

تدعيم الوصلات الفولاذية المفرغة ذات الشكل T بالبراغي ضد التشوه الناتج عن ضغط عنصر التربيط

م. احمد سيد (1)

د.م. بشار سلهب (2)

الملخص:

تستخدم وصلات المقاطع الدائرية المجوفة بشكل واسع وذلك لما تتميز به من قدرة تحملها العالية المرافقة لخفة وزن الفولاذ المشارك، يرافق استخدام هذه العناصر العديد من المشاكل الاستقرارية أهمها حصول تشوه بيضوي في منطقة التقاء عنصر التربيط مع الوتر، تم في هذا البحث دراسة مدى إمكانية الاستفادة من البراغي المستخدمة كدواعم لجسد الوتر في زيادة قدرة الوصلة قبل الوصول للتشوه. تم استعمال طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) في هذه الدراسة مع اعتبار التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة (Materially Non-Linear Analysis, MNA)، كما ان النموذج متناظر في المستوي (XY) وأيضاً متناظر في المستوي (ZY) فتم نمذجة وتحليل ربع نموذج بعد تطبيق شروط استناد على المستوي (XY) والمستوي (ZY) ليؤخذ التناظر بعين الاعتبار بحيث يستطيع النموذج محاكاة التجربة الحقيقية من حيث توزع الاجهادات و شكل التشوه و حمولة الانهيار ومن ثم تعميم النتائج على الوصلة بشكل كامل، هذه العملية أبدت دقة في مطابقة النتائج وبساطة في النمذجة وسرعة في التحليل، تم في هذا البحث دراسة أثر تغير التباعدات بين البراغي وعدد البراغي ودراسة اثر تغير سماكة الوتر مع الحفاظ على القطر الخارجي له وتغيير شكل الحلقة الفولاذية (Washer) مع تغيير قطرها الخارجي.

يبين هذا البحث أنّ استخدام البراغي أثر بشكل فعال برفع قدرة التحمل للوتر وصلت لـ 65% عن العينات الغير مدعمة، كما تغيير سماكة الوتر أيضاً أضافت من قدرة تحمل الجسد نظراً لتغير تصنيف المقطع حسب السماكات الجديدة، وبخصوص الـ (Washer) عند تغيير شكلها من مسطحة لمنحنية وتغير قطرها أثرت إيجاباً على رفع قدرة الجسد لزيادة السطح الملامس للجسد وبالتالي زيادة في القساوة والمقاومة للحمولة المطبقة على عنصر التثبيت.

الكلمات المفتاحية: وصلة T، براغي بينية، طريقة العناصر المحدودة، المقاطع الدائرية المجوفة، تشوه بيضوي.

(1) طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية- جامعة دمشق

(2) مدرس في قسم الهندسة الإنشائية كلية الهندسة المدنية- جامعة دمشق

Strengthening T-joints of circular hollow steel sections (CHS) against Buckling under brace axial compression using through-bolts

ABSTRACT

Hollow circular section joints are widely used due to their high bearing capacity associated with the light weight of steel. The use of these elements is accompanied by many instability problems, the most important of which is the occurrence of oval deformation in the area of intersection of the chord element with the brace. In this research, the possibility of benefiting from the bolts used to strengthen the body of the chord increase the capacity of the joint before deformation is reached.

The Finite Element Method was used in this study, considering the non-linear analysis that takes into account the material non-linear analysis (MNA). The joint is symmetrical in two planes so the Modeling and analysis is done for the quarter of the joint. This simplified the modelling and showed an accuracy In conformity with the results, simplicity in modeling and speed in analysis .

The effect of changing the spacing between through-bolts and the number of bolts and studying the effect of changing the thickness of the chord while maintaining its outer diameter and changing the shape of the Washer with changing its outer diameter was studied.

This research shows that the use of bolts effectively increased the bearing capacity of the chord, reaching 65% compared to the unsupported samples, and changing the thickness of the chord also added to the bearing capacity of the web due to the change in the classification of the section according to the new thicknesses. The

most important, changing the shape of the Washer from flat to curved, with the change in its diameter extremely affected the increase of the web capacity due to the increase in surface with contact with the web and thus increase the stiffness and resistance to the load applied to the brace element.

Keywords: T-joint, through-bolts, finite element method, hollow circular sections, Ovalization.

1-مقدمة البحث:

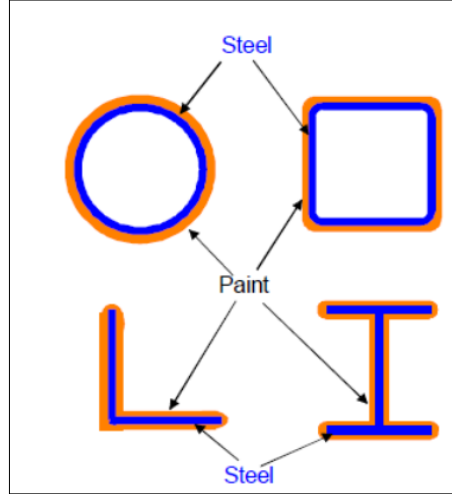
مقدمة عن المقاطع الفولاذية المجوفة

تعتبر المقاطع الفولاذية المجوفة (HSS) فريدة من نوعها لما تحتويه من كفاءات تميزها عن المقاطع الفولاذية المفتوحة فالتصميم الانشائي هو عملية توافق بين الوظيفة المطلوبة من المنشأة المراد تصميمها والهيكلية المعمارية المطلوبة لا سيما ان المتطلبات المعمارية أصبحت هي الحاكم في التصميم مع مراعاة جانبة المتانة والتصنيع. من ميزات المقاطع الفولاذية المجوفة مرونتها العالية في التصميم والتنفيذ بحيث تحقق كل المتطلبات المعمارية والانشائية على حدٍ سواء، علاوة على مظهرها الجمالي مقارنة مع المقاطع المفتوحة [10]



الشكل (1) : الشكل الانشائي والمعماري [10]

أيضاً المقاطع الفولاذية المجوفة أكثر ملائمة من المقاطع المفتوحة لكفاءتها الهيكلية (نسبة القوة إلى الوزن عالية) وكفاءتها في تحمل الالتواءات بشكل أفضل بكثير مقارنة مع المقاطع المفتوحة، والزوايا الحادة أقل مما يقلل من عوامل الحماية، وأخيراً السطح المكشوف للعناصر الفولاذية المجوفة أقل من المقاطع المجوفة مما يقلل من تكاليف العزل والحماية من التآكل والصدأ [9]



الشكل (2) : مقارنة بين الأوجه المكشوفة والمغلقة من حيث الحاجة للحماية [9]

فالمقاطع الفولاذية المجوفة تلبي احتياج العديد من المجالات على سبيل المثال (المجال المدني والمعماري وغيرها...).

يوجد العديد من اشكال المقاطع الفولاذية المجوفة (HSS) منها المقاطع المستطيلة المجوفة (RHS) والمقاطع المربعة المجوفة (SHS) المقاطع الدائرية المجوفة (CHS). في الكثير من الحالات يتم التحكم بقدرة التحمل القصوى للهيكل الفولاذي عن طريق الوصلات أي يحدث انهيار في الوصلة قبل انهيار العناصر المشكلة للهيكل الفولاذي فزيادة قدرة التحمل للوصلات عم طريق التدعيم يعطي اقتصادية أعلى من التغيير. يعد التدعيم لوصلات المقاطع الفولاذية المجوفة أمراً صعباً ويحتاج إلى يد ماهرة خبيرة

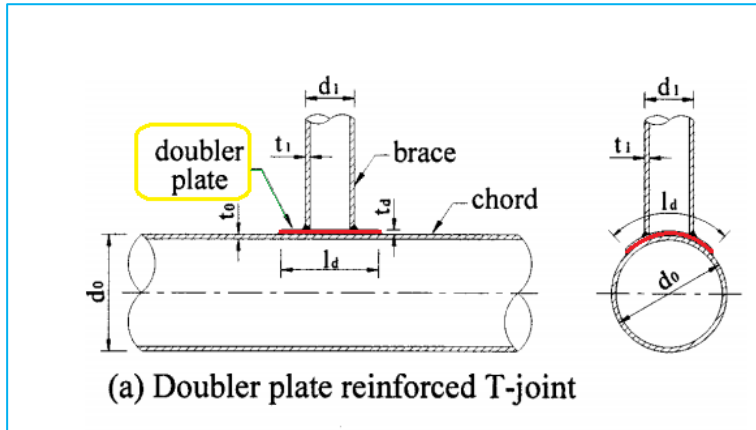
واشترطات وتوصيات تصميم وتنفيذ معينة يؤخذ بها والصعوبة تأتي من الطبيعة المغلقة لهذه المقاطع.

1-1 أمثلة عن طرق تقوية الوصلات الفولاذية المجوفة:

تحت دراسة العديد من تقنيات تقوية الوصلات الفولاذية المجوفة في العقود الماضية لزيادة قدرة تحملها دون زيادة حجم الأعضاء الرئيسيين (الوتر - عنصر التثبيت)، هدفت هذه الدراسات إلى البحث والتطوير بشكل أكبر للوصول لتقنية مناسبة لتقوية الوصلات الفولاذية المجوفة وفي الفقرات التالية موجز لكل تقنية تقوية.

1-1-1. الصفائح الاضافية:

طريقة شائعة الاستخدام في تدعيم الوجه العلوي للوتر عند منطقة الالتقاء مع عنصر التثبيت حيث يتم لحم صفيحة فولاذية لتزيد من سمك الوتر فتزيد مقاومته على الانهيار، هذه التقنية يجب اعتمادها أثناء مرحلة التصنيع [3].

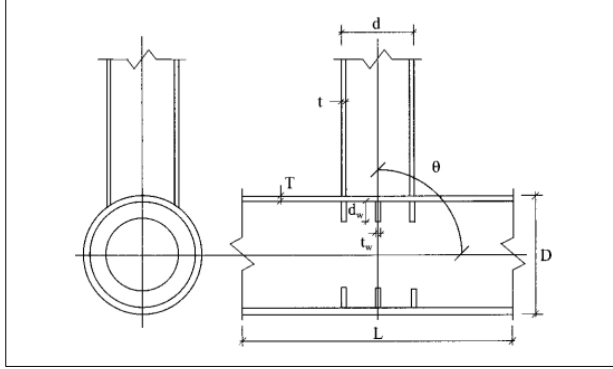


الشكل (3) : الصفائح الاضافية[3]

2-1-1. التقوية الداخلية:

يتم عن طريق صفائح فولاذية على شكل حلقي يتم تركيبها داخل الوتر في منطقة المشتركة بين الوتر وعنصر التثبيت [6] ليكون بمثابة الحجاب الحاجز للوصلة داعم

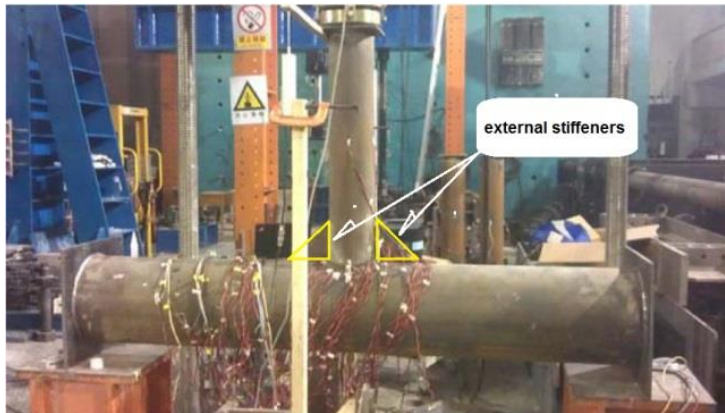
ومقاوم للقوة المحورية المطبقة من عنصر التثبيت ، هذه التقنية يجب ان تكون معتمدة خلال مرحلة التصميم ويجب تطبيقها خلال مرحلة التصنيع.



