

تأثير تركيب الخليطة المعدنية على قيم الاجهادات عند تعرض الوصلات المعدنية للحرارة

د. مهند فائز نصره*

(تاريخ الإيداع 9 / 9 / 2020. قِيلَ للنشر في 21 / 10 / 2020)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة لتأثير نوع سبيكة معدن العوارض المستخدمة في الوصلات المعدنية وكذلك تأثير نوع سبيكة معدن الصفيحة التي تثبت العوارض مع بعضها البعض بوجود البراغي عند درجات الحرارة المرتفعة (ظروف الحريق) وذلك باستخدام تقنيات برنامج CATIA V5 لمحاكاة عملية التحميل والفضل وحساب الاجهادات التي تتولد في كل حالة من الحالات المدروسة وصولاً الى النوع الأفضل للخليطة المعدنية التي تعطي أفضل متانة وأقل اجهادات، والاجهادات المحسوبة تعرف في برامج التصميم الحاسوبي بإجهادات فون ميسيس (von-mises stress) وتم حسابها لكل حالة من الحالات عند درجات حرارة مختلفة ابتداءً من درجة حرارة الوسط حتى درجات انصهار المواد في الوقت الذي تم تثبيت كافة البارامترات الأخرى التي تؤثر على الاجهادات المتولدة للوصلة وذلك للحصول على فهم دقيق لتأثير نوع الخليطة. الوصلات المدروسة كانت من نوع **IPe 240** تتكون من ثمانية براغي بقطر 22mm وسماكة صفيحة 15mm ويوجد عصبي تقوية بسماكة 30mm و زاوية ميلان 50°.

الكلمات المفتاحية: طريقة العناصر المنتهية ، وصلة عارضة إلى عمود، وصلات البراغي، سلوك الوصلات المعدنية على الحريق، اجهادات فون ميسيس (von-mises stress).

* دكتوراه - قسم هندسة التصميم والانتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

The Effect of Metal Mixture Composition on Stress Values when Metal Joints are Exposed to Heat

Dr. Mouhanad Faez Nasra*

(Received 9 / 9 / 2020. Accepted 21 / 10 / 2020)

□ ABSTRACT □

This research presents a study of the effect of the type of alloy metal girders used in metal connections, as well as the effect of the type of sheet metal alloy that fix the girders together with the presence of bolts at high temperatures (fire conditions), by using the CATIA V5 program techniques to simulate the loading and failure process and calculate the stresses generated in Each case studied down to the best type of mineral alloy that gives the best strength and the least stress, The calculated stresses are known in computer design programs as von-mises stress and were calculated for each case at different temperatures, from the medium temperature to the melting points of the material at the time when all other parameters affecting the stresses generated for the junction were fixed in order to obtain. A thorough understanding of the influence of the type of mixture The studied fittings were of IPE 240 type, consisting of eight screws with a diameter of 22 mm and a plate thickness of 15 mm, with reinforcing joints of 30 mm thickness and a pitch angle of 50 °.

Keywords: finite element method, girder to column connection, bolt connections, conduct of metal connections on fire, von-mises stress.

* PhD - Design and Production Engineering Dept. - Mechanical & Electrical College - Tishreen University- Lattakia – Syria.

مقدمة:

يوجد عدة أنواع للوصلات المستخدمة في المنشآت المعدنية وتعتبر الوصلات من نوع جائر -عمود هي أكثر الوصلات المستخدمة شيوعاً حيث تتكون هذه الوصلات من عوارض مسبقة الصنع تثبت عليها صفائح بواسطة درزة لحامية ثم يتم تثقيب الصفيحة بتقوب ذات أبعاد مناسبة لأبعاد البراغي التي ستنبت العوارض مع بعضها البعض وعملية التثبيت للبراغي تتم بواسطة رنديلات (قطعة معدنية تستخدم لزيادة سطوح التثبيت) مناسبة لكل نوع من أنواع البراغي المستخدمة.

أهم الدراسات والأبحاث التي أجريت على الوصلات من هذا النوع اعتمدت بشكل أساسي الطرق التحليلية الحاسوبية ونظرية العناصر المنتهية وبعضها الآخر اعتمد مقارنة النتائج التحليلية التي تعطيها عملية المحاكاة على الحاسب مع النتائج التجريبية المخبرية التي أجريت على نماذج محددة وحاول بعض الباحثين على الرغم من صعوبة عملية محاكاة الحريق في المخابر إجراء اختبارات على عينات ومنشآت صغيرة تحاكي ما هو موجود في الواقع والهدف الأساسي لهذه الدراسات والأبحاث للوصول إلى فهم أعمق لسلوك الوصلات عند تعرضها إلى الأحمال الحرارية بوجود درجات الحرارة المختلفة حيث قام الباحث S. Spyrou وآخرون بدراسة نماذج مختلفة ومحاكاة تعرضها للحريق وحصل على أشكال الانهيار ومخططات الفشل تجريبياً وقارن بين المخططات التي حصل عليها من الدراسة الرياضية مع المخططات التجريبية وتوصل الباحث إلى موديل رياضي يوضح سلوك هذه الوصلات عند درجات الحرارة المرتفعة [1].

قام الباحث Block و آخرون بدراسة سلوك الوصلات في درجات حرارة الحريق حيث اعتمد الباحثون على نموذج النابض بعد اشتقاق مصفوفة الصلابة وإدخال النتيجة في نموذج العناصر المنتهية غير الخطية لطريقة فولكان[2]. أجرى الباحث Wang وآخرون دراسة تجريبية على أربع عينات من وصلات جائر - عمود من الشكل H باستخدام الفرن وقام بدراسة تأثير أعصاب التقوية وسماكة الصفيحة على مقاومة الحريق وقد وضع نموذج رياضي يصف الحالات المدروسة[3].

