية بينها هي (a)، ويمكن أن تتجاوز ($1.5h$). المسافات البينية يمكن أن تحسب من خلال محدد قوة القص (Shear criterion)
$\frac{96000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 114)}} < \frac{h}{t_w} \leq \frac{5232}{\sqrt{F_{yf}}}$	يجب أن تصمم الروافد اللوحية باستعمال مجسّات المسافات البينية (a) لها لا تتجاوز ($1.5h$).

حيث أن:

a : المسافات البينية الصافية بين المجسّات، (mm).

h : المسافة الصافية بين الشفتين في حالة استعمال روابط لحام أو هي المسافة بين الخطوط المتجاورة للمجسّات في حالة استعمال روابط المثبتات، (mm).

7-1/2 أنواع المجسّات الجانبية (Type of Lateral Stiffeners)

يستعمل نوعان من المجسّات الجانبية في الروافد اللوحية وهما:

7-1/2/1 مجسّات الاسناد (Bearing Stiffeners)

وتستعمل في أطراف الروافد غيرالملتحقة بهيكل وكذلك الأجزاء تحت تأثير الأحمال المركزة عندما يكون محدد خضوع الوتر مسيطراً في تلك المناطق. تمتد مجسّات التحمل على كل عمق وترّة الرافدة (من أسفل الشفة العليا لغاية أعلى الشفة السفلى).

7-2/2/1 المجسّات الوسطية (Intermediate Stiffeners)

وتستعمل هذه المجسّات عندما تتجاوز نسبة نحافة الوترّة (h/t_w) القيمة (260) المذكورة في الجدول (7-1/1) وذلك عندما يكون محدد القص مسيطراً، أو عندما يكون فعل حيز الشد (Tension Field Action) مأخوذاً بنظر الاعتبار عند التصميم.

ليس من الضروري جعل المجسّات الوسطية ممتدة على العمق الكلي للوترّة، ولكن يجب أن تكون في تماس مع أسفل الشفة العليا (شفة الانضغاط).

7-2 محدد تحمل الانحناء (Flexural Strength Criterion)

يجب أن تحقق الروافد اللوحية ذات التناظر الثنائي والمنفرد والوترّة الواحدة والمحملة في مستوي الوترّة، متطلبات تحمل الانحناء المعرفة في الباب 6 بالمعادلة (6-1/2). إن تصميم الروافد اللوحية لتحمل الانحناء يعرف كالتالي: [2,1]

7-1/2 للحالة الحديدية - خضوع الشد للشفة

$$M_n = S_{xt} R_e F_{yt} \quad (1/2-7)$$

7-2/2 للحالة الحديدية - انبعاج الانضغاط للشفة

$$M_n = S_{xc} R_{pG} R_e F_{cr} \quad (2/2-7)$$

حيث أن:

S_{xt} : معامل المقطع بالنسبة لشفة الشد، (mm^3) .

S_{xc} : معامل المقطع بالنسبة لشفة الانضغاط، (mm^3) .

R_e : معامل الرافدة الهجينة وكما هو مبين بالمعادلة (7-3/2).

R_{pG} : معامل تقليل تحمل انحناء الرافدة اللوحية مبين بالمعادلة (7-4/2).

$$R_e = \frac{12 + a_r(3m - m^3)}{12 + 2a_r} \leq 1.0 \quad (3/2-7)$$

$$R_{pG} = 1 - a_r \left(\frac{\frac{h}{t_w} - 0.01275\sqrt{F_{cr}}}{1200 + 300a_r} \right) \leq 1.0 \quad (4/2-7)$$

حيث أن:

a_r : نسبة مساحة الوتر إلى مساحة شفة الانضغاط.

m : نسبة إجهاد الخضوع في الوتر إلى إجهاد الخضوع في الشفة أو نسبة إجهاد الخضوع في الوتر إلى إجهاد الحرج في الشفة.

F_{yt} : إجهاد الخضوع في الشفة، (MPa).

F_{cr} : الإجهاد الحرج لشفة الانضغاط ويحسب من الجدول (7-1/2)، (MPa).

الجدول 7-1/2: الإجهاد الحرج (F_{cr}) لشفة الانضغاط، (MPa)

F_{cr} (MPa)	مجال نسبة النحافة	الحالة الحدية
F_{yf}	$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{170}{\sqrt{F_{yf}}}$	انبعاج الشفة الموضعي
$\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{b_f}{2t_f} - \frac{170}{\sqrt{F_{yf}}}}{\frac{604}{\sqrt{F_{yf}}} - \frac{170}{\sqrt{F_{yf}}}} \right) \right] F_{yf} \leq F_{yf}$	$\frac{170}{\sqrt{F_{yf}}} < \frac{b_f}{2t_f} < \frac{604}{\sqrt{F_{yf}}}$	
$\frac{180700 K_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2}$	$\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{604}{\sqrt{F_{yf}}}$	
F_{yf}	$\frac{L_b}{r_T} \leq \frac{787}{\sqrt{F_{yf}}}$	انبعاج اللي الموضعي
$\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{L_b}{r_T} - \frac{787}{\sqrt{F_{yf}}}}{\frac{1985}{\sqrt{F_{yf}}} - \frac{787}{\sqrt{F_{yf}}}} \right) \right] C_b F_{yf} \leq F_{yf}$	$\frac{787}{\sqrt{F_{yf}}} < \frac{L_b}{r_T} \leq \frac{1985}{\sqrt{F_{yf}}}$	
$\frac{1975000 C_b}{\left(\frac{L_b}{r_T} \right)^2}$	$\frac{L_b}{r_T} > \frac{1985}{\sqrt{F_{yf}}}$	

حيث إن :

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} , 0.35 \leq K_c \leq 0.763 \quad (5/2-7)$$

$$r_T = \sqrt{\frac{\left(\frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{h t_w^3}{72}\right)}{\left(b_f t_f + \frac{h t_w}{6}\right)}} \quad (6/2-7)$$

C_b : معامل تصحيح العزم ويحسب من المعادلة (6/2-6).

يجب احتساب قيمة (F_{cr}) من كلا الحالتين الحديتين لشدة الانضغاط (انبعاث الشفة الموضعي وانبعاث اللي الجانبي) ثم تعتمد القيمة الأقل في المعادلة (2/2-7).

إن معامل تقليل تحمل انحناء الرافدة اللوحية (R_{pG}) هو معامل احتساب تأثير التوزيع اللاخطي للإجهادات على عمق المقطع.

أما معامل الرافدة الهجينة (R_e) فهو معامل احتساب تأثير القيمة الدنيا لمقاومة الخضوع للوترة عندما يكون العزم الاسمي محتسبا وعلى فرض أن المقطع متكون من مادة متجانسة تمتلك مقاومة الخضوع الأعلى للشفة.

3-7 محدد تحمل القص (Shear Strength Criterion)

يمكن تصميم الروافد اللوحية باعتماد أو عدم اعتماد ظاهرة فعل حيزالشد (Tension Field Action). ففي حالة اعتمادها فإن المجسئات الوسطية يجب أن تجهز على مسافات بينية (a) بحيث أن نسبة (a/h) لا تزيد على (3) أو على قيمة $\left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2$ أيهما أقل.

وكذلك يجب تدقيق تداخل الانحناء مع القص (Flexural-Shear Interaction) المبين بالمعادلة (1/4-7) المذكورة لاحقاً.

لا يسمح باعتماد ظاهرة فعل حيز الشد في الحالات التالية:

- 1- عندما يكون النطاق هو النطاق النهائي من الرافدة (End panel).
- 2- عندما تكون الرافدة اللوحية من النوع الهجين.
- 3- عندما تكون الرافدة اللوحية تمتلك وترة مستدقة (Tapered -Web).
- 4- عندما تتجاوز النسبة البينية (a/h) المقدار (3) أو القيمة $\left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2$ أيهما أقل.

تحتسب مقاومة القص التصميمية ($\phi_v V_n$) للصفائح اللوحية كالاتي:

7-1/3 في حالة عدم اعتماد فعل حيز الشد:

تحتسب قيمة (V_n) كما مبين في الباب 6 (العتبات) المعادلات (6-13/2) لغاية (6-15/2).

7-2/3 في حالة اعتماد فعل حيز الشد:

تحتسب قيمة (V_n) كالتالي: [1,2,3,4,5]

$$\frac{h}{t_w} \leq 492 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}} \quad \text{نسبة نحافة للوتر}$$

$$V_n = 0.6A_w F_{yw} \quad (1/3-7)$$

$$\frac{h}{t_w} > 492 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}} \quad \text{وإذا كانت النسبة}$$

$$V_n = 0.6A_w F_{yw} \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \quad (2/3-7)$$

حيث أن:

$$K_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \geq 5.0 \quad (3/3-7)$$

$d \cdot t_w = A_w$: المساحة الكلية للقص، (mm^2).

d : العمق الكلي للمقطع، (mm).

C_v : معامل القص ويحسب كما مبين في الجدول (7-1/3).

الجدول 7-1/3: معامل القص C_v

C_v	مجال النسبة $\frac{h}{t_w}$
$492 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}} / (h/t_w)$	$492 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 613 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$
$302000 K_v / (h/t_w)^2$	$\frac{h}{t_w} > 613 \sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$

7-4 تداخل الانحناء مع القص (Flexure-Shear Interaction)

تعتمد اجهادات القص والانحناء كل على حدة وبدون معامل تداخل بين نوعي الاجهادات. إذا كانت قيم القص الأقصى المسلط على الروافد اللوحية (V_u) أقل من (60%) من مقاومة القص التصميمية ($\phi_v V_n$) و/أو قيمة العزم الأقصى المسلط على الروافد اللوحية (M_u) أقل من (75%) من مقاومة

الانحناء التصميمية ($\phi_b M_n$) ، وبخلاف ذلك فإن الروافد اللوحية ذات الوترات المصممة باعتماد فعل حيز الشد فيجب أن تحقق متطلب تحمل التداخل بين اجهادات القص والانحناء.

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0.625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.375 \quad (1/4-7)$$

حيث ان قيمة $\phi = 0.9$

(راجع الفصل د-5 من الملحق د).

5-7 تصميم المجسئات الجانبية (Design of Lateral Stiffeners)

1/5-7 مجسئات الاسناد (Bearing Stiffeners)

يجب تجهيز الروافد اللوحية بمجسئات اسناد في الروافد ذات الأطراف التي لا ترتبط بهياكل وكذلك في نقاط تسليط الأحمال المركزة عندما يكون محددًا خضوع الوتره وتعرج الوتره هما المسيطران على الحالة (راجع الباب 6).

تجهز مجسئات الاسناد على شكل أزواج وتمتد هذه المجسئات على جانبي الوتره وللعق الكلي حيث توصل الشفة العليا بالشفة السفلى للرافدة.

أبعاد المجسئ، (العرض) (b_{st}) و (السك) (t_{st}) ، يجب ان تحقق متطلبات التحمل التالية:

1/1/5-7 الانبعاج الموضعي (Local Buckling)

$$\frac{b_{st}}{t_{st}} \leq \frac{250}{\sqrt{F_y}} \quad (1/5-7)$$

2/1/5-7 إجهاد الانضغاط (Compression Stress)

حيث ان التحمل التصميمي لإجهاد الانضغاط للمجسئ ($\phi_c P_n$) يجب أن يتجاوز قوة الانضغاط المطلوب مقاومتها من المجسئات.

يحسب تحمل اجهاد الانضغاط التصميمي ($\phi_c P_n$) بالاعتماد على عامل الطول الفعال (K) بقيمة (0.75) بمساحة فعالة (A_{eff}) تساوي مساحة المجسئات مع مساحة جزء من الوتره بين المجسئات.

للمجسئات الطرفية هذه المساحة الفعالة تساوي ($2b_{st}t_{st} + 12t_w^2$) ولمجسئات التحميل الوسطية تكون المساحة الفعالة ($2b_{st}t_{st} + 25t_w^2$).

ولغرض تصميم الانضغاط تستعمل قيمة معامل نسبة النخافة الحرجة λ_c ، والذي يحسب باستعمال نصف

$$I_{st} = \frac{t_{st}(2b_{st}+t_w)^3}{12} \quad \text{حيث } r = \sqrt{\frac{I_{st}}{A_{eff}}}$$

7-3/1/5 إجهاد الاسناد (Bearing Stress)

تحمل الاسناد التصميمي (Design Bearing Strength) (ϕR_n)، أو تحمل الاسناد المسموح (Allowable Bearing Strength) ($\frac{R_n}{\Omega}$)، يجب أن يتجاوز قوة الانضغاط المطلوبة والمؤثرة على المجسئات لكل طريقة. ويمكن التعبير عن تحمل الاسناد الاسمي R_n بالآتي:

$$R_n \geq 1.8 F_y A_{pb} \quad (2/5-7)$$

حيث ان:

A_{pb} : مساحة التحمل المتوقع، (mm^2).

في هذه الحالة $\phi = 0.9$ لطريقة (LRFD) و $\Omega = 2.00$ لطريقة (ASD).

7-2/5-7 المجسئات الوسطية (Intermediate Stiffeners)

يجب تجهيز المجسئات الوسطية للحالات التالية :

1- عندما تحسب سعة مقاومة القص بالاعتماد على فعل حيز الشد (Tension Field Action).

2- عندما يكون محدد القص مسيطراً على التصميم بحيث: V_u تتجاوز قيمة ϕV_n لطريقة (LRFD)

و V_u تتجاوز قيمة $\frac{v_n}{\Omega}$ لطريقة (ASD)

3- عندما تتجاوز نسبة نحافة الوتر (h/t_w) قيمة $\frac{1096}{\sqrt{F_{yw}}}$.

يمكن أن تتفد المجسئات من الواح أو زوايا على شكل أزواج على جانبي الوتر أو مجسئ منفرد على جانب واحد منها.

يجب أن تلحم هذه المجسئات على جانب الوتر وإلى شفة الانضغاط، ويمكن أن توقف من دون أن تصل لشفة الشد.

المتطلبات الآتية يجب ان تتحقق عند تصميم المجسئات الوسطية:

7-1/2/5-7 الانبعاج الموضعي (Local Buckling)

نسبة عرض المجسئ إلى سمكه (b_{st}/t_{st}) يجب أن تحقق المعادلة (7-1/5).

7-2/2/5-7 مساحة المجسئ (Area of Stiffener)

مساحة المجسئ الوسطي يجب أن تحقق المحدد الآتي:

$$A_{st} \geq \frac{F_{yw}}{F_y} \left[0.15 D h t_w (1 - C_v) \frac{V_u}{\phi_v V_n} - 18 t_w^2 \right] \geq 0 \quad (3/5-7)$$

حيث أن:

D: ثابت قيمته تعتمد على نوع المجسئات وكالاتي: [7,6,2]

$D = 1.0$ للمجسئات التي على شكل أزواج.

$D = 1.8$ للمجسئ المنفرد الذي على شكل زاوية.

$D = 2.4$ للمجسئ المنفرد الذي على شكل لوح منفرد.

بقية الرموز قد تم تعريفها في المعادلتين (1/3-7) و (2/3-7).

3/2/5-7 عزم القصور الذاتي للمجسئ (Moment of Inertia of Stiffener)

عزم القصور الذاتي لزوج المجسئات يحسب بالنسبة للمحور الذي يمر في مركز الوتر، أما للمجسئات المنفردة فيؤخذ بالنسبة للمحور الذي يمر بسطح التماس بين المجسئ والوتر. وفي كل الأحوال يجب أن يحقق المعادلة التالية :

$$I_{st} \geq at_w^3 \left[\frac{2.5}{(a/h)^2} - 2 \right] \geq 0.5at_w^3 \quad (4/5-7)$$

4/2/5-7 طول المجسئ (Length of Stiffener)

طول المجسئ l_{st} يجب أن يكون ضمن الحدود التالية: [7,6,2]

$$h - 16t_w < l_{st} < h - 6t_w \quad (5/5-7)$$

في حالة استعمال لحام وسطي لربط المجسئ بوتر الرافدة فان المسافة الصافية بين اللحام يجب ألا تتجاوز $(16t_w)$ أو (250mm) أيهما أقل. وفي حالة استعمال مثبتات لربط المجسئ بالوتر فان المسافة البينية للمثبتات يجب ألا تتجاوز (300mm) .

5/2/5-7 المسافات البينية للمجسئات (a) (Spacing Between Stiffeners)

المسافة البينية للمجسئات (a) يجب أن تحتسب من محدد القص $(\phi_v V_n \geq V_u)$. هذه المسافات يجب ألا

تتجاوز قيمة $(3h)$ وقيمة $h \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2$ أيهما أقل.

المراجع (References)

- [1] “*Manual of Steel Construction*”;American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition ,2005.
- [2] “*Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design*”;American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions. ,2003.
- [3] “*Euro Code 3 :Design of Steel Structures , Part 1.5: Plated Structural Elements*”,European Standard, prEN1993-1-5, 11June 2004.
- [4] “*Steel Designers’ Manual*”;The Steel Construction Institute, SCI, 6th Edition , Blackwell Publishing, 2003.
- [5] “*Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C)* ”;The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.
- [6] الكود العربي الموحد – الإنشاءات الفولاذية، مجلس وزراء الأسكان والتعمير العرب، الطبعة الأولى ، 1999.
- [7] “*Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design*”;American Institute of Steel Construction, AISC, 9th Edition ,1989.

الباب 8

الاجهادات المشتركة (Combined Stresses)

1-8 تعريف (Definition)

الأعضاء المتعرضة لفعل قوة محورية وعزم انحناء مشترك يجب أن تصمم لتقاوم الاجهادات والقوى الناتجة من تأثيرات الانحناء والقوى المحورية المشتركة.

قوة الشد المحورية قد تزيد من جساءة الأعضاء المؤثرة عليها، في حين ان قوى الانضغاط المحورية قد تؤدي إلى تقليل استقرارية الأعضاء المؤثرة عليها، وذلك بسبب تأثير استقرارية العضو بـ (تأثير $P-\delta$) وتأثير استقرارية الهياكل بـ (تأثير $P-\Delta$). ولذلك يجب أخذ تأثير الاجهادات المشتركة بنظر الاعتبار واحتسابها. إن تأثير ($P-\delta$) يظهر عندما تؤثر قوة الانضغاط المحورية عند وجود إزاحة نسبية بين طرفي العضو نسبة إلى وتره.

أما تأثير ($P-\Delta$) فيظهر عندما يكون تأثير القوة الخارجية خارج الإزاحة الجانبية النسبية لطرفي العضو. إن كلا التأثيرين يزيد من مقدار هطول العضو والعزم الناتج لذلك يجب اعتمادهما في التصميم. يتطلب تصميم العضو المتأثر بالعزم والقوى المحورية باستعمال معادلات التداخل النسبي. في هذه المعادلات تؤخذ تأثيرات العزوم والقوى المحورية بأسلوب معين لتبدي متطلبات السعة القصوى للعضو.

2-8 التصميم للتأثير المشترك للانحناء والقوة المحورية

(Design for Combined Flexure and Axial Force)

الأعضاء ذات التماثل المنفرد والمزدوج والمتعرضة لانحناء وقوة محورية مشتركين سوف تصمم بحسب معادلات التداخل الآتية: [1]

$$\bullet \text{ لقيمة } \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (1/2-8)$$

$$\bullet \text{ لقيمة } \frac{P_u}{\phi P_n} < 0.2$$

$$\frac{1}{2} \frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (2/2-8)$$

حيث ان:

P_r : تحمل الانضغاط المحوري المطلوب، (N).

- P_c : تحمل الانضغاط المحوري المتوافر ، (N).
- M_r : تحمل عزم الانحناء المطلوب ، (N.mm).
- M_c : تحمل عزم الانحناء المتوافر بحسب الباب 6 البند 1/2-6 ، (N.mm).
- x : دليل ترميز لبيان الانحناء حول المحور القوي.
- y : دليل ترميز لبيان الانحناء حول المحور الضعيف.

8-1/2 قوى الشد (Tensile Forces)

- للتصميم بحسب طريقة الأحمال والمقاومة (LRFD)
 - P_r : تحمل الشد المحوري المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (LRFD) ، (N).
 - $\phi_t P_n = P_c$: تحمل الشد المحوري التصميمي بحسب الباب 4 ، (N).
 - M_r : تحمل عزم الانحناء المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (LRFD) ، (N.mm).
 - $\phi_b M_n = M_c$: تحمل عزم الانحناء التصميمي بحسب الباب 6 البند 1/2-6 ، (N.mm).
 - ϕ_t : معامل المقاومة للشد بحسب الباب 4.
 - $0.9 = \phi_b$: معامل المقاومة للانحناء.
- للتصميم بحسب طريقة الاجهادات المسموحة (ASD)
 - P_r : تحمل الشد المحوري المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (ASD) ، (N).
 - $\frac{P_n}{\Omega_t} = P_c$: تحمل الشد المحوري المسموح بحسب الباب 4 ، (N).
 - M_r : تحمل عزم الانحناء المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (ASD) ، (N.mm).
 - $\frac{M_n}{\Omega_b} = M_c$: تحمل عزم الانحناء التصميمي بحسب الباب 6 البند 1/2-6 ، (N.mm).
 - Ω_t : معامل الامان للشد بحسب الباب 4.
 - $1.67 = \Omega_b$: معامل الامان للانحناء.

8-2/2 قوى الانضغاط (Compressive Forces)

- للتصميم بحسب طريقة الأحمال والمقاومة (LRFD)
 - P_r : تحمل الانضغاط المحوري المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (LRFD) ، (N).
 - $\phi_c P_n = P_c$: تحمل الانضغاط المحوري التصميمي بحسب الباب 5 ، (N).
 - M_r : تحمل الانحناء المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (LRFD) ، (N.mm).
 - $\phi_b M_n = M_c$: تحمل الانحناء التصميمي بحسب الباب 6 البند 1/2-6 ، (N.mm).
 - $0.9 = \phi = \phi_c$: معامل المقاومة للانضغاط.

$\phi_b = 0.9$: معامل المقاومة للانحناء.

• للتصميم بحسب طريقة الاجهادات المسموحة (ASD)

P_r : تحمل الانضغاط المحوري المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (ASD) ، (N).

$\frac{P_r}{\Omega_c} = P_c$: تحمل الانضغاط المحوري المسموح بحسب الباب 5، (N).

M_r : تحمل الانحناء المطلوب باستعمال مجموعات الاحمال المفترضة لطريقة (ASD) ، (N.mm).

$\frac{M_r}{\Omega_b} = M_c$: تحمل الانحناء التصميمي بحسب البند (6-1/2)، (N.mm).

$\Omega_c = 1.67$: معامل الامان للانضغاط.

$\Omega_b = 1.67$: معامل الامان للانحناء.

إن تحمل عزم الانحناء الأقصى المطلوب (M_r) يجب أن يحسب من التحليل المرن من المرتبة الثانية. ولمثل هذه الحالة يمكن استعمال المعادلة التالية: [2,1]

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (3/2-8)$$

حيث أن:

M_{nt} : العزم المعامل في عضو انحنائي في هيكل على فرض أن الهيكل لا يتعرض إلى إزاحات جانبية، (N.mm). راجع الباب 3، الشكل (3-2/1) الحالة (ب).

M_{lt} : العزم المعامل في عضو إنحنائي كنتيجة للحركة الجانبية، (N.mm). راجع الباب 3، الشكل (3-2/1) الحالة (ت).

B_1 : معامل تضخيم العزم الناجم عن تحليل (P- δ)، ويحسب من المعادلة (8-4/2).

B_2 : معامل تضخيم العزم الناجم عن تحليل (P- Δ)، ويحسب من المعادلة (8-5/2).

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_e}} \geq 1.0 \quad (4/2-8)$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha \sum P_r \Delta_{oh}}{\sum H_L}} \text{ أو } \frac{1}{1 - \frac{\alpha \sum P_r}{\sum P_e}} \quad (5/2-8)$$

حيث أن:

P_e : قوة الانبعاج الحرجة في مستوي العزم المحسوب، (N) ، وذلك لقيمة ($K \leq 1.0$)، ويحسب من المعادلة (8-6/2).

C_m : معامل لحساب تدرج العزم ضمن فضاء العتبة، (مبين في الفقرة 8-1/2/2).

α : معامل قيمته (1.00) لطريقة LRFD وقيمته (1.60) لطريقة ASD.

Δ_{oh} : انفعال الطابق الأرضي ذو المرتبة الأولى.

ΣH : مجموع القوى الجانبية المؤثرة أعلى الطابق موضوع التحليل، N.

L : ارتفاع الطابق، (m).

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (6/2-8)$$

8-2/2-1 معامل حساب تدرج العزم (C_m)

للأعضاء مقيدة النهايات والتي لا تعاني أطرافها من انتقال المفاصل النسبي وغير متعرضة إلى قوى جانبية (أو أحمال) في مستوي الانحناء يمكن حساب C_m من المعادلة التالية: [3,2,1]

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad (7/2-8)$$

حيث إن $\frac{M_1}{M_2}$ هي نسبة العزم الصغير إلى العزم الكبير على طرفي العضو الإنشائي. النسبة تكون موجبة في حالة كون العضو ينحني على شكل تقوس معاكس وتعتبر سالبة في حالة كون التقوس منفرداً (بدون نقطة انقلاب).

للأعضاء مقيدة النهايات والتي لا تعاني أطرافها من انتقال المفاصل النسبي والمعرضة إلى أحمال جانبية بين المساند في مستوي الانحناء تكون قيمة C_m :

$$C_m = 0.85 \quad (8/2-8)$$

للأعضاء غير مقيدة النهايات والتي لا تعاني أطرافها من انتقال المفاصل النسبي والمعرضة إلى أحمال جانبية بين المساند في مستوي الانحناء تكون قيمة C_m :

$$C_m = 1.00 \quad (9/2-8)$$

لتصميم أعضاء (العمود-العتبة) تستعمل المعادلتان [(8-2/1) و (8-2/2)] وذلك باعتماد طريقة المحاولة والخطأ. أو يستعان بمساعدات التصميم (Amin Mansor 2000) [4] من خلال إعادة كتابة المعادلتين [(8-2/1) و (8-2/2)] بالمعادلتين التاليتين والمسماة بأسلوب التعبير عن الحمل المكافئ المحوري.

$$\bullet \text{ لقيمة } \frac{P_u}{\phi P_n} > 0.2$$

$$bP_u + mM_{ux} + nM_{uy} \leq 1.0 \quad (10/2-8)$$

$$\bullet \text{ لقيمة } \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2$$

$$b \frac{P_u}{2} + \frac{9}{8} m M_{ux} + \frac{9}{8} n M_{uy} \leq 1.0 \quad (11/2-8)$$

حيث أن :

$$b = \frac{1}{\phi_c P_n} \quad (12/2-8)$$

$$m = \frac{8}{9} \cdot \frac{1}{\phi_b M_{nx}} \quad (13/2-8)$$

$$n = \frac{8}{9} \cdot \frac{1}{\phi_b M_{ny}} \quad (14/2-8)$$

يمكن تثبيت قيم رقمية للمتغيرات (b, m, n) وذلك لمقاطع متعددة كتلك المبينة في (AISC Manual). إن فائدة استعمال المعادلتين [(10/2-8) و (11/2-8)] في التصميم الأولي، تكمن في كون الحدود في الجانب الأيسر من المعادلتين يمكن معاملتها كحمل مكافئ $(P_u)_{eff}$ مؤثر، حيث يتاح للمصمم استعمال جداول تصميم الأعمدة بأطوال تأثير مختلفة ولمحاولات متعددة للمقاطع الاختبارية حتى بلوغ المقطع المناسب.

8-3 الانحناء ثنائي المحاور (Bending About Two Axes)

الأعضاء المتعرضة للانحناء على محوريها الأساسيين (مثل العتبات في السطوح المائلة) يجب أن تصمم للانحناء ثنائي المحور.

يجب ان يأخذ التصميم بنظر الاعتبار جميع الاجهادات الناتجة من الانحناء على المحور الأساسي الرئيس (M_{ux}) والانحناء على المحور الأساسي الثانوي (M_{uy}) والتي تسبب اجهادات انحناء على مقطع العضو. ولتجنب الإجهاد في النقاط الأكثر جمعا جبريا للإجهاد ستعتمد المعادلة التالية التي تبين الحالة الحدية للخضوع والتي يجب أن تحقق:

$$f_{un} \leq \phi_b F_y \quad (1/3-8)$$

$$f_{un} = \frac{M_{ux}}{S_x} + \frac{M_{uy}}{S_y} \quad (2/3-8)$$

حيث ان:

f_{un} : اجهادات الانحناء تحت تأثير الحمل المعامل، (MPa).

S : معامل المقطع المرن بحسب محور الانحناء، (mm^3).

$\phi_b = 0.9$: معامل المقاومة للانحناء.

F_y : إجهاد الخضوع الأقل المحدد، (MPa).

وكذلك يجب تدقيق الحالة الحدية للانبعاج الجانبي للي حول المحور الأساسي الرئيس ليتحقق الشرط التالي:

$$\phi_b M_{nx} \leq M_{ux} \quad (3/3-8)$$

حيث ان:

$\phi_b M_{nx}$: مقاومة عزم الانحناء التصميمية التي تحتسب من المعادلة (6-1/2)، (N.mm).

لتسهيل التصميم للانحناء ثنائي المحور يمكن إعادة كتابة المعادلة (8-3/2) على النحو التالي:

$$S_x \geq \frac{M_{ux}}{\phi_b F_y} + \frac{M_{uy}}{\phi_b F_y} \left(\frac{S_x}{S_y} \right) \cong \frac{M_{ux}}{\phi_b F_y} + \frac{M_{uy}}{\phi_b F_y} \left(3.5 \frac{d}{b_f} \right) \quad (4/3-8)$$

في المعادلة (8-3/4) (d) تمثل العمق الكلي و (b_f) تمثل عرض الشفة للمقطع. إن عملية التقريب المذكورة آنفاً اقترحت من قبل (Gaylord 1992) وذلك للمقاطع ذات التناظر الثنائي.

8-4 التأثير المشترك للانحناء واللي والقوة المحورية

(Combined Bending, Torsion and Axial Forces)

الأعضاء المتعرضة لتأثير انحناء ولي وقوة محورية مشتركة يجب أن تصمم لتحقيق الحالات الحدية التالية:

8-4/1 الخضوع تحت تأثير الإجهاد العمودي (Yielding Under Vertical Stress)

$$\phi F_y \geq f_{un} \quad (1/4-8)$$

حيث أن :

$\phi = 0.9$: معامل التحمل.

F_y : إجهاد الخضوع الأقل المحدد، (MPa).

f_{un} : القيمة العليا للإجهاد العمودي المحسوب من التحليل المرن تحت تأثير الأحمال المعاملة، (MPa).

8-4/2 الخضوع تحت تأثير إجهاد القص (Yielding Under Shear Stress)

$$\phi(0.6 F_y) \geq f_{uv} \quad (2/4-8)$$

$\phi = 0.9$: معامل التحمل.

F_y : إجهاد الخضوع الأقل المحدد، (MPa).

f_{uv} : القيمة العليا لإجهاد القص المحسوب من التحليل المرن تحت تأثير الأحمال المعاملة، (MPa).

8-4/3 الانبعاج (Buckling)

تحصل حالة الانبعاج بتحقيق إحدى الحالتين التاليتين:

$$\phi_c F_{cr} \geq f_{un} \quad \text{or} \quad \phi_c F_{cr} \geq f_{uv} \quad (3/4-8)$$

$$\phi_c F_{cr} = \phi_c \frac{P_n}{A_g} \quad (4/4-8)$$

حيث أن:

$\phi_c P_n$: تحمل الانضغاط التصميمي للعضو، (N)(الباب-5).

A_g : مساحة المقطع الإجمالية، (mm^2).

f_{un} : الاجهاد العمودي وكما معرف بالمعادلة (8-1/4).

f_{uv} : اجهاد القص وكما معرف بالمعادلة (8-2/4).

5-8 الهياكل (Frames)

تصمم الهياكل باعتبار أنها تجميع لأعضاء متعددة من عتبات وأعمدة -عتبات وأعمدة وكذلك روابطها (أو مثبتاتها). وعلى وفق خواص التقييد للروابط المستعملة للإنشاء يمكن تصميم الهياكل المصنفة الى الأصناف التالية:

الصنف I - (الهياكل الجاسئة)

الصنف II - (الهياكل البسيطة)

الصنف III - (الهياكل شبه الجاسئة)

وذلك بحسب طريقة التحليل والتصميم المعتمدة على الاجهادات المسموح بها (ASD). في حين ان طريقة التصميم المعتمدة على معاملات الأحمال والمقاومة (LRFD) فتصنف الهياكل على نوعين فقط وهما:

الصنف I - (الهياكل المقيدة كلياً- الجاسئة)

الصنف II - (الهياكل المقيدة جزئياً - شبه الجاسئة)

عند تصميم الهياكل الجاسئة تعطى الأهمية الكبرى لاستعمال روابط قادرة على نقل كل أو جزء من العزم المتولد بين عنصرين مرتبطتين بمفصل جاسئ. فهذه الروابط يجب أن تضمن بقاء زاوية الالتقاء بين الأعضاء غير متغيرة عند تعرض الهيكل لأحمال معاملة (الحمل الأقصى).

أما تصميم الهياكل البسيطة فيعتمد على فرضية أن الروابط لا تقدر على مقاومة العزوم في الأطراف ذات الإسناد البسيط للعتبة التي تتحمل الأحمال التقليدية، ولكن هذه الروابط يجب أن تمتلك القابلية الكاملة لمقاومة العزوم الناتجة من أحمال الرياح.

أما تصميم الهياكل شبه الجاسئة فانه يسمح للروابط بمقاومة جزء من عزوم الأحمال. وتقدير نسبة هذا الجزء يرجع لتقدير المصمم.

من المعتاد أن تحدث في الهياكل البسيطة وشبه الجاسئة تشوهات غير مرنة في المفصل. لذلك فان الروابط المستعملة في مثل هذه الأنواع من الهياكل يجب أن تصمم بحيث تمتلك مطيلية كافية (Ductility) وذلك لتجنب نشوء الاجهادات العالية في الروابط أو اللحام.

بغض النظر عن نوع الهياكل المستعملة، فان استقرارية الأعضاء يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند التحليل وذلك من خلال اعتماد تأثيرات ($P - \Delta$, $P - \delta$). ويتحقق ذلك إما باستعمال التحليل ذي المرتبة الثانية (second order analysis) أو بشكل آخر من خلال استعمال معاملات التضخيم للعزوم كما مذكور في

الباب 3. إن تأثيرات التقييد الطرفي للأعضاء يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار من خلال اعتماد مبدأ عامل الطول الفعال (K).

8-1/5 تصميم الهياكل (Frames Design)

تصمم الهياكل إما على فرضية أنها قادرة على منع الإزاحة الجانبية لها (مدعمة) (Braced) أو إنها غير قادرة على ذلك (غير مدعمة) (Unbraced).

في حالة منع الإزاحة الجانبية للهياكل فلا بد من وجود أنظمة إسناد مدعمة للهياكل (على سبيل المثال: الجدران القصية، التكتيف القطري، الإسناد على شكل الحرف K.... الخ).

في حالة السماح للإزاحة الجانبية للهياكل، فإن انحراف أو إزاحة الهياكل يعتمد على مقدار الجساءة الانحنائية للأعضاء المرتبطة وتأثير الأرضيات للطوابق على شكل حواجز. إن أغلب أنواع الهياكل التي لا تقاوم الإزاحة الجانبية يجب أن تصمم على أساس مقاومة العزم للمفصل الكلي أو الجزئي من خلال استعمال مفاصل مقاومة للعزوم.

في الحالة الاعتيادية فإن مقدار الانحراف الجانبي (أو الإزاحة) للطابق الواحد يجب ألا يزيد على الحدود التالية المسموحة وذلك تحت تأثير الأحمال الخدمية: [3,2,1]

$$\delta \approx \frac{h}{500} \text{ لغاية } \frac{h}{300} \quad (1/5-8)$$

حيث أن:

h: هو ارتفاع الطابق، (m).

يسمح باعتماد الحد الأعلى من الانحراف الجانبي وذلك في حالة كون الهيكل لا يخضع لبعض المحددات الخدمية.

في حالة تصميم الهيكل الذي يتعرض للحركة الجانبية فإن العتبات تتعرض لقوى محورية قد تؤثر على استقراريتها، لذلك يجب أن تصمم على أنها (عتبة-عمود). علاوة على ذلك يجب تدعيم الهيكل شاقولياً بنظام إسناد لتكوين هياكل مدعمة مقاومة للانبعاج الشاقولي لأعضائها تحت تأثير أحمال الجاذبية.

عند تصميم أعضاء الهيكل على المصمم اعتبار مجموعات الأحمال متنوعة وأنماط تحميل مختلفة والعضو يصمم للحالة الأشد أو الأكثر حرجاً.

يجب أن يسبق التصميم النهائي تصميم أولي الغاية منه تقدير حجم المقاطع المستعملة للتحليل النهائي للتصميم وذلك من خلال استعمال النماذج ذات السلوك البسيط مثل: نموذج العتبة البسيطة، أو العمود الناتئ أو استعمال طريقة تحليل الهياكل التقريبية مثل طريقة الهيكل الحدودي (Portal Frame) أو الهيكل الناتئ (على سبيل المثال راجع 1996 Rossow [5]).

8-5/2 تدعيم الهياكل (Frames Bracing)

يمكن اعتبار تحمل القص المطلوب من الطابق أو من الفضاء الساند للهياكل التي تمتنع فيها الإزاحة الجانبية مساوياً الى:

$$\beta_{cr} = \frac{2 \sum P_u}{\phi L} \quad (2/5-8)$$

حيث أن:

$\phi = 0.75$: معامل التحمل.

$\sum P_u$: مجموع الأحمال التثقيلية المعاملة المؤثرة في/وفوق الطابق أو الفضاء المسند، (N).

L : ارتفاع الطابق أو طول الفضاء المسند، (m).

β_{cr} : تحمل القص المطلوب من الطابق أو من الفضاء المسند، (N/m).

القوة المطلوبة من نظام تدعيم الطابق أو الفضاء المسند هي:

$$P_{br} = 0.004 \sum P_u \quad (3/5-8)$$

المراجع (References)

- [1] "Manual of Steel Construction"; American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition, 2005.
- [2] "Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design"; American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions, 2003.
- [3] "Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C)"; The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.
- [4] AminMansor, A., "A new approach for design of steel beam-columns", AISC Eng. J., 37, 41, 2000.
- [5] Rossow, E.C., "Analysis and Behavior of Structures", Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996.

الباب 9

المنشآت المركبة (Composite Construction)

تطبق متطلبات هذا الباب على العتبات الفولاذية الساندة للسقوف الخرسانية المسلحة بحيث تعمل كل من هذه العتبات الفولاذية والسقوف الخرسانية مع بعضها البعض لمقاومة الانحناء. ويشمل هذا الباب العتبات بسيطة الإسناد والمستمرة، ذات روابط القص (Shear Connectors) والعتبات كاملة الطمر (Encased) بالخرسانة سواء أكانت مسندة (Shored) أو غير مسندة (un-shored) بشكل مؤقت عند الإنشاء.

1-9 شروط عامة (General Provisions)

في حساب تأثير الحمل على أعضاء وروابط المنشأ المكون من الأعضاء المركبة، يجب الأخذ بنظر الاعتبار تأثير المقاطع في كل وقت خلال مراحل التحميل. التصاميم والتفاصيل وخواص المواد الخاصة بالخرسانة وحديد التسليح يجب ان تكون على وفق متطلبات مدونة الخرسانة العادية والمسلحة (م.ب.ع.304).

1/1-9 التحمل الإسمي للمقاطع المركبة (Nominal Strength of Composite Sections)

هنالك طريقتان تستعملان لحساب التحمل الإسمي للمقاطع المركبة، هما طريقة توزيع الاجهاد اللدن (Plastic Stress Distribution Method) وطريقة الانفعال المتوافق (Strain-Compatibility Method). يجب ان تهمل مقاومة الشد للخرسانة عند حساب التحمل الإسمي للأعضاء المركبة.

1/1/1-9 طريقة توزيع الاجهاد اللدن (Plastic Stress Distribution Method)

بالنسبة لطريقة توزيع الاجهاد اللدن، يجب ان يحسب التحمل الإسمي بافتراض ان اجهاد الحديد يصل الى حد مقداره (F_y) في الشد او الضغط وكذلك بافتراض ان اجهاد الخرسانة في الضغط يصل الى حد مقداره ($0.85 f'_c$). لمقاطع HSS المدورة (Round HSS) المملوءة بالخرسانة، فيمكن استعمال اجهاد للخرسانة في الضغط يصل الى ($0.95 f'_c$).

2/1/1-9 طريقة الانفعال المتوافق (Strain-Compatibility Method)

بالنسبة لطريقة الانفعال المتوافق، يفرض توزيع انفعال خطي خلال المقطع، مع استعمال اكبر انفعال ضغط للخرسانة مساوياً الى (0.003). تحسب العلاقة بين الاجهاد والانفعال للحديد والخرسانة من التجارب ومن خلال سلوك مواد مماثلة.

