الاستجابة الهيكلية لوصلة ربط مشفهة والمربوطة بالبراغي تحت تأثير عوامل متعددة

سعد احمد يونس الدباغ
ماجستير هندسة ميكانيكية/ ميكانيك تطبيقي

الدكتور رافع خليل البزاز/ استاذ مساعد
كلية الهندسة – الهندسة الميكانيكي

المستخلص

يقدم هذا البحث التحليل الهيكلي لوصلة ربط بالبرغي مسبقة التحميل من مادة الفولاذ. تتألف هذه الوصلة من جزأين ، يمثل كل جزء شكلا" هيكليا" يشبه حرف L ويرتبطان مع بعضهما بواسطة برغي منفرد من الفولاذ ، يتألف كل جزء من مقطع عمودي مثبت باللحام الزاوي على المقطع الافقي(الشفة) ، والشكل الهيكلي تحت تأثير قوة شد أحادية على النهاية العليا لوصلة الربط بينما تكون النهاية السفلى مثبتة. اجريت دراسة عملية على وصلة الربط لحساب تأثير بعض العوامل في استجابة هذه الوصلة ، وهذه العوامل تشمل تأثير الحمل المسبق للبرغي ، وقطر الفلكة الخارجي ، ونوع مادة الفلكة(فولاذ او براص) . تم تسجيل استجابة الوصلة على شكل ازاحة النهاية الحرة والإزاحة بين حافتي وصلة الربط وكذلك تم تسجيل الانفعالات على سطح الوصلة باستخدام تقنية مجسات الانفعال ، حيث تم لصق خمسة مجسات ثنائية على مناطق مختلفة من سطح وصلة الربط. وقد اظهرت النتائج العملية لوصلة الربط تحت تأثير الحمل الخارجي ان الاجهاد الرئيس الاقصى المحسوب باستخدام تقنية التحليل بالعنصر المحدد وبرنامج (ANSYS) اقل من النتائج العملية وبفرق اقل من 10% وهي نسبة جيدة. أظهرت النتائج أن مقاومة وصلة الربط تكون أكبر ومع استخدام فلكة فولاذية قطرها 30mm وأن أفضل عزم شد للبرغي هو 164N.m والذي يمثل الحمل القياسي لوصلات الربط المؤقتة ويساوي 75%من حمل الضمان لمادة البرغي.

Structural Response of a Flanged Bolted Joint under the Effect of Various Parameters

Dr. Rafi Khalil Albazzaz — Assistant Professor / College of Engineering

Saad Ahmed Younis — Msc. Mechanical Engineering

Department of Mechanical engineering
Mousl University

Abstract

The present work describes the structural analysis performed on a preloaded bolted joint configuration. The joint modeled was comprised of two L-shaped structures connected together using a single bolt. Each L-shaped structure involved a vertical flat segment (or shell wall) welded to a horizontal segment (or flange) and the structural shape under Uniaxial tension load , loaded at upper end and fixed support from other end, Steel bolted joint has been used. Experimental investigation was carried out on bolted joint to determine the influence of several factors on the bolted-joint response. The factors considered included bolt preloaded , washer-surface size, washer material(steel or brass) . Joint response is reported in terms of displacements, gap opening, and surface strains or stress by using strain gages technique to measure and to distribute strains on joint surface. The experimental results were compared with analytical results by using finite element structure analysis technique (F.E) i.e. using (ANSYS) program. Results have been presented that the maximum principle stresses by FEM analysis are less than actual stresses (≤10%). the strength of bolted joint increase by using hard steel washer 30mm . The standard preload 75% from proof strength for bolt material is the optimum value . Most of the factors studied were determined to have minimal effect; however, the washer surface size affected the response significantly.

Keywords: Flanged bolted joint , Finite Element Method , ANSYS.

أستلم: 2-1-2013 **قبل: 5-5-2013**

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1: المقدمة

تعّد وصلات الربط من الاجزاء المهمة في تجميع وتركيب الهياكل و المعدات والماكنات وغيرها ، وتستخدم عادة البراغي ، البرشام ، اللحام او اللواصق في ربط اجزاء هذه الماكنات ووسائل النقل المختلفة والهياكل وأكثرها شيوعا واستخداما هي البراغي عندما يتطلب الامر فك الاجزاء او الوصلات عند الصيانة من اجل التبديل او التنظيف وغيرها [1] .يوجد نوعان من وصلات الربط :الوصلات الدائمة مثل الوصلات باللحام والوصلات بالبرشام ومن الصعوبة فك اجزاء هذه الوصلات بعد اتمام ربطها ، اما النوع الثاني فهي الوصلات المؤقتة كوصلات الربط بالبراغي ، وبالإمكان فتح اجزاء هذه الوصلة بعد ربطها. ان وصلات الربط بالبراغي أكثر شيوعا في الاستخدام ، وتصنف وصلات الربط بالبراغي اعتمادا على اتجاه الاحمال الخارجية او القوى المؤثرة في وصلة الربط ، فإذا كان اتجاه القوى موازياً لاتجاه محور البراغي تكون وصلة الربط تحت تأثير قوى الشد وتسمى وصلة شد ، أما اذا كان اتجاه القوى المؤثرة باتجاه عمودي على اتجاه محور البراغي فتكون وصلة الربط تحت تأثير قوى القص وتسمى وصلة قص وفي بعض الحالات تكون وصلات الربط واقعة تحت تأثير قوى الشد والقص[2]. وهناك عدة عوامل تؤثر على وصلات الربط منها: الحمل الاولي والحمل الخارجي او حمل التشغيل وسطح الفلكة (washer) ، وسمك الشفة ، ونوع معدن الشفة والبراغي والفلكات ونوع اسنان البرغي ، ونتيجة لتأثير تلك العوامل ولظروف التحميل العالية المختلفة وخاصة الاحمال العالية ممكن للوصلات المثبتة بالبراغي ان تنفصل عن بعضها البعض. ولمنع او تقليل هذا التأثير يتم تسليط حمل اولي على البراغي والوصلات وذلك بشد البراغي بعزم ذو قيمة معينة محسوبة مسبقا ، وتكون هذه القيمة اكبر من قيمة الحمل الخارجي المسلط على وصلة الربط لضمان عدم انفصال القطع المرتبطة مع بعض ، ويتم ذلك باستخدام اداة تسمى مقياس العزم (Torque meter) او أي وسيلة اخرى يمكن بواسطتها معرفة مقدار عزم الشد المسلط على البراغي .

1-1: الهدف من البحث

ان الهدف الرئيس من البحث هو دراسة تصرف وصلة ربط معدنية من مادة الفولاذ مشفهة تستخدم في الهياكل المعدنية ، وأجزاء المكائن وغيرها ، بحيث تكون تحت تأثير حمل الشد. وتتضمن هذه الدراسة معرفة توزيع الانفعالات والاجهادات على مناطق مختلفة ومحددة من الوصلة وذلك باستخدام التقنية العملية (مجسات الانفعال) ومقارنتها بالطريقة النظرية ومعرفة تأثير هذه الاحمال في تصرف هذه الوصلة وذلك بالقيام بإجراء المتغيرات وهي: مقدار الحمل المسبق على البراغي ، ومساحة سطح الفلكة المستخدمة (washer surface size)،ونوع مادة الفلكة ودراسة هذه المتغيرات وتأثيرها على مقدار الازاحة بين طرفي الوصلة عند تسليط احمال مختلفة، وتقارن النتائج العملية مع النتائج التحليلية باستخدام البرنامج (ANSYS 12.1) ، ويشمل التحليل أيضا ايجاد أفضل تصميم لوصلة ربط ببرغي وبحمل مسبق تعمل بشكل آمن تحت تأثير هذه العوامل ودراسة سلوك هذه الوصلة .

ان سلوك وموثوقية وصلات الربط بالبراغي تتأثر وبشكل واضح بمستوى واستقرارية قوة التثبيت في وصلة الربط والتي تنتج عن التحكم بعزم الشد للحصول على الحمل المسبق المطلوب للبراغي ، وان العلاقة التي تربط العزم مع الشد تتأثر وبشكل واضح بعدد من العوامل ، لذلك يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار جميع العوامل التي تؤثر على مستوى واستقرار قوة تثبيت الوصلة ، وأدناه بعض الدراسات العملية والنظرية التي درست هذه المؤثرات.

