

دراسة إقتصادية للمقاطع المعدنية المشكّلة على البارد ذات الأجنحة المستطيلة المفرغة بالمقارنة مع المقاطع المعدنية المدرفلة

**عبد القادر تومة

*عبد الحكيم شيخو

(الإيداع 31 كانون الثاني 2018، القبول 29 آيار 2018)

الملخص:

انتشر في الآونة الأخيرة استخدام المقاطع الفولاذية المشكّلة على البارد في أعمال المنشآت الفولاذية بشكل كبير لما لهذه المقاطع من نسب عالية للمقاومة إلى الوزن. حيث تتميز المقاطع المعدنية المشكّلة على البارد عن المقاطع المعدنية المدرفلة بزيادة تحملها نسبة إلى وزنها. لذلك يمكن تخفيض الوزن الكلي للمنشأ وبالتالي تخفيض الكلفة بالإضافة إلى إمكانية تصنيعها وفق الأشكال والحجوم التي يتطلبها كل منشأ. [1]

نقدم في هذا البحث لمحة عن المزايا الاقتصادية للمقاطع المعدنية المشكّلة على البارد من خلال إجراء مقارنة بين جائز ذو مقطع معدني مشكّل على البارد مفرغ الأجنحة (RHFB) Rectangular Hollow Flange Beam مع جائز ذو مقطع معدني مدرفل بشكل حرف (I) ولهما نفس الوزن ، وذلك من خلال حساب العزم المقاوم الناتج عن تطبيق حمولة واحدة متصاعدة على كلا الجائزين باستخدام برنامج النمذجة العددية ANSYS .

الكلمات المفتاحية: الجائز الفولاذي المفرغ الأجنحة – العزم المقاوم – السهم – النمذجة العددية.

*رئيس قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

**طالب دراسات عليا (ماجستير)

Economic Study of Cold-Formed Steel Sections With Rectangular Hollow Flanges In Comparison With Hot- Rolled Steel Sections

*Abdulahakim Shikho

**Abdulkader Toma

(Received 31 January 2018, Accepted 29 May 2018)

Abstract:

Recently, the use of cold-formed steel sections in the work of steel structures has been widespread because these sections have high strength to weight ratio. Cold- formed steel sections are characterized by Hot-rolled steel sections with an increase in strength to their weight. Therefore, the total weight of the structures can be reduced, and thus reduces cost. Cold-formed steel sections can also be easily manufactured according to the shapes and sizes structural requirement. [1]

This search aim to know the economic advantages of cold-formed steel section by conducting comparison between cold-formed rectangular hollow flang beam steel section (RHFB) with the commonly used hot rolled beam steel section. Both sections are having same weight of steel.

ANSYS 16.1, has been used to calculate section moment capacity for both beams and comparison has been made.

Key words: hollow flang Steel beam – section moment capacity – deflection – numerical modeling.

*Dept of Structural, Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo

** Postgraduate student (M.Sc.)

1- مقدمة:

أصبحت المقاطع المعدنية المشكلة على البارد (Cold Formed Steel Section) من العناصر الرئيسية في أعمال الإنشاءات المعدنية بمختلف أشكالها حيث أنه لا يمكن الإعتماد على المقاطع المدرفلة Hot-Rolled لعدة أسباب من أهمها :

زيادة الكلفة عن المقاطع المشكلة على البارد وخاصة في الفتحات الكبيرة ولا يمكن توفرها بسهولة بالأبعاد المطلوبة فضلاً عن الشروط المعمارية التي تفرض أحياناً أبعاداً محددة للمقاطع المعدنية. تتميز المقاطع المشكلة على البارد بخفة وزنها والنسبة العالية للمقاومة الى الوزن وسهولة تصنيعها وتركيبها ونقلها [2]، لذلك أولت الأبحاث القديمة منها والحديثة أهمية لدراستها وطرق تشكيلها وحساباتها الإنشائية وطرق حمايتها من التآكل والصدأ.

في عام 1950 بدأت إنكلترا والولايات المتحدة باستخدام المقاطع الفولاذية المشكلة على البارد في إنشاء المباني. ومنذ عام 1946 تم في الولايات المتحدة ادخال طرق تصميم المقاطع الفولاذية المشكلة على البارد في الكود الأمريكي (AISI) والذي اعتمد بشكل كبير على أبحاث تمت في جامعة كورنيل من قبل البروفسور جورج وينتر.

تصنع العناصر الفولاذية الإنشائية المشكلة على البارد من صفائح رقيقة بسماكات تتراوح من 0.5mm حتى 6 mm.

سلوك المقاطع المعدنية المشكلة على البارد:

تتعرض الصفائح المنفردة الرقيقة ذات النحافة الكبيرة للتحنيب الموضعي باجهادات منخفضة نسبياً عن نقطة الخضوع وذلك عندما تتعرض هذه الصفائح للضغط، هذه الصفائح المضغوطة لا تنهار عندما تصل إلى إجهاد التحنيب وتستمر غالباً في تحمل حمولات إضافية بسبب إعادة توزيع الإجهادات Redistribution Stresses .

