

الفصل الأول

مقدمة (Introduction)

1-1- العناصر الفولاذية المشكلة على البارد (Cold formed steel members) :

1-1-1- تعريف :

يوجد نوعان من العناصر الإنشائية في المنشآت الفولاذية:

الأول : المقاطع الفولاذية المسحوبة على الساخن (Hot rolled sections)

الثاني : المقاطع الفولاذية المشكلة على البارد (Cold formed sections) ، و التي يتم تشكيلها من صفائح فولاذية بواسطة آلات التشكيل و اللف عن طريق الضغط أو الانعطاف.

إن المقاطع الفولاذية المسحوبة على الساخن أكثر انتشاراً ولها العديد من التطبيقات في الأعمال الإنشائية، إلا أن الطلب على العناصر الفولاذية المشكلة على البارد ازداد بشكل ملحوظ في العقد الأخير نظراً لفائدة هذه العناصر حيث نسبة المقاومة إلى الوزن مرتفعة ، وكونها سهلة التصنيع ، و اقتصادية في النقل و الحمل ، و سريعة و سهلة التركيب و منتظمة النوعية [Kankanamge,2010].

يوجد نمطان أساسيان من الهياكل الفولاذية من الفولاذ المشكل على البارد :

- العناصر الأساسية التي تتحمل الحمولات مثل جوائز الأسقف والأعمدة

- العناصر غير المتحملة للحمولات مثل عناصر الجدران القاطعة

إن سماكة العناصر الفولاذية المشكلة على البارد تتراوح بين (0.4-6.4 mm) [Yu,2000] ، و يمكن أن تستخدم في هياكل السيارات و العديد من التجهيزات و أماكن التخزين و منشآت الطرق السريعة و أبراج الاتصالات و المنشآت الجسرية عدا عن استخدامها في البناء.

1-1-2- لمحة تاريخية :

بدأ استخدام العناصر الفولاذية المشكلة على البارد عام 1850 في كل من الولايات المتحدة الأمريكية و المملكة المتحدة ، إلا أن العناصر الفولاذية لم تستخدم بشكل واسع في البناء إلا في عام 1940 و تم إعادة النظر في تطوير استخدام العناصر الفولاذية من قبل الباحث (Winter) ليصبح استخدامها كعناصر حاملة للحمولات في الأبنية و المنشآت المختلفة .

منذ عام 1946 تطور استخدام الفولاذ الرقيق الملحوم المشكل على البارد في البناء في الولايات المتحدة بشكل متسارع و متعدد المجالات عن طريق إصدار طبقات مختلفة من " تحديد مواصفات العناصر الإنشائية المشكلة على البارد " من قبل المعهد الأمريكي للفولاذ (AISI).

1-1-3- مزايا العناصر الفولاذية المشكلة على البارد :

أثبتت العناصر الفولاذية المشكلة على البارد العديد من الميزات في عملية البناء تتمثل بالنواحي التالية [Yu,2000]:

- 1- بالمقارنة مع المقاطع المسحوبة على الساخن و ذات السماكة الأكبر فإن العناصر المشكلة على البارد يمكن أن يتم تصنيعها من اجل حمولات أقل و مجازات أقصر .
- 2- يمكن إنتاج أشكال فريدة من المقاطع بشكل اقتصادي عن طريق عمليات التشكيل على البارد و يمكن تحقيق نسبة جيدة لـ (المقاومة على الوزن).
- 3- يمكن أن تؤمن الصفائح المشكلة على البارد سطوحاً قابلة للاستخدام في الأسقف و الأرضيات و المنشآت الجدارية ، و في حالات أخرى يمكن أن تكون مفرغة لتأمين مكان للتمديدات الكهربائية و غيرها .
- 4- الصفائح المشكلة على البارد لا تتحمل فقط الحمولات العادية على أسطحها ، و لكن أيضا يمكن أن تمثل مستويات قص مقاومة للقوى في مستويها ، خاصة إن كانت مرتبطة مع غيرها من العناصر بشكل جيد .

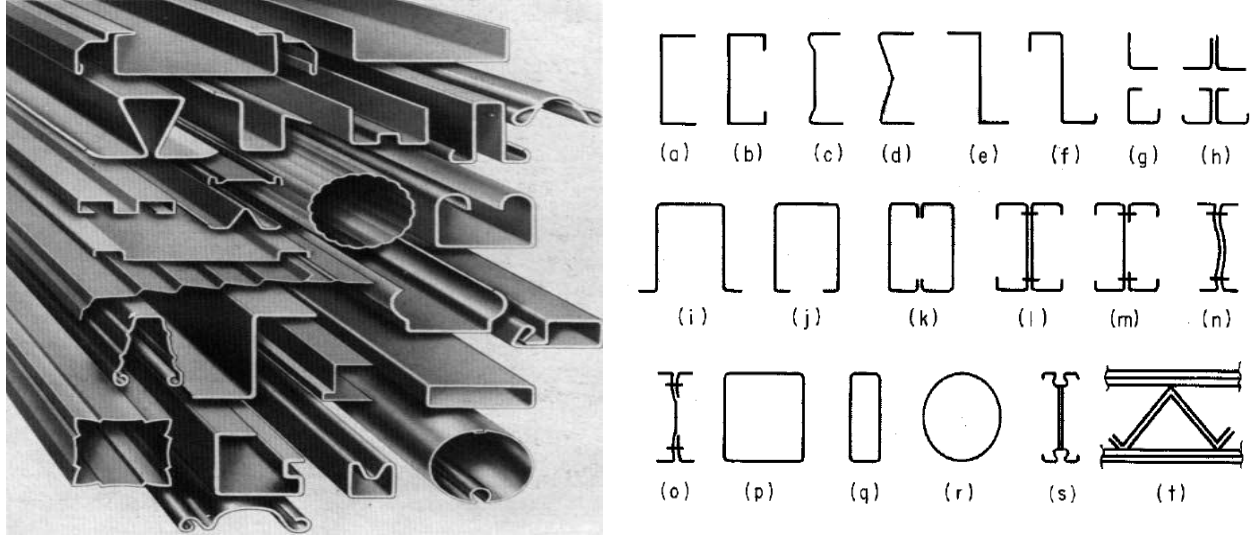
1-1-4- أنواع العناصر الفولاذية المشكلة على البارد :

يمكن تقسيم العناصر المشكلة على البارد إلى النوعين التاليين [Yu,2000]:

1-1-4-1- العناصر و المقاطع المفردة (Individual structural framing members):

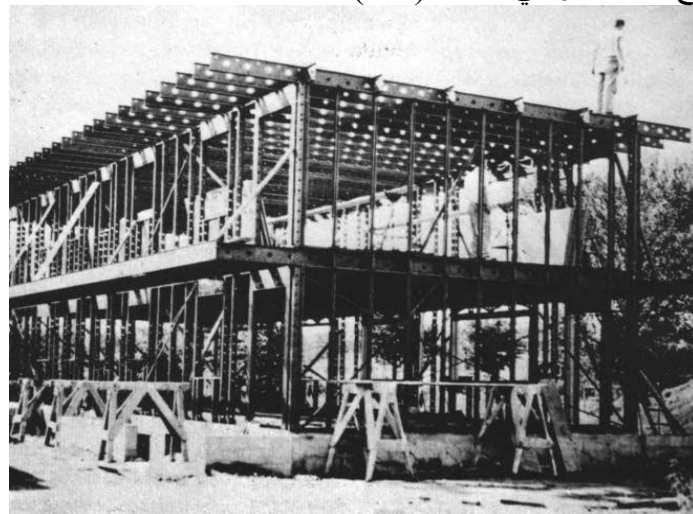
تتنوع أشكال المقاطع العرضية للعناصر الفولاذية الهيكلية المشكلة على البارد و المبينة في الشكل (1-1) مثل مقاطع C و مقاطع Z و مقاطع بشكل زاوية و بشكل I،T و أنبوبية و مقاطع سيغما و التي تظهر في الشكل (1-1) ، و التي تبدي عددا من المزايا مقارنة بمقاطع C العادية فهي أكثر تحملاً للحمولات و أخف وزنا و ذات صلابة أكبر على الفتل.

و بشكل عام فإن عمق المقاطع المشكلة على البارد يتراوح بين (51-305mm) ، و سماكتها تتراوح بين (1.2-6.4 mm) ، و في بعض الحالات يمكن أن يصل عمق العناصر إلى (457 mm) و سماكة العنصر قد تصل إلى (13 mm) ، أو أكثر في منشآت الأبنية و النقل و العناصر التي تكون بسماكة (19 mm أو 25) تستخدم في هياكل دعم الطرق السريعة و أعمدة الإرسال [Yu,2000].

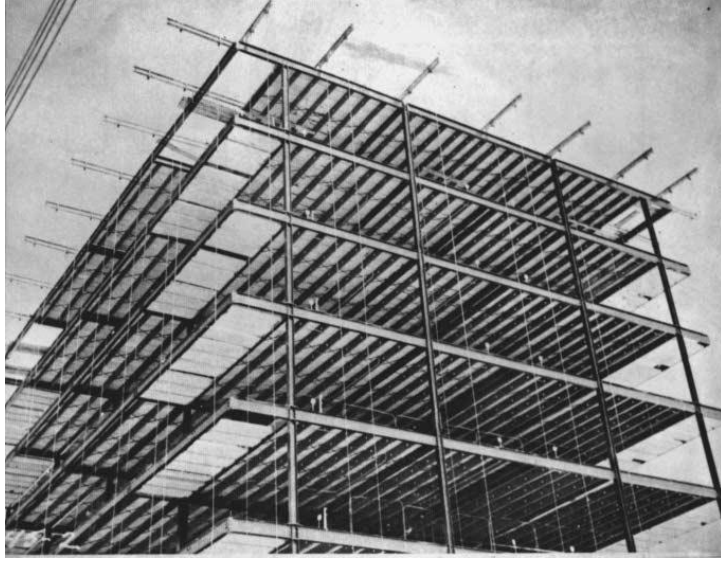


الشكل (1-1) الأشكال المختلفة للمقاطع العرضية للعناصر الفولاذية الهيكلية المشكلة على البارد [Yu,2000].

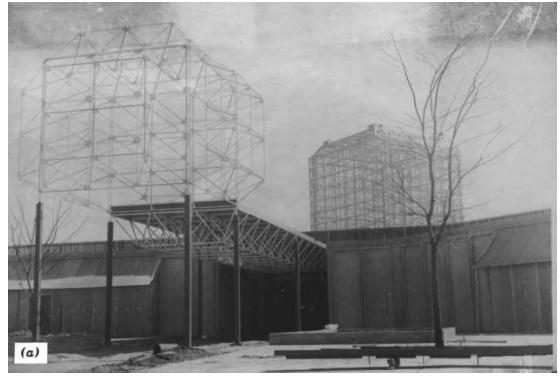
إن المعايير الأساسية في تصميم هذه العناصر الهيكلية هو قوة التحمل و المقاومة الإنشائية و الصلابة . و مثل هذه العناصر يمكن أن تستخدم كعناصر هيكلية أساسية في الأبنية حتى ستة طوابق في الارتفاع كما يظهر الشكل (2-1) بناء من طابقين ، و في الأبنية العالية متعددة الطوابق حيث العناصر الإنشائية الرئيسية هي مقاطع ثقيلة مسحوبة على الساخن أما العناصر الثانوية فقد تكون مقاطع مشكلة على البارد مثل البلاطات و الصفائح كما يظهر في الشكل (3-1).



الشكل (2-1) مبنى من طابقين يتألف بالكامل من العناصر الفولاذية المشكلة على البارد [Robertson company,2013]



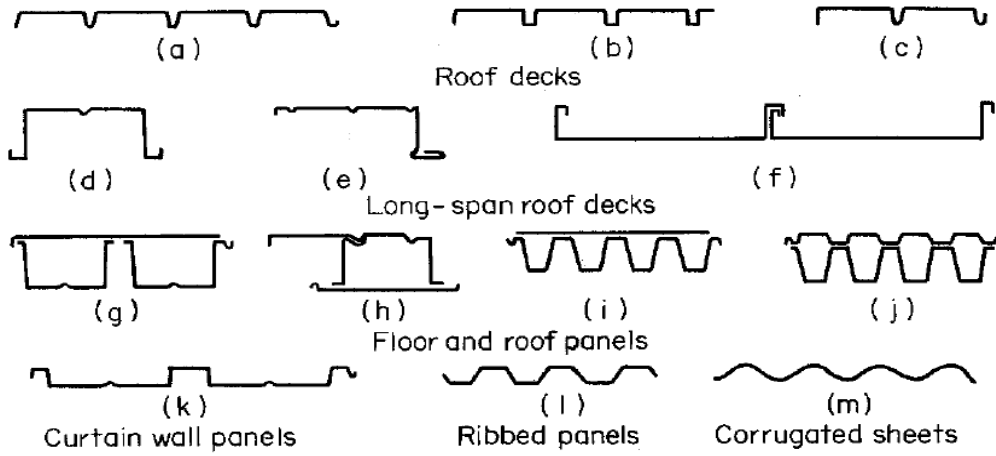
الشكل (3-1) مبنى من متعدد الطوابق جوائز الثانوية هي عناصر مشكلة على البارد [Robertson company,2013] كما تستخدم أيضاً العناصر المشكلة على البارد في الإطارات الفراغية و مستودعات التخزين و الأقواس (الشكل 4-1)



الشكل (4-1) مقاطع فولاذية مشكلة على البارد مستخدمة في الإطارات الفراغية [Robertson company,2013]

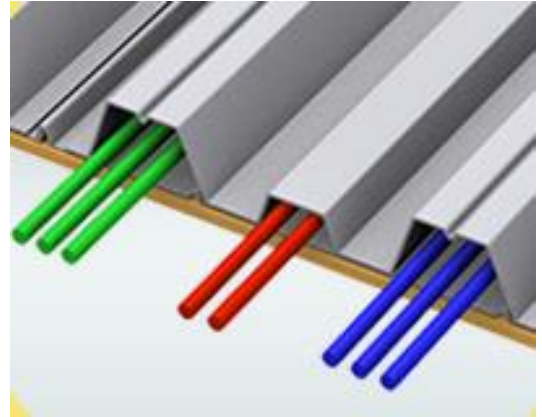
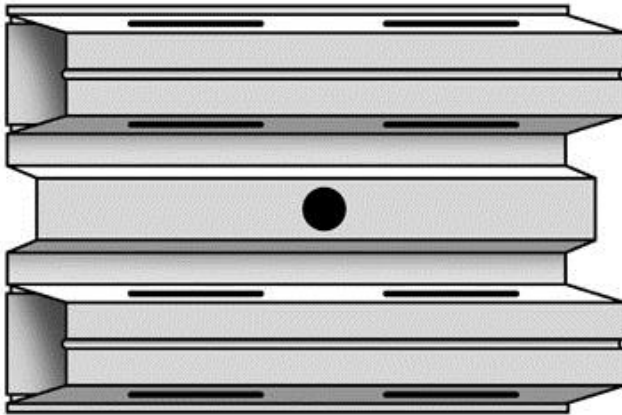
2-4-1-1- الصفائح و الأرضيات (Panels and decks):

يبين الشكل (5-1) أنواعاً مختلفة من الصفائح المشكلة على البارد حيث تستخدم للأسقف و الجدران أو الجوائز الثانوية في الجسور، و يمكن تشكيلها بحيث تصبح مزودة بمدعمات و يتراوح عمق هذه الصفائح بين (38-191 mm) و سماكتها ما بين (0.4-1.9 mm) ، كما أنه في بعض الحالات الخاصة يمكن استخدام صفائح بسماكة أقل من (0.3 mm) .



الشكل (5-1) أشكال الصفائح الفولاذية المشكّلة على البارد [Yu,2000]

و من الجدير بالذكر أن مثل هذه الصفائح لا تؤمن فقط تحمل الحمولات الإنشائية و إنما أيضاً تؤمن سطحاً يمكن ملؤه بالبيتون أو سطوحاً للأرضيات و الأسقف أو فراغات للتمديدات الكهربائية كما يبين الشكل (6-1).

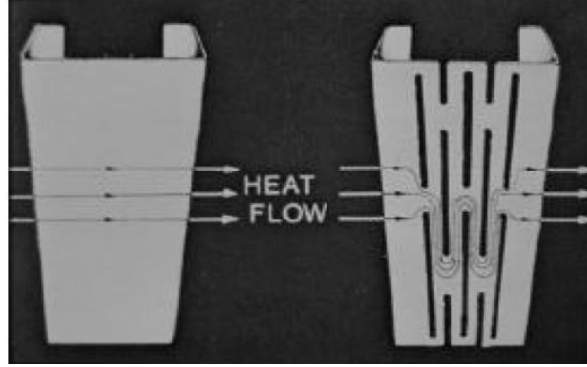


الشكل (6-1) تشكيل قنوات و فراغات من الصفائح الفولاذية المشكّلة على البارد [Robertson company,2013]

2-1- الدعامات الحرارية (Thermal studs):

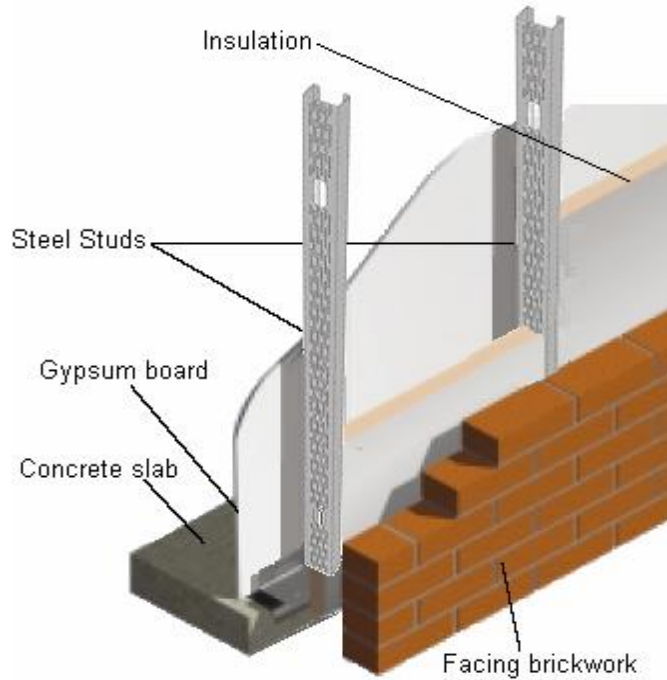
يمتلك الفولاذ ناقلية عالية للحرارة (Thermal transfer) و التي قد تصل إلى 400 ضعف مقارنة مع غيره من المواد كالخشب مثلاً ، يتجلى هذا الموضوع في المناطق الباردة حيث إحدى أهم سلبات المقاطع الفولاذية المشكّلة على البارد في الصفائح الجدارية هي تأثيرات الجسر الحراري (Thermal bridge) و الذي يمكن أن يؤدي إلى فقدان كبير في الطاقة من المباني . يمكن حل هذه المشكلة بإنشاء ثقوب (Perforations) في جسد المقطع الفولاذي المصمت (Solid web) و الذي يمكن أن يكسر مسار النقل الحراري و هذا يقلل أثر الجسر الحراري كما يبين

(الشكل 7-1). تسمى المقاطع بشكل مجراية (Channel) مع الثقوب التي تزود بها للحفاظ على الطاقة بالدعامات الحرارية (الشكل 8-1) .



الشكل (7-1) زيادة طول الممر الحراري في الدعامة المثقبة مقارنة بالدعامة المصمتة [Meo et al. 1998]

يساهم تثقيب الجسد في تقليل الفاقد الحراري إلا أنه يقلل مقاومة تحمل الأحمال مما يتطلب دراسة هذا النوع من المقاطع لتحقيق الحل الأمثل لتنفيذ متطلبات التصميم الجيد لمنشآت الأبنية . تستخدم عادة مقاطع سيغما أو مقاطع C مشكلة على البارد كدعامات مصنوعة من فولاذ (S350+Z) و ألواح جبصين (gypsum board) لتقييد الأجنحة كما يبين الشكل (8-1).



الشكل (8-1) الدعامات الحرارية للجدران [Salhab , 2007]

3-1- الهدف من البحث :

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك الأعمدة الفولاذية المشكلة على البارد ذات مقطع C و مثقبة الجسد و المعرضة لحمولات الضغط و إمكانية زيادة المقاومة من خلال تغيير الخصائص البعدية للمقطع .

4-1- طرائق البحث :

تم في هذا البحث إجراء دراسة تحليلية عددية وفق طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) ، و استخدام تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة و لاخطية الانتقالات الكبيرة مع وجود خطأ صنع (Geometrically and Materially Nonlinear Analysis with imperfection included GMNIA) ، ولتحقيق هذا الهدف تم استخدام تحليل لاخطي (Nonlinear analysis) يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة و وجود خطأ صنع وفق طريقة العناصر المحدودة . FEM (Finite Element Method)

5-1- أقسام و محتويات الأطروحة :

تم تقسيم الأطروحة إلى أربعة فصول كما يلي :

الفصل الأول : مقدمة عامة عن تعريف المقاطع المشكلة على البارد من حيث المزايا و السلبيات ، كما تم تحديد الهدف من البحث و طرائق البحث و أقسام و محتويات الأطروحة .

الفصل الثاني : يتضمن مراجعة بحثية للأدبيات العلمية السابقة ، حيث تم تناول العديد من الأبحاث التي أجريت حول موضوع الدعامات المشكلة على البارد و ذات الجسد المثقبة و الدعامات المزودة بشفة مزدوجة .

الفصل الثالث : يتضمن التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) من خلال توصيف النموذج المستخدم في البحث من حيث الأبعاد و شروط الاستناد و الأحمال المطبقة و نوع التحليل المستخدم كما تم التحقق من هذا النموذج تم في هذا البحث إجراء مقارنة مع الدراسة التجريبية التي أجراها Kesti 2000 و الدراسة التحليلية باستخدام برنامج NISA و تم الحصول على نتائج قريبة من نتائج الباحث باستخدام برنامج ABAQUS

الفصل الرابع : يتضمن إجراء تغييرات بارامترية على هذا النموذج مثل تغيير طول الشفة الأساسية للمقطع و إضافة شفة مزدوجة على المقطع العرضي و تغيير نموذج التثقيب و دراسة أثر ذلك على المقاومة كما تمت دراسة تأثير تغيير أبعاد المقطع العرضي و إضافة مدعّمات على المقطع و أخيراً تم

تغيير بعد المدعمة عن الجناح و بحث تأثير هذا المتغير على المقاومة و الوصول إلى النتائج و رسم المنحنيات التي تم الوصول إليها

الفصل الخامس : تضمن هذا الفصل تلخيصاً لأهم النتائج التي تم الوصول إليها في الفصول السابقة و التوصيات الضرورية لتلافي نواقص البحث و لتطوير الأبحاث المستقبلية في هذا المجال .

الفصل الثاني

الدراسات المرجعية (Literature Review):

1-2- مقدمة :

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الدراسات المرجعية المرتبطة بالعناصر الفولاذية المشكلة على البارد بشكل مجراية ، و تلك المتعلقة بنتقيب جسد المقطع ، سواء من خلال الكودات ذات الصلة أو التجارب و الدراسات التحليلية التي وردت في أعمال باحثين سابقين .

2-2- اشتراطات للمقاطع الفولاذية المشكلة على البارد :

- السماكة :

يشترط الكود في جزء (BS5950-5, 1998) ألا تزيد سماكة المقطع عن 8mm مع أن استخدام مقاطع أكثر ثخانة ليس ممنوعاً كما ينص الكود البريطاني على أن السماكة التصميمية للمقطع تؤخذ السماكة الاسمية دون التغطية و التي تساوي 0.04mm

- مقاومة الفولاذ :

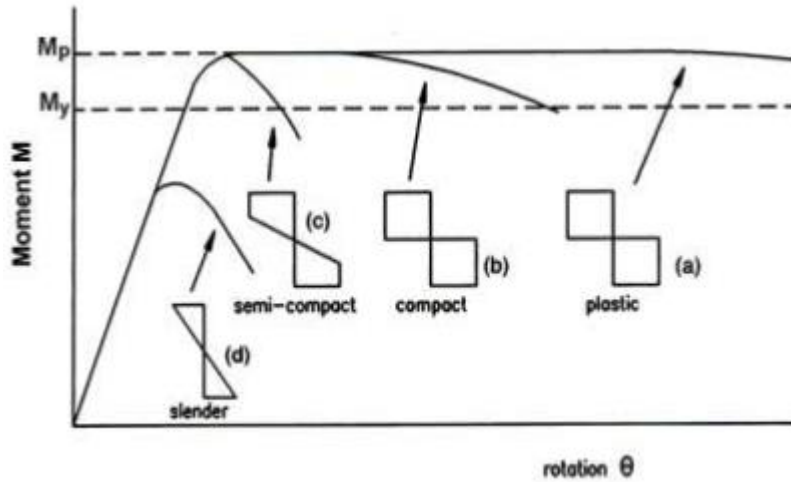
المقاومة التصميمية (p_y) يجب أن تؤخذ مساوية لـ (Y_s) و ليس أكبر من ($0.85U_s$) حيث :
 Y_s : إجهاد التلدن الاسمي أي أعلى إجهاد خضوع للفولاذ .
 U_s : إجهاد الشد الحدي الاسمي .

2-3- تصنيف المقاطع الفولاذية :

1-3-2- المقاطع اللدنة (Plastic): هي المقاطع التي تسمح بتشكيل مفصل لدن فيها دون أن تتعرض لتخنيب موضعي مع حصول دوران كافٍ يؤدي إلى إعادة توزيع العزوم في المنشأ أي أن تحمل العزم سيصل إلى العزم اللدن و يثبت عنده وتحصل دورانات كبيرة و تستخدم هذه المقاطع في التصميم اللدن .
2-3-2- المقاطع المكتنزة (Compact): هي المقاطع التي يصل تحملها إلى العزم اللدن و لكن دون السماح بحصول دورانات كبيرة أي أنها تتحمل كامل العزم اللدن ، و لكن حدوث تخنيب موضعي يمكن أن يمنع تطور مفصل لدن بطاقة دوران كافية تسمح باعتمادها في التصميم اللدن و لا تستخدم هذه المقاطع في التصميم اللدن.

3-3-2- المقاطع نصف المكتنزة (Semi Compact): تصل طاقة تحمل المقطع إلى العزم المرن حيث تصل الاجهادات في الألياف القصوى إلى إجهادات السيلاان و لكن التحنيب الموضعي يمنع الوصول إلى العزم اللدن تستخدم هذه المقاطع في حالة التصميم المرن.

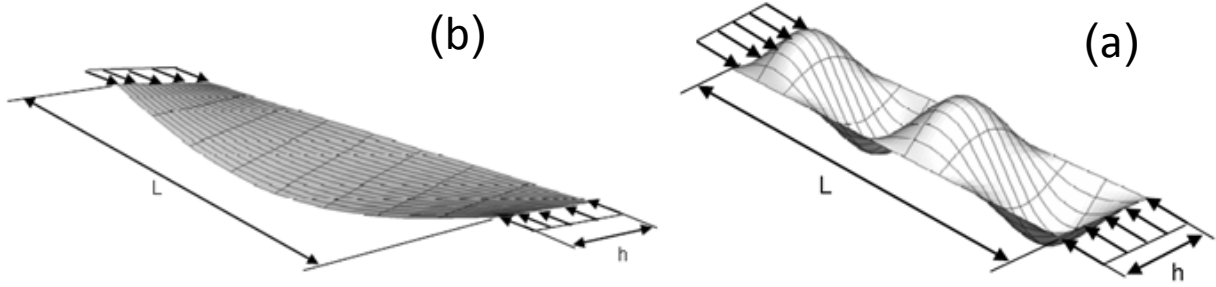
4-3-2- المقاطع النحيلة (Slender): هي المقاطع التي تحتوي على عناصر نحيفة خاضعة إلى ضغط ناجم عن عزم أو قوة محورية بحيث يمنع التحنيب الموضعي هذه المقاطع من الوصول إلى طاقة تحملها المرنة و تخفض المقاومة التصميمية p_y للعنصر النحيف عندما يكون مضغوطاً و يبين الشكل (1-2) سلوك الانعطاف لأنواع المقاطع المختلفة.