قام الباحث (Norman 2008)[3] بدراسة تأثير التحميل المسبق على سلوك وصلة ربط مشفهة وباستخدام تحليل العنصر المحدد ، تتألف الوصلة من قطعتين مربوطة ببرغي واحد ، شكل القطعة يشبه حرف L. تم تثبيت النهاية السفلى للوصلة وتسليط حمل شد متغير على النهاية الحرة . وقد وجد الباحثون ان زيادة عزم الحمل المسبق المسلط على البرغي يسبب نقصان في ازاحة النهاية الحرة التي تكون سببا في وصول البرغي الى نقطة الخضوع الاولية . بينما كان تأثير زيادة الشد المسبق المسلط على البرغي اقل تأثيرا على قوة رد الفعل عند النهاية الثابتة للوصلة .

وقد لاحظ الباحث (Saman 2001)[4] عند دراسته تأثير اهمية الحمل المسبق للبرغي على وصلة ربط عادية تتألف من قطعتين مربوطة ببرغي واحد ، وتحت تأثير قوة شد خارجية بان تسليط حمل مسبق على البرغي بشكل صحيح مهم جداً للحصول على اداء عالي لوصلة الربط تحت تأثير الاحمال الخارجية ، وان معايرة الحمل المسبق للبرغي باستخدام عتلة الشد (Torque Wrench) طريقة غير موثوق فيها للحصول على حمل شد ملائم ، وكذلك فان شد البرغي الى نقطة الخضوع قد يسبب فشل الوصلة وان الحمل المسبق للبرغي الذي يصل الى قيمة 65% من حمل الخضوع يكون كافياً ضد ارتخاء الوصلة . وقد أجريت تجربة من الباحث (Hemmati 2008)[5] لحساب الحمل المسبق لوصلة ربط بسيطة مربوطة ببرغي واحد ومعرضة الى حمل الشد الخارجي وباستخدام عتلة الشد، فلاحظ الباحث أن الانفعال ألانضغاطي الذي يمثل الحمل المسبق تزداد بزيادة العزم المسلط من قبل عتلة الشد ، كما لاحظ الباحث تأثير استخدام المواد المنزلقة الموضوعة على اسنان البرغي وأثرها في زيادة الحمل المسبق لأن المادة المزلقة تسبب نقصان معامل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الاحتكاك وبالتالي نقصاناً في معامل العزم من 0.205 للأسنان الجافة الى 0.165 للأسنان المزلقة . اما الباحث (Sayed 2006)[6] فقد قام بدراسة تأثير ثلاث متغيرات غير بعدية في مقدار الخسارة في حمل التثبيت ، لوصلة ربط تحت تأثير حمل خارجي ، المتغير الاول يمثل نسبة صلابة الوصلة الى صلابة البرغي ، والثانية نسبة الشد المسبق للبرغي الى قيمة اجهاد الخضوع عند الحدود المرنة للبرغي ، والمتغير الثالث هو نسبة القوة اللازمة لفصل او فتح الوصلة الى القوة التي تسبب بدء انفتاح او انفصال الوصلة . ان تسليط حمل مسبق على البرغي أعلى من حد المرونة يسبب فقدان قوة التثبيت بين الوصلة بعد ازالة قوة الفصل (الحمل الخارجي) ، وان مقدار الخسارة في قوة التثبيت للوصلة تتناسب عكسياً مع نسبة صلابة الوصلة الى صلابة البرغي ، كما تتناسب طردياً مع قيمة قوة الفصل .

كما درس الباحث (Khashaba 2006)[7] تأثير عدة عوامل على وصلات ربط بالبراغي مصنوعة من الايبوكسي المقوى بالألياف ألزجاجية ، ومن هذه العوامل المؤثرة هو عزم الشد للبرغي وقطر الفلكة، وقد أظهرت النتائج التجريبية ان العلاقة بين الحمل والإزاحة (stiffness) تزداد مع نقصان قطر الفلكة عند تسليط عزم شد ثابت ، وعلى الرغم من أن قوة التثبيت للوصلة عند قطر الفلكة الاصغر تكون أعلى عند اختبارها عند نفس عزم الشد المسبق ، ولكن مقاومة التحمل لقوة القص كان اقل مقداراً .

اما الباحث (Norman2008)[3] فقد قام بدراسة تأثير سطح التحميل للفلكة على سلوك وصلة الربط وباستخدام التحليل بالعنصر المحدد ، وسطح التحميل للفلكة يمثل المساحة التي تؤثر فيها الفلكة على الوصلة وتقاس من حافة ثقب البرغي على الوصلة الى الخارج باتجاه الحافة الخارجية للفلكة ، لاحظ الباحث ان زيادة سطح التحميل للفلكة عند قيمة معينة من ازاحة النهاية الحرة يسبب زيادة واضحة في حمل البرغي وقوة رد الفعل عند النهاية الحرة ، ان استجابة وصلة الربط تظهر حساسية واضحة تجاه تغير مساحة سطح التحميل للفلكة.

2: الجانب النظري

يمكن تسليط الاحمال على وصلات الربط بعدة طرائق مختلفة ، كل منها تسبب تأثيرات فردية في وصلات الربط ، وهذه التأثيرات تنتج من طريقة تحميل هذه الوصلات ، فضلا عن كيفية استجابتها لهذه الأحمال المختلفة التي تشمل الشد ، والقص ، والانحناء . وإن نوع وصلة الربط بالبراغي تستمد اسمها من نوع الحمل الخارجي المسلط على الوصلة ، فوصلة الشد تتأثر بالأحمال التي تحاول سحب أجزاء الوصلة ، وأن جميع القوى المؤثرة في وصلة الربط وفي البراغي تكون موازية تقريبا لمحاور البراغي وتحاول سحب وفصل اجزاء الوصلة عن بعضها ، وإن حمل الشد مهما كان صغيراً فإنه سوف يزيد من الشد في البراغي ويخفف جزئيا من انضغاط وصلة الربط. لذلك فان تسليط عزم شد مناسب على البرغي ضروري جدا للوصول الى قوة التثبيت الكافية بين اجزاء الوصلة لمنع انفصالها عن بعض ، وبالإمكان حساب عزم الشد او للبرغي من المعادلة الاتية[8]:

$$T = kF_i d \qquad \ldots\ldots (1)$$

حيث يمثل d قطر البرغي الاسمي ، F_i حمل التثبيت او الحمل المسبق للبرغي ، k معامل الصامولة ، وتستخدم عادة قيمة $K = 0.2$ في حالة استخدام براغي نظيفة وجافة[9].

عند تسليط عزم شد على البرغي فان ذلك يؤدي الى انتشار الاجهاد والانفعال في البرغي وأجزاء وصلة الربط ، وسيكون البرغي تحت تأثير اجهاد الشد بينما تكون اجزاء وصلة الربط ولاسيما القريبة من البرغي تحت تأثير اجهاد الانضغاط.