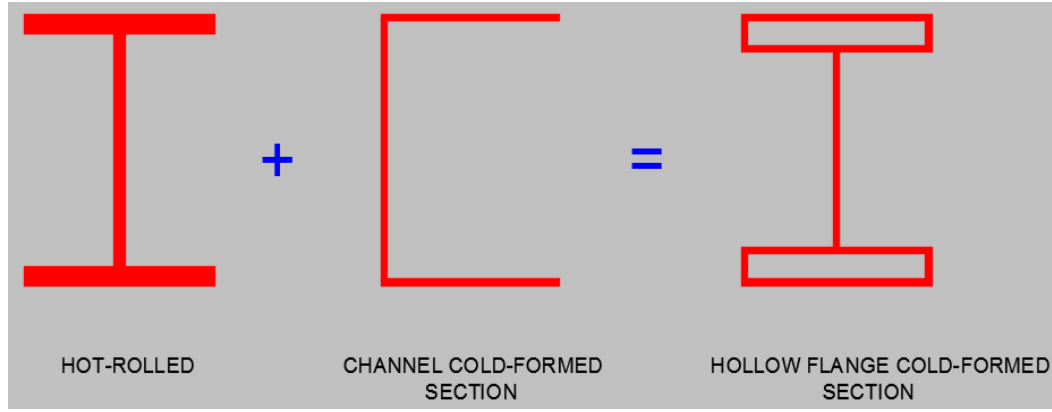
أما عندما تتصل هذه الصفيحة بعناصر أخرى عند حوافها فهذا يؤدي إلى زيادة صلابته على التحنيب مما يؤدي إلى تحملها قوة أكبر تدعى المقاومة اللاحقة للتحنيب Post Buckling Strength مما يسمح بالحصول على مقاطع إقتصادية.

يتم تصنيع الكثير من أشكال المقاطع الفولاذية المشكلة على البارد بشكل متناظر بالنسبة لمحور واحد من المقطع وبالتالي قد يقع مركز القص فيها بعيداً عن مركز الثقل مما يؤدي إلى حدوث لا مركزية فتالية يجب أن تؤخذ بعين الإعتبار في الجوائز المشكلة من صفائح ذات سماكات صغيرة. إن صلابة القتل للمقاطع المشكلة من صفائح مفتوحة هي من رتبة (t^3) لذلك فإن المقاطع الفولاذية المشكلة على البارد هي نسبياً ضعيفة ضد القتل.

يتم تصنيع الجيزان الفولاذية المشكلة على البارد بقص الصفائح الفولاذية ذات السماكة المطلوبة ثم تتم عملية الثني وذلك باستخدام آلات ميكانيكية حديثة.

إن سبب اختيار المقاطع المعدنية المشكلة على البارد بأجنحة مفرغة (RHFB) هو لدمج خاصية الاستقرار التي يتميز بها المقطع المدرفل بشكل حرف (I) مع خاصية الوزن الخفيف التي تتميز بها المقاطع المعدنية المشكلة على البارد، وبالتالي نحصل على مقطع مستقر نوعاً ما وسهل التصنيع وخفيف الوزن كما هو مبين بالشكل (1).

يتكون الجائز المدروس في هذا البحث من ثلاث صفائح هي صفيحة الجناح العلوي وصفيحة الجناح السفلي وصفيحة الجسد حيث يتم تشكيل صفيحتي الأجنحة عبر آلات الثني ويتم الإتصال بين صفيحتي الجناحين مع صفيحة الجسد عبر براغي ذات قطر مناسب.



الشكل رقم (1): جمع خواص المقاطع المدرفلة والمشكلة على البارد

سلوك المقاطع المعدنية المشكلة على البارد (RHFB) على التحنيب الموضعي:

تعاني العناصر المعدنية الرقيقة من مشاكل ناتجة عن تحنيب الصفائح المشكلة للمقطع والتي غالباً ما تكون مصنوعة من صفائح من الفولاذ العالي المقاومة وبالتالي فإن سلوكها الإنعطافي يعتمد على أبعادها وإجهاد خضوعها. يعتبر التحنيب الموضعي لصفائح العنصر المضغوط أحد أهم أشكال الإنهيار للمقطع (RHFB) والذي يعتمد على نحافة الصفائح المشكلة للمقطع.

إن من أهم الكودات تداولاً لتصميم العناصر الفولاذية المشكلة على البارد هو الكود الأسترالي (AS 4100) [3]. حيث يعتمد على إيجاد العرض الفعال (الذي يساهم في إدخال أثر التحنيب بتخفيض قيمة عرض الصفيحة) لكل صفيحة مشكلة للمقطع والذي يعطى بالعلاقة (1):

$$b_e = \left\{ \frac{\lambda e y}{\lambda e} \right\} b \quad (1) \quad \text{العرض الفعال لكل صفيحة}$$

$$\lambda e = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{250}} \quad (2) \quad \text{معامل النحافة للصفيحة}$$

حيث أن:

$\lambda e y$: هو نحافة الصفيحة التي تنهار بالخضوع دون حصول تحنيب موضعي ويمكن الحصول عليه من الكود (AS 4100) أخذين بعين الإعتبار شروط استنادها وإجهادها المتبقي.
b: هو عرض الصفيحة .

2- هدف البحث:

إن الهدف من هذا البحث هو معرفة الوفرة الاقتصادي الناتج عن استخدام الجوائز ذات المقاطع المشكلة على البارد مقارنة مع استخدام المقاطع المدرفلة، حيث سيتم المقارنة بين العزم التصميمي لمقطعين لهما نفس الوزن واستنتاج المقطع الاقتصادي.

المراجعة البحثية:

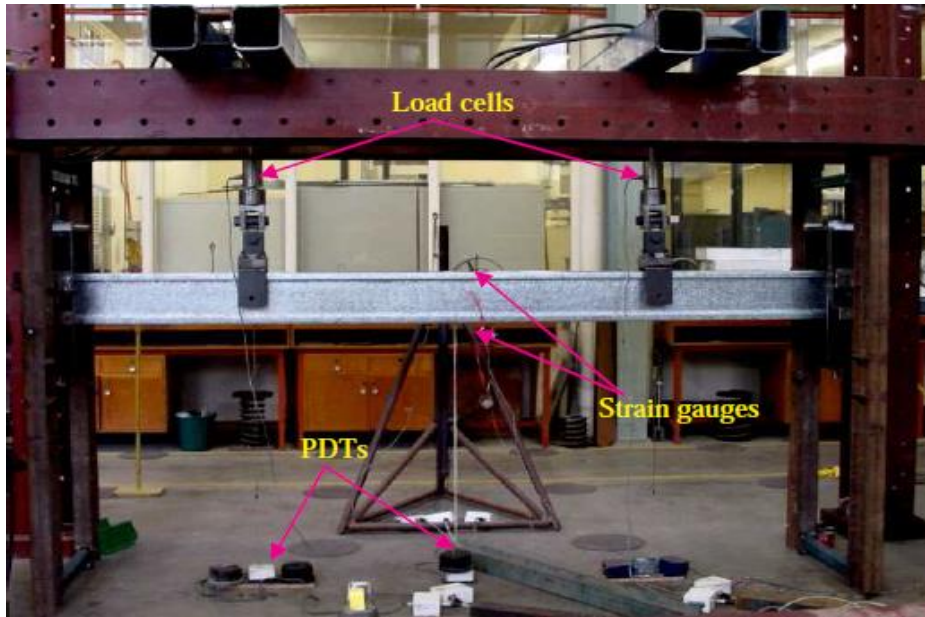
قام الباحث SOMADASA عام 2005 بحساب العزم المقاوم للمقطع المعدني المشكل على البارد (RHFB). وقد أجرى تجارب مخبرية على /22/ عينة وتمت مقارنة النتائج مع نتائج الحل باستخدام برامج النمذجة العددية ABAQUS. ومع الحل الحسابي باستخدام الكود الأسترالي AS 4100. يتألف الجائزة المستخدم من قبل الباحث Somadasa من صفيحتي الجناح التي تتشكل بواسطة الات الثني الحديثة وصفيحة الجسد حيث يتم ثني الصفائح إلى المستوى المطلوب ثم بواسطة روافع هيدروليكية وبمساعدة دعائم معدنية يتم ضغط وتثبيت

الجناح لإجباره على التوجه نحو الداخل، ثم يتم تجميع الجناحين مع صفيحة الجسد باستخدام براغي للتوصيل بين الصفائح وهذه البراغي من النوع: Drinning 10-16X16 hexagon head self (D=0.19 in)، وبتباعد 50mm.



الشكل رقم (2): تشكيل الجائز المشكل على البارد (RHFBS)

تم تطبيق الحمولات المركزة $p=60 \text{ kn}$ بشكل تدريجي على صفائح معدنية مثبتة في منتصف الجسد بواسطة مكابس هيدروليكية حتى الوصول إلى بداية الخضوع في الليف الخارجي المضغوط.



الشكل رقم (3): تطبيق الحمولات على الجائز المشكل على البارد (RHFBS)

وكانت النتائج على الشكل التالي:

الجدول رقم (1): قيم العزم المقاوم المرن في بالحل الحسابي والتحليلي والتجريبي للباحث Somadasa [4]

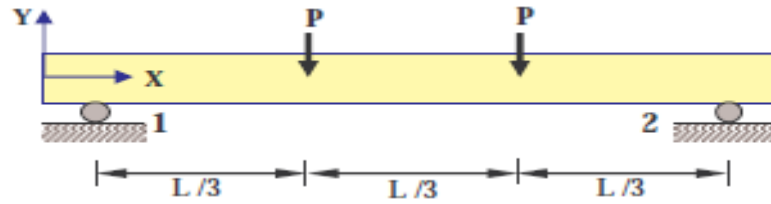
Section Moment Capacity (KN.m)		
Expt (التجريبي)	FEA (النمذجة العددية)	AS/4100 (الحل الحسابي)
11.83	11.7	11.32

نلاحظ من القيم السابقة أن نسبة الاختلاف بين الطرق الثلاث لا تتجاوز 5%.

3- مواد البحث وطرائقه:

سنقوم في هذا البحث بدراسة جائزين بفتحة واحدة ($L=1070$) mm الأول مشكل على البارد (RHFB) والثاني مقطعه مدرقل له شكل حرف (I) والجائزين معرضين لقوتين مركزتين متصاعدتين. لقد تم اختيار المقطعين بحيث يكون وزن المتر الطولي للمقطعين متساوي وسيتم حساب ومقارنة العزم المقاوم للجائزين بواسطة برنامج النمذجة العددية ANSYS 16.1 وبالتالي يمكن معرفة الجائز الأمثل اقتصادياً.

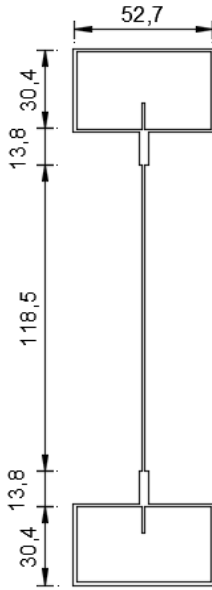
تم العمل على دراسة جائز فولاذي مشكل على البارد (RHFB) ذو استناد بسيط له مقطع متناظر ويخضع إلى حملتين مركزتين مطبقتين على جسد الجائز في منتصف ارتفاعه، وفي ثلث وثلثي مجازه كما هو موضح في الشكل (4):



الشكل رقم (4): شكل الجائز المدروس أبعاداً وحمولات [4]

ثم يتم مقارنة النتائج مع نموذج تحليلي استخدم فيه الباحث SOMADASA برنامج النمذجة العددية Abaqus [4] للتأكد من دقة عمل النموذج العددي. مواصفات النموذج موضحة في الجدول (2):

الجدول رقم (2): المواصفات البعدية الجائز الفولاذي المدروس في المرجع [4]



1070	mm	الطول الكلي للجائز
206.9	mm	الارتفاع الكلي للجائز
52.7	mm	عرض الجناح
30.4	mm	ارتفاع الجناح
1.192	mm	سماكة الجناح
1.192	mm	سماكة الجسد
10	mm	امتداد صفيحة الجسد ضمن الجناح
13.8	mm	امتداد صفيحة الجناح بمحاذاة الجسد
118.5	mm	ارتفاع الجسد الحر