9-2/1 محددات المواد (Material Limitations)

الخرسانة وحديد التسليح في الانظمة المركبة يجب ان تخضع للمحددات التالية: [3]

- 1- تحمل الانضغاط لأسطوانات الخرسانة f'_c لا يقل عن (21 N/mm^2) ولا يزيد على (70 N/mm^2) للخرسانة اعتيادية الوزن (Normal weight concrete)، ولا يقل عن (21 N/mm^2) ولا يزيد على (42 N/mm^2) للخرسانة خفيفة الوزن (Light weight concrete).
- 2- الحد الأدنى لإجهاد الخضوع للهياكل الفولاذية وحديد التسليح المستعمل في حسابات تحمل الأعمدة المركبة لا يتجاوز (525 N/mm^2) .

9-2 التعاريف وفرضيات التصميم (Definitions and Design Assumptions)

9-2/1 التعاريف (Definitions)

9-2/1/1 الأعضاء المركبة كاملة الطمر بالخرسانة (Totally Encased)

هي الأعضاء التي تتألف من مقاطع فولاذية تحيط بها الخرسانة من جميع جوانبها. ويعتمد أداء هذه الأعضاء على الرابطة الطبيعية (Natural Bond) بين المقاطع الفولاذية والخرسانة. ويمكن افتراض أن العتبة الفولاذية التي تم صب خرسانة السقف حولها أنيا مرتبطة بالروابط الطبيعية بدون أي مثبتات اضافية إذا توافرت فيها الشروط التالية: [4,3,2]

- 1- أن لا يقل الغطاء الخرساني لجوانب العتبة الفولاذية ولبطنها (Soffit) عن (50 mm) .
- 2- أن لا تقل المسافة بين السطح العلوي للعتبة الفولاذية والسطح العلوي للسقف عن (40 mm) ولا تقل المسافة بين السطح العلوي للعتبة والسطح السفلي للسقف عن (50 mm) ، وبحيث لا يقل سمك السقف عن (90 mm) .

- 3- أن يحتوي الغلاف الخرساني - وعلى كامل عمق المقطع وكامل عرض بطن العتبة على مشبك فولاذي مناسب أو اطواق حديد التسليح أو قضبان تسليح مناسبة لمنع تشطي (Spalling) الخرسانة.

9-2/1/2 الأعضاء المركبة غير كاملة الطمر بالخرسانة (Not Totally Encased)

هي الأعضاء المركبة التي تتكون مقاطعها من جزأين، احدهما فولاذي والآخر خرساني. ويعتمد أداء هذه الأعضاء على روابط القص التي تربط هذين الجزأين مع بعضهما. ولا يشترط في هذه الأعضاء تحويط كامل المقطع الفولاذي بالخرسانة.

3/1/2-9 العرض الفعال (Effective Width)

يجب أن لا يزيد العرض الفعال لكل جزء من السقف الخرساني على جانبي الخط المركزي للمقطع الفولاذي على القيمة الأقل من: [4]

- $\frac{1}{8}$ طول العتبة بين مراكز المساند،
- $\frac{1}{2}$ المسافة إلى خط مركز العتبة المجاورة، أو
- المسافة بين مركز العتبة وحافة السقف وذلك في حالة العتبات الفولاذية الطرفية.

2/2-9 فرضيات التصميم (Design Assumptions)

1/2/2-9 يجب أن تكون للعتبات كاملة الطمر بالخرسانة القدرة على مقاومة الحمل الميت الكلي الذي تتعرض له قبل تصلب الخرسانة (إلا إذا كانت هذه الأحمال مستتدة على دعائم مؤقتة)، وأن تعمل مع السقف بعد تصلب الخرسانة على مقاومة جميع الأحمال الميتة والحية التي تتعرض لها على أن لا تزيد اجهادات الانحناء المحسوبة على $(0.66F_y)$ حيث F_y هو إجهاد الخضوع للعتبة الفولاذية. وبحسب إجهاد الانحناء الناتج من الأحمال بعد تصلب الخرسانة على أساس خصائص المقطع المركب مع إهمال مقاومة الخرسانة لإجهاد الشد. وبدلاً لذلك فإنه إذا كان لمقطع العتبة الفولاذية القدرة بمفرده على مقاومة العزم الموجب الناتج من جميع الأحمال (الحية والميتة) باستعمال إجهاد انحناء يساوي $(0.76F_y)$ ففي هذه الحالة فإن الإسناد المؤقت لا لزوم له.

2/2/2-9 عند استعمال روابط القص بحسب ما هو مبين في الفصل (9-6)، يصمم المقطع المركب بحيث يتحمل جميع الأحمال بدون أن تزيد الاجهادات المتولدة فيه عن الاجهادات المسموح بها المنصوص عليها في البند (6-1/2) حتى لو لم يسند المقطع الفولاذي في أثناء الإنشاء. في مناطق العزم الموجب، لا يخضع مقطع العتبة الفولاذية للمتطلبات المذكورة في الفصل (2-5)، كما لا يوجد هناك حد للطول غير المدعم من شفة الضغط.

وعند تثبيت (Anchoring) قضبان التسليح الموازية للعتبة الفولاذية ضمن العرض الفعال للسقف بحسب المتطلبات المنصوص عليها في مدونة الخرسانة العادية والمسلحة، يمكن أن تكون هذه المتطلبات مشمولة في حساب خصائص المقاطع المركبة بشرط أن يتم تجهيز المقطع بروابط القص بحسب المتطلبات المنصوص عليها في الفصل (9-6).

تحسب خصائص المقطع المركب اعتماداً على نظرية المرونة مع إهمال اجهادات الشد في الخرسانة. ولحساب الاجهادات، تعامل المساحة المعرضة للضغط في الخرسانة الخفيفة أو العادية لوصفها مساحة مكافئة للفولاذ بتقسيمها على النسبة المعيارية (Modular Ratio) (n) للخرسانة العادية ذات المقاومة المحددة

عند تحديد خصائص المقطع. ولحساب الهطول، تحدد خصائص المقطع المحول (Transformed Section) على أساس النسبة المعيارية الملائمة لدرجة الخرسانة، حيث:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (1/2-9)$$

حيث E_c : معايير مرونة الخرسانة، و E_s : معايير مرونة الفولاذ.

في الحالات التي يتعذر فيها من الناحية العملية تجهيز المقطع بالروابط المناسبة أو في الحالات التي يكون فيها من غير الضروري تجهيزه بالروابط لتحقيق متطلبات القص الأفقية التي تجعل المقطع يتصرف بصفته وحدة متكاملة (Full Composite Action) يحسب معايير المقطع الفعال (Effective Section Modulus) من العلاقة التالية :

$$S_{eff} = S_s + \sqrt{\frac{V'_h}{V_h}} (S_{tr} - S_s) \quad (2/2-9)$$

حيث أن:

S_s : معامل المقطع للعتبة الفولاذية منسوباً إلى الشفة السفلى، (mm^3).

S_{tr} : معامل مقطع العتبة المركبة المحول منسوباً إلى الشفة السفلى اعتماداً على العرض الفعال الأقصى للشفة الخرسانية، (mm^3).

V_h : مقدار القص الأفقي الكلي المطلوب مقاومته بين نقطة العزم الموجب الأقصى والنقاط التي يكون عندها العزم مساوياً للصفر وهو اصغر القيمتين الناتجتين من تطبيق المعادلتين التاليتين:

$$V_h = 0.68 \frac{F_{cu} A_c}{2} \quad (3/2-9)$$

$$V_h = \frac{F_y A_s}{2} \quad (4/2-9)$$

علماً بأنه يجب إضافة الحد ($0.5 F_{yr} A'_s$) إلى المعادلة (3/2-9) وذلك في حالة أخذ قضبان التسليح الطولية (A'_s) الواقعة ضمن العرض الفعال للشفة الخرسانية بالاعتبار في حساب خصائص المقطع المركب.

حيث أن:

F_{yr} : إجهاد الخضوع لقضبان التسليح الطولية، (N/mm^2).

A_c : المساحة الحقيقية للشفة الخرسانية الفعالة، (mm^2).

A_s : مساحة مقطع العتبة الفولاذية، (mm^2).

اما V'_h : مقدار القص الافقي فيحسب من حاصل ضرب (q) الواردة في الجدول (9-1/4) في عدد وصلات القص الموضوعة بين نقطة العزم الاقصى واقرب نقطة الى العزم الذي يساوي صفراً ويجب ان لا تقل قيمة V'_h عن (1/4) اصغر القيمتين الناتجتين من المعادلة (9-3/2) باستعمال العرض الفعال الاقصى المسموح به للشفة الخرسانية والمعادلة (9-4/2).

للعنات المركبة المنفذة بدون استعمال الإسناد المؤقت يجب أن لا تزيد الاجهادات في المقطع الفولاذي عن ($0.9F_y$). وتحسب الاجهادات بافتراض ان المقطع الفولاذي يتحمل منفرداً جميع الأحمال المؤثرة قبل أن تكتسب الخرسانة ما نسبته (75) بالمائة من مقاومتها المطلوبة وان يكون للمقطع المركب الفعال (Effective composition section) القدرة على مقاومة جميع الأحمال الواقعة عليه بعد تصلب الخرسانة.

ويجب استعمال المعايير الحقيقي للمقطع المركب المحول عند حساب إجهاد الضغط في الخرسانة الناتج من الانحناء. وللإنشاء الذي لا يستعمل فيه إسناد مؤقت، يعتمد هذا الإجهاد على الأحمال المؤثرة بعد اكتساب الخرسانة لما نسبته (75) بالمائة من مقاومتها المطلوبة. ويجب أن لا يزيد الإجهاد في الخرسانة على ($0.36F_{cu}$) حيث:

F_{cu} : المقاومة المميزة للخرسانة، (N/mm^2).

3-9 الأعضاء الانضغاطية (Compression Members)

1/3-9 المحددات (Limitations)

إن العمود المركب (Composite Column) يصنع إما من مقاطع مدلفنة (Rolled) أو من تجميع (Built-up) عدة أشكال تملأ بالخرسانة، أو يصنع من أنابيب فولاذية تملأ بالخرسانة، ليحقق المتطلبات التالية:

1- مساحة مقطع الشكل الواحد أو الأنابيب الفولاذي الواحد يجب أن لا تقل عن (4) بالمائة من مساحة المقطع المركب الكلية.

2- الخرسانة المحيطة باللباب الفولاذي يجب أن تسلح بقضبان تسليح طويلة لتحمل الأحمال وقضبان طويلة لتقييد الخرسانة وأطواق أفقية (Stirrups). القضبان الطويلة المقاومة للأحمال يجب أن تستمر ضمن مستوي الهيكل، في حين ان القضبان الطويلة المقيدة للخرسانة تقطع عند مستوي الهيكل. والمسافة بين الأطواق لا تزيد على ($\frac{2}{3}$) أقل بعد للمقطع المركب. ومساحة مقطع التسليح الطولي والعرضي لا تقل عن 6mm^2 لكل (25 mm) من المسافة بين الأطواق. والغلاف الخرساني يجب أن يحقق غطاءً خرسانياً صافياً لا يقل عن (40 mm) حول كل من حديد التسليح الطولي والعرضي.

3- إن أقل سمك لجدران الأنابيب الفولاذية التي تملأ بالخرسانة يجب أن يساوي $0.00223b\sqrt{\frac{F_y}{3}}$ لكل وجه من العرض (b) للمقطع المستطيل و $0.00223D\sqrt{\frac{F_y}{8}}$ للمقطع الدائري الذي قطره الخارجي (D).

2/3-9 تحمل الانضغاط التصميمي (Design Compressive Strength)

تحمل الانضغاط التصميمي للأعمدة المركبة المحملة محوريا هو $\phi_c P_n$ ، وتحمل المسموح به للأعمدة المركبة المحملة محوريا هو $\frac{P_n}{\Omega_c}$ [4,3]

حيث أن:

ϕ_c (LRFD) : تساوي 0.75

Ω_c (ASD) : تساوي 2.00

P_n : تحمل الانضغاط المحوري الإسمي المحسوب من المعادلتين (1/2-5) و (1/3-5) مع إجراء التعديلات التالية: حيث أن

1- أن تحمل A_s : مساحة المقطع الفولاذي الإجمالية محل A_g ، (mm^2).

أن يحمل r_m : نصف القطر التدويمي (Radius of gyration) للمقطع الفولاذي الذي يجب أن لا يقل عن (0.3) مرة بقدر السمك الإجمالي للمقطع المركب في مستوى الانبعاج، محل r_o ، (mm).

2- أن يحمل تحمل الخضوع المعدل F_{my} المحسوب من المعادلة (1/3-9) محل (F_y) ، وأن يحمل معايير المرونة المعدل E_m المحسوب من المعادلة (2/3-9) محل (E).

$$F_{my} = F_y + C_1 F_{yr} \left(\frac{A_r}{A_g} \right) + C_2 f'_c \left(\frac{A_c}{A_g} \right) \quad (1/3-9)$$

$$E_m = E + C_3 E_c \left(\frac{A_c}{A_g} \right) \quad (2/3-9)$$

حيث أن:

A_c : مساحة الخرسانة، (mm^2).

A_r : مساحة حديد التسليح الطولي، (mm^2).

A_s : مساحة مقطع المقطع الفولاذي الاجمالية، (mm^2).

E_c : معايير المرونة للخرسانة والذي يمكن حسابه من المعادلة $E_c=4700\sqrt{f'_c}$ حيث f'_c تحمل الانضغاط لاسطوانات الخرسانة بوحدة (N/mm^2) .

F_y : حد الخضوع الأدنى لحديد الأنابيب والمقاطع الحديدية، (N/mm^2) .

F_{yr} : حد الخضوع الأدنى لحديد التسليح، (N/mm^2) .

f'_c : تحمل الانضغاط لاسطوانات الخرسانة، (N/mm^2) .

C_1, C_2, C_3 : ثوابت عددية. للأنابيب المملوءة بالخرسانة $C_1=1, C_2=0.85, C_3=0.4$

وللمقاطع المغلفة بالخرسانة $C_1=0.7, C_2=0.6, C_3=0.2$

3/3-9 الأعمدة المركبة من عدة مقاطع فولاذية (Columns with Multiple Steel Shapes)

الأعمدة المركبة من مقطعين أو أكثر يجب أن تربط بمشبات ربط أو ألواح ربط أو صفائح عرضية لمنع حدوث الانبعاج (Buckling) للمقاطع بصورة منفردة قبل حدوث تصلب الخرسانة.

4/3-9 نقل الأحمال (Load Transfer)

إن جزء التحمل التصميمي الخاص بالخرسانة في الأعمدة المركبة المحملة محوريا ينتقل مباشرة عند الوصلات، هذا عندما تكون مساحة خرسانة الإسناد أكبر من مساحة التحميل من جانب واحد أو أكثر وتكون مقيدة ضد التمدد الأفقي من الجوانب الباقية. إن التحمل التصميمي الأقصى للخرسانة يحسب من

$$(\phi_c 1.7f'_c A_B) \text{ والتحمل المسموح الأقصى للخرسانة يحسب من } (1.7f'_c A_B / \Omega_c) [3]$$

حيث أن:

$$0.65 = (LRFD) \phi_c$$

$$2 = (ASD) \Omega_c$$

A_B : مساحة التحميل، (mm^2) .

4-9 أعضاء الانحناء (Flexural Members)

1/4-9 العرض الفعال (Effective Width)

العرض الفعال للسقف الخرساني من كل جانب من الخط المركزي للعتبة يجب أن لا يزيد على:

أ- $\frac{1}{8}$ طول العتبة محسوبا من مراكز المساند.

ب- $\frac{1}{2}$ المسافة بين الخط المركزي للعتبتين المتجاورتين أو

ت- المسافة من مركز العتبة إلى حافة السقف.

2/4-9 التحمل التصميمي للعتبة مع روابط القص (Strength of Beams with Shear Connectors)

التحمل التصميمي الموجب للانحناء ($\phi_b M_n$) والتحمل المسموح به للانحناء ($\Omega_b M_n$) يحسبان كما يلي: [3]

$$0.9 = (\text{LRFD}) \phi_b$$

$$1.67 = (\text{ASD}) \Omega_b$$

$$\text{أ- لحالة } 1000 \sqrt{F_{yf}} \geq \frac{h}{t_w}$$

$$0.85 = \phi_b$$

M_n يحسب من توزيع الإجهاد اللاخطي للأعضاء المركبة

$$\text{ب- لحالة } 1000 \sqrt{F_{yf}} < \frac{h}{t_w}$$

M_n يحسب من توزيع الإجهاد الخطي والذي يأخذ بنظر الاعتبار الإسناد.

أما التحمل التصميمي السالب للانحناء $\phi_b M_n$ فيحسب للمقطع الفولاذي فقط وبحسب متطلبات الباب 6.

أو يمكن حساب التحمل التصميمي السالب للانحناء $\phi_b M_n$ باعتبار M_n محسوبا من التوزيع اللاخطي للإجهاد في المقطع المركب على أن تتحقق الشروط التالية:

1- يجب أن يكون التدعيم الجانبي لمقطع العتبة الفولاذية كافيا على وفق متطلبات الفصل (5-2).

2- أن تعمل روابط القص على ربط السقف مع العتبة الفولاذية في منطقة العزم السالب.

3- أن يكون تسليح السقف موازيا للعتبة الفولاذية ضمن العرض الفعال للسقف.

3/4-9 التحمل التصميمي للعتبة المظمورة في الخرسانة (Strength of Concrete Encased Beam)

تحمل الانحناء التصميمي $\phi_b M_n$ يحسب باعتبار $(\phi_b = 0.9)$ و M_n يحسب من توزيع الاجهادات الخطية التي يجب أن تأخذ بنظر الاعتبار الإسناد أو يمكن حساب التحمل التصميمي للانحناء ϕM_{nb} باعتبار $\phi_b = 0.9$ (LRFD) والتحمل المسموح للانحناء $\phi_n M_n$ باعتبار $\phi_n = 1.67$ (ASD). M_n يحسب من التوزيع اللاخطي للاجهادات للمقطع الفولاذي فقط.

4/4-9 التحمل في أثناء الإنشاء (Strength During Construction)

إذا لم يستعمل الإسناد الوقتي في أثناء الإنشاء فيجب أن يكون المقطع الفولاذي وحده كافياً لتحمل الأحمال المسلطة على الخرسانة قبل وصول تحمل الخرسانة إلى نسبة 75% من تحملها التصميمي f'_c وتحمل الانحناء التصميمي للمقطع الفولاذي يحسب على وفق متطلبات الباب 6.

5/4-9 مسطحة الفولاذ المركبة (Composite Deck Steel)

1/5/4-9 عام (General)

إن تحمل الانحناء التصميمي $\phi_b M_n$ للإنشاءات المركبة الحاوية على سقف خرساني فوق مسطحة الفولاذ المركبة والمرتبطة بالعتبات الفولاذية يحسب بتطبيق الفصل (2/4-9) مع إجراء التعديلات التالية وهي:

1- أن يكون السقف الخرساني منفذاً على مسطحة فولاذية مقولبة، لا يزيد ارتفاع الضلع فيها على (75 mm).

2- معدل عرض الضلع الخرساني أو الكثيفات الخرسانية w_{cr} لا يقل عن (50 mm) ولا يؤخذ في الحسابات أكثر من الحد الأدنى للعرض الصافي قرب الحافة العليا لمسطحة الفولاذ المركبة (Composite deck steel).

3- السقف الخرساني يرتبط مع العتبة الفولاذية بلحام وصلات القص ذات قطر 19 mm أو اقل بحسب المدونة الأمريكية للحام (ASW D1.1). [1]

4- وصلات القص تلحم مباشرة على المسطحة أو على العتبة الفولاذية ويجب أن تبرز مسافة لا تقل عن (37.5 mm) عن أعلى مسطحة الفولاذ المركبة.

5- سمك السقف الخرساني فوق المسطحة الفولاذية يجب أن لا يقل عن (50 mm).

2/5/4-9 المتطلبات الواجب أخذها في الاعتبار في حالة تعامد أضلاع المسطحة الفولاذية مع العتبة (Deck Ribs Oriented Perpendicular to Steel Beam)

1- عند تحديد خصائص المقطع وعند حساب (A_c) تهمل الخرسانة الواقعة تحت السطح العلوي للأرضية الفولاذية.

2- لا تزيد المسافة بين وصلات القص عن (900 mm) وذلك على طول العتبة.

3- تقلل قيمة حمل القص الأفقي المسموح به (q) لكل واحدة من وصلات القص المذكورة في الجدول (1/4-9) بضربها بمعامل التقليل التالي:

$$\frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \left(\frac{W_r}{h_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right) \leq 1.0 \quad (1/4-9)$$

حيث أن:

h_r : الارتفاع الإسمي للضلع، (mm).

H_s : طول وصلة القص بعد اللحام، (mm)، والذي يجب أن لا يزيد على (75+ hr) عند استعماله في الحسابات مهما كان طوله الحقيقي.

N_r : عدد وصلات القص المستعملة على العتبة في ضلع واحد، والذي يجب أن لا يزيد على (3) عند استعماله في الحسابات مهما كان عددها الحقيقي.

W_r معدل عرض الضلع الخرساني، (mm).

4- لمقاومة الخلع أو الرفع (Uplift) يجب أن تكون الأرضية الفولاذية مثبتة إلى جميع العتبات أو العتبات الرئيسة الفولاذية المركبة على مسافات لا تزيد على (400 mm). ومثل هذا التثبيت يمكن أن يتحقق باستعمال وصلات القص أو باستعمال وصلات القص مع اللحام النقطي [Arc spot weld] أو أية وسيلة يحددها المصمم.

3/5/4-9 المتطلبات الواجب أخذها بنظر الاعتبار في حالة توازي أضلاع المسطحة الفولاذية مع العتبة (Deck Ribs Oriented Parallel to Steel Beam)

1- عند تحديد خصائص المقطع وعند حساب (A_c) لاستعمالها في المعادلة (3/2-9) تؤخذ الخرسانة الواقعة تحت السطح العلوي للأرضية الفولاذية بالاعتبار.

2- يمكن شق (Split) أضلاع الأرضية الفولاذية إلى جزأين فوق العتبات بالاتجاه الطولي وإبعاد جزأي الضلع عن بعضهما لعمل كتيفات خرسانية (Concrete haunches).

3- يجب أن يكون العمق الإسمي للأرضية الفولاذية مساوياً (40 mm) أو أكثر، ويجب أن لا يقل معدل العرض w_{cr} للكتيف أو الضلع عن (50 mm) للوصلة الأولى من وصلات القص في الصف العرضي مضافاً إلى ذلك أربعة أمثال قطر الوصلة لكل وصلة إضافية.

تكون قيمة حمل القص المسموح به لكل واحدة من وصلات القص (q) مساوية القيمة المذكورة في الجدول (1/4-9) باستثناء الحالات التي تقل فيها النسبة (w_r/h_r) عن (1.5) حيث تقل القيمة q بضربها في معامل التقليل التالي:

$$0.6 \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right) \leq 1.0 \quad (2/4-9)$$

الجدول 1/4-9: حمل القص الأفقي المسموح به لوصلة قص واحدة q (kN).

المقاومة المميزة للخرسانة (نيوتن/ ملم ²)			وصلة القص ⁽¹⁾
35 ≤	30	25	
26.2	24.5	22.7	قطرها (13) ملم، طولها (50) ملم بعقفة أو برأس
40.9	38.3	35.6	قطرها (16) ملم، طولها (65) ملم بعقفة أو برأس
59.2	55.6	51.2	قطرها (19) ملم، طولها (75) ملم بعقفة أو برأس
80.1	74.7	69.4	قطرها (22) ملم، طولها (90) ملم بعقفة أو برأس
$0.875W^{(2)}$	$0.823W^{(2)}$	$0.753W^{(2)}$	مقطعها على شكل الحرف (C) قياس 6.10×76 ⁽³⁾
$0.928W^{(2)}$	$0.875W^{(2)}$	$0.805W^{(2)}$	مقطعها على شكل الحرف (C) قياس 8.03×102
$0.980W^{(2)}$	$0.928W^{(2)}$	$0.858W^{(2)}$	مقطعها على شكل الحرف (C) قياس 9.96×127
(1) يمكن استعمال الحمل الأفقي المسموح به نفسه في حالة زيادة طول الوصلة عما هو مبين.			
(2) W يساوي طول المقطع على شكل الحرف (C) بالمليمتر.			
(3) تعني هذه الأرقام على سبيل المثال: العمق الكلي للمقطع يساوي (76 mm) والوزن يساوي (6.10 kg/m).			

6/4-9 تحمل القص التصميمي (Design Shear Strength)

عندما لا تنطبق المتطلبات المذكورة آنفاً على المنشآت المركبة يجب أن يتم تحديد الحمل المسموح به لكل وصلة من وصلات القص من خلال برنامج فحص مناسب.

5-9 الانضغاط المشترك مع الانحناء (Combined Compression and Flexure)

إن التأثير المشترك لقوى الانضغاط مع الانحناء للمقطع المركب يحدد على وفق الباب 3.

M_n : تحمل الانحناء الإسمي يحسب من التوزيع اللاخطي للاجهادات في المقطع المركب ما عدا ما مبين لاحقاً، (kN.m).

$$P_{e1}, P_{e2} = \frac{A_s F_{my}}{\lambda_c^2} \quad (1/5-9)$$

P_{e1}, P_{e2} : حمل الانبعاج الخطي، (kN.m).

F_{my} : إجهاد حد الخضوع المعدل من البند (2/3-9).

ϕ_b : معامل التحمل للانحناء من الباب 6.

ϕ_c : معامل التحمل للضغط ويساوي (0.85).

λ_c : نسبة النحافة للأعمدة من المعادلة في الباب 5 والمعدلة من الفصل (2-5).

وعندما يكون الحد الخاص للقوى المحورية في المعادلات في الباب 6 اقل من (0.3) فإن تحمل الانحناء الإسمي M_n يحسب من رسم خط مستقيم بين تحمل الانحناء الإسمي المحسوب من التوزيع اللاخطي للإجهادات في المقطع المركب لحالة $\frac{P_u}{\phi_c P_n} = 0.3$ وتحمل الانحناء لحالة P_u = صفر المحسوب من الباب 6. إذا كانت هناك حاجة لوجود روابط قص لحالة (P_u = صفر) فإنها تجهز عندما يكون $\frac{P_u}{\phi_c P_n}$ اقل من (0.3).

9-6 روابط القص (Shear Connectors)

هذا الفصل يتناول تصميم روابط القص للوصلات والسواقي. أما الأنواع الأخرى للروابط توجد في الفصل (7-9).

9-6/1 المواد (Materials)

أ- روابط القص على وصلات الفولاذ لا تقل عن أربعة أمثال قطر الوصلة في الطول بعد التنصيب، أو ساقية الفولاذ المدلفنة على الحار.

ب- روابط الوصلة يجب أن تعمل على وفق متطلبات البند (1-6/3).

ت- روابط الساقية يجب أن تعمل على وفق متطلبات الفصل (1-3).

ث- روابط القص يجب أن تطمر في خرسانة سقف ذات ركام مطابق للمواصفة (ASTM C33) أوركام منتج بالحرق مطابق للمواصفة (ASTM C330) بكثافة خرسانة أعلى من (14.38 kN/m^3) .

9-6/2 قوة القص الأفقية (Horizontal Shear Force)

ما عدا العتبات كاملة الطمر بالخرسانة في الفصل (9-1)، القص الأفقي الكلي المسلط على سطح التماس بين عتبة الحديد وخرسانة السقف يجب أن ينتقل عن طريق روابط القص. للجزء المركب مع خرسانة

معرضة إلى ضغط انحنائي، فإن قوة القص الأفقية بين نقطة أعلى عزم موجب ونقطة العزم المساوي صفراً تؤخذ باعتبارها القيمة الأقل من المعادلات التالية:

$$0.85f'_c A_c \quad (1/6-9)$$

$$A_s F_y \quad (2/6-9)$$

$$\sum Q_n \quad (3/6-9)$$

حيث أن:

f'_c : تحمل الانضغاط للخرسانة، (N/mm^2).

A_c : مساحة خرسانة السقف ذات العرض الفعال، (mm^2).

A_s : مساحة المقطع الفولاذي الاجمالية، (mm^2).

F_y : حد الخضوع الأدنى للحديد، (N/mm^2).

$\sum Q_n$: مجموع تحمل روابط القص بين نقطة أعلى عزم موجب ونقطة العزم المساوي صفراً، (N/mm^2). للعتبات المتولدة، قوة الخضوع يجب أن تحسب منفصلة لكل مركبة من المقطع، و ($A_s F_y$) للمقطع الكلي هي مجموع قوى الخضوع للمقطع الكلي.

في العتبات المركبة المستمرة يجب ان يكون حديد التسليح الطولي في منطقة العزم السالب مستمرا ليعمل مع حديد العتبة، وقوة القص الأفقية الكلية بين نقطة أعلى عزم موجب ونقطة العزم المساوي صفراً يجب أن تؤخذ القيمة الأقل من $A_s F_y$ أو $\sum Q_n$.

حيث أن:

A_s : مساحة حديد التسليح الطولي الملائم ضمن منطقة العرض الفعال لخرسانة السقف، (mm^2).

F_y : الحد الأدنى لإجهاد الخضوع لحديد التسليح، (N/mm^2).

$\sum Q_n$: مجموع تحمل روابط القص الموجودة بين نقطة أعلى عزم موجب ونقطة العزم المساوي صفراً، (N/mm^2).

3/6-9 تحمل روابط القص بشكل القضبان المسننة (Strength of Stud Shear Connectors)

التحمل الإسمي لرابطة قص بشكل قضيب مسنن مطمور في سقف خرساني غير مجوف يحسب من المعادلة التالية: [3]

$$Q_n = 0.5A_{sc}\sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} F_u \quad (4/6-9)$$

حيث أن:

A_{sc} : مساحة مقطع رابطة قص بشكل قضيب مسنن، (mm^2).

f'_c : تحمل الانضغاط للخرسانة، (N/mm^2).

F_u : الحد الأدنى لتحمل الشد لرابطة قص بشكل قضيب مسنن، (N/mm^2).

E_c : معامل المرونة للخرسانة، (N/mm^2).

لرابطة القص بشكل قضيب مسنن مطمور في السقف على مسطحة الفولاذ المركبة يجب الرجوع إلى الفصل (4-9) لحساب معاملي التقليل في المعادلتين (1/4-9) و (2/4-9). ان معامل تقليل تحمل القص يستعمل فقط للصيغة $0.5A_{sc}\sqrt{f'_c E_c}$ في المعادلة (4/6-9).

4/6-9 تحمل روابط القص للساقية (Strength of Channel Shear Connectors)

التحمل الإسمي (Q_n) لرابطة قص لساقية واحدة مغمورة في سقف خرساني غير مجوف يحسب من المعادلة التالية: [3]

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_c\sqrt{f'_c E_c} \quad (5/6-9)$$

حيث أن:

t_f : سمك الشفة لرابطة قص الساقية، (mm).

t_w : سمك الوتر (web) لرابطة قص الساقية، (mm).

L_c : طول رابطة قص الساقية، (mm).

5/6-9 عدد روابط القص المطلوبة (Required Number of Shear Connectors)

عدد روابط القص المطلوب وضعها بين المقطع ذي أعلى عزم موجب أو سالب والمقطع المجاور ذي العزم المساوي صفرًا يجب أن يساوي قوة القص الأفقية المحسوبة من البند (2/6-9) مقسومة على تحمل رابطة قص واحدة بعد حسابه من البند (3/6-9) أو البند (4/6-9).

6/6-9 مكان ومسافة رابطة القص (Shear Connector Placement and Spacing) [3]

روابط القص، باستثناء تلك المطلوبة عند كل جانب ذي أعلى عزم موجب أو سالب، يجب أن توضع بصورة متجانسة بين نقطة أعلى عزم ونقطة العزم المساوي صفراً. عدد روابط القص الموضوعة بين أي قوة مركزة واقرب نقطة يكون العزم فيها صفراً يجب أن تكون كافية لتحمل أعلى عزم مطلوب عند نقطة القوة المركزة. وباستثناء الروابط المنصبة في دعامة أرضية الفولاذ المركبة، فإن روابط القص يجب أن تمتلك غطاء خرسانياً عرضياً لا يقل عن 25 ملم. وباستثناء الروابط الواقعة على الوتر (web)، فإن قطر الوصلة لا يزيد عن مرتين ونصف المرة بقدر سمك الشفة الملحومة إليها. إن أقل مسافة بين مركز رابطة وصلة وأخرى تساوي ستة أمثال قطرها على طول المحور الطولي لارتكاز العتبة المركبة وأربعة أمثال قطرها باتجاه عرضي على المحور الطولي لارتكاز العتبة المركبة. ولحالة روابط الوصلات المستعملة في دعامة مسطحة الفولاذ المركبة فإن المسافة من المركز إلى المركز تكون على الأقل أربعة أمثال القطر في أي اتجاه. أما أكبر مسافة من مركز إلى مركز روابط القص فهي لا تزيد على ثمانية أمثال السمك الكلي للسقف. كذلك انظر البند (5/4-9).

7-9 حالات خاصة (Special Cases)

للجزء المركب الذي لا يطابق متطلبات الفصول من (1-9) إلى (6-9)، فإن تحمل روابط القص يجب أن يحسب، وتفاصيلها يجب أن تصنع باستعمال برنامج مناسب.

المراجع (References)

- [1] "Structural Welding Code - Steel"; American Welding Society, AWS D1.1/D1.1M, 19th Edition. 2004.
- [2] "Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)"; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [3] "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges"; American Institute of Steel Construction, Inc., 1st Edition, 2005.

[4] "كودة الإنشاءات الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الثانية، 2002.

الباب 10

الروابط والمفاصل والمثبتات

(Connections, Joints and Fasteners)

إن هذا الباب يتناول عناصر الربط والعناصر المتأثرة للأعضاء المربوطة، والتي من بينها أضلاع التقوية وألواح التجميع (Gusset plates) والزوايا والكتائف (Brackets) والروابط (Connectors) كالبراشر والمسامير الملولة (البراغي) وأجزاء اللحام.

1-10 الشروط العامة (General Provisions)

1-10 أساسيات التصميم (Design Basis)

إن التحمل التصميمي (ϕR_n) والتحمل المسموح به (R_n/Ω) للروابط يمكن حسابهما بالاعتماد على تعليمات هذا الباب، أما بالنسبة للتحمل المطلوب للروابط فإنه يحسب من التحليل الإنشائي تحت تأثير الأحمال التصميمية، أو يمكن الحصول عليه باعتباره كنسبة من التحمل المطلوب للأعضاء المرتبطة بهذه الروابط وذلك للحالات التي ستحدد في هذا الباب.

في حالة كون المحاور للأعضاء المحملة محورياً لا تتقاطع في نقطة واحدة عند المفصل الرابط لها فإن تأثير اللاتمركزية يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار.

2/1-10 الروابط البسيطة (Simple Connections)

إن الروابط للعتبات أو الروافد أو المسنمات (الجملونات) تصمم على اعتبار أنها روابط مرنة وبالتالي ستكون القوى في الروابط التي ستصمم هي الناتجة من ردود أفعال القص فقط، فيما عدا ما يثبت خلافاً لهذا في وثائق التصميم. إن الروابط المرنة للعتبة سوف تتقبل الدوران عند النهايات الذي يحصل عادة للعتبات بسيطة الإسناد، ولتحقيق ذلك الدوران يسمح بحدوث تشوه غير مرن محدود في الروابط.

3/1-10 روابط العزم (Moment Connections)

إن روابط النهايات للعتبات المقيدة أو الروافد المقيدة أو المسنمات (الجملونات) المقيدة تصمم على اعتبار أن الروابط صلبة (Rigid) وبالتالي ستكون القوى التي ستصمم هذه الروابط لتتحملها ناتجة من التأثير المشترك للعزم وقوى القص المتولدة بسبب الصلادة. إن روابط العزم يمكن أن تصنف إلى نوعين اعتماداً على صلابتها وهما:

10-1/3/1 روابط العزم ذات التقييد التام (Fully Restrained Moment Connections)

هي الروابط التي يكون الدوران النسبي بين الأعضاء المرتبطة بها في أثناء انتقال العزم مهملاً المقدار، وبالتالي عند إجراء التحليل الإنشائي للمنشأ يمكن أن نفرض في كل مفصل يحتوي على هذه الروابط أن الدوران النسبي بين الأعضاء المرتبطة بهذا المفصل يساوي صفراً. إن الروابط ذات التقييد التام يجب أن تمتلك تحملاً وصلادة (Rigidity) كافيين للإبقاء على الزاوية بين الأعضاء المرتبطة بالمفصل ثابتة حتى مرحلة التحمل الأقصى (Ultimate limit state).

10-2/3/1 روابط العزم ذات التقييد الجزئي (Partially Restrained Moment Connections)

هي الروابط التي يكون الدوران النسبي بين الأعضاء المرتبطة بها في أثناء انتقال العزم غير مهملاً المقدار، وبالتالي عند إجراء التحليل الإنشائي للمنشأ الذي يحتوي على هذه الروابط فإن تأثير الدوران النسبي بين الأعضاء المرتبطة بنفس المفصل يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار. إن الروابط ذات التقييد الجزئي يجب أن تمتلك تحملاً وصلادة وقابلية على مقاومة التشوه كافية لحين الوصول إلى مرحلة التحمل الأقصى.

10-4/1-10 أعضاء الانضغاط مع مفاصل الإسناد (Compression Members with Bearing Joints)

10-1/4/1-10 الأعمدة (Columns)

عند ارتكاز الأعمدة على ألواح الإسناد (Bearing plates) أو ارتكاز نهاياتها عند مناطق الوصلات (Splices) فإنه يجب أن تتوفر روابط كافية بما يضمن تثبيت جميع الأجزاء في أماكنها بأمان.

10-2/4/1-10 أعضاء الانضغاط الأخرى (Other Compression Members)

عند ارتكاز أعضاء الانضغاط، فيما عدا الأعمدة، عند مناطق الوصلات فإنه يجب أن تكون المواد المستعملة للتوصيل والروابط مرتبة بشكل يبقي جميع الأجزاء على استقامة واحدة. إن أجزاء الوصلة تصمم لتحمل إحدى الحالتين التاليتين (من الممكن التصميم على الحالة الأقل حرجاً): [3,2,1]

1. قوة محورية مقدارها (50) بالمائة من تحمل الانضغاط المطلوب للعضو، أو
2. العزم والقص الناتجين من تسليط حمل جانبي مقداره (2) بالمائة من تحمل الانضغاط المطلوب للعضو. [3] إن هذا الحمل الجانبي يجب أن يسلط عند الوصلة، استثناء من الأحمال الأخرى المسلطة على العضو وباعتبار نهايتي العضو من نوع المفاصل المسمارية (Pins) بحيث يمكن حساب العزم والقص المتولدين عند الوصلة.

10-3/4 مفصلات الانضغاط (Compression Joints)

تصمم جميع مفصلات الانضغاط لتقاوم أي قوة شد ناتجة من حالات مجموعات الأحمال المذكورة في البند (10-1/5) من هذه المدونة.

10-5/1 الوصلات في المقاطع الثقيلة (Splices in Heavy Sections)

10-1/5/1 تطبق المتطلبات المذكورة في هذا البند على المقاطع المدلفنة المطابقة لمتطلبات المجموعتين الرابعة والخامسة من المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM A6/A6M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى، وعلى المقاطع المجمع المكونة من ألواح ملحومة مع بعضها والتي يزيد سمك كل منها عن (50mm)، عندما تكون هذه المقاطع معرضة لإجهادات شد أولية ناتجة من قوى شد أو عزوم انحناء ويراد عمل وصلات لها. [2,1]

10-2/5/1 عندما تنقل قوى الشد في هذه المقاطع عبر الوصلات باستعمال لحام الأخدود تام الاختراق (Complete-joint-penetration groove welds) فإنه يجب تطبيق المتطلبات التالية: [4,2,1]

10-1/2/5/1 متطلبات متانة حز المادة (Material notch-toughness) المذكورة في المواصفة الأمريكية (ASTM A6).

10-2/2/5/1 التفاصيل المذكورة في البند (10-6/1) بخصوص ثقب تسهيل عمليات اللحام.

10-3/2/5/1 التفاصيل المذكورة في البند (10-7/2) بخصوص طريقة اللحام الملائمة.

10-4/2/5/1 متطلبات التسخين المسبق المذكورة في البند (10-8/2).

10-5/2/5/1 متطلبات تحضير السطوح المقطوعة حرارياً ومعاينتها المذكورة في البند (13-2/2).

10-3/5/1 يجب تنعيم السطوح وصلها وإزالة جميع الزوائد الناتجة من أعمال اللحام عند عمل وصلات الشد لهذه المقاطع.

10-4/5/1 في حالة عمل وصلات لهذه المقاطع عندما تكون معرضة لقوى انضغاط بشكل رئيس، فإنه يجب أن تكون جميع الثقوب اللازمة لتسهيل تنفيذ أعمال اللحام الأخدودي مطابقة للمتطلبات المبينة في البند (10-6/1).