ان اجهاد الشد المسبق بالبرغي فيمثل بالمعادلة الاتية[8]:

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_t} \qquad \ldots\ldots (2)$$

أما إجهاد الشد الناشئ في البرغي σ_b عند تسليط الحمل الخارجي فيمثل بالمعادلة الاتية[8]:

$$\sigma_b = C\frac{F_p}{A_t} + \sigma_i \qquad \ldots\ldots (3)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

حيث تمثل F_p الحمل الخارجي المسلط على وصلة الربط ، وتسمى C ثابت الصلابة للوصلة، أما A_t فتمثل مساحة مقطع البرغي المعرضة لإجهاد الشد
أما إجهاد الانحناء الناشئ في البرغي $\sigma_{bending}$ [2] :

$$\sigma_{bending} = \left[1 + (\frac{1}{C} - \frac{s}{e})\frac{L_G}{L_e}\frac{E_b}{E_J}\frac{e\pi d^3}{8A_J R_G^2}\right]\frac{CF_p}{A_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث تمثل e ، s :ابعاداً على وصلة الربط، وA_J: مساحة مقطع وصلة الربط وتساوي طول الوصلة في عرضها ، R_G:نصف قطر الدوران لوصلة الربط وتساوي(0.289d) ، حيث يمثل d طول الضلع الاكبر لوصلة الربط ، L_G:طول قبضة البرغي لوصلة الربط ، L_e **:** طول الاسنان المتشابكة للبرغي مع الصامولة ، وعادة يساوي قطر البرغي الاسمي ، E_b و E_j : معامل المرونة للبرغي والوصلة على الترتيب، وتمثل A_r : مساحة مقطع البرغي الثانوية .
وبذلك سيكون الاجهاد الكلي المسلط على جهة واحدة من البرغي يساوي مجموع إجهاد الحمل المسبق للبرغي والحمل الخارجي على الوصلة مضافا إليه إجهاد الانحناء ويمكن التعبير عنه بالمعادلة الاتية:

$$\sigma_t = \frac{CF_p + F_i}{A_t} + \left[1 + (\frac{1}{C} - \frac{s}{e})\frac{L_G}{L_e}\frac{E_b}{E_J}\frac{e\pi d^3}{8A_J R_G^2}\right]\frac{CF_p}{A_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

إن وصلات الربط المعرضة الى حمل خارجي على جهة واحدة من محور البرغي ، كما هو الحال في هذا البحث أكثر تعقيدا من الوصلات المعرضة الى حمل مباشر على محور البرغي او عندما يكون الحمل على جهتي البرغي ، وذلك بسبب تعرض الوصلة والبرغي الى احمال اضافية من أنواع أُخرى مثل حمل الانحناء ، ولذلك يلجا الباحثون والمصممون عادة الى طريقة العنصر المحدد في ايجاد توزيع الاجهادات والتعرف على سلوك وصلات الربط عند تعرضها للأحمال اللامركزية. ان نظرية العنصر المحدود لها سرعة عالية في الحل لأي منظومة معقدة لذلك فإن التوجه الحالي هو باتجاه استخدام هذه النظرية كأداة فعالة في التحليل الهيكلي وعليه فقد تم استخدام طريقة التحليل العددي وذلك باستخدام برنامج (ANSYS 12.1) كمُحَلِّلٍ للاجهادات على وصلة الربط ومقارنتها بالنتائج العملية التي تم الحصول عليها من مجسات الانفعال ، ويعد برنامج (ANSYS) من البرامج الحاسوبية التي تستخدم لتحليل وتصميم اجزاء الهياكل للمكائن والمعدات المختلفة .

3: الجزء العملي

3-1: تهيئة النماذج

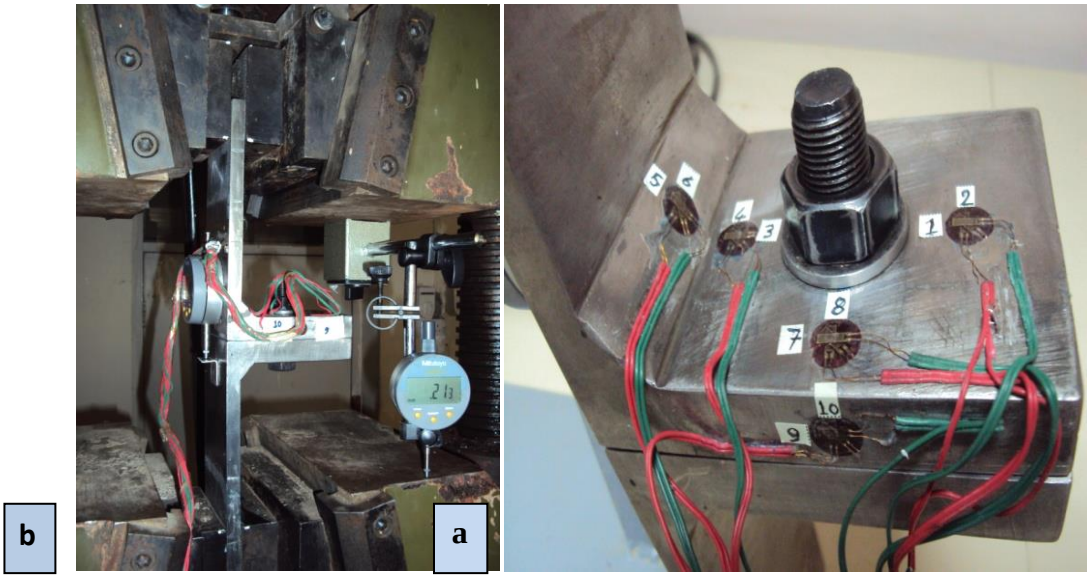
إن الوصلة المعدنية المستخدمة هي من الفولاذ الكربوني،هذه الوصلة تتألف من قطعتين متصلتين مع بعضهما بواسطة برغي واحد، كل قطعة على شكل حرفL وتتكون من شريحة مسطحة عمودية قياس(180mmx80mm) وسمك (12mm) ملحومة مع شريحة افقية قياسها (110mmx80mm) وسمك(20mm) وبزاوية قائمة بطريقة اللحام الزاوي(fillet weld) وتم عمل ثقب دائري للبرغي في القطعة ذات السمك 20mm وبقطر قياسي (17mm) ثم صقل وتنعيم القطعة ومنطقة اللحام من اجل تهيئتها للصق المجسات كما في الشكل(1-a). تم استخدام براغي من نوع (ISO Metric class 8.8) ، ذوات رأس سداسي الشكل، سن خشن (M16x2) ، كما تم استخدام فلكات من مادتي الفولاذ والبراص ، ذوات سمك (3mm) والقطر الداخلي لكافة الفلكات قياسي ويساوي(17mm)، اما القطر الخارجي فمتغير لثلاثة مستويات (24 , 30 , 36mm) لكلا النوعين .

3-2: فحص النماذج

نظراً لصعوبةِ التحليلِ النظري للتعرف على سلوك وصلة الربط تحت تأثير عدد من العوامل فقد أَصْبَحتْ الطرائق التجريبية مهمةً في حَلّ هذه المشكلة. بعد تهيئة وصلة الربط ولصق مجسات الانفعال في اماكن محددة تم اختبار حمل الشد على وصلة الربط باستخدام البراغي والفلكات بأنواعها المختلفة وتحت تأثير ثلاثة مستويات من حمل الشد الابتدائي للتعرف على تصرف وسلوك الوصلة حيث تم استخدام جهاز فحص الشد (WAW-1000 materials testing machine) سعة (1000 kN) في التجارب العملية لتسليط حمل الشد(أحادي المحور)على النهاية العليا للوصلة بينما

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تكون النهاية السفلى للوصلة مثبتة بواسطة ماسكة الجهاز السفلية وتم استخدام مقياس ازاحة رقمي(Digital dial gage) لقياس الفجوة(gap) الحاصلة بين شفتي الوصلة عند تسليط حمل الشد عليها كما مبين في الشكل (b-1).استخدمت مجسات الانفعال لقياس توزيع الانفعال على وصلة الربط ، وربطت هذه المجسات على جهاز مؤشر الانفعال (Bridge Amplifier and Meter) من نوع (BAM-1) لإظهار قيم الانفعالات المقاسة. حيث تم ربط هذه المجسات على جهاز وحدة التحول والموازنة (Switch and Balance unit) من نوع (SB-1) والذي يحتوي على عشر قنوات وربط هذا الجهاز مع جهاز مؤشر الانفعال حسب ما هو موجود في الدليل. ربطت هذه المجسات بطريقة نظام ربع القنطرة،وبهذا يكون لدينا عشرة مجسات (لأن لدينا خمسة مجسات ثنائية متعامدة) مربوطة على جهاز وحدة التحول والموازنة.وقبل اخذ القراءات تم تصفير كل من قيمة الحمل (من جهاز الشد) وقيمة الازاحة والفجوة (من مقياس الازاحة الرقمي) وكذلك كل قيم الانفعالات (من مجسات الانفعال). وبعد عملية تصفير كل قيم الانفعالات للمجسات الملصقة على وصلة الربط ، تم استخدام جهاز الشد لتحميل الوصلة ببطء بزيادة طفيفة لقيمة الحمل المسلط . ثم يتم ايقاف حمل الشد عند قيمة محددة(5,10,15,20,25 KN) وتم تسجيل هذه القيمة من جهاز فحص الشد وكذلك قيمة الازاحة للوصلة من مقياس الازاحة الرقمي وقيمة الفجوة بين الشفتين وكذلك تسجيل قيم كل الانفعالات من جهاز مؤشر الانفعال (BAM-1) . ان حمل الشد المسلط على وصلة الربط من قبل جهاز الشد يمثل الحمل الخارجي او الحمل التشغيلي للوصلة وان تأثير هذا الحمل مع حمل الشد الابتدائي الناتج عن عزم شد البرغي يجب ان يكون اقل من حمل الخضوع للوصلة لتلافي فشل الوصلة.