الشكل (1-2) سلوك الانعطاف لأنواع المقاطع المختلفة [2003, السمارة]

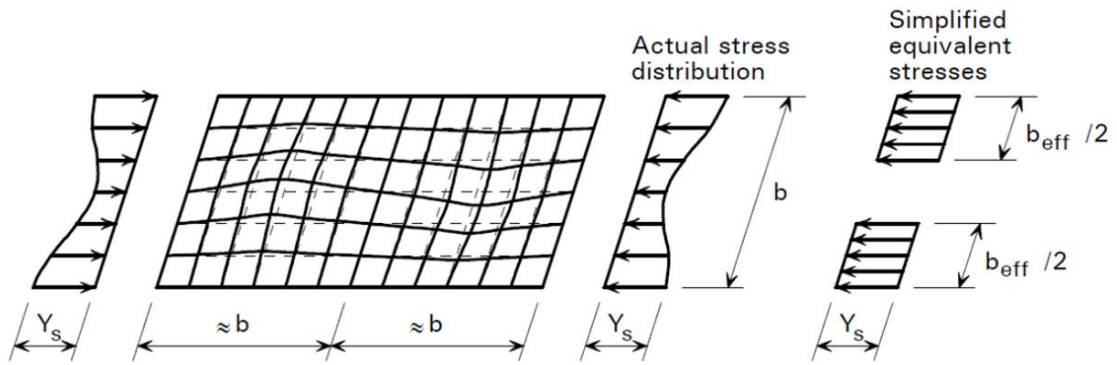
4-2- المساحة الفعالة (Effective Area A_{eff}):

بعد حدوث التحنيب في صفيحة موثوقة من الطرفين كما في الشكل (a-2-2) ، ينتقل جزء من الحمولة من وسط الصفيحة إلى طرفيها و لذلك يظهر توزيع غير منتظم للإجهادات و يحدث إعادة توزيع للإجهاد يستمر حتى يصل الإجهاد في طرف الصفيحة إلى حد الخضوع و يبدأ انهيار الصفيحة و بدلا من طريقة التوزيع غير المنتظم للإجهادات على كامل عرض الصفيحة المعرضة للضغط تعتمد الطريقة التي تعتبر أن إجمالي الحمولة يتم تحملها عن طريق الجزء الفعال من عرض الصفيحة (العرض الفعال) و الذي يتعرض لتوزيع إجهادات منتظم يساوي الإجهاد الحدي و الذي يؤخذ مساويا لإجهاد الخضوع كما يبين الشكل (3-2).



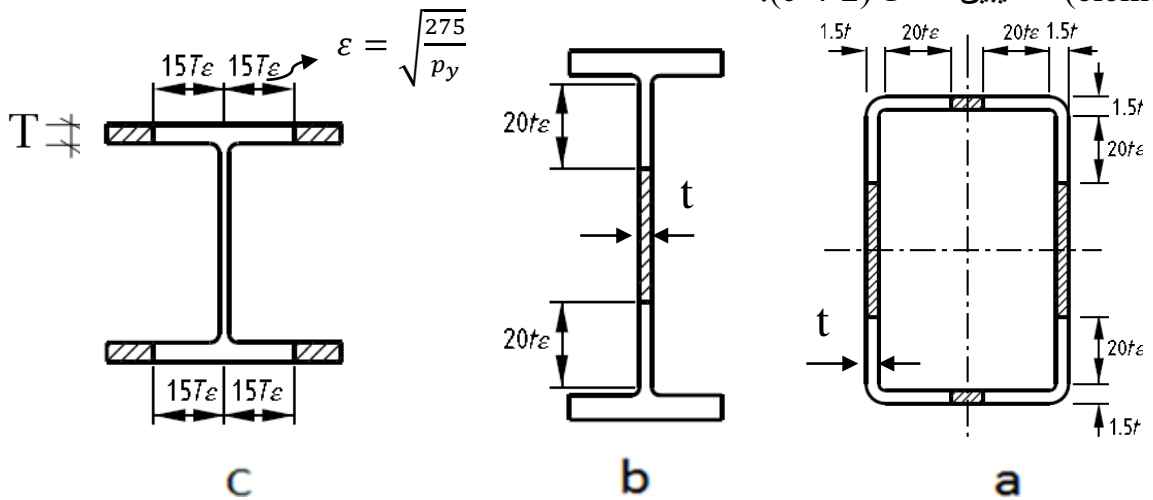
الشكل (2-2) تحنيب الصفائح المعرضة للضغط (a) صفيحة مسنودة (Stiffened element) (b) صفيحة غير مسنودة (Unstiffened element) [Moen, 2009]

h: عرض الصفيحة الذي تطبق عليه القوة، L: طول الصفيحة الموازي للقوة المطبقة



الشكل (3-2) تمثيل التوزيع غير المنتظم للإجهادات و العرض الفعال [Lawson et al. 2002]

و يبين الشكل (4-2) عدداً من المقاطع و كيفية حساب المساحة الفعالة لها حسب الكود البريطاني (BS5950-1, 2000) حيث يتم اعتماد المساحة غير الفعالة في المنطقة الوسطية للعناصر المسنودة (Stiffened element). من الطرفين كحالة الجسد النحيل المبين بالشكل (b-4-2)، و يتم اعتماد المساحة غير الفعالة في المنطقة الطرفية من الجناح النحيل المسنود من طرف واحد (Unstiffened element) كما يبين الشكل (c-4-2).



الشكل (4-2) بعض المقاطع النحيلة و كيفية حساب المساحة الفعالة [BS 5950-1, 2000]

2-5-5- وصف سلوك التحنيد للعناصر الفولاذية الرقيقة المشكلة على البارد :

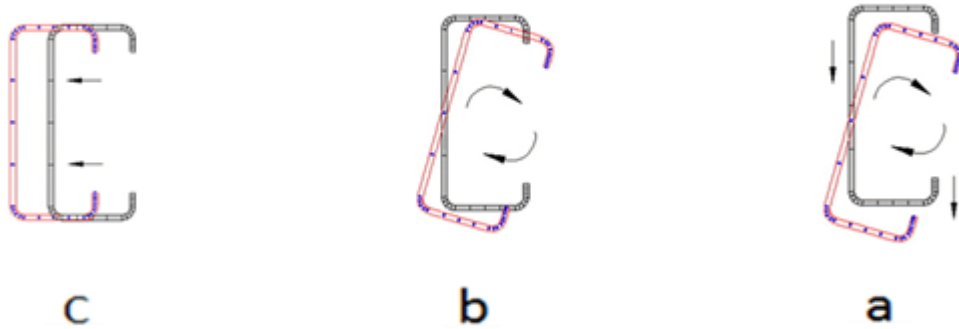
2-5-5-1- مقدمة :

موضوع التحنيد هو موضوع هام في تصميم أي منشأة فيها عناصر نحيلة نسبياً معرضة إلى أحمال ضغط . و العناصر الفولاذية المشكلة على البارد تخضع لأشكال تحنيد أكثر تعقيداً من العناصر الفولاذية المسحوبة على الساخن .

الهيكل الفولاذية الجدارية الرقيقة تخضع لأشكال تحنيد تتضمن التحنيد الموضعي (Local Buckling) و التشوهي (Distortional Buckling) و الكلي (Global Buckling) و تراكباتها و كل هذه الأشكال من التحنيد يجب أن تؤخذ بالاعتبار .

2-5-5-2- التحنيد الكلي (Global Buckling):

التحنيد الكلي للعناصر الرقيقة المعرضة للضغط يتضمن تحنيد الانعطاف و تحنيد الفتل و تحنيد الانعطاف-فتل و المبينة في الشكل (2-5).



الشكل (2-5) توضيح لأشكال التحنيد الكلي (a) تحنيد انعطاف , (b) تحنيد فتل , (c) تحنيد انعطاف فتل

يحدث التحنيد العام عندما يصبح العنصر المضغوط غير مستقر بسبب نحالته و بسبب التحميل و التحنيد يمكن أن يكون مرناً في العناصر النحيلة الطويلة و يمكن أن يكون غير مرن في العناصر الأقصر

باعتبار أن العنصر المضغوط طويل و نحيل فيمكن استنتاج صيغة أويلر من الحالة النظرية المثالية حيث تعتبر الطريقة أن العمود طويل و نحيل و متجانس و مرن و مثالي أي لا يحوي خطأ صنع و يخضع لحمولة ضغط محورية و استنتاج حمولة التحنيد الحدية ، و يبين الشكل (2-6) سلوك التحنيد الكلي للعمود المعرض للضغط



الشكل (6-2) التحنيد الكلي للعمود المعرض للضغط [Eurocode3: 2006]

تعطى مقاومة التحنيد تحت تأثير الحمولة المحورية بالعلاقة :

$$P_c = \frac{P_E P_{cs}}{\phi + \sqrt{\phi^2 - P_E P_{cs}}} \dots\dots\dots (1- 2)$$

حيث :

$$\phi = \frac{P_{cs} + (1 + \eta) P_E}{2} \dots\dots\dots (2- 2)$$

P_{cs} : مقاومة العنصر القصير و التي تساوي $A_{eff} p_y$

A_{eff} : المساحة الفعالة للمقطع العرضي .

p_y : الإجهاد التصميمي

P_E : حمولة التحنيد المرنة الأصغرية و التي تساوي إلى

$$P_E = \frac{\pi^2 E I}{L_E^2} \dots\dots\dots (3- 2)$$

حيث I : عزم المقطع العرضي حول المحور الضعيف .

L_E : الطول الفعال للعنصر بالنسبة للمحور الضعيف .

η : معامل بيرري و يؤخذ بالشكل التالي .

$$\text{for } L_E/r \leq 20, \eta = 0 \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

$$\text{for } L_E/r > 20, \eta = 0.002(L_E/r - 20) \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

حيث r نصف قطر العطالة للمقطع العرضي .

و من أجل المقاطع المفردة المتناظرة باتجاه واحد فإن مقاومة التحنيب تعطى بالعلاقة :

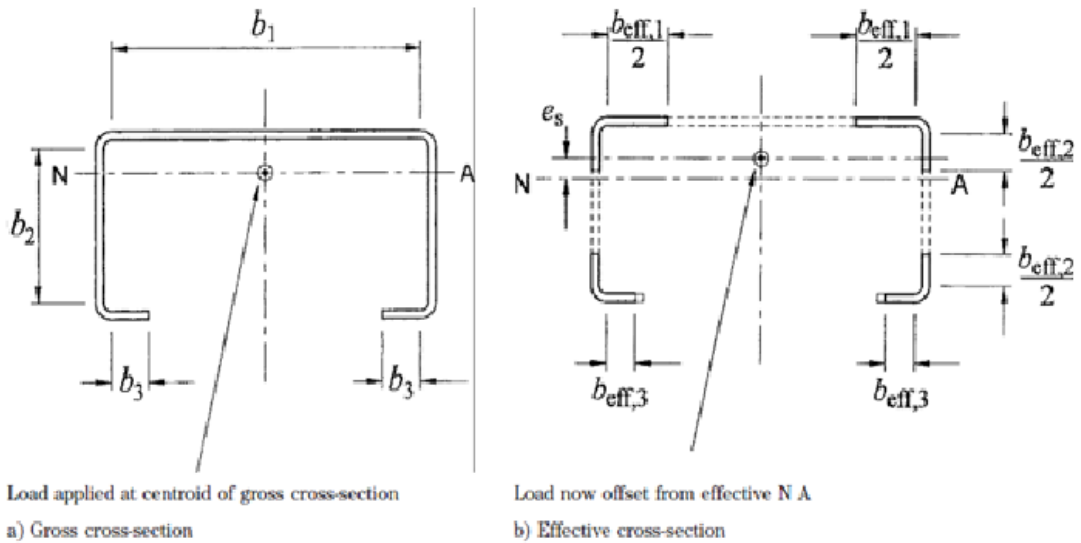
$$P'_c = \frac{M_c P_c}{(M_c + P_c e_s)} \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

حيث

$$M_c = Z_y \cdot p_y \quad \dots\dots\dots (7-2)$$

$$Z_y = \frac{I_y}{y} \quad \dots\dots\dots (8-2)$$

e_s : هي المسافة بين المحور الهندسي الأساسي للمقطع الكامل و المحور الجديد للمقطع الفعال و المبين في الشكل (7-2)



الشكل (7-2) المسافة بين المحور الهندسي الطبيعي و الفعال [BS 5950_5 :2006]

3-5-2- التحنيب الموضعي (Local Buckling) :

يتميز التحنيب الموضعي بطول الموجة الصغير نسبياً كما يبين الشكل (8-2) ، و الذي يمثل بشكل بسيط التحنيب الموضعي .

يمكن أن يتم تحليل التحنيط الموضعي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element FEM) ، طريقة الخطوة المحدودة (Method (FSM) (Finite Strip Method) ، طريقة الجائز المعمم (GBT) (Generalize Beam Theory).

تستخدم عادة في طرق التصميم الموجودة في الكودات طريقة العرض الفعال (Effective Width) ، و توجد معادلات مختلفة لحساب العرض الفعال و هي تعود جميعها إلى الباحث Winter(1996) . و تعد طريقة الكود البريطاني(2006) BS5950-5 من أبرز هذه الطرق و أبسطها حيث يتم حساب العرض الفعال للمقطع و بالتالي حساب المساحة الفعالة و من ثم المقاومة و ذلك وفق العلاقات التالية :

$$\text{For } f_c/p_{cr} \leq 0.123$$

$$\frac{b_{eff}}{b} = 1 \quad \dots\dots\dots(9- 2)$$

$$\text{For } f_c/p_{cr} > 0.123$$

$$\frac{b_{eff}}{b} = \left[1 + 14\{(f_c/p_{cr})^{1/2} - 0.35\}^4 \right]^{-0.2} \quad \dots\dots\dots(10- 2)$$

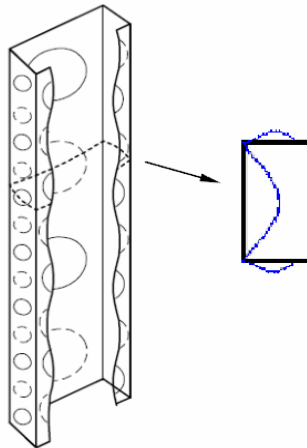
حيث :

f_c : إجهاد الضغط المطبق.

b : عرض الصفيحة ، b_{eff} : العرض الفعال للصفيحة

p_{cr} : إجهاد التحنيط الحرج للعنصر و يعطى بالعلاقة :

$$p_{cr} = 0.904EK \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(11- 2)$$



الشكل (8-2) التحنيط الموضعي في الجسد لمقطع مجرابة مشفأة [Salhab,2007]

حيث K : معامل التحنيب الموضعي و الذي يعتمد على نمط العنصر و هندسية المقطع و الذي يعطى لحالات مختلفة بالملحق B من الكود و في الحالات المأخوذة في المقطع المدروس يعطى بالعلاقات :

$$K_1 = 7 - \frac{1.8h}{0.15+h} - 1.43h^3 \quad \dots\dots\dots(12- 2)$$

$$K_2 = K_1 h^2 \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 \quad \dots\dots\dots(13- 2)$$

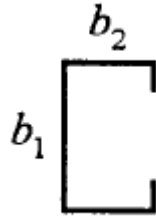
$$h = \frac{b_2}{b_1} \quad \dots\dots\dots(14- 2)$$

حيث b_1 : عرض الجسد، b_2 : عرض الجناح

K_1 : معامل خاص بصفيحة الجسد ، K_2 : معامل خاص بصفيحة الجناح

t_1 : سماكة صفيحة الجسد ، t_2 : سماكة صفيحة الجناح

و يبين الشكل (9-2) تمثيل هذه الأبعاد على مقطع مجراية مزودة بشفة حسب الكود البريطاني



الشكل (9-2) تمثيل الأبعاد b_2, b_1 على مقطع مجراية [BS 5950-5 , 2006]

و من أجل العناصر الطرفية يعطى العرض الفعال بالعلاقة :

$$b_{eu} = 0.89b_{eff} + 0.11b \quad \dots\dots\dots(15- 2)$$

b_{eff} : العرض الفعال الذي تم تعيينه بأخذ العامل K بقيمة 0.425 للعناصر الطرفية غير المسنودة

b_{eu} : العرض الفعال للصفحة الطرفية (Unstiffened element)

4-5-2- التحنيب التشوهي (Distortional Buckling):

يتشكل التحنيب التشوهي في العناصر ذات الحواف المدعمة ، و يتميز بدوران صفائح المقطع و ليس دوران المقطع كاملاً و يبين الشكل (10-2) مثلاً بسيطاً عن التحنيب التشوهي لمقطع مجراية مشفأة (Lipped Channel).

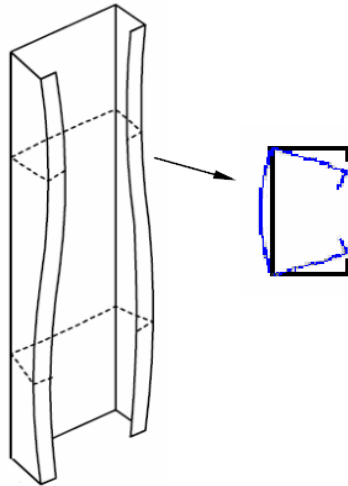
التحنيب التشوهي في الهياكل الجدارية الرقيقة هو نموذج التحنيب الأكثر سيطرة مقارنة مع الأشكال الأخرى كالتحنيب الكلي و الموضعي و قدم العديد من الباحثين مثل (2002) Lau and Schafer و Hancock(1987) حولا تحليلية لهذا التحنيب حيث أعطى صيغاً لتوقع إجهاد التحنيب التشوهي في أعمدة ذات مقطع مجراية و تم تضمين هذه الصيغ في الكود الاسترالي AS4600 و ذلك اعتماداً على مجموعة من اختبارات الضغط على عدد من مقاطع مجراية مشفأة لقياس التحنيب التشوهي غير المرن و التفاعل بين التحنيب التشوهي و الموضعي للمقاطع الفولاذية النحيلة بإجهاد خضوع عالي في درجة الحرارة العادية قام (1992) Kwon& Hancock بتعديل صيغة Winter لمنحني مقاومة الصفيحة للتعامل مع التحنيب التشوهي و أعطيت بالعلاقة (18-2) :

$$b_{\text{eff}}/b = 1, \lambda \leq 0.561 \quad \dots\dots\dots(16-2)$$

$$b_{\text{eff}}/b = \left(\frac{\sigma_{de}}{f_y}\right)^{0.6} \left[1 - 0.25 \left(\frac{\sigma_{de}}{f_y}\right)^{0.6}\right], \lambda \geq 0.561 \quad \dots\dots\dots(17-2)$$

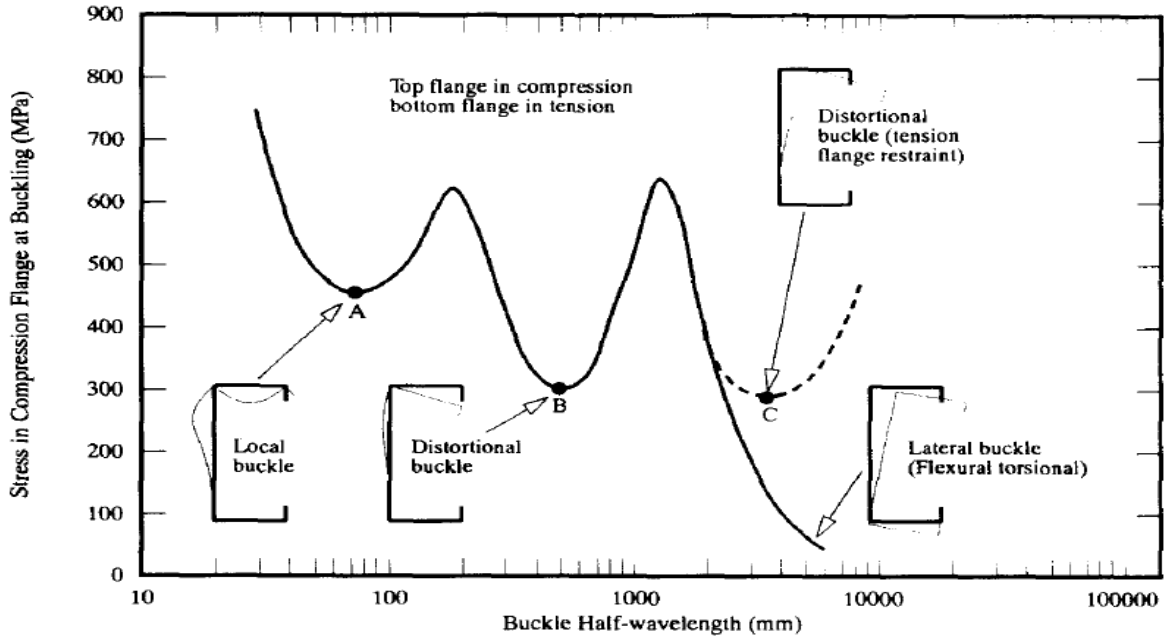
$$\lambda = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{de}}} \quad \text{and} \quad \sigma_{de} = P_{cr}/A \quad \dots\dots\dots(18-2)$$

حيث λ نحالة التحنيب التشوهي و σ_{de} إجهاد التحنيب التشوهي.



الشكل (10-2) نمط التحنيب التشوهي لمقطع مجراية مشفأة [Salhab,2007]

و يبين الشكل (11-2) علاقة طول نصف موجة التحنيب مع الإجهاد في الجناح المضغوط في التحنيب



الشكل (11-2) طول نصف موجة التثبيت مع الإجهاد في الجناح المضغوط في مختلف أشكال التثبيت [السمارة، 2003]

2-6-6- الطرق التحليلية لتعيين إجهاد التثبيت التشوهي :

2-6-6-1- مقدمة

تطورت عدة طرق يمكن بها تحديد إجهاد التثبيت التشوهي المرن لمقطع متجانس حيث سيتم عرض بعض الطرق التحليلية ، مثل طريقة الكود الأوربي Eurocode3 2006 التي اعتمدت على تثبيت الانعطاف للمدعمة والنموذج المطور من قبل Lau and Hancock 1987 معتمدا على تثبيت الانعطاف - قتل لجناح بسيط له مدعمة ، والطريقة المستخدمة في الكود الاسترالي النيوزيلاندي للعناصر الفولاذية المشكلة على البارد AS/NZS (4600) والطريقة الموضوعة من قبل Schafer & Peköz 1996 وهي طريقة تحليلية لتحديد إجهاد التثبيت التشوهي الأصغري لمقطع مجراية أو صفائح فولاذية مدعمة طولياً حيث تم وصف كل طريقة بشكل مختصر .

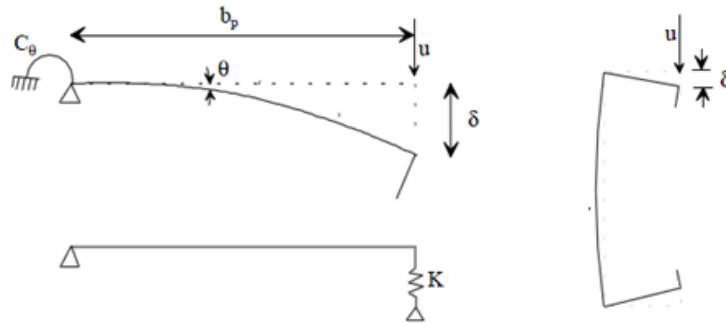
2-6-6-2- طريقة الكود الأوربي Eurocode Part3 :

في الكود الأوربي يعتمد تصميم العناصر المضغوطة مع مدعمة طرفية أو مددمات وسطية على افتراض أن العنصر يسلك سلوك عنصر مضغوط مع قيد جزئي مستمر . هذا التقييد له صلابة نابضية (يمكن تمثيله بصلابة نابض) تعتمد على صلابة الانعطاف للعناصر المستوية المجاورة في المقطع العرضي.

يمكن تحديد صلابة النابض للمدعمة بتطبيق حمولة واحدة على وحدة الطول في المقطع العرضي في موضع المدعمة كما هو موضح في الشكل (12-2) الصلابة النابضية الدورانية. يمكن تحديد صلابة النابض K في وحدة الطول من المعادلة :

$$K = u / \delta \quad \dots\dots\dots(19-2)$$

حيث δ : تشوه المدعمة بسبب تطبيق الحمولة الواحدة و C_{θ} : تمثل صلابة الانعطاف لجزء الجسد في المقطع



الشكل (12-2) تعيين الصلابة النابضية K حسب الكود الأوربي [Eurocode 3 ، 2006]

تم تطوير علاقة إجهاد التحنيب الحدي المرن من أجل دعامة طولية من قبل Timoshenko & Gere لتصبح كما يلي :

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI_s}{A_s \lambda^2} + \frac{1}{A_s \lambda^2} K \lambda^2 \quad \dots\dots\dots(20-2)$$

I_s و A_s هي المساحة الفعالة من المقطع العرضي و عزم العطالة للمدعمة حسب الكود الأوربي EC3 كما هو مبين في الشكل (13-2) للمدعمة الطرفية أما طول نصف الموجة فيعطى بـ :

$$\lambda = L / m \quad \dots\dots\dots(21-2)$$

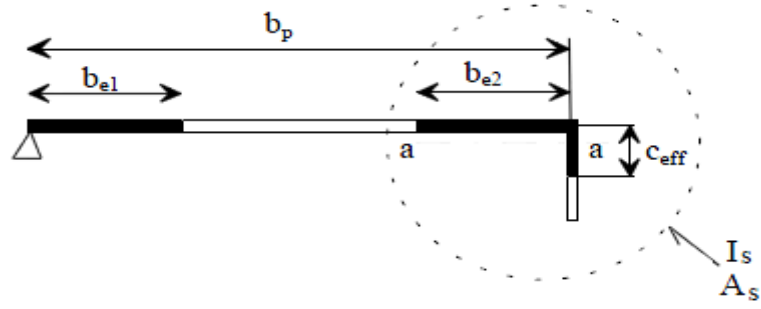
حيث m : عدد أنصاف أطوال الموجات

L : طول العنصر المضغوط أي الجناح

b_p : عرض الصفيحة المعرضة للضغط

b_{e2} و b_{e1} : عرض الجزء الفعال من الصفيحة المعرضة للضغط

C_{eff} : عرض الجزء الفعال من المدعمة الطرفية



الشكل (13-2) المساحة الفعالة للمقطع العرضي للمدعمة الطرفية [Eurocode 3 ، 2006]

$$\lambda_{cr} = \sqrt[4]{\frac{EI_s}{K}} \dots\dots\dots(22-2)$$

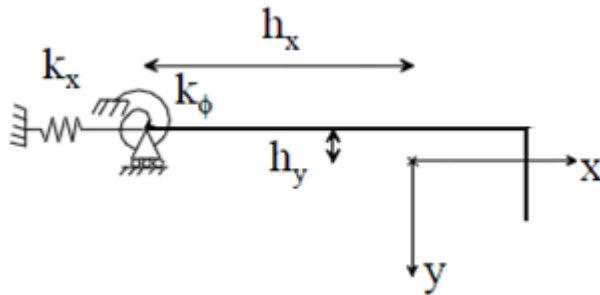
و من أجل طول لا نهائي للمدعمة فإن إجهاد التحنيب الحدي يعطي بالصيغة (23-2) :

$$\sigma_{cr} = \frac{\sqrt{KEI_s}}{A_s} \dots\dots\dots(23-2)$$

المعادلة (23-2) معطاة في EC3 و لذا فإن الطريقة لا تأخذ بعين الاعتبار تأثير طول العمود و لكن تفترض بأن العمود طويل بما يكفي لتشكل عدد صحيح من أنصاف أطوال الموجات على طول المقطع . في حال المدعّمات الوسطية فإن الإجراء مشابه ولكن صلابة الدوران بسبب العناصر المجاورة يتم تجاهلها و العناصر الصلبة يفترض أنها بسيطة الاستناد .