الشكل (4) : التقوية الداخلية[6]

3-1-1. التقوية الخارجية:

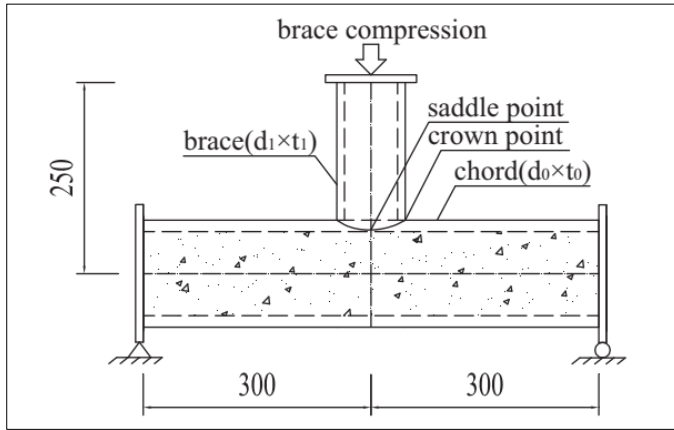
هي عبارة عن صفائح ملحومة على عنصر التثبيت والوتر كما هو موضح بالشكل (5) يمكن ان تكون أشكال التقوية الخارجية مثلث أو شبه منحرف أو متعدد الاضلاع، يمكن اعتماد هذه التقنية أثناء مرحلة التصنيع أو في موقع العمل لكن مع الاخذ بالاحتياطات الخاصة بالتنفيذ وخصوصاً طريقة تطبيق اللحام[11].



الشكل (5): التقوية الخارجية[11]

4-1-1. التقوية بالحشو الخرساني:

هذه التقنية فعالة للغاية يمكن ان تجعل الوصلة تصل لقدرة تحملها الكاملة ويمكن أن يملأ الوتر بشكل كامل أو جزئي فقط في منطقة الوصل [8]، من ايجابياتها أن الوتر يصبح أعلى مقاومة للحريق والحفاظ على شكل مقطعه، ومن سلبياته الوزن الزائد المضاف إلى الهيكل، تسد الفراغ الداخلي بشكل كامل مما يعيق في بعض الأحيان الخدمات الكهروميكانيكية، يمكن اعتماد هذه التقنية في مرحلة التصنيع قبل البناء.



الشكل (6) : التقوية بالحشو الخرساني [8]

5-1-1. التقوية بالألياف الكربونية (FRP):

تقنية تم تطويرها مؤخراً لتقوية الوصلات الفولاذية المجوفة، والتي تعتمد على لفافات من الألياف الكربونية يتم تثبيتها على منطقة الوصل بواسطة الأيبوكسي [7]، من عيوبها الكلفة العالية، انهيارها مفاجئ لا تدخل بمرحلة تلدن، صعوبة لف وصلة فولاذية ودهنها بالأيبوكسي بشكل منتظم.



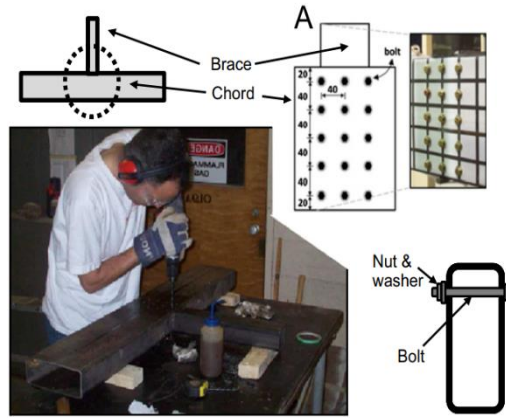
الشكل (7) : التقوية بألياف FRP [7]

6-1-1. التقوية بالبراغي:

تقنية التقوية بالبراغي هي الأسهل في التطبيق على الاطلاق نظراً لسهولة التركيب، آلية التقوية هي ربط جانبي الوتر ببراعي بينية من خلال المقطع العرضي لها، هذه البراعي تمنع جدران الأعضاء الوترية من التشوه الخارجي، طبقت هذه التقنية على المقاطع المستطيلة المجوفة (RHS) كما هو موضح بالشكل (8) لمقاومة التحنيب الموضعي فأعطت كفاءة عالية [2]، وايضاً تم تطبيقها على المقاطع الدائرية المجوفة (CHS) كما هو موضح بالشكل (9) لمقاومة التشوه الكلي وبالفعل أعطت نفس الكفاءة [5].

يمكن تطبيق هذه التقنية في مرحلة التصنيع أو في الموقع حيث تعتبر أفضل التقنيات في التنفيذ في الموقع لعدم وجود لحام يحتاج ليد خبيرة أو وجود ايبوكسي الذي يحتاج ليد خبيرة وطقس مناسب (من درجات حرارة - عدم وجود غبار)، وميزة أخرى أيضاً وزنه الميت المضاف للهيكال المدعم يكاد يكون معدوماً مما يجعل هذه التقنية ممتازة واختيار مناسب للمصممين لتقوية الهياكل الفولاذية.

لا تزال تقنية التقوية بالبراغي بحاجة إلى دراسات واسعة بسبب نقص في معايير اختيار (عدد البراغي - المسافة المناسبة بين البراغي - قطر البرغي المستخدم....) وهذا ما سيتم البحث والدراسة عنه في هذا البحث.



الشكل (8) : التقوية بالبراغي [3]



الشكل (9) : التقوية بالبراغي [5]

2- مشكلة البحث:

تبين الدراسات المرجعية وجود نقص في الإحاطة بالعملية التصميمية للوصلات الفولاذية المجوفة المعرضة للتحنيب، حيث تم إجراء التجارب على عينات بطرق تدعيم مختلفة لكن لم يدرس التدعيم بالبراغي بشكل موسع. من الممكن أن يؤثر توزيع البراغي وعددها بحيث يرفع من قدرة تحمل الوصلات الفولاذية المجوفة.

3- الغاية:

دراسة أثر تدعيم الوصلات T للمقاطع الفولاذية المجوفة بطريقة البراغي البينية وتوضيح سلوك الانهيار وسلوك البراغي في التدعيم بشكل وبذلك نحقق فائدة من الناحية العلمية من خلال رفع قدرة تحمل الوصلات الفولاذية المجوفة أي الحصول على أكبر طاقة تحمل ممكنة بالنسبة للوصلات قبل الانهيار الكلي، كما يحقق فائدة من الناحية الاقتصادية توفير في الوقت والكلفة في مرحلة التنفيذ ومشاركة هذه المقاطع في تحمل القوى في مرحلة الاستثمار مما يحقق أيضاً وفر كبير..

4- الهدف الرئيسي للبحث:

يهدف البحث إلى تحسين أداء الوصلات T بتدعيمها بواسطة البراغي وإجراء نمذجة ومحاكاة باستخدام برنامج ABAQUS للتجارب التي أجراها الباحثون (2017) Iskander et al. وهي مجموعة من العينات محددة الأبعاد لوصلات بشكل T المشكلة من مقاطع فولاذية دائرية مجوفة CHS المشكلة على البارد وسيتم مقارنة النمذجة مع نتائج التجارب التي أعطت منحنيات (الحمولة - والتشوه البيضوي) للتأكد من صحة النموذج ثم يجرى دراسة بارامترية لمقاطع مدعمة بالبراغي تبعا لمتغيرين رئيسيين (وفقا للتجربة) هما عدد البراغي وتباعد البراغي كما سيدرس تأثير مقاومة الوصلة تبعا للمتحولات الخمسة التالية:

- (a) القطر الداخلي للوتر السفلي
- (b) عدد البراغي المستخدمة
- (c) المسافة بين البراغي.

- (d) شكل الحلقة الفولاذية Washer من مسطحة (OW) لمنحنية (CW).
 (e) قطر الحلقة الفولاذية Washer الخارجي.

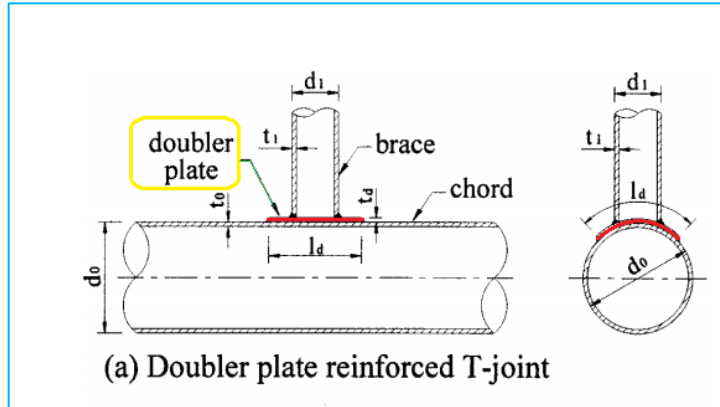
5-الدراسات السابقة:

5-1 إضافة صفيحة على الطرف العلوي للوتر:

تعتمد هذه الطريقة على لحم صفيحة فولاذية متساوية الابعاد (l_d) في منطقة التقاء عنصر التثبيت (brace) مع الوتر (chord)، وتنفذ حصراً في مرحلة التصنيع، وقد أجريت تحليلات FE لمحاكاة سلوك 12 اختباراً على وصلات مقواه بالصفيحة والتي قام بها الباحثون (2005) Choo et al. [3]

وكانت أهم النتائج:

- كلما زاد طول الصفيحة (l_d) كلما كانت النتائج أفضل من حيث التقوية ضد الضغط المحوري على عنصر التثبيت.
- كلما زادت نسبة قطر الوتر إلى سماكته (t_0/d_0) كلما أعطت مقاومة أقل ضد الضغط المحوري المطبق على عنصر التثبيت.



الشكل (10) : التقوية بإضافة صفائح اضافية [3]

5-2 تقوية مقطع الوتر وعنق التثبيت بـ (FRP):

تم تطوير هذه الطريقة مؤخرًا لتقوية وصلات الاوتار باستخدام ألياف FRP الملفوفة خارجياً ، عيوب هذه الطريقة هي التكلفة العالية وحيث يستخدم الايبوكسي لربط ألياف FRP إلى الفولاذ ، كما أنه غير منتظم حيث أنه ليس من السهل لف ألياف FRP حول الوصلة ، لقد اكتسبت مواد FRP لتعزيز وإصلاح الهياكل القائمة قبولاً سريعاً في جميع أنحاء العالم منذ تطوير هذه الطريقة في الثمانينيات وزادت بشكل ملحوظ خلال العقد الماضي ، فهي خفيفة الوزن ، متفوقة من حيث نسبة القوة إلى الوزن ، قابلة للالتفاف حول الوصلة بمرونة عالية، السهولة والتطبيق في المناطق التي قد يكون فيها استخدام المواد التقليدية صعباً بسبب المتانة أو الوزن أو عدم إمكانية تنفيذ الطريقة بشكل ملائم للوصلة، قام الباحثون (Lesani et al (2013 بعمل تجارب على هذه التقنية [7].

وكانت أهم النتائج:

- تحسن في سلوك الوصلات المقواة بـ FRP حيث تم تخفيف حالة الإجهاد والتشوه حتى 50% من الوصلة بدون تقوية.
- تم الحفاظ على ما يقرب من 60% من الحمل النهائي، حدث انهيار ضغط الألياف عند 80% تقريباً من الحمل النهائي تُظهر هذه القيم أن اليف الـ FRP متماسكة بشكل جيد مع الفولاذ في حالة التحميل.
- منع وجود الاليف ظهور التشوه البيضوي حتى الوصول للحمل النهائي.



