المنشآت المختلطة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية

المنشآت المختلطة

الدكتور المهندس
محمد درويش
أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية

الدكتورة المهندسة
ميادة كوسا
أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية

جامعة دمشق
1433 – 1434 هـ
2011 – 2012 م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الفصل رقم الصفحة

الفصل الاول : الاختلاط في مواد الانشاء والجمل الانشائية 11

1-1 مقدمة 12

2-1 انواع الاختلاط 13

3-1 مفهوم اختلاط الجمل 13

4-1 مفهوم الاختلاط بمواد الانشاء 15

5-1 طرق انشاء المباني 16

6-1 الجمل الانشائية المختلطة الخطية 17

7-1 الجمل الانشائية المختلطة السطحية 21

الفصل الثاني : الجدران الحاملة غير المسلحة 23

1-2 مقدمة 24

2-2 نظام الجدران الحاملة غير المسلحة 24

3-2 الاشتراطات المعمارية والفواصل الانشائية 25

4-2 اشتراطات الجمل الانشائية 27

5-2 اشتراطات خاصة بالجدران الحاملة 30

6-2 الفتحات في الجدران الحاملة 38

7-2 الحفر والاثلام في الجدران الحاملة والداعمة 40

8-2 الحفر والاثلام الافقية المائلة 41

الفصل الثالث : الاجهادات لمباني الجدران الحاملة غير المسلحة 43
3-1 خواص مواد انشاء الجدران الحاملة 44
3-2 حساب القوى المطبقة على الجدران الحاملة 48
3-3 المقاطع الحرجة لحساب الاجهادات في الجدران الحاملة 50
3-4 الاجهادات المسموحة في عناصر الجدران الحاملة 50
3-5 نظم الانشاء للمباني من الجدران الحاملة 56
3-6 تصرف الجدران الحاملة تحت تاثير الاحمال الافقية 58
3-7 اشتراطات خاصة بالروابط 60
3-8 العتبات في الجدران الحاملة 66
3-9 اساسات الجدران الحاملة 69
3-10 انماط واشكال التصدعات التي رصدت واسبابها 70
3-11 مدى خطورة التصدعات وكيفية الحكم على سلامة المنشأ 71
3-12 متطلبات تنفيذ الجدران الحاملة والداعمة 73
الفصل الرابع : المنشآت المركبة..... 75
4-1 مقدمة 76
الفصل الخامس : اسس عمل عناصر المنشآت المركبة 79
5-1 الترابط 80
5-2 الرفع 91
5-3 طرق ترابط القص 92
5-4 خواص صفائح التغطية الفولاذية 96
5-5 طرق الانشاء في المنشآت المركبة 96

الفصل السادس : التصميم الانشائي للمقاطع المركبة..... 101

6-1 مقدمة 102

6-2 دراسة المقاطع المعرضة لعزم انعطاف موجب 102

التصميم الانشائي للمقاطع المركبة بالطريقة الحدية

الفصل السابع : الجوائز المختلطة..... 119

مقدمة 119

7-1 المواصفات الهندسية للجوائز المركبة 121

7-2 روابط القص 134

7-3 المقاومة التصميمية للمقطع المختلط (الطريقة الحدية) وجسد المقطع الفولاذي لدن او مكتنز 142

7-4 المقاومة التصميمية للمقطع المختلط (الطريقة الحدية) وجسد المقطع الفولاذي نصف مكتنز 156

7-5 تحمل المقطع المركب على القص 164

7-6 تحمل روابط القص 165

7-7 السهم 171

الفصل الثامن : البلاطات المختلطة ذات الصفائح الفولاذية المقواة 173

مقدمة 173

8-1 متطلبات تصميم البلاطات ذات الصفائح المقواة 175

8-2 تحمل مسامير القص في البلاطات ذات الصفائح المقواة 177

8-3 التحقق على الانزلاق الطولي في البلاطات ذات الصفائح المقواة 179

8-4 تفاصيل الجائز الطرفي 180

8-5 مثال 182

6-8 نظام الشبكيات المختلطة 194
الفصل التاسع : الاعمدة المختلطة 197
مقدمة 197
9-1 الاشتراطات 198
9-2 المقاومة التصميمية 201
9-3 امثلة 204
9-4 الوصلات المختلطة 208
الفصل العاشر : الجوائز المغلفة بالبيتون 213
مقدمة 213
10-1 تصنيف المقاطع المركبة المغلفة بالبيتون 214
10-2 مقاومة المقاطع المركبة المغلفة بالبيتون 218
المصطلحات العلمية..... 221
المراجع المستخدمة..... 231
الملحق..... 233

مقدمة عامة

مع تشعب الاختصاصات الهندسية. ومع التطورات الكبيرة التي أنجزت خلال السنوات الأخيرة في مجال الهندسة المدنية، كان لابد أن تتجاوب العلوم الهندسية مع متطلبات الإنشاءات الصناعية والمدنية لتضمن حسن الأداء في مهام هذه المنشآت ولتحقق سلامة وأماناً في تشغيلها واقتصاداً في كلفتها. لقد تناول الكتاب بشكل أساسي نوعين من المنشآت:

أ) المنشآت الحجرية.

ب) المنشآت المركبة أو المختلطة التي يكون هيكلها الحامل من المقاطع الفولاذية بينما تكون الأرضيات أو الأسقف من البيتون. وهناك حالات من المقاطع الفولاذية المغلفة بالبيتون والتي تعمل كجوائز أو أعمدة. ولقد أثبتت هذه الإنشاءات المختلطة أنها تحقق توفيراً قدره حوالي 30% من وزن الفولاذ في حالة المنشآت الفولاذية، عند الاستفادة من المزايا الإنشائية لعمل هذا النظام المختلط.

في هذا الكتاب تم مراعاة التصنيع المحلي لوصلات القص اللازمة للعمل المشترك بين البيتون والمقطع الفولاذي، إذ إنه لا يوجد داعي لاستيراد هذه الوصلات في حال تم اتباع العلاقات التصميمية الواردة ضمن فصول هذا الكتاب. كما أنه تم عرض التجربة اللازمة لاختبار هذه الوصلات المصنعة محلياً.

يشتمل هذا الكتاب على عشرة فصول:

- الفصل الأول: يتناول أشكال بعض الجمل الإنشائية المستوية.
- الفصل الثاني: يتناول مواصفات واشتراطات الجدران الحاملة البيتونية غير المسلحة والحجرية.
- الفصل الثالث: تصميم الجدران والعتبات في الجدران البيتونية غير المسلحة والحجرية.
- الفصل الرابع: ميزات المنشآت المختلطة من المقاطع الفولاذية والبلاطات البيتونية.
- الفصل الخامس: توضيح آلية عمل مكونات المنشآت المختلطة (المقاطع الفولاذية والبلاطات البيتونية).
- الفصل السادس: تصميم الجوائز المختلطة بالطريقة المرنة.

- الفصل السابع: يتناول تصميم الجوائز المختلطة بالطريقة اللدنة مع تصميم وصلات القص.
- الفصل الثامن: يتناول تصميم البلاطات المختلطة ذات الصفائح المقواة بالطريقة اللدنة وتصميم وصلات القص لهذا النوع من البلاطات.
- الفصل التاسع: يتناول تصميم الأعمدة المختلطة بالطريقة اللدنة المعرضة إلى الضغط المحوري.
- الفصل العاشر: يتناول المقاطع الفولاذية المغلفة بالبيتون – اشتراطات وطريقة تصميم هذه العناصر.

ولكي تحقق الفائدة المرجوة لهذا الكتاب لابد للقارئ من إعادة النظر في معلوماته الأولية لتصنيف وتصميم عناصر المنشآت الفولاذية وتثبيت وفهم هذه المعلومات بصورة جيدة حتى يتمكن من استيعاب أبحاث هذا الكتاب.

وتم انتقاء الأمثلة المحلولة لحالات ومواضيع تتناسب مع المسائل العلمية التي تصادف في منشآت واقعية بحيث يتم تطبيقها والاستفادة منها بشكل مباشر.

إن الغاية من هذا الكتاب، هي وضعه بين أيدي الطلاب ليكون مرجعاً لهم عند تخرجهم من الجامعة والعودة له عند الضرورة.

نرجو أن نكون قد حققنا في هذا الجهد المتواضع، الفائدة المرجوة للطلبة الأعزاء ولزملائنا المهندسين.

والله ولي التوفيق

المؤلفان

الفصل الأول

الاختلاط في مواد الإنشاء والجمل الإنشائية

Mixing of Materials and Structural System

Damascus University

الاختلاط في مواد الإنشاء والجمل الإنشائية

Mixing of Materials and Structural System

1.1 مقدمة: Introduction

من المعلوم أنّ المقطع العرضي لأي عنصر إنشائي يمكن أن يتعرَّض إلى أحد أشكال القوى التالية منفردة كانت أم مجتمعة وهي: القوى الناظمية N وعزوم الانعطاف M_y ، M_x والقوى القاصة Q_y ، Q_x وعزم الفتل M_t.

وتؤثر هذه القوى في المقطع العرضي بشكل إجهادات شادة أو ضاغطة، فالقوة الناظمية تعطي إجهادات شادة أو ضاغطة، وعزوم الانعطاف تعطي إجهادات ناظمية شادة في جهة من المقطع العرضي وضاغطة في الجهة الأخرى، أمَّا القوى القاصة وعزم الفتل M_t فينتج عنها إجهادات قاصة والتي ينتج عنها إجهادات رئيسية إمَّا شادة أو ضاغطة. أي أنَّ الإجهادات الرئيسية التي تتعرَّض لها المقاطع العرضية للعناصر الإنشائية هي شادة أو ضاغطة. هذه الإجهادات الشادة والضاغطة تُقاوَم من قبل مواد الإنشاء المختلفة.

تُصنَّف مواد الإنشاء إلى مواد ثنائية المقاومة ومواد أُحادية المقاومة، فالمواد ثنائية المقاومة تستطيع أن تقاوم الشد والضغط معاً مثل الفولاذ والخشب والبيتون المُسلَّح، وتستخدم هذه المواد عندما تكون الإجهادات شادة فقط أو ضاغطة فقط أو شادة وضاغطة في المقطع الواحد، أمَّا المواد أحادية المقاومة فهي المواد التي تقاوم الإجهادات الضاغطة فقط، وكمثال عليها الحجر والبيتون العادي، أو المواد التي تقاوم الإجهادات الشادة فقط مثل الكابلات الفولاذية.

2.1 أنواع الاختلاط: Type of Mixing

يمكن أن يحدث الاختلاط بمواد البناء أو بالجملة الإنشائية، فإذا استُخدمت في المنشأ الواحد مادة إنشائية واحدة فلا يوجد اختلاط، أما إذا استُخدمت مادتا إنشاء في المنشأ نفسه فنحصل على منشأ مختلط. وفي كثير من الحالات يكون استخدام المواد الإنشائية المختلطة ناتجاً عن استخدام جمل إنشائية مختلطة، كما أنَّ استخدام المواد الإنشائية المختلطة ينتج عنه جمل إنشائية مختلطة.

ويكون الاختلاط في الجملة الإنشائية عندما تُستخدم في المنشأ الواحد جمل إنشائية مختلفة، كاستخدام جملة إنشائية تحتاج لمادة ثنائية المقاومة مع جملة إنشائية أخرى أو عناصر من جملة أخرى تحتاج لمادة إنشاء أُحادية المقاومة.

3.1 مفهوم اختلاط الجمل الإنشائية:

Idea of Mixing Structural Systems

يمكن تقسيم المنشآت المستوية إلى قسمين أساسيين: المنشآت الخطية المستوية والمنشآت السطحية المستوية.

المنشآت الخطية المستوية هي المنشآت التي يوجد فيها بعد واحد مهم والبعدان الآخران صغيران بالنسبة إليه، أما المنشآت السطحية المستوية فهي المنشآت التي يوجد فيها بعدان مهمان والبعد الثالث صغير بالنسبة إليهما.

1.3.1 اختلاط الجمل الإنشائية الخطية:

Mixing of Liner Structural Systems

تُقسَم الجمل الإنشائية الخطية إلى خمسة أنواع هي: الجوائز والإطارات والجوائز الشبكية والشبكات الصلدة والمنشآت الخالية من الانعطاف (الشدادات)، حيث تحتاج الأنواع الأربعة الأولى إلى مواد إنشاء ثنائية المقاومة، أما النوع الخامس فيحتاج لمواد إنشاء أُحادية المقاومة.

1- الجوائز: Beams

هي العناصر التي تكون فيها عزوم الانعطاف هي القوى الداخلية المسيطرة، وبالتالي تحتاج لمواد إنشائية ثنائية المقاومة.

2- الإطارات: Frames

وتكون القوى الداخلية المسيطرة فيها هي عزوم الانعطاف والقوى المحورية، حيث تكون القوى المحورية صغيرة في العناصر الأفقية وكبيرة في العناصر الشاقولية والمائلة، وبالتالي تحتاج الإطارات لمواد إنشائية ثنائية المقاومة.

وتُعَدّ الأقواس Arches حالة خاصة من الإطارات وهي الحالة التي تنتج عندما يزيد عدد عناصر الإطار إلى اللانهاية، وتتحوّل مجموعة الخطوط المستقيمة المُشكِّلة للإطار إلى خط مُنحنٍ يُشكِّل القوس، وتكون القوى الداخلية المسيطرة في الأقواس هي القوى المحورية الضاغطة مع عزوم انعطاف صغيرة، وتحتاج لمواد إنشائية ثنائية المقاومة، وإذا كانت العزوم صغيرة جداً فيمكن إنشاؤها من مواد أُحادية المقاومة.

3- الشبكات الصلدة: Grids

وتُسيطر فيها عزوم الانعطاف مع قوى محورية صغيرة وتحتاج لمواد إنشاء ثنائية المقاومة، ويكون شكل هذه الشبكات مُشابهاً لشكل الإطارات والفرق الوحيد هو اتجاه تطبيق الحمولات، حيث تقع أحمال الإطار ضمن مستوي الإطار بينما تكون أحمال الشبكة الصلدة متعامدة مع مستوي الشبكة الصلدة.

4- الجوائز الشبكية المستوية: Trusses

وتُسيطر فيها القوى المحورية الشّادة أو الضاغطة وذلك عندما تتعرَّض لأحمال مُركَّزة في العقد، أما إذا تعرَّضت لأحمال مُركَّزة أو مُوزَّعة بين عقدتين متجاورتين من الجائز الشبكي فإنَّ العنصر الواصل بين هاتين العقدتين سيتعرَّض لعزم انعطاف إضافة إلى القوى المحورية.

ويمكن أن تتغيَّر القوى المحورية في بعض العناصر من شدٍّ إلى ضغط وبالعكس إذا تغيَّرت الأحمال، وبشكل عام تحتاج هذه الشبكيات المستوية إلى مواد إنشاء ثنائية المقاومة. ويمكن أن يكون الشكل العام للشبكيات جائزياً أو إطارياً.

5- المنشآت الخالية من الانعطاف: Non – bending Structures

في هذه الجمل الإنشائية تكون القوى الداخلية المُسيطرة هي القوى المحورية فقط، ولا يمكن أن يحدث في عناصرها أي عزوم انعطاف.

تُصنَع العناصر المشدودة في هذه المنشآت من الحبال الفولاذية أساساً أي من مواد إنشاء أحادية المقاومة تعمل على الشد فقط، كما هو الحال في المنشآت المعلقة.

تُسمى الجملة الإنشائية المستوية الخطية جملة مختلطة إذا احتوت على عناصر من النوع الخامس مع عناصر من أحد الأنواع الأربعة الأولى، مثل الجوائز الشبكية والإطار مع شداد والقوس مع شداد.

2.3.1 اختلاط الجمل الإنشائية السطحية:

Mixing of Surface Structural Systems

تُقسم الجمل الإنشائية السطحية إلى نوعين رئيسين هما: البلاطات والجدران. في البلاطات تكون الأحمال متعامدة مع السطح المستوي، وتكون عزوم الانعطاف هي القوى الداخلية المسيطرة فيها، أما في الجدران فتكون الأحمال موازية للسطح المستوي، وتكون القوى المحورية هي القوى الداخلية المسيطرة فيها.

إذا كان اتصال البلاطة مع الجدار اتصالاً صلداً، فسيتعرَّض الجدار إلى عزوم انعطاف بالإضافة إلى القوى المحورية، أمَّا إذا كان الاتصال مفصلياً فسيتعرَّض الجدار لقوى محورية ضاغطة فقط.

تعد جملة البلاطة المستوية المستندة إلى جدران حاملة بعقد مفصلية جملة إنشائية سطحية مختلطة لاختلاف نوعية القوى الداخلية المسيطرة بين البلاطة والجدار.

إنَّ اختلاف القوى الداخلية يؤدي إلى الاختلاف في مواد الإنشاء اللازمة، حيث يلزم البلاطة مواد إنشاء ثنائية المقاومة، أمَّا في الجدران فيمكن استخدام مادة إنشاء وحيدة المقاومة على الضغط.

4.1 مفهوم الاختلاط بمواد الإنشاء:

Idea of Mixing Materials of Constructions

إذا تمَّ تنفيذ المنشأ من مادة واحدة فقط: بيتون مسلَّح أو فولاذ أو حجر أو خشب فيعتبر المنشأ متجانساً في مادة الإنشاء، أمَّا إذا تمَّ تنفيذ المنشأ بأكثر من مادة إنشاء واحدة مثلاً: بيتون مسلَّح مع حجر أو بيتون مُسلَّح مع فولاذ... فيعتبر المنشأ في هذه الحالة خليطاً في مادة الإنشاء.

يمكن أن يكون الاختلاط بمواد الإنشاء ضمن العنصر الإنشائي نفسه، أي يكون المقطع العرضي للعنصر مؤلفاً من مادتين إنشائيتين، ويُسمى المقطع العرضي في هذه الحالة مقطعاً مركباً Composit Section، كما يمكن أن يكون الاختلاط ضمن المنشأ ككل وليس ضمن العنصر الإنشائي الواحد، أي يكون المقطع العرضي لكل عنصر مؤلفاً من مادة إنشاء واحدة، ولكن هذه المادة قد تختلف من عنصر لآخر.

تُعد حالة الاختلاط في مادة الإنشاء ضمن المنشأ مناسبة للاستخدام مع الجمل الإنشائية المختلطة الخطية أو السطحية، بينما تكون المقاطع المركبة مناسبة للاستخدام مع الجمل الإنشائية الخطية غير المختلطة وبخاصة الجوائز.

5.1 طرق إنشاء المباني:

Methods of Building Constructions

هناك طريقتان أساسيتان لإنشاء المباني: طريقة الإنشاء الهيكلي Skeletal Construction وطريقة الإنشاء بالجدران الحاملة Construction by load – bearing walls.

في الإنشاء الهيكلي تستند البلاطات إلى جوائز، والتي تستند بدورها إلى الأعمدة، وتستند الأعمدة إلى الأساسات. وتكون عقد الاتصال بين العناصر في الإنشاء الهيكلي عقد صلبة Rigid Joints، أي وجود عزوم انعطاف في العناصر والعقد، مما يستدعي استخدام مواد ثنائية المقاومة.

أما طريقة الإنشاء بالجدران الحاملة والتي يكون فيها اتصال الجدران الحاملة مع البلاطات بوساطة عقد مفصلية Hinged Joints، فإنَّ الجدران الحاملة لا تحوي أي عزوم انعطاف مما يعطي إمكانية استخدام مواد إنشاء أحادية المقاومة على الضغط في الجدران الحاملة.

ويمكن أحياناً استخدام طريقة أخرى في إنشاء المباني وهي طريقة الإنشاء المختلط Mixed Construction، حيث يتم إنشاء جزء من المبنى بطريقة الجدران الحاملة، ويُفضَّل في الأماكن التي لن تتعرض لتغيرات معمارية فيها كمحيط البناء مثلاً، والجزء الآخر يتم إنشاؤه بالطريقة الهيكلية أي أعمدة وجوائز عوضاً عن الجدران الحاملة، ويُفضَّل في الأماكن التي يمكن أن تحدث فيها تعديلات معمارية كتغيير أماكن وجود القواطع.

6.1 الجمل الإنشائية المختلطة الخطية:

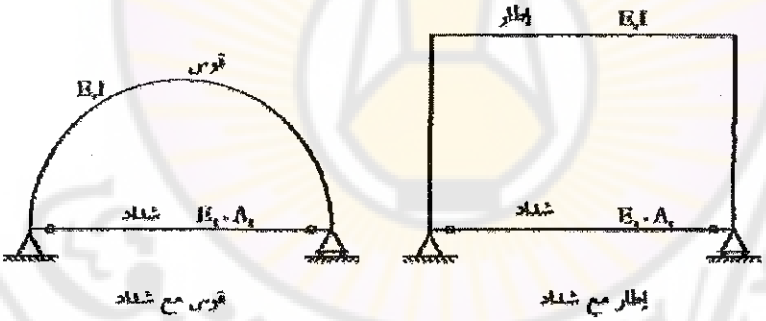
Mixed Linear Structural Systems

سنذكر هنا باختصار أهم الجمل الإنشائية المختلطة الخطية المستخدمة في المنشآت الهندسية:

1.6.1 الإطار مع شداد والقوس مع شداد:

Frame With a Time and Arche With a Tie

يُستخدم الشداد في الإطارات والأقواس كما هو مُبيَّن في الشكل (1-1)، عندما يكون تأسيس هذه المنشآت على تربة ضعيفة نسبياً، ويُخشى من انزلاق الأساسات على التربة بسبب عدم كفاية رد الفعل الأفقي الذي تقدمه التربة. فعندما يبدأ الأساس بالانزلاق على التربة، يتعرض الشداد لقوة شد محورية تحاول منع انزلاق الأساس وتتسبب في استطالة الشداد، أي حدوث انزلاق خفيف في الأساس فوق التربة. وبالتالي تكون مهمة الشداد هي محاولة منع الأساسات من التباعد النسبي مطبّقة على الإطار أو القوس قوتين متعاكستين ومتجهتين للداخل. تُسبب هاتان القوتان حصول عزوم انعطاف سالبة في الإطار أو القوس، مما يخفف من عزوم الانعطاف الموجبة المتولدة عن القوى الشاقولية.



الشكل (1-1)

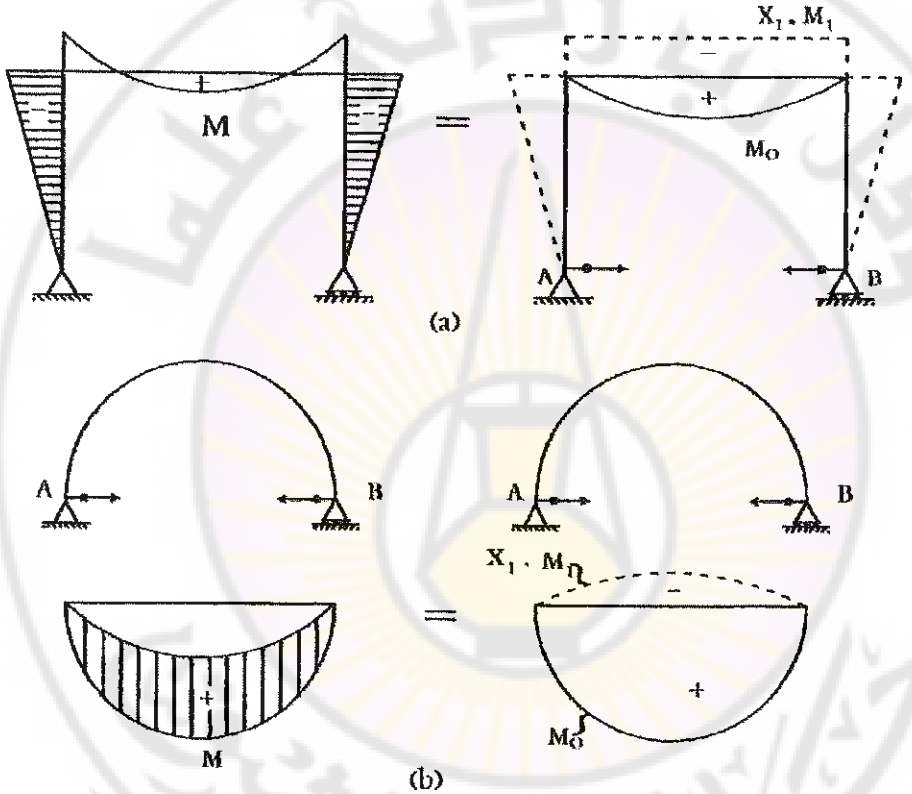
استخدام الشداد في الإطارات والأقواس

تزداد قدرة الشداد على منع الحركة بازدياد مساحة مقطعه العرضي A_t وازدياد عامل مرونة مادته E_t والعكس صحيح، أي عندما يكون:

$E_t \approx \infty$ ، A_t فنحصل على حالة إطار أو قوس ثنائية المفاصل، أو عندما يكون:

$E_t \approx 0$ ، A_t نحصل على حالة شبيهة بحالة الجائز البسيط.

وبشكل عام في الحالات العادية لقيم E_t ، A_t يكون تأثير الشداد بحدود 10-20% من تأثير ردّ الفعل الأفقي في حال الإطار أو القوس ذات المفصلين، ويوضّح الشكل (1-2) مخططات عزوم الانعطاف للإطار مع شداد والقوس مع شداد عند تعرضهما لحمولات موزعة بانتظام.



الشكل (1-2)

مخططات عزوم الانعطاف بتأثير حمولة موزَّعة بانتظام

a) إطار مع شداد

b) قوس مع شداد

يكون الإطار مع شداد والقوس مع شداد مقررين خارجياً وغير مقررين داخلياً من الدرجة الأولى، وتكون القوة الزائدة هي القوة في الشداد. وبما أنَّ هذين المنشأين مقرران خارجياً فلا يتأثران بهبوط المساند أو دورانها أو انتقالها.

لإيجاد القوة الفائضة في الشداد نستخدم طريقة العمل الوهمي، ونحصل على الجملة الرئيسية بقطع الشداد كما هو مبيّن بالشكل (1-2) وتكون التشوّهات في الشداد:

$$(\delta_{01})_t = 0$$

$$(\delta_{11})_t = 1 \times L/A_t \cdot E_t$$

حيث: L طول الشداد.

أمَّا التشوهات δ_{01} و δ_{11} للإطار أو القوس فتُحسَب كما هو معروف في ميكانيك الإنشاءات.

إضافة لحالة استخدام الشدادات للتخفيف من انزلاق الأساسات على التربة، يمكن أيضاً استخدام الشدادات في الإطارات والأقواس للتخفيف من الحركة الأفقية لرؤوس الأعمدة كما هو مبيّن في الشكل (1-3)، وهنا يجب تعليق الشداد إلى الإطار أو القوس للتخفف من السهم المتولِّد تحت تأثير الوزان الذاتي للشداد.

في الحالة الموضَّحة في الشكل (1-3) يكون الإطار مع شداد والقوس مع شداد غير مقررين مرتين، المرة الأولى خارجية وهي رد الفعل الأفقي في المسند والمرة الثانية داخلية وهي القوة في الشداد.

تكون مادة إنشاء الشداد عادة من الفولاذ، أمَّا مادة إنشاء الإطار أو القوس فيمكن أن تكون من الفولاذ أو البيتون المسلَّح، ويمكن أن يغلف الشداد بالبيتون من أجل الانسجام في مادة الإنشاء أو لحفظ الفولاذ من الصدأ.

2.6.1 الجوائز المقواة بعناصر معرضة لقوى محورية فقط:

Beams Strengthened by Elements Under Axial Loads

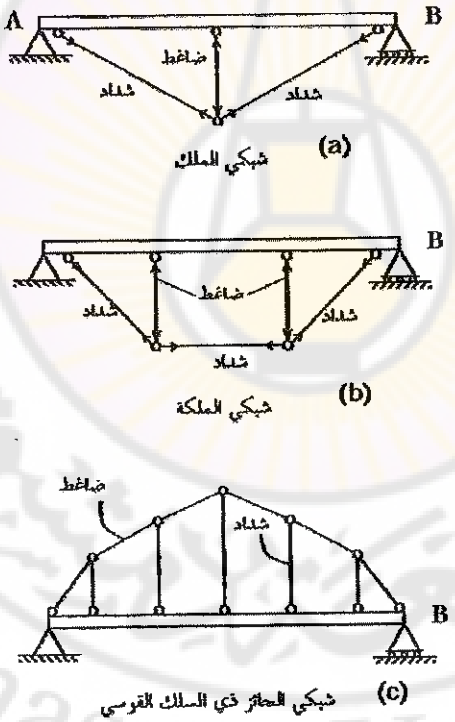
يمكن تقوية الجوائز البسيطة وذلك بربطها بعناصر معرَّضة لقوى محورية فقط، وتُسمى الجوائز في هذه الحالة بالجوائز المشبكة Trussed Beams. تقوم عناصر التقوية بتعريض الجائز البسيط إلى قوى تسبب فيه عزوم انعطاف سالبة وبالتالي تخفف من عزوم الانعطاف

الموجبة الناتجة عن تأثير الحمولات الشاقولية، وتعد هذه المنشآت مقررة خارجياً وغير مقررة داخلياً ولذلك لا تتأثر بهبوط المساند أو دورانها أو انزياحها، ولا تتأثر بالتغيرات الحرارية.

تستخدم الجوائز المشبكة بصورة أساسية في الجسور وتتكون عادة من مادتين مختلفتين، فالجائز من الفولاذ أو البيتون أو الخشب، أمّا العناصر المشدودة فتكون من الكابلات الفولاذية والعناصر المضغوطة تنشأ من المقاطع الفولاذي المسحوبة.

ويمكن أن تكون عناصر التقوية تحت الجائز كما في شبكي الملك King Truss وشبكتي الملكة Queen Truss، ويمكن أن تكون فوق الجائز كما هو الحال في شبكي الجائز ذي السلك القوسي Bow String Arch، كما هو مُبيَّن في الشكل (1-4). ويعتمد وضع عناصر التقوية فوق أو تحت الجائز على قرب أو بعد منسوب المياه تحت الجسر من منسوب الطريق عند الجسر وهو منسوب الجائز.

ويتم التحليل الإنشائي لهذه المنشآت وفق طرق ميكانيك الإنشاءات.



الشكل (1-4) الجوائز المقواة بعناصر معرَّضة لقوى محورية فقط

7.1 الجملة الإنشائية المختلطة السطحية:

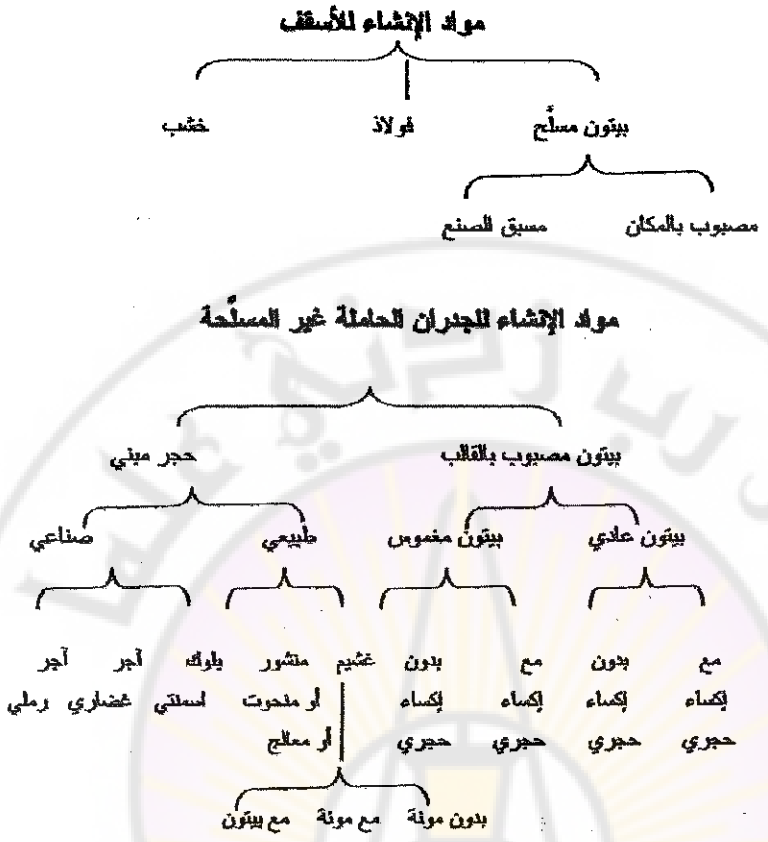
Mixed Surface Structural System

يتم إنشاء الجملة الإنشائية المختلطة السطحية عادة من مواد إنشائية مختلطة، فالسقف مثلاً يمكن أن ينشأ من الفولاذ أو الخشب أو البيتون المسلح، بينما تكون الجدران الحاملة من البيتون المصبوب بالقالب أو من الحجر المبني. يمكن أن يكون البيتون المصبوب بالقالب من النوع العادي أو من نوع البيتون المغموس مع الأحجار (بنسبة 2 بيتون إلى 1 حجر). أمَّا الحجر المستخدم للبناء في الجدران المبنية Masonary Walls فيمكن أن يكون طبيعياً أو صناعياً. ويمكن استخدام الحجر الطبيعي بعدة أشكال وهي الحجر الغشيم أو الحجر المنشور أو المنحوت أو المعالج. والحجر الغشيم يمكن بناؤه بدون مونة أو مع المونة، وإذا استبدلت المونة بالبيتون العادي فتُسمى المادة عندئذٍ الحجر المغموس (بنسبة 2 حجر إلى 1 بيتون). أمَّا الحجر المنشور أو المنحوت أو المعالج فيستخدم دوماً مع المونة.

أمَّا الحجر الصناعي فهناك ثلاثة أنواع منه: البلوك الإسمنتي والآجر الغضاري والآجر الرملي الجيري (الكلسي).

تتعرَّض الجدران الحاملة لقوى ضاغطة بشكل أساسي، أي يمكن إنشاؤها من مواد إنشاء وحيدة المقاومة على الضغط، وهذه المواد متوفرة جداً في بلادنا، ويمكن تصنيعها محلياً.

يبيّن الشكل (1-5) أنواع مواد الإنشاء للأسقف المستوية وللجدران الحاملة المضغوطة.



الشكل (1–5)

أنواع مواد الإنشاء للأسقف المستوية وللجدران الحاملة المضغوطة

الفصل الثاني
الجدران الحاملة غير المسلحة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني
الجدران الحاملة غير المسلحة

2.1. مقدمة:

دأب الإنسان منذ القديم على إنشاء دور ومبانٍ سكنية رخيصة وملائمة له، وقد اعتمد في كثير من البلدان النامية وخاصة في الوطن العربي نظاماً عمرانياً بسيطاً (الجدران الحمالة).

ورغم أن أكثر من 90% من المباني تقام حالياً بالنظام الهيكلي من الخرسانة المسلحة إلا أن البناء بالطوب والحجر لا تزال له ميزة عن الخرسانة.

كون الحجر مادة طبيعية متوفرة رخيصة نسبيا كما أنها ملائمة لبيئتنا الحارة أكثر من الخرسانة المسلحة خصوصاً إذا كان سمك الحائط كبيراً، وارتفاع السقف كافياً بالإضافة إلى التميز في الشكل الخارجي.

لذلك كان لابد من اشتراطات يجب توفرها في المباني التي تعتمد نظام الجدران الحمالة.

2.2. نظام الجدران الحاملة غير المسلحة:

تبنى الجدران من وحدات بناء ذات أنواع ومقاسات مختلفة ترص في مداميك أفقية موزونة ومقطوعة الحل تثبت مع بعضها بمونة رابطة. وتتأثر قوة الجدار ومقاومته للأحمال الرأسية والأفقية بنوع وحدات البناء المستعملة وقوة تماسكها فيما بينها ومع المونة الرابطة. أو تبنى الجدران من وحدات بناء من البلوكات المتداخلة Interlcking block.

في هذا النوع يتم البناء ببلوكات ذات بروز وتجاويف بحيث يتم تماسك البلوكات أفقياً ورأسياً من خلال دخول البروز في التجويف دون اللجوء لمواد رابطة. ويمتاز هذا النوع بمقاومته الكبيرة للأحمال الأفقية سواء في اتجاه الحائط أو العمودي على الحائط (كمثال المباني الأثرية في سورية، تدمر، بصرى).

ومن أنواع الجدران الحاملة:

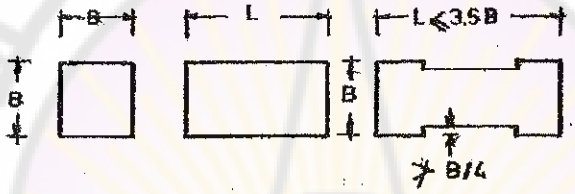
1- الجدران من الحجر الطبيعي.

2- الجدران من الحجر الصناعي .

3- الجدران من البيتون المصبوب بالقالب (عادي او مغموس).

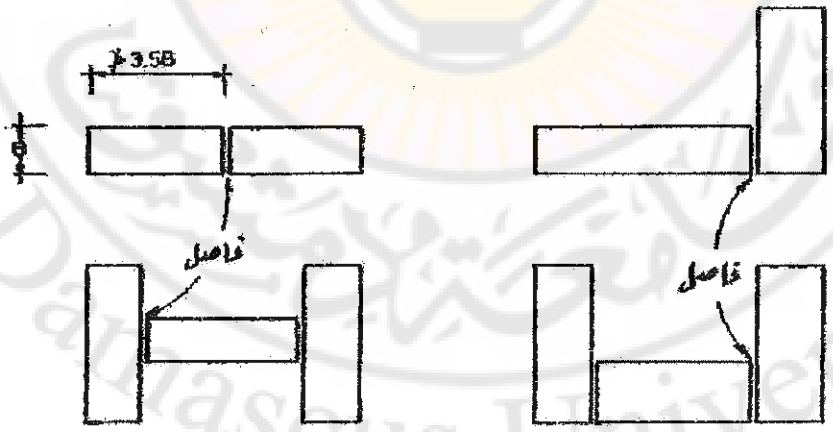
3.2. الاشتراطات المعمارية والفواصل الإنشائية:

آ- يجب أن تكون كتلة البناء منتظمة قدر الإمكان (مربعة أو مستطيلة)، وفي حال الضرورة يمكن القبول بالأشكال غير المنتظمة جزئياً لكتلة البناء في المسقط كما هو موضح بالشكل رقم (2-1) شريطة تحقق الاشتراطات.



الشكل (2-1) مسقط مقبول للبناء

ب- عند استخدام كتل بناء بشكل T أو L أو U أو H أو ما شابهها، فيجب تأمين فواصل نظامية بحيث يقسم البناء بين هذه الفواصل إلى كتل مستطيلة الشكل كما هو موضح بالشكل رقم (2-2).

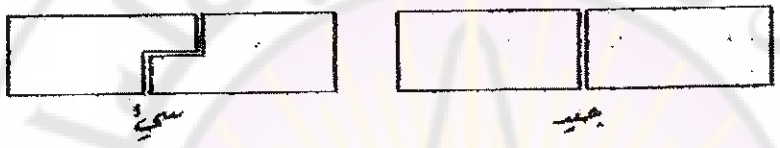


الشكل (2-2) تقسيم مساقط البناء الأفقية غير المرغوبة إلى مساقط مقبولة

جـ- يجب أن لا يتجاوز طول كتلة البناء المنفردة ثلاث مرات ونصف عرضها لأسباب زلزالية، وفي حال تجاوز ذلك يجب فصل الكتلة إلى عدة أجزاء تحقق هذا الشرط وبفواصل نظامية (تمدد أو هبوط حسب الحال)، وذلك لضمان عدم وجود تفاوت كبير في خصائص الصلادة في كل جزء من المنشأ في اتجاهي المحاور الرئيسية.

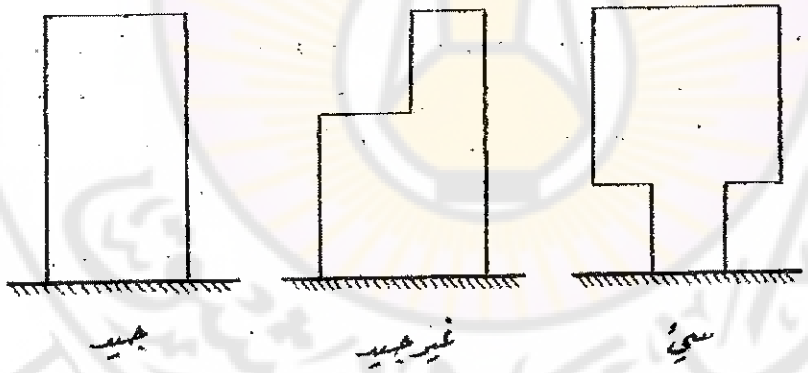
د- في جميع الأحوال، يجب استخدام فواصل نظامية (تمدد أو هبوط حسب الحال) بحيث لا يتجاوز البعد الأكبر لأي جزء منفصل من كتلة البناء في المسقط ثلاثين متراً.

هـ- لا يسمح بالفواصل المتعرجة ويجب أن يكون الفاصل بشكل خط مستقيم كما هو موضح بالشكل (2-3).



الشكل (2-3) شكل الفاصل

ط- لا يسمح بالتراجعات الحرة في المسقط في الطوابق السفلية بالنسبة إلى الطوابق التي تعلوها، راجع الشكل رقم (2-4).



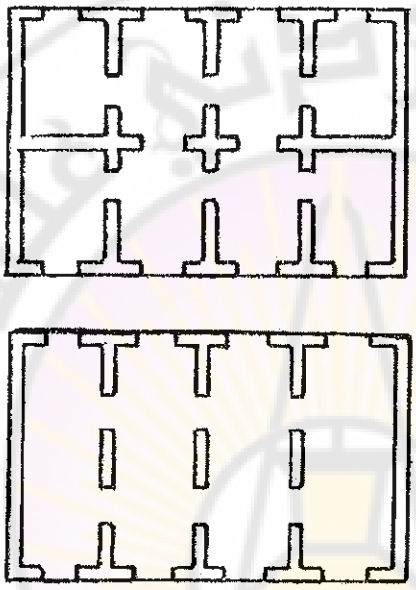
الشكل (2-4) واجهات شاقولية للمباني

ي- يسمح بالتراجعات في المسقط في الطوابق العلوية والسفلية بالنسبة إلى الطوابق الواقعة تحتها على أن يكون التراجع تدريجياً وعلى ألا تتجاوز مساحة التراجع 25% من مساحة الطابق الواقع تحتها. يمكن تجاوز هذا الشرط في حال وجود فاصل شاقولي عند خط التراجع.

4.2. اشتراطات الجمل الإنشائية:

2.4.1. توزع العناصر الحاملة في المسقط الأفقي:

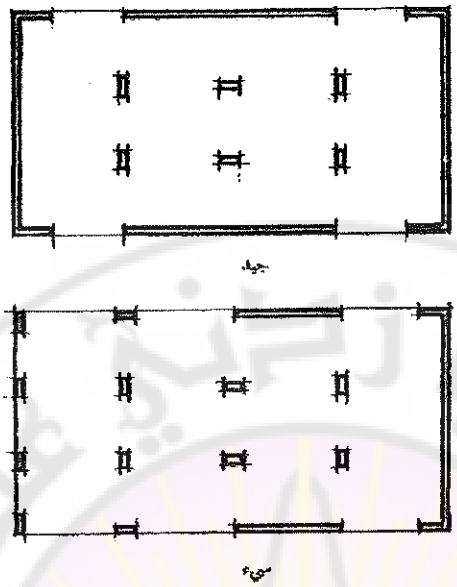
آ- عندما تكون الجملة من الجدران الحاملة حصراً فيجب مراعاة توزيع هذه الجدران في المسقط الأفقي بشكل منتظم قدر الإمكان وفي اتجاهين رئيسيين متعامدين بالشكل الذي يُعطي الجملة صلابة كافية بالاتجاهين كما في الشكل (2-5).



الشكل (2-5)

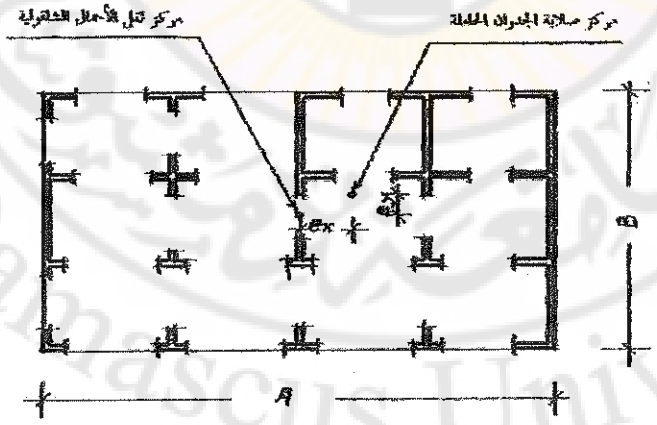
ب- عندما تكون الجملة الإنشائية من النوع المختلط في المسقط الأفقي بين الجدران الحاملة والأعمدة المسلحة فيجب تفادي تركيز إحدى الجملتين في أحد أجزاء البناء والأخرى في جزء آخر. ويجب أن يكون توزع الجدران الحاملة باتجاهين متعامدين بحيث يمكن الاعتماد على هذه الجدران فقط في تأمين صلابة المبنى في كل اتجاه كما في الشكل (2-6).

Damascus University



الشكل (2-6)

جـ- يجب أن يكون توزع العناصر الحاملة متناظراً في المسقط قدر الإمكان وذلك في كل من الاتجاهين، ويمكن افتراض هذا الشرط محققاً إذا تم التأكد بأن المسافة الأفقية ما بين مركز ثقل كافة الحمولات الشاقولية الميتة والحية (بما فيها الجدران) ومركز صلابة الجدران الحاملة في مستوى يمر بكافة الفتحات لا تتجاوز (0.05) من بعد البناء في كل اتجاه وعلى أن يدقق هذا الشرط في كل منسوب تتغير فيه طبيعة العناصر الشاقولية الحاملة أو توزيعها (الشكل 2-7).



الشكل (2-7)

2.4.2. الترتيب الشاقولي للجدران الحاملة:

آ- يشترط بشكل أساسي أن يكون الجدار الحامل مستمراً شاقولياً بدءاً من أعلى مستوى يستند عليه وحتى الأساسات أو العناصر الهيكلية الحاملة له في أسفله دون انقطاع أو انحراف أو انزياح عدا الفتحات التي تنطبق عليها الشروط.

ب- لا يجوز أن يكون طول أو سماكة أي مقطع جدار حامل في أي طابق أقل من طوله أو سماكته في الطوابق الأعلى إلا في حالات خاصة يبررها المهندس المصمم.

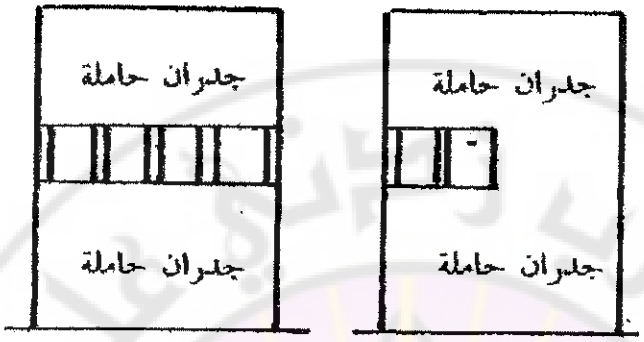
جـ- عند استخدام جمل مختلطة في المسقط الأفقي ومستمرة في الاتجاه الشاقولي (أعمدة مع جدران حاملة) يُراعى ما يلي:

ج-1: يمكن أن يكون الطابق الأخير (أو جزء منه) محمولاً على أعمدة ترتكز على جدران حاملة، بشرط أن لا تقل سماكة الجدار الحامل للعمود عن 25 سم وأن تؤمن التشاريك اللازمة للعمود من ضمن الرابط الواقع فوق الجدار الحامل، وأن يؤخذ في الحسبان توزع الإجهادات المركزة على الجدار ،كما يشترط أن لا يقع العمود فوق فتحة في الجدار الحامل.

ج-2: يمكن أن ترتكز الجدران الحاملة على جملة هيكلية من الخرسانة المسلحة في الاتجاهين في الطابق الأسفل كلياً أو جزئياً وتصمم الجملة الهيكلية الحاملة في هذه الحالة لتحمل كامل الحمولات الشاقولية المنقولة من الجدران الحاملة ومن كافة الطوابق وذلك وفق الكود العربي السوري للخرسانة المسلحة.

ويجب أن تحقق الجملة الهيكلية الحاملة لتحمل قوى أفقية مطبقة على مستوى الطابق الأسفل لا تقل شدتها عن 0.05 من مجموع الحمولات الشاقولية المبنية فوق هذا المنسوب. تطبق هذه القوة في مركز ثقل الحمولات الشاقولية وتوزع على إطارات الجملة الهيكلية وفق صلاباتها مع أخذ تأثيرات الفتل بالحسبان في حال وجود عدم تناظر في توزع صلابات الجملة الهيكلية. وتعامل الإجهادات الناتجة عن هذه القوة معاملة القوى الناتجة عن الرياح نفسها من حيث عوامل الأمان. وتتم هذه الدراسة في كل من الاتجاهين المتعامدين للمبنى بشكل مستقل.

ج-3: لا يسمح بتغيير الجملة الإنشائية من جدران حاملة إلى جملة هيكلية في طابق متوسط أو أكثر في أي جزء من المبنى (الشكل 2-8)، ولا يُعدّ هذا التغيير في الجمل الإنشائية المختلطة مقبولاً في الكود.



الشكل (2-8) تغييرات غير مقبول في الجملة الإنشائية

5.2 اشتراطات خاصة بالجدران الحاملة:

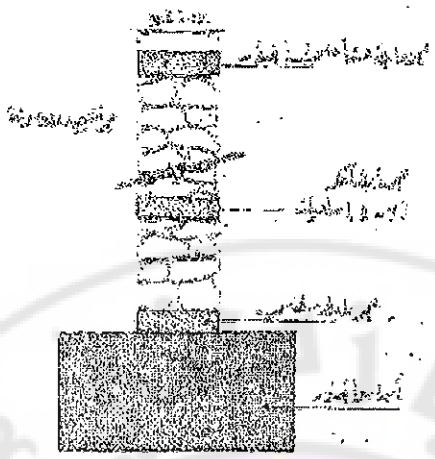
تشمل الاشتراطات بصورة خاصة السماكات الدنيا وطريقة تنفيذ الجدران.

تحدد سماكات الجدران الحاملة من حساب الإجهادات العظمى المطبقة عليها شرط أن لا تقل عن السماكات الدنيا الواردة فيما يلي أدناه.

5.2.1 الاشتراطات للجدران المبنية من الأحجار الطبيعية:

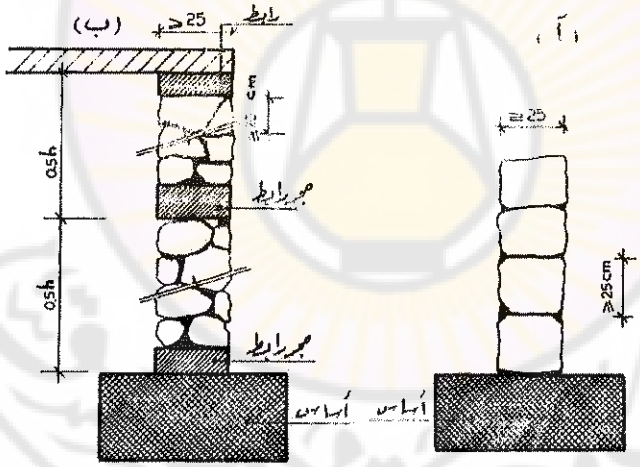
أ- الاشتراطات لجدران الحجر الغشيم:

- لا يسمح باستخدام الحجر الغشيم البسيط دون مونة إذا كان الجدار مؤلفاً من قطعة واحدة بالسماكة الدنيا. أمّا إذا كان الجدار من قطعتين حجريتين فيجب ألا يقل سمك الجدار عن 50 سم بشرط أن يربط بقطعة واحدة على كامل عرض الجدار على وجه الأرض ووجه الأساس وكل (3-4) مداميك وفي أعلى الجدار. ولا يسمح لهذا النوع إلا لطابق واحد فقط (الشكل 2-9) ولا حاجة لحساب هذا الجدار.



الشكل (2-9)

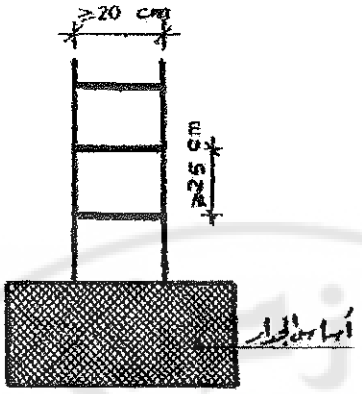
- يستخدم الحجر الغشيم مع مونة إسمنتية، ولا تقل سماكة الجدار في هذه الحالة عن 25 سم، ولا يقل ارتفاع المدماك الواحد عن 25 سم، ويشترط أن يُربط الجدار على كامل عرضه (إذا كان مؤلفاً من أكثر من قطعة واحدة) عند الوجه العلوي للأساس ووجه الأرض الطبيعية للبناء ومنتصف الجدار وأعلاه كما في الشكل (2-10).



الشكل (2-10)

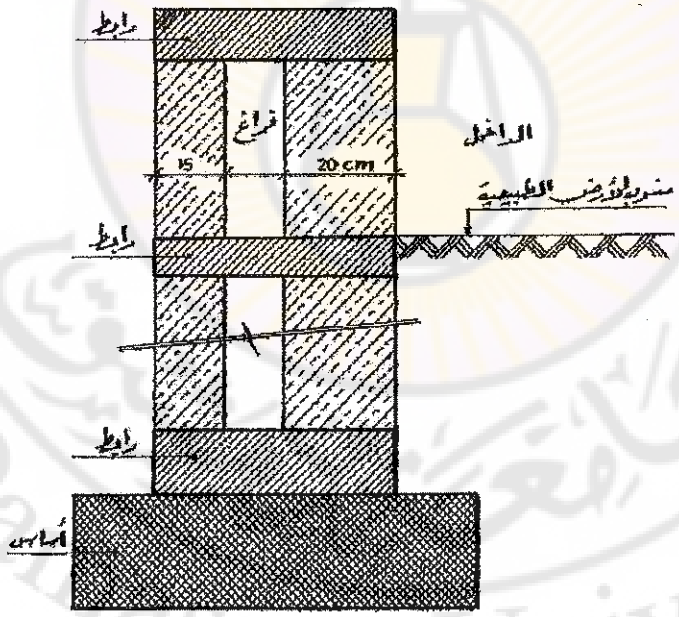
ب- الاشتراطات لجدران الحجر المشغول:

- لا تقل سماكة الجدار عن 20 سم كما لا يقل ارتفاع المدماك الواحد عن 25 سم، الشكل (15).



الشكل (2-11)

- في الجدران المزدوجة ذات الفراغ لا تقل سماكة الجدار عن (15 + فراغ +20) سم وبحيث لا تقل سماكة الشريحة الداخلية عن 20 سم (الشكل 2-12). ولا تعد الشريحة الخارجية حاملة إذا قلت سماكتها عن 15 سم، ولا يجوز أن يقل استناد السقف عليها عن 10 سم. يُربط كامل عرض الجدار كما في الحجر الغشيم مع رابط بمدماك من قطعة واحدة في أعلى الأساس وعلى وجه الأرض وأعلى الجدار (الشكل 2-12).

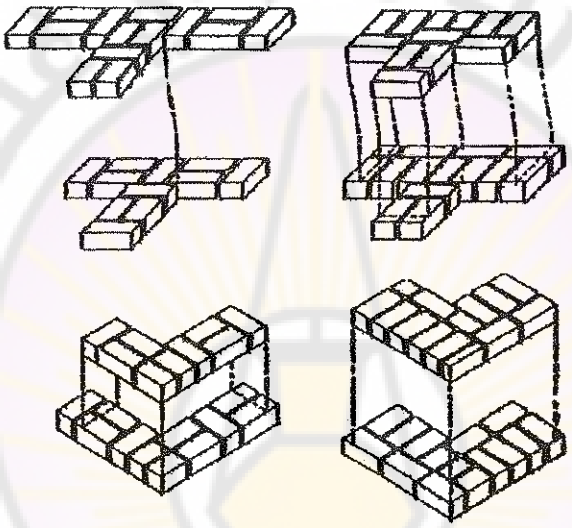


الشكل (2-12)

2.5.2- الاشتراطات للجدران المبنية من الأحجار الصناعية:

آ- الاشتراطات لجدران الآجر (الغضاري والرملي الجيري):

- يجب أن لا تقل سماكة الجدار البسيط عن 20 سم وتكون سماكته من آجرة واحدة أو آجرة ونصف أو آجرتين.. الخ. وتطبق في بنائه النظم العالمية (الإنكليزية، الفلمنكية) الشكل (2-13)، أو أي طريقة أخرى تؤمن عدم استمرار الفواصل بين قطع الآجر شاقولياً وفي كل سماكات الجدران وأوضاع قطع الآجر. كما لا يجوز أن تستخدم فيه أجزاء (نصف أو ربع) لتأمين إقفال النهايات والخطوط الشاقولية اللازمة لتأمين الفتحات وسواها.



الشكل (2-13)

- في حال تنفيذ جدران مزدوجة مع فراغ هوائي أو عازل فيجب أن لا تقل سماكة جزئي الجدار عن (20 + فراغ + 20) سم.
- تستخدم في ربط القطع مع بعضها البعض المونة الإسمنتية بسماكة لا تزيد على (1.5-1) سم.

ب- السماكة الدنيا لجدران البلوك الإسمنتي المصمت:

البلوك الإسمنتي المصمت البسيط: لا تقل سماكة الجدار عن 20 سم كما ويمكن أن يتألف الجدار كما في جدران الآجر من بلوكة ونصف أو بلوكتين... الخ.

أما الجدران المزدوجة من البلوك الإسمنتي المصمت فيجب أن لا تل سماكاتها عن (20 + فراغ + 20) سم لكل من الشريحتين الداخلية والخارجية، كما يمكن أن يُبنى كل من الوجهين الداخلي والخارجي بنفس طريقة الجدار البسيط من بلوكة ونصف... الخ. ولا تعتبر الشريحة الخارجية حاملة إلا إذا كان استناد السقف عليها لا يقل عن $\frac{2}{3}$ سماكتها. ويشترط ربط شريحتي الجدار كما في الجدران المزدوجة أعلاه برابط بلوك (قطعة بلوك على كامل عرض الجدار) أو روابط معدنية (قضبان من الفولاذ غير قابل للصدأ قطر 6-8 مم) وعلى مسافة 50 سم أفقياً في المدماك الواحد وبالتناوب بين المداميك وكل (3-4) مداميك.