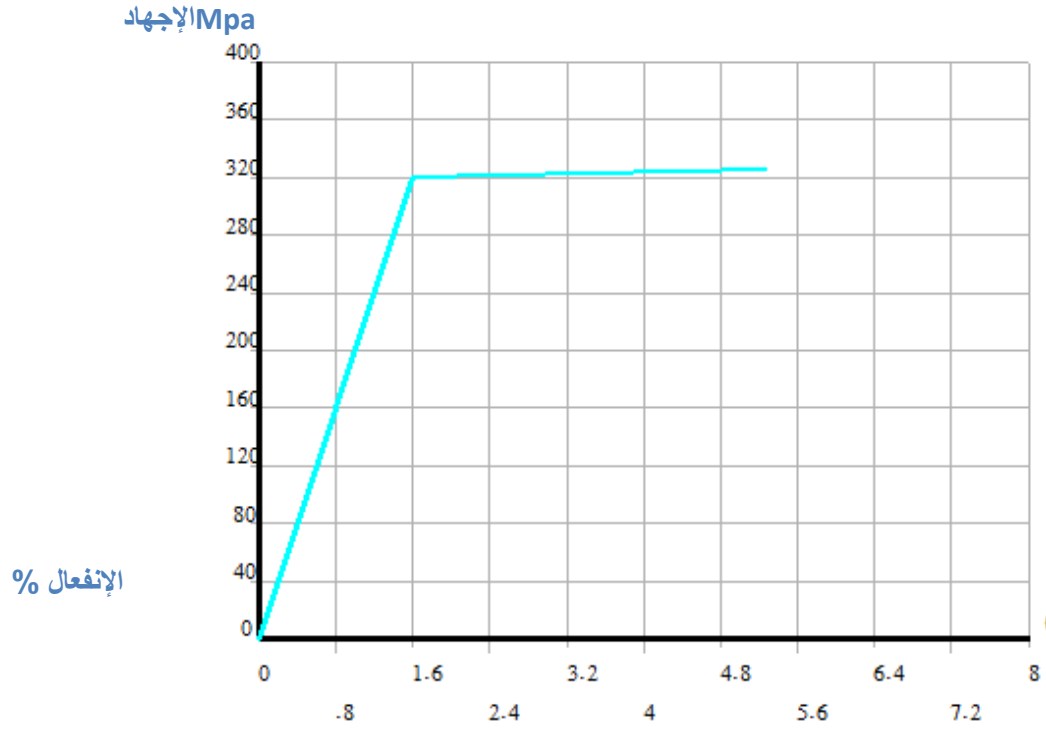
النمذجة (Modeling):

تم بناء النموذج للمقطع باستخدام برنامج (ANSYS16.1) باعتبار أن الجائز مؤلفاً من ثلاثة صفائح هي الجناح السفلي والجسد والجناح العلوي، ومن ثم تم تجميع هذه الصفائح مع بعضها باستخدام براغي من النوع: 10- hexagon Drinning (D=0.19 in 16X16 head self

حيث تمتلك كل عقدة من عقد العنصر ثلاث درجات حرية هي الإنتقالات (ux,uy,uz)، كما يسمح هذا بإدخال أثر المرونة واللدونة وقابليته للتعرض للإنتقالات والانفعالات الكبيرة بالإضافة إلى ميزات أخرى. تم استعمال العنصر (shell181) لنمذجة الصفائح وهذا العنصر هو عنصر حتمي (3D) كما تم استعمال العنصر (solid185) لنمذجة البراغي.

تعريف خواص المواد (Material properties):

تم إدخال معامل المرونة الخطي للفولاذ (Ex=200000Mpa) ومعامل بواسون (PRXY=0.3). وكثافة الفولاذ (density=7.86 e⁻⁵ N/mm³) وإجهاد التلدن للفولاذ (yield stress=320MPa).

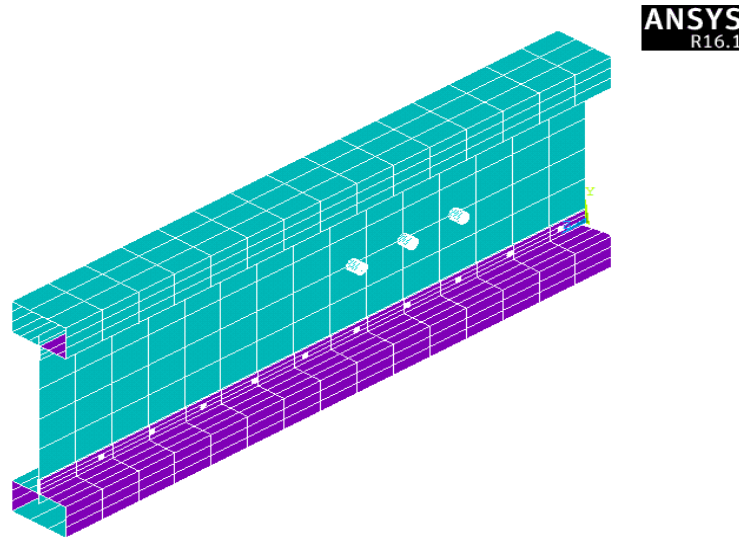


الشكل رقم (5): منحنى (الإجهاد _ الإنفعال) للفلوئيد

التقسيم إلى عناصر محدودة (Meshing):

تم تقسيم الجائز إلى عناصر منتهية (FE) باستخدام الأمر (mesh) حسب متطلبات البرنامج كما في الشكل (4). وتم اختيار القيمة التي أعطت نتائج قريبة لنتائج الباحث Somadasa [4].

