

## دراسة سلوك المفاصل الإنشائية الحديدية عتب - عمود تحت تأثير الأحمال الجانبية

عمر ياسر عادل

أ.م.د. صهيب يحيى قاسم

جامعة الموصل/ كلية الهندسة/ قسم الهندسة المدنية

### الملخص

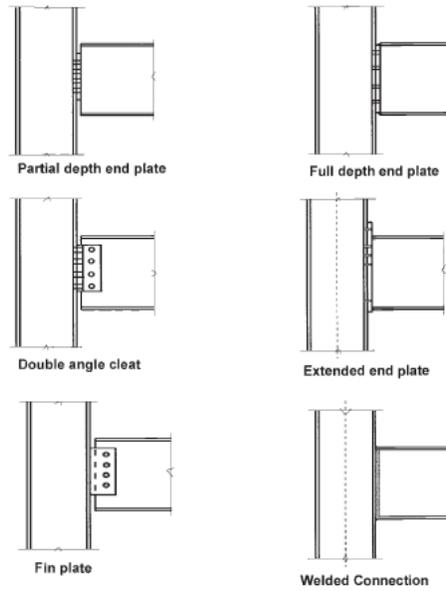
تعد المنشآت الحديدية من المنشآت المهمة في الهندسة المدنية نظراً لسرعة تنفيذها وخصائصها الهندسية التي تسمح بالحصول على فضاءات واسعة. وتعد المفاصل في المنشآت الحديدية ذات أهمية كبيرة وتحتاج الى اهتمام نظراً لكونها منطقة تتركز فيها مختلف انواع الإجهادات (ضغط - شد - قص). وهذه المفاصل تحتاج في العادة الى وجود انواع مختلفة من التقوية لضمان عملها بشكل صحيح في نقل الإجهادات بين الاجزاء الإنشائية الأخرى (عتب - عمود). لذا فإن البحث الحالي يتطرق الى تحري سلوك هذه المفاصل تحت تأثير حمل عمودي لأحد الاجزاء الإنشائية والذي يسلك عمودياً محل الجزء الآخر وباستخدام انواع مختلفة من التقوية. تم استخدام مقاطع عتب/عمود مناسبة نوع (IPEA 160) لغرض إجراء فحوصات مختبرية على مجموعة معيارية (بدون تقوية) وثلاثة انواع اخرى من المجاميع باستخدام انواع مختلفة من التقوية. ويتسليط احمال عمودية مع قياس مقدار الاود الحاصل في العضو العمودي وجد ان التقوية التي استخدمت ساهمت في زيادة مقاومة المفصل الحديدي مقارنة بالمجموعة المعيارية وبنسب مختلفة. حيث كان مقدار الزيادة في مقاومة الخضوع للمجموعة الثانية 1% والثالثة 12.6% والرابعة 19% وقد وجد ان افضل نوع من انواع التقوية هو الرابعة والذي اعطى اعلى مقاومة عند الخضوع والفسل. وجد ان اقل هطول حصل في المجموعة الثانية عند كل من الخضوع والفسل.

### Abstract

Steel structures construction is an important type of structure in civil engineering, due to the speed of their implementation and their engineering characteristics, which allow the designer to reach design structures with larger spans. The joints in the steel structures are of great importance and need attention because they are an area where different types of stress are concentrated (compression, tension, and shear). These joints usually require different types of strengthening to ensure that they can work properly in the transfer of stresses among other structural parts (Column – beam). Therefore, the current research deals with the investigation of the behavior of these joints under the effects of a load of one of the structural parts, which moves perpendicular to the other part and using different types of strengthening. Appropriate beam and column sections (IPEA 160) were used for conducting laboratory tests on a standard group (without stiffener) and three other types of groups using different strengthening. And by vertical loads with measurement of the amount of vertical displacement in the vertical member, it was found that the use of the stiffeners increases the resistance of the steel joint compared to the standard group with different rates. The increase in resistance in yield was to the second group 1%, the third was 12.6%, the fourth was 19%. It was found that the best type of stiffener is for the fifth group, which gave the highest resistance at yield and ultimate. It was found that the lowest deflection occurred in the third group in both yield and ultimate.

## المقدمة:

تقدر كلف التصميم والتصنيع والتشييد للهياكل في المنشآت الحديدية بحوالي ٣٠% من الكلفة الكلية للبناء. وتقدر من العناصر الثلاثة السابقة كلفة التصنيع والتشييد بحوالي ٦٧% . الأساس في كلفة التصنيع هي المفاصل وطريقة ربطها التي تؤثر على سهولة وسرعة العمل وبالتالي تؤثر على كلفة التشييد، ونتيجة للاعتبارات المحلية في المفاصل يترك للمصمم اختيار نوع المفاصل وطريقة التصميم. الشكل (١) يبين أنواع المفاصل بين الأعمدة والأعتاب للأبنية الحديدية متعددة الطوابق. [١]



الشكل (١) يبين طرق ربط الأعمدة والأعتاب [١]