إذا لم تطبق شروط الربط أعلاه تعتبر الشريحة الخارجية إكساء وغير حاملة.

2_5_3_ الاشتراطات للجدران الخرسانية:

أ- الخرسانة العادية:

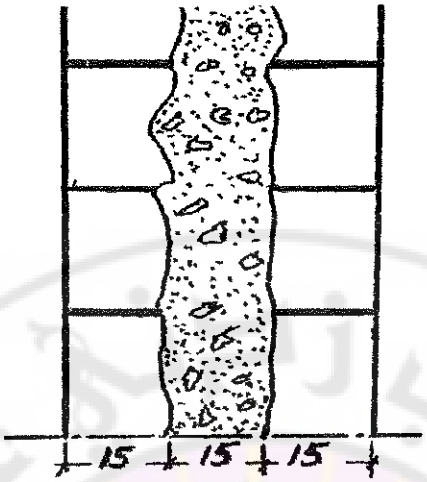
لا تقل سماكة الجدار عن 20 سم للجدران الداخلية والخارجية في المباني التي لا تزيد على طابقين. وفي حال زيادة ارتفاع المبنى على طابقين فتزداد السماكات الدنيا

ب- الخرسانة المغموسة (خرسانة عادية مع أحجار):

لا تقل سماكة الجدار عن 25 سم ولا تتعدى نسبة الحجر $\frac{1}{3}$ حجم الجدار ولا تزيد أبعاد الأحجار المستعملة على ثلث السماكة.

جـ- الخرسانة العادية مع إكساء حجري:

في حال كون الجدار مكوناً من الخرسانة العادية مع شريحة إكساء حجري لا تقل سماكة الخرسانة المستعملة عن 20 سم والحجر عن 15 سم. وتخفض سماكة الخرسانة إلى 15 سم في حال استخدام شريحتين حجريتين وتصبح سماكة الجدار الكلية في هذه الحال (15 + 15 + 15) ولا تعتبر الشريحة الخارجية حاملة ما لم يرتكز عليها السقف بأكثر من $\frac{2}{3}$ سماكتها وإلا تُعدّ الشريحة الحجرية الخارجية إكساء. كما ويجب أن يكون وجه الحجر الملاصق للخرسانة خاماً غير مشغول. إضافة إلى ذلك يجب صبّ الخرسانة بعد أن يتم بناء الشريحتين الحجريتين (الشكل 2-14).



الشكل (2-14)

د- الخرسانة المغموسة مع إكساء حجري:

في حال استخدام الخرسانة المغموسة مع الإكساء الحجري تكون سماكة الخرسانة المستعملة (25) سم فأكثر وسماكة الحجر (للشريحة الواحدة) (15) سم، ويمكن استخدام شريحة خارجية فقط أو شريحة خارجية وشريحة داخلية ولا تُعدّ الشريحة الخارجية حاملة ما لم يرتكز عليها السقف بأكثر من $\frac{2}{3}$ سماكتها. وإلا حُسبت الشريحة الخارجية إكساء، كما يجب أن يكون الوجه الداخلي للحجر الملاصق للخرسانة المغموسة غشيماً (خاماً) وغير معالج ليؤمن التماسك الكافي مع الخرسانة. كما يجب صبّ الخرسانة المغموسة بعد بناء الجدار الحجري.

جدول (2-1)

السماكات الدنيا للجدران الحاملة والداعمة

نوع الجدار	السماكة الدنيا (مم)	ملاحظات
1- حجر غشيم بدون مونة	500	لا يزيد ارتفاع المبنى على طابقين
2- حجر غشيم مع مونة	250	لا يقل ارتفاع المدماك عن 250 مم
3- حجر مغموس (ركة حجرية)	400	لا تقل أبعاد الحجرة عن: 200×200×200 مم
4- حجر منشور أو منحوت أو معالج		
4-1- بدون فراغ هوائي	200	لا يقل ارتفاع المدماك عن 250 مم
4-2- مع فراغ هوائي	150+ فراغ +200	السمك 200 مم جهة الداخل
5- آجر غضاري أو رملي جيري		
5-1- بدون فراغ هوائي	200	
5-2- مع فراغ هوائي	200+ فراغ +200	يمكن أن يعبأ الفراغ بعازل
6- بلوك إسمنتي		
6-1- بدون فراغ هوائي	200	
6-2- مع فراغ هوائي	200+ فراغ +200	يمكن أن يعبأ الفراغ بعازل
7- بيتون عادي		
7-1- بدون إكساء حجري	200	
7-2- إكساء حجري وجه واحد	200+150	السمك 200 مم للبيتون وجهة الداخل
7-3- إكساء حجري وجهين	150+200+150	السمك 200 مم للبيتون بالمنتصف
8- بيتون مغموس		
8-1- بدون إكساء حجري	350	
8-2- إكساء حجري وجه واحد	250+150	السمك 250 مم للبيتون المغموس وجهة الداخل
8-3- إكساء حجري وجهين	150+250+150	السمك 250 مم للبيتون المغموس وبالمنتصف
9- جدار داعم	150	

2-5-4- تباعدات الجدران الحاملة:

يجب أن لا يزيد البعد بين محوري جدارين حاملين عن أربعة أمتار للجدران من الحجر الغشيم بدون مونة أو عن ستة أمتار في بقية الحالات إلا إذا كان هناك صف أعمدة حاملة بين الجدارين وذلك في حال الجمل المختلطة في المسقط. يمكن زيادة هذه المسافة إلى ثمانية أمتار بشرط استخدام روابط شاقولية مسلحة وفقاً للاشتراطات.

يجب ألا يتعدى طول الجدار الحامل المبني من الحجر الطبيعي أو الصناعي ثلاثين متراً، أما جدار البيتون العادي أو المغموس فيجب أن لا يزيد طوله على اثنى عشر متراً من أجل تخفيف تشققات الانكماش.

لا تقل المساحة الصافية للجدران الحاملة في مسقط أي طابق عن 7% من مساحة الطابق على أن تحسب المساحة الصافية في مقطع أفقي لسائر الفتحات.

2-5-5- ارتفاعات الجدران الحاملة:

ويجب أن لا يزيد الارتفاع الكلي للبناء عن 175 متر مقاساً من وسطي منسوب الأرصفة المحيطة أو الأرض المجاورة حتى المنسوب الإنشائي للسطح العلوي لبلاطة الطابق الأخير دون حساب الجزء العلوي من بيت الدرج أو المصعد. أما إذا كان القبو مكشوفاً من جانب أو أكثر، فيحسب الارتفاع من منسوب الوجيبة المجاورة.

يجب أن لا يزيد عدد الطوابق في البناء عن سبعة بما فيها القبو بشرط اعتماد الترتيبات الإنشائية اللازمة لإكساب البناء المقاومة الكافية ضد الأحمال الجانبية (الرياح والزلازل).

يجب أن لا يزيد ارتفاع أي طابق أو أي جزء منه عن 4.25 متر، ويحسب الارتفاع مساوياً إلى المسافة الشاقولية بين السطحين العلويين لكل بلاطتين متتاليتين قبل الإكساء.

ويُشترط أن يتم ربط الجدران الحاملة على مستوى السقوف بوساطة روابط مسلحة أو وسائل أخرى مناسبة.

2-5-6- اشتراطات خاصة بالجدران الداعمة:

تستخدم الجدران الداعمة لدعم الجدران الحاملة عرضياً ضد التحنيب وتسهم في تخفيض نسبة النحافة. ويمكن أن تكون الجدران الداعمة حاملة في الوقت نفسه. وعندما لا تتعرض هذه الجدران لأكثر من وزنها الذاتي من طابق واحد فتُعدّ جدراناً داعمة فقط، وإلا فتُعدّ جدراناً حاملة وتطبق عليها اشتراطات هذا البند بالإضافة إلى الاشتراطات الأخرى الخاصة بالجدران الحاملة.

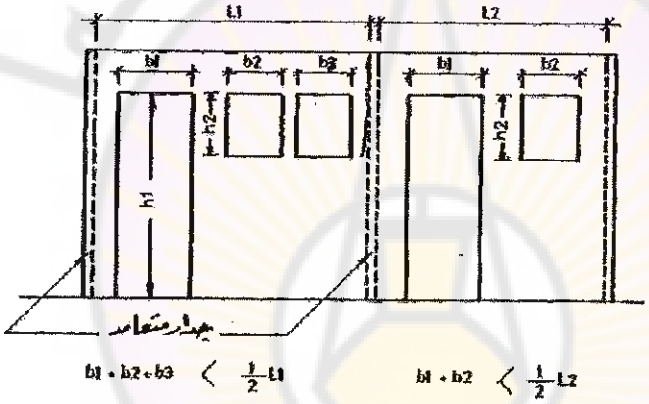
6.2 ـ الفتحات في الجدران الحاملة:

6.2.1 ـ الاشتراطات البعدية للفتحات:

آ- يجب أن تكون الفتحات في الجدران الحاملة متوضعة فوق بعضها البعض في الطوابق المختلفة وأن تكون الفتحات الواقعة فوق بعضها البعض متساوية الأبعاد في كافة الطوابق قدر الإمكان. وفي جميع الأحوال يجب أن لا يزيد البعد الأفقي لأية فتحة سفلية عن البعد الأفقي للفتحة التي تعلوها.

ب- يجب أن يكون المنسوب العلوي للفتحات في كل طابق ثابتاً.

جـ- يجب أن لا يتجاوز مجموع الأبعاد الأفقية للفتحات في المسقط في أي جدار حامل عن نصف الطول الكلي للجدار اعتباراً من نهايتيه، كما هو موضح بالشكل (2-15).



الشكل (2-15)

توزيع وأبعاد الفتحات

د- يجب أن لا تقل المساحة الصافية للجدران الحاملة في المسقط في أي طابق عن 7% من مساحة الطابق، وعلى أن تحسب المساحة الصافية في مقطع أفقي يمر بكافة الفتحات، وفي حال وجود أعمدة من الخرسانة المسلحة المستقلة (جملة مختلطة) تضاف مساحة هذه الأعمدة إلى المساحة الصافية المحسوبة بعد ضربها بالعامل (6) بشرط أن تكون الأعمدة مستوفية لشروط الحدود الدنيا للأبعاد والتسليح الواردة في الكود العربي السورية للخرسانة المسلحة، ولا تعدّ عناصر التقوية الشاقولية المستعملة لغرض تقوية زوايا الجدران الحاملة أو أكتاف النوافذ والأبواب أو العناصر المسلحة التزيينية إن وجد منها كأعمدة حاملة في مجال تطبيق هذا الشرط.

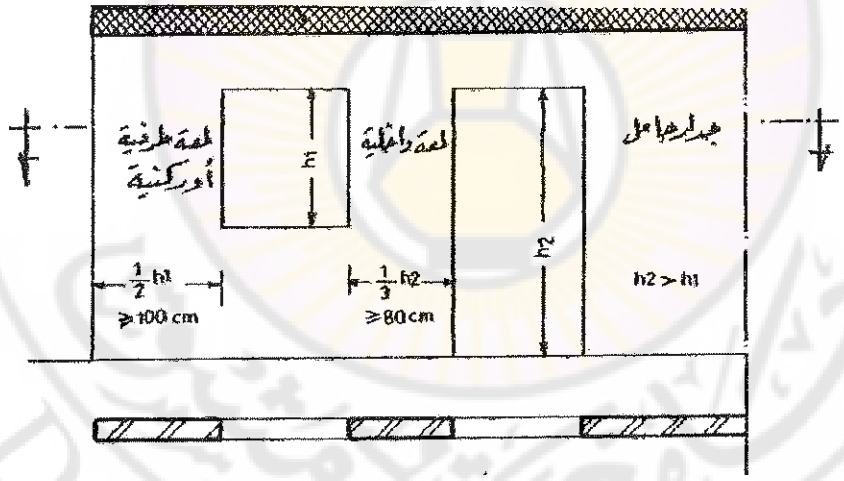
2.6.2- الاشتراطات البعدية للمعات بين الفتحات:

آ- في حال عدم وجود جدار داعم أو حامل معترض عمودي على الجدار الحامل المحتوي على اللمعة وضمن مجال اللمعة يجب أن لا يقل طول اللمعة الداخلية عن 80 سم أو $\frac{1}{3}$ أكبر ارتفاع للفتحتين المجاورتين أيهما أكبر. وأن لا يقل طول اللمعة الطرفية أو الركنية عن 100 سم أو $\frac{1}{2}$ ارتفاع الفتحة المجاورة أيهما أكبر (انظر الشكل 2-16).

ب- في حال وجود جدار داعم أو حامل معترض عمودي على الجدار الحامل المحتوي على اللمعة وضمن مجالها يجب أن لا يقل طول اللمعة الداخلية عن 40 سم أو $\frac{1}{5}$ أكبر ارتفاع للفتحتين المجاورتين أيهما أكبر. وأن لا يقل طول اللمعة الطرفية أو الركنية عن 80 سم، أو $\frac{1}{3}$ ارتفاع الفتحة المجاورة أيهما أكبر (انظر الشكل 2-17).

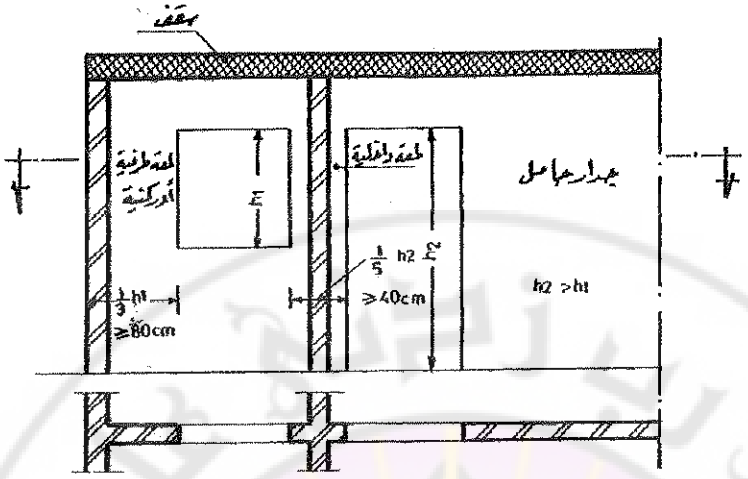
جـ- في جميع الأحوال يجب أن لا تقل مساحة المقطع الأفقي للمعة الداخلية عن $1600\,cm^2$، وللمعة الطرفية عن $2000\,cm^2$ وللمعة الركنية عن $2400\,cm^2$.

د- يجب أن يحقق الجدار الداعم الشروط كما في الشكل (2-18).



الشكل (2-16)

أطوال اللمعات في حال عدم وجود جدران متعامدة



الشكل (2-17)

أطوال اللمعات في حال وجود جدران متعامدة

2.7- الحفر والأثلام في الجدران الحاملة والداعمة:

Recesses and Chases in Stiffening and Load-bearing Walls

يلزم (من أجل استثمار أي مبنى) عمل حفر وأثلام في الجدران الداعمة وأحياناً في الجدران الحاملة وذلك لاحتواء التمديدات المختلفة اللازمة للاختصاصات الأخرى (صحية – كهربائية – تدفئة). يسمح عادة بعمل هذه الحفر والأثلام بشرط أن لا تؤثر في متانة هذه الجدران. يتم تشكيل الحفر والأثلام ضمن روابط الأحجار، كما يمكن أن يتم تشكيل الحفر والأثلام ضمن الأحجار نفسها بوساطة الآلات القاطعة، ولكن لا يسمح بالتشكيل بوساطة الإزميل.

يمكن أن تكون الحفر والأثلام شاقولية، كما يمكن أن تكون أفقية أو مائلة وفقاً لما يلزم لتنفيذ التمديدات.

2.7.1- الحفر والأثلام الشاقولية: Vertical Recesses and Chases

إذا كانت أبعاد الحفر والأثلام لا تزيد على القيم الموضحة بالجدول (2-3) فلا تؤثر في متانة الجدران، ولا حاجة لإجراء حسابات تبريرية من أجل ذلك. أما إذا زادت أبعاد الحفر والأثلام على القيم الموضحة بالجدول (2-3) فيجب البرهان على أن متانة الجزء المتبقي من الجدار بعد حذف الفتحات والأثلام كافية لتحمل الأحمال المتوقع تطبيقها على الجدار بأمان.

جدول رقم (2-3)

الحفر والأثلام الشاقولية المسموحة في الجدران الحاملة والداعمة بدونا لحاجة لتبرير حسابي

سمك الجدار mm	الحفر بروابط الأحجار		الأثلام المشكلة بقطع الأحجار		المسافة الدنيا الفاصلة بين الحفر والأثلام المتتالية mm	المسافة عن الفتحات mm	المسافة عن وصلة الجدار mm
	عرضاً mm	سمك الجدار المتبقي mm	عرضاً mm	عمقاً mm			
200	≤ 500	≥ 150	≥ سمك الجدار	≤ 30	2000	≥ 400	≥ 300
250	≤ 500	≥ 150		≤ 40			
300	≤ 600	≥ 200		≤ 50			
≥ 400	≤ 750	≥ 250		≤ 60			

8.2. الحفر والأثلام الأفقية المائلة:

Horizontal and Inclined Recesses and Chases

آ- يسمح بتشكيل الحفر والأثلام الأفقية والمائلة في الجدران الداعمة والحاملة ضمن الشروط التالية:

1- نسبة نحافة الجدار لا تتعدى 14.

2- سمك الجدار لا يقل عن 250 mm.

3- تحسب قدرة تحمل الجدار باعتماد سمك فعال للجدار (Effective Thickness) يساوي الجزء المتبقي من الجدار.

ب- إذا استوفت الحفر والأثلام الأفقية الشروط التالية فيفترض أنها غير خطرة على متانة الجدران الحاملة والداعمة بدون الحاجة لتبرير حسابي.

1- نسبة نحافة الجدار لا تتعدى 14.

2- سمك الجدار لا يقل عن 250 mm.

3- ارتفاع الثلم لا يتعدى 60 mm.

4- عمق الثلم لا يتعدى 30 mm.

5- العدد الأقصى للأثلام في الجدار الواحد 2.

6- تكون الأثلام في الثلث العلوي أو الثلث السفلي فقط في الجدار.

7- لا يقل الفاصل بين حفرتين متتاليتين عن 500 mm.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

الاجهادات لمباني الجدران الحاملة غير المسلحة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث
الاجهادات لمباني الجدران الحاملة غير المسلحة

3-1- خواص مواد إنشاء الجدران الحاملة:

يجب استخدام مواد إنشاء للجدران الإنشائية الحاملة والداعمة؛ قادرة على تحمل الأحمال التي ستتعرض لها.

لكل مادة من المواد المستخدمة في إنشاء الجدران الحاملة خواص محددة لكن أهم هذه الخواص هي المقاومة الميكانيكية المميزة على الضغط.

3-1-1- تعريف المقاومة الميكانيكية المميزة على الضغط:

تعرف المقاومة الميكانيكية المميزة على الضغط لمادة ما بأنها المقاومة للضغط حتى الكسر التي لا يمكن أن يزيد عدد العينات المحتمل أن تنخفض مقاومتها عن المقاومة المميزة بأكثر من 10% وفقاً للمعايير الإحصائية.

في حالة عدد محدود من العينات (3-5 عينات)، يكون من الصعب تطبيق المعايير الإحصائية بشكل سهل ودقيق، ولذا سيتم في هذا النظام اعتماد التعريف المبسّط التالي الذي يعطي قيمة «عملية» للمقاومة الميكانيكية المميزة «النظرية» التي تحسب وفقاً للتعريف السابق والمعايير الإحصائية الدقيقة.

اعتماداً على ما سبق، يفترض أن «المقاومة الميكانيكية المميزة» لمادة ما هي (80%) ثمانون بالمائة من متوسط مقاومات خمس عينات من المادة تضغط حتى الكسر وبشرط أن لا تقل مقاومة أي من العينات الخمس عن المقاومة المميزة بأكثر من (20%) عشرين بالمائة من المقاومة المميزة.

3-1-2- مواصفات الأحجار الطبيعية:

مواصفات عامة:

آ- يجب أن تكون الأحجار الطبيعية من النوعية القاسية الخالية من العروق الترابية، كما يجب أن لا تتأثر بالماء أو بالتجمد.

ب- يمكن أن تكون الأحجار الطبيعية كلسية (جيرية) أو رملية أو بازلتية أو غرانيتية أو ما شابه.

جـ- يجب أن لا تقل المقاومة الميكانيكية المميزة على الضغط لمادة الحجر عن 200 كغ/سم^2.

د- تقاس المقاومة الميكانيكية المميزة لمادة الحجر بكسر خمس عينات أسطوانية قطر 10 سم وارتفاع 20 سم على الضغط. ويمكن أخذ فكرة عن المقاومات الميكانيكية المميزة المتوقعة لبعض أنواع الأحجار من الجدول (3-1).

جدول (3-1)

المقاومات الميكانيكية المميزة لبعض الأحجار الطبيعية

نوع الحجر الطبيعي	المقاومة المميزة كغ/سم^2
- حجر كلسي - طفل بركاني	160
- أحجار رملية طرية مع رابط غضاري وما شابه	240
- أحجار رملية كثيفة والدولوميت (بما فيه الرخام) والبازلت والحجر الكلسي القاسي وما شابه	400
- الأحجار الرملية الكوارتزية	600
- الأحجار الغرانيتية	900

3-1-2-1- مواصفات الأحجار الغشيمة:

آ- عندما تتوفر في الطبيعة أحجار طبيعية بأحجام مناسبة للبناء (من ناحية الأبعاد والوزن) بدون أي تصنيع فتسمى أحجار غشيمة.

ب- لا تقل أبعاد الأحجار الغشيمة التي ستستخدم في الجدران الحاملة عن 200 مم.

جـ- يجب أن تكون سطوح الأحجار خالية من التراب والغبار.

3-1-2-2- مواصفات الأحجار المنشورة والمنحوتة والمعالجة:

آ- تستخرج من المقالع بشكل كتل كبيرة ثم يجري تقسيمها لأحجام مناسبة للبناء من ناحية الأبعاد والوزن. إذا تم التقسيم بوساطة المناشر الآلية يسمى الناتج الحجر المنشور أما إذا كان يدوياً مع الأدوات المناسبة فينتج ما يسمى بالحجر المنحوت. وإذا كان هناك معالجات خاصة بالحجر المنحوت فيسمى الحجر المعالج.

ب- يجب أن تحقق جميع الأحجار الغرض المطلوب في التصميم.

جـ- يكون الوجهان الأفقيان (بعد البناء) مستويين ومتوازيين.

د- تكون حواف الأحجار سليمة وغير متكسرة.

هـ- تكون الأحجار التي ستستخدم في مدماك واحد ذات ارتفاعات متساوية.

3-1-3- مواصفات الأحجار الصناعية:

1- البلوك الإسمنتي:

آ- تتألف وحدات البناء المصنعة من البلوك الإسمنتي التي يسمح باستخدامها في الجدران الحاملة أو الداعمة من وحدات مصمتة (مليئة) أبعادها 20×40 سم^2، ولا تقل سماكتها عن 20 سم.

ب- تقاس المقاومة الميكانيكية لأحجار (أو وحدات) البلوك الإسمنتي بمقاومة الضغط بعد 28 يوماً من التصنيع وفق تجربة الكسر على خمس عينات من وحدات البلوك تضغط بنفس الوضعية التي ستتعرض لها للحمولات في المنشأ.

2- الآجر الغضاري:

آ- تتراوح المقاومة الميكانيكية المميزة للآجر الغضاري على الضغط حتى الكسر بين 75 كغ/سم^2 للنوع العادي 100 كغ/سم^2 للنوع الأول و150 كغ/سم^2 للنوع الممتاز، وتقاس المقاومة الميكانيكية المميزة لوحدات الآجر الغضاري بمقاومة الضغط حتى الكسر لخمس وحدات من الآجر تضغط بالوسائل المخبرية الميكانيكية، وبحيث يكون الضغط مطبقاً على السطح العلوي بنفس الوضعية التي ستتعرض بها للحمولات في المنشأ.

ب- يجب أن يكون الآجر الغضاري من النوع المصمت أو ما في حكمه. ويعتبر في حكم المصمت الآجر الغضاري المثقب الذي لا تزيد نسبة مساحة الثقوب فيه عن 20% من مساحة المقطع العرضي للآجرة. ويتراوح الوزن الحجمي لهذا الآجر الغضاري بين 1400 و2200 كغ/م^3.

جـ- يجب أن تكون وحدات الآجر ذات سطوح خارجية مستوية تماماً ولها أحرف مستقيمة وأشكال منتظمة وخالية من الشقوق والكسور والحفر وأن تكون في مظهرها الخارجي متجانسة دون أن يتخللها أية مادة غريبة، كما يجب أن تكون وحدات الآجر قاسية.

د- يجب أن يتحمل الآجر التبدلات الحرارية من (15-) حتى (20+) درجة مئوية دون أن يظهر عليه أي تشقق. أما التنسيمات الشعرية السطحية فتعتبر مسموحة.

3- الآجر الرملي الجيري:

آ- تتراوح المقاومة الميكانيكية المميزة للآجر الرملي الجيري على الضغط حتى الكسر بين 75 كغ/سم^2 للنوع العادي و100 كغ/سم^2 للنوع الأول و150 كغ/سم^2 للنوع الممتاز لخمس وحدات من الآجر بنفس الوضعية التي ستتعرض بها للحمولات في المنشأ.

ب- يجب أن يكون الآجر الرملي الجيري من النوع المصمت.

3-1-4- مواصفات المونة:

آ- تعتبر المونة الإسمنتية هي النوع الأساسي من أنواع المونة الذي يجب استخدامه كمادة رابطة في الجدران الحاملة. هذه المونة عبارة عن مزيج من الإسمنت والرمل والماء وقد يضاف أحياناً الجير (الكلس) لتحسين قابلية التشغيل.

ب- يستخدم ثلاثة أصناف من المونة طبقة لمقاومتها الميكانيكية المميزة. وتقاس المقاومة الميكانيكية المميزة للمونة بمقاومة الضغط حتى الكسر لخمس عينات من المونة بشكل مكعب طول ضلعه 7 سم بعد 28 يوم من الصب. وتعتمد المقاومة المميزة للمونة وفقاً للتعريف.

جـ- يمكن اعتبارياً اعتماد المقاومات الميكانيكية المميزة الواردة في الجدول (3-2) بالنسبة إلى المونة الإسمنتية المصنعة وفق الخلطات الموضحة في نفس الجدول.

الجدول (3-2)

المقاومات الميكانيكية المميزة الاسمية للمونة

النوع	المقاومة المميزة كغ/ سم^2	العيارات الوزنية	ملاحظات
عادي	50	1 إسمنت: 4 رمل	
		1 إسمنت: 1 جير: 6 رمل	
أول	75	1 إسمنت: 3 رمل	
		1 إسمنت: 4 رمل	مع مراقبة خاصة
ممتاز	100	1 إسمنت: 3 رمل	مع مراقبة خاصة

ويقصد بالمراقبة الخاصة في الجدول (3-2) إجراء تحليلي حبي على الرمل بشكل منتظم ومقارنة النتائج مع القيم المطلوبة.

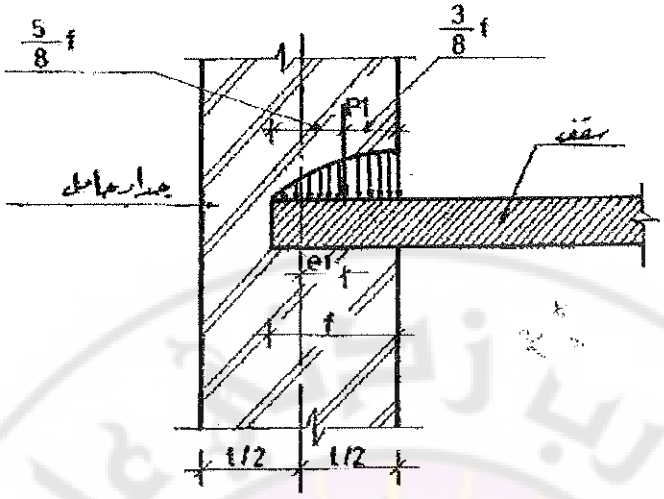
3-2- حساب القوى المطبقة على الجدران الحاملة:

يضاف دائماً إلى الحمل الكلي الذي يتعرض له الجدار من العناصر الأخرى الوزن الذاتي للجدار والأحمال المنقولة من الطوابق العليا.

تحسب عزوم الانعطاف الواقعة في مستوى عمودي على الجدار (اتجاه عرضي) إذا كانت ناتجة عن قوى مطبقة على الجدار بشكل لا مركزي كما هو موضح بالشكل (3-1) وتؤخذ قيمة اللامركزية (e_1) بافتراض أن توزع الإجهادات على الجدار يتبع منحنى قطع مكافئ وبذلك يكون:

$$e_1 = \frac{1}{2} - \frac{3}{8} f$$

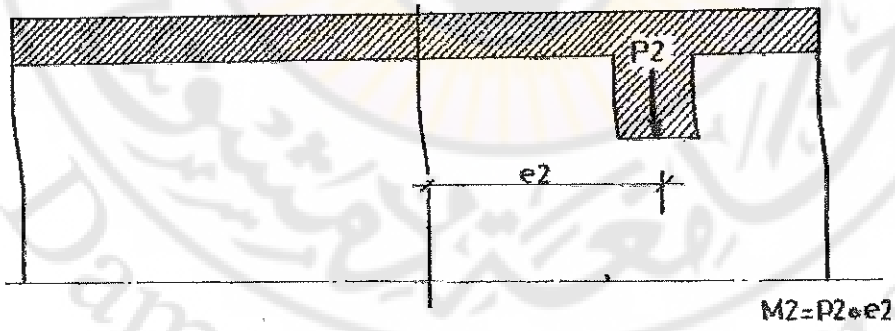
$$M_1 = P_1 \cdot e_1$$



الشكل (3-1)

اللامركزية العرضية على جدار حامل

تحسب عزوم الانعطاف المؤثرة في مستوى الجدار (الاتجاه الطولي) إذا كانت ناتجة عن أحمال مركزة كبيرة (من أعمدة وجوائز) متوضعة بأحد طرفي الجدار كما هو موضح بالشكل (3-2). ويُعدّ الحمل المركز كبيراً عندما يزيد لوحده عن ربع الأحمال المطبقة على الجدار من المنسوب نفسه. أما إذا كنت الأحمال موزعة أو كانت الأحمال المركزة التي تسبب عزوم الانعطاف صغيرة، فتهمل عزوم الانعطاف الناتجة بمستوى الجدار (الاتجاه الطولي). ويمكن أن تكون عزوم الانعطاف في مستوى الجدار ناتجة عن ضغط الرياح الأفقي (في حال ضرورة الحساب على ضغط الرياح) أو عن دفع الزلازل.



الشكل (3-2)

اللامركزية الطولية على جدار حامل

3.3- المقاطع الحرجة لحساب الإجهادات في الجدران الحاملة:

آ- تحسب الإجهادات في الجدار الحامل في مقطعين أفقيين لكل طابق:

الأول هو المار بالفتحات حيث تكون مساحة المقطع أصغرية، والثاني عند المقطع السفلي في الطابق حيث يكون الحمل أعظمياً.

ب- تعدّ الإجهادات في كلا المقطعين المذكورين أعلاه موزعة بانتظام عدا حالات وجود عزوم انعطاف ناتجة عن اللامركزية العرضية أو الطولية المذكورتين في البند السابق وحالات تأثير الرياح والزلازل.

4.3- الإجهادات المسموحة في عناصر الجدران الحاملة

آ- تتعرض مقاطع الجدران الحاملة لقوى ضغط محوري فقط أو لقوى ضغط محوري مع عزوم انعطاف، وتسمى قوى الضغط في هذه الحالة قوى الضغط اللامركزي.

ب- يوجد ثلاثة ألياف في كل مقطع عرضي يطلب التحقق من الإجهادات فيها. هذه الألياف الثلاثة هي:

- الليف المركزي المار من مركز ثقل المقطع العرضي.
- الليف الطرفي المعرض لأقصى قيمة ضغط.
- الليف الطرفي المعرض لأقصى قيمة شدّ (في حالة الجدران الحاملة الخرسانية فقط).

جـ- لا تأخذ الإجهادات المسموحة الأساسية تأثير التحنيب بالحسبان، ومن أجل معرفة الإجهادات المسموحة في مقطع عرضي لجدار يجب دراسة تأثير التجنيب في هذا الجدار لتخفيض الإجهادات المسموحة الأساسية.

3.4.1- القيم الأساسية للإجهادات المسموحة للضغط البسيط في الجدران الحاملة:

يقصد بالقيم الأساسية للإجهادات المسموحة للضغط البسيط (المركزي) في الجدران الحاملة الإجهادات المسموحة في الليف المركزي من المقطع العرضي والناتجة عن أحمال موزعة في جدران (أو لمعات) غير معرضة للتحنيب. يجب تخفيض هذه الإجهادات المسموحة في حالة وجود تحنيب، كما يمكن زيادتها تحت الأحمال المركزة مباشرة. كذلك يمكن زيادة الإجهادات المسموحة في الليف الطرفي المعرض لأقصى قيمة ضغط عن هذه الإجهادات المسموحة الأساسية.

3-4-1-1- حالة الجدران الحاملة المبنية من الأحجار الطبيعية:

تتأثر الإجهادات المسموحة لحالة الضغط البسيط (المحوري أو المركزي) في الجدران الحاملة المبنية من الأحجار الطبيعية بالعوامل التالية:

- مقاومة مادة الحجر الطبيعي.
- شكل الحجر.
- نوع المونة المستخدمة.
- نسبة النحافة أو النحافة المكافئة.

3-4-1-2- حالة الجدران الحاملة المبنية من الأحجار الصناعية:

تتأثر الإجهادات المسموحة في الضغط للجدران الحاملة المبنية من الأحجار الصناعية (الوحدات المصنعة) بالعوامل التالية:

- مقاومة مادة الحجر الصناعي.
- نوع المونة الإسمنتية.
- نسبة النحافة، النحافة المكافئة.

3-4-1-3- القيم الأساسية للإجهادات الضاغطة المسموح بها:

Basic Values of Permissible Compressive Stresses

توضح الجداول أرقام (3-3) و(3-4) و(3-5) القيم الأساسية للإجهادات الضاغطة المسموح بها لحالات الجدران الحاملة من الأحجار الطبيعية والجدران الحاملة من الأحجار الصناعية والجدران الحاملة البيتونية بالترتيب.

3.4.2 الإجهادات الضاغطة المسموح بها مع التحنيب:

Permissible Compressive Stresses Considering Bucking

يجب تعديل القيم الأساسية للإجهادات الضاغطة المسموح بها وفقاً لنسبة نحافة الجدار، وذلك بقصد أخذ تأثير تحنيب الجدار. إن القيم المعدلة موضحة بالجدول رقم (3-6)، ويفترض أن الإجهادات المذكورة بهذا الجدول هي إجهادات ملزمة يجب التقيد بها في التصميم وعدم تجاوزها إلا في الحالات الخاصة التي سبق ذكرها في البند (3-6).

3-4-2-1- التحنيب ونسبة النحافة ونسبة النحافة المكافئة:

Buckling Slenderness Ratio and Equivalent Slenderness Ratio

تعرف نسبة نحافة الجدار الحامل بأنها النسبة: h/d

حيث:

h: المسافة الشاقولية بين مسندين افقيين مانعين لانزياح الجدار، وإذا لم يكن الجدار مسنوداً من أعلاه فتؤخذ h مساوية ضعف ارتفاع الجدار.

d: البعد الأصغر للمقطع الأفقي العرضي للجدار الحامل ذي الارتفاع h.

لا ضرورة في بعض الحالات لحساب نسبة النحافة كما سبق ذكره أعلاه ويمكن اعتماد نسبة نحافة مكافئة كما هو موضح فيما يلي:

جدول رقم (3-3)

القيم الأساسية للإجهادات الضاغطة المسموح بها في الجدران الحاملة من الأحجار الطبيعية (M.Pa)

طريقة البناء	المقاومة المميزة لمادة الحجر الطبيعي (M.Pa)	نوع المونة ومقاومتها المميزة (M.Pa)			بدون مونة
		عادي 5.0	أول 7.5	ممتاز 10.0	
حجر غشيم بدون مونة	16				0.2
	24				0.2
	40				0.3
	≤60				0.4
حجر غشيم مع مونة أو حجر مغموس (ركة)	16	0.2	0.2	0.3	
	24	0.3	0.4	0.5	
	40	0.5	0.5	0.6	
	60	0.7	0.8	1.0	
حجر معالج أو حجر منحوت	16	0.9	1.1	1.3	
	24	1.3	1.5	1.7	
	40	1.7	2.0	2.3	
	≤60	2.3	2.7	3.1	
حجر منشور آلياً	16	1.2	1.4	1.6	
	24	1.6	2.0	2.2	
	40	2.2	2.6	3.0	
	≤60	3.0	3.5	4.0	

جدول رقم (3-4)

القيم الأساسية للإجهادات الضاغطة المسموح بها في الجدران الحاملة من الأحجار الصناعية

المقاومة المميزة لمادة الحجر الصناعي (M.Pa)	نوع المونة ومقاومتها المميزة		
	عادي 5.0	أول 7.5	ممتاز 10.0
7.5	0.9	1.0	1.1
10.0	1.0	1.1	1.2
15.0	1.4	1.5	1.6
20.0	1.5	1.7	2.0

جدول رقم (3-5)

القيم الأساسية للإجهادات الضاغطة المسموح بها في الجدران الحاملة البيتونية (عادي مغموس) (M.Pa)

نوع البيتون	عادي	أول	ممتاز
المقاومة المميزة (M.Pa)	7.5	10.0	15.0
الإجهادات المسموحة (M.Pa)	.9	1.1	1.5

جدول رقم (3-6)

الإجهادات الضاغطة المسموح بها مع التحنيب (M.Pa)

نسبة النحافة أو النحافة المكافئة	القيم الأساسية للإجهادات الضاغطة المسموح بها (M.Pa)									
	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	3.0	4.0
10≥	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	3.0	4.0
12	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	2.2	3.0
14	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.4	2.2
16	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	1.0	1.4
18	-	-	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	1.0
20	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.5	0.7

آ- إذا جرى تدعيم الجدران الحاملة عرضياً طبقاً للجدول رقم (2-2) وكانت سماكة الجدار $\leq 250\,mm$ فتعد نسبة النحافة المكافئة 10.

ب- بالنسبة إلى الجدران الحاملة الداخلية ذات السماكة (200mm) والتي لا تحتوي على فتحات والمدعمة عرضياً طبقاً للجدول رقم (2-2) فتؤخذ نسبة النحافة المكافئة لها 10 إذا كان ارتفاع الطابق (2.75 m)، و12 إذا كان ارتفاع الطابق (3.25 m) وتؤخذ النحافة المكافئة للارتفاعات المتوسطة بالاستقراء الخطي.

جـ- بالنسبة إلى الجدران الحاملة الداخلية ذات السماكة (200 mm) والحاوية فتحات والمدعمة عرضياً طبقاً للجدول رقم (2-2) فتؤخذ نسبة النحافة المكافئة لها مساوية (12).

د- في حال الجدران الخارجية المزدوجة مع عازل هوائي والمدعمة عرضياً طبقاً للجدول رقم (2-2) فتؤخذ نسبة النحافة المكافئة للشريحة الشاقولية الداخلية الحاملة من الجدار ذات السماكة (200 mm) مساوية (12) للارتفاع الطابقي 2.75 m ومساوية (14) للارتفاع الطابقي (3.25 m) وتؤخذ القيمة للارتفاعات المتوسطة بالاستقراء الخطي.

هـ- تحسب نسبة نحافة اللمعات بين الأبواب والنوافذ بشكل منفصل، ويجب أن لا تقل عن نسبة النحافة المكافئة للجدران الحاوية لها.

يسمح باعتماد h مساوية ارتفاع الباب أو النافذة شريطة تنفيذ العتب فوق الباب أو النافذة بكامل عرض الجدار.

3.4.3- الإجهادات المسموحة في حالة الضغط تحت الأحمال المركزة مباشرة:

آ- في حالة وجود حمل مركز من جائز متعامد على الجدار، فيسمح بإجهادات ضاغطة على الجدار تحت الحمل المركز مباشرة تساوي 1.5 مرة الإجهادات المسموحة مع أخذ التحنيب بالحسبان، كما يشترط أن لا يقل استناد الجائز على الجدار عن 15 سم أو ثلثي سماكة الجدار أيهما أكبر.

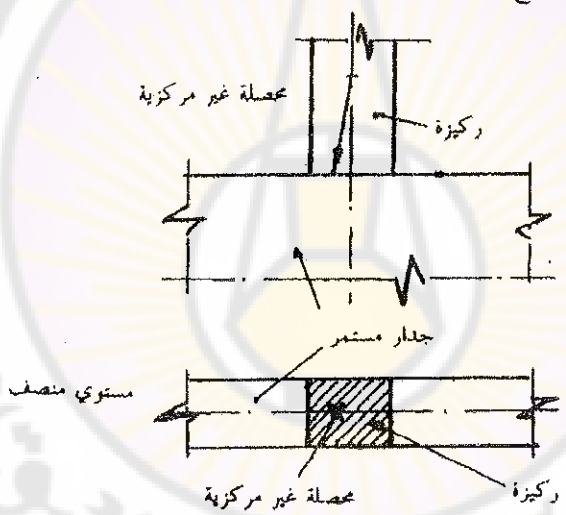
ب- إذا كان الحمل المركز على الجدار قادماً من عمود (سواء كان العمود حجرياً أو معدنياً مع صفيحة قاعدة... الخ) واقعة في المستوى المنصف للجدار المستمر وكانت محصلة العمود غير مركزية (كما هو موضح بالشكل 3-3) فيسمح بأن يصل إجهاد الضغط الأعظمي عند طرف العمود إلى 1.5 مرة الإجهادات المسموحة (مع أخذ تأثير التحنيب بالحسبان) شريطة أن لا يتعدى الإجهاد تحت مركز العمود الإجهادات المسموحة.

جـ- إذا كان الإجهاد تحت الحمل المركز مباشرة (سواء كان من عمود أو من جائز متعامد) يزيد عن 1.5 مرة الإجهاد المسموح به فمن الممكن استخدام وسادة (مخدة) خرسانية (أو خرسانية مسلحة) تحت الحمل المركز مباشرة بأبعاد (طول وارتفاع) تحدد من توزع الإجهادات ضمن الخرسانة حيث يؤخذ التوزع بميل 1 أفقي: 2 شاقولي بحالة الخرسانة العادية أو الخرسانة المغموسة وبميل 1:1 بحالة الخرسانة المسلحة، كما هو موضح بالشكل (3-4).

الإجهادات المسموحة في حالة الأحمال الشاقولية وأحمال الرياح:

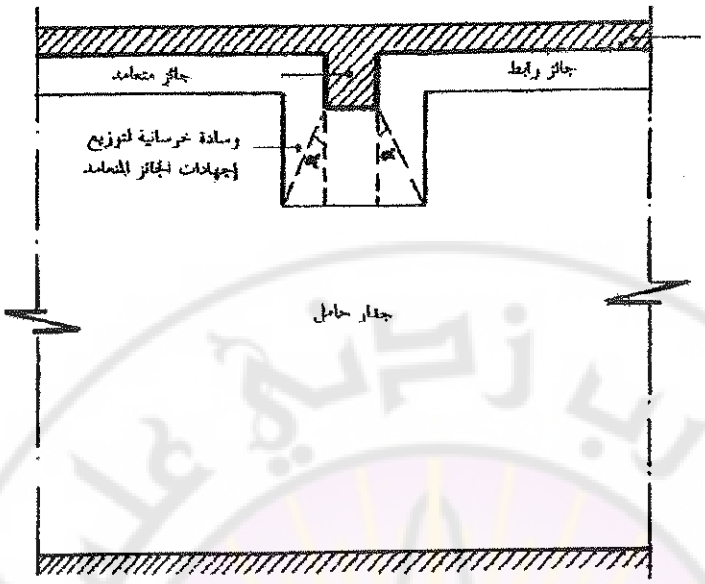
إذا ترافق الضغط الناتج عن الأحمال الشاقولية مع ضغط ناتج عن أحمال الرياح فيمكن زيادة الإجهادات المسموحة والمحسوبة كما سبق أعلاه بنسبة 25% على أن لا تتعدى إجهادات الضغط الناتجة عن الأحمال الشاقولية فقط الإجهادات المسموحة، المحسوبة كما سبق أعلاه.

أما بالنسبة إلى الإجهادات المسموحة في تربة التأسيس فتصعد 50% عند الحساب على الأحمال الشاقولية والرياح معاً.



الشكل (3-3)

استناد ركيزة بمحصلة غير مركزية على جدار حامل



الشكل (3-4)

توزيع الحمل المركز بالوسادة الخرسانية

5.3 نظم الإنشاء للمباني من الجدران الحاملة:

من الناحية الإنشائية هناك نوعان رئيسيان من الجدران طبقاً للتحميل:

جدران قص وهو حائط معرض لأحمال رأسية وأفقية في اتجاه مستوى الحائط وجدران انحناء وهو حائط معرض لأحمال في اتجاه عمودي على مستوى الحائط والجدران الحاملة تعتبر من النوع الأول حيث الأحمال تكون في اتجاه المستوى.

1.5.3 نظم السقف:

يعتبر السقف من أهم العناصر الإنشائية لجدران المباني الحاملة. وتكمن أهمية نظام السقف لتوزيعه الأحمال الجانبية المؤثرة على المبنى والناتجة من الرياح والزلازل، حيث أن السقف لا يأخذ أي جزء من الحمل ولكن يقوم بدوره بتوزيع تلك الأحمال الجانبية للجدران. نظام السقف أيضاً يعتبر ركيزة جانبية للجدران الحاملة وربط الجوائز ببعض لذلك يجب أن تصمم وصلة السقف بالجدران لنقل الأحمال الأفقية، مقاومة المباني للأحمال الجانبية مرتبط بـ relative rigidity (الجساءة النسبية) للسقف بالنسبة إلى الجدران وهذا يتوقف على نوع السقف المستخدم:

1- جدران بسقف خرساني:

في هذا النظام يعتبر السقف rigid Diaphram ودرجة الـ rigidity (الجساءة) نعتمد على مدى ربط السقف بالجدران، ويقوم السقف بتوزيع الأحمال الجانبية للجدران طبقاً لـ relative rigidity لكل حائط. والإزاحة الجانبية للجدران تكون مقيدة لحد ما ودرجة التقيد مرتبطة بدرجة ربط هذا السقف بجدران وحيث أن هذا السقف لا يتشكل في اتجاه المستوى وهذا يجعل كل الجدران لها نفس الإزاحة، وبما أن الإزاحة لكل الجدران متساوية لذلك فإن مقدار الحمل اللازم لعمل هذه الإزاحة يتناسب مباشرة مع الـ relative rigidity للحائط.

2- جدران بسقف خشبي:

في هذا النظام يعتبر السقف Flexible diaphram، ويكون الـ stiffness (الجساءة) للحائط أكبر من السقف لذلك نجد أن الإزاحة الجانبية للجدران متغيرة وغير متساوية نتيجة وجود تشكل بالسقف نفسه لذا نجد أن نصيب كل حائط من الأحمال الجانبية يعتمد على مسطح التحميل المعرض له هذا الحائط وهذا ما يجعل هذا النوع من أخطر أنواع الأسقف. الـ flexibility (المرونة) للسقف تسمح بإزاحات كبيرة للجدران في اتجاه الأحمال الجانبية ولتقليل ذلك فقد حددت المواصفات قيماً قصوى لهذه الإزاحة بحيث يراعى عند تصميم الحائط.

3- جدران بسقف خرساني وبدون كمر توزيع:

في هذا النظام يعتبر السقف semi rigid diaphram، وفي هذه الحالة تحدث إزاحة معينة للسقف تحت تأثير الأحمال الجانبية، ولكن في نفس الوقت يكون هذا السقف له stiffness كافية بحيث يكون قادراً على توزيع الأحمال الجانبية للجدران طبقاً لـ relative rigidity لكل حائط.

4- جدران بدون سقف (الأسوار والأبنية الأثرية):

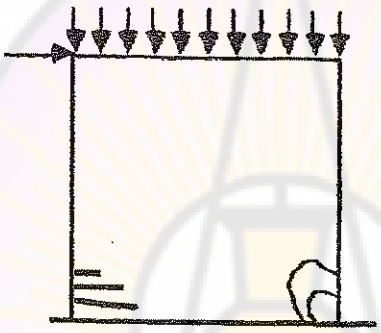
في هذا النظام اتزان الحائط يعتمد على وزنه وقطاعه في مقاومة الأحمال الجانبية المؤثرة منه. حيث أن كل حائط يعمل بذاته ككابولي لذا يتطلب كبر مقطع الحائط وخصوصاً من أسفل.

6.3- تصرف الجدران الحاملة تحت تأثير الأحمال الأفقية:

تصرف وسلوك الجدران الحاملة تحت تأثير الأحمال الأفقية له ثلاثة أنماط رئيسية مختلفة هي:

1- تصرف انحنائي Flexural mode:

من أهم مظاهره هو وجود شروخ أفقية في منطقة الشد وهذه الشروخ عبارة عن فصل بين المونة والحجر نتيجة تولد إجهادات شد عمودية على المونة الأفقية، ووجود كسر بالحجر في منطقة الضغط شكل (3-5) نتيجة زيادة إجهادات الضغط عن مقاومة الضغط المميزة للحائط ويتولد هذا التصرف عندما يزيد ارتفاع الحائط بكثير عن عرضه، وأيضاً عندما تكون مقاومة الحائط للقص عالية.



شكل (3-5)
تصرف انحنائي للحائط

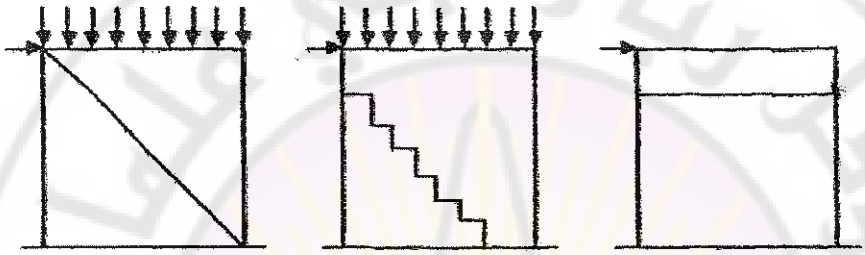
2- تصرف قصي Shear mode

يتولد هذا التصرف عندما يكون ارتفاع الحائط مساوياً أو أقل من عرضه ومقاومة الحائط للقص ضعيفة، وهذا التصرف له أشكال ثلاثة تعتمد على درجة التحميل الرأسي شكل (3-6) وكذلك على مقاومة التماسك للمونة بالنسبة إلى المقاومة الطويلة للشد.

شكل (3-6-آ) شرخ قطري يتخلل الحجر نتيجة إجهادات شد قطرية (محصلة القوى الأفقية والرأسية). ويظهر هذا عندما تكون مقاومة الحجر للشد أقل من مقاومة التماسك للمونة حيث يسري الشرخ في المادة الأضعف وهي في هذه الحالة الحجر لذا يظهر الشرخ مستمراً في خط مستقيم.

شكل (3-6-ب) شرخ قطري يتخلل المونة الرأسية والأفقية نتيجة إجهادات شد قطرية ويظهر هذا عندما تكون مقاومة الحجر للشد أكبر من مقاومة التماسك للمونة حيث يسري الشرخ في المادة الأضعف وهي المونة لذا يظهر الشرخ على شكل سلم.

شكل (3-6-ج) شرخ أفقي عبارة عن انفصال المونة عن الحجر أي انزلاق ويظهر هذا عندما تكون الأحمال الرأسية صغيرة جداً، أو غير موجودة حيث أن الأحمال الرأسية تعمل مثل prestressing في الاتجاه الرأسي أي تعمل إحاطة للحائط في الاتجاه الرأسي وتمنعه من الانزلاق أفقياً.



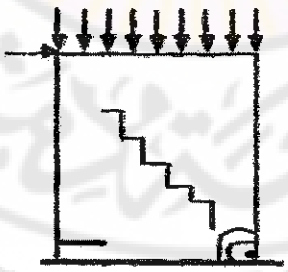
(أ-6-3) (ب-6-3) (ج-6-3)

شكل (3-6)

تصرف قصي للحائط

3- تصرف انحنائي - قصي:

هذا النوع هو مزيج من النوعين الأول والثاني ومن أهم مظاهره هو وجود شروخ قطرية (قص) مع شروخ أفقية في منطقة الشد (انحناء) شكل (3-7) ويتولد هذا النوع من التصرف عندما يكون ارتفاع الحائط مساوياً لعرضه، وكذا عندما تكون مقاومة الحائط للقص والانحناء متساوية.



شكل (3-7)

تصرف انحنائي - قصي للحائط

ومن أهم العوامل التي تؤثر في سلوك وتصرف الجدران بدرجة كبيرة:

أ- أبعاد الحائط (H/L) حيث كلما زاد (H/L) كان سلوك الحائط انحنائياً.

ب- درجة تحميل الأحمال الرأسية يغير تصرف الحائط من انحنائي إلى قصي.

ج- نظام ربط الحائط بالأساس والسقف.

د- وجود فتحات بالحائط.

هـ- نوع وحدات البناء والمونة المستخدمة.

و- كمية وتوزيع حديد التسليح بالحائط.

3-7- اشتراطات خاصة بالروابط:

3-7-1- الروابط الشاقولية:

آ- يجب تأمين روابط شاقولية (إضافة للروابط الأفقية) عندما يزيد عدد طوابق البناء على طابقين فوق الأرض وذلك عند تقاطعات الجدران الحاملة مع بعضها أو مع الجدران الداعمة وعند النهايات الحرة للجدران بحيث لا تزيد المسافة الأفقية بين رابطين متجاورين على 5 متر.

ب- تكون الروابط الشاقولية أيضاً من الخرسانة المسلحة المصبوبة في المكان (ذات مقاومة مميزة لا تقل عن $f`_c = 150\,kgf/cm^2$) ويتم تسليحها بحيث تعمل هذه الروابط كشدادات عند حدوث الزلازل.

جـ- تكون قضبان التسليح الطولية في الروابط الشاقولية مستمرة من ظهر الأساس وحتى أعلى سقف مع استخدام أطوال تثبيت أساسية على الشدّ عند انتهاء طول القضيب (بحدود ستين مرة قطر القضيب).

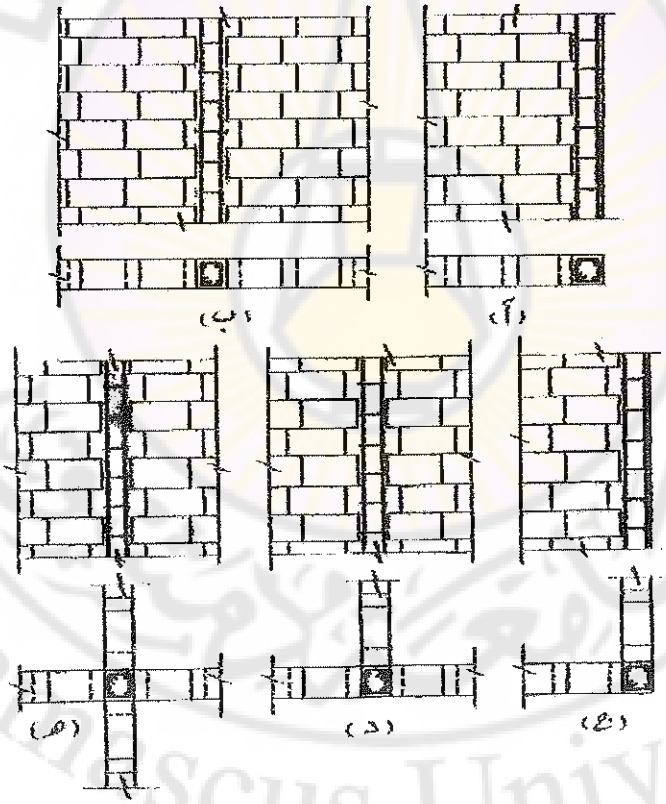
د- تنفذ الروابط الشاقولية كما يلي عندما لا يتعدى ارتفاع البناء الأربعة طوابق فوق الأرض:

يتم بناء الجدران أولاً مع ترك فراغ للربط الشاقولي بعرض 15 سم كحد أدنى وبمساحة لا تقل عن 400 سم^2. يتم البناء بحيث تبدأ المداميك بدايات مختلفة من وجهة الرابط من أجل تأمين الترابط بين الرابط الشاقولية والجدار كما هو موضح في الشكل (3-8) لحالات المختلفة لموقع الرابط (رابط بنهاية أو وسط الجدار أو رابط عند تقاطعات الجدران). يمكن أن

تكون الجدران المتقاطعة حاملة جميعها أو بعضها حامل والبعض الآخر داعم، أما التقاطع فيمكن أن يكون بشكل L أو T أو +.

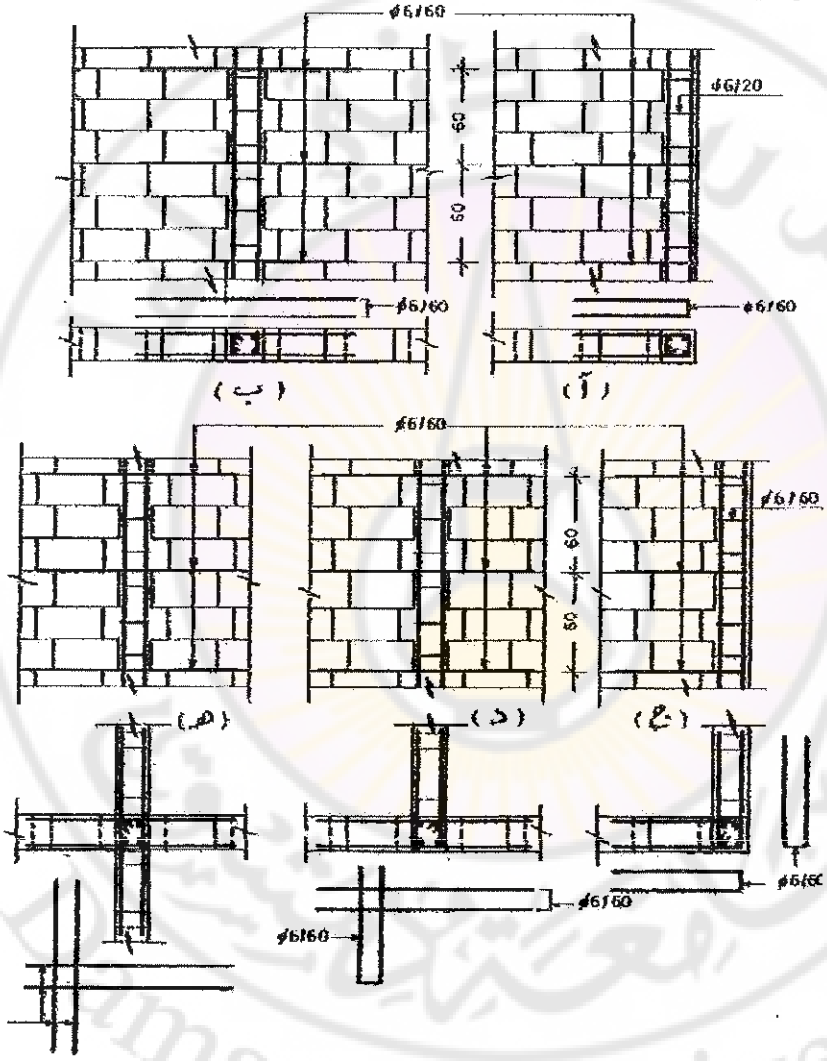
يسلح كل رابط شاقولي بتسليح طولي قدره أربعة قضبان قطر 10 مم على الأقل إذا كانت القضبان من تسليح أملس عادي المقاومة ($fy = 2400\,kgf/cm^2$). أما إذا كانت القضبان من تسليح محزز عالي المقاومة ($f_y \geq 4000\,kgf/cm^2$)، فيمكن الاكتفاء بأربعة قضبان قطر 8 مم. أما الأساور فيكفي وضع أسوارة واحدة قطر 6 مم كل 25 سم، وتضاعف كميتها في منطقة وصل القضبان الطولية.