الشكل(1) :a- وصلة الربط وعليها خمسة مجسات ثنائية.

b- جهاز الشد (WPW-1000 Tensile machine) استخدم في التجربة العملية لشد وصلة الربط .

4: النتائج والمناقشة

ان النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب العملية التي أجريت خلال هذه الدراسة، وذلك عن طريق عرضها بشكل رسومات ومنحنيات بغية تسهيل دراستها وتحليلها كما سيتم مناقشة النتائج والتوصل إلى الاستنتاجات النهائية بشأنها. ولفهم مايحدث لوصلة الربط تحت تأثير حمل شد خارجي ، تم اعتماد مقدار الإزاحة او الفجوة بين حافتي وصلة الربط ، وكذلك توزيع الاجهادات على سطح هذه الوصلة كمؤشر لما يحدث لها تحت تأثير عوامل متغيرة وهي، نوع مادة الفلكة ، والقطر الخارجي الفلكة ، وتغير عزم شد البرغي . لذلك تم إيجاد قيمة الاجهاد الرئيس الاقصى بالطريقة العملية وذلك بوضع عشرة مجسات انفعال وتم مقارنة هذه القيم مع النتائج التي حصلنا عليها من طريقة العنصر المحدود (F.E) وذلك باستخدام برنامج (ANSYS12.1) ، حيث يقوم البرنامج بالحل بالتحليل العددي ويعرض توزيع الاجهادات على وصلة الربط والبرغي على شكل ألوان مختلفة ، يمثل كل لون مدى معيناً من قيمة الاجهاد تعرض الى جانب النموذج ، وبالإمكان اختيار نوع الاجهاد او التشوه الحاصل بالنموذج من جراء التحميل كما في الشكل (2).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4-1: تأثير نوع مادة الفلكة في وصلة الربط

تم فحص تأثير نوع مادة الفلكة في مايحدث لوصلة الربط باستخدام فلكات من مادة الفولاذ والبراص ، ومن رسم العلاقة بين الحمل الخارجي وإزاحة النهاية الحرة للوصلة عند حمل مسبق 164N.m وباستخدام فلكات ذوات اقطار مختلفة ومن مادتي الفولاذ والبراص وكما في الشكل(3). حيث نلاحظ أن ازاحة النهاية الحرة لوصلة الربط تكون اقل في حالة استخدام فلكة من الفولاذ لكون صلادة الفولاذ اعلى من صلادة البراص وان تأثير الحمل المسبق و قوة التثبيت لأجزاء الوصلة يكون اكبر في حالة استخدام الفلكة الفولاذية بينما يتبدد جزء من الحمل المسبق نتيجة انضغاط الفلكة من مادة البراص ، وتكون قوة التثبيت بين وصلة الربط اقل مما يسبب ازاحة اكبر لوصلة الربط . اما تأثير تغير نوع مادة الفلكة (فولاذ او براص) في توزيع الاجهادات على وصلة الربط ، ومن الشكل (4) الذي يمثل العلاقة بين الحمل الخارجي والإجهاد الرئيس الاقصى الناشئ عند المجس 3,4 ، وعند عزم الشد 164N.m ، وباستخدام فلكات من الفولاذ والبراص ، حيث نلاحظ ان اجهاد الضغط الناشئ في وصلة الربط يكون اقل في حالة استخدام الفلكة الفولاذية . وتظهر قيم الاجهاد التحليلية من استخدام برنامج ANSYS كما في الشكل (5) نفس التأثير مع ملاحظة ان قيم الاجهاد التحليلية اقل من قيم الاجهاد العملية وكما في الجدول(1).

الجدول (1): مقارنة بين القيم العملية والقيم التحليلية للإجهاد الرئيس الاقصى عند المجسات5 و 6 ، وعند عزم الشد164N.m، وباستخدام فلكة قطر 30mm وبرغي سن خشن.

	Max. Principal stress, MPa					
	Steel washer			Brass washer		
load (kN)	Experimental	Analytical (ANSYS)	Dev.%	Experimental	Analytical (ANSYS)	Dev.%
5	12.9	11.62	9.9	22.86	21.10	7.7
10	21.4	19.20	10.3	30.51	28.44	6.8
15	28.0	25.70	8.2	37.50	33.71	10.1
20	36.0	34.13	5.2	41.44	38.87	6.2
25	44.9	41.13	8.4	54.39	51.56	5.2

4-2: تأثير القطر الخارجي للفلكة في وصلة الربط

تم فحص تأثير تغيير القطر الخارجي للفلكة المستخدمة تحت رأس البرغي والصامولة فيما يحدث لوصلة الربط ، حيث تم استخدام فلكات بأقطار 24mm ، 30mm ، 36mm ، وتمثل الفلكة 30mm الحجم القياسي المستخدم عادة لوصلة الربط ، ومن خلال نتائج الفحص ورسم المنحنيات التي تمثل العلاقة بين ازاحة النهاية الحرة للوصلة مع حمل الشد الخارجي المسلط على وصلة الربط ، ومن الشكل (3) يلاحظ ان ازاحة النهاية الحرة للوصلة تكون متقاربة واقل عند الفلكة 30mm و36mm بينما تكون اكبر عند الفلكة 24mm ولكلتا المادتين ، لأن نقصان قطر الفلكة يسبب زيادة في الصلابة الكلية للوصلة ، ونقصاناً في ثابت الصلابة، وبالتالي زيادة القوة او الحمل الكلي المسلط على اجزاء وصلة الربط ، والذي يسبب زيادة في ازاحة النهاية الحرة وإزاحة طرفي الوصلة عن بعضهما.اما تأثير تغير قطر الفلكة المستخدم تحت رأس البرغي والصامولة في توزيع الاجهادات في وصلة الربط وفي مناطق وجود مجسات الانفعال ، فيمكن التعرف عليه من خلال الشكل (4) ، الذي يبين العلاقة بين الاجهاد الرئيس الاقصى والحمل الخارجي عند المجسات 3,4 ، مع عزم الشد 164N.m ، حيث نلاحظ زيادة اجهاد الانضغاط مع زيادة قطر الفلكة لنفس مادة الفلكة المستخدمة . بينما نلاحظ عند موقع المجسات 5,6 زيادة في اجهاد الشد مع نقصان قطر الفلكة وكما في الشكل (6)، وتظهر قيم الاجهاد التحليلية من استخدام برنامج ANSYS كما في الشكل (7) نفس التأثير مع ملاحظة ان قيم الاجهاد التحليلية اقل من قيم الاجهاد العملية وكما في الجدول(2).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الجدول (2): مقارنة بين القيم العملية والقيم التحليلية للإجهاد الرئيس الاقصى عند المجسات 5,6 ، وعند عزم الشد164N.m، وباستخدام فلكة فولاذية وبرغي سن خشن.