1



الشكل رقم (6): جزء من الجائز بعد التقسيم (mesh)

تحديد شروط النهايات (Boundary Conditions):

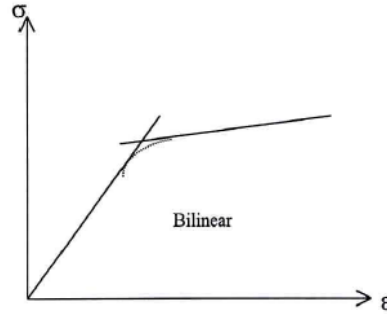
بالعودة إلى الشكل رقم (4) نرى أن إستناد الجائز عبارة عن مسند منزلق يمنع الإنتقال باتجاه y, x ويسمح بالإنتقال باتجاه z ($u_x = u_y = 0$)، وقد تم الإستفادة من التناظر من خلال استخدام الأمر Symmetry B.C. وذلك لنمذجة نصف الجائز.

التحميل (Loading):

تم تطبيق حمولة مركزة $P=60$ KN على براغي التحميل الثلاثة في ثلث المجاز وثلثيه وبشكل تدريجي، ولضمان توزيع الحمولة نقوم بتقسيم الحمولة على عدد العقد (nodes) وبالتالي تتحمل كل عقدة جزءاً متساوياً من الحمولة.

نوع التحليل (Analysis Type) وضوابط الحل (Solution Controls):

تم اختيار نوع التحليل ستاتيكي، ومن ثم تم تجزئة الحمولة المطبقة على النموذج المدروس من خلال ضوابط الحل (sol'n controls) إلى خطوات جزئية (sub step) متزايدة، مع السماح بمعاينة النتائج عند كل خطوة تحميل. إن الحمولة التي تستطيع العناصر النحيفة تحملها لا يمكن تحديدها بسهولة لأنها تتعلق بعدد كبير من البارامترات المتعلقة بالشكل الهندسي وخصائص المواد، لذلك يستخدم التحليل اللاخطي في تحديد سلوك هذا النوع من الجيزان، ففي التحليل اللاخطي يتم تطبيق الحمولة بشكل متزايد ويتم حساب الصلابة في كل خطوة وهذه الصلابة تتناقص مع ازدياد التحميل. وقد تم اعتماد علاقة اجهاد -انفعال بطريقة bilinear كما في الشكل (7):

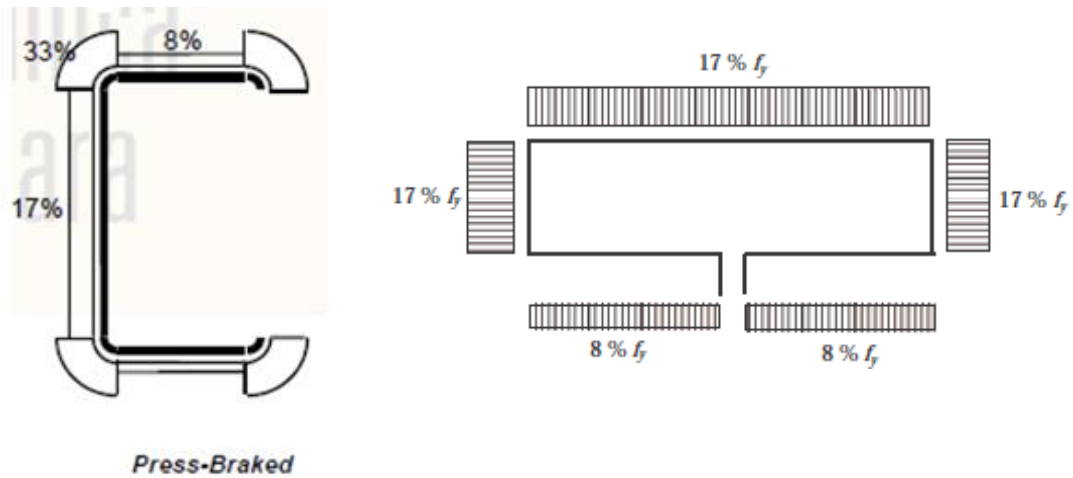


الشكل رقم (7): مخطط اجهاد - انفعال

الإجهادات المتبقية (Residual Stresses):

تتشكل الإجهادات المتبقية أثناء تشكيل المقاطع المعدنية المشكلة على البارد نتيجة عملية الثني وهناك نوعان من الإجهادات المتبقية:

- اجهادات متبقية عشائية وهي منتظمة خلال سماكة عنصر الصفيحة.
- اجهادات متبقية انعطافية وهي متغيرة خطياً على سماكة الصفيحة.



الشكل رقم (8): الإجهادات المتبقية في الجناح العلوي والسفلي للجائز (RHFB) [4]

يمكن اعتبار أن الإجهادات المتبقية في الجناح المفرغ للمقطع (RHFB) مشابهة للإجهادات المتبقية للمقطع بشكل حرف C حسب توصيات الباحث SCHAFFER لمقطع معدني Channel [4]. كما في الشكل (8).
فالإجهادات المتبقية في الصفائح الخارجية الشاقولية والأفقية تؤخذ f_y % 17، بينما تؤخذ في الصفائح الداخلية الأفقية كما في جسد المقطع C وتساوي f_y % 8.