ويُستخدم هذا الرابط للطابقين السفليين عندما يكون عدد طوابق المبنى 3 أو 4 طوابق فقط فوق الأرض. كما يُستخدم عندما تكون المسافة بين محاور الجدران الحاملة المتجاورة 6-8 متر، وارتفاع المبنى لا يتعدى الطابقين فوق الأرض. يوضع الرابط الشاقولي في الحالة الأخيرة على محيط المساحة التي تكون فيها المسافة بين الجدران الحاملة المتجاورة 6-8 متر.



الشكل (3-8) تسليح الروابط الشاقولية

هـ- عندما يزيد ارتفاع المبنى على أربعة طوابق فوق الأرض فيجب حساب الروابط الشاقولية على القوى الأفقية، ويُشترط أن لا تقل عن الروابط المذكورة في الفقرة (د) السابقة مع إضافة قضبان تسليح أفقية بمقدار قضيب قطره 6 مم وطوله لا يقل عن متر بروز من كل جهة من الرابط وبتباعد شاقولية كل 60 سم، وتوضع ضمن طبقة المونة الأفقية بين المداميك كما هو موضح في الشكل (3-9).



الشكل (3-9)

تستخدم الروابط الدنيا مع التسليح الأفقي بين المداميك المذكورة في هذه الفقرة أيضاً على محيط المساحة من البناء التي تكون فيها المسافة بين محاور الجدران الحاملة المتجاورة 6-8 متر، وعدد الطوابق لا يقل عن 3 طوابق أيضاً فوق سطح الأرض.

و- عند استخدام الخرسانة (العادية أو المغموسة) للجدران الحاملة والداعمة، فيجب أن يستخدم فيها أيضاً الروابط الشاقولية وفقاً للفقرتين (د) و(هـ). يوضع التسليح اللازم للروابط قبل صبّ الخرسانة، ويتم صبّ الخرسانة في الجدران الحاملة والداعمة والروابط مرة واحدة وبالوقت نفسه.

3-7-2- الروابط الأفقية:

آ- يجب تامين روابط أفقية باتجاهين عند كل من منسوب الأساسات ومنسوب السقف لكل طابق، كما يُشترط أن لا تزيد المسافة الشاقولية بين أعلى كل رابطين أفقيين متتاليين عن أربعة أمتار، وفي حال زيادة المسافة عن ذلك يوضع رابط إضافي.

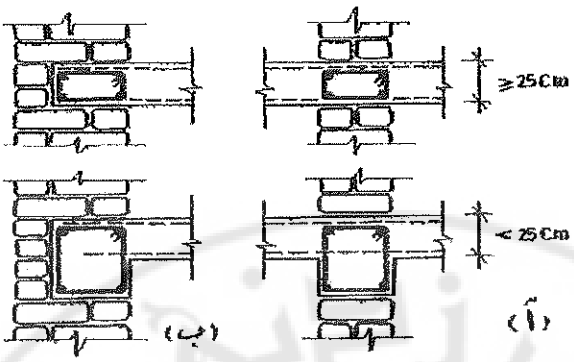
ب- بغض النظر عن مادة الإنشاء المستخدمة للسقف تكون الروابط الأفقية من الخرسانة المسلحة المصبوبة في المكان، ويتم تسليحها بحيث تعمل كإطار يتحمل القوى الأفقي.

جـ- لا يقل عرض الرابط فوق الجدار الداخلي عن سماكة الجدار كما لا يقل الارتفاع الكلي للرابط عن سماكة بلاطة السقف أو عن 25 سم أيهما أكبر (انظر الشكل 3-10).

د- في حال وجود أحمال مركزة على الجدار، يجب زيادة أبعاد الرابط عن الحدود الواردة أعلاه، إن لزم، لتأمين توزيع كاف للإجهادات على الجدار.

هـ- لا تقل المقاومة المميزة للخرسانة المستخدمة في الروابط عن 150 كغ/سم^2.

و- تسلح الروابط الأفقية بتسليح إنشائي طولي لا تقل نسبة مساحته إلى مساحة مقطع الرابط عن (0.002) على أن لا يقل قطر القضبان الطولية عن 10 مم، ولا يقل عددها عن أربعة إذا كان التسليح من النوع الأملس عادي المقاومة ($f_y = 2400\,kgf/cm^2$)، أما إذا كان التسليح من النوع المحزز عالي المقاومة ($f_y \geq 4000\,kgf/cm^2$)، فيمكن الاكتفاء بأربعة قضبان قطر 8 مم بشرط أن لا تقل مساحة التسليح الطولي عن 0.0015 من مساحة الرابط. كما يسلح الرابط الأفقي بتسليح عرضي لا يقل قطره عن 6 مم ولا يزيد تباعده عن عرض الرابط أو 25 سم أيهما أصغر.

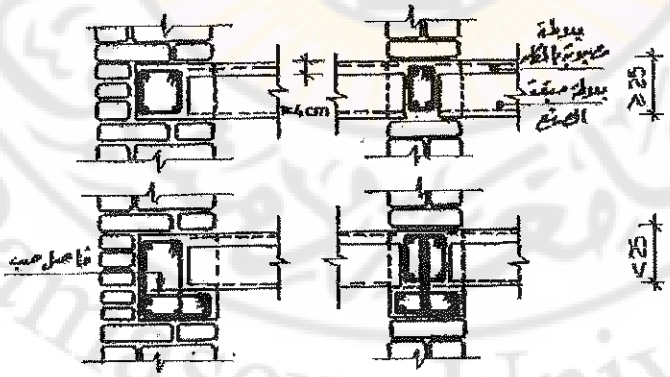


الشكل (3-10) الروابط الأفقية

3-7-3- اتصال السقف بالروابط الأفقية:

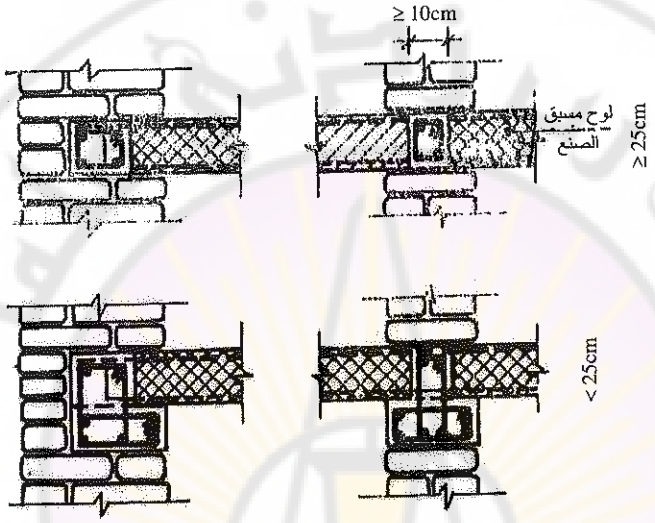
آ- إذا كان السقف من البيتون المسلح المصبوب في المكان فيجري تشابك تسليحه مع تسليح الروابط، ويتم صبّ البيتون للسقف والروابط في الوقت نفسه، ولا تقل المقاومة المميزة للبيتون عن 150 كغ/ سم^2.

ب- أما إذا كان السقف من البيتون المسلح مسبق الصنع بشكل بلاطات ذات عرض محدود (80-120-150 سم مثلاً) فيجب وصل التسليح الظاهر بأطراف هذه البلاطات مع تسليح الروابط الأفقية، كما يجب صبّ طبقة تغطية فوق هذه البلاطات مسبقة الصنع تكون من البيتون المسلح المصبوب في المكان بسمك 4 سم مسلحة بشبكة تسليح لا تقل عن قطر 4 مم كل 20 سم بالاتجاهين. يتم صبّ طبقة التغطية هذه بالوقت نفسه مع الروابط (انظر الشكل 3-11).



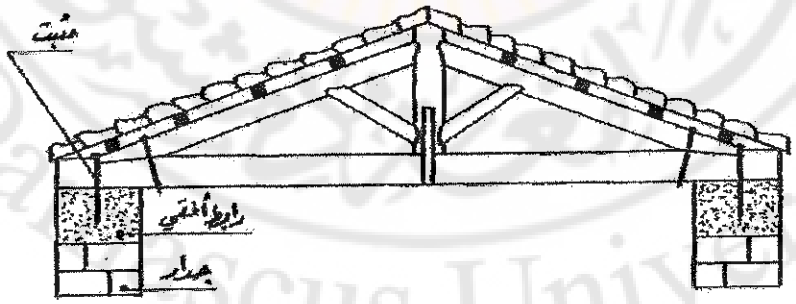
الشكل (3-11) أسقف من بلاطات مسبقة الصنع

جـ- بحالة السقف من البيتون المسلح مسبق الصنع بشكل بلاطات (ألواح) ذات أبعاد كبيرة (بحدود لوح لكل سقف غرفة) يجب أن تحوي هذه الألواح قضبان أو حلقات تثبيت على المحيط يجري وصلها مع تسليح الروابط الأفقية، ثم يجري صبّ الروابط الأفقية (انظر الشكل 3-12). لا يقل عرض الفراغ بين الألواح المتجاورة المشكلة للرابط الأفقي عن 10 سم أو عرض الرابط الشاقولي المتقاطع معه (في حال وجوده) أيهما أكبر.

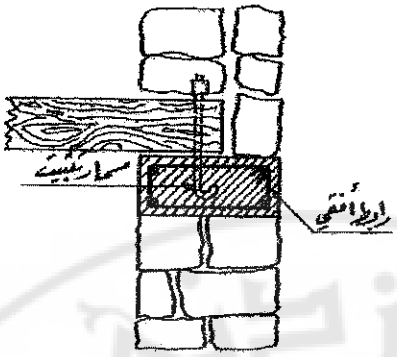


الشكل (3-12) أسقف من ألواح مسبقة الصنع

د- عندما يجري استخدام الخشب أو الفولاذ للأسقف وخاصة للسقف الأخير فيجب وصل الجائز الخشبي (أو الفولاذي) للرابط الأفقي بشكل جيد كما هو موضح في الشكلين (3-13) و(3-14)، كما يمكن أن يتم الوصل عن طريق لحام الجائز الفولاذي لصفيحة فولاذية مثبتة بأعلى الرابط الأفقي.



الشكل (3-13) سطح تقليدي من الخشب



الشكل (3-14)

سقف متكرر من الخشب

3-8- العتبات في الجدران الحاملة:

يجب وضع عتبات فوق كافة الفتحات لتحمل الأحمال الواقعة فوق الفتحات مباشرة، ويمكن أن تكون هذه العتبات قوسية كما يمكن أن تكون أفقية.

3-8-1- اشتراطات العتبات القوسية:

آ- يُفضل ما أمكن أن تأخذ العتبات القوسية شكل خط الضغط للأحمال الثابتة (أي شكل القطع المكافئ بحالة الأحمال الموزعة بانتظام)، ويجب دائماً تأمين مقاومة كافية لرد الفعل الأفقي للقوس (الرفس) بالوسائل المناسبة.

ب- يجري حساب القوى في العتبات القوسية اعتماداً على طبيعة خط الضغط أو اعتماداً على نظرية المرونة، وتصمم مقاطع القوس بافتراض مقاومة مادة القوس ونوع المونة المستخدمة مع افتراض نسبة نحافة مكافئة = 10.

3-8-2- اشتراطات العتبات الأفقية:

آ- تنشأ العتبات الأفقية من الخرسانة المسلحة وتصمم اعتماداً على الكود العربي السوري للخرسانة المسلحة، ويكون عرض العتب بعرض الجدار وارتفاع لا يقل عن عشر المجاز الفعّال للفتحة، وطوله الكلي يزيد عن المجاز الفعّال للفتحة بما لا يقل عن سماكة الجدار أو 10% من المجاز الفعّال للفتحة أيهما أكبر.

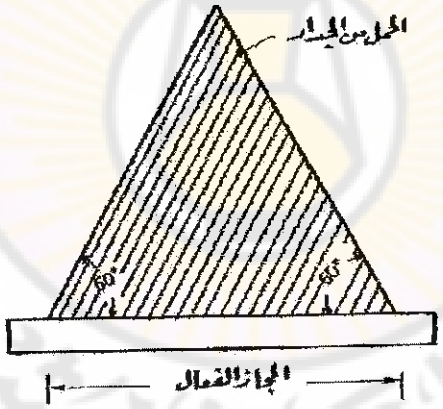
ب- يمكن أن تنشأ الأعتاب الأفقية أيضاً من الفولاذ وتصمم اعتماداً على كود عالمي للفولاذ ويكون عرض العتب بعرض الجدار وارتفاع لا يقل عن $\frac{1}{20}$ من المجاز الفعّال للفتحة وطوله الكلي يزيد عن المجاز الفعّال للفتحة بما لا يقل عن سماكة الجدار أو 10% من المجاز الفعّال للفتحة أيهما أكبر.

جـ- يعدّ المجاز الفعّال للفتحة مساوياً 1.05 من طول الفتحة الصافي.

3-8-3- التأثير القوسي للأحمال فوق العتبات:

آ- حتى يتم اعتبار التأثير القوسي للأحمال فوق العتبات (كما سيرد لاحقاً في هذه الفقرة) فيجب التأكد من أن هذا التأثير القوسي سيحصل فعلاً ويقتضي ذلك عدم وجود فتحات في المنطقة التي سيتشكل فيها القوس من الجدار فوق الفتحة، كما يقتضي إمكانية تشكل رد فعل أفقي للرفس المتوقع من القوس الجداري.

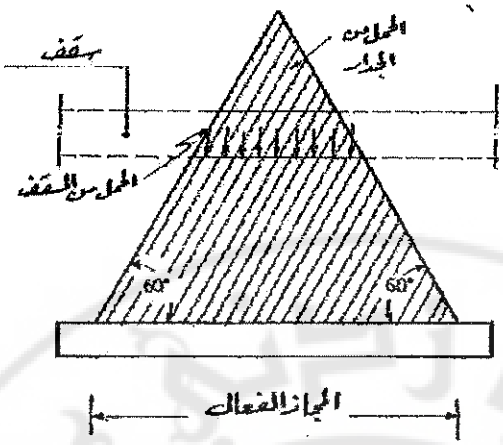
ب- عند حساب الأحمال على العتب فوق الفتحة فيحسب فقط وزن ذلك الجزء من الجدار المحصور بالمثلث متساوي الأضلاع فوق العتب كما هو موضح بالشكل (3-15) ولا يدخل بالحساب أوزان الأسقف الموزعة بانتظام والمطبقة بمنسوب أعلى من رأس المثلث.



الشكل (3-15)

أحمال العتب من الجدار مع اعتبار التأثير القوسي

جـ- إذا وقعت أحمال موزعة بانتظام من السقف ضمن مثلث الأحمال فيحسب منها الجزء المحصور بمثلث الأحمال فقط، كما هو موضح بالشكل (3-16).

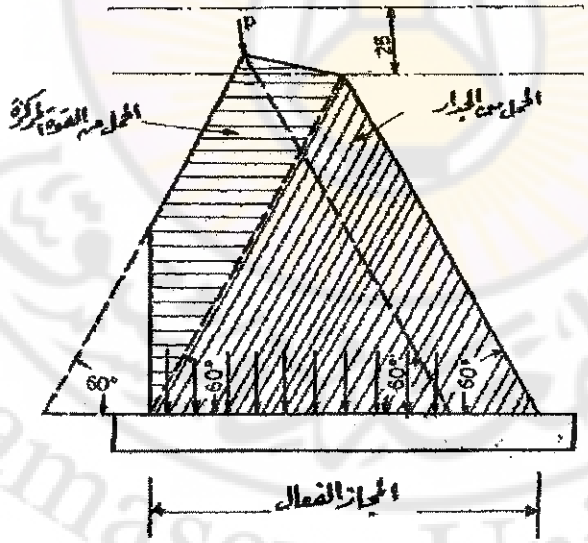


الشكل (3-16)

أحمال العتب من السقف مع اعتبار التأثير القوسي

د- في حال وجود أحمال مفردة مركزة من أعصاب أو جوائز السقف بمنطقة المجاز الفعّال للفتحة وبمنسوب لا يرتفع عن رأس مثلث الأحمال بأكثر من 25 سم فيجب حساب مثل هذه الأحمال، ويعتمد توزع ضمن الجدار بزاوي 60° مع الأفقي (انظر الشكل 3-17).

لا داعي لحساب الجزء من الأحمال خارج المجاز الفعّال كما يجب إضافة وزن الجزء من الجدار المظلل أفقياً في الشكل (3-17).



الشكل (3-17)

أحمال العتب من القوة المركزة بحالة التأثير القوسي

3_9_ أساسات الجدران الحاملة:

آ- يجب أن تستند أساسات الجدران الحاملة على تربة طبيعية صالحة للتأسيس.

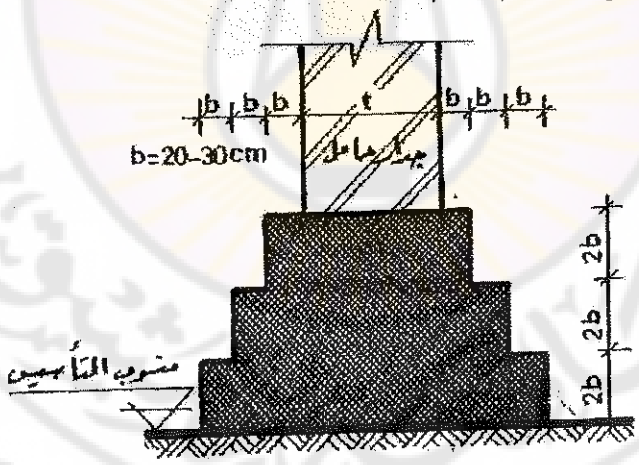
ب- يُنصح أن لا تُبنى المباني ذات الارتفاع الذي لا يتعدى الطابقين فوق سطح الأرض على تربة صخرية، والأنسب أن تبنى على تربة غير صخرية وذلك لتجنب حالة الطنين بين المبنى والتربة في حالة حدوث زلزال.

جـ- تنفذ أساسات الجدران الحاملة من الخرسانة المغموسة أو العادية أو المسلحة وتكون بشكل شريط تحت الجدار.

د- يحدد عرض الأساس من مقارنة أحمال الجدار المطبقة على ظهر الأساس مع قدرة تحمل تربة التأسيس، ويُشترط أن لا يقل عرض الأساس عن سماكة الحجار مضافاً إليه 20 سم.

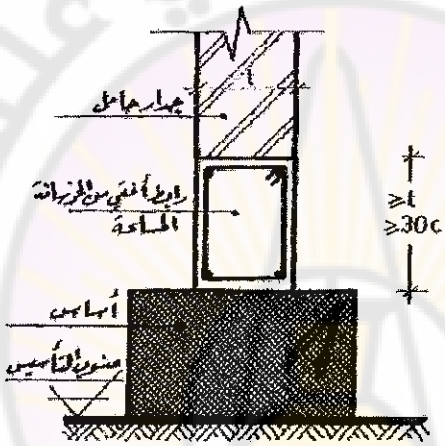
هـ- لا تقل سماكة الأساس غير المسلح قرب الجدار عن ضعف بروز الأساس عن طرف الجدار ولا تقل عن 40 سم.

و- إذا لزم الأمر سماكة كبيرة للأساس فيمكن تنفيذ هذه السماكة بشكل متدرج بحيث تكون سماكة كل طبقة 40 سم - 60 سم، وتقل بالعرض عن التي تحتها بمقدار 20 سم - 30 سم كما هو موضح بالشكل (3-18).



الشكل (3-18) أساس متدرج

ز- إذا كان يُخشى الهبوط بسبب تربة التأسيس (تربة غضارية غير مرصوصة جيداً مع وجود مياه جوفية أو مصدر مائي سطحي سيتسرب للتربة) فيجب اعتماد روابط أفقية وشاقولية بنسبة تسليح لا تقل عن 0.0025 من مساحة الرابط إذا كان التسليح من النوع العادي ذي حدّ مرونة لا يقل عن ($f_y = 2400\,kgf/cm^2$) ولا تقل عن 0.002 من مساحة الرابط إذا كان التسليح من النوع عالي المقاومة الذي لا يقل حدّ الضمان له عن ($f_y = 4000\,kgf/cm^2$)، على أن لا تقل كمية التسليح عن القيم التي سبق ذكرها. توزع كمية التسليح بالتساوي وبشكل متناظر. يوضع أول رابط أفقي فوق ظهره الأساس مباشرة كما هو موضح بالشكل (3-19).



الشكل (3-19)

التأسيس على تربة ضعيفة معرضة للهبوط

3-10- أنماط وأشكال التصدعات التي رصدت وأسبابها:

التصدعات التي حدثت في المباني من الجدران الحاملة بسبب الزلازل لها أنماط عديدة هي:

أ- شروخ مائلة في الجدران الواقعة في اتجاه الزلازل بطول الحائط كله أو بطول أقصر نتيجة الحركة الأفقية التي تسبب إجهادات شد قطرية مؤدية إلى تلك الشروخ.

ب- ميل شديد في الجدران بحيث يصبح الحمل متمركزاً عليها، وهذا الميل قد يكون بسبب ميل في المبنى نتيجة الحركة الأفقية مع عدم وجود الرباط الأفقي، وإما أن يكون في بعض الجدران نتيجة ضعف مونة الرباط بين المداميك.

ج- شروخ فاصلة بين الجدران سواء بين الجدران الداخلية والخارجية أو عند الأركان نتيجة ضعف الرباط بينها.

د- شروخ رأسية في الحائط سواء بكامل ارتفاع الحائط أو بطول أقصر نتيجة الحركة الأفقية مع عدم وجود رباط أفقي (سقف خشبي أو حديدي).

هـ- شروخ قص أفقية في أكتاف المباني. هذه الأكتاف قد تكون بين نافذتين أو عند سلم أو بين النافذة والجار. هذه الأكتاف من المباني ضعيفة جداً في مقاومة القص.

و- سقوط دراوي الأسطح والبلوكونات نتيجة الحركة الأفقية مع عدم وجود ربط كافٍ بين الدرواي والسقف.

ز- شروخ انبعاج (شروخ أفقية) أو شروخ نتيجة حركة الحائط خارج المستوى وهي شروخ رأسية وشروخ أفقية، وهذه الشروخ تعتبر خطيرة، وذلك لعدم قدرة الحائط على تحمل الأحمال الرأسية بأمان.

11.3- مدى خطورة التصدعات وكيفية الحكم على سلامة المنشأ:

تختلف خطورة تصدعات مباني الجدران الحاملة عن خطورة تصدعات مماثلة في المباني الهيكلية من الخرسانة المسلحة اختلافاً كبيراً. فالأولى تنتقل الأحمال الرأسية عن طريق الجدران. والثاني يلعب فيها الهيكل دوراً مختلفاً. والخطأ الشائع لدى كثير من المهندسين الذي يقومون بالمعاينات هو الحكم على خطورة تصدعات الجدران الحاملة على أساس تصدعات المباني الهيكلية التي يعرفونها أكثر ويدرسونها أكثر في الجامعة دون الجدران الحاملة.

وأول خطأ ظاهر أن عرض الشرخ في الجدران الحاملة ليس بنفس درجة الأهمية كما في حالة المباني الخرسانية فالعبرة بمكان الشرخ واتجاهه. فمثلاً الشرخ الرأسي في الجدران لا يعتبر خطيراً مهما كان اتساعه عند مقاومة الأحمال الرأسية فقط. وحتى في حالة الأحمال الأفقية فكل تأثيره هو تحويل الحائط الواحد إلى عدة جدران مما يقلل من جساءة الحائط، ولكن لا تأثير لسعة الشرخ على التحمل مع الزمن بعكس شروخ الخرسانة التي يؤدي اتساعها إلى تدهور الخرسانة بسرعة نتيجة صدأ صلب التسليح.

وثاني خطأ هو عدم التفرقة بين الشروخ الخطيرة وقليلة الخطر حسب اتجاهها فشروخ أفقية رفيعة في الجدران لا تدعو للقلق لأن تأثير العقد (Arch action) ستنقل الأحمال الرأسية إلى

طرفي الحائط. وقد يزول الشرخ إذا زال سببه لأن الضغط الرأسي يؤدي إلى غلقه أما شرخاً أفقياً في كمره خرسانية غالباً ما يكون نتيجة صدأ شديد لصلب التسليح فهو يدعو للقلق. أما الشروخ المائلة في الجدران الحاملة فهي أخطر أنواع الشروخ (بعكس الخرسانة التي تعتبر الشروخ الرأسية في الكمرات أخطرها) لكن مدى خطورتها يعتمد على مكانها وطولها ومستوى الضغط الرأسي على الحائط، وبعكس الخرسانة فإن أي تصدع للحائط مصحوب بحركة خارج المستوى خطير جداً لأن الأحمال الرأسية تصبح لا مركزية ودرج الخطورة تعتمد على مدى ربط الحائط بالسقف والأساس كما ذكر آنفاً.

وعند الحكم على سلامة الجدران الحاملة المتصدعة فلا بد من الاهتمام بالاعتبارات التالية:

أ- تصدعات جدران الأدوار السفلي.

ب- لا بد من تتبع مسار الأحمال الرأسية بعد التصدع وتحديد الأجزاء التي لها دور رئيسي في نقل هذه الأحمال إلى الأساسات من الأجزاء الثانوية لأن تصدع الأولى اخطر من تصدع الثانية. ولا بد من دراسة احتمالات تكون مسارات بديلة للأحمال الرأسية عند زيادة تصدع الجدران الرئيسية. فإن وجدت هذه المسارات البديلة يكون الخطر أقل. أما في حالة عدم وجود البديل فيصبح المبنى مهدداً بالانهيار ولا بد من تدعيمه بسرعة لحين إصلاحها.

ج- لا بد من دراسة المسقط الأفقي للأدوار المختلفة بعد رفعها بدقة من واقع الأبعاد الفعلية. والتأكد من عدم وجود ترحيل أفقي بين جدران الأدوار المختلفة المفترض أنها تنقل الأحمال مركزياً إلى الأساسات.

د- عند الحكم على سلامة مبنى متصدع لا بد من الأخذ في الاعتبار التأثير الفراغي للمبنى ككل ولا يكفي تحليله باعتباره مكون من مجموعة جدران كل منها في مستوى واحد، وكذلك يؤخذ في الاعتبار تأثير الإحاطة (Confinement) للجدران.

هـ- تعتبر التربة عاملاً هاماً للحكم على سلامة المبنى فمبنى متصدع على تربة متماسكة يكون أكثر تحملاً وأقل خطراً من مبنى به نفس التصدع ولكن على تربة ضعيفة أو بها مياه تسبب فروقاً في الهبوط لأن المباني من الجدران الحاملة متصدعة أو غير متصدعة عموماً حساسة لأي فروق هبوط.

و- لتحديد مدى خطورة الشروخ المائلة وفي بعض الأحيان الشروخ الأفقية يجب الكشف على الأساسات. وذلك للتحري عن وجود كسر أو تصدع بها، أو وجود فروق هبوط أو ترخيم ظاهر ببعضها وعادة ما يوحي اتجاهات الشروخ المائلة بفروق الهبوط.

12.3- متطلبات تنفيذ الجدران الحاملة والداعمة:

Requirement for Construction of Load – bearing and Stiffening Walls

1- يجب تحديد المقاومات المميزة لمواد الجدران (حجراً طبيعياً - حجراً صناعياً - مونة - بيتوناً) وكتابتها بشكل واضح وصريح على المخططات ويجب التقيد بها أثناء التنفيذ.

2- تنفذ الجدران بشكل شاقولي تماماً.

3- يحافظ على سمك الجدار في كامل ارتفاع الطابق وبما لا يقل عن المطلوب في المخططات.

4- يتم تصنيع البيتون بالطريقة نفسها المطلوبة في دفتر الشروط والمواصفات للمشروع.

5- ترش الجدران (بعد تنفيذها) بالماء لمدة (7-14) يوماً على الأقل حسب الطقس وذلك 3-5 مرات في اليوم الواحد. تكون المدة الأطول وعدد المرات الأكثر لحالة وجود هواء شديد أو درجة حرارة مرتفعة.

6- لا يقل سمك المونة عن (10 mm) ولا يزيد على (15 mm) في جميع الفواصل الأفقية والشاقولية، وتكون المونة مستمرة ومنتظمة وذاك سمك ثابت إلى حد معقول.

7- إذا كان الوجه الخارجي سيترك بدون طينة (كما في حال الحجر الطبيعي والآجر) فيجب تكحيل المونة.

8- في حالة جدران البيتون مع إكساء حجري يجب أن يكون الوجه الداخلي الملاصق للبيتون (العادي أو المغموس) غشيماً وخشناً يؤمن التماسك الجيد مع البيتون.

9- يتم بناء جدران الحجر المغموس (الركة الحجرية) بشكل مداميك من أحجار لا يقل حجم القطعة الواحدة منها عن (200×200×200 mm)، يكون وجها المدماك من الحجر، ويوضع البيتون العادي بالفراغات بين الوجهين. إذا زاد سمك الجدار على (400 mm) فيمكن استخدام قطع أحجار صغيرة من البيتون لتعبئة الفراغات، كما هو موضح بالشكل (3-1).

10- يجب بناء الجدران الإنشائية المتعامدة بالوقت نفسه (سواء أكانت حاملة أم داعمة)، ويجب إحداث ترابط جيد بينها (عن طريق البدايات المختلفة للمداميك مثلاً) كما هو موضح بالشكل (3-2) للجدران من الحجر المغموس وبالشكل (2-13) لجدران الآجر.

11- تكون الأحجار المستخدمة في المدماك الواحد ذات ارتفاعات متساوية، أما في حالة الأحجار الغشيمة فيكفي أن تكون ارتفاعات الأحجار متقاربة ويتم تعبئة الفروقات بين أبعاد الأحجار المتجاورة بالمونة أو بالبيتون. سيزيد سمك طبقة المونة في هذه الحالة على السمك الذي جرى تحديده بالفقرة (6) أعلاه.

12- يجب أن تكون أسطح المداميك أفقية ومستوية ومنتظمة، وفي حالة جدران الحجر المغموس يجب تأمين سطح مدماك أفقي كل ارتفاع مترين تقريباً بوساطة شيناج من البيتون المسلح ذي مقاومة مميزة لا تقل عن ($f`_c = 15\,M.Pa$) كما هو موضح بالشكل (3-4).

الفصل الرابع

المنشآت المركبة

Composite structures

Damascus University

المنشآت المركبة

Composite structures

1.4- مقدمة:

العنصر الإنشائي المركب هو العنصر المؤلف من جسمين مصنوعين من مادتين مختلفتين تعملان معاً على تحمل مختلف الأحمال الحية والدائمة.

الهدف الرئيسي من استخدام العناصر الإنشائية المركبة هو الاستخدام الأمثل للمواد حسب خواصها الإنشائية.

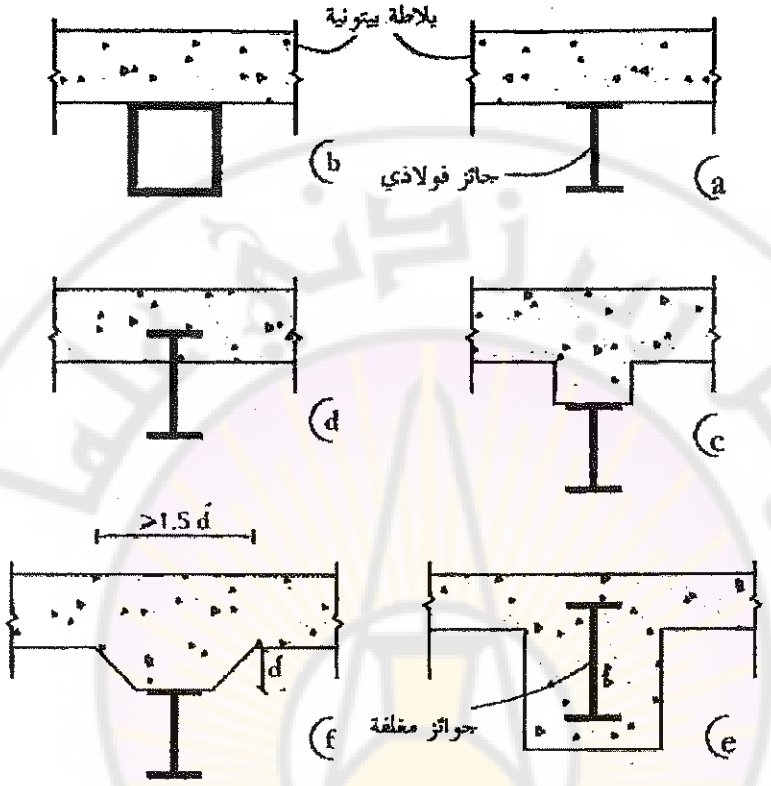
كمثال, البيتون مادة متوفرة, ذات مقاومة جيدة للحريق، سهلة التشكل لكنها مادة ضعيفة المقاومة على الشد, والفولاذ مادة ذات مقاومة جيدة على الشد.

ميزات البيتون بالإضافة لميزات الفولاذ مع تحقيق التماسك أو الربط بينهما لضمان العمل المشترك مكن الحصول على مركب يتصف بميزات المادتين معاً.

بدأت دراسة الفعل المركب بأبحاث العالم Mackay منذ عام (1927)، حيث لاحظ الباحث بأن الجوائز المغلفة تماماً والتي تحمل بلاطة خرسانية مصبوبة مع هذه الجوائز تبدي تفاعلاً جيداً بين الجوائز الفولاذية والبلاطة. وقد اعتبر في هذه الدراسات الأولية بأن التعاون بين المادتين ينتج عند التلاصق الحاصل بينهما. مما دفع العالم Cauphey في عام 1929 بأن يوصي بتصميم هذه الجوائز اعتماداً على المقطع المتجانس حيث تحول مساحة المقطع الخرساني إلى مساحة مكافئة من الفولاذ. لقد تأخر استعمال المنشآت المختلطة بسبب الحاجة إلى تحديد مواصفات للتصميم من جهة والحاجة إلى وصلات قص مناسبة اقتصادياً من جهة أخرى.

هناك العديد من الأمثلة للعناصر الإنشائية المركبة الشكل (4-1) ممكن أن يكون عنصر من خشب مع صفائح فولاذية، ممكن عنصر مكون من بيتون مسبق الصنع مع البيتون المصبوب بالمكان، سنخص بالدراسة العناصر المؤلفة من بلاطة بيتونية وجائز

فولاذي والعمود المركب من مقطع فولاذي مغلق بالبيتون، والبلاطة المركبة من بلاطة بيتون مع صفائح تغطية فولاذية.



الشكل (4-1)

بعض أشكال المقاطع المركبة

ميزات استخدام المنشآت المركبة:

أظهرت الدراسات أن التكاليف الكلية للمنشآت المركبة أكثر اقتصادية منها للمنشآت الأخرى وتتحسن باستمرار نتيجة لتطور هذه المنشآت باستعمال:

- جوائز بيتونية مسبقة الصنع عوضاً عن الجوائز الفولاذية.
- استعمال جدران وأعمدة مختلطة في الأبنية.
- استعمال صفائح تقوية لأجنحة الجوائز الفولاذية .

لعل أهم ميزات استعمال المنشآت المركبة هي:

1- الاقتصادية في وزن الفولاذ المستعمل:

تتراوح نسبة التوفير في الوزن في الفولاذ بين 20% و30% إذا استعملت للمنشآت المركبة بالشكل المناسب وذلك بسبب إشراك البلاطة البيتونية في تحمل الاجهادات مع الجائز الفولاذي يؤدي هذا التوفير إلى استعمال عناصر أقل ارتفاعاً وأكثر اقتصادية، ويمكن أن يفيد هذا الإقلال من ارتفاع الأبنية المتعددة الطوابق , وينتج عن ذلك أيضاً توفير في مواد البناء الأخرى للجدران الخارجية والأدراج والأساسات.

2- زيادة صلابة البلاطات:

إن صلابة البلاطات المختلطة أكبر من صلابة نفس البلاطة المستندة إلى جوائز فولاذية (طولانية وعرضانية) دون العمل المشترك للبلاطة مع الجوائز.

حيث إن القوة الحدية المقطع المركب تتجاوز مجموع كل من قوة البلاطة والجائز الذين يعملان بشكل غير مشترك.

3- زيادة مجازات الجوائز:

إن المنشآت المركبة اقتصادية لأجل هياكل البناء المعدنية التي تتراوح مجازاتها بين (8←15) م فمن أجل الجسور تصل المجازات الاقتصادية إلى 15م في الجوائز البسيطة وإلى 20م في الجوائز المستمرة.

4- توفير الزمن اللازم لبدء استثمار أبنية الإنشاء المركب بالمقارنة مع الإنشاء البيتوني:

إلا أن المنشات المركبة اقل مقاومة للحريق من الإنشاء البيتوني وأكثر مقاومة من الإنشاء الفولاذي حيث يمكن أن يؤدي ارتفاع درجة حرارة بشكل مفاجئ إلى جعل الجائز الفولاذي أكثر سخونة من البلاطة المتصلة معه لذلك يحدث تقلص حراري تفاضلي بينهما.

الفصل الخامس

أسس عمل عناصر المنشآت المركبة

Fundamentals of Composite Members Action

Damascus University

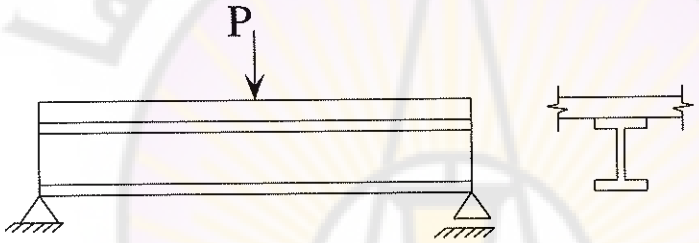
أسس عمل عناصر المنشآت المركبة

Fundamentals of Composite Members Action

5-1- الترابط:

إن مفهوم الإنشاء المركب يعتمد على العمل المشترك لعنصرين لتحمل الاجهادات المطبقة.

لتكن لدينا بلاطة من البيتون المسلح محمولة على جائز معدني. عندما تتعرض المجموعة لتأثير حمولات سينشأ فيها قوى قص وعزم انعطاف ونميز حالتين لعمل البلاطة مع الجائز:



الشكل (5-1)

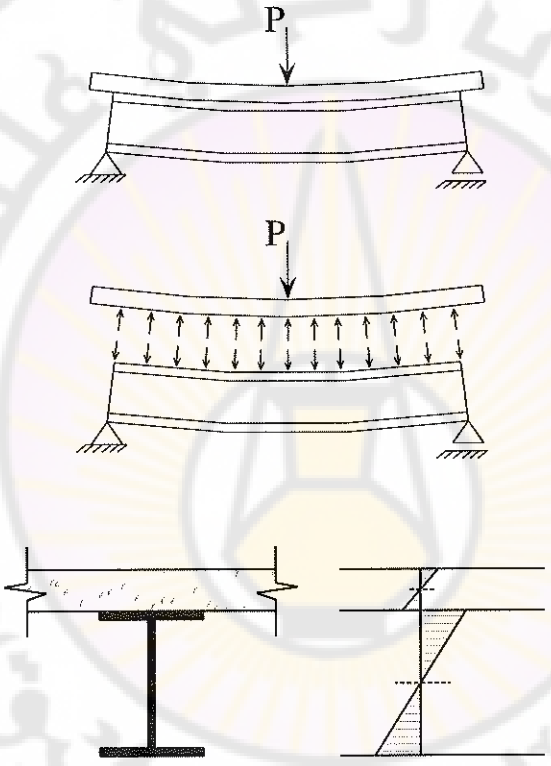
آ- حالة عدم وجود عمل مشترك بينهما:

في حالة عدم وجود عمل مشترك وعدم وجود ارتباط بين البلاطة والجائز المعدني في هذه الحالة تقاوم البلاطة البيتونية والجائز المعدني الحمولات بشكل مستقل بحيث تتعرض الألياف السفلية للبلاطة البيتونية للشد بينما تتعرض الألياف العلوية للجائز المعدني لضغط.

فتنشأ حالة عدم استمرارية عند سطح التلاقي ويحدث انزلاق بين مادتين ولا تتولد أي قوى احتكا ك بينهما لذلك فالقوى الداخلية المتبادلة بينهما هي فقط القوى الشاقولية. يتوزع عزم الانعطاف على البيتون والفولاذ بحيث يكون $\sum M = M_C + M_s$

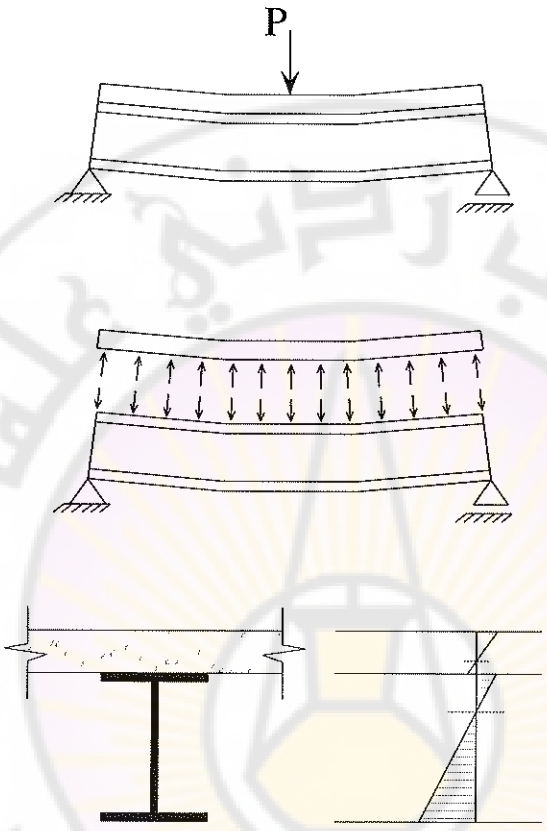
ويتكون في هذه الحالة محوران حياديان أحدهما يمر من مركز ثقل البلاطة والآخر يمر من مركز ثقل الفولاذ، الشكل (5-2). إن هذه الحالة – حالة انعدام الترابط – هي حالة خاصة لا ينطبق عليها تعريفنا للمنشآت المركبة، إذ أنه يتوجب على الجائز الفولاذي وحده تحمل كافة الحمولات المطبقة بما فيها وزن البلاطة البيتونية وحمولاتها, وبالتالي فإن العنصر الحامل إنشائياً هو العنصر الفولاذي وحده.

في المنشآت المركبة نسعى لأن يعمل المقطع المركب كمقطع واحد.



الشكل (5–2)

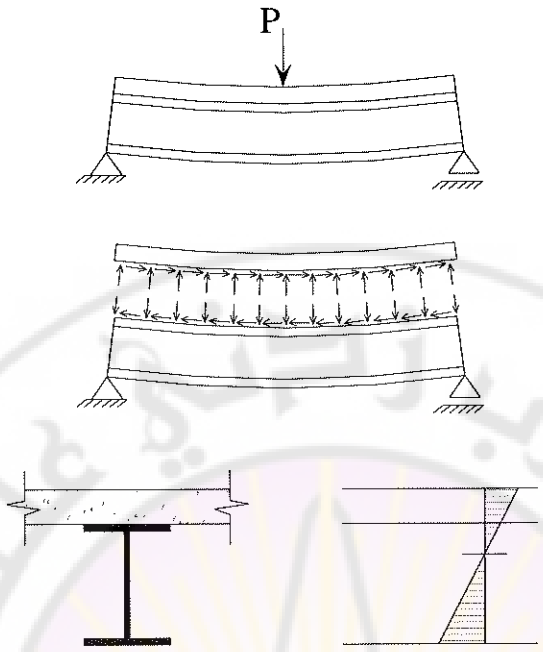
ب- في حالة وجود ترابط جزئي عند عدم وجود وصلات قصية كاملة عندها لا يوجد التحام تام. في هذه الحالة يتقارب المحوران السليمان للمقطعين.



الشكل (5-3)

ج- حالة وجود عمل مشترك بينهما:

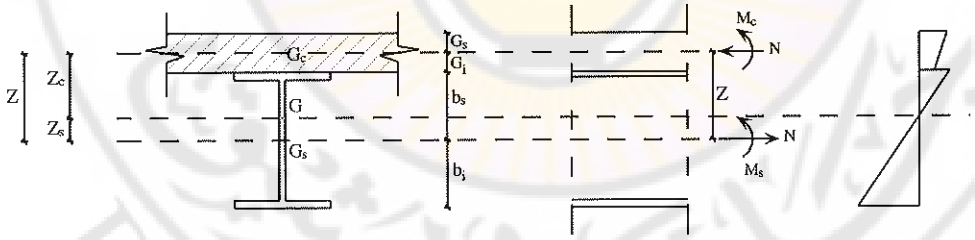
في هذه الحالة لن يكون هناك انزلاق بين البلاطة والجائز حيث تنشأ قوى قص أفقية تعمل على ضغط الألياف السفلية للبيتون فتتقاصر كما تعمل على شد الألياف العلوية للفولاذ فتتطاول إلى أن يتساوى التشوه بين الألياف الواقعة عند سطح التلاصق فينعدم الانزلاق.



الشكل (5-4-أ)

ينشأ من هذه الحالة محور سليم واحد فقط للمقطع المركب، وتكون قيمة قوتي الشد T والضغط C أكبر من الحالة السابقة.

أي يمكن تحليل العزم الكلي M إلى مزدوجتين جزئيتين M_C, M_S وقوتين محوريتين N كما هو مبين.



Gc: مركز ثقل الجزء الفعال من البلاطة.

Gs: مركز ثقل الجائز للفولاذي.

G: مركز ثقل الجائز المختلط.

الشكل (5-4-ب)

وللوصول إلى حالة الترابط الكامل لا بد من تأمين ربط كاف على سطح الاتصال I-I لمنع الحركة النسبية بين السطح السفلي للبلاطة البيتونية والسطح العلوي للجائز الفولاذي.

تسمى هذه الحركة بالانزلاق (SLIP)، والقوى التي تسبب الانزلاق هي قوى القص هذه, لذلك تسمى عناصر الربط بروابط القص shear connectors أي في حالة نظام يعمل بشكل مركب فإنه لا ينشأ أي انزلاق بين البلاطة البيتونية والجائز الفولاذي.

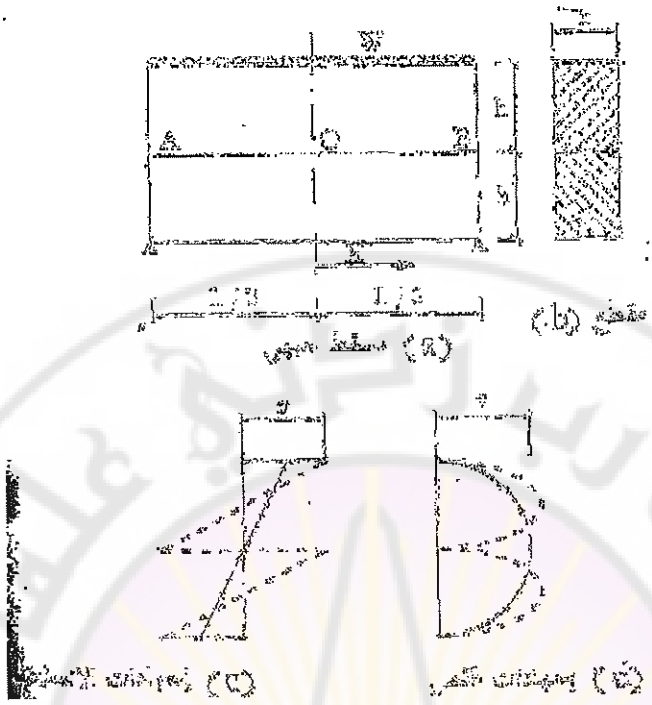
إن الوصول إلى حالة الترابط الكامل المبينة في الشكل (4-5-أ) يتطلب تأمين روابط قص ذات مقاومة وصلابة كبيرتين, وبما أن الروابط المستخدمة تكون عادة ذات مرونة معينة فإن ذلك يؤدي إلى اختلاف في الإجهادات على السطح المشترك، وتنشأ حالة الترابط الجزئي المبينة في الشكل.

تبين من خلال البحوث والدراسات النظرية والتجريبية أنه إذا صممت الروابط لتحمل قوى القص بكامل قيمتها مع ترك مجال معين من المقاومة الاحتياطية، فإن اختلاف التشوه الناجم على السطح المشترك يكون صغيراً جداً ويمكن إهماله لأغراض التصميم وحساب المقاومة.

لذلك توصف هذه الحالة بأنها حالة ترابط كامل، وتهمل فروق التشوه للأغراض العملية كافة.

لنأخذ كمثال جائزاً بسيطاً مؤلفاً من عنصرين فوق بعضهما بنفس القياس والمواصفات الهندسية.

يتعرض هذا الجائز إلى حمولة موزعة بانتظام W لواحدة الطول خلال المجاز L كما هو موضح في الشكل (5-5)، وقد صنعت مكوناته من مادة مرنة بمعامل يونغ E، ويهمل وزن الجائز. ولندرس هذا الجائز في حالتي عدم الترابط وحالة الترابط الكامل.



بدون ترابط ـــ ترابط كامل

الشكل (5-5) تأثير ترابط القص على إجهادات القص والانعطاف

5ـ1ـ1 بدون ترابط قص: No shear connection

لنفترض عدم وجود ترابط قص أو أي احتكاك على سطح التماس AB.

لا يمكن للجائز العلوي أن ينحني أكثر من الجائز السفلي لذلك فإن كلاً منهما يحمل حمولة $\frac{W}{2}$ على واحدة الطول كما لو أنه جائز منعزل ذو عزم عطالة $\frac{BH^3}{12}$، ويكون الإجهاد الضاغط الرأسي خلال سطح التماس هو $\frac{W}{2b}$ وعزم الانعطاف في منتصف المجاز في كل جائز هو $\frac{WL^2}{16}$.

وبحسب نظرية الانعطاف الأساسية فإن توزيع الإجهاد عند منتصف المجاز يكون كما في الشكل (5-5-c) وإجهاد الانعطاف الأعظمي (σ) في كل جزء يعطى بالعلاقة:

$$\sigma = \frac{M.Y.max}{I} = \frac{WL^2}{16}\,\frac{12}{bh^2}\,\frac{h}{2} = \frac{3WL^2}{8bh^2} \quad \ldots\ldots(1-5)$$

يحصل إجهاد القص الأعظمي τ قرب المسند، ويكون توزيع الإجهاد بحسب نظرية المرونة على شكل قطع مكافئ كما في الشكل (5-5-d) وتكون قيمة الإجهاد التماسي عند الخط المركزي لكل عنصر:

$$\tau = \frac{3}{2}\frac{WL}{4}\frac{1}{bh} = \frac{3WL}{8bh} \quad \ldots\ldots(2-5)$$

يعطى السهم الأعظمي δ بالمعادلة المعروفة:

$$\delta = \frac{5(W/2)L^4}{384EI} = \frac{5}{384}\frac{W}{2}\frac{12L^4}{Ebh^3} = \frac{5WL^4}{64Ebh^3} \quad \ldots\ldots(3-5)$$

إن عزم الانعطاف في كل جائز في مقطع يبعد مسافة x عن منتصف المجاز هو:

$$Mx = W(L^2 - 4\chi^2)/16$$

لذلك فإن التشوه الطولاني ε_x عند الليف السفلي للجائز العلوي هو:

$$\varepsilon\chi = \frac{M.Ymax}{E.I} = \frac{3W}{8Ebh^2}(L^2 - 4\chi^2) \quad \ldots\ldots(4-5)$$

هناك تشوه معاكس ومساو بالقيمة في الليف العلوي للجائز السفلي لذا فإن الاختلاف بين التشوهات في هذه الألياف المتجاورة والمعروف بتشوه الانزلاق هو $2\varepsilon_x$.

من السهل أن نظهر بالتجربة وبوساطة اثنين أو أكثر من الشرائح أو المساطر الخشبية المرنة المعرضة لحمولة ما، الوجوه الطرفية للجائز ذي المركبين وهي كما في المقطع المبين في الشكل (3-3-a)، يكون الانزلاق على السطح المشترك (S) مساوياً للصفر عند x=0 (من التناظر) وأعظمياً عند $\chi = \mp\frac{L}{2}$

إن المقطع العرضي عند x=0 هو الوحيد الذي تكون عنده المقاطع المستوية تبقى مستوية.

تشوه الانزلاق المعرف أعلاه ليس مثل الانزلاق.

وبنفس الطريقة حيث إن تشوه الانزلاق هو نسبة تغير الانزلاق على طول الجائز.

ومن المعادلة (4-5) نجد:

$$\frac{ds}{dx} = 2\varepsilon x = \frac{3w}{4ebh^2}(L^2 - 4x^2) \quad \ldots\ldots(5-5)$$

وبالتكامل نجد أن:

$$S = \frac{w}{4Ebh^2}(3L^3x - 4x^3) \cdots\cdots\cdots (6-5)$$

إن ثابت التكامل يساوي الصفر حيث s =o عندما x=o لذا فإن المعادلة (6-3) تعطي توزيع الانزلاق على طول الجائز.

إن نتائج المعادلات (5-5)، (6-5) للجائز المدروس مرسومة وموضحة في الشكل (5-3)، وهذا يبين أنه عند منتصف المجاز يكون تشوه الانزلاق أعظمياً، أما الانزلاق فيكون مساوياً للصفر.

وعند الأطراف نجد أن الانزلاق يكون أعظمياً وتشوه الانزلاق يساوي الصفر عندما $(x=L/2)$ وهو: $\frac{wL^3}{4Ebh^2}$

من المعادلة (6-5) يمكن إعطاء فكرة معينة عن مقدار كبر هذا الانزلاق بربطه بالسهم الأعظمي للجائزين معاً.

من المعادلة (5-2) نجد أن نسبة الانزلاق إلى السهم هي: 3.2 h/L

إن النسبة h/2L لجائز نموذج هي حوالي (20) لذا فإن الانزلاق الطرفي أقل من عشر السهم. نستنتج من ذلك أن وصلات القص يجب أن تكون شديدة القساوة إذا أردنا أن تكون فعالة.

5-1-2 تفاعل كامل: Full Interaction

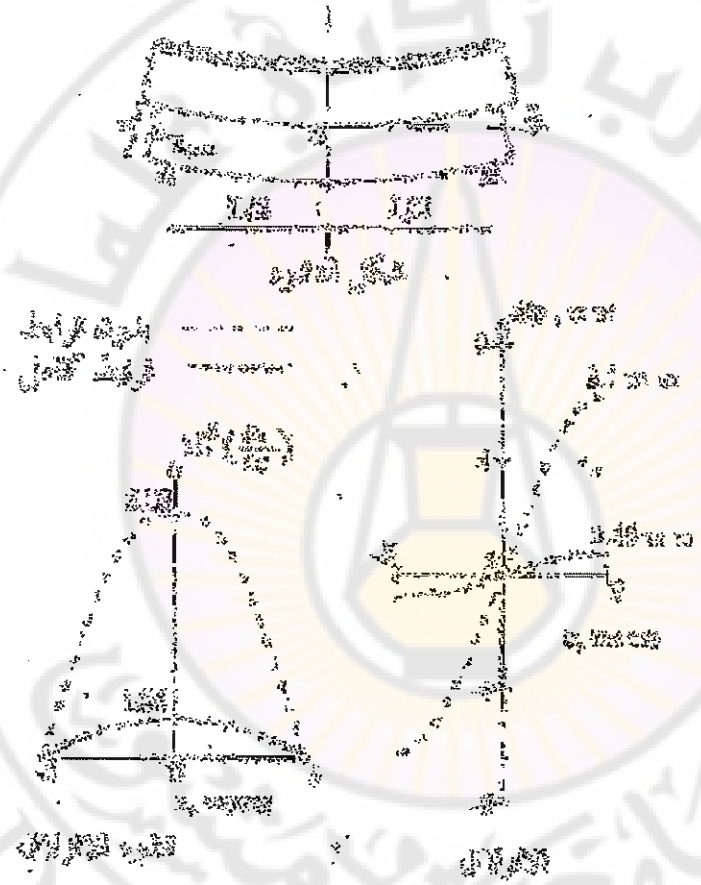
لنفترض الآن أن قسمي الجائز المبين في الشكل (5-2) قد تم ضمهما معاً بوساطة اتصال قص لا متناهي القساوة، وبذلك يسلك العنصران كأنهما عنصر واحد.

الانزلاق وتشوه الانزلاق يكونان مساويين للصفر في كل مكان، ويمكن افتراض أن المقاطع المستوية تبقى مستوية. هذا الوضع معروف بأنه تفاعل كامل.

إن كل تصميم عملي للجوائز والأعمدة المركبة مبني على افتراض أننا وصلنا إلى مرحلة التفاعل الكامل.