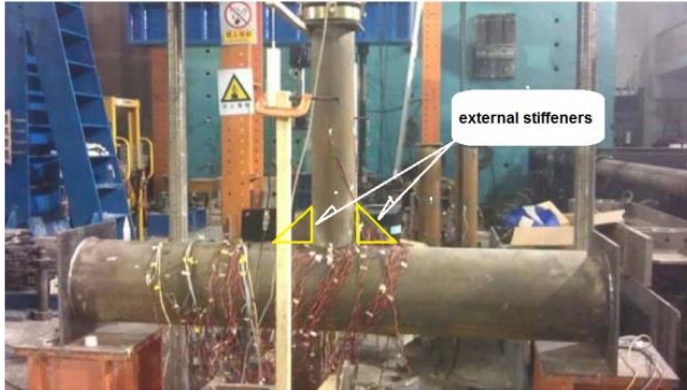
الشكل (11) : التقوية بألياف FRP [7]

3-5 تقوية مقاطع (CHS) باستخدام مدعّمات شاقوليه خارجيه:

أجرى الباحثون (2014) Zhu et al. تجارب على وصلة T لمقاطع (CHS) مع تقويتها بمدعّمات ملحومة على عنصر التريبط والوتر اعتمادا على شكل المقاطع المجوفة ويمكن أن تكون أشكال المدعّمات مثلث أو شبه منحرف أو متعدد الأضلاع ويمكن اعتماد هذه الطريقة في تقوية الهيكل في مرحلة التنفيذ أو في مرحلة التصميم [11].

وكانت أهم النتائج:

- ازادت قوة الوصلة بشكل ملحوظ مع زيادة حجم المقطع المشكل للمدعّمات .

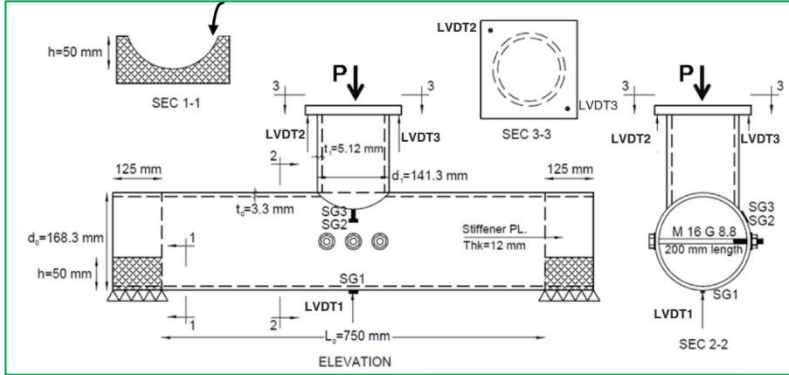
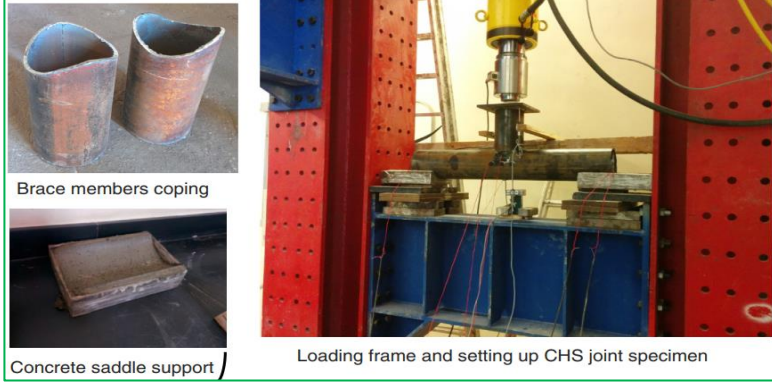


الشكل (12) : التقوية بالمدعّمات الشاقولية [11]

4-5 تقوية مقاطع (CHS) باستخدام البراغي:

درس الباحثون (2017) Iskander et al تقوية الوصلات T للعناصر الفولاذية الدائرية المجوفة (CHS) ضد التحنيب نتيجة ضغط عنصر التريبط باستخدام البراغي ، وهي من أحدث الدراسات في هذا المجال والتي سيعتمدها البحث بشكل

رئيسي، فقد احتوت التجربة على ست عينات بأعداد ومسافات مختلفة من البراغي، كما تم الحفاظ على المقطع نفسه حيث أختير الوتر كمقطع دائري مفرغ (CHS) حيث كان طوله (mm 1000) بقطر خارجي (mm 168.3) وبسماكة ثابتة (mm 3.3) ونسبة القطر إلى السماكة $\gamma = \frac{d_0}{2t_0}$ هي (25.5)، وكان طول استناد كل طرف من أطراف الوتر (mm 125) وتم تدعيم طرفي الاستناد بلحم صفيحة فولاذية بسماكة (mm 12) لتجنب أي عملية انهيار بسبب تأثير القوة المركزة عند المسند، كما اختير عنصر التثبيت من المقاطع الدائرية المفرغة (CHS) و بطول (mm 250) وقطره الخارجي (mm 141.3) وسماكته (mm 5.12)، أختيرت سماكة عنصر التثبيت أكبر من سماكة عنصر الوتر وذلك لتجنب حدوث التحنيب في عنصر التثبيت وبالتالي اخذ نتائج دقيقه للعينات كما تم لحم صفيحة فولاذية أفقية على الفتحة العلوية لعنصر التثبيت بسماكة (mm 12) وذلك لتوزيع الحمولة بشكل متساو على المقطع العرضي لعنصر التثبيت، وتم ربط عنصر الوتر مع عنصر التثبيت عن طريق اللحام الكهربائي (ERW) من قبل ورشه ميكانيكية ذات خبره، يوضح الشكل (4) أبعاد العناصر وإطار التحميل، يوضح الشكل (5) مواصفات المادة للوتر وعنصر التثبيت والبراغي حيث أن متوسط اجهاد السيلاان للوتر (MPa 20 ± 364) ومتوسط اجهاد السيلاان لعنصر التثبيت (MPa 25 ± 465) ومتوسط اجهاد السيلاان للبراغي (MPa 11 ± 851) ،وصُفَّت البراغي في صف أفقي واحد متوضع على منتصف الوتر والبرغي الاوسط يكون عند نقطة التقاء محور الوتر مع محور عنصر التثبيت، وهي عالية المقاومة بماركة (8.8) بطول (mm 200) بقطر (mm 16) ورأس البرغي بقطر (mm 30) وبسماكة (mm 3) حيث لمساحة سطح رأس البرغي مساهمة كبيرة في دعم جدار الوتر [5].



الشكل (13) : التقوية بالبراغي [5]

وكانت أهم النتائج:

يوضح الجدول (1) نتائج التجربة حيث يدل العمود الاول على رمز العينة وهو من الشكل (Type-N-S) حيث Type يبين إذا كانت العينة مدعمة أم لا و N تمثل عدد البراغي المستخدمة في التدعيم و S تمثل المسافة بين البراغي مثل (C-0-000) عينة غير مدعمة ، (S-2-050) عينة مدعمة ببرغيين على مسافة 50 mm (كما هو مبين في العمود الثالث من الجدول 1) ، أما العمود الرابع من

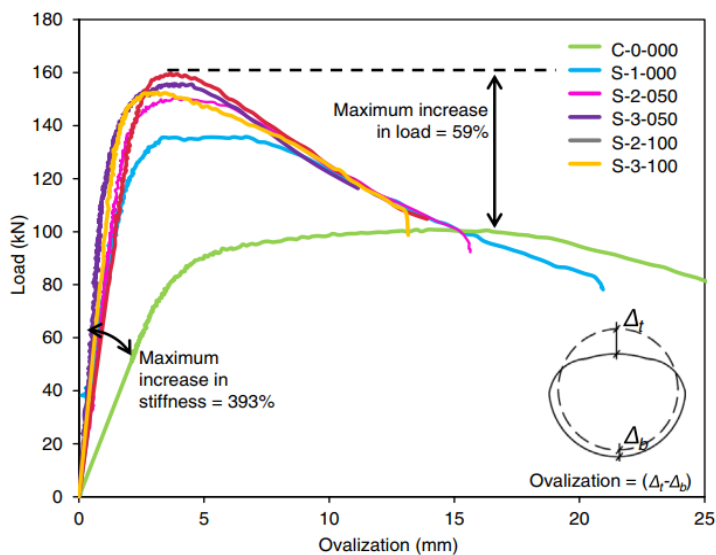
الجدول (1) فيه القوة المطبقة على عنصر التثبيت وصولاً إلى الانهيار في التجربة (P_EXP)، والعمود الخامس فيه نسبة زيادة المقاومة الناتجة عن التدعيم (Strength gain %) والعمود السادس فيه القساوة الناتجة عن التدعيم ضد التشوه البيضوي (Stiffness) والعمود الأخير فيه نسبة زيادة القساوة الناتجة عن التدعيم ضد التشوه البيضوي إلى المقاومة في حالة بدون تدعيم (Stiffness gain %).

- اظهرت التجربة أن استخدام برغي واحد يعطي زيادة مقاومة للوتر بنسبة (35%) وهو زيادة كبيرة مقارنة بالكلفة والوزن المضاف، أما أفضل نسبة زيادة مقاومة (59%) فهي عند العينة (S-2-100) الحاوية تقوية ببرغيين ومسافة قدرها (100 mm) بين البرغيين.
- البراغي الموزعة على مسافات صغيرة تزيد من القدرة المشتركة للبراغي مع الوتر بشرط ألا تتجاوز المسافة الاجمالية
- التي يوضع البراغي فيها عن طول المنطقة الوترية المتأثرة بالتشوه البيضوي .
- البراغي الموزعة على مسافات كبيرة التي اجمالي طولها يزيد عن طول المنطقة الوترية المتأثرة بالتشوه البيضوي تتناسب قدرتها المشتركة عكساً مع سماكة عنصر الوتر المدروس.
- بينت هذه الدراسة أن استخدام براغي بعدد فردي يعطي قدرة أكبر من العدد الزوجي .
- بينت هذه الدراسة أنّ البرغي المركزي له المساهمة الاكبر في زيادة المقاومة.
- نسبة القوى المستخدمة في البراغي ذات القطر (16 mm) هي في نطاق 19 % من قدرة البرغي القصوى، لذلك ، أصغر البراغي من حيث القطر قد توفر الحل الفعال والاقتصادي للتقوية المقترحة.

Configurations and results of tested specimens.