10-5/5/1 بديلاً لما ذكر آنفاً يمكن عمل وصلات الأعضاء المعرضة للانضغاط بما فيها تلك التي تتعرض للشد نتيجة أحمال الرياح أو الزلازل باستعمال تفاصيل للوصلة لا ينتج منها انفعالات انكماش كبيرة في اللحام. وتشمل مثل هذه التفاصيل استعمال اللحام الأخدودي الجزئي للشفة (Partial-joint-penetration flange groove welds) مع اللحام الزاوي (Fillet welds) أو مع المسامير الملولبة (البراغي) أو مع لحام زاوي ومسامير ملولبة (براغي) لتراكب الألواح على الوتر. [2]

10-6/1 الأفريز والثقوب الخاصة باللحام في العتبات (Beam Copes and Weld Access Holes)

من أجل تسهيل عمليات اللحام يمكن عمل ثقوب لهذا الغرض، إن طول هذه الثقوب يجب أن لا يقل عن مرة ونصف من سمك المادة التي سينفذ الثقب فيها. ويجب أن يكون ارتفاع الثقب كافياً بحيث يمكن إيصال اللحام إلى الألواح المجاورة، وأن يهيئ الثقب حيزاً كافياً يسمح بإنجاز عمليات اللحام واستيعاب زوائد اللحام (Weld tabs)، عليه إن أقل ارتفاع للثقب يكون مرة ونصف بقدر سمك المادة التي سينفذ الثقب فيها، كما إن ارتفاع الثقب يجب أن لا يقل عن (25mm) ولا يزيد عن (50mm). في المقاطع المدلفنة والمقاطع المجمعة يجب أن تكون أفريز العتبات و ثقوب تسهيل عمليات اللحام خالية من الحزوز (Notches) والأركان الحادة المرتدة (Sharp re-entrant corners). عند استعمال لحام زاوي أو لحام الأخدود ذي الاختراق الجزئي لوصل الوتر بالشفة في المقاطع المجمعة فإنه يسمح بإنهاء ثقوب تسهيل عمليات اللحام بشكل عمودي على الشفة. [2,1]

بالنسبة للمقاطع المدلفنة المطابقة لمتطلبات المجموعتين الرابعة والخامسة من المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM A6/A6M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى والمقاطع المجمعة التي يزيد سمك أجزائها عن (50mm)، فإنه يجب صقل (Grinding) السطوح المقطوعة حرارياً لكل من أفريز العتبات و ثقوب تسهيل اللحام بحيث تعطي سطحاً معدنياً لامعاً، كما يجب فحص تلك السطوح باستعمال طريقة الحبيبات المغناطيسية (Magnetic particles) أو طريقة الصبغة المخترقة (Dye penetrant). عند تشكيل الجزء الانتقالي المنحني لثقوب تسهيل اللحام وأفريز العتبات بالثقب المسبق أو باستعمال المنشار، فلا توجد حاجة لصقل هذا الجزء. بالنسبة لثقوب تسهيل اللحام وأفريز العتبات في المقاطع الأخرى فإنه لا حاجة لصقلها أو فحصها باستعمال طريقة الحبيبات المغناطيسية أو طريقة الصبغة المخترقة.

10-7/1 التحمل الأدنى للروابط (Minimum Strength of Connections)

يجب أن تصمم الروابط بحيث لا يقل التحمل التصميمي لها في أي حال من الأحوال عن (40kN)، ويستثنى من هذا الشرط التحزيم (Lacing) وقضبان الارتخاء (Sag rods) والعوارض الأفقية (Girts).

10-8/1 وضع اللحام والمسامير الملولبة (البراغي) في أماكنها (Placement of Welds and Bolts)

تصمم مجموعات اللحام أو المسامير الملولبة (البراغي) الموضوعة عند نهاية عضو ما والناقلة لقوة محورية خلال ذلك العضو، بحيث يكون مركز ثقل (Center of gravity) المجموعة منطبقاً مع مركز ثقل العضو نفسه، مالم تؤخذ اللاتمركزية بالاعتبار. ولا ينطبق هذا الشرط على الروابط الطرفية للأعضاء المكونة من زاوية منفردة أو من زاويتين أو الأعضاء المشابهة والمحملة بأحمال ساكنة. [2,1]

10-9/1 المسامير الملولة (البراغي) المشتركة مع اللحام (Bolts in Combination with Welds)

10-1/9 الأعمال الجديدة (New Works)

لا تعتبر المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل (High strength bolts) أو المسامير الملولة (البراغي) عادية التحمل المستعملة في روابط الإسناد (Bearing connections) أو روابط الانزلاق الحرج (Slip-critical connections) مشاركة للحام في مقاومة الأحمال، وبالتالي يجب تصميم اللحام لمقاومة كامل الأحمال المسلطة. [2,1]

10-2/9 أعمال التغيير (Alternations)

في حالة إجراء تغييرات على المنشأ باستعمال اللحام، تعتبر مسامير البرشام والمسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل الموجودة أصلاً في المنشأ والمشدودة بإحكام على وفق متطلبات الشد المطلوبة لروابط الانزلاق الحرج مقاومة للأحمال الموجودة وقت إجراء التغييرات، فيما يصمم اللحام المضاف ليحقق التحمل الإضافي المطلوب فقط. [2,1]

10-10/1 المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل المشتركة مع مسامير البرشام

(High Strength Bolts in Combination with Rivets)

في حالة روابط الانزلاق الحرج المستعملة في الأعمال الجديدة أو أعمال التغيير، فإن المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل تعتبر مشتركة مع مسامير البرشام في تحمل الأحمال.

10-11/1 المحددات على الروابط المثبتة بالمسامير الملولة (البراغي) أو اللحام

(Limitations on Bolted and Welded Connections)

10-11/1 يجب استعمال المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل ومسبقة الشد بالكامل، راجع الجدول (10-1/3)، أو استعمال اللحام في حالات الروابط التالية: [2,5]

10-11/1-1 وصلات الأعمدة في جميع المنشآت المرتبة أعمدها بصفوف (Tier structures) التي يساوي ارتفاعها (60m) أو أكثر.

10-11/1-2 وصلات الأعمدة في المنشآت المرتبة أعمدها بصفوف والتي يتراوح ارتفاعها بين (30m) و(60m) إذا كان البعد الأفقي الأصغر للمنشأ يقل عن (40) بالمائة من ارتفاعه.

10-11/1-3 وصلات الأعمدة في المنشآت المرتبة أعمدها بصفوف والتي يقل ارتفاعها عن (30m) إذا كان البعد الأفقي الأصغر للمنشأ يقل عن (25) بالمائة من ارتفاعه.

10-11/1-4 روابط العتبات والروافد بالأعمدة وكذلك روابط العتبات والروافد التي لها دور في تدعيم الأعمدة (Bracing) في المنشآت التي يزيد ارتفاعها عن (38m).

5/1/11/1-10 وصلات مسنمات (جملونات) السقوف وروابط المسنمات (الجملونات) بالأعمدة ووصلات الأعمدة وروابط مدعّمات الأعمدة وروابط المدعّمات الركبية (Knee braces) ومساند الارتفاعات (Cranes) وذلك في المنشآت الحاملة لارتفاعات تزيد قدرتها عن (50kN).

6/1/11/1-10 روابط مساند الآلات المتحركة أو أية أحمال حية أخرى ينتج منها صدم (Impact) أو انعكاس الإجهادات (Reversal of stress).

7/1/11/1-10 أية روابط أخرى تشترط استعمال المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل ومسبقة الشد بالكامل أو استعمال اللحام موضحة في مخططات التصميم.

2/11/1-10 يسمح باستعمال المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل والمشدودة بأسلوب (Snug- tight) أو استعمال المسامير الملولة (البراغي) عادية التحمل في جميع الحالات الأخرى غير المذكورة في الفقرة (1/11/1-10).

3/11/1-10 لأغراض هذا البند يقاس ارتفاع المنشآت المرتبة أعمدتها بصفوف من مستوى الرصيف حول المنشأ وحتى أعلى نقطة على عتبات السطح إذا كان السطح منبسّطاً، أو يقاس حتى متوسط ارتفاع السقف المائل الذي يزيد ميله عن (25) بالمائة عن المستوى الأفقي، إذا لم يمكن تحديد مستوى حافات الرصيف، أو عندما يكون المنشأ غير متصل بشارع يجب اخذ متوسط مستوى الأرض المجاورة بدلاً من حافات الأرصفة في الاعتبار. بالنسبة للبيتونة (Penthouse) فإنه بالإمكان استئناؤها عند حساب ارتفاع المنشأ.

2-10 اللحام (Welds)

إن جميع أعمال اللحام التي تصمم وتنفذ على وفق متطلبات هذه المدونة يجب أن تحقق جميع الشروط المذكورة في المواصفة الأمريكية (AWS D1.1)، [6] ما عدا الشروط المذكورة في البنود التالية:

- تطبق الشروط المذكورة في البندين (5/1-10) و (6/1-10) من هذه المدونة بدلاً من شروط البند (Section 5.17) المذكورة في المواصفة الأمريكية (AWS D1.1) لسنة 2004.
- تطبق الشروط المذكورة في البند (1/2/2-10) من هذه المدونة بدلاً من شروط البند (2.3.2) المذكورة في المواصفة الأمريكية (AWS D1.1) لسنة 2004.
- تطبق الشروط المذكورة في الجدول (2/2-10) من هذه المدونة بدلاً من شروط الجدول (2.1) المذكورة في المواصفة الأمريكية (AWS D1.1) لسنة 2004.
- تطبق الشروط المذكورة في الجدول (5/2-10) من هذه المدونة بدلاً من شروط الجدول (2.3) المذكورة في المواصفة الأمريكية (AWS D1.1) لسنة 2004.

10-1/2 لحام الأخدود (Groove Welds)

10-1/2 المساحة الفعالة (Effective Area)

إن المساحة الفعالة في حالة لحام الأخدود تحسب من ضرب الطول الفعال للحام في سمك حلق اللحام الفعال (Effective throat thickness)، ويكون الطول الفعال للحام مساوياً لعرض الجزء الملحوم بالاتجاه العمودي على اتجاه إجهاد الشد أو الضغط، أما سمك حلق اللحام الفعال فيؤخذ مساوياً للسمك الأقل لأي من الجزأين المبروتين باللحام وذلك لحالة لحام الأخدود تام الاختراق. أما لحالة لحام الأخدود ذي الاختراق الجزئي فيمكن الحصول على سمك حلق اللحام من الجدول (10-1/2). [5,3,2,1]

الجدول 10-1/2: سمك حلق اللحام الفعال لحالة لحام الأخدود ذي الاختراق الجزئي

(Effective Throat Thickness of Partial-Joint-Penetration Groove Welds)

الطريقة المستعملة في اللحام	وضع اللحام	نوع الأخدود	سمك حلق اللحام الفعال
القوس المعدني المحجب (Shielded metal arc)	جميع الأوضاع	أخدود على شكل (U)، أو (J)، أو على شكل (V) ذي زاوية (60°)	عمق الأخدود
القوس المعدني المحجب بالغاز (Gas metal arc) القوس الكهربائي لقلب اللحام (Flux-cored arc) الصهور	جميع الأوضاع	أخدود على شكل (U)، أو (J)، أو على شكل (V) ذي زاوية (60°)	عمق الأخدود
القوس المعدني المغمور (Submerged metal arc)	وضع مستوي (Flat)	أخدود على شكل (U)، أو (J)، أو على شكل (V) ذي زاوية (60°)، أو أخدود مشطوب (Bevel) ذي زاوية (60°)	عمق الأخدود
القوس المعدني المحجب بالغاز (Gas metal arc) القوس الكهربائي لقلب اللحام (Flux-cored arc) الصهور	وضع مستوي (Flat) أو وضع أفقي (Horizontal)	أخدود مشطوب (Bevel) ذي زاوية (45°)	عمق الأخدود مطروحا منه (3mm)
القوس المعدني المحجب (Shielded metal arc)	جميع الأوضاع	أخدود مشطوب (Bevel) ذي زاوية (45°)	عمق الأخدود مطروحا منه (3mm)
القوس المعدني المحجب بالغاز (Gas metal arc) القوس الكهربائي لقلب اللحام (Flux-cored arc) الصهور	وضع شاقولي (Vertical) أو وضع فوق الرأس (Overhead)	أخدود مشطوب (Bevel) ذي زاوية (45°)	عمق الأخدود مطروحا منه (3mm)

2/1/2-10 المحددات (Limitations)

إن الحد الأدنى لسمك حلق اللحام الفعال لحالة لحام الأخدود ذي الاختراق الجزئي يجب أن لا يقل عن القيمة المطلوبة لنقل القوى، وإن لا يقل بأي حال من الأحوال عن القيمة المثبتة في الجدول (2/2-10) والتي نحصل عليها بالاعتماد على قيمة السمك الأصغر للجزأين المربوطتين باللحام. ولضمان فعالية اللحام يجب اخذ الإجراءات المناسبة لتسخين الأجزاء التي ستلحم بشكل كاف قبل عملية اللحام.

الجدول 2/2-10: الحد الأدنى لسمك حلق اللحام الفعال لحالة لحام الأخدود ذي الاختراق الجزئي
(Minimum Effective Throat Thickness of Partial-Joint-Penetration Groove Welds)

الحد الأدنى لسمك حلق اللحام الفعال (mm)	السمك الأصغر لأي من الجزأين المربوطتين باللحام (mm)
3	أقل من أو يساوي (6)
5	أكبر من (6) وأقل من أو يساوي (12)
6	أكبر من (12) وأقل من أو يساوي (18)
8	أكبر من (18) وأقل من أو يساوي (38)
10	أكبر من (38) وأقل من أو يساوي (57)
13	أكبر من (57) وأقل من أو يساوي (150)
16	أكبر من (150)

2/2-10 اللحام الزاوي (Fillet Welds)

1/2/2-10 المساحة الفعالة (Effective Area)

إن المساحة الفعالة في حالة اللحام الزاوي تحسب من ضرب الطول الفعال للحام في سمك حلق اللحام الفعال. تؤخذ أقصر مسافة من جذر المفصل إلى وجه اللحام لتمثل سمك حلق اللحام الفعال، ما عدا حالة اللحام الزاوي المنفذ بطريقة القوس المعدني المغمور (Submerged arc) حيث يكون سمك حلق اللحام الفعال مساويا لساق اللحام عندما يكون مقياس اللحام (Weld size) مساويا (10mm) أو أقل ويكون مساويا لحلق اللحام النظري مضافا إليه (3mm) عندما يكون مقياس اللحام أكبر من (10mm).

أما بالنسبة لطول اللحام الفعال فيؤخذ مساويا للطول الكلي للحام الزاوي ما عدا حالات اللحام الزاوي في الثقوب والشقوق (Slots) حيث سيكون الطول الفعال هو طول الخط المركزي للحام المار داخل مستوي حلق اللحام. في حالة تراكب اللحام الزاوي (Overlapping fillets) يجب أن لا تزيد المساحة الفعالة عن مساحة المقطع الإسمية للثقب أو الشقب في مستوي السطح المحكم (Faying surface).

في حالة اللحام الزاوي الطولي الذي يوضع بشكل مواز لاتجاه الإجهاد ويقوم بنقل الحمل إلى نهاية عضو محمل محورياً (End-loaded fillet welds) يؤخذ الطول الفعال مساوياً إلى الطول الحقيقي للحام الزاوي إذا كان طول اللحام اصغر من أو مساوياً لمائة مرة بقدر مقاس اللحام (100×Weld size)، أما إذا كان طول اللحام الزاوي اكبر من هذه القيمة فإن الطول الفعال نحصل عليه من ضرب الطول الحقيقي للحام الزاوي في معامل تقليل (β) يستخرج من المعادلة التالية: [7,5,1]

$$\beta = 1.2 - 0.002 \left(\frac{L}{W} \right) \leq 1.0 \quad (1/2-10)$$

حيث أن:

L: يمثل الطول الحقيقي للحام الزاوي المحمل في النهايات، (mm).

W: يمثل مقاس اللحام، (mm).

عندما يكون طول اللحام يزيد عن ثلاثمائة مرة بقدر مقاس اللحام (300×Weld size) فإن قيمة (β) تكون مساوية (0.6).

2/2/2-10 المحددات (Limitations)

1/2/2/2-10 المقاس الأقل للحام الزاوي (Minimum Size of Fillet Welds) [5,3,2,1]

إن المقاس الأقل للحام الزاوي يجب أن لا يقل عن المقاس المطلوب لنقل القوى وان لا يقل بأي حال من الأحوال عن القيم المثبتة في الجدول (3/2-10).

الجدول 3/2-10: المقاس الأقل للحام الزاوي (Minimum Size of Fillet Welds)

المقاس الأدنى للحام الزاوي (mm)	السك الأصغر للعناصر الملحومة باللحام الزاوي (mm)
3	اقل من أو يساوي (6)
5	اكبر من (6) واقل من أو يساوي (12)
6	اكبر من (12) واقل من أو يساوي (18)
8	اكبر من (18)

2/2/2/2-10 المقاس الأكبر للحام الزاوي (Maximum Size of Fillet Welds)

1. بالنسبة للحام الزاوي على طول حافات العنصر الملحوم الذي سمكه يقل عن (6mm) فإن المقاس الأكبر يجب أن لا يزيد عن سمك العنصر نفسه.

2. بالنسبة للحام الزاوي على طول حافات العنصر الملحوم الذي سمكه يكون مساوياً (6mm) أو أكبر من ذلك فإن المقاس الأكبر يجب أن لا يزيد عن سمك العنصر نفسه مطروحاً منه (2mm)، مالم يكن مبيناً صراحة على المخططات ما هو خلاف ذلك.

10-2/2/2-3 الحد الأدنى للطول الفعال للحام الزاوي

(Minimum Effective Length of Fillet Welds)

إن الحد الأدنى للطول الفعال للحام الزاوي المصمم على أساس التحمل يجب أن لا يقل عن أربعة أمثال المقاس الإسمي للحام، أي بعبارة أخرى يجب أن لا يزيد مقاس اللحام عن ربع طوله الفعال. في حالة استعمال اللحام الزاوي الطولي لوحده في روابط النهايات لقضبان الشد المسطحة (Flat bars) فإن طول اللحام على كل جانب من جانبي العضو يجب أن لا يقل عن المسافة العمودية الفاصلة بينهما (عرض العضو المسطح). لمعرفة تأثير اللحام الزاوي الطولي المستعمل في روابط النهايات على المساحة الفعالة للعنصر الملحوم راجع الفصل (2-3) من هذه المدونة.

10-2/2/2-4 اللحام الزاوي المتقطع (Intermittent Fillet Welds)

يمكن استعمال اللحام الزاوي المتقطع لنقل الإجهادات خلال المفصل أو السطوح المتلامسة عندما يكون التحمل المطلوب أقل من التحمل الذي يجهزه اللحام الزاوي المستمر ذو الأصغر مقاس مسموح به. كذلك يستعمل في ربط أجزاء الأعضاء المجمعة (Built up members). لا يسمح باستعمال اللحام الزاوي المتقطع للأعضاء المعرضة لأحمال ديناميكية. إن الطول الفعال لأي جزء من أجزاء اللحام الزاوي المتقطع يجب أن لا يقل عن أربعة أمثال مقاس اللحام وأن لا يقل بأي حال من الأحوال عن (40mm). أما المسافة الصافية بين الطول الفعال للحام المتقطع المتسلسل أو المتفاوت فيجب أن لا تقل عن اثنتي عشرة مرة بقدر أقل سمك للأجزاء المربوطة والمعرضة للانضغاط والقص، أما في حالة الشد فيجب أن لا تقل عن ست عشرة مرة بقدر أقل سمك للأجزاء المربوطة وبالحالتين يجب أن لا تزيد عن (200mm).

10-2/2/2-5 المفاصل المتراكبة (Lap Joints)

إن مسافة التراكب يجب أن لا تقل عن خمسة أمثال السمك الأصغر لأي من الجزأين المربوطين باللحام وأن لا تقل بأي حال من الأحوال عن (25mm). في المفصل المتراكب المعرض إلى إجهادات محورية، يجب لحام الأجزاء المتراكبة على طول نهايتي الجزأين المتراكبين باستعمال لحام زاوي عرضي، إلا إذا كان الهطول للجزأين المتراكبين مقيداً بشكل كافٍ لمنع انفصال المفصل تحت تأثير الحمل الأقصى، ففي هذه الحالة يمكن وضع اللحام الزاوي على أحد الجزأين فقط.

10-2/2/2-6 نهايات اللحام الزاوي (Fillet Weld Terminations)

1. يجب تثبيت نهايات اللحام الزاوي الجانبي الذي يتوقف عند نهايات الجوانب وذلك بلفه حول الزوايا مسافة لا تقل عن ضعف المقاس الإسمي للحام. يطبق هذا الشرط على اللحامات الزاوية الجانبية

والعلوية في وصلات الكتائف (Brackets) ومساند جلوس العتبات (Beam seats) والوصلات المشابهة الأخرى.

2. في حالة استعمال لحام زاوي ذي نهايات منعطفة (End returns) في الروابط التي يتطلب تصميمها توافر القابلية للانثناء (Flexibility) في المفاصل فإن طول كل نهاية منعطفة يجب أن لا يزيد عن أربعة أمثال المقاس الإسمي للحام.

3. عند استعمال لحام زاوي لربط المجسئات العرضية (Transverse stiffeners) إلى وترة الرافدة اللوحية فإنه يجب إنهاء هذا اللحام قبل منطقة التقاء الشفة مع الوترية بحيث تكون المسافة بين نهاية هذا اللحام وحافة كعب التدوير (Toe) للحام الرابط للشفة مع الوترية لا تتجاوز ستة أمثال سمك الوترية ولا تقل عن أربعة أمثال هذا السمك. وتستنثى من هذا حالة كون نهايات المجسئات ملحومة إلى الشفة.

4. اللحام الزاوي الموضوع على جانبيين متعارضين لمستوى واحد فإنه يجب قطعه وإنهاؤه عند الركن المشترك بينهما.

7/2/2-10 اللحام الزاوي في الثقوب والشقوق (Fillet Welds in Holes and Slots)

يمكن استعمال اللحام الزاوي في الثقوب والشقوق لنقل إجهادات القص في حالة المفاصل المترابكة أو لمنع انبعاج أو انفصال الأجزاء المترابكة. كما يستعمل لربط عناصر الأعضاء المجمعة. من الضروري التمييز بين اللحام الزاوي في الثقوب والشقوق وبين اللحام السدادي ولحام الشق (Plug and slot welds) اللذين سيتطرق إليهما في البند (3/2-10).

3/2-10 اللحام السدادي ولحام الشق (Plug and slot welds)

اللحام السدادي هو لحام يوضع في ثقب دائري معمول في أحد العضوين المراد ربطهما باللحام وبالتالي يعمل على ربطهما معاً. أما لحام الشق فهو مماثل للحام السدادي عدا كون الثقب على شكل شق طولي (Elongated hole). إن اللحام السدادي ولحام الشق يستعملان مع المفاصل المترابكة فقط. وعند استعمالهما في المنشآت المعرضة إلى أحمال دورية (Cyclic loading) فإنه يجب إيلاء ذلك عناية خاصة لأن أداء هذين النوعين من اللحام في مقاومة الكلل محدود.

1/3/2-10 المساحة الفعالة (Effective Area)

إن مساحة القص الفعالة للحام السدادي ولحام الشق تؤخذ مساوية لمساحة مقطع الثقب أو الشق الإسمية في مستوي السطح المحكم.

10-2/3 المحددات (Limitations)

يمكن استعمال اللحامين السدادي والشقبي لنقل إجهادات القص في حالة المفاصل المتراكبة أو لمنع انبعاج الأجزاء المتراكبة، كما يستعملان لربط عناصر الأعضاء المجمعة. هنالك شروط واجب توافرها في هذين النوعين من اللحام وهي كالآتي: [5,2,1]

1. بالنسبة للحام السدادي فإن قطر الثقب يجب أن لا يقل عن سمك الجزء المعمول فيه الثقب مضافاً له (8mm)، وأن لا يزيد عن القطر الأصغر مضافاً له (3mm) أو عن مرتين وربع المرة بقدر سمك اللحام $(2.25 \times \text{Thickness of weld})$.
2. إن المسافة بين مراكز ثقب اللحام السدادي يجب أن لا تقل عن أربعة أمثال قطر الثقب.
3. أما بالنسبة للحام الشقبي فإن طول الشقبي يجب أن لا يزيد عن عشرة أمثال سمك اللحام، وعرض الشقبي يجب أن لا يقل عن سمك الجزء المعمول فيه الشقبي مضافاً له (8mm)، على أن لا يتجاوز العرض مرتين وربع المرة بقدر سمك اللحام $(2.25 \times \text{Thickness of weld})$.
4. كل من نهايتي الشقبي يجب أن تكون نصف دائرية أو أن تكون الأركان مدورة بنصف قطر لا يقل عن سمك الجزء المعمول فيه الشقبي، وتستثنى من ذلك النهايات المستمرة إلى حافة الجزء الموجود فيه الشقبي.
5. إن المسافة بين خطوط لحام الشقبي بالاتجاه العمودي على الاتجاه الطولي للحام يجب أن لا تقل عن أربعة أمثال عرض الشقبي. كما إن المسافة بين مراكز اللحام بالاتجاه الطولي لأي خط يجب أن لا تقل عن مرتين بقدر طول الشقبي.
6. إن سمك اللحام السدادي أو الشقبي المعمول في جزء لا يزيد سمكه عن (16mm) سيكون بقدر سمك هذا الجزء، أما إذا كان سمك الجزء المعمول فيه اللحام أكبر من (16mm) فإن سمك اللحام يجب أن لا يقل نصف قيمة هذا السمك وأن لا يقل عن (16mm).

10-2/4 التحمل (Strength)

إن التحمل التصميمي (ϕR_n) والتحمل المسموح (R_n/Ω) للحام هو القيمة الأقل من التحمل لمعدن القاعدة والتحمل لمعدن اللحام والمحسوبيين كما يلي:
بالنسبة لمعدن القاعدة

$$R_n = F_{BM} A_{BM} \quad (2/2-10)$$

بالنسبة لمعدن اللحام

$$R_n = F_w A_w \quad (3/2-10)$$

حيث أن:

F_{BM} : التحمل الإسمي لمعدن القاعدة (Base Metal)، (MPa).

F_w : التحمل الإسمي لمعدن اللحام، (MPa).

A_{BM} : مساحة المقطع لمعدن القاعدة، (mm²).

A_w : المساحة الفعالة للحام، (mm²).

إن قيم ϕ , Ω , F_{BM} , F_w والمحددات الخاصة بها يمكن الحصول عليها من الجدول (10-4/2). بديلاً لذلك فإنه يمكن تصميم اللحام الزاوي المحمل في مستوي واحد على وفق الطريقة المبينة في الملحق و.

10-5/2 التأثير المشترك لأنواع اللحام (Combination of Welds)

في حالة استعمال نوعين أو أكثر من أنواع اللحام الرئيسية (لحام الأخدود، اللحام الزاوي، اللحام السدادي، اللحام الشقبي) في مفصل واحد، فإن التحمل لكل نوع يجب أن يحسب بشكل منفصل بالنسبة لمحور المجموعة وبالتالي يمكن الحصول على التحمل للمجموعة.

10-6/2 المعدن الملائم للحام (Matching Weld Metal)

إن اختيار قطب اللحام لعمل لحام الأخدود تام الاختراق والمعرض لشد عمودي على المساحة الفعالة يجب أن يكون منطبقاً مع متطلبات مجانسة معادن اللحام المذكورة في المواصفة الأمريكية (AWS D1.1). إن معدن اللحام ذا متانة الحز (Charpy V-notch toughness CVN) المحددة بمقدار (27Joul) عند درجة حرارة (4°C) يجب استعماله في المفاصل التالية:

10-6/2-1 المفاصل على شكل (T) وزاوية (Corner) الملحومة بلحام الأخدود تام الاختراق مع وجود دعم فولاذي (Steel backing) يسند شق اللحام ويبقى في موقعة بشكل دائمي، المعرضة لشد عمودي على المساحة الفعالة، مالم يكن المفصل مصمماً بالاعتماد على التحمل الإسمي ومعامل المقاومة أو معامل الأمان بحسب تطبيقهما على لحام الأخدود ذي الاختراق الجزئي.

10-6/2-2 مفصل وصلات ملحوم بلحام الأخدود تام الاختراق المعرض لشد عمودي على المساحة الفعالة لحالة المقاطع المدلفنة المطابقة لمتطلبات المجموعتين الرابعة والخامسة من المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM A6/A6M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى والمقاطع المجموعة المكونة من ألواح ملحومة مع بعضها والتي يزيد سمك كل منها عن (50mm).

إن شهادة المطابقة التي يصدرها المصنع (Manufacturer's certificate of conformance) تعتبر دليلاً وافياً على الملائمة.

الجدول 10-4/2: تحمل اللحام (Strength of Welds) [7,1]

نوع اللحام والإجهاد المسلط ⁽⁵⁾	المادة	F	W	التحمل الإسمي ⁽⁶⁾ F _w أو F _{BM}	متطلبات معدن التحشية ^(2, 1) (Filler Metal Requirements)
لحام الأخدود تام الاختراق (Complete-joint-penetration groove welds)					
شد عمودي على المساحة الفعالة				تحمل المفصل يكون محكوماً بتحمل معدن القاعدة	يجب أن يكون لمعدن التحشية قابلية تحمل المعدن الملحوم نفسها. بالنسبة لمتطلبات متانة الحز (CVN) راجع الملاحظة (3) في نهاية الجدول.
انضغاط عمودي على المساحة الفعالة				تحمل المفصل يكون محكوماً بتحمل معدن القاعدة	يمكن استعمال معدن تحشية له قابلية تحمل المعدن الملحوم نفسها أو تقل عنها بمستوي تحمل واحد.
شد أو انضغاط مواز لمحور اللحام				في حالة وجود شد أو انضغاط في الأجزاء المربوطة موازٍ للحام فلا تؤخذ بنظر الاعتبار في تصميم اللحام الذي يربط هذه الأجزاء.	يمكن استعمال معدن تحشية له قابلية تحمل المعدن الملحوم نفسها أو تقل عنها.
قص				تحمل المفصل يكون محكوماً بتحمل معدن القاعدة	يجب أن يكون لمعدن التحشية قابلية تحمل المعدن الملحوم نفسها.
لحام الأخدود ذو الاختراق الجزئي (Partial-joint-penetration groove welds) متضمن لحام الأخدود المشطوب المتوهج (Flare bevel groove) ولحام الأخدود على شكل V المتوهج (Flare V groove)					
شد عمودي على المساحة الفعالة	القاعدة	0.88	1.70	F _y	يمكن استعمال معدن تحشية له قابلية تحمل المعدن الملحوم نفسها أو تقل عنها.
	اللحام	0.78	1.92	0.60F _{EXX}	
انضغاط (استناد العمود على لوح قاعدة ووصلات الأعمدة المصممة بحسب الفقرة 10-1/4 من هذه المدونة)	القاعدة	0.88	1.70	F _y	
	اللحام	0.78	1.92	0.60F _{EXX}	
انضغاط (روابط الاعضاء المصممة لكي تستند عدا الاعمة كما موضح في الفقرة 10-2/4 من هذه المدونة)	القاعدة	0.88	1.70	F _y	
	اللحام	0.78	1.88	0.90F _{EXX}	
شد أو انضغاط موازٍ لمحور اللحام	القاعدة	0.88	1.70	F _y	
	اللحام	0.78	1.88	0.90F _{EXX}	
قص	القاعدة	0.73	2.04	0.60F _{EXX}	
	اللحام	0.73	2.04	0.60F _{EXX}	

تتمة الجدول 4/2-10

نوع اللحام والإجهاد المسلط ⁽⁵⁾	المادة	F	W	التحمل الإسمي ⁽⁶⁾ F _w أو F _{BM}	متطلبات معدن التحشية ^(2, 1) (Filler Metal Requirements)
(Fillet welds) اللحام الزاوي					
قص	القاعدة	محكوم بالفصل (4-10) من هذه المدونة			يمكن استعمال معدن تحشية له قابلية تحمل المعدن الملحوم نفسها أو نقل عنها.
	اللحام	0.73	2.04	0.60F _{EXX} ⁽⁴⁾	
	شد او انضغاط موازٍ لمحو اللحام	في حالة وجود شد أو انضغاط في الأجزاء المربوطة بشكل موازٍ للحام فلا تؤخذ بنظر الاعتبار في تصميم اللحام الذي يربط هذه الأجزاء.			
(Plug or slot welds) اللحام السدادي أو لحام الشق					
قص موازٍ للسطوح المحكمة (على المساحة الفعالة)	القاعدة	محكوم بالفصل (4-10) من هذه المدونة			يمكن استعمال معدن تحشية له قابلية تحمل المعدن الملحوم نفسها أو نقل عنها.
	اللحام	0.73	2.04	0.60F _{EXX}	
(1) بالنسبة لملائمة معدن اللحام راجع البند (Section 3.3) من المواصفة الأمريكية (AWS D1.1) لسنة 2004. (2) يمكن استعمال معدن تحشية ذي قابلية تحمل اكبر بمستوى واحد من قابلية تحمل المعدن الملحوم. (3) بالنسبة للمفاصل على شكل (T) وزاوية الملحومة بلحام الأخدود التام الاختراق مع وجود دعم فولاذي (Steel backing) يسند شق اللحام ويبقى في موقعة بشكل دائمى فانه يجب أن يحقق معدن التحشية الحد الأدنى لمتطلبات متانة الحز (CVN) ذات المقدار (27Joul) عند درجة حرارة (4°C). في حالة استعمال معدن تحشية بدون الرجوع إلى متطلبات متانة الحز مع بقاء الدعم الفولاذي في موقعه فان أبعاد المفصل يجب أن تصمم بالاعتماد على قيم معامل المقاومة او معامل الأمان والتحمل الإسمي الخاصة بلحام الأخدود ذي الاختراق الجزئي. (4) بالنسبة للتحمل البديل راجع الملحق و. (5) بالنسبة لتعريف المساحة الفعالة راجع الفصل 2-10 والفصل 4-10 من هذه المدونة. (6) F_{EXX}: رقم تصنيف قطب اللحام (MPa) , F_y: إجهاد الخضوع المحدد الادنى للفولاذ المستعمل (MPa).					

7/2-10 معدن اللحام المختلط (Mixed Weld Metal)

يجب أن تكون معادن اللحام المختلطة في المفصل متلائمة مع بعضها بشكل يضمن تحقق متانة الحز المحددة لمعدن اللحام الخليط بغض النظر عن الطريقة التي تمت بها عملية اللحام سواء أنجز المفصل بطريقة اللحام النقطي (Tack weld) أو بطريقة اللحام المتصل المنفذ بتمريرة واحدة (Root pass) أو بتمريرات متتالية (Subsequent passes).

8/2-10 التسخين المسبق للمقاطع الثقيلة (Preheat for Heavy Shapes)

بالنسبة للمقاطع المدلفنة المطابقة لمتطلبات المجموعتين الرابعة والخامسة من المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM A6/A6M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى والمقاطع المجمعة المكونة من ألواح ملحومة مع بعضها والتي يزيد سمك كل منها عن (50mm) والتي يراد عمل وصلات فيها باستعمال اللحام

الأخدودي فانه يجب تسخين هذه المقاطع إلى درجة حرارة لا تقل عن (175°C) قبل إجراء اللحام الأخدودي. [2,1]

10-3 المسامير الملولبة (البراغي) والأجزاء المسننة (Bolts and Threaded Parts)

10-3/1 المسامير الملولبة (البراغي) عالية التحمل (High Strength Bolts)

إن المسامير الملولبة (البراغي) عالية التحمل هي المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة لمتطلبات المواصفات الأمريكية (ASTM A325) أو (ASTM A490) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى.

عند استعمال مسامير ملولبة (براغ) مطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A449) أو ما يعادلها في المواصفات العالمية الأخرى في روابط الشد وروابط القص من نوع الاسناد، وكان الأمر يتطلب شدها الى مقدار يفوق (50) بالمائة من تحمل الشد الأدنى، فانه يجب تركيب حلقة معدنية (واشر) مقواة (Hardened washer) مطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM F436) تحت رأس المسمار الملولب (البراغي)، وان تحقق الصامولة متطلبات المواصفة الأمريكية (ASTM A563) أو ما يعادلها من المواصفات الأخرى. جميع المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة لمتطلبات المواصفات الأمريكية (ASTM A325 or A325M) أو (ASTM A490 or A490M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى يجب أن تشد بحيث تكون قوة الشد في المسمار الملولب (البراغي) لا تقل عن القيم المعطاة في الجدول (10-3/1)، باستثناء الحالات التي سيشار إليها لاحقاً. إن المسامير الملولبة (البراغي) المشدودة بأسلوب (Snug-tight) تستعمل لحالتين الأولى هي حالة روابط الإسناد التي يكون فيها الانزلاق بين الأجزاء مسموحاً به، والثانية هي حالة المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A325 or A325M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى المستعملة في المواقع التي تتكون فيها إجهادات شد أو إجهادات مشتركة للقص والشد وعندما يكون الفك أو الكلل الناتج من الاهتزازات أو تذبذب الأحمال ليست ضمن اعتبارات التصميم. إن حالة الشد (Snug-tight) نحصل عليها إما بواسطة عمل عدة صدمات باستعمال مفتاح المسامير الملولبة (البراغي) الصدمي (Impact wrench) أو بواسطة المجهود الكامل المبذول من قبل عامل يستعمل مفتاح المسامير الملولبة (البراغي) من نوع (Spud wrench)، وبالتالي تكون الأجزاء مربوطة مع بعضها بثبات. ان قيم التحمل الإسمي المذكورة في الجدول (10-3/5) يجب أن تستعمل لحالة المسامير الملولبة (البراغي) المشدودة بأسلوب (Snug-tight). في حالة المسامير الملولبة (البراغي) المراد شدها بأسلوب (Snug-tight) فان ذلك يجب أن يثبت بوضوح في المخططات التصميمية والتنفيذية.

عند استعمال مسامير ملولبة (براغ) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A490 or A490M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى، وبقطر يزيد عن (25mm) في ثقوب شقبية (Slots) أو موسعة

(Oversize) فان حلقة معدنية (واشر) مقواة مفردة مطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM F436) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى يجب أن تستعمل بدلاً من الحلقة معدنية (الواشر) القياسية، ماعدا حالة أن يكون سمكها الأقل (8mm).

في حالة روابط الانزلاق الحرج التي يكون فيها اتجاه التحميل باتجاه حافة الجزء المربوط فانه يجب أن يكون تحمل الإسناد التصميمي المجهز بالاعتماد على متطلبات البند (10-10/3) ذا قيمة كافية.

الجدول 10-1/3: الحد الأدنى لقوة الشد المسبق في المسمار الملولب (البرغي) (kN) [7⁽¹⁾، 1]
(Minimum Bolt Pretension)

مقاس المسمار الملولب (البرغي) (mm)	المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A325M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى	المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A490M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

(1) تساوي (0.7) من الحد الأدنى لتحمل المسمار الملولب (البرغي) للشد مقرب لأقرب (kN) كما هي محددة في المواصفة الأمريكية (ASTM) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى.

10-2/3 احجام الثقوب واستعمالها (Size and Use of Holes)

إن المقاسات العظمى لثقوب المسامير الملولبة (البراغي) ومسامير البرشام معطاة في الجدول (10-2/3)، تستثنى من ذلك حالة قضبان التثبيت المسننة ذات النهايات المعقوفة (Anchor rods) المثبتة لقواعد الأعمدة المسندة على الخرسانة حيث يسمح باستعمال ثقوب بمقاس اكبر. أما بخصوص استعمالات كل نوع من أنواع الثقوب ومحدداتها فهي كما يلي:

10-1/2/3 الثقوب القياسية (Standard Holes)

الثقوب القياسية يجب أن تستعمل في ربط عضو بآخر، مالم يسمح المصمم باستعمال الثقوب الموسعة أو الشقوق الطويلة أو القصيرة في روابط المسامير الملولبة (البراغي). يمكن استعمال رقائص اصبعية (Finger shims) لحد سمك (6mm) في روابط الانزلاق الحرج المصممة لحالة كون الثقوب قياسية، من دون تقليل تحمل القص الإسمي للرابط.

10-2/3 الثقوب الموسعة (Oversized Holes)

يسمح باستعمال الثقوب الموسعة في أي عضو أو في جميع الأعضاء المشتركة في روابط الانزلاق الحرج ولا يجوز استعمالها في حالة روابط الإسناد. يجب استعمال حلقات معدنية (واشرات) مقواة فوق الثقوب الموسعة على السطح الخارجي من الأعضاء الخارجية المشتركة في الروابط.

10-3/2 الثقوب الشقبيّة القصيرة (Short-Slotted Holes)

يسمح باستعمال الثقوب الشقبيّة القصيرة في أي عضو أو في جميع الأعضاء المشتركة في روابط الانزلاق الحرج أو روابط الإسناد. في حالة روابط الانزلاق الحرج يسمح بوضع الفتحة بأي اتجاه بغض النظر عن اتجاه الحمل في حين يجب وضع طول الثقب الشقبي بشكل عمودي على اتجاه الحمل في حالة روابط الإسناد. يجب استعمال حلقات معدنية (واشرات) فوق الثقوب الشقبيّة القصيرة على السطح الخارجي من الأعضاء الخارجية على أن تكون هذه الحلقات المعدنية (واشرات) من نوع الحلقات المعدنية المقواة في حالة استعمال براغ عالية التحمل.