من أجل الجوائز المركبة ذات العرض b والعمق 2h تكون $I=\frac{2bh^3}{3}$ وتعطي النظرية الأساسية عزم انعطاف في منتصف الجائز على أنه $\frac{WL^2}{8}$ أما إجهاد الانعطاف في الليف الأقصى هو:

$$\sigma=\frac{M.Y\max}{I}=\frac{WL^2}{8}.\frac{3}{2bh^3}h=\frac{3WL^2}{16bh^2} \quad \ldots(7-3)$$



الشكل (5-3)

السهوم، الانزلاق، تشوه الانزلاق

القص العمودي عند مقطع x هو:

$$Tx = W.x \quad \ldots..(8-5)$$

لذلك فإن إجهاد القص عند المحور المحايد هو:

$$\tau x = \frac{3}{2} W.x \frac{1}{2bh} = \frac{3W.x}{4bh} \quad .....(9-5)$$

وإجهاد القص الأعظمي هو:

$$\tau = \frac{3WL}{8bh} .....(10-5)$$

تمت مقارنة الإجهادات في الأشكال (5-2-c) و(5-2-d) مع تلك الناتجة في الجائز غير المركب.

لتحقيق اشتراط ترابط القص فإن إجهاد القص الأعظمي لم يتبدل، ولكن إجهاد الانعطاف الأعظمي قد انخفض إلى النصف.

السهم في منتصف المجاز هو:

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{5WL^4}{256Ebh^3} .....(11-5)$$

والذي يساوي ربع السهم السابق (المعادلة 5-3). لهذا فإن اشتراط ترابط القص يرفع كلاً من مقاومة وقساوة جائز ذي قياس معطى، ومن الناحية التطبيقية يؤدي إلى تخفيض قياس الجائز المطلوب من أجل حمولة معطاة وعادة إلى تخفيض في كلفته.

وفي هذا المثال - ولكن ليس دائماً- يتطابق سطح التماس AOB مع المحور المحايد للعنصر المركب بحيث يساوي إجهاد القص الطولي الأعظمي عند سطح التماس إجهاد القص الطولي الأعظمي عند سطح التماس إجهاد القص الرأسي الأعظمي الذي يحدث عند $x = \frac{L}{2}$ والذي يساوي $\frac{3WL}{8bh}$ (من المعادلة 5-10).

يجب أن تصمم وصلة القص من أجل القص الطولي لكل واحدة طول v والذي يعرف بشدة القص.

في هذا المثال يعطى بالمعادلة:

$$Vx = \tau x.b = \frac{3W.x}{4h} ....(12-5)$$

بتكامل المعادلة (5-12) نجد أن شدة القص الكلي في نصف المجاز يساوي: $\frac{3WL^2}{32L}$

وبشكل نموذجي يكون: $\frac{L}{2h} \cong 20$ ، لذا فإن ترابط القص في كامل المجاز يجب أن يقاوم القص الكلية:

$$2.\frac{3}{32}\frac{L}{h}WL \cong 8WL$$

وهكذا فإن قوة القص هذه تساوي 8 مرات الحمل الكلي المطبق على الجائز.

أي أن القاعدة الأساسية هي أن مقاومة ترابط القص لجائز ما تكون أعظم من الحمل الواجب حمله وهذا يعني أن وصلة القص يجب أن تكون قوية جداً.

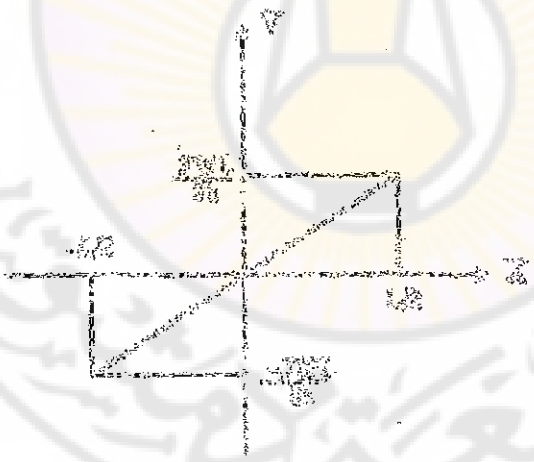
تتباعد روابط القص في التصميم المرن تبعاً لشدة القص, لهذا إذا كانت مقاومة القص التصميمية لرابط هي P_{Rd} فإن الخطوة أو التباعد الذي يجب أن تكون عليه p تعطى بما يلي:

$$P.V.x \leq P_{Rd}$$

ومن المعادلة (5–12) تكون:

$$P > \frac{4h.P_{Rd}}{3W.x} \quad .....(13-3)$$

وهذا يعرف بتباعد (مثلثي الشكل) في الرسم البياني لـ v بالنسبة لـ x.



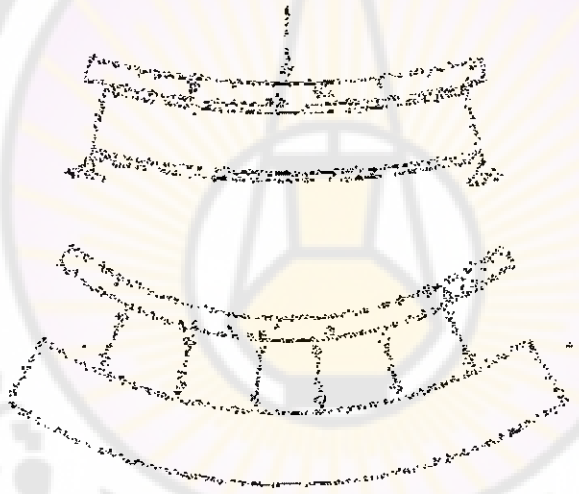
الشكل (5–4)

شدة القص من أجل تباعد مثلثي للروابط

5ـ2 **الرفع** Uplift:

في حالة العناصر الإنشائية المعرضة لعزوم انعطاف، وعندما تتشوه البلاطة بينما تحت تأثير الحمولات الشاقولية فإن السطح السفلي يتطاول ويتعرض لشد، بينما يتقاصر السطح العلوي إلى ظاهرة انفصال البلاطة عن الجائز الفولاذ المعرض للضغط، ويؤدي اختلاف صلابة البلاطة البيتونية عن صلابة الجائز الفولاذي uplift، أي يحدث انقطاع في الاستمرارية عند قوى القص كما هو موضح في الشكل (5-5).

وفي هذه الحالة يتوجب على روابط القص أن تقاوم إجهادات الانفصال والتي يكون تأثيرها ثانوياً بالمقارنة مع قوى القص بسبب أن قوى الرفع أقل بكثير من قوى القص، وبالتالي لا توجد ضرورة تصميمية لحسابها، وإنما تستخدم روابط مع بعض المقاومة الاحتياطية لمقاومة قوى الرفع أو الانفصال المذكورة.



الشكل (5-5)

قوى الانفصال الداخلية بين البلاطة والجائز

3.5 طرق ترابط القص: Methods of shear connection

1.3.5 التماسك السطحي: Bond

إن القوى الرئيسية التي يجب مقاومتها على السطح المشترك بين البيتون والفولاذ هي القوى القاصة ومن المفترض أن يحصل نقل القص من الفولاذ إلى البيتون بوساطة التماسك أو الالتصاق عند سطح التماس بين الفولاذ والبيتون.

فإذا كان الجائز الفولاذي لعنصر مركب مغلفاً بالبيتون المسلح، كما في حالة الجائز المغلف المبين في الشكل (4-1-e) فقد يكون من الممكن تأمين الترابط عن طريق التماسك السطحي كما في حالة البيتون المسلح وتكون قوة التماسك كافية إذا لم تتجاوز، جهادات القص حداً معيناً وكانت المواد تعمل في حالة المرونة، أما في الحالة العامة عندما تزداد إجهادات القص يتعرض هذا التماسك إلى الانهيار حيث تصبح نسبة قوة القص إلى مساحة سطح التماسك كبيرة في الجوائز المركبة.

إضافة إلى أن التماسك يتعرض لإجهادات قص إضافية ناجمة عن تقلص البيتون وإلى إجهادات ناتجة عن تغيرات درجة الحرارة.

وأظهرت الأبحاث المتعلقة بالمقاومة القصوى للجوائز المغلفة أنه عند الحمولات العالية تكون إجهادات التماسك المحسوبة بدون معنى، نظراً إلى لتطور الشقوق وفشل التماسك الموضعي, لذلك فإن المواصفات البريطانية لا تسمح باستخدام طرق تصميم المقاومة القصوى للجوائز المركبة بدون روابط قص.

إن معظم الجوائز المركبة ذات مقاطع عرضية من النموذج a و b في الشكل (4-1).

وتبين الاختبارات على مثل هذه الجوائز أنه عند حمولات منخفضة يتم نقل معظم القص الطولي بوساطة التماسك على سطح التماس، لكن هذا التماسك ينهار عند حمولات أعلى وعندما ينهار التماسك مرة فلا يمكن أن يعاد ثانية، لذلك تؤخذ مقاومة التماسك في حسابات التصميم مساوية الصفر.

وينصح دوماً بإضافة روابط قص ميكانيكية. والشكل الأكثر شيوعاً لروابط القص هو الرابط الوتدي الذي يلحم إلى الجناح العلوي للعنصر الفولاذي ثم يحاط لاحقاً ببيتون الموقع عند صب الأرضية.

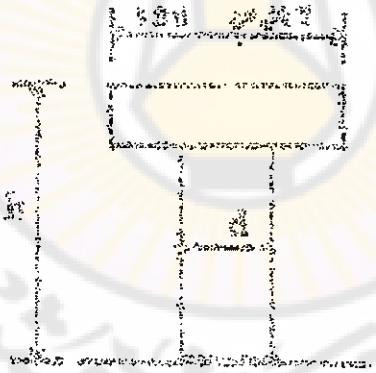
2.3.5 روابط القص: Shear Connectors

رابط القص هو جسم معدني يضاف في المنشآت المركبة لتأمين ربط العنصر الفولاذي بالعنصر البيتوني حيث يتم لحم رابط القص بالعنصر الفولاذي عند أحد طرفيه، ثم يصبح جسمه مغلفاً بالبيتون بعد صبه.

ويجب أن تكون وصلات القص قوية بشكل كاف لتمنع أي انزلاق يمكن أن يحدث بين جزأي العنصر، لذلك يجب أن تصنع روابط القص من الفولاذ ذي المقاومة والتمدد الجيدين يضمن تماماً عدم انكسارها قبل وصول العنصر الإنشائي إلى حد مقاومته القصوى، ويتطلب الكود البريطاني التطبيقي أن تصنع روابط القص من فولاذ ذي مقاومة شد قصوى لا تقل عن 450N/mm2 واستطالة نسبية لا تقل عن 15%.

إن النموذج الأكثر شيوعاً لروابط القص هو الرابط المسماري ذو الرأس (الوتدي) والموضح على الشكل (5-6)، ويتراوح قطر هذا الرابط من 25mm-13mm وارتفاعه من 65mm وحتى 100mm. ويستخدم أحياناً روابط وتدية أطول من ذلك.

تتميز الروابط المسمارية (الوتدية) بإمكانية لحامها بسرعة، كما أنها متساوية القوة والقساوة والقص في كافة الاتجاهات العمودية على محور الرابط المسمار (الوتدي).



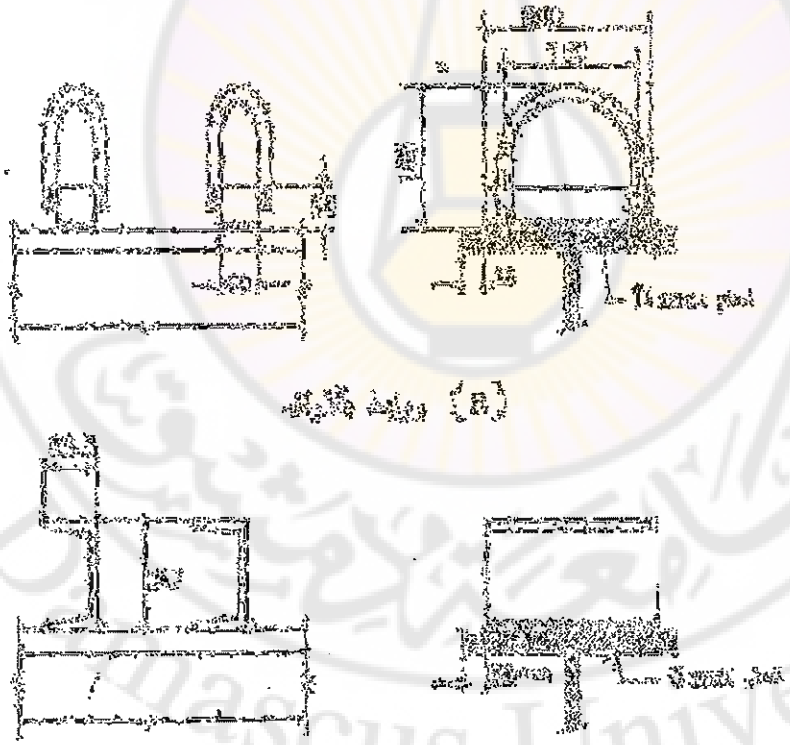
الشكل (5-6) رابط القص المسماري ذو الرأس

يؤثر في قطر الرابط المسماري (الوتدي) عاملان، الأول هو عملية اللحام التي تصبح صعبة ومكلفة عند أقطار تتجاوز 20mm، والثاني هو سماكة الصفيحة أو الجناح الذي يلحم عليه الرابط، الشكل (5-6).

إن قوة القص الأعظمية التي يقاومها الرابط الوتدي منخفضة نسبياً وهي حوالي 150KN. ولقد تم تطوير أنواع أخرى للروابط تتميز بمقاومة أعلى وتستخدم بشكل رئيسي في الجسور وهي قضبان ذات طول (الشكل 5-7-a)، مقاطع T مع طوق، نعل الحصان، مجريات كما في (الشكل 5-7-b).

إن القضبان ذات الطوق هي أكثر الروابط قوة، حيث تصل مقاومتها القصوى للقص إلى 1000KN.

تصمم روابط القص لمقاومة قوى القص الأفقية في جائز، وقوى الانفصال الشاقولية في جائز. ففي الرابط المسمار (الشكل 5-6) يقاوم جذع المسمار القص بينما يقاوم رأسه قوة الانفصال الشادة، أما في المجراة (الشكل 5-7-b) يقاوم جسد المجراة القص بينما يقاوم الجناح غير الملحوم قوى الانفصال في حالة القضيب مع الطوق فيقاوم القضيب القص أما الطوق فيقاوم الانفصال. لكن الروابط تسمى روابط القص بسبب كون إجهادات الانفصال ثانوية التأثير.



الشكل (5-10) أنواع أخرى من نواقل القص

5_3_3_ ترابط القص في صفائح التغطية الفولاذية:

Shear Connection for Profiled Steel Sheeting

تستخدم هذه الصفائح بشكل شاسع على أنها قالب صب دائم للبلاطات الأرضية في الأبنية والتي عرفت لاحقاً بالبلاطات المركبة. ويوضح الشكل (5-8) المقطع العرضي النموذجي لهذه الصفائح.

بما أنه ليس عملياً أن تلحم روابط القص إلى مادة يمكن أن تقل سماكتها عن 1mm، لذلك فإن ترابط القص بين صفائح التغطية والبلاطة البيتونية يمكن تأمينه عن طريق ثلاثة نماذج هي:

النموذج الأول:

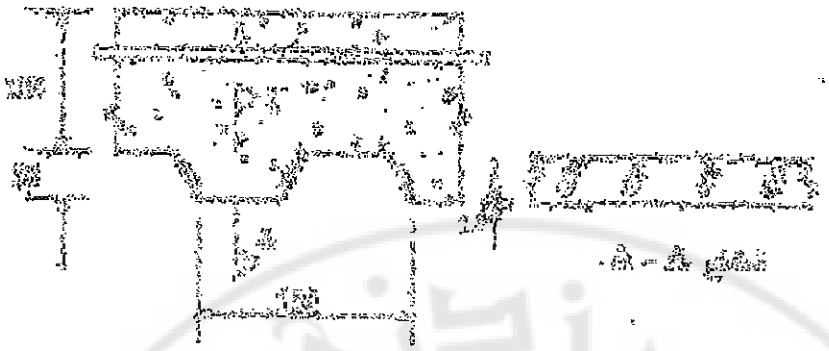
يتم الاعتماد على التماسك الطبيعي ولكن هذا غير موثوق ما لم يمنع الانفصال على سطح التماس، لذلك فقد تم إعطاء شكلٍ مطوى لمقطع صفائح التغطية الفولاذية والذي يمنع انفصال الفولاذ عن البيتون وهذا النموذج معروف بـ "التعشيق الاحتكاكي".

النموذج الثاني:

هو "التعشيق الميكانيكي" ويؤمن عن طريق ضغط هزمات في التغطية الفولاذية، وفعاليتها تعتمد على عمقها الذي يجب أن يكون مضبوطاً بشكل دقيق أثناء التصنيع، وهي تبرز داخل البيتون.

النموذج الثالث:

"التثبيت أو الإرساء الطرفي" وذلك عندما تتوضع أطراف التغطية الفولاذية على الجائز الفولاذي وتثبيت بوساطة مساير ضغط Shot- Fired Pins أو بوساطة روابط وتدية ملحومة إلى الجناح الفولاذي خلال التغطية.



الشكل (5-8) البلاطة المركبة

4.5 خواص صفائح التغطية الفولاذية: Profiled Steel Sheeting

تتوفر هذه الصفائح بمقاومات خضوع f_{yp} تتراوح من $235N/mm^2$ وحتى $400N/mm^2$.

وتكون سماكة الصفائح الفولاذية عادة من 0.8mm إلى 1.5mm وهي محمية من التآكل والصدأ بوساطة غطاء من الزنك بسماكة حوالي 0.02mm على كل وجه. ويمكن أن تؤخذ الخواص المرنة لهذه المادة كما هو الحال للفولاذ الإنشائي.

5.5 طرق الإنشاء في المنشآت المركبة:

Methods of Construction for Composite Structures

- تقوم البلاطة البيتونية المسلحة بدور غطاء إضافي لجناح الجائز الفولاذي إذا وقعت على الطرف المضغوط من المحور السليم .
- تحدد أبعاد البلاطة استناداً إلى تباعد الجوائز الطولية من جهة وأن مدى توزيع الحمولة التي تتعرض لها البلاطة عرضياً.
- يتم تصميم البلاطة بصورة مستقلة عن الفعل المختلط وبشكل مماثل لإنشاءات البيتون المسلح.

– أما الجوائز الفولاذية:

– يمكن أن تكون مقاطع جاهزة مستوية مع أو بدون صفائح تغطية أو تكون مقاطع مركبة.

– يمكن أن تكون متناظرة أو غير متناظرة حول المحور x-x حيث تكون مساحة الجناح

السفلي أكبر من مساحة الجناح العلوي.

- يمكن أن تكون هجينة أي مصنوعة من أنواع مختلفة من الفولاذ.

تختلف اقتصادية المنشآت المركبة باختلاف طريقة الإنشاء، وللطريقة تأثير في الإجهادات الناتجة عن التحميل. لذا يتميز الإنشاء المركب بالارتباط الوثيق بين التصميم وطريقة الإنشاء. ويوجد عدة طرق لتنفيذ المنشآت المركبة.

5.5.1- التنفيذ باستعمال دعائم:

- توضع الجوائز الفولاذية في الأمكنة المحددة لها.
- توضع هياكل لحمل البلاطة المصبوبة في المكان.
- توضع دعامات لسند المجموعة بكاملها لذلك لن يكون هناك أي سهم ولا حتى نسبي.
- يتم صب البيتون وتترك المجموعة حتى يتم تصلب البيتون (لمدة سبعة أيام حيث نحصل على مقاومة بين $0.7f'c$ و $0.75f'c$).
- تزال كافة الدعامات.

تعود الإجهادات في هذا الوقت على الجائز المختلط إلى الحمولة الميتة وإلى حصة الجائز من حمولة البلاطة.

يقاوم المقطع المختلط كافة الحمولات.

5.5.2- التنفيذ بدون دعائم:

- توضع الجوائز الفولاذية في الأمكنة المحددة لها.
- توضع هياكل لحمل البلاطة المصبوبة في المكان.
- لا تدعم المجموعة كما في الحالة السابقة
- تصب البلاطة وتترك المجموعة حتى يتصلب البيتون (لمدة سبعة أيام حتى تحصل على مقاومة بين $0.7f'c$ و $0.75f'c$).
- تتحمل الجوائز المعدنية وزنها الذاتي ووزن الهياكل ووزن البيتون الرطب ويعمل الجائز

المعدني بصورة غير مختلطة وهو الذي يحمل بمفرده هذه الأوزان.

- بعد تصلب البيتون نرفع الهياكل فيتم مقاومة الحمولات عندها بوساطة الجائز المختلط.

إن الإنشاء بوساطة دعامات يتطلب مقاطع أقل من الإنشاء بدون دعامات مما يؤدي إلى توفير في المواد ويؤدي هذا التوفير إلى استطاعة أكبر لمقاومة الحمولات وغالباً ما يتوازن هذا التوفير في المواد مع تكاليف تركيب الدعامات.

كما أن الإنشاء دون تدعيم يكون أسرع من الإنشاء المدعم . ويمكن إجراء مقارنة سريعة بين طريقتي الإنشاء.

مع دعامات	بدون دعامات
1- مقاطع أصغر	1- مقاطع أكبر
2- توفير في المواد المكونة للمقطع	2- عدم توفير في المواد المكونة للمقطع
3- استطاعة أكبر لمقاومة الحمولات	3- استطاعة أقل لمقاومة الحمولات.
4- التوفير في المواد يتوازن مع تكاليف تركيب الدعامات.	4- لا يوجد توفير وفي المواد ولا يوجد دعامات.
5- تأثير الزحف كبير	5- تأثير الزحف أصغر من السابق.

عندما يتم البناء بطريقة الإنشاء غير المدعم يتحمل الجائز الفولاذي وحده الحمولات الناجمة عن الوزن الذاتي وحمولات التنفيذ بينما يتحمل المقطع المركب الحمولات الحية والدائمة الناجمة عن الاستثمار.

5_5_3_ الإنشاء المسبق الاجهاد: Pre-Stressed Construction

يمكن الوصول إلى درجة عالية من الاقتصاد في المواد باستخدام طريقة الإنشاء مسبق الإجهاد. ومسبق الإجهاد هنا لا يختلف في مفهومه عن ما هو معروف في البيتون المسلح حيث يكون الهدف خلق إجهادات مسبقة تخالف في إشارتها إجهادات التحميل، مما يعني أن الإجهادات النهائية الناتجة بعد التحميل هي أقل من الإجهادات لو لم يستخدم الإجهاد المسبق.

يمكن الوصول إلى خلق إجهاد مسبق في الجائز الفولاذي بمجرد رفعه عبر مجازه بدعامة شاقولية قبل صب الخرسانة مما يؤدي إلى نشوء إجهادات شادة في الألياف العلوية وضاغطة في الألياف السفلية. بعد ذلك يصب البيتون ويترك ليتصلب ثم يزال التدعيم. يتحمل الجائز

المركب إثر ذلك حمولة الوزن الذاتي التي تؤدي إلى نشوء إجهادات معاكسة للإجهادات المسبقة، يبين الشكل (5-13) مراحل هذه الطريقة.

يمكن خلق إجهاد مسبق في الجائز الفولاذي عن طريق إضافة كبل يختار موضعه بحيث يؤدي شده إلى إحداث عزم انعطاف معاكس لحالة التحميل. هذه الطريقة تكون مفضلة في حالة الجسور التي يصعب فيها التدعيم.

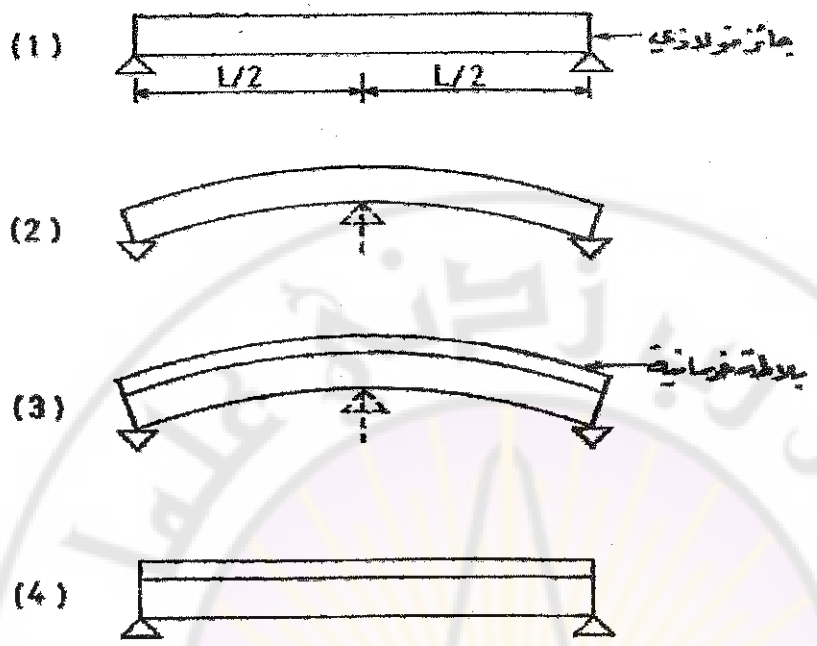
أما بالنسبة إلى البيتون فإنه يمكن إحداث الإجهاد المسبق بطرق البيتون المسلح نفسها، وتستخدم لخلق إجهادات ضاغطة في مناطق العزم السالب.

يجب في هذه الحالة عدم نقل الإجهاد المسبق إلى الجائز الفولاذي، ويكون ذلك بترك جيوب حول روابط القص وعدم صب البتيون فيها حتى إتمام عملية الإجهاد المسبق للبيتون.

5-6-4- الإنشاء بالصب على مراحل: Phased Concerting

تستخدم هذه الطريقة للوصول إلى تشكيل المقطع المركب في المقاطع الحرجة من الجائز، وذلك في مرحلة مبكرة من الصب. وتتلخص بصب جزء من البيتون في مناطق العزوم الأعظمية ثم الانتظار حتى يتصلب البيتون قبل إتمام الصب. بذلك فإن حمولة البيتون المصبوب في المرحلة الثانية يتحملها المقطع المركب في مناطق البيتون المصبوب في المرحلة الأولى بدلاً من أن يتحملها المقطع الفولاذي وحده.

إن طرق الإنشاء المبينة أعلاه تبين بوضوح مدى مرونة الإنشاء المركب، وقابلة التغيير فيه حسب الظروف والمعطيات في كل مثال وذلك للوصول إلى أفضل الحلول وأكثرها اقتصادية.



شكل (5-13) يمثل مراحل سبق الإجهاد بطريقة رفع الجائز الفولاذي للأعلى في منتصف مجازه

الفصل السادس

التصميم الإنشائي للمقاطع المركبة

Structural design of composite sections

Damascus University

التصميم الإنشائي للمقاطع المركبة

Structural design of composite sections

6-1- مقدمة: Introduction

تعتمد أسس التصميم لأي عنصر إنشائي على تمييز مرحلتين لسلوك المادة وهما مرحلة المرونة الكاملة ومرحلة اللدونة الكاملة. ويطلب عند تصميم معظم المنشآت وعناصرها أن تكون موادها في مرحلة المرونة وذلك عندما تكون هذه المنشآت في وضع الاستثمار العادي، وعندما تتعرض المنشآت إلى حمولات استثنائية كبيرة يكون المطلوب في التصميم أن تكون المواد في مرحلة اللدونة دون أن تصل إلى الانكسار.

6-2- دراسة المقاطع المعرضة لعزم انعطاف موجب:

Study of Sections Subject to Positive Bending Moment

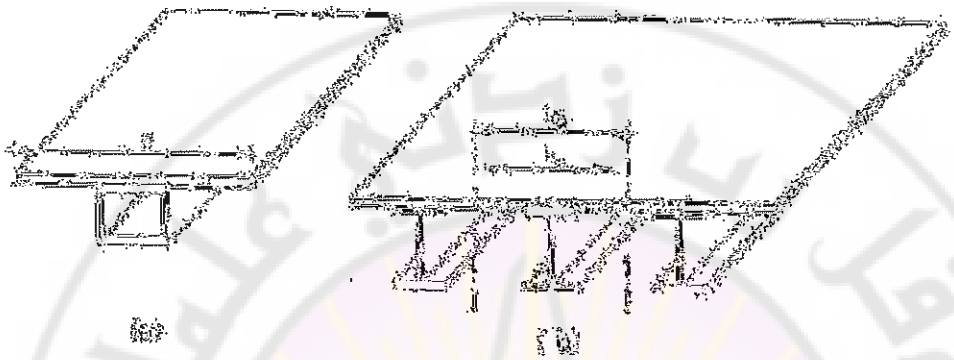
6-2-1- العرض الفعال: Effective Width

تتعرض الجوائز البسيطة والمستمرة إلى عزوم انعطاف موجبة تؤدي إلى إجهادات ضاغطة في البلاطة البيتونية وإجهادات شادة في الجائز الفولاذي.

يمكن حساب توزع عزوم الانعطاف ورسمها وفق نظرية المرونة، ومنها يتم اختيار مقطع الجائز المركب بحسب القيمة العظمى لعزم الانعطاف الموجب.

عندما يكون الجائز المركب مكوناً من جائز فولاذي وبلاطة بيتونية مستقلة كما في الشكل (6-1-a) ويكون عرض البلاطة (B) صغيراً نسبياً، فإن البلاطة تعمل بكامل عرضها بشكل مشتركة مع الجائز الفولاذي في مقاومة عزم الانعطاف. أما في الحالة العامة فيؤدي كبر عرض البلاطة البيتونية إلى تشوهها في مستوي المقطع، ويؤدي تشوه المقطع إلى عدم انتظام الإجهادات الطولية في البلاطة وبالتالي لا يمكن اعتبار العرض (B) هو العرض الفعال في التصميم. وكذلك عندما تشكل البلاطة البيتونية أجنحة لعدة جوائز (T) مركبة كما هو مبين في الشكل (6-1-b) فإن العرض الفعال (bE) قد يكون أصغر من المسافة بين المحاور المتوسطة (b0).

يعرف العرض الفعال (bE) بأنه العرض من البلاطة الذي يتعرض لإجهادات مساوية لتلك الإجهادات الناتجة عن الحساب وفق نظرية عزم الانعطاف البسيط، التي تفترض أن المقاطع المستوية قبل الانعطاف تبقى مستوية بعد الانعطاف، وبالتالي فإن الإجهادات في المقطع المعرض لعزم الانعطاف لها قيمة ثابتة على كامل عرض المقطع.



الشكل (6-1)

تحديد العرض الفعال للبلاطة البيتونية في المقاطع المركبة

في الحقيقة يسبب القص الطولي تشوهات قصية في مستوية، وبنتيجة ذلك فإن المقاطع العرضية الشاقولية خلال الجائز المركب (T) لا تبقى مستوية عندما يتم تحميله، وبالتالي فإن الإجهاد الطولي الرئيسي عبر سماكة البلاطة والناتج عن عزم الانعطاف في المقطع المركب يكون ذا قيمة متغيرة كما هو موضح في الشكل (6-2).

الشكل (6-2)

إن نظرية الانعطاف البسيطة تعطي القيمة الصحيحة للإجهاد الأعظمي عند النقطة (D) الواقعة على محور المقطع المركب، أما على طرفي المحور فإن قيمة الإجهاد تنخفض بسبب الإجهاد القاص المطبق في مستوي البلاطة البيتونية.

يتم اختيار العرض الفعال bE بحيث تكون مساحة المستطيل G H J K مساوية للمساحة المحصورة بالمنحني A C D E F، وبذلك يصبح بالإمكان تصميم الجائز ذي المقطع المركب على أساس مقطع T والجناح بعرض bE مع تطبيق نظرية عزم الانعطاف البسيط Simple Bending Theory.

أظهرت الأبحاث المرتكزة على نظرية المرونة أن النسبة bE/b0 تعتمد على نسبة البعد بين المحاور b0 إلى المجاز (b0/L)L وعلى توزع الحمولات الرئيسية وعلى شروط الاستناد ومتغيرات أخرى. وقد يختلف العرض الفعال في حال المرونة عنه في حالة اللدونة.

6-2-2- دراسة المقطع المركب بطريقة المرونة:

Study of Composite Section With Elastic Analysis

حالة حد الاستثمار: Serviceability Limit State

لدراسة المقطع المركب بحسب طريقة المرونة نفترض أن كلا من البيتون والفولاذ يعملان في حدود المرونة، ويصمم المقطع بحيث لا تتجاوز الإجهادات الناتجة عن عزم الانعطاف المطبق والناجم عن حمولات الاستثمار قيمة الإجهادات المسموحة.

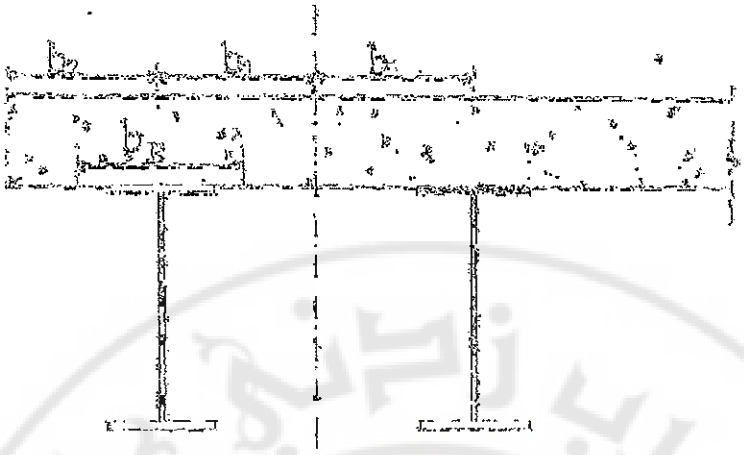
أولاً- حساب العرض الفعال: Effective Width

يحدد العرض الفعال في المنشآت الخاصة والجسور بجميع الجزأين الفعالين على جانبي محور الجائز كما هو موضح في الشكل (6-3):

لجائز وسطي: $b_E = \psi b_1 + \psi b_2$

لجائز طرفي: $b_E = \psi b_1 + 0.85\psi b_2$

أي أن العرض الحقيقي يضرب النسبة ψ إذا كان الجناح البيتوني مستمراً وبالنسبة 0.85ψ إذا كان الجناح طرفياً.



الشكل (6-3) تحديد العرض الفعال للبلاطة البيتونية

تؤخذ قيمة ψ من الجدول (6-1) ويعد المجاز الطرفي للجائز المستمر مماثلاً للجائز البسيط مع أخذ طول مكافئ مساوٍ لـ (0.9l)، حيث L هو مجاز الجائز أي المسافة بين محاور الاستناد أو المسافة بين الطرف الحر للظفر ووجه المسند.

ويعد العرض الفعال عند مسند داخلي لجائز مستمر مساوياً وسطي القيمتين المحسوبتين من المجازين على طرفي المسند.

في الجدول (6-1) يقصد بالحمولة المركزة الحمولة الرئيسية ذات القيمة الكبيرة، أما الحمولات المركزة ثانوية التأثير فلا تؤخذ بعين الاعتبار في هذا المجال.

أما بالنسبة إلى الأبنية فيمكن إتباع قواعد مبسطة للعرض الفعال، حيث يؤخذ العرض الفعال بحيث لا يتجاوز أي من جزأيه على طرفي محور الجائز الفولاذي القيمة $\frac{L}{10}$.

وهذه القيمة تختلف بحسب اختلاف المواصفات المعتمدة، فمثلاً في الكود الأوروبي تعتمد القيمة $\frac{L}{8}$ لكل جزء على طرفي محور الجائز الفولاذي.

جدول (6-1)

حساب نسبة العرض الفعال ψ

b/L	حمولة موزعة بانتظام على مسافة لا تقل عن 0.5l			حمولة رئيسة مركزة في منتصف المجاز		
	جائز بسيط					
الموقع	منتصف المجاز	ربع المجاز	المسند	منتصف المجاز	ربع المجاز	المسند
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.02	0.99	0.99	0.93	1.91	1.0	1.0
0.05	0.98	0.98	0.84	0.80	1.0	1.0
0.10	0.95	0.93	0.70	0.67	1.0	1.0
0.20	0.81	0.77	0.52	0.49	0.98	1.0
0.30	0.65	0.60	0.40	0.38	0.82	0.85
0.40	0.50	0.46	0.32	0.30	0.63	0.70
0.50	0.38	0.36	0.27	0.24	0.47	0.54
	المجازات الداخلية لجائز مستمر					
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.02	0.99	0.94	0.77	0.84	1.0	0.84
0.05	0.96	0.85	0.58	0.67	1.0	0.67
0.10	0.86	0.68	0.41	0.49	1.0	0.49
0.20	0.58	0.42	0.24	0.30	0.70	0.30
0.30	0.38	0.30	0.15	0.19	0.42	0.19
0.40	0.24	0.21	0.12	0.14	0.28	0.14
0.50	0.20	0.16	0.11	0.12	0.20	0.12
	جائز ظفري					
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.05	0.82	1.0	0.92	0.91	1.0	1.0
0.10	0.68	1.0	0.84	0.80	1.0	1.0
0.20	0.52	1.0	0.70	0.67	0.84	1.0
0.40	0.35	0.88	0.52	0.49	0.74	1.0
0.60	0.27	0.64	0.40	0.38	0.60	0.85
0.80	0.21	0.49	0.32	0.30	0.47	0.70
1.00	0.18	0.38	0.27	0.24	0.36	0.54

Damascus University

أما في المواصفات AISC الخاصة بالأبنية فتعتمد أعظم قيمة مسموحة للعرض الفعال b_e هي القيمة الأقل المحسوبة من العلاقات التالية:

- من أجل جائز داخلي مع بلاطة ممتدة على جانبي الجائز:

$$1)\ b_E \le \frac{L}{4}$$
$$2)\ b_E \le b0$$
$$3)\ b_E \le bf + 16ts$$

- من أجل جائز طرفي مع بلاطة ممتدة على جانب واحد فقط:

$$1)\ b_E \le \frac{L}{12} + bf$$
$$2)\ b_E \le \frac{1}{2}(b0 + bf)$$
$$3)\ b_E \le bf + 6ts$$

حيث:

bf عرض جناح المقطع الفولاذي.

Ts سماكة البلاطة البيتونية.

وبشكل مشابه من أجل تصميم الجسور تعتمد مواصفات AASHO القيم التالية:

- من أجل جائز داخلي:

$$1)\ b_E \le \frac{L}{4}$$
$$2)\ b_E \le b0$$
$$3)\ b_E \le 12ts$$

- من أجل جائز طرفي:

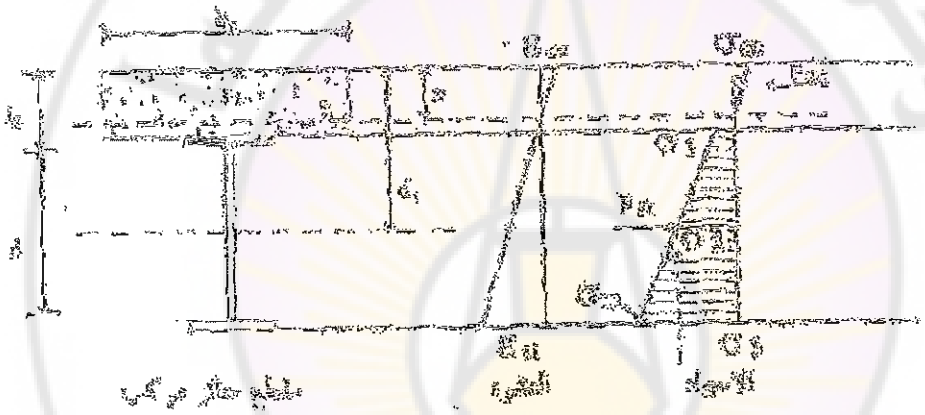
$$1)\ b_E \le \frac{L}{12}$$
$$2)\ b_E \le \frac{1}{2}(b0 + bf)$$
$$3)\ b_E \le 6ts$$

بعد تحديد العرض الفعال يتم حساب الإجهادات والعزم المقاوم للمقطع.

ثانياً: حساب الإجهادات وفق نظرية المرونة يفترض وجود تناسب خطي بين الإجهاد والتشوه. وتحسب خواص المقطع بطريقة المساحة المكافئة حيث تحول مساحة الفولاذ إلى مساحة معادلة من البيتون بضربها بالنسبة المعيارية (n) حيث: n هي نسبة عامل مرونة الفولاذ Es إلى عامل مرونة البيتون Ec، أو تحول مساحة البيتون إلى مساحة معادلة من الفولاذ وذلك باستخدام عرض فعال للبلاطة مساوياً لـ $\frac{b_E}{n}$.

للفولاذ $Es = 2.06 \times 10^5 N/mm^2$

للبيتون $Ec = 4730 \sqrt{f'c}$



الشكل (6-4) توزع التشوه والإجهاد في المقطع المركب بحسب نظرية المرونة

حساب الاجهادات:

لحساب الإجهادات نوجد ارتفاع منطقة الضغط x أي موقع المحور المحايد:

إجهاد الضغط في البيتون: $\sigma_{cc}=\varepsilon_{cc}.E_c$

إجهاد الشد في الفولاذ: $\sigma_2=\varepsilon cc\frac{d_1-x}{x}.E_c.n$

قوة الضغط في البيتون: $F_{cc}=\frac{\sigma_{cc}.x}{2}b_E$

قوة الشد في الفولاذ: $F_{st}=\frac{d_1-x}{x}.\sigma_{cc}.n.As$

من شرط توازن القوتين نحصل على ارتفاع منطقة الضغط x:

$$F_{cc}=F_{st}\Rightarrow x=...$$

ويجب ألا يتجاوز إجهاد الشد σ_3 الإجهاد المسموح به للفولاذ في حالة الشد أي:

$$\sigma_3=\frac{d+t_S-x}{x}.\sigma_{cc}.n\leq\sigma_t$$

حيث:

$$\sigma_t=\frac{\sigma y}{1.7}$$

حساب العزم المقاوم للمقطع:

يكون العزم المقاوم للمقطع عند حد الاستثمار هو:

$$M_R=F_{st}.Z+\frac{\sigma_m.I_x}{d/2}\quad ...(1-5)$$

حيث:

$$\sigma_m=\sigma_3-\sigma_2$$

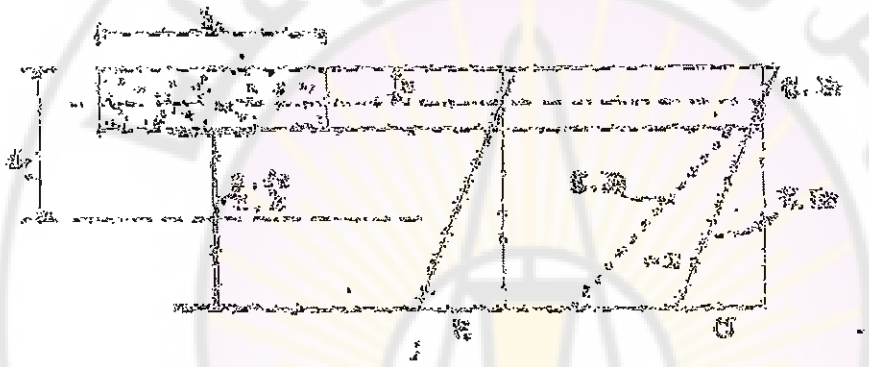
ذراع المزدوجة

$$Z=d_1-\frac{x}{3}$$

3.2.6- طريقة المقطع المكافئ:

Transformed Area Method

يمكن دراسة المقطع المركب بحسب نظرية المرونة بتحويل توزع الإجهادات المبين في الشكل (6-4) إلى توزع خطي كما في الشكل (6-5)، وذلك عن طريق تحويل المقطع الفولاذي إلى مقطع اعتباري مكافئ من البيتون بضرب خواص المقطع بالنسبة المعيارية (n). وينجم عن ذلك أن قيم الإجهاد في الفولاذ يجب أن تقسم على القيمة (n) فينتج المخطط المبين في الشكل (6-5) وبما أن المقطع المكافئ متجانس فمن الممكن إيجاد ارتفاع منطقة الضغط بتطبيق طريقة العزم الستاتيكي للمساحة والتي تعطي العلاقة التالية لحساب x.



الشكل (6-5)

$$x = \frac{n.A_S}{b_E}\left(-1 \mp \sqrt{1+\frac{2b_E.d1}{n.As}}\right) \quad \ldots(2-6)$$

والتي تم استنتاجها كالتالي:

بأخذ العزوم الستاتيكية حول المحور المحايد:

$$-n.A_S(d_1-x)+b_E.x(\frac{x}{2})=0$$

$$\frac{b_E.x^2}{2}+n.A_S d_1-n.A_S.d_1=0$$

$$-n.A_S d_1+n.A_S.x+b_E.\frac{x^2}{2}=0$$

$$\Delta=n^2.As^2+4\frac{b_E}{2}n.A_S..d_1=n^2.A_S^2+2b_E.n.A_S d_1$$

$$\sqrt{\Delta}=\sqrt{n^2.As^2+2b_E.n.A_S.d_1}=\sqrt{n.A_S(n.A_S+2b_E.d_1}$$

$$x=\frac{-n.A_S\pm\sqrt{n^2.As^2+n.A_S.2b_E.d_1}}{b_E}$$

$$x=\frac{-n.A_s\pm n.A_s\sqrt{1+\frac{2b_E.d_1}{n.A_s}}}{b_E}$$

$$x=\frac{n.A_s}{b_E}(-1\pm\sqrt{1+\frac{2b_E.d_1}{n.A_S}}$$

كما يمكن إيجاد المقطع المكافئ أيضاً بدلالة الفولاذ وذلك بتقسيم خواص البلاطة البيتونية المعيارية (n).

عندما يكون تنفيذ الجائز المركب بطريقة الإنشاء غير المدعم فإن الجائز الفولاذي سيحمل وزنه ووزن البيتون الرطب، وعندما يزال القالب بعد تصلب البيتون يعمل المقطع بشكل مركب لمقاومة كل الأحمال الحية والميتة المطبقة بعد تصلب البيتون، ويكون الإجهاد الأعظمي عن الإجهاد المسموح به.

أما في الإنشاء المدعم فإن المقطع المركب يتحمل كافة الحمولات المطبقة.

5.6 دراسة المقاطع المعرضة لعزم انعطاف سالب:

Study of Sections Subject to Negative Bending Moment

1.5.6 دراسة المقطع المركب بطريقة المرونة (حد الاستثمار):

Study of Composite Sections with Elastic Analysis

أولاً- العرض الفعال: Effective Width

يحسب العرض الفعال كما ورد سابقاً باستخدام قيم ψ المبينة في الجدول (5-1) وعند حساب العرض الفعال في مسند داخلي تؤخذ القيمة الوسطية لـ ψ من القيمتين المحسوبتين للمجازين على جانبي المسند.

وفي حال الأبنية يمكن استخدام القيمة L/10 لكل جزء على طرفي محور الجائز الفولاذي بحيث لا تتجاوز المسافة بين المحورين المنصفين وعند دراسة المقطع المركب المعرض لعزم انعطاف سالب يعتبر أن فولاذ التسليح العامل هو الفولاذ الموجود ضمن العرض الفعال فقط.

ثانياً- حساب الاجهادات والعزم المقاوم:

Calculation of Stresses and Resistance Moment

تحسب الاجهادات بتطبيق التناسب الخطي بين الإجهاد والتشوه، وتهمل مقاومة البيتون للشد.

عندما يتعرض المقطع لعزم انعطاف سالب يحدث الضغط في الألياف العلوية حيث يقوم حديد التسليح بمقاومة القوى الشادة الناتجة.

إن عامل المرونة لفولاذ التسليح ولفولاذ المقطع هو نفسه، وبإهمال البيتون المشدود فإنه لا حاجة لإدخال النسبة المعيارية $n = \frac{E_s}{E_c}$ عند حساب خواص المقطع.

نحسب ارتفاع المحور المحايد عن الليف العلوي بأخذ العزوم الستاتيكية حول الليف العلوي:

$$x = \frac{A_r.a + A_s.d_1}{A_r + A_s}$$

حيث:

Ar: مساحة فولاذ التسليح ضمن العرض الفعال.

A: سماكة طبقة التغطية.

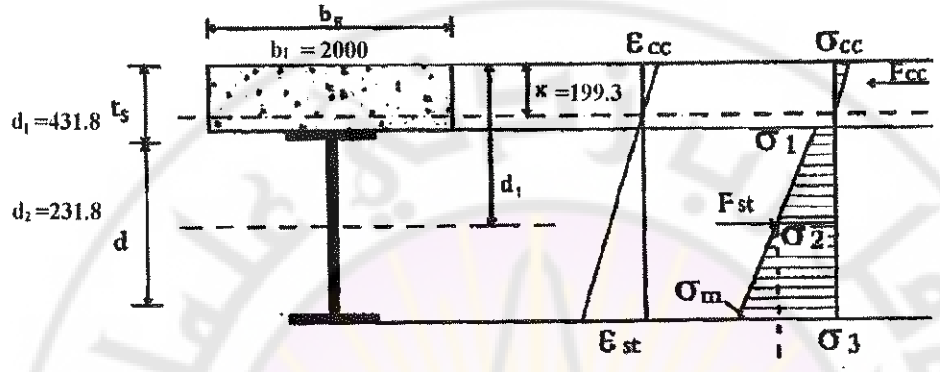
As: مساحة المقطع الفولاذي.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أمثلة:

مثال 1:

يبين الشكل مقطعاً لجائز مركب مؤلفاً من بلاطة البيتونية سماكتها 20cm وعرضها الفعال 200 cm. المقطع الفولاذي للجائز بشكل I متناظر UB 457×191×89



$$n - \frac{E_S}{E_C} = 15$$

المطلوب حساب العزم المقاوم الموجب لهذا المقطع وفق طريقة حد الاستثمار

$$A_S = 11390\,mm^2 \quad I_x = 410.2\times10^6\ mm^4$$

- نقوم بحساب ارتفاع منطقة الضغط x من العلاقة:

$$x = \frac{n\,A_S}{b_f}\left(\sqrt{1+\frac{2\,b_f\times d_1}{n\times A_A}}-1\right)$$

$$x = 199.3\,mm < 200$$

$$I_{EC} = \frac{b\,x^3}{3} + n\,I_S + n\,A_S\,(d_1 - x)^2$$

$$= 208.16\times10^8\ mm^4$$

بفرض أن الإجهادات المسموحة في البيتون على الضغط

$$\overline{\sigma_C} = 0.5\,f`_C = 12.5\,MPa$$

وأن الإجهادات المسموحة في الفولاذ على الشد

$$\bar{\sigma}_S = 0.55 f_y = 231 MPa$$

بفرض أن الإجهادات في البيتون تساوي الإجهادات المسموحة

$$\sigma_C = \bar{\sigma}_C = \frac{M}{I_{EC}} \times x$$

$$M = \frac{I_{EC} \times \bar{\sigma}_C}{x} = 1305 kN \cdot m$$

بفرض أن الإجهادات في الفولاذ تساوي الإجهادات المسموحة

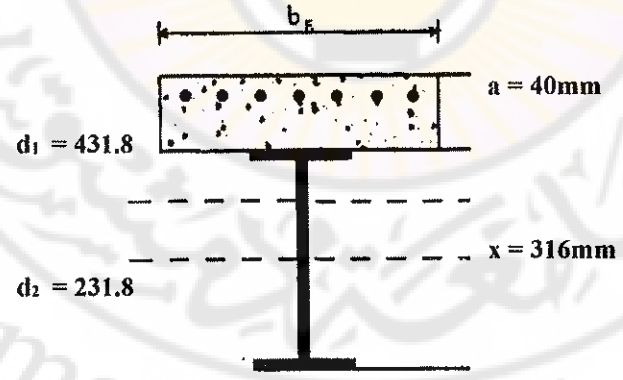
$$M_2 = \frac{I_{EC} \times \bar{\sigma}_S}{(d_1 + d_2 - x)} \times \frac{\bar{\sigma}_S}{n} = 690.4 kN \cdot m$$

إذا العزم المقاوم هو الأصغر.

$$M_R = 690.4 kN \cdot m$$

مثال 2:

بفرض استخدام المقطع العرضي السابق لظفر بعد وضع تسليح علوي طولي في البلاطة مقداره 10T20 ويبعد محوره 40 mm عن أعلى البلاطة. احسب العزم المقاوم السالب بطريقة حد الاستثمار.



$$A_r = 10 \times 314 = 3140\,mm^2 \quad A_S = 11390$$

$$x = \frac{3140(d_1 + d_2 - a) + 11390 \times d_2}{3140 + 11390}$$

$$x = \frac{A_n(d_1 + d_2 - a) + A_S \times d_2}{A_r + A_S}$$

$$x = 316.5$$

تعيين عزم عطالة المقطع الفولاذي:

$$I_{ES} = I_S + A_S \times (x - d_2)^2 + A_r(d_1 + d_2 - x - a)^2$$

$$= 410.2 \times 10^6 + 11390(316.5 - 231.8)^2 + 3140(663.6 - 316.5 - 40)^2$$

$$= 788 \times 10^6\ mm^4$$

إجهادات الضغط العظمى $\sigma_5 = \dfrac{M}{I_{EC}}$

الإجهادات المسموحة على الضغط $\overline{\sigma_S} = 0.45 f_g = 189$

بفرض الإجهادات على الضغط تساوي الإجهادات المسموحة

$$M_S = \frac{I_{EC} \times \overline{\sigma_S}}{x} = \frac{788 \times 10^6 \times 189}{316.5} = 470.55\,kN \cdot m$$

بفرض الإجهادات في حديد التسليح تساوي الإجهادات المسموحة على الشد

$$M = \frac{I_{ES}\,\overline{\sigma_{sr}}}{(d_1 + d_2 - x - a)} = \frac{788 \times 10^6 \times 231}{307.1} = 592.9\,kN \cdot m$$

إذاً العزم المقاوم السالب $M_{nt} = 592.9\,kN \cdot m$

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

التصميم الإنشائي للمقاطع المركبة بالطريقة الحدية

Structural design of composite sections Ultimate limit state

Damascus University

الفصل السابع

الجوائز المختلطة

Composite Beams

مقدمة: Introduction

سنتناول العمل المشترك بين الخرسانة المسلحة والمقاطع الفولاذية المجمعة أو المدرفلة. ويعرض الشكل (1) نظام سقف خرساني محمول على جوائز فولاذية.

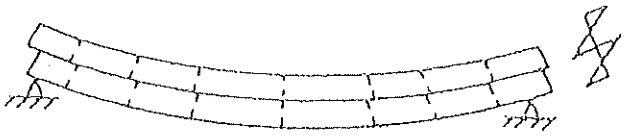
يبين الشكل (1-أ) عمل كل من مادتي البيتون والمقطع الفولاذي بشكل مستقل كما هو مبين بالتفصيل في الفقرة (5-1). البندين أ و ب، وبالتالي فإن الانزلاق slip على السطح الفاصل interface بين هاتين المادتين هو انزلاق حر. وبالتالي يكون العمل مشترك، بمنع هذا الانزلاق (الشكل 1-ب) عن طريق وصلات قص (الشكل 1-جـ).

وبالتالي في حال العمل المستقل للمواد non-composite فإن الأحمال تتوزع بين المواد حسب مخطط التشوه الخطي لكل مادة على طول سماكتها. أما في حالة العمل المشترك فإن هذه المواد تعمل كوحدة مركبة، ويصبح مخطط التشوهات الناجم عن الانعطاف على كامل عمق المقطع المشترك للمواد، ويكون عندها صفر التشوهات هو المحور السليم للمقطع المركب (المختلط).

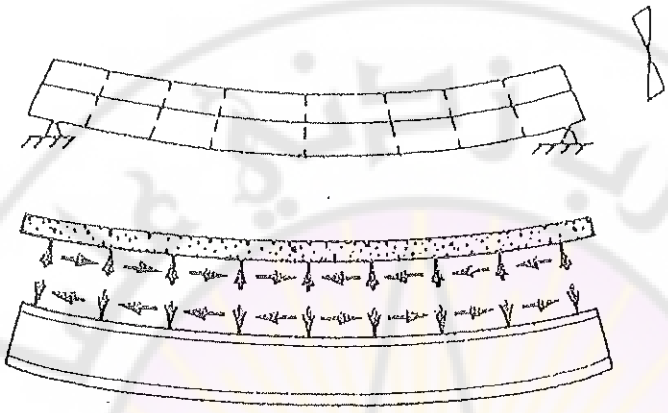
أي يكون التصميم هو تحديد السلوك العام لاجتماع مكونات الجائز المركب وهي الفولاذ والخرسانة وروابط القص باعتماد الكود البريطاني B.S.-5950-3.1: 1990

سيتناول التصميم:

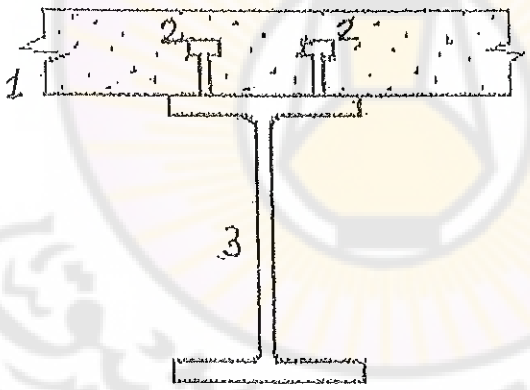
- تحمل المقطع المشترك بين البلاطة البيتونية والمقطع الفولاذي.
- تصميم روابط القص لتامين العمل المشترك التام بين البلاطة البيتونية والمقطع الفولاذي.



(1- أ)- العمل المستقل للمواد



(1- ب)- العمل المركب (المختلط) للمواد



1- البلاطة 2- مسمار قص (وصلة القص) 3- المقطع الفولاذي

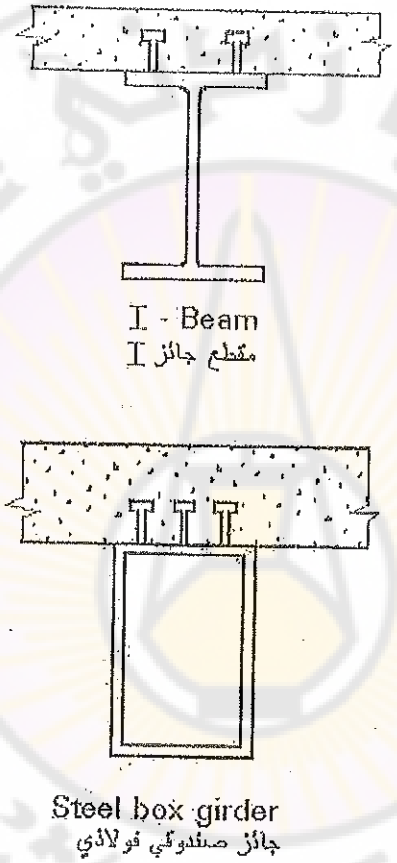
(1- جـ)- مقطع نموذجي في الجائز المختلط

الشكل (1) – ميكانيك العمل المركب للمواد

7-1- المواصفات الهندسية للجوائز المركبة:

Composite Beams Properties

يظهر الشكل (1-1) استخدام عدة أشكال وأنواع للجائز الفولاذي (مقاطع مدرفلة أو مجمعة بطريقة اللحام) مع الخرسانة المصبوبة في المكان وهنا نميز حالتين:



الشكل (1-1) عدة مقاطع عرضية لجوائز مركبة

• حالة إنشاء غير مدعم Unpropped Construction في هذه الحالة لا تحتاج هذه البلاطات أو الجوائز المركبة إلى سقائل لحمل الجوائز مع الخرسانة المصبوبة وإنما تعمل الجوائز الفولاذية على حمل كوفراج البلاطة الخرسانية مع الخرسانة المصبوبة.