Specimen ID	Number of bolts	Spacing (mm)	P_{Exp} (kN)	Strength gain (%)	Stiffness (kN/mm)	Stiffness gain %
C-0-000	N/A	-	100.8	-	24.3	-
S-1-000	1	-	135.8	34.7	82.7	240
S-2-050	2	50	150.4	49.2	76.9	216
S-2-100	2	100	159.8	58.5	68.8	183
S-3-050	3	50	155.7	54.4	119.9	393
S-3-100	3	100	152.6	51.4	94	286

الجدول (1) نتائج التجارب على العينات (Iskander et al(2017) [5]



6- الدراسة التحليلية:

6-1- خصائص النماذج المدروسة:

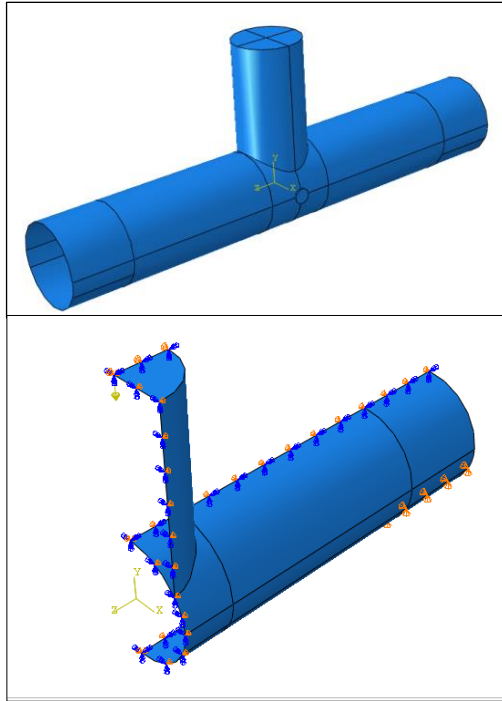
النموذج متناظر في المستوي (XY) وأيضاً متناظر في المستوي (ZY) فتم تحليل الربع نموذج بوضع استناد على المستوي (XY) والمستوي (ZY) يأخذ التناظر بعين الاعتبار بحيث يستطيع النموذج محاكاة التجربة الحقيقية من حيث توزع الاجهادات و شكل التشوه و حمولة الانهيار الشكل (11) و تمت النمذجة باستخدام برنامج ABAQUS بنفس شروط الاستناد و الارتباط والحمولات المطبقة و بنفس مواصفات المواد المستخدمة وسلوكها في مرحلة المرونة واللدونة.

والتحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة Using Structural Analysis (Finite Element Method (FEM)، والعناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج الأباقوس 6.21 Elements Used in The Model Using Abaqus 6.21 ، فقد تم استخدام العنصر S4R لنمذجة العناصر الفولاذية الصفائحية (Shell element) وهو عنصر مساحي ذو أربع عقد لكل منها ست درجات حرية (ثلاث انتقالات وثلاث دورانات) كما في الشكل (9) وللبراغي تم استخدام C3D8R لنمذجة العناصر الصلبة (Solid) وهو عنصر ثلاثي الابعاد ذو ستة وجوه وبثمان عقد لكل عقدة ست درجات حرية (ثلاث انتقالات وثلاث دورانات) كما في الشكل (10) والرمز R للدلالة على تخفيض نقاط غاوس إلى نقطة واحدة. تم تطبيق قوة ضاغطة مركزة (Concentrated Force) في أعلى العمود وفق المحور (Z)،

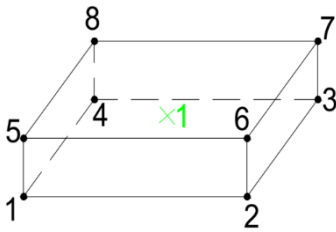
لتأمين الاتصال بين سطوح عناصر النموذج المشكل (البراغي، جسم الوتر) تم اختيار الخصائص التالية:

حيث تم اعتماد قيمة معامل الاحتكاك مساوية للقيمة 0.8 Tangential Behavior

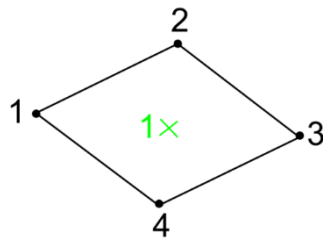
.Normal Behavior (Hard Contact)



الشكل (15) : نموذج للوصلة موضحاً عليها شروط الاستناد [1]



الشكل (17) العنصر C3D8R المستخدم في النمذجة عناصر من نوع Solid [1]



الشكل (16) العنصر S4R المستخدم في النمذجة عناصر من نوع Shell [1]

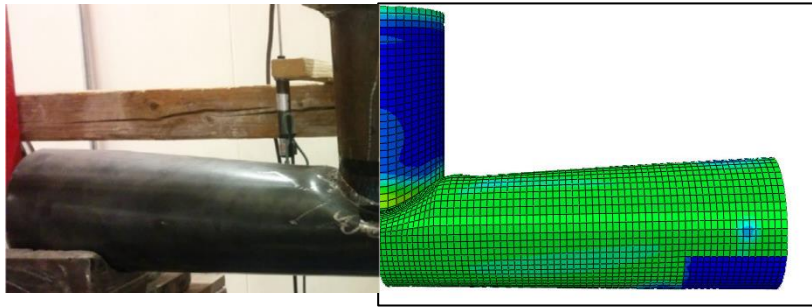
6-2-نتائج التحليل:

تم عمل نمذجة عددية لعيانات التجربة على برنامج اباكوس فحصلنا على نتائج مقارنة جداً لنتائج التجربة من حيث حمولة الانهيار بعد التدعيم والقساوة الحاصلة عليها العينات من التدعيم وأيضا شكل التشوه الحاصل للعينات كما هو موضح:

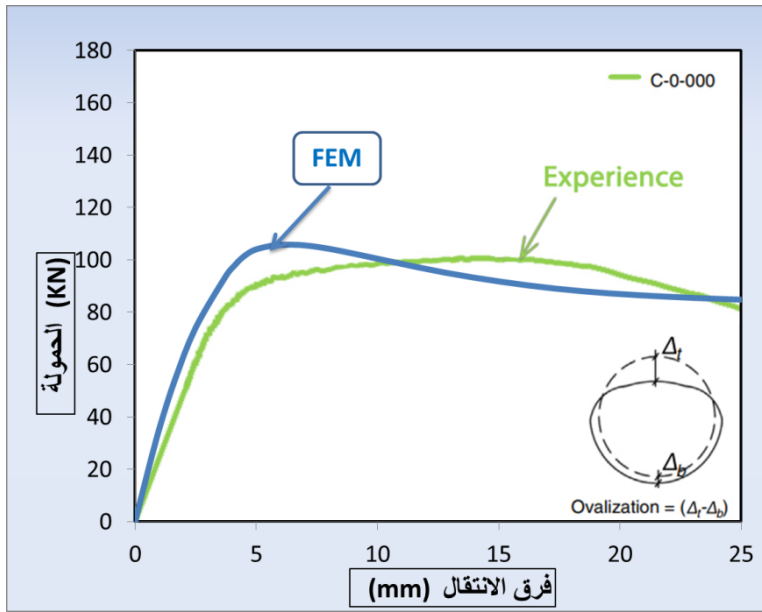
رمز العينة Type-N-Spacing	المقاومة			القساوة		
	P_{EXP} (KN)	P_{FEM} (KN)	P_{EXP}/P_{FEM}	K_{EXP} (KN/mm)	K_{FEM} (KN/mm)	K_{FEM}/K_{EXP}
C-0-000	100.8	105.73	1.049	24.31	28.08	1.15508
S-1-000	135.8	136.2	1.002	82.66	89.6	1.083958
S-2-050	150.4	147.59	0.981	76.9	90.99	1.183225
S-2-100	159.8	148.995	0.932	68.83	110.69	1.608165
S-3-050	155.7	160.7	1.032	119.88	146.35	1.220804
S-3-100	152.6	161.13	1.056	93.95	150.6	1.6562

الجدول (2) نتائج التجارب على العينات بعد النمذجة

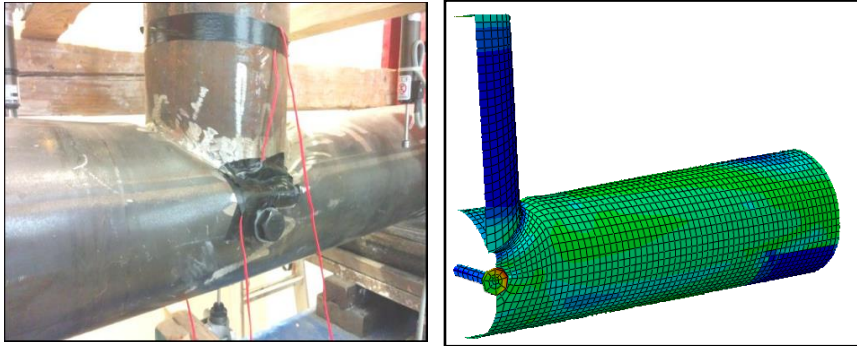
6-2-1 نمذجة العينة الغير مدعمة (C-0-000):



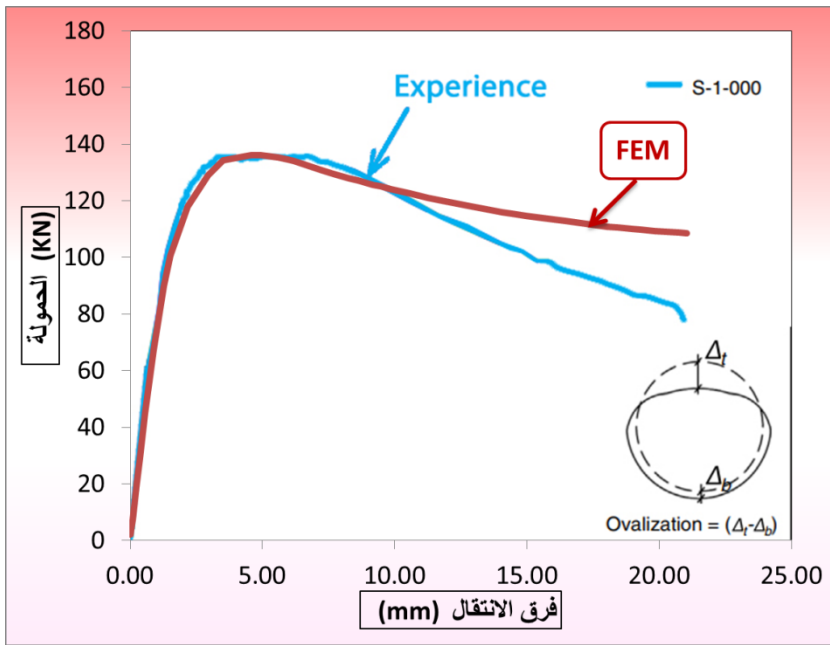
الشكل (18) مقارنة العينة الغير مدعمة في حالة التجربة والنمذجة



2-2-6 نمذجة العينة المدعمة ببرغي واحد (C-1-000):