قدم الباحث Michal Strejček و آخرون بدراسة سلوك وصلة من نوع جائر -عمود تجريبياً عند تعرضها للحريق وذلك للتأكد من الموديل الرياضي وبينت النتائج انخفاض واضح في خصائص المواد وسلوكها ولوحظ وجود قوة محورية عالية عند درجات الحرارة العالية وبالتالي تغير كبير في مخططات العزم - دوران[4]. حصلت الباحثة Santiago وآخرون على نموذج رياضي يحاكي سلوك الوصلات المعدنية في الحريق من البداية حتى الانهيار وبينت الدراسة جميع الخطوات التي تمر بها هذه الوصلات وتأثير الارتفاع في درجات الحرارة العابرة على الزمن وعلاقة ذلك بتغيير القوى المطبقة على الوصلات وتعطي هذه الدراسة إرشادات يجب أن تؤخذ بالاعتبار عند تصميم الوصلات المعدنية[5].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث بشكل أساسي إلى دراسة خصائص ومواصفات عدد من السبائك المعدنية المعرضة لدرجات حرارة متزايدة ورسم مخططات الإجهاد حتى الانهيار لكل نوع من أنواع المواد والسبائك المدروسة لفهم سلوك كل مادة بوجود الحملات والحرارة من جهة ومقارنة المواد من حيث المتانة والصلابة لأكثر درجة حرارة ممكنة من جهة ثانية. وتهدف هذه الدراسة أيضاً إلى تطوير نموذج عناصر منتهية ثلاثي أبعاد عن طريق محاكاة اتصال الصفيحة بالعمود بشكل دقيق. وتكمن أهمية البحث في إمكانية تحديد نوع المادة الأمثل التي يمكن أن تستخدم في ربط العوارض المعدنية مع بعضها (الصفيحة والعصب) وذلك عبر تصميم ومحاكاة الوصلات المستخدمة في المنشآت المعدنية واختيارها من مواد

وخلائط عديدة وحساب قيم الإجهادات في الوصلة لكل حالة من الحالات المدروسة عند درجات حرارة مختلفة ابتداء من درجة حرارة الوسط المحيط حتى درجة انصهار الخلائط المدروسة ومن أجل الحصول على نتائج دقيقة لتأثير نوع المواد تم تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة بحيث تكون مدخلات التركيب الكيميائي والفيزيائي للسبائك هي المتغير الوحيد الذي يؤثر على قيم الإجهادات المتولدة (von-mises stress) في عناصر الوصلة.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث على المنهجية التحليلية بمساعدة الحاسوب واستخدام النمذجة والمحاكاة عبر برنامج CATIA V5 وطريقة العناصر المنتهية وذلك لتحليل نتائج المحاكاة وصولاً إلى الأداء الأفضل من خلال دراسة سلوك الوصلات المستخدمة في المنشآت المعدنية عند درجات حرارة مرتفعة وعند خلائط مختلفه.

حيث تم دراسة عينات من صفيحة تصل بين الجائز والعمود بواسطة ثمانية براغي و تم اختيار مادة الصفيحة والعصب من عدة مواد وخلائط مختلفة وحساب الإجهادات المتولدة في الوصلة لكل حالة من الحالات عند درجات حرارة مختلفة ابتداء من درجة حرارة الوسط المحيط حتى درجة انصهار الخلائط المدروسة والتي يتراوح مجالها بين 1400 إلى 1600 درجة مئوية

النتائج والمناقشة:

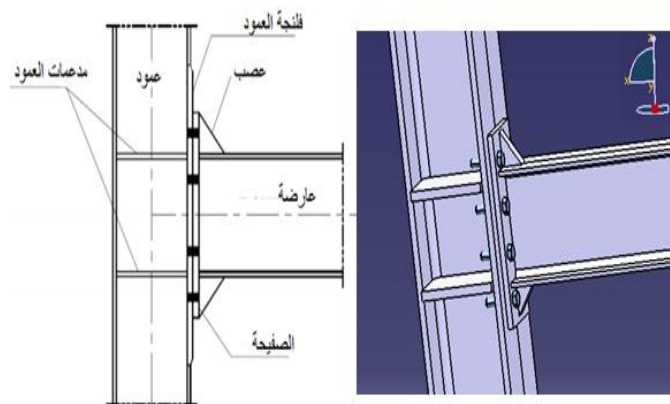
1. نموذج العناصر المنتهية ثلاثي الأبعاد

تم بناء النموذج على برنامج CATIA V5 [7] لمحاكاة وصلات الصفائح المثبتة ببراعي تحت تأثير الأحمال الحرارية والجدول رقم 1 يبين مواصفات الجائز و العمود.

الجدول 1 : مواصفات الجائز والعمود

| سماكة الصفيحة mm | عرض الصفيحة mm | أبعاد المقطع mm | |
|------------------|----------------|-----------------|--------|
| 12 | 200 | 240 | الجائز |
| 12 | 250 | 240 | العمود |

في النموذج الحالي جميع القطع متضمنة العارضة، العمود، الألواح، والبراعي رسمت وصممت على برنامج CATIA V5 في البيئة الثنائية و البيئة الثلاثية الأبعاد كما في الشكل رقم 1.



الشكل 1 : شكل النموذج المدروس

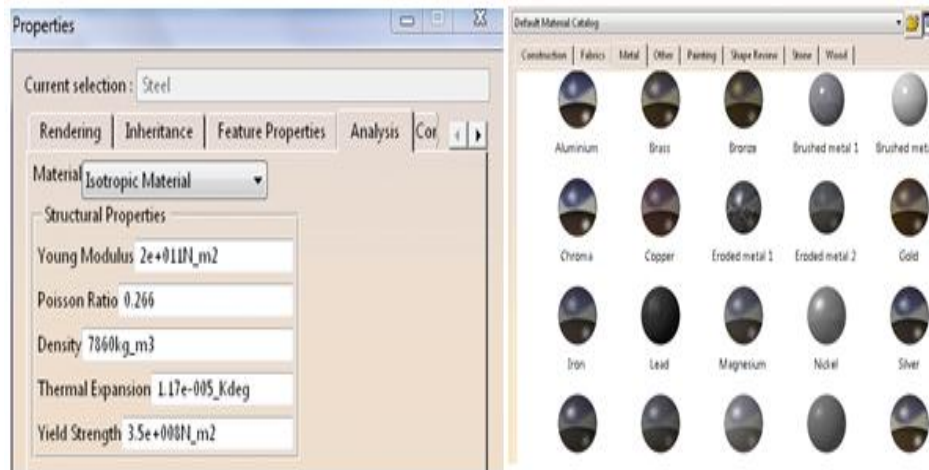
حيث أنه بعد رسم وتصميم النموذج الثلاثي الأبعاد تم إدخال المواصفات الميكانيكية لمادة كل قطعة من القطع المكونة للوصلة من قائمة Apply Material.