تتميز هذه الطريقة بالتنفيذ بأنها الأكثر شيوعاً وذلك لتوفيرها الزمن والكلفة.

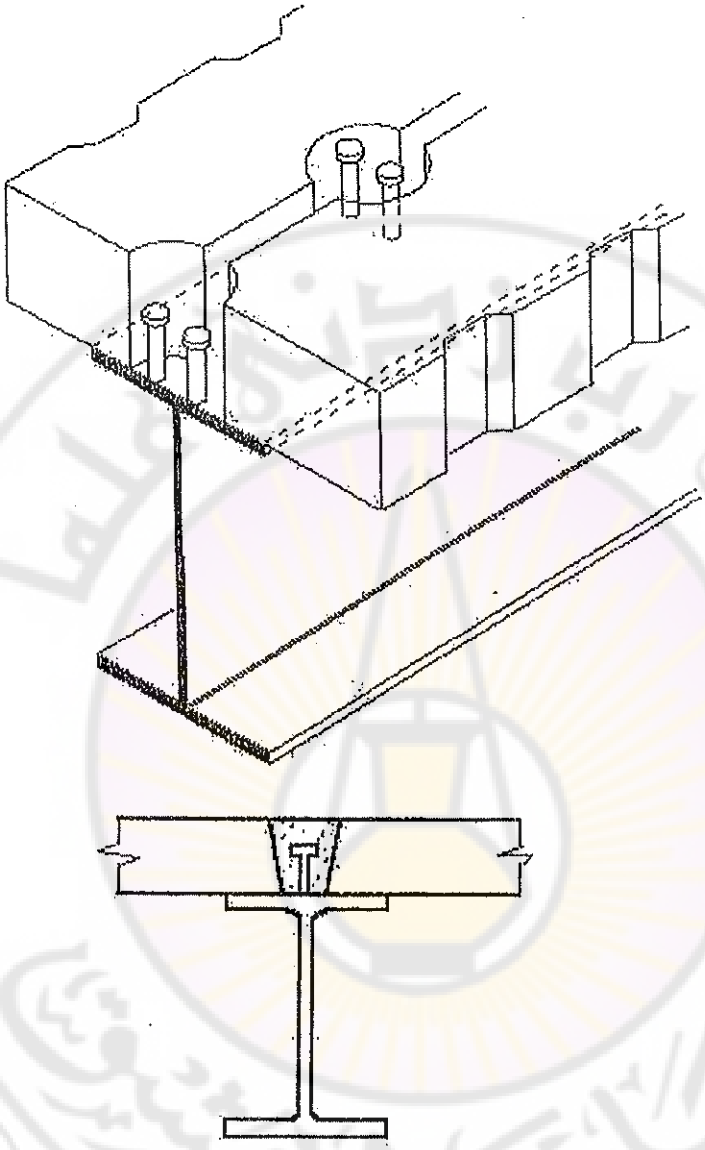
أي أن البلاطة الخرسانية غير المتصلبة تستند على سطح التماس مع الجائز الفولاذي، وبالتالي فإن الأحمال المطبقة على الجائز الفولاذي هي الأحمال الميتة في مرحلة الإنشاء وهي وزن البلاطة الخرسانية ووزن الجائز الفولاذي. أما الأحمال الحية فتشمل وزن الكوفراج اللازم وحركة عمال الصب وتعتمد $1.0\ KN/m^2$.

باعتبار أن الكوفراج اللازم وتكنولوجيا الصب، يقوم بمنع التحنيب، يتم تصميم المقطع الفولاذي كمقطع مستقل عن المقطع المركب تحت الأحمال الحية والميتة المبينة أعلاه، دون اعتبار تحنيب الفتل الجانبي Lateral torsional buckling.

- حالة إنشاء مدعم Propped Construction في هذه الحالة تكون الفعالية أكبر في الأداء الإنشائي إذا أمكننا ضمان العمل المركب للبلاطة الخرسانية والجائز الفولاذي في كل الأوقات. لهذا الغرض فإن كل الحمولات بما فيها الوزن الذاتي للمنشأ يجب أن تقاوم بالمقطع المركب Composite section. يمكن ضمان ذلك بسند الجائز الفولاذي حتى يتم تصلب الخرسانة، ويكون ذلك بوضع نقاط السند على مسافات تساوي ربع طول مجاز الجائز، وغالبا تكون كافية. يتم ترك نقاط السند في مكانها حتى تصل البلاطة الخرسانية إلى المقاومة الكافية.

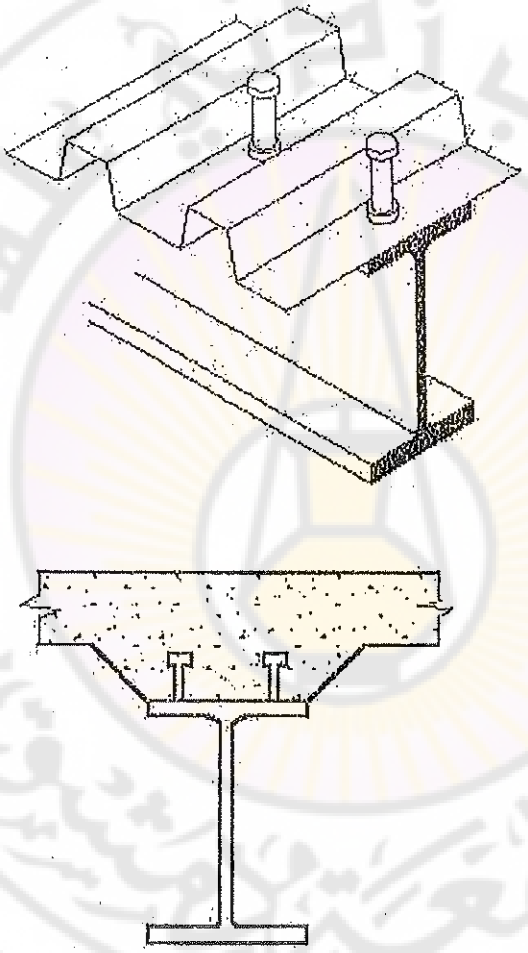
غالباً يتم استخدام هذا النوع من الإنشاء عندما يكون السهم المحسوب للمقطع الفولاذي بشكل مستقل تحت الأحمال المبينة في حالة كون المنشأ غير المدعم كبيراً.

كما يظهر الشكل (1-2) استخدام بلاطات خرسانية مسبقة الصنع بدلاً من الخرسانة المصبوبة في المكان. وتبقى حالات الإنشاء المدعم وغير المدعم نفسها المبينة لنظام البلاطات الخرسانية المصبوبة في المكان. حيث يتم ملء الفجوة بين القطع الخرسانية بملاط إسمنتي مما يؤمن العمل المركب بين الخرسانة والمقطع.



الشكل (1-2) استخدام البيتون مسبق الصنع في البلاطات الطابقية

يبين الشكل (1-3) استخدام أرضية من صفائح فولاذية Metal Decking ذات تعرجات أو التواءات، تستخدم عادة صفائح فولاذية ملتوية أو ذات تعرجات على شكل شبه منحرف. في هذا النوع تعمل الصفائح على منع التحنيب الجانبي في حالة المنشأ غير المدعم، مع بقاء الأحمال الحية والميتة المطبقة كما هو مبين أعلاه.



الشكل (1-3) استخدام صفائح الفولاذية ذات تعرجات على شكل شبه منحرف في أرضية البلاطات

7-1-1- النسبة المعيارية الفعالة: Effective Modular Ratio

يمكن أن يعبر عن المواصفات المرنة للمقطع المختلط، بما يكافئه من المقطع الفولاذي عبر إدخال مساهمة الجزء البيتوني باستخدام النسبة المعيارية الفعالة $\propto_e$

تأخذ النسبة المعيارية الفعالة $\propto_e$ بعين الاعتبار خواص التحميل طويل الأمد والتحميل قصير الأمد بالعلاقة التالية:

$$\propto_e = \propto_s + \rho_l * (\propto_l + \propto_s)$$

حيث $\propto_l$ – هي النسبة المعيارية للأحمال طويلة الأمد وتعطى بالعلاقة:

$$\alpha_l = \frac{E_s}{K_c * E_c}$$

E_s – معامل مرونة الفولاذ.

E_c – معامل مرونة البيتون.

K_c – معامل زحف البيتون.

يمكن اعتماد قيم معامل نسبة الأحمال طويلة الأمد كما يلي:

$\propto_l = 18$ للبيتون العادي.

$\propto_l = 25$ للبيتون الخفيف.

$\propto_s$ – هي النسبة المعيارية للأحمال قصيرة الأمد وتعطى بالعلاقة:

$$\alpha_s = \frac{E_s}{E_c}$$

يمكن اعتماد قيم معامل نسبة الأحمال قصيرة الأمد كما يلي:

$\propto_s = 6$ للبيتون العادي (كوزن).

$\propto_s = 10$ للبيتون الخفيف.

يعطى المعامل:

$$\rho_l = \frac{\Sigma P_l}{\Sigma P}$$

ΣP_l – مجموع الأحمال طويلة الأمد المطبقة وهي أحمال تشغيل، أي غير مصعدة.

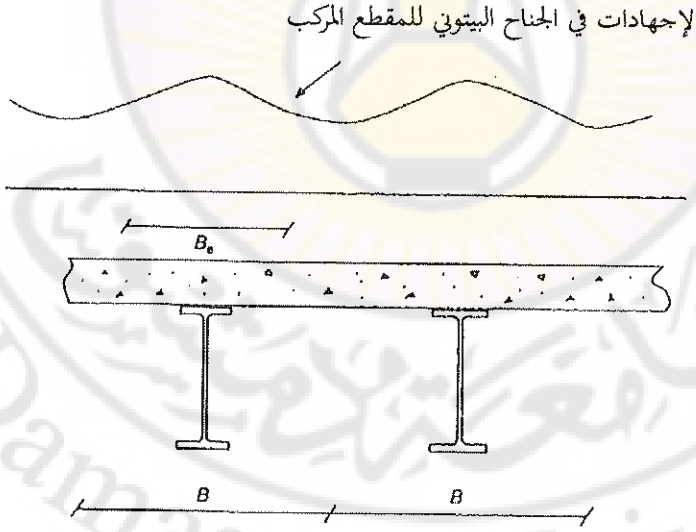
ΣP – مجموع الأحمال المطبقة وهي أحمال تشغيل، أي غير مصعدة.

تعتمد ثلثي الأحمال الحية 2*L / 3 كأحمال قصيرة الأمد والثلث المتبقي كأحمال طويلة الأمد في حالة المباني. أما في حال المستودعات فتعتبر كافة الحمولات (حية + ميتة) حمولات طويلة الأمد.

7-1-2- العرض الفعال للبلاطة البيتونية B_e:

Effective breadth of Concrete Slab

يقصد بالعرض الفعال للبلاطة البيتونية بالجزء البيتوني الذي يشكل مع المقطع الفولاذي، مقطعاً مختلطاً أو مركباً.

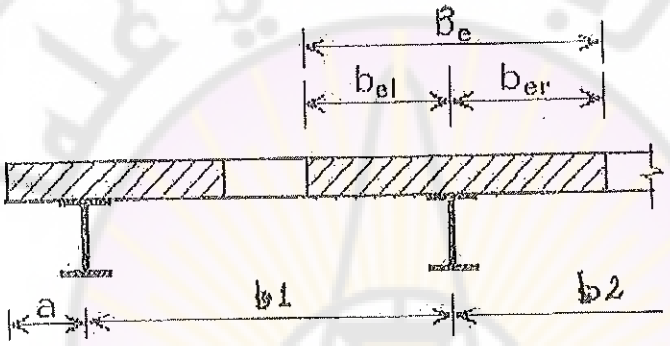


الشكل (1-2-1) العرض الفعال للبلاطة البيتونية

المجاز الفعال أو المجاز التصميمي للجائز L_e:

يعتمد المجاز التصميمي المسافة بين مراكز الاستناد بحيث لا يزيد عن مسافة الضوء بين مراكز الاستناد مضافاً إليها ارتفاع المقطع الفولاذي D

في حالة الظفر يعتمد المجاز التصميمي المسافة بين مركز الاستناد والوجه الحر بحيث لا يزيد عن مسافة الضوء بين الاستناد والوجه الحر مضافا إليه نصف ارتفاع المقطع الفولاذي D / 2.



الشكل (1-2-2) تحديد العرض الفعال للبلاطة البيتونية

يعطى العرض الفعال المبين في الشكل (1-2-2) بالعلاقة:

$$B_e = b_{er} + b_{el}$$

حيث يؤخذ b_{el} القيمة الأصغر بين: b1 أو $L_Z / 8$.

و يؤخذ b_{er} القيمة الأصغر بين: b2 أو $L_Z / 8$.

وفي الحالة الطرفية تعتمد b_{el} أو b_{er} القيمة الأصغر بين: a أو $L_Z / 8$.

حيث L_Z هي المسافة بين نقاط انعدام العزم. ففي حالة الجائز البسيط تؤخذ:

$$L_z = L_e$$

في حالة الجائز المستمر تعتمد قيم L_Z المبينة على الشكل (1-2-3) حيث:

$$L_1 = L_{e1} \quad , \quad L_2 = L_{e2} \quad , \quad L_3 = L_{e3}$$

Limiting value القيمة الحدية			النسبة Ratio	عنصر الضغط Compression element	
صنف 3 نصف مكتنز Semi- Compact	صنف 2 مكتنز Compact	صنف 1 لدن Plastic			
15ε	10ε	9ε	b/T	مقاطع مدرفلة Rolled section	عنصر جناح نائئ مضغوط Outstand element of compression flange
13ε	9ε	8ε	b/T	مقاطع ملحومة Welded section	

الجدول (1-3-1-1) تصنيف جناح المقطع الفولاذي بشكل /I/

الشكل (1-2-3) قيم L_z للجوائز المستمرة

7-1-3- تصنيف المقاطع المركبة:

Classification of composite cross sections

يقصد بتصنيف المقطع، أخذ تأثير التحنيب الموضعي لصفائح المقطع الفولاذي. يمكن حصر العوامل المؤثرة في التحنيب الموضعي أو المحلي بما يلي:

- نحافة الصفيحة، وهي نسبة العرض إلى السماكة.
- شروط الاستناد على الحواف للصفائح.
- مقاومة المادة: بازدياد P_Y من المحتمل حدوث التحنيب قبل السيلان.
- الإجهادات المتبقية الداخلية وفيما إذا كان المقطع مدرفلاً أو ملحوماً.

إن تأثير اختلاف المقاومة التصميمية يؤخذ بعين الاعتبار استخدام عامل لا بعدي $\varepsilon = \sqrt{(275/P_Y)}$ حيث يعطى إجهاد السيلان التصميمي Mpa.

7-1-3-1- تصنيف الجناح المضغوط:

Classification of the compression flange

بما أن الجناح العلوي المضغوط للجائز الفولاذي في المجاز ضمن العزم الموجب، يتصل بالبلاطة البيتونية المسلحة الصلدة، بواسطة وصلات القص، فإن هذا يمنع الجناح المضغوط من التحنيب الجانبي. ويتم معرفة صنفه من الجدول (1-3-1-1). أما الجناح المشدود فهو لا يخضع لهذا التصنيف لأنه غير معرض للضغط.

ويعتمد التصنيف التالي للجناح المضغوط (وفق الكود البريطاني B.S.-5950-1:2000) الموصول بالبلاطة البيتونية عبر وصلات قص:

الجناح لدن: في حال تحقق الصنف (1) لدن - plastic والصنف (2) مكتنز - compact من الجدول (1-3-1-1).

الجناح مكتنز: في حال تحقق الصنف (3) نصف مكتنز - semi-compact من الجدول (1-3-1-1)

7-1-3-2- تصنيف الجسد Classification of the web:

يعتمد الجسد لدناً إذا تحقق:

$$\frac{d}{t} \leq \frac{64*\varepsilon}{1+r}$$

يعتمد الجسد مكتنزاً إذا تحقق:

$$\frac{d}{t} \leq \frac{76*\varepsilon}{1+r}$$

يعتمد الجسد نصف مكتنزٍ إذا تحقق:

للمقطع المدرفل $r \geq 0.66$

$$\frac{d}{t} \leq \frac{114*\varepsilon}{1+2r}$$

للمقطع الملحوم $r \geq 0.66$

$$\frac{d}{t} \leq (\frac{41}{r} - 13)*\varepsilon$$

لكل المقاطع $0.66 > r \geq 0$

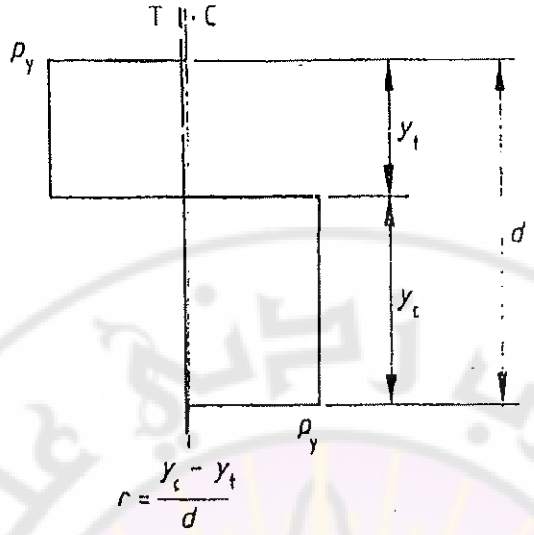
$$\frac{d}{t} \leq \frac{114*\varepsilon}{1+2r}$$

لكل المقاطع $r < 0$

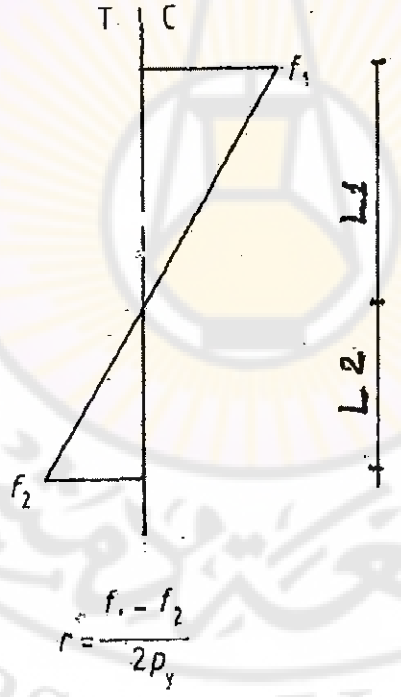
$$\frac{d}{t} \leq \frac{114*\varepsilon*(1+r)}{(1+2r)^{1.5}}$$

تعطى قيمة r كما هو مبين:

عند حساب قيمة النسبة r لتحديد صنف الجسد يتم اعتماد التصنيف الوارد في الجدول (1-1-3-1) لتحديد صنف الجناح. حيث يبين الشكل (1-3-1-1) تحديد قيمة النسبة r لحالة صنف الجناح لدن أو مكتنز باعتبار أن توزع الإجهادات لدنة على كامل عمق الجسد.



الشكل (1-1-3-1) تحديد قيمة r في حالة الجناح لدن أو مكتنز



الشكل (1-1-3-2) تحديد قيمة r في حالة الجناح نصف مكتنز أو نحيل

كما يبين الشكل (1-3-1-2) تحديد قيمة النسبة r لحالة صنف الجناح نصف مكتنز أو نحيل باعتبار أن الإجهادات المرنة موزعة على كامل عمق الجسد.

$$f_1 = (M_{ux}*L1) / I_X$$

$$f_2 = (M_{ux}*L2) / I_X$$

M_{ux} – هو عزم الانعطاف المصعد المطبق باعتماد معادلة التحميل:

$$P_u = 1.4*D+1.6*L$$

D – الحمل الميت.

L – الحمل الحي.

I_X – هو عزم عطالة المقطع المركب وذلك باعتبار عرض بلاطة الضغط البيتونية هو: $B_e / \propto_e$

ملاحظة: إن هذا التصنيف يخص مقطع I بأجنحة متساوية.

أو بالعلاقات التالية:

في المجاز أو عند العزم الموجب:

$$r = (-F_C/R_V) \geq -1$$

عند العزم السالب:

$$r = (R_r/R_V) < 1$$

F_C قوة الضغط في البيتون.

R_V القوة في الجسد وتعطى بالعلاقة:

$$R_V = d*t*P_y$$

d العمق الصافي للجسد.

t سماكة الجسد.

P_Y إجهاد السيلان التصميمي للجسد.

R_r القوة في فولاذ التسليح وتعطى بالعلاقة:

$$R_r = 0.87 * f_y * A_r$$

f_y إجهاد سيلان فولاذ التسليح في البلاطة البيتونية.

A_r مساحة مقطع فولاذ التسليح ضمن العرض الفعال للبلاطة البيتونية المسلحة.

مناقشة تصنيف الجسد:

في حالة المحور اللدن يقع ضمن البلاطة البيتونية المسلحة أي $F_C > F_t$

F_t هي قوة الشد في المقطع الفولاذي.

فإن المقطع الفولاذي في حالة شد، أي يتعرض إلى الإجهادات اللدنة P_Y وهذا ما يبينه التصنيف أعلاه:

$$F_C > F_t \rightarrow F_C > R_V \rightarrow r = -1,\ldots,-1.22,\ldots. < -1$$

تصبح النسبة سالبة لذلك نعتمد:

$$\frac{d}{t} \leq \frac{64 * \varepsilon}{\underset{r \rightarrow -1}{\rightarrow 0}} = \infty$$

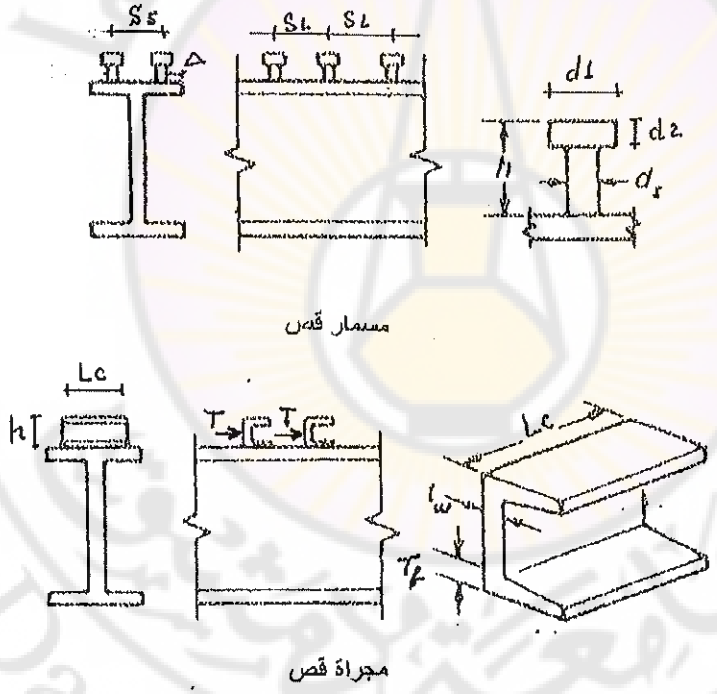
هذا يدل على أن الجسد لدن، أي يتعرض إلى إجهادات لدنة P_Y.

2-7- روابط القص: Shear Connectors

إن مهمة هذه الروابط نقل القوى بين البلاطة البيتونية والمقطع الفولاذي. ينشأ الفعل المركب composite action بين الجوائز الفولاذية والبيتون عبر استخدام وصلات القص لمقاومة القص الطولي الذي ينشأ بين البلاطة البيتونية والمقطع الفولاذي.

يجب أن تحقق روابط القص عدة متطلبات من أهمها وكما هو مبين على الشكل (1):

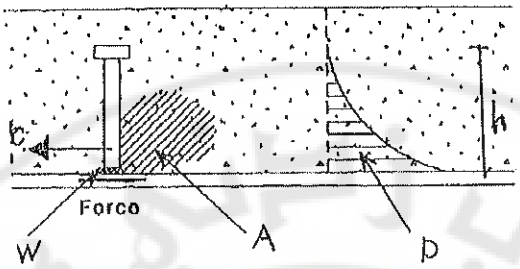
- يجب أن تنقل القص المباشر عند قاعدتها.
- يجب أن تحدث ارتباط شد في البيتون.
- يجب أن تكون اقتصادية التصنيع والتثبيت.



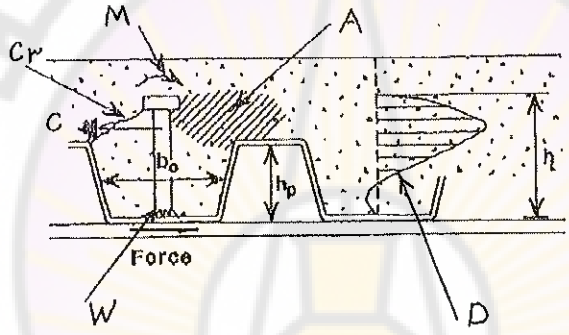
الشكل (2-1) بعض أنواع روابط القص

هنالك العديد من روابط القص مثل مسامير القص أو مجراة قص أو زاوية قص أو مقطع T أو ذات الشكل اللولبي. يبين الشكل (2-1) وصلات القص الأكثر اقتصادية

من ناحية التصنيع والتثبيت، وهي مسمار القص الملحوم welded shear stud، ومجراة القص الملحومة welded shear channel.



حالة بلاطة بيتونية مصمتة



حالة بلاطة ذات صفائح مقواة

الشكل (2-2) القوى المؤثرة في مسمار قص

يتم تخفيض كفاءة روابط القص وفقا لسلوك رابط القص الذي يتعلق بشكل البلاطة البيتونية، وبالتحديد البيتون المحيط بالرابط. حيث يبين الشكل (2-2) القوى المؤثرة على مسمار قص في حالتي بلاطة بيتونية مصمتة وأخرى بلاطة ذات صفائح مقواة. حيث تمثل المنطقة A جزء البيتون المعرض للدهس، أما المخطط D فيمثل القوى على مسمار القص ومحصلته مطبقة في المركز C، وهي مختلفة بين البلاطة المصمتة والبلاطة ذات الصفائح المقواة. ويتم مقاومة هذه المحصلة عند اتصال المسمار مع الجناح العلوي للمقطع الفولاذي عن طريق اللحام W. وبسبب تشكل عزم M عند رأس المسمار في

حالة البلاطة بصفائح مقواة، مما يؤدي إلى ظهور التشققات Cr المبين موقعها على الشكل.حيث الارتفاع h هو طول مسمار القص.

7-2-1- مسامير القص: Steel Studs

تعطى المقاومة الاسمية مقدرة بـ KN (وفق الكود الأمريكي .L.R.F.D) لمسمار قص ذي رأس فيه $(h / d_s) \geq 4$ بالعلاقة:

$$Q_K = 0.0005 * A_{SC} * \sqrt{(f'_c * E_C)} \leq A_{SC} * f_U$$

f'_c – المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (Mpa) نعتمدها:

$$f'_c = 0.83 * f_{cu}$$

f_{cu} – المقاومة المكعبية للبيتون على الضغط (Mpa).

A_{SC} – مساحة مقطع مسمار القص (mm^2) $\quad A_{SC} = 0.25 * \pi * d_s^2$

f_U – حد الانقطاع لفولاذ المسمار (Mpa).

E_C – معامل مرونة البيتون. يعتمد معامل مرونة البيتون في حالة الأحمال ذات الأجل الطويل:

$$E_C = 2215\sqrt{f'_c}\ Mpa$$

تحديد المواصفات الهندسية لمسمار القص:

- تحدد الأبعاد الهندسية المبينة على الشكل (2-1) لمسمار القص كما يلي:

$$d_s(max) = 2.5 * T_f$$

T_f – سماكة جناح المقطع الفولاذي.

$$d_1(min) = 1.5 * d_s$$
$$d_2(min) = 0.4 * d_s$$

يعتمد ارتفاع المسمار $h \geq 4 * d_s$ وغالباً يعتمد $100 \geq h \geq 60\ mm$

يجب أن يكون الغطاء البيتوني لرأس المسمار كافياً لمرور الخرسانة ولحمايته من التآكل أو الصدأ، وذلك في حالة تلامس البيتون مع التربة، أو في حالة المنشأ المعرض لتأثير العوامل الكيميائية، أو في حالة البلاطة معرضة مباشرة لتأثيرات العوامل الجوية. وتعتمد هذه السماكات للغطاء البيتوني المبينة في الفقرة (9-11) من الكود العربي السوري.

- المسافات بين مسامير القص على طول الجائز المبينة على الشكل (2-1):

$$S_L(min) = 5*d_s$$
$$S_L(max) = 8*D_S$$

D_S – سماكة البلاطة البيتونية المسلحة.

ولكنه يعتمد التوزيع الإنشائي بين مسامير القص القيمة الأصغر مابين:

$$(600\ mm)\ or\ (4*D_S)$$

- المسافة بين مسامير القص عرضيا المبينة على الشكل (2-1) يجب أن تحقق:

$$S_S + d_s + 2*\Delta = B_f$$
$$S_S(min) = 4*d_s$$
$$\Delta(min) = 20\ mm.$$

B_f – عرض جناح المقطع الفولاذي.

Δ – المسافة اللازمة للحام المسمار مع جناح المقطع الفولاذي.

- يجب أن يحقق فولاذ المسمار المواصفات التالية:

حد الانقطاع الأصغري $f_U(min) = 450\ N/mm^2$ على أن يكون قابل للحام، أي أن يمتلك عتبة سيلان الممثلة بالنسبة المئوية الدنيا للاستطالة عند الانقطاع 16%.

7-2-2- مجراة قص: Channel connector

تعطى المقاومة الاسمية مقدرة بـ KN لمجراة قص (وفق الكود الأمريكي .L.R.F.D) بالعلاقة:

$$Q_K = 0.0003*(T_f + 0.5*t_w)*L_C*\sqrt{(f'_c*E_C)}$$

f'_c – المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (Mpa) المبينة أعلاه.

E_C – معامل مرونة البيتون. يعتمد معامل مرونة البيتون في حالة الأحمال ذات الأجل الطويل كما هو مبين أعلاه.

T_f – سماكة جناح المجراة (mm).

t_w – سماكة جسد المجراة (mm).

L_C – طول المجراة (mm).

7-2-3- الاختبارات على روابط القص:

Tests on shear connectors

إن تحديد مقدرة وصلة القص تحليليا هو عملية معقدة بسبب أن الوصلة تتعرض للتشوه تحت تأثير الحمولات كما أن البيتون المحيط بها هي مادة قابلة للتشوه أيضاً. وعلاوة على ذلك يتعلق مقدار تشوه وصلة القص الناتج بعوامل متعدد مثل: شكلها ومقاسها، موقعها على الجائز، مكان العزم الأعظمي.

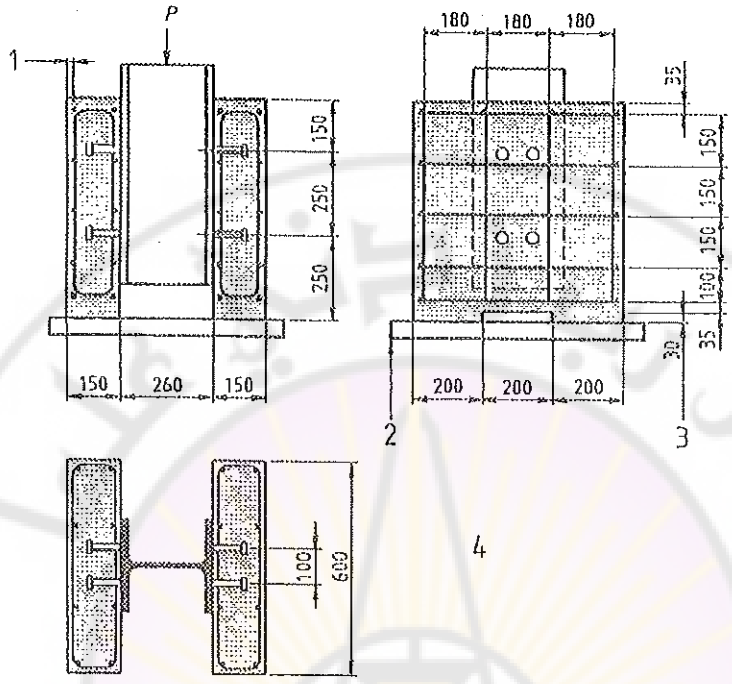
بالإضافة لذلك فإن أية وصلة قص يمكن أن تخضع إلى حد كاف لحدوث انزلاق بين المقطع الفولاذي والبلاطة، ونتيجة لذلك تتحمل وصلات القص المجاورة قصاً إضافياً.

لا تعتمد مقدرة وصلات القص على التحليل النظري كلياً نظراً إلى سلوكها المعقد جداً المبين على الشكل (2-2). سيتم اعتماد الكود الأوربي BS EN 1994-1-1:2004 في إجراء التجربة.

- **ترتيبات التجربة:**

1. يعتمد شكل النموذج المبين على الشكل (2-3-1) وهو عبارة عن بلاطة بيتونية مصمتة ومقطع فولاذي من نوع H. ويمكن اعتماده

H ≡ HE– 250X260X68.2 Kg/m



الشكل (2–3–1) شكل نموذج تجربة اختبار وصلة القص

2. يؤخذ طول البلاطة حسب التباعد الطولي بين مسامير القص على أن تحتوي على S_L محققاً التباعدات الأصغرية والأعظمية المبينة أعلاه.

3. يؤخذ عرض البلاطة بحيث لا يزيد عن العرض الفعال للبلاطة البيتونية.

4. تعتمد سماكة البلاطة الأصغرية من البلاطة الأساسية أو الحقيقية. تؤخذ طبقة التغطية البيتونية 15mm. يتم تسليح البلاطة كما هو مبين باستخدام فولاذ عالي المقاومة بقطر T10mm.

- **تحضير التجربة:**

1. يتم دهان سطح جناح المقطع الفولاذي الملاصق للبيتون.

2. إن مقاومة البيتون (مقاومة مكعبية أو اسطوانية) المحضر للتجربة هي المقاومة الوسطية f_{cm} ويجب أن تحقق أثناء إجراء التجربة:

$$f_{cm} = (70\% \pm 10\%)\, f_C$$

f_C – هي مقاومة البيتون (مقاومة مكعبية أو اسطوانية) المستخدم في المنشأة التي يتم اختبار روابط القص فيها.

إن هذا الإجراء يسمح لنا بإجراء التجربة قبل (28) يوم.

- **إجراء التجربة:**

1. يتم تطبيق (40%) من حمل الانهيار المتوقع وذلك بالتدريج. ثم يتم تطبيق الحمل من (5%) للوصول إلى (40%) من حمل الانهيار المتوقع وذلك بتواتر (25) مرة.

2. زيادة التحميل اللاحق يجب أن لا يحدث خطر انهيار في أقل من (15) دقيقة.

3. يتم قياس الانزلاق بين السطح البيتوني وسطح المقطع الفولاذي على مدار إجراء التجربة أو على الأقل عند كل زيادة للحمل.

- **تقويم التجربة:**

1. يتم رسم المنحني مابين الانزلاق δ والحمل المطبق P كما هو مبين على الشكل (2-3-2).

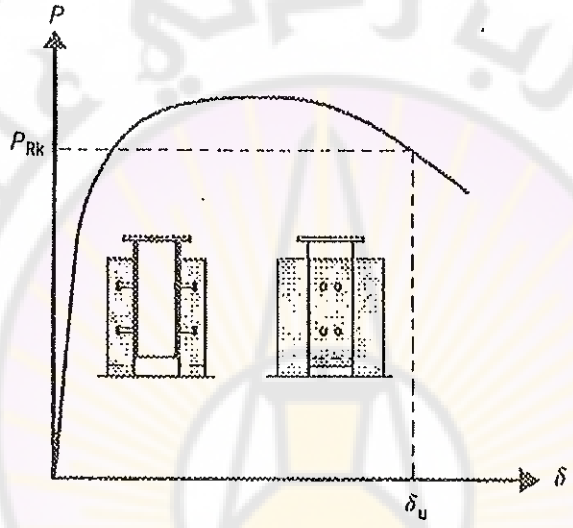
2. يتم تعيين المقاومة التصميمية لوصلة القص بالعلاقة:

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rko}}{\gamma_V}$$

P_{Rko} – وهو حمل الانهيار ويؤخذ $P_{Rko} = 0.9*P_{Rk}$

P_{Rk} – حمل الانهيار.

γ_V – معامل أمان ويعتمد $\gamma_V = 1.25$.



الشكل (2-3-2) العلاقة بين قوة التحميل والانزلاق في تجربة اختبار وصلة القص

مع ملاحظة أن حمل الانهيار يؤخذ لوصلة قص واحدة وذلك بتقسيم حمل الانهيار على عدد وصلات القص، أو مسامير القص المستخدمة في التجربة.

3. يتم تعيين الانزلاق $\delta_{uk} = 0.9*\delta_u$. وقد أظهرت التجارب التي جرت عند التحميل الديناميكي والستاتيكي معاً أن وصلات القص سوف لن تنهار طالما بقيت الحمولة الكلية أقل من الحمولة الحدية المعرفة على أنها الحمولة التي تسبب انزلاقاً مقداره (0.076mm.).

7-3- المقاومة التصميمية للمقطع المختلط (الطريقة الحدية) وجسد المقطع الفولاذي لدن أو مكتنز:

Flexural Strength of Composite Cross Section of Plastic or Compact Steel Beam Web

بما أن الطريقة المتبعة في التصميم هي الطريقة الحدية، فإن الفولاذ سيصل بالكامل إلى اللدونة (إجهاد السيلان) وكذلك الجزء المضغوط من البلاطة البيتونية سيصل إلى الإجهاد $0.45*f_{cu}$ أي 45% من المقاومة المكعبية للبيتون على عمر /28/ يوم.

7-3-1- في منطقة العزم الموجب: For Positive Moment

هذا يعني بأن البيتون مضغوط والمقطع الفولاذي مشدود كلياً أو جزئياً. ولنعرف قوة الضغط في البيتون

$$F_C = 0.45*f_{cu}*B_e*D_S$$

D_S – سماكة البلاطة البيتونية.

قوة الشد في المقطع الفولاذي:

$$F_t = A*P_Y$$

A – هي مساحة المقطع الفولاذي.

وهنا نميز حالتين:

- حالة المحور المحايد اللدن يقع ضمن البلاطة البيتونية المسلحة أي:

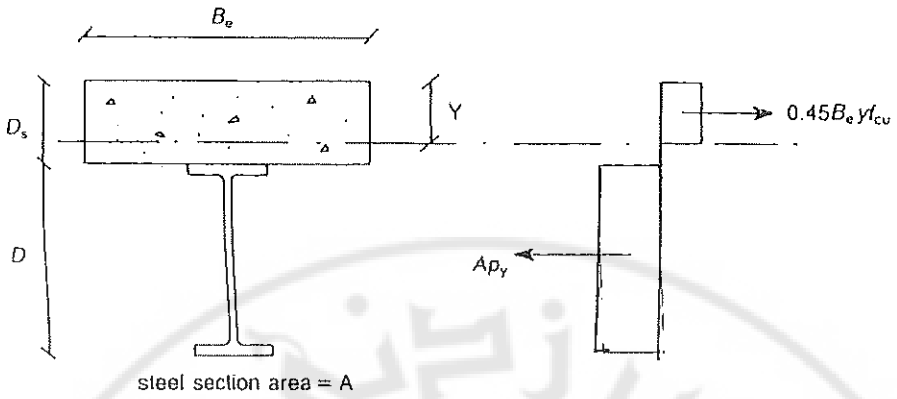
$$F_C > F_t$$

- حالة المحور المحايد اللدن يقع ضمن المقطع الفولاذي:

$$F_t > F_C$$

7-3-1-1- حالة المحور المحايد اللدن يقع ضمن البلاطة البيتونية المسلحة:

يبين الشكل (3-1-1-1) توزع الإجهادات في المقطع.



الشكل (3-1-1-1) توزع الإجهادات في المقطع المركب لحالة المحور المحايد اللدن ضمن البلاطة البيتونية المسلحة

D – ارتفاع المقطع الفولاذي الإجمالي.

من معادلات التوازن نجد:

- من معادلة الاسقاط

$$A*P_Y = 0.45*f_{cu}*Y*B_e \qquad (1)$$

- بأخذ معادلة توازن العزوم عند مركز تطبيق محصلة الضغط في البيتون نجد العزم المقاوم للمقطع المركب:

$$M = A*P_Y*(0.5*D+D_S-0.5*Y) \qquad (2)$$

7-3-1-2- حالة المحور المحايد اللدن يقع ضمن المقطع الفولاذي:

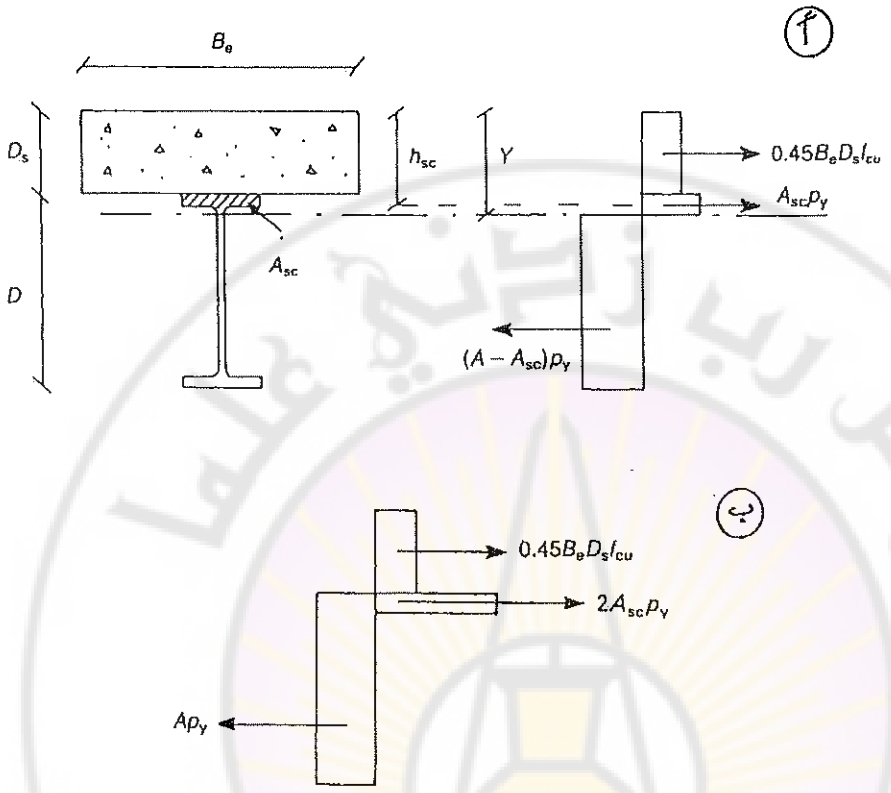
يبين الشكل (3-1-2-1-أ) توزع الإجهادات في المقطع المدروس. ومن معادلة التوازن (الإسقاط) نجد:

$$0.45*f_{cu}*D_S*B_e + A_{SC}*P_Y = (A-A_{SC})*P_Y$$

$$0.45*f_{cu}*D_S*B_e + 2*A_{SC}*P_Y = A*P_Y \qquad (3)$$

A_{SC} – مساحة الجزء المضغوط من المقطع الفولاذي.

يعبر عن المعادلة رقم (3) بمخطط الإجهادات المبين على الشكل (3-1—2-ب).



الشكل (3-1-2-1) توزع الإجهادات في المقطع المركب لحالة المحور المحايد اللدن ضمن المقطع الفولاذي

ومن معادلة التوازن (بأخذ العزوم عند مركز تطبيق محصلة الضغط في البيتون):

$$M = A*P_Y*(0.5*D+0.5*D_S) - 2*A_S*P_Y*(h_s - 0.5*D_S) \quad (4)$$

h_s — هو بعد مركز ثقل الجزء المضغوط من المقطع الفولاذي.

وهنا نميز حالتين:

- حالة المحور المحايد يقع ضمن سماكة جناح المقطع الفولاذي T_f ويتحقق ذلك:

$$(B_f * T_f) \geq A_{SC}$$

في هذه الحالة يكون الجناح المضغوط المتصل بالبلاطة ممنوع من التحنيب الجانبي والجسد في حالة شد أي الجسد يصنف لدن كما هو مبين في فقرة تصنيف المقاطع المبية أعلاه.

- حالة المحور المحايد يقع ضمن جسد المقطع الفولاذي ويتحقق ذلك:

$$(B_f * T_f) < A_{SC}$$

7-3-1-3- التصميم الاقتصادي للمقاطع الفولاذية:

يكون عمل المقطع المركب مثالياً عندما يكون المقطع البيتوني أو البلاطة البيتونية معرضاً بالكامل إلى إجهادات ضاغطة، أي أن المحور المحايد اللدن يقع عند سطح الاتصال مابين جناح المقطع والبلاطة البيتونية. وهذا يتحقق طالما:

$$Y = D_S$$

وبالتعويض في المعادلة رقم (2) نجد مساحة المقطع الفولاذي المطلوبة:

$$A = \frac{2 * M}{P_Y * (D + D_S)} \qquad (5)$$

M – هو العزم الخارجي المطبق (المصعد)

مع الانتباه إلى أنه تم إهمال مشاركة فولاذ تسليح البلاطة في هذه العلاقة وهذا لصالح الأمان. ويتم التصميم اعتماداً على العلاقة رقم (5) كما يلي:

- يتم فرض نوع الفولاذ وسماكة الجناح ليتم تحديد قيمة إجهاد السيلان التصميمي P_Y.

• يتم فرض ارتفاع المقطع الفولاذي D. في حال تم فرض ارتفاع المقطع قيمة صغيرة فنحصل على مساحة المقطع المطلوبة A كبيرة، وفي هذه الحالة يجب التحقق من السهم.

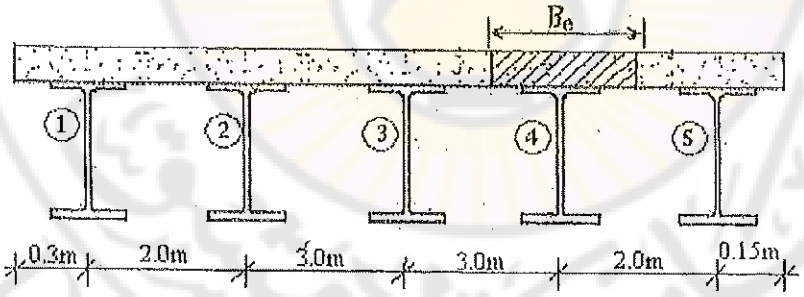
• استناداً على المساحة المطلوبة من المعادلة رقم (5). يتم البحث على المقطع الفولاذي المناسب من الجداول، أو بفرض أبعاد جسد المقطع وإيجاد أبعاد الأجنحة (بحيث تكون الأجنحة متساوية وهي حالتنا التصميمية المدروسة).

• بعد تحديد المقطع. يتم التحقق من المعادلة التالية:

$$0.45*B_e*D_S*f_{CU} \geq A*P_Y$$

7-3-2- مثال (1):

لدينا البلاطة البيتونية المبينة على الشكل (3-2-1) محمولة على جوائز فولاذية مقطعها U.B.-457X152X60Kg/m من الفولاذ S-275 بسيطة الاستناد بمجاز فعال 6m. تحمل بلاطة بيتونية بسماكة 12cm. والمطلوب إيجاد العزم التصميمي لكل من الجوائز (5) , (2) في حالتي الإنشاء مدعم وغير مدعم إذا علمت أن المقاومة المكعبية لبيتون البلاطة 28 Mpa.



الشكل (3-2-1) مثال 1

• **إيجاد العرض الفعال B_e**

الجائز (2):

b_{el} ={L_Z/8 = 6/8 = 0.75 m.} or {b/2=2/2=1 m.} = 0.75 m.

b_{er} ={L_Z/8 = 6/8 = 0.75 m.} or {b/2=3/2=1.5 m.} = 0.75 m.

$B_e = b_{el} + b_{er} = 0.75+0.75 = 1.5$ m.

الجائز (5):

b_{el} ={ 6/8 = 0.75 m.} or { 2/2=1 m.} = 0.75 m.

b_{er} ={ 6/8 = 0.75 m.} or {a=0.15 m.} = 0.15 m.

$B_e = b_{el} + b_{er} = 0.75+0.15 = 0.9$ m.

- **اختبار موقع المحور اللدن:**

من جداول المواصفات نجد المواصفات الهندسية للمقطع:

$A = 76.2\ cm^2$, $T_f = 13.3$ mm , $d = 407.6$ mm , $t_w = 8.1$ mm

$T_f < 16 \Rightarrow P_Y = 275\ N/mm^2$

الجائز (2):

قوة الشد في المقطع الفولاذي:

$F_t = 7620*275 = 2095$ Kn

قوة الضغط في البلاطة البيتونية:

$F_C = 0.45*28*1500*120 = 2268$ Kn.

بما أن $F_C = 2268 > F_t = 2095$ Kn

إذاً فالمحور السليم اللدن يقع ضمن البلاطة البيتونية. في هذه الحالة فإن المقطع الفولاذي معرض بالكامل إلى إجهادات شد بقيمة P_Y أي غير معرض إلى التحنيب.

الجائز (5):

قوة الضغط في البلاطة البيتونية:

$F_C = 0.45*28*900*120 = 1360.8$ Kn.

بما أن $F_t = 2095 > F_C = 1360.8$ Kn

إذاً فالمحور السليم اللدن يقع ضمن المقطع الفولاذي. في هذه الحالة فإن المقطع الفولاذي يتعرض جزء منه إلى إجهادات ضغط لذلك يجب اختبار تصنيفه.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{275}{P_Y}} = 1.0$$

تصنيف الجناح العلوي المضغوط الموصول بالبلاطة البيتونية عبر وصلات قص:

حسب فقرة تصنيف الجناح المضغوط نجد:

$$\frac{b}{T_f} = 5.7 \le 10 * \varepsilon$$

والجناح لدن.

تصنيف الجسد:

$$R_V = 407.6*8.1*275 = 908 \text{ Kn.}$$

$$(-F_C/R_V) = -1360.8/908 = -1.5 < -1 \Rightarrow (-F_C/R_V) \approx -1$$

$$\frac{d}{t} \le \frac{64 * \varepsilon}{1+r} = \infty$$

وبالتالي فالجسد لدن.

- **العزم التصميمي في حالة المنشأ المدعم:**

الجائز (2): /حالة المحور اللدن ضمن البلاطة البيتونية/

يتم إيجاد عمق منطقة الضغط في البلاطة البيتونية من المعادلة رقم (1):

$$Y = \frac{A * P_Y}{0.45 * f_{cu} * B_e} = \frac{2095000}{0.45*28*1500} = 110.8mm$$

يؤخذ العزم التصميمي في هذه الحالة من المعادلة رقم (2) كما هو مبين أعلاه:

$$M=2095*(0.5*454.6+120-0.5*110.8)*10^{-3} = 611.5 \text{ Kn.m}$$

الجائز (5): /حالة المحور اللدن ضمن المقطع الفولاذي /

يتم إيجاد مساحة الفولاذ المضغوط من المقطع الفولاذي انطلاقا من المعادلة رقم (3):

$$0.45*28*120*900+2*A_{SC}*275=2095000$$

$$A_{SC}=1335 \text{ mm}^2$$

بما أن:

$$B_f*T_f=152.9*13.3=2033 > 1335\ mm^2$$

وبالتالي فالمحور اللدن يقع ضمن جناح المقطع الفولاذي أي أن الجسد مشدود ولا داعي لتصنيفه.

تحديد البعد h_s:

$$152.9*T = 1335 \Rightarrow T = 8.7\ mm.$$

$$h_s = 0.5*T+D_S = 124.3\ mm.$$

من المعادلة رقم (4) نجد العزم التصميمي لهذا الجائز:

$$M=2095000*(0.5*454.6+0.5*120)-2*1335*275*(124.3-0.5*120)$$

$$M = 554\ Kn.m$$

- **العزم التصميمي في حالة الإنشاء غير المدعم:**

في هذه الحالة يعمل فقط المقطع الفولاذي كجائز ممنوع من التحنيب الجانبي كما هو مبين أعلاه. وبالتالي للجائزين (2) و(5) لهما عزم تصميمي واحد في حالة الإنشاء غير المدعم.

$$\frac{b}{T_f} = 5.7 \le 9*\varepsilon \Rightarrow Plastic$$

$$\frac{d}{t} = 50 < 80*\varepsilon \Rightarrow Plastic$$

وبالتالي فالمقطع لدن.

$$M=P_Y*S_X \le 1.2*P_Y*Z_X$$

$$1290 < 1.2*1120=1344\ cm^3$$

$$M=275*1290000 = 354.7\ Kn.m$$

مثال (2):

المطلوب تصميم مقطع فولاذي يحمل بلاطة بيتونية مسلحة بسماكة D_S=120mm. وعرض فعال B_e=1.5m. ومعرض إلى عزم انعطاف بسيط مصعد M=600Kn.m. علماً بأن الفولاذ المستخدم هو S-275 والمقاومة المكعبية للبيتون f_{cu}=28N/mm^2.

- بفرض سماكة جناح المقطع الفولاذي (وهي أثخن صفائح المقطع):

$$T_f < 16 \text{ mm.} \Rightarrow P_Y = 275 \text{ N/mm}^2$$

- بفرض ارتفاع المقطع D = 460 mm. ومن المعادلة رقم /5/ نجد مساحة المقطع الفولاذي المطلوبة:

$$A = \frac{2*600*10^6}{275*(460+120)} = 7524mm^2$$

ومن الجداول نجد المقطع

U.B.-457X152X60 Kg/m

فيه $A=7620 \text{ mm}^2$, $T_f = 13.3 < 16$ mm.

- التحقق

0.45*1500*120*28=2268000 > 7620*275=2095500 Kn.

7-3-3- في منطقة العزم السالب: For Negative Moments

هذا يعني بأن البيتون مشدود ونعتبره متشققاً خارجاً عن العمل أي أن قوة الشد التي يتحملها بيتون البلاطة تساوي الصفر، أما المقطع الفولاذي فهو مضغوط جزئياً أو كلياً.

لنعرف القوى التالية:

مقاومة جناح المقطع الفولاذي

$$F_f = B*T*P_Y$$

مقاومة الجسد الكلية

$$R_W = F_t - 2*F_f$$

للمقاطع المجمعة باللحام يكون $R_W = R_V$

ويكون المقطع لدناً أو مكتنزاً عندما يكون الجناح السفلي لدناً أو مكتنزاً والجسد كما هو مبين في فقرة تصنيف المقاطع

$$\frac{d}{t} \le 38 * \varepsilon$$

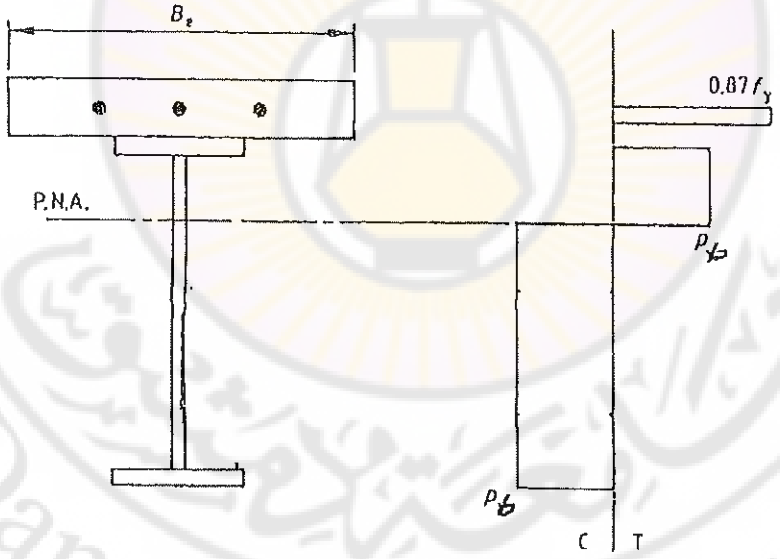
أو

$$\frac{d}{t} \le \frac{76 * \varepsilon}{1 + r}$$

- حالة المحور اللدن يقع في جسد المقطع الفولاذي، ويتحقق ذلك عندما يكون:

$$R_r < R_w$$

يبين الشكل (3-3-1) مخطط توزع الإجهادات في المقطع المركب في منطقة العزم السالب، حيث يعبر الرمز T إلى منطقة الإجهادات الشادة وC إلى منطقة الإجهادات الضاغطة. ويتم تحديد عزم الانعطاف التصميمي السالب في حالة الإنشاء المدعم باعتماد:



الشكل (3-3-1) توزع الإجهادات في المقطع المركب في منطقة العزم السالب

إجهاد الشد في البيتون مساوياً الصفر.

إجهاد الشد في كافة قضبان التسليح الطولي ضمن العرض الفعال للبلاطة البيتونية مساوياً إلى:

$$0.87*f_y$$

f_y – إجهاد سيلان قضبان فولاذ التسليح.

يتم تحديد إجهاد الانعطاف التصميمي للمقطع الفولاذي P_b باعتماد:

$$\lambda_{LT} = u*v*\lambda*\sqrt{\beta_W}$$

$$\lambda = \frac{L_E}{r_y}$$

L_E – الطول الفعال للمقطع الفولاذي وهو المسافة من نقطة انعدام العزم حتى طرف الاستناد، أي هو المسافة غير المدعمة للجناح السفلي المضغوط. كما هو مبين على الشكل (3-3-2).