3-6-2- طريقة الكود الاسترالي (AS/NZS 4600):

يعتمد تعيين إجهاد التحنيب التشوهي على تحنيب الانعطاف- الفتل للجناح البسيط كما يظهر بالشكل (14-2) النابض الدوراني k_θ يمثل تقييد الانعطاف الذي يؤمنه الجسد الذي هو في حالة ضغط صافي و النابض الانتقالي k_x يمثل مقاومة انتقال المقطع في وضع التحنيب . يتضمن النموذج تخفيض تقييد الانعطاف الذي يؤمنه عن طريق الجسد بسبب إجهاد الضغط للجسد.



الشكل (14-2) نموذج التحنيب التشوهي لـ [Kesti, 2000] Lau and Hancock

حيث :

h_x : بعد نقطة استناد الصفيحة (الجناح) عن مركز عطالة الجناح _ مدعمة على المحور الأفقي X

h_y : بعد نقطة استناد الصفيحة (الجناح) عن مركز عطالة الجناح _ مدعمة على المحور الشاقولي y

يظهر تحليل Lau and Hancock أن صلابة الانتقال k_x ليس من الضروري أن تكون معدومة أما صلابة الدوران فيمكن تعيينها بالمعادلة (24-2) :

$$k_{\phi} = \frac{Et^3}{5.46(b_w+0.06\lambda)} \left[1 - \frac{1.1f'_{od}}{Et^3} \left(\frac{b_w^2\lambda}{b_w^2+\lambda^2} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(24-2)$$

f'_{od} : هو إجهاد الضغط للجسد في التحنيب التشوهي و يحسب بافتراض $k_{\phi} = 0$ ، عمق الجسد b_w ، سماكة المقطع ، λ : طول نصف موجة التحنيب و تحسب لمقطع C بسيط حسب العلاقة (25-2) :

$$\lambda = 4.80 \left(\frac{Eb_f^2b_w}{t^3} \right)^{0.25} \dots\dots\dots(25-2)$$

حيث b_f عرض الجناح

و لذا فإن إجهاد التحنيب التشوهي المرن الحدي يعطى بالعلاقة (26-2) :

$$f'_{od} = \frac{E}{2A} \left[(\alpha_1 + \alpha_2) - \sqrt{(\alpha_1 + \alpha_2)^2 - 4\alpha_3} \right] \dots\dots\dots(26-2)$$

حيث :

A : مساحة المقطع العرضي للجناح و المدعمة

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: قيم معاملات تعطى في الملحق D1 و D2 من الكود الاسترالي و التي ترتبط بـ k_{ϕ} و λ و الأبعاد الهندسية للجناح و الشفة .

عملية الحساب متكررة بسبب إدخال f'_{od} في حساب k_{ϕ} و لكن فقط تكرار واحد هو المطلوب .

اقترح Davies and Jiang (1998) تحسناً للطريقة السابقة في حال كانت صلابة النابض الدورانية سالبة ، أي أن الجسد يحنب أولاً ثم الأجنحة في هذه الحالة إجهاد التحنيب يمكن الحصول عليه مع $k_{\phi} = 0$ ، حيث إجهاد التحنيب لصفيحة الجسد حسب Timoshenko and Gere 1961 بالعلاقة :

$$\sigma_w = \frac{\pi^2 D}{tb_w^4} \left(\frac{b_w^2 + \lambda^2}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots(27-2)$$

إجهاد التحنيب التشوهي النهائي يحسب كقيمة وسطية لإجهادات التحنيب للجسد والأجنحة بالعلاقة :

$$\sigma_{cr} = \frac{2f_{od}A_f + \sigma_w t b_w}{A} \dots\dots\dots(28-2)$$

حيث A_f هي مساحة الجناح و المدعمة ، A هي مساحة المقطع العرضي الكامل ، D : هي صلابة الانعطاف للصفحة

2-6-4- طريقة Schafer-Peköz 1996 :

في هذه الطريقة تعتمد قيمة إجهاد التحنيب التشوهي المرن للعنصر المضغوط مع جسد واحد و أجنحة مدعمة على دراسة قيد الدوران في عقدة الجناح/جسد وحسب هذه الطريقة فإن صلابة الانعطاف k_{θ} يمكن أن يعبر عنها كمحصلة المرونة و الإجهاد اعتماداً على دور الصلابة الهندسية التي يساهم فيها كل من الجسد و الأجنحة و التي يمكن ان يعبر عنها بالعلاقة (2-29) :

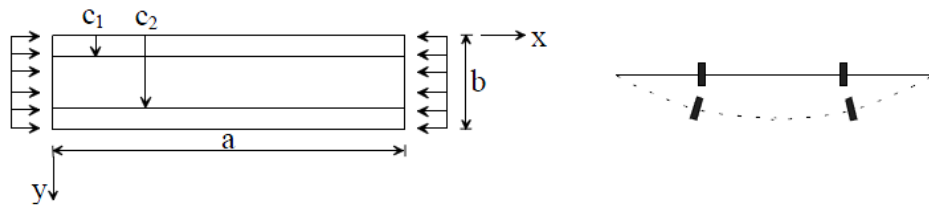
$$k_{\theta} = (k_{\theta f} + k_{\theta w})_e - (k_{\theta f} + k_{\theta w})_g \quad \dots\dots\dots(30-2)$$

حيث الدليل f يشير إلى الجناح ، الدليل w يشير إلى الجسد ، e يشير إلى المرونة ، g خواص هندسية .
والتحنيب يحدث عندما تتساوى الصلابة المرنة لعقدة الجسد /جناح مع الصلابة الهندسية أي :

$$k_{\theta} = 0$$

تحتاج النماذج التحليلية إلى تحديد مساهمة كل من الأجنحة و الجسد في الصلابة الدورانية . من أجل الأجنحة فإن تشوه المقطع العرضي ليس مهماً لذا تتم نمذجة الأجنحة كعمود معرض لتحنيب انعطاف – فتل كما في نموذج Lau and Hancock المبين في الشكل (2-14) ، أما من أجل الجسد فيجب أن يؤخذ تشوه الجسد بالاعتبار .

كما مثل Schafer-Peköz 1996 طريقة للتنبؤ بإجهاد التحنيب التشوهي المرن للعنصر المدعم بمدعمات طولية مفردة أو متعددة ، حيث استخدم Schafer-Peköz 1996 الطريقة التقليدية في حساب السلوك المرن اعتماداً على استخدام سلاسل فورييه للشكل المشوه لـ الصفحة /مدعمة .
يوصف سلوك التحنيب المرن باستخدام نظريات الطاقة و يؤخذ الانتقال الجيبي فقط في الحل النهائي كما يظهر الشكل (2-15) و الذي يوضح شكل تشوه التحنيب للصفحة .



الشكل (2-15) صفحة بسيطة الاستناد مع مدعمتين في حالة ضغط صافي و شكل تشوهها [Kesti, 2000]

يمكن أن يحسب إجهاد التحنيب التشوهي لعنصر مدعم مع مدعمة مفردة أو متعددة بالعلاقة (2-31) :

$$f_{cr} = K \frac{\pi^2 D}{b^2 t} \quad \dots\dots\dots(31-2)$$

حيث:

b : عرض الصفيحة

a : طول الصفيحة المعرضة للضغط

C_i : موضع المدعمة .

K : معامل التحنيب يمكن حسابه بالعلاقة (2-30) :

$$K = \frac{(1+\beta_{cr}^2)^2 + 2\Sigma\gamma_i \sin^2(\pi\alpha_i)}{\beta_{cr}^2[1+2\Sigma\delta_i \sin^2(\pi\alpha_i)]} \quad \dots\dots\dots (32-2)$$

$$\beta_{cr} = (2\Sigma\gamma_i \sin^2(\pi\alpha_i) + 1)^{1/4} \quad \dots\dots\dots(33-2)$$

$$\gamma_i = \frac{E(I_s)_i}{bD} , \quad \alpha_i = \frac{c_i}{b} , \quad \delta_i = \frac{(A_s)_i}{bt} \quad \dots\dots\dots(34-2)$$

حيث A_s مساحة المقطع العرضي للمدعمة و I_s عزم العطالة لها .

7-2- تثقيب المقاطع الفولاذية الرقيقة المشكلة على البارد :

قام Kesti(2000) بدراسة سلوك التحنيب التشوهي و الموضعي للأجنحة و الجسد المدعم في مقطع مجراية مثقب الجسد بشكل تجريبي ، حيث أن التثقيب يؤثر على إجهاد التحنيب الموضعي و التشوهي في المقطع ، وذلك لأن الثقوب تغير خواص الجسد و تحوله إلى مادة غير متجانسة إلى حد كبير فالثقوب تخفض الصلابة المحورية و صلابة الانعطاف للجسد العمودية على الثقوب كما يبين الجدول (2-1) و هذا ما يقلل مقاومة التحنيب التشوهي للمقطع

	Reduction
Axial stiffness =	0.77
Axial stiffness \perp	0.002
Bending stiffness =	0.77
Bending Stiffness \perp	0.06

الجدول (2-1) عوامل التخفيض بسبب التثقيب [Kesti, 2000]

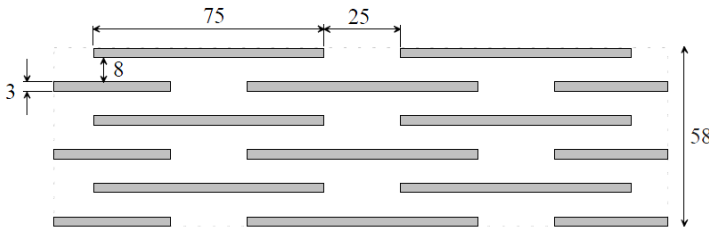
Axial stiffness = :الصلابة المحورية بالاتجاه الموازي للثقوب

Axial stiffness \perp :الصلابة المحورية بالاتجاه العمودي على الثقوب

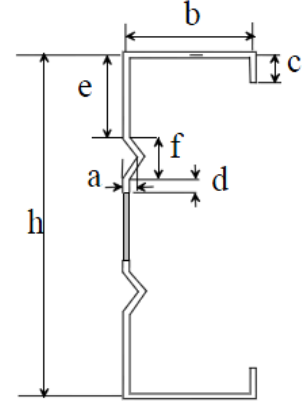
bending stiffness = : صلابة الانعطاف بالاتجاه الموازي للثقوب

bending stiffness \perp : صلابة الانعطاف بالاتجاه العمودي على الثقوب

و الشكل (2-16) يظهر المقطع المثقب الذي درسه الباحث ، و هو نفس المقطع العرضي المعتمد في هذه الدراسة . تم إجراء مجموعتين من الاختبارات لكل نموذج الأولى بعد حذف الجزء المثقب من الجسد و الثانية مع أخذ المقطع المثقب كاملاً بالاعتبار ، كما أن هذه الثقوب موجودة على طول جسد العمود و الشكل (2-17) يظهر توزيع الثقوب المعتمد.



الشكل (2-17) توزيع الثقوب في المقطع العرضي و أبعادها [Kesti,2000]



الشكل (2-16) تعريف رموز المقطع العرضي [Kesti,2000]

كان ارتفاع العمود لكل العينات 800mm و طبقت قوة الضغط على القاعدة البيتونية باستخدام آلة اختبار هيدروليكية مجهزة بصفحة قابلة للانتقال في إحدى النهايتين .

يبين الجدول (2-2) (3-2) حمولات الانهيار لكل من المقاطع بدون المساحة المثقبة و المقاطع مع وجود المنطقة المثقبة على الترتيب

Test specimen	Failure load [kN]	Lips failure mode direction
CC-1.2-F	58.0	inw.+outw.
CC-1.5-F	76.2	inward

الجدول (2-2) حمولات الانهيار للمقطع التي يحذف الجزء المثقب من المقطع [Kesti,2000]

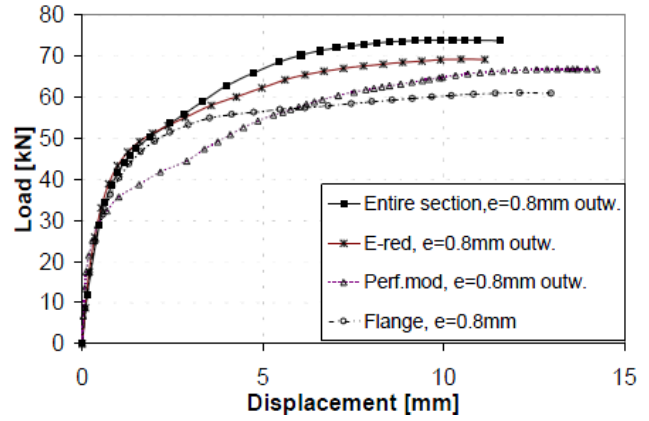
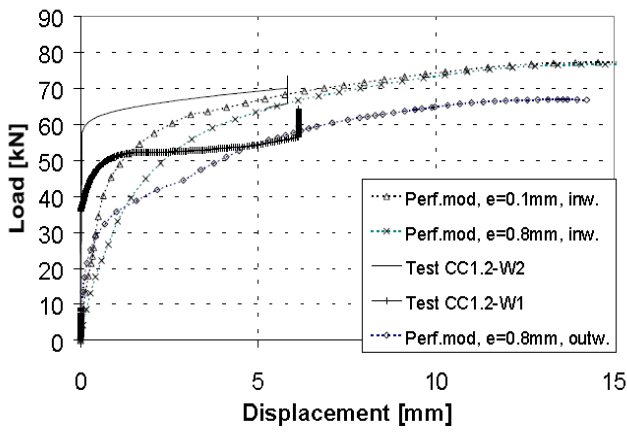
Test specimen	Failure load [kN]	Lips failure mode direction
CC-1.2-W-1	64.4	outward
CC-1.2-W-2	73.5	inward
CC-1.5-W-1	96.2	inward
CC-1.5-W-2	83.1	outward

الجدول (3-2) حمولات الانهيار للمقطع التي تؤخذ فيها مقاومة الجزء المثقب من الجسد بالاعتبار [Kesti,2000]

تم ترميز المقاطع كالتالي (CC-1.2-#) و (CC-1.5-#) حيث تعبر الأرقام 1.2 و 1.5 عن سماكة صفيحة المقطع بـ mm و بالنسبة للترميز W يستخدم للمقطع الكامل و الرمز F يستخدم للمقاطع التي تتضمن فقط الأجنحة

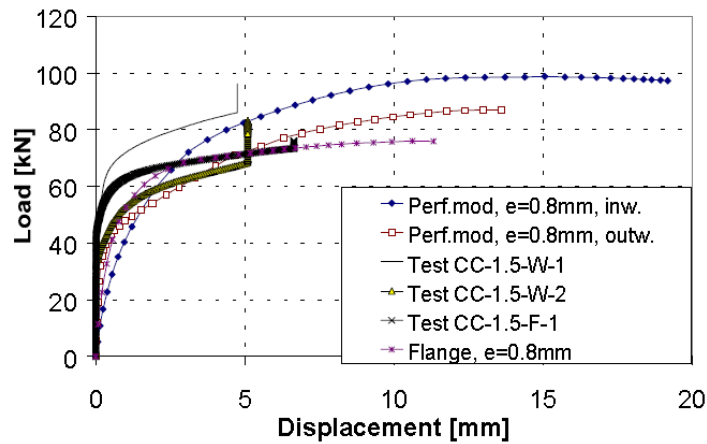
أما الرقم (1) أو (2) بعد الرمز (F أو W) فهو لعينتين بنفس السماكة و الأبعاد ولكن بخطأ صنع مختلف

لوحظ أن حمولات الانهيار للمقطع الكامل أعلى بـ 10% من حمولة الانهيار للمقطع بدون جسد عندما يكون تحنيب الشفة نحو الخارج ، و أعلى بـ 27% للمقطع الكامل مقارنة مع المقاطع بدون جسد عندما حنبت الشفة نحو الداخل ، و تبين الأشكال (18-2) و (19-2) و (20-2) النتائج التي توصل إليها الباحث و المقارنة بين نتائج التحليل اللاخطي باستخدام برنامج (NISA) Version 6.0، (1996) و النتائج التجريبية بتغيير خطأ الصنع e و جهته.



الشكل (19-2) مخطط الحمولة – الانتقال لنماذج بخطأ صنع أولي بقيم مختلفة و جهات مختلفة [Kesti,2000]

الشكل (18-2) مقارنة بين نتائج التحليل اللاخطي FEM و النتائج التجريبية للمقطع كاملا CC-1.2-W [Kesti,2000]

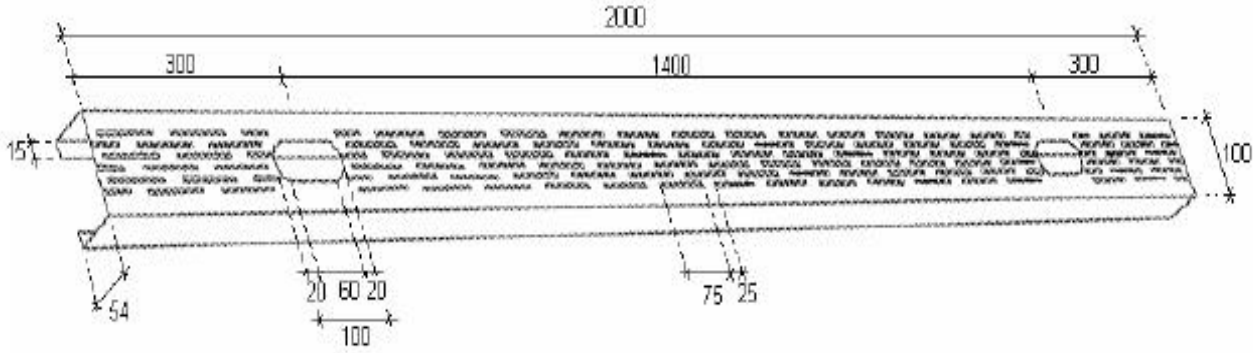


الشكل (20-2) مقارنة بين نتائج التحليل اللاخطي FE و النتائج التجريبية للمقاطع CC-1.5 [Kesti,2000]

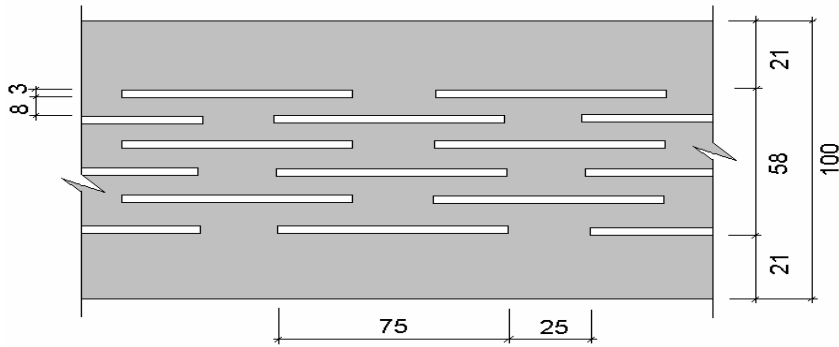
اختبر (Salhab,2007) أعمدة فولاذية مشكلة على البارد و مثقبة الجسد كالموضحة في الأشكال (21-2) و(22-2) والشكل (23-2) ، و الذي يوضح أبعاد الثقوب و أشكالها و هي بنفس الأبعاد التي اعتمدها Kesti 2000 و لكن من دون وجود أخاديد في الجسد و مع وجود فتحة تخديم .



الشكل (21-2) آلة التنقيب [Salhab,2007]

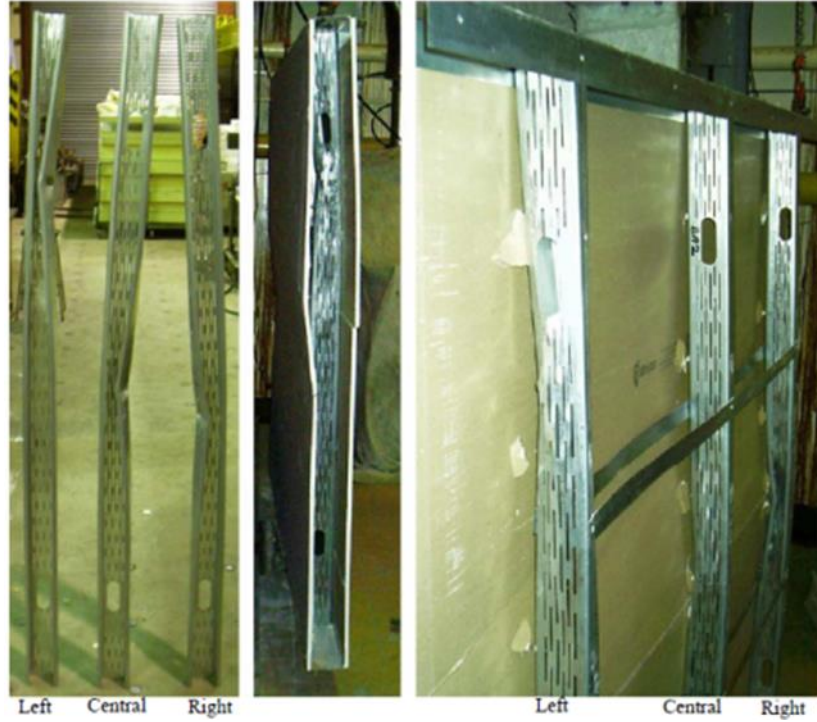


الشكل (22-2) أبعاد المقطع المدروس [Salhab, 2007]



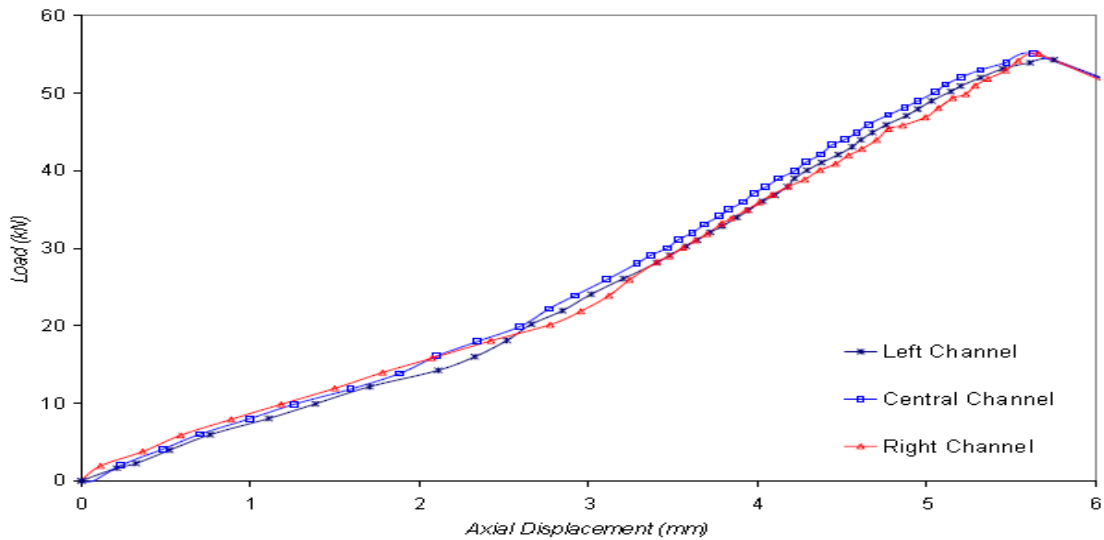
الشكل (23-2) شكل العينة بجسد مثقب [Salhab, 2007]

و يظهر الشكل (24-2) مقاطع المجراية الثلاثة حيث تم اختبار هذه العينات كجدار مع وجود ألواح تغطية (gypsum board) على جانبي المجراية و التي تزودها بقيود على مسافات 300 mm . كما يظهر الشكل (24-2) أن المجراية اليسرى انهارت بالتحنيب التشوهي فقط تحت فتحة الخدمة أما المجراية اليمنى و الوسطى انهارت بالتحنيب العام في وسط المقطع تقريباً .



الشكل (24-2) أشكال انهيار العينات [Salhab,2007]

و الشكل (25-2) يظهر منحنى الانتقال – الحمولة لمقاطع المجراية الثلاثة الذي توصل إليه الباحث و الذي يشير إلى أن المقاطع جميعها تصرفت بشكل متطابق تقريباً .



الشكل (25-2) منحنى الانتقال – الحمولة التجريبي [Salhab,2007]

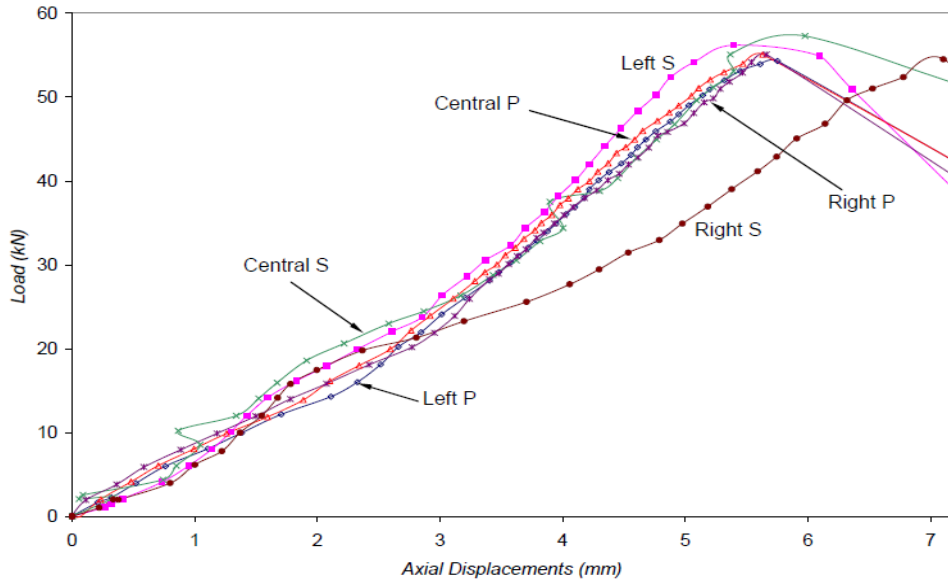
كما أجرى الباحث مقارنة بين نتائج المقاطع المثقبة و نتائج المقطع المصمت التي أجرتها سابقا الباحثة Feng 2004 على نفس العينة المبينة في الشكل (2-22) ، و لكن دون تثقيب أي مقطع مجراية بأبعاد $100 \times 54 \times 15 \times 1.2$ mm كالمبينة في الشكل (2-27) ، و من الجدير بالذكر أن العينات التي اختبرها كلا الباحثان تحتوي على فتحة تخديم بنفس الأبعاد و نفس الموقع.

بمقارنة نمط الانهيار بين العينات في التجريبتين يمكن ملاحظة أن المجراية المثقبة تغير فيها مكان الانهيار من قرب فتحة الخدمة في المجراية المصمتة إلى قرب وسط الطول في المقطع المثقب كما تمت مقارنة منحنيات الحمولة التشوه المحوري بالشكل (2-28) .