10-4/2 الثقوب الشقبيّة الطويلة (Long-Slotted Holes)

يسمح باستعمال الثقوب الشقبيّة الطويلة في عضو واحد فقط من الأعضاء المشتركة في روابط الانزلاق الحرج أو روابط الإسناد عند أحد سطوح التلامس. في حالة روابط الانزلاق الحرج يسمح بوضع الفتحة بأي اتجاه بغض النظر عن اتجاه الحمل في حين يجب وضع طول الثقب الشقبي بشكل عمودي على اتجاه الحمل في حالة روابط الإسناد. عند استعمال الثقوب الشقبيّة الطويلة في العضو الخارجي فإنه يجب وضع حلقات معدنية (واشرات) لوحية (Plate washers) أو لوح مستمر (Continuous bar) ذي ثقوب قياسية، على أن يكون الحجم كافياً لتغطية الشقب الطولي بالكامل بعد التركيب. في حالة الروابط التي يستعمل فيها مسامير ملولبة عالية التحمل فإن الحلقات المعدنية (الواشرات) اللوحية أو القضبان المستمرة يجب أن تكون بسمك لا يقل عن (8mm) ولا حاجة لأن تكون من النوع المقوى (Hardened). عند استعمال حلقات معدنية (واشرات) مقواة مع المسامير الملولبة (البراغي) عالية التحمل فإنها يجب أن توضع فوق السطح الخارجي للحلقة المعدنية (الواشر) اللوحي أو اللوح المستمر.

10-3/3 المسافات الأقل للتباع (Minimum Spacing)

إن المسافة بين مراكز الثقوب القياسية أو الموسعة أو الشقبيّة يجب أن لا تقل عن (3d)، [4] حيث أن (d) تمثل القطر الإسمي للمثبت (Fastener). راجع البند (10-10/3) من هذه المدونة الخاص بمتطلبات تحمل الإسناد في ثقوب المسامير الملولبة (البراغي).

10-4 أقل مسافة لحافة الجزء المربوط (Minimum Edge Distance)

إن المسافة من مركز الثقب القياسي إلى حافة الجزء المربوط بأي اتجاه يجب أن لا تقل عن القيمة المستخرجة من الجدول (10-3/3) أو القيمة المطلوبة بحسب البند (10-10/3) من هذه المدونة. أما المسافة من مركز الثقب الموسع أو الثقب الشقبي إلى حافة الجزء المربوط، فيجب أن لا تقل عن القيمة المطلوبة لحالة الثقب القياسي مضافاً لها المقدار (C2) الذي نحصل عليه من الجدول (10-4/3). راجع البند (10-10/3) من هذه المدونة الخاص بمتطلبات تحمل الإسناد في ثقب المسامير الملولة (البرغي).

10-5 أكبر تباعد ومسافة لحافة الجزء المربوط (Maximum Spacing and Edge Distance)

إن اقرب مسافة بين مركز الفتحة لأي مسمار ملولب (برغي) أو مسمار برشام والحافة للأجزاء المربوطة يجب أن لا تزيد عن (12) مرة بقدر سمك الجزء المربوط المعني على أن لا تزيد عن (150mm). إن المسافة بالاتجاه الطولي بين الروابط (Connectors) التي تربط عنصرين متماسين بشكل مستمر (لوح ومقطع إنشائي أو لوحين) يجب أن تؤخذ كما يلي:

10-5/3-1 لحالة الأعضاء المعرضة للانضغاط فإن المسافة بالاتجاه الطولي بين الروابط يجب أن لا تزيد عن (14) مرة بقدر سمك اللوح الانحف على أن لا تزيد عن (180mm).

10-5/3-2 لحالة الأعضاء المعرضة للشد فإن المسافة بالاتجاه الطولي بين الروابط يجب أن لا تزيد عن (14) مرة بقدر سمك اللوح الانحف على أن لا تزيد عن (180mm) بالنسبة للصفوف الخارجية أما للصفوف الداخلية فيجب أن لا تزيد عن (28) مرة بقدر سمك اللوح الانحف على أن لا تزيد عن (360mm).

10-6 تحمل الشد أو القص (Tension or Shear Strength)

إن تحمل الشد أو القص التصميمي (ϕR_n) وتحمل الشد أو القص المسموح به (R_n/Ω) للمسامير الملولب (البرغي) عالي التحمل أو للجزء المسنن (Threaded part) يحسبان كما يلي: [1]

$$R_n = F_n A_b \quad (10-1/3)$$

ϕ : معامل المقاومة ($\phi = 0.73$) (LRFD)

Ω : معامل الأمان ($\Omega = 2.04$) (ASD)

F_n : إجهاد الشد الإسمي F_{nt} أو إجهاد القص الإسمي F_{nv} ، يؤخذ من الجدول (10-5/3)، (MPa).

A_b : المساحة الإسمية لمقطع الجسم غير المسنن للمسامير الملولب (البرغي) أو العضو المسنن (أما

بالنسبة للقضبان المغلظة (Upset bars) راجع الملاحظة (3) في الجدول (10-5/3)، (mm²).

إن تحمل الشد المطلوب يجب أن يتضمن أي شد ناتج من فعل الخلع (Prying action) المتولد نتيجة التشوهات الحاصلة في الأجزاء المربوطة.

الجدول 10-2/3: الأبعاد الإسمية لثقوب المسامير الملولبة (البراغي)، (mm). [3,2]

(Nominal Bolts' Holes Dimensions)

أبعاد الثقوب				قطر المسمار الملولب (البرغي) (mm)
شقب طويل (الطول × العرض)	شقب قصير (الطول × العرض)	موسع (القطر)	قياسي (القطر)	
18×40	18×22	20	18	M16
22×50	22×26	24	22	M20
24×55	24×30	28	24	M22
27×60	27×32	30	27	M24
30×67	30×37	35	30	M27
33×75	33×40	38	33	M30
(d+3)×(2.5d)	(d+3)×(d+10)	d+8	d+3	≥M36

الجدول 10-3/3: أقل مسافة حافة (mm)، مقاسة من مركز الثقب القياسي⁽¹⁾ إلى حافة الجزء المربوط

(Minimum Edge Distance from Center of Standard Hole to Edge of Connected Part) [8,3,2]

القطر الإسمي للبرشام أو المسمار الملولب (البرغي) (mm)	عند الحافات المقصوصة	عند الحافات المدلفنة للألواح والمقاطع الإنشائية والقضبان أو الحافات المقطوعة حرارياً (2)
16	28	24
20	34	30
22	38	33
24	42	36
27	48	41
30	52	45
36	64	54
أكبر من 36	1.75d	1.5d

(1) في حالة الفتحات الموسعة أو الشقبيّة راجع الجدول 10-4/3. (2) إن جميع قيم مسافات الحافة الموجودة في هذا العمود يسمح بتقليلها بمقدار (3mm) عندما يكون التحمل المطلوب في المنطقة الموجودة فيها الفتحة لا يزيد عن (25) بالمائة من التحمل الأعظم للعنصر.

الجدول 10-4/3: قيم الزيادة في مسافة الحافة C2 في حالة الثقوب الموسعة والشقبيّة، (mm).

(Values of Edge Distance Increment C2) [8,3,2]

الثقوب الشقبيّة			القطر الإسمي للمثبت (mm)	
المحور الطولي موازٍ للحافة	المحور الطولي عمودي على الحافة			
	ثقب شقب قصير	ثقب شقب طويل ⁽¹⁾		
0	0.75d	3	2	اصغر من أو يساوي(22)
		3	3	24
		5	3	اكبر من أو يساوي(27)
(1) عندما يكون طول الشقب اقل من الطول الأعظم المسموح به (راجع الجدول 10-2/3) فانه يسمح بتقليل قيمة C2 بقدر نصف الفرق بين الطول الأعظم و الطول الحقيقي للشقب.				

الجدول 10-5/ الإجهاد الإسمي للمثبتات والأجزاء المسننة
(Nominal Stress of Fasteners and Threaded Parts),(MPa)

إجهاد القص الإسمي في الروابط من نوع الإسناد F_{nv} (MPa)	إجهاد الشد الإسمي F_{nt} (MPa)	وصف المثبتات
165 ^(6,5,2)	310 ^(6,1)	المسامير الملولبة (البراغي) عادية التحمل ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A307) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى.
330 ⁽⁵⁾	620 ⁽⁴⁾	المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A325 or A325) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى عندما يكون مستوي القص ماراً بالجزء المسنن.
372 ⁽⁵⁾	620 ⁽⁴⁾	المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A325 or A325M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى عندما لا يكون مستوي القص ماراً بالجزء المسنن.
414 ⁽⁵⁾	780 ⁽⁴⁾	المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A490 or A490M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى عندما يكون مستوي القص ماراً بالجزء المسنن.
468 ⁽⁵⁾	780 ⁽⁴⁾	المسامير الملولبة (البراغي) ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A490 or A490M) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى عندما لا يكون مستوي القص ماراً بالجزء المسنن.
0.40F _u	0.75F _u ^(3,1)	الأجزاء المسننة ذات الخواص المطابقة لمتطلبات البند 1-4/3 من هذه المدونة, عندما يكون مستوي القص ماراً بالجزء المسنن.
0.50F _u ^(3,1)	0.75F _u ^(3,1)	الأجزاء المسننة ذات الخواص المطابقة لمتطلبات البند 1-4/3 من هذه المدونة, عندما لا يكون مستوي القص ماراً بالجزء المسنن.
172 ⁽⁵⁾	310 ⁽¹⁾	مسامير البرشام ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A502 Gr. 1) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى, والتي يستعمل التسخين في أثناء سوقها (Hot-Driven).
228 ⁽⁵⁾	414 ⁽¹⁾	مسامير البرشام ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A502 Gr. 2 & 3) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى, والتي يستعمل التسخين في أثناء سوقها (Hot-Driven).
(1) حمل ساكن فقط. (2) يسمح بمرور مستويات القص بالجزء المسنن (3) إن تحمل الشد الإسمي للجزء المسنن لقضيب مغلط (Upset rod) بالاعتماد على مساحة المقطع عند القطر الرئيس للسن (A_D) يجب أن يكون أكبر من حاصل ضرب (F_y) في مساحة المقطع الإسمية قبل عملية التغليظ. (4) بالنسبة للمسامير الملولبة (البراغي) عالية التحمل والمعرضة لحمل الكلال الناتج من الشد راجع الملحق (Appendix 3) من المواصفة الأمريكية (AISC) لسنة 2005. (5) إن هذه القيم تخفض بمقدار (20) بالمائة عند استعمال روابط من نوع الإسناد في عمل الوصلات لأعضاء الشد عندما يكون توزيع الروابط يجعل مسافة الربط بالاتجاه الموازي لخط فعل القوة تزيد عن (1270mm). (6) بالنسبة للمسامير الملولبة (البراغي) عادية التحمل ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A307) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى فإن قيم الجدول يجب أن تقلل بحسب البند (10-11/3).		

10-7/3 التأثير المشترك للشد والقص في الروابط من نوع الإسناد

(Combined Tension and Shear in Bearing-Type Connections)

إن تحمل الشد التصميمي (ϕR_n) وتحمل الشد المسموح به (R_n/Ω) للمسامير الملولة (البراغي) المعرضة للتأثير المشترك للشد والقص يحسبان كما يلي: [1]

$$R_n = F'_{nt} A_b \quad (2/3-10)$$

ϕ : معامل المقاومة ($\phi = 0.73$) (LRFD)

Ω : معامل الأمان ($\Omega = 2.04$) (ASD)

A_b : المساحة الإسمية لمقطع الجسم غير المسنن للمسمار الملول (البرغي) أو العضو المسنن (أما بالنسبة للقضبان المغلطة (Upset bars) راجع الملاحظة (3) في الجدول (10-5/3))، (mm²).
 F'_{nt} : إجهاد الشد الإسمي المعدل بإدخال تأثير إجهاد القص (MPa)، ويحسب من إحدى المعادلتين التاليتين: [1]

1. عند التصميم بالاعتماد على الأحمال المعاملة: (LRFD)

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \quad (3/3-10)$$

2. عند التصميم بالاعتماد على الأحمال الخدمية (ASD):

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{\Omega F_{nt}}{F_{nv}} f_v \leq F_{nt} \quad (4/3-10)$$

F_{nt} : إجهاد الشد الإسمي، يؤخذ من الجدول (10-5/3)، (MPa).

F_{nv} : إجهاد القص الإسمي، يؤخذ من الجدول (10-5/3)، (MPa).

f_v : إجهاد القص المطلوب، (MPa).

إن إجهاد القص المطلوب الناتج من الأحمال المعاملة يجب أن لا يزيد عن قيمة تحمل القص التصميمي، كذلك إن إجهاد القص المطلوب الناتج من الأحمال الخدمية يجب أن لا يزيد عن قيمة تحمل القص المسموح به. راجع البند (10-6/3) بخصوص حساب تحمل القص التصميمي أو تحمل القص المسموح به.

10-8/3 المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل في روابط الانزلاق الحرج

(High Strength Bolts in Slip-Critical Connections)

إن تصميم المسامير الملولة (البراغي) عالية التحمل في حالة روابط الانزلاق الحرج يجب أن يكون على وفق ما تشترطه الفقرة (10-8/3-1) أو الفقرة (10-8/3-2)، وإن تدقيق القص يكون بحسب ما يشترطه

البند (6/3-10) والبند (7/3-10)، أما تدقيق إجهاد الإسناد فانه يكون بحسب ما يشترطه البند (10/3-10) والبند (10/3-10).

10/3-1/8 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال المعاملة (Slip-Critical Connections Designed at Factored Loads)

إن مقاومة الانزلاق التصميمية لكل مسمار ملولب (ϕr_{str}) يجب أن تكون مساوية أو اكبر من القوة في كل مسمار ملولب والناجمة من الأحمال المعاملة المسلطة. إن قيمة (r_{str}) تحسب من المعادلة التالية:

$$r_{str} = 1.13 m T_b N_s \quad (5/3-10)$$

حيث إن:

T_b : المقدار الأقل لقوة الشد في المثبت بحسب الجدول (10/3-1)، (kN).

N_s : عدد مستويات الانزلاق

m : معدل معامل الانزلاق ويحدد بالاعتماد على نوع السطح (الصنف أ، الصنف ب، الصنف ج) أو يمكن الحصول عليه من الفصوص. إن أصناف السطوح ومعدل معامل الانزلاق لكل منها سيكون كما يلي: [8,1]

الصنف أ: هي السطوح الفولاذية غير المصبوغة النظيفة والمهذبة والمستوية أو السطوح الفولاذية من الصنف أ والمغطاة بفولاذ مهذب بالعصف (Blast-cleaned steel)، إن معدل معامل الانزلاق لهذا الصنف هو ($m=0.33$).

الصنف ب: هي سطوح الفولاذ المهذبة بالعصف (Blast-cleaned steel) غير المصبوغة أو السطوح من الصنف ب المهذبة بالعصف (Blast-cleaned steel) إن معدل معامل الانزلاق لهذا الصنف هو ($m=0.50$).

الصنف ج: هي السطوح الخشنة والسطوح الفولاذية المغلونة بالتغطيس الحار (Hot-dipped galvanized)، إن معدل معامل الانزلاق لهذا الصنف هو ($m=0.35$).

ϕ : معامل المقاومة وتكون قيمته في حالة الثقوب القياسية ($\phi = 0.85$)، أما في حالة الثقوب الموسعة والثقوب الشقبيية القصيرة فتكون قيمته ($\phi = 0.75$)، وبالنسبة لحالة الثقوب الشقبيية الطويلة العمودية على اتجاه الحمل فإن القيمة تكون ($\phi = 0.60$)، أما إذا كانت الثقوب الشقبيية الطويلة بموازاة اتجاه الحمل فإن القيمة تكون ($\phi = 0.50$). [8,1]

يمكن استعمال رقائق اصبعية (Finger shims) لحد سمك (6mm) في روابط الانزلاق الحرج المصممة لحالة كون الثقوب قياسية، من دون تقليل إجهاد القص التصميمي للمثبت.

2/8/3-10 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال الخدمية
(Slip-Critical Connections Designed at Service Loads)

راجع البند (و-1/1/2) في الفصل (و-2) / الملحق (و).

9/3-10 التأثير المشترك للتشد والقص في روابط الانزلاق الحرج
(Combined Tension and Shear in Slip-Critical Connections)

إن تصميم روابط الانزلاق الحرج المعرضة إلى قوى شد يجب أن يكون بحسب ماتشترطه الفقرتان (1/9/3-10) و (1/8/3-10) أو الفقرتان (2/9/3-10) و (2/8/3-10) من هذه المدونة.

1/9/3-10 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال المعاملة
(Slip-Critical Connections Designed at Factored Loads)

عندما تكون روابط الانزلاق الحرج معرضة إلى قوة شد (T_u) فإن هذه القوة سوف تؤثر على قوة الكلاب الصافية (Net clamping force) وتؤدي إلى تقليلها، ولذلك فإن مقاومة الانزلاق (ϕr_{str}) المحسوبة على وفق الفقرة (1/8/3-10) يجب أن تضرب بالعامل (k_s) التالي: [1]

$$k_s = 1 - \frac{T_u}{1.13 T_b N_b} \quad (6/3-10)$$

حيث أن:

T_b : المقدار الأدنى لقوة الشد المسبق في المسمار الملولب (البرغي)، يؤخذ من الجدول (1/3-10)،
(kN).

N_b : عدد المسامير الملولة (البراغي) المسلطة عليها قوة الشد المعاملة (T_u).

2/9/3-10 تصميم روابط الانزلاق الحرج بالاعتماد على الأحمال الخدمية
(Slip-Critical Connections Designed at Service Loads)

راجع الفقرة (و-1/2/2) في الملحق (و).

10/3-10 تحمل الإسناد في ثقوب المسامير الملولة (البراغي)
(Bearing Strength at Bolt Holes)

إن تحمل الإسناد يجب أن يدقق في كل الأحوال سواء كانت الروابط من نوع الإسناد أو روابط الانزلاق الحرج. إن استعمال الثقوب الموسعة أو الشقبية القصيرة والطويلة التي تكون موازية لاتجاه القوة المسلطة يكون حصرياً لحالة روابط الانزلاق الحرج فقط، راجع البند (2/3-10) من هذه المدونة. إن تحمل الإسناد التصميمي (ϕR_n) وتحمل الاسناد المسموح (R_n/Ω) في ثقوب المسامير الملولة (البراغي) يحسب من إحدى الحالات التالية:

10-3/10/1 في حالة المسمار الملولب (البرغي) المار بثقب قياسي، موسع، شقب قصير بغض النظر عن اتجاه الحمل المسلط أو بشقب طويل عندما يكون الشقب موازياً لاتجاه قوة الإسناد فانه:
10-3/10/1 في حالة كون التشوهات الحاصلة في ثقب المسمار الملولب (البرغي) في مرحلة الحمل الخدمي هي من الاعتبارات التصميمية ستكون: [1]

$$R_n = 1.2L_c t F_u \leq 2.4 d t F_u \quad (7/3-10)$$

10-3/10/2 في حالة كون التشوهات الحاصلة في ثقب المسمار الملولب (البرغي) في مرحلة الحمل الخدمي ليست من الاعتبارات التصميمية ستكون: [1]

$$R_n = 1.5L_c t F_u \leq 3.0 d t F_u \quad (8/3-10)$$

10-3/10/2 في حالة المسمار الملولب (البرغي) المار بثقب شقب طويل عمودي على اتجاه الحمل المسلط فانه: [1]

$$R_n = 1.0L_c t F_u \leq 2.0 d t F_u \quad (9/3-10)$$

10-3/10/3 في حالة المسمار الملولب (البرغي) الذي يخترق بشكل كامل عضواً صندوقياً غير مقوى أو عضواً أنشائياً مجوفاً، راجع الفصل (10-7) والمعادلة (10-7/1).
 حيث أن:

ϕ : معامل المقاومة ($\phi = 0.73$) (LRFD)

Ω : معامل الأمان ($\Omega = 2.04$) (ASD)

F_u : تحمل الشد الأدنى المحدد للمادة المربوطة، (MPa).

L_c : المسافة الصافية باتجاه القوة بين حافة الثقب وحافة الثقب المجاور له أو حافة المادة، (mm).

d : القطر الإسمي للمسمار الملولب (البرغي)، (mm).

t : سمك المادة المربوطة، (mm).

إن مقاومة الإسناد لمنظومة الروابط تساوي مجموع مقاومات الإسناد للمسامير الملولة (البراغي) المكونة للمنظومة.

10-3/11 المقابض الطويلة (Long Grips)

إن المسامير الملولة (البراغي) عادية التحمل ذات الخواص المطابقة للمواصفة الأمريكية (ASTM A307) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى والتي يزيد فيها طول المقابض عن خمسة أمثال القطر فانه يجب تقليل قيمة الإجهاد المأخوذة من الجدول (10-3/5) بنسبة (1) بالمائة لكل زيادة (2mm) في طول المقبض.

10-4 العناصر المتأثرة بالأعضاء المرتبطة بها والعناصر الرابطة

(Affected Elements of Members and Connecting Elements)

يتناول هذا الفصل تصميم عناصر الربط، مثل الألواح، وألواح التجميع، والزوايا، والكثائف والحيز في مناطق الالتقاء.

10-4/1 تحمل العناصر في حالة الشد (Strength of Elements in Tension)

إن التحمل التصميمي (ϕR_n) والتحمل المسموح R_n / Ω للعناصر المتأثرة والرابطة والمحملة في حالة الشد، يكون مساويا الى القيمة الدنيا المتحصل عليها من القيمة العظمى لإجهاد الخضوع في الشد (Limit state of tension yielding) وإجهاد تمزق الشد (Tension rupture). [1]

- في حالة خضوع الشد للعناصر الرابطة:

$$R_n = F_y A_g \quad (10-4/1)$$

$$\phi = 0.88 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.70 \text{ (ASD)}$$

- في حالة تمزق الشد للعناصر الرابطة:

$$R_n = F_u A_e \quad (10-4/2)$$

$$\phi = 0.73 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.04 \text{ (ASD)}$$

حيث أن:

A_e : المساحة الصافية الفعالة والمعرفة في الباب 2 من هذه المدونة (mm^2)، الخاصة بالألواح الوصلات المربوطة بالمسامير الملولبة (البراغي)، $A_e = A_n \leq 0.85 A_g$.

10-4/2 تحمل العناصر في حالة القص (Strength of Elements in Shear)

إن تحمل خضوع القص للعناصر المتأثرة والرابطة في حالة القص، يجب ان يتحصل عليه من القيمة العظمى لخضوع القص (Limit state of shear yielding) وتمزق القص (Shear rupture) ايهما الاقل: [1]

- في حالة خضوع القص للعنصر:

$$R_n = 0.6 F_y A_g \quad (10-4/3)$$

$$\phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.53 \text{ (ASD)}$$

- في حالة تمزق القص للعنصر:

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} \quad (4/4-10)$$

$$\phi = 0.73(\text{LRFD}) \quad \Omega = 2.04(\text{ASD})$$

حيث أن:

A_{nv} : المساحة الصافية المعرضة للقص، (mm^2) .

10-4/3 تحمل كتلة القص (Block Shear Strength)

إن التحمل المتوافر لانكسار كتلة القص الأقصى على طول مسار/مسارات فشل القص ومسار فشل الشد العمودي، يجب ان يؤخذ مساوياً الى: [1]

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (5/4-10)$$

$$\phi = 0.73(\text{LRFD}) \quad \Omega = 2.04(\text{ASD})$$

حيث ان:

A_{gv} : المساحة الكلية المعرضة للقص، (mm^2) .

A_{nt} : المساحة الصافية المعرضة للشد، (mm^2) .

A_{nv} : المساحة الصافية المعرض للقص، (mm^2) .

عندما يكون إجهاد الشد منتظماً، $U_{bs}=1$ ، وعندما يكون إجهاد الشد غير منتظم، $U_{bs}=0.5$.

10-4/4 تحمل العناصر في حالة الانضغاط (Strength of Elements in Compression)

إن التحمل المتوافر لعناصر الربط المعرضة للانضغاط عند مرحلة الخضوع والانبعاج، يجب ان يحسب كما يلي: [1]

- إذا كان $KL/r \leq 25$ فإن:

$$P_n = F_y A_g \quad (6/4-10)$$

$$\phi = 0.73(\text{LRFD}) \quad \Omega = 2.04(\text{ASD})$$

- إذا كان $KL/r > 25$ فإن التوصيات الموجودة في الباب (5) يجب تطبيقها.

5-10 الحشوات (Fillers)

في عملية اللحام، أي حشوة يكون سمكها مساويا الى (6 mm) أو أكثر يتوجب ان تمتد الى ما بعد حافات لوح الوصل المؤثر على سطح الحشوة كحمل لا مركزي، ويتعين كذلك لحام لوح الوصل مع الحشوة بلحام كاف لنقل إجهادات لوح الوصل من دون احداث اي إجهاد زائد في الحشوة. تكون حافات الحشوات التي يقل سمكها عن (6 mm) متساطحة مع حافات لوح الوصل، ويجب ان لا يقل سمك اللحام عن السمك اللازم لتحمل إجهادات لوح الوصل مضافا اليه سمك الحشوة.

عندما تمر المسامير الملولة (البراغي) المحملة بالحشوات ذات السمك المساوي الى (6 mm) أو أقل، فان تحمل القص يجب ان يؤخذ بدون انقاص. أما عندما تمر المسامير الملولة (البراغي) المحملة عبر الحشوات ذات السمك الاكبر من (6 mm) فان احد المتطلبات الآتية يجب ان يؤخذ بالاعتبار.

1/5-10 الحشوات ذات السمك المساوي الى (19 mm) أو أقل، فان تحمل القص التصميمي للمسامير الملولة (البراغي) يجب ان يضرب بالمعامل $[1 - 0.0154(t - 6)]$ ، حيث ان t هو سمك الحشوة لحد (19 mm).

2/5-10 يجب ان تمتد الحشوات الى ما بعد المفصل وامتدادها يجب ان يتحقق بمسامير ملولة (براغ) ذات عدد كافٍ لضمان التوزيع المنتظم للقوة الكلية لعنصر الربط على طول المقطع المشترك بين عنصر الربط والحشوات.

3/5-10 حجم المفصل يجب ان يزداد بشكل يتلاءم مع عدد من المسامير الملولة (البراغي) التي تكافيء العدد الكلي المطلوب في البند (2/5-10)، وإن

4/5-10 المفصل يجب ان يصمم على انه مفصل انزلاق حرج.

6-10 الوصلات (Splices)

تصمم الوصلات للعتبات والروافد اللوحية باستعمال اللحام الاخدودي بحيث تحقق التحمل الكلي لأصغر مقطع مشترك في الوصلة. أما الانواع الاخرى من الوصلات في المقاطع العرضية للعتبات والروافد اللوحية فانها يجب ان تحقق التحمل المطلوب لمنظومة القوى عند نقطة الوصل.

7-10 تحمل الاسناد (Bearing Strength)

تحمل الأسناد التصميمي ϕR_n ، والتحمل المسموح به R_n / Ω للسطوح المتلاصقة يجب ان يحسباً للحالة الحرجة من التحميل (خضوع الانضغاط الموقعي) كالآتي: [1]

$$\phi = 0.73(\text{LRFD}) \quad \Omega = 2.04(\text{ASD})$$

تحمل الاسناد الإسمي R_n لمختلف انواع الاسناد ويمكن تعريفه كالتالي: [1]

10-7/1 بالنسبة للسطوح المهذبة والمسامير في الفتحات الموسعة المثقوبة أو المحفورة وكذلك نهايات اضلاع التقوية التحميلية.

$$R_n = 1.8 F_y A_{pb} \quad (10-7/1)$$

حيث ان:

F_y : إجهاد الخضوع الأدنى، (MPa).

A_{pb} : مسقط مساحة الاسناد، (mm^2).

10-7/2 بالنسبة لدحرجات التمدد والدواليب (Expansion Rollers and Rockers)

- اذا كانت $d \leq 635\text{mm}$ [1]:

$$R_n = \frac{1.2(F_y - 90)ld}{20} \quad (10-7/2)$$

- اذا كانت $d > 635\text{mm}$ [1]:

$$R_n = \frac{30.2(F_y - 90)l\sqrt{d}}{20} \quad (10-7/3)$$

حيث ان:

d : القطر، (mm).

l : طول التحميل، (mm).

10-8 قواعد الاعمدة والاسناد على الخرسانة (Column Bases and Bearing on Concrete)

يجب ان تتبع اعتبارات مناسبة لضمان انتقال أحمال وعزوم الأعمدة الى الاسس. حيث يمكن اخذ تحمل الاسناد التصميمي $\phi_c P_p$ والتحمل المسموح P_p / Ω_c لتتشم (سحق) الخرسانة الاقصى (Limit state of concrete crushing) كالآتي:

$$\phi = 0.58(\text{LRFD}) \quad \Omega = 2.55(\text{ASD})$$

تحمل الاسناد الإسمي P_p يمكن حسابه كما يلي:

10-8/1 اذا كان التحميل على المساحة الكلية للمسند الخرساني، فانه: [5,1]

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \quad (10-8/1)$$

10-8/2 اذا كان التحميل على جزء من مساحة المسند الخرساني فانه: [5,1]

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7f'_c A_1 \quad (10-8/2)$$

حيث ان:

A_1 : مساحة لوحة الاساس المحملة مركزيا على الخرسانة الساندة، (mm^2).

A_2 : أكبر مساحة من الخرسانة الساندة متطابقة المركز مع لوحة الأساس والمماثلة لها في الشكل، (mm^2).

f'_c : تحمل الانضغاط لاسطوانات الخرسانة، (N/mm^2).

10-9 قضبان التثبيت المسننة والعناصر المظمورة (Anchor Rods and Embedded Elements)

قضبان التثبيت المسننة يجب ان تصمم لتقاوم الاحمال الكلية للمنشأ المسلطة على قواعد الاعمدة متضمنة مركبات الشد لأي عزم انحناء يمكن ان ينتج من التأثير المشترك للأحمال المسلطة. قضبان التثبيت المسننة يجب ان تصمم على وفق متطلبات الجدول (10-5/3).

اختلاف مواقع القضبان التثبيت المسننة والعناصر المظمورة عن تلك المتضمنة في المخططات التصميمية يجب ان يكون كالآتي:

10-9/1 الاختلاف في الابعاد بين مركزي أي قضبي تثبيت ضمن مجموعة واحدة يجب ان يكون مساويا او اقل من 3 mm.

10-9/2 الاختلاف في الابعاد بين مراكز مجاميع قضبان التثبيت المسننة المتجاورة يجب ان يكون مساويا او اقل من 6 mm.

10-9/3 الاختلاف في منسوب أعالي (tops) قضبان التثبيت المسننة يجب ان يكون مساويا او اقل من $\pm 13 \text{ mm}$.

10-9/4 الاختلاف المتراكم للأبعاد بين مراكز مجموعات قضبان التثبيت المسننة على طول الخط العمودي بين مجاميع قضبان التثبيت المسننة يجب ان يكون مساويا او اقل من 2 mm لكل 10000 mm، على ان لا يتجاوز 25 mm.

10-9/5 الاختلاف في الابعاد بين مركز اي مجموعة قضبان تثبيت مسننة نسبة الى الخط العمودي المار خلال تلك المجموعة يجب ان يكون مساويا او اقل من 6 mm.

المراجع (References)

- [1] "Manual of Steel Construction"; American Institute of Steel Construction, AISC, 13th Edition, 2005.
- [2] "كودة الإنشاءات الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والأسكان، الطبعة الثانية، 2002.
- [3] "الكود العربي الموحد - الإنشاءات الفولاذية"، مجلس وزراء الأسكان والتعمير العرب، الطبعة الأولى، 1999.
- [4] "Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C)"; The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.
- [5] "Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)"; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [6] "Structural Welding Code - Steel"; American Welding Society, AWS D1.1/D1.1M, 19th Edition. 2004.
- [7] "Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design"; American Institute of Steel Construction, AISC, 3rd Edition with Revisions. ,2003.
- [8] "Euro Code 3 :Design of Steel Structures , Part 1.5: Plated Structural Elements", European Standard, prEN1993-1-5, 11June 2004.

الباب 11

اعتبارات تصميمية أخرى

(Other Design Considerations)

يشتمل هذا الباب على اعتبارات تصميمية لتتحقق مقاومة شفاء ووترات مقاطع الأعضاء المعرضة للقوى المركزة (Concentrated Forces)، أو تشكل البرك (Ponding)، أو الكلال (Fatigue). عندما تطبق القوى المركزة على العتبات المرتكزة على المساند، سوف تتولد ردود فعل لشفاء العتبة عند الروابط مع الأعمدة وسيكون لهذه القوى تأثير موقعي على الشفاء والوترات لمقطع العضو بالقرب من هذه القوى المركزة. مثل هذا التأثير يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار. وكما في معظم الحالات المتعلقة بالانضغاط فإن هناك احتمالين للفشل هما: الخضوع أو عدم الاستقرار. في هذا الباب، سوف يدرس الخضوع الموضعي للوتر، وتخرج الوتر، والانحناء الموضعي للشفة، وانبعاج الانضغاط الجانبي للوتر، وانبعاج الإزاحة الجانبية للوتر، والناجمة جميعها من القوى المركزة. كما سيبحث انتقال القوى المركزة في العتبة إلى روابط الأعمدة.

(Flanges and Webs Under Concentrated Forces)

11-1 الشفاء والوترات تحت تأثير القوى المركزة

11-1/1 أساسيات التصميم (Design Basis)

11-1/1 البنود (2/1-11) إلى (7/1-11) تطبق على القوى المركزة المفردة والمزدوجة كما مؤشر في كل فقرة. القوة المركزة المفردة إما أن تكون قوة شد أو ضغط، والقوى المركزة المزدوجة تكون إحداها قوة شد والأخرى قوة ضغط لتشكلا بذلك مزدوجاً على نفس الجانب للعضو المحمل.

11-1/1/2 المجسئات العرضية تكون مطلوبة في مواقع قوى الشد المركزة على وفق ما يشترطه البند (2/1-11) لحالة الانحناء الموضعي للشفة وكذلك عند النهايات غير المتهيكلة للعتبات والروافد على وفق ما يشترطه البند (8/1-11).

11-1/1/3 المجسئات العرضية أو الألواح المزدوجة تكون مطلوبة عند مواقع القوى المركزة على وفق ما تشترطه البنود (3/1-11) إلى (6/1-11) لحالات الخضوع الموضعي للوتر، وتخرج الوتر، والانبعاج الجانبي للوتر وانبعاج الانضغاط للوتر.

11-1/1/4 الألواح المزدوجة أو المجسئات القطرية تكون مطلوبة للوتر على وفق ما يشترطه البند (7/1-11) لحالة قص منطقة اللوح.

11-1/1-5 المجسئات العرضية والمجسئات القطرية المطلوبة على وفق ماتشترطه البنود (11-1/2) إلى (11-8/1)، يجب أن تحقق أيضا متطلبات البند (11-9/1)، أما بالنسبة للألواح المزدوجة المطلوبة على وفق ما تشترطه البنود (11-3/1) إلى (11-6/1) فإنها يجب أن تحقق أيضا متطلبات البند (11-10/1).

11-2/1 الانحناء الموضعي للشفة (Flange Local Bending)

هذا البند يطبق على كل من قوى الشد المركزة المنفردة ومركبة قوة الشد للقوى المركزة المزدوجة. **11-1/2-1** عندما تكون المقاومة المطلوبة للشفة تزيد على كل من (ϕR_n) والمقاومة المسموح بها (R_n/Ω)، ففي هذه الحالة يجب ان يتوافر زوج من المجسئات العرضية تمتد على الأقل إلى نصف ارتفاع الوتره ومجاورة لقوة الشد المركزة التي تؤثر بشكل متمركز عبر الشفة، حيث أن: [1]

$$R_n = 6.25 t_f^2 F_{yf} \quad (11-1/1)$$

حيث أن:

$$\phi = 0.9 \text{ (LRFD)}$$

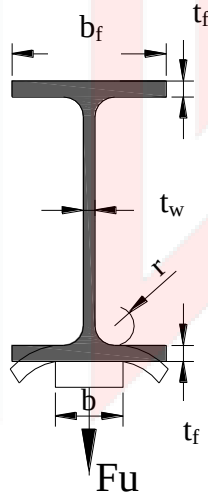
$$\Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$

R_n : مقاومة الشد الاسمية للشفة، (N).

F_{yf} : إجهاد الخضوع الأصغر المعين للشفة، (MPa).

t_f : سمك الشفة المحملة، (mm).

11-2/2-2 إذا كانت القوة المركزة (F_u) تؤثر على مسافة قدرها (b) (الشكل (11-1/1)) عبر شفة العضو بحيث أن (b) أقل من ($0.15b_f$)، حيث أن (b_f) هي عرض شفة العضو (mm)، فإن المعادلة (11-1/1) لاجابه للعمل بها.



الشكل 11-1/1: الانحناء الموضعي للشفة (Flange Local Bending).

11-3/2-3 عندما تكون القوة المركزة والمطلوب مقاومتها على مسافة من نهاية العضو أقل من ($10t_f$)، فإن المقاومة الاسمية (R_n) يجب أن تقلل بمقدار (50%).

4/2/1-11 عندما تكون المجسّات العرضية مطلوبة، فإنها يجب أن تلحم مع الشفة المحملة.
5/2/1-11 المجسّات العرضية المربوطة باللحام مع الوترية يجب ان تحدد أبعادها بحيث تنقل القوة غير المتوازنة للمجسّة إلى الوترية. لاحظ أيضا البند (9/1-11).

3/1-11 الخضوع الموضعي للوترية (Web Local Yielding)

تطبق هذه الفقرة على القوى المركزة المنفردة وكلا المركبتين للقوى المركزة المزدوجة.
1/3/1-11 يجب ان يتوافر إما زوج من المجسّات العرضية أو الألواح المزدوجة، تمتد مسافة قدرها على الأقل نصف ارتفاع الوترية وتكون مجاورة لقوة الشد أو الضغط المركزة وذلك عندما تكون المقاومة المطلوبة للوترية عند مقدم القطعة المستطيلة تزيد على كل من (ϕR_n) والمقاومة المسموح بها (R_n/Ω) .
 حيث أن: $\phi = 0.9$ (LRFD)، $\Omega = 1.5$ (ASD) و R_n تحدد كما يلي:

1- إذا كانت القوة المركزة والمطلوب مقاومتها تؤثر على مسافة من نهاية العضو أكثر من عمق العضو (d)، لاحظ الشكل (2/1-11)، فإن: [4,1]

$$R_n = (5k + N) F_{yw} \cdot t_w \quad (2/1-11)$$

2- إذا كانت القوة المركزة والمطلوب مقاومتها تؤثر على مسافة من نهاية العضو مساوية أو أقل من عمق العضو (d)، لاحظ الشكل (2/1-11)، فإن: [1]

$$R_n = (2.5k + N) F_{yw} \cdot t_w \quad (3/1-11)$$

حيث أن :

R_n : مقاومة الشد الاسمية للوترية، (N).

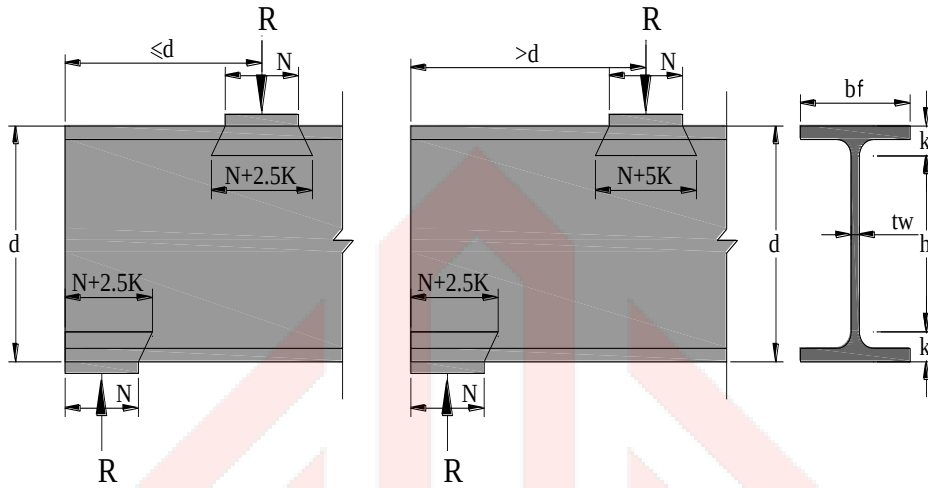
F_{yw} : إجهاد الخضوع الأدنى المعين للشفة، (N/mm^2) .

N: مسافة الارتكاز (لا تقل عن k) لردود أفعال نهاية العتبة)، (mm).

k: المسافة من الوجه الخارجي للشفة إلى مقدم الوترية للقطعة المستطيلة، (mm).

t_w : سمك الوترية، (mm).

2/3/1-11 المجسّات العرضية المطلوبة لمقاومة قوة الشد العمودية على الشفة يجب أن تلحم مع الشفة المحملة لتشكيل الجزء المربوط للمجسّ.



الشكل 2/1-11: الخضوع الموضعي للوتر (Web Local Yielding).