## الهدف من البحث:

حيث أن اغلب أنواع الفشل في المنشآت الحديدية يحصل في المفاصل وخصوصاً عند تعرض هذه المنشآت الى الأحمال الزلزالية [٢]. ونظراً لكون النشاط الزلزالي قد تزايد في الفترة الأخيرة في المنطقة، وفي الظروف الحالية التي يمر بها البلد والتي يرجى من خلالها تطوير البنى التحتية باستخدام التقانات الحديثة في الإنشاء واللجوء الى المنشآت الحديدية كأحد الخيارات التي تساهم في سرعة تنفيذ المشاريع كان من الضروري الأخذ بنظر الاعتبار تأثير الأحمال الجانبية التي تتولد عند حدوث الهزات الأرضية. يهدف البحث الحالي إلى دراسة تصرف المفاصل الحديدية نوع عمود - عتب تحت تأثير الأحمال الجانبية وباستخدام أنواع مختلفة من التقوية بإجراء الفحوصات المختبرية على نماذج تعد لغرض دراسة التشوهات التي تحصل نتيجة للأحمال الجانبية.

### الدراسات السابقة:

في عام ٢٠٠١ قام الباحثان (Broderick, B.M. and Thomson A.W.) [٣] بدراسة عملية لمعرفة تأثير استعمال صفيحة حديدية من نوع Flush end-plate وسيلة لتقوية وربط المفاصل الحديدية. وقد تم التوصل الى ان النماذج المفحوصة بالطريقة الدورية اعطت قدرة كبيرة على الدوران ، أما اشكال الفشل فكانت مشابهة للنماذج المفحوصة بالطريقة الرتيبية ، وكذلك تم التوصل الى ان طريقة الربط المتبعة من الممكن استعمالها لمقاومة حمل الزلازل إذ أعطت نتائج مستقرة تحت تأثير الحمل المسلط.

في عام ٢٠٠١ قام الباحثون ( de Lima, L.R.O., de Andrade, S.A.L., da S. Vellasco, ) [٤] بدراسة عملية ونظرية للتنبؤ بمقاومة العزوم ومقدار الدوران للمحور الثانوي للمفاصل الحديدية (عتب -عمود). وقد تم التوصل في هذه الدراسة الى ان سمك الوتر للعمود من العوامل المؤثرة في قوة وصلابة المفصل فضلا عن تقوية وتره العمود لها الأهمية نفسها أيضاً، وكذلك فإن استعمال التقوية على شكل زاوية كان له اهمية ايضاً.

في عام ٢٠٠٤ قام الباحثون (de Lima, L.R.O., da Silva, L. Simões, da S. Vellasco, ) [٥] بدراسة عملية ونظرية لمعرفة تصرف المفاصل الحديدية من نوع (Extended end-plate) تحت تأثير قوة محورية (ضغط، شد). وتم التوصل الى ان تسليط القوى المحورية يؤثر على تصرف المفصل ، فعند تسليط قوة ضغط كان العنصر المتأثر هو شفة العتب، وعند تسليط قوة شد كان العنصر المتأثر هو صفيحة الربط ، كما ان وجود عدة صفوف من البراغي يؤثر على استجابة المفصل للقوى المسلطة عليه [٦].

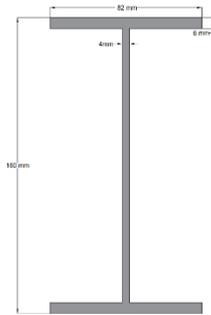
في عام ٢٠٠٦ قام العالمان (Shi, G., Shi, Y., and Wang, Y.) [٧] بإجراء دراسة عملية على ثمانية نماذج حديدية (عتب -عمود) لمعرفة تصرف المفصل الحديدي المربوط بصفيحة حديدية نهائية (end-plate) تحت تأثير حمل تكراري مشابه لحمل الزلازل. وتم التوصل الى أن صفيحة الربط (Extended end-plate) أعطت مقاومة أعلى ومرونة وقابلية على تبديد الطاقة ، اما صفيحة الربط (Flush end-plate) فقد أعطت صلابة أقل وتبديد للطاقة أقل بالمقارنة مع الصفيحة السابقة ، ولا ينصح باستخدامها كطريقة لربط المفاصل في الابنية المصممة لمقاومة الزلازل.

في عام ٢٠١١ قام الباحثون (Liu, Y., Malaga-Chuquitaype, C., and Elghazouli, A.Y.) [٨] بدراسة عملية لمعرفة تصرف المفاصل الحديدية تحت تأثير أحمال القص. وقد تم التوصل إلى أن المسافة الأفقية بين البراغي وشفة العمود لها تأثير على مقدار تحمل المفصل لقوى القص ، كما أن سمك حديد الزاوية يؤثر على قابلية التحمل القصوى للمفصل.