	Max. Principal stress, MPa								
	Washer dia.=24mm			Washer dia.=30mm			Washer dia.=36mm		
Load KN	Exp.	Ansys	Dev. %	Exp	Ansys	Dev. %	Exp.	Ansys	Dev. %
5	14.98	14.20	5.2	12.9	11.62	10.8	12.72	11.52	9.4
10	21.06	19.80	6.0	21.4	19.20	10.3	19.14	17.32	9.5
15	25.90	24.76	4.4	28.0	25.70	8.2	24.55	21.97	10.5
20	29.95	28.06	6.3	36.0	34.13	5.2	29.16	27.12	7.0
25	35.24	31.82	9.7	44.9	41.13	5.9	34.12	32.69	4.2

3-4: تأثير الحمل المسبق للبرغي في وصلة الربط

تم فحص وصلة الربط على ثلاثة مستويات من عزم شد أو الحمل المسبق على البرغي والذي يسبب قوة تثبيت اجزاء وصلة الربط وبنسبة 60% ، 75% ، 90% من حمل الضمان ، وتمثل النسبة 75% القيمة القياسية للحمل المسبق لوصلات الربط المؤقتة ، ومع تغير الحمل المسبق وتثبيت بقية المتغيرات تم رسم المخططات البيانية التي تمثل العلاقة بين ازاحة طرفي وصلة الربط او الفجوة الحاصلة بين طرفي الوصلة مع زيادة الحمل الخارجي من الصفر الى 25KN ، وكذلك العلاقة بين الاجهاد الرئيس لوصلة الربط مع تغير الحمل الخارجي المسلط على النهاية الحرة للوصلة ، في الشكل(8) الذي يمثل العلاقة بين الحمل الخارجي وإزاحة حافتي وصلة الربط عند الحمل المسبق وباستخدام فلكة فولاذية بقطر 30mm ، حيث نلاحظ من المنحنيات زيادة الازاحة او الفجوة مع زيادة الحمل الخارجي ، وان الازاحة تكون اعظم قيمة عند الحمل المسبق 131N.m ، وتقل هذه القيمة مع زيادة الحمل المسبق لتصبح اقل قيمة عند الحمل المسبق 197N.m بسبب زيادة قوة التثبيت بين اجزاء وصلة الربط ، اما تأثير الحمل المسبق للبرغي في توزيع الاجهادات على سطح وصلة الربط وحسب المناطق المحددة ، فيلاحظ من الشكل(9) الذي يمثل منحنيات العلاقة بين الحمل الخارجي والإجهاد الرئيس الاقصى لوصلة الربط عند منطقة المجسات 3,4 ، ان اكبر اجهاد انضغاطي يكون عند عزم شد للبرغي (197N.m) ، واصغر اجهاد يكون عند عزم الشد 164N.m ، وتظهر قيم الاجهاد التحليلية من استخدام برنامج ANSYS كما في الشكل (10) نفس التأثير مع ملاحظة ان قيم الاجهاد التحليلية اقل من قيم الاجهاد العملية وكما في الجدول(3).

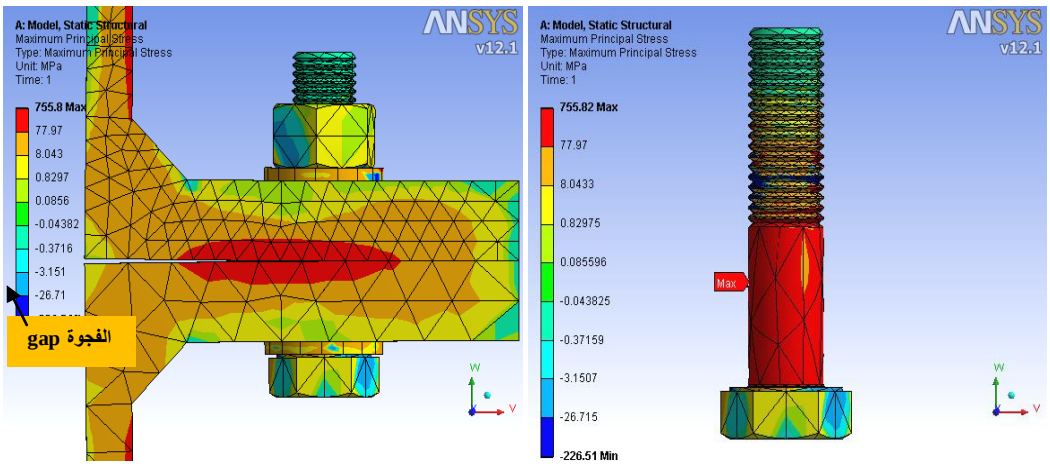
الجدول (3): مقارنة بين القيم العملية والقيم التحليلية للإجهاد الرئيس الاقصى عند المجسات5 و 6 وباستخدام فلكة فولاذية وبرغي سن خشن.

	Max. Principal stress, MPa								
	Preload=131N.m			Preload=164N.m			Preload=197N.m		
Load KN	Exp.	Ansys	Dev. %	Exp.	Ansys	Dev. %	Exp.	Ansys	Dev. %
5	9.32	8.57	8.1	12.9	11.62	9.2	14.64	13.38	8.6
10	19.91	18.30	8.1	21.4	19.20	9.6	25.34	23.97	5.4
15	31.17	29.42	5.6	28.0	25.70	8.2	32.77	30.90	5.7
20	41.41	39.96	3.5	36.0	34.13	5.2	41.77	39.85	4.6
25	50.99	47.47	6.9	44.9	41.13	5.9	50.78	48.55	4.4

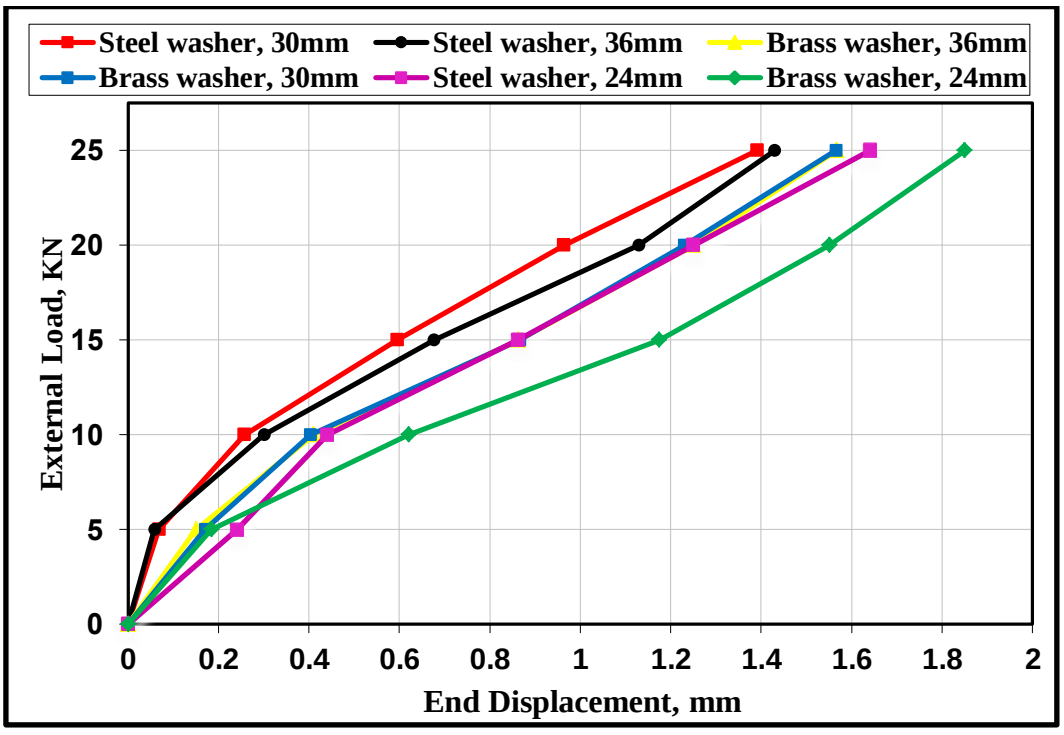
ومن خلال استعراض العوامل المؤثرة في وصلة الربط ، يمكن استنتاج ان افضل تصميم لوصلة الربط تحت تأثير الحمل الخارجي تكون فيه الفجوة الحاصلة بين حافتي الوصلة اصغر ما يمكن ، عند استخدام عزم شد (حمل مسبق)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

للبرغي يعادل او اكبر من الحمل القياسي 164N.m ، ومع استخدام فلكة فولاذية صلدة قطرها 30mm او36mm ، اما العوامل التي تسبب تلف وصلة الربط وعدم قدرتها على تحمل الحمل الخارجي وظهور اكبر فجوة بين حافتي الوصلة ، فهي استخدام عزم شد للبرغي 131N.m اقل من عزم الشد القياسي ، لأنه غير كافٍ لتثبيت اجزاء وصلة الربط مع بعضها وخصوصا مع استخدام فلكة لينة نسبيا من مادة البراص وعند اقل قطر للفلكة24mm ، ويبدو ان استخدام عزم الشد او الحمل المسبق 197N.m افضل من بقية العزوم ولكن في نفس الوقت زيادة الحمل المسبق للبرغي تقلل من مقاومة البرغي للحمل التشغيلي او الخارجي لذلك يكون استخدام الحمل المسبق 164N.m والذي يمثل عزم الشد القياسي المعمول به افضل من الجميع وكما في الشكل (11).

