

دراسة سلوك عقدة البراغي مع صفيحة نهاية في الإطارات الفولاذية

لجين المحمد*

(الإيداع: 12 آذار 2023، القبول: 29 أيار 2023)

الملخص:

على الرغم من تأثير وصلة (جائز - عمود) مع صفيحة نهاية على سلوك الإطارات الفولاذية وانعكاساتها الإيجابية على اقتصادية المنشأ والمبينة من خلال عدة دراسات حديثة، إلا أن تحليل سلوك هذه الوصلات مازال يقتصر على عدد محدود من المتغيرات الكثيرة التي تحكم مكونات العقدة. لذلك برزت الحاجة لدراسة العوامل المؤثرة على استجابة (العزم، الدوران) للوصلات نصف الصلبة لأغراض تحليلية ووضع علاقات تصميمية واضحة. وبسبب الكلفة العالية للتجارب تم اللجوء إلى طريقة العناصر المحدودة لتقييم سلوك هذه الوصلات. يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك منحنيات علاقة العزم بزاوية الدوران للوصلة مع صفيحة نهاية، حيث تم تحليل الوصلات مع الأخذ بعين الاعتبار المتطلبات النموذجية لمثل هذه الوصلات، وبناء نموذج عددي (مرن - لدن) لعينة تجريبية بطريقة العناصر المحدودة ثلاثية الأبعاد ومقارنتها مع التجريبي، وإجراء تحليل عددي لتقييم تشوه صفيحة الوصل في عقدة (جائز - عمود) باختلاف سماكتها وقطر براغي الوصل، وبينت النتائج أهمية سماكة صفيحة الوصل وقطر البراغي على سلوك منحنى علاقة (العزم - زاوية الدوران) للعقد الإطارية، وهذه النتائج يمكن استخدامها في التحليل الإنشائي للجوائز والإطارات بالأخذ بعين الاعتبار صلابة صفيحة النهاية ضمن العقدة.

الكلمات مفتاحية : الوصلات الفولاذية، وصلات البراغي، التحليل اللاخطي، طريقة العناصر المحدودة

*مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة حماة

Studying the Behavior of Bolted Joint with Endplate in Steel Frames

Dr.Eng, Lujain Al-Muhammad*

(Received: 12 March 2023, Accepted: 29 May 2023)

Abstract:

Although the effect of semi-rigid steel beam-to-column connections on the behavior of steel frames and their substantial economic benefits are recognized nowadays, many structural analyses still consider some parameters related to the components of connections.

For that reasons, there is need to be able the generate moment-rotation responses of semi-rigid connections that can be used for analysis and design proposes. Characteristic of the joints can be found using FEM models. The objective of the analysis was to find moment-rotation curves for end-plate connections.

The analyzed splices were shaped considering typical recommendations for such connections. Numerical elastic-plastic 3D finite models were performed in order to establish a numerical analysis method for evaluating deformation of extended end-plate-beam-to-column joint for varying thickness of end plates and diameter of bolts.

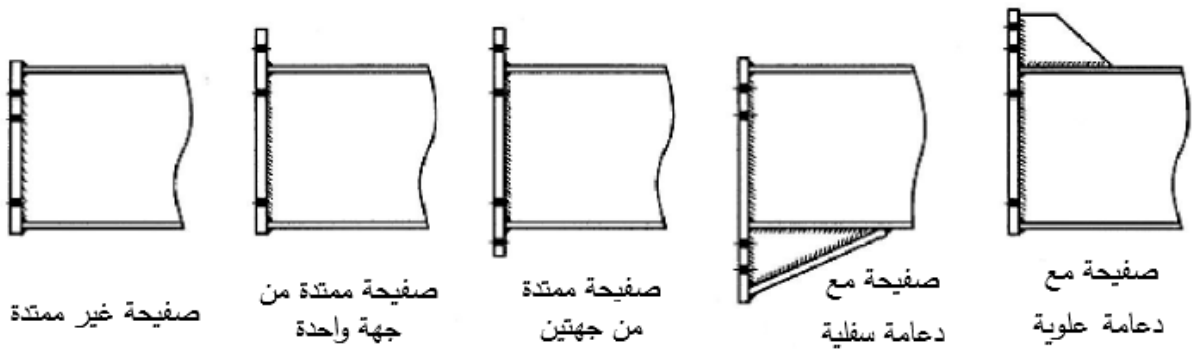
The study confirmed the influence of thickness of end plates and diameter of bolts on moment-rotation curves for analyzing joints and proved that the FE technique was capable of prediction connection response to an acceptable degree of accuracy. The results can be used in advanced structural analysis of beams and frames.

Key words: : steel joints, end- plate, FE modelling, nonlinear analysis.

*Department of Structural Engineering– Faculty of Civil Engineering –Hama University

-مقدمة:

يتم نقل الأحمال في المنشآت المعدنية (أوزان وحمولات البلاطات والعناصر الحاملة) إلى الجوائز ومن ثم إلى الأعمدة ومنها إلى الأساسات، ويتم نقل الأحمال من عنصر لآخر عن طريق العقد والتي تعتبر تغيراً في مسار الأحمال. ويعتبر موضوع دراسة الوصلات المعدنية من أهم المواضيع في دراسة المنشآت المعدنية، بسبب عدد العناصر التي تؤثر على سلوك الوصلة والعقدة بشكل عام، بالإضافة إلى ترابط هذه العناصر مع بعضها بطرق مختلفة مما يؤدي إلى الكثير من حالات الانهيار المحتملة التي يستوجب دراستها. كما يوجد العديد من أنواع الوصلات بين الجوائز والعمود والتي يجتهد المهندس المصمم في اقتراح الأشكال المناسبة لظروف التنفيذ وطبيعة الأحمال وشدها، حيث يبين الشكل (1) بعض أنواع وصلات البراغي التي تنقل العزم في المنشآت المعدنية.



الشكل رقم (1): بعض أنواع وصلات العزوم

تبدى العقد المعدنية بشكل عام سلوكاً لاخطياً نتيجة تعرضها لحمولات كبيرة، وترتفع درجة لاخطية هذا السلوك في العقد المعدنية المقاومة للعزوم، وذلك نتيجة كون العقدة مكونة من عدد من المكونات المترابطة فيما بينها، ولكل مكون سلوك خاص به بحسب نوع القوى التي يتعرض لها منفصلاً، حيث ينتج عن ترابط هذه المكونات مع بعضها عدد من الأفعال ومنها الانتقالات المرنة والاحتكاك بين العناصر والانزلاق، وبالتالي فإن تحليل هذا السلوك المعقد يتطلب عدد من التبسيطات من أجل إيجاد سلوك الوصلة.

تناولت العديد من الأبحاث دراسة وتحليل سلوك وصلة جوائز - عمود ذات صفحة نهاية، من حيث تحديد منحنى المطاوعة المتمثل بمنحني (العزم - الدوران) للعقدة، حيث تناول الباحثون بشكل عام تحديد خصائص هذا المنحني المتمثلة بالعزم المقاوم للعقدة تحت تأثير حمولات معينة وسعة الدوران وثابت الصلابة البدائي، حيث تعبر هذه المفاهيم عن مطاوعة العقدة المعدنية.

لكن أنواع العقد العملية وحجمها عديدة وخاصة عقدة البراغي ذات صفحة النهاية. بسبب خصائصها المتعلقة بتفاصيل هندستها وتكنولوجيا تشكيلها، حيث يوجد العديد من المتغيرات: قطر البراغي، عدد صفوف وأعمدة البراغي، الفراغ الرأسي

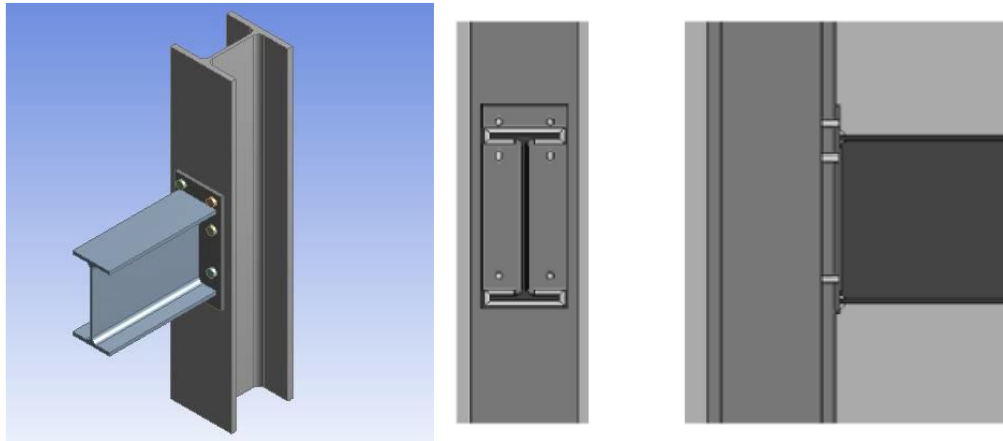
والأفقي بين البراغي ، سماكة صفيحة النهاية، امتداد صفيحة النهاية أعلى وتحت جناح الجائز، عرض صفيحة النهاية، دعامات العمود، دعامات صفيحة النهاية ، أبعاد الجائز والعمود، قوة الشد السابق للبراغي، إجهاد خضوع الفولاذ، معامل الانزياح لسطوح الاتصال بين الصفائح المكونة للعناصر المتلاقية في العقدة، وبسبب المتغيرات الكثيرة فإن التجارب معقدة ومكلفة جداً و يستحيل دراسة (العزم – الدوران) من خلال التجارب فقط، أما اليوم فإن طريقة العناصر المحدودة تؤمن طريقة مثالية لتحليل المنشآت المعقدة ، بافتراض استخدام الترتيب الملائم لإمكانية تشكل المفصل اللدن في الجائز كما هو مرغوب في التحليل الزلزالي [1].

في السنوات الأخيرة تم تطوير كودات لاستخدام تقنية العناصر المحدودة، وتطبيقاتها الأكثر فأكثر فاعلية. هذا يتيح إمكانية تطبيق طريقة العناصر المحدودة FEA في تحليل العقد بصفيحة نهاية بمختلف أشكالها.

تعتبر وصلة البراغي بين الجائز والعمود ذات صفيحة نهاية من وصلات العزم الأكثر استخداماً في الإطارات المعدنية المقاومة للعزم، نظراً لما تتمتع به هذه الوصلة من خصائص المطاوعة والمقاومة وجودة المراقبة وسهولة التشكيل بوقت قصير نسبياً بالمقارنة مع الوصلات الملحومة [2].

وتتضمن هذه الوصلات نوعين: وصلات صفيحة نهاية غير ممتدة (flush)، ووصلات مع صفيحة نهاية ممتدة (extended) مع دعامات أو من دونها، وفي كلا النوعين يتم لحام صفيحة فولاذية مستطيلة إلى نهاية الجائز، ومن ثم يتم وصلها بالبراغي إلى جناح العمود باستخدام واحد أو أكثر من صفوف براغي فولاذية عالية المقاومة بالقرب من الجناح المشدود والمضغوط للجائز، ويبين الشكل (2) وصلة جائز – عمود نموذجية مع صفيحة نهاية [2].

يتجسد سلوك العقد المعدنية بإيجاد منحنى (العزم – الدوران) حيث تكمن أهمية هذا المنحنى بمعرفة خصائص الوصلة وهي العزم المقاوم للعقدة، الصلابة الدورانية للعقدة، سعة الدوران العظمى للعقدة وهذه الثوابت هي التي تحدد مصطلح مطاوعة العقدة (Ductility of the Joint)



الشكل رقم (2): وصلة جائز – عمود ذات صفيحة نهاية

قبل زلزال Northridge 1994 كان يستخدم الإطار الملحوم المقاوم للعزوم في المنشآت متعددة الطوابق، وذلك بافتراض أن العقدة تامة الصلابة وصلدة بشكل كاف لمقاومة الاحمال الزلزالية، وعند حدوث الزلزال عانت العديد من الإطارات الفولاذية المقاومة للعزوم من الانكسارات القصيفة في عقد الجوائز والأعمدة الملحومة، وقد أظهرت الدراسات أن هذه الانهيارات القصيفة قد حدثت أكثر من آلية الانهيار التصميمية. وبعد هذا الزلزال تم الاتجاه إلى استخدام أوسع للوصلات البراغي كبديل عن الوصلات الملحومة ومن هذه الوصلات في وصلات البراغي مع صفيحة نهاية كوصلة مقاومة للعزوم [3].

[2001] Philips and Packer . درس وصلات البراغي مع صفيحة النهاية باستخدام صفيين من البراغي مسبقة الشد، ولتحديد السماكة المطلوبة لصفيحة النهاية فقد تم اقتراح اثنين من آليات الانهيار لصفيحة النهاية مع صفيين من البراغي ، وأيضا استنتجوا أن تأثير الصف الثاني من براغي الشد أقل بكثير من المتوقع سابقا [3]

[2002] Hendrick طور علاقة عددية تجريبية لتصميم الوصلة بأخذ سماكة الصفيحة من سماكة جناح العمود [4] Borgsmiller. أجرى العديد من التجارب على عقد البراغي مع صفيحة نهاية التي تؤدي إلى طريقة مبسطة

لتصميم صفيحة النهاية بالاعتماد على اثنين من حالات الحدود مثل خضوع الفولاذ وانفصال أو تمزق البراغي. [5] [2008] Broderick and Thompson في دراستهم تم اختبار السلوك الزلزالي للعقد ذات صفيحة النهاية لثمان عينات وتم الإشارة إلى ان كل العقد المختبرة كانت نصف صلبة و هذه التجارب أظهرت أن العقد مع صفيحة نهاية ممتدة خارج ارتفاع الجائز تعطي سلوك أفضل من ناحية المقاومة والصلابة بالمقارنة مع الصفائح غير الممتدة [6]

بالإضافة إلى الأبحاث التجريبية المشار إليها سابقاً، فإن العديد من الدراسات التحليلية قد تم إنجازها بأنواع مختلفة من العقد ذات صفيحة النهاية ، وبسبب العدد المحدود للتجارب وكثرة المتغيرات المتعلقة بمكونات الوصلة والتي لا يمكن حصرها تجريبياً فقد استخدم التحليل العددي باستخدام تقنية العناصر المحدودة في دراسة هذا النوع من الوصلات، فقد أظهرت دراسة Krishnamurthy [2010] أهمية انحناء صفيحة النهاية وتأثيره على قوى البراغي في صفوف متعددة ، والنتائج التحليلية لوصلات البراغي مع صفيحة نهاية غير ممتدة أظهرت توافق كبير مع النتائج التجريبية ماعدا بعض التضارب في مرحلة المرونة الأولية والمرحلة المرنة اللدنة النهائية من المنحني [7].

[2012] Nemati استخدم تقنية العناصر المحدودة مع تركيب من عدة طرق أخرى لتوسيع فلسفة التصميم الأساسية لتشمل السلوك الدوري للعقدة مع صفيحة النهاية، بالإضافة إلى مساهمة البراغي ومرونة صفيحة النهاية وجناح العمود وتحليل توزيع القوى واختلافها، حيث تم استخدام تقنية العناصر المحدودة في دراسة سلوك 34 عقدة مع صفيحة نهاية ممتدة مدعمة و19 من دون تدعيم في منطقة الشد، وتم الحصول على منحنى (العزم – الدوران) لهذين النوعين من الوصلات لكن نتائج دراستهم كانت مقارنة فقط مع العقد الداخلية [8].

كما توصل الباحثون إلى أن طريقة التحليل باستخدام نظرية العناصر المحدودة تعطي القدرة على محاكاة السلوك الحقيقي للعقدة وبتكاليف بسيطة وزمن قصير مقارنة مع النتائج التجريبية.

2- هدف البحث:

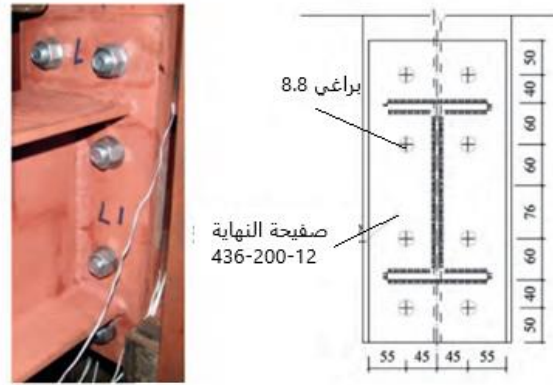
الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير سماكة صفيحة الوصل وقطر البراغي على سلوك وصلة جائز –عمود مع صفيحة نهاية تحت تأثير الحملات الستاتيكية من خلال بناء نموذج بتقنية العناصر المحدودة للوصلة التجريبية والتحقق من وثوقيته بمقارنة النتائج التحليلية مع نتائج الوصلة المختبرة تجريبياً.

3- مواد البحث وطرائقه:

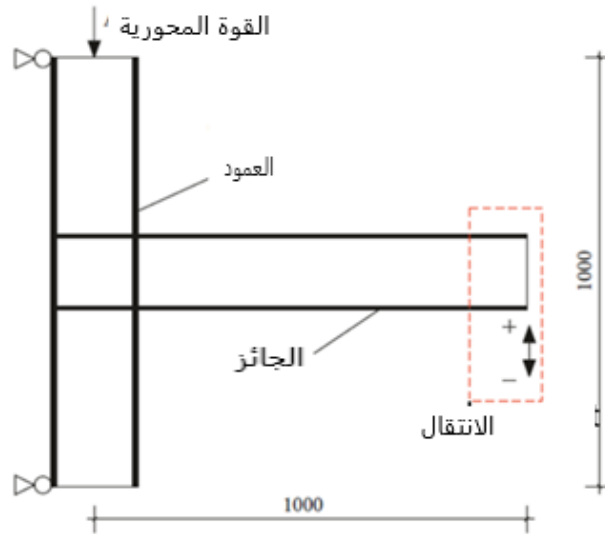
تم دراسة وصلة البراغي بين عمود وجائز ذات صفيحة نهاية والمختبرة من قبل ومن ثم استخدام طريقة العناصر المحدودة المتبعة في برنامج ANSYS لبناء نموذج عددي موثوق واستخدامه في إجراء دراسة تأثير بعض متغيرات مكونات الوصلة على مطاوعة العقدة وسلوك منحني (العزم-الدوران) الخاص بكل حالة.

3-1- وصف الوصلة المختبرة تجريبياً:

العقدة المعدنية المدروسة هي وصلة براغي (جائز - عمود) ذات صفيحة نهاية، مختبرة من قبل Bo Yang, K. H. Tan (2013)، وهي مؤلفة من جائز بمقطع مدرفل على الساخن $UB: 254 \times 146 \times 37$ وعمود بمقطع $UC: 203 \times 203 \times 71$ والبراغي عالية المقاومة من درجة 8.8 بقطر 16 mm وغير مسبقة التحميل، سماكة الصفيحة 6 mm، وفولاذ صفيحة النهاية من نوع S275 وكل العناصر المستخدمة في العقدة ماعدا الصفيحة هي من فولاذ S355 ويبين الشكل (3) أبعاد صفيحة النهاية وتوزع البراغي بالإضافة إلى الجملة الإنشائية للاختبار مبيناً عليه آلية الاستناد وآلية تطبيق الحملات. [9]



عينة تجريبية مع صفيحة نهاية ممتدة

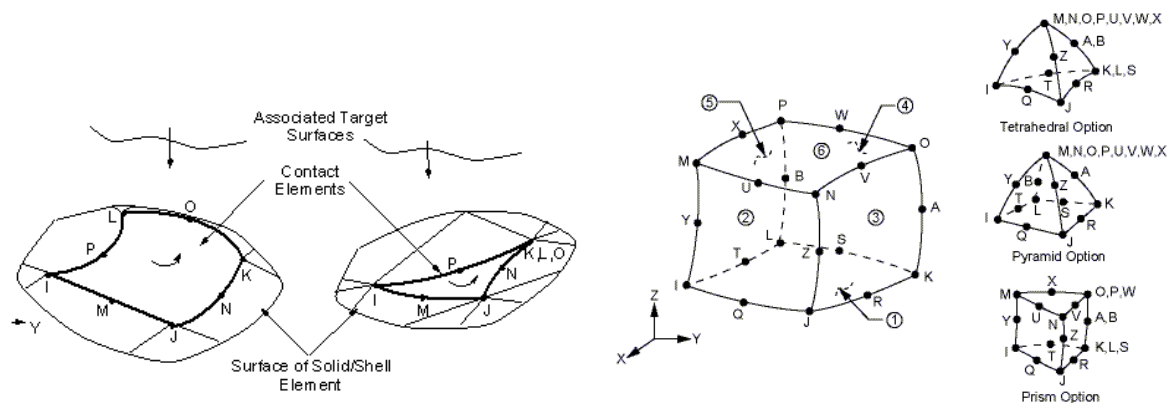


الشكل رقم (3): أبعاد الوصلة وآلية تطبيق الانتقالات والقوى

3-2- بناء النموذج بطريقة العناصر المحدودة باستخدام برنامج ANSYS:

تم استخدام العنصر Solid186 لنمذجة الجائز والعمود والصفحة والبراغي والدعمات المستخدمة، وهذا العنصر يستخدم لتمثيل العنصر الإنشائي الصلب ثلاثي الأبعاد ويتألف من عشرين عقدة لكل عقدة ثلاث درجات حرية لكل عقدة وهي الانتقالات وفق المحاور الثلاثة، ولهذا العنصر قابلية للدونة، الزحف، الانتفاخ، التشوهات الكبيرة، الانفعالات الكبيرة، صلابة الاجهاد.

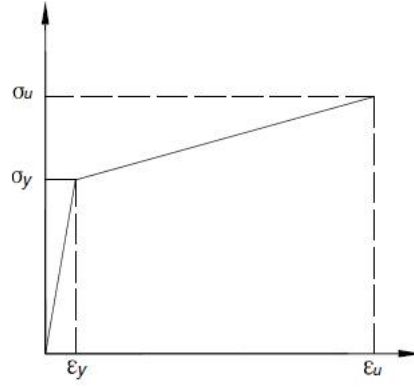
كما تم استخدام العنصر Conta174 ليمثل سطوح الاتصال بين جناح العمود والصفحة وبين رأس البرغي والصفحة وبين الصامولة جناح العمود وكذلك بين جسد البرغي والصفحة وجناح العمود، حيث يستخدم لنمذجة الاتصال والانزلاق بين سطح ثلاثي الأبعاد المسمى السطح الهدف (Targe170) والسطح المتشوه المحدد بهذا العنصر، العنصر قابل للتطبيق في التحليل ضمن الحقل الإنشائي ثلاثي الأبعاد. ويقع هذا العنصر على سطوح العناصر الصلبة ثلاثية الأبعاد، وله نفس هندسة سطح العنصر الصلب مع تلك التي يتم الاتصال بها. حيث يحدث الاتصال عندما يخترق سطح العنصر واحداً من العناصر الهدف (Targe170) على السطح الهدف المحدد. وفي هذه النمذجة يتم استخدام قانون كولومب للاحتكاك وإجهادات القص، ويبين الشكل (4) يبين هندسة هذه العناصر.



الشكل (4) العنصر Solid186 المستخدمة في نمذجة العمود والجائز وصفحة الوصل والبراغي

يتم استخدام خيار bilinear isotropic hardening أي النموذج المتصلب المتجانس ثنائي الخطية من أجل عناصر الصفائح المكونة للعقدة، وتم توزيع معيار الخضوع Huber –von Mises لتحديد اللدونة، وهذا الخيار مفضل من أجل تحليل التشوهات الكبيرة وهو مبين في الشكل (5).

الجزء الأول من المنحني يمثل المرحلة المرنة الخطية ويحدد ميله عامل المرونة، وعند إجهاد الخضوع يستمر المنحني في الجزء الثاني من المنحني خطي أيضاً بميل يحدده عامل الميل Tangent Modulus حيث معامل الميل يحدد بقيمة 0.1% من معامل المرونة الأولي. ويبين الجدول (1) خواص مواد العناصر المكونة للعقدة

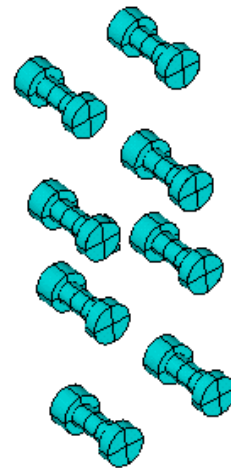
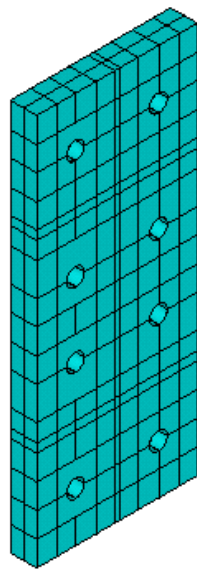
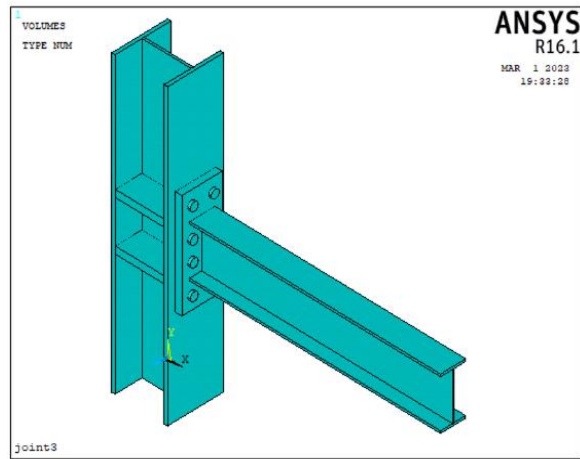
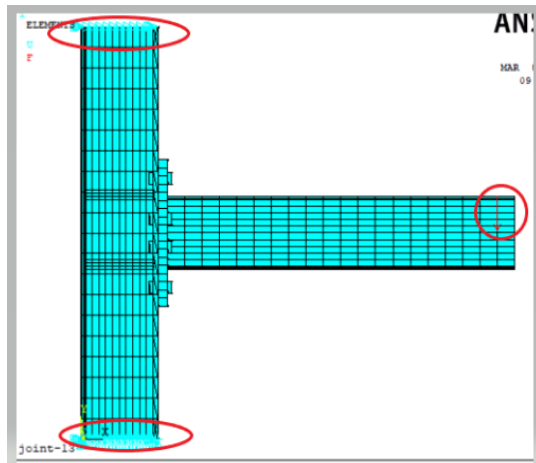


الشكل (5) منحنى (الإجهاد - الانفعال) للعناصر الصفائحية المكونة للعقدة

الجدول رقم (1): الخواص المرنة الخطية للفولاذ

العنصر	إجهاد الخضوع (MPa)	إجهاد الشد الأقصى (MPa)	معامل المرونة (GPa)	معامل الميل (MPa)
الجائز، العمود، المدعمات	355	460	210	360
الصفائح	275	360	210	360
البراغي	900	1000	210	–

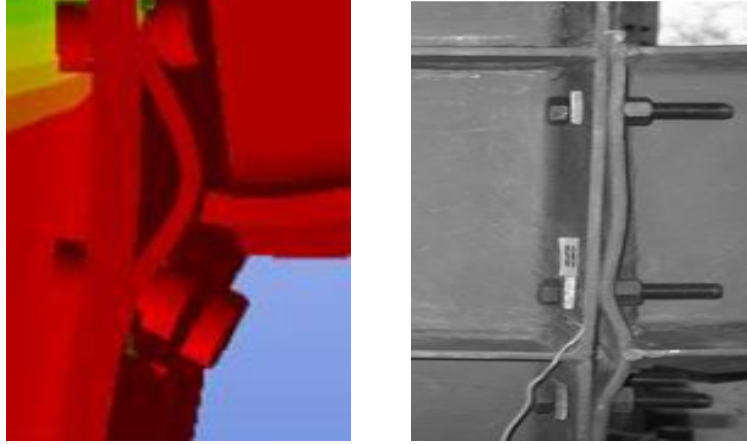
يتم إجراء التحليل اللاخطي حيث تقسم الحمولة الكلية المطبقة على نموذج العنصر المحدود إلى سلسلة من الحمولات المتزايدة تدعى خطوات التحميل وفي نهاية كل تزايد فإن مصفوفة الصلابة للنموذج تعدل حتى تعكس التغيرات اللاخطية في الصلابة الإنشائية قبل الانتقال إلى تزايد التحميل التالي. برنامج Ansys يستخدم طريقة نيوتن رافسون التزايدية التكرارية لتحقيق التقارب عند نهاية كل خطوة تحميل ضمن حدود تسامح مقبولة. ويبين الشكل (6) النموذج التحليلي للعقدة المدروسة.



الشكل رقم (6): النموذج التحليلي للعقدة المدروسة

3-3- التحقق من صحة النموذج:

يبين الشكل (7) شكل التشوه لكلا النموذجين التحليلي والتجريبي فقد كان نمط الانهيار بخضوع صفيحة النهاية وانفصالها عن جناح الجائر، ويبين الجدول (2) قيم الحملية القصوة والعزم الأقصى وسعة الدوران الناتجة تجريبياً وتحليلياً:



الشكل رقم (7): شكل تشوه العينة تحليلياً وتجريبياً

الجدول رقم (2) الخواص المرنة الخطية للفولاذ

العنصر	الحمولة القصوى (kN)	العزم الأقصى (kN.m)	سعة الدوران (Rad)
الوصلة المختبرة تجريبياً	67.85	47.5	0.0073
الوصلة المختبرة تحليلياً	78.14	54.7	0.007

بالمقارنة بين قيم حمولتي الانهيار التجريبية والتحليلية كانت نسبة الاختلاف بينهما % 13.16 ، ونسبة الاختلاف في سعة الدوران للعقدة 4.1% وهذا يدل على توافق مقبول بين النتائج العددية والتجريبية ، لذلك يمكن اعتبار النموذج التحليلي قادر على توقع الاستجابة الإنشائية للعينة التجريبية على مستوى عال من الدقة، ويمكن استخدامه لدراسة سلوك هذه الوصلة عند تغير سماكة صفيحة الوصل وعند تغير قطر البراغي وفق المعطيات المبينة في الجدول (3):

الجدول (3) الوصلات المعدنية المختبرة باختلاف قطر البراغي وسماكة صفيحة النهاية

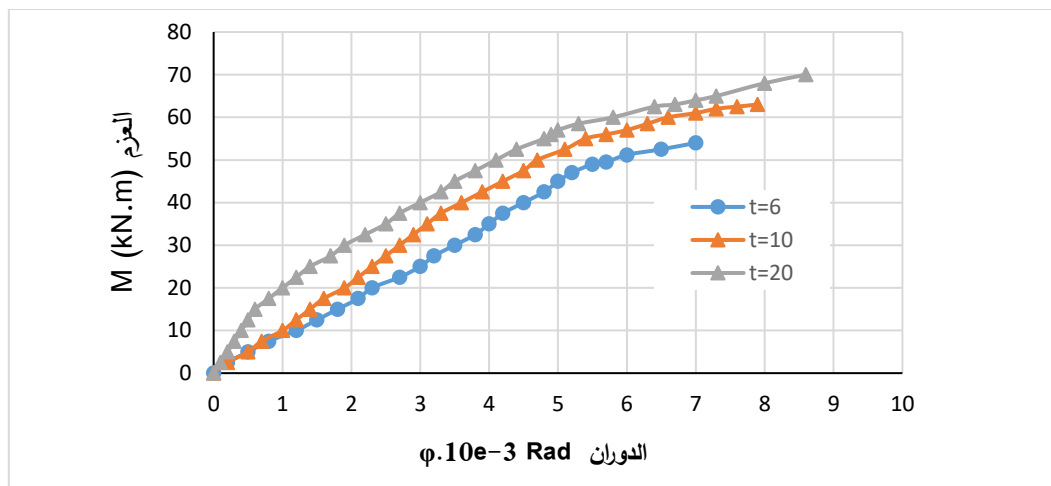
رقم العينة	اسم العينة	سماكة صفيحة النهاية mm	قطر براغي الوصل mm
1	T6-D16	6	16
2	T6-D20	6	20
3	T6-D24	6	24
4	T10-D16	10	16
5	T10-D20	10	20
6	T10-D24	10	24
7	T20-D16	20	16
8	T20-D20	20	20
9	T20-D24	20	24

نتائج الدراسة التحليلية ومناقشتها:

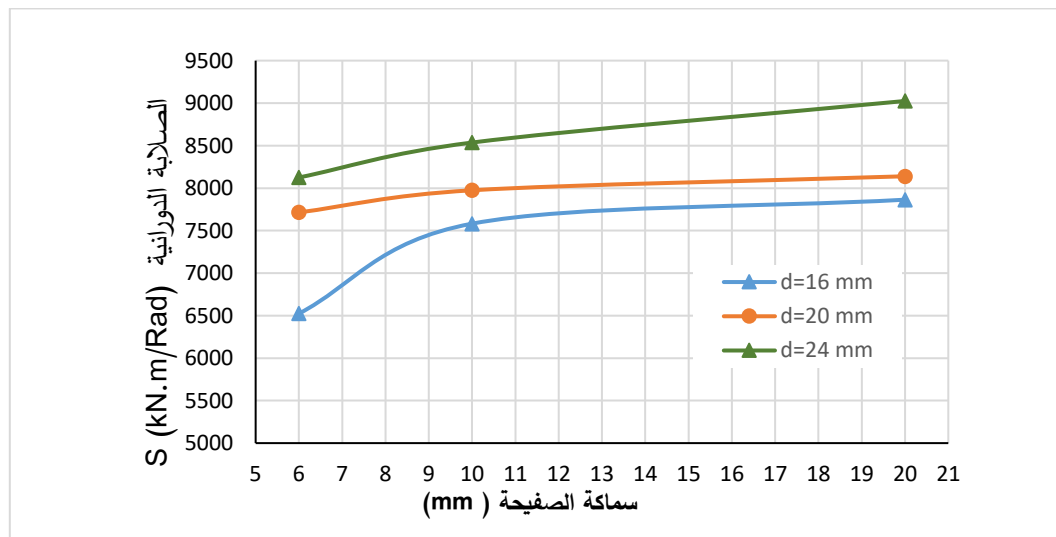
تم إجراء التحليل العددي للوصلات مع صفيحة وصل ذات سماكات مختلفة وأقطار مختلفة للبراغي والواردة في الجدول (3)، وذلك بعد تطبيق الحمولة على مقطع النهاية الحرة للجائز بطريقة التحميل المتتالي للقوة (كل 10 خطوات) للحفاظ على قيمة معتبرة للعزم في كل عقدة. ونم الحصول على النتائج التحليلية ومقارنتها وفق التالي:

4-1- تأثير سماكة صفيحة النهاية:

تم رسم منحنى علاقة (العزم-الدوران) للعقدة المدروسة مع اختلاف سماكة صفيحة الوصل بين الجائز والعمود وهي موضحة في الشكل (8)، كما يبين الشكل (9) تأثير اختلاف سماكة صفيحة النهاية (6 , 10 , 20 mm) على الصلابة الدورانية للعقدة من أجل ثلاث قيم لقطر البراغي (16 , 20 , 24 mm):



الشكل رقم (8): منحنى (العزم - الدوران) باختلاف السماكة مع قطر براغي ثابت



الشكل رقم (9): العلاقة بين سماكة الصفيحة والصلابة الدورانية عند قيم أقطار براغي مختلفة

نلاحظ أنه بزيادة سماكة الصفيحة من 6mm إلى 10 mm تزداد مقاومة العزم للوصلة بنسبة 12.31% وسعة الدوران بنسبة 11.39%، وبزيادتها من 6mm إلى 20mm تزداد مقاومة العزم بنسبة 18.57% وسعة الدوران بنسبة 18.6%. كما يمكن ملاحظة زيادة الصلابة الابتدائية مع زيادة سماكة الصفيحة، في حين أنه يزيد قليلاً مع زيادة قطر البرغي حيث بزيادة السماكة من 6 إلى 10 تزداد الصلابة الأولية لكن عندما تزداد السماكة على أكثر من 10 mm يظهر اختلاف صغير في منحنى (العزم- الدوران) بين السماكة 10 والسماكة 20 ، والسبب في ذلك هو أن زيادة السماكة إلى قيمة محددة تصبح مقاومة البراغي هي العامل المؤثر، حيث تبقى معظم مقاطع الصفيحة مرنة وتتهار البراغي بالخضوع أولاً، هذا يسمح بقوة شد عالية في البراغي والتي تزيد من عزم الانحناء.

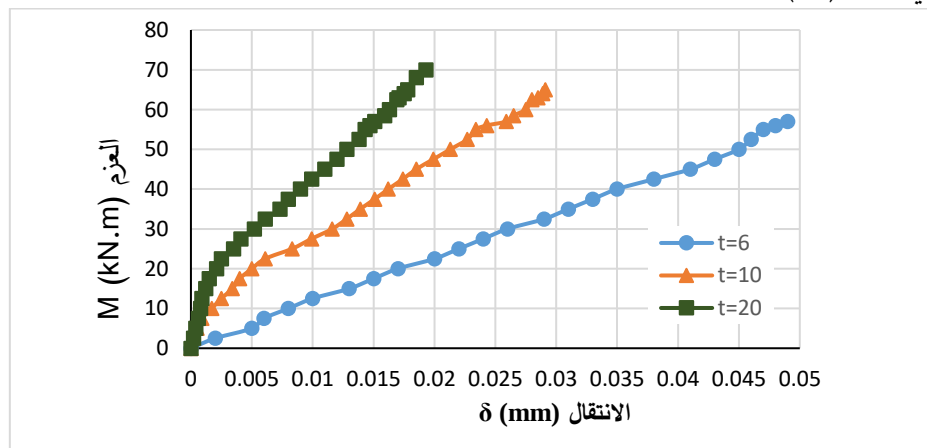
بكل الأحوال لوحظ الانهيار القصيف للبراغي عندما تزداد سماكة الصفيحة من 10 إلى 20 والذي يسبب مقاومة دوران منخفضة حيث الانهيار القصيف للبراغي يخفض من مقاومة الدوران للعقدة.

بزيادة السماكة فإن نمط الانهيار يختلف من الخضوع الكامل للصفيحة (سماكة 6mm) إلى تمزق البراغي مع خضوع الجناح (سماكة 10 mm) وإلى تمزق البراغي (السماكة 20 mm).

من المناقشة أعلاه يتم اقتراح من أجل العقد العزمية من الضروري أن تكون سماكة صفيحة النهاية ضمن مجال محدد بحيث يتم تجنب الانهيار القصيف للبراغي والحصول على عقدة ذات مطاوعة مقبولة من خلال خضوع صفيحة النهاية نتيجة الانحناء، أيضاً صفيحة النهاية يجب أن يكون لها سماكة محددة بحيث نتجنب الانهيار القصيف للصفيحة نفسها

4-2- تأثير السماكة على تشوه صفيحة الوصل:

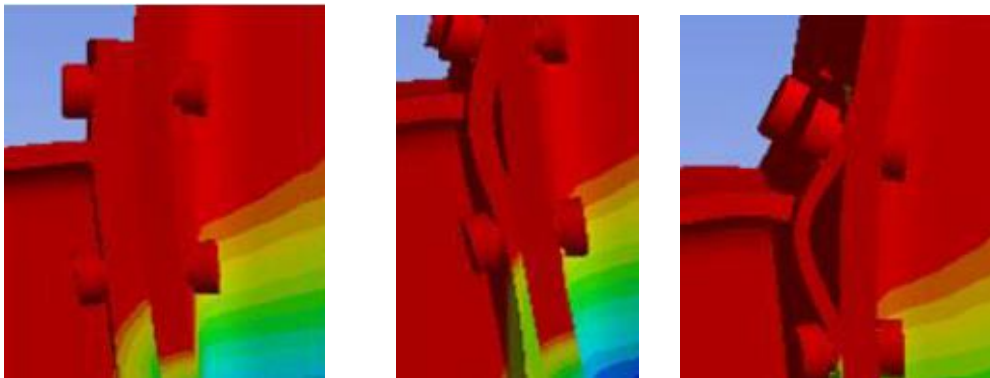
ولتشوه صفيحة الوصل تأثير هام على سلوك الوصلة خاصة على انتقالات الجانز، حيث استخدام صفائح أثخن يسبب زيادة في قيمة انتقال نهاية الجانز بمقطع، ولملاحظة هذا التأثير في سلوك الوصلة فإننا نبين تشوه صفيحة الوصل باختلاف عزم الانحناء وذلك في الشكل (10):



الشكل رقم(10): انتقال أعلى صفيحة النهاية

وبالاعتماد على هذه النتائج فإنه بالإمكان ملاحظة انخفاض قيمة تشوه الصفيحة بسماكة 10mm بمقدار 14% في و 24% للصفيحة بسماكة 20mm بالمقارنة مع صفيحة بسماكة 6mm.

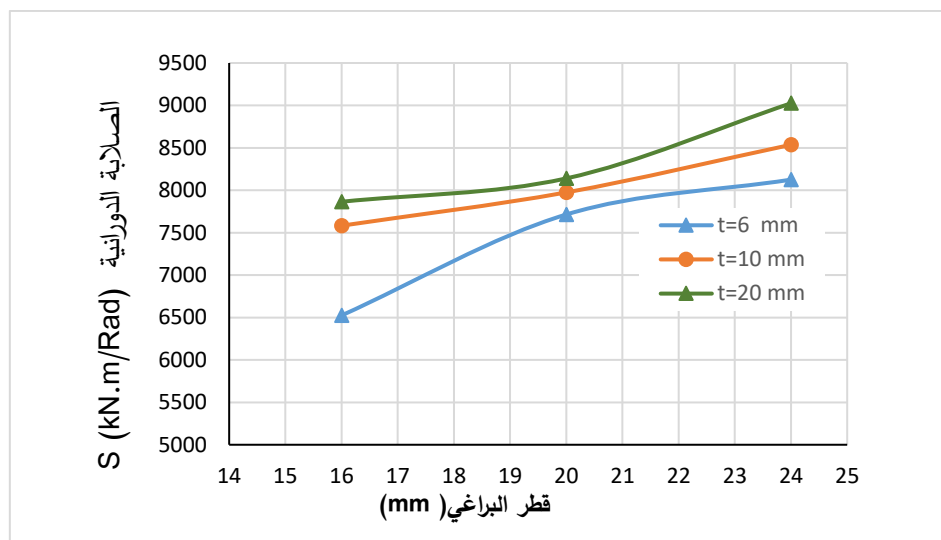
بالإضافة إلى التأكيد على أن سلوك العقدة محكوم بهندسة مكوناتها خاصة سماكة صفيحة الوصل حيث من شكل التشوه عند الحالة القصوى للحمولة الذي يظهر أن استخدام سماكات أثخن فإنها لا تنفصل عن حافة جناح العمود. أما من أجل صفائح أقل سماكة فإن آلية الانهيار الانعطافية لها تأثير كبير على الشكل النهائي للاتصال كما في الشكل (11).



الشكل رقم(11): تشوه صفيحة الوصل بتغير السماكة

4-3- تأثير تغير قطر البراغي:

يظهر الشكل(12) تأثير اختلاف تغير قطر البراغي على الصلابة الدورانية مع قيم مختلفة لسماكة صفيحة النهاية:



الشكل رقم(12): العلاقة بين أقطار البراغي والصلابة عند قيم سماكات مختلفة

ومن أجل سماكة صفيحة معتدلة مقبولة 10 mm و براغي قطره يزداد من 16 mm إلى 20 mm تزداد الصلابة الابتدائية بالنسبة 7.9% والعزوم بنسبة 9% والسعة الدورانية بنسبة 7.8% ، و بزيادة قطر البراغي من 20 mm إلى 24 mm تزداد الصلابة الدورانية الابتدائية بنسبة 8.5% والعزوم بالنسبة 4.4% والسعة الدورانية بنسبة 55%. بزيادة قطر البراغي تنخفض الانتقالات وتزداد المقاومة القصوى للعقدة لكن هذا التغير في المقاومة صغير ويمكن إهماله وهذا يمكن ان يكون نتيجة أن الانهيار في العقدة لم يكن نتيجة انهيار البراغي.

4- النتائج والتوصيات:

قدم هذا البحث دراسة تحليلية لوصلات البراغي مع صفيحة نهاية ممتدة ودراسة تأثير سماكة الصفيحة وقطر البراغي على سلوك الوصلة بين عمود وجائز في إطار فولاذي وخلصت الدراسة إلى النتائج التالية:

- 1- سماكة صفيحة الوصل هي واحدة البارامترات المهمة التي تمثل سلوك العقدة وتأثيرها هام على استجابة العقدة. لوحظ أن الصلابة الأولية كانت نسبية لزيادة سماكة الصفيحة.
 - 2- زيادة سماكة صفيحة النهاية من 6mm إلى 10 mm يزيد العزم % 12.32 وسعة الدوران % 11.39.
 - 3- زيادة سماكة صفيحة النهاية من 10 mm إلى 20 mm يزيد العزم % 18.57 وسعة الدوران % 18.6.
 - 4- زيادة قطر البراغي من 16mm إلى 20 mm يزيد العزم %9 وقدرة الدوران %8.7.
 - 5- زيادة قطر البراغي من 20 mm إلى 24 mm يزيد العزم %4.4 وقدرة الدوران %5.5.
- في مراحل متقدمة من البحث يوصى باستخدام نتائج العنصر المحدود والتي أظهرت تقارباً كبيراً مع النتائج التجريبية يمكن ان تؤمن منصة عمل تجريبية فعالة من أجل السلوك الميكانيكي للعقدة والتي من الصعب أن تقاس بالتجارب الفيزيائية مثل توزع الضغط نتيجة البراغي مسبقة الشد، والاحتكاك بين الصفيحة وجناح العمود وكذلك الإجهاد الرئيسي في العقدة.

REFERENCES

- [1] Abolmaali A, Matthys J. H., (2005), Development of moment –rotation model equations for flush end–plate connections. Journal of Constructional Steel Research, Vol 61.
- [2] Agedoke I.O, (2003). Rotation Relationship of thin end–plate connections in steel beams, Balkema, Rotterdam.
- [3] Philips and Packer., (2001). An advanced analysis for steel frame design– comparison with test results, Elsevier Science Ltd., Amsterdam.
- [4] Hendrick J., (2002), Stiffness and Strength of Semi–Rigid Connections. Bialystok University of Technology, Białystok–Rzeszów.
- [5] Borgsmiller. S.,(2005), Influence of initial imperfection on the behaviour of extended bolted end–plate connections for portal frames, Journal of Constructional Steel Research Vol 63.
- [6] Broderick ,Thompson, (2008), Finite element modelling of the behavior of certain class of composite steel–concrete beam–to–column joints, Archives of Civil Engineering, LVI, 1.
- [7] Krishnamurthy, (2010). Steel beam–to–column Bolted joint with thin end–plates, Proceedings of EUROSTEEL, Graz, pp.483–488.
- [8] Nemati L., Wald F., (2012), To advanced modelling of end plate joints. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, Vol. 30, No. 60 (2/12).
- [9] Bo Yang , Kang Hai Tan (2013), Experimental tests of different types of bolted steel beam–column joints, Journal of Elsevier Engineering Structures, Vol.54, No112.
- [10] ANSYS Manual. ANSYS 14.0. On line help [access: 8 may 2015 r.].