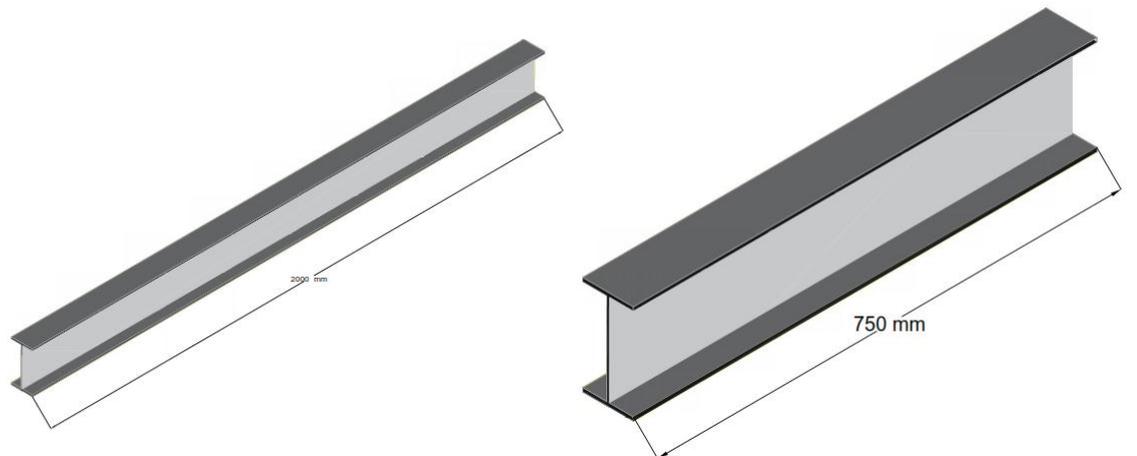
### البرنامج العملي:

خصائص المقطع الحديدي المستخدم في الدراسة المختبرية:

اختير مقطع حديدي مطابق للمقطع القياسي (IPEA160) بموجب مواصفات (Eurocode 3 and AISC specification) [٩] القياسية وكانت تفاصيل المقطع العرضي (cross-section) على النحو الآتي:  $h=150\text{ mm}$  (  $bf = 82\text{ mm}$  ,  $tf = 6\text{ mm}$  ,  $tw = 4\text{ mm}$  ) والشكل (٢) يوضح تفاصيل المقطع العرضي لنموذج الفحص ، وكان فضاء العضو الأفقي بطول (2000 mm) اما فضاء العضو العمودي بطول (750 mm) و كما موضح بالشكل (٣). وقد أجري فحص الشد لشرائح من المقطع الحديدي باستخدام جهاز فحص الشد العام وقد كانت قيمة إجهاد الخضوع (320 MPa) وإجهاد الفشل (415 MPa).



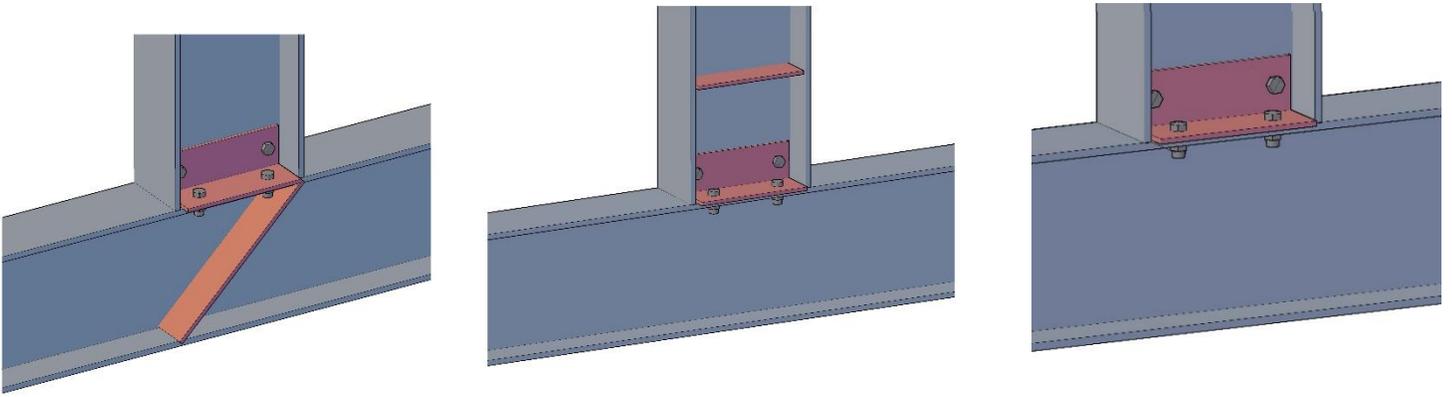
الشكل (٢) تفاصيل المقطع العرضي للنموذج الحديدي الذي تم اختياره



الشكل (٣) العضو العمودي (V.M.) والعضو الأفقي (H.M.)

### تقسيم النماذج الحديدية

قسمت النماذج المستخدمة للفحص الى ثلاثة مجاميع بواقع نموذجين لكل مجموعة ، وقد اعتمدت طريقة ربط معينة لكل مجموعة، إذ استخدمت ثلاثة طرق ربط مختلفة لربط المقاطع الحديدية (الافقي والعمودي) "إذ إن القوة المسلطة على المفصل هي قوة محورية وتمثل حالة ربط عمود -عتب معرض لقوة افقية او حالة ربط اجزاء من مسنم حديدي" والاشكال (٤ الى ٧) توضح تفاصيل الربط والتقوية لكل مجموعة من المجاميع الثلاثة ، ولتجنب مشكلة التشوه الحولي عند المساند تم تقوية العتب في منطقة الوتر للعضو الافقي عند المساند بقضبان قطر (25 mm) وكما موضح بالشكل (٨) .