النتائج الأولية (Results):

تم استخدام برنامج Ansys 16 بعد إدخال المعطيات والحصول على النتائج، وسيتم مقارنة النتائج مع نتائج المرجع [4] الذي استخدم برنامج Abaqus للتأكد من صحة نمذجة الجائز.
بعد الحصول على النتائج وجدنا أن التلدن الأولي عند الليف الأقصى والذي يساوي إجهاد خضوع $f_y=320 \text{ N/mm}^2$ حصل عند حالة تحميل $t=52$ وبالتالي يكون العزم المقاوم مساوياً إلى:

$$M= 60 * \frac{52}{100} * \frac{1.07}{3} = 11.128 \text{ kn.m}$$

حيث : خطوة التحميل $M= P * \frac{L}{3}$ باعتبار أن تطبيق الحمولة كاملة يستغرق 100 خطوة زمنية في البرنامج .
إن حدوث التلدن في الليف الأقصى لا يعني بالضرورة انهيار المقطع لذلك يتم متابعة تحميل الجائز حتى الحصول على انتقال يساوي $y= - 4.02 \text{ mm}$ والذي يوافق خطوة تحميل $t=57.5$ تكافئ عزم مقاوم للمقطع يساوي إلى:

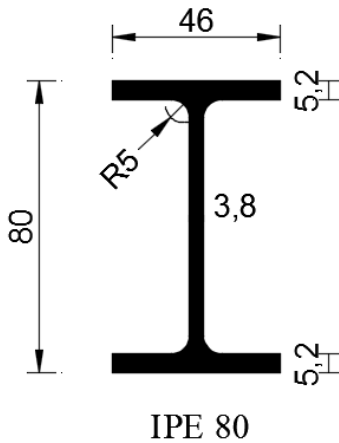
$$M= 60 * \frac{57.5}{100} * \frac{1.07}{3} = 12.305 \text{ kn.m}$$

وبالمقارنة مع العزم المقاوم للباحث [4] Somadasa المستحصل من برنامج Abaqus هو: $M= 11.7 \text{ kn.m}$
وبالتالي نجد أن الفرق هو حوالي 5%، وهو فرق مقبول وبالتالي يمكننا الان استخدام هذا النموذج لدراسة الجائزين المعدنيين الأول مدرقل له شكل حرف (I). والثاني مشكل على الباراد (RHFB).

مواصفات الجائزين المعدنيين الأول مدرقل بشكل حرف (I) والثاني مشكل على الباراد (RHFB):
الجدول رقم (3): المواصفات البعدية للجائز الفولاذي المدرقل المدروس

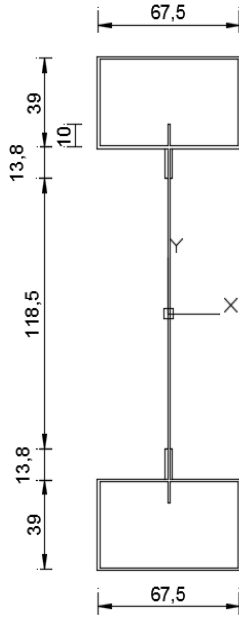
الجائز المدرقل بشكل حرف (I):

L=	1070	mm	الطول الكلي للجائز
H=	80	mm	الارتفاع الكلي للجائز
B=	46	mm	عرض الجناح
tf=	5.2	mm	سماكة الجناح
tw=	3.8	mm	سماكة الجسد
d=	69.6	mm	ارتفاع الجسد الحر
r=	5	mm	نصف قطر اتصال الجسد مع الجناح
A=	764.3	mm ²	مساحة مقطع الجائز
W=	6	Kg/m	وزن الجائز



الجدول رقم (4): المواصفات البعدية للجائز الفولاذي المشكل على البارد المدروس

الجائز المشكل على البارد (RHFB):



L=	1070	mm	الطول الكلي للجائز
H=	224.1	mm	الارتفاع الكلي للجائز
B=	67.5	mm	عرض الجناح
Hf=	39	mm	ارتفاع الجناح
tf=	1.192	mm	سماكة الجناح
tw=	1.192	mm	سماكة الجسد
L2=	10	mm	امتداد صفيحة الجسد ضمن الجناح
L3=	13.8	mm	امتداد صفيحة الجناح بمحاذاة الجسد
d=	118.5	mm	ارتفاع الجسد الحر
A=	763.7	mm ²	مساحة مقطع الجائز
W=	6	Kg/m	وزن الجائز

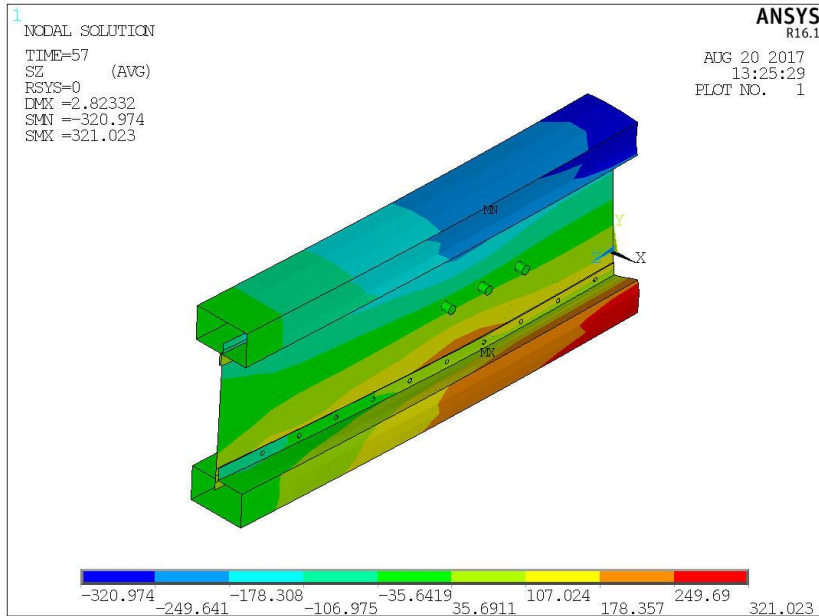
حيث تم اختيار مقطع الجائز المدرفل IPE 80 باعتباره الشكل الأقرب للجائز المشكل على البارد وتم اعتبار أن اجهاد الخضوع للجائزين $f_y=320 \text{ N/mm}^2$.