الشكل 2 يوضح كيفية اختيار نوع مادة القطع الهندسية المستخدمة (العوارض، العمود، الصفيحة، البراغي) من كتلوك البرنامج الحاسوبي CATIA V5.

يبين الجدول 2 المواصفات الميكانيكية للمواد المستخدمة في الوصلة المدروسة.

الجدول 2 : المواصفات الميكانيكية لمواد القطع الهندسية المكونة للوصلة المدروسة

| المادة | إجهاد الخضوع MPa | المعامل الحراري /C° | معامل يونغ GPa |
|----------------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| الفولاذ- الجائز ،العمود ،الصفيحة | 454 – 322 | 12 × 10 ⁻⁶ | 197 |
| الفولاذ- البراغي | 600 – 480 | | |



الشكل 2 كيفية اختيار مادة القطع الهندسية ومواصفاتها الميكانيكية

في هذه الفقرة سيتم اختيار مادة الصفيحة والعصب من عدة مواد وخليطات مختلفة وحساب الإجهادات المتولدة حاسوبياً (von-mises stress) في الوصلة لكل حالة من الحالات عند درجات حرارة مختلفة. أخذت درجات الحرارة ابتداء من درجة حرارة الوسط المحيط حتى درجة انصهار الخليط المدروسة والتي يتراوح مجالها بين 1400 إلى 1600 (أخذت القيم المرتفعة حتى 1600 لتبيان سلوك الانصهار للمواد فقط في حين تفقد الوصلة تماسكها بعد الدرجة 800 تقريباً) درجة مئوية.

عمليات الحساب تمت بعد تثبيت كافة البارامترات الأخرى للوصلة كي يصبح فهم تأثير الصفيحة والعصب أوضح على قيم الإجهادات حيث أن عوامل عديدة قد تؤدي إلى سلوك مختلف لهذه الوصلات منها الإجهادات المركبة و الحمل الحراري والتشوهات الناجمة عن عمليات التنقيب إلخ.... تم دراسة وصلة IPE 240 مكونة من ثمانية براغي بقطر 22mm وسماكة صفيحة 15mm وبوجود عصبي تقوية بسماكة 30mm و زاوية ميلان 50°. ويوضح الجدول 3 المواد التي تم دراستها و البالغ عددها ست مواد.

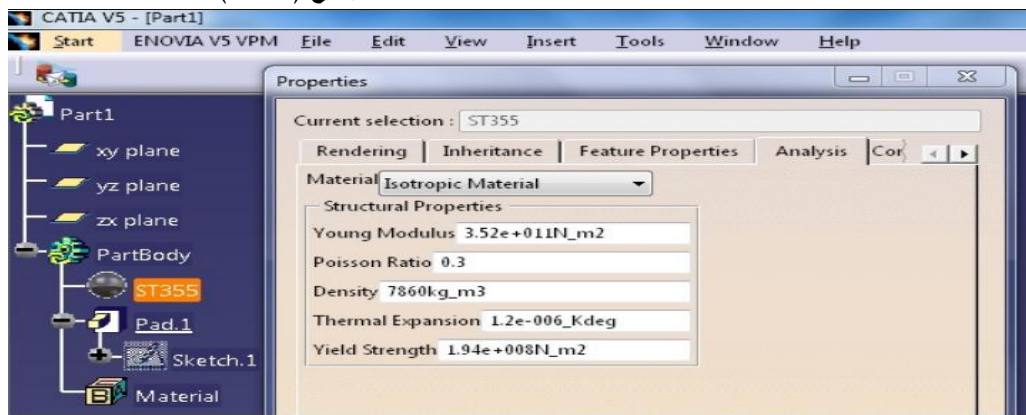
الجدول 3: المواصفات الميكانيكية لمادة الصفيحة والعصب في الوصلة المدروسة

| نوع المادة | معامل يونغ Gpa | حد الخضوع Mpa |
|------------|----------------|---------------|
| H11Steel | 195 | 475 |
| LC Steel | 194 | 359 |
| MC Steel | 200 | 300 |
| ST 35 | 310 | 210 |
| ST 55 | 450 | 325 |
| ST 355 | 352 | 194 |

البرنامج الحاسوبي CATIA V5 مزود بنوافذ اختيار نوع المواد المستخدمة ويمتلك مكتبة قياسية ضخمة جدا من البيانات التي تحتوي عدد كبير من السبائك والخلائط والمعادن والمواد المستخدمة في التصميم حيث بعد تحديد المادة المراد دراستها يمكن الحصول حاسوبيا على المواصفات الميكانيكية وعاملات يونغ وحد الخضوع و التركيب الكيميائي للمادة ونسب الكربون والمنغنيزيوم والسيلكون والكوبير وغيرها.

الجدول 4 مثلا يوضح انتقاء المادة من النافذة الخاصة بالمواصفات الموجودة ضمن كتلوك البرنامج الحاسوبي و الجدول 5(مثلا) يظهر التركيب الكيميائي للمادة **H11 STEEL** وتم اختيار جميع المواد الأخرى المدروسة بنفس الطريقة [7].