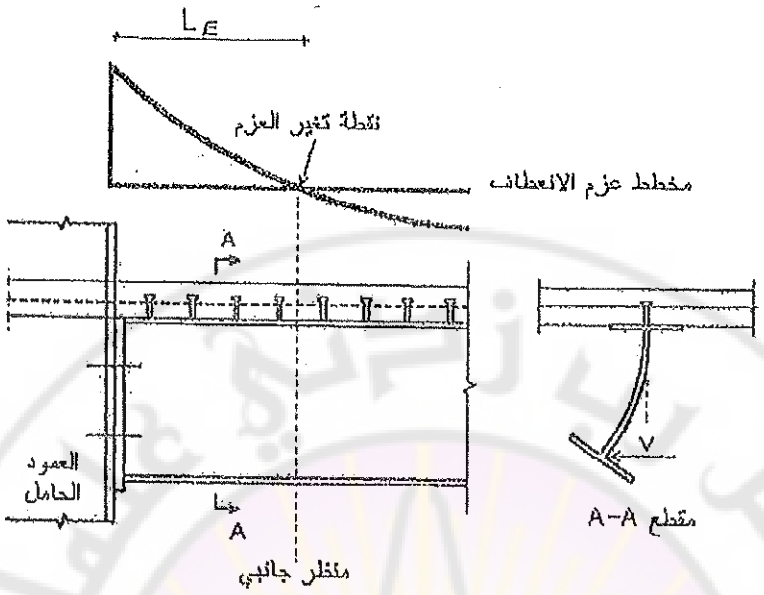
مع الملاحظة، بأنه يتم تخفيض العزم الخارجي المطبق المصعد بمقدار 15%.

إن التحنيب المحلي للمقطع الفولاذي يمكن أن يخفض مقاومة العزم للمقطع لتصبح أقل من العزم اللدن. ولتجنب التحنيب المحلي في منطقة العزم السالب للمقاطع اللدنة أو المكتنزة المدرفلة على الساخن، نقوم بتقييد الجناح السفلي المضغوط للمقطع الفولاذي كما هو مبين على الشكل (3-3-2) وبالتحديد نقوم بتصغير الطول الفعال L_E. حيث نحصل على التباعد الأعظمي بين المدعمات استناداً إلى نسبة النحافة الحدية λ_{LO} بالشكل التالي:

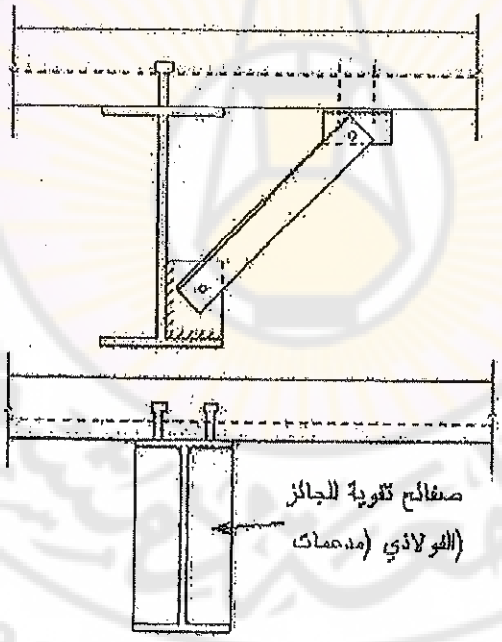
$$\lambda_{LT} = \lambda_{LO}$$

$$\lambda_{LO} = 0.4 * \sqrt{\frac{\pi^2 * E_S}{P_Y}}$$

وعندها يكون $P_b = P_Y$



تحنيب الجائز المركب في منطقة العزم السالب



تقييد الجناح السفلي لمنع التحنيب الجناح

الشكل (3-3-2) الجائز المركب في منطقة العزم السالب

- حالة المحور اللدن يقع في جناح المقطع الفولاذي ويتحقق ذلك عندما يكون:

$$R_r \geq R_w$$

وهنا نميز حالتين:

الحالة الاولى: $R_r < F_t$

في هذه الحالة يكون المحور اللدن حكما ضمن فولاذ الجناح العلوي للمقطع الفولاذي، وبالتالي يكون المقطع معرضاً للضغط ماعدا جزء من الجناح العلوي. وتعود المسألة كما هو مبين أعلاه.

الحالة الثانية: $R_r \geq F_t$

في هذه الحالة يكون المحور اللدن خارج المقطع الفولاذي. ويكون المقطع الفولاذي معرضا للضغط بالكامل، وهنا الإجهاد المسيطر هو إجهاد الضغط المسموح به P_C في حالة التحنيب استنادا إلى نسبة النحافة المبينة أعلاه:

$$\lambda_Y = \frac{L_E}{r_y}$$

كما هو مبين على الشكل (3-3-2) وبالتحديد نقوم بتصغير الطول الفعال L_E. حيث نحصل على التباعد الأعظمي بين المدعمات استنادا إلى نسبة النحافة الحدية λ_O بالشكل التالي:

$$\lambda_Y = \frac{L_E}{r_y} = \lambda_O$$

$$\lambda_O = 0.2 * \sqrt{\frac{\pi^2 * E_S}{P_Y}}$$

وفي حال تحقق الشرط:

$$\lambda_X = \frac{L_E}{r_X} \leq \lambda_O$$

وعندها يكون $P_C = P_Y$

ويعطى العزم التصميمي للمقطع المركب بالعلاقة التالية:

$$M = F_t*(0.5*D+D_r)$$

D_r – هي المسافة من أعلى المقطع الفولاذي حتى مركز التسليح.

Damascus University

7-4- المقاومة التصميمية للمقطع المختلط (الطريقة الحدية) وجسد المقطع الفولاذي نصف مكتنز:

Flexural Strength of Composite Cross Section of Semi-Compact Steel Beam Web

بما أن الطريقة المتبعة في التصميم هي الطريقة الحدية، فإن فولاذ المقطع لن يصل بالكامل إلى اللدونة (إجهاد السيلان) أما الجزء المضغوط من البلاطة البيتونية سيصل إلى الإجهاد $0.45*f_{cu}$.

7-4-1- في منطقة العزم الموجب: For Positive Moment

هذا يعني بأن البيتون مضغوط والمقطع الفولاذي مشدود كلياً أو جزئياً.

- حالة المحور المحايد اللدن يقع ضمن البلاطة البيتونية المسلحة أو ضمن جناح المقطع الفولاذي. يتم حساب العزم التصميمي كما هو مبين للمقطع اللدن أو المكتنز.
- حالة المحور المحايد اللدن يقع ضمن جسد المقطع الفولاذي ويتحقق ذلك طالما:

$$F_C < R_W$$

يبين الشكل (4-1-1) توزع الإجهادات في المقطع المركب. ونعرف القوة في الجسد نصف المكتنز المعرض للضغط:

$$R_O = 38*\epsilon*t^2*P_Y$$

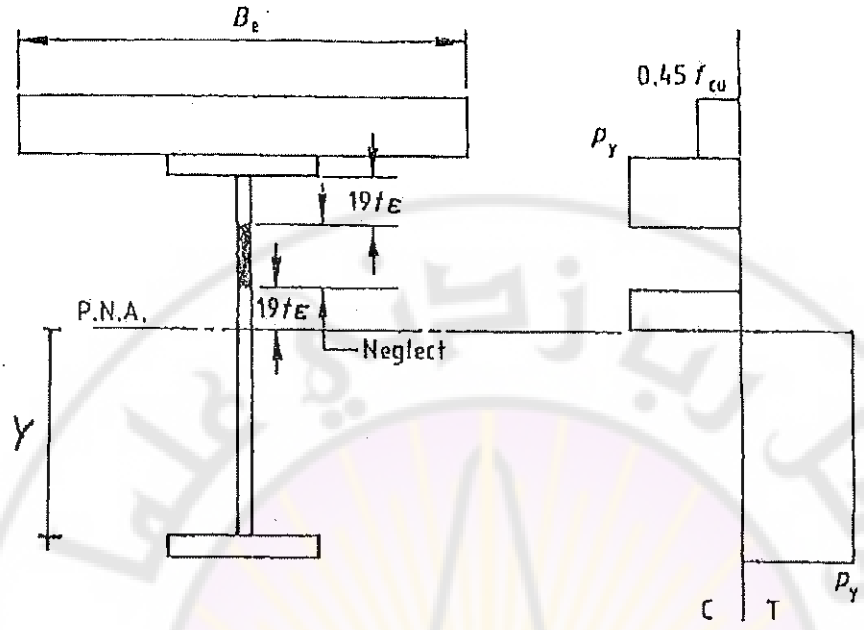
t- سماكة جسد المقطع الفولاذي.

نعرف القوة في الجزء المشدود من جسد المقطع الفولاذي:

$$F_{wt} = t*P_Y*Y$$

بما أن جناحي المقطع الفولاذي متساويان والجناح العلوي المضغوط ممنوع من التحنيب الجانبي والجناح السفلي مشدود فإن:

$$F_{fc} = F_{ft}$$



الشكل (4-1-1) توزع الإجهادات في المقطع المركب – جسد المقطع نصف مكتنز

بأخذ معادلة التوازن بإسقاط القوى في المقطع للجائز المركب

$$F_{ft} + F_{wt} = R_O + F_{fc} + F_C$$

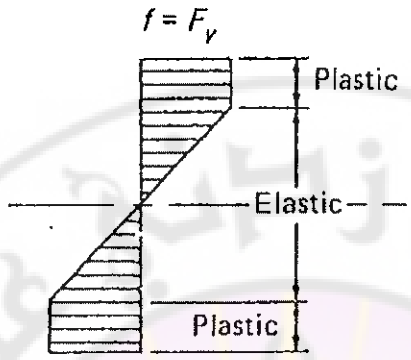
$$F_{wt} = R_O + F_C \qquad (6)$$

من المعادلة رقم (6) نجد موقع المحور اللدن بتحديد قيمة / Y / المبينة على الشكل وهي المسافة المشدودة من جسد المقطع. ثم يتم تحديد المسافة المهملة Neglect من جسد المقطع المبينة على الشكل.

$$Ne = d - Y - 38*t*\varepsilon \qquad (7)$$

في حالة $Ne \leq 0.0$ هذا يعني بأن المحور اللدن يقع في جزء الجسد الذي يستطيع تحمل الإجهاد اللدن P_Y كما هو مبين على الشكل (4-1-2).

• حالة الإنشاء غير المدعم. كما هو مبين فإن المقطع الفولاذي هو الجزء من المقطع المركب الذي يقع عليه مقاومة الأحمال المبينة في فقرة المواصفات الهندسية للجوائز المركبة.



الشكل (4-1-2) توزع الإجهادات في جسد المقطع نصف المكتنز

في حال كانت النسبة:

للمقاطع المدرفلة $\frac{d}{t} > 70 * \varepsilon$

للمقاطع الملحومة $\frac{d}{t} > 62 * \varepsilon$

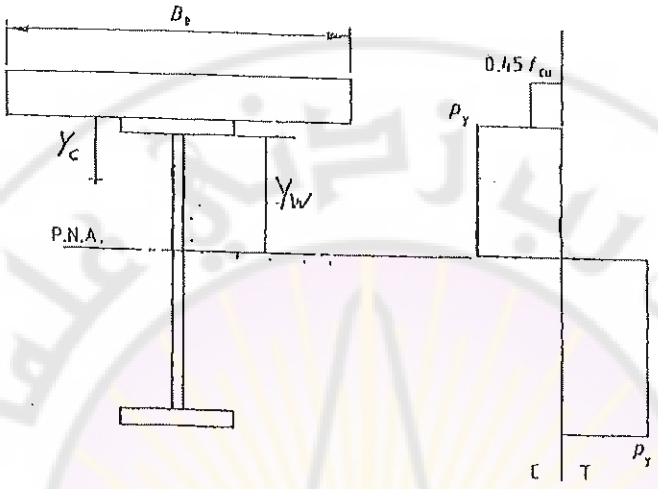
عندها يتم تصميم المقطع الفولاذي كجائز صفائحي Plate girder ويكون العزم المقاوم للمقطع هو العزم الناجم عن أجنحة المقطع فقط. أي:

$$M = F_f*(D-T)$$

7-4-2- مثال (3):

أوجد العزم التصميمي للجائز المبين في الشكل (4-2-1) في حالتي العرض الفعال للبلاطة البيتونية B_e=900mm. وB_e=1500mm. وسماكة البلاطة البيتونية المسلحة D_s=100mm. مع الأخذ بعين الاعتبار الإنشاء المدعم والإنشاء غير المدعم. إذا علمت

بـأن فـولاذ المقطـع الفـولاذي مـن الـصنف S-275 والمقاومـة المكعبيـة لبيتـون البلاطـة $f_{cu}=25N/mm^2$.



الشكل (**4–2–1**) مثال (**3**) حالة .B_e = 1500 mm

المقطـع الفـولاذي مجمـع عـن طريـق اللحـام بأجنحـة متـساوية B=280mm. والجسد T=16mm. d=1140mm. t=10mm.

$$A=2*280*16+1140*10=20360mm^2$$

$$T=16 \Rightarrow P_Y=275\ N/mm^2 \Rightarrow \varepsilon = 1.0$$

$$F_t = 275*20360 = 5599\ KN.$$

$$F_f = 280*16*275 = 1232\ KN.$$

$$R_W = 5599 - 2*1232 = 3135\ KN. = R_V = 275*1140*10$$

$$R_O = 38*1*10^2*275 = 1045\ KN.$$

- حالة الإنشاء المدعم:

حالة العرض الفعال: B_e = 900 mm.

$F_C = 0.45*25*900*100 = 1012.5$ KN.

اختبار المقطع:

الجناح:

الجناح لدن $b/T = 135/16 = 8.4 < 9*\varepsilon$

الجسد:

الجسد ليس مكتنزا $\frac{d}{t} = 114 > \frac{76*\varepsilon}{1-0.32} = 111.8$

$r = -1012.5 / 3135 = -0.32 > -1$

$$r < 0 \Rightarrow \frac{d}{t} = 114 < \frac{114*\varepsilon*(1-0.32)}{(1-2*0.32)^{1.5}} = 358$$

وبالتالي فالجسد نصف مكتنز.

بما أن:

$F_C = 1012.5 < R_W = 3135$ KN.

فالمحور اللدن يقع في جسد المقطع الفولاذي

بتطبيق المعادلة رقم (6):

$10*275*Y = 1045000 + 1012500$

$Y = 748.18$ mm.

بتطبيق المعادلة رقم (7):

$N_e = 1140 - 748.18 - 38*10*1 = 11.82$ mm.

بأخذ توازن العزوم في مركز تطبيق قوة الضغط في البيتون. يكون العزم التصميمي:

$M = 2862$ KN.m.

حالة العرض الفعال $B_e = 1500$ mm.:

$$F_C = 0.45*25*1500*100 = 1687.5 \text{ KN.}$$

اختبار المقطع:

الجناح: لدن كما هو مبين أعلاه.

الجسد:

الجسد لدن $\frac{d}{t} = 114 < \frac{64*\varepsilon}{1-0.54} = 139$

$$r = -1687.5 / 3135 = -0.54 > -1$$

هذا يعني بان المحور اللدن يقع في جزء الجسد الذي يستطع تحمل الإجهاد اللدن وبالتالي لا يوجد مسافة مهملة من الجسد. وبالتالي فإن جزء من الجسد المضغوط معرض بالكامل إلى إجهادات لدنة P_Y.

بتطبيق المعادلة رقم (6):

$$Y = 993.6 \text{ mm.}$$

بتطبيق المعادلة رقم (7):

$$N_e = -233.6 < 0$$

بما أن:

$$F_C = 1687.5 < R_W = 3135 \text{ Kn.}$$

فالمحور اللدن يقع في جسد المقطع الفولاذي.

من المعادلة رقم (3):

$$1687500 + 2*A_S*275 = 5599000$$

$$A_S = 7111 \text{ mm}^2$$

مساحة الجناح:

$$A_f = 280*16 = 4480 \text{ mm}^2 < A_S$$

مساحة الجسد المضغوطة:

$$A_{WS} = 7111 - 4480 = 2631 \text{ mm}^2$$

$$10*Y_W = 2631 \Rightarrow Y_W = 263.1 \text{ mm.}$$

نوجد مركز ثقل المساحة المضغوطة من المقطع الفولاذي A_S بأخذ محور المقارنة المار من سطح التماس بين المقطع الفولاذي والبلاطة البيتونية:

$$Y_C=[280*16*8+263.1*10*(16+0.5*263.1)] / 7111$$

$$Y_C = 59.6 \text{ mm.}$$

$$h_S = D_S + Y_C = 159.6 \text{ mm.}$$

ويكون العزم المقاوم للمقطع المركب من المعادلة رقم (4):

$$M = 5599000*(0.5*1172+0.5*100)-2*7111*275*(159.6-0.5*100)$$

$$M = 3132 \text{ KN.m.}$$

- حالة الإنشاء غير المدعم:

كما مر معنا فإن العزم المقاوم هو للمقطع الفولاذي فقط وبما أن

$$\frac{d}{t} > 62 * \varepsilon$$

فإن العزم المقاوم بغض النظر عن العرض الفعال للبلاطة البيتونية:

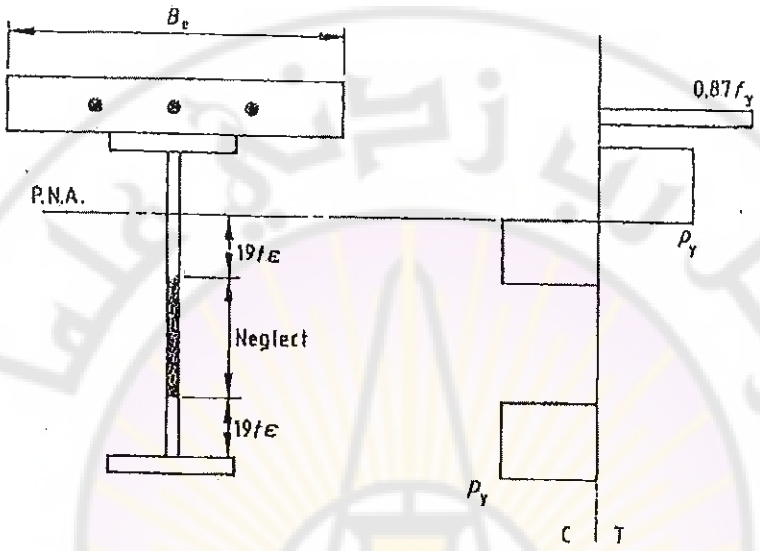
$$M = 1232000*(1172-16) = 1424 \text{ KN.m.}$$

7-4-3- في منطقة العزم السالب: For Negative Moments

كما مر معنا في المقاطع الفولاذية اللدنة والمكتنزة فإن فولاذ التسليح ضمن منطقة العرض الفعال للبلاطة هو الذي يتحمل قوة الشد بشكل كامل أو أن يشارك المقطع الفولاذي بهذا الشد.

يبين الشكل (4-3-1) توزع الإجهادات اللدنة في المقطع المركب. نعرف مقاومة المقطع نصف المكتنز

$$R_n = F_t - R_V + R_O$$



الشكل (4-3-1) توزع الإجهادات اللدنة في المقطع المركب
جسد المقطع نصف مكتنز – منطقة العزم السالب

- حالة المحور اللدن في الجسد: يتم تصميمه اعتمادا على تصميم الجائز الصفائحي.

$$R_r < R_O$$

- حالة المحور اللدن لايقع في جسد المقطع الفولاذي $R_r \geq R_O$

حالة المحور اللدن يقع في جناح المقطع الفولاذي العلوي $R_r < R_n$

حالة المحور الدن يقع خارج المقطع الفولاذي $R_r \geq R_n$ عندها يؤخذ الإجهاد المسموح به على الضغط اعتمادا على تصميم عمود نحيل المقطع.

7-5- تحمل المقطع المركب على القص:

Shear Capacity of Composite Beam

يتم تحميل القص الشاقولي المطبق على المقطع المركب إلى المقطع الفولاذي فقط.

حيث تعطى مقاومة القص للمقطع الفولاذي:

$$P_V = 0.6*P_Y*A_V$$

$$P_V \geq F_V$$

F_V – قوة القص الخارجية المطبقة المصعدة.

$A_V = D*t$ مساحة القص لحالة المقاطع I , H المدرفلة.

$A_V = d*t$ مساحة القص لحالة المقاطع I , H الملحومة.

القص صغير:

يعتبر القص صغيرا إذا تحقق $F_V \leq 0.5*P_V$ عندها يكون العزم المقاوم للمقطع المركب هو العزم المبين أعلاه.

القص كبير:

يعتبر القص كبيرا إذا تحقق $F_V > 0.5*P_V$ عندها يجب تخفيض العزم المقاوم للمقطع المركب المبين أعلاه كما يلي:

$$M_{CV} = M - (M-M_f)*[2*(F_V/P_V) - 1]^2$$

M – هو العزم المقاوم اللدن للمقطع المركب أو المختلط المبين أعلاه.

M_f – هو العزم المقاوم اللدن للمقطع المركب بعد حذف مساحة القص A_V.

7-6- تحمل روابط القص: Capacity of shear connectors

كما هو مبين أعلاه، فإن مهمة روابط القص تحمل نقل قوى القص الطولي Longitudinal shear بين بيتون البلاطة والمقطع الفولاذي الناجمة عن تطبيق الأحمال الخارجية المصعدة، بدون أن يتسبب ذلك بأية تهشمات في بيتون البلاطة ومنع الانزلاق بين البيتون والمقطع الفولاذي.

تعطى طاقة تحمل وصلة القص التصميمية في البلاطة المصمتة بالشكل التالي:

- ضمن مجاز العزم الموجب – البيتون مضغوط –

$$Q_P = 0.8 * Q_K$$

- ضمن مجاز العزم السالب – البيتون مشدود –

$$Q_n = 0.6 * Q_K$$

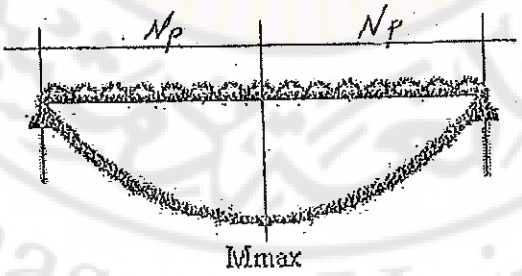
Q_K – مقاومة مسمار القص المبينة أعلاه في فقرة روابط القص.

7-6-1- تحديد عدد وصلات القص: Total number of shear connectors

ضمن مجاز العزم الموجب:

يتم تحديد عدد مسامير القص لكل جانب من العزم الأعظمي الموجب كما هو مبين على الشكل (6-1-1) بالعلاقة التالية:

$$N_P = F_P / Q_P$$



الشكل (6-1-1) روابط القص في منطقة العزم الموجب

F_P – قوة الضغط الطولية في البلاطة البيتونية عند نقطة العزم الموجب الأعظمي.

باعتماد التصميم الحدي تكون القوة F_P هي الأصغر مابين القوتين:

- $F_C = 0.45*f_{cu}*B_e*D_S$ المبينة في الفقرة (3-1)
- $F_t = A*P_Y$ المبينة في الفقرة (3-1)

ويتم توزيع عدد المسامير N_P بشكل منتظم بين نقطة العزم الأعظمي ونقطة انعدام العزم.

ضمن مجاز العزم السالب:

يتم تحديد عدد مسامير القص لكل جانب من العزم الأعظمي السالب بالعلاقة التالية:

$$N_n = F_n / Q_n$$

F_n – قوة الشد الطولية في البلاطة البيتونية المسلحة وتعتمد:

$$F_n = 0.87*f_y*A_r$$

f_y إجهاد سيلان فولاذ التسليح في البلاطة البيتونية.

A_r مساحة مقطع فولاذ التسليح ضمن العرض الفعال للبلاطة البيتونية المسلحة.

ويتم توزيع عدد المسامير N_n بشكل منتظم بين نقطة العزم الأعظمي ونقطة انعدام العزم.

7-6-1-1- تحقيقات إضافية لكفاية وصلات القص:

Additional checks on the adequacy of the shear connection

نعرف النقطة الوسطى في مجاز الجائز بالشكل التالي:

- حالة جائز محمل بقوة مركزة ضمن مجازه الموجب Concentrated load within a positive moment region: تكون النقطة الوسطى هي نقطة تطبيق هذه القوة.

- حالة تغير العطالة المفاجئ للمقطع الفولاذي Sudden change of cross section: تكون النقطة الوسطى عند تغير العطالة.

- حالة البلاطات البيتونية الكبيرة Large concrete flanges:

تعتبر البلاطة ذات الجوائز المختلطة أو المركبة كبيرة إذا تحقق الشرط التالي:

$$M_C > 2.5*M_S$$

M_C – العزم المقاوم اللدن للمقطع المختلط. والذي يتم إيجاده كما مر معنا أعلاه.

M_S – العزم المقاوم اللدن للمقطع الفولاذي فقط. والذي يعطى في حالة المقطع الفولاذي اللدن بالعلاقة:

$$M_S = P_Y*S_X \leqq 1.2*P_Y*Z_X$$

S_X – العزم المقاوم اللدن للمقطع الفولاذي حول المحور X-X.

Z_X – العزم المقاوم المرن للمقطع الفولاذي حول المحور X-X.

تعتبر النقطة الوسطى في هذه الحالة، التي تتوسط المسافة بين المسند والعزم الموجب الأعظمي.

يجب التحقق من كفاية عدد وصلات القص بين النقطة الوسطى Intermediate point المعرفة أعلاه والمسند المجاور بالشكل التالي:

$$N_{in} > N_i$$

N_{in} – عدد وصلات القص بين النقطة الوسطى والمسند المجاور لها.

N_i – عدد وصلات القص التصميمي بين النقطة الوسطى والمسند المجاور لها. وتعطى كما يلي:

- حالة العزم الموجب:

$$N_i = N_P * \frac{M_{ui} - M_S}{M_P - M_S} + N_n$$

حيث: $N_i \geq N_n$

M_{ui} – العزم عند النقطة الوسطى من الجائز المعرفة أعلاه.

M_P – العزم المقاوم الحدي للمقطع المركب أو المختلط ضمن مجاز العزم الموجب.

M_S – العزم المقاوم للمقطع الفولاذي فقط، باعتماده جائز ممنوع من التحنيب الجانبي.

- حالة العزم السالب:

$$N_i = N_n * \frac{M_n - M_{ui}}{M_n - M_S}$$

حيث: $N_i \leq N_n$

M_n – العزم المقاوم الحدي للمقطع المركب أو المختلط ضمن مجاز العزم السالب.

وبالتالي يكون العدد الفعلي لوصلات القص بين النقطة الوسطة والمسند المجاور لها هو N_a

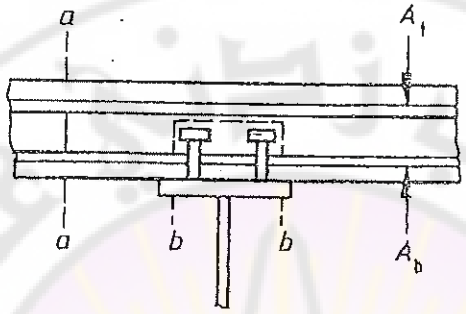
والهدف من هذه التحقيقات الإضافية التأكد من كفاية عدد وصلات القص لمقاومة قوة القص بين البلاطة البيتونية والمقطع الفولاذي. وبسبب التوازن تمثل هذه القوة بقوة الضغط في البلاطة البيتونية وهي مساوية إلى:

$$(N_a - N_n) * Q_P$$

7-6-2- تحقيق وصلات القص على الانزلاق الطولي للبلاطة البيتونية:

Longitudinal splitting of the concrete slab

احتمالات حدوث الانزلاق الطولي في بلاطة بيتونية مسلحة مصمتة مبينة على الشكل (6-2-1):



الشكل (6-2-1) احتمالات حدوث الانزلاق الطولي في بلاطة بيتونية مسلحة مصمتة

• الاحتمال الأول ممثلا بالمقطع (a-a) وهو انكسار البلاطة أي بانقطاع فولاذ التسليح الموزع بواحدة الطول من البلاطة والذي يعبر عنه:

$$A_{SV}(a\text{-}a) = A_b + A_t$$

A_b – مساحة مقطع قضبان التسليح السفلية العمودية على المقطع الفولاذي والموزعة في واحدة الطول.

A_t – مساحة مقطع قضبان التسليح العلوية العمودية على المقطع الفولاذي والموزعة في واحدة الطول.

وكذلك انكسار البيتون بواحدة الطول من البلاطة والذي يعبر عنه:

$$A_{CV}(a\text{-}a) = D_S * [\ 1\ m.\ ]$$

• الاحتمال الثاني ممثلا بالمقطع (b-b) وهو انكسار البلاطة والذي يعبر عنه بانقطاع فولاذ التسليح الموزع بواحدة الطول من البلاطة:

$$A_{SV}(b\text{-}b) = 2 * A_b$$

وكذلك انكسار البيتون بواحدة الطول من البلاطة والذي يعبر عنه:

في حالة وجود مسماري قص بالاتجاه العرضي كما هو مبين في الفقرة (2)

$$A_{CV(b\text{-}b)} = [2*h+S_S+d1]*[\ 1\ m.\ ]$$

في حالة وجود مسمار قص واحد بالاتجاه العرضي

$$A_{CV(b\text{-}b)} = [2*h+d1]*[\ 1\ m.\ ]$$

ويحدث الانهيار وفق الاحتمال الذي يعطي المساحة الأصغر.

وفي كل احتمالات الانهيار يجب أن يتحقق

$$V \leq VR$$

V – قوة القص بين البلاطة البيتونية والمقطع الفولاذي وتعطى بواحدة الطول:

$$V = N*Q_P / S_L$$

N – عدد مسامير القص الموزعة عرضيا، كما هو مبينا على الشكل (2-1).

S_L – المسافة بين مسامير القص على طول الجائز المبينة على الشكل (2-1).

VR – مقاومة البلاطة للقص الطولي وتعطى بالقيمة الأصغر بين:

$$0.7*A_{SV}*f_y + 0.03*\eta*A_{CV}*f_{cu}$$

$$0.8*\eta*A_{CV}*\sqrt{f_{cu}}$$

f_{cu} – المقاومة المكعبية لبيتون البلاطة وتعطى بـ Mpa. بحيث لا تزيد عن

$f_{cu} \leq 40Mpa$

f_y – إجهاد سيلان فولاذ التسليح ويعطى بـ Mpa.

كافة المساحات تعطى بـ mm^2

$\eta = 1.0$ للبيتون العادي (الثقيل).

$\eta = 0.8$ للبيتون الخفيف.

7-7- السهم: Deflection

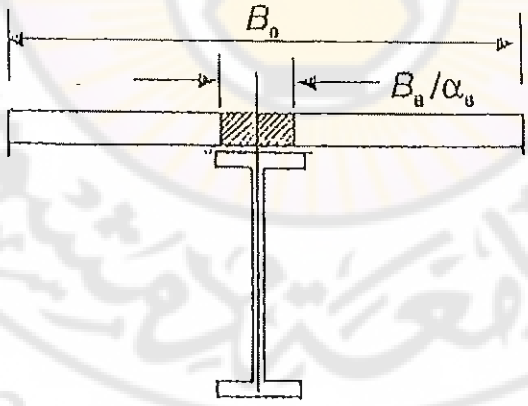
يتم التحقق على السهم تحت الأحمال الاستثمارية أي تحت الأحمال غير المصعدة.

يجب مراعاة الحالات التالية المبينة في الفقرة (1):

- حالة الإنشاء غير المدعم: يتم التحقق على السهم تحت الأحمال ما قبل التصلب وهي الأوزان الذاتية للبلاطة والجائز الفولاذي وأحمال الكوفراج والصب، باعتماد مواصفات المقطع الفولاذي فقط. أما التحقق على السهم لبقية الأحمال الميتة والأحمال الحية فيتم اعتماد مواصفات المقطع المختلط أو المركب.
- حالة الإنشاء المدعم: فيتم التحقق على السهم تحت أية أحمال باعتماد مواصفات المقطع المركب.

السهم لجائز بسيط الاستناد Simply suppoted beams:

إن المخطط الحسابي للمقطع المركب للتحقق على السهم مبين على الشكل (7-1) باعتماد النسبة المعيارية المبينة في الفقرة (1- 1) ويتم اعتماد عزم العطالة للمقطع غير المتشقق.



الشكل (7-1) المخطط الحسابي للمقطع المركب لحساب السهم

السهم لجائز مستمر Continuous beams:

تطبق الأحمال الحية غير المصعدة على كامل فتحات الجائز. وتخفض العزوم السالبة عند المساند

بمقدار 30% للأحمال العادية.

بمقدار 50% لأحمال التخزين.

ويحسب السهم δ_C في وسط المجاز لحالة الجوائز المستمرة المحملة بحمولات موزعة بانتظام أو محملة بحمولات مركزة متناظرة، بالعلاقة التالية:

$$\delta_C = \delta_O * [1 - 0.6 * (M1 + M2) / MO]$$

δ_O – هو السهم المحسوب لجائز بسيط فيه نفس المجاز والأحمال المطبقة.

MO – قيمة العزم الأعظمي للجائز البسيط المحسوب له قيمة السهم δ_O.

M1 , M2 – العزوم عند المساند المجاورة بعد أن يتم تخفيضها كما هو مبين أعلاه.

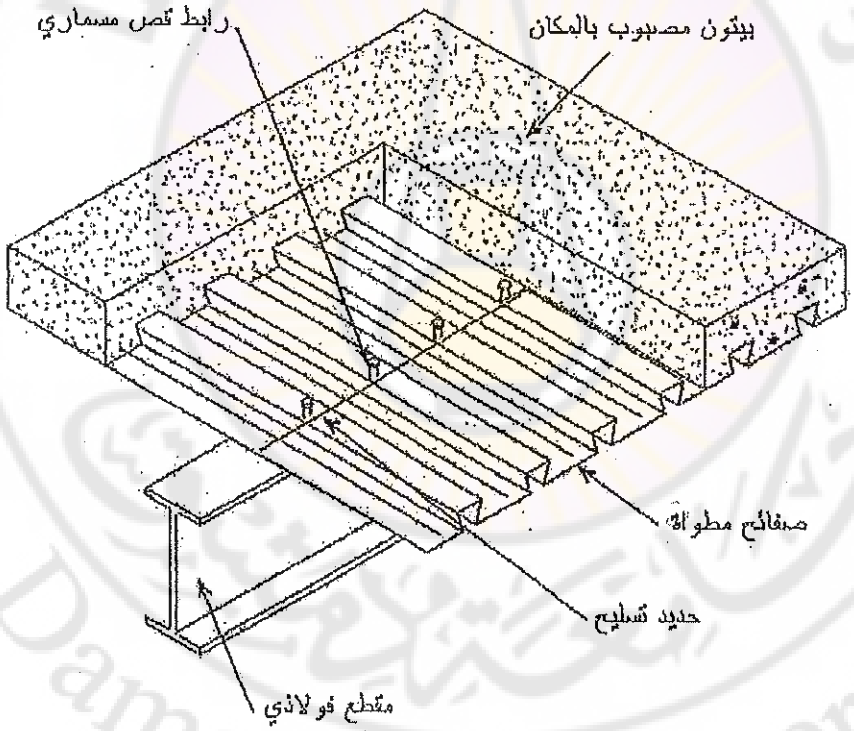
الفصل الثامن

البلاطات المختلطة ذات الصفائح الفولاذية المقواة

Composite Decks

مقدمة: Introduction

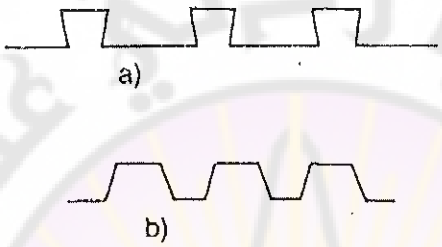
البلاطات المختلطة ذات الصفائح الفولاذية المقواة هي بلاطات مركبة تستخدم المقاطع الفولاذية المدرفلة أو المجمعة مع صفائح فولاذية إنشائية مطويّة لحمل البيتون كما هو مبين على الشكل (1). تأخذ هذه الصفائح أشكالاً عدة ويمكن حصرها بشكلين أساسيين مبيّنين في الشكل (2). واستخدام هذا النوع من البلاطات يؤدي إلى تسريع الإنشاء.



الشكل (1) بلاطة بيتونية على صفائح مطوية

تحمل الصفائح الفولاذية الحمولات الناشئة قبل صب البيتون وأثنائه وأخيراً تعمل يشكل مركب مع البيتون المصبوب.

تعمل الصفائح الفولاذية كقالب دائم. وكتسليح عرضي بعد تصلب البيتون. وفي حال تم تامين التماسك الكافي بين الصفائح والبيتون المصبوب، فإن الصفائح تعمل كتسليح سفلي للأعصاب والبلاطة ضمن المجاز بين الجوائز الفولاذية المتوازية.



الشكل (2) الأشكال الأساسية للصفائح المقواة

يسند الجائز الفولاذي البلاطات المركبة ويعمل معها بشكل مركب عند استخدام روابط قص كافية. ان التباعد بين الجوائز الفولاذية يعتمد على طريقة الإنشاء:

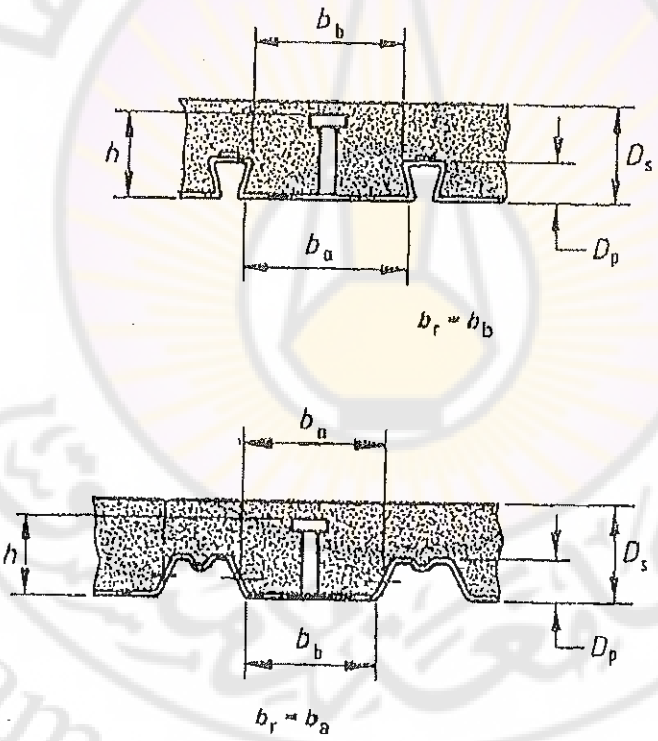
- إذا كان التباعد بين الجوائز حوالي 2.5 m فإننا لا نحتاج إلى تدعيم مؤقت أثناء صب بيتون البلاطة. في هذه الحالة فإن مرحلة الإنشاء تسيطر على تصميم الصفائح الفولاذية. تكون الإجهادات في البلاطة البيتونية في الحالة النهائية بعد تصلب البيتون صغيرة جداً.
- في البلاطات التي يكون فيها التباعد بين الجوائز أكبر من .2.5m يكون استخدام التدعيم ضرورياً لحمل الصفائح الفولاذية أثناء صب البيتون. بسبب طول فتحة البلاطة الكبير فإن الإجهادات تكون عالية في البلاطة البيتونية عند الانتهاء. في هذه الحالة يجب تأمين مقاومة تماسك جيدة للقص الأفقي في الصفائح الفولاذية. ويتم غالباً استخدام صفائح فولاذية متداخلة مما يؤدي إلى وزن أكبر للفولاذ في المتر المربع من المساحة الطابقية.

يتم إنشاء البلاطات ذات الصفائح المقواة بوضع أعصاب هذه الصفائح باتجاه واحد، أي تمتد البلاطات بين الجوائز الثانوية المستندة على الجوائز الرئيسية. لذلك تأخذ أعصاب الصفائح شكلين، أعصاب متعامدة مع المقاطع الفولاذية للجوائز الثانوية secondary beams وأعصاب موازية للمقاطع الفولاذية للجوائز الرئيسية primary beams.

8-1- متطلبات تصميم البلاطات ذات الصفائح المقواة:

Design procedures for steel decks

• يؤخذ عرض العصب البيتوني كما هو مبين على الشكل (1-1) للشكلين الأساسيين للصفائح الفولاذية المبينة على الشكل (2). حيث يمثل D_P عمق الصفيحة الفولاذية.



الشكل (1-1) عرض العصب البيتوني b_r

$$35\ mm \leq D_P \leq 80\ mm$$

• يلحم مسمار القص إلى الجائز الفولاذي عن طريق الصفائح أو عن طريق ثقوب في الصفائح. ويؤخذ قطر مسمار القص الأعظمي $d_{max} = 19\ mm$. أما ارتفاع مسمار القص فيؤخذ القيمة الأصغر بين:

$$h \geq 75+D_P\ mm.$$
$$or\ h \geq 2*D_P$$

• في حالة الأعصاب الموازية للجائز الفولاذي. فإنه يجب توزيع الصفائح الفولاذية بحيث يقع عصب كامل فوق الجائز الفولاذي كما هو مبين على الشكل (1-2- C). يتم إدخال كامل المقطع البيتوني للبلاطة (أعصاب وبلاطة تغطية) ضمن العرض الفعال B_e في عمل الجائز المركب أو المختلط.

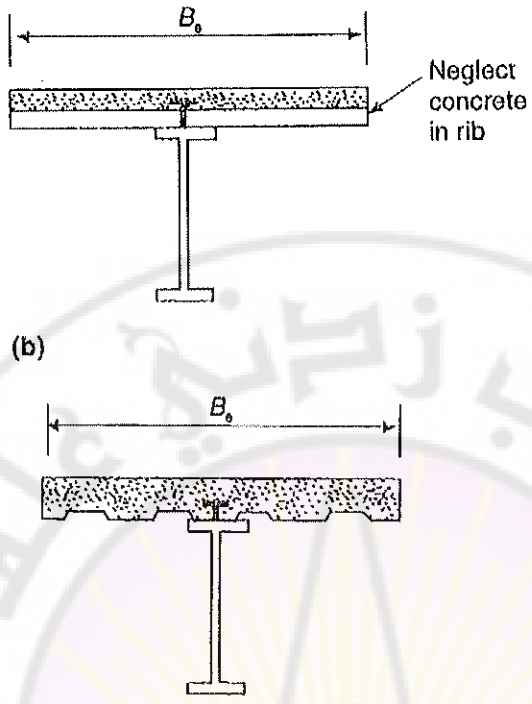
• في حالة الأعصاب عمودية على الجائز الفولاذي، فإنه لا يتم احتساب بيتون الأعصاب ضمن العرض الفعال B_e في عمل الجائز المركب أو المختلط كما هو مبين على الشكل (1-2- b).

• نهمل عمل البيتون على الشد.

• نهمل عمل قضبان التسليح على الضغط.

• نهمل عمل الصفائح الفولاذية على الشد ضمن عمل المقطع المختلط. وكما هو مبين في المقدمة فإنه تم اعتماد مقطع الصفائح كتسليح سفلي للبلاطة والأعصاب وليس للمقطع المختلط للجائز.

• ضرورة وضع شبكة تسليح إنشائية في المنطقة فوق الأعصاب لمنع تشقق البيتون كما هو مبين في الشكل (2-2).



الشكل (2-1) المقطع الفعال للجائز المختلط

2-8- تحمل مسامير القص في البلاطات ذات الصفائح المقواة:

Capacity of headed studs in composite decks

يتم تخفيض المقاومة الاسمية لمسمار القص Q_K المحسوبة في الفقرة (2-1) بمعامل التخفيض K لتصبح المقاومة الاسمية لمسمار القص المستخدم في البلاطات ذات الصفائح المقواة:

$$Q_{KS} = K * Q_K$$

ويعطى معامل التخفيض Reduction factor K حسب اتجاه الأعصاب بالنسبة إلى الجوائز الفولاذية، حيث نميز حالتين:

• حالة الأعصاب عمودية على الجائز الفولاذي. يعطى معامل التخفيض في حال وجود مسمار قص واحد في العصب بالمقطع العرضي. بالعلاقة التالية:

$$K = 0.85*(b_r/D_P)*[(h/D_P)-1]$$

بشرط أن يتحقق $K \leq 1.0$

وفي حالة وجود مسماري قص عرضيا ضمن العصب فيعطى معامل التخفيض بالعلاقة:

$$K = 0.6*(b_r/D_P)*[(h/D_P)-1]$$

بشرط أن يتحقق $K \leq 0.80$

وفي حالة وجود ثلاثة مسامير قص أو أكثر عرضياً ضمن العصب فيعطى معامل التخفيض بالعلاقة:

$$K = 0.5*(b_r/D_P)*[(h/D_P)-1]$$

بشرط أن يتحقق $K \leq 0.60$

b_r – عرض العصب المبين في الفقرة (1).

D_P – عمق الصفيحة المبين في الفقرة أعلاه.

h – الارتفاع الكلي لمسمار القص.

• حالة الأعصاب موازية للجائز الفولاذي. يعطى معامل التخفيض كما يلي:

$$(b_r/D_P) \geq 1.5 \Rightarrow K = 1$$

$$(b_r/D_P) < 1.5 \Rightarrow$$

$$K = 0.6*(b_r/D_P)*[(h/D_P)-1]$$

بشرط أن يتحقق $K \leq 1.0$

8-3- التحقق على الانزلاق الطولي في البلاطات ذات الصفائح المقواة:

Longitudinal splitting of the composite decks

يتم إيجاد قوة القص الطولية بالمتر الطولي من الجائز الفولاذي V كما هو مبين في الفقرة (6-2). ويجب أن يتحقق:

$$V \leq VR$$

VR – مقاومة البلاطة للقص الطولي وتعطى بالقيمة الأصغر بين:

$$0.7*A_{SV}*f_y + 0.03*\eta*A_{CV}*f_{cu} + V_P$$

$$0.8*\eta*A_{CV}*\sqrt{f_{cu}} + V_P$$

f_{cu} – المقاومة المكعبية لبيتون البلاطة وتعطى بـ Mpa. بحيث لا تزيد عن $f_{cu} \leq 40Mpa$

f_y – إجهاد سيلان فولاذ التسليح ويعطى بـ Mpa.

كافة المساحات تعطى بـ mm^2

$\eta = 1.0$ للبيتون العادي (الثقيل).

$\eta = 0.8$ للبيتون الخفيف.

$$A_{SV}(e\text{-}e) = A_t$$

A_t – مساحة مقطع قضبان التسليح المبينة على الشكل (3-1) لحالتي الأعصاب موازية وعمودية على الجائز الفولاذي

$$A_{CV}(e\text{-}e) = (D_S - D_P)*[\ 1\ m.\ ]$$

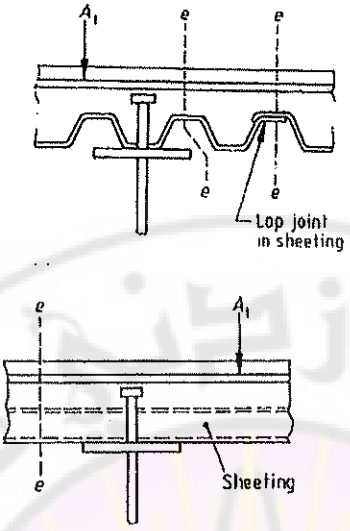
A_{CV} – مساحة المقطع البيتوني المقاوم للانزلاق الطولي.

V_P – قوة القص التي تتحملها الصفيحة الفولاذية المقواة.

$$V_P = t_p*P_{YP}$$

t_P – سماكة الصفيحة الفولاذية.

P_{YP} – إجهاد السيلان التصميمي للصفيحة الفولاذية.



الشكل (3-1) المساحة A_{sv} لحالتي الأعصاب موازية وعمودية على الجائز الفولاذي

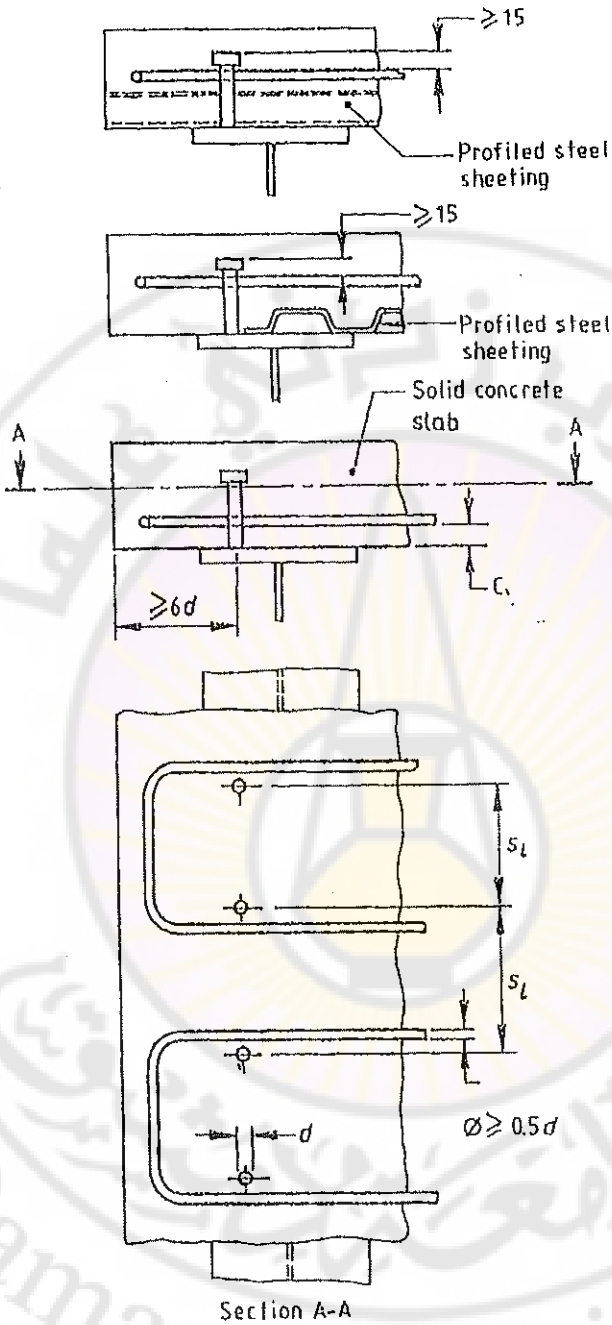
في عدم تحقق شرط القص الطولي $V \leq VR$ فمن العلاقات أعلاه يجب أن نزيد المساحات المقاومة للانزلاق الطولي (A_{sv} , A_{cv}) وبالتالي تزداد قيمة القص الطولي VR أو بتصغير قيمة القص الطولي V عن طريق زيادة التباعد المحوري بين وصلات القص L_1.

4-8- تفاصيل الجائز الطرفي: Edge beam details

لمقاومة الانزلاق الطولي في وصلات القص في الجائز الطرفي فيجب وضع قضبان تسليح إنشائية بشكل U حول وصلات القص، كما هو مبين على الشكل (4-1) بحيث تكون أخفض من قمة وصلة القص بمقدار 15 mm. في البلاطات ذات الصفائح الفولاذية المقواة. أما في البلاطات المصمتة فيتم وضع هذه القضبان أعلى جناح المقطع الفولاذي بمقدار C بحيث يتم تامين طبقة التغطية البيتونية الكافية.

في حال استخدام مسمار قص كوصلة قص فيكون قطر قضبان التسليح الإنشائية:

$$\Phi \geq 0.5*d$$



الشكل (4–1) تفاصيل الجائز الطرفي

Damascus University

كما أن مسمار القص الطرفي يجب أن يبعد عن طرف البلاطة بما لايقل عن 6*d

d – قطر مسمار القص.

8-5- مثال:

لدينا البلاطة المبينة بالشكل (5-1). الجوائز الثانوية بمجاز 8 m. وتباعد 3 m. بينما مجاز الجواز الرئيسية 6 m. البلاطة البيتونية هي بلاطة ذات صفائح مقواة مبينة على الشكل (5-1) بسماكة t_P = 1.2 mm. إجهاد السيلان التصميمي لفولاذ الصفيحة P_{YP}=280Mpa واللوح المصنع بعرض 900mm. سماكة البلاطة D_S=150mm.، تسليح بلاطة التغطية شبكة 5T8/m بإجهاد سيلان fy=400Mpa. المقاومة المكعبية للبيتون f_{cu}=30Mpa. الحمل الميت من وزن البلاطة والجوائز الثانوية 3.2 Kn/m^2 ومن طبقات التغطية والجدران 2.7Kn/m^2 والحي المطبق على البلاطة 3.5Kn/m^2. الجائز الفولاذي من الفولاذ S-275 للجوائز الرئيسية:

U.B.- 457X152X52 Kg/m

والمطلوب:

1.) إيجاد العزم المقاوم للمقطع المركب للجائز الرئيسي AB ضمن العزم الموجب في حالة المنشأ المدعم.

2.) إيجاد قوة القص الطولية التي تتحملها البلاطة ومعامل تخفيض المقاومة الاسمية لمسامير القص.

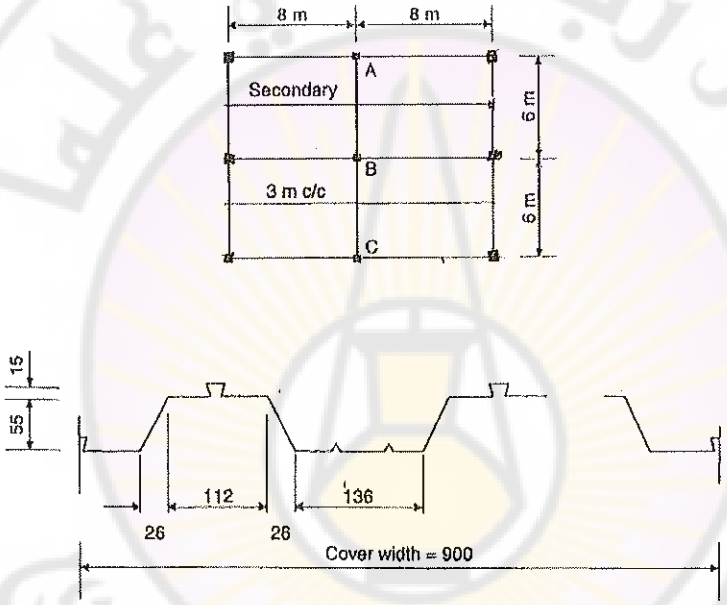
3.) إيجاد سهم الجائز الرئيسي AB تحت الحمل الحي.

4.) إيجاد العزم المقاوم لمقطع الجائز AB ضمن العزم الموجب في حالة المنشأ غير مدعم.

5.) إيجاد العزم المقاوم لمقطع الجائز AB ضمن العزم السالب في حالة المنشأ غير مدعم.

6.) إيجاد العزم المقاوم للمقطع المركب للجائز الرئيسي AB ضمن العزم السالب في حالة المنشأ مدعم. علماً أنه تم استخدام تسليح علوي إضافي للعصب 4T16.

يتم توزيع الأعصاب بشكل عمودي على الجوائز الثانوية وبالتالي تكون موازية للجوائز الرئيسية.



الشكل (1-5) مثال

- **إيجاد العرض الفعال B_e**

من الشكل (1-2-3) نجد المسافة بين نقاط انعدام العزم للجوائز المستمرة:

$$L_Z = 0.8*L=0.8*6 = 4.8 \text{ m.}$$

b_{el} ={$L_Z/8 = 4.8/8 = 0.6$ m.} or {$b/2=8/2=4$ m.} = 0.6 m.

b_{er} ={$L_Z/8 = 4.8/8 = 0.6$ m.} or {$b/2=8/2=4$ m.} = 0.6 m.

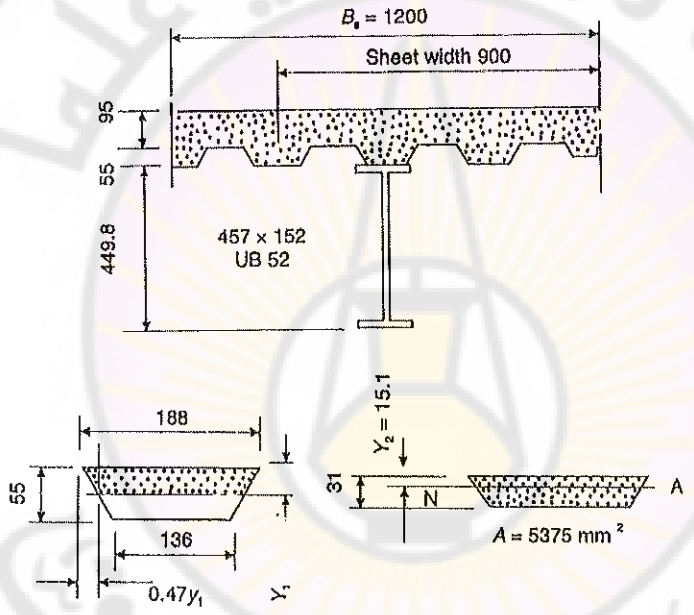
$$B_e = b_{el} + b_{er} = 0.6+0.6 = 1.2 \text{ m.}$$

من الشكل (5-1) نجد أن عرض العصب مع الفراغ المجاور هو:

$$136+2*26+2*0.5*112 = 300 \text{ mm.}$$

أي أن العرض الفعال يستطيع أن يحوي أربعة أعصاب مع الفراغ المجاور.

يجب أن يكون عصب مباشر فوق الجائز الفولاذي، ويبقى ثلاثة أعصاب يتم توزيعها عصب ونصف مع فراغ المجاور ونصف على اليمين وعلى اليسار كما هو مبين على الشكل (5-2).



الشكل (5-2) مثال: المقطع المختلط

- **اختبار موقع المحور اللدن والعزم المقاوم للمقطع المختلط ضمن مجاز العزم الموجب:**

من جداول المواصفات نجد المواصفات الهندسية للمقطع:

$$A = 66.5 \text{ cm}^2 \text{ , } T_f = 10.9 \text{ mm , } d = 428 \text{ mm , } t_w = 7.6 \text{ mm}$$
$$T_f < 16 \Rightarrow P_Y = 275 \text{ N/mm}^2$$

قوة الشد في المقطع الفولاذي:

$$F_t = 6650*275 = 1829\ KN$$

قوة الضغط في البلاطة البيتونية:

$$F_C = 0.45*30*[(1200*95) + (188+136)*0.5*55*4] = 2020\ KN.$$

بما أن $F_C = 2020 > F_t = 1829\ KN$

إذاً فالمحور السليم اللدن يقع ضمن البلاطة البيتونية.

بما أن قوة الضغط في بلاطة التغطية:

$$0.45*30*1200*95 = 1539 < F_t = 1829\ KN.$$

إذاً فالمحور السليم اللدن يقع ضمن عصب البلاطة البيتونية.

في هذه الحالة فإن المقطع الفولاذي معرض بالكامل إلى إجهادات شد بقيمة P_Y أي غير معرض إلى التحنيب.

بفرض أن عمق منطقة الضغط في العصب Y1 كما هو مبين على الشكل (5-2) ومن معادلة الإسقاط نجد:

$$0.45*30*4*[0.47Y*Y*0.5+(188+188-2*0.47Y)*Y*0.5]+1539000 = 1829000$$

وجذور المعادلة:

$$Y1 = 31\ mm.$$

$$Y2 = 368\ mm.$$ مرفوض

ونجد أن مساحة الجزء المضغوط من العصب هي $5375\ mm^2$، ومركز ثقلها يقع على مسافة YC=15.1mm من أعلى العصب كما هو مبين على الشكل (5-2).