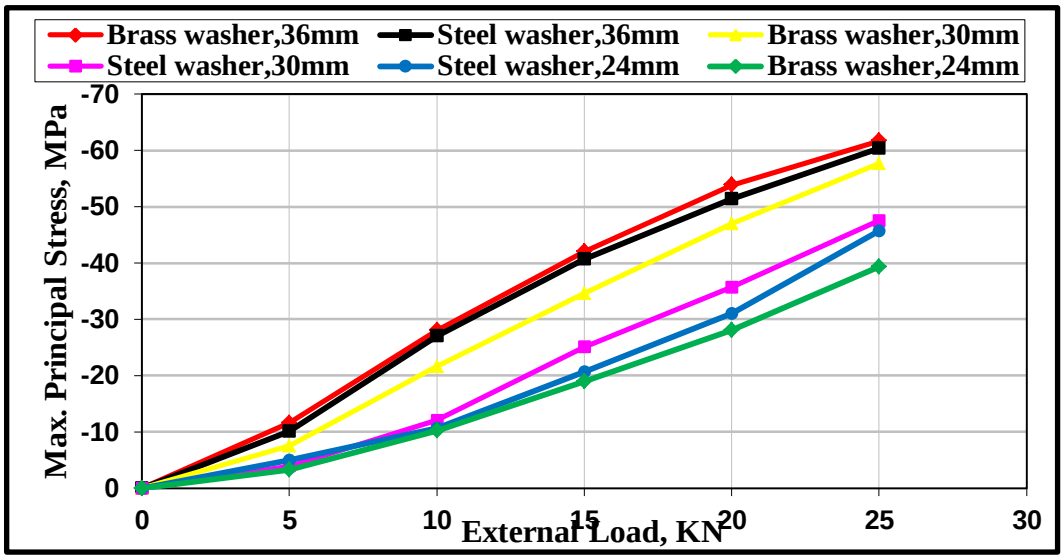


الشكل (2): توزيع الاجهادات على وصلة الربط والبرغي، وباستخدام برنامج ANSYS ، ويلاحظ وجود الفجوة بين حافتي وصلة الربط تحت تأثير حمل شد 25KN.

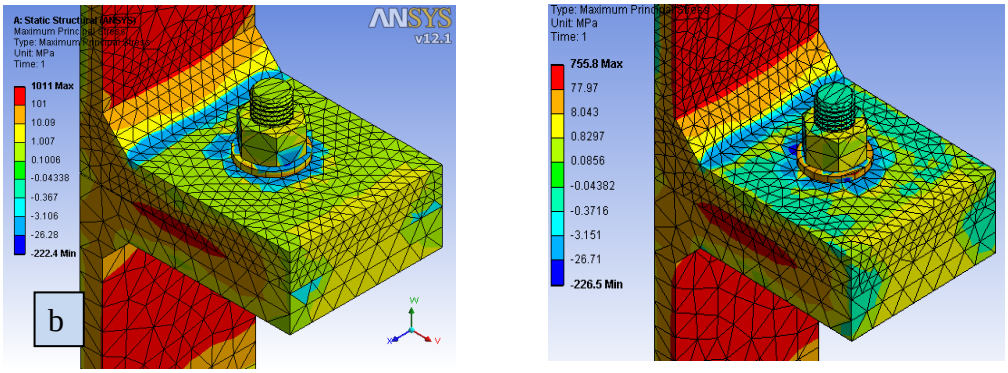


الشكل (3): الحمل الخارجي مع ازاحة النهاية الحرة عند تغير مادة وقطر الفلكات ، وعند عزم الشد164N.m

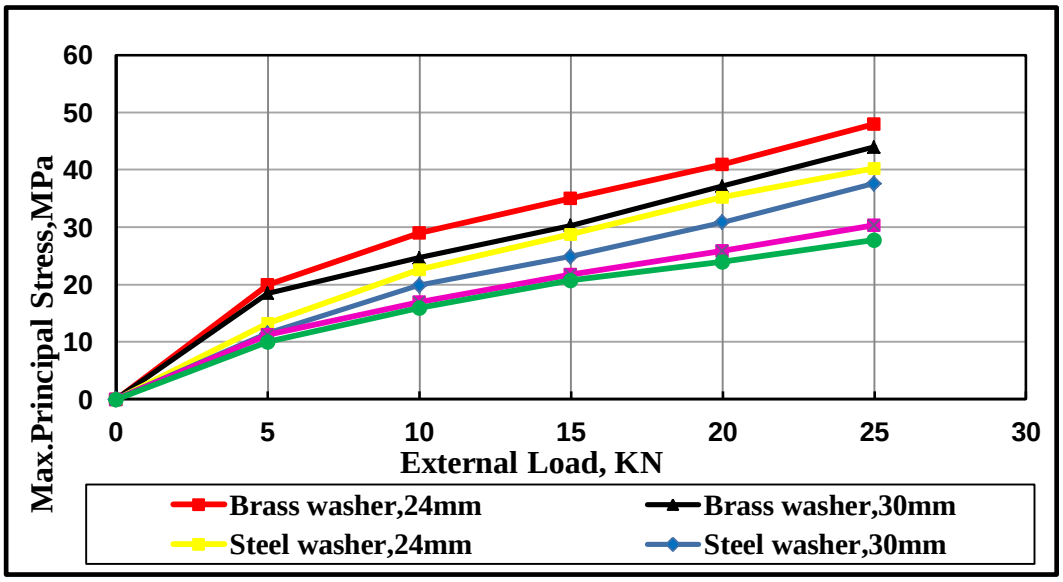
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (4) : العلاقة بين الحمل الخارجي وتوزيع الاجهاد على وصلة الربط ، للمجسات 3,4 عند تغير مادة وقطر الفلكة ، وعند عزم الشد 164N.m.