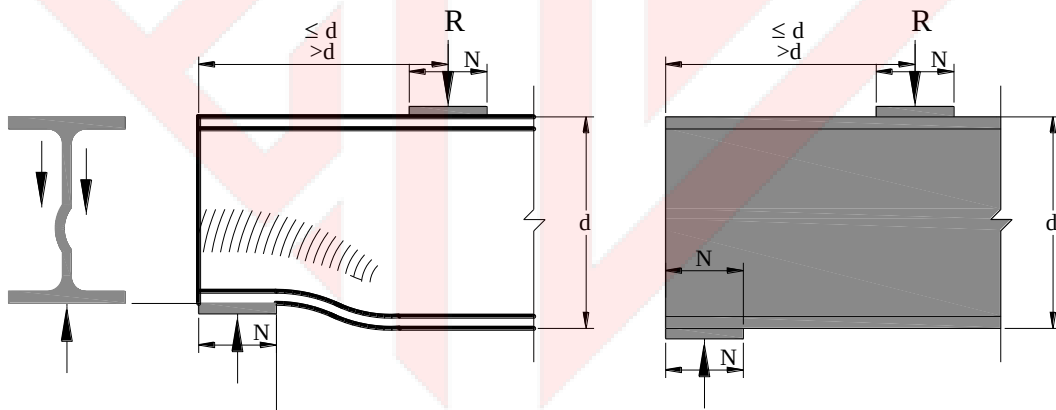
3/3/1-11 المجسئات العرضية المطلوبة لمقاومة قوة الضغط العمودية على الشفة إما أن ترتكز على أو تلحم مع الشفة المحملة لتقاوم القوة المنقولة إلى المجسئ.

4/3/1-11 المجسئات العرضية المربوطة باللحام مع الوتر يجب أن تحدد أبعادها بحيث تنقل القوة غير المتوازنة في المجسئ إلى الوتر. لاحظ أيضا البند (9/1-11).

5/3/1-11 مثلما أشير في الفقرة (1/3/1-11)، يمكن تجنب الخضوع الموضعي للوتر باستعمال الواح مزدوجة، لاحظ البند (10/1-11).

4/1-11 تعرج الوتر (Web Crippling)

تعرج الوتر المبين في الشكل (3/1-11) ينطبق على كل من قوى الضغط المركزة المفردة ومركبة الضغط للقوى المركزة المزدوجة.



الشكل 3/1-11: تعرج الوتر (Web Crippling).

1/4/1-11 عندما تكون المقاومة للوتر تزيد على كل من (ϕR_n) والمقاومة المسموح بها (R_n/Ω) ، فإنه يجب أن يتوافر إما مجسئ عرضي أو زوج من المجسئات العرضية أو الواح مزدوجة، تمتد مسافة مقدارها على الأقل نصف عمق الوتر وتكون مجاورة لقوة الضغط المركزة.

حيث أن: $\phi = 0.75$ (LRFD)، $\Omega = 2.00$ (ASD) و (R_n) المقاومة الاسمية وتحدد كما يلي:

1- عندما تكون قوة الضغط المركزة والمطلوب مقاومتها تؤثر على مسافة من نهاية العضو أكبر من أو مساوية لـ $(d/2)$ ، فإن: [4,3,2,1]

$$R_n = 1591500 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}} \quad (4/1-11)$$

2- عندما تكون قوة الضغط المركزة والمطلوب مقاومتها، تؤثر على مسافة من نهاية العضو أقل من $(d/2)$ فإن:

$$R_n = 795750 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}} \dots \dots \dots \text{for } \frac{N}{d} \leq 0.20 \quad (5/1-11)$$

أو

$$R_n = 795750 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.20 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} \cdot t_f}{t_w}} \dots \dots \dots \text{for } \frac{N}{d} > 0.20 \quad (6/1-11)$$

حيث أن :

R_n : مقاومة الانضغاط الاسمية، (N).

d : العمق الكلي للعضو، (mm).

t_f : سمك الشفة، (mm).

11-4/2 المجسئات العرضية المطلوبة إما أن تكون مرتكزة على أو ملحومة مع الشفة المحملة لكي تقاوم القوة المنقولة إلى المجسئ. المجسئ العرضي الملحوم مع الوترية يجب أن تحدد أبعاده بحيث ينقل القوة غير المتوازنة في المجسئ إلى الوترية. لاحظ أيضا البند (11-9/1).

11-4/3 مثلما أشير في الفقرة (11-4/1)، يمكن تجنب تعرج الوترية بإستعمال الواح مزدوجة، لاحظ البند (11-10/1).

11-5/1 الانبعاج الجانبي للوترية (Web Sidesway Buckling)

فقرة انبعاج الوترية الجانبي المبين بالشكل (11-4/1)، تطبق فقط على قوة الضغط المركزة المفردة والمسلطة على الأعضاء والتي تحصل بسببها حركة جانبية نسبية بين شفة الانضغاط المحملة وشفة الشد غير المقيدة في نقطة تأثير القوة المركزة. المقاومة التصميمية للوترية هي (ϕR_n) والمقاومة المسموح بها (R_n/Ω) ، حيث أن: $\phi = 0.85$ (LRFD)، $\Omega = 1.76$ (ASD) و (R_n) تحدد كما يلي:

11-5/1 إذا كانت شفة الانضغاط مقيدة ضد الدوران فإن: [4,3,2,1]

$$R_n = \frac{C_r \cdot t_w^3 \cdot t_f}{h^2} \left[1 + 0.40 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right)^3 \right] \quad (7/1-11)$$

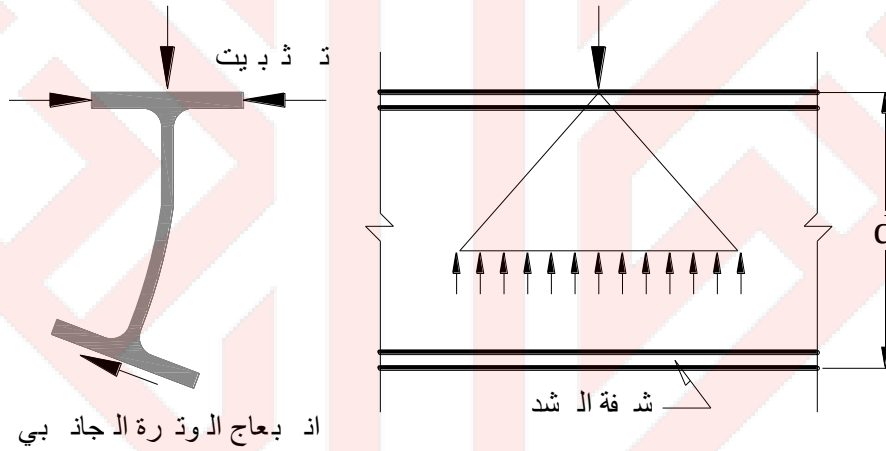
عندما تكون $\left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right) \leq 2.30$.

عندما تكون $\left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right) > 2.30$ ، فإن الحالة المحددة لانبعاج الوتر الجانبي لا تطبق.

1- عندما تكون المقاومة المطلوبة للوتر تزيد على (ϕR_n) ، فلا بد من توافر التدعيم الجانبي الموضعي عند شفة الشد، أو استعمال زوج من المجسئات العرضية أو الواح مزدوجة، تمتد مسافة قدرها على الأقل نصف عمق الوتر، وبشكل مجاور لقوة الضغط المركزة.

2- عندما تكون المجسئات العرضية مطلوبة ففي هذه الحالة إما أن تتركز على أو تلحم مع الشفة المحملة لنقل كامل القوة المطبقة. المجسئات العرضية المربوطة باللحام مع الوتر، يجب أن تحدد أبعادها لنقل القوة في المجسئ إلى الوتر. لاحظ أيضا البند (9/1-11).

3- وبطريقة أخرى، عندما تكون الألواح المزدوجة مطلوبة، ففي هذه الحالة يجب أن تحدد أبعادها لنقل كامل القوة، لاحظ أيضا البند (10/1-11).



الشكل 4/1-11: الانبعاج الجانبي للوتر (Web Sidesway Buckling).

2/5/1-11 إذا كانت شفة الانضغاط غير مقيدة ضد الدوران، فإن: [2]

$$R_n = \frac{C_r \cdot t_w^3 \cdot t_f}{h^2} \left[0.40 \left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right)^3 \right] \quad (8/1-11)$$

عندما تكون $\left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right) \leq 1.70$

أما إذا كانت $\left(\frac{h/t_w}{l/b_f} \right) > 1.70$ فإن الحالة المحددة لانبعاج الوتر الجانبي لا تنطبق.

عندما تكون المقاومة المطلوبة للوترة تزيد على (ϕR_n) ، فإن التدعيم الجانبي الموضعي يجب أن يتوافر لكلا الشفتين عند نقطة تأثير القوى المركزة.
حيث أن :

R_n : المقاومة الإسمية للوترة، (N).

l : الطول الأكبر غير المدعم جانبيا على طول كلا الشفتين عند نقطة التحميل، (mm)، لاحظ الشكل (5/1-11).

b_f : عرض شفة الشد، (mm).

t_f : سمك شفة الشد، (mm).

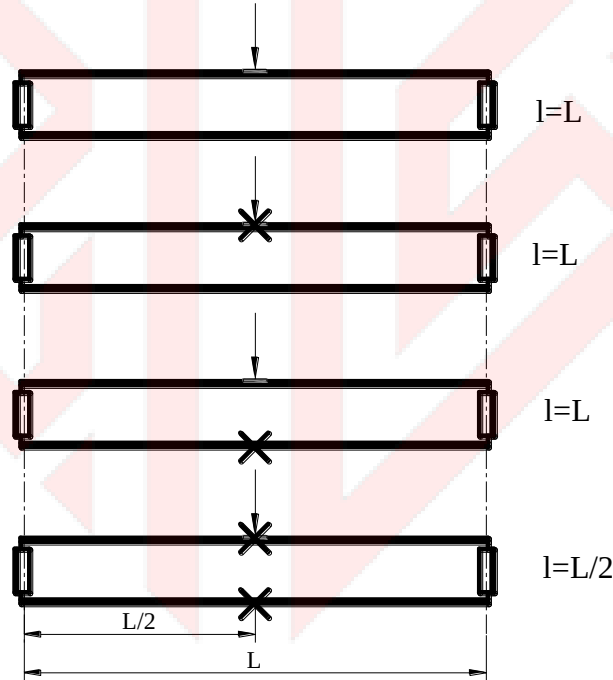
h : المسافة الصافية بين الشفتين أقل من نصف القطر للزاوية أو الركن بالنسبة للأشكال المدورة، أو المسافة بين الخطوط المتجاورة للمثبتات أو المسافة الصافية بين الشفتين للأشكال المركبة بالحام، (mm).

$C_r = 6.62 \times 10^6$ عندما $M_u < M_y$ في موقع تأثير القوة، (MPa).

$C_r = 3.31 \times 10^6$ عندما $M_u \geq M_y$ في موقع تأثير القوة، (MPa).

$F_y S_x = M_y$: عزم الخضوع حول محور الانحناء، (N.m).

M_u : مقاومة عزم الانحناء المطلوبة حول محور الانحناء باستعمال تجميعات الاحمال المعاملة، (N.m).

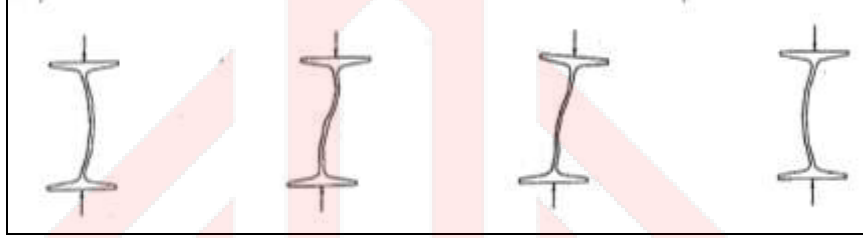


الرمز X يشير الى نقطة مدعمة

الشكل 5/1-11: طول الشفة غير المدعم (Unbraced Flange Length).

6/1-11 انبعاج الانضغاط العرضي للوترة (Web Transverse Compression Buckling)

الانبعاج العمودي (Vertical buckling) للوترة المبين بالشكل (6/1-11) ينطبق على زوج من قوى الانضغاط المفردة والمركزة أو مركبة الانضغاط لزوج القوى المركزة المزدوجة، التي تكون مسلطة على كلتا شفتي العضو في نفس الموقع.



الشكل 6/1-11: انبعاج الانضغاط العرضي للوترة (Web Transverse Compression Buckling).

1/6/1-11 عندما تزيد المقاومة المطلوبة للوترة على (ϕR_n) والمقاومة المسموح بها (R_n/Ω) فإنه يجب أن يتوافر إما مجسئ عرضي مفرد أو زوج من المجسئات العرضية أو الواح مزدوجة تغطي كل ارتفاع الوترية وبشكل مجاور لقوى الانضغاط المركزة عند كلتا الشفتين وتحسب (R_n) من المعادلة التالية: [3]

$$R_n = \frac{47710382 t_w^3 \sqrt{F_{yw}}}{h} \quad (9/1-11)$$

حيث أن:

$$0.9 = (\text{LRFD}) \phi$$

$$1.67 = (\text{ASD}) \Omega$$

2/6/1-11 عندما يكون زوج قوى الانضغاط المركزة والمطلوب مقاومته، مسلطاً على مسافة من نهاية العضو أقل من ($d/2$) فإن R_n يجب أن تقل بمقدار (50%).

3/6/1-11 عند الحاجة إلى مجسئات عرضية، فإنها يجب أن ترتكز على أو تلحم مع الشفة المحملة لتحمل القوة المنقولة إلى المجسئ. المجسئات العرضية الملحومة مع الوترية يجب أن تحدد أبعادها بحيث تنقل القوة غير المتوازنة في المجسئ إلى الوترية. لاحظ أيضاً البند (9/1-11).

4/6/1-11 وبطريقة أخرى، في حالة الحاجة إلى الواح مزدوجة، لاحظ البند (10/1-11).

7/1-11 قص الوترية في قطاع التحميل (Web Panel Zone Shear)

إن إجهادات قص وترية العمود يمكن أن تكون ذات قيمة كبيرة ضمن الحدود للرباط الجاسئ لاثنتين أو أكثر من الأعضاء التي تقع وتراتها في مستوٍ واحد. لذا فإن مثل هذه الوترات يجب أن تسليح، عندما تزيد القوة المعاملة المحسوبة $\sum F_u$ على طول المستوى (A-A) في الشكل (7/1-11)، على المقاومة التصميمية للوترية العمود (ϕR_n) حيث أن: [3,2,1]

$$F_u = \left(M_{u1}/d_{m1} \right) + \left(M_{u2}/d_{m2} \right) - V_u \quad (10/1-11)$$

حيث أن :

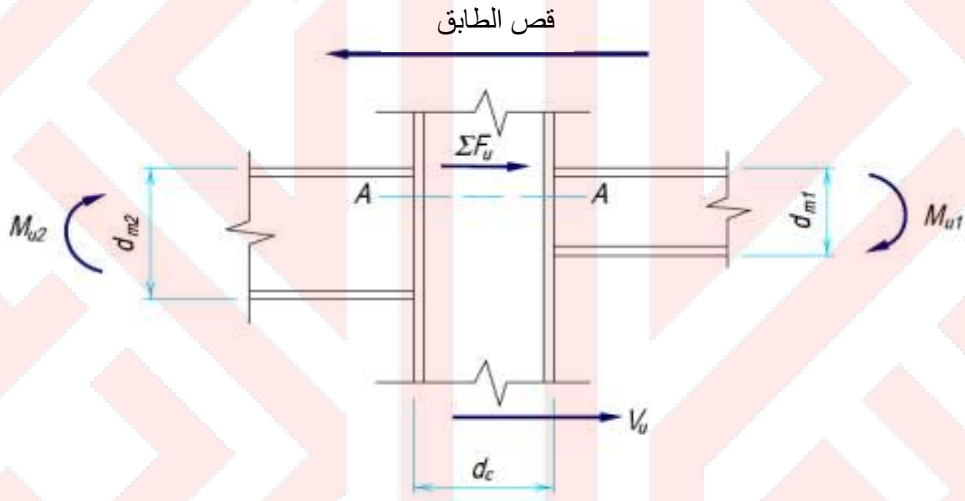
M_{u1} : مجموع العزوم عند نهاية العضو (1) بسبب أحمال الجاذبية والأحمال الجانبية المعاملة، (N.m).

M_{u2} : الفرق بين العزوم عند نهاية العضو (2) بسبب أحمال الجاذبية والأحمال الجانبية المعاملة، (N.m).

V_u : قوة القص في منطقة اللوح باستعمال تجميعات الاحمال المعاملة، (N).

d_{m1} : العمق الكلي للعضو (1)، (m).

d_{m2} : العمق الكلي للعضو (2)، (m).



الشكل 7/1-11: القوى في منطقة اللوح (Forces in Panel Zone).

1/7/1-11 عندما تكون المقاومة المطلوبة تزيد على (ϕR_v) والمقاومة المسموحة (R_v/Ω) فإن ألواحاً مزدوجة أو مجسّات قطرية يجب أن تتوافر ضمن حدود الرابط الجاسئ للأعضاء التي تقع وتراتها في مستوى واحد. حيث أن $\phi = 0.9$ (LRFD)، $\Omega = 1.67$ (ASD) وتحدد قيمة R_v (نيوتن)، كما يلي:

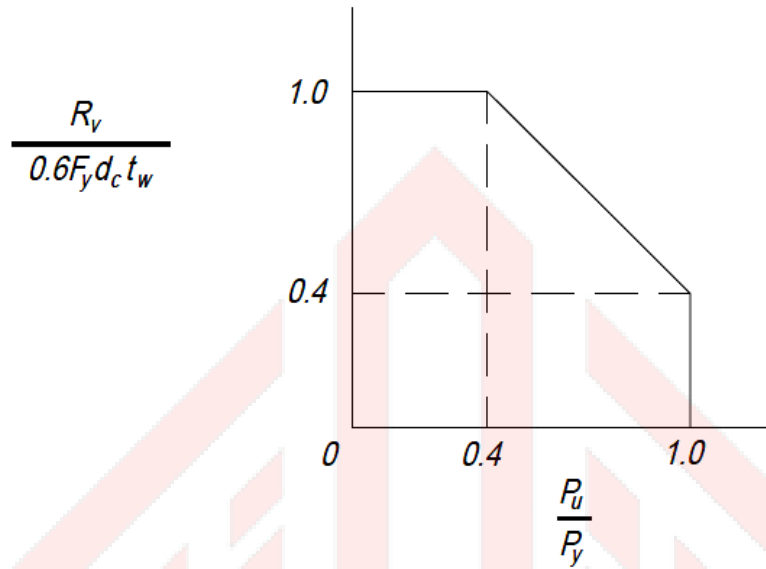
1- عندما لا تأخذ استقرارية الهيكل في الاعتبار حالة التشوه المرن لمنطقة قطاع التحميل في التحليل،

لاحظ الشكل (8/1-11)، فإن: [2,1]

$$R_v = 0.60 F_y \cdot d_c \cdot t_w \quad (11/1-11)$$

وذلك بشرط تحقق $P_u \leq 0.40 P_y$ ، وبخلاف ذلك:

$$R_v = 0.60 F_y \cdot d_c \cdot t_w \cdot \left(1.40 - \frac{P_u}{P_y} \right) \quad (12/1-11)$$



الشكل 8/1-11: تفاعل القص مع القوى المحورية في قطاع تحميل- الحالة المرنة

(Interactions of Shear and Axial Force in a Panel Zone-Elastic)

2- عندما تأخذ استقرارية الهيكل بنظر الاعتبار حالة التشوه اللدن لمنطقة قطاع التحميل في التحليل، لاحظ الشكل (9/1-11)، فإن:

$$R_v = 0.60 F_y \cdot d_c \cdot t_w \cdot \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b \cdot d_c \cdot t_w} \right) \quad (13/1-11)$$

وذلك بشرط تحقق $P_u \leq 0.75 P_y$ ، وبخلاف ذلك:

$$R_v = 0.60 F_y \cdot d_c \cdot t_w \cdot \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b \cdot d_c \cdot t_w} \right) \left(1.90 - \frac{1.20 P_u}{P_y} \right) \quad (14/1-11)$$

حيث أن:

t_w : سمك وترة العمود، (mm).

b_{cf} : عرض شفة العمود، (mm).

t_{cf} : سمك شفة العمود، (mm).

d_b : عمق العتبة، (mm).

d_c : عمق العمود، (mm).

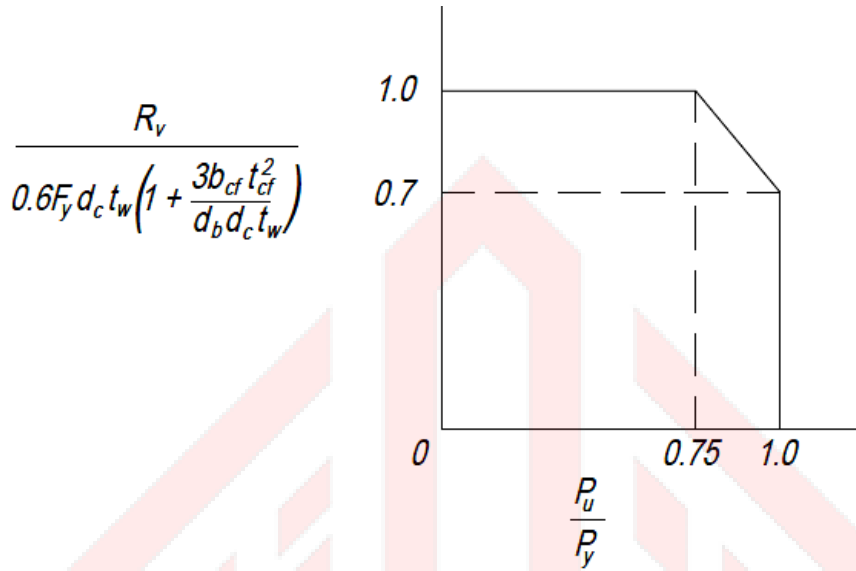
F_y : مقاومة الخضوع لوترة العمود، (MPa).

$F_y \cdot A = P_y$ (LRFD): مقاومة الخضوع المحورية للعمود، (N).

$F_y \cdot A 0.6 = P_y$ (ASD)

A : مساحة المقطع العرضي للعمود، (mm²).

P_u : الحمل المحوري المعامل للعمود، (N).



الشكل 9/1-11: تفاعل القص مع القوى المحورية في قطاع تحميل- الحالة غير المرنة

(Interaction of Shear and Axial Force in a Panel Zone-Inelastic)

2/7/1-11 عندما تكون الألواح المزدوجة مطلوبة فإنها يجب أن تحقق المعايير التي يمكن تأثيرها على الأعضاء التي تتعرض لإنحناء المحور الرئيس، كما يجب أن تلحم بحيث تتحمل جزءاً من قوة القص الكلية المطلوب نقلها.

3/7/1-11 وبطريقة أخرى، عندما تكون هناك حاجة لاستعمال المجسئات القطرية، فإن هذه المجسئات القطرية الملحومة مع الوترية يجب أن تحدد أبعادها لنقل القوة المؤثرة على المجسئ والنااتجة من العزوم غير المتوازنة على الوترية. لاحظ أيضا البند (9/1-11).

8/1-11 النهايات غير المهيكلية للعتبات والروافد (Unframed Ends of Beams and Girders)

عند النهايات غير المهيكلية للعتبات والروافد التي تكون غير مقيدة ضد الدوران حول محاورها الطولية، فإنه يجب أن يتوافر زوج من المجسئات العرضية تغطي كل عمق الوترية. لاحظ أيضا البند (9/1-11).

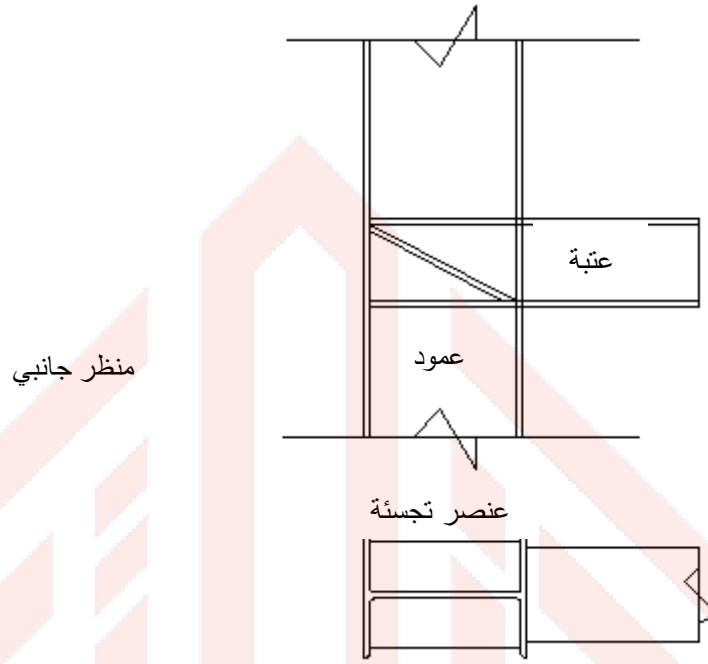
9/1-11 متطلبات اضافية لعناصر التجسئة لمقاومة الأحمال المركزة

(Additional Stiffeners Requirements for Concentrated Forces)

1/9/1-11 المجسئات العرضية والقطرية الموضحة في الشكل (10/1-11) يجب أن تخضع للمعايير والمحددات التالية. [3]

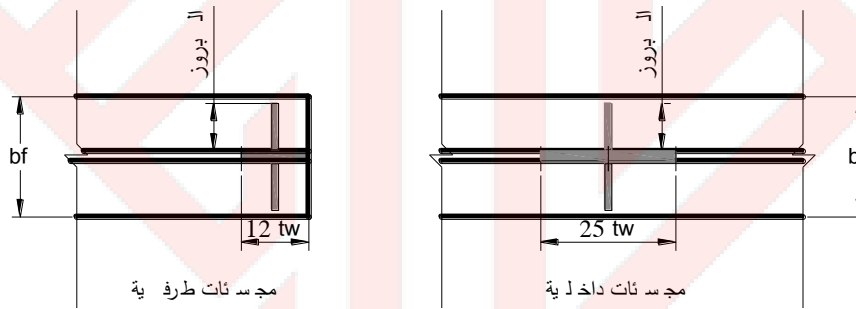
1- عرض كل مجسئ مضافا له نصف سمك وترية العمود، يجب أن لا يكون أقل من ثلث عرض الشفة أو صفيحة ربط العزم الناقلة للقوة المركزة.

2- سمك المجسئ يجب أن لا يقل عن نصف السمك للشفة أو صفيحة ربط العزم الناقلة للحمل المركز، وأن لا يقل عن عرض المجسئ مضروباً بـ $\left(\frac{\sqrt{F_y}}{249.5}\right)$ حيث أن (F_y) بوحدات (MPa).



الشكل 10/1-11: عناصر تجسئة في منطقة ارتباط عتبة بعمود (Beam to Column Connection).

11-9/2 العمق الكلي للمجسئات العرضية لقوى الضغط المسطرة على شفة عتبة أورافدة لوحية، يجب أن يعامل عند التصميم كعضو انضغاط محوري (عمود) على وفق متطلبات انبعاج الانحناء لأعضاء الانضغاط مع طول فعال مقداره $(0.80h)$ ، ومقطع عرضي مؤلف من مجسئين إثنيين وشريحة للوترة بعرض $(25t_w)$ عند المجسئات الداخلية و $(12t_w)$ عند نهايات الأعضاء لاحظ الشكل (11-11).



الشكل 11/1-11: مجسئات عرضية (Transverse Stiffeners).

11-9/3 مجسئات الارتكاز المربوطة باللحام مع الوترية يجب أن تحدد أبعادها لنقل قوة قص الوترية الفائضة إلى المجسئة. لاحظ أيضا البند (10-8).

11-10 متطلبات اضافية للألواح المزدوجة لمقاومة الأحمال المركزة

(Additional Requirements of Double Plate for Concentrated Forces)

الألواح المزدوجة والمطلوبة بحسب البنود (11-3/1) إلى (11-6/1) يجب أن تخضع للمعايير التالية:

1- السمك والطول للألواح المزدوجة يجب أن يوفر المادة الإضافية اللازمة لتحقيق متطلبات المقاومة.

2- الألواح المزدوجة يجب أن تلحم إلى شفاة المقطع بحيث تقاوم جزء القوة الكلية المنقولة إليها.

11-2 تشكل البرك (Ponding)

11-2/1 لضمان التصريف الصحيح لماء المطر من السقوف المنبسطة، فإن التصميم لجميع السقوف يجب أن يكون بميل لا يقل عن (5%) مع التأكد من أن ماء المطر سوف لا يتجمع في برك.

11-2/2 نظام التسقيف يجب أن يبيحث بالتحليل الإنشائي لضمان المقاومة الكافية والاستقرارية تحت تأثير حالات تشكل البرك، مالم يتحقق لسطح السقف ميل كاف باتجاه نقاط التصريف الحر أو نقاط تصريف مستقلة لمنع تراكم أو تجمع مياه الأمطار.

11-3/2 نظام التسقيف يمكن أن يعتبر مستقرا ولا حاجة لبحثه ودراسته، إذا تحقق ما يلي:

$$C_p + 0.90C_s \leq 0.25 \quad (11-2/1)$$

$$I_d \geq 3940 S^4$$

حيث أن :

$$C_p = 504 \frac{L_s L_p^4}{I_p}$$
$$C_s = 504 \frac{S L_s^4}{I_s}$$

حيث أن :

L_p : المسافة بين الأعمدة باتجاه الرافدة (طول الأعضاء الرئيسة)، (m).

L_s : المسافة بين الأعمدة باتجاه عمودي على الرافدة (طول الأعضاء الثانوية)، (m).

S : المسافة بين الأعضاء الثانوية، (m).

I_p : عزم القصور الذاتي للأعضاء الرئيسة، (mm^4).

I_s : عزم القصور الذاتي للأعضاء الثانوية، (mm^4).

I_d : عزم القصور الذاتي لمساحة الحديد المستتدة على الأعضاء الثانوية، (mm^4).

لكل متر في المسمنات (الجملونات) وعوارض التدعيم الحديدية، فإن عزم القصور الذاتي (I_s) يجب أن يقلل بمقدار (14%) في المعادلات المذكورة آنفا. كما أن المساحة الحديدية يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار كعضو ثانوي عندما تسند بشكل مباشر بواسطة الأعضاء الرئيسة.

11-4/2 عندما يكون ميل السقف اقل من (3%)، فإن حسابات إضافية يجب أن تعمل لتدقيق أن الفشل لا يمكن أن يحصل بسبب وزن الماء المتجمع في البرك التي تتشكل بسبب الهطول للأعضاء الإنشائية أو مواد التسقيف.

11-3 الكلال (Fatigue)

هذا الفصل يقدم طريقة عامة لتخمين الكلال للمنشآت أو الأعضاء الإنشائية التي تتعرض لموجات إجهاد متكررة.

11-1/3 يحتاج عدد قليل من الأعضاء أو الروابط في الأبنية الشائعة إلى تصميم الكلال، وذلك لأن معظم تغيرات الأحمال في هذه المنشآت تحدث بصورة قليلة مسببة إجهاد تموج ثانوياً. ومن النادر جداً الأخذ بنظر الاعتبار الأحمال الناتجة من الزلازل والرياح في تصميم الكلال. مع ذلك، فإن خطوط سكك الارتفاعات ومنشآت الإسناد للآلات والأجهزة كثيراً ما تتعرض لظروف تحميل الكلال.

11-1/3/1 الأعضاء المعرضة لتحميل دوري (الكلال) يجب أن تحقق مايلي:

- 1- متطلبات التحمل الأقصى بسبب الأحمال المعاملة على وفق الشروط المبينة في الفصول السابقة.
- 2- متطلبات التحميل الدوري (الكلال) بسبب الأحمال غير المعاملة (الخدمية) على وفق الشروط المبينة في هذا الفصل.

11-2/1/3 الأعضاء المعرضة لإجهادات ناتجة من أحمال الرياح أو قوى الزلازل فقط، لاجابة لتصميمها لتحقيق متطلبات الكلال.

11-3/1/3 مقاومة الحمل الدوري المحدد بالمتطلبات والشروط لهذا الفصل، مطلوبة فقط في المنشآت المعرضة لدرجات حرارة لا تزيد على (150°C).

11-2/3 تعاريف (Definitions)

1- الكلال (Fatigue) : الضرر الحاصل في العضو الإنشائي خلال نمو وتطور الشقوق بالشكل تدريجي بسبب ترددات الإجهاد المكررة.

2- عمر التصميم (Design Life) : هي الفترة المطلوبة لمنشأ ما لكي يؤدي وظيفته بشكل أمين بحيث لا يحصل فيه فشل أو يحتاج إلى معالجة.

3- حدود الإجهاد (Stress Range) : الاختلاف الجبري بين القيم القصوى أو الإجهادات الإسمية بسبب أحمال الكلال. ويمكن أن يحدد ذلك خلال التحليل المرن القياسي.

4- مقاومة الكلال (Fatigue Strength) : مقدار الإجهاد المحدد من نتائج الفحوص لعدد معين من دورات الإجهاد.

5- حد الكلال (Fatigue Limit) : حدا الإجهاد الأقصى لمقدار ثابت من دورات التحميل، بحيث لا تتشكل تشققات الكلال.

3/3-11 مبادئ أساسية (Basic Principles)

1/3/3-11 مقدمة (Introduction)

- 1- الاختلافات في مقاومة الكلال بين أصناف الفولاذ، هي قليلة ويمكن أن تهمل.
 - 2- الاختلافات في ضرر الكلال بين دورات الإجهاد، تمتلك قيمة مختلفة عند معدل الإجهاد لكن نفس القيمة لحدود الإجهاد يمكن أن تهمل.
 - 3- الشقوق بالشكل عام تحدث عند مناطق اللحام أو تركيز الإجهاد بسبب التغيرات المفاجئة للمقاطع العرضية. ويمكن بلوغ تحسينات مهمة جداً في مقاومة الكلال بتقليل شدة تركيز الإجهاد في مثل هذه النقاط.
 - 4- المنشآت التي يؤدي الفشل في أحد أعضائها إلى فشل لكل المنشأ، لابد من أن تعطى اهتماماً خاصاً عندما يكون نشوء شقوق الكلال محتملاً.
- في مثل هذه الحالات، فإن حدود إجهاد الكلال الاسمي يجب أن تحدد بـ (0.80) مضروباً في القيم المبينة في الجدول (1/3-11) أو الشكل (1/3-11).

2/3/3-11 مقاومة الكلال للعناصر الإنشائية تعتمد على:

- 1- مقدار الإجهاد المؤثر.
- 2- صنف التفصيل للعضو الإنشائي أو مفصل التصميم.
- 3- عدد دورات الإجهاد.

3/3/3-11 أحمال الكلال

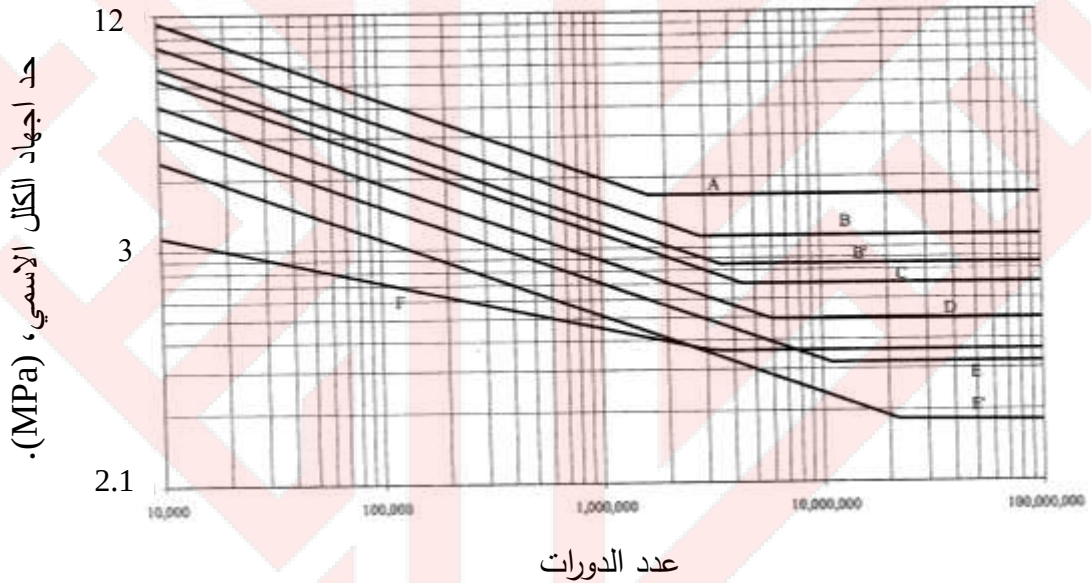
أحمال الكلال المستعملة لحساب حدود الإجهاد الأقصى المؤثر في حالة الرافعات والمنشآت السائدة للآلات والأجهزة تؤخذ مساوية إلى الحمل الكلي لهذه الرافعات والآلات والأجهزة بالإضافة إلى التأثير الديناميكي للأحمال. [4,3]

الجدول 11-1: حدود مقاومة إجهاد الكلال الاسمي (F_{sm}) لعدد دورات إجهاد ثابتة

(Nominal Fatigue Resistant Stress Range F_{sm} for Constant Number of Stress Cycles)

F_{sm} (MPa)				الصنف ⁽¹⁾
فوق 2,000,000	2,000,000	500,000	100,000	
168	168	252	430	A
112	126	200	342	B
85	102	162	277	B'
70	91	145	248	C
49	71	112	192	D
32	56	89	153	E
18	41	65	111	E'
36	40	52	72	F

⁽¹⁾ راجع الجدول (3/3-11).



الشكل 11-1: حدود الإجهاد مع عدد الدورات (Stress Range Versus Number of Cycles).

11-3/4 طريقة تخمين الكلال

1- طريقة تخمين الكلال يجب أن تتبع المعادلة التالية:

$$\gamma F_{sra} = \emptyset F_{sm} \quad (1/3-11)$$

حيث أن :

γ : معامل الحمل ويساوي (1).

$\emptyset$: معامل المقاومة ويساوي (1).

F_{sm} : حد إجهاد مقاومة الكلال الاسمي، (MPa).

F_{sra} : مقدار إجهاد الكلال الأقصى المؤثر وغير المعامل، (MPa).

1- إن تأثيرات دورات الإجهاد المؤثر تحدد بمقدار الإجهاد الأقصى غير المعامل (F_{sra}) والذي بدوره يمكن أن يحدد من أحمال الكلال المؤثرة باستعمال الطريقة المرنة للتحليل. وأحمال الكلال يجب أن توضع بحيث تعطي تأثيرات الانفعال القصوى عند التفصيل المعني. في بعض المنشآت مثل الرافعات، يجب أن يعطى الاهتمام للتغيرات المحتملة خلال الاستعمال.

2- في التفاصيل غير الملحومة أو التفاصيل الملحومة والمحورة من الإجهاد والمعرضة إلى انعكاسات الإجهاد فإن حد الإجهاد الفعال الذي يستعمل في تخمين الكلال يجب أن يحدد بإضافة جزء الشد لحد الإجهاد مع (60%) من جزء الانضغاط الى مقدار الإجهاد المؤثر. في التفاصيل الملحومة والمعرضة إلى انعكاسات الإجهاد، فإن حد الإجهاد الفعال الذي يستعمل في تخمين الكلال هو الفرق الجبري الأعظم بين الإجهادات القصوى.

3- عدد دورات الإجهاد الثابت الذي يتحمله المنشأ خلال حياته التصميمية مبين في الجدول (2/3-11) لمنشآت الرافعات.

الجدول 2/3-11: عدد دورات الحمل لمنشآت الرافعات
(Number of Loading Cycles-for Crane Structures)

عدد دورات الإجهاد الثابتة	مجال الاستعمال	ADA
100000	الاستعمال المتقطع	5
500000	استعمال منتظم مع الإشغال المتقطع	25
2000000	استعمال منتظم مع الإشغال المستمر	100
بحسب الاستعمال الحقيقي	الإشغال خطر ومستمر	>100
ADA : معدل الاستعمال اليومي للرافعة لعمر تصميمي مقداره 50 سنة (Average daily application for 50 years design life)		

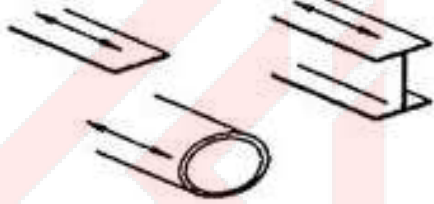
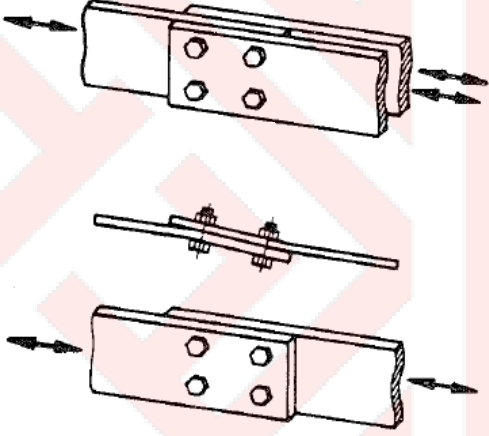
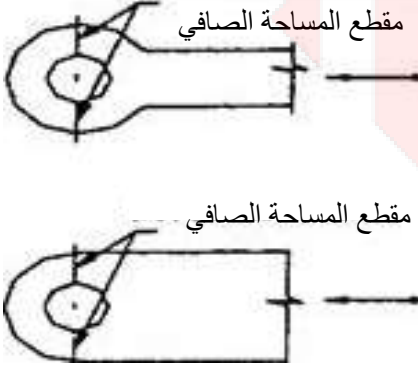
4- كل عنصر وجزء عنصر إنشائي يمتلك وصفاً تفصيلياً خاصاً، كما مبين في الجدول (3/3-11) وهناك تصنيف لهذا التوصيف ينقسم إلى ثلاثة أجزاء كما يلي:

المجموعة (1): التفاصيل غير الملحومة، المواد البسيطة، والالواح المبرشمة.