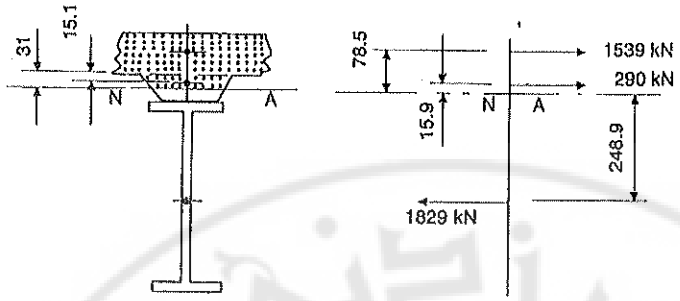
وتكون قوة الضغط في بيتون الأعصاب الأربعة ضمن العرض الفعال:

$$0.45*30*4*5375 = 290\ KN.$$

وبأخذ العزوم حول المحور السليم اللدن كما هو مبين على الشكل (5-3) نجد أن العزم المقاوم للمقطع المختلط هو:

$$M = 1539*0.078 + 290*0.016 + 1829*0.249$$

$$M = 580 \text{ KN.m}$$



الشكل (5-3) مثال: القوى على المقطع المختلط

- **إيجاد معامل تخفيض المقاومة الاسمية لمسمار القص:**

من الشكل (1-1) والشكل (5-1) نجد عرض العصب البيتوني:

$$b_r = 136+26 = 162 \text{ mm.}$$

من الفقرة (2):

$$(b_r/D_P) = (162/55) = 2.9 > 1.5 \Rightarrow K = 1$$

- **إيجاد مقاومة القص الطولي للبلاطة:**

مقاومة قوة القص للصفيحة الفولاذية للبلاطة:

$$V_P = (1.2*1000)*280 = 336 \text{ KN/m.}$$

المساحات:

$$A_{SV}(e\text{-}e) = 5T8/m = 251 \text{ mm}^2/m$$

$$A_{CV}(e\text{-}e) = 95*1000 = 95000 \text{ mm}^2/m$$

$$[0.7*251*400+0.03*95000*30]/10^3 + 336 = 492 \text{ KN/m}$$

$$[0.8*95000*\sqrt{30}]/10^3 + 336 = 752 \text{ kN/m.}$$

$$492 \text{ Kn/m} < 752 \text{ kn/m} \Rightarrow VR(e\text{-}e) = 492 \text{ kN/m.}$$

وبما أنه يوجد سطحان مقاومان (e-e) فتكون قوة القص الطولية التي تتحملها البلاطة:

$$VR = 2*492 = 984\ KN/m.$$

- **إيجاد سهم الجائز AB تحت الحمل الحي:**

من الفقرة (1- 1) نجد النسبة المعيارية:

البيتون المستخدم بيتون ثقيل.

$$\alpha_1 = 18 \qquad \alpha_s = 6$$

مجموع الأحمال:

$$D+L = (3.2+2.7) + (3.5) = 9.4\ KN/m^2$$

$$P_1 = (9.4-2*(3.5/3))/9.4 = 0.88$$

$$\alpha_e = 6+0.88(18-6) = 16.6$$

ويكون عرض الجزء المكافئ للفولاذ من بلاطة التغطية فقط دون إدخال مساحة العصب البيتوني المبين على الشكل (5-4):

$$(B_e/\alpha_e) = 1200/16.6 = 72.3\ mm.$$

باعتماد محور المقارنة هو طرف الليف السفلي نجد المحور السليم:

$$Y = \frac{66.5*22.5+(9.5*7.23)*55.2}{66.5+68.7} = 39.11cm$$

وعزم العطالة للمقطع الفولاذي $I_X = 21300\ cm^4$ فيكون عزم عطالة المقطع المركب:

$$I = (66.5*16.63^2)+21300+68.7*16.12^2+(7.23*9.5^3)/12$$

$$I = 58060\ cm^4$$

رد الفعل من الجوائز الثانوية المستندة على الجائز الرئيسي AB الناتج عن الأحمال الحية فقط وهو حمل غير مصعد ومطبق في وسط المجاز كما هو مبين على الشكل (5-1).

$$(3.5*3*8/2)*2 = 84\ kN$$

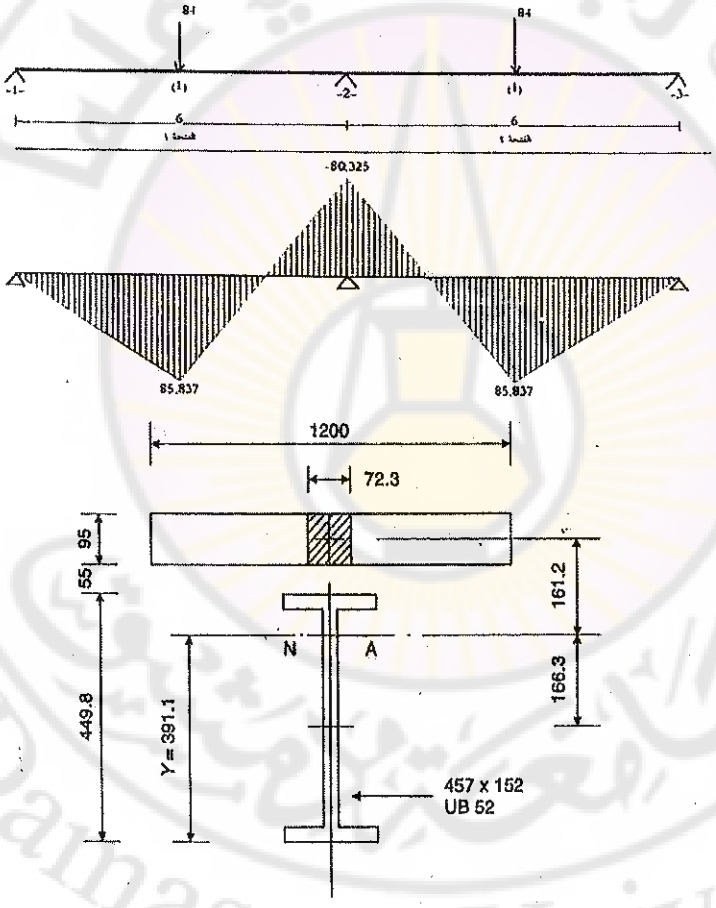
من الفقرة (7) ومخطط العزم الناتج عن الأحمال الحية غير المصعدة على الشكل (4-5)

$$M1 = 0.0$$

$$M2 = 0.7*80.3 = 56.2 \text{ KN.m}$$

$$MO = P*L/4 = 84*6/4 = 126 \text{ KN.m.}$$

$$\delta_o = \frac{P*L^3}{48*E*I}$$



الشكل (5-4) مثال: حساب سهم الجائز AB

$$\delta_o = \frac{84*10^3*6000^3}{48*205*10^3*58060*10^3} = 3.18mm$$

$$\delta_C = 3.18*(1-0.6*56.2/126) = 2.33mm.$$

السهم في وسط المجاز للجائز الرئيسي الناجم عن الأحمال الحية فقط هو δ_C = 2.33 mm. وهو صغير.

- **إيجاد العزم المقاوم لمقطع الجائز AB ضمن العزم الموجب في حالة المنشأ غير مدعم:**

حالة المنشأ غير مدعم تعني التحقق من مقطع الجائز خلال الإنشاء أي قبل تطبيق الأحمال الحية، وتعتبر الأحمال الحية فقط هي أحمال التشغيل والبالغة 1.0 Kn/m^2 كما هو مبين أعلاه.

الأحمال الميتة فقط هي الأوزان الذاتية للبلاطة والمقاطع الفولاذية فقط.

عن رد فعل الجوائز الثانوية /عدد 2 / الناجم عن وزن الجوائز والبلاطة البيتونية:

Do = (3.2*3*8/2)*2 = 76.8 KN.

Dou = 1.4*76.8 = 107.5 KN

من وزن الجائز الرئيسي / من جداول المقاطع /:

Dg = 0.52 KN/m

Dgu = 1.4*0.52 = 0.73 KN/m.

الأحمال الحية:

Lo = (1*3*8/2)*2 = 24 KN

Lou = 1.6*24 = 38.4 KN.

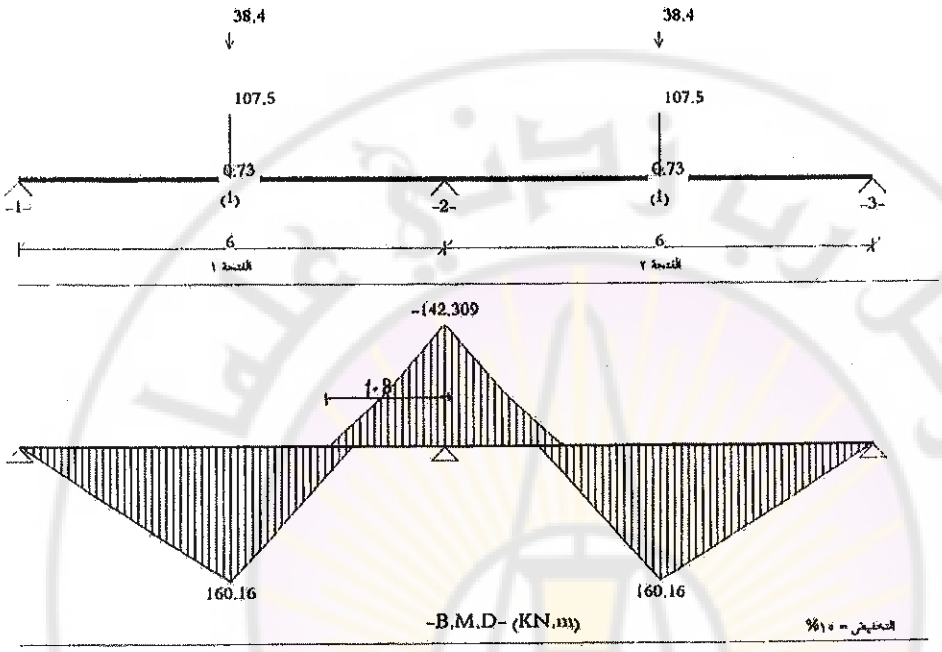
بما أن الجائز ممنوع من التحنيب الجانبي بسبب ارتباط ليفه العلوي المضغوط بالبلاطة المصبوبة والكوفراج والمقطع لدن فيكون:

$$Mcx = Py*Sx \leq Py*(1.2*Zx)$$

$$Mcx = 275*1090000 = 299.8\ KN.m$$

من الشكل (5-5) نجد:

$$Mcx > Mux = 160.16\ KN.m$$



الشكل (5-5) العزوم في حالة المنشأ غير مدعم

- **إيجاد العزم المقاوم لمقطع الجائز AB ضمن العزم السالب في حالة المنشأ غير مدعم:**

في حالة العزم السالب فإن الجناح السفلي المضغوط الحر (غير مرتبط بالبلاطة المصبوبة) عبر مسافة L = 1.8 m. كما هو مبين على الشكل (5 - 5) فيكون:

$$\lambda = \frac{L_E = 180}{r_y = 3.11} = 58$$

$$X = D/T = 43.9$$

$$\lambda / X = 1.32$$

$$u = 0.9$$

$$v = 0.978$$

$$B_W = 1.0$$

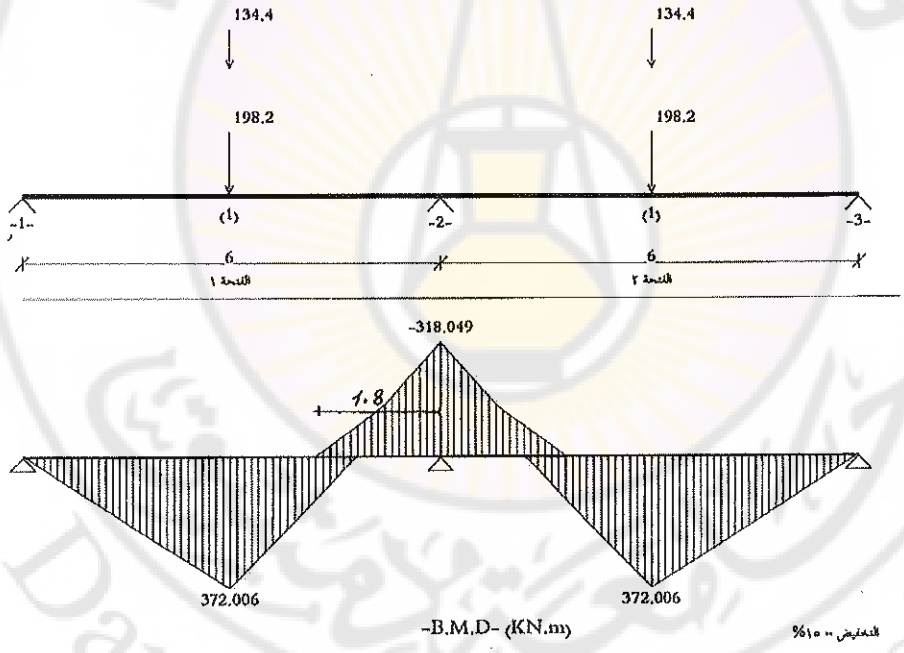
$$\lambda_{LT} = 0.9*0.978*58*1 = 51$$

$$P_b = 235\ N/mm^2$$

$$Mcx = 235*1090000 = 256\ KN.M > 142.3\ KN.m$$

- **إيجاد العزم المقاوم لمقطع الجائز المركب AB ضمن العزم السالب في حالة المنشأ مدعم:**

حالة المنشأ مدعم تعني التحقق من مقطع الجائز المركب (مقطع فولاذي + بلاطة بيتونية بصفائح مقواة) تحت الأحمال الاستثمارية أي كامل الأحمال (ميتة + حية)



الشكل (5-6) العزوم في حالة المنشأ مدعم

عن رد فعل الجوائز الثانوية /عدد 2 / الناجم عن وزن الجوائز والبلاطة البيتونية:

$$Do = ((3.2+2.7)*3*8/2)*2 = 141.6\ KN.$$

$$Dou = 1.4*141.6 = 198.2\ KN$$

الأحمال الحية:

$$Lo = (3.5*3*8/2)*2 = 84\ KN$$

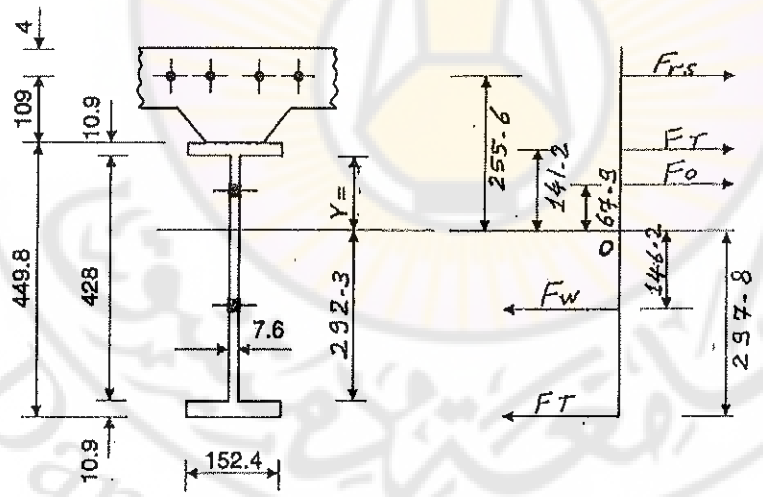
$$Lou = 1.6*84 = 134.4\ KN.$$

في حالة العزم السالب فإن الجناح السفلي المضغوط الحر (غير مرتبط بالبلاطة المصبوبة) عبر مسافة L = 1.8 m. كما هو مبين على الشكل (5-6) فيكون إجهاد الضغط المسموح به نتيجة الانعطاف، كما هو مبين أعلاه:

$$P_b = 235\ N/mm^2$$

- **تحديد موقع المحور ضمن مجاز العزم السالب:**

المخطط الحسابي للمقطع المركب في مجال العزم الموجب مبين على الشكل (5-7).



الشكل (5-7) المخطط الحسابي للمقطع المركب ضمن المجاز السالب

تحديد قوة الشد في قضبان التسليح العلوية للعصب:

$$F_{rs} = 0.87*(4*201*400) = 279792 \text{ N.}$$

تحديد القوة في الجناح العلوي المشدود أو السفلي المضغوط:

$$F_T = 152.4*10.9*235 = 390373 \text{ N.}$$

تحديد القوة في الجسد المشدود بافتراض أن المحور اللدن ضمن الجسد:

$$F_O = 7.6*Y*235 = 1786*Y$$

تحديد القوة في الجسد المضغوط:

$$F_W = 7.6*(428-Y)*235 = 764408 - 1786*Y$$

بإسقاط القوى على الأفق:

$$\Sigma X = 0$$

$$279792 + 390373 + 1786*Y = 764408 - 1786*Y + 390373$$

$$Y = 135.7 \text{ mm.}$$

$$F_O = 242360 \text{ N.}$$

$$F_W = 522048 \text{ N.}$$

وللتأكد من العملية الحسابية لقيمة Y نعيد معادلة التوازن:

$$279792 + 390373 + 242360 = 390373 + 522048$$

$$912421 \cong 912525$$

بأخذ توازن العزوم حول المركز O:

$$\Sigma M_O = 0$$

$$280*0.56 + 390*0.14 + 242*0.07 + 522*0.15 + 390*0.3 =$$

$$423.6 \text{ KN.m} = M_P$$

$$M_P > M_U = 318 \text{ KN.m}$$

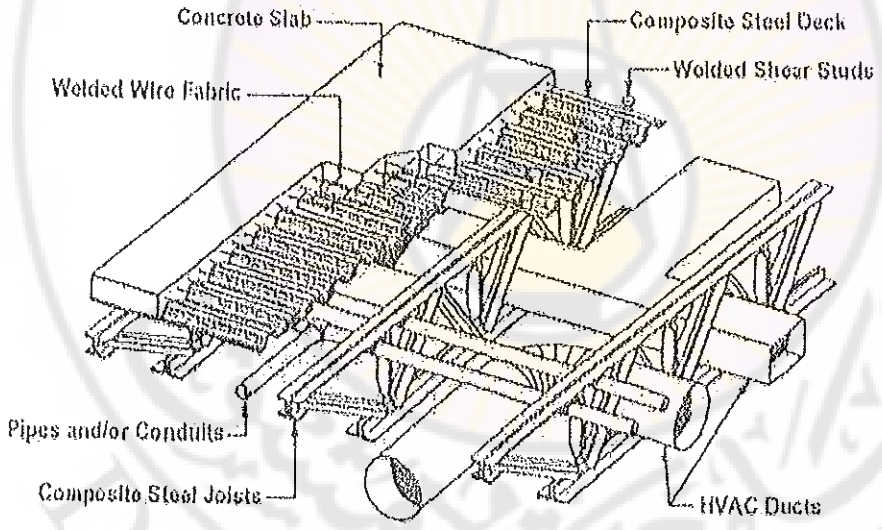
Damascus University

8-6- نظام الشبكيات المختلطة:

Composite Steel Joist System

يستخدم في هذا النظام الجائز الشبكي بدلاً من المقطع الفولاذي في البلاطات المختلطة ذات الصفائح الفولاذية المقوّاة. حيث يتم وضع مسامير القص بلحامها على الليف العلوي للجائز الشبكي.

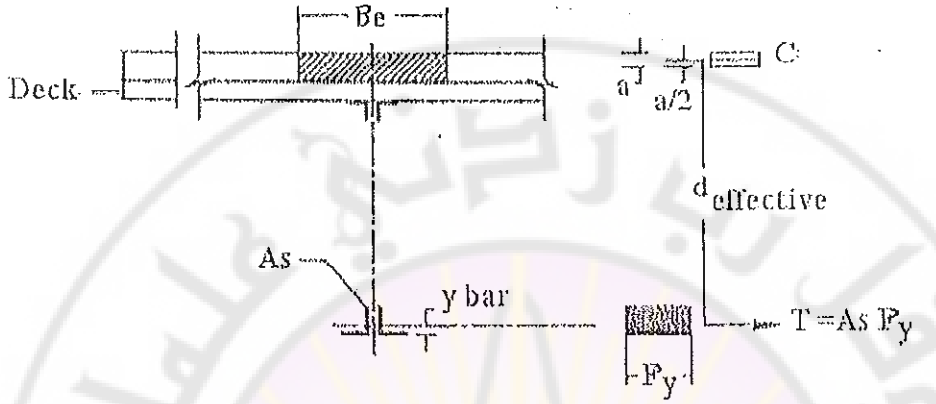
تم تطوير هذا النظام للحصول على الارتفاع الطابقي الأصغري وذلك عبر استخدام الفراغ مابين الليف العلوي والسفلي للجائز الشبكي (العمق الإنشائي) لتمرير تجهيزات الخدمات مثل أنابيب التهوية والتكييف HVAC Ducts كما هو مبين على الشكل (6-1).



الشكل (6-1) نظام الشبكيات المختلطة

عزم الانعطاف المقاوم:

يبين الشكل (6-2) المخطط الحسابي أو توزع الإجهادات اللدنة في مقطع الشبكي المختلط. حيث يمثل:



الشكل (6-2) توزع الإجهادات اللدنة في المقطع

Y_{bar} – بعد مركز ثقل المقطع السفلي المجمع للجائز الشبكي.

A_S – مساحة المقطع السفلي المجمع للجائز الشبكي.

P_Y – إجهاد السيلان التصميمي لفولاذ الجائز الشبكي. فتكون قوة الشد في الليف السفلي:

$$T = P_Y * A_S$$

a – عمق منطقة الضغط في البيتون. فتكون قوة الضغط في البيتون:

$$C = 0.45 * f_{cu} * a * B_e$$

f_{cu} – المقاومة المكعبية للبيتون.

$d_{effective}$ – البعد بين مركز ثقل منطقة الضغط في البيتون ومركز ثقل المقطع السفلي المجمع للجائز الفولاذي مع الأخذ بعين الاعتبار ارتفاع الجائز الشبكي.

نحصل على عزم الانعطاف المقاوم اللدن للمقطع بأخذ العزوم حول نقطة تطبيق قوة الضغط في البيتون:

$$M_P = A_S * P_Y * d_{effective}$$

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل التاسع

الأعمدة المختلطة

Composite Columns

مقدمة: Introduction

الأعمدة المختلطة هي أعمدة مشكلة من مقاطع مدرفلة أو مركبة مغلفة بالبيتون، أو أعمدة مشكلة من أنابيب فولاذية أو مقاطع مفرغة مملوءة بالبيتون كما هو مبين في الشكل (1).

أنواع الأعمدة المختلطة:

- أعمدة فولاذية مغلفة بالبيتون الشكل (1- a).
- أنابيب أو مقاطع مفرغة مملوءة بالبيتون. الشكل (1- d – e – f).
- مقاطع أعمدة مدرفلة أو مجمعة مغلفة جزئيا بالبيتون. الشكل (1- b – c).

يتم افتراض عمل مركب تام بدون أي انزلاق على سطح التماس بين الفولاذ والبيتون عند حساب قدرة تحمل الأعمدة المختلطة. إن هذا الافتراض يمكننا من تحديد مواصفات المقطع والقساوة ونسب النحافة لكامل المقطع العرضي غير المتجانس. يتم تامين عدم الانزلاق كما هو مبين في البلاطات المختلطة باستخدام وصلات قص. يجب تامين هذه الوصلات على الأقل في نهايتي العمود وعند نقاط تطبيق الحمولات ويجب توزيعها على كامل المقطع العرضي. يمكن استخدام مسامير قص أو زوايا علوية وسفلية أو أية وسائل ربط إنشائية أخرى.

إن الأعمدة المغلفة بالبيتون تحقق شروط مقاومة الحريق دون استخدام أي وسيلة أخرى. كما يمكن تقويتها بسهولة عن طريق وضع قضبان تسليح ضمن الغطاء البيتوني. إلا أنه لا يمكن الوصل إلى سطح المقطع الفولاذي من أجل عمليات الوصل أو المعالجة

بعد تنفيذ الغطاء البيتوني. لذا يجب أن تتم جميع الأعمال على المقطع الفولاذي قبل تغليفه بالبيتون ولاسيما تنفيذ الوصلات المعدنية بين الجوائز والأعمدة.

9-1- الاشتراطات: Limitation

اعتمادا على الكود الأوربي BS EN 1994-1-1:2004 والأمريكي LRFD

- تستخدم المقاطع الفولاذية ذات المقاومات المختلفة ضمن المجال

$$235\ N/mm^2 \Rightarrow 460\ N/mm^2$$

ومقاومات البيتون ضمن المجال

$$C20/25 \Rightarrow C50/60$$

- نسبة مساهمة المقطع الفولاذي δ يجب أن تحقق الشرط التالي:

$$0.2 \le \delta \le 0.9$$

$$\delta = \frac{A * P_Y}{N_{PL.Rd}}$$

A – مساحة المقطع الفولاذي.

P_Y – إجهاد السيلان التصميمي للمقطع الفولاذي.

$N_{PL.Rd}$ – المقاومة اللدنة لمقطع العمود على الضغط ويعطى بالعلاقة:

$$N_{PL.Rd} = A*P_Y + 0.85*A_C*f_c' + A_R*f_y$$

A_C – مساحة البيتون ضمن مقطع العمود المختلط.

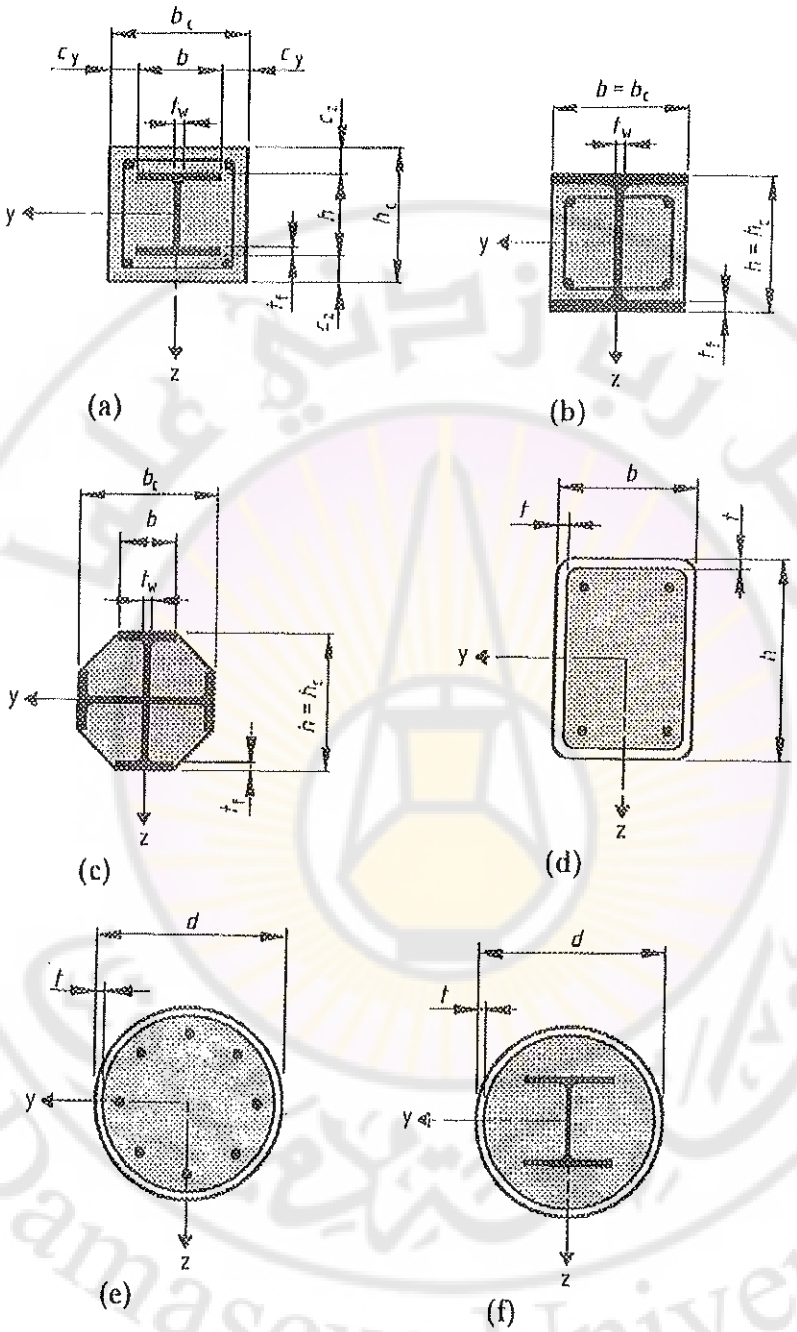
A_R – مساحة فولاذ التسليح.

f_y – إجهاد سيلان فولاذ التسليح.

f'_c – المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون.

لحالة المقاطع f , e , d المبينة على الشكل (1). أي للحالات التي يكون فيها البيتون مملوءاً ضمن المقطع الفولاذي تكون المقاومة اللدنة لمقطع العمود على الضغط:

$$N_{PL.Rd} = A*P_Y + A_C*f_c' + A_R*f_y$$



الشكل (1) مقاطع أعمدة مختلطة نموذجية

• بناء على الاشتراط السابق وتسهيلا للعمليات الحسابية الأولية. فإنه يتم اعتبار العمود عموداً مختلطاً، إذا كانت مساحة المقطع الفولاذي أكبر أو تساوي 4% من المساحة الكلية للمقطع المختلط وإلا فيتم التصميم على أساس عمود بيتوني مسلح

$$\frac{A}{A_g} \geq 4\%$$

A_g – مساحة المقطع الإجمالية للعمود المختلط.

• سيتم اعتماد المقطع المختلط المتناظر والثابت على كامل طول العمود.

• تؤخذ الأبعاد العظمى لتغليف البيتون للمقطع الفولاذي المبينة على العمود a في الشكل (1) كما يلي:

$$\max C_Z = 0.3*h$$
$$\max C_Y = 0.4*b$$

• مساحة التسليح الطولي التي تدخل ضمن حساب تحمل العمود المختلط هي:

$$\max \rho_S = \frac{A_R}{A_C} = 6\%$$

• يهمل تأثير التحنيب للمقطع الفولاذي ضمن مقطع العمود المختلط كما يلي:

حالة العمود المغلف بالبيتون الحالة (a) في الشكل (1). تؤخذ القيمة الأكبر بين:

$$\min C_Z = 40 \text{ mm.}$$
$$\min C_Z = \frac{1}{6}*b$$

حالة العمود المغلف جزئيا بالبيتون الحالة (b) في الشكل (1). تعتمد نسبة العرض إلى السماكة العظمى:

$$\frac{b}{t_f} \leq 44*\sqrt{\frac{235}{P_Y}}$$

حالة العمود المفرغ المملوء بالبيتون الحالة (d) في الشكل (1). تعتمد نسبة العرض إلى السماكة العظمى:

$$\frac{h}{t} \le 52 * \sqrt{\frac{235}{P_Y}}$$

حالة العمود الدائري المملوء بالبيتون الحالة (e) في الشكل (1). تعتمد نسبة العرض إلى السماكة العظمى:

$$\frac{d}{t} \le 90 * \frac{235}{P_Y}$$

9-2- المقاومة التصميمية: Design strength

المقاومة التصميمية للعمود المختلط تحسب كما هو للعمود الفولاذي وفق معادلات بيري وروبرتسون باستثناء الإجهاد التصميمي للفولاذ P_Y والتي تصبح الإجهاد التصميمي المعدل (P_{Ym}) ومعامل مرونة الفولاذ يصبح معامل المرونة المعدل (E_m)، ونصف قطر عطالة المقطع الفولاذي r يصبح نصف قطر العطالة المعدل (r_m). وبالتالي تصبح معادلات بيري وروبرتسون:

$$P_C = \frac{P_E * P_{Ym}}{\phi + (\phi^2 - P_E * P_{Ym})^{0.5}}$$

$$\phi = \frac{P_{Ym} + (\eta + 1) * P_E}{2}$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * E_m}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{K * L}{r_m}$$

$$\eta = a * (\lambda - \lambda_O) / 1000$$

$$\eta \ge 0$$

$$\lambda_O = 0.2 * \sqrt{\frac{\pi^2 * E_m}{P_{Ym}}}$$

يعطى ثابت روبرتسون (a) حسب منحني التحنيب المبين على الجدول (1) كما يلي:

curve (a) $\Rightarrow$ a = 2.0

curve (b) $\Rightarrow$ a = 3.5

curve (c) $\Rightarrow$ a = 5.5

curve (d) $\Rightarrow$ a = 8.0

ويكون تحمل العمود المختلط على الضغط المحوري:

$$Pcd = Pc*A$$

حالة الأنابيب أو المقاطع الفولاذية المفرغة المملوءة بالبيتون:

تعتمد العلاقة التصميمية على الشرط التالي:

$$P_Y \leq 385\ N/mm^2$$

$$F_y \leq 385\ N/mm^2$$

$$P_{Ym} = P_Y + f_y*(A_R/A) + 0.85*f'_C*(A_C/A)$$

$$E_m = 205000 + 0.4*E_C*(A_C/A)$$

E_C – معامل مرونة البيتون المعطى في فقرة مسامير القص (2-1). ويعطى بـ N/mm^2

$$r_m = r \geq 0.3*d_{bend}$$

d_{bend} – هو البعد الذي يحدث حوله التحنيب. ففي حالة المقطع الدائري يكون

$$D = d_{bend}$$

حالة المقاطع الفولاذية المحاطة بالبيتون:

تعتمد العلاقة التصميمية على الشرط التالي:

$$P_Y \leq 385\ N/mm^2$$

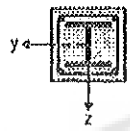
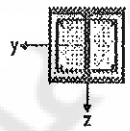
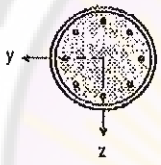
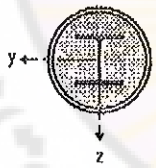
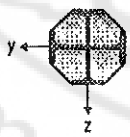
$$F_y \leq 385\ N/mm^2$$

$$P_{Ym} = P_Y + 0.7*f_y*(A_R/A) + 0.6*f'_C*(A_C/A)$$

$$E_m = 205000 + 0.2*E_C*(A_C/A)$$

$$r_m = r \geq 0.3*d_{bend}$$

d_{bend} – هو البعد الذي يحدث حوله التحنيب.

Cross-section	Limits	Axis of buckling	Buckling curve
concrete encased section 		y-y	b
		z-z	c
partially concrete encased section 		y-y	b
		z-z	c
circular and rectangular hollow steel section 	$\rho_s \leq 3\%$	any	a
	$3\% < \rho_s \leq 6\%$	any	b
circular hollow steel sections with additional I-section 		y-y	b
		z-z	b
partially concrete encased section with crossed I-sections 		any	b

الجدول (1) منحنيات التحنيب

9-3- أمثلة:

مثال (1):

لدينا مقطع فولاذي دائري ϕ – 203X6X29.15 Kg/m من الفولاذ S-275 ومملوء بالبيتون مقاومته المكعبية f_{cu} = 30 Mpa دون وجود قضبان تسليح. طول العمود 3.5m. ومتمفصل من الأعلى والأسفل. المطلوب إيجاد قوة الضغط المحورية التي يتحملها العمود.

مواصفات المقطع:

$$A = 37.13\ cm^2\ \ ry = rz = 6.97\ cm\ \ P_Y = 275\ N/mm^2$$

مساحة المقطع البيتوني:

$$A_C = \frac{\pi*(203-2*6)^2}{4} = 28652mm^2$$

$$f'_c = 0.83*30 = 24.9\ N/mm^2$$

$$N_{PL.Rd} = 3713*275 + 28652*24.9 = 1734510\ N$$

$$\delta = \frac{3713*275}{1734510} = 0.59$$

$$0.2 \le \delta = 0.59 \le 0.9$$

$$\frac{203}{6} = 33.83 \le 90*\frac{235}{275} = 76.9$$

وبالتالي فإن نسبة مساهمة المقطع الفولاذي δ محققة. وكذلك نسبة العرض إلى السماكة تدل على أن أثر التحنيب الموضعي للمقطع الفولاذي ضمن عمل المقطع المختلط مهمل.

$$P_{Ym} = 275 + 0 + 0.85*24.9*(28652/3713)$$

$$P_{Ym} = 438\ N/mm^2$$

$$E_C = 2215*\sqrt{24.9} = 11000\ N/mm^2$$

$E_m = 205000 + 0.4*11000*(28652/3713)$

$E_m = 238900\ N/mm^2$

$r_m = r = 69.7 \geq 0.3*203 = 60.9\ mm.$

استنادا إلى معادلات بيري نوجد إجهاد الضغط المسموح به:

$$\lambda = \frac{1*3500}{69.7} = 50.2$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 238900}{50.2^2} = 935 N/mm^2$$

$$\lambda_O = 0.2 * \sqrt{\frac{\pi^2 * 238900}{438}} = 14.67$$

من الجدول (1) وبما أن $\rho_S = 0 < 3\%$

curve (a) $\Rightarrow$ a = 2.0

$$\eta = 2*(50.2 - 14.67)/1000$$

$$\eta = 0.071 \geq 0$$

$$\phi = \frac{438 + (0.071+1)*935}{2} = 719 N/mm^2$$

$$P_C = \frac{935*438}{719 + (719^2 - 935*438)^{0.5}}$$

$$P_C = 391 N/mm^2$$

$Pcd = 391*3713 = 1450\ KN.$

مثال (2):

لدينا مقطع فولاذي U.C. – 254X254X73 Kg/m من الفولاذ S-275 ومحاط بالبيتون مقاومته المكعبية $f_{cu} = 30$ Mpa كما هو مبين على الشكل (1 – a) قضبان تسليح $A_R = 8T16 = 16.08\ cm^2$ إجهاد سيلان فولاذ التسليح $f_y = 400$ Mpa. طول

العمود .3.5m ومتمفصل من الأعلى والأسفل. المطلوب إيجاد قوة الضغط المحورية التي يتحملها العمود. حيث أبعاد العمود المختلط .40X40 cm

مواصفات المقطع:

$$A = 93.1\ cm^2 \quad rz = 6.48\ cm$$

$$t_f = 14.2 < 16 \Rightarrow P_Y = 275\ N/mm^2$$

مساحة المقطع البيتوني:

$$A_C = (40*40) - 93.1 - 16.08 = 1490 cm^2$$

$$f'_c = 0.83*30 = 24.9\ N/mm^2$$

$$\rho_S = \frac{16.08}{1490} = 0.01 < 6\%$$

وبالتالي فنسبة التسليح محققة.

$$N_{PL.Rd} = 9310*275+0.85*149000*24.9+1608*400$$

$$N_{PL.Rd} = 6357035\ N$$

$$\delta = \frac{9310*275}{6357035} = 0.4$$

$$0.2 < \delta = 0.4 < 0.9$$

وبالتالي فإن نسبة مساهمة المقطع الفولاذي δ محققة.

من الشكل (1) نجد:

$$C_Y = C_Z = (400\text{-}254)/2 = 73\ mm.$$

$$b = h = 254\ mm$$

$$C_Z = 73 > 40\ mm$$

$$C_Z = 73 > 254/6 = 42\ mm$$

وبالتالي فإن أثر التحنيب الموضعي للمقطع الفولاذي ضمن مقطع العمود المختلط مهمل.

$$P_{Ym} = 275 + 0.7*385*(16.08/93.1)+0.6*24.9*(1490/93.1)$$

$$P_{Ym} = 559\ N/mm^2$$

$$E_C = 2215*\sqrt{24.9} = 11000\ N/mm^2$$

$$E_m = 205000 + 0.2*11000*(1490/93.1)$$

$$E_m = 240000\ N/mm^2$$

$$r_m = r = 6.48 < 0.3*40 = 12\ cm.$$

نعتمد:

$$r_m = 12\ cm.$$

استنادا إلى معادلات بيري نوجد إجهاد الضغط المسموح به:

$$\lambda = \frac{1*3500}{120} = 29.2$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 240000}{29.2^2} = 2778 N/mm^2$$

$$\lambda_O = 0.2*\sqrt{\frac{\pi^2 * 240000}{559}} = 13$$

من الجدول (1)

$$\text{curve (c)} \Rightarrow a = 5.5$$

$$\eta = 5*(29.2-13)/1000$$

$$\eta = 0.089 \geq 0$$

$$\phi = \frac{559 + (0.089+1)*2778}{2} = 1792 N/mm^2$$

$$P_C = \frac{559*2778}{1792 + (1792^2 - 2778*559)^{0.5}}$$

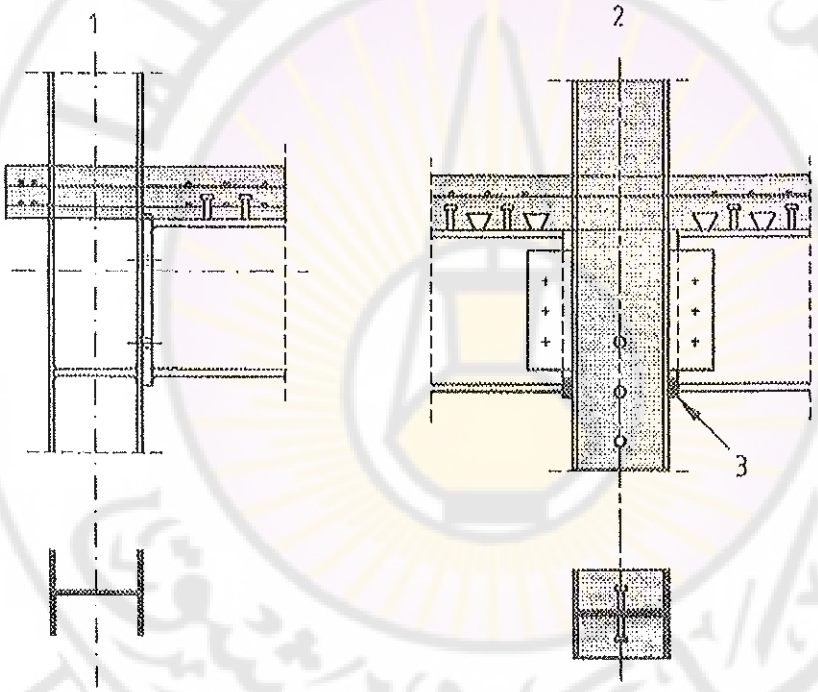
$$P_C = 504 N/mm^2$$

$$Pcd = 504*9310 = 4692\ KN.$$

4-9- الوصلات المختلطة: Composite joints

يجب أن تكون الوصلات بين الأعمدة والجوائز كما هو مبين على الشكل (4-1) ذات تقنيات وصل متقدمة لربط العناصر الفولاذية الإنشائية مع بعضها، وأن تكون هذه الوصلات اقتصادية في التصنيع وسهلة التركيب في الموقع.

يمكن تأمين مقاومة وقساوة إضافية كبيرة في المنشآت المركبة من البيتون والفولاذ بوضع قضبان تسليح مستمرة في البلاطة حول الأعمدة حيث إن العامل الأساسي الوحيد المسيطر على سلوك الوصلات هو فعل البلاطة.



(1) وصلة جائز– عمود مفردة

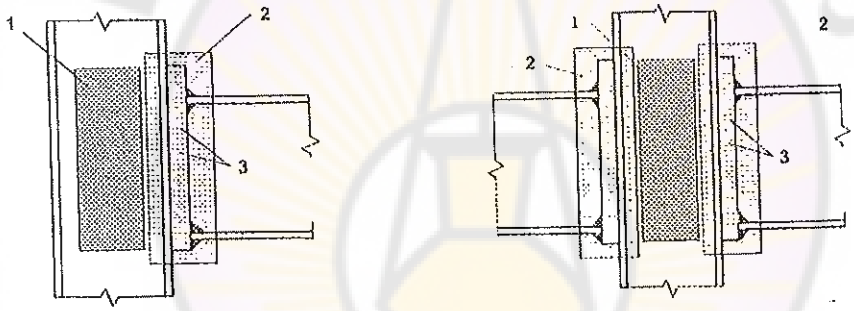
(2) وصلة جائز–عمود مضاعفة

(3) صفيحة الوصل

الشكل (4-1) وصلة مركبة

يتضمن تصميم مثل هذه الوصلات، تصميم أو تحقيق ثلاثة مكونات مبينة على الشكل (4-2) وهي:

- الجزء (1) /المهشر/ وهو تحقيق جسد العمود على القص Column web panel in shear وكذلك على الضغط العرضي Transverse compression. ما يخص في التحقق على القص فلقد تم التعرض إليه بشكل مفصل ضمن تصميم وصلات المنشآت الفولاذية، وسنتعرض فقط إلى مقاومة القص الذي يتحمله البيتون في العمود المختلط المبين على الشكل (1-b).
- الجزء (2) وهو تصميم الوصلة.
- الجزء (3) وهو تصميم مكونات الوصلة (براغي..).



الشكل (4-2) أجزاء وصلة جائز – عمود

صفيحة الوصل المبينة على الشكل (4-1):

يتم اختيار أبعاد وسماكة هذه الصفيحة كما يلي:

- توزع الإجهاد ضمن صفيحة الوصل بزاوية 45 deg.
- يجب ألا يزيد الإجهاد ضمن المساحة الفعالة لصفيحة الوصل عن إجهاد السيلان التصميمي P_Y.

9-4-1- تحقيق جسد العمود على القص:

Column web panel in shear

يعطى تحمل جسد العمود على القص في حالة:

المقاطع المدرفلة $$\frac{d}{t} \le 70 * \varepsilon$$

المقاطع الملحومة $$\frac{d}{t} \le 62 * \varepsilon$$

$$V=0.6*P_Y*A_V$$

لحالة العمود (b) المبين على الشكل (1) فإن البيتون سيشارك في مقاومة القص بمقدار:

$$V_{WC}=0.85*\upsilon*A_C*f'_c*\sin\theta$$

حيث:

$$A_C = 0.8*(b_c - t_w)*(h - t_f)*\cos\theta$$

$$\Theta = \arctan [(h -2*t_f) / Z]$$

حيث:

b_c – عرض البيتون المغلف للعمود. الشكل (1-b)

h – ارتفاع المقطع الفولاذي. الشكل (1-b)

t_f – سماكة جناح مقطع العمود الفولاذي.

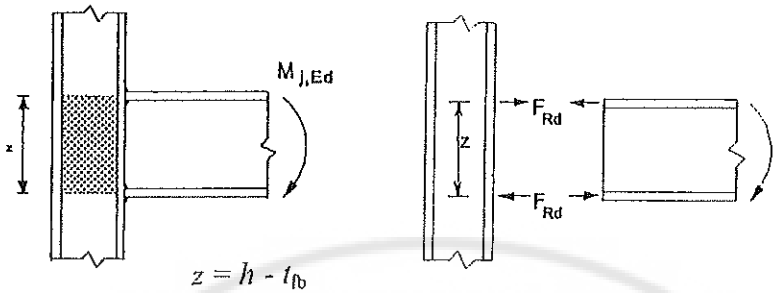
t_w – سماكة جسد مقطع العمود الفولاذي.

f'_c – المقاومة المميزة الاسطوانية على الضغط للبيتون.

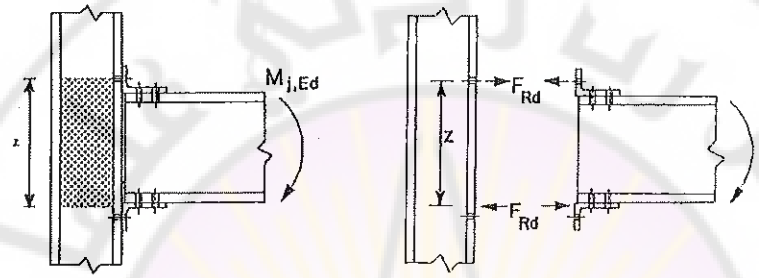
Z – ذراع المزدوجة ويعطى في الشكل (4-1-1).

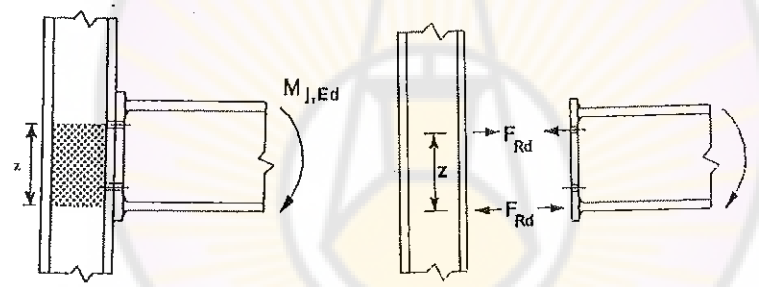
υ – معامل يأخذ بعين الاعتبار تأثير الضغط الطولي في العمود على تصميم الجزء (2) المبين على الشكل (4-2) على القص. ويعطى هذا المعامل بالعلاقة:

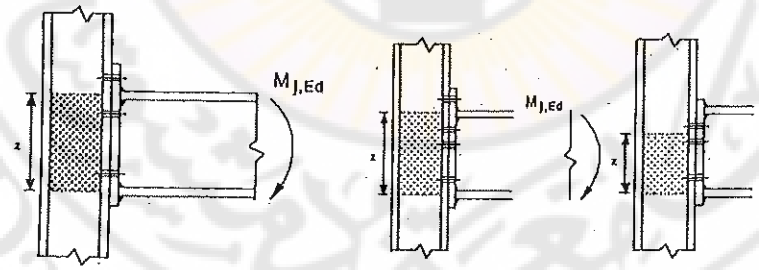
$$\nu = 0.55*\left[1+2*\left(\frac{P_C}{N_{PL.Rd}}\right)\right] \le 1.1$$



$z = h - t_{fb}$







الشكل (4-1-1) تحديد قيم الذراع z

Damascus University

حيث:

P_C – تحمل العمود على الضغط المحوري المبينة أعلاه.

$N_{PL.Rd}$ – المقاومة اللدنة لمقطع العمود على الضغط المبينة أعلاه في البند 1 /الاشتراطات/.

Damascus University

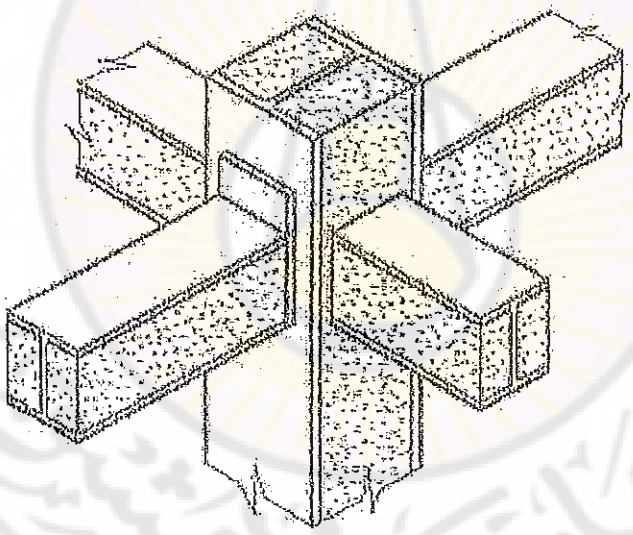
الفصل العاشر

الجوائز المغلفة بالبيتون

Encased Steel Beams

مقدمة: Introduction

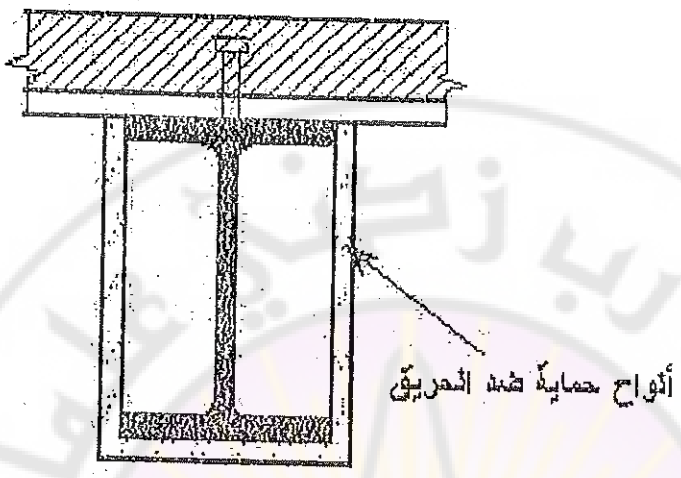
الجوائز المغلفة بالبيتون تحقق شروط مقاومة الحريق. كما أنه يتم وضع قضبان تسليح ضمن البيتون المغلف للمقطع الفولاذي وهذا يزيد من مقاومة المقطع المركب. يجب الانتباه إلى أنه لا يمكن الوصول إلى سطح المقاطع الفولاذية من أجل عمليات الوصل أو المعالجة بعد تنفيذ الطبقة البيتونية لذا يجب أن تتم جميع الاعمال على المقطع الفولاذي قبل تغليفه بالبيتون كما هو مبين على الشكل (1).



الشكل (1) التقاء الجوائز المركبة مع الأعمدة المركبة

إن الميزة الأكثر أهمية للمقطع المغلف جزئياً بالبيتون هي مقاومته العالية للحريق. تنتج مقاومة الحريق لحقيقة أن الجزء البيتوني يمنع الأجزاء الفولاذية الداخلية (المقطع

الفولاذي وحديد التسليح) من أن تسخن بشكل سريع. كما أنه يمكن استخدام ألواح للحماية ضد الحريق كما هو مبين على الشكل (2).



الشكل (2) تركيب ألواح مقاومة للحريق

تتميز هذه المقاطع بجناحها السفلي الحر حيث يتم تثبيت أو تربيط تجهيزات الخدمات إليه.

10-1- تصنيف المقاطع المركبة المغلفة بالبيتون:

Classification of composite sections with concrete encasement

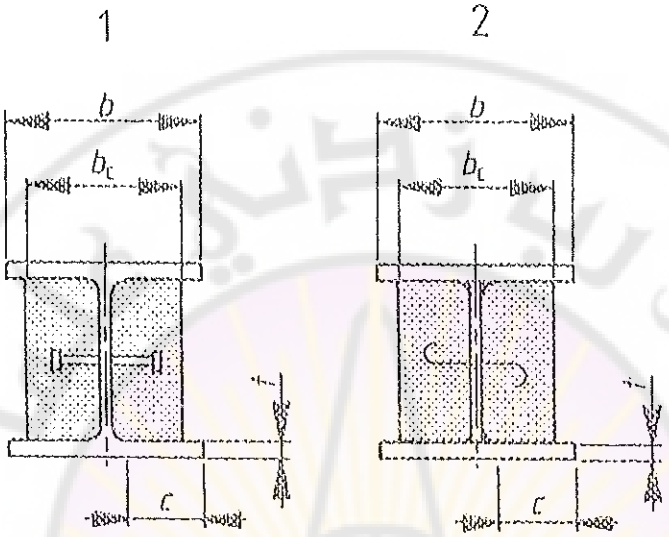
اعتماداً على الكود الأوروبي BS EN 1994-1-1:2004.

تصنيف الجناح:

يعتمد الجناح لدن في حال:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$$

C – هو طول الجزء الناتئ ثابت السماكة لجناح المقطع الفولاذي لحالة المقطع المدرفل. وهو طول الجزء الناتئ لجناح المقطع الفولاذي اعتباراً من نهاية ساق اللحام بين الجناح والجسد لحالة المقطع الملحوم كما هو مبين على الشكل (1-1).



/1/ مقطع فولاذي مدرفل

/2/ مقطع فولاذي ملحوم

الشكل (1-1) تصنيف المقطع الفولاذي المغلف بالبيتون

يعتمد الجناح مكتنزاً في حال:

$$\frac{c}{t} \le 14\varepsilon$$

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

f_y – إجهاد السيلان الاسمي للمقطع الفولاذي.

يعتمد الجناح نصف مكتنزاً في حال:

$$\frac{c}{t} \le 20\varepsilon$$

تصنيف الجسد:

يعتبر الجسد مكتنزاً لحالة المحور المحايد في منتصف الجسد:

$$\frac{d}{t} \le 124\varepsilon$$

تم اعتماد التصنيف أعلاه باعتبار أن البيتون المغلف للمقطع الفولاذي يمنع تحنيب الجسد وكذلك الجناح المضغوط ممنوع من التحنيب باتجاه الجسد. بناءاً على ذلك يجب أن تتحقق الاشتراطات التالية:

- يجب أن يحقق البيتون المغلف للمقطع الفولاذي المبين على الشكل (1-1) النسبة التالية:

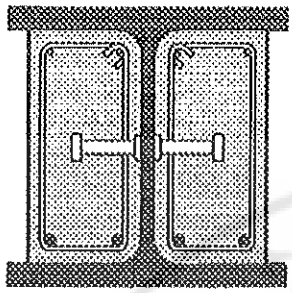
$$0.8 \le \frac{b_c}{b} \le 1.0$$

b – عرض جناح المقطع الفولاذي.

b_c – عرض الجزء البيتوني المغلف للمقطع الفولاذي.

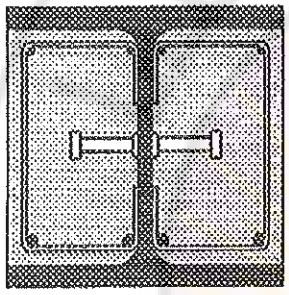
- يتم تسليح البيتون المغلف بقضبان طولية وأساور كما هو مبين على الشكل (1-2). القطر الأصغري للأساور $\phi_{min} = 6mm$ والقطر الأصغري لمسامير القص d_{min}= 10 mm.

1



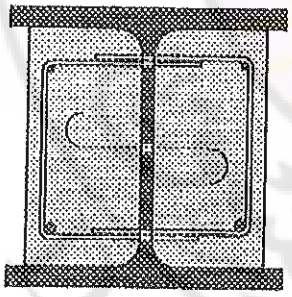
/١/ اساور مغلقة

2



/٢/ اساور مفتوحة وملحومة لجسد المقطع الفولاذي

3



/٣/ اساور مخترقة لجسد المقطع الفولاذي

الشكل (1-2) أنواع الأساور في المقطع البيتوني المغلف للمقطع الفولاذي

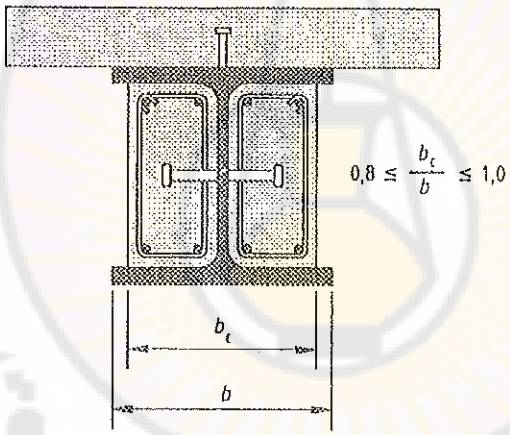
• التباعد الطولي الأعظمي لكل من الأساور ومسامير القص لا يتجاوز 400 .mm.