4- النتائج ومناقشتها:

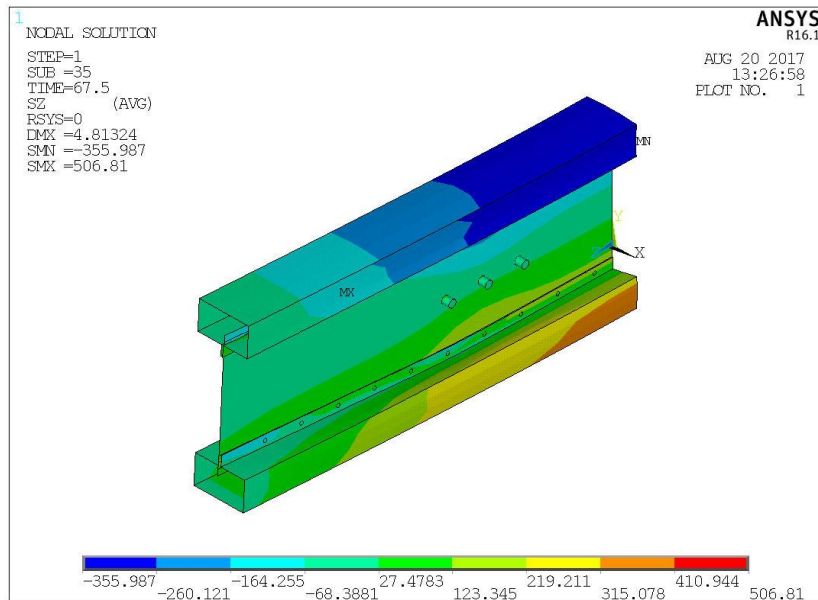
الجائز المشكل على البارد (RHFB):

بعد رسم الجائز وإدخال المعطيات والبدء بالتحليل نقوم بإظهار النتائج، نجد أن التلدن الأولي عند الليف الأقصى والموافق لإجهاد الخضوع $f_y=320 \text{ N/mm}^2$ يكون عند خطوة التحميل $t=57$ (الشكل (9)) وبالتالي يكون العزم المقاوم المرن عند هذه الخطوة يساوي:

$$M = 60 * \frac{57}{100} * \frac{1.07}{3} = 12.198 \text{ kn.m}$$



الشكل رقم (9): الإجهادات على المحور z للجائز (RHFB) عند $t=57$



الشكل رقم (10): الإجهادات على المحور z للجائز (RHFB) عند $t=67.5$

وإذا تابعنا تحميل الجائز حتى حصول الإنهيار بانتقال شاقولي $y=-4.81$ mm نجد أن ذلك يحدث عند الخطوة $t=67.5$. الشكل (10) وبالتالي يكون العزم المقاوم للمقطع:

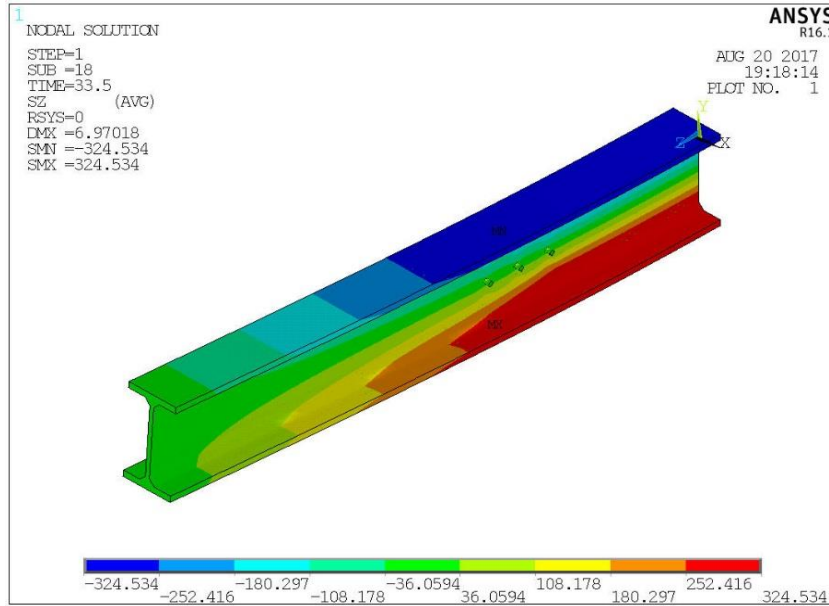
$$M = 60 * \frac{67.5}{100} * \frac{1.07}{3} = 14.44 \text{ kn.m}$$

الجائز المدرفل بشكل حرف (I):

بإعادة نفس خطوات الحل باستخدام مقطع Hot-rolled نجد أن حدوث التلدن الأول يحصل في خطوة تحميل $t=30$ مما

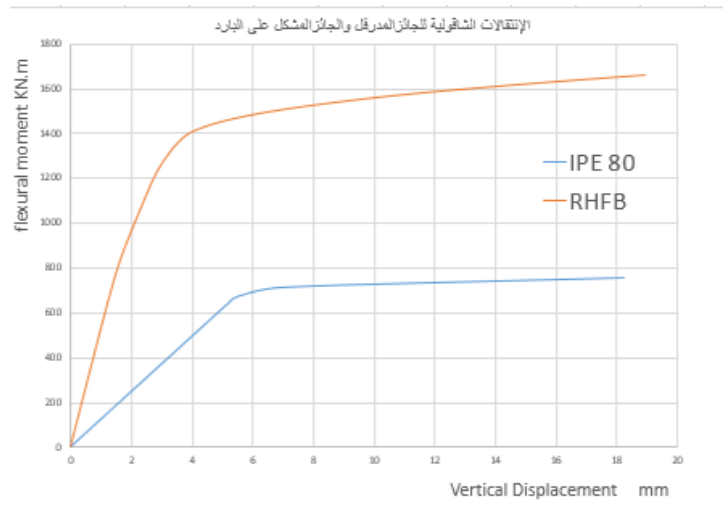
$$\text{يعطي العزم المقاوم المرن : } M = 60 * \frac{30}{100} * \frac{1.07}{3} = 6.42 \text{ kn.m}$$

وإذا تابعنا تحميل الجائز حتى حصول الإنهيار بانتقال شاقولي $y = -6.96 \text{ mm}$ نجد أن ذلك يحدث عند خطوة تحميل $t=33.5$. الشكل (11) وبالتالي يكون العزم المقاوم للمقطع $M = 60 * \frac{33.5}{100} * \frac{1.07}{3} = 7.17 \text{ kn.m}$.