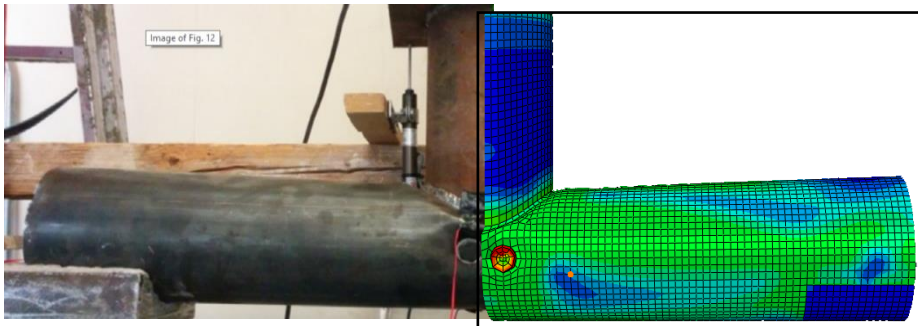


الشكل (20) مقارنة العينة المدعمة ببرغي واحد في حالة التجربة والنمذجة

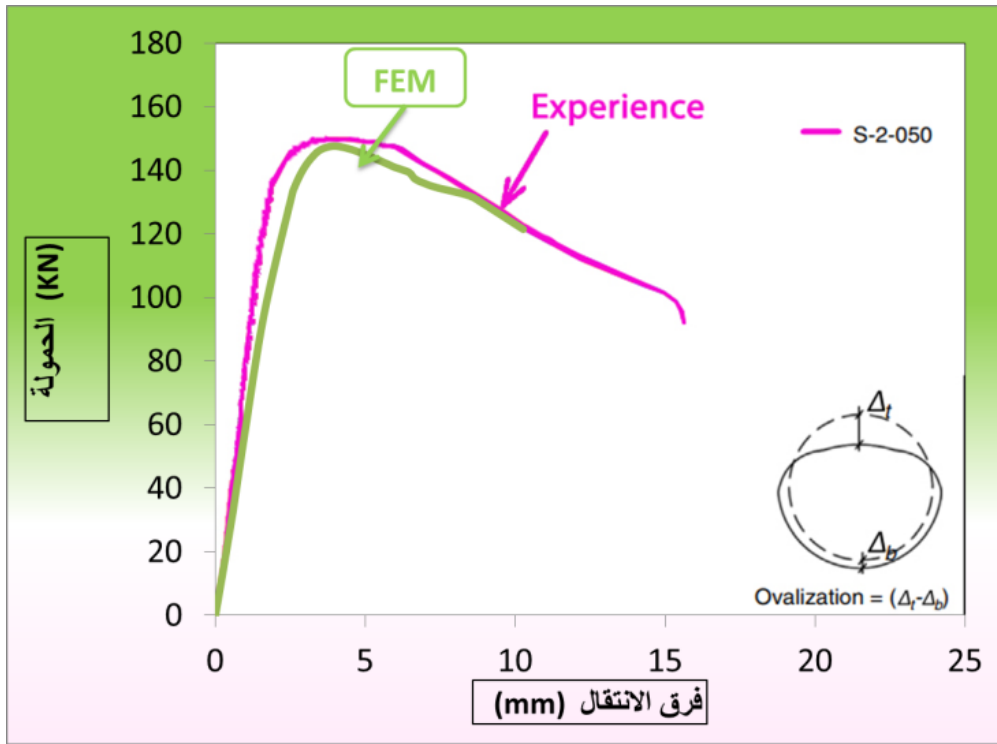


الشكل (21) مطابقة منحنيات العينة المدعمة ببرغي واحد في التجربة والنمذجة

3-2-6 نمذجة العينة المدعمة ببرغيين بتباعد 50 mm (C-2-050):

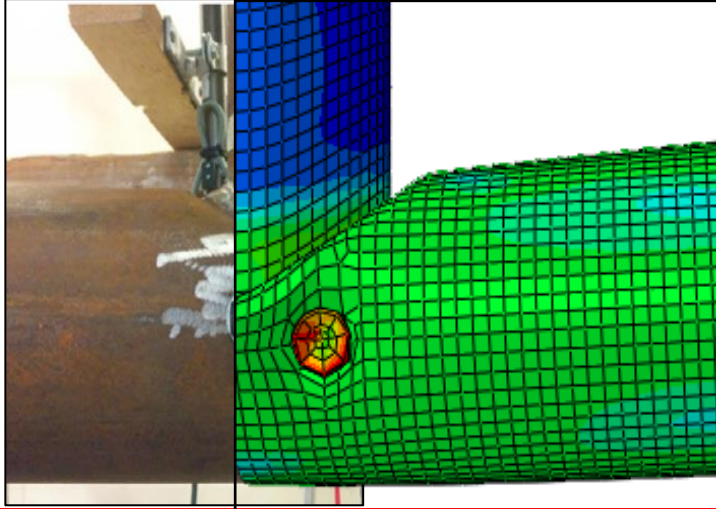


الشكل (22) مقارنة العينة المدعمة ببرغيين بتباعد بينهما 50 mm في حالة التجربة والنمذجة

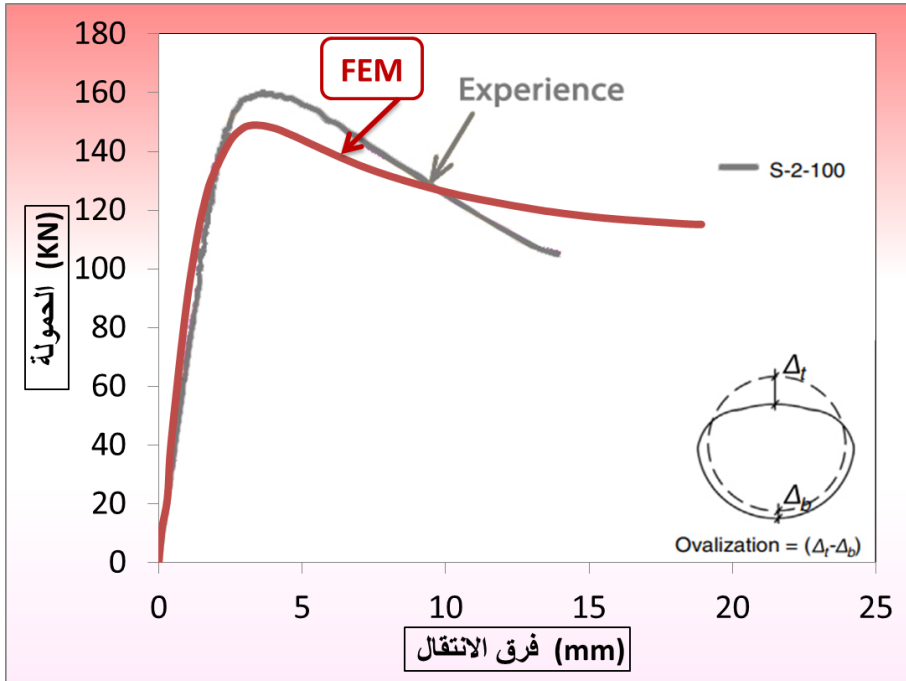


الشكل (23) مطابقة منحنيات العينة المدعمة ببرغيين بتباعد 50 mm في التجربة والنمذجة

4-2-6 نمذجة العينة المدعمة ببرغيين بتباعد 100 mm (C-2-100):

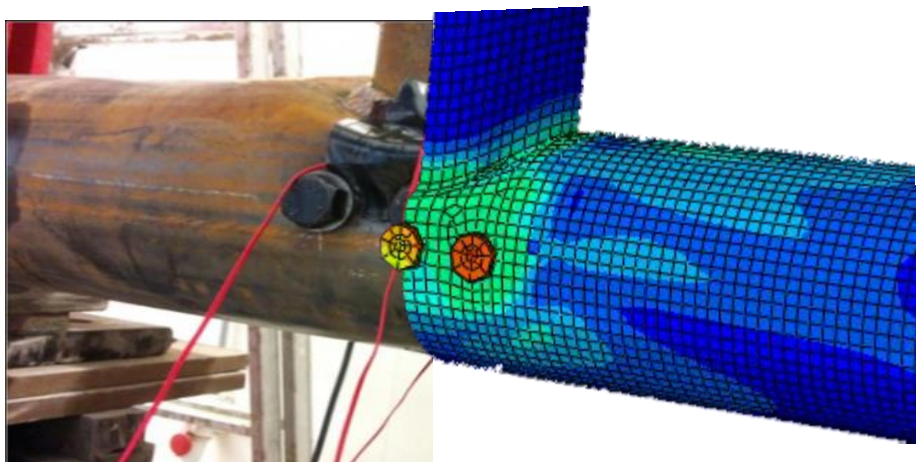


الشكل (24) مقارنة العينة المدعمة ببرغيين بتباعد بينهما 100 mm في حالة التجربة والنمذجة

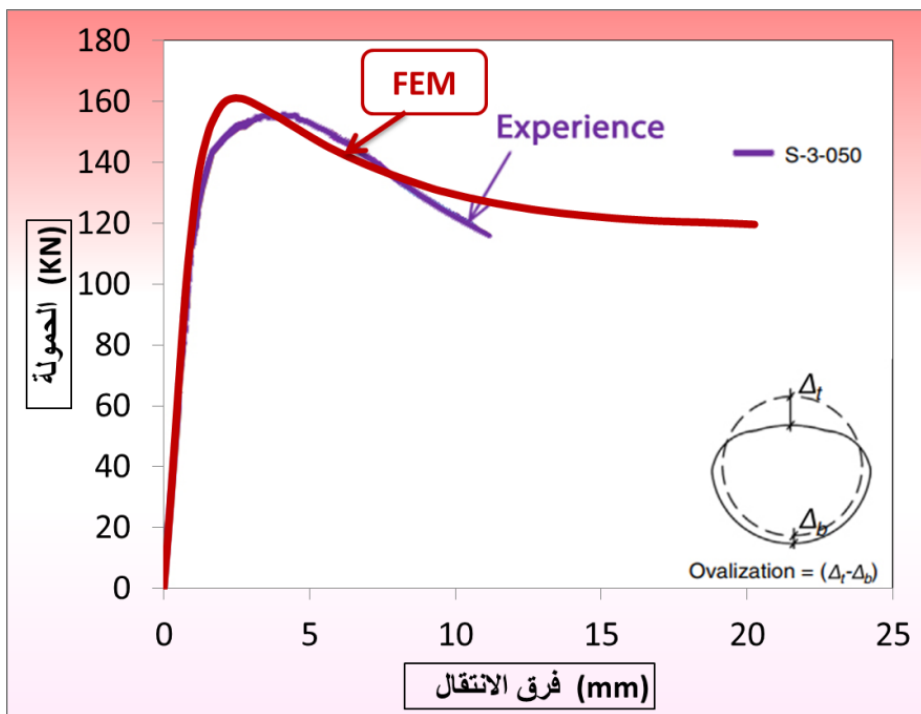


الشكل (25) مطابقة منحنيات العينة المدعمة ببرغيين بتباعد 100 mm في التجربة والنمذجة

5-2-6 نمذجة العينة المدعمة بثلاث براغي بتباعد mm50 (C-3-050):

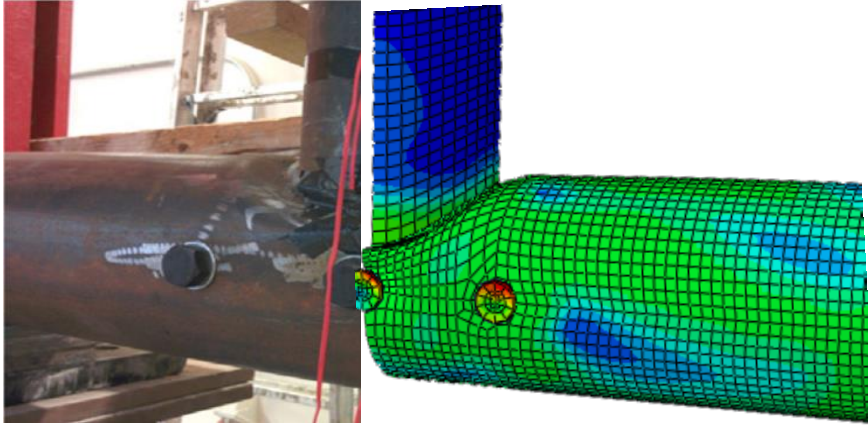


الشكل (26) مقارنة العينة المدعمة بثلاث براغي بتباعد بينهما 50 mm في حالة التجربة والنمذجة