الشكل (2-27) مقاطع مجراية مصمتة مع وجود فتحة تخديم [Feng,2004]

الشكل (2-26) مقاطع مجراية مثقبة مع وجود فتحة تخديم [Salhab,2007]

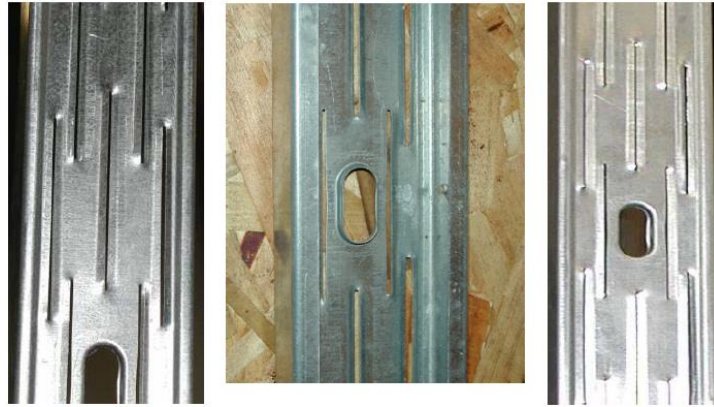


الشكل (2-28) مقارنة بين منحنيات الحمولة - التشوه المحوري (المصمتة = S و المثقبة = P) (Salhab,2007)

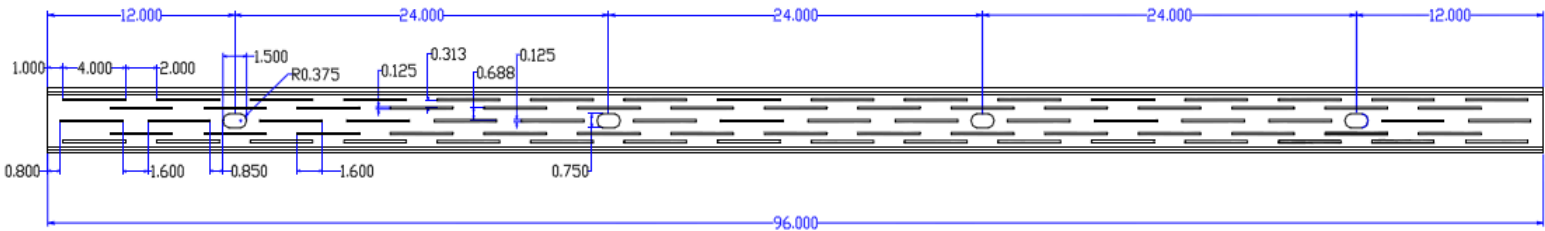
- يمكن ملاحظة أن هناك اختلافاً بسيطاً في المقاومة بين الاختبارين فحمولة الانهيار في اختبار (Salhab 2007) أخفض بحوالي 5.5% من حمولة الانهيار في اختبار (Feng 2004) حيث القيم هي

54.32 kN و 57 kN على الترتيب و يعود هذا الاختلاف البسيط في المقاومة إلى مساهمة الأجنحة الأكبر في المقاومة .

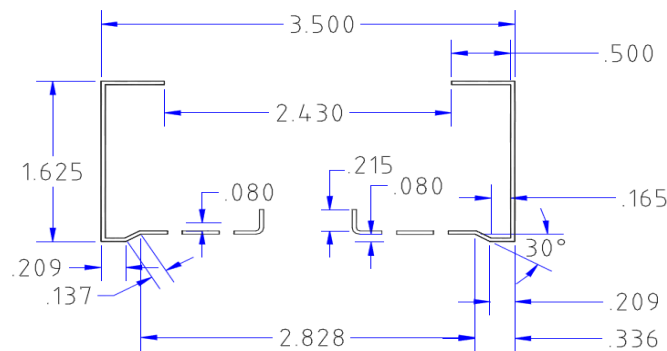
قام الباحث (Elhajj, 2003) بدراسة سلوك الدعامات الفولاذية المثقبة ، فأجرى اختبارات على دعامات فولاذية بسماكة 3 1/2 in (89 مم) حيث تم اختبار الانعطاف و القوة المحورية على دعامات مفردة مبينة في الشكل (29-2) و (30-2) و (31-2) و قورنت المقاومة الناتجة بالاختبار مع مثيلات هذه العينات ولكن بجسد مصمت كما تم إجراء اختبار القص و اختبار جدار القص الذي يحوي على عدد من الدعامات .



الشكل (29-2) نموذج الدعامات المثقبة المستخدمة في اختبار [Elhaj, 2003]



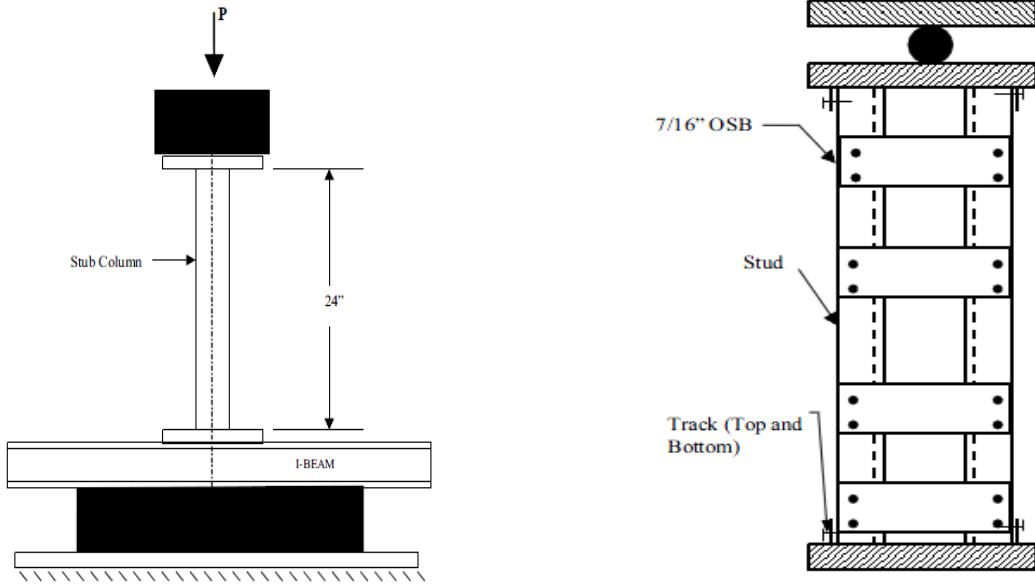
الشكل (30-2) شكل الدعامات المثقبة الجسد و أبعادها [Elhaj, 2003]



الشكل (31-2) أبعاد المقطع العرضي للدعامات [Elhaj, 2003]

تم إجراء اختبار القوة المحورية على العينات (350S165-33) و تم استخدام دعامتين و وصلهما بلوح ثخين عن طريق براغ لتأمين الاستقرار ضد تحنيب الفتل الجانبي كما يوضح الشكل (32-2).

تم تطبيق القوة المحورية عن طريق صفيحة معدنية ثخينة توزع القوة بالتساوي على كلا الدعامتين ، و تم قياس التشوه في منتصف مجاز إحدى الدعامتين والشكل (2-32) يبين إجراء التجربة. و بالنسبة لاختبار العمود القصير (stub column) فتم على ثلاثة أعمدة (33-350S165) مثقبة الجسد و طول العمود كان قصيراً بشكل كافٍ لتجنب التحنيب الكلي و طويلاً بشكل كافٍ لسهولة تطبيق الحمولة كما هو مبين في الشكل (2-32).



الشكل (2-33) اختبار العمود القصير [Elhaj, 2003]

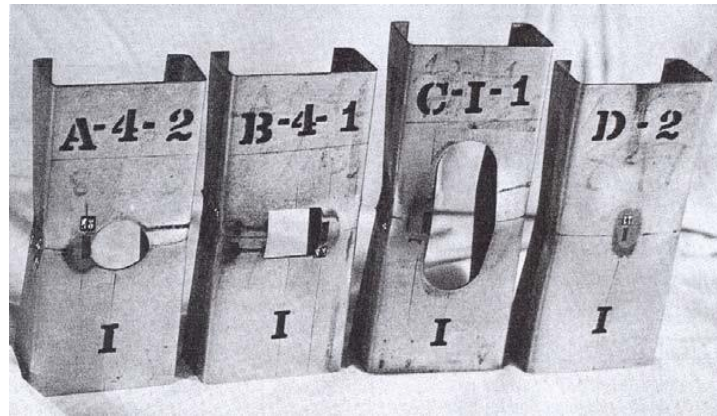
الشكل (2-32) إجراء اختبار القوة المحورية [Elhaj, 2003]

كما تم إجراء اختبار القص على الدعامات و اختبار جدار القص الكامل . و توصل الباحث إلى أن نموذج الدعامات المثقبة يشبه أو أفضل من الدعامات المصمتة في الاختبار المحوري حيث تفوقت الدعامات بجسد مثقب على الدعامات بجسد مصمت (أعلى بـ 45%) وفي اختبار القص أيضاً، و يعود ذلك إلى خواص المادة الأفضل للدعامات المثقبة (الإجهاد الحدي للدعامات المثقبة أعلى بـ 30% من الدعامات المصمتة) و ذلك حسب اختبارات الشد التي تم إجراؤها .

و أنماط الانهيار لكلا العينتين كانت متشابهة و أظهرت نتائج الاختبارات الحساسية العالية جداً لنمط التحنيب التشوهي و أن المساحة الفعالة للمقطع المثقب هي تقريباً 50% من المساحة الإجمالية للمقطع أما تخفيض المقاومة بسبب وجود الفتحات في الجسد فيمكن تعويضها بإضافة أهدود على طول الخط المركزي في الجسد.

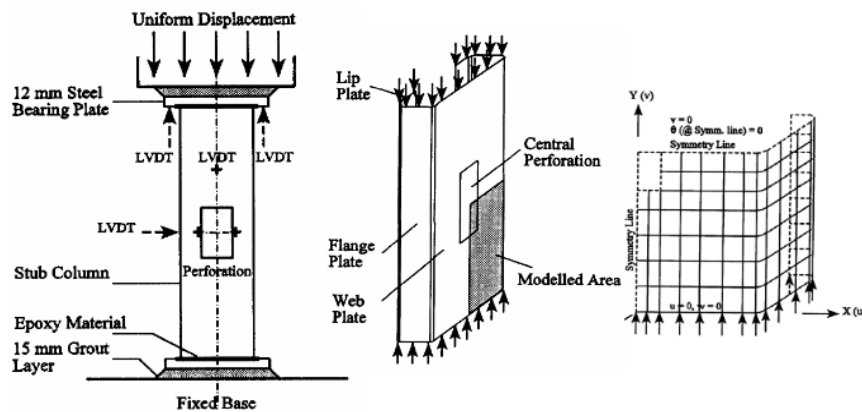
كما استطاع Sivakumaran(1987) أن يجري أبحاثاً في موضوع الفتحات في الصفائح المعدنية بدراسة تجريبية على مقاومة حمولة الضغط التي تتحملها الصفائح مع قياسات و أشكال مختلفة للفتحات في الجسد حيث أجرى تحقيقات عن التحنيب الموضعي و ما بعد التحنيب و المقاومة الحدية للمجارية المشفأة المحملة محورياً مع نماذج مختلفة من الفتحات (دائرية ، مربعة ، متطاولة) كما يظهر في الشكل (34-2) ، و قارن نتائج هذه المقاطع مع شروط AISI 1986 ، و وجد أن معادلة العرض الفعال في الكود تبالغ في تقدير قدرة المقطع كما أن معادلة تصميم العرض الفعال لعنصر مضغوط يحوي فتحة دائرية في الكود تعطي تقديراً أفضل للمقاومة حتى $d/b = 0.2$ و من ثم يصبح محافظاً من أجل d/b أكبر من 0.2.

حيث b : عرض الصفيحة ، d : عرض الفتحة



الشكل (34-2) العمود الدعامي بعد الانهيار (Sivakumaran 1987)

تم صنع نموذج بطريقة العناصر المحدودة من قبل Sivakumaran and Abdel-Rahma (1998) و تم استخدامه في تطوير معادلة العرض الفعال كما تم التحقق من نموذج العناصر المحدودة على 20 صفيحة مزودة بفتحة و جميعها مضغوطة و تمت الدراسة على الفتحات بأشكال دائرية و مربعة و مستطيلة كما يبين الشكل (35-2) .



الشكل (35-2) إجراء التجربة و نموذج العناصر المحدودة [Sivakumaran and Abdel-Rahma , 1998]

الثقوب جميعها كانت مركزية إما مربعة (63.5X63.5 mm)، 38.1X38.1 أو مستطيلة أو بيضوية (38.1x101.6، 63.5X114.3 mm) أو دائرية بقطر 63.5 ، 38.1 ، و وجد أن عرض الفتحة ليس وحده العامل المؤثر في تخفيض صلابة العمود القصير و لكن يمكن أن يؤثر ارتفاع الفتحة أيضاً في الصلابة ، كما وجد الباحثان أن شكل الفتحة له تأثير أقل على الحمولة الحدية للعينة حيث كان هناك اختلافات قليلة (أقل من 2.5%) بين العينات بفتحات دائرية أو مربعة و عينات بفتحات بيضوية أو مستطيلة .

حقق الباحثان عددياً مفهوم العرض الفعال عن طريق تنفيذ دراسة بارامترية و قدموا معادلة لتحديد العرض الفعال لصفحة تحتوي على فتحات منتظمة (مربعة أو مستديرة) و معادلة أخرى من أجل الصفائح مع الفتحات المتطاولة في العناصر المضغوطة المشكلة على الباراد كما يلي:
للفتحة الدائرية أو المربعة :

$$\frac{\Delta b}{b} = 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \left(\frac{d/b}{b/t} \right) \leq d/b \quad \dots\dots\dots(34-2)$$

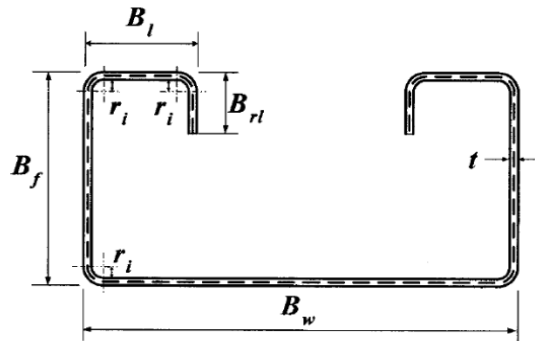
حيث Δb هي النقصان في العرض الفعال لصفحة مدعمة ، b عرض الصفحة ، t سماكة الصفحة، d قطر الفتحة في حالة الفتحة الدائرية او عرض الفتحة في حال الفتحة المربعة أو المستطيلة .
ومن أجل فتحات مطاولة حيث النسبة L_h/d أكبر من الـ 1

$$\frac{\Delta b}{b} = 1.1 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \left(\frac{d/b}{b/t} \right) \left[1 + 0.0025 \frac{b}{t} \left(\frac{L_h}{d} - 1 \right) \right] \leq d/b \quad \dots\dots\dots(36-2)$$

حيث L_h البعد الأكبر للفتحة (طول الفتحة) ، d : عرض الفتحة .

8-2- إضافة شفة مزدوجة على مقطع مجراية مشفأة :

أجرى (Yan and Young 2002) 30 اختباراً لعينات مقطعها مجراية معرضة للضغط و لكن تحتوي العينة على شفة أخرى (شفة مزدوجة Double lip) كما هو موضح بالشكل (36-2)

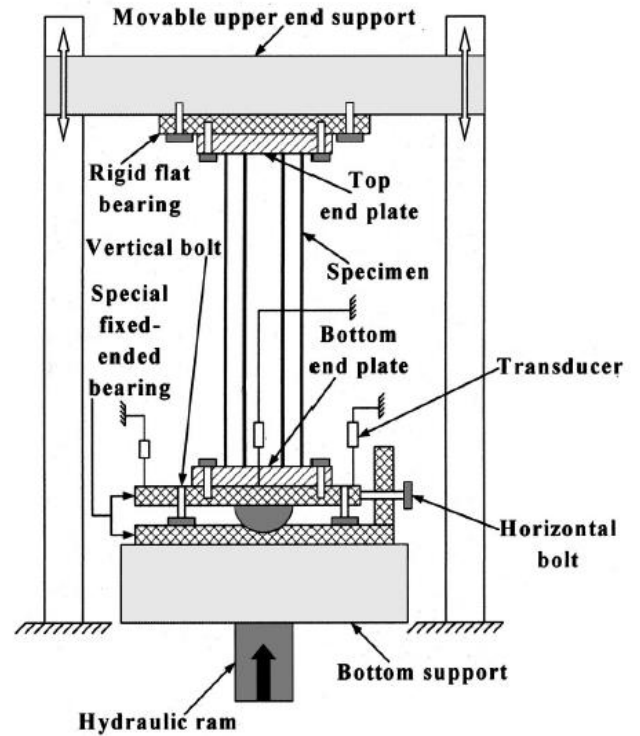
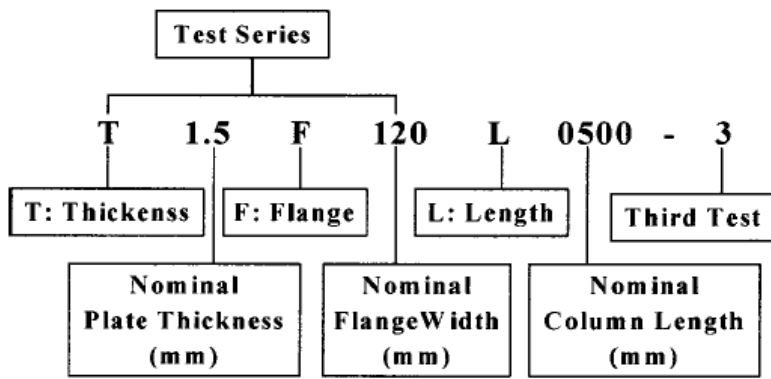


الشكل (36-2) شكل المقطع العرضي بشفة مزدوجة (Yan and Young 2002)

حيث كان هدف البحث هو تأمين بيانات تجريبية للأعمدة الفولاذية المشكلة على البارد بمقطع مجراية مع شفة مزدوجة لاستخدامها في توصيفات التصميم العالمية ، و تقييم مدى ملائمة قواعد التصميم الحالي لحساب مقاومة العمود المزود بمدعمة مزدوجة .

أجريت أربع مجموعات من الاختبارات من أجل أبعاد مختلفة للمقاطع العرضية مع طيف واسع من أطوال الأعمدة حيث إجهاد الخضوع للصفائح الفولاذية (450 MPa) و شروط الاستناد هي نهاية موثوقة و تم تأمينها عن طريق لحام كل من نهايتي العينة بصفحة فولاذية سماكتها (25mm) . يتراوح طول العينة بين صفائح النهاية ما بين (500-3500 mm) و يطبق الضاغظ الهيدروليكي الحاملة بسرعة (0.2 mm/min)

العينات لها سماكة اسمية مقدارها (t=1.5,1.9 mm) و عرض الجناح الاسمي $B_f=25$ mm لكل العينات و عرض الشفة المزدوجة $B_{fl}=15$ mm و عرض الجسد $B_w=150$ mm و نصف قطر الانحناء الداخلي $r=2$ mm . يبين الشكل (37-2) إجراء التجربة و يبين الشكل (38-2) طريقة تسمية العينة و الترميز الخاص بكل مجموعة من مجموعات التجربة



الشكل (37-2) آلية إجراء اختبارات [Yan and Young, 2002] الشكل (38-2) نظام ترميز العينة للعينة النموذجية [Yan and Young, 2002]

تمت مقارنة إجهادات الاختبار بالإجهادات التصميمية المعطاة بـ (التوصيف الأمريكي American Specification) و (الكود الاسترالي - النيوزيلاندي Australian/New Zealand Standard Specification) من أجل العناصر الفولاذية المشكلة على البارد . يتبين بالجدول (4-2) ، (5-2) ، (6-2) ، (7-2) ، الحمولات التجريبية الناتجة ، حيث أن كلاً منها يعود لمجموعة من العينات التي لها نفس أبعاد المقطع العرضي و التي تختلف بالطول الفعال فقط [Yan and Young, 2002].

specimen	Experimental (PEXP) (kN)
T1.5F120L0500-1	168.9
T1.5F120L1000-2	166.9
T1.5F120L1500-3	164.9
T1.5F120L1000	159.3
T1.5F120L1500	145.7
T1.5F120L2000	139.5
T1.5F120L3000	131.3
T1.5F120L3500	127.4

الجدول (5-2) حمولات الانهيار لعينات T1.5F120L X مع اختلاف الطول [Yan and Young, 2002]

specimen	Experimental (PEXP) (kN)
T1.9F120L0500-1	233.7
T1.9F120L0500-2	239.7
T1.9F120L1000	231.2
T1.9F120L1500	227.3
T1.9F120L2000	225.2
T1.9F120L2500	220.2
T1.9F120L3000	209.4
T1.9F120L3500	194.6

الجدول (7-2) حمولات الانهيار لعينات T1.9F120L X مع اختلاف الطول [Yan and Young, 2002]

specimen	Experimental (PEXP) (kN)
T1.5F80L0500	172
T1.5F80L1000	166.9
T1.5F80L1500	163.4
T1.5F80L2000	161.7
T1.5F80L2500	158.8
T1.5F80L3000	154.8
T1.5F80L3500	124.4

الجدول (4-2) حمولات الانهيار لعينات T1.5F80L X مع اختلاف الطول [Yan and Young, 2002]

specimen	Experimental (PEXP) (kN)
T1.9F80L0500	238.5
T1.9F80L1000	236.3
T1.9F80L1500	233.3
T1.9F80L2000	232.4
T1.9F80L2500	224.4
T1.9F80L3000	198.7
T1.9F80L3500	183.9

الجدول (6-2) حمولات الانهيار لعينات T1.9F80L X مع اختلاف الطول [Yan and Young, 2002]

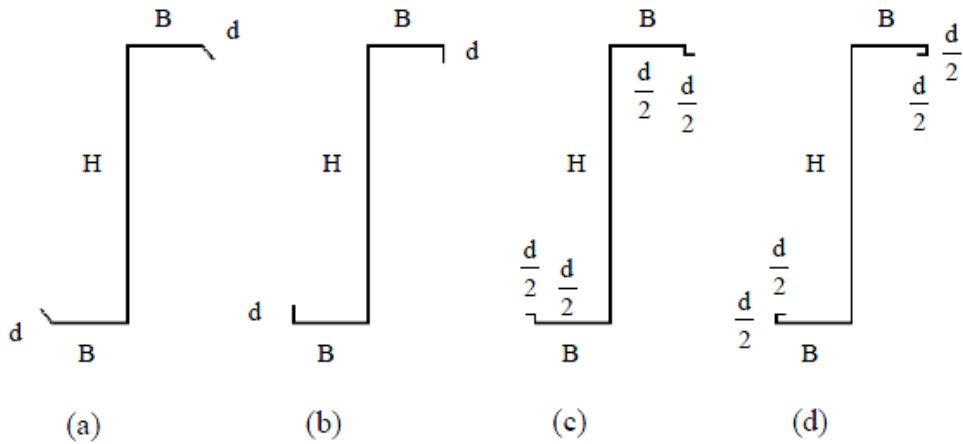
نلاحظ أن حمولة الانهيار تتناسب عكساً مع الطول و تزداد بزيادة السماكة، لكن الباحثين لم يقارنوا بين مقطع مجراية بدون شفة و آخر مع شفة مزدوجة كما لم يغيروا أبعاد الشفة الإضافية و تأثيره على المقاومة و هذا ما سيتم دراسته في هذا البحث .

نمذج الباحثان التجارب التي أجريها بطريقة العناصر المحدودة و تبين أن حمولات الانهيار المستنتجة من النمذجة قريبة جدا من حمولات الانهيار في الاختبار و هذه النتائج أفضل من المتوقعة باستخدام AISI أو AS/NZS حيث تعد النتائج المستنتجة من الكودات محافظة مقارنة مع نتائج التجربة .

كما تمت دراسة أنماط انهيار العينات، و بشكل عام كانت أنماط الانهيار المبينة في التجارب تحنيب موضعي و تشوهي معاً للأعمدة القصيرة و متوسطة الطول و تحنيب موضعي و تحنيب قتل -انعطاف معاً للأعمدة الطويلة ، أما بالحساب بطريقة الكود الاسترالي فكانت النتائج متوافقة مع النتائج التجريبية إلا في حالة الأعمدة القصيرة .

قام الباحث Sarawit(2000) بدراسة تحليلية لمقاطع فولاذية بشكل حرف Z مع تدعيم مزدوج ، و تم ذلك بطريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج ABAQUS و طريقة AISI 1996 و المقاطع التي تم إجراء الاختبار عليها مبينة بالشكل (2-38) حيث :

d : طول الشفة الأساسية للمقطع ، B : طول الجناح ، H: عمق المقطع أي طول الجسد .
 و قام الباحث بإجراء عدد من الدراسات البارومترية (تغيير الأبعاد المختلفة مع سماكة ثابتة ، تغيير سماكة المقطع) كما تم البحث عن المقطع العرضي المثالي و ذلك بتغيير طول الأجنحة مع تثبيت كل الأبعاد الأخرى للوصول إلى البعد الأمثل و إيجاد طول المدعمة الأمثل و ذلك أيضاً بتغيير طول الشفة المزدوجة مع ثبات باقي الأبعاد و ذلك للمقاطع المبينة بالشكل (2-40) و تغيير كل من طول المدعمة و الجناح للوصول إلى أفضل نسبة للمدعمة المزدوجة إلى الجناح ، مع الحفاظ على مساحة المقطع العرضي ثابتة حيث أن الأشكال (a) مدعمة مائلة بزواوية 50 درجة بالنسبة للجناح نحو الخارج (b)مدعمة شفة بسيطة ، (c)مدعمة إضافية بزواوية للخارج ،(d) مدعمة إضافية بزواوية للداخل



الشكل (2-39) مقاطع Z التي أجري عليها اختبار أبعاد المقطع الأمثل [Sarawit ,2000]

و تم التوصل إلى أن المقطع الأكثر كفاءة هو المقطع بمدعمة مزدوجة للداخل أي المقطع (d) في الشكل (2-40) و من ثم يأتي المقطع بشفة نحو الخارج (a) أو بشفة بسيطة بنفس الكفاءة (b) و أن النسبة المثلى لطول المدعمة المزدوجة إلى طول الجناح هي 0.33.

الفصل الثالث

التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) Modelling Using

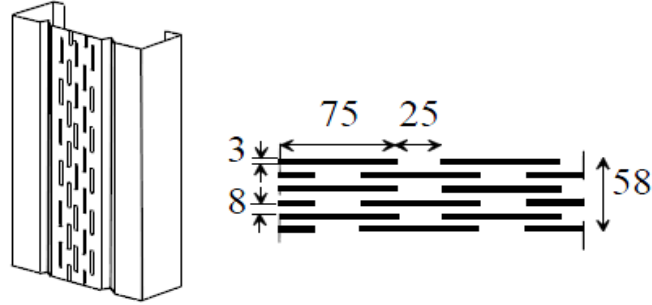
FEM :

3-1- مقدمة :

يهدف هذا الفصل إلى بناء نموذج العناصر المحدودة باستخدام برنامج ABAQUS و توصيف النموذج المستخدم في البحث من حيث الأبعاد و شروط الاستناد و الأحمال المطبقة و نوع التحليل المستخدم ، و إجراء دراسة نعومة الشبكة لمعرفة عدد العناصر المثالي الواجب اتباعه في التحليل ، و المقارنة مع تجربة في الدراسة المرجعية للتحقق من صحة النموذج .

3-2- توصيف التجربة :

تم في هذه الدراسة اختيار التجارب المدروسة من قبل (Kesti , 2000) و هي عبارة عن أعمدة مقطوعة مجراية مثقبة الجسد ، و يوجد تدعيم للمقطع عن طريق وجود أخدودين في الجسد و التي تمثل تقسية للجسد (web stiffeners) ، و هذا موضح بالشكل (3-1) والذي يبين أيضاً شكل الثقوب و توزعها.

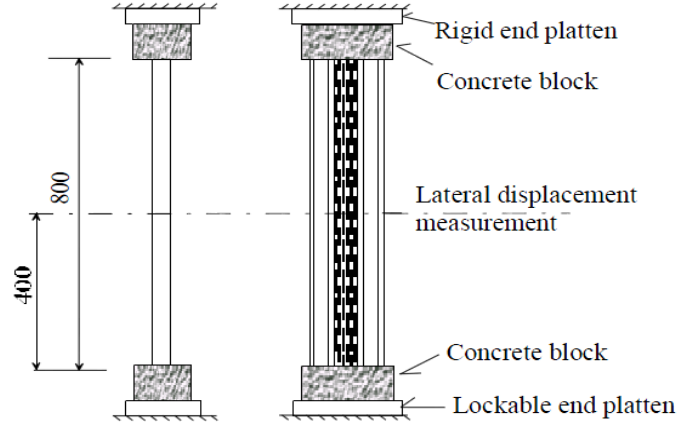


الشكل (3-1) شكل العينة بجسد مثقب و تدعيم للجسد [Kesti,2000]

تمت دراسة نوعين من المقاطع : النوع الأول الأجنحة فقط (تم فيه حذف الجزء المثقب من الجسد) ، و الثاني المقطع كاملاً (بقي الجزء المثقب من الجسد مأخوذاً بالاعتبار).