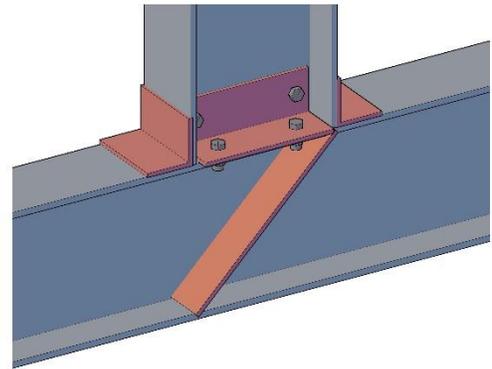
الشكل (٦) تفاصيل المجموعة

الشكل (٥) تفاصيل المجموعة الثانية

الشكل (٤) تفاصيل المجموعة الاولى  
الثالثة



الشكل (٨) تقوية نهاية العضو الافقي بقضبان حديدية قطر 25 mm

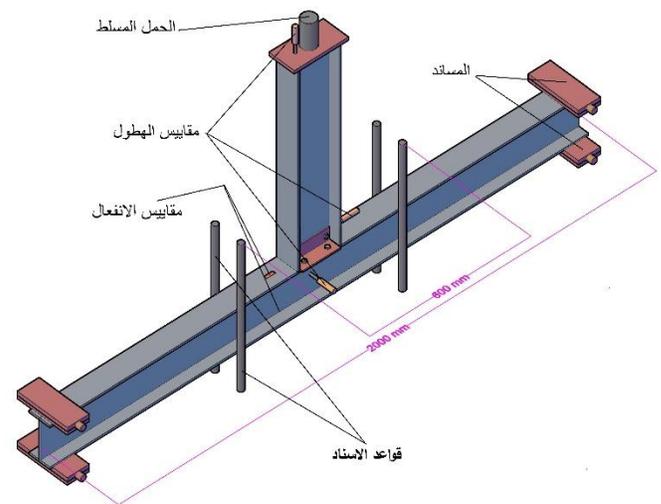


الشكل (٧) تفاصيل المجموعة الرابعة

## آلية فحص النماذج:

### ١- تهيئة النماذج على جهاز الفحص

بعد إكمال ربط النماذج الحديدية وتهيئتها للفحص وضعت النماذج تباعا في جهاز الفحص وثبتت مقاييس للأود في ثلاث اتجاهات حول المفصل للنموذج لمعرفة التشوه الحاصل نتيجة تسليط الحمل، واستخدم مقياس للاستطالة وضع على الشفة العليا والسفلى للعضو الافقي (H.M.) قرب منطقة المفصل من أجل قياس الاستطالة الحاصلة في النموذج نتيجة تسليط الحمل، تم استخدمت قطعة حديدية بأبعاد (10\*100\*200) mm وقد وضعت بين العضو العمودي (V.M.) والمكبس الهيدروليكي لضمان تسليط الحمل بصورة متساوية على النموذج ، وقد استخدمت قواعد إسناد ربطت بجسم جهاز الفحص واستخدمت لإسناد النموذج ومنعه من الدوران، إذ كان النموذج ونتيجة لتسليط الأحمال في الفحص الاولي حصل به حركة جانبية ولغرض تثبيتها استخدم هذا الأسلوب ، فالمطلوب كان تشوه النموذج بالاتجاه العمودي فقط بدون حدوث حركة جانبية والشكل (٩) مخطط يبين طريقة نصب النماذج في جهاز الفحص، والشكل (١٠) مخطط يبين قواعد الإسناد المستعملة لإسناد النماذج، إذ إن المسافة الجانبية بين المساند (٦٠ cm) .



الشكل (٩) مخطط يوضح وضعية النموذج في جهاز الفحص

الشكل (١٠) قواعد الاسناد

## ٢- أسلوب الفحص

بعد إكمال عملية تثبيت النموذج على جهاز الفحص وتثبيت مقاييس الاود كل في مكانه، يتم بعد ذلك المباشرة بعملية الفحص وذلك بتسليط الحمل على العضو العمودي عن طريق المكبس الهيدروليكي وبشكل تصاعدي تدريجي مع استمرار ملاحظة تصرف النموذج اثناء عملية الفحص ، سُلط الحمل بمعدل زيادة ثابت و نُظَم معدل الزيادة عن طريق جهاز مسجل البيانات Data Logger المرتبط بالمكبس الهيدروليكي ، يستمر الفحص بتسليط الحمل لحين حصول فشل في النموذج حيث يمكن ملاحظة حدوث الفشل من خلال قراءات الحمل التي تقل ولا يستطيع النموذج تحمل حمل اضافي فتتوقف عملية الفحص ويرفع النموذج ثم تخزن البيانات المسجلة للنموذج على جهاز الحاسوب ، إذ تحوّل بجهاز مسجل البيانات الى قيم يمكن التعامل معها رياضيا لتحليل النتائج وحسابها .تم بعد ذلك تحليل قيم الاود وايجاد العلاقة بين الحمل المسلط و قيمة الاود للعضو العمودي.

## النتائج والمناقشة:

علاقة الحمل والهطول للعضو العمودي:

في البداية كان لابد من معرفة لمقدار القوة والهطول عند الخضوع ، فيتم ايجادها بالشكل الآتي:

تؤخذ قيم الأحمال اللحظية المسلطة على النموذج من جهاز مسجل البيانات ويتم ايجاد مقدار الاجهاد لكل حمل لحظي وفق العلاقة الآتية:

$$\sigma = \frac{P \cdot L}{4 \cdot I}$$

حيث:

$\sigma$  : الاجهاد

P: الحمل اللحظي

L: طول النموذج

C: مركز المقطع العرضي للنموذج

I : عزم القصور الذاتي

ايجاد مقدار الانفعال لكل هطول لحظية وفق العلاقة الآتية:

$$\varepsilon = \frac{\delta l}{L}$$

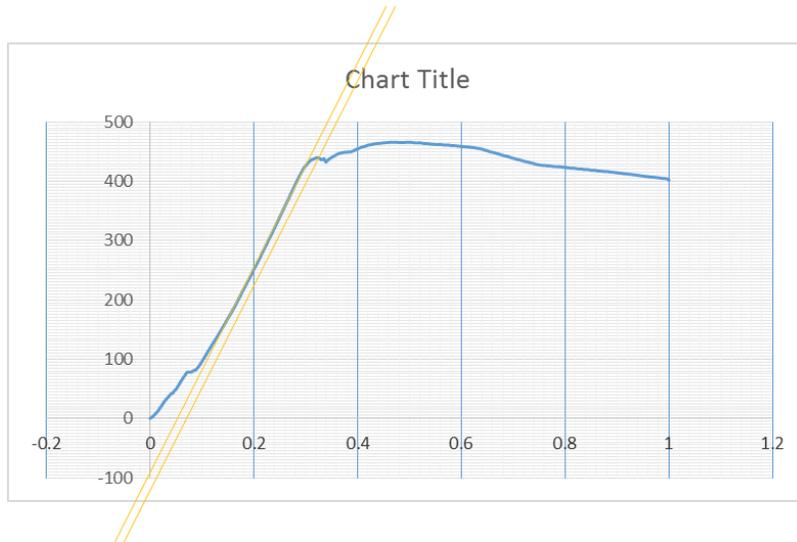
حيث :

$\varepsilon$  : الانفعال

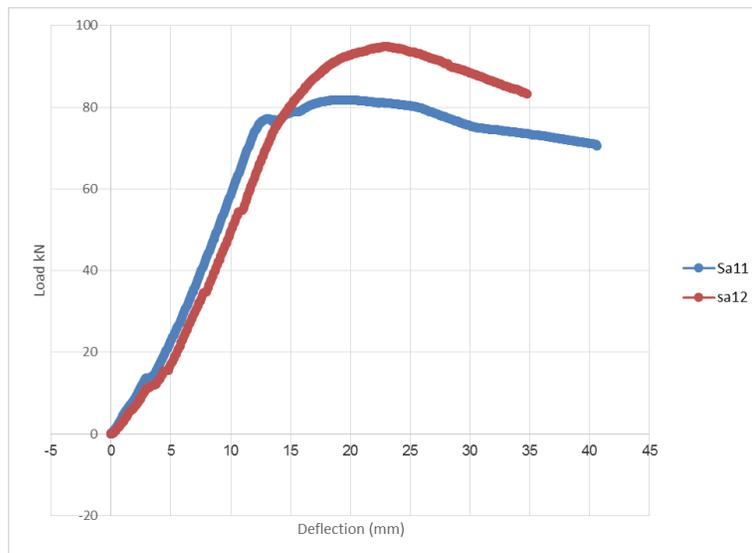
$\delta l$  : التغير في الازاحة نسبة للإزاحة الكلية

L : الازاحة الكلية للنموذج في نهاية الفحص

بعد ذلك ترسم العلاقة بين الاجهاد والانفعال ثم يرسم مماس لمنحني المرونة ويتم بعد ذلك عمل ترحيف للمماس بمقدار 0.2% من الانفعال وكما موضح في الشكل (١١) ، نقطة التقاطع بين المنحني والمماس تمثل نقطة الخضوع للنموذج ، منها يتم إيجاد حمل الخضوع ومقدار الهطول عند الخضوع.

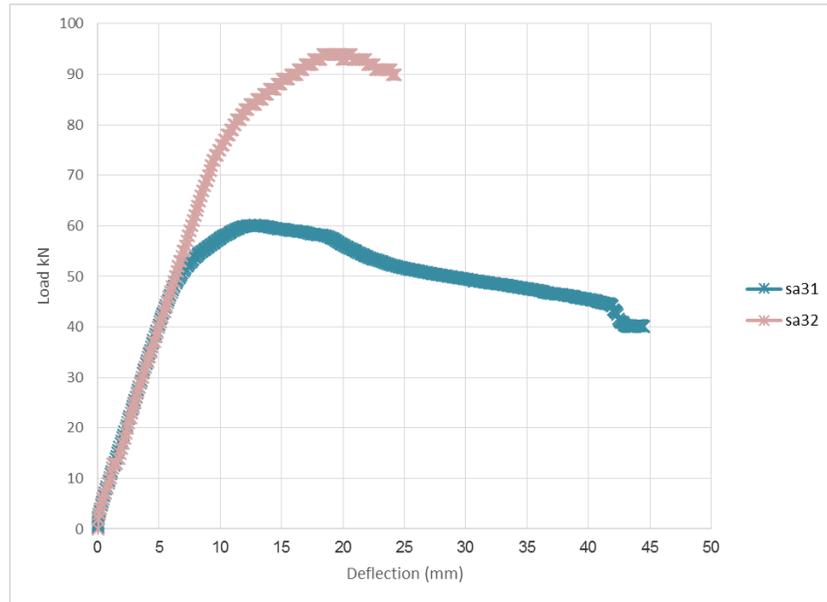


الشكل (١١) العلاقة بين الاجهاد والانفعال



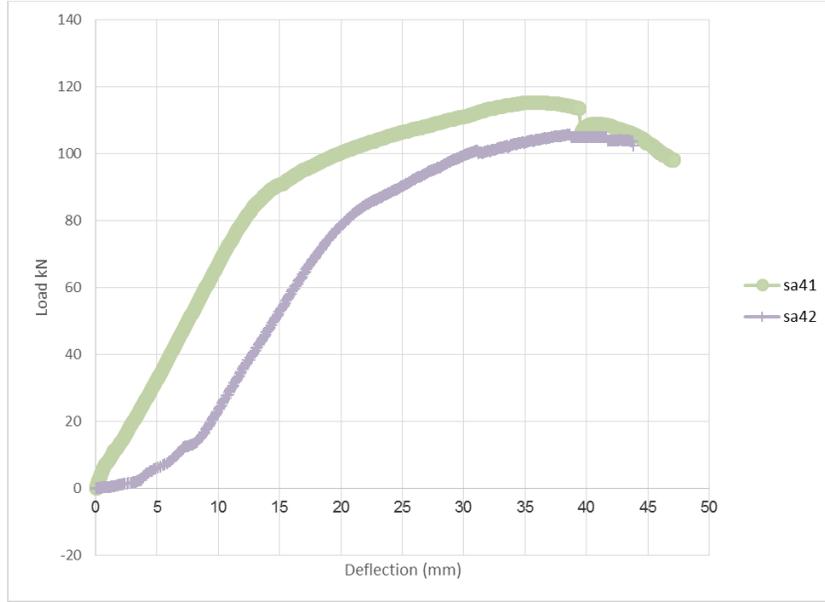
الشكل (١٢) علاقة الحمل-الهطول للمجموعة الاولى sa1

من الشكل (١٢) وجد أن مقدار حمل الخضوع (Yield load) كان ٧٧.٨٥ KN و ٧٦KN وبنسبة فرق ٢% وكان مقدار الهطول عند الخضوع (Deflection at yield) هو 14.4mm و 14 mm وبنسبة فرق 2.85% لكل من النموذج sa11 و sa12 على التوالي. كما يوضح الشكل (١٢) أن مقدار حمل الفشل (الحمل الاقصى) (Ultimate load) كان 81.783 KN و 94.77 KN وبنسبة فرق 15.87% ويقابله هطول عند الفشل (Ultimate deflection) مقداره 19.26 mm و 23.21 mm وبنسبة فرق 20.5% لكل من النموذج sa11 و sa12 على التوالي.



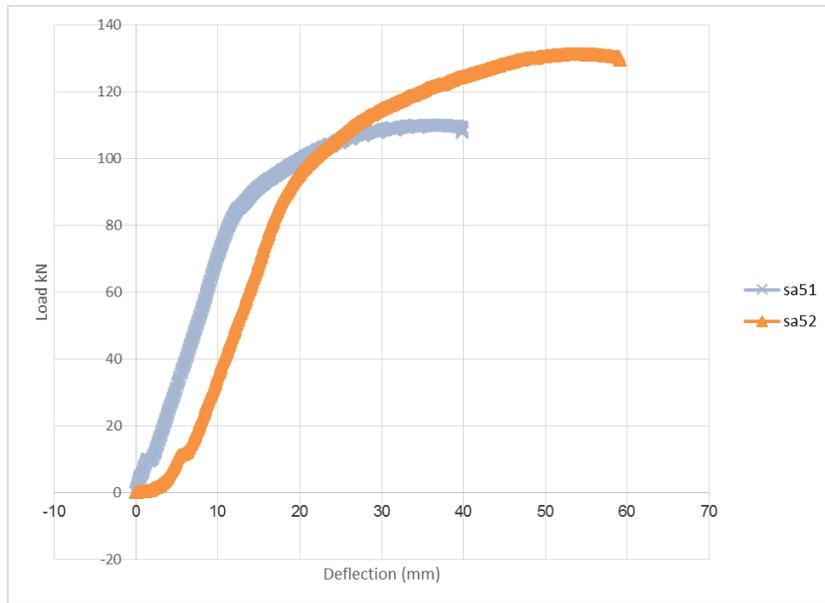
الشكل (١٣) علاقة الحمل-الهطول للمجموعة الثانية sa2

من الشكل (١٣) وجد أن مقدار حمل الخضوع كان ٥٣.١٨ KN و ٧٧.٥٨ KN وبنسبة فرق 45.88% وكان مقدار الهطول عند الخضوع هو 7.72mm و 10.36mm وبنسبة فرق 34.2% لكل من النموذج sa21 و sa22 على التوالي. كما يوضح الشكل أن مقدار حمل الفشل (الحمل الاقصى) كان 60.146 KN و 94KN وبنسبة فرق 56.28% ويقابله هطول عند الفشل مقداره 12.81 mm و 20.71 mm وبنسبة فرق 61.67% لكل من النموذج sa21 و sa22 على التوالي.