الجدول 4: انتقاء المادة بالمواصفات الميكانيكية من البرنامج (st355)



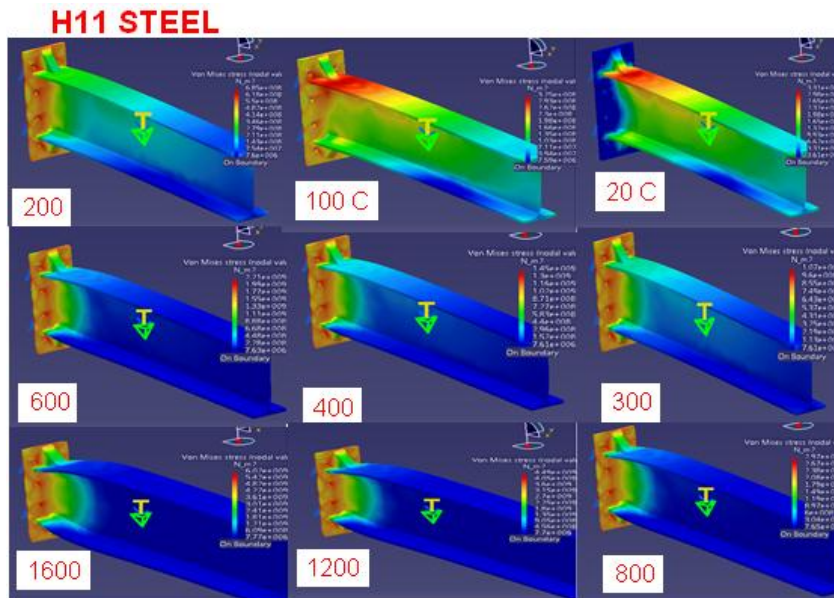
الجدول 5: التركيب الكيميائي للمادة H11 STEEL .

| Element | Content (%) |
|----------------|-------------|
| Carbon, C | 0.33-0.43 |
| Manganese, Mn | 0.20-0.50 |
| Silicon, Si | 0.80-1.20 |
| Chromium, Cr | 4.75-5.50 |
| Nickel, Ni | 0.3 |
| Molybdenum, Mo | 1.10-1.60 |
| Vanadium, V | 0.30-0.60 |
| Copper, Cu | 0.25 |
| Phosphorous, P | 0.03 |
| Sulfur, S | 0.03 |
| Iron, Fe | Balance |

6-4 نمذجة ومحاكاة الوصلة المدروسة وفق المواد المختارة

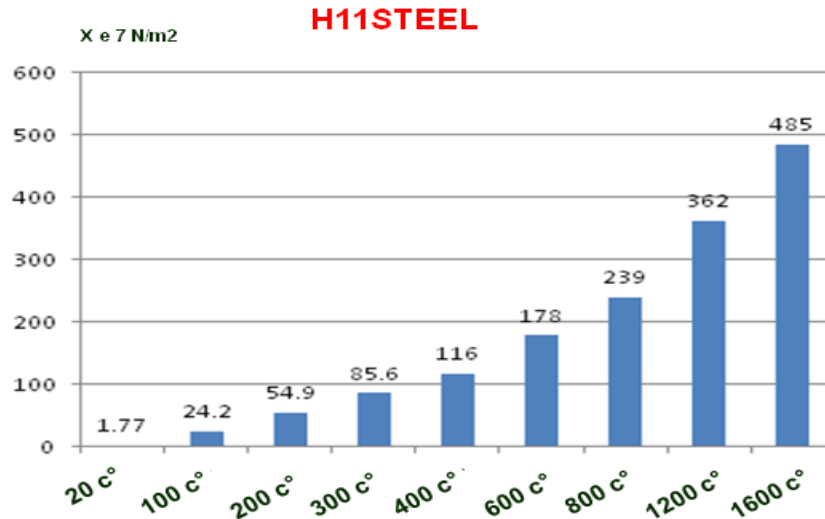
تمت نمذجة الوصلة المدروسة على برنامج CATIA V5 و تم توليد شبكة العناصر المنتهية وفق كل حالة من الحالات السابقة وطبقت الحمولات الحرارية باستخدام تعليمة Temperaturefield مع وجود درجات حرارة (20C°، 100C°، 200C°، 300C°، 400C°، 600C°، 800C°، 1200C°، 1600C°) أي حمولات ستاتيكية بوجود حمل حراري وحسبت الإجهادات المتولدة (von-mises stress) في الوصلة المدروسة عند كل حالة (الواحدة على المخططات أخذت كما هي في البرنامج N/m مع توحيد العامل الأسّي e^7 كي تسهل عملية المقارنة على مخطط واحد).

تم اختيار المادة الأولى التي كانت من النوع H11 Steel وجميع المواصفات الميكانيكية والكيميائية للمادة المذكورة من بيئة البرنامج CATIA V5 واعتمدها للبدء بعملية التصميم الهندسي للوصلة وفق أبعاد ومواصفات حددت بالشكل I ومن ثم تمت عملية التحليل الحاسوبي للوصلة من النوع جانز - عمود وتطبيق الحمولات وتحديد القيم عند درجات الحرارة المختلفة ويبين الشكل 4 الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة .



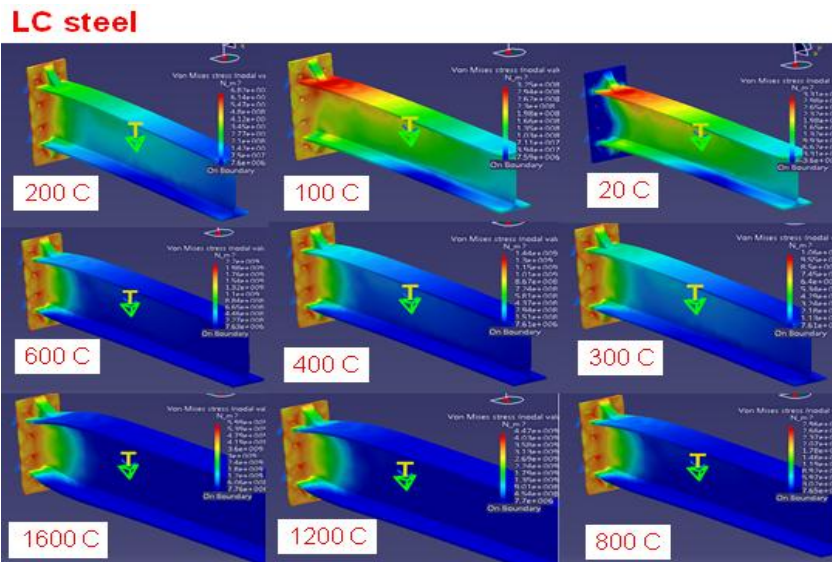
الشكل 4: توزيع الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة (H11 Steel)

يبين الشكل 5 قيم الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة من نوع **H11 Steel** حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات المتولدة $485 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وخفض قيمة للإجهادات المتولدة كانت $1.77 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20°C ويلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800°C وكانت قيمة الإجهادات المتولدة عند الدرجة 800 لهذه المادة $239 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.



الشكل 5: قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة H11 Steel

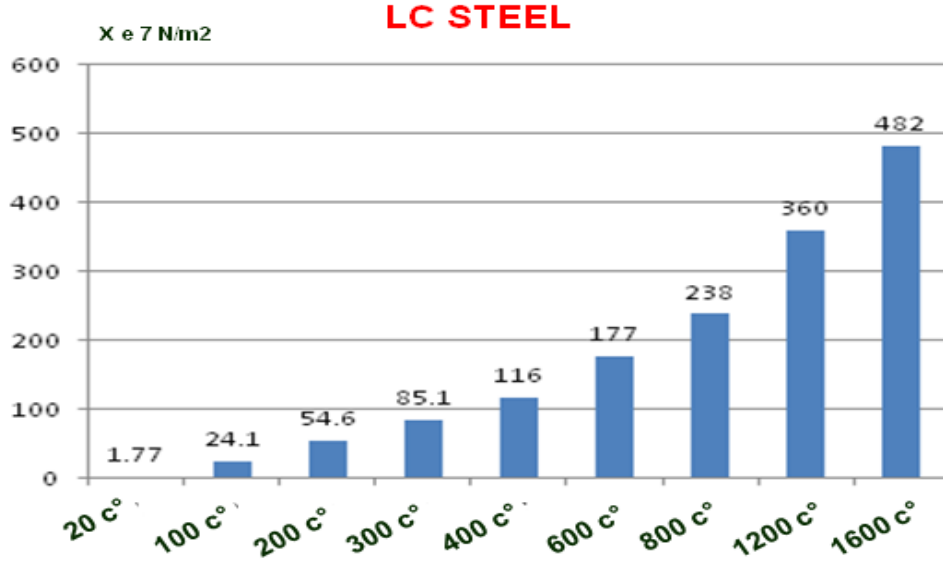
تم اختيار المادة الثانية من النوع **LC Steel** والموصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة من بيئة البرنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 6 الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة [6].



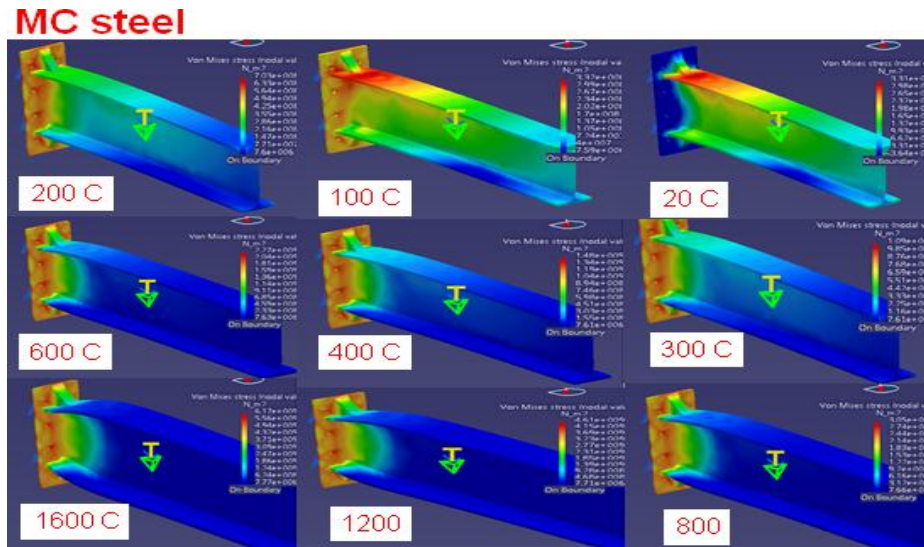
الشكل 6: توزيع الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة LC Steel

يبين الشكل 7 قيم الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة من نوع **LC Steel** حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات المتولدة $482 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وخفض قيمة للإجهادات المتولدة كانت

تأثير تركيب الخليطة المعدنية على قيم الاجهادات عند درجة حرارة 20°C . نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800°C وكانت قيمة الإجهادات المتولدة عند الدرجة 800 لهذه المادة $238 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.



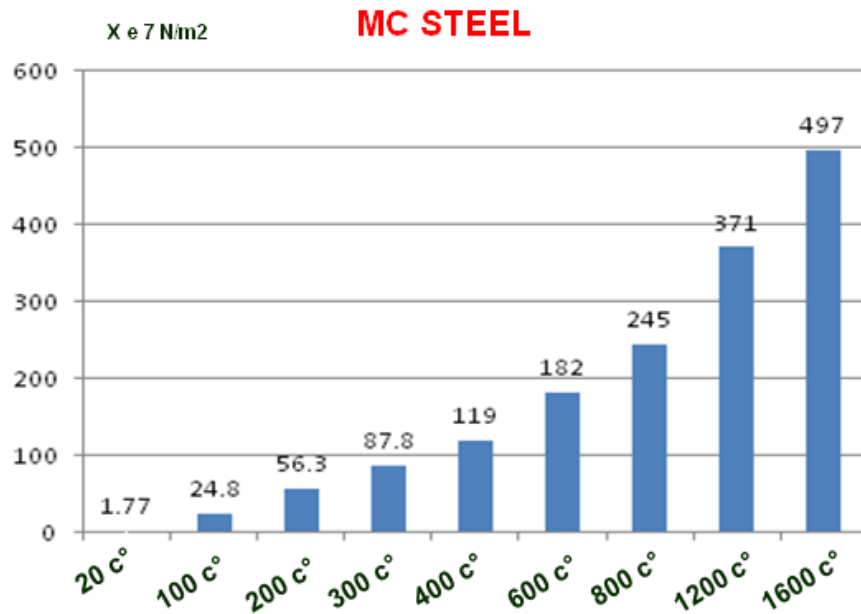
الشكل 7: قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة LC Steel



الشكل 8: توزيع الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة MC Steel

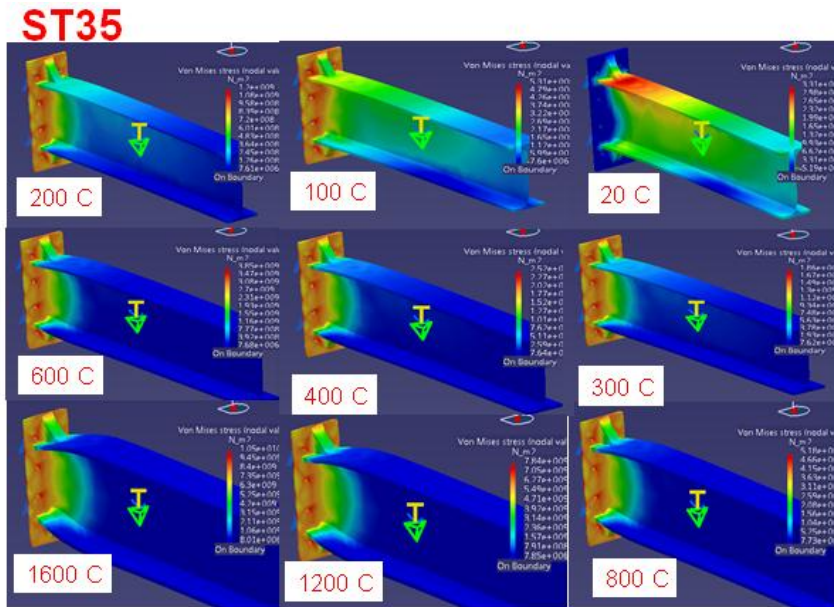
تم اختيار المادة الثالثة من النوع **MC Steel** وإدخال جميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة على بيئة البرنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 8 الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة [6] يبين الشكل 9 قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة **MC Steel** حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات المتولدة $497 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وانخفض قيمة للإجهادات المتولدة كانت $1.77 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20°C .

نلاحظ ان قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800 C° وكانت قيمة الإجهادات المتولدة عند الدرجة 800 لهذه المادة $245\text{ e}^7\text{ N/m}^2$.

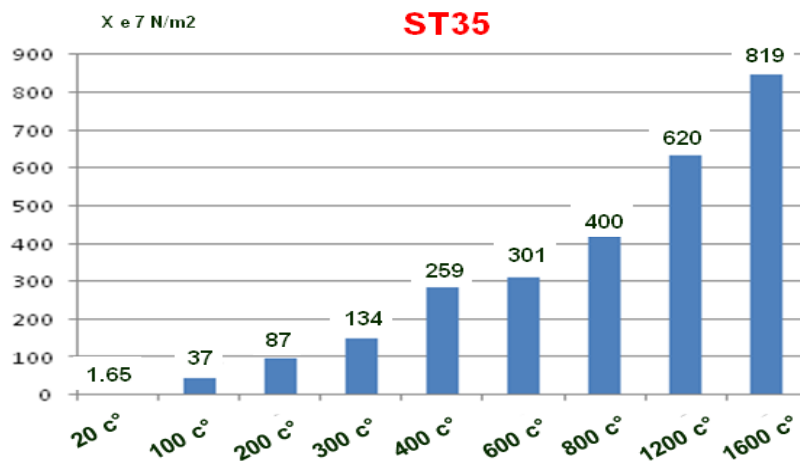


الشكل 9: قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة MC Steel

المادة الرابعة اختيرت من النوع $ST35$ وجميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة من بيئة البرنامج CATIA V5 ويبين الشكل 10 الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة $ST35$ حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات المتولدة $819\text{ e}^7\text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600 C° واخفض قيمة للإجهادات كانت $1.65\text{ e}^7\text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20 C° . نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 800 C° وكانت قيمة الإجهادات المتولدة عند الدرجة 800 لهذه المادة $400\text{ e}^7\text{ N/m}^2$.

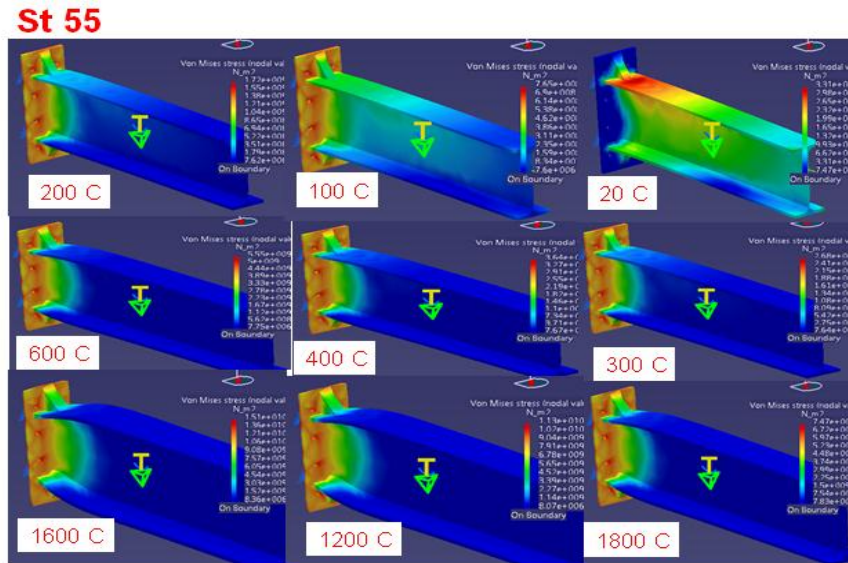


الشكل 10: توزيع الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST35

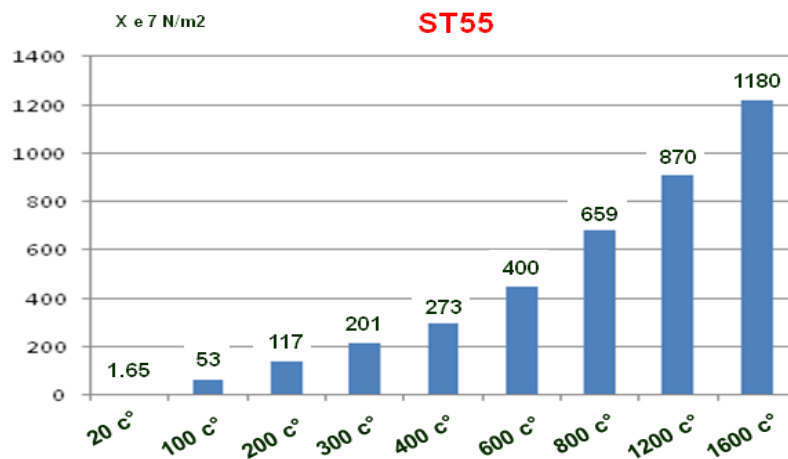


الشكل 11: قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST35

المادة الخامسة اختيرت من النوع ST55 وجميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة من بيئة برنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 12 الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة متزايدة.



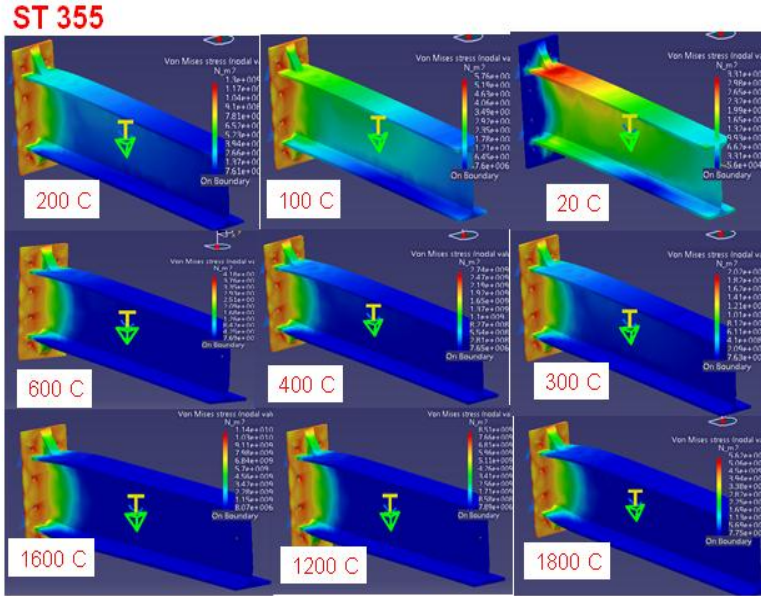
الشكل 12: توزيع الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST55



الشكل 13: قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST55

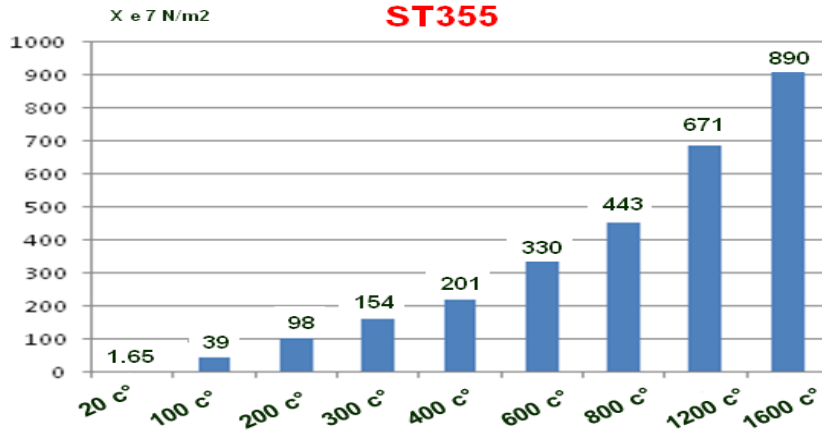
يبين الشكل 13 قيم الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة ST55 حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات المتولدة $1180 \text{ e}7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600C° وأخفض قيمة للإجهادات الناشئة كانت $1.65\text{e}7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20C° ، نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 400C° وكانت قيمة الإجهادات المتولدة عند الدرجة 800 لهذه المادة $659 \text{ e}7 \text{ N/m}^2$.

تم اختيار المادة السادسة من النوع ST355 وجميع المواصفات الميكانيكية و الكيميائية للمادة المذكورة من بيئة البرنامج CATIA V5 حيث يبين الشكل 14 الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة.

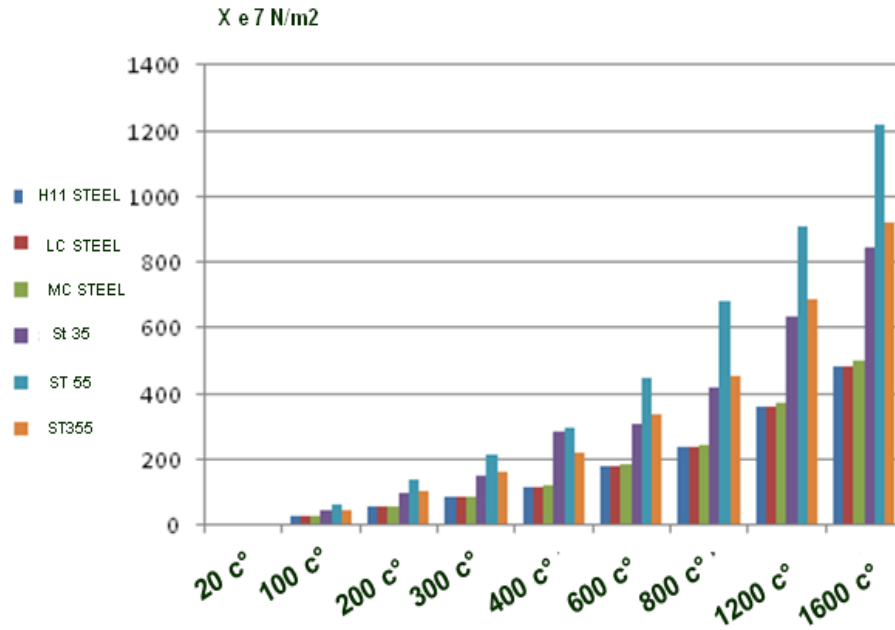


الشكل 14: توزيع الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة للمادة ST355

يبين الشكل 15 قيم الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة لمادة ST355 حيث بلغت أعلى قيمة للإجهادات المتولدة $890 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 1600°C وأخفض قيمة للإجهادات المتولدة كانت $1.65 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ عند درجة حرارة 20°C ، نلاحظ أن قيمة الإجهادات زادت بشكل كبير بعد 400°C وكانت قيمة الإجهادات المتولدة عن الدرجة 800 لهذه المادة $443 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. يبين الشكل 16 مقارنة بين قيم الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة للمواد المدروسة السابقة الذكر.



الشكل 15: قيم الإجهادات في الوصلة عند درجات حرارة متزايدة (ST355)



الشكل 16: مقارنة بين قيم الإجهادات المتولدة عند المواد المدروسة

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. أعلى قيم للإجهادات المتولدة في الوصلة كانت عند المادة **ST55** في حين أخفض قيم للإجهادات المتولدة في الوصلة كانت عند المادة **LC Steel** وبالتالي هي المادة الأفضل للاستخدام في ظروف الحريق.
2. بأخذ المتوسط الحسابي لقيم الإجهادات المتولدة في الوصلة عند درجات حرارة مختلفة للمادتين السابقتين تبين أن اختيار مادة الصفيحة والعصب من المادة **LC Steel** خفض قيم الإجهادات المتولدة في الوصلة بنسبة 51.56%.
3. تأثير درجات الحرارة على قيم الإجهادات المتولدة كان أوضح عند المواد **ST35**، **ST55** و**ST355** وقيم الإجهادات في الوصلة كانت متقارب بشكل واضح بين **LC Steel** و **H11Steel** حيث أن الفارق لا يتجاوز 0.5% في حين أن استخدام المادة **LC steel** خفض قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة بنسبة 3% من استخدام مادة **MC Steel** وبنسبة 37.99% من استخدام مادة **ST35** وبنسبة 39.65% من استخدام مادة **ST355**.
4. قيم الإجهادات تزداد بشكل كبير جداً وبنسبة تصل إلى 94.1% بين درجة الحرارة 100 C° و درجة حرارة الوسط المحيط في حين تصل النسبة إلى 53.8% بين درجة الحرارة 100 C° و 200 C° بينما تتراوح الفروقات عند باقي درجات الحرارة بين 25% و 35% بين كل درجة والدرجة الأعلى منها أي أن المجال من 0 إلى 100 C° .
5. بلغ تأثير الحرارة الإجمالي على قيم الإجهادات الناشئة في الوصلة في جميع الحالات السابقة 99.5% مقارنة بقيم الإجهادات عند درجة حرارة الوسط المحيط (تأثير القوى المطبقة على الوصلة بدون حرارة).

التوصيات:

نوصي بإجراء اختبارات تجريبية لعدد من العينات ومقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية التي تم الوصول إليها باستخدام طريقة العناصر المنتهية على برنامج CATIA V5 ونوصي بدراسة تحليلية مشابهة لهذه العينات على برامج هندسية أخرى.

References:

- [1] SPYRO S. DAVISON J.B and PLANK R. J " Experimental and analytical investigation of the 'compression zone' component within a steel joint at elevated temperatures". "Journal of Constructional Steel Research 60 (2004) 841–865.
- [2] BLOCK F M., BURGESS I W. "The development of a component-based connection element for endplate connections in fire". Fire Safety Journal 42 (2007) 498–506.
- [3] J. Ding; Y.C. Wang; Experimental study of structural fire behaviour of steel beam to concrete filled tubular column assemblies with different types of joints (2007).
- [4] MICHAL S., KANG-HAI T. "Behavior of column web component of steel beam-to-column joints at elevated temperatures", Journal of Constructional Steel Research 67 (2011) 1890–1899.
- [5] ALDINA S, LUIS S. "FIRE DESIGN OF BOLTED STEEL BEAM-TO-COLUMN JOINTS" Journal Constructional Steel Research, (2015) (1169-1195).
- [6] NASRA, M., (2019).-"Studying and evaluation the reasons of failure of joints in metal structures and finding solutions to them". Tishreen University. Syria. 150p.
- [7] CATIA. users' manual. Structure Design, User's Guide Version 5 (2014).