المادة المستخدمة للعينات هي S350GD+Z250 و إجهاد الخضوع الاسمي 350 MPa حسب BS EN 10147 ، و أظهر اختبار الشد خواص المادة المستخدمة و المبينة في الشكلين (3-3) و (4-3) و ذلك للمجموعة CC-1.2 ، و في الشكلين (5-3) و (6-3) و ذلك للمجموعة CC-1.5 حيث الشكلين (3-3) (5-3) تمثل الجزء الأولي من منحنيات الإجهاد – تشوه و الشكلين (4-3) (6-3) تمثل

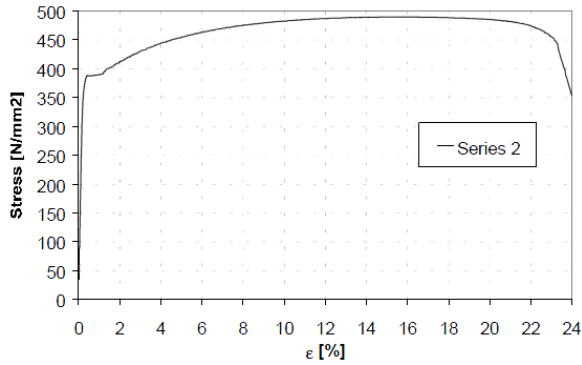
منحني الإجهاد تشوه كامل بالإضافة إلى الجدول (1-3) و الذي يبين خواص الفولاذ المستخدم بسماكة 1.2 و 1.5mm (السماكة الصافية بدون طبقة التغطية 1.15، 1.47mm على الترتيب ، f_y إجهاد الخضوع للفولاذ ، f_u إجهاد الشد الأعظمي ، E معامل المرونة)



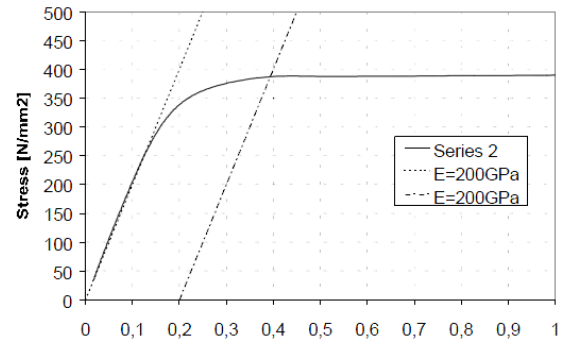
شكل (2-3) عمود التجربة [Kesti,2000]

	Core Thickness [mm]	Yield stress f_y [N/mm ²]	Tensile strength f_u [N/mm ²]	Modulus of elasticity E [N/mm ²]
CC-1.2	1.15	386	490	200455
CC-1.5	1.47	380	492	204167

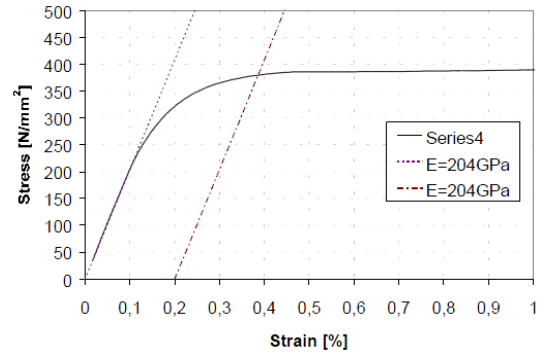
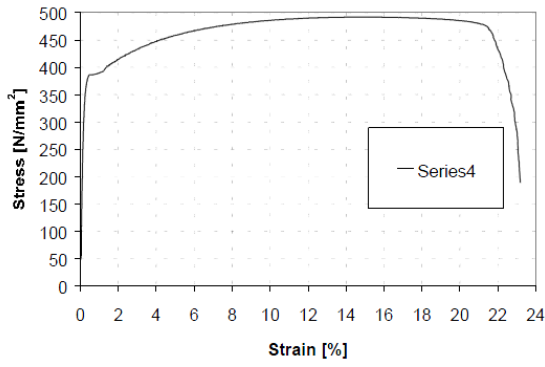
الجدول (1-3) خواص المواد [Kesti,2000]



الشكل (4-3) منحني الإجهاد- التشوه كامل للعمود بسماكة 1.2mm [Kesti,2000]



الشكل (3-3) منحني الإجهاد- التشوه الأولي للعمود بسماكة 1.2mm [Kesti,2000]



الشكل (6-3) منحنى الإجهاد التشوه كامل للعمود بسماكة [Kesti,2000] 1.5mm

الشكل (5-3) منحنى الإجهاد التشوه الأولي للعمود بسماكة [Kesti,2000] 1.5mm

و يظهر الشكل (2-3) العمود في التجربة مع الأبعاد ، حيث أن كل من نهايتي العينة مغموستان في قاعدتين بيتونيتين و ذلك لتأمين شروط النهاية الموثوقة و منع القتل .

يتعرض العمود لضغط مطبق على النهاية العلوية و الممثل بحمولة موزعة بانتظام على الصفيحة العلوية و العمود بطول 800mm وسماكة المقطع 1.2 mm ($\lambda=30.18$) أو 1.5 ($\lambda=31.2$) كما يبين الشكل (2-3) شكل النموذج المدروس مع الأبعاد و شروط الاستناد و التي هي عبارة عن وثاقات في كلتا النهايتين مع إمكانية الانزياح الشاقولي للنهاية العلوية

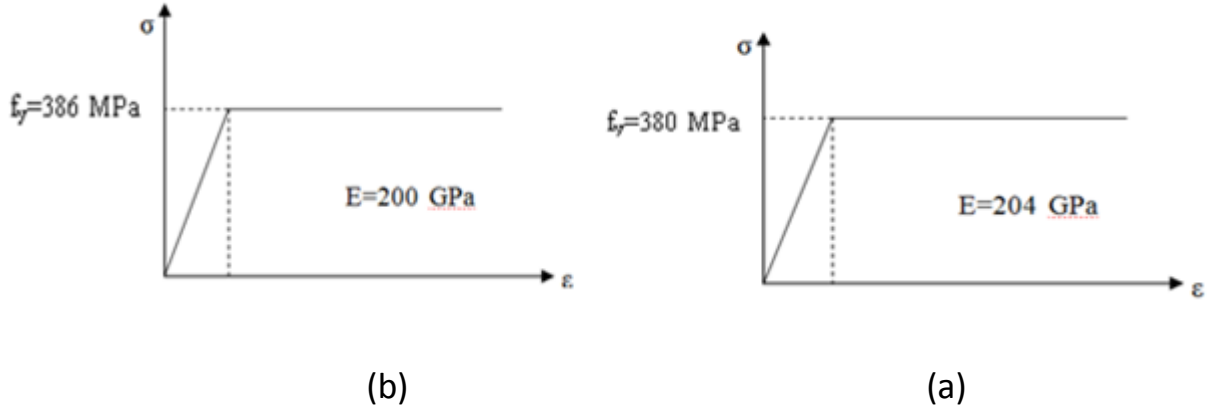
يبين الجدول (2-3) و الشكل (16-2) أبعاد المقطع العرضي لنموذج الدراسة ، حيث أن CC-1.2 هي رمز الأعمدة بشكل مجراية بسماكة 1.2 mm أما الرمز CC-1.5 فهي رمز للأعمدة بمقطع مجراية بسماكة 1.5mm

	h (mm)	b(mm)	c(mm)	e(mm)	a(mm)	f(mm)	d(mm)	Area(mm ²)
CC-1.2	173.6	49.3	16.2	23.4	9.1	22.4	12	301
CC-1.5	173.6	49.3	16.2	23.4	9.1	22.4	12	381.4
CC-1.5 flange	173.5	49.8	15.6	22.2	8.3	22.6	11.3	373.2

الجدول (2-3) أبعاد المقطع العرضي لنموذج الدراسة (Kesti 2000)

3-3- مواصفات المادة :

مواصفات المواد المستخدمة في النمذجة موضحة بالجدول (1-3) للعينتين CC-1.2، CC-1.5 أما توصيف سلوك الفولاذ المستخدم في النمذجة فهو موضح بمخطط (الإجهاد - التشوه) الموضح بالشكل (7-3) قيمة إجهاد الخضوع $f_y=386$ MPa للمقطع بسماكة 1.2 mm و $f_y=380$ MPa للمقطع بسماكة 1.5، mm حيث يبدي فولاذ المقطع مرونة حتى الوصول إلى إجهاد خضوع الفولاذ ($f_y = 386$ Mpa أو $f_y=380$ MPa) بعدها يدخل بمرحلة اللدونة التامة حيث تزداد التشوهات دون أي زيادة في الإجهادات كما يوضح الشكل (7-3).

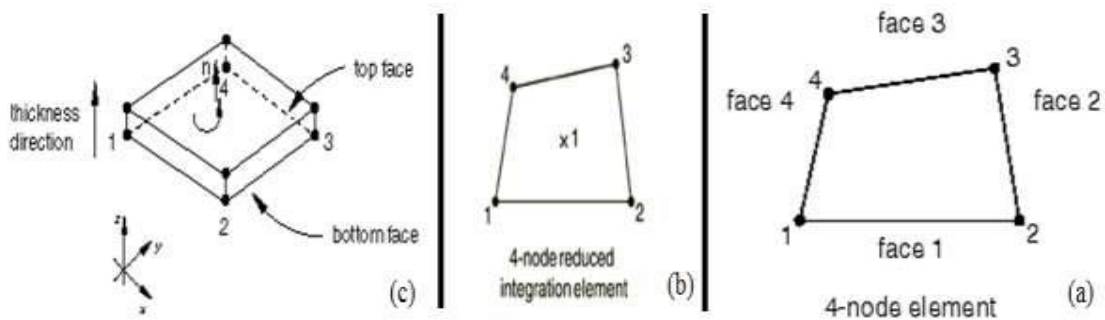


الشكل (7-3) مخطط الإجهاد - التشوه (a) لعمود بسماكة 1.2mm ، (b) لعمود بسماكة 1.5mm

4-3- توصيف العنصر المستخدم في النمذجة :

تم استخدام العنصر (S4R) في نمذجة الفولاذ ، وهو عنصر مساحي (Shell element) بأربع عقد (4 noded element) ، ذو عدد مخفض لنقاط غاوس (Reduced Integration Points) ، جميع العقد لها ست درجات حرية (Six degree of freedom) ثلاثة انتقالات و ثلاثة دورانات (ABAQUS Documentation, 2011)

يبين الشكل (a-8-3) هذا العنصر مع ترقيم العقد ، و الشكل (b-8-3) يبين نقاط غاوس في هذا العنصر ، وهي نقطة وحيدة في مركزه ، أما الشكل (c-8-3) فيبين الاتجاه الموجب للناظم على سطح العنصر ، وبالتالي الاتجاه الموجب للسماكة .

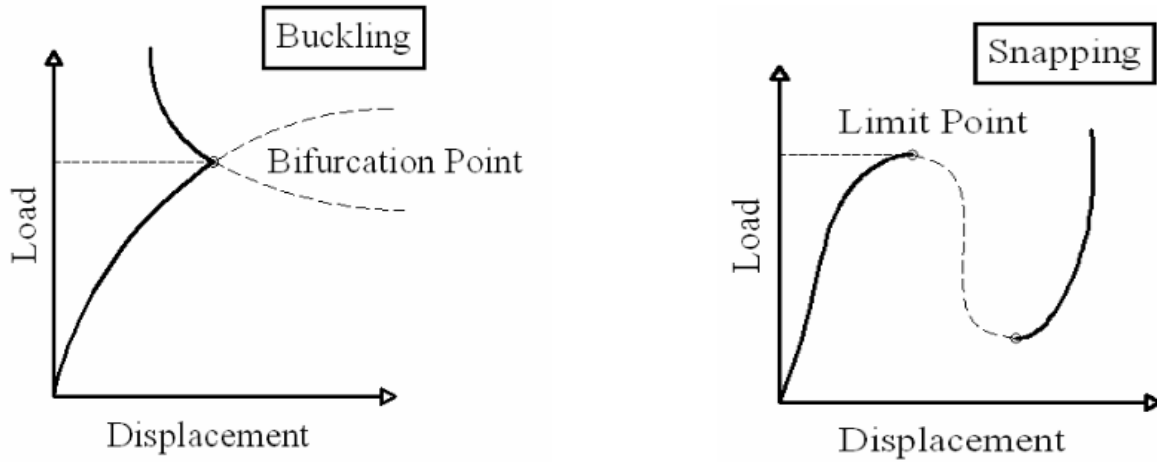


الشكل (8-3) العنصر المحدد المستخدم في النمذجة [HKS, 2011]

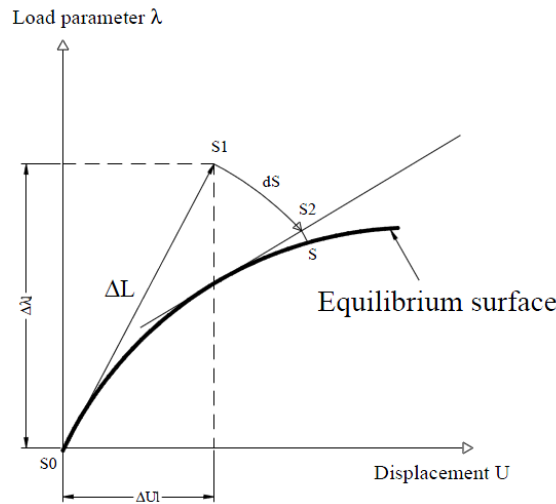
تم استخدام التحليل اللاخطي و الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة و وجود خطأ صنع هندسي Geometrically and Materially Non_Linear Analysis with imperfection (GMNIA) included (Modified Ricks Approach) ، و قد تم اعتماد طريقة ريكس المعدلة (Arc Length) لتتبع الاستجابة اللاخطية للمادة . تعرف هذه الطريقة بـ "تقنية طول القوس "

(Technique) و تستخدم بشكل أساسي في حل مسائل ما بعد الانهيار (Post Failure) و عدم الاستقرار (Instability) كما هو موضح بالشكل (9-3) . وهي طريقة تزايدية (Incremental Approach) ، أي يتم الوصول إلى الحل الدقيق بعد عدد معين من الدورات.

و في هذه الطريقة يكون كل من الحمل و الانتقال مجهولي القيمة ، لذا كان لابد من فرض قيد إضافي و هو طول القوس ΔL لقياس تقدم الحل و إضافة معادلة إضافية لمعادلات التوازن . يمثل الشكل (10-3) آلية عمل هذا التحليل ، حيث S_0 هي نقطة بداية الحل و التي تم انطلاقاً منها الوصول إلى الحل الأولي S_1 في الدورة الأولى من دورات الحل ، ثم يتم الانتقال إلى دورة الحل الثانية S_2 بمسار دائري dS مركزه النقطة S_0 و نصف قطره ΔL إلى أن يتم التقارب إلى الحل الدقيق [Batikha , 2008]



الشكل (9-3) مسائل عدم الاستقرار (Riks , 1979)



الشكل (10-3) آلية التحليل بطريقة ريكس المعدلة [Batikha ,2008]

3-5- شروط النمذجة و الاستناد :

تم إجراء تحليل للعمود المدروس بتجربة (Kesti 2000) بواسطة برنامج ABAQUS 6.11 و بنفس الأبعاد و الحمولة المطبقة و شروط الاستناد (كما هو مبين في الشكل 3-2)، مع تعريف النموذج باستخدام خيار (Eigen value) و الذي يأخذ تأثير التشوهات الناتجة عن سوء الصنع و من ثم إجراء تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار وجود خطأ في الصنع (imperfection) مقداره $(L/1000)$ ، و المقترح من قبل الباحث (Kesti, 2000)، حيث L هو طول العمود المدروس و بالتالي القيمة التي تم اعتمادها لخطأ الصنع هي (0.8 mm) و يبين الشكل (3-11) شروط الاستناد للعمود المدروس.



الشكل (3-11) يبين شروط الاستناد للعمود المدروس

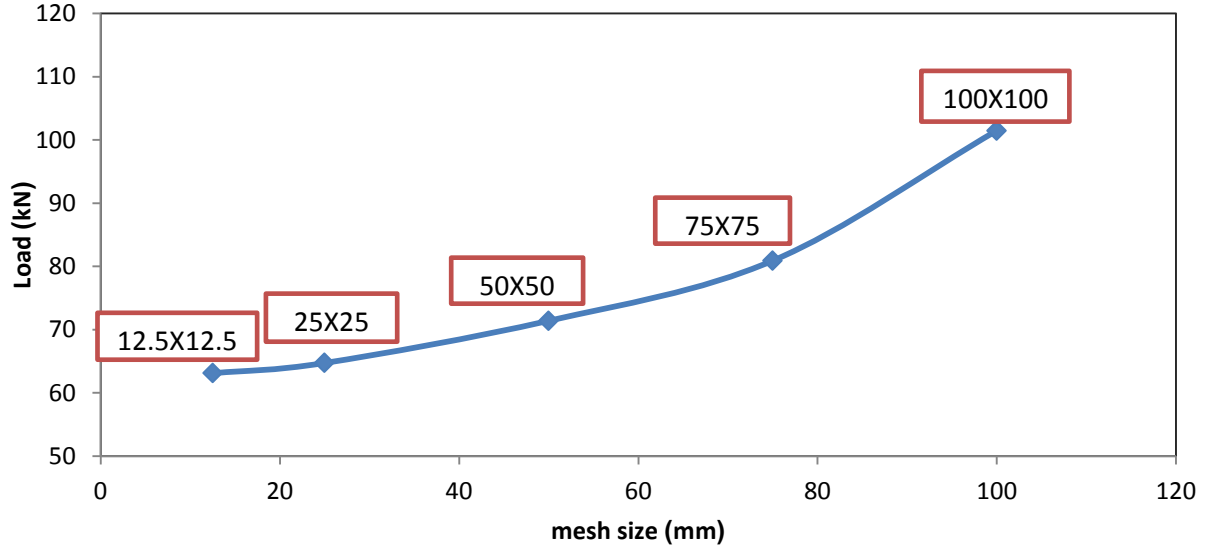
يتطلب التحليل ببرنامج ABAQUS 6.11 تعريف سلوك الفولاذ عند دخوله في المرحلة اللاخطية ، حيث تم توصيف هذا السلوك بمخطط الإجهاد-التشوه و الموضح في الشكل (3-7) .

3-6- دراسة دقة الشبكة (mesh sensitivity) :

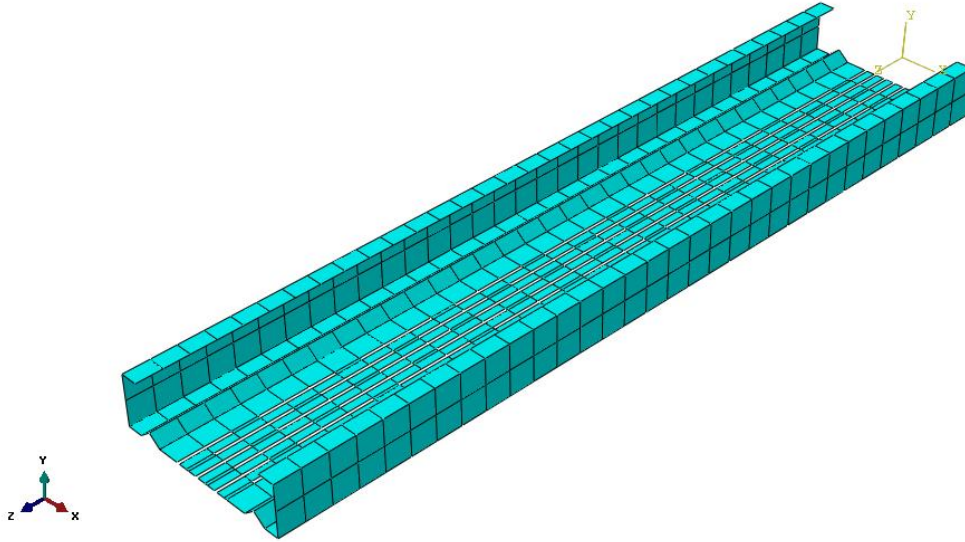
بما أن طريقة العناصر المحدودة هي طريقة عددية ، و من أجل الوصول إلى الأبعاد المثالية للعناصر المحدودة المستخدمة ، أي التقسيم المثالي للشبكة الذي يؤمن الاقتصادية من حيث زمن الحل ، تمت دراسة دقة الشبكة (mesh sensitivity).

تمت الدراسة على عمود مشكل على البارود معرض لحمولة ضاغطة موزعة بانتظام عند نهاية العمود العلوية بما أن العنصر المستخدم في نمذجة الفولاذ هو (S4R) ، أي عنصر مساحي ذو بعدين ، لذلك تم اختيار أبعاد العناصر في النموذج $(12.5 \times 12.5) \text{ mm}$ و $(25 \times 25) \text{ mm}$ ، و $(50 \times 50) \text{ mm}$ و $(75 \times 75) \text{ mm}$ و $(100 \times 100) \text{ mm}$ و دراسة تأثير هذا التغيير على قدرة تحمل العمود .

يبين الشكل (12-3) تأثير دقة الشبكة أي أبعاد العنصر (S4R) على قدرة تحمل العمود ، حيث يمثل المحور الأفقي أبعاد العنصر المساحي (S4R)، والمحور الشاقولي هو قوة الضغط الأعظمية التي يتحملها العمود ، ونلاحظ أن الحمل الحدي الناتج عن اختيار أبعاد (12.5×12.5)mm قريب من نتيجة التقسيم (25×25) mm و بالتالي نكتفي بعدد التقسيمات الأخير (25×25) mm حيث أن اختيار النموذج (100×100) mm يؤدي إلى خطأ في النتائج أما اختيار النموذج (12.5×12.5) mm سيؤدي إلى عدم اقتصادية في زمن الحل .



الشكل (12-3) تأثير دقة الشبكة على قدرة تحمل العمود



الشكل (13-3) النموذج المعتمد و أبعاد الشبكة المختارة

7-3- المقارنة مع الدراسة المرجعية :

يوضح الجدول (3-3) مقارنة بين نتائج نمذجة ABAQUS لهذه الدراسة (This study modelling) و النتائج التجريبية لنموذج (Kesti 2000) ، و لوحظ التقارب الكبير في النتائج بينهما من ناحية الحمولة و من ناحية التحنيب و المقارنة بين أشكال الانهيار للعينات بسماكة 1.2mm بين نموذج (Kesti 2000) و نموذج هذه الدراسة فهي موضحة في الشكل (3-14) ، و سماكة 1.5mm في الشكل (3-15) حيث انهار المقطع عندما كان مؤلفاً من الأجنحة فقط بتحنيب الفتل العام كما هو موضح في الشكل (3-14-a) ، حيث شفة تنهار نحو الخارج والاخرى نحو الداخل inw+outw للأعمدة بسماكة 1.2mm و كان الانهيار نحو الداخل لكلا الشفتين في الشكل (3-15-a) للأعمدة بسماكة 1.5mm ، أما بالنسبة للمقطع الكامل بجسد مثقب فقد انهار المقطع بالتحنيب التشويهي كما هو موضح بالأشكال (3-14-b) و (3-15-b) و (3-14-c) و (3-15-c) حيث انهارت عينة بتحنيب الشفة نحو الخارج outw (الشكلان 3-15-b و 3-14-c) والأخرى بتحنيب الشفة نحو الداخل inw (الشكلان 3-15-b و 3-14-c) على الرغم أن العينتين كانتا متطابقتين ولكن سوء الصنع المختلف الاتجاه غير اتجاه التحنيب للشفة وبالتالي قيمة حمولة الانهيار. تم في النمذجة أخذ سوء الصنع بنفس القيمة و الاتجاه الذي تمت دراسته من قبل الباحث (Kesti 2000) لنحصل على نفس نمط التحنيب الوارد في التجربة.

كما يلاحظ أن حمولة الانهيار (في كل من التجربة و النمذجة) عند تحنيب الشفة نحو الخارج أقل من حمولة الانهيار لمقطع متطابق، عندما تحنّب الشفة نحو الداخل، وهذا متوافق مع نتائج الباحثين Silvestre & Camotim 2004 ، كما أن اتجاه التحنيب التشويهي نحو الخارج outward للمقطع المصمت بدون وجود ثقوب و المرمز له في الجدول (3-4) بالرمز CC-1.2-S أثر على حمولة الانهيار فهي أكبر بشكل واضح من حمولة الانهيار التي يعطيها مقطع مثقب بنفس السماكة عندما تنهار الشفة نحو الخارج outward ولكنها متساوية تقريباً في حالة مقطع مصمت outward مقارنة مع مقطع مثقب inward ، ويعزى ذلك إلى أن المقطع في حالة التحنيب التشويهي نحو الداخل يشبه إلى حد ما مقطع مغلق مما يعطيه مقاومة ضد الفتل أكثر من المقطع في حالة التحنيب التشويهي نحو الخارج .