الشكل رقم (11): الإجهادات على المحور z للجائز (IPE 80) عند $t=33.5$

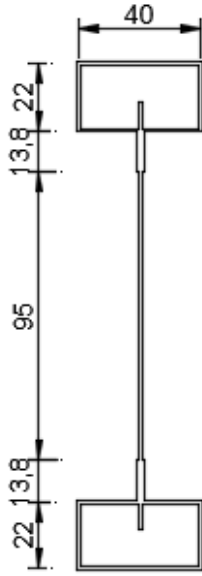
يظهر الشكل (12) مخطط الإنتقال الشاقولي - عزم الإنعطاف للجائزين المدروسين:



الشكل رقم (12): مخطط الإنتقال الشاقولي - عزم الإنعطاف للجائزين (IPE 80) & (RHFB)

ويمكن إيجاد نسبة الوفر بكمية الفولاذ من خلال إيجاد مقطع مشكل على الباردي يعطي عزمًا مقاومًا تساوي قيمته العزم المقاوم للمقطع المدرفل والتي تساوي إلى 7.17 kn.m والمقطع الموافق مبين بالجدول (5).

الجدول رقم (5): المواصفات البعدية للجائز الفولاذي المشكل على البارد (RHFB) المكافئ للمقطع المدرفل IPE 80



166.6	mm	الارتفاع الكلي للجائز
40	mm	عرض الجناح
22	mm	ارتفاع الجناح
1.192	mm	سماكة الجناح والجسد
10	mm	امتداد صفيحة الجسد ضمن الجناح
13.8	mm	امتداد صفيحة الجناح بمحاذاة الجسد
503.58	mm ²	مساحة مقطع الجائز
3.96	Kg/m	وزن الجائز

وللتأكد نعيد حساب العزم المقاوم لهذا المقطع نجد أن العزم المقاوم يحصل عند خطوة تحميل $t=33.5$ بسبب تزايد قيمة الإنتقال وبالتالي يكون العزم المقاوم عند هذا الزمن يساوي:

$$M = 60 * \frac{33.5}{100} * \frac{1.07}{3} = 7.17 \text{ kn.m}$$

وهي نفس القيمة السابقة .

وبالتالي نسبة الوفر في المقطع : $6-3.96=2.04 \text{ kg}$ من الفولاذ لكل متر طولي أي أن هذا المقطع يحقق وفراً في وزن الفولاذ يقارب 34% مقارنة مع الجائز المدرفل.

4- الإستنتاجات والتوصيات:

بعد قراءة النتائج المستحصلة من الفقرة السابقة نستنتج مايلي:

- إن قدرة تحمل الجائز الفولاذي المشكل على البارد (RHFB) أكبر من قدرة تحمل الجائز الفولاذي المدرفل باعتبار أن لهما الشكل نفسه والوزن نفسه وتبلغ نسبة الفرق بين العزم المقاوم للجائزين حوالي 50%.
- إن التوفير في الفولاذ بين الجائز المشكل على البارد (RHFB) والجائز المدرفل تصل إلى 34% مما يحقق وفراً كبيراً.
- يمكن الحصول على توفير أكبر في كمية الفولاذ من خلال تشكيل الجائز المشكل على البارد بشكل متدرج يتناسب مع تغير قيمة عزم الإنعطاف للإطارات.
- نلاحظ أن قيم الإنتقالات في الجائز المدرفل أكبر بكثير من الجائز المشكل على البارد وبدء تلدن الجائز المدرفل يحصل عند خطوة تحميل أقل وبالتالي عند عزم مقطع مقاوم أقل.

كما نوصي بالأخذ بعين الإعتبار الأمور التالية:

- ❖ ينصح باستخدام الجوائز المعدنية المشكلة على البارد بدلاً من الجوائز المدرفلة الجاهزة باعتبارها تعطي عزماً مقاوماً أكبر من المقاطع المدرفلة بحوالي 50%.
- ❖ ينصح بإجراء مزيد من الدراسات على جوائز معدنية مشكلة على البارد ذات مجازات كبيرة ومقاطع كبيرة ومحملة بحمولات كبيرة ومعرفة فيما إذا النتائج متوافقة مع نتائج هذا البحث.

- ❖ ينصح بإجراء مزيد من الدراسات على جوائز معدنية مشككة على البارد يتم فيها إدخال أثر الغلفنة على مقاومة المقطع المعدني لإجهادات الشد.
- ❖ يمكن في الأبحاث المستقبلية دراسة سلوكية المقاطع المشككة على البارد (RHFB) تحت تأثير الحريق.

5-المراجع:

- 1- Renjerla, R, (2010), Study of Economic Aspects of Cold –Formed Steel Over Hot Rolled Steel for Purlins. International Conference on Engineering Optimization, Portugal, pp 1.
 - 2- Cucu, V, (2013), Cold–Formed Steel Structures–An Alternative to The Classic Steel Structures. Military Technical Academy, Romania, pp3–4.
 - 3- (1998), Australian Standard Steel Structures. Standard Association of Australia AS 4100, Australia, pp 46–47.
- Wanniarachchi, S (2005), Flexural Behaviour and Design of Cold– Formed Steel Beams with Rectangular Hollow Flanges. PhD thesis, Queensland University of Technology. Brisbane, QLD, Australia, pp 67–68–106–173–174–187–203–290.