الشكل (14) علاقة الحمل-الهطول للمجموعة الثالثة sa3

من الشكل (14) وجد أن مقدار حمل الخضوع كان 90.58 KN و 82.32 KN وبنسبة فرق 10.03% وكان مقدار الهطول عند الخضوع هو 14.74mm و 21.14mm وبنسبة فرق 21.6% لكل من النموذج sa31 و sa32 على التوالي. كما يوضح الشكل (14) أن مقدار حمل الفشل (الحمل الأقصى) كان 115.47 KN و 105.705 KN وبنسبة فرق 9.23% ويقابله هطول عند الفشل مقداره 36.86 mm و 38.61 mm وبنسبة فرق 4.74% لكل من النموذج sa31 و sa32 على التوالي.



الشكل (15) علاقة الحمل-الهطول للمجموعة الرابعة sa4

يبين الشكل (٤-٢١) أن مقدار حمل الخضوع ان KN ٨٦.٨٩ و KN ٩٥.٦٧ وبنسبة فرق % 10.1 وكان مقدار الهطول عند الخضوع هو 13.26mm و 19.8mm وبنسبة فرق % 49.32 لكل من النموذج sa51 و sa52 على التوالي.

كما يبين الشكل أن مقدار حمل الفشل (الحمل الاقصى) كان 110.057 KN و 131.463 KN وبنسبة فرق % 19.44 ويقابله هطول عند الفشل مقداره 36.64 mm و 54.95 mm وبنسبة فرق % 50 لكل من النموذج sa51

النموذج	الحمل عند الخضوع KN	% للفرق في الحمل	التشويع عند حمل الفشل (mm)	حمل الفشل KN	% للفرق في التشويع عند الخضوع	التشويع عند الخضوع (mm)	% للفرق في الحمل	الحمل عند الخضوع KN	النموذج
Sa11	77.58	2	19.26	81.783	2.85	14.4	16.77	77.58	Sa11
	76		23.21	94.77		14		Sa12	
Sa31	53.18	45.88	12.81	60.146	34.2	7.72	61.67	53.18	Sa31
	77.58		20.71	94		10.36		Sa32	
Sa41	90.58	10.03	36.86	115.47	21.6	14.74	4.74	90.58	Sa41
	82.32		38.61	105.705		21.14		Sa42	
Sa51	86.89	10.1	36.64	110.057	49.32	13.26	50	86.89	Sa51
	95.67		54.95	131.463		19.8		Sa52	

و sa52 على التوالي. والجدول (١) يبين قيم الحمل عند الخضوع والفشل وقيم التشويع عند الخضوع والفشل

#### مناقشة النتائج:

اعتبرت المجموعة الأولى على أنها مجموعة مرجعية (معيارية) حيث لم يستخدم أي نوعية تقوية فيها للمفصل، تم ايجاد معدل حمل الخضوع وحمل الفشل لكل مجموعة مع ايجاد النسبة المئوية للفرق في حمل الخضوع وحمل الفشل لكل مجموعة عن المجموعة الأولى (المجموعة المرجعية) بالنسبة للمجموعة الأولى (المرجعية) فقد كان معدل حمل الخضوع لها 76.7 KN اما معدل حمل الفشل فقد كان 88.2 KN ، والجدول (٢) يوضح النسبة المئوية في فرق حمل الخضوع الفشل لكل مجموعة نسبة إلى المجموعة الأولى.

الجدول (٢) نسبة فرق حمل الخضوع وحمل الفشل لكل مجموعة عن المجموعة الأولى

المجموعة	معدل حمل الخضوع KN	% فرق حمل الخضوع نسبة الى المجموعة sa1	معدل حمل الفشل KN	% فرق حمل الفشل نسبة الى المجموعة sa1
Sa٢	*٧٧.٥	١	*٩٤	٦.٥
Sa٣	٨٦.٤	١٢.٦	١١٠.٦	٢٥.٤
Sa٤	٩١.٣	١٩	١٢٠.٨	٣٧

\* فيما يخص المجموعة الثانية فقد استبعدت نتائج النماذج sa21 لكون النتائج غير مستقرة ويتوقع حصول خلل عند الفحص.

فيما يخص حمل الخضوع فقد وجد أن المجموعة الرابعة أعطت أعلى مقاومة لحمل الخضوع بنسبة فرق ١٩% بالنسبة للمجموعة الأولى تلتها بعد ذلك المجموعة الثالثة من حيث مقاومة المفصل لحمل الخضوع وبنسبة فرق بلغت ١٢.٦% بالنسبة للمجموعة الأولى، فيما كانت المجموعة الثانية الاضعف من ناحية مقاومة المفصل وبنسبة فرق بلغت ١%. وكذلك الحال عند الفشل فقد كانت مقاومة المفصل لحمل الفشل للمجموعة الرابعة من القيم العالية بنسبة فرق ٣٧% فيما كانت المجموعة الثالثة بنسبة فرق ٢٥.٤%. أما المجموعة الثانية فكان تحمل المفصل عند الفشل من أقل القيم بنسبة فرق ٦.٥%.