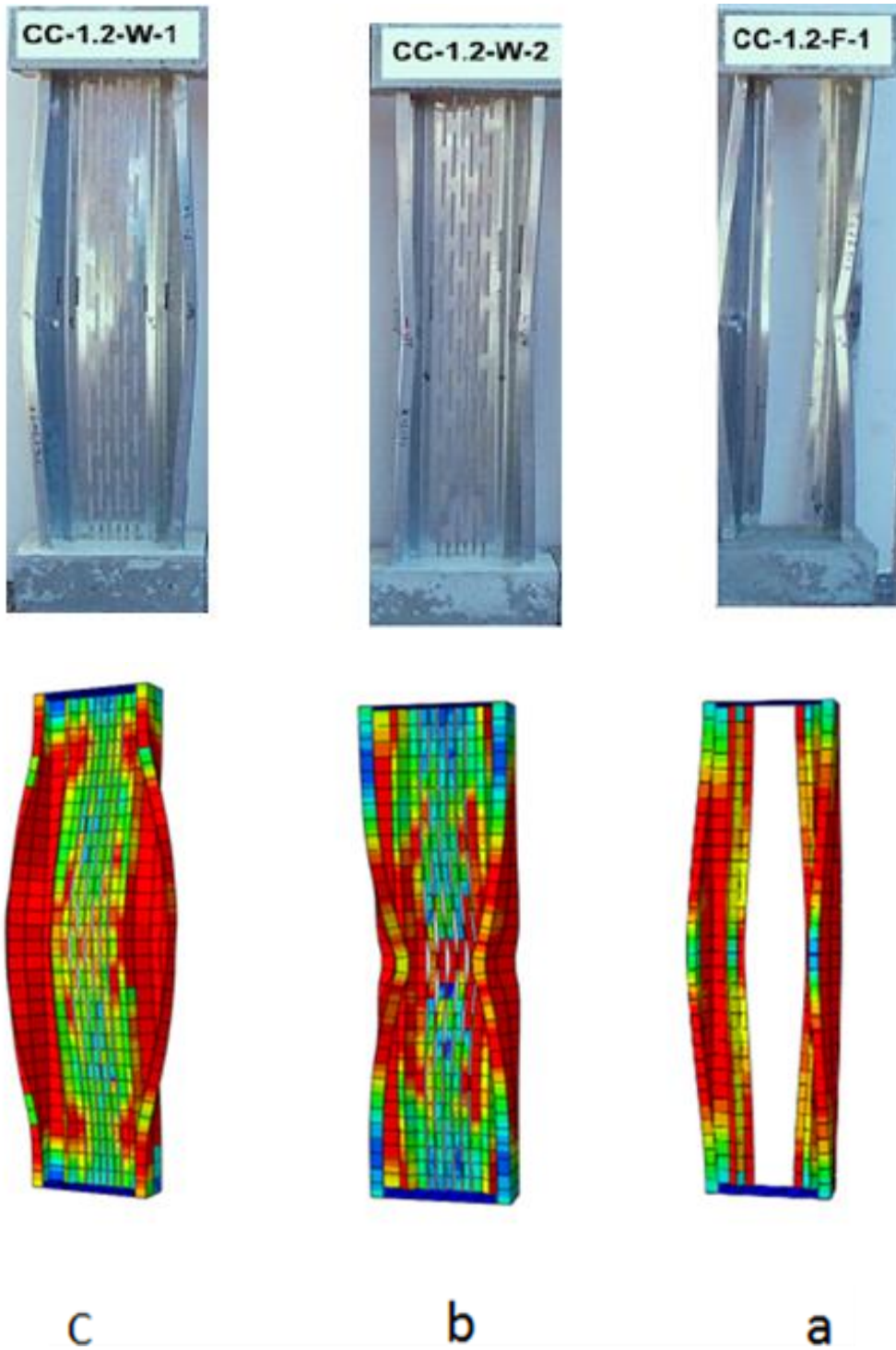
Test specimen	Experimental failure Load(kN)	Lips failure mode direction	الشكل	This study results (kN)	Lips failure mode direction in study	Modeling/Exp %
CC-1.2 -F	58	inw+outw	a-5-3	56.2	inw+outw	96.90
CC-1.5- F	76.2	inward	a-6-3	72.9	Inward	95.67
CC-1.2-W-1	64.4	outward	c-5-3	64.74	Outward	100.53
CC-1.2-W-2	73.5	inward	b-5-3	72.61	Inward	98.79
CC-1.5-W-1	96.2	inward	b-6-3	97.83	Inward	101.69
CC-1.5-W-2	83.1	outward	c-6-3	85.46	Outward	102.84

الجدول (3-3) يوضح مقارنة نتائج النموذج المدروس مع الدراسة التجريبية

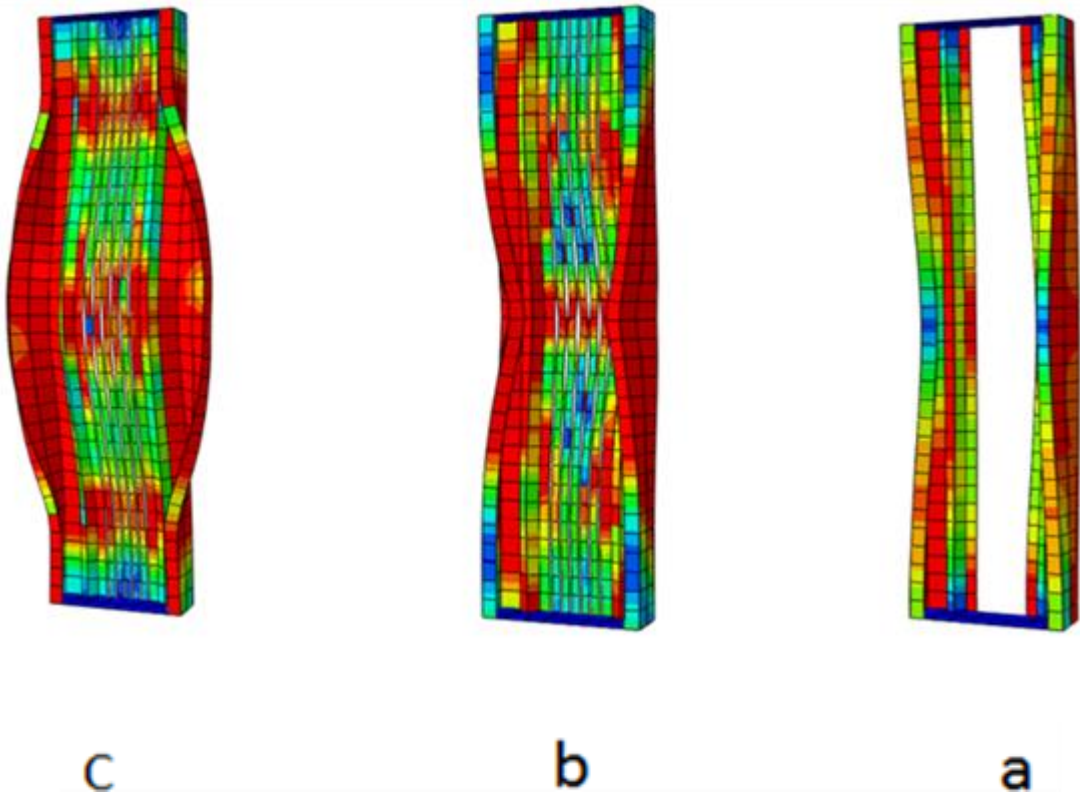
كما يوضح الجدول (4-3) مقارنة بين نتائج نمذجة ABAQUS لهذه الدراسة (This study) (modelling) و النتائج التحليلية التي قام بها (Kesti 2000) باستخدام برنامج (Kesti 2000) التحليلية (1996، Version 6.0·NISA) كانت نتائج الدراسة قريبة من نتائج دراسة (Kesti 2000) التحليلية

Test specimen	Analytical failure Load(kN)	Lips failure mode direction	This study results (kN)	Lips failure mode direction in study	Modeling/Analytical %
Flange 1.2	61.1	inw+outw	56.2	inw+outw	91.98
Flange 1.5	76.2	inward	72.9	inward	95.67
CC-1.2 outw	66.9	outward	64.74	outward	96.77
CC-1.2 inw	77.14	inward	72.61	inward	94.13
CC-1.5 inw	98.6	inward	97.83	inward	99.22
CC-1.5 outw	87	outward	85.46	outward	98.23
CC-1.2-S	74	outward	71.93	outward	97.20

الجدول (4-3) يوضح مقارنة نتائج النموذج المدروس مع الدراسة التحليلية

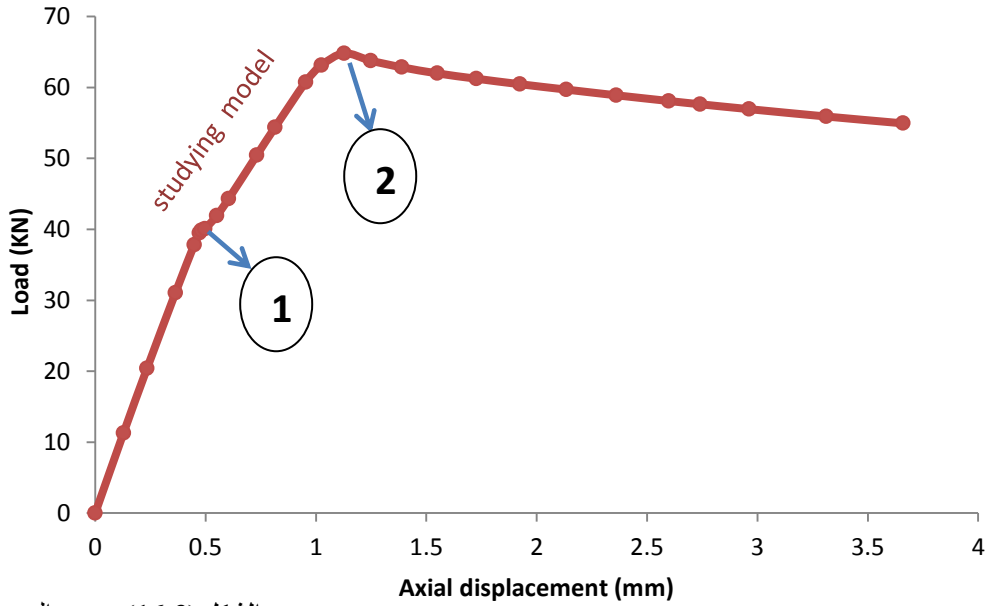


الشكل (14-3): مقارنة بين أشكال الانهيار في نموذج الدراسة و نموذج دراسة Kesti أعمدة بسماكة 1.2mm



الشكل (3-15): مقارنة بين أشكال الانهيار في نموذج الدراسة و نموذج دراسة Kesti لأعمدة بسماكة 1.5mm

كما يوضح الشكل (16-3) مخطط الحمولة – الانتقال المحوري للنموذج المدروس



الشكل (16-3) منحنى الحمولة – الانتقال

المحوري للنموذج المدروس

و يبين الشكل (16-3) الانتقال على المحور الأفقي و الحمولة على المحور الشاقولي ، و نلاحظ تغير ميل المنحني عند النقطة (1) حيث تتغير قساوة العنصر بسبب بدء تشكل موجات تحنيب موضعي لصفحة الجسد مع بداية تشوه الأجنحة (بداية تحنيب تشوهي مع فقدان الصلابة الدورانية لمجموع الصفائح المشكلة للمقطع) ، وتصل الحمولة إلى القيمة الأعظمية عند النقطة (2) ثم يبدأ الانهيار حيث تتناقص الحمولة و تزداد الانتقالات و ذلك بسبب حدوث تحنيب تشوهي للأجنحة نحو الخارج مما يؤدي إلى انهيار المقطع أي تم الوصول إلى القيمة النهائية .

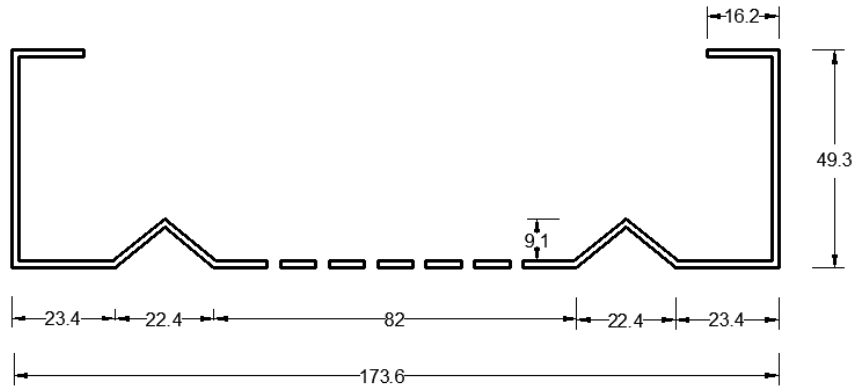
و النتائج التي تم الوصول إليها منطقية بالمقارنة مع حمولة أويلر التي يحدث عندها التحنيب الكلي و التي تساوي من أجل العمود المدروس القيمة (207kN) مما يعني أن الانهيار يتم بسبب التحنيب الموضعي و التشوهي و ليس التحنيب العام .

الفصل الرابع

الدراسة البارامترية (Parametric Study):

1-4- مقدمة :

يهدف هذا الفصل إلى دراسة تأثير المتغيرات المختلفة على المقاومة و بالتالي الوصول إلى مقطع ذي مقاومة عالية و يحقق متطلبات العزل الحراري في نفس الوقت بوجود التنقيب في الجسد. سيتم اعتماد المقطع الأساسي بالأبعاد الميينة بالشكل (1-4) و هو نفس المقطع المعتمد في دراسة (Kesti 2000) التجريبية ، حيث كانت مقاومة هذا المقطع باستخدام النمذجة $P_0 = 64.59 kN$ و من ثم سيتم تغيير المتحولات المختلفة مع إبقاء الأخرى ثابتة و حساب مقاومة المقطع المدروس و التي سيتم ترميزها P_u كما ستتم الدراسة على مقطع مثقب بطول 800 mm مزود بخطأ صنع مقداره $L/1000$ أي 0.8 mm.



الشكل (1-4) أبعاد المقطع الأساسي المعتمد

2-4- تأثير تغيير طول الشفة C:

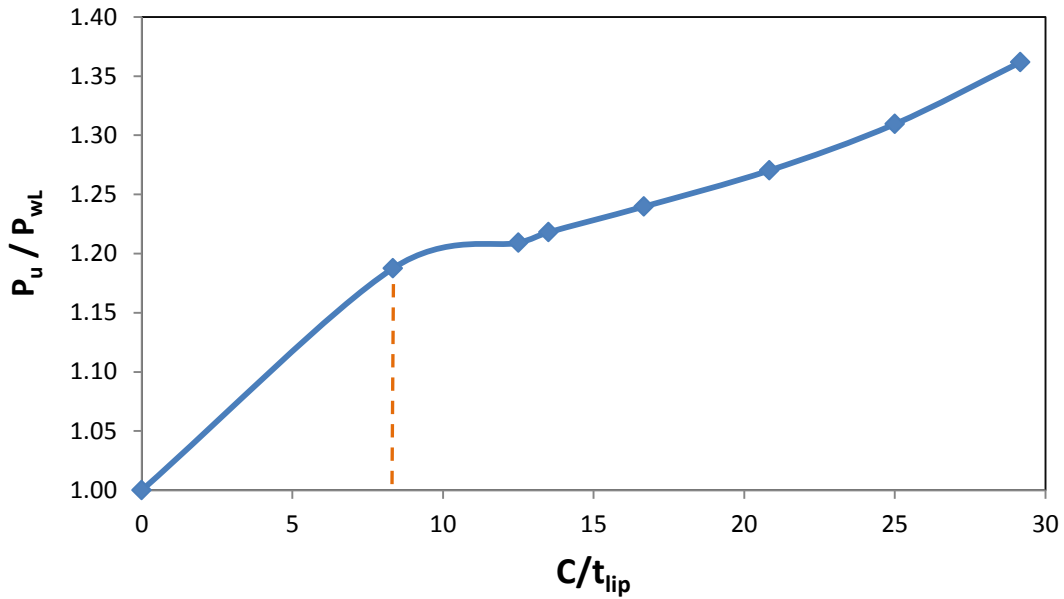
تمت دراسة تأثير تغيير طول الشفة الأساسية C في مقطع مثقب و الموضحة في الشكل (2-15) ، الذي يبين رموز عناصر المقطع العرضي .

طول الشفة C في المقطع المدروس (16.2 mm) و تم في الدراسة تغيير هذه القيمة ضمن مجموعة قيم (10---35 mm) حيث لا يمكن أن يكون الطول أقل من 1/5 من عرض الجناح الأصلي b حسب اشتراط الكود البريطاني BS5950-5 حتى نتمكن من اعتبار الشفة كمدعمة طرفية أي الجناح مدعم و

يبين الشكل (2-4) تغيير مقاومة المقطع المدروس إلى مقاومة المقطع بدون شفة على المحور الشاقولي مع تغير نسبة طول الشفة C إلى سماكة الشفة على المحور الأفقي، كما يبين الجدول (1-4) الحمولة التي يتحملها المقطع من أجل كل قيمة لطول الشفة، و تمت التعبير عن حمولة المقطع غير المشفى بالرمز P_{wL}

$P_u/P_{wL}\%$	Load (kN)	C Length (mm)
1.00	53.03	0
1.19	62.97	10
1.21	64.12	15
1.22	64.59	16.2
1.24	65.74	20
1.27	67.36	25
1.31	69.44	30
1.36	72.21	35

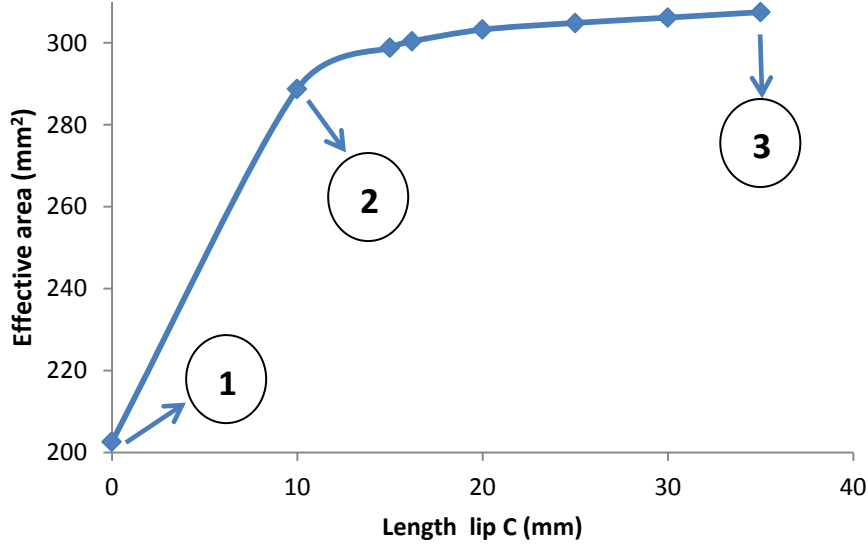
الجدول (1-4) طول الشفة C و الحمولة الحديدية المقابلة



الشكل (2-4) تأثير تغيير نسبة طول الشفة C إلى السماكة على نسبة مقاومة المقطع المدروس إلى مقاومة المقطع غير المشفى

نلاحظ من الشكل (2-4) أن مقاومة المقطع تزداد بزيادة طول الشفة و هذه الزيادة تكون كبيرة عند النقطة التي تمت فيها إضافة الشفة أي المقطع المشفى ازدادت مقاومته بنسبة 19% عن المقطع غير المشفى، و بعد هذه النقطة تزداد مقاومة المقطع بزيادة طول الشفة و هذه الزيادة خطية تقريباً بنسبة وسطية قدرها 2.7% بين خطوة و أخرى (حيث الفرق بين كل قيمتين 5mm) .

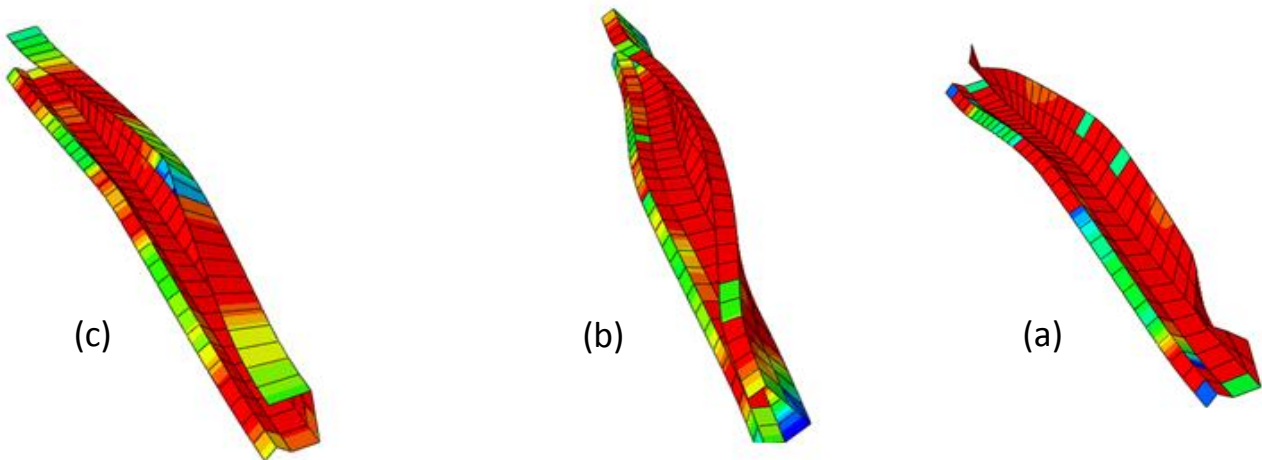
و هذا يعود إلى زيادة المساحة الفعالة و التي تم التطرق إليها ضمن الفقرة (2-4) ، حيث يبين الشكل (3-4) زيادة المساحة الفعالة من 200 mm^2 لمقطع من دون شفة ($C=0\text{mm}$) إلى 288.72 mm^2 لمقطع بعد إضافة شفة 10mm و تحول الجناح من عنصر غير مدعم (حر) إلى عنصر مسنود من الطرفين و من ثم تقل قيمة هذه الزيادة في المساحة الفعالة فتقل قيمة الزيادة في المقاومة .



الشكل (3-4) تأثير طول الشفة C على المساحة الفعالة

يبين الشكل (4-4) تحنيب الجناح في كل من الحالات :

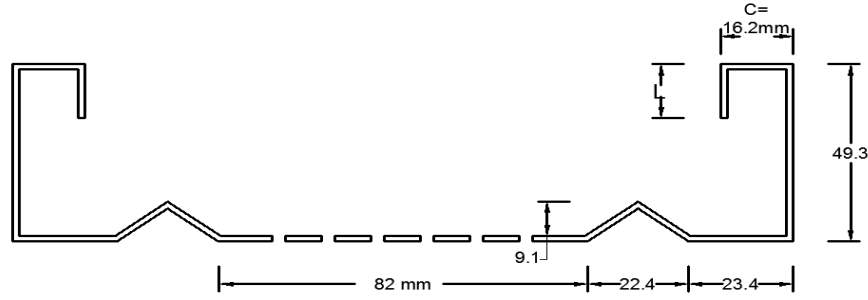
- جناح بدون شفة (يقابله في الشكل 3-4 النقطة 1 ، و a-4-4 في الشكل 4-4)
- جناح مع شفة بطول 10mm (يقابله في الشكل 3-4 النقطة 2 ، و b-4-4 في الشكل 4-4)
- جناح مع شفة بطول 35mm (يقابله في الشكل 3-4 النقطة 3 ، و b-4-4 في الشكل 4-4)



الشكل (4-4) تحنيب الجناح في الحالات المختلفة للشفة (a) بدون شفة (b) مع شفة بطول 10mm (c) مع شفة بطول 35mm

3-4- دراسة تأثير إضافة شفة مزدوجة على المقطع :

سيتم إضافة شفة أخرى باتجاه داخل المقطع و بطول مقداره L كما هو موضح في الشكل (4-5) ، حيث أن هذا الشكل للمدعمة الإضافية قد أثبت كفاءة في زيادة المقاومة مقارنة مع إضافة شفة نحو الخارج أو شفة مائلة كما استنتج الباحث (Sarawit, 2000).



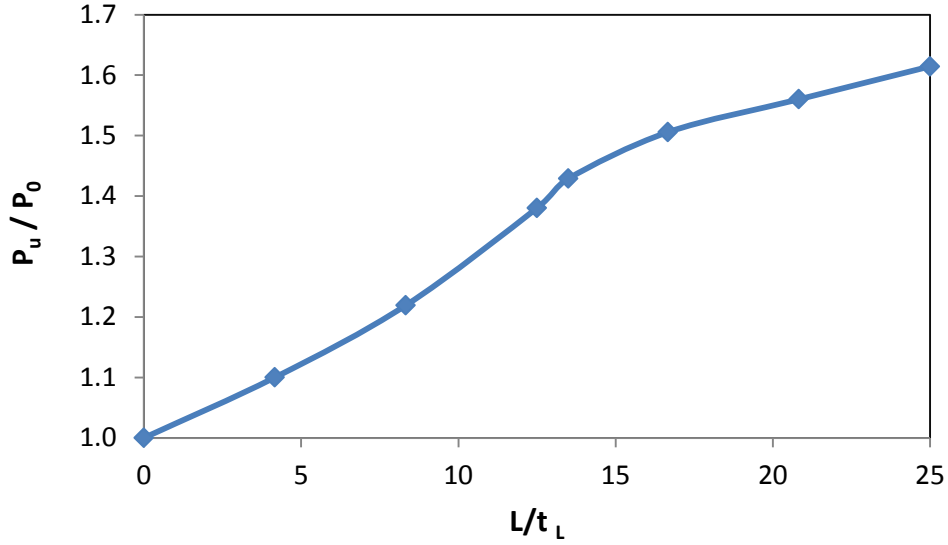
الشكل (4-5) شكل المقطع العرضي بعد إضافة شفة مزدوجة

تم تغيير قيم طول الشفة المزدوجة (5-10-15-20-25-30 mm) بحيث بدأت من القيمة :
 $\frac{16.2}{5} = 3.24mm < 5 mm$ حسب اشتراط الكود و يبين الجدول (4-2) قيم الحملات الناتجة بعد تغيير طول الشفة المزدوجة كما يبين الشكل (4-6) تغيير نسبة مقاومة المقطع المزود بشفة إضافية إلى مقاومة المقطع الأساسي

variance	percentage %	Load(kN)	Length of Lip L (mm)
0.00	0.00	64.59	0
9.76	9.76	71.06	5
11.91	21.67	78.77	10
15.56	37.23	88.84	15
13.00	50.23	97.26	20
5.42	55.65	100.77	25
5.42	61.08	104.28	30

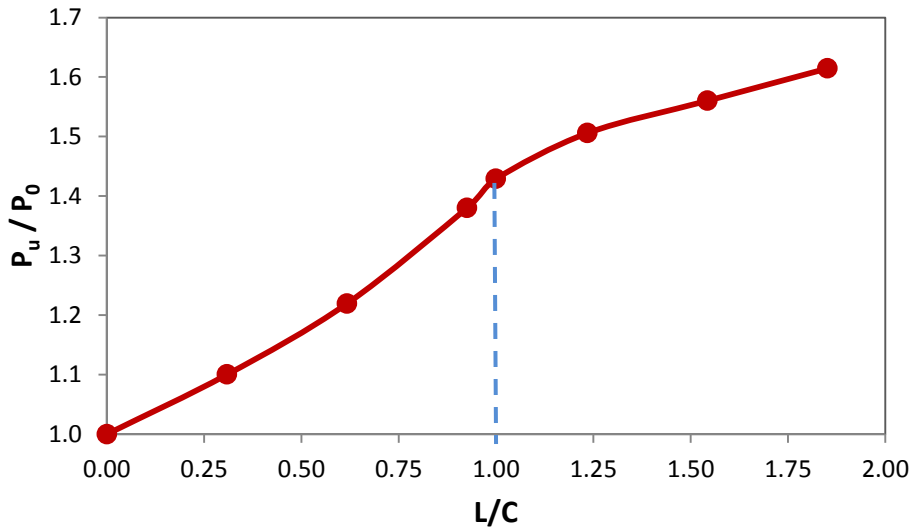
الجدول (4-2) تأثير إضافة شفة مزدوجة بطول L على المقاومة

مقاومة المقطع المصمت بدون ثقوب و بدون شفة إضافية CC-1.2-S تساوي (71.93 kN) من الجدول (3-3) و بالمقارنة مع قيم الحملات في الجدول (4-2) يتبين لنا أنه يمكن تعويض النقص في المقاومة الناتج عن التثقيب بإضافة شفة مزدوجة بطول L=5mm



الشكل (6-4) تأثير تغيير نسبة طول الشفة المزدوجة إلى السماكة على مقاومة المقطع المدرس إلى مقاومة المقطع الأساسي

كما يبين الشكل (7-4) نسبة طول الشفة المزدوجة إلى الشفة الأساسية C و تأثيرها على مقاومة المقطع



الشكل (7-4) تأثير تغيير نسبة طول الشفة المزدوجة إلى طول الشفة الأساسية للمقطع على نسبة مقاومة المقطع المدرس إلى مقاومة المقطع الأساسي

و نلاحظ من الشكل (7-4) ما يلي :

أن المقاومة تزداد بزيادة طول الشفة المزدوجة (L) وهذا متوقع ويوافق النتائج التجريبية في الشكل (28-2) كمقارنة بين مقطع مثقب ومقطع مصمت و الذي يدل على مساهمة الألياف الطرفية من المقطع كالأجنحة و الشفة ، فزيادة مساحة هذه المنطقة سيؤدي إلى زيادة المقاومة.

تتراوح قيمة زيادة المقاومة بين (10-15%) عن مقاومة المقطع الأساسي في كل خطوة لزيادة الطول L بين (0-20 mm) أما عندما يتجاوز الطول (L) القيمة 16.2mm أو بطول مساوٍ لطول الشفة الأساسية تقريباً يقل مقدار زيادة المقاومة بمقدار النصف تقريباً ، حيث يمكن اعتبار هذا الطول قيمة أمثلية في زيادة المقاومة و عند هذا الطول تتحقق النسبة الأمثلية بين طول الشفة المزدوجة و طول الشفة الأساسية و هذه النسبة هي (1) تقريباً ، حيث لا تحدث أي زيادة ملحوظة بعد هذه النسبة على المقاومة.

هذه النسبة تؤكد نتيجة الباحث (Sarawit, 2000) ، حيث أثبت أن النسبة المثلى لطول المدعمة

المزدوجة إلى طول الجناح 0.33 و هي نسبة موافقة للنسبة المستنتجة من هذا البحث $\frac{16.2}{49.3} = 0.33$.