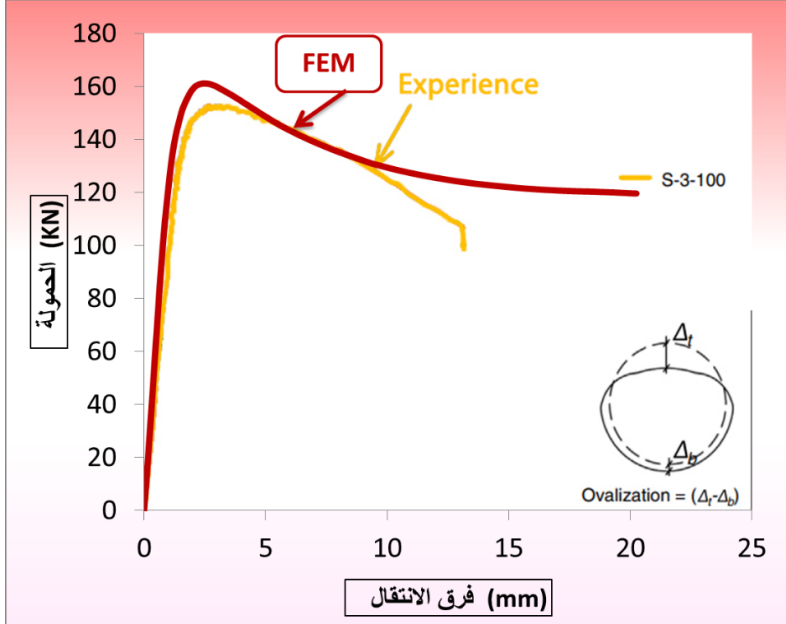


الشكل (27) مطابقة منحنيات العينة المدعمة بثلاث براغي بتباعد 50 mm في التجربة والنمذجة

6-2-6 نمذجة العينة المدعمة بثلاث براغي بتباعد mm100 (C-3-100):



الشكل (28) مقارنة العينة المدعمة بثلاث براغي بتباعد بينهما mm 100 في حالة التجربة والنمذجة



الشكل (29) مطابقة منحنيات العينة المدعمة بثلاث براغي بتباعد mm 100 في التجربة والنمذجة

7- الدراسة البارومترية:

7-1- تأثير تغير المسافة بين البراغي مع تغيير عدد البراغي:

تم أخذ مسافات بين البراغي مغايرة للمسافات الموجودة في التجربة والتي ستكون (40mm ,80mm ,120mm ,160mm) وهي تمثل نسبة من قطر الوتر على الترتيب (1/4,1/2,3/4,1/1) مع الحفاظ على مواصفات المادة وعدد البراغي وسماكة الوتر

7-1-1: في حال التدعيم برغيين

بعد نمذجة العينات وفق المسافات المقترحة أعلاه تبين أنه عند وضع برغيين على مسافة الـ (80 mm) تعطي زيادة في مقاومة الوتر بنسبة (46.67 %) وبزيادة نسبة قساوة للوتر (402 %) والنتائج موضحة بالجدول رقم (3):

رمز العينة T-Type-N-Spacing	عدد البراغي	المسافة بين البراغي	P _{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القساوة	نسبة زيادة القساوة
3.3-C-0-000	0	0	105.73	0	28.08	0
3.3-S-1-000	1	0	136.2	28.81	89.6	211
3.3-S-2-040	2	40	145.55	37.66	131.36	367
3.3-S-2-080	2	80	155.08	46.67	140.98	402
3.3-S-2-120	2	120	147.44	39.67	135.11	380
3.3-S-2-160	2	160	146.66	38.71	133.47	373

الجدول (3) نتائج النمذجة لبرغيين على مسافات (40 ,80 ,120 ,160) mm

7-1-2: في حال التدعيم بثلاث براغي:

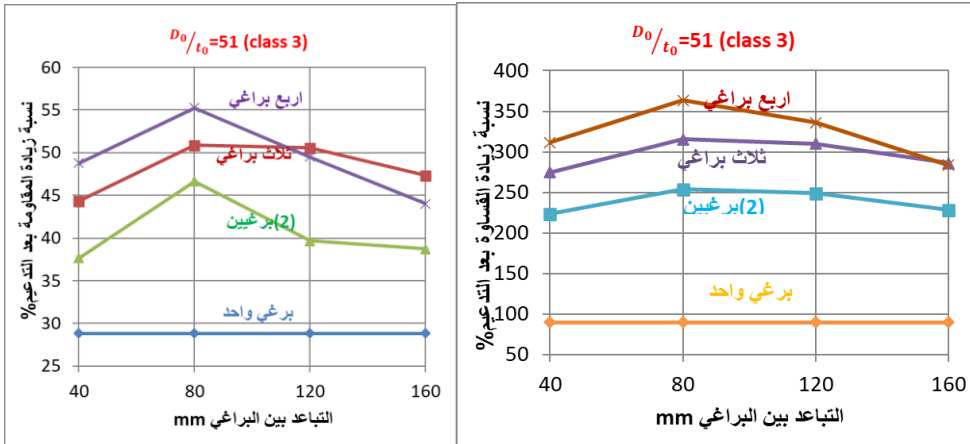
رمز العينة T-Type-N-Spacing	عدد البراغي	المسافة بين البراغي	P_{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القساوة	نسبة زيادة القساوة
3.3-C-0-000	0	0	105.73	0	28.08	0
3.3-S-1-000	1	0	136.2	28.81	89.6	211
3.3-S-3-040	3	40	152.61	44.33	152.6	443
3.3-S-3-080	3	80	159.54	50.89	168.88	501
3.3-S-3-120	3	120	159.18	50.55	166.7	493
3.3-S-3-160	3	160	155.78	47.33	156.99	459

الجدول (4) نتائج النمذجة لثلاث براغي على مسافات (40, 80, 120, 160) mm

7-1-3: في حال التدعيم بأربع براغي

رمز العينة T-Type-N-Spacing	عدد الواغي	المسافة بين الواغي	P_{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القساوة	نسبة زيادة القساوة
3.3-C0-000	0	0	105.73	0	40.64	0
3.3-S1-000	1	0	136.2	28.82	108.095	165.98
3.3-S4-040	4	40	157.31	48.78	167.35	311.79
3.3-S4-080	4	80	164.13	55.24	188.43	363.66
3.3-S4-120	4	120	158.04	49.48	177.174	335.96
3.3-S4-160	4	160	152.27	44.02	156.01	283.88

الجدول (5) نتائج النمذجة لأربع براغي على مسافات (40, 80, 120, 160) mm



الشكل (30) نسبة المقاومة والقساوة المكتسبة من تدعيم الوتر ذو السماكة (3.3 mm) بالنسبة للمسافات التالية (40mm , 80mm , 120mm , 160mm)

7-2- تأثير تغيير سماكة الوتر على البارامترات الاخرى:

تم اختيار سماكة (2.8مم و 4 مم) وهي اقل من سماكة عنصر التثبيت لكي لا يحدث تحنيب موضعي بعنصر التثبيت قبل انهيار الوتر.

7-2-1 تأثير تغيير سماكة الوتر عند سماكة (2.8 mm):

رقم العينة T-Type-N-Spacing	عدد الواغي	المسافة بين الواغي	P _{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القساوة	نسبة زيادة القساوة
2.8-C-0-000	0	0	79.26	0	26.87	0
2.8-S-1-000	1	0	102.94	29.88	76.25	183.77
2.8-S-2-040	2	40	105.55	33.17	87.885	227.07
2.8-S-2-080	2	80	111.15	40.23	94.67	252.33
2.8-S-2-120	2	120	110.58	39.52	94.513	251.74
2.8-S-2-160	2	160	112.23	41.60	93.44	247.75

الجدول (7) نتائج النمذجة لبرغيين بسماكة وتر 2.8 مم على مسافات 40mm ,80mm ,120mm ,160mm

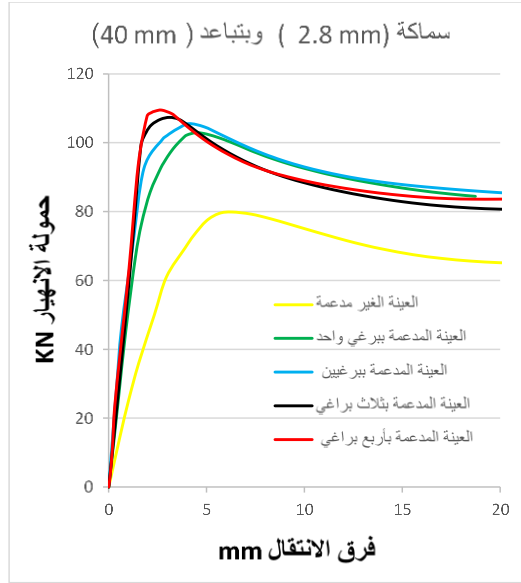
رقم العينة T-Type-N-Spacing	عدد الواغي	المسافة بين الواغي	P _{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القساوة	نسبة زيادة القساوة
2.8-C-0-000	0	0	79.26	0	26.87	0
2.8-S-1-000	1	0	102.94	29.88	76.25	183.77
2.8-S-3-040	3	40	107.33	35.42	97.37	262.37
2.8-S-3-080	3	80	116.24	46.66	110.48	311.16
2.8-S-3-120	3	120	116.52	47.01	111.69	315.67
2.8-S-3-160	3	160	114.44	44.39	107.85	301.38

الجدول (8) نتائج النمذجة لعينة مدعمة بثلاث براغي بسماكة وتر 2.8 مم على مسافات 40mm ,80mm ,120mm ,160mm

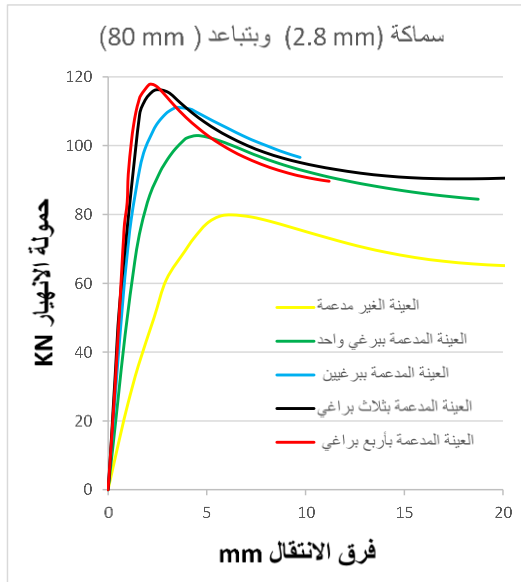
تدعيم الوصلات الفولاذية المفرغة ذات الشكل T بالبراغي ضد التشوه الناتج عن ضغط عنصر التثبيت

رِفْر العينة T-Type-N-Spacing	عدد الواغي	المسافة بين الواغي	P _{FEM} (kN)	نسبة زيادة المقاومة	القساوة	نسبة زيادة القساوة
2.8-C-0-000	0	0	79.26	0	26.87	0
2.8-S-1-000	1	0	102.94	29.88	76.25	183.77
2.8-S-4-040	4	40	109.44	38.08	105.43	292.37
2.8-S-4-080	4	80	117.79	48.61	121.433	351.93
2.8-S-4-120	4	120	116.2	46.61	116.06	331.93
2.8-S-4-160	4	160	113.96	43.78	106.49	296.32

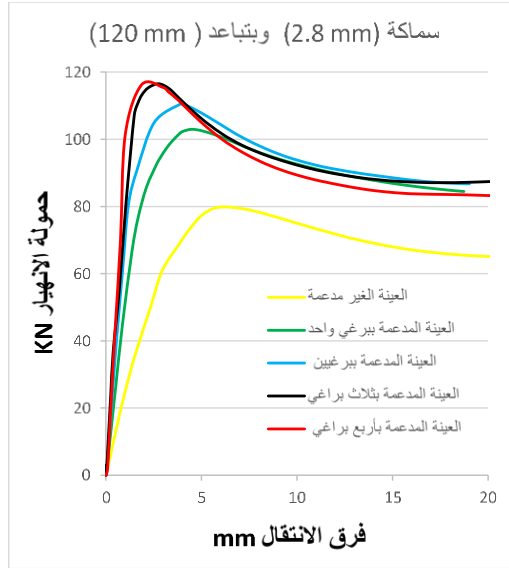
الجدول (9) نتائج النمذجة لعينة مدعمة بأربع براغي بسماكة وتر 2.8 مم على مسافات
(40mm ,80mm ,120mm ,160mm)