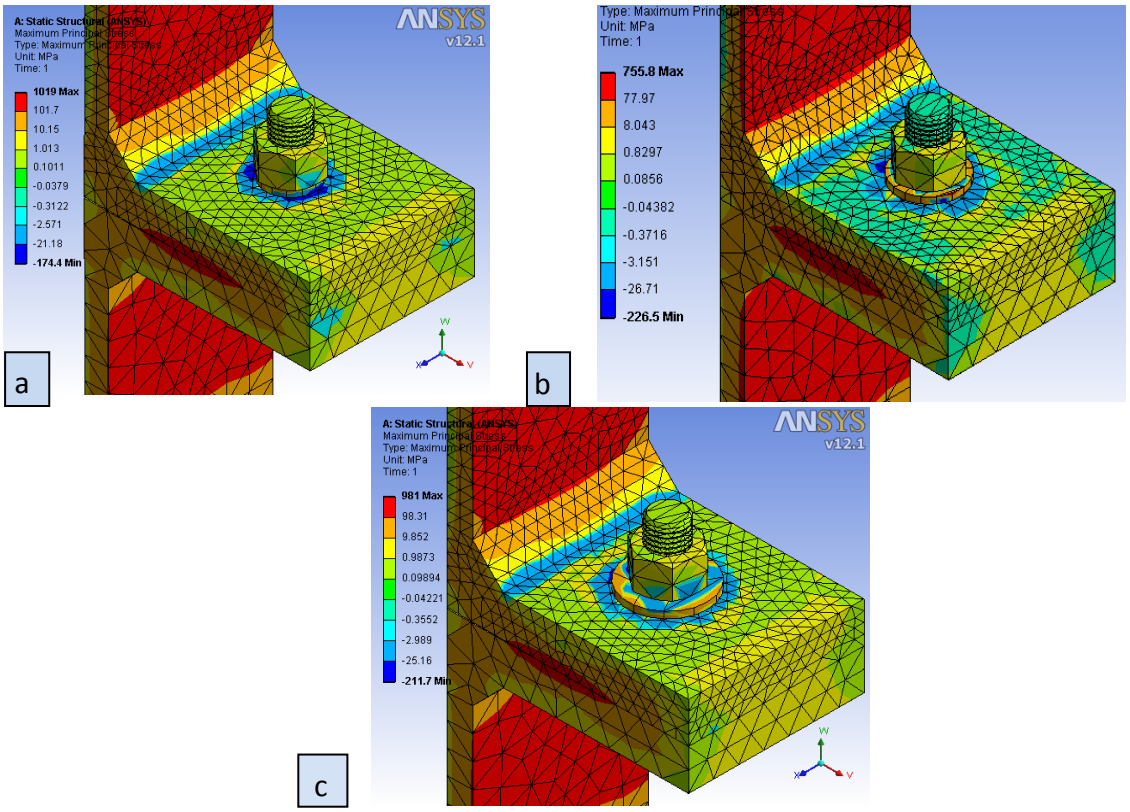


الشكل (5): تأثير تغير نوع مادة الفلكة في توزيع الاجهادات على وصلة الربط وباستخدام برنامج ANSYS ، a: فلكة من البراص ، b: فلكة من الفولاذ

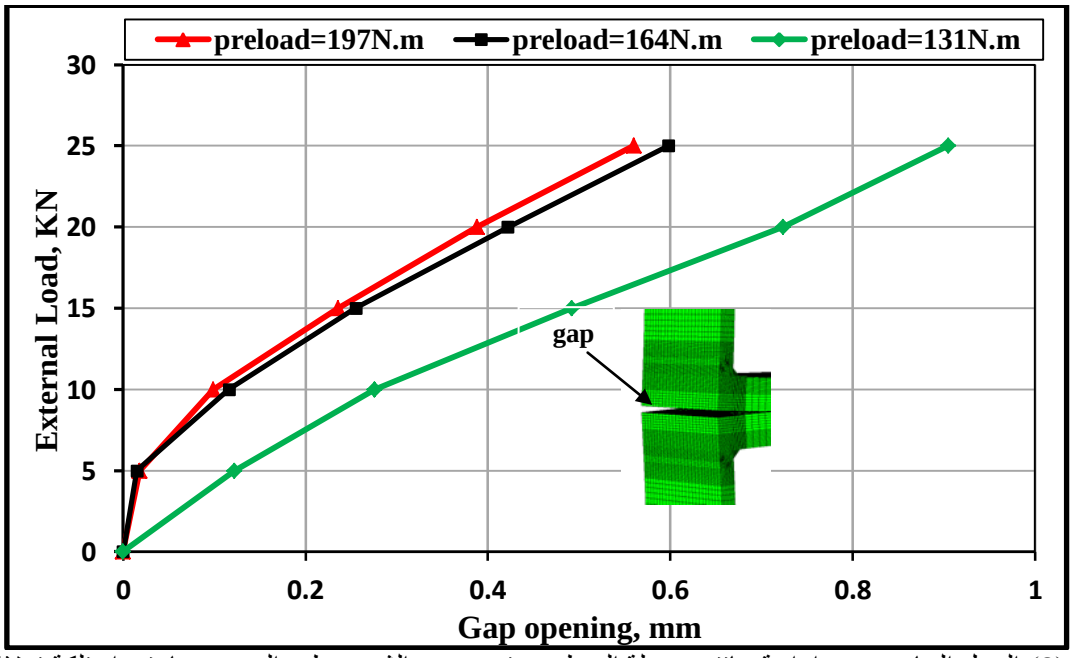


المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل (6) : العلاقة بين الحمل الخارجي وتوزيع الاجهاد على وصلة الربط ، للمجسات 5,6 عند تغير مادة وقطر الفلكة ، وعند عزم الشد 164N.m .

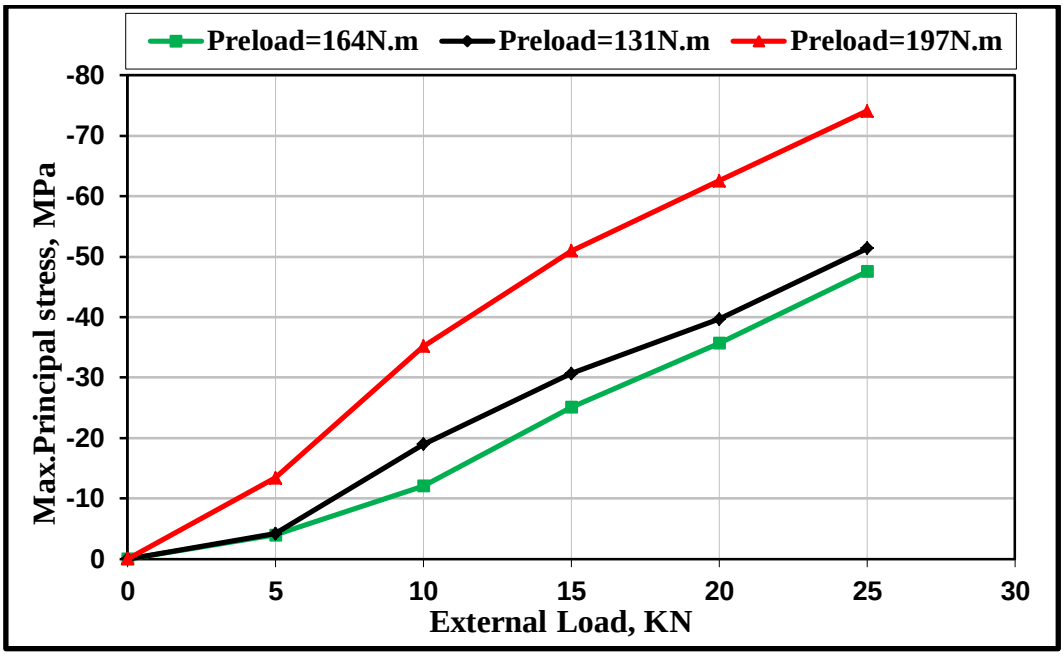


الشكل (7): تأثير تغير القطر الخارجي للفلكة في توزيع الاجهادات على وصلة الربط باستخدام برنامج ANSYS ، قطر الفلكة: a: 24mm ، b: 30mm ، C: 36mm