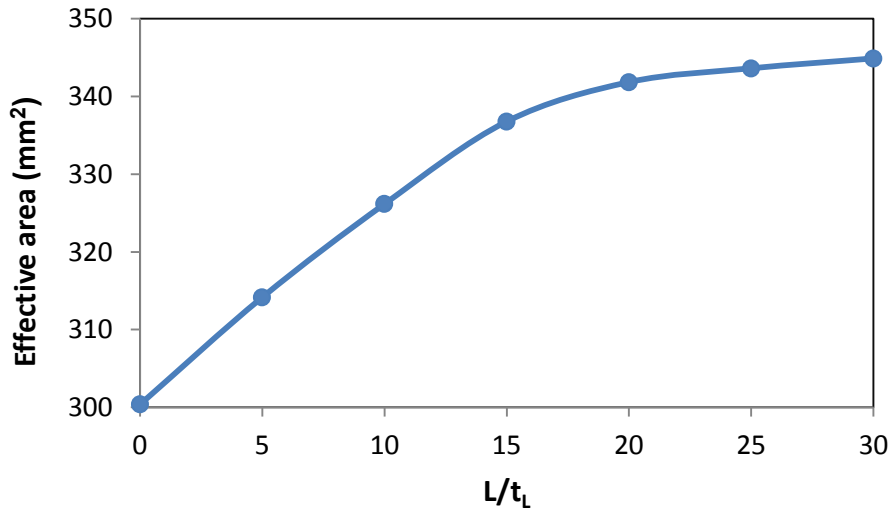
إضافة شفة مزدوجة بطول L مساوٍ لطول الشفة الأساسية تقريباً يؤدي إلى زيادة المقاومة بشكل فعال بمقدار 50% تقريباً من مقاومته بدون الشفة الإضافية.

أما طول الشفة الإضافية التي تعوض وجود الثقوب في المقطع فهو 5mm فيكون لدينا مقطع مثقب يؤمن كسر الجسر الحراري من جهة بالإضافة إلى وجود المقاومة الإنشائية نفسها التي يمتلكها مقطع مصمت من جهة ثانية.

هذه النتائج تؤكدها الدراسة التحليلية باستخدام المساحة الفعالة ، حيث تم حساب هذه المساحة في الحالات

المدروسة بطريقة الكود البريطاني BS5950-5

يوضح الشكل (4-8) العلاقة بين نسبة طول الشفة المزدوجة L إلى السماكة على المحور الأفقي و المساحة الفعالة على المحور الشاقولي .



الشكل (4-7) تأثير نسبة طول الشفة المزدوجة إلى السماكة على المساحة الفعالة للمقطع



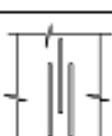
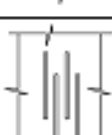
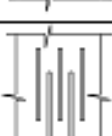
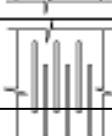
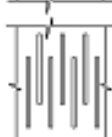
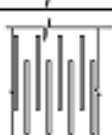
حيث نلاحظ من الشكل (4-7) أن المساحة الفعالة تزداد في البداية بشكل كبير حتى الوصول إلى قيمة نسبة L/t_f تساوي 15 أي طول الشفة المزدوجة 16.2 mm والتي توافق المساحة الفعالة

(338.2 mm²) و من ثم تقل قيمة هذه الزيادة، و هذا يفسر زيادة المقاومة بشكل كبير حتى الوصول إلى طول للشفة مقداره 16.2mm (زيادة 50%) تقريباً و من ثم تتناقص هذه الزيادة

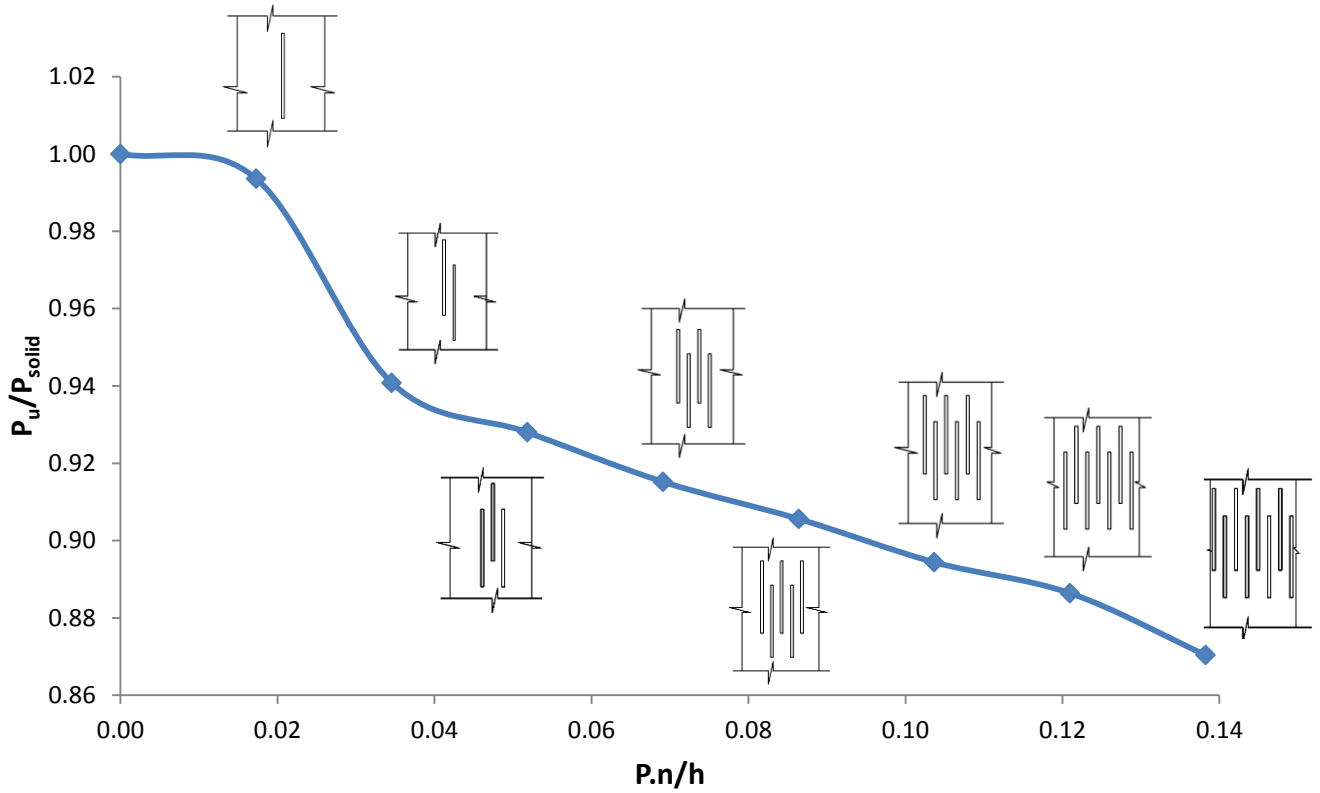
و من المقارنة بين نتائج إضافة شفة مزدوجة للمقطع و نتائج زيادة طول الشفة الأساسية نجد أن زيادة طول الشفة الأساسية لم يؤدي إلى زيادة كبيرة في الفعالية حيث و وصلت نسبة زيادة المقاومة إلى 14% تقريباً ، بينما أن استخدام شفة مزدوجة أدى إلى زيادة في فعالية المقطع وصلت إلى 60% ، و منه نجد أن إضافة شفة مزدوجة للمقطع (L) أهم من زيادة طول الشفة الأساسية (C).

4-4- تأثير تغيير نموذج التثقيب :

تم تغيير عدد صفوف التثقيب في المقطع و الذي تم التعبير عنه بالمسافة المثقبة w_p في مقطع يمر في كل الثقوب بالنسبة إلى العمق الكلي للمقطع العرضي $h=173.6$ mm ، و تمت الدراسة لمقطع بسماكة 1.2mm و تثبيت عرض الثقب الواحد $P= 3$ mm و بالتالي يكون $(w_p=3Xn)$ حيث n هو عدد الثقوب و ذلك مبين في الجدول (3-4) الذي يبين عدد الثقوب المختار حتى الوصول إلى الحد الأعظمي لتوضع الثقوب بين المدعمتين كما يبين الشكل (4-9) نسبة التخفيض في مقاومة النموذج منسوبة إلى مقاومة المقطع المصمت P_{Solid} على المحور الشاقولي مع نسبة $(P.n/h)$ على المحور الأفقي

Load (kN)	P.n/h	P.n (mm)	عدد الثقوب n	النموذج
72.21	0.00	0	0	solid
71.75	0.02	3	1	
67.94	0.03	6	2	
67.01	0.05	9	3	
66.09	0.07	12	4	
65.40	0.09	15	5	
64.59	0.10	18	6	
64.01	0.12	21	7	
62.85	0.14	24	8	

الجدول (3-4) مقاومة النماذج مع تغيير نسبة المسافة المثقبة إلى عمق المقطع للمقاطع بسماكة 1.2mm



الشكل (9-4) نسبة مقاومة المقطع المدروس إلى مقاومة المقطع المصمت النماذج مع تغيير نسبة المسافة المثقبة إلى عمق المقطع للمقاطع بسماكة 1.2mm.

و نلاحظ من الشكل (9-4) :

إضافة صف واحد من الثقوب إلى المقطع المصمت يؤدي إلى انخفاض طفيف في المقاومة بنسبة (0.64%) عن مقاومة المقطع المصمت لذا يمكن القول إن المقطع المصمت لا يتأثر بإضافة صف واحد من الثقوب في منتصف صفيحة الجسد

عند إضافة صفين من الثقوب كالنموذج المبين في الجدول (3-4) فإن تأثير الثقوب على المقطع يبدأ بالظهور حيث يحدث هبوط في المقاومة في هذه الحالة عن مقاومة المقطع بصف واحد من الثقوب بنسبة 5.6% .

إضافة صف واحد من الثقوب بعد هذه المرحلة أي مقطع بثلاث و أربعة و خمسة حتى ثمانية صفوف من الثقوب (أي ثقوب كامل المسافة بين المدعمتين) يؤدي إلى انخفاض المقاومة بنسبة 1.3% في كل مرة ، و اعتماداً على هذا يمكن اختيار المقطع المناسب الذي يؤمن متطلبات المقاومة و العزل الحراري

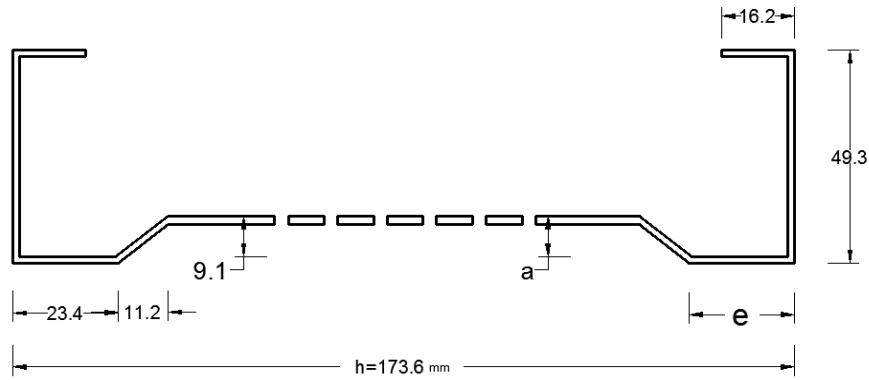
و تنخفض المقاومة للمقطع المثقب على كامل البعد بين المدعمتين بمقدار 13% عن مقاومة المقطع المصمت و يمكن التعويض عن هذا النقص بإضافة شفة مزدوجة بمقدار 10mm، و من الملاحظ أن هذا الانخفاض صغير نسبياً و بالتالي لا أهمية تذكر للثقوب

5-4- تأثير تغيير شكل المقطع العرضي و إضافة مدعّمات للمقطع :

تمت دراسة عدة أشكال من المقاطع العرضية و تغيير عدد المدعّمات (الأخاديد) التي يحتويها المقطع ، لمعرفة أثر هذه الإضافات و التغييرات على مقاومة المقطع المنقّب حيث أن شكل منطقة التنقيب كما في الشكل (17-2)

1-5-4- مقارنة بين مقطع بمدعّمتين ومقطع سيغما :

تم دراسة مقطع بشكل سيغما و المبين بالشكل (10-4) و تغيير الأبعاد a ، e للتدعيم المقطع العرضي و مقارنة مقاومة المقاطع الناتجة بسبب هذه التغييرات مع مقاومة المقطع الأساسي المدروس و المبين في الشكل (1-4)



الشكل (10-4) مقطع سيغما المدروس قبل التعديلات

و ذلك لبحث إمكانية إيجاد مقطع أمثلي يحقق متطلبات المقاومة و العزل الحراري معاً وفق ما يلي :

1-5-4-1- تغيير بعد التدعيم عن الجناح (تغيير القيمة e)

حيث تم دراسة ثلاث نماذج

النموذج الأول $e=23.4\text{mm}$

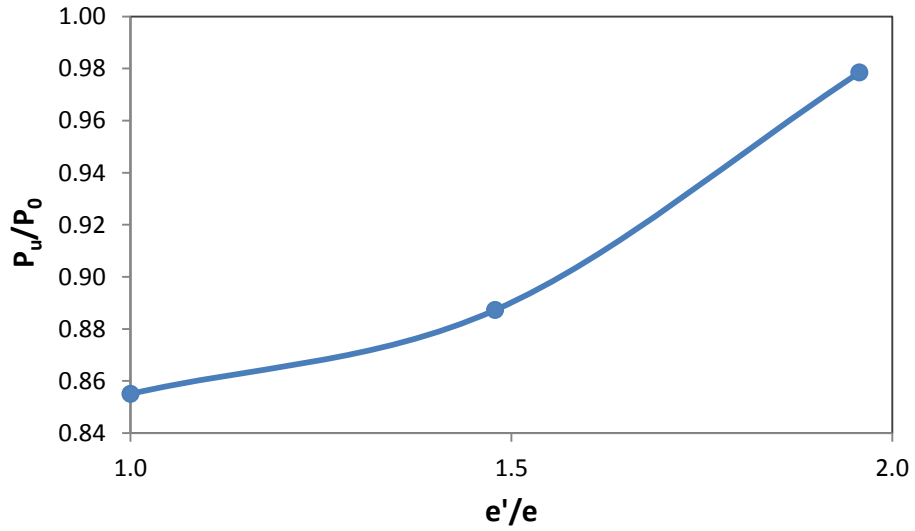
النموذج الثاني $e'=23.4+11.2=34.6\text{ mm}$

النموذج الثالث $e'=34.6+11.2=45.8\text{ mm}$

و الجدول (4-4) يبين أشكال المقاطع العرضية المدروسة و المقاومة الموافقة لكل منها كما يظهر الشكل (11-4) تغيير المقاومة مع تغيير شكل طول العنصر (e) .

Load (kN)	النموذج
55.23	
57.31	
63.20	

الجدول (4-4) المقاطع المدروسة و المقاومة الموافقة لكل منها



الشكل (11-4) تغير المقاومة بتغيير طول العنصر (e)

حيث e' : الطول الجديد للعنصر (e) مع ثبات العمق الكلي للعمود
و نلاحظ من الجدول (4-4) و من الشكل (11-4):

المقاومة تزداد بزيادة الطول e المبين في الشكل (11-4)

مقاومة النموذج الأول أقل من مقاومة مقطع الدراسة الأساسي (64.59 kN)

مقاومة النموذج الثاني تزداد بزيادة الطول e و لكن تبقى أقل من مقاومة مقطع الدراسة المعتمد ، مقاومة النموذج الثالث تزداد بشكل ملحوظ عن مقاومة النموذج الثاني و تصبح مساوية تقريباً إلى مقاومة مقطع الدراسة و سبب هذه الزيادة في المقاومة بين النماذج الثلاث مع زيادة المسافة (e) هو زيادة المساحة الفعالة في العنصر الوسطي للجسد بين الأخاديد

4-5-1-2- تغيير ارتفاع التدعيم (تغيير القيمة a) :

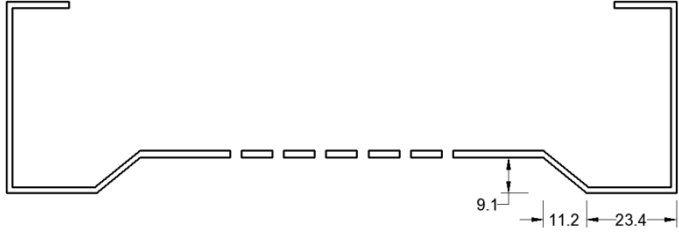
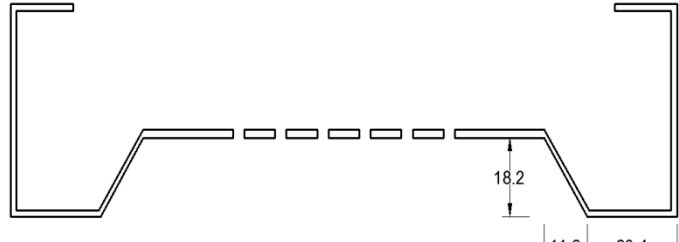
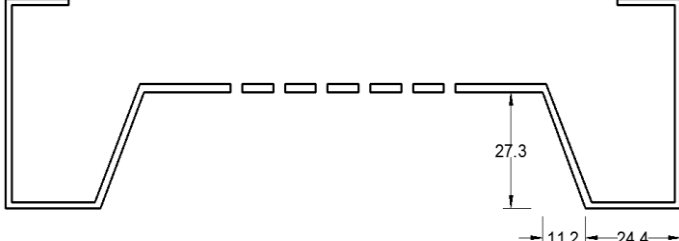
تم دراسة ثلاث نماذج :

النموذج الاول: $a=9.1$ mm

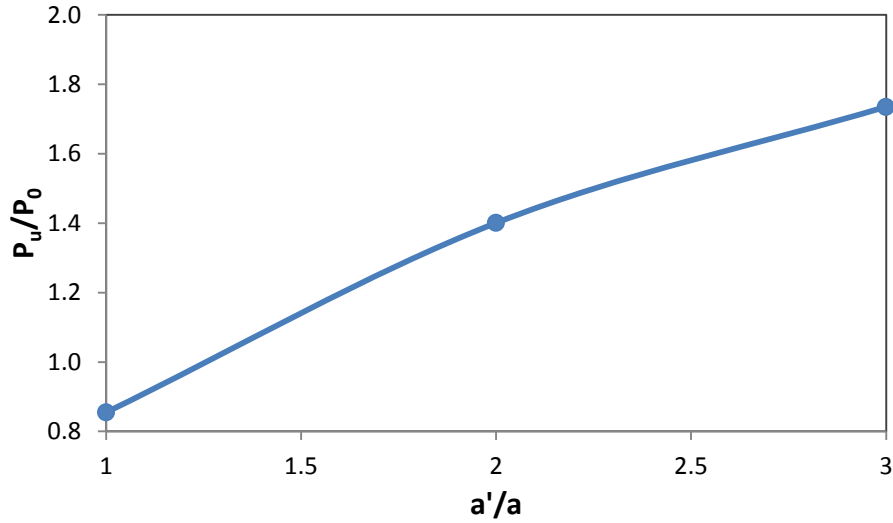
النموذج الثاني $a'=2 \times 9.1=18.2$ mm

النموذج الثالث : $a'=3 \times 9.1=27.3$ mm

و الجدول (5-4) يبين أشكال المقاطع العرضية المدروسة و المقاومة الموافقة لكل منها كما يظهر الشكل (12-4) اثر تغيير ارتفاع التدعيم على المقاومة

Load (kN)	النموذج
55.23	
90.47	
112.07	

الجدول (5-4) المقاطع المدروسة و المقاومة الموافقة لكل منها



الشكل (12-4) تأثير تغيير ارتفاع التدعيم (a) على المقاومة

حيث \bar{a} الارتفاع الجديد للتدعيم



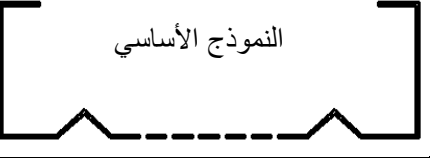

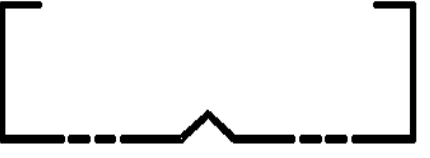

و نلاحظ من الجدول (5-4) و من الشكل (12-4) :

إن المقاومة لمقطع سيغما تزداد بزيادة ارتفاع التدعيم (a) بسبب زيادة مساحة المقطع العرضي. زيادة ارتفاع التدعيم بمقدار الضعف يؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة (64%) عن النموذج الأول و بنسبة (40%) عن مقطع الدراسة الأساسي.

زيادة ارتفاع التدعيم بمقدار ثلاث أضعاف كالمبين في الجدول (5-4) يؤدي إلى مضاعفة المقاومة التي يبديها النموذج الأول ، كما أن هذه الزيادة في ارتفاع الجزء الوسطي من مقطع الـ سيغما تؤدي إلى زيادة مقاومة مقطع الدراسة بنسبة (73%) أي أنه من الأفضل زيادة ارتفاع منطقة التدعيم لزيادة المقاومة مقارنة مع زيادة طول منطقة التدعيم يمكن القول بأن هذا المقطع من أفضل المقاطع التي تمت دراستها بسبب البساطة في الشكل و عدم تعقيد المقطع العرضي و المقاومة العالية و تحقيق متطلبات كسر الجسر الحراري .

4-5-2- تغيير عدد المدعّمات في المقطع :

تمت دراسة عدة مقاطع عرضية مع تغيير عدد المدعّمات و موقعها (الجناح ، الجسد) مع الحفاظ على شكل و عدد الثقوب في الجسد و على أبعاد المقطع العرضي و سماكته و حساب المقاومة الناتجة عن كل منها و هذا ما يبيّنه الجدول (6-4):

P_u/P_0	Load (kN)	النموذج	P_u/P_0	Load (kN)	النموذج
1.03	66.78	2 	1.18	76.26	1 
1	64.59	4 النموذج الأساسي 	1.16	74.75	3 
0.88	56.61	6 	1.013	65.47	5 

الجدول (6-4) المقاطع المدروسة بعد تغيير عدد المدعمات في المقطع

و نلاحظ من الجدول (6-4) :

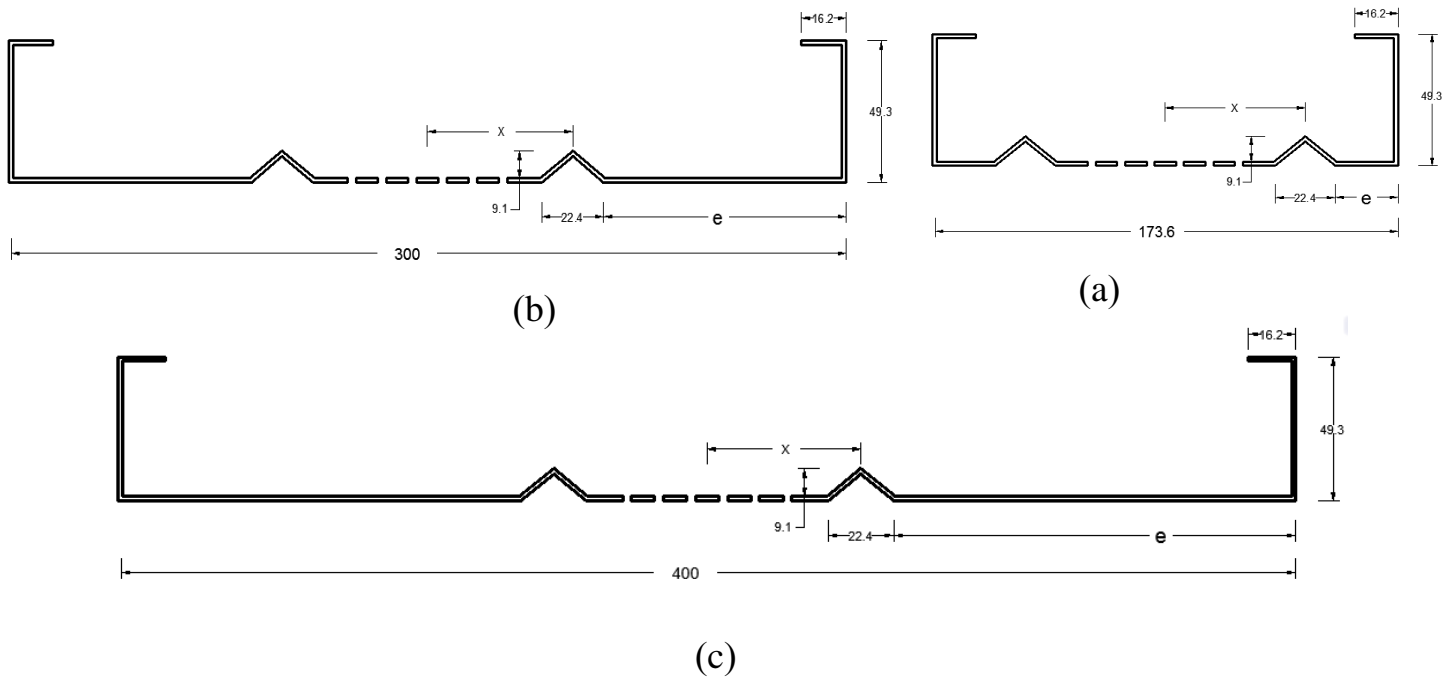
إن زيادة عدد المدعمات في المقطع الأساسي و المدعم بمدعمتين في الجسد و المبين في الشكل (1-4) (أو النموذج (4) و الذي سندعوه النموذج الأساسي) يؤدي إلى زيادة المقاومة. إضافة مدعمة في منتصف صفيحة الجسد إلى النموذج الأساسي كما يبين (النموذج 5) أو إضافة مدعمة في منتصف صفيحة الجسد إلى النموذج (3) ليصبح شكل المقطع كما في النموذج (1) يؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة (1.3%) تقريباً

أما إضافة مدعمتين إلى الأجنحة للمقطع الأساسي كما يبين النموذج (3) أو إضافة مدعمتين إلى الأجنحة للنموذج (5) ليصبح شكل المقطع كما في النموذج (1) فيؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة (16%) و ذلك بسبب تقوية الأجنحة بواسطة المدعمات حيث أن الأجنحة لها المساهمة الأكبر في المقاومة و من مقارنة النموذج (1) بالمقطع الأساسي نجد أن إضافة مدعمة في منتصف صفيحة الجسد و مدعمتين للأجنحة يؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة (18%) و هذا منطقي حسب النتائج السابقة (1.3%) ساهمت بها مدعمة الجسد الإضافية حسب النموذج (6) و 16% المساهمة الأكبر ساهمت بها مدعمات الأجنحة حسب النموذج (2).

من مقارنة النموذج (3) مع النموذج (2) و من مقارنة النموذج (5) مع النموذج (6) نجد ان حذف مدعمتي الجسد من المقطع يؤدي إلى انخفاض المقاومة بنسبة 13% .
 نلاحظ أن وجود مدعمتين معاً في الجسد (النموذج 4) يجعل المدعمة تساهم بمقاومة أكبر حوالي 6.5% مقارنة مع (النموذج 2) أما وجود مدعمة واحدة في منتصف صفيحة الجسد في المقطع (النموذج 6) فيخفض مقاومة المدعمة المفردة لتكون (1.3%) كما تبين في المناقشة السابقة و ذلك بسبب تغير سلوك المقطع ككل و بسبب تأثير بعد المدعمة عن الألياف الطرفية للمقطع الأجنحة و المدعمة الطرفية (الشفة) كما نلاحظ أن هذه الزيادات طفيفة و ليس لها أثر يذكر.

4-5-3- تأثير بعد المدعمة عن الأجنحة :

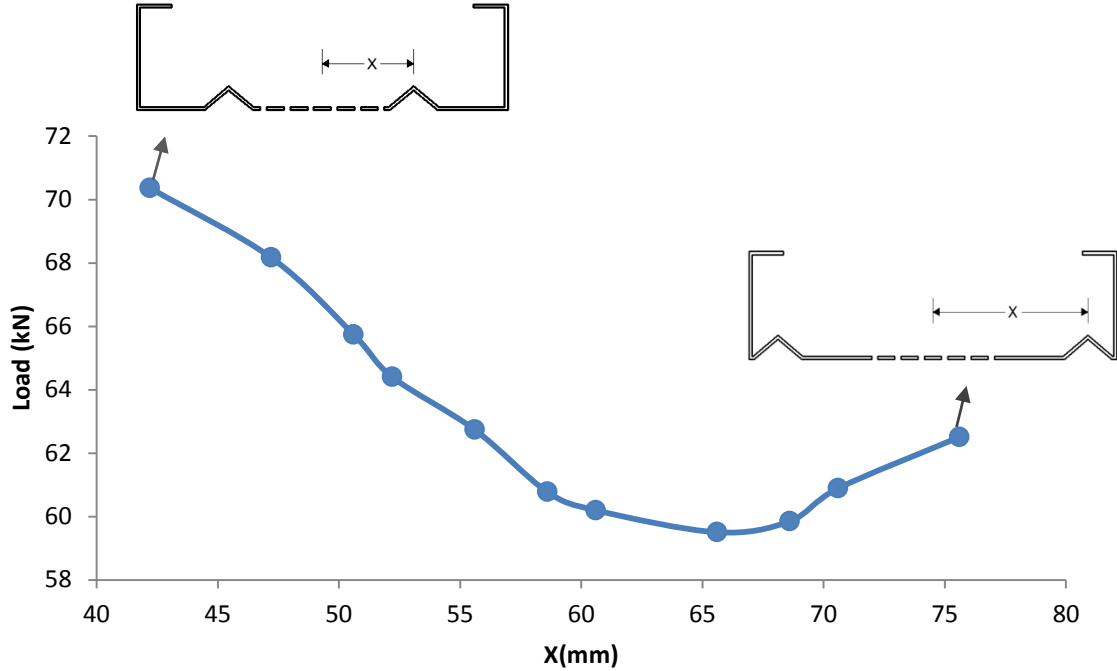
تم دراسة عدد من المقاطع بتغيير عمق المقطع $h=173.6\text{mm}$ و هو مقطع الدراسة الأساسي المبين في الشكل (a-13-4) و بارتفاع $h=300\text{mm}$ و المبين في الشكل (b-12-4) و بارتفاع $h=400\text{mm}$ و المبين في الشكل (c-13-4) و بارتفاع $h=500$ و في كل المقاطع تم تغيير البعد e وهو بعد طرف المدعمة عن الجناح و بحث تأثير هذا المتغير على المقاومة أو بشكل مكافئ تغيير بعد مركز المدعمة عن مركز المقطع و الذي تم ترميزه بالمتحول X



الشكل (13-4) المقطع العرضية المدروسة (a) بعمق 173.6 mm (b) بعمق 300mm (c) بعمق 400mm

من أجل مقطع بعمق $h=173.6$ mm :

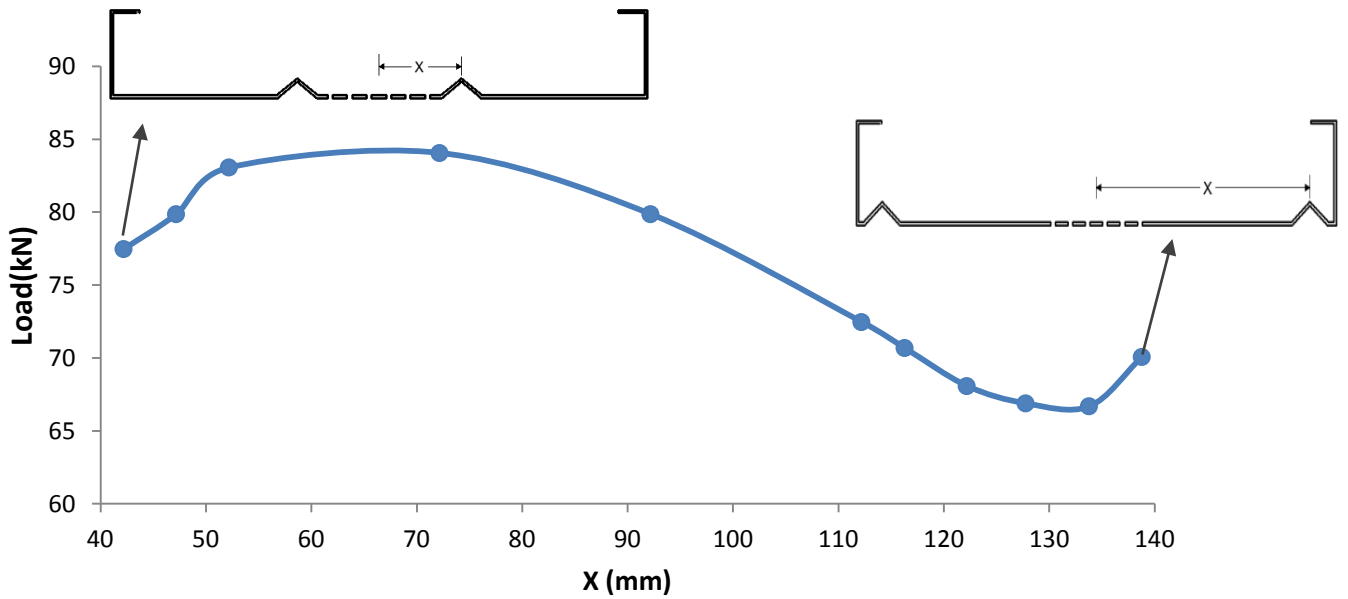
يبين الشكل (14-4) تأثير تغيير بعد المدعمة عن الجناح على المقاومة



الشكل (14-4) تأثير بعد مركز المدعمة عن مركز المقطع ($h=173.6$ mm)

- من أجل مقطع بعمق $h=300$ mm

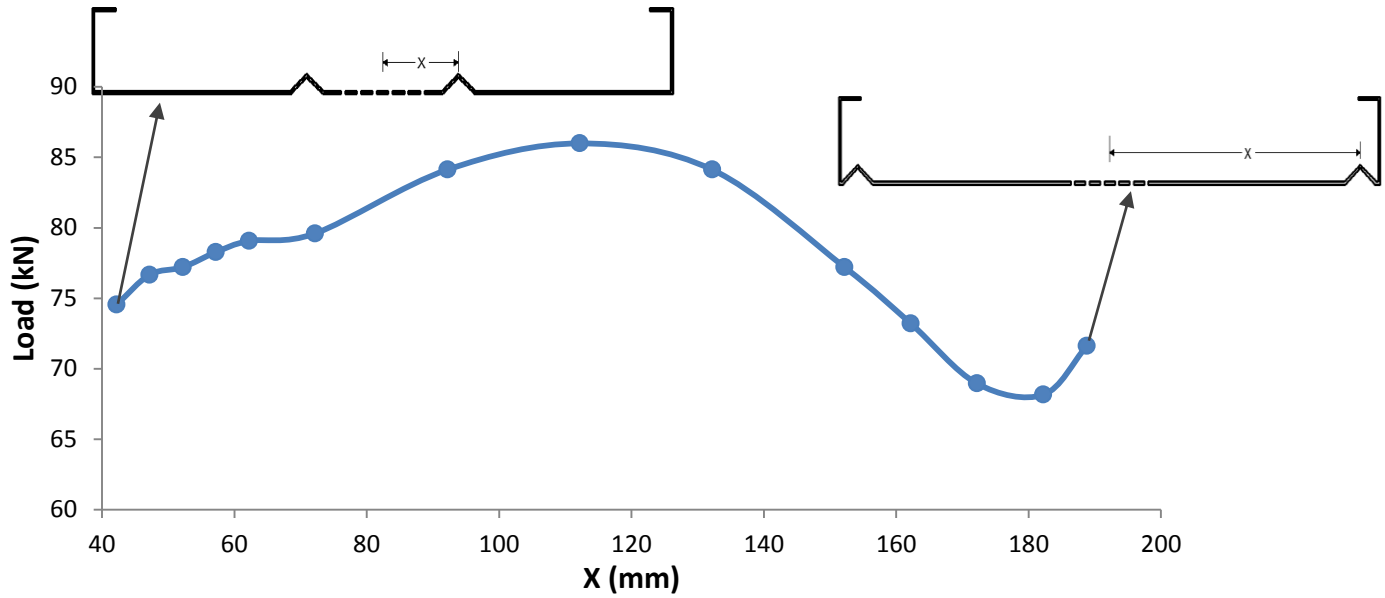
يبين الشكل (15-4) تأثير بعد المدعمة عن الجناح على المقاومة لمقطع بعمق 300mm



الشكل (15-4) تأثير بعد مركز المدعمة عن مركز المقطع ($h=300$ mm)

من أجل مقطع بعمق $h=400$ mm

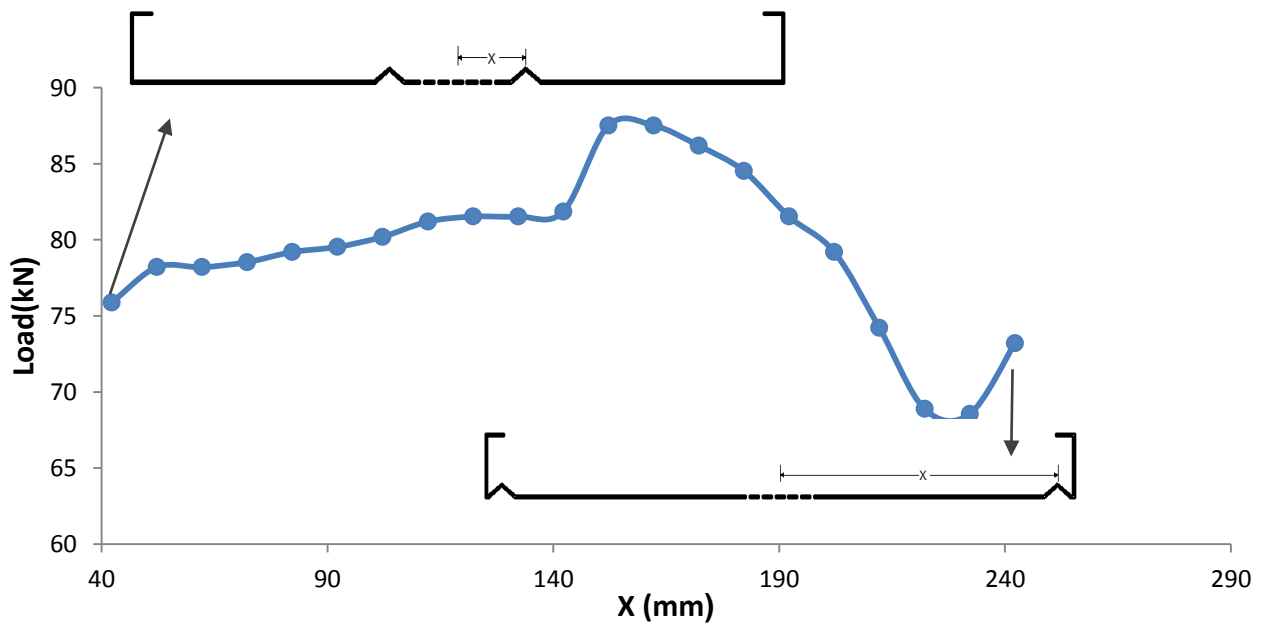
يبين الشكل (16-4) تأثير بعد المدعمة عن الجناح على المقاومة لمقطع بعمق 300mm



الشكل (16-4) تأثير بعد مركز المدعمة مركز المقطع ($h=400$ mm)

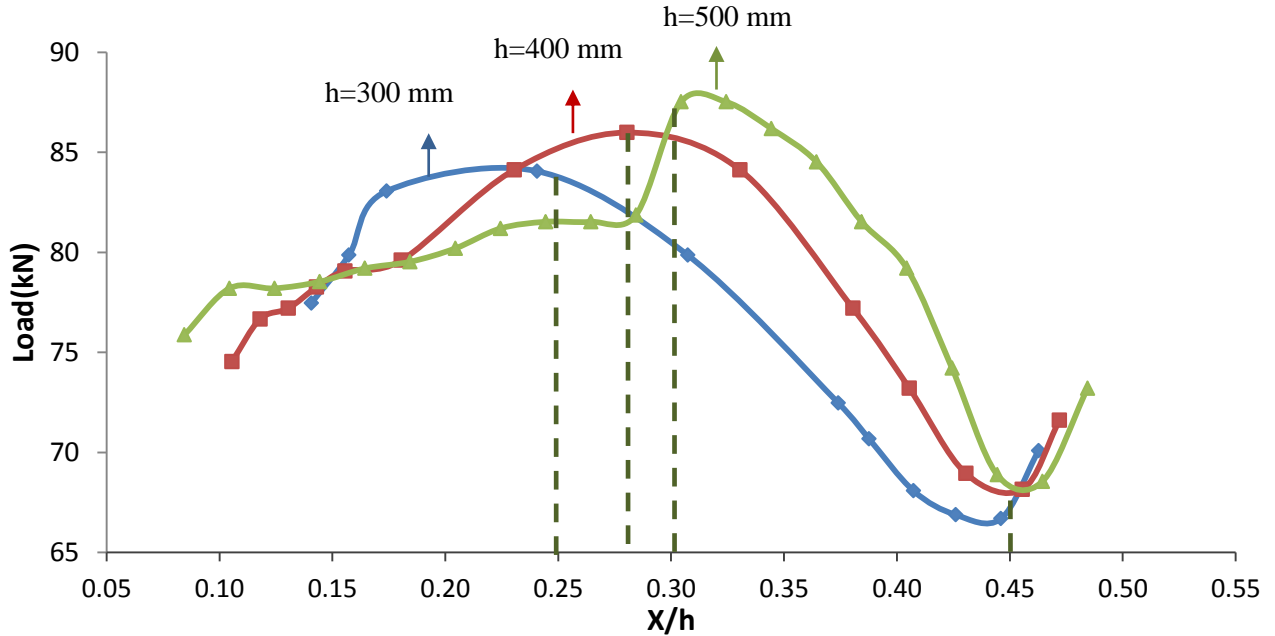
و من أجل مقطع بعمق $h=500$ mm

يبين الشكل (17-4) تأثير بعد المدعمة عن الجناح على المقاومة لمقطع بعمق 500mm



الشكل (17-4) تأثير بعد مركز المدعمة مركز المقطع ($h=500$ mm)

و يبين الشكل (18-4) تأثير النسبة (X/h) على المقاومة



الشكل (18-4) تأثير النسبة X/h على المقاومة

نلاحظ من الشكل (18-4) ، أنه عند وضع المدعمة على حدود المنطقة المثقبة ($x/h \cong 0.1$) تكون المساحة غير الفعالة للعنصر بين الأجنحة و المدعمة و الذي تدل عليه المسافة (e) في قيمتها الأعظمية و بالتالي نحصل على مقاومة صغيرة و يظهر هذا جلياً في المقاطع ذات العمق 300mm ، ، 400mm ، 500mm بينما لا يكون واضح في المقاطع الأصغر عمقاً 173.6mm و 200mm

و عند تغيير موقع المدعمة باتجاه الأجنحة تصغر المساحة غير الفعالة لهذا العنصر و بالتالي تزداد المقاومة حتى الوصول إلى مكان أمثلي لوجود المدعمة و الذي تكون فيه المساحة غير الفعالة للعنصر الذي بعده (e) و المساحة غير الفعالة للعنصر بين المدعمة و مركز العنصر في قيمتها الدنيا و بالتالي نحصل على القيمة العظمى ($x/h \cong 0.25 \rightarrow 0.3$) و عند تغيير موقع المدعمة باتجاه الأجنحة بعيداً عن مركز المقطع تنقص مقاومة المقطع بسبب دخول جزء كبير من الجسد كمساحة غير فعالة حتى يصل إلى الحد الأدنى ($x/h \cong 0.45$) له و بعد ذلك تصبح المدعمة مشاركة للأجنحة في مقاومة التحنيب و تعوض عن النقص في المساحة الفعالة للجسد فتزداد المقاومة .

و بالتالي يكون الموقع الأمثلي للمدعمة في الجسد و الذي يعطي المقاومة العظمى يحقق النسبة ($x/h \cong 0.25 \rightarrow 0.3$) تقريباً أما الموقع غير الأمثلي فهو يحقق النسبة ($x/h \cong 0.45$) على أن

تجرى دراسة مستقبلية لعدد أكبر من المدعمات و تغيير ابعاد المدعمة (ارتفاع ، عرض) و تغيير عمق العمود بشكل أكبر

الفصل الخامس

(Results and Recommendations for future studies)

1-5- النتائج :

تم في هذا البحث دراسة سلوك الأعمدة الفولاذية المثقبة المشكّلة على البارد بمقطع C و جسد مثقّب وباستخدام التحليل اللاخطي تحت تأثير حمولات الضغط .

تم في هذه الدراسة استخدام التحليل العددي باستخدام نظرية العناصر المحدودة (Finite Element Method) و الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة و وجود خطأ صنع هندسي Geometrically and Materially Non_Linear Analysis with imperfection included (GMNIA) تم في هذا البحث التوصل إلى قدرة التحمل الحدية للعينة المدروسة و التي جاءت مطابقة للدراسة المرجعية كما تمت المقارنة مع الدراسة التحليلية التي أجراها (Kesti 2000) باستخدام NISI كانت النتائج متوافقة و تم في هذا البحث دراسة تأثير المتغيرات البارامترية على مقاومة المقطع (أثر شكل التنقيب ، تأثير إضافة شفة مزدوجة ، تغيير أبعاد عناصر المقطع ، تأثير عدد المدعّمات على مقاومة المقطع و تغيير شكل المقطع العرضي) و تم التوصل إلى النتائج التالية :

- إن إضافة شفة مزدوجة للمقطع بطول مساوٍ إلى طول الشفة الأساسية تقريباً يؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة 50% كما أنه يمكن تعويض نقص المقاومة الناتج عن التنقيب بإضافة شفة مزدوجة بطول 5mm.

- إن زيادة طول الشفة الأساسية في المقطع يؤدي إلى زيادة المقاومة حيث أن إضافة شفة إلى المقطع تزيد المقاومة بمقدار 19% مقارنة مع مقطع بدون شفة كما أن زيادة طول الشفة في المقطع المشفى بعد القيمة الأولية بمقدار 5mm يؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة 2.5% لكل زيادة 5mm.

- إن إضافة شفة مزدوجة للمقطع أدى إلى زيادة في فعالية المقطع وصلت إلى 60% أما زيادة طول الشفة الأساسية لم يؤدي إلى زيادة كبيرة في الفعالية حيث و صلت نسبة زيادة المقاومة إلى 14% تقريباً و منه نجد أن إضافة شفة مزدوجة للمقطع (L) أهم من زيادة طول الشفة الأساسية (C) حيث أن نسبة زيادة المقاومة كانت طفيفة عند زيادة طول الشفة الأساسية للمقطع .

- إضافة صف واحد من التثقيب لا يؤثر على المقاومة ، إلا أن تثقيب المقطع بصفين من التثقيب يؤدي إلى انخفاض المقاومة بنسبة 5.6% حيث يصبح التثقيب ذو تأثير بسيط على المقاومة و إضافة صف واحد من التثقيب بعد هذه المرحلة يؤدي إلى انخفاض المقاومة بنسبة 1.3% وسطياً و بالتالي ليس للتثقيب أثر كبير على المقاومة .

- بينت المقارنة بين مقطع سيغما و مقطع بمدعمات بشكل حرف v أن مقاومة المقطع بمدعمات أكبر بقليل من مقاومة مقطع سيغما في حال تساوى بعد التدعيم عن الجناح و ارتفاع التدعيم في المقطعين ، أما مقطع سيغما بارتفاع منطقة وسط الجسد بمقدار 3a فهو أكثر كفاءة و يؤدي إلى زيادة المقاومة بنسبة 73% تقريباً .

- إن زيادة عدد المدعمات في المقطع تؤدي إلى زيادة المقاومة و إضافة مدعمات للأجنحة أكثر كفاءة لزيادة المقاومة من إضافة التدعيم للجسد و ذلك لأن الأجنحة هي العناصر الأكثر مقاومة للحمولات في المقطع .

- يمكن زيادة مقاومة الأعمدة بتغيير موقع الأخدود على طول عمق المقطع للوصول إلى القيمة العظمى للمقاومة عند النسبة $(x/h \cong 0.25 \rightarrow 0.3)$ تقريباً و التي تمثل نسبة بعد مركز المدعمة عن مركز المقطع إلى عمق المقطع و هو الموقع المثالي لوجود المدعمة في الجسد أما الموقع غير الأمثل فهو $(x/h \cong 0.45)$

2-5- التوصيات لأعمال المستقبلية :

- دراسة تأثير طول العمود و تغيير سوء الصنع و أثر التقييد الجانبي على المقاومة .
- تغيير شروط الاستناد و تأثيرها على مقاومة العنصر (نهايات غير موثوقة قابلة للدوران)
- دراسة الجوائز المثقبة مع وجود مدعمات و المعرضة لعزم انعطاف و ليس لقوة محورية

Abstract:

Cold formed steel sections are increasingly used in residential, industrial and commercial buildings in many countries as loadbearing members in buildings . Since steel has a high thermal conductivity, then using solid steel studs in walls can cause high energy loss and condensation in buildings. By slotting (perforating) the web of the steel studs, the problem of thermal bridging causing heat loss can be significantly reduced but perforating the section affects the structural properties of the elements .

This research aims to study the channel cold formed steel studs behaviour with perforated web under compression . In this study ,the numerical analysis using finite element method was used . Nonlinear analysis which has taken into account the nonlinearity of the material and geometrical imperfection (GMNIA) by using (ABAQUS) software .In this study the parametrical variables was studied (effect of perforation shape, the effect of adding a double lip, changing the dimensions of the section elements, the effect of stiffeners number on section resistance .

This research shows that perforation affects the resistance section and adding stiffeners (grooves) or adding a double lip significantly increases the section resistance . In addition , it is possible to increase the section resistance by changing the dimensions of the cross section.

6- المراجع المستخدمة (References):

- [1] . AS/NZS 4600. (1996). Australian / New Zealand Standard for Cold-formed Steel Structures, Standards Australia, Sydney
- [2] . Batikha M (2008) . “ Strengthening of thin metallic cylindrical shells using fiber reinforced polymers ” . *PhD thesis, Edinburgh university , UK.*
- [3] . British Standard 5950-5 (1998), “Structural use of steelwork in building - Part 5: Code of practice for design of cold formed thin gauge sections”, *British Standard Institution, London, U.K*
- [4]. British Standard (2000), “Continuously hot-dip zinc coated structural steels strip and sheet. Technical delivery conditions”, *BS EN 10147:2000, British Standard Institution, London,U.K.*
- [5] . British Standard 5950-1 (2000), “Structural use of steelwork in building - Part 1: Code of practice for design of rolled and welded sections”, *British Standard Institution, London, U.K.*
- [6] . Davies, J.M., Jiang, C. and Ungureanu, V. (1998). Buckling Mode Interaction in Cold-Formed Steel Columns and Beams. Proceedings of the 14th International Specialty Conference on Cold-formed Steel Design and Construction, St.Louis, Missouri, U.S.A, pp. 53-67.
- [6] . Elhadj, N. (2006), “Development of Cost-Effective, Energy Efficient Steel Framing: Structural Performance of Slit-Web Steel Wall Studs”, *Research Report RP02-8, prepared for AISI, Steel Framing Alliance, & the U.S. Department of Energy by the NAHB Research Centre, Inc. U.S.A.*

- [7] . Eurocode 3 (2006), “Design of steel structures, Part 1.3: General rules Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting”, *ENV 1993-1-3:2006*
- [8] . Feng , M. (2004), “Numerical and experimental studies of cold-formed thin-walled steel studs in fire”, *PhD thesis, The University of Manchester, U.K.*
- [9] . H. H. Robertson Company:2013 “Folded Plate Design,” Pittsburgh, PA.
- [10] . HKS (2011). “ABAQUS Standard User’s Manual.” *volumes I-II-III Version 6.11, Hibbit, Karlsson & Sorenson Inc.*
- [11] . Kankanamge, N.(2010), "Structural Behaviour and Design of Cold-formed Steel Beams at Elevated Temperature", *School of Urban Developments , Queensland University of Technology.*
- [12] .Kesti, J. (2000), “Local and distortional buckling of perforated steel wall studs”, *PhD Thesis, Helsinki University of Technology, Finland.*
- [13] . Kwon, Y. B. and Hancock,G. J. (1991). Tests of Cold-Formed Channels with Local and Distortional Buckling, *Journal of Structural Engineering, ASCE, 117:7*, 1786-1803.
- [14] . Meo, L., Souza, K., Vella, J., and Rice, J. (1998), “Investigation of the thermal performance of steel and wood framed homes using infrared thermography” ,*Sustainable Steel Conference, Orlando, Florida, U.S.A.*
- [15] . Meon, C. (2009), “Direct Strength Design Of Cold Formed Steel Members With Perforations”, *American Iron and Steel Institute, U.S.A.*

- [15] . Lau, S.C.W. and Hancock, G.J. (1987). Distortional Buckling Formulas for Channel Columns ,*Journal of Structural Engineering*, ASCE, **113:5**, 1063-1078.
- [16] . Lawson, R. M., Chung, K. F. and Popo-ola, S. O. (2002), 'Building Design Using Cold Formed Structural design to BS 5950-5:1998', *SCI-P276*, *The Steel Construction Institute*.
- [17] .Salhab,B. (2007), “Behaviour of cold-formed thin-walled steel studs with perforated web at ambient temperature and in fire ”, *PhD Thesis, Manchester University , UK*.
- [18] . Sarawit ,A .(2000) ," A Design Approach For Complex Stiffeners" , *School Of Civil And Environmental Engineering , Cornell University , Hollister Hall, Ithaca Ny 14853-3501*
- [19] . Schafer, B. and Peköz, T. (1999b). "Local and Distortional Buckling of Cold-Formed Steel Members with Edge-Stiffened Flanges, Light-Weight Steel and Aluminium Structures- Proceeding of the 4th International Conference on Steel and Aluminium Structures" ,ICSAS'99, Espoo, Finland, pp. 89-97.
- [20] .Silvester N.and Cambtim D.(2005). “ Numerical Analysis of Cold Formed Steel members “ ,*Civil Engineering Department ICIST/IST , Technical University of Lisbon , AV.Rovisco Pais ,1049-001Lisbon , Portugal*.
- [21]. Sivakumaran, K. S. (1987), “Load capacity of uniformly compressed cold-formed steel section with punched web”, *Canadian Journal of Civil Engineering*,vol. 14, pp. 550-558.

[22]. Sivakumaran, K. S. and Abdel-Rahman, A. (1998), "A finite element analysis model for the behaviour of cold-formed steel members", *Thin-Walled Structures*, Vol. 31, Issue 4, pp. 305-324

[23] . Timoshenko, S.P. and Gere, J.M. (1961). Theory of Elastic Stability, 2nd ed., McGraw-Hill, New York.

[24]. Wang , C. Gorondin ,G and Elwi A (2006) . "Internal Buckling Failure of Stiffened Steel Plates".*Structural Engineer Report No.264* , University of Alberta.

[25] .Yan, J. and Young, B. (2002), "Tests of cold-formed steel channels with complex stiffeners", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 128, No. 6, pp. 737-745.

[26] . Yu, W. W. (2000), "Cold-Formed Steel Design", 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.

[27] . السمارة (2003) ، " تصميم المنشآت الفولاذية " ، الطبعة الثانية ، 2003، دمشق ، سوريا

Damascus University
Faculty of civil Engineering
Post graduate Studies
Department of Structural Engineering

Compressive Behaviour Of Cold-Formed Steel Channel Studs With Perforated Web

Thesis Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science in structural Engineering

By

Ghalia Al-khiami

Supervisor

Dr Bashar Salhab

Damascus 2014