واحتسب معدل الهطول الحاصل لكل مجموعة عند الخضوع وعند الفشل وقورنت نسبة للمجموعة الأولى (المرجعية) والجدول (٣) يبين معدل الهطول عند الخضوع والفشل لكل نموذج والنسبة المئوية للفرق بين مقدار الهطول لكل مجموعة نسبة للمجموعة الأولى.

الجدول (٣) النسبة المئوية لفرق الهطول عند الخضوع والفشل لكل مجموعة بالنسبة للمجموعة الاولى

المجموعة	معدل الهطول عند الخضوع mm	% فرق الهطول عند الخضوع نسبة الى المجموعة sa1	معدل الهطول عند الفشل mm	% فرق الهطول عند الفشل نسبة الى المجموعة sa1
Sa٢	10.36*	-27	20.71	-2.3
Sa٣	17.9	26	37.7	77.8
Sa٤	16.53	16.4	45.8	116

\* فيما يخص المجموعة الثانية والثالثة فقد تم استبعاد نتائج النماذج sa21 و sa31 لكون النتائج غير مستقرة ويتوقع حصول خلل عند الفحص.

بالنسبة للهطول عند الخضوع فقد كانت المجموعة الثانية صاحبة اقل هطول عند الخضوع وبنسبة فرق -٢٧% بالنسبة للمجموعة الاولى. بعد ذلك جاءت المجموعة الخامسة من ناحية جودة الهطول عن الخضوع وبنسبة فرق بلغت ١٦.٤%. أما المجموعة الرابعة فقد اعطت أعلى مقدار للهطول وكانت نسبة الفرق عالية، إذ كانت المجموعة الرابعة أسوأ مجموعة وبنسبة فرق بلغت ٢٦%.

أما بالنسبة للهطول عند الفشل فقد كانت أيضا المجموعة الثالثة أفضل مجموعة وبنسبة فرق -٢.٣% ، المجموعة الثالثة بنسبة فرق ٧٧.٨% تلتها المجموعة الرابعة التي حلت اخيرا و بنسبة فرق ١١٦% نسبة للمجموعة الاولى.

#### الاستنتاجات:

١- كانت المجموعة الخامسة صاحبة أعلى مقاومة لحمل الخضوع وحمل الفشل، إذ كانت التقوية فيها صفيحة حديدية مائلة ثبتت باللحام مع وتره العضو الأفقي أسفل من المفصل فضلاً عن حديد زاوية ثبت باللحام بين حافة العضو العمودي والافقي.

٢- من ناحية الهطول فإن المجموعة الثانية أعطت أقل مقدار للهطول عند الخضوع والفشل.

٣- المجموعة الرابعة أعطت أقل إزاحة جانبية عند حمل الخضوع وحمل الفشل

٤- المجموعة الثالثة أعطت أكبر إزاحة جانبية عند حمل الخضوع والفشل.

#### التوصيات:

- ١- إجراء دراسات نظرية لتحليل تصرف المفصل ببرامج حاسوبية التي تقوم بالتحليل بطريقة العناصر المركبة ومقارنتها مع التصرف العملي للمفصل.
- ٢- التحري عن سلوك المفاصل بتغيير سمك الصفائح الحديدية وقياسها التي استخدمت للتقوية ومقارنة النتائج مع تلك التي استحصلت.
- ٣- التحري عن سلوك المفاصل بتغيير أبعاد المقطع العرضي للنموذج الحديدي.

#### المصادر:

- 1- Davidson, B. and Owners, G.W., 2009, Steel Designers' Manual, 6th Edition, Blackwell Publishing, CH.26 PP 721-815.
- 2- Chakravarthy, P.R. K., Janani, R., Durgalakshmi, S., Ilango T. and Sivaganesan, S., 2018, CONNECTIONS IN STRUCTURAL STEEL JOINTS, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 9, Issue 3, March 2018, pp. 323-331.
- 3- Broderick, B.M. and Thomson A.W., 2002, The response of flush end-plate joints under earthquake loading, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 58, PP.1167-1175.
- 4- de Lima, L.R.O., de Andrade, S.A.L., da S. Vellasco, P.C.G., and da Silva, L.S., 2001, Experimental and mechanical model for predicting the behaviour of minor axis beam-to-column semi-rigid joints , Vol. 44, PP.1047-1065.
- 5- de Lima, L.R.O., da Silva, L. Simões, da S. Vellasco, P.C.G., and de Andrade, S.A.L., 2004, Experimental evaluation of extended endplate beam-to-column joints subjected to bending and axial force, Vol. 26, PP.1333-1347.

- 6- Cerfontaine F. Bending moment and axial force interaction in bolted joints. Ph.D. Thesis. University of Lie`ge, 2003 [in French].
- 7- Shi, G., Shi, Y., and Wang, Y., 2006, Behaviour of end-plate moment connections under earthquake loading, Vol. 29, PP. 703-716.
- 8- Liu, Y., Malaga-Chuquitaype, C., and Elghazouli, A.Y., 2011, Behaviour of beam-to-tubular column angle connections under shear loads, Vol. 42, PP. 434-456.
- 9- Structural steel design and Eurocode 3 and Aisc Specifications, Bernuzzi, C., Cordova, B, Wiley Blackwell, John Wiley and Sons, 2016.