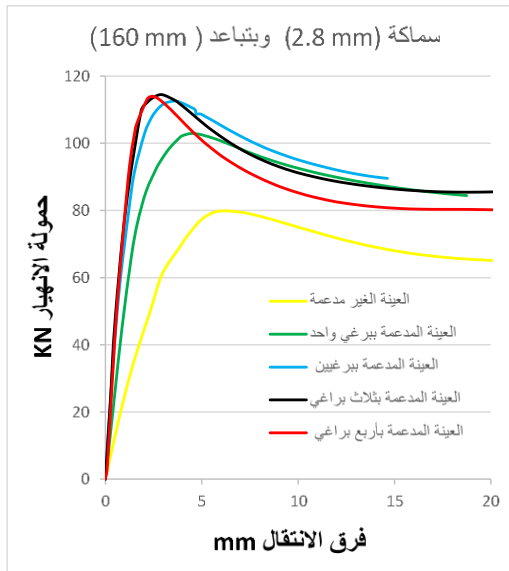
الشكل 31 منحنى (الحمولة - فرق انتقال الوتر) لعينة مدعمة ببراعي عدد (1,2,3,4) على مسافة (40mm)



الشكل 32 منحنى (الحمولة - فرق انتقال الوتر) لعينة مدعمة ببراعي عدد (1,2,3,4) على مسافة (80 mm)



الشكل (3.3) منحنى (الحمول - فرق انتقال الوتر) لعينة مدعمة ببراعي عدد (1,2,3,4) على مسافة (120mm)



الشكل (3.4) منحنى (الحمول - فرق انتقال الوتر) لعينة مدعمة ببراعي عدد (1,2,3,4) على مسافة (160 mm)

7-2-2 تأثير تغيير سماكة الوتر عند سماكة (4 mm):

رقم العينة T-Type-N-Spacing	عدد الواغي	المسافة بين الواغي	P _{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القسوة	نسبة زيادة القسوة
4-C0-000	0	0	146.78	0	61.15	0
4-S1-000	1	0	188.64	28.52	155.9	154.95
4-S2-040	2	40	194.89	32.78	185.96	204.10
4-S2-080	2	80	200.88	36.86	205.6	236.22
4-S2-120	2	120	193.87	32.08	200.90	228.54
4-S2-160	2	160	190.4	29.72	187.78	207.08

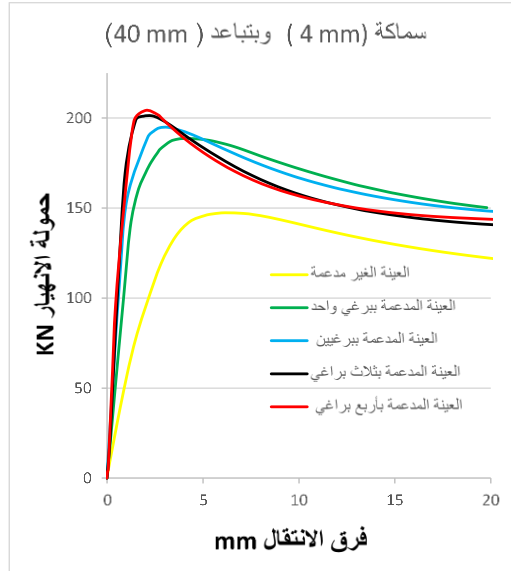
الجدول (10) نتائج النمذجة لعينة مدعمة ببرغيين بسماكة وتر 4 مم على مسافات 40mm
(,80mm ,120mm ,160mm)

رقم العينة T-Type-N-Spacing	عدد الواغي	المسافة بين الواغي	P _{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القسوة	نسبة زيادة القسوة
4-C0-000	0	0	146.78	0	61.15	0
4-S1-000	1	0	188.64	28.52	155.9	154.95
4-S3-040	3	40	201.33	37.16	212.37	247.29
4-S3-080	3	80	207.74	41.53	237.9	289.04
4-S3-120	3	120	205.89	40.27	233.96	282.60
4-S3-160	3	160	204.81	39.54	218.36	257.09

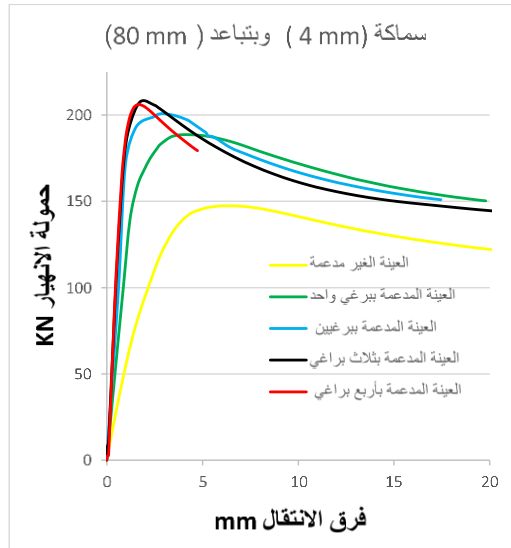
الجدول (11) نتائج النمذجة لعينة مدعمة بثلاث براغي بسماكة وتر 4 مم على مسافات
(40mm ,80mm ,120mm ,160mm)

رقم العينة T-Type-N-Spacing	عدد الواغي	المسافة بين الواغي	P _{FEM} (KN)	نسبة زيادة المقاومة	القسوة	نسبة زيادة القسوة
4-C0-000	0	0	146.78	0	61.15	0
4-S1-000	1	0	188.64	28.52	155.9	154.95
4-S4-040	4	40	204.21	39.13	240.16	292.74
4-S4-080	4	80	206.12	40.43	259.92	325.05
4-S4-120	4	120	201.89	37.55	240.34	293.03
4-S4-160	4	160	193.46	31.80	211.66	246.13

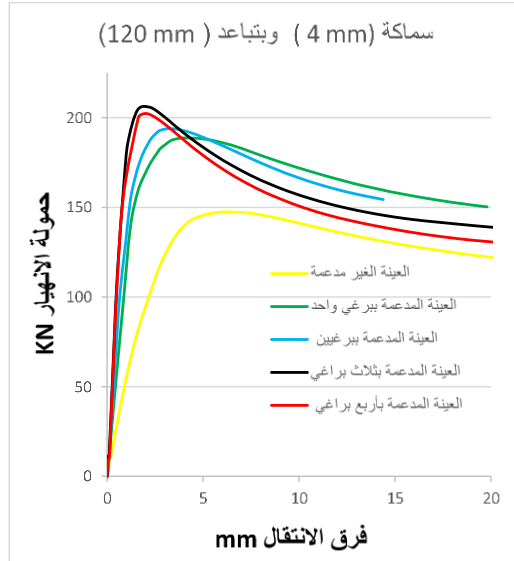
الجدول (12) نتائج النمذجة لعينة مدعمة بأربع براغي بسماكة وتر 4 مم على مسافات
(40mm ,80mm ,120mm ,160mm)



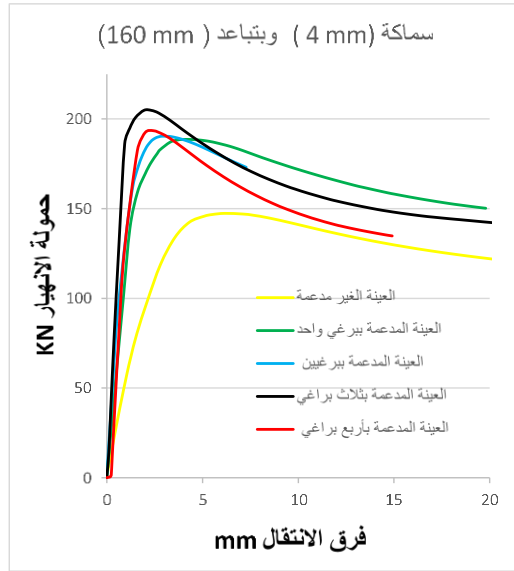
الشكل 35 منحنى (الحمول - فرق انتقال الوتر) لعيونة مدعمة ببراعي عدد (1:2:3:4) على مسافة (40mm)



الشكل 36 منحنى (الحمول - فرق انتقال الوتر) لعيونة مدعمة ببراعي عدد (1:2:3:4) على مسافة (80 mm)



الشكل 37 منحنى (الحمولة - فرق انتقال الوتر) لعينة مدعمة ببراعي عدد (1,2,3,4) على مسافة (120mm)



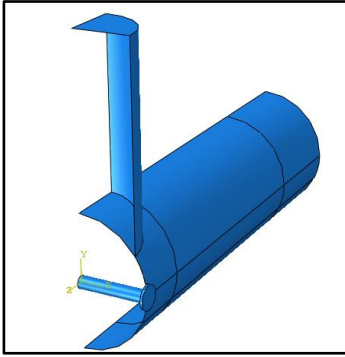
الشكل 38 منحنى (الحمولة - فرق انتقال الوتر) لعينة مدعمة ببراعي عدد (1,2,3,4) على مسافة (160 mm)

7-3- تأثير تغيير شكل الحلقة الفولاذية (Washer) وتغيير قطرها:

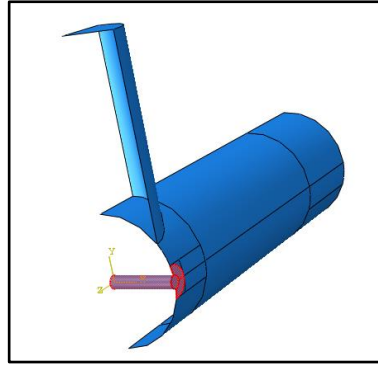
تم اخذ عينات مدعمة ببرغي مع حلقة فولاذية مسطحة (OW) بقطر 30mm وبسماكة 3mm التي تم دراستها سابقاً وذات العينات تم تدعيمها ببرغي مع حلقة فولاذية منحنية (CW) بنفس القطر والسماكة، ومن ثم تغيير القطر الخارجي للحلقة بأقطار (40mm, 50mm, 60mm).

7-3-1 تأثير تغيير شكل الحلقة الفولاذية (Washer):

بعد نمذجة العينة وتعديل شكل رأس البرغي على برنامج Abaqus/CAE 2021 HF5.1.5.2 تبين أنه الشكل المنحني لرأس البرغي اعطى زيادة في مقاومة الوتر بنسبة (10 %) عن العينة المدعمة ببرغي ذو رأس مسطح كما هو موضح بالجدول رقم (8):



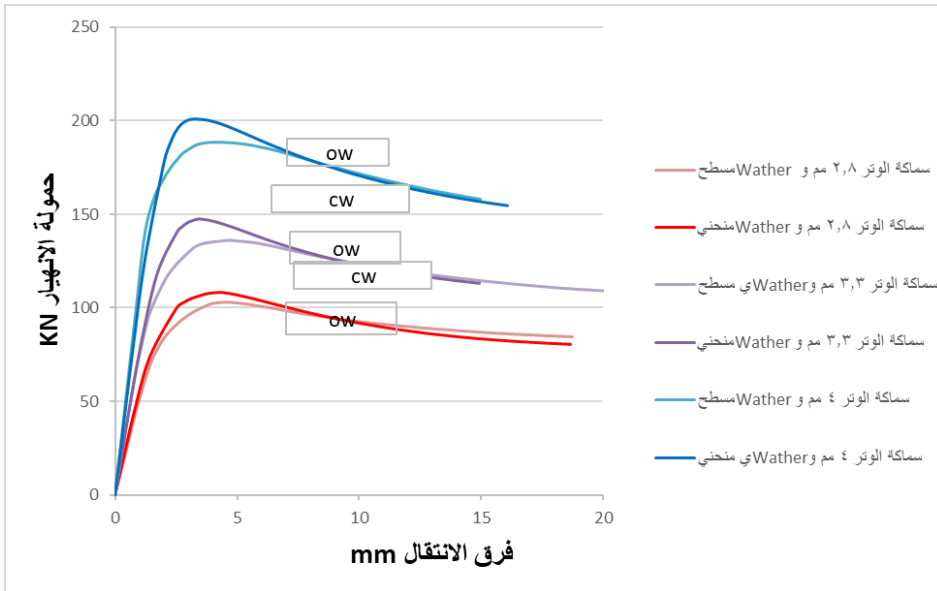
الشكل (40) عينة مدعمة
بـ (Washer) مسطح



الشكل (39) عينة مدعمة بـ
(Washer) منحني

رمز العينة T-Type-N- Spacing	عدد البراغي	شكل الـ washer	قطر الـ washer	حمولة الانهيار	نسبة زيادة المقاومة
2.8-S-1-000	1	OW	30 mm	102.94	29.81
2.8-S-1-000		CW	30 mm	107.99	36.61
3.3-S-1-000	1	OW	30 mm	136.2	28.81
3.3-S-1-000		CW	30 mm	147.36	39.27
4-S-1-000	1	OW	30 mm	188.64	28.51
4-S-1-000		CW	30 mm	201.05	36.97

الجدول (13) نتائج النمذجة لعينة برغى مع Washer بقطر 30 mm



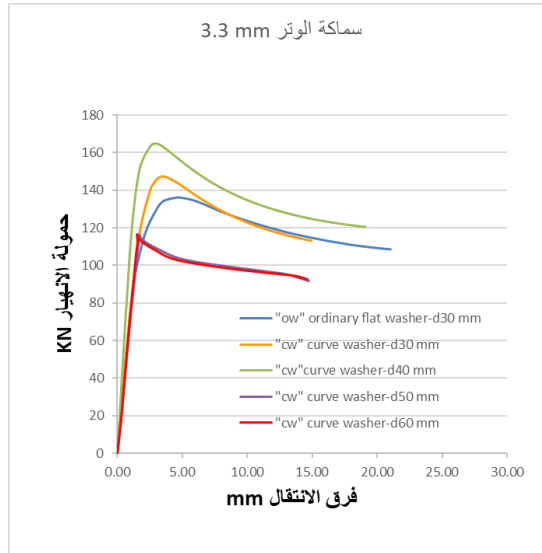
الشكل (41) نسبة القساوة المكتسبة من تدعيم الوتر ذو السماكة (2.8, 3.3, 4)
Washer منحنية ذات قطر 30mm

7-3-2 تأثير تغيير قطر الحلقة الفولاذية (Washer):

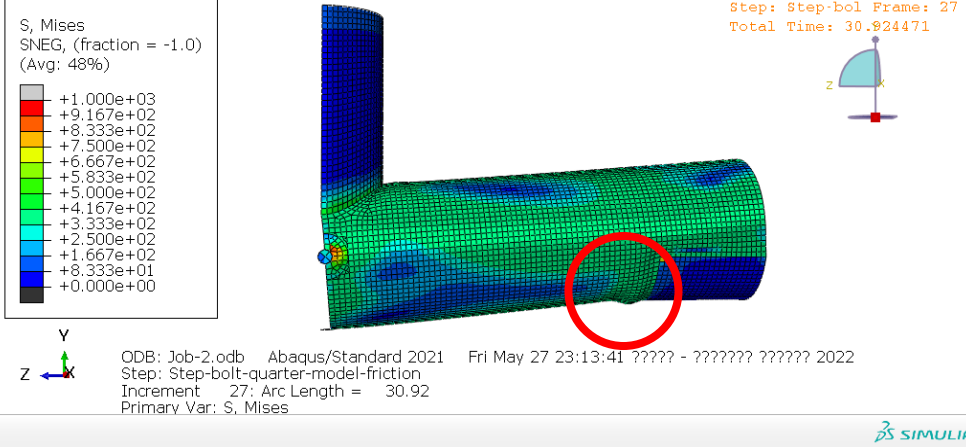
عند تغيير القطر لـ 40 mm تبين انه تزداد مقاومة الوصلة لـ 55.87% عن العينة الغير مدعمة وبالنسبة للعينات المدعمة ببراعي بقطر 50 mm و 60 mm فإن نسبة زيادة المقاومة تصل لـ 10.33% كحد اقصى وذلك لحدوث انهيار بالوتر عند مناطق الاستناد.

رمز العينة	عدد البراعي	شكل الـ washer	قطر الـ washer	حمولة الانهيار	نسبة زيادة المقاومة
T-Type-N- Spacing					
3.3-S-1-000	1	CW	30 mm	136.2	39.27
3.3-S-1-000		CW	40 mm	164.81	55.87
3.3-S-1-000		CW	50 mm	116.41	10.10
3.3-S-1-000		CW	60 mm	116.66	10.33

الجدول (14) نتائج النمذجة لعينة مدعمة ببراعي و Washer منحنى باقطار 40 mm , 50 mm , 60 mm



الشكل (42) منحنيات حمولة - انتقال لعينات بسماكة وتر (3.3 مم) مدعمة ببراعي و Washer منحنى باقطار 40 mm , 50 mm , 60 mm



الشكل (43) شكل انهيار الوصلة عن المسند تم نمذجتها على برنامج

Abaqus/CAE 2021 HF5.1.5.2

8-الاستنتاجات:

- عند التدعيم ببرغي واحد للوتر وصلنا لنسبة زيادة في المقاومة حتى 28% وزيادة قساوة حتى ضعفين وذلك لأن مكان البرغي تم تعيينه عند نقطة التقاء محور الوتر مع محور عنصر التريبط وهذه المنطقة هي اكثر منطقة يحدث فيها تشوه بتأثير بالحمولة المطبقة على عنصر التريبط.
- عند التدعيم على مسافات مختلفة تبين أنه في حال التوزيع على مسافة (80 mm) بين البراغي حصلنا على اعلى مقاومة وقساوة للوصلة والتي تمثل نسبة (0.5) من قطر الوتر، السبب أن التوزيع على هذه المسافة اعطى مثالية للتدعيم حيث بحالة التدعيم ببرغيين نجد زاوية ميول عن محور وجه عنصر التريبط تساوي (16°) نحو الداخل وبحالة التدعيم بثلاث براغي نجد أن زاوية ميول عن محور وجه عنصر التريبط تساوي

- (16°) نحو الخارج وبحالة التدعيم بأربع براغي هنا توزع البراغي يغطي طول المنطقة الوترية المتشوهة بشكل كامل ولا يتجاوزها حيث طول المنطقة الوترية المتشوهة يعادل ضعف طول قطر عنصر التثبيت ($L1=2d1$)
- عند التدعيم على مسافة الـ (40 mm) والتي تعادل نسبة ربع قطر الوتر وبعده البراغي الاعظمي (4) هنا المسافة لا تغطي كامل المنطقة الوترية المتشوهة وبذلك سوف نحتاج لعدد اكبر من براغي التدعيم فبذلك لا تكون اقتصادية.
- عند التدعيم على مسافة الـ (120 mm) بعدد براغي (4) أو التدعيم على مسافة (160 mm) بثلاث براغي فما فوق هنا لا جدوى من زيادة عدد البراغي لأن المسافة التي تغطيها البراغي بالتدعيم تتجاوز مسافة المنطقة الوترية المتشوهة.
- تغيير سماكة الوتر لم يؤثر على توزيع البراغي ضمن المسافات المحددة بالتجربة أو على عدد البراغي إنما بقي المسيطر في اعلى نسبة مقاومة هو النمط (T-S-4-080) ، فقط تغيرت نسبة المقاومة بتناسب طردي مع السماكة.
- عند تغيير شكل الـ (Washer) إلى شكل منحي بدلاً من المسطح نحصل على نسبة زيادة في المقاومة تصل لـ (39.27%) والسبب يعود لزيادة سطح البرغي الملامس لسطح الوتر كونه منحي فيعطي زيادة في المقاومة.
- عند زيادة القطر الخارجي للـ (Washer) تبين انه يعطي زيادة بالمقاومة تضاهي أعلى زيادة التي حصلنا عليها من التدعيم سابقاً وهي عند T-S-4-080، وذلك لزيادة سطح الملامس للوتر فالعلاقة طردية بين المساحة المنحنية للـ (Wather) والوتر.

9-التوصيات:

نقترح التوصيات التالية لأبحاث مستقبلية:

1- دراسة تأثير تغير نسبة β التي تمثل القطر الخارجي لعنصر التريبط إلى القطر

$$\beta = \frac{d1}{D_0} \text{ الخارجي للوتر}$$

2- تطوير منهجية حسابية تمكننا من معرفة قدرة التحمل التي يضيفها كل برغي

في التدعيم انطلاقاً من علاقة حساب حمولة الانهيار للوصلات الدائرية

المجوفة الموجودة في الكود الأوربي

Eurocode 3 Design of steel structures Pa

3- العمل على إيجاد علاقة حسابية تمكن من الحصول على افضل تباعد بين

$$\beta = \frac{d1}{D_0} \text{ البراغي متعلة بنسبة}$$

4- دراسة أثر التدعيم بالبراغي على وصلات أخرى مثل وصلات من النوع (K) او

(N) لانتشارها أيضاً في تصاميم المنشآت الفولاذية.

10-المراجع:

- [1] Abaqus/CAE 2021 HF5.1.5.2. Dassault Systèmes Simulia Corp, Providence, RI, USA.
- [2] Aguilera, J. and Shaat, A. (2012) "Fam Strengthening T-joints of rectangular hollow steel sections against web buckling under brace axial compression using through-wall bolts", Thin-Walled Struct, (56 ,7, 71–78).
- [3] Choo, Y.and van der Vegte, G.and Liang, J.and Zettlemoyer, N.andLiew, R. (2005) "Static strength of T-joints reinforced with doubler or collar plates" , Numerical simulations, J. Struct. Eng, (131 , 1, 129–138).
- [4] EN 1993–1–8 (2005): Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–8: Design of joints: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- [5] Iskander, M.and Shaat, A.and Sayed–Ahmed, E.and and Soliman, E.(2017) "Strengthening CHS T-joints subjected to brace axial compression using through-bolts" ,Journal of Constructional Steel Research, (128, 555–566).
- [6] Lee, M., & Llewelyn–Parry, A. (1999), "Strength of ring stiffened tubular Tjoints in offshore structures". Journal of ,Constructional Steel Research 51, 239–264.
- [7] Lesani, M.and Bahaari,M.and Shokrieh, M.(2013) "Numerical investigation of FRP strengthened tubular T–Joints under axial compressive loads", Compos Struct,(100, 71–8).

- [8] Madhava,A.and Rao and, T.and Santhakumar,A.(1999)" Analytical and experimental investigations on internally ring stiffened steel tubular joints", Fatigue and fracture in steel and concrete structures,(715-728).
- [9] Wardenier, J., Packer, J.A., Zhao, X.-L., Vegte, G.J. (2010), "Hollow Sections in Structural Applications" ISBN 978-90-72830-86-9.
- [10] Weynand,k.and Jaspart,J.P.(2014) " Design of Steel Buildings, Eurocodes Background and Applications",European Commission,ECCS,Brussels,Belgium.
- [11] Zhu, L. and Zhao, Y. and Huang,S. and Ban, L. (2014) " Numerical analysis of the axial strength of CHS Tjoints reinforced with external stiffeners", J.Thin-Walled Struct,(85,481-488).