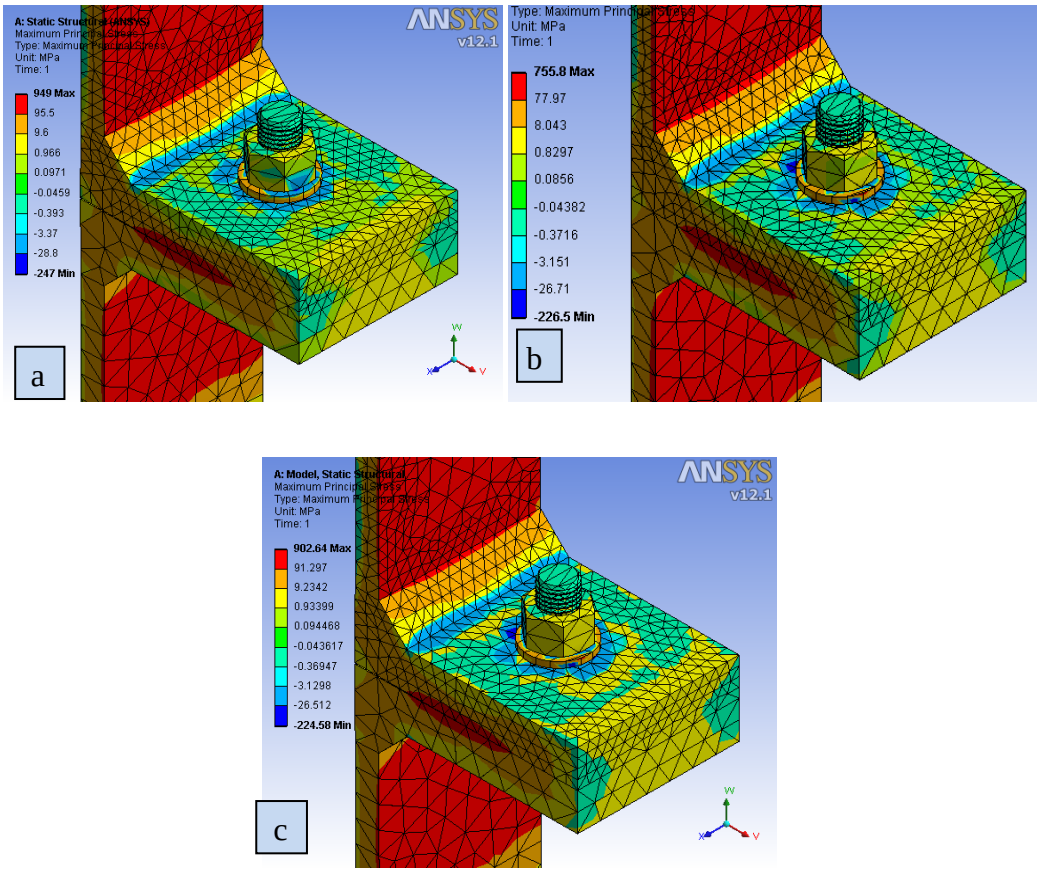


الشكل (8):الحمل الخارجي مع ازاحة حافتي وصلة الربط عند تغير عزم الشد وخطوة البرغي وباستخدام فلكة فولاذ قطر 30mm .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

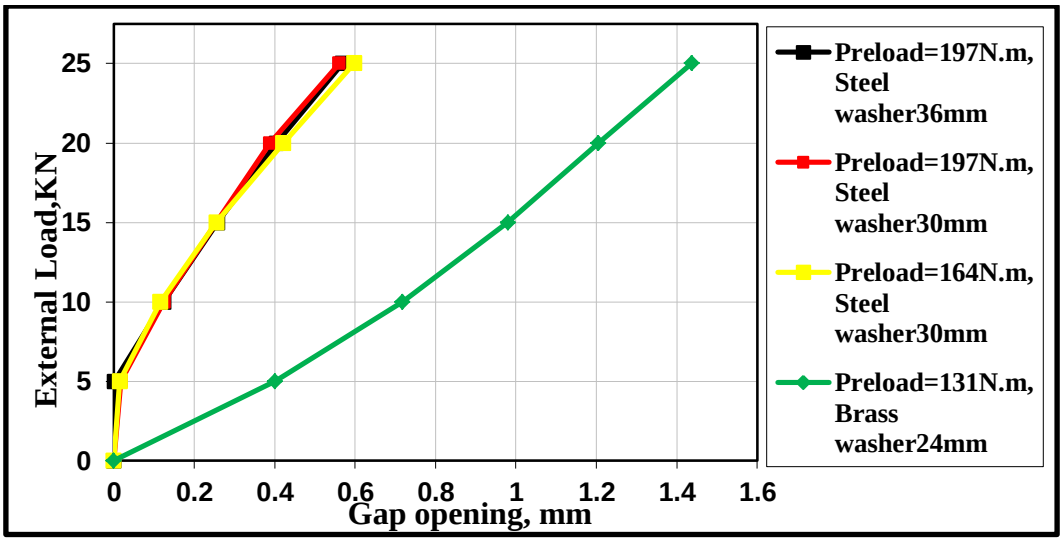


الشكل (9) : العلاقة بين الحمل الخارجي وتوزيع الاجهاد على وصلة الربط ، للمجسات 3,4 عند تغير عزم الشد، وباستخدام فلكة فولاذية قطرها 30mm .



الشكل (10): تأثير تغير الحمل المسبق للبرغي في توزيع الاجهادات على وصلة الربط باستخدام برنامج ANSYS ، **a**: 131N.m ، **b**: 164N.m ، **C**: 197N.m .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (11):الحمل الخارجي مع الفجوة بين حافتي وصلة الربط ، تحت تأثير عوامل متعددة.

5: الاستنتاجات

بعد إجراء هذه الدراسة ومناقشة النتائج العملية والتحليلية المستخرجة منها ، يمكن الخروج بالاستنتاجات الآتية:

1 – نقصان الفجوة بين طرفي وصلة الربط وإزاحة النهاية الحرة لها مع تزايد قطر الفلكة الخارجي ويكون متقارباً عند القطر(30,36mm) ، وكذلك يزداد اجهاد الانضغاط على وصلة الربط مع تزايد قطر الفلكة بسبب زيادة توزيع قوة التثبيت بين الوصلة.

2- تكون الفجوة بين طرفي وصلة الربط وإزاحة النهاية الحرة لها وكذلك الاجهادات على وصلة الربط اقل عند استخدام الفلكة الفولاذية ، لأنها تعمل على توزيع قوة الانضغاط وقوة التثبيت بشكل كامل بين اجزاء وصلة الربط عند شد البرغي لأن صلادته اعلى من صلادة فلكة البراص.

3- استخدام عزم الشد او الحمل المسبق 197N.m افضل من بقية العزوم ولكن في نفس الوقت زيادة الحمل المسبق للبرغي تقلل من مقاومة البرغي للحمل التشغيلي او الخارجي لذلك يكون استخدام الحمل المسبق 164N.m والذي يمثل عزم الشد القياسي المعمول به افضل من الجميع.

4- اظهرت التجربة العملية عند شد البرغي بعزم 131N.m واستخدام فلكة ذات قطر 24mm لكلا النوعين (الفولاذ و البراص) فقدان وصلة الربط لقوة التثبيت بين اجزائها بعد ازالة الحمل الخارجي عليه ، لذلك يوصى بعدم استخدام عزم شد للبرغي اقل من العزم القياسي(164N.m).

5- اظهرت مقارنة النتائج العملية مع النتائج التحليلية، باستخدام تقنية التحليل بالعنصر المحدد وبرنامج (ANSYS) مطابقة للنتائج وبفرق اقل من 10% بالنسبة للنتائج التحليلية وهي نسبة جيدة ومقبولة.

6- اظهرت نتائج هذا البحث ومن خلال ماورد اعلاه أن أفضل وصلة ربط بالبراغي يمكنها مقاومة الحمل الخارجي او التشغيلي بشكل جيد وآمن عند استخدام عزم شد البرغي 164N.m مع فلكة فولاذية قطر 30mm.

References المصادر

1- Joseph E . Shigley ., Charles R Mischke.,"Standard Handbook of Machin Design" Second Edition, McGraw- Hill , inc., New York, 1996.

2- Bickford , John H.,"Introduction To Design And Behavior Of Bolted Joints Non- Gasketed Joint " Fourth Edition, Marcel Dekker, Inc., New York,2007.

3- Norman F, Knight, Jr ., Dawen R. Phillips And Ivatury S Raju., "Simulating the Structural Response Of A Preload Bolted Joint " American Institute Of Aeronautics And Astronautics 092407, 2008.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4- Saman Fernando., "An Engineering Insight To The Fundamental Behavior of Tensile Bolted Joints"., Ajax Technology Centre, Steel Construction Volume 35 Number 1, March 2001.
5- Hemmati E. Vand, Oskouei R. H., And Chakherlou T. N.., "An Experimental Method For Measuring Clamping Force In Bolted Connections And Effect Of Bolt Threads Lubrication On Its Value"., World Academy Of Science, Engineering And Technology (2008).
6- Sayed A. Nassar,Payam H. Matin., "Clamp Load Loss Due To Fastener Elongation Beyond its Elastic Limit"., Fastening And Joining Research Institute, Journal Of Pressure Vessel Technology August (2006), Vol. 128 / 379 .
7- Khashaba U.A., Sallam H.E.M., Al-Horbagy A.E., Seif M.A..,"Effect of Washer Size And Tightening Torque On The Performance Of Bolted Joints In Composite Structures", Composite Structures (2006) 310–317.
8- Shigley., "Mechanical Engineering Design", 8th Edition , McGraw- Hill , inc., New York, 2008.
9- Robert L. Mott , P. E., "Machine Element In Mechanical Design" ., Fourth Edition , Pearson Education, Inc., New Jersey, 2004.

The work was carried out at the college of Engineering. University of Mosul

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com