المجموعة(2): العناصر الإنشائية الملحومة، مع أو بدون روابط.
المجموعة(3): المثبتات (المسامير الملولة (البراغي) أو اللحام).

الجدول 11-3/3: تصنيف التفاصيل (Classification of Details).

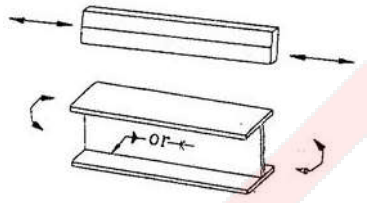
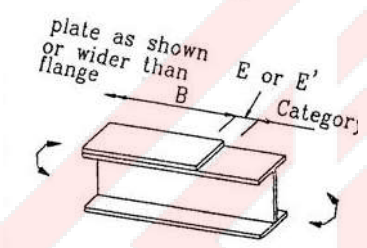
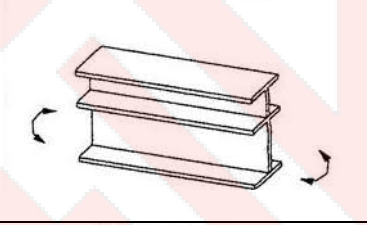
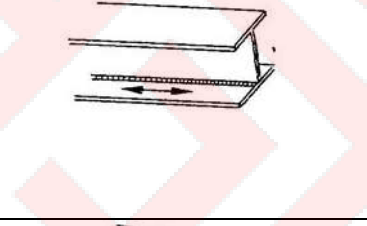
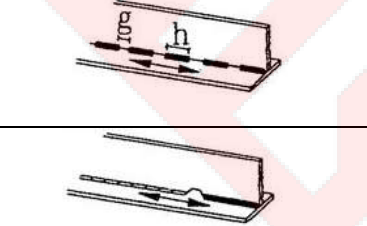
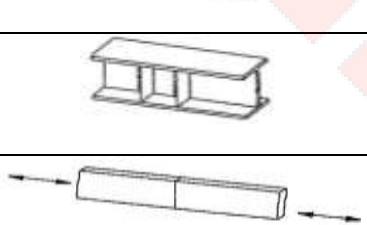
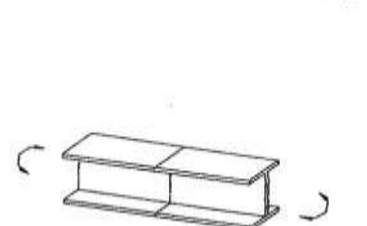
المجموعة(1): تفاصيل غير ملحومة (Non-Welded Details).

الوصف	الصنف	التوضيح
1.1 قاعدة معدنية ذات سطح منبسط: اللهب يقطع الحافات بسطح ذي خشونة اقل من $25 \mu m$.	A	
2.1 قاعدة معدنية ذات مقص: اللهب الذي يقطع الحافات بسطح ذي خشونة اقل من $25 \mu m$.	B	
1.2 قاعدة معدنية ذات روابط مبرشمة عالية المقاومة ضد الانزلاق. ما عدا المفاصل المحملة محوريا والتي تسبب عزماً خارج المستوي في المواد المربوطة.	B	
2.2 قاعدة معدنية ذات مقطع صاف بربوط ارتكاز مبرشمة من النوع ذات المقاومة عالية الشد.	B'	
3.2 قاعدة معدنية ذات مقطع صاف لأنواع أخرى من المفاصل المثبتة (مسامير ملولة (براغي) وبراغيم اعتيادية).	D	
3. قاعدة معدنية ذات مقطع صاف برأس لقضيب بالشكل (أ) أو ألواح مسمارية.	E	

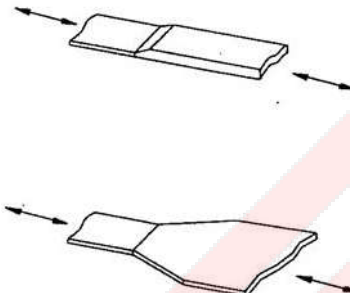
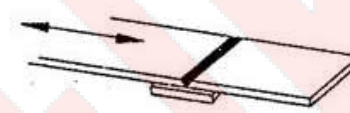
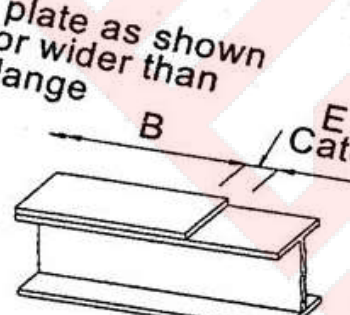
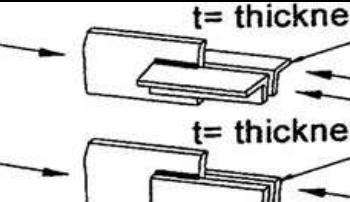
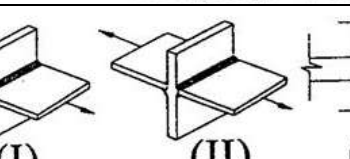
تتمة الجدول 11-3/3: تصنيف التفاصيل (Classification of Details).

المجموعة (2): العناصر الإنشائية الملحومة، مع أو بدون روابط

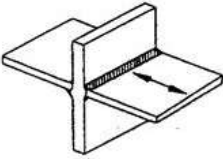
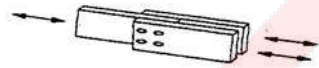
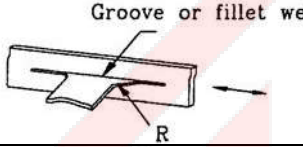
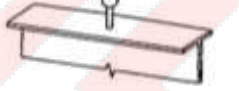
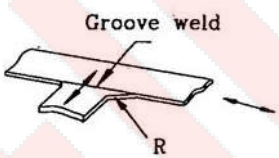
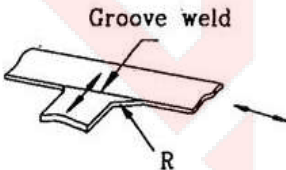
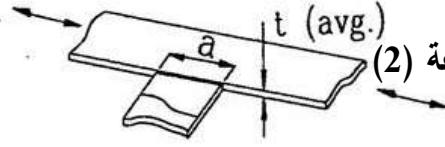
(Welded Structural Elements, With or Without Attachments).

الصنف	الوصف	التوضيح
B	1.4 قاعدة معدنية في الأعضاء بدون ملحقات، مكونة من الواح مربوطة بلحام نافذ مستمر وموازي للإجهاد المؤثر.	
B'	2.4 نفس الحالة (1.4) ولكن بلحام لمواضع توقف.	
B'	3.4 قاعدة معدنية في الأعضاء بدون ملحقات، مكونة من الواح مربوطة بواسطة لحام مستمر مع قضبان تدعيم أو بواسطة لحام جزئي باتجاه الإجهاد المؤثر.	
C	5. قاعدة معدنية عند الشريحة اليدوية الطولية أو لحام نافذ بالكامل من جهة واحدة مع وجود ترابط جيد بين الشفة والواح الوترية.	
D	6. قاعدة معدنية في المناطق ذات اللحام الطولي المتقطع بوجود فجوات بينية فيه تحقق فيها الشرط $(g/h < 2.5)$.	
D	7. قاعدة معدنية في المناطق الحاوية على مفاصل لحام (T) مائلة.	
C	8. قاعدة معدنية عند قمة اللحام لوترية الرافدة أو للشفة المجاورة للمجسات العرضية.	
B	1.9 قاعدة معدنية واللحام معدني ونافذ بشكل كامل لأخدود الوصلة الملحومة ومن كلا الجانبين للجزئين اللذين يمتلكان مقطعا متشابهاً، مع الضبط باتجاه الإجهاد المؤثر والتأكد من صحة اللحام بواسطة المعاينة الموجية أو الإشعاعية.	
C	2.9 كما في الفقرة (1.9) ولكن بوجود تسليح لا يجوز ازالته ويعرض اقل من (0.1) من عرض اللحام.	

تتمة الجدول 11-3/3 تابع للمجموعة (2)

الوصف	الصنف	التوضيح
3.9 كما في الفقرة (1.9) ولكن بتسليح أكثر من (0.1) من عرض اللحام.	D	
1.10 قاعدة معدنية ولحام معدني نافذ بشكل كامل لأخدود الوصلة الملحومة عند التغير في العرض أو السمك. يكون اللحام بحيث يحقق ميلاً لا يزيد على (1-2.5) باتجاه الإجهاد المؤثر. مع التأكد من صحة اللحام بواسطة المعاينة الموجية أو الإشعاعية.	B'	
2.10 كما في الفقرة (1.10) ولكن مع تسليح لا يجوز إزالته ويعرض أقل من (0.1) من عرض اللحام.	C	
3.10 كما في الفقرة (2.10) ولكن بميل أكثر من (1-2.5).	D	
4.10 كما في الفقرات (1.10) إلى (3.10) ولكن بلحام نافذ من جهة واحدة فقط.	E'	
1.11 قاعدة معدنية ولحام معدني عند الوصلات الملحومة عرضياً لقضيب التدعيم. النهاية لشريحة اللحام تبعد أكثر من (10 mm) من الحافات للوح المجهد.	D	
2.11 كما في الفقرة (1.11) ولكن شريحة اللحام تبعد أقل من (10 mm) من الحافات للوح المجهد.	E	
1.12 قاعدة معدنية عند النهايات لالواح الغطاء الملحومة جزئياً وذات عرض أقل في الشفة وتمتلك نهايات مربعة أو مستدقة مع أو بدون لحام عبر النهايات أو اعرض من الشفة مع لحام عند النهايات. سمك الشفة $\geq 20 \text{ mm}$	E	
كما في 1.12 ولكن سمك الشفة $< 20 \text{ mm}$	E'	
2.12 قاعدة معدنية عند النهايات ذات لوح غطاء ملحومة جزئياً ويعرض أكبر من عرض الشفة وبدون لحام عند النهاية.	E'	
1.3 قاعدة معدنية عند الأعضاء المحملة محوريا وذات روابط لحام شرائحية. السمك $\geq 25 \text{ mm}$.	E	
السمك $< 25 \text{ mm}$.	E'	
1.4 قاعدة معدنية عند روابط النهاية العرضية للوح المحمل بالشد باستعمال زوج من شرائح اللحام على جانبي متعاكسين للوح.	المعادلة (2/3-11)	

تتمة الجدول 11-3/3 تابع للمجموعة (2)

الوصف	الصنف	التوضيح
1.15 لوح معدني ولحام معدني عند مناطق اللحام النافذ بشكل كامل في المفاصل ذات الشكل الصليبي للحام المنفذ بواسطة المعاينة الموجية أو الإشعاعية.	D	
2.15 نفس الفقرة (1.15) ولكن بلحام نافذ جزئياً أو شرائح لحام ذات نوعية اعتيادية.	E'	
16. قاعدة معدنية عند لحام الشق أو السدادة.	E	
17. قاعدة معدنية مع الملحق عند شريحة لحام أو لحام نافذ جزئياً مع مادة رئيسة معرضة لتحميل طولي. $R > 50 \text{ mm}$	D	
$R \leq 50 \text{ mm}$	E	
18. قاعدة معدنية عند رابطة القص المثبتة بشريحة لحام أو نهاية لحام.	C	
1.19 قاعدة معدنية مثبتة بلحام نافذ كاملاً ومعرض لتحميل طولي. اللحام منفذ بواسطة المعاينة الموجية أو الشعاعية. $R > 610 \text{ mm}$	B	
$610 \text{ mm} > R \geq 150 \text{ mm}$	C	
$150 \text{ mm} > R \geq 50 \text{ mm}$	D	
$R < 50 \text{ mm}$	E	
2.19 نفس الفقرة (1.19) مع تحميل عرضي، السمك متساوٍ والتسليح مزال. $R > 610 \text{ mm}$	B	
$610 \text{ mm} > R \geq 150 \text{ mm}$	C	
$150 \text{ mm} > R \geq 50 \text{ mm}$	D	
$R < 50 \text{ mm}$	E	
3.19 نفس الفقرة (2.19) ولكن التسليح غير مزال.	C	
$610 \text{ mm} > R \geq 150 \text{ mm}$	C	
$150 \text{ mm} > R \geq 50 \text{ mm}$	D	
$R < 50 \text{ mm}$	E	
4.19 نفس الفقرة (2.19) ولكن السمك غير متساوٍ. $R \geq 50 \text{ mm}$	D	
$R < 50 \text{ mm}$	E	
5.19 نفس الفقرة (4.19) ولكن التسليح غير مزال ولكل قيم (R).	E	
20. لوح معدني مثبت باللحام النافذ بشكل كامل ومعرض إلى تحميل طولي. تتمة الجدول 11-3/3 تابع للمجموعة (2)	D	
$50 \text{ mm} < a \leq 12t \text{ or } 100 \text{ mm}$	E	
$a > 12t \text{ or } 100 \text{ mm} (t < 25 \text{ mm})$	E'	
$a > 12t \text{ or } 100 \text{ mm} (t \geq 25 \text{ mm})$	E'	

الوصف	الصنف	التوضيح
21. لوح معدني مثبت بشريحة لحام أو لحام نافذ جزئياً ومعرض إلى تحميل طولي. $a < 50 \text{ mm}$	C	
$50 \text{ mm} < a \leq 12t \text{ or } 100 \text{ mm}$	D	
$a > 12t \text{ or } 100 \text{ mm} (t < 25 \text{ mm})$	E	
$a > 12t \text{ or } 100 \text{ mm} (t \geq 25 \text{ mm})$	E'	

$$F_{SRN} = R_{FIL} \times F_{SRN \text{ Category}}$$

(2/3-11)

حيث أن:

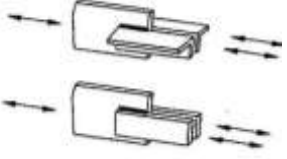
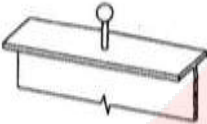
$$R_{FIL} = 1.72 \left\{ \frac{0.06 + 0.72 \left(\frac{w}{t_p} \right)}{t_p^{0.167}} \right\} \leq 1.0$$

تتمة الجدول 3/3-11: تصنيف التفاصيل (Classification of Details).

المجموعة (3): المثبتات (براغ أو لحام) (Fasteners (Welds and Bolts)).

الوصف	الصنف	التوضيح
1.22 لحام معدني نافذ لكل أخدود اللحام وموازي لاتجاه الإجهاد المؤثر من كلا الجانبين.	B	
2.22 كما في الفقرة (1.22) ولكن بلحام من جهة واحدة فقط.	C	
3.22 لحام معدني نافذ جزئياً للأخدود العرضي للحام المستند على مساحة التضيق الفعالة للحام.	F	
1.23 لحام معدني مستمر ينقل إجهادات القص المستمرة.	D	
2.23 لحام معدني منقطع ينقل إجهادات القص المستمرة.	E	

تتمة الجدول 11-3/3 تابع للمجموعة (3)

الصنف	الوصف	التوضيح
E'	3.23 لحام معدني عند مفاصل الاختبار الملحومة.	
E'	24. شرائح اللحام المحملة بشكل عرضي.	
F	25. القص على لحام السداد أو لحام الشقوق الضيقة.	
F	26. إجهاد القص على المساحة الإسمية لروابط القص من النوع المسماري.	
C	1.27 المسامير الملولة ذات المقاومة العالية والتي تعمل بـ قص منفرد أو مزدوج.	
D	2.27 البراشيم والمسامير الملولة (البراغي) الاعتيادية بالـ قص.	
F	28. المسامير الملولة (البراغي) والـ قضبان المسننة التي تعمل بالـ شد (المساحة الصافية).	

5- مقاومة الكلل لأي جزء إنشائي تحدد بقيمة الإجهاد الاسمي المقاوم للكلل (F_{sm}) الذي يحصل عليه من الجدول (11-3/3) أو لعدد محدد من الدورات الثابتة واعتمادا على الوصف التفصيلي الخاص بذلك الجزء باعتماد المخطط البياني من الشكل (11-3/3).

6- عند تعرض المنشأ لتحميل وكلل الشد، فإن حدود إجهاد مقاومة الكلل الاسمي للمسامير الملولة (البراغي) ذات التحمل العالي ومن نوع الاحتكاك، يجب ألا تزيد على القيم المبينة في الجدول (11-4/3).

الجدول 11-4/3: إجهادات الكلل الإسمية للمفاصل عالية المقاومة

(Nominal Fatigue Stress Range for High Strength Bolts)

مدى إجهاد الكلل الاسمي (MPa)		عدد الدورات
مفاصل درجة 8.8	مفاصل درجة 10.9	
290	360	$N \leq 20,000$
260	320	$20,000 < N \leq 500,000$
200	250	$500,000 < N$

11-4 المطاوعة (Ductility)

11-4/1 إن التصرف والاستجابة لأعضاء المنشأ أو الروابط (Connections) بعد حد المرونة يمكن أن يوصف أو يحدد بالسلوك القصيف (Brittle) أو المطاوع (Ductile). فالسلوك القصيف غير مرغوب فيه في تصاميم المنشآت بالشكل عام ومنها الحديدية لأنه يسبب فقدان المفاجئ والمباشر لقابلية التحمل عند تجاوز حد المرونة. في حين أن السلوك المطاوع يتميز بالتشوهات غير المرنة (اللدنة) قبل فقدان قابلية التحمل. وبذلك فإن السلوك المطاوع يتيسر فيه التحذير والتنبيه قبل حصول الفشل وذلك من خلال التشوهات غير المرنة (اللدنة).

11-4/2 لغرض تحقيق السلوك غير المرن (المطاوع) الكافي فإنه يجب مراعاة ما يلي:

- أ- يجب أن يمتلك المنشأ عددا كافيا من الأعضاء المطاوعة (أو اللدنة).
- ب- يجب أن يمتلك المنشأ مفاصل (Joints) وروابط (Connections) مطاوعة التي يمكن أن تعمل على امتصاص الطاقة بدون فقدان أو الخسارة في المقاومة أو التحمل للمنشأ.
- ت- يجب أن يمتلك المنشأ مفاصل (Joints) وروابط (Connections) ذات تحمل ومقاومة إضافية كافية، بحيث تضمن تحقق التصرف غير المرن (المطاوع) للأجزاء المصممة لتحقيق السلوك أو التصرف المطاوع وامتصاص الطاقة اللازمة.

11-4/3 المصمم يمكنه أن يحدد حداً أدنى لمعامل المطاوعة (μ) لضمان حصول أنماط الفشل المطاوع، ويمكن أن يعرف هذا المعامل على أنه:

$$\mu = \frac{\Delta\mu}{\Delta y} \quad (11-4/1)$$

حيث أن

$\Delta\mu$: التشوه (الازاحة أو الدوران) عند التحمل الأقصى.

Δy : التشوه (الازاحة أو الدوران) عند حد المرونة.

11-5 الحد الأدنى لسمك الحديد (Minimum Thickness of Steel)

11-5/1 يجب ألا يقل سمك الحديد الإنشائي شاملا التدعيم (Bracing)، الهياكل أو المستعرضة (Cross frames) وكل أنواع الواح التجميع (Gusset plates)، ما عدا الوترات والأشكال المدلفنة (Rolled shapes) والسكك (Railings)، والروافد أو الدعامات المغلقة (Closed ribs)، عن (8 mm).

11-5/2 سمك الوتر للعتبات المدلفنة (Rolled beams) والسواقي (Channels) يجب أن لا يقل عن (7mm).

11-3/5 في حالة التعرض إلى تأثيرات الصدأ الشديد فإنه يجب أن يستعمل طلاء خاص ضد الصدأ.

11-6 الحواجز والهيكل المستعرضة (Diaphragms and Cross Frames)

الحواجز والهيكل المستعرضة يمكن أن توضع عند نهاية المنشأ أو عبر المسافة الداخلية وبشكل منقطع على طول الفضاء. يجب أن تبحث وتدقق الحواجز والهيكل المستعرضة لكل مراحل الإنشاء وللحالة النهائية ويشمل البحث والتحليل كل حالات الحد الممكنة وحسابات تأثير القوى المختلفة.

11-6/1 الأعضاء ذات المقطع (I) (I- Beams).

الحواجز والهيكل المستعرضة للعتبات على الشكل مقطع (I) المدلفنة أو الروافد المصنوعة من الألواح، يجب أن تكون بعمق مقداره على الأقل (0.5) من عمق العتبة المدلفنة (Rolled section) أو (0.75) من عمق الرافدة المصنوعة في الألواح. يمكن أن تصمم الحواجز لعتبات اعتيادية إذا كانت نسبة (الفضاء/العمق) أكثر من (4). وفي الجسور المقوسة أفقياً فإن الهيكل المستعرضة يجب أن تتضمن أقطار (Diagonals) وأوتار (Cord) في الأسفل والأعلى.

أما المسافة (L_b) للحواجز الوسطية أو الهيكل المستعرضة في الجسور ذات مقطع (I) والمقوسة أفقياً فإنها يجب أن لا تزيد على :

$$L_b \leq L_r \leq \frac{R}{10} \quad (1/6-11)$$

حيث أن:

L_r : الطول المحدد وغير المقيد (mm) ويحسب كما يلي:

$$L_r = \pi r_T \sqrt{\frac{E}{F_{yr}}} \quad (2/6-11)$$

r_T : نصف قطر التدويم الفعال لانبعاج اللي العرضي (Effective radius of gyration) ويحسب كما يلي:

$$r_T = \frac{bf_c}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{D_c t_w}{3b_{fc} t_{fc}} \right)}} \quad (3/6-11)$$

حيث أن :

R : أقل نصف قطر للرافدة، (mm).

F_{yr} : إجهاد ضغط الشفة عند بداية الخضوع في المقطع العرضي، ويؤخذ الأقل من القيمتين (F_{yw} و F_{yc})

على أن لا يقل عن ($0.5F_{yc}$)، (MPa).

D_c : عمق الوتر بالانضغاط ضمن حد المرونة، (mm).

t_w : سمك الشفة، (mm).

b_{fc} : العرض الكلي لشفة الانضغاط، (mm).

t_{fc} : سمك شفة الانضغاط، (mm).

11-2/6 الأعضاء ذات المقطع الصندوقي (Box Beams)

يجب أن تتوفر الحواجز والهياكل المستعرضة خلال المقاطع الصندوقية عند كل مسند لها لمقاومة الدوران العرضي وتشوهات المقطع العرضي، ويجب أن تصمم لنقل عزوم اللي والقوى الجانبية من المقطع الصندوقي إلى المساند.

للمقاطع الحاوية على صندوقين أو أكثر فإن الحواجز والهياكل المستعرضة يجب أن تستعمل بين الصناديق عند مساند النهايات، كما يمكن أن تستعمل عند المساند الداخلية وعند المواقع الوسطية. في حالة استعمال حواجز لوحية (Diaphragms) لغرض الاستمرارية أو لمقاومة قوى اللي المتولدة في الأعضاء الإنشائية، فإنها يجب أن تكون مرتبطة مع الشفاه والوترات للمقطع الصندوقي.

11-3/6 المسنمات (الجمالونات) والأقواس (Trusses and Arches)

يجب استعمال الحواجز عند ارتباط المسنمات (الجمالونات) والأقواس مع الجسور الأرضية (Floor beam) وعند مناطق تأثير الأحمال المركزة. كما يمكن استعمال الحواجز الداخلية للحفاظ على استوائية العضو (Member alignment).

الواح التجميع (Gusset plates) عند نهاية المسنم (الجمالون) يجب أن تثبت بواسطة الحواجز.

المراجع (References)

- [1] "Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)"; Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [2] "Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C)"; The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.
- [3] "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges"; American Institute of Steel Construction, Inc., 1st Edition, 2005.

[4] "كودة الإنشاءات/الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والسكان، الطبعة الثانية، 2002.

الباب 12

اعتبارات تصميمية وخدمية

(Serviceability and Design Considerations)

يعنى هذا الباب بتقديم إرشادات ودليل التصميم للاعتبارات الخدمية ومتطلبات التصميم العامة المبينة في البند (4/4-1).

1-12 قواعد حالات الخدمية (Basis of Serviceability Limit States)

- 1- الخدمية (Serviceability) هي الحالة التي تحقق فيها وظيفة أي مبنى، ومظهره، واستمراريته، وديمومته والراحة لساكنيه والمقيمين فيه وتحفظ خلال الاستعمال الاعتيادي له.
- 2- قيم الحدود للسلوك الإنشائي لضمان الحالة الخدمية (الهطول الأقصى، التعجيلات.....الخ) يجب أن تختار بما يتناسب مع الدالة المعنية للمنشأ. أينما تكون الضرورة، فإن الخدمية يجب أن تدقق باستعمال الأحمال الفعلية لحالة خدمية معينة.

حالات الخدمية للأعمال الفولاذية هي :

- أ- التشوهات أو الهطول الذي يؤثر بشكل سلبي على المظهر أو الاستعمال الفعلي للمنشأ متضمنا السلوك الوظيفي للآلات والخدمات.
- ب- الإهتزاز، أو التذبذب، أو الانحراف الجانبي الذي يسبب عدم الراحة للساكنين في المبنى وتضرر محتوياته.
- ت- الإهتزاز، أو التذبذب، أو التشوهات، أو الهطول الذي يمكن أن يسبب الضرر للانتهاءات أو العناصر غير الإنشائية.
- ث- عند استعمال التحليل الشامل لللدن لحالة الحد الأقصى، فإن احتمالية تأثير إعادة التوزيع لللدن للقوى والعزوم على حالة الخدمية، يجب أن تبحث.

2-12 الهطول والإهتزاز والانحراف (Deflections, Vibrations and Drift)

1/2-12 الهطول (Deflection)

ان التشوهات في الأعضاء الإنشائية وفي المجاميع الإنشائية بسبب الأحمال الخدمية، يجب أن لاتضعف أو تفقد الحالة الخدمية للمنشأ.

1/1/2-12 المتطلبات (Requirements)

- 1- المنشآت الفولاذية وأعضاؤها يجب أن تكون متناسبة، بحيث أن الهطول يكون ضمن الحدود المسموحة والمتفق عليها.

- 2- الحدود المعتمدة للهطول مبينة في الفقرة (2/1/2-12)، وهي قيم وضعية تعتمد للمقارنة مع نتائج الحسابات ولا تفسر على إنها معايير وظيفية.
- 3- الشروط والمتطلبات التصميمية المبينة في البند (4/4-1) يجب أن تستعمل سوية مع كل قيم الحدود المبينة في الفقرة (2/1/2-12).
- 4- الهطول يجب أن يحتسب لأي من تأثيرات المرتبة الثانية بالإضافة إلى احتمال حصول التشوهات اللدنة لحالة حد الخدمة.

2/1/2-12 قيم الحدود (Limiting Values)

- 1- قيم الحدود للهطول العمودي (δ) والمبينة لاحقاً، موضحة لحالة عتبة ذات اسناد بسيط عند نهايتها، كما مبين في الشكل (1/2-12)، والتي فيها: [1]

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \leq \delta_{\max} \quad (1/2-11)$$

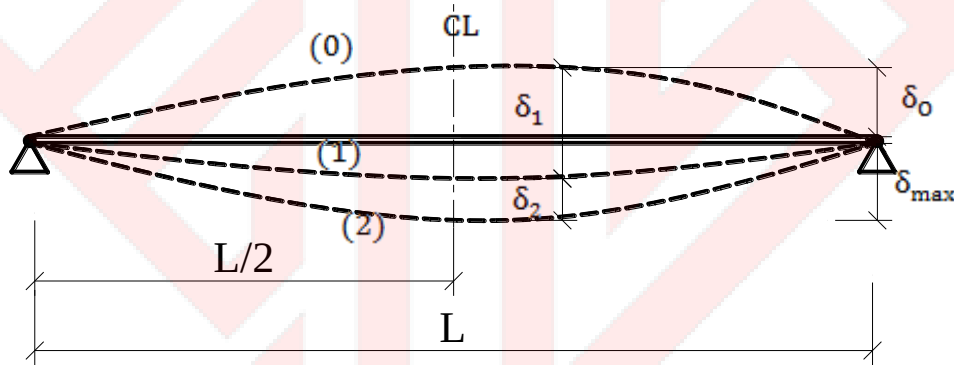
حيث أن:

$\delta_{\max}$: هو التقعر في المرحلة النهائية نسبة إلى الخط المستقيم الذي يربط بين المسندين، (mm).

δ_0 : التحدب في العتبة في مرحلة عدم التحميل، (mm).

δ_1 : التغير في هطول العتبة بسبب الحمل مباشرة بعد تأثير التحميل، (mm).

δ_2 : التغير في هطول العتبة بسبب تغيير التحميل مضافاً له التشوهات المعتمدة على الزمن بسبب بقاء الحمل، (mm).



الشكل 1/2-12: الهطول العمودي موضع الدراسة (Vertical Deflections to be Considered).

- 1- قيم الحدود للهطول العمودي (δ) بسبب تغيير التحميل بالإضافة إلى التشوهات المعتمدة على الزمن بسبب بقاء الحمل للعتبة بدون تحدب تحدد كما يلي:

$$\delta \leq \delta_{2\max} \quad (2/2-11)$$

- 2- في حالة الأبنية، القيم المعتمدة للهطول العمودي مبينة في الجدول (12-1/2) والذي فيه (L) هو طول فضاء العتبة، (mm). للعتبات الفولاذية فإن الطول (L) هو ضعف طول العتبة الفولاذية.
- 3- في حالة روافد الرافعات وعتبات سواقي الأمطار، فإن الهطول العمودي والأفقي يجب أن يحددا بحسب استعمال ونوع الآلة. [1]

الجدول 12-1/2: قيم حدود الهطول العمودي في الأبنية
(Limiting Values for Vertical Deflections in Buildings)

العضو	δ_{2max} (mm)	δ_{max} (mm)
العتبات والمسنمات (الجمالونات) في الأبنية الحاملة للانتهاءات أو اي إنهاءات هشة	L/300	L/250
الأرضيات الساندة للأعمدة	L/500	L/400
العتبات الأخرى	L/200	L/160
العتبات الناتئة	L/180	L/140
العتبات التي تحمل مسار الرافعات	L/800	L/650
عندما تتلف δ_{max} مظهر البناية	--	L/250

2/2-12 الإهتزاز (Vibration)

1/2/2-12 اهتزاز الأرضيات (Floor Vibration)

الإهتزاز يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار في تصميم العتبات والروافد التي تسند المساحات الخالية من القواطع أو أية مصادر أخرى للإخماد. في هذا النوع من المباني لا يسمح بالمرور الراجل أو أي مصادر أخرى للاهتزاز ستكون غير مسموحة ايضاً.

2/2/2-12 المتطلبات (Requirements)

- 1- يجب ان يأخذ التصميم في الاعتبار تأثير الاحمال التي تسبب الصدم او الاهتزاز.
- 2- التأثيرات الديناميكية التي تؤخذ بنظر الاعتبار عند حالة الخدمة هي الإهتزاز الناتج من الآلات والتذبذب الناتج من الرنين الهرموني.
- 3- الترددات الطبيعية للمنشآت أو أجزاء من المنشآت يجب أن تختلف بشكل كافٍ لتجنب حالة الرنين.
- 4- احتياطات التصميم المبينة في البند (1-4/4) للتداخل الشائع، يجب أن تستعمل سوية مع كل قيم الحدود المبينة في الفقرة (12-2/1/2).

3/2/2-12 المنشآت العامة (Structures Open to the Public) [1]

- 1- التذبذب والاهتزاز للمنشآت التي عليها يتحرك السابله يجب أن تحدد لتجنب عدم الارتياح والأمان للمستخدمين.
- 2- في حالة الأرضيات التي يتحرك عليها السابله بشكل منتظم، مثل أرضيات الدور والمباني، فإن التردد الطبيعي الأصغر لإنشاء الأرضية يجب أن لا يقل عن (3 دورة/ثانية). هذا الشرط سوف يتحقق إذا كان الهطول الآتي الكلي $(\delta_1 + \delta_2)$ (المعرف في الفقرة (2/1/2-12) أقل من (28 mm).
- 3- في حالة الأرضية التي تقفز أو تثب بطريقة تكرارية، كما في أرضية قاعات الجمناز والاحتفالات، فإن التردد الطبيعي الأصغر يجب أن لا يقل عن (5 دورة/ثانية). هذا الشرط يتحقق إذا كان الهطول المحسوب آنفاً لا يزيد على (10 mm).
- 4- إذا كان من الضروري، فإن التحليل الديناميكي يمكن أن ينفذ لإظهار بأن التعجيلات والترددات التي سوف تحصل لا تسبب الإزعاج وعدم الارتياح للساكين والمستخدمين أو انها لن تسبب الضرر للآلات والأجهزة.

4/2/2-12 تذبذب الرياح (Wind Oscillation)

- أ- المنشآت المرنة مثل أبراج الأبنية النحيفة جداً أو السقوف الكبيرة جداً، والعناصر المرنة بشكل عام مثل قضبان الشد الخفيفة، يجب أن يدقق سلوكها تحت تأثير أحمال الرياح الديناميكية لكلتا الحالتين: الاهتزازات في المستوي والاهتزازات العمودية على اتجاه الرياح.
- ب- مثل هذه المنشآت يجب أن تختبر لحالتين:
 - 1- الاهتزازات المتولدة من عصف الرياح (Gust).
 - 2- الاهتزازات المتولدة من الدوامة (Vortex).

5/2/2-12 تأثير الزلازل (Earthquake Effect)

يستعان بمدونة الزلازل العراقية (م.ب.ع. 303) فيما يخص المتطلبات الإنشائية الإضافية للمنشآت الفولاذية المعرضة لتأثير الزلازل.

3/2-12 الانحراف (Drift)

- 1- إن قيم الهطول أو الانحراف الجانبي للمنشآت بسبب أحمال الزلازل أو الرياح المحددة في المدونة، يجب أن لا تسبب التصادم مع المنشآت المجاورة وأن لا تزيد على القيم المحددة التي يمكن أن تكون محده أو ملائمة.

- 2- في حالة الأبنية فإن الحدود القصوى المسموحة للهطول الأفقي عند أعلى الأعمدة مبينة في الجدول

(2/2-12). [1]

الجدول 12-2/2: الانحراف (الهطول الأفقي) في الأبنية

(Drift (Horizontal Deflection) in Buildings)

العضو	أكبر انحراف
الانحراف عند قمم الأعمدة في البنايات ذات الطابق الواحد ما عدا الهيكل البابي (Portal frame)	الارتفاع / 300
الانحراف في كل طابق من البناية متعددة الطوابق	ارتفاع الطابق المراد الحساب عنده / 300
الانحراف في قمة بناية تحتوي أكثر من طابق	ارتفاع البناية الكامل / 500
الانحراف عند قمم الأعمدة في الهيكل البابي (Portal frame) بدون رافعة (without crane)	الارتفاع / 140
الانحراف عند قمم الأعمدة في الهيكل البابي (Portal frame) برافعة (with crane)	يحدد بحسب توصيات مصنع الرافعة على أن لا يتجاوز (الارتفاع / 140)

12-3 مقاومة الحريق (Fire Resistance)

في حالة عدم توافر معلومات خاصة عن مقاومة الحريق لمنشأ حديدي ما، فإنه تعتمد فترة مقاومة حريق لمدة ساعة واحدة للجزء العلوي من المنشأ (Super structure) وساعتين للطابق الأرضي فوق السرداب ولقاعدة المنشأ. وهذا يتحقق باختيار احد الاساليب أو البدائل في الجدول (12-3/1).

الجدول 12-3/1: الحماية من الحريق (Fire Protection)

ت	نوع الحماية	فترة مقاومة الحريق	
		(1) ساعة	(2) ساعة
		سمك مادة الحماية بوحدات (mm)	
1	رشاش (مرذاذ) (Sprayer)	20	35
2	ألواح (Boarding)	15	30
3	طلاء منتفخ (Intumescent paint)	1-5	-
4	التغليف بالخرسانة المسلحة ناقل للأحمال (Reinforced concrete casing load bearing)	50	50
5	التغليف بالخرسانة المسلحة غير ناقل للأحمال (Reinforced concrete casing non- load bearing)	25	25

4-12 الحماية من الصدأ (Corrosion Protection)

في الأبنية الحديدية متعددة الطوابق والمنفذة في المواقع غير الملوثة فإن هنالك شروطاً وإرشادات ينبغي اتباعها لأنظمة حماية الأعمال الحديدية، كما مبين في البنود المذكورة لاحقاً.

1/4-12 للأعمال الحديدية المنفذة مع اكساء أو غطاء خارجي وبالأخص عندما لا يمكن المعاينة والمراقبة يستعمل:

أ- التغليف بالخرسانة.

ب-تنظيف السطح ثم اكساؤه بطلاء خاص لإعطائه عمر طويل مثل:

1- تنظيف السطح ثم طلاؤه بالغمر الساخن بحسب المواصفة البريطانية (Blast clean) (Hot-dip galvanic) (BS729, 85µm).

2- تنظيف السطح بالعصف (SA2½) (Blast clean)، ثم طلاؤه ببايوكسي موصافاته هي (Isocyanate pitch epoxy 450 µm).

2/4-12 للأعمال الحديدية الداخلية التي لا يمكن معاينتها، والمعرضة إلى خطر الصدأ بشكل مكثف، يستعمل نظام حماية يعطي عمراً طويلاً مثل:

أ- تنظيف السطح بالعصف (SA2½) (Blast clean)، ثم طلاؤه ببايوكسي موصافاته هي (Coal-tar epoxy 150 µm).

ب-تنظيف السطح بالعصف (SA2½) (Blast clean)، ثم طلاؤه ببايوكسي موصافاته هي (2 pack zinc-rich epoxy 150 µm) (MIO125 µm).

3/4-12 للأعمال الحديدية الخارجية التي يمكن معاينتها، يستعمل نظام حماية يعطي عمراً متوسطاً مثل:

التنظيف (SA2½) (Blast clean)، الخارصين الفوسفاتي (HB zinc phosphate 70 µm)، الإنهاء بالأكلايد (Modified alkyd 70 µm)، (Alkyd finish 70 µm).

4/4-12 لأعمال الأبنية الحديدية الداخلية يستعمل احد الأنظمة التالية:

أ- تنظيف السطح بالعصف (SA2½) (Blast clean) ثم طلاؤه بالخارصين الفوسفاتي موصافاته هي (70 µm HB zinc phosphate).

ب-تنظيف السطح يدوياً (Manual clean CSt₂)، ثم طلاؤه بطلاء غير مؤكسد موصافاته هي (100µm Non-oxidizing paint).

ت-تنظيف السطح يدوياً (Manual clean CSt₂)، ثم طلاؤه بمحلول زفت مواصفاته هي (150µm HB pitch solution).

5-12 انزلاق الرابط (Connection Slip)

يجب ان تؤخذ تأثيرات انزلاق الرابط بنظر الاعتبار في التصميم، وذلك لان الانزلاق في روابط المسامير الملولة قد يؤدي الى تشوهات تؤثر على الجانب الخدمي للمنشأ. ولهذا يجب ان يعتمد حد الانزلاق في تصميم الروابط. ولتصميم روابط الانزلاق الحرجة (Slip-Critical Connections)، أنظر البندين (8/3-10) و (9/3-10). [2]

6-12 التمدد والتقلص (Expansion and Contraction)

يجب ان يؤخذ في الاعتبار مقدار التمدد الحراري والتقلص الحاصلين لأجل تحقق خدمية المنشأ. حيث ان تحطم او فشل تغليف البناية (building cladding)، يؤدي الى اختراق الماء والذي بدوره قد يسبب التآكل.

7-12 التآكل (Corrosion)

الأعضاء والمكونات الإنشائية يجب أن تصمم لتحمل التآكل أو يجب أن تطلّى ضد التآكل الذي يمكن أن يفسد أو يضعف المقاومة أو الخدمية للمنشأ.

8-12 التحدب (Camber)

العتبات والمسنمات (الجميلونات) المفصلة بدون تحدب محدد، يجب أن تصنع بحيث أنها بعد النصب فإن أي تحدب يظهر فيها بسبب التصنيع أو التجميع في المشاغل (الورش) يجب أن يكون إلى الأعلى. إذا كان التحدب يتضمن النصب والتشييد لأي عضو تحت تأثير حمل مسبق، فإن ذلك يجب أن يثبت في الوثائق التصميمية.

إذا كان أي من متطلبات التحدب الخاصة ضروريا لجعل الخدمية لعضو محمل تتحقق خلال استعماله، كما في الربط لأنواع من الحزام والنطاق فإن هذه المتطلبات يجب أن تبين وتوضح في الوثائق التصميمية.

المراجع (References)

- [1] “*Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)* ”;Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [2] “*Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges* ”;American Institute of Steel Construction, Inc. , 1st Edition, 2005.

الباب 13

التصنيع والتركيب والسيطرة النوعية

(Fabrication, Erection and Quality Control)

هذا الباب يشمل المتطلبات الخاصة بالمخططات التنفيذية ومخططات التصنيع والتركيب وأعمال الطلاء والسيطرة النوعية.

1-13 مخططات التصنيع والتركيب (Shop and Erection Drawings)

1-13/1 تجهز مخططات التصنيع قبل البدء بعمليات التصنيع الفعلي ويشترط في هذه المخططات ما يلي:

أ- مخططات التصنيع يجب ان تحضر في مراحل التصنيع المتقدم وتعطي معلومات ضرورية كاملة لتصنيع اجزاء مركبات المنشأ.

ب- أن تتوفر فيها المعلومات الكاملة الضرورية لتصنيع الأعضاء الإنشائية وأجزائها بما في ذلك جميع أنواع البراشيم (Rivets) والمسامير الملولة (البراغي) (Bolts) وأنواع اللحام (Welds) ومقاساتها وأماكن تطبيقها.

ت- أن تميز هذه المخططات بوضوح بين اللحام والصامولات التي ستنفذ في المصنع وتلك التي ستنفذ في الموقع.

ث- أن يحدد نوع الوصلة المنفذة باستعمال الصامولات عالية المقاومة فيما إذا كانت الوصلة من النوع المشدود بمفتاح اليد (Snug-tight) أو من النوع التحميلي المشدود بالكامل (Fully-tightened bearing) أو من النوع الاحتكاكي (Slip-critical).

1-13/2 يجب أن تحضر مخططات التصنيع بالشكل الذي يضمن السرعة والاقتصاد في أثناء عمليتي التصنيع والتركيب.

2-13 التصنيع (Fabrication)

1-2/13 التحديب (Cambering) والتقويس (Curving) والاستقامة (Straightening)

أ- يجب أن تكون جميع أنواع المقاطع أو الأعضاء المراد تجميعها ذات استقامة مقبولة وفي حدود التفاوتات المسموح بها، وذلك قبل البدء بعمليات تصنيعها وتجميعها.

ب- يسمح باستعمال الطرائق الميكانيكية أو الحرارية الموضعية لإجراء أي تصحيح على تحدب أو تقوس أو اعوجاج المقاطع أو الأعضاء شريطة ألا تزيد درجة المعدن بعد تسخينه على (565) درجة

مئوية للفولاذ المطابق للمواصفة الأمريكية (ASTM-A852) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية وعن (595) درجة مئوية للفولاذ المطابق للمواصفة الأمريكية (ASTM -A514) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية وعن (650) درجة مئوية للأنواع الأخرى من الفولاذ، وتطبق الحدود نفسها على الفولاذ المطابق للمواصفة الأمريكية (ASTM-A709). [5,4,3]

2/2-13 القطع الحراري (Thermal Cutting)

أ- الحافات المقطوعة حرارياً يجب أن تخضع لمتطلبات (AWS D1.1, Sections 5.15.1.2, 5.15.4.3 and 5.15.4.4 [1]).

ب- يجب أن تكون الحافات الحرة المقطوعة حرارياً والتي ستعرض بشكل أساسي لإجهادات الشد خالية من الحزوز (Notches) ومن النتوءات (Gouges) التي تزيد أعماقها على (5 mm). ويجب إزالة النتوءات التي يزيد عمقها على (5 mm) بالصقل (Grinding)، وتصحح الحزوز بتعبئتها باللحام.

ت- يجب تنعيم جميع الزوايا الداخلية (Re-entrant corners) الناجمة عن القطع الحراري بحيث تحقق انتقالاً سلساً للقوى والعزوم عند تلك الزوايا. وفي حالة الحاجة إلى شكل محدد يجب ذكر ذلك بالتحديد في وثائق العقد.

ث- يجب أن تطابق العتبات ذات الشفاه العليا المقصوفة وكذلك الفتحات المؤدية إلى أماكن اللحام، المتطلبات المذكورة في البند (6/1-10). ويجب أن تسخن مقاطع المجموعة الرابعة والخامسة من المواصفة الأمريكية (ASTM-A6) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية المعتمدة وكذلك المقاطع الملحومة المجمعة باستعمال مواد يزيد سمكها على (50 mm) إلى درجة حرارة لا تقل عن (65) درجة مئوية قبل قطعها حرارياً. [5,4,3]

3/2-13 تسوية الحافات (Planning of Edges)

لا تجري أي عمليات لتسوية الحافات المقطوعة حرارياً أو الحافات المقصوفة من الألواح الفولاذية أو من المقاطع الإنشائية المدلفنة إلا إذا كان منصوباً على ذلك في وثائق التصميم أو كانت تلك الحافات مشمولة ضمن أعمال اللحام.

4/2-13 المنشآت الملحومة (Welded Construction)

يجب أن تكون مهارة تنفيذ اللحام (Workmanship) ومظهره (Appearance) ونوعه والطرأق المستعملة في تصحيح أعمال اللحام والتقنيات (Techniques) المستعملة فيها مطابقة لما ذكر بهذا الخصوص في المواصفات القياسية البريطانية (BS 5135) أو المواصفات الأمريكية (AWS-D1.1) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية المعتمدة وعلى أن تنفذ من قبل فنيين مهرة في هذا المجال. [4]

5/2-13 المنشآت المربطة بالمسامير الملولة (البراغي) (Bolted Connection Constructions)

أ- يجب أن تكون جميع أجزاء الأعضاء المربطة بالمسامير الملولة (البراغي) (Bolted) أو المسامير (Pinned) مثبتة بإحكام إلى بعضها البعض في أثناء عملية التجميع. وعند استعمال المسامير الخابورية (Drift Pines) في ثقب المسامير الملولة (البراغي) في أثناء إجراء عملية التجميع، يجب مراعاة أن لا تعمل هذه الخوابير على توسيع الثقوب أو تشويه أجزاء الأعضاء المربطة، إذ أن سوء تطابق الثقوب سيؤدي إلى رفض العمل.

ب- يمكن ثقب الجزء الذي لا يزيد سمكه على قطر المسمار الملول (البرغي) مضافا إليه (3 mm) باستعمال عملية التخریم (Punching)، في حين تجري عملية ثقب الجزء الذي يزيد سمكه على قطر المسمار الملول (البرغي) مضافا إليه (3 mm) بالمتقاب (Drill) لثقبه جزئيا (Sub-punched) ومن ثم توسيعه بالمخرطة (Reamer) ويجب أن يقل قطر لقمة التثقيب الجزئي بمقدار مليمترين عن القطر الاسمي للمسمار الملول.

ت- تثقب ألواح الفولاذ المطابقة للمواصفات الأمريكية (ASTM-A514) أو ما يعادلها من المواصفات العالمية الأخرى والتي يزيد سمكها على (12 mm) بالمتقاب.

ث- لا يزيد ميل سطوح الأجزاء الملامسة لرأس المسمار الملول (البرغي) وتلك الملامسة للصامولة في الوصلات المنفذة باستعمال مسامير ملولة (براغ) عالية المقاومة على (1:20) بالنسبة إلى المستوى المتعامد مع المستوى المار بمحور المسمار الملول (البرغي). وفي حالة زيادة الميل عن هذه النسبة يتعين تصحيح هذا الوضع باستعمال رقائق (Shims) مائلة.

ج- يجب أن تكون الأجزاء المربطة بالمسامير الملولة (البراغي) عالية المقاومة تامة التلامس ولا يسمح باستعمال الحشوات (Gaskets) أو أي مواد قابلة للانضغاط بين سطوح هذه الأجزاء.

ح- لا يعتمد اتجاه الرقائق الإصبعية (Finger shims) التي يزيد سمكها الكلي على (6 mm) والمدخلة بشكل كامل في الوصلة على اتجاه التحميل.

خ- يجب أن تكون جميع سطوح التلامس في الوصلات بما في ذلك سطوح التلامس مع المسامير الملولة (البراغي) خالية من القشور والزوائد وأية مواد أخرى غريبة عالقة بها تؤثر على جودة التجميع باستثناء قشور التصنيع.

د- يجب أن تكون جميع سطوح التلامس في الوصلات من النوع الاحتكاكي خالية من الزيوت والشحوم والدهان والطلاء وغير ذلك من المواد التي تقلل من قوة احتكاكها.

ذ- لا تقل قوة الشد المسبق (Pretension) للمسامير الملولة (البراغي) في الوصلات الاحتكاكية عن (70) بالمائة من قوة الشد الأقل للمسمار الملول (البرغي).

ر- تتم عملية الشد المسبق بوحدة من الطرائق الثلاث التالية:

1- طريقة تدوير الصامولة (Turn-out-nut).

2- طريقة استعمال الشد المباشر (Direct tension indication).

3- طريقة استعمال مفاتيح شد معايرة (Calibrated wrenches).

هذا ويراعى أن تستعمل حلقات مصلدة تحت العنصر المدار (Turned) سواء أكان ذلك رأس المسمار الملولب (البرغي) أم الصامولة وذلك في حالة استعمال مفاتيح شد معايرة فقط.

6/2-13 مفاصل الانضغاط (Compression Joints)

للمفاصل المعرضة للضغط والتي تعتمد على التحميل المباشر (Contact bearing) بصفته جزء من مقاومة وصلة التراكب (Splice capacity) يستعمل التحزيز (Milling) أو النشر (Sawing) أو أية طريقة أخرى مناسبة.

7/2-13 السماحات في الأبعاد (Dimensional Tolerances)

لا يزيد التفاوت في أبعاد أعضاء المنشآت الفولاذية بعد تركيبها عما هو محدد في الجدول 1/2-13. [5,4,2]

الجدول 1/2-13: حدود التفاوت المسموح بها في أبعاد أعضاء المنشآت الفولاذية بعد تركيبها

التفاوت (mm)	العضو
(1) لكامل العضو	الأعضاء ذات الأطراف المهيأة للتحميل المباشر (Both ends finished for contact bearing)
(2) لكامل الطول (3) لكامل الطول	الأعضاء التي ستوصل بأجزاء أخرى من المنشأ الفولاذي وذات الأطراف غير المهيأة (Without ends finished) للتحميل المباشر • التي يقل طولها عن (10 m) • التي يساوي طولها (10 m) أو أكثر
الطول المحوري/1000	التفاوت في استقامة أعضاء الضغط بين نقاط التثبيت

8/2-13 إنهاء قواعد الأعمدة (Finishing of Column Bases)

تراعى المتطلبات التالية عند إنهاء سطوح ألواح الأسس وقواعد الأعمدة: [5,4]

أ- تستعمل ألواح التحميل الفولاذية والتي يساوي سمكها (50 mm) أو اقل بدون أي تحزيز (Milling) لسطوحها إذا كان سطحها التحميلي ذا تماس جيد، في حين يتعين تسوية ألواح التحميل الفولاذية المدلفنة والتي يزيد سمكها على (50 mm) ولا يتجاوز (100 mm) باستعمال آلات الكبس أو التحزيز في حال عدم توافر هذه الآلات، مع مراعاة ما ذكر في البندين الفرعيين (ت) و(ث) المذكورين لاحقاً، للحصول على سطح تحميلي ذي تماس جيد. أما ألواح التحميل الفولاذية التي يزيد سمكها على (100mm) فيجب تحزيز جميع سطوحها ما عدا تلك التي ذكرت في البندين الفرعيين (ت) و(ث) المذكورين لاحقاً.

ب- يجب تحزيز جميع سطوح ألواح الأساس غير الألواح التحميلية الفولاذية المدلفنة ما عدا تلك التي ذكرت في البندين الفرعيين (ت) و(ث) المذكورين لاحقا.

ت- عند حقن (Grouting) منطقة تماس قواعد الأعمدة مع الأسس أو منطقة تماس ألواح الأساس الحاملة مع الأسس لضمان التماس الكامل بين سطوح التحميل، لا تكون السطوح السفلية لقواعد الأعمدة أو ألواح الأساس بحاجة إلى تحزيز.

ث- عندما تكون ألواح الأساس ملحومة مع الأعمدة باستعمال اللحام التناكبي تام الاختراق (full-penetration)، لا تكون سطوح ألواح الأساس العلوية بحاجة إلى تحزيز.

9/2-13 الثقوب لقضبان التثبيت المسننة (Holes for Anchor Rods)

الثقوب لقضبان التثبيت المسننة تقطع حراريا على وفق شروط البند (2/2-13).

10/2-13 ثقوب التصريف (Drain Holes)

عندما يتجمع الماء في الانابيب المجوفة المربعة HSS او الاعضاء الصندوقية (Box members)، اما في مرحلة التشييد او في مرحلة الخدمة، يجب حماية الأعضاء بعمل ثقب مجوف في القاعدة او يحدد في مكان ملائم.

11/2-13 متطلبات الاعضاء المغلونة (Requirements for Galvanized Members)

الاعضاء و الاجزاء المغلونة يجب ان تصمم وتفصل و تصنع وتجهز لتدفق وجريان السوائل والرصاص ولمنع تشكل ضغط في الاجزاء المغلقة.

3-13 أعمال الطلاء في المصنع (Shop Painting)

1/3-13 المتطلبات العامة (General Requirements)

أ- يجب أن تتم عمليات الطلاء وتحضير السطوح التي تنفذ في المصنع طبقا للمتطلبات المنصوص عليها في هذا البند.

ب- يجب أن تكون جميع السطوح المراد طلاؤها أو معالجتها جافة أو نظيفة وخالية من المواد العالقة والغبار.

ت- إذا نصت المواصفات الخاصة على ضرورة طلاء السطوح الفولاذية المتلامسة أو السطوح التي يصعب طلاؤها بعد تجميعها فيجب تنظيفها وطلاؤها قبل إجراء عملية التجميع.

ث- يجب إتمام عمليتي المعالجة والطلاء للسطوح غير المتلامسة والتي يتعذر الوصول إليها بحسب الأصول قبل تجميعها في المصنع (مع مراعاة ما ينص عليه البند الفرعي (13-1/3-ش)

ج- يحظر إجراء عمليات الدهان قبل الانتهاء من عمليات اللحام. أما في الأحوال التي تتطلب إجراء عمليات الطلاء قبل انتهاء عمليات اللحام، فيتعين ترك مسافة مناسبة لا تقل عن (50 mm) من حافات الأعضاء الفولاذية المراد لحامها على أن تطلّى بعد الانتهاء من لحامها.

ح- يحظر طلاء جميع الأجزاء المنهارة من المنشأ الفولاذي قبل التفتيش عليها وتسليمها من قبل المهندس المسؤول أو من ينوب عنه وإصدار موافقته عليها، على أن ينجز ذلك بدون التسبب بتأخير العمل.

خ- يجب ذكر متطلبات أعمال الطلاء بالتفصيل في وثائق العقد. وتشمل هذه المتطلبات ذكر الأعضاء التي يجب طلاؤها وكيفية تحضير السطوح ونوع الطلاء ومواصفاته والسمك المطلوب لطبقة الطلاء بالميكرون بعد جفافها.

د- تعتبر طبقة طلاء الأساس التي تنفذ في المصنع الطبقة الأساسية لحماية المنشأ، حيث تعمل هذه الطبقة على حماية المنشأ فترة قصيرة من التعرض للظروف الجوية العادية وتعتبر طبقة حماية مؤقتة ولا يتحمل المصنع مسؤولية تلف هذه الطبقة نتيجة تعرضها لظروف جوية غير عادية أو نتيجة تعرضها للظروف الجوية العادية فترة طويلة من الزمن.

ذ- في غياب متطلبات أخرى في وثائق العقد، على المصنع القيام بتنظيف الصدا على شكل قشور والأوساخ وأية مواد غريبة أخرى قبل طلاء الأعضاء الفولاذية باستعمال فرشاة من السلك أو بأي طريقة أخرى يختارها المصنع ويوافق عليها صاحب العمل أو من يمثله. وتعتبر أعمال تحضير السطوح موافقا عليها من قبل صاحب العمل إلا إذا أبدى عدم موافقته عليها قبل طلائها.

ر- يمكن إجراء عمليات الطلاء بالفرشاة أو بالمرذاذ (Sprayer) أو بالدحرجة (Roller) أو باستعمال طريقة الدفق (Flow coating) أو طريقة التغطيس (Dipping) وبحسب الطريقة التي يختارها المصنع ما لم تُستثن تحديدًا أي من هذه الطرائق. وعند عدم ذكر مواصفات الطلاء أو نظام تطبيقه في وثائق العطاء فيمكن للمصنع اختيار الدهان والطريقة التي تناسبه.

ز- تتنظف الأعضاء الفولاذية غير المطلوب طلاؤها في المصنع بإزالة الشحوم عنها باستعمال المنظفات المذيبة وتنظيفها من الأوساخ والمواد الغريبة الأخرى بمسحها بفرشاة من الليف أو بأي طريقة مناسبة.

س- تطلّى الأعضاء الفولاذية بطبقة أو طبقات من الطلاء لحمايتها من العوامل الجوية. بيد أنه لا يمكن اعتبار الدهان مصدر حماية دائمة، بل مصدر حماية مؤقتة يجب صيانته باستمرار.

ش- يجب طلاء جميع الأعمال الفولاذية بطبقة من الطلاء. وتستثنى الأعمال الفولاذية الداخلية التي ستخفى والأعمال الفولاذية التي ستغلف بالخرسانة من عمليات الطلاء، إلا إذا نص على خلاف ذلك في وثائق التصميم.

2/3-13 السطوح التي لا يمكن الوصول إليها (Inaccessible Surfaces)

فيما عدا السطوح المتلامسة يجب تنظيف السطوح التي لا يمكن الوصول إليها بعد تجميعها في المصنع وطلائها، وذلك قبل تجميعها.

3/3-13 السطوح المتلامسة (Contact Surfaces)

يسمح بطلاء السطوح المتلامسة في الوصلات التحميلية بدون قيد أو شرط، في حين يجب أن تخضع عمليات طلاء السطوح المتلامسة في الوصلات الاحتكاكية إلى المتطلبات المنصوص عليها في وثائق التصميم.

4/3-13 السطوح المنهارة (Finished Surfaces)

يجب حماية السطوح المنهارة آلياً من التآكل بطلائها بمواد مانعة للصدأ تسهل إزالتها قبل تركيبها، أو بطلائها بمواد ذات خصائص تسهل إزالتها قبل التركيب امراً غير ضروري.

5/3-13 السطوح المجاورة لمجال اللحام الموقعي (Surfaces Adjacent to Field Welds)

يتعين ترك مسافة لا تقل عن (50 mm) من سطوح الأعضاء الفولاذية التي يجري لحامها في الحقل وإبقاؤها خالية من المواد التي تؤثر في جودة اللحام، أو من المواد التي تنتج أبخرة سامة في أثناء عمليات اللحام، وذلك من الجهة التي ستجرى عمليات اللحام فيها.

4-13 التركيب (Erection)

1/4-13 تنظيم صف قواعد الأعمدة (Alignment of Column Bases)

أ- يجب التحقق من وضع قواعد الأعمدة بشكل أفقي على السطوح الحاملة لها سواء أكانت هذه السطوح من الخرسانة (Concrete) أم من الطابوق (Masonry)، وأن يتحقق من تحميل الأعمدة بشكل كامل على هذه السطوح لضمان انتقال جميع الأحمال والعزوم من الأعمدة إلى القواعد والأسس بصورة سليمة.

ب- يجب تثبيت ألواح القاعدة (Base plates) جيداً على مساندها مع مراعاة أن تكون هذه الألواح مستوية صحيحة المنسوب.

13-4/2 التدعيم (Bracing)

- أ- يراعى تحديد نوعية التدعيم المؤقت للهياكل الإنشائية الفولاذية لتكون قادرة على تأمين سلامة المنشأ في أثناء عملية التنفيذ.
- ب- يجب أن يكون التدعيم المؤقت قادراً على تحمل جميع الأعمال التي يتعرض لها الهيكل الإنشائي في أثناء عملية التنفيذ بما في ذلك أحمال مستلزمات الإنشاء وغير ذلك.
- ت- يترك التدعيم المؤقت في مكانه حتى إتمام عملية الإنشاء بالكامل بما في ذلك التدعيم الدائم للمنشأ.

13-4/3 الاستقامة (Straightening)

يجب إجراء عملية التقويم وضبط الاستقامة لمعظم أجزاء المنشأ بالطريقة الملائمة وذلك قبل إجراء أي أعمال لحام أو تثبيت مسامير ملولبة (براغ) دائمة عليها.

13-4/4 تطابق مفاصل الانضغاط في الأعمدة (Fitting of Column Compression Joint)

لا يسمح بزيادة الفجوة بين سطوح التحميل عن مليمتين مهما كان نوع المفصل، سواء أكانت منفذة باستعمال اللحام التناكبي جزئي الاختراق (Partial-joint-penetration) أم باستعمال المسامير الملولبة (البراغي). وفي بعض الحالات الخاصة التي تتراوح فيها الفجوة بين (2 mm) و (6 mm) وعندما تؤكد تحريات المهندس عدم كفاية سطح التلامس، يجب تعبئة هذه الفجوة برقائيق مستوية (Non-tapered shims) من الفولاذ التي يمكن أن تكون من الفولاذ متوسط المقاومة بغض النظر عن صنف الفولاذ المستعمل للأعمدة وسطوح التحميل.

13-4/5 اللحام الموقعي (Field Welding)

يجب تقليل سمك طبقة الطلاء للسطوح المجاورة للمفاصل التي ستلحم في الموقع إلى أقل حد ممكن باستعمال فرشاة من الأسلاك.

13-4/6 الطلاء الموقعي (Field Painting)

- أ- يجب أن تتضمن وثائق العقد بصورة واضحة وصريحة أية متطلبات وشروط تتعلق بالطلاء الموقعي.
- ب- يجب أن تكون جميع السطوح المراد طلاؤها جافة ونظيفة وخالية من المواد العالقة والغبار.

ت- عند طلاء الأعضاء الفولاذية ومعالجتها بعد الانتهاء من تركيبها، يراعى تنظيف جميع رؤوس المسامير الملولة (البراغي) والبراشيم وسطوح اللحام ومعالجة السطوح المتضررة المصبوغة سابقا في المصنع باستعمال طلاء من نفس نوع الطلاء المستعمل في المصنع مع التأكد من جودة الطلاء المعاد.

ث- حيثما نص ذلك في وثائق العقد، يجب دهان السطوح التي ستكون متلامسة بعد التجميع في موقع العمل باستعمال طبقة إضافية من الطلاء فوق طبقة طلاء المصنع وتركيبها قبل جفاف الطلاء.

ج- يجب إتمام طلاء السطوح غير المتلامسة التي يتعذر الوصول إليها بحسب ما مطلوب قبل تركيبها في موقع العمل.

ح- يحظر إجراء عملية الطلاء في موقع العمل في الأجواء الباردة جدا (الصقيع)، وكذلك في حالة تكون الضباب، أو إذا كانت نسبة الرطوبة في الجو عالية بشكل يؤدي إلى حدوث التكاثف على السطوح التي ستطلى.

13-7 الروابط المنفذة موقعا (Field Connections)

مع تقدم العمل في التركيب يجب ربط المسامير الملولة (البراغي) أو إكمال أعمال اللحام عند جميع الروابط بشكل محكم ليستطيع المنشأ مقاومة الاجهادات الناتجة من جميع الأحمال الميتة وأحمال الرياح والاجهادات الناتجة من التركيب.

13-5 السيطرة النوعية (Quality Control)

13-5/1 عام (General)

على الشركة المصنعة (Fabrication) أن تحدد طرائق السيطرة النوعية التي ستتبع في أثناء تجهيز الأعمال والتي تتضمن انجاز تلك الأعمال طبقا للمواصفات المطلوبة، وأن تحصل على موافقة صاحب العمل أو من يمثله على تلك الطرائق قبل القيام بتجهيز الأعمال، إذا نصت وثائق العقد على ذلك.

13-5/2 التعاون بين صاحب العمل أو من يمثله وبين المصنع

يجب أن تتم جميع أعمال المعاينة من قبل صاحب العمل أو من يمثله في موقع المصنع بقدر الإمكان. وعلى الشركة أو صاحب المصنع التنسيق والتعاون مع صاحب العمل أو من يمثله بتسهيل وصوله إلى جميع المواقع التي يجب عليه أن يجهزها بالأعمال ليستطيع معاينتها وعلى صاحب العمل أو من يمثله

وضع خطة زمنية لإنجاز أعمال المعاينة التي سيقوم بها، أخذاً في اعتباره عدم إعاقة العمل في الموقع أو المصنع.

13-5/3 رفض الأعمال (Rejection of Works)

يمكن لصاحب العمل أو من يمثله رفض المواد والأعمال غير المطابقة للمواصفات في أي وقت من الأوقات، بدون تعسف، على أن يذكر للشركة المصنعة الأسباب التي دعت به إلى الرفض.

13-5/4 معاينة أعمال اللحام (Inspection of Welding)

أ- يجب أن تتم معاينة أعمال اللحام على وفق ما نصت عليه المدونة الأمريكية للحام الصادرة عن جمعية اللحام الأمريكية (AWS) أو ما يعادلها من المدونات والمواصفات العالمية.
ب- يجب أن تحدد بوضوح في وثائق التصميم، طريقة الفحص وحدودها ومواصفات القبول والرفض وذلك عند إجراء الفحوص اللاإتلافية (Nondestructive Tests) في أعمال المعاينة.

13-5/5 معاينة روابط الانزلاق الحرج (Inspection of Slip-Critical Connections) المنفذة باستعمال

المسامير الملولبة (البراغي) عالية المقاومة (High Strength Bolt)

يجب أن تتم معاينة هذه الروابط على وفق متطلبات مجلس البحث الأمريكي المختص بالروابط الإنشائية (RCSC) والمتعلقة بالإجهادات التصميمية المسموح بها في الوصلات الإنشائية التي تستعمل المسامير الملولبة (البراغي) المطابقة للمواصفات الأمريكية (ASTM-A325) أو (ASTM-A490). [5]

13-5/6 ترميز العناصر الفولاذية (Identification of Steel Works)

أ- يجب أن تكون لدى المصنع القدرة على بيان تجميع العناصر الإنشائية الموردة للموقع (Shipping pieces) وترميزها بشكل مكتوب وبما يتناسب مع طرائق الإنشاء المعروفة، وعلى أن تكون هذه الطريقة ظاهرة للعيان خلال عملية التجميع والتركيب على الأقل.
ب- يجب أن تكون لطريقة الترميز القدرة على إمكانية التعرف على الاستعمال الملائم للمادة إذا كانت تتعلق بما يلي:

1- بيان مواصفة المادة.

2- الرقم الحراري عند الطلب.

3- تقارير فحص المادة لأية متطلبات خاصة.

المراجع (References)

- [1] “*Structural Welding Code - Steel*”; American Welding Society, AWS D1.1/D1.1M, 19th Edition. 2004.
- [2] “*Egyptian Code of Practice for Steel Construction (Load and Resistance Factor Design LRFD)* ”;Permanent Committee for the Code of Practice for Steel Construction and Bridges, Housing and Building National Research Center, 1st Edition, 2008.
- [3] “*Saudi Building Code Steel Structural Requirements Commentary (SBC 306C)* ”;The Saudi Building Code National Committee, 1st Edition, 2007.
- [4] “*Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges* ”;American Institute of Steel Construction, Inc. , 1st Edition, 2005.
- [5] "كودة الإنشاءات الفولاذية"، مجلس البناء الوطني الأردني، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الثانية، 2002.

الملحق أ

متطلبات التصميم (Design Requirements)

أ-1 الانبعاج الموضعي (Local Buckling)

أ-1/1 مقاطع الانضغاط ذات العناصر النحيفة (Slender-Element Compression Sections)

في حالة الاعضاء الانشائية التي تتكون من عناصر نحيفة تتعرض الى الانضغاط والتي تمت الاشارة اليها في الباب 2، فيقلل تحمل الانضغاط الاسمي (P_n) للمقطع الانشائي بمقدار معامل تقليل مقداره ($Q_s = Q_a$) عندما يتكون من عناصر نحيفة غير مقواة (Q_s) أو/و مقواة (Q_a). وبناءً على ذلك يحسب تحمل الانضغاط الاسمي على أساس الحالات الحدية (Limit states) لانبعاج الانحناء، أو اللي أو الانحناء-اللي كما يلي:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (أ-1/1)$$

$$(أ) \text{ عندما } \left(\frac{KL}{r} \leq \frac{665}{\sqrt{Q F_y}} \right) \text{ أو } (F_e \geq 0.44 Q F_y) :$$

$$F_{cr} = Q \left[0.658 \frac{Q F_y}{F_e} \right] F_y \quad (أ-1/2)$$

$$(ب) \text{ عندما } \left(\frac{KL}{r} > \frac{665}{\sqrt{Q F_y}} \right) \text{ أو } (F_e < 0.44 Q F_y) :$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (أ-1/3)$$

حيث (F_e) : اجهد الانبعاج المرن الحرج (Elastic critical buckling stress).

أ-2/1 العناصر النحيفة غير المقواة (Q_s) (Unstiffened Slender Elements)

يكون معامل التقليل للعناصر النحيفة غير المقواة (Q_s) كالآتي:

1- للشفاه والزوايا والألواح البارزة من الأعمدة المدلفنة أو الأعضاء الانضغاطية الأخرى:

$$\text{عندما } \left(\frac{b}{t} < \frac{250}{\sqrt{F_y}} \right) :$$

$$Q_s = 1.0 \quad (أ-1/4)$$

$$\text{عندما } \left(\frac{250}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b}{t} < \frac{460}{\sqrt{F_y}} \right) :$$

$$Q_s = 1.4125 - 0.00165 \frac{b}{t} \sqrt{F_y} \quad (5/1-أ)$$

$$\text{عندما } \left(\frac{b}{t} \geq \frac{460}{\sqrt{F_y}} \right)$$

$$Q_s = \frac{138000}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (6/1-أ)$$

2- للشفاه والزوايا والألواح البارزة من الأعمدة المجمعة وللعناصر البارزة من الشفاه المعرضة للانضغاط في الاعتاب والروافد:

$$\text{عندما } \left(\frac{b}{t} \leq \frac{280}{\sqrt{F_y/k_c}} \right):$$

$$Q_s = 1.0 \quad (7/1-أ)$$

$$\text{عندما } \left(\frac{280}{\sqrt{F_y/k_c}} < \frac{b}{t} < \frac{525}{\sqrt{F_y/k_c}} \right):$$

$$Q_s = 1.41 - 0.00145 \frac{b}{t} \sqrt{F_y/k_c} \quad (8/1-أ)$$

$$\text{عندما } \left(\frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{F_y/k_c}} \right):$$

$$Q_s = \frac{180000 k_c}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2} \quad (9/1-أ)$$

حيث أن:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \text{ على أن لا تقل عن } (0.35) \text{ ولا تزيد على } (0.76).$$

3- للزوايا المنفردة:

$$\text{عندما } \left(\frac{b}{t} \leq \frac{200}{\sqrt{F_y}} \right):$$

$$Q_s = 1.0 \quad (10/1-أ)$$

$$\text{عندما } \left(\frac{200}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{405}{\sqrt{F_y}} \right):$$

$$Q_s = 1.34 - 0.0017 \frac{b}{t} \sqrt{F_y} \quad (11/1-أ)$$

$$\text{عندما } \left(\frac{b}{t} \geq \frac{405}{\sqrt{F_y}} \right):$$

$$Q_s = \frac{105000}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (12/1-أ)$$

حيث أن:

b : يمثل الطول الكلي للساق الأطول من مقطع الزاوية، (mm).

4- لوترة المقاطع على شكل (T):

عندما $\left(\frac{d}{t} \leq \frac{335}{\sqrt{F_y}}\right)$:

$$Q_s = 1.0 \quad (13/1-أ)$$

عندما $\left(\frac{335}{\sqrt{F_y}} < \frac{d}{t} < \frac{460}{\sqrt{F_y}}\right)$:

$$Q_s = 1.91 - 0.00273 \frac{d}{t} \sqrt{F_y} \quad (14/1-أ)$$

عندما $\left(\frac{d}{t} \geq \frac{460}{\sqrt{F_y}}\right)$:

$$Q_s = \frac{138000}{F_y \left(\frac{d}{t}\right)^2} \quad (15/1-أ)$$

حيث أن:

d : يمثل الطول الكلي الاسمي للمقطع T، (mm).

أ-3/ العناصر النحيفة المقواة (Stiffened Slender Elements) (Q_a)

يحسب معامل التقليل (Q_a) للعناصر النحيفة المقواة من المعادلة التالية:

$$Q_a = \frac{A_{eff}}{A} \quad (16/1-أ)$$

حيث أن:

A: المساحة الكلية لمقطع العضو الانشائي، (mm²).

A_{eff} : مجموع المساحات الفعالة للمقطع محسوبة على أساس العرض الفعال المقلل (b_e)، (mm²).

يحسب العرض الفعال المقلل (b_e) كما يلي:

1- للعناصر النحيفة المعرضة للانضغاط المنتظم التي لها $\left(\frac{b}{t} \geq \frac{665}{\sqrt{f}}\right)$ عدا شفاه المقاطع المربعة

والمستطيلة التي لها سمك منتظم:

$$b_e = \frac{855t}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{155}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \leq b \quad (17/1-أ)$$

حيث $f =$ قيمة F_{cr} محسوبة على أساس $Q=1$.

2- لشفاه مقاطع العناصر النحيفة المربعة والمستطيلة التي لها سمك منتظم والتي لها $\left(\frac{b}{t} \geq \frac{625}{\sqrt{F_y}} \right)$:

$$b_e = \frac{855t}{\sqrt{f}} \left(1 - \frac{170}{(b/t)\sqrt{f}} \right) \leq b \quad (18/1-أ)$$

3- للمقاطع الدائرية المعرضة لانتضاغ محوري والتي لها $\left(\frac{22000}{F_y} < \frac{D}{t} < \frac{90000}{F_y} \right)$:

$$Q = Q_a = \frac{7600}{(D/t)F_y} + \frac{2}{3} \quad (19/1-أ)$$

حيث:

D : القطر الخارجي للمقطع، (mm).

t : سمك جدار المقطع، (mm).

الملحق ب

الأعمدة والأعضاء الانضغاطية الأخرى (Columns and Other Compression Members)

يتناول الملحق تحمل الأعمدة المتمثلة حول محوريها والتي تكون عناصرها من الألواح الرقيقة وكذلك الأعمدة المتمثلة حول احد محاورها أو الأعمدة غير المتمثلة مع الاخذ بنظر الاعتبار الانبعاج الناجم عن اللي والانحناء وكذلك الانبعاج الناجم عن اللي.

ب-1 تحمل الانضغاط التصميمي لانبعاج الانحناء-اللي

(Design Compressive Strength for Flexural-Torsional Buckling)

التحمل التصميمي للأعضاء الانضغاطية لمقاومة الانبعاج الناجم عن اللي وكذلك الانبعاج الناجم عن اللي والانحناء هو $\phi_c P_n$ والتحمل المسموح به هو $\frac{P_n}{\Omega_c}$.

حيث ان:

$$\phi_c = 0.9 (\text{LRFD}) , \quad \Omega_c = 1.67 (\text{ASD})$$

$A_g \cdot F_{cr} = P_n$: تحمل الانضغاط الاسمي، (N).

A_g : مساحة المقطع الإجمالية، (mm²).

الإجهاد الحرج الاسمي (F_{cr}) (Nominal critical stress) يمكن إيجاده كما يلي:

$$\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.50 \quad \text{أ-}$$

$$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c})F_y \quad \text{(ب-1/1)}$$

$$\lambda_c \sqrt{Q} > 1.50 \quad \text{ب-}$$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad \text{(ب-2/1)}$$

$$\lambda_c = \sqrt{F_y / F_e} \quad \text{(ب-3/1)}$$

حيث أن :

$Q=1.0$: للعناصر التي تتفق مع متطلبات نسبة العرض-السماك (λ_r) للفصل (5-2).

$Q_s = Q_a = Q$: للعناصر التي لا تتفق مع متطلبات نسبة العرض-السماك (λ_r) للفصل (5-2).

والتي يمكن إيجادها بحسب الملحق (أ).

الإجهاد الحرج (F_e) لانبعاث الانحناء - اللي المرن يمكن إيجادها كما يلي:

1- للأشكال المتماثلة المزدوجة:

$$F_e = \left[\frac{1972000 C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad \text{(ب-4/1)}$$

2- للأشكال المتماثلة المنفردة عندما يكون محور التماثل هو المحور الشاقولي (y):

$$F_e = \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad \text{(ب-5/1)}$$

3- للأشكال غير المتماثلة الإجهاد الحرج لانبعاث الانحناء- اللي المرن (F_e) سوف يكون الجذر بالقيمة الأقل للمعادلة المكعبة:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left[\frac{x_o}{\bar{r}_o} \right]^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left[\frac{y_o}{\bar{r}_o} \right]^2 = 0 \quad \text{(ب-6/1)}$$

حيث أن:

K_z : عامل الطول الفعال لانبعاث اللي.

G : معامل القص، (MPa).

C_w : ثابت التشوه، (mm^6).

J : ثابت اللي، (mm^4).

I_x, I_y : عزم القصور الذاتي حول المحاور الرئيسية، (mm^4).

x_o, y_o : إحداثيات مركز القص بالنسبة إلى مركز الشكل، (mm).

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A} \quad \text{(ب-7/1)}$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \right) \quad \text{(ب-8/1)}$$

$$F_{ex} = \frac{1972000}{\left(\frac{K_x L}{r_x} \right)^2} \quad \text{(ب-9/1)}$$

$$F_{ey} = \frac{1972000}{\left(\frac{K_y L}{r_y} \right)^2} \quad \text{(ب-10/1)}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{1972000 C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right) \frac{1}{A \bar{r}_o^2} \quad \text{(ب-11/1)}$$

حيث أن :

A: مساحة المقطع للعضو، (mm²).

L: الطول غير المدعم، (mm).

K_y, K_x: عوامل الطول الفعال بالاتجاه y, x على التوالي.

r_y, r_x: نصف القطر التدويري حول المحاور الرئيسية، (mm).

$\bar{r}_o$: نصف القطر القطبي حول مركز القص، (mm).

الملحق ج

العتبات وأعضاء الانحناء الأخرى (Beams and Other Flexural Members)

الفصل ج-1 من هذا الملحق سيعطي التحمل التصميمي للعتبات وأعضاء الانحناء، والفصل ج-2 يعطي تحمل القص التصميمي للوترات مع وبدون مجسئات وكذلك المتطلبات للمجسئات العرضية، في حين تنطبق متطلبات الفصل ج-3 على الوترات المستدقة.

ج-1 التصميم للانحناء (Design for Bending)

التحمل التصميمي لأعضاء الانحناء هي:

$$\phi_b M_n \geq M_u \quad (\text{ج-1/1})$$

حيث أن $(\phi_b = 0.90)$ و (M_n) هي التحمل الاسمي.

الجدول (ج-1/1) يبين خلاصة مجدولة للمعادلات (6-1/2) لغاية (6-11/2) لإيجاد التحمل التصميمي لانحناء العتبات وأعضاء الانحناء.

لنسب النحافة للمقاطع غير المتضمنة في الجدول (ج-1/1) راجع الملحق (أ).

لأعضاء الانحناء ذات الشفتين غير المتساويتين راجع الملحق (أ) لإيجاد نسبة النحافة الكبرى اللامرنة (λ_r) لحالة الانبعاج الموضعي الحدية للوتر.

تحمل الانحناء الاسمي (M_n) هو القيمة الأقل المحسوبة من حالات الخضوع الحدية والمتضمنة:

- انبعاج اللي الجانبي.
- انبعاج الشفة الموضعي.
- انبعاج الوتر الموضعي.

تحمل الانحناء الاسمي (M_n) ستحسب قيمته لكل حالة خضوع حدية كآتي:

$$\text{ج-1/1 لقيمة } \lambda_p \geq \lambda :$$

$$M_n = M_p \quad (\text{ج-2/1})$$

$$\text{ج-2/1 لقيمة } \lambda_r \geq \lambda > \lambda_p :$$

لحالة انبعاج اللي الجانبي الحدية:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq M_p \quad (\text{ج-3/1})$$

ولحالة الانبعاج الموضعي للوتر والشفة الحدية:

$$M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (ج-4/1)$$

ج-3/1 لقيمة $\lambda < \lambda_r$:

وللحالات الحدية المتمثلة بانبعاج اللي الجانبي والانبعاج الموضعي للشفة فان:

$$M_n = M_{cr} = SF_{cr} \leq M_p \quad (ج-5/1)$$

لتصميم باقي أعضاء الانحناء والتي تمتلك وترات نحيفة فان حالة الانبعاج الموضعي تصبح غير قابلة للتطبيق، انظر الملحق (د).

لقيمة λ للشفة وفي حالة ($\lambda_r < \lambda$) غير المتضمنة في الجدول (ج-1/1) راجع الملحق (أ).
لقيمة (λ) للوتر وفي حالة ($\lambda_r < \lambda$) انظر الملحق (د).

ج-2 التصميم للقص (Design for Shear)

ج-1/2 تصميم تحمل القص (Design for Shear)

تحمل القص التصميمي لوتر المقطع المجسئة وغير المجسئة هو:

$$\phi_v V_n \geq V_u \quad (ج-1/2)$$

حيث أن ($\phi_b = 0.90$) و (M_n) هي التحمل الاسمي و (V_n) هو تحمل القص التصميمي والمعروف بحسب الحالات التالية:

$$ج-1/2/1 لقيمة $492 \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} \geq \frac{h}{t_w}$$$

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w \quad (ج-2/2)$$

$$ج-2/2/2 لقيمة $613 \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} \geq \frac{h}{t_w} > 492 \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}$$$

$$V_n = 0.6 F_{yw} A_w \frac{492 \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}}{h/t_w} \quad (ج-3/2)$$

$$ج-3/2/3 لقيمة $613 \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} < \frac{h}{t_w}$$$

$$V_n = A_w \left[\frac{182000 k_v}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2} \right] \quad (ج-4/2)$$

حيث أن:

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \geq 5.0 \quad (ج-5/2)$$

$$\text{قيمة } k_v = 5.0 \text{ عندما تكون } \frac{a}{h} < 3 \text{ أو } \frac{260}{(\frac{h}{t})^2} < \frac{a}{h}$$

a : المسافة بين المجسّات العرضية، (m).

h : للمقاطع المدلفنة، المسافة الصافية بين الشفتين بدون منطقة التدوير أو نصف قطر الأركان وللمقاطع المركبة الملحومة المسافة الصافية بين الشفتين وللمقاطع المركبة المسمرة والمبرشمة، المسافة بين صفوف المثبتات، (m).

ج-2/2 المجسّات العرضية (Lateral Stiffeners)

المجسّات العرضية، لا حاجة لاستعمالها في حالة تحقق الشرط $(\frac{1096}{\sqrt{F_{yw}}} \geq \frac{h}{t_w})$ أو في حالة كون قوة القص العظمى، (V_u) ، من التحليل الإنشائي، أقل من أو تساوي $\phi_v \{0.6 F_{yw} A_w C_v\}$ حيث أن C_v معامل القص المعرف في الباب 7-الجدول (7-1/3) حيث تحسب لقيمة $k_v = 5.0$.
إن المجسّات العرضية تستعمل لبلوغ تحمل القص التصميمي للساق وبحسب الفصل ج/2، حيث يتطلب امتلاكها لعزم قصور ذاتي حول محور يمر من مركز الساق وذلك لحالة زوجي المجسّات، أو حول محور مواز للوتر يمر بين سطح التصاق المجسّات المنفردة بالوتر لا تقل قيمته عن:

$$I_{st} \geq at_w^3 j \quad (ج-6/2)$$

حيث أن:

$$j = \frac{2.5}{(\frac{a}{h})^2} \geq 0.50 \quad (ج-7/2)$$

- 1- يسمح بعدم إلحاق المجسّات الوسطية بالشفة الشدية ولمسافة قصيرة، وذلك للحيلولة دون نقل رد فعل أو تحمل للشفة الشدية.
- 2- يجب إيقاف اللحام المستعمل لتثبيت المجسّات بساق المقطع عند مسافة لا تقل عن أربعة أمثال سمك الساق ولا تزيد عن ستة أمثال سمك الوتر وذلك عند الكعب القريب من اتصال الوتر بالشفة.
- 3- عند استعمال مجسّات منفردة لوحية فيجب إلحاقها بشفة انضغاط وذلك لتفادي إمكانية ارتفاع الشفة بسبب الالتواء.
- 4- عند إلحاق الإسناد العرضي بمجسّ أو زوج من المجسّات فيجب ربطها بشفة الانضغاط، وذلك لتحملها واحد بالمائة من إجهاد الانضغاط الكلي للشفة، ما لم تكن الشفة مؤلفة من زوايا.
- 5- المسامير الملولة (البراغي) المثبتة للمجسّات بالوتر يجب أن لا تمتلك مسافات بينية بين مراكزها أكثر من (300 mm).

6- إذا تم استعمال لحام متقطع لتثبيت المجسئات بالوترة فان المسافة الصافية بين اللحام يجب أن لا تزيد عن 16 مرة بقدر سمك الوترة ولا تزيد عن (250 mm).

ج-3 الأعضاء مستدقة الوتائر

تصميم الأعضاء المستدقة المذكورة لاحقا يجب أن يلبي متطلبات التصميم وبحسب الأبواب من الرابع لغاية الثامن ماعدا ما سيعدل في هذا الملحق.

ج-1/3 المتطلبات العامة (General Requirements)

من اجل تأهيل العمل بهذه المدونة، على العضو المستدق تحقيق المتطلبات التالية:

1. يجب أن يمتلك محور تناظر واحد على الأقل، والذي يجب أن يكون متعامدا مع مستوي الانحناء إذا كانت هنالك عزوم.
2. شفتا المقطع يجب أن تكونا متساويتين وتمتلكان مساحة ثابتة.
3. العمق d يتغير خطيا بحسب المعادلة التالية:

$$d = d_o \left(1 + \gamma \frac{z}{L} \right) \quad \text{(ج-1/3)}$$

حيث أن:

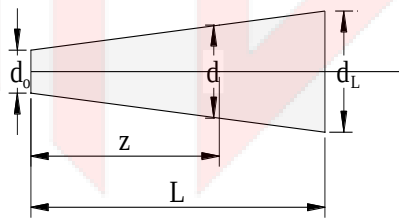
$$\gamma = \left(\frac{d_L - d_o}{d_o} \right) \geq \text{القيمة الأقل من } 0.268 \text{ أو } \frac{L}{d_o} \geq 6.0.$$

d_o : عمق الطرف الأصغر من العضو، (mm).

d_L : عمق الطرف الأكبر من العضو، (mm).

z : المسافة مقاسة من الطرف الأصغر، (m).

L : الطول غير المدعم مقاس من مركزي ثقل الطرفين للعضو، (m).



الشكل ج-1/3: يبين التغير الخطي للعمق d للأعضاء المستدقة

ج-2/3 تحمل الشد التصميمي (Design Tensile Strength)

التحمل التصميمي لأعضاء الشد ذات الساق المستدقة يجب أن تستخرج بحسب متطلبات التصميم المذكورة في الباب 4.

ج-3/3 تحمل الانضغاط التصميمي (Design Compressive Strength)

التحمل التصميمي لأعضاء الانضغاط ذات الوتر المستدقة يجب أن يستخرج بحسب متطلبات التصميم المذكورة في الملحق ب، وذلك باستعمال عامل نحافة مؤثرة محسوب كآآآي:

$$\lambda_{eff} = 0.0022 \frac{S}{\pi} \sqrt{QF_y} \quad (ج-2/3)$$

حيث أن:

$$\left(\frac{KL}{r_{oy}} \right) = S \quad \text{وذلك في حالة الانبعاج حول المحور الضعيف.}$$

$$\left(\frac{K_L L}{r_{ox}} \right) = S \quad \text{وذلك في حالة الانبعاج حول المحور القوي.}$$

K : عامل الطول الفعال للعضو الموشوري (Prismatic).

K_λ : عامل الطول الفعال للعضو المستدق وكما هو محسوب من التحليل المنطقي.

r_{oy} : نصف قطر التدويم للمحور الضعيف عند الطرف الأصغر للعضو المستدق، (mm).

r_{ox} : نصف قطر التدويم للمحور القوي عند الطرف الأصغر للعضو المستدق، (mm).

F_y : إجهاد الخضوع الأقل المخصص، (MPa).

Q : معامل تقليل، في حالة تحقيق محددات نسب العرض للسلك λ_T المذكور ضمن متطلبات

الملحق (أ) = 1.0. وفي حالة عدم تحقيق أي عنصر مسند و/أو غير مسند محددات نسب

العرض للسلك λ_T المذكور ضمن متطلبات الملحق (أ) وذلك في حالة احتسابها بحسب البندين

$$(أ-2/1) \text{ و } (أ-3/1) = Q_s Q_a.$$

ج-4/3 تحمل الانحناء التصميمي (Design Bending Strength)

تحمل الانحناء التصميمي لأعضاء الانحناء المستدقة لحالة الانبعاج الجانبي - اللي الحدية هو:

$$M_u \leq \phi_b M_n \quad (ج-3/3)$$

حيث أن:

$$M_n = 1.66 S_x' F_{by} \quad (ج-4/3)$$

S_x' : معامل المقطع عند المقطع الحرج لطول العتبة غير المسند.

في حين ان إجهاد الانحناء F_{by} المسموح به يمكن التعبير عنه كآآآي:

$$F_{by} = 0.66 \left(1.0 - \frac{F_y}{6B\sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2}} \right) F_y \leq 0.60F_y \quad (5/3-ج)$$

وفي حالة كون $\frac{F_y}{3} \geq F_{by}$ فإن إجهاد الانحناء F_{by} المسموح به يمكن التعبير عنه:

$$F_{by} = B \sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2} \quad (6/3-ج)$$

في المعادلات السابقة F_{sy} و F_{wy} يمكن التعبير عنهما كالآتي:

$$F_{sy} = \frac{82000}{h_s L \frac{d_o}{A_f}} \quad (7/3-ج)$$

$$F_{wy} = \frac{1180000}{\left(h_w \frac{L}{r_{To}} \right)^2} \quad (8/3-ج)$$

حيث أن:

$$h_s = 1.0 + 0.230\gamma \sqrt{\frac{L d_o}{A_f}} \quad (9/3-ج)$$

$$h_w = 1.0 + 0.00385\gamma \sqrt{\frac{L}{r_{To}}} \quad (10/3-ج)$$

r_{To} : نصف قطر التدويم عند الطرف الأصغر لشفة الانضغاط مضاف له ثلث عمق الساق في

الانضغاط بالنسبة لمحور يمر في مستوي الساق، (mm).

A_f : مساحة الشفة في الانضغاط، (mm²).

أما المعامل (B) فيحسب من الحالات الآتية:

1. عندما يكون العزم الأكبر (M_2) ولثلاثة أجزاء متجاورة تمتلك أطوال غير مسندة متساوية تقريبا، ضمن الجزء الوسطي والعزم الأصغر (M_1) هو العزم الأكبر لإطراف باقي الجزأين.

$$B = 1.0 + 0.37 \left(1.0 + \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.50\gamma \left(1.0 + \frac{M_1}{M_2} \right) \geq 1.0 \quad (11/3-ج)$$

2. عندما يكون الإجهاد الأكبر المحسوب f_{b2} يحدث في الطرف الأكبر لجزأين متتاليين يمتلكان طولاً غير مسند متساويين تقريبا والإجهاد الأصغر المحسوب f_{b1} يحدث في الطرف الأصغر لجزأين متجاورين من العضو.

$$B = 1.0 + 0.58 \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) - 0.70\gamma \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (ج-12/3)$$

3. عندما يكون الإجهاد الأكبر المحسوب f_{b2} يحدث في الطرف الأصغر لجزأين متتاليين يمتلكان طولاً غير مسند متساويين تقريباً والإجهاد الأصغر المحسوب f_{b1} يحدث في الطرف الأكبر لجزأين متجاورين من العضو.

$$B = 1.0 + 0.55 \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) + 2.20\gamma \left(1.0 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (ج-13/3)$$

4. عندما يكون إجهاد العزم المحسوب للطرف الأصغر لعضو مستدق أو جزء منه مساوياً للصفر.

$$B = \frac{1.75}{1.0 + 0.25\sqrt{\gamma}} \quad (ج-14/3)$$

ج-5/3 تحمل القص التصميمي (Design Shear Strength)

التحمل التصميمي للقص للعتبات المستدقة يجب أن يحسب على وفق المتطلبات التصميمية للقص والمذكورة سابقاً في الفصل ج-2.

ج-6/3 قوى الانحناء المشتركة مع القوى المحورية (Combined Bending and Axial Forces)

للأعضاء المستدقة التي تمتلك ساقاً واحدة مستدقة والمتعرضة لقوى انضغاط وعزوم انحناء حول محورها القوي المعادلات في الباب 8 يمكن تطبيقها وذلك بعد إجراء التعديلات الآتية:

1. P_{ex} و P_n سيحسبان بالاعتماد على خواص الطرف الأصغر وبالاعتماد على عوامل طول فعال مناسبة.
2. M_{ux} ، M_{nx} و M_{px} ستحسب بالاعتماد على خواص الطرف الأكبر، M_{nx} تحسب من المعادلة (ج-4/3).

3. C_{mx} يحل محلها المعامل C'_m والذي يحسب على وفق الحالات الآتية:

ج-1/6/3 عندما يكون طرفاً العضو محملين بعزمين يسببان تقوساً منفرداً ويكون العزمان المحتسبان متساويين تقريباً.

$$C'_m = 1.0 + 0.1 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right) + 0.30 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right)^2 \quad (ج-15/3)$$

ج-2/6/3 عندما يكون العزم المحتسب في الطرف الأصغر مساوياً للصفر وذلك ضمن الفضاء غير المسند.

$$C'_m = 1.0 - 0.9 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right) + 0.60 \left(\frac{P_u}{\phi_b P_{ex}} \right)^2 \quad (ج-16/3)$$

عندما يكون عامل النحافة الفعال $\lambda_{eff} \geq 1.50$ والاجهاد المركب مطلوباً تدقيقه تدريجياً على الطول، يسمح باستعمال المساحة الحقيقية ومعامل المقطع الحقيقي للمقطع تحت الاختبار.

الجدول ج-1/1: معاملات التحمل الاسمية (Nominal Strength Coefficients)

المحددات	معاملات النحافة			الإجهاد الحرج F_{cr}	عزم الانبعاج الحدي M_r	حدية الانبعاج	العزم اللدن M_p	المقطع
	λ_r	λ_p	λ					
يطبق على المقاطع ذات شكل I- إذا كان $h/t_w \leq \lambda_r$ أما عندما $h/t_w > \lambda_r$ راجع الباب السابع	(3) و (4)	$\frac{787}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{C_b X_1 \sqrt{2}}{\lambda} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2\lambda^2}}$	$F_L S_x$	انبعاج اللي الجانبي للأعضاء المزدوجة المتناظرة والساقية	$^{(2)}F_y Z_x$	العتبات ذات مقاطع الساقية و I المتناظرة المنفردة والمزدوجة (متضمنة العتبات الهجينة) المنحنية حول المحور الرئيس ⁽¹⁾ .
	قيمة λ_r عندما $M_{cr}(C_b=1)=M_r$	$\frac{787}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	(5)	$F_L S_{xc} \leq F_{yt} S_{xt}$	انبعاج اللي الجانبي للأعضاء المنفردة المتناظرة		
	(7)	$\frac{170}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{b}{t}$	(6)	$F_L S_x$	انبعاج الشفة الموضعي		
	λ_r كما هو معرف في الجدول 2-1/5	$\frac{1681}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{h}{t_w}$	غير قابل للتطبيق	$R_e F_{yf} S_x$	انبعاج الوتر الموضعي		
لا يوجد	$\frac{370}{\sqrt{F_L}}$	$\frac{170}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{b}{t}$	$\frac{138000}{\lambda^2}$	$F_y S_y$	انبعاج الشفة الموضعي	$F_y Z_y$	العتبات ذات مقاطع الساقية و I المتناظرة المنفردة والمزدوجة المنحنية حول المحور الثانوي ⁽¹⁾ .

تتمة الجدول ج-1/1

المحددات	معاملات النحافة			F_{cr}	عزم الانبعاج الحدي M_r	حدية الانبعاج	العزم اللدن M_p	المقطع
	λ_r	λ_p	λ					
لا يوجد	$\frac{400000\sqrt{JA}}{M_r}$	$\frac{26000\sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{400000C_b\sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$F_y S_x$	انبعاج اللي الجانبي	$F_y Z_x$	القضبان المستطيلة الصلدة المنحنية حول المحور الرئيس
تطبق إذا $h/t_w \leq \frac{2550}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{400000\sqrt{JA}}{M_r}$	$\frac{26000\sqrt{JA}}{M_p}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{400000C_b\sqrt{JA}}{\lambda S_x}$	$F_{yt} S_{eff}$	انبعاج اللي الجانبي	$F_y Z$	المقاطع الصندوقية المتناظرة المحملة في مستوى التناظر
لا يوجد	$\frac{626}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{500}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	$\frac{S_{eff}}{S} F_y^{(8)}$	$F_y S_{eff}$	انبعاج الشفة الموضعي		
نفس المقطع I						انبعاج الوتر الموضعي		
لا تطبيق						انبعاج اللي الجانبي	$F_y Z$	المقاطع الفولاذية الدائرية المجوفة
$D/t < \frac{14200}{F_y}$	$\frac{62000}{F_y}$	$\frac{14200}{F_y}$	D/t	$\frac{66000}{D/t}$	$M_n = \left(\frac{4200}{D/t} + F_y \right) S$	انبعاج الشفة الموضعي		
لا تطبيق						انبعاج الوتر الموضعي		
لا تطبيق							$F_y Z_x$	المقاطع الصلدة

الملحق د

الروافد اللوحية (Plate Girders)

د-1 المحددات (Limitations)

الروافد اللوحية ذات الوتر الواحد والتي تمتلك تناظراً ثنائياً أو منفرداً، الهجينة وغير الهجينة والمحملة في مستوي الوتر سوف تصنف على وفق المعايير المبينة مسبقاً في الباب- 7 أو في الفصل ج-2 وبحسب النسب المبينة في الجدول (1/1-7).

د-2 تحمل الانحناء التصميمي (Design Bending Strength)

تحمل الانحناء التصميمي للروافد اللوحية والتي تمتلك وتراً نحيفة سيكون $\phi_b M_n$ حيث ان $\phi_b = 0.90$ و M_n هي قيمة العزم الأقل المحسوبة لحالة خضوع شفة الشد الحدية أو لحالة انبعاج شفة الانضغاط الحدية. راجع الملحق (ج) ، لاحتساب المعامل λ_r لحالة الانبعاج الموضعي للوتر. أما حالات وقيم تحمل الانحناء التصميمي فقد فصلت في الباب -7.

د-3 تحمل القص التصميمي مع تأثير حيز الشد (Design Shear Strength with Tension Field)

إن تحمل القص التصميمي بوجود ظاهرة تأثير حيز الشد سيكون $\phi_v V_n$ مقاساً بوحدة (kN) وكما تحقق إيضاحه وتفصيله في الباب-7 و البند ج-1/2.

د-4 المجسئات العرضية (Lateral Stiffeners)

تستعمل المجسئات العرضية في بعض أجزاء الروافد اللوحية لبلوغ تحمل القص المطلوب أو لتحقيق متطلبات المحددات المبينة في الباب -7 أو في الفصل ج-2. على المجسئات العرضية تحقيق متطلبات الباب -7 و البند ج-2/2.

د-5 تداخل الانحناء والقص (Interaction of Bending and Shear)

على الروافد اللوحية المصممة باعتماد تأثير حيز الشد أن تحقق محدد تداخل الانحناء مع القص في المناطق التي يكون فيها القص والعزم المسلط بالحدود التالية:

$$0.6\phi V_n < V_u < \phi V_n \quad (د-1/5)$$

وكذلك

$$0.75\phi M_n < M_u < \phi M_n \quad (د-2/5)$$

عند ذلك يمكن استعمال معادلة التداخل التالية:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0.625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.375 \quad (3/5-د)$$



الملحق هـ

الأعضاء المعرضة للقوى المشتركة مع اللي (Members Subjected to Combined Forces and Torsion)

يوفر هذا الملحق معادلات السلوك المتداخل للهيكل المجهّنة بأعضاء بمقاطع I بنسبة $\frac{b_f}{d} \leq 1.0$ وأعضاء بمقاطع صندوقية المعرضة الى قوى مشتركة مع اللي.

هـ-1 معادلات التداخل البديلة للأعضاء المعرضة لإجهادات مشتركة (Alternative Equations of Interaction for Members Subjected to Combined Stresses)

لمقاطع I بنسبة $\frac{b_f}{d} \leq 1.0$ والمقاطع الصندوقية يسمح باستعمال المعادلات التالية بدلا من المعادلتين (1/2-8) و (2/2-8).

$$\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{px}} \right)^\zeta + \left(\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{py}} \right)^\zeta \leq 1.0 \quad (\text{هـ-1/1})$$

$$\left(\frac{C_{mx} M_{ux}}{\phi_b M_{px}} \right)^\eta + \left(\frac{C_{my} M_{uy}}{\phi_b M_{py}} \right)^\eta \leq 1.0 \quad (\text{هـ-2/1})$$

تحسب المعاملات للمعادلات المذكورة آنفاً كالتالي :
للأعضاء على شكل I :

- عندما $b_f/d < 0.5$ فإن $\zeta = 1.0$.
- عندما $0.5 \leq b_f/d \leq 1.0$ فإن $\zeta = 1.6 - \frac{P_u/P_y}{2[\ln(P_u/P_y)]}$.
- عندما $b_f/d < 0.3$ فإن $\eta = 1.0$.
- عندما $0.3 \leq b_f/d \leq 1.0$ فإن $\eta = 0.4 + \frac{P_u}{P_y} + \frac{b_f}{d} \geq 1.0$.

حيث أن :

b_f : عرض الشفة، (mm).

d : عمق العضو، (mm).

C_m : معامل يطبق للانحناء في معادلات التداخل للأعضاء الموشورية ويعتمد على تقوس العمود بسبب العزم المسلط، راجع الفصل (3-1) والفصل (8-2).

$$M'_{px} = 1.2M_{px}[1 - (P_u/P_y)] \leq M_{px} \quad (\text{هـ-3/1})$$

$$M'_{py} = 1.2M_{py} \left[1 - (P_u/P_y)^2 \right] \leq M_{py} \quad (4/1\text{-هـ})$$

$$M'_{nx} = M_{nx} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n} \right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ex}} \right) \quad (5/1\text{-هـ})$$

$$M'_{ny} = M_{ny} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_n} \right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}} \right) \quad (6/1\text{-هـ})$$

لأعضاء المقاطع الصندوقية :

$$\zeta = 1.7 - \frac{P_u/P_y}{\ln(P_u/P_y)} \quad (7/1\text{-هـ})$$

$$\eta = 1.7 - \frac{P_u/P_y}{\ln(P_u/P_y)} - a \lambda_x \left(\frac{P_u}{P_y} \right)^b > 1.1 \quad (8/1\text{-هـ})$$

$$a = 0.06 \quad \text{و} \quad b = 1.0$$

عندما $P_u/P_y \leq 4.0$

$$a = 0.15 \quad \text{و} \quad b = 2.0$$

عندما $P_u/P_y \leq 2.0$

$$M'_{px} = 1.2M_{px} \left[1 - P_u/P_y \right] \leq M_{px} \quad (9/1\text{-هـ})$$

$$M'_{py} = 1.2M_{py} \left[1 - P_u/P_y \right] \leq M_{py} \quad (10/1\text{-هـ})$$

$$M'_{nx} = M_{nx} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_b P_n} \right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ex}} \frac{1.25}{(B/H)^{1/3}} \right) \quad (11/1\text{-هـ})$$

$$M'_{ny} = M_{ny} \left(1 - \frac{P_u}{\phi_b P_n} \right) \left(1 - \frac{P_u}{P_{ey}} \frac{1.25}{(B/H)^{1/2}} \right) \quad (12/1\text{-هـ})$$

حيث إن :

P_n : تحمل الانضغاط الاسمي والذي يحسب على وفق ما ذكر في الباب الخامس، (N).

P_u : التحمل المحوري المطلوب، (N).

P_y : تحمل خضوع الانضغاط $A_g F_y$ ، (N).

ϕ_b : معامل تحمل الانحناء = 0.9

ϕ_c : معامل تحمل الانضغاط = 0.85

P_e : تحمل أولر للانضغاط $(A_g F_y / \lambda_c^2)$ حيث (λ) معامل النحافة للعمود والمعرف بالباب-5، (N).

M_u : تحمل الانحناء المطلوب، (N.mm).

M_n : تحمل الانحناء الاسمي الذي يحتسب من البند (ج-3/1)، (N.mm).

M_p : العزم اللدن $1.5F_y S \geq$ ، (N.mm).

λ_x : معامل نحافة العمود بالنسبة للمحور القوي.

B : العرض الخارجي للمقطع الصندوقي موازيا للمحور الرئيس x ، (mm).

H : العمق الخارجي للمقطع الصندوقي عموديا على المحور الرئيس x ، (mm).

الملحق و

الروابط والمفاصل والمثبتات (Connections, Joints, and Fasteners)

و-1 اللحام (Welds)

و-1/1 تصميم التحمل (Design Strength)

الاسلوب الآتي سيعتمد بديلا عن طريقة تصميم التحمل الثابت للحام الزاوي المبينة في الجدول (4/2-10).

و-1/1/1 لمجموعة اللحام الخطي المحمل مركزيا خلال مركز ثقله، تصميم التحمل هو $\phi F_w A_w$ ، حيث:

$$F_w = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{-1.5} \theta) \quad (و-1/1)$$

$$\phi = 0.73$$

E_{EXX} : رقم تصنيف الالكترود ، بمعنى، اقل مقاومة محددة، (MPa).

θ : زاوية التحميل مقاسة من محور اللحام الرئيس، (بالدرجات).

A_w : المساحة الفعالة، (mm^2).

و-2/1/1 لعناصر اللحام ضمن المجموعة الواحدة المحملة بمستوى المجموعة والمحللة بطريقة مركز

الدوران الآني (Instantaneous Center of Rotation Method)، فان مركبتي تصميم التحمل هما $\phi F_{wx} A_w$

و $\phi F_{wy} A_w$.

حيث ان:

$$F_{wx} = \sum F_{wix}$$
$$F_{wy} = \sum F_{wiy}$$

$$F_{wi} = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta) f(p) \quad (و-2/1)$$

$$\phi = 0.73$$

F_{wi} : الاجهاد الاسمي عند اي عنصر لحام، (MPa).

F_{wix} : المركبة باتجاه المحور x للاجهاد F_{wi} .

F_{wiy} : المركبة باتجاه المحور y للاجهاد F_{wi} .

$P = \Delta_i / \Delta_m$: نسبة تشوه العنصر i الى نسبة تشوّه عند الاجهاد الاقصى.

$\Delta_m = 0.209(\theta + 2)^{-0.32} w$: تشوه عنصر اللحام عند الاجهاد الأقصى، (mm).

Δ_i : تشوه عنصر اللحام عند مستويات الاجهاد الوسطية، يتناسب خطيا مع التشوه الحرج المعتمد على المسافة من المركز الآني للدوران (r_i)، (mm).

$$\Delta_i = r_i \Delta_u / r_{crit} \quad (و-3/1)$$

$\Delta_u = 1.087(\theta + 6)^{-0.65} w \leq 0.17 w$: تشوه عنصر اللحام عند اجهاد الكسر، عادة ما يكون في العنصر الابعد من مركز الدوران الآني، (mm).

w : مقياس ساق اللحيم الزاوي، (mm).

r_{crit} : المسافة من مركز الدوران الآني الى عنصر اللحام باقل نسبة Δ_u / r_i ، (mm).

و- 2 المسامير الملولة (البراغي) والأجزاء المسننة (Bolts and Threaded Parts)

الجدول و-1/1 : مقاومة الانزلاق الحرج للقص (F_v) عند الاحمال الخدمية، للمسامير الملولة (البراغي) عالية المقاومة، MPa.

Slip-Critical Resistance to Shear at Service Loads (F_v) for High Strength Bolts, MPa.

المقاومة لأحمال القص الخدمية، (MPa)				نوع المسمار الملولب (البرغي)
الشقوق الطويلة		الشقوق القصيرة	مقاس الفتحة القياسي	
موازٍ لخط القوة	عمودي على خط القوة			
69	83	103	117	A325
90	103	124	145	A490

و-1/2 المسامير الملولة (البراغي) عالية المقاومة في مفاصل الانزلاق الحرج (High-Strength Bolts in Slip-Critical Connection)

و-1/2 مفاصل الانزلاق الحرج المصممة لتقاوم الأحمال الخدمية (Slip-Critical Connections Designed at Service Loads)

إن مقاومة القص التصميمية للمسمار الملولب $\phi F_v A_b$ ، يجب ان تساوي او تتجاوز قوة القص له تحت تأثير الأحمال الخدمية.

حيث ان:

$\phi = 1.0$ للفتحات القياسية، وللفتحات الموسعة، وللفتحات ذات الشقوق القصيرة والفتحات ذات الشقوق الطويلة، عندما يكون اتجاه الشق الطويل عمودياً على او موازياً لخط تأثير القوة.

F_v : المقاومة العادية للقص الانزلاقي الحرج والمقيد في الجدول (و-1/1)، (MPa). إن قيم F_v المبينة في الجدول (و-1/1) تعتمد على سطوح ذات الصنف (a) مع معامل انزلاق $\mu = 0.33$. عندما يحدد المصمم مقاومة الانزلاق العادية للمفصل الذي يملك شروطاً خاصة للسطح، فإنه يسمح بتعديل قيم المقاومة الموجودة بالمرجع RCSC، (Load and Resistance Factor Design Specification).

عندما تتضمن الاحمال المركبة، احمال الرياح اضافة الى الاحمال الميتة والاحمال الحية، فإن قوة القص الكلية المسلطة على المسمار الملولب (البرغي) والناجمة من تأثير ذلك التراكم للأحمال الخدمية، يجب ان تضرب بمعامل (0.75).

و-2/2 اشتراك الشد والقص في مفاصل الانزلاق الحرج (Combined Tension and Shear in Slip-Critical Connections)

و-1/2/2 تصميم مفاصل الانزلاق الحرج باعتماد الاحمال الخدمية (Slip-Critical Connections Designed at Service Loads)

عند تعرض مفاصل الانزلاق الحرج الى قوة شد (T) تقلل من قوة التثبيت (Clamping Force) الصافية، فإن مقاومة الانزلاق لكل مسمار ملولب (برغي)، $\phi F_v A_b$ يجب ان تضرب بالمعامل الآتي:

$$1 - \frac{T}{0.8 T_b N_b} \quad (\text{و-1/2})$$

حيث أن:

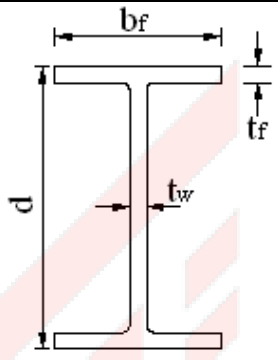
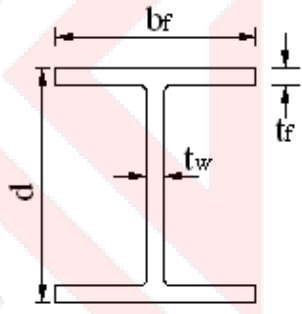
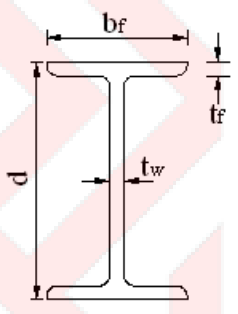
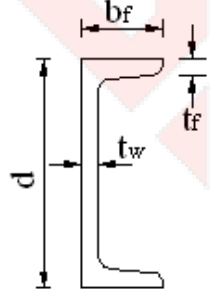
T_b : اقل قوة تثبيت للشد من الجدول (10-1/3)، (kN).

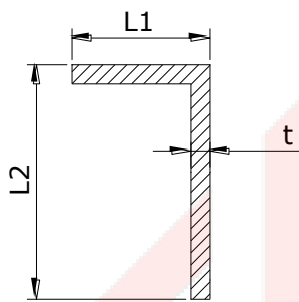
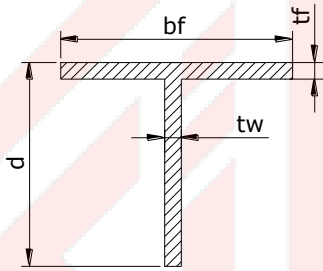
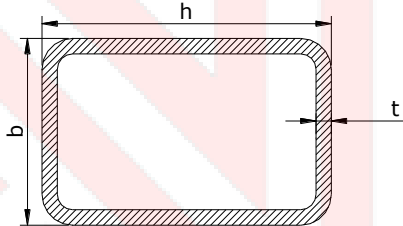
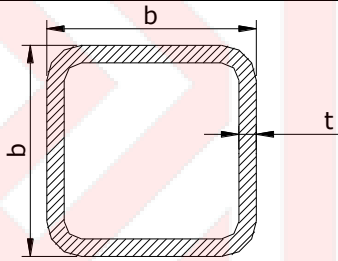
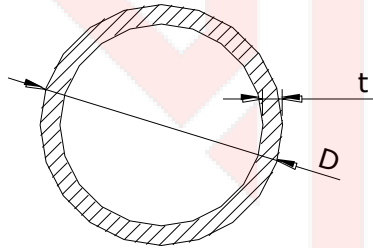
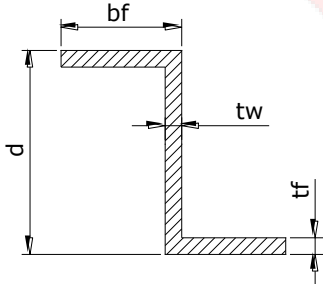
N_b : عدد المسامير الملولبة (البراغي) التي تتحمل قوة الشد الخدمية T.

الملحق ي

المقاطع الفولاذية (Steel Sections)

الجدول ي-1/1: المقاطع الفولاذية (Steel Sections)

ت	اسم المقطع	شكل المقطع
1	مقاطع IPE, UB, UC, I	
2	مقاطع W, HE, HL, HD, HP	
3	مقاطع IPN, S	
4	مقاطع الساقية UAP, UPN, C	

ت	اسم المقطع	شكل المقطع
5	مقطع الزاوية L	
6	مقطع T	
7	المقطع المستطيل Rectangular-HSS	
8	المقطع المربع Square-HSS	
9	المقطع الدائري Round-HSS	
10	مقطع Z	

الملحق ن
المصطلحات الفنية مرتبة بحسب الحروف العربية

أ	
Nominal critical stress	اجهاد حرج اسمي
Residual stress	اجهاد متبقي
Loads combinations	مجموعات الاحمال
Groove	اخدود
Re-entrant corners	اركان مرتدة
Floor	أرضية
Stability	استقرارية
Straightening	استقامة
Bearing	اسناد
Radiographic	اشعاعية
Diagonals	أعضاء قطرية
Tapered members	أعضاء مستدقة
Individual Members	أعضاء مستقلة
Prismatic members	أعضاء موشورية منتظمة الجساءة
Cruciform columns	أعمدة صليبية الشكل
Double symmetric columns	أعمدة متماثلة حول محورين
Beams coped	أفاريز العتبات
Base plates	ألواح القاعدة
Gusset plates	ألواح التجميع
Perforated cover plates	ألواح التغطية المثقبة
Diaphragms	ألواح حاجبة
Tie plates without lacing	ألواح رابطة غير محزمة
Buckling	انبعاث
Local buckling	انبعاث موضعي
Flexural	انحناء
Flexibility	انثنائية

Drift	انحراف
Connection Slip	انزلاق الرابط
Compression	انضغاط
Vibration	اهتزاز
Chords	أوتار
ب	
Rivet	برشام
Penthouse	البيتونة
ت	
Corrosion	تآكل
Ponding	تشكل البرك
Camber	تحذب
Cambering	تحديب
Lacing	تحزيم
Double lacing	تحزيم مزدوج
Single lacing	تحزيم منفرد
Plastic Analysis	تحليل لدن
Elastic Analysis	تحليل مرن
Strength	تحمل
Shear strength	تحمل القص
Punching	تخريم
Bracing	تدعيم
Torsional bracing	تدعيم لي
Lateral bracing	تدعيم جانبي
Rounded	تدوير - مدورة
Wind Oscillation	تذبذب الرياح
Erection	تركيب
Spalling	تشطي
Fabrication	تصنيع
Web Crippling	تعرج الوتر

Dipping	تغطيس
Contraction	تقلص
Curving	تقويس
Rupture	تمزق
Expansion	تمدد
Milling	تهذيب
ث	
Oversize hole	ثقوب موسعة
ج	
Stiffness	جساءة
ح	
Notches	حزوز
Theoretical throat	حلق نظري
End panel	حيز نهائي
خ	
Serviceability	خدمية
Yielding	خضوع
Roughness	خشونة
د	
Rollers	دحروجات
Expansion rollers and rockers	دحروجات التمدد والدواليب
Vortex	دوامة
ر	
Crane	رافعة
Curb	رصيف
Shims	رقائق
Corner	ركن
Connectors	روابط
Bearing connections	روابط الاسناد
Slip-critical connections	روابط الانزلاق الحرج

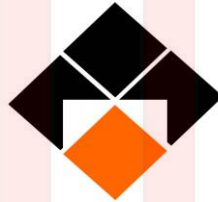
Bearing – type shear connectors	روابط القص من نوع الإسناد
Girders	روافد
Plate girders	روافد لوحية
ز	
Side sway	زحف جانبي
Weld tabs	زوائد لحام
س	
Weld leg	ساق اللحام
Channel	ساقية
Plug	سدادة
Faying surfaces	السطوح المحكمة
Milled surfaces	سطوح مهذبة
Tolerances	سماحات
Weld throat thickness	سمك حلق اللحام
ش	
Provisions	شروط
Flange	شفة
Slot	شق
Cantilever slot	شق ناتئ
ص-ض	
Nuts	صامولات
Grinding	صقل
Rigidity	صلادة
Snug - tight	ضبط اليد
ط	
Sheet	طبقة لوحية
LRFD	طريقة التصميم المعتمدة على معاملات الأحمال والمقاومة
ASD	طريقة التصميم المعتمدة على الاجهادات المسموح بها

ع-غ	
Gust	عصفة
Effective Length Factor	عامل الطول الفعال
Stiffened elements	عناصر مقواة
Girts	عوارض افقية
Unshored	غير مسندة
ف	
Holes	فتحات او ثقوب
Tension field action	فعل حيز الشد
Prying action	فعل الخلع
Steel	فولاذ
ق	
Flat bars	قضبان مستوية
Anchor rods	قضبان تثبيت
Weld electrode	قطب لحام
Upset bar	قضيب مغلظ
Sag rods	قضبان الارتخاء
Threaded rods	قضبان مسننة
Clamping force	قوة التثبيت
Shielded metal arc	القوس المعدني المحجب
Gas metal arc	القوس المعدني المحجب بالغاز
Submerged arc	القوس المعدني المغمور
Flux – cored arc	القوس الكهربائي لقلب اللحام الصهور
Cyclic forces	قوى دورية
Brittle	قصيف
ك	
Encased	كاملة الطمر
Brackets	كتائف
haunches	كتيفات
Toe	كعب التدوير

Fatigue	كلل
ل	
Eccentricity	لا تركزية
Groove weld	لحام الاخدود
Complete –joint-penetration groove weld	لحام الاخدود تام الاختراق
Partial – joint penetration groove weld	لحام الاخدود ذو الاختراق الجزئي
Slot welds	لحام الشقب
Fillet weld	لحام زاوي
Plug welds	لحام سدادي
Flame	لهب
Plate	لوح
Torsion	لي
م	
Base material	مادة القاعدة
Fasteners	مثبتات
Fixed	مثبت بإحكام
Bearing stiffeners	مجسئات الأسناد
Lateral stiffeners	مجسئات عرضية
Intermediate stiffeners	مجسئات وسطية
Stiffener	مجسئ
Limitations	محددات
Specified	محددة
Section Modulus	معامل المقطع
Bolts	مسامير لولبية (براغ)
High strength bolts	مسامير لولبية (براغ) عالية التحمل
Anchor bolts	مسامير لولبية (براغ) مرساة
Deck	مسطحة
Truss	مسنم (جملون)
Reamer	موسع الثقوب
Alignment chart	مخططات الرصف

Knee braces	مدعمات ركببة
Sprayer	مرذاذ
Shear center	مركز القص
Pin	مسمار
Continuous	مستمرة
Shored	مسندة
Inspection	معاينة
Metal	معدي
AISC	المعهد الامريكي للإنشاءات الحديدية
Rational	منطقي
Lap joint	مفصل متراكب
Size	مقاس
Non-compact sections	مقاطع غير مكتنزة
Built up shapes	مقاطع مجمعة
Rolled shapes	مقاطع مدافنة
Composite sections	مقاطع مركبة
Formed sections	مقاطع مشكلة
Compact sections	مقاطع مكتنزة
Hybrid sections	مقاطع مهجنة
Resistance	مقاومة
Constructions	منشآت
Tier structures	منشآت مرتبة أعمدتها بصفوف
Ultrasonic	موجات فوق صوتية
ن	
Cantilever	ناتئ
Gouges	نتوءات
Governing slenderness ratio	نسبة النحافة المتحكممة
Radius of gyration	نصف القطر التدويمي
Sawing	نشر
Termination	نهاية مسمارية

End return	نهاية منعطفة
هـ	
Deflection	هطول
Frames	هياكل
Unbraced Frames	هياكل غير مدعمة
Braced Frames	هياكل مدعمة
PortalFrame	الهيكل البابي
و	
Washers	حلقات معدنية (واشرات)
Hardened washers	حلقات معدنية (واشرات) مقواة
Stud	واصلة
Web-tapered	وترة مستدقة
Web	وترة
Splice	وصلة



دائرة المباني

مشروع المدونات و المواصفات العراقية

www.codat.imariskhan.gov.iq

E.mail:moch.codat@codat.imariskhan.gov.iq

moch.codat@yahoo.com

moch.codat@gmail.com