• التوزيع العرضي لمسامير القص يجب أن يحقق:

التباعد الأعظمي بين الوجه الداخلي لجناح المقطع الفولاذي وأقرب صف مسامير لا يتجاوز .200 mm

للمقاطع الفولاذية ذات العمق الكبير (أكبر من .400 mm) يتم استخدام صفين أو أكثر من مسامير القص.

في حالة المقطع الفولاذي المغلف بالبيتون المسلح والحامل لبلاطة بيتونية كما هو مبين على الشكل (1-3)، فإن الاشتراطات المبينة أعلاه تطبق على هذا المقطع.

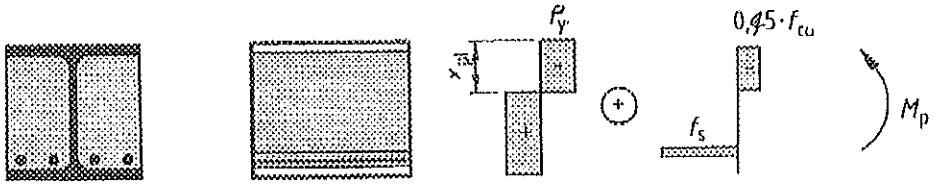


الشكل (1-3) مقطع فولاذي مغلف بالبيتون ويحمل بلاطة بيتونية

10-2- مقاومة المقاطع المركبة المغلفة بالبيتون:

Resistance of composite sections with concrete encasement

يعرض الشكل (2-1) توزع الإجهادات اللدنة في المقطع المركب. يمكن إهمال مشاركة البيتون المسلح المغلف للمقطع الفولاذي.



الشكل (2-1) توزع الإجهادات اللدنة في مقطع فولاذي مغلف بالبيتون

إن المشاركة الأساسية للبيتون المسلح المغلف للمقطع الفولاذي تكمن فيما يلي:

- منع التحنيب لكل من الجسد والجناح كما هو مبين في الفقرة (1) مما يرفع من تحمل المقطع الفولاذي بنقل المقطع مثلاً من مقطع نصف مكتنز إلى مقطع مكتنز أو لدن.
- يرفع من قساوة المقطع والتي تؤدي إلى تخفيض السهوم النهائية.
- زيادة المقطع المركب على تحمل القص الشاقولي.

يعتبر البيتون المسلح (المغلف للمقطع الفولاذي) المشدود متشققاً ولا يدخل في عمل المقطع المركب، كما هو مبين على الشكل (2-1) والشكل (2-2) الذي يبين توزع الإجهادات اللدنة في مقطع فولاذي مغلف بالبيتون ويحمل بلاطة بيتونية مسلحة وذلك في حالة العزم الموجب. بينما يدخل البيتون المسلح المضغوط المغلف للمقطع الفولاذي الحامل لبلاطة بيتونية مسلحة في حالة العزم السالب والمبين على الشكل (2-3). مع ملاحظة بأنه يمكن إهمال عمل هذا البيتون المضغوط المغلف للمقطع الفولاذي كما هو مبين أعلاه. حيث:

M_P – عزم الانعطاف المقاوم اللدن للمقطع.

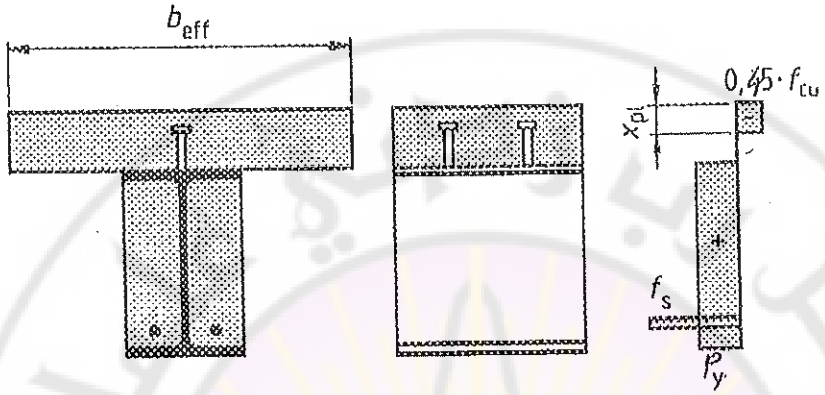
f_{CU} – المقاومة المكعبية للبيتون.

P_Y – إجهاد السيلان التصميمي لفولاذ المقطع.

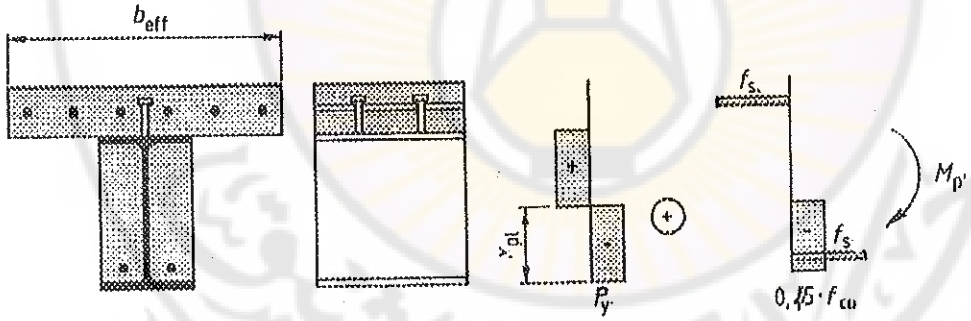
f_S – إجهاد السيلان التصميمي لفولاذ التسليح المشدود.

$f_S = 0.87 * F_Y$

F_Y – إجهاد سيلان فولاذ التسليح.



الشكل (2–2) توزع الإجهادات اللدنة في مقطع فولاذي مغلف بالبيتون ويحمل بلاطة بيتونية مسلحة (حالة العزم الموجب)



الشكل (2–3) توزع الإجهادات اللدنة في مقطع فولاذي مغلف بالبيتون ويحمل بلاطة بيتونية مسلحة (حالة العزم السالب)

Damascus University

المصطلحات العلمية

انكليزي – عربي

A

Adhesion	الالتصاق
Admissible displacement	الانتقالات المسموحة
Allowable stress	الإجهاد المسموح به
Angle section	مقطع زاوية
Applied forces	قوى مطبقة
Arc welding	اللحام بالقوس الكهربائي
Axial force	قوة محورية
Axial Tension	الشد المحوري

B

Battened member	عنصر مقوى
Beam	جائز
Bearing failure	الانهيار نتيجة التحميل
Bending moment	عزم الانعطاف
Bond stress	إجهاد الترابط أو التلاحم
Boundary conditions	شروط النهايات
Bracing	التربيط
Breadth	العرض
Buckling	التحنيب
Buckling length	طول التحنيب

Buckling stress	إجهاد التحنيب
Buckling strength	مقاومة التحنيب

C

Cantilever	ظفر
Capacity reduction coefficient	معامل تخفيض المقاومة
Coefficient	معامل
Column	عمود
Combined loads	تراكيب الأحمال
Compression	ضغط
Concentrated loads	حمولات مركزة
Concrete	بيتون
Connections	وصلات
Continuous beam	جائز مستمر
Contraflexure points	نقاط انعدام عزم الانعطاف
Cover	التغطية
Cross-section	مقطع عرضي
Cross section area	مساحة المقطع العرضي

D

Deflection of beam	سهم الجائز
Deformation	تشوه
Diagonal bracing	رابط قطري
Diagram	مخطط
Direct connection	وصل مباشر

Displacement	انتقال
Distributed loads	حمولات موزعة
Determinate structures	منشآت مقررة

E

Eccentric loading	تحميل المركزي
Effective length of column	الطول المكافئ للعمود
Effective depth	الارتفاع الفعال
Effective span	المجاز الفعال
Elastic behavior	السلوك المرن
Elastic line , curve	الخط المرن
Elastic section modulus	معامل المقطع المرن
Elastic design	التصميم بالطريقة المرنة
Elastic modulus	معامل مرونة المادة
Elastic limit	حد المرونة
Elastic deformation	تشوه مرن
Elongation	استطالة
Equilibrium	توازن
Equivalent area	مساحة مكافئة
Equivalent length	طول مكافئ
Equivalent load	حمولة مكافئة
Expansion joint	فاصل تمدد
External forces	قوى خارجية

F

Factor of safety	عامل الأمان
Failure	انهيار
Fixity	وثاقة
Fixed support	مسند موثوق
Flexibility coefficient	عامل المرونة
Flexural rigidity (EI)	صلابة الانعطاف
Flange	جناح المقطع
Flange buckling	تحنيب الجناح

G

Geometric stability	استقرار هندسي
Girder	جائز رئيسي
Gusset	شطفة
Grade of steel	ماركة الفولاذ
Gross area	مساحة إجمالية

H

Height	ارتفاع
Hinge	مفصل
Hinged	متمفصل
Hinged support	مسند متمفصل
High tensile steel	فولاذ عالي المقاومة
Hook	عكفة
Horizontal force	قوة أفقية

I

Indeterminate structure	منشأ غير مقرر
Inertia	عطالة
Internal force	قوة داخلية
Inflections point	نقطة انعطاف
Instability	عدم الاستقرار

J

Joint	عقدة
Junction	مكان الاتصال – ملتقى – تربيط

L

Lapping	تداخل
Lateral buckling	تحنيب جانبي
Lateral deflection	سهم أو انحراف جانبي
Length	طول
Limit of elasticity	حد المرونة
Limit design	تصميم حدي
Line load	حمولة خطية
Live load	حمولة حية
Local bond stress	إجهاد الالتصاق الموضعي
Lower chord	الوتر السفلي للجائز الشبكي
Lug angle	زاوية مساعدة

M

Material property	خواص المادة

Mold	قالب
Multistory	متعدد الطوابق
Modulus of elasticity (E)	معامل المرونة
Modulus of rigidity (G)	عامل مرونة القص
Moment diagram	مخطط العزم
Moment of inertia	عزم العطالة

N

Nails	مسامير
Net area	مساحة صافية
Neutral axis	المحور السليم
Negative moment	العزم السالب
Node	عقدة
Nominal area	مساحة اسمية
Nominal diameter	قطر اسمي
Normal stress	إجهاد ناظمي

P

Pin-connected	اتصال مفصلي
Plastic analysis	التحليل اللدن
Plastic strains	التشوهات اللدنة
Plastic section modulus (S)	معامل المقطع اللدن
Plastic design	التصميم اللدن
Plate thickness	سماكة الصفيحة
Purlin	جائز ثانوي في السقف

R

Radius of gyration	نصف قطر العطالة
Rate of loading	معدل سرعة التحميل
Residual stress	الإجهاد المتبقي
Reaction forces	قوى ردود الأفعال
Reaction moment	عزم رد الفعل
Rigid joint	عقدة صلدة

S

Safety factor	معامل الأمان
Section area	مساحة المقطع
Service load	حمولة الخدمة
Shored construction	إنشاءات مدعمة
Shear connector	وصلة قص
Shear diagram	مخطط القص
Shear force	قوة القص
Shear stress	إجهاد القص
Shear strength	مقاومة القص
Slenderness ratio	نسبة النحافة
Splices	الوصل بالتراكب
Stability equations	معادلات الاستقرار
Steel box girders	جوائز فولاذية صندوقية
Steel-concrete composit beams	جوائز مختلطة من البيتون والفولاذ
Stress-strain diagram	مخطط الإجهاد – التشوه
Symmetric case	حالة التناظر

T

Tapered member	مقطع متدرج التضيق
Tension force	قوة الشد
Tension member	عنصر مشدود
Tensile stress	إجهاد الشد
Tensile strength	مقاومة الشد
I-Section	مقطع بشكل I
Theory of elasticity	نظرية المرونة
Theory of plasticity	نظرية اللدونة
Torsional buckling	التحنيب الفتلي
Torsional moment	عزم الفتل
Torque	مزدوجة الفتل

U

Ultimate stress design	التصميم وفق الاجهادات الحدية
Ultimate strength resistance	المقاومة القصوى
Uniform distributed load	حمولة موزعة بانتظام
Universal beam	جائز قياسي
Universal column	عمود قياسي
Upper chord	وتر علوي في الجائز الشبكي

V

Vertical displacement	انتقال شاقولي

W

Weak axis	المحور الضعيف

Web buckling	تحنيب الجسد
Web crushing	تحطم الجسد
Weldable	قابل للحام
Weld throat	عنق أو جذر اللحام
Working stress	إجهاد التشغيل

Y

Yield point	نقطة الخضوع
Yield stress levele	مستوى إجهاد السيلان

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع

- الكود العربي السوري للجدران الحاملة غير المسلحة في المباني – دمشق1994 .
- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة – دمشق 1994 .
- BS 5950 – 3.1 1990 : Code of practice for design of simple and continuous composite beams
- BS EN 1994 – 1-1 : 2004Eurocode 4 : Design of composite steel and concrete structures – General rules and rules for buildings
- Steel Structures – Practical design studies . T.J.MacGinley – Second edition1998
- Limit States Design of Structural Steelwork . David A. Nethercot – Third edition2001.
- MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION – LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN . FIRST EDITIO 1986 by American Institute of Steel Construction .

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الملحق

HOLLOW CIRCLE

Axis of moments through center

$$A = \frac{\pi(d^2 - d_1^2)}{4} = .785398\,(d^2 - d_1^2)$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64} = .049087\,(d^4 - d_1^4)$$

$$S = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{32d} = .098175\,\frac{d^4 - d_1^4}{d}$$

$$r = \frac{\sqrt{d^2 + d_1^2}}{4}$$

$$Z = \frac{d^3}{6} - \frac{d_1^3}{6}$$

HOLLOW RECTANGLE

Axis of moments through center

$$A = bd - b_1 d_1$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{12}$$

$$S = \frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{6d}$$

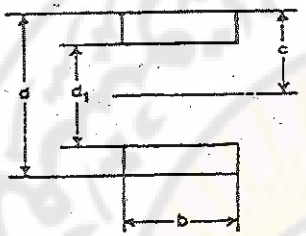
$$r = \sqrt{\frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{12\,A}}$$

$$Z = \frac{bd^2}{4} - \frac{b_1 d_1^2}{4}$$

Damascus University

EQUAL RECTANGLES

Axis of moments through center of gravity



$$A = b(d - d_1)$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{b(d^3 - d_1^3)}{12}$$

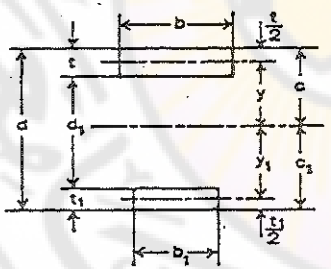
$$S = \frac{b(d^3 - d_1^3)}{6d}$$

$$r = \sqrt{\frac{d^3 - d_1^3}{12(d - d_1)}}$$

$$Z = \frac{b}{4}(d^2 - d_1^2)$$

UNEQUAL RECTANGLES

Axis of moments through center of gravity



$$A = bt + b_1t_1$$

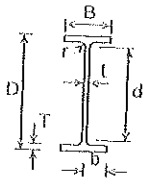
$$c = \frac{\frac{1}{2}bt^2 + b_1t_1(d - \frac{1}{2}t_1)}{A}$$

$$I = \frac{bt^3}{12} + bty^2 + \frac{b_1t_1^3}{12} + b_1t_1y_1^2$$

$$S = \frac{I}{c} \qquad S_1 = \frac{I}{c_1}$$

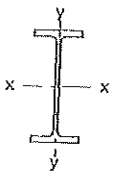
$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$Z = \frac{A}{2}\left[d - \left(\frac{t + t_1}{2}\right)\right]$$



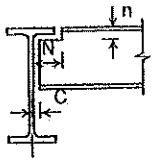
جداول المقاطع

UNIVERSAL BEAMS

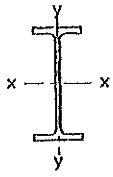


DIMENSIONS

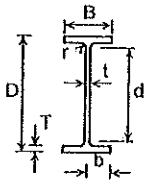
Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling	
				Web	Flange		Flange	Web
	kg/m	D mm	B mm	t mm	T mm	d mm	b/T	d/t
1016x305x487	486.6	1036.1	308.5	30	54.1	867.9	2.85	28.9
1016x305x437	436.9	1025.9	305.4	26.9	49	867.9	3.12	32.3
1016x305x393	392.7	1016	303	24.4	43.9	868.2	3.45	35.6
1016x305x349	349.4	1008.1	302	21.1	40	868.1	3.77	41.1
1016x305x314	314.3	1000	300	19.1	35.9	868.2	4.18	45.5
1016x305x272	272.3	990.1	300	16.5	31	868.1	4.84	52.6
1016x305x249	248.7	980.2	300	16.5	26	868.2	5.77	52.6
1016x305x222	222	970.3	300	16	21.1	868.1	7.11	54.3
914x419x388	388	921	420.5	21.4	36.6	799.6	5.74	37.4
914x419x343	343.3	911.8	418.5	19.4	32	799.6	6.54	41.2
914x305x289	289.1	926.6	307.7	19.5	32	824.4	4.81	42.3
914x305x253	253.4	918.4	305.5	17.3	27.9	824.4	5.47	47.7
914x305x224	224.2	910.4	304.1	15.9	23.9	824.4	6.36	51.8
914x305x201	200.9	903	303.3	15.1	20.2	824.4	7.51	54.6
838x292x226	226.5	850.9	293.8	16.1	26.8	761.7	5.48	47.3
838x292x194	193.8	840.7	292.4	14.7	21.7	761.7	6.74	51.8
838x292x176	175.9	834.9	291.7	14	18.8	761.7	7.76	54.4
762x267x197	196.8	769.8	268	15.6	25.4	686	5.28	44
762x267x173	173	762.2	266.7	14.3	21.6	686	6.17	48
762x267x147	146.9	754	265.2	12.8	17.5	686	7.58	53.6
762x267x134	133.9	750	264.4	12	15.5	686	8.53	57.2
686x254x170	170.2	692.9	255.8	14.5	23.7	615.1	5.4	42.4
686x254x152	152.4	687.5	254.5	13.2	21	615.1	6.06	46.6
686x254x140	140.1	683.5	253.7	12.4	19	615.1	6.68	49.6
686x254x125	125.2	677.9	253	11.7	16.2	615.1	7.81	52.6
610x305x238	238.1	635.8	311.4	18.4	31.4	540	4.96	29.3
610x305x179	179	620.2	307.1	14.1	23.6	540	6.51	38.3
610x305x149	149.2	612.4	304.8	11.8	19.7	540	7.74	45.8
610x229x140	139.9	617.2	230.2	13.1	22.1	547.6	5.21	41.8
610x229x125	125.1	612.2	229	11.9	19.6	547.6	5.84	46
610x229x113	113	607.6	228.2	11.1	17.3	547.6	6.6	49.3
610x229x101	101.2	602.6	227.6	10.5	14.8	547.6	7.69	52.2
533x210x122	122	544.5	211.9	12.7	21.3	476.5	4.97	37.5
533x210x109	109	539.5	210.8	11.6	18.8	476.5	5.61	41.1
533x210x101	101	536.7	210	10.8	17.4	476.5	6.03	44.1
533x210x92	92.1	533.1	209.3	10.1	15.6	476.5	6.71	47.2
533x210x82	82.2	528.3	208.8	9.6	13.2	476.5	7.91	49.6
457x191x98	98.3	467.2	192.8	11.4	19.6	407.6	4.92	35.8
457x191x89	89.3	463.4	191.9	10.5	17.7	407.6	5.42	38.8
457x191x82	82	460	191.3	9.9	16	407.6	5.98	41.2
457x191x74	74.3	457	190.4	9	14.5	407.6	6.57	45.3
457x191x67	67.1	453.4	189.9	8.5	12.7	407.6	7.48	48



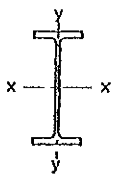
UNIVERSAL BEAMS



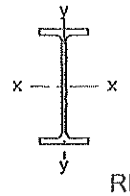
Dimensions for Detailing			Surface Area		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus	
End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y
C	N	n								
mm	mm	mm	m^2	m^2	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3
17	150	86	3.19	6.57	1020000	26700	40.6	6.57	19700	1730
16	150	80	3.17	7.25	910000	23500	40.4	6.49	17700	1540
14	150	74	3.14	8.01	808000	20500	40.2	6.4	15900	1350
13	150	70	3.13	8.96	723000	18500	40.3	6.44	14400	1220
12	150	66	3.11	9.9	644000	16200	40.1	6.37	12900	1080
10	152	63	3.1	11.4	554000	14000	40	6.35	11200	934
10	152	56	3.08	12.4	481000	11800	39	6.09	9820	784
10	152	52	3.06	13.8	408000	9550	38	5.81	8410	636
13	210	62	3.44	8.87	720000	45400	38.2	9.59	15600	2160
12	210	58	3.42	9.95	626000	39200	37.8	9.46	13700	1870
12	156	52	3.01	10.4	504000	15600	37	6.51	10900	1010
11	156	48	2.99	11.8	436000	13300	36.8	6.42	9500	871
10	156	44	2.97	13.3	376000	11200	36.3	6.27	8270	739
10	156	40	2.96	14.7	325000	9420	35.7	6.07	7200	621
10	150	46	2.81	12.4	340000	11400	34.3	6.27	7990	773
9	150	40	2.79	14.4	279000	9070	33.6	6.06	6640	620
9	150	38	2.78	15.8	246000	7800	33.1	5.9	5890	535
10	138	42	2.55	13	240000	8180	30.9	5.71	6230	610
9	138	40	2.53	14.6	205000	6850	30.5	5.58	5390	514
8	138	34	2.51	17.1	169000	5460	30	5.4	4470	411
8	138	32	2.51	18.7	151000	4790	29.7	5.3	4020	362
9	132	40	2.35	13.8	170000	6630	28	5.53	4920	518
9	132	38	2.34	15.4	150000	5780	27.8	5.46	4370	455
8	132	36	2.33	16.6	136000	5180	27.6	5.39	3990	409
8	132	32	2.32	18.5	118000	4380	27.2	5.24	3480	346
11	158	48	2.45	10.3	210000	15800	26.3	7.23	6590	1020
9	158	42	2.41	13.5	153000	11400	25.9	7.07	4940	743
8	158	38	2.39	16	126000	9310	25.7	7	4110	611
9	120	36	2.11	15.1	112000	4510	25	5.03	3620	391
8	120	34	2.09	16.7	98600	3930	24.9	4.97	3220	343
8	120	30	2.08	18.4	87300	3430	24.6	4.88	2870	301
7	120	28	2.07	20.5	75800	2920	24.2	4.75	2520	256
8	110	34	1.89	15.5	76000	3390	22.1	4.67	2790	320
8	110	32	1.88	17.2	66800	2940	21.9	4.6	2480	279
7	110	32	1.87	18.5	61500	2690	21.9	4.57	2290	256
7	110	30	1.86	20.2	55200	2390	21.7	4.51	2070	228
7	110	26	1.85	22.5	47500	2010	21.3	4.38	1800	192
8	102	30	1.67	16.9	45700	2350	19.1	4.33	1960	243
7	102	28	1.66	18.5	41000	2090	19	4.29	1770	218
7	102	28	1.65	20.1	37100	1870	18.8	4.23	1610	196
7	102	26	1.64	22.1	33300	1670	18.8	4.2	1460	176
6	102	24	1.63	24.3	29400	1450	18.5	4.12	1300	153



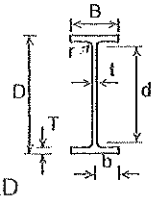
UNIVERSAL BEAMS



Section Designation	Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x	Axis y-y					
	cm^3	cm^3	u	x	H dm^6	J cm^4	A cm^2
1016x305x487	23200	2800	0.867	21.1	64.4	4300	620
1016x305x437	20800	2470	0.868	23.1	55.9	3190	557
1016x305x393	18500	2170	0.868	25.5	48.4	2330	500
1016x305x349	16600	1940	0.872	27.9	43.3	1720	445
1016x305x314	14900	1710	0.872	30.7	37.7	1260	400
1016x305x272	12800	1470	0.872	35	32.2	835	347
1016x305x249	11400	1250	0.861	39.9	26.8	582	317
1016x305x222	9810	1020	0.849	45.8	21.5	390	283
914x419x388	17700	3340	0.885	26.7	88.9	1730	494
914x419x343	15500	2890	0.883	30.1	75.8	1190	437
914x305x289	12600	1800	0.867	31.9	31.2	926	368
914x305x253	10900	1370	0.865	36.2	26.4	626	323
914x305x224	9540	1160	0.861	41.3	22.1	422	286
914x305x201	8350	982	0.853	46.9	18.4	291	256
838x292x226	9160	1210	0.869	35	19.3	514	289
838x292x194	7640	974	0.862	41.6	15.2	306	247
838x292x176	6810	842	0.856	46.5	13	221	224
762x267x197	7170	959	0.868	33.2	11.3	404	251
762x267x173	6200	807	0.865	38.1	9.39	267	220
762x267x147	5160	647	0.858	45.2	7.4	159	187
762x267x134	4640	570	0.853	49.8	6.46	119	171
686x254x170	5630	811	0.872	31.8	7.42	308	217
686x254x152	5000	710	0.871	35.4	6.42	220	194
686x254x140	4560	638	0.869	38.6	5.72	169	178
686x254x125	3990	542	0.863	43.8	4.8	116	159
610x305x238	7490	1570	0.887	21.3	14.5	785	303
610x305x179	5550	1140	0.886	27.7	10.2	340	228
610x305x149	4590	937	0.886	32.7	8.17	200	190
610x229x140	4140	611	0.875	30.6	3.99	216	178
610x229x125	3680	535	0.874	34.1	3.45	154	159
610x229x113	3280	469	0.87	38.1	2.99	111	144
610x229x101	2880	400	0.863	43.1	2.52	77	129
533x210x122	3200	500	0.878	27.6	2.32	178	155
533x210x109	2830	436	0.874	31	1.99	126	139
533x210x101	2610	399	0.873	33.2	1.81	101	129
533x210x92	2360	356	0.873	36.4	1.6	75.7	117
533x210x82	2060	300	0.863	41.6	1.33	51.5	105
457x191x98	2230	379	0.882	25.7	1.18	121	125
457x191x89	2010	338	0.879	28.3	1.04	90.7	114
457x191x82	1830	304	0.879	30.8	0.922	69.2	104
457x191x74	1650	272	0.877	33.8	0.818	51.8	94.6
457x191x67	1470	237	0.872	37.9	0.705	37.1	85.5

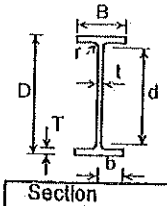


UNIVERSAL BEAMS

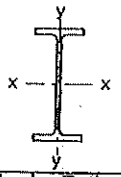


REDUCED PLASTIC MODULUS UNDER AXIAL LOAD

Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus					Plastic Modulus Axis y-y	Minor Axis Reduced Modulus				
	Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n			Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n	
cm^3	K1	K2		K3	K4	cm^3	K1	K2		K3	K4
23200	23200	32000	0.449	3120	9.31	2800	2800	928	0.501	8880	0.0768
20800	20800	28800	0.448	2540	10.2	2470	2470	756	0.495	7910	0.0747
18500	18500	25600	0.453	2060	11.3	2170	2170	615	0.496	7120	0.0641
16600	16600	23500	0.44	1640	12.7	1940	1940	491	0.478	6190	0.0858
14900	14900	20900	0.443	1330	14	1710	1710	400	0.478	5570	0.077
12800	12800	18200	0.441	1000	16.1	1470	1470	304	0.471	4860	0.072
11400	11400	15200	0.483	837	17.6	1250	1250	256	0.51	4830	-0.0158
9810	9810	12500	0.525	667	19.6	1020	1020	206	0.549	4740	-0.1053
17700	17700	28500	0.367	1450	14.7	3340	3340	663	0.399	8340	0.246
15500	15500	24600	0.376	1140	16.5	2890	2890	524	0.405	7470	0.225
12600	12600	17400	0.457	1100	14.5	1600	1600	366	0.491	5300	0.0695
10900	10900	15100	0.462	853	16.4	1370	1370	284	0.492	4670	0.0561
9540	9540	12800	0.48	671	18.4	1160	1160	224	0.507	4270	0.0178
8350	8350	10800	0.509	540	20.4	982	982	181	0.533	4050	-0.0424
9160	9160	12900	0.445	709	16.3	1210	1210	245	0.475	3880	0.0915
7640	7640	10400	0.475	521	18.9	974	974	181	0.501	3510	0.0283
6810	6810	8960	0.498	430	20.7	842	842	150	0.522	3340	-0.0208
7170	7170	10100	0.448	586	15.5	959	959	204	0.479	3090	0.0863
6200	6200	8490	0.467	455	17.4	807	807	159	0.495	2810	0.0457
5160	5160	6840	0.492	330	20.4	647	647	116	0.516	2500	-0.0082
4640	4640	6060	0.506	275	22.2	570	570	97	0.528	2350	-0.039
5630	5630	8110	0.432	459	15.3	811	811	170	0.463	2480	0.118
5000	5000	7130	0.439	370	17	710	710	137	0.468	2240	0.102
4560	4560	6420	0.449	314	18.4	638	638	116	0.475	2100	0.0806
3990	3990	5440	0.474	251	20.5	542	542	93.8	0.497	1960	0.028
7490	7490	12500	0.348	739	12.1	1570	1570	362	0.386	3660	0.289
5550	5550	9220	0.354	423	15.7	1140	1140	210	0.383	2760	0.271
4590	4590	7650	0.356	296	18.6	937	937	147	0.38	2290	0.264
4140	4140	6060	0.421	345	14.9	611	611	129	0.454	1800	0.142
3680	3680	5330	0.428	277	16.6	535	535	104	0.457	1620	0.127
3280	3280	4670	0.442	227	18.3	469	469	85.3	0.469	1500	0.097
2880	2880	3960	0.467	183	20.3	400	400	69	0.491	1400	0.0451
3200	3200	4750	0.41	285	13.8	500	500	111	0.445	1420	0.162
2830	2830	4160	0.419	229	15.4	436	436	89.4	0.451	1280	0.142
2610	2610	3830	0.421	197	16.5	399	399	77.1	0.45	1190	0.136
2360	2360	3410	0.432	165	18	356	356	64.6	0.459	1100	0.113
2060	2060	2850	0.46	131	20.1	300	300	51.9	0.484	1040	0.0531
2230	2230	3440	0.39	203	13.4	379	379	84	0.425	1000	0.207
2010	2010	3080	0.395	169	14.6	338	338	69.8	0.428	914	0.194
1830	1830	2760	0.406	143	15.8	304	304	59.3	0.436	853	0.172
1650	1650	2490	0.407	118	17.4	272	272	49	0.435	772	0.167
1470	1470	2150	0.425	96.3	19.1	237	237	40.3	0.451	720	0.128

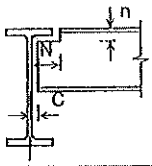


UNIVERSAL BEAMS

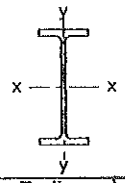


DIMENSIONS

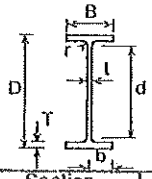
Section Designation	Mass per Metre	Depth of Section	Width of Section	Thickness		Depth between Fillets	Ratios for Local Buckling	
				Web	Flange		Flange	Web
	kg/m	D mm	B mm	t mm	T mm	d mm	b/T	d/t
457x152x82	82.1	465.8	155.3	10.5	18.9	407.6	4.11	38.8
457x152x74	74.2	462	154.4	9.6	17	407.6	4.54	42.5
457x152x67	67.2	458	153.8	9	15	407.6	5.13	45.3
457x152x60	59.8	454.6	152.9	8.1	13.3	407.6	5.75	50.3
457x152x52	52.3	449.8	152.4	7.6	10.9	407.6	6.99	53.6
406x178x74	74.2	412.8	179.5	9.5	16	360.4	5.61	37.9
406x178x67	67.1	409.4	178.8	8.8	14.3	360.4	6.25	41
406x178x60	60.1	406.4	177.9	7.9	12.8	360.4	6.95	45.6
406x178x54	54.1	402.6	177.7	7.7	10.9	360.4	8.15	46.8
406x140x46	46	403.2	142.2	6.8	11.2	360.4	6.35	53
406x140x39	39	398	141.8	6.4	8.6	360.4	8.24	56.3
356x171x67	67.1	363.4	173.2	9.1	15.7	311.6	5.52	34.2
356x171x57	57	358	172.2	8.1	13	311.6	6.62	38.5
356x171x51	51	355	171.5	7.4	11.5	311.6	7.46	42.1
356x171x45	45	351.4	171.1	7	9.7	311.6	8.82	44.5
356x127x39	39.1	353.4	126	6.6	10.7	311.6	5.89	47.2
356x127x33	33.1	349	125.4	6	8.5	311.6	7.38	51.9
305x165x54	54	310.4	166.9	7.9	13.7	265.2	6.09	33.6
305x165x46	46.1	306.6	165.7	6.7	11.8	265.2	7.02	39.6
305x165x40	40.3	303.4	165	6	10.2	265.2	8.09	44.2
305x127x48	48.1	311	125.3	9	14	265.2	4.47	29.5
305x127x42	41.9	307.2	124.3	8	12.1	265.2	5.14	33.1
305x127x37	37	304.4	123.4	7.1	10.7	265.2	5.77	37.4
305x102x33	32.8	312.7	102.4	6.6	10.8	275.9	4.74	41.8
305x102x28	28.2	308.7	101.8	6	8.8	275.9	5.78	46
305x102x25	24.8	305.1	101.6	5.8	7	275.9	7.26	47.6
254x146x43	43	259.6	147.3	7.2	12.7	219	5.8	30.4
254x146x37	37	256	146.4	6.3	10.9	219	6.72	34.8
254x146x31	31.1	251.4	146.1	6	8.6	219	8.49	36.5
254x102x28	28.3	260.4	102.2	6.3	10	225.2	5.11	35.7
305x102x25	24.8	305.1	101.6	5.8	7	275.9	7.26	47.6
254x146x43	43	259.6	147.3	7.2	12.7	219	5.8	30.4
254x146x37	37	256	146.4	6.3	10.9	219	6.72	34.8
254x146x31	31.1	251.4	146.1	6	8.6	219	8.49	36.5
254x102x28	28.3	260.4	102.2	6.3	10	225.2	5.11	35.7
254x102x25	25.2	257.2	101.9	6	8.4	225.2	6.07	37.5
254x102x22	22	254	101.6	5.7	6.8	225.2	7.47	39.5
203x133x30	30	206.8	133.9	6.4	9.6	172.4	6.97	26.9
203x133x25	25.1	203.2	133.2	5.7	7.8	172.4	8.54	30.2
203x102x23	23.1	203.2	101.8	5.4	9.3	169.4	5.47	31.4
178x102x19	19	177.8	101.2	4.8	7.9	146.8	6.41	30.6
152x89x16	16	152.4	88.7	4.5	7.7	121.8	5.76	27.1
127x76x13	13	127	76	4	7.6	96.6	5	24.1



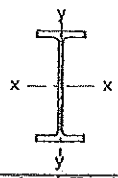
UNIVERSAL BEAMS



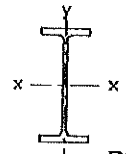
Dimensions for Detailing			Surface Area		Second Moment of Area		Radius of Gyration		Elastic Modulus	
End Clearance	Notch		Per Metre	Per Tonne	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y	Axis x-x	Axis y-y
C	N	n								
mm	mm	mm	m^2	m^2	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3
7	84	30	1.51	18.4	36600	1190	18.7	3.37	1570	153
7	84	28	1.5	20.3	32700	1050	18.6	3.33	1410	136
7	84	26	1.5	22.3	28900	913	18.4	3.27	1260	119
6	84	24	1.49	24.9	25500	795	18.3	3.23	1120	104
6	84	22	1.48	28.2	21400	645	17.9	3.11	950	84.6
7	96	28	1.51	20.3	27300	1550	17	4.04	1320	172
6	96	26	1.5	22.3	24300	1370	16.9	3.99	1190	153
6	96	24	1.49	24.8	21600	1200	16.8	3.97	1060	135
6	96	22	1.48	27.4	18700	1020	16.5	3.85	930	115
5	78	22	1.34	29.2	15700	538	16.4	3.03	778	75.7
5	78	20	1.33	34.2	12500	410	15.9	2.87	629	57.8
7	94	26	1.38	20.6	19500	1360	15.1	3.99	1070	157
6	94	24	1.37	24.1	16000	1110	14.9	3.91	896	129
6	94	22	1.36	26.7	14100	968	14.8	3.86	796	113
6	94	20	1.36	30.1	12100	811	14.5	3.76	687	94.8
5	70	22	1.18	30.2	10200	358	14.3	2.68	576	56.8
5	70	20	1.17	35.4	8250	280	14	2.58	473	44.7
6	90	24	1.26	23.3	11700	1060	13	3.93	754	127
5	90	22	1.25	27.1	9900	896	13	3.9	646	108
5	90	20	1.24	30.8	8500	764	12.9	3.86	560	92.6
7	70	24	1.09	22.7	9580	461	12.5	2.74	616	73.6
6	70	22	1.08	25.8	8200	389	12.4	2.7	534	62.6
6	70	20	1.07	29	7170	336	12.3	2.67	471	54.5
5	58	20	1.01	30.8	6500	194	12.5	2.15	416	37.9
5	58	18	1	35.4	5370	155	12.2	2.08	348	30.5
5	58	16	0.992	40	4460	123	11.9	1.97	292	24.2
6	82	22	1.08	25.1	6540	677	10.9	3.52	504	92
5	82	20	1.07	29	5540	571	10.8	3.48	433	78
5	82	18	1.06	34.2	4410	448	10.5	3.36	351	61.3
5	58	18	0.904	31.9	4010	179	10.5	2.22	308	34.9
5	58	16	0.992	40	4460	123	11.9	1.97	292	24.2
6	82	22	1.08	25.1	6540	677	10.9	3.52	504	92
5	82	20	1.07	29	5540	571	10.8	3.48	433	78
5	82	18	1.06	34.2	4410	448	10.5	3.36	351	61.3
5	58	18	0.904	31.9	4010	179	10.5	2.22	308	34.9
5	58	16	0.897	35.6	3420	149	10.3	2.15	266	29.2
5	58	16	0.89	40.5	2840	119	10.1	2.06	224	23.5
5	74	18	0.923	30.8	2900	385	8.71	3.17	280	57.5
5	74	16	0.915	36.4	2340	308	8.56	3.1	230	46.2
5	60	18	0.79	34.2	2110	164	8.46	2.36	207	32.2
4	60	16	0.738	38.8	1360	137	7.48	2.37	153	27
4	54	16	0.638	39.8	834	89.8	6.41	2.1	109	20.2
4	46	16	0.537	41.3	473	55.7	5.35	1.84	74.6	14.7



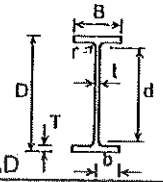
UNIVERSAL BEAMS



Section Designation	Plastic Modulus		Buckling Parameter	Torsional Index	Warping Constant	Torsional Constant	Area of Section
	Axis x-x cm^3	Axis y-y cm^3	u	x	H dm^6	J cm^4	A cm^2
457x152x82	1810	240	0.871	27.4	0.591	89.2	105
457x152x74	1630	213	0.873	30.2	0.518	65.9	94.5
457x152x67	1450	187	0.868	33.6	0.448	47.7	85.6
457x152x60	1290	163	0.868	37.5	0.387	33.8	76.2
457x152x52	1100	133	0.859	43.8	0.311	21.4	66.6
406x178x74	1500	267	0.882	27.6	0.608	62.8	94.5
406x178x67	1350	237	0.88	30.5	0.533	46.1	85.5
406x178x60	1200	209	0.88	33.8	0.466	33.3	76.5
406x178x54	1060	178	0.871	38.3	0.392	23.1	69
406x140x46	888	118	0.872	39	0.207	19	58.6
406x140x39	724	90.8	0.858	47.5	0.155	10.7	49.7
356x171x67	1210	243	0.886	24.4	0.412	55.7	85.5
356x171x57	1010	199	0.882	28.8	0.33	33.4	72.6
356x171x51	896	174	0.881	32.1	0.286	23.8	64.9
356x171x45	775	147	0.874	36.8	0.237	15.8	57.3
356x127x39	659	89.1	0.871	35.2	0.105	15.1	49.8
356x127x33	543	70.3	0.863	42.2	0.081	8.79	42.1
305x165x54	846	196	0.889	23.6	0.234	34.8	68.8
305x165x46	720	166	0.891	27.1	0.195	22.2	58.7
305x165x40	623	142	0.889	31	0.164	14.7	51.3
305x127x48	711	116	0.874	23.3	0.102	31.8	61.2
305x127x42	614	98.4	0.872	26.6	0.0846	21.1	53.4
305x127x37	539	85.4	0.871	29.7	0.0725	14.8	47.2
305x102x33	481	60	0.867	31.6	0.0442	12.2	41.8
305x102x28	403	48.5	0.859	37.4	0.0349	7.4	35.9
305x102x25	342	38.8	0.846	43.4	0.0273	4.77	31.6
254x146x43	566	141	0.89	21.2	0.103	23.9	54.8
254x146x37	483	119	0.889	24.4	0.0857	15.3	47.2
254x146x31	393	94.1	0.879	29.6	0.066	8.55	39.7
254x102x28	353	54.8	0.874	27.5	0.028	9.57	36.1
305x102x25	342	38.8	0.846	43.4	0.0273	4.77	31.6
254x146x43	566	141	0.89	21.2	0.103	23.9	54.8
254x146x37	483	119	0.889	24.4	0.0857	15.3	47.2
254x146x31	393	94.1	0.879	29.6	0.066	8.55	39.7
254x102x28	353	54.8	0.874	27.5	0.028	9.57	36.1
254x102x25	306	46	0.867	31.4	0.023	6.42	32
254x102x22	259	37.3	0.856	36.3	0.0182	4.15	28
203x133x30	314	88.2	0.881	21.5	0.0374	10.3	38.2
203x133x25	258	70.9	0.877	25.6	0.0294	5.96	32
203x102x23	234	49.8	0.888	22.5	0.0154	7.02	29.4
178x102x19	171	41.6	0.886	22.6	0.00987	4.41	24.3
152x89x16	123	31.2	0.889	19.6	0.0047	3.56	20.3
127x76x13	84.2	22.6	0.896	16.3	0.00199	2.85	16.5

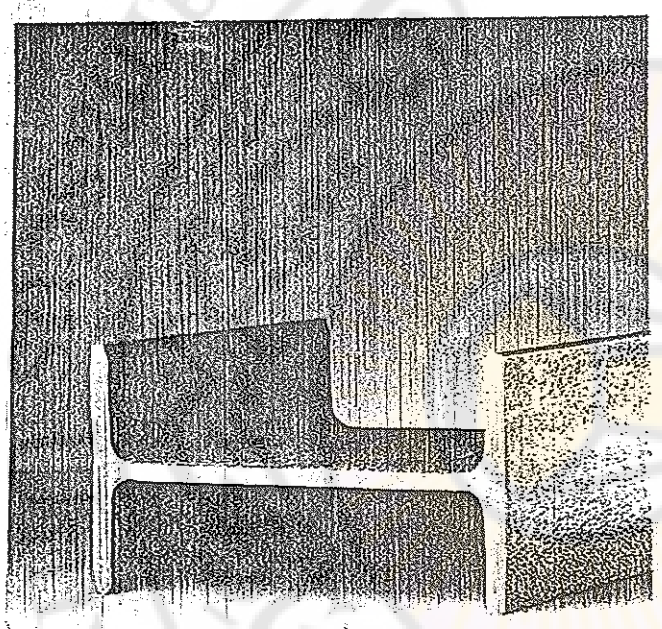


UNIVERSAL BEAMS



REDUCED PLASTIC MODULUS UNDER AXIAL LOAD

Plastic Modulus Axis x-x	Major Axis Reduced Modulus					Plastic Modulus Axis y-y	Minor Axis Reduced Modulus				
	Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n			Lower Values of n		Change Formula At n =	Higher Values of n	
cm^3	K1	K2		K3	K4	cm^3	K1	K2		K3	K4
1810	1810	2660	0.43	176	12.8	240	240	58.7	0.468	723	0.123
1630	1630	2320	0.436	145	14.1	213	213	48.3	0.469	656	0.111
1450	1450	2030	0.45	119	15.5	187	187	40	0.482	610	0.0786
1290	1290	1790	0.455	95	17.2	163	163	32	0.483	546	0.067
1100	1100	1460	0.488	72.9	19.6	133	133	24.7	0.513	509	-0.0029
1500	1500	2350	0.383	124	14.7	267	267	54.1	0.415	698	0.216
1350	1350	2080	0.392	102	16.1	237	237	44.7	0.421	640	0.196
1200	1200	1850	0.393	82.3	17.9	209	209	36	0.42	572	0.19
1060	1060	1540	0.425	66.9	19.8	178	178	29.5	0.45	545	0.124
888	888	1260	0.442	60.5	18.6	118	118	21.3	0.468	384	0.0864
724	724	963	0.491	43.5	21.7	90.8	90.8	15.5	0.513	358	-0.0176
1210	1210	2010	0.353	105	13.7	243	243	50.3	0.387	582	0.272
1010	1010	1630	0.371	76.4	16	199	199	36.8	0.4	506	0.234
896	896	1420	0.379	61.4	17.8	174	174	29.7	0.405	458	0.215
775	775	1170	0.405	48	20	147	147	23.4	0.429	423	0.158
659	659	938	0.44	49.1	16.9	89.1	89.1	17.5	0.469	289	0.0836
543	543	740	0.473	35.4	19.8	70.3	70.3	12.7	0.497	261	0.012
846	846	1500	0.325	70.8	14.1	196	196	38.1	0.357	431	0.33
720	720	1290	0.323	52.1	16.3	166	166	28.1	0.35	366	0.331
623	623	1100	0.331	39.9	18.5	142	142	21.7	0.355	323	0.312
711	711	1040	0.416	74.8	11.7	116	116	30.1	0.457	335	0.146
614	614	891	0.424	57.4	13.3	98.4	98.4	23.2	0.46	295	0.127
539	539	784	0.426	45.1	14.9	85.4	85.4	18.3	0.468	260	0.119
481	481	663	0.459	42.7	14.3	60	60	14	0.493	202	0.0576
403	403	536	0.487	31.6	16.5	48.5	48.5	10.4	0.516	183	-0.0012
342	342	431	0.534	24.6	18.6	38.8	38.8	8.18	0.56	178	-0.0999
566	566	1040	0.308	50.9	13	141	141	28.9	0.341	295	0.366
483	483	883	0.313	38	14.9	119	119	21.7	0.342	255	0.353
393	393	656	0.354	26.9	17.5	94.1	94.1	15.7	0.38	229	0.267
353	353	517	0.42	31.8	13.8	54.8	54.8	12.5	0.455	163	0.133
342	342	431	0.534	24.6	18.6	38.8	38.8	8.18	0.56	178	-0.0999
566	566	1040	0.308	50.9	13	141	141	28.9	0.341	295	0.366
483	483	883	0.313	38	14.9	119	119	21.7	0.342	255	0.353
393	393	656	0.354	26.9	17.5	94.1	94.1	15.7	0.38	229	0.267
353	353	517	0.42	31.8	13.8	54.8	54.8	12.5	0.455	163	0.133
306	306	428	0.45	25.2	15.4	46	46	9.98	0.482	153	0.0686
259	259	344	0.489	19.3	17.4	37.3	37.3	7.73	0.517	144	-0.0136
314	314	570	0.314	27.3	13.5	88.2	88.2	17.7	0.346	190	0.346
258	258	448	0.334	19.2	15.9	70.9	70.9	12.6	0.362	164	0.3
234	234	400	0.339	21.2	13.1	49.8	49.8	10.6	0.373	116	0.288
171	171	307	0.321	14.5	13.8	41.6	41.6	8.28	0.352	93.1	0.318
123	123	229	0.303	11.6	12.3	31.2	31.2	6.77	0.337	67	0.344
84.2	84.2	171	0.271	8.98	10.7	22.6	22.6	5.37	0.308	44.9	0.399



MEDIUM FLANGE I-BEAMS

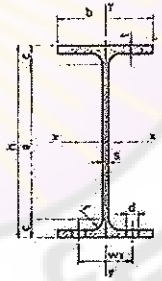
(Hot rolled, Parallel Flanges)

PROPERTIES FOR DESIGNING

TS 910/5 - 1972
DIN 1025/5 - 1965
EURONORM 19 - 57

STEEL MATERIAL

TS 2162 - 1986	SFe 37.2 and SFe 44.2
DIN 17100 - 1980	RSt 37.2 and RSt 44.2



Symbol	Geometrical Dimensions							Cross Sect.	G	Surface Area	Static Values							Tangent Key DIN 697	
						DIN 697					x - x				y - y				
h8	h	b	s	t	r	d	d	F	g	U	I	W	i	S	I	W	i	d	w
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m(G)	m²/m	cm⁴	cm³	cm	cm³	cm⁴	cm³	cm	mm	mm
80	80	46	3,8	5,2	5	10,5	59	7,64	6,00	0,328	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	6,4	26	
100	100	55	4,1	5,7	7	13,0	74	10,3	8,10	0,400	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	8,4	30	
120	120	64	4,4	6,3	7	13,5	93	13,2	10,4	0,475	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	8,4	36	
140	140	73	4,7	6,9	7	14,0	112	16,4	12,9	0,551	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	11	40	
160	160	82	5,0	7,4	9	16,5	127	20,1	15,8	0,623	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	13	44	
180	180	91	5,3	8,0	9	17,0	146	23,9	18,8	0,698	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	13	50	
200	200	100	5,6	8,5	12	20,5	159	28,5	22,4	0,768	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	13	56	
220	220	110	5,9	9,2	12	21,5	177	33,4	26,2	0,848	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	17	60	
240	240	120	6,2	9,8	15	25,0	190	39,1	30,7	0,922	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	17	68	
270	270	135	6,6	10,2	15	25,5	219	45,9	36,1	1,041	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	17/21	72	
300	300	150	7,1	10,7	15	26,0	248	53,8	42,2	1,159	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	23	80	

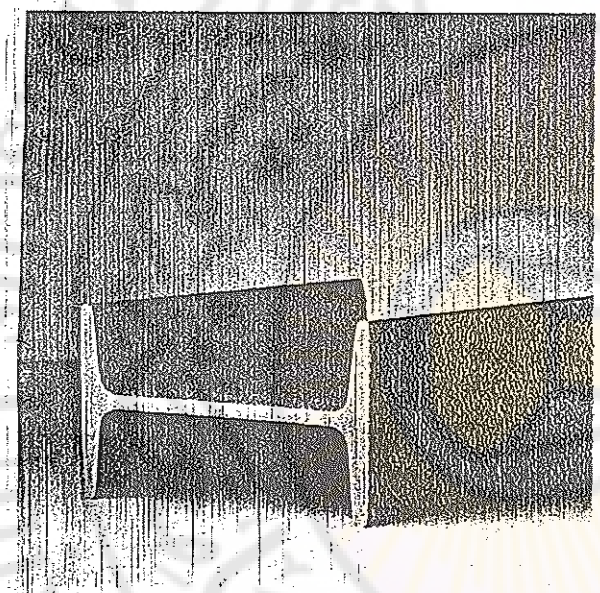
Production of the sections marked with colour is carried on.
Production of another sections can be carried out if it's over economical value according to the Preliminary agreement to be held with TDCI General Directorate.

WASTMAS-Series									
W150	150	100	4,3	5,5				17,3	13,58
W200	200	100	4,3	5,2				19,1	14,99

Calibrations of these profiles exist but production depends on ordering.

NARROW FLANGE I BEAMS

(Hot rolled, taper flanges)

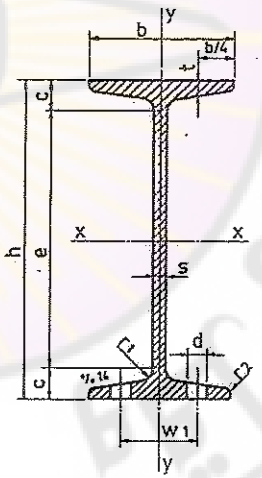


PROPERTIES FOR DESIGNING

TS 910/1 - 1972
DIN 1025/1 - 1963
EURONORM

STEEL MATERIAL

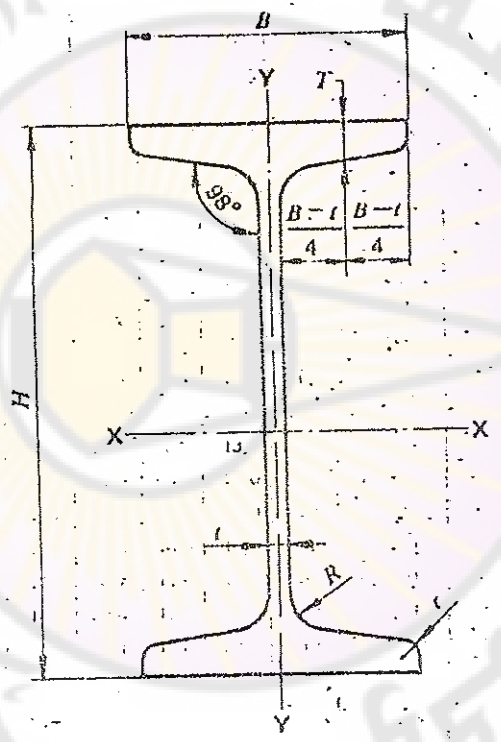
TS 2162 - 1986	SFe 37.2 and SFe 44.2
DIN 17100 - 1980	RSt 37.2 and RSt 44.2



Symbol NPI	Dimensions for					DIN 997		Cross section	Weight	Surface Area	Static Values						Flange Hole DIN 997	
											x - x			y - y				
	h	b	t	r_1;s	r_2	c	e	F	h	U	J_x	W_x	I_x	J_y	W_y	I_y	d	W_r
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm²	kg/m (g)	m²/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	max. mm	min. mm
80	80	42	5,9	3,9	2,3	10,5	59	7,57	5,94	0,304	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	6,4	22
100	100	50	6,8	4,5	2,7	12,5	75	10,6	8,34	0,370	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	6,4	28
120	120	58	7,7	5,1	3,1	14,0	92	14,2	11,1	0,439	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	8,4	32
140	140	66	8,6	5,7	3,4	15,5	109	18,2	14,3	0,502	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	11	34
160	160	74	9,5	6,3	3,8	17,5	125	22,8	17,9	0,575	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	11	40
200	200	90	11,3	7,5	4,5	20,5	159	33,4	26,2	0,709	2140	214	8,00	117	26,0	1,87	13	48
240	240	106	13,1	8,7	5,2	24,0	192	46,1	36,2	0,844	4250	354	9,59	221	41,7	2,20	17	56
260	260	113	14,1	9,4	5,6	26,0	208	53,3	41,9	0,906	5740	442	10,4	288	51,0	2,32	17	60
300	300	125	16,2	10,8	6,5	29,5	241	69,0	54,2	1,030	9800	653	11,9	451	72,2	2,56	21	64
380	380	149	20,5	13,7	8,2	37,0	306	107	84,0	1,270	24010	1260	15,0	975	131	3,02	23	82

The above specified sections can be produced in terms of quantity according to annual production programmes prepared by TDÇİ General Directorate in case they are above economical values.

أبعاد وخصائص مقاطع الجوائز المدلفنة على الساخن ذات الشفة المائلـــــــة



التسمية	الكتلة	مساحة المقطع	الأبعاد						خصائص المقطع حول المحاور					
									X – X			Y – Y		
	M	A	H	B	T	t	R^*	r^*	I_x	Z_x	r_x	I_y	Z_y	r_y
	kg/m	cm^2	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3	cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
SB 80 × 6	6,03	7,69	80	40	6,0	4,0	6,0	3,0	77,7	19,4	3,18	6,66	2,82	0,867
SB 100 × 8	8,67	10,9	100	50	6,8	4,6	7,0	3,6	175	35,0	4,01	12,3	4,93	1,06
SB 120 × 12	11,6	14,7	120	60	7,6	5,0	8,0	4,0	342	57,0	4,83	23,5	7,84	1,27
SB 140 × 16	14,8	18,8	140	70	8,4	5,5	8,0	4,0	603	86,2	5,66	41,2	11,8	1,48
SB 160 × 18	18,5	23,6	160	80	9,2	6,0	9,0	4,5	993	124	6,49	66,7	16,7	1,68
SB 180 × 23	22,7	28,9	180	90	10,0	6,5	10,0	5,0	1 540	172	7,31	103	22,8	1,89
SB 200 × 27	27,2	34,6	200	100	10,8	7,0	11,0	5,5	2 300	230	8,14	151	30,2	2,09
SB 220 × 32	32,1	40,8	220	110	11,6	7,5	11,0	5,5	3 290	299	8,77	216	39,2	2,30
SB 240 × 36	36,4	46,3	240	120	12,0	7,8	12,0	6,0	4 450	371	9,81	286	47,7	2,49
SB 260 × 38	38,4	49,0	260	125	12,2	7,9	12,0	6,0	5 130	410	10,2	328	52,4	2,56
SB 270 × 41	41,3	52,6	270	125	12,7	8,2	13,0	6,5	6 340	470	11,0	343	54,9	2,55
SB 300 × 46	46,8	60,4	300	130	13,2	8,5	13,0	6,5	8 620	574	12,2	402	61,8	2,62
SB 350 × 66	58,8	71,1	350	140	14,6	9,1	16,0	7,5	14 200	812	14,1	556	79,5	2,60
SB 400 × 66	65,6	83,5	400	150	16,5	9,7	16,0	8,0	21 600	1 080	16,1	725	96,7	2,95
SB 450 × 76	76,1	96,9	450	160	16,5	10,3	16,0	8,0	31 400	1 400	18,0	940	117	3,11
SB 500 × 91	91,2	116,0	500	170	18,7	11,0	19,0	9,5	46 600	1 870	20,0	1 290	151	3,33
SB 550 × 107	107	136,0	550	180	20,4	12,0	20,0	10,0	65 700	2 390	21,9	1 680	186	3,51
SB 600 × 131	131	167,0	600	210	22,1	13,0	22,0	11,0	97 500	3 250	24,1	2 850	271	4,13

اللجنة العلمية

أ.د. محمد غريب

د. قاسم الزحيلي

د. مصطفى بطيخة

المدقق اللغوي

د. علي الكردي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University