

دراسة سلوك الوصلات الفولاذية المستخدمة في المنشآت المعدنية بمساعدة طريقة العناصر المنتهية واستخدام برنامج CATIA V5

د. علي محمد هترة*

(تاريخ الإيداع 17 / 8 / 2020. قُبِلَ للنشر في 29 / 11 / 2020)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة سلوك الوصلات المستخدمة في المنشآت المعدنية بمساعدة طريقة العناصر المنتهية و استخدام برنامج CATIA V5. النموذج المدروس هو عبارة عن وصلات فولاذية مع صفيحة تقع على نهايتها موصولة عن طريق براغي. تم دراسة تأثير تغيير نصف قطر لولب الربط و سماكة الصفيحتين النهائيين وطول العمود الداعم. وتم عرض أنماط الفشل و نتائج تغير الصلابة والقتل كما وتم تحليل اجهادات Von Mises على الصفيحتين و الجائز و البراغي.

الكلمات المفتاحية: طريقة العناصر المنتهية، وصلة جائز إلى عمود، وصلات البراغي، التصميم بمساعدة الحاسب.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم و الانتاج - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

Study the Behavior of Steel Connections Used in Metal Structures with the Help of the Finite Element Method and the Use of the CATIA V5 Program

Dr. Ali Mohamad Hatra *

(Received 17 / 8 / 2020. Accepted 29 / 11 / 2020)

□ ABSTRACT □

This research presents the study of the conductivity of joints used in metal constructions with the help of the finite element method and the use of the CATIA V5 program. The studied model is a steel joints with a plate at its ends connected by screws. We will study the effect of changing the radius the screw of jonction, the thickness of the end plates, and the length of the supporting column. Failure patterns and the results of change in stiffness and rotation were shown, and Von Mises stresses were analyzed on the permissible plates and screws.

Keywords: Analysis and Simulation, Finite Element Method, CAD, Metal Structure,

*Associate Professor - Design and Production Engineering Dep. -Mechanical & Electrical College-Tishreen University- Lattakia – Syria.

مقدمة:

يبقى سلوك الوصلات الفولاذية عند التعرض للحمولات موضع دراسة مستمرة في مجال الهياكل الفولاذية. اعتمد تصميم الهياكل الفولاذية على خصائص الوصلات الفولاذية، والتي هي نموذج العزم والفتل. هذا العمل يتطلب الكثير من التجارب والذي يؤدي إلى تكاليف مالية وزمنية باهظة، لذلك تعطي طريقة العناصر المنتهية طريقة بديلة عن التجارب العملية لإعطاء توقع عن نموذج العزم والفتل المطلوب. تستخدم عمليات ربط الصفائح بالبراعي بكثرة في الهياكل المعدنية كوصلات مقاومة للعزم، تتألف هذه الوصلات من صفيحة ملحومة أو صفيحتين ملحومتين على نهاية العارضة ومثبتة ببراعي على وصلة العمود.

قام الباحثون بدراسة وتصميم وتحليل وصلة جوائز عمود على برنامج CATIA V5 أخذين بعين الاعتبار نوع المادة و الموصفات الهندسية للوصلة المدروسة [1]. بين الباحثون بأن تأثير القوة المحورية الضاغطة بقيمة أقل من 20% من المقاومة للدنة للجوائز تسبب زيادة ملحوظة في مقاومة الوصلة للعزوم و عند زيادة القوة المحورية الضاغطة عن النقطة 20% يلاحظ بدء التحنيب في جناح الجوائز مما يسبب انخفاضاً في مقاومة الوصلة للعزوم مما يعني أنه عند زيادة القوة المحورية الضاغطة فإن مقاومة الوصلة للعزوم تزداد تدريجياً حتى نقطة معينة موافقة لنمط انهيار مختلف لتبدأ عنده بالانخفاض عند تطبيق عزم انعطاف المؤثر مع قوة محورية شادة قيمتها 20% من المقاومة للدنة للجوائز فإن مقاومة الوصلة للعزوم بلغ 30% عن حالة تأثير عزم فقط [2]. توصل الباحثون الى ان طريقة التحليل باستخدام نظرية العناصر المنتهية تعطي القدرة على محاكاة السلوك الحقيقي للجوائز وبتكاليف بسيطة و بزمن قصير مقارنة مع النتائج التجريبية و ان برامج ال CAD هي برامج جيدة ووسيلة سهلة لدراسة سلوك الوصلات المستخدمة في النموذج والتحقق من النتائج التجريبية وأن مخطط العزم - زاوية الفتل للوصلة التي قام الباحثون بنمذجتها هي مماثلة لتلك التي حصلوا عليها تجريبياً من حيث الصلابة الأولية وعزم الخضوع وتقليل عزم الفشل وزيادة انتقالات الفشل [3]. درس الباحثون تأثير خواص المادة والأبعاد الهندسية للبراعي الأربعة والصفيحة النهائية المرنة على سلوكهم أثناء التعرض لأحمال جانبية. دراسة البارامترات تضمنت دراسة 12 بارامتر والذي كان من المتوقع ان يقوموا بالتأثير على أداء الوصلة [4]. طور الباحثون نموذج أسي للتنبؤ بالمنحنيات $M-\phi$ (مخططات عزم - دوران) لوصلات الصفيحة المثبتة ببراعي [5]. قام الباحثون بإجراء دراسة تجريبية لوصلات جوائز عمود مزود بصفيحة نهاية وخاضعة لتأثير عزم انعطاف وقوة محورية وتوصلوا بنهاية التجربة لرسم مخططات عزم دوران للوصلة المدروسة يشرح بشكل مفصل آلية تأثير القوة المحورية المتزايدة على سلوك الوصلة [6]. اقترح الباحثون نموذج عناصر منتهية ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج ANSYS للتحقق تحليلياً من تأثير الأحمال في الاتجاه الثانوي على أداء الوصلات نصف الصلبة في الاتجاه الرئيسي [7]. قدم الباحثون نموذج نظري لحساب العلاقة بين العزم و زاوية الفتل $M-\phi$ لوصلات الصفيحة ووصلات العمود إلى العارضة (الوصلات الصلبة والمرنة). بالإضافة إلى أنه تم اختبار خمس عينات تجريبياً تحت أحمال مضطربة للتأكد من النموذج التحليلي [8]. اقترح الباحثون نموذج تحليلي للتنبؤ بسلوك الوصلات الخاضعة لتأثير عزم انعطاف وقوة محورية أو لمعايرة نتائج التحليل قام بمقارنة النتائج مع نتائج التجارب المنفذة من قبل Wald et al 2002 [9]. قدم الباحثون نموذج عناصر منتهية باستخدام برنامج ANSYS للوصلات المزودة بصفيحة نهاية غير بارزة [10].

أهمية البحث وأهدافه: هدف البحث

إن الهدف الاساسي من هذا البحث هو اجراء نمذجة ومحاكاة لتحليل وصلات الصفحتين النهائيين المثبتتين ببراعي مع الأخذ بعين الاعتبار الاحتكاك بين السطوح المختلفة لدراسة تأثير البارامترات الهندسية على أداء هذه الوصلة.

أهمية البحث

تكمن أهمية البحث من دراسة سلوك الوصلات الفولاذية عند التعرض لحمولات في مجال الهياكل الفولاذية وتحديد الخصائص التصميمية للوصلات الفولاذية التي تستخدم البراعي في عمليات الوصل والربط.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد هذا البحث على استخدام طريقة العناصر المنتهية و النمذجة والمحاكاة، من خلال برنامج CATIA V5 والاستفادة من النتائج وصولا الى الأداء الافضل من خلال دراسة تأثير البارامترات الهندسية الأساسية وهي: سماكة الصفحة ، قطر البراعي ، مدعّمات العمود . حيث تم القيام بدراسة عينات مختلفة و حساب العزم و الدوران (القتل) وتحديد نمط الفشل في كل عينة.

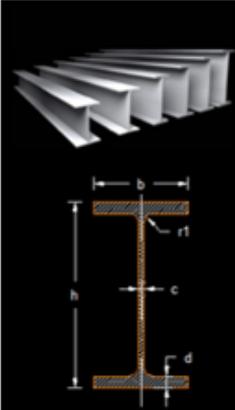
النتائج والمناقشة:

1. نموذج العناصر المنتهية ثلاثي الأبعاد

لقد تم بناء النموذج على برنامج [11] CATIA V5 لمحاكاة وصلات الصفائح المثبتة ببراعي تحت تأثير الأحمال المتغيرة. حيث ان الجدول رقم (1) يبين مواصفات الجانز و العمود

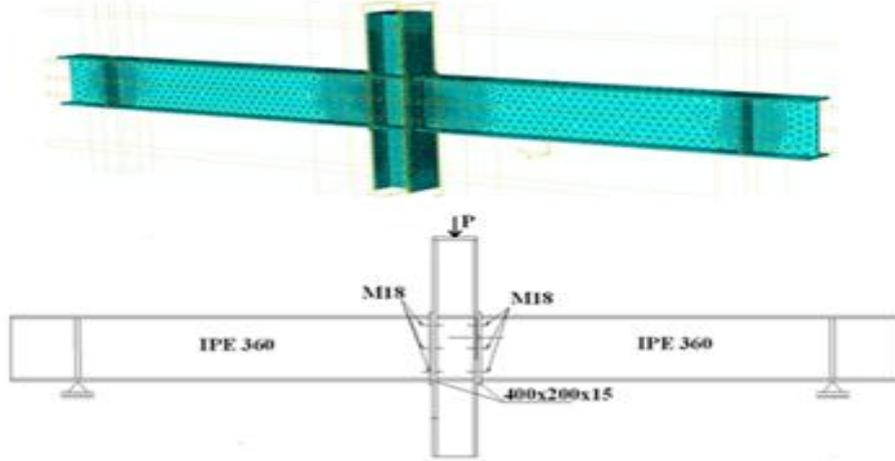
الجدول 1 : مواصفات الجانز والعمود

سماكة الصفحة mm	عرض الصفحة mm	أبعاد المقطع mm	الجانز
15	200	360	الجانز
15	250	360	العمود



h	b	c	d	r1	Mass
Alma	Ala	Espesor Alma	Espesor Ala	Espesor Angulo	Kg/m
80	80	46	3.80	5.20	6.00
100	100	55	4.10	5.70	8.10
120	120	64	4.40	6.30	10.40
140	140	73	4.70	6.90	12.90
160	160	82	5.00	7.40	15.80
180	180	91	5.30	8.00	18.80
200	200	100	5.60	8.50	22.40
220	220	110	5.90	9.20	26.20
240	240	120	6.20	9.80	30.70
270	270	135	6.60	10.20	36.10
300	300	150	7.10	10.70	42.20
330	330	160	7.50	11.50	49.10
360	360	170	8.00	12.70	57.10
400	400	180	8.60	13.50	66.30
450	450	190	9.40	14.60	77.60
500	500	200	10.20	16.00	90.70
550	550	210	11.10	17.20	106.00
600	600	220	12.00	19.00	122.00

في هذا النموذج قد تم رسم و تصميم العارضة و العمود و البراعي على برنامج CATIA V5 في البيئة الثنائية و البيئة الثلاثية الأبعاد كما في الشكل رقم (1)

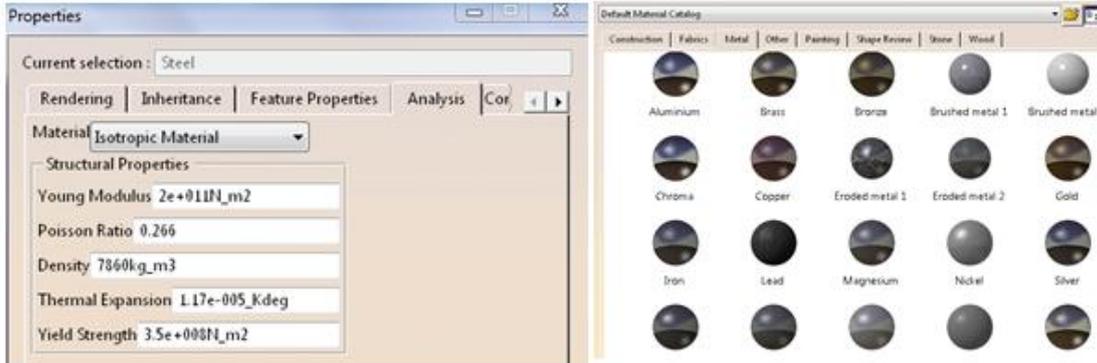


الشكل 1 : شكل و أبعاد الوصلة المدروسة

بعد رسم و تصميم النموذج الثلاثي الابعاد تم ادخال المواصفات الميكانيكية لمادة كل قطعة من القطع المكونة للوصلة من قائمة Apply Material كما هو مبين بالشكل (2) و يبين الجدول (2) المواصفات الميكانيكية للمواد المستخدمة في الوصلة المدروسة. يمكن معرفة نوع فولاذ الجائز والعمود والصفحة والبراغي حسب القيم الواردة في الجدول رقم 2

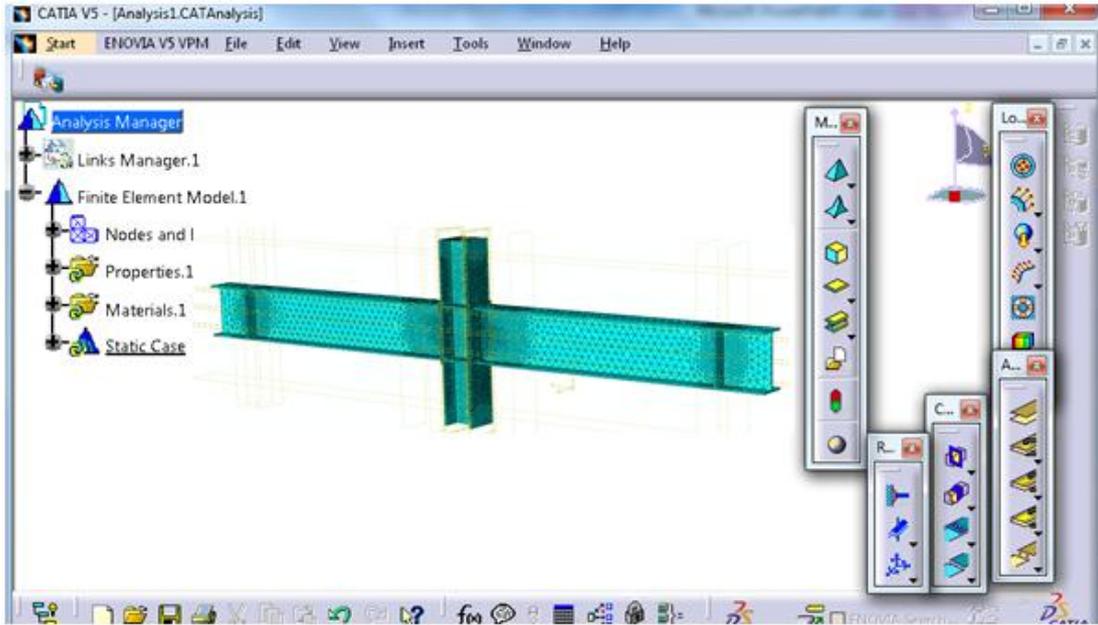
الجدول 2 : المواصفات الميكانيكية لمواد القطع الهندسية المكونة للوصلة المدروسة

قوة الشد المسبقة للبراغي KN	اجهاد الشد MPa	اجهاد الخضوع MPa	المادة
-	570 - 550	390 - 350	الفولاذ - الجائز والعمود و الصفحة
240 - 180	1190 - 1150	990 - 960	الفولاذ- البراغي



الشكل 2 كيفية اختيار مادة القطع الهندسية ومواصفاتها الميكانيكية

ان نمذجة الاتصال بين الاجزاء المختلفة للنموذج هو من أهم العمليات و الاحتكاك بين العناصر المختلفة والبراغي يعطي مواصفات سلوك الوصلات، القوة المطبقة على البراغي تنتج قوة احتكاك قوية بين العناصر المتصلة



الشكل 3 : شبكة العناصر المنتهية التي تم توليدها باستخدام البرنامج CATIA V5

تأثير القوة سيكون واضح من خلال الاحتكاكات بين العناصر. باستخدام صيغة لاغرانج المطردة نجد أن هناك احتكاك قوي بين العناصر. الاحتكاك مهمل بين ثقب البرغي ومحور البرغي والاحتكاك يكون كبير بين الصفيحة الصلبة والمقطع العلوي للعمود. تم توليد شبكة العناصر المنتهية المناسبة للنموذج (Mesh)، حيث أن دقة القيم تعتمد بشكل كبير عليها. تم اختبار أحجام مختلفة للشبكات لتحديد شبكة عناصر جيدة تعطي قيم دقيقة بوقت حساب أقل. من الممكن أيضاً استخدام شبكة دقيقة عند مناطق الاجهاد وشبكة خشنة عند بقية المناطق وهذا الإجراء اختياري، كما في الشكل (3).

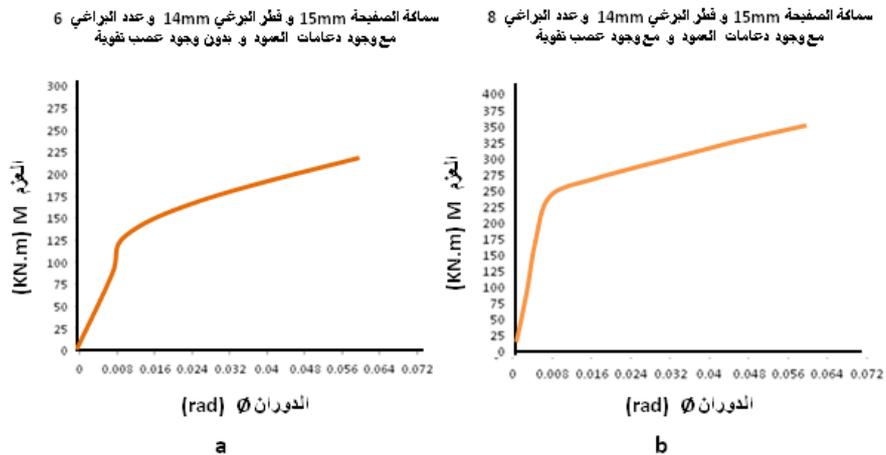
2. أنماط الفشل و العلاقة بين العزم والدوران لكل عينة من العينات

تمت دراسة عدة عينات مختلفة و تم الحصول في كل حالة على مخططات العزم و الدوران و تم تحديد نمط الفشل الخاص بها. و بعد الحصول على منحنى عزم - دوران

(Initial Stiffness) الصلابة الابتدائية : تمثل ميل منحنى عزم دوران في مرحلة المرونة

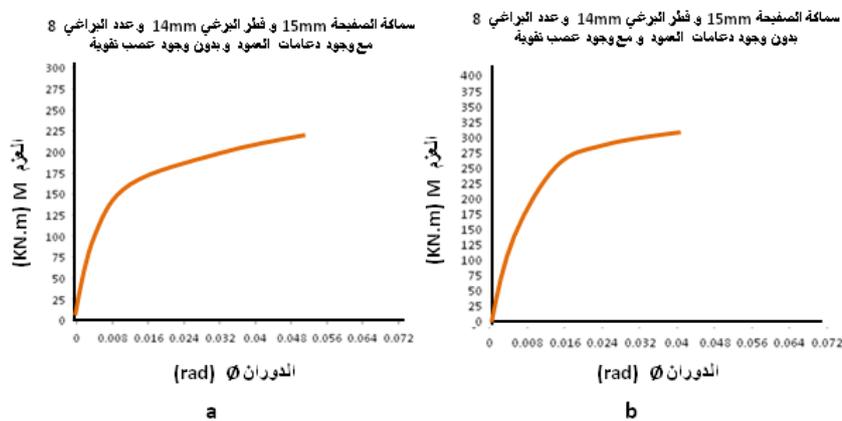
(Moment Resistance) المقاومة على الانعطاف وتمثل القيمة العظمى لعزم الانعطاف على منحنى العزم دوران.

(Rotation Capacity) القدرة الدورانية وتمثل القيمة العظمى لدوران الوصلة على منحنى العزم دوران



الشكل 4 : مخطط العزم و الدوران الخاص بالعینتین رقم 1 و رقم 2

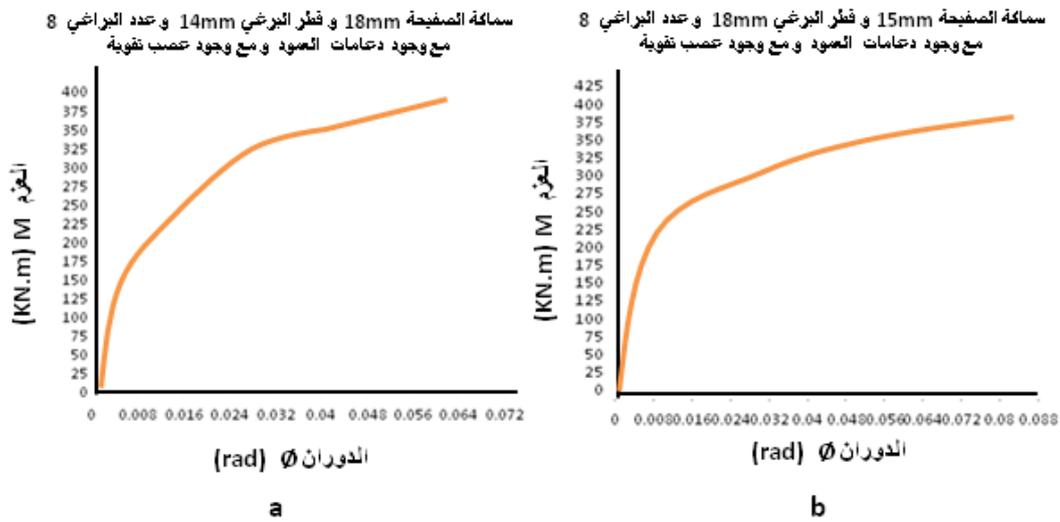
یبین الشكل (4-a) العينة الاولى حیث ان هذه العينة تملك صفيحة بسماكة 15mm و عدد البراغي 6 براغي و قطر كل برغي 14mm مع وجود دعائم للعمود بدون عصب تقوية وتبين من خلال المخططات ان الفشل في هذه العينة ناتج عن تحطم البراغي حیث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 223KN.m عند زاوية دوران 0.055 rad. یبین الشكل (4-b) العينة الثانية حیث ان هذه العينة تملك صفيحة بسماكة 15mm و عدد البراغي 8 براغي و قطر كل برغي 14mm مع وجود دعائم وعصب تقوية للعمود وتبين من خلال المخططات ان الفشل في هذه العينة ناتج عن تحطم البراغي أيضا حیث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 344KN.m عند زاوية دوران 0.055 rad



الشكل 5 : مخطط العزم و الدوران الخاص بالعینتین رقم 3 و رقم 4

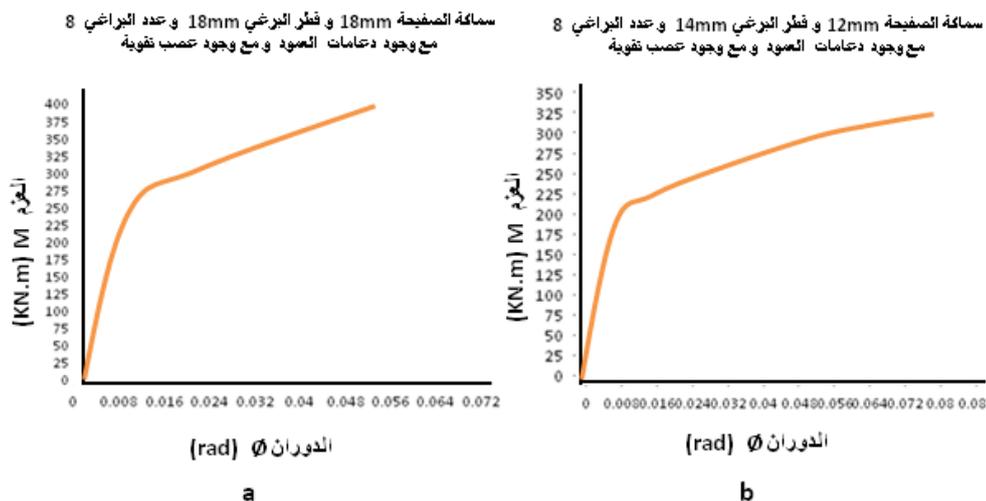
یبین الشكل (5-a) العينة الثالثة حیث ان هذه العينة تملك صفيحة بسماكة 15mm و عدد البراغي 8 و قطر كل برغي 14mm مع وجود دعائم للعمود و بدون وجود عصب تقوية وتبين من خلال المخططات ان الفشل في هذه العينة ناتج عن تحطم البراغي أيضا حیث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 270KN.m عند زاوية دوران 0.053 rad. یبین الشكل (5-b) العينة الرابعة حیث ان هذه العينة تملك صفيحة بسماكة 15mm و عدد البراغي 8 و قطر كل برغي 14mm بدون وجود دعائم للعمود و مع وجود عصب تقوية وتبين من خلال المخططات ان

الفشل في هذه العينة ناتج عن تحطم البراغي وجناح العمود حيث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 271KN.m عند زاوية دوران 0.043 rad



الشكل 6 : مخطط العزم و الدوران الخاص بالعينتين رقم 5 و رقم 6

يبين الشكل (6-a) العينة الخامسة حيث ان هذه العينة تملك صفيحة بسماكة 18mm و عدد البراغي 8 و قطر كل برغي 14mm مع وجود دعائم للعمود و مع وجود عصب تقوية وتبين من خلال المخططات ان الفشل في هذه العينة ناتج عن تحطم البراغي فقط حيث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 385KN.m عند زاوية دوران 0.056 rad. يبين الشكل (6-b) العينة السادسة حيث ان هذه العينة تملك صفيحة بسماكة 15mm و عدد البراغي 8 و قطر كل برغي 18mm مع وجود دعائم للعمود و مع وجود عصب تقوية وتبين من خلال المخططات ان الفشل في هذه العينة ناتج عن تحطم الصفيحة وجسد الجائر حيث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 420KN.m عند زاوية دوران 0.088 rad



الشكل 7: مخطط العزم و الدوران الخاص بالعينتين رقم 7 و رقم 8

يبين الشكل (7-a) العينة السابعة حيث ان هذه العينة تملك صفيحة بسماكة 18mm و عدد البراغي 8 و قطر كل برغي 18mm مع وجود دعائم وعمود و عصب تقوية للعمود وتبين من خلال المخططات ان الفشل في هذه العينة ناتج

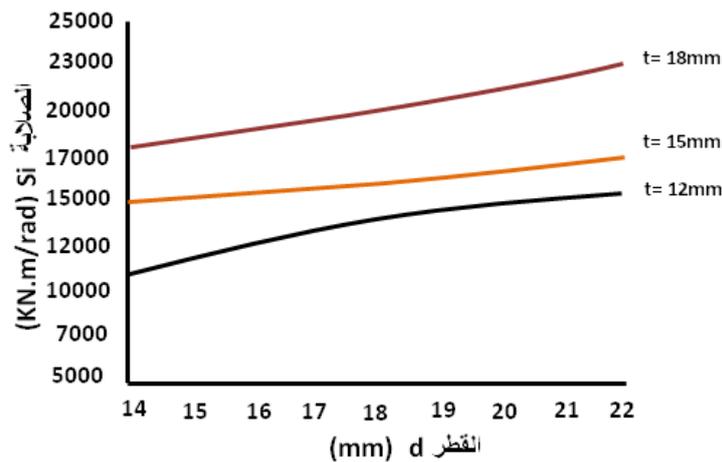
عن تحطم الصفيحة وجسد الجائز، حيث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 377KN.m عند زاوية دوران 0.053 rad. يبين الشكل (7-b) العينة الثامنة حيث ان هذه العينة تملك صفيحة سماكة 12mm و عدد البراغي 8 براغي و قطر كل برغي 14mm مع وجود دعامات للعمود و مع وجود عصب تقوية وتبين من خلال المخططات ان الفشل في هذه العينة ناتج عن تحطم الصفيحة وتحطم البراغي حيث نلاحظ ان اعلى قيمة للعزم هي بحدود 327KN.m عند زاوية دوران 0.074 rad.

3. البارامترات الواجب دراستها و المتعلقة بفشل الوصل

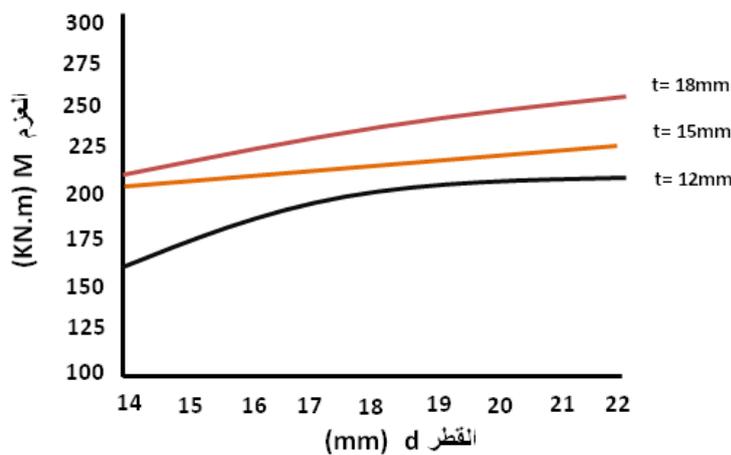
يجب تحديد متغيرات الدخل بشكل واضح وسوف ندرس تأثير سماكة الصفيحة وتأثير قطر البرغي على سلوك الوصلة بشكل مفصل حيث قمنا بدراسة 18 حالة مختلفة عن الحالات المدروسة بالفقرة السابقة

1.3. تأثير قطر البرغي

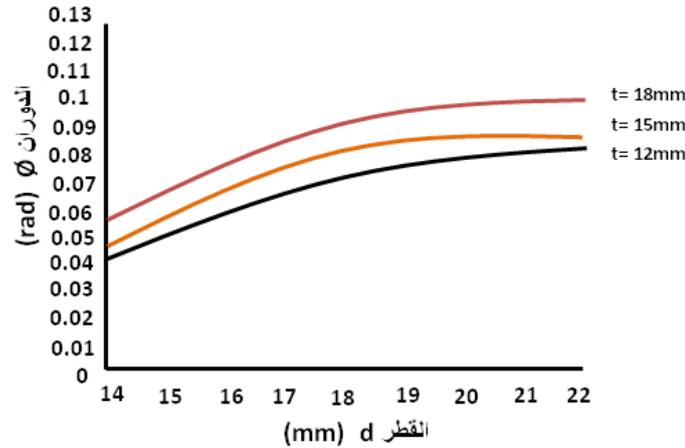
تظهر الأشكال (8)، (9)، (10) تأثير عدد مختلف من أقطار البراغي على الصلابة والعزم القصوى و السعة الدورانية و تم عرض كل وصلة مع ثلاث قيم من سماكات لوحة النهاية 12mm ، 15mm و 18mm و نلاحظ انه بزيادة قطر البرغي و سماكة الصفيحة تزداد القيم السابقة كلها



الشكل 8: العلاقة بين أقطار البراغي و الصلابة عند قيم سماكات مختلفة للصفائح



الشكل 9 : العلاقة بين أقطار البراغي و العزم عند قيم سماكات مختلفة للصفائح



الشكل 10 : العلاقة بين أقطار البراغي و الدوران عند قيم سماكات مختلفة

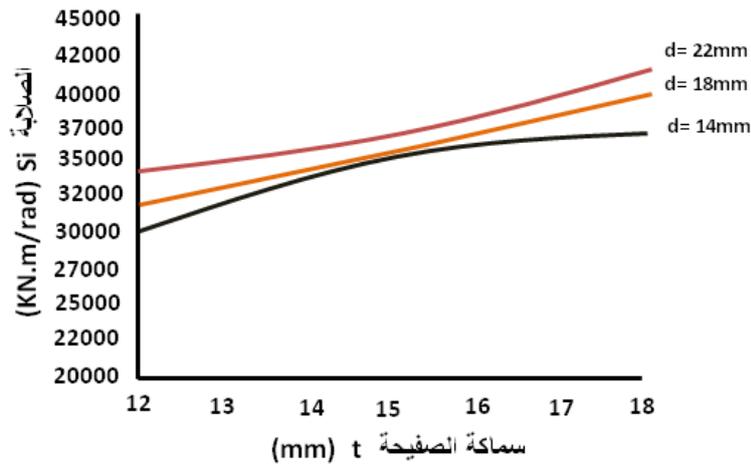
عندما يكون قطر البرغي يساوي 14mm ، و في هذه الحالة يكون الفشل الناتج يعود إلى انهيار البرغي و الذي يسبب فشل سريع في الوصلات و يسبب فقد في مقاومة الالتواء .

من أجل صفيحة بسماكة 15mm و برغي يزداد قطره من 14mm إلى 18mm تزداد الصلابة الابتدائية بالنسبة التالية 8% و العزوم بالنسبة التالية 8.9% و السعة الدورانية بالنسبة التالية 77% ويزيادة قطر البراغي من 18mm إلى 22mm تزداد الصلابة الابتدائية بالنسبة التالية 8.3% و العزوم بالنسبة التالية 4.2% و السعة الدورانية بالنسبة التالية 5.6%

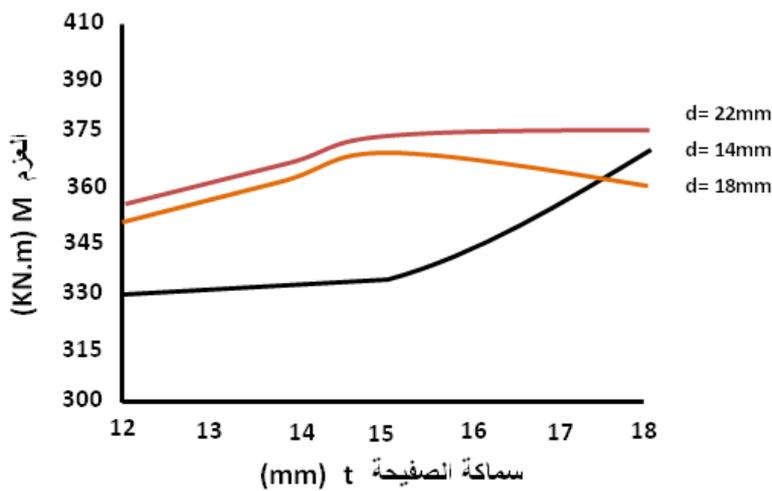
1.3. تأثير سماكة الصفيحة

إن الأشكال (11)، (12)، (13) تظهر تأثير عدد مختلف من سماكات الصفيحة على الصلابة و العزوم القصوى وسعة الفتل (السعة الدورانية) و تم عرض كل وصلة مع ثلاث قيم من سماكات الصفيحة 12 mm و 15 mm و 18mm من أجل ثلاث قيم لقطر البرغي 14mm و 18mm و 22mm.

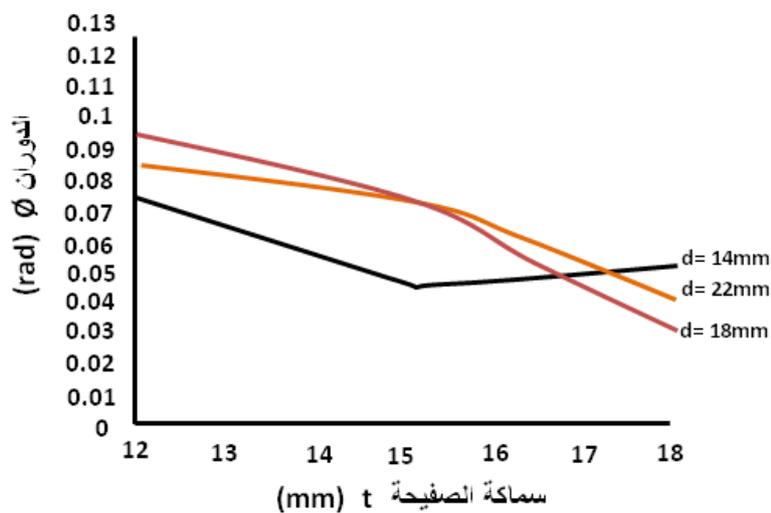
عموماً، يمكن ملاحظة أن الصلابة الابتدائية تزيد بشكل ملحوظ مع زيادة سماكة الصفيحة، في حين أنه يزيد قليلاً مع زيادة قطر البرغي وبالإضافة إلى ذلك، فإنه يمكن ملاحظة أن قطر البرغي وسماكة الصفيحة لها تأثير كبير على العزم النهائي والسعة الدورانية. وهذا يمكن أن يكون عائداً إلى أن الزيادة في سماكة الصفيحة يسمح بالمزيد من قوة الشد في البراغي التي تزيد من السعة و القدرة في العزم ، ولكن الزيادة هي ليست كبيرة جداً وسوف يسبب فشل تحطم في البراغي مع سعة دوران منخفضة للوصلة. ويقترح من الضروري التقليل من سماكة الصفيحة من أجل تجنب الفشل ومع ذلك يجب أن يكون للصفيحة أيضاً سماكة مناسبة لتجنب فشل وتحطم الصفيحة نفسها.



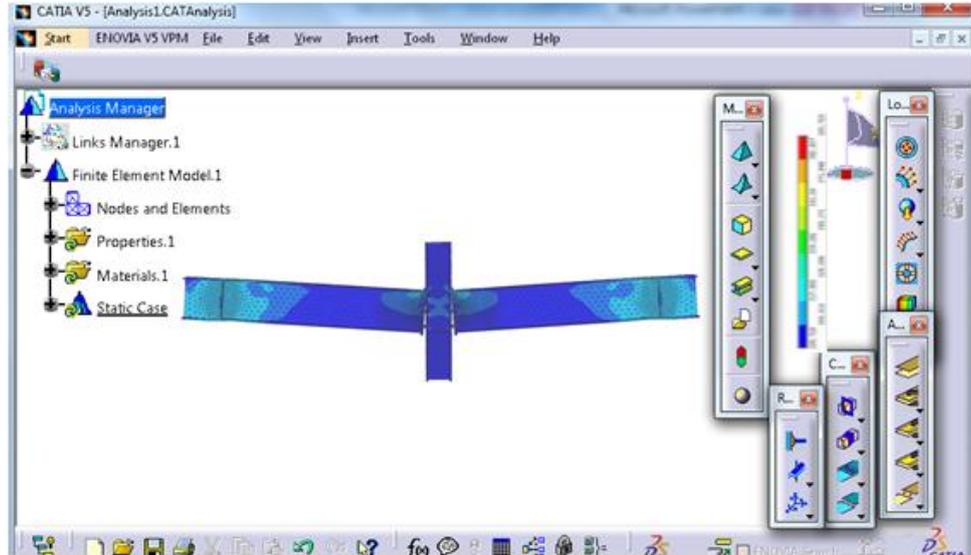
الشكل 11 : العلاقة بين سماكة الصفيحة و الصلابة عند قيم أقطار براغي مختلفة



الشكل 12 : العلاقة بين سماكة الصفيحة و العزم عند قيم أقطار براغي مختلفة

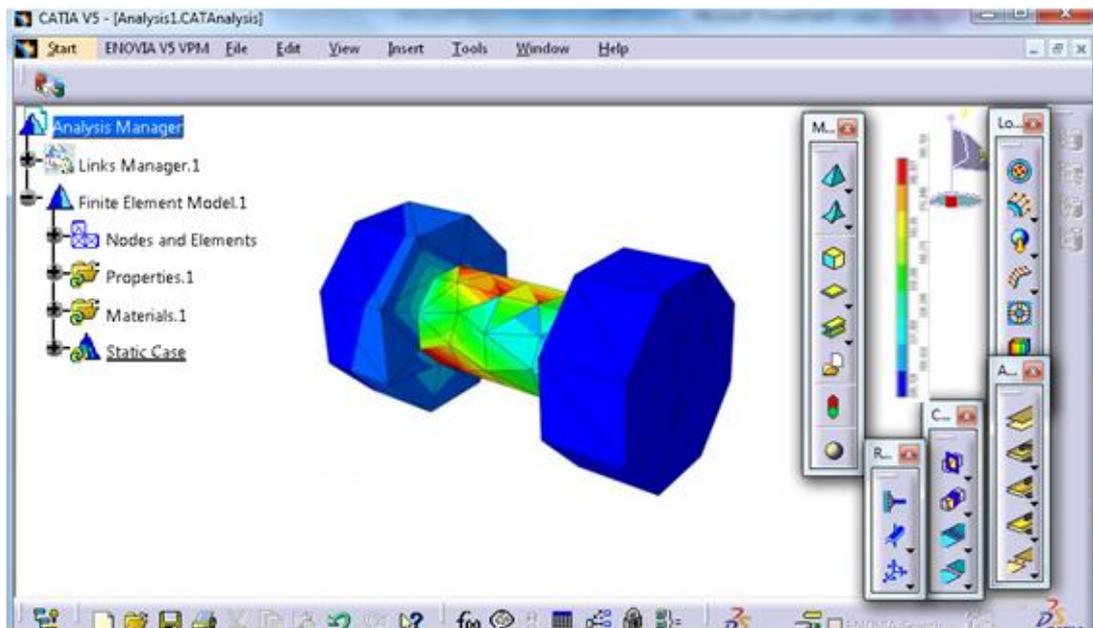


الشكل 13 : العلاقة بين سماكة الصفيحة و الدوران عند قيم أقطار براغي مختلفة



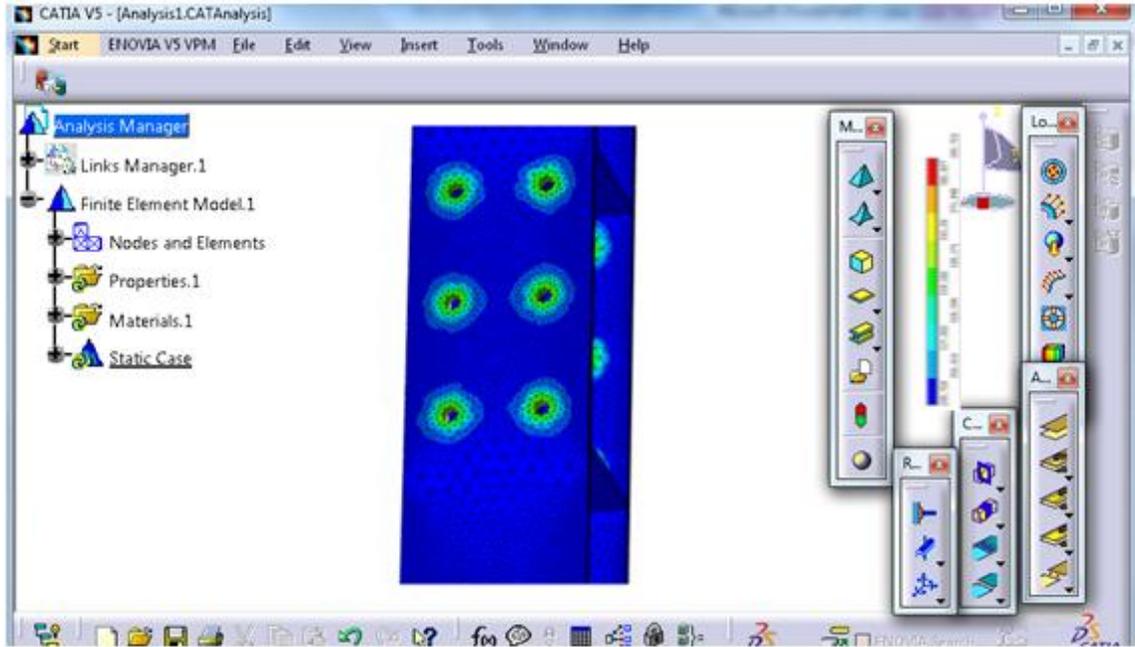
الشكل 14 : نمط الفشل الحاصل في الوصلة

يوضح الشكل 14 الفشل الناتج في الوصلة حيث تأثير القوة المركزة ينتقل عن طريق الصفيحة الصلبة إلى منطقة العقد . أكثر المناطق إجهاداً كانت الصف الأخير من البراغي الخاضعة لقوى الشد. فلنجات العارضة والعمود كانت خاضعة للضغط وكذلك المناطق حول المساند. فشل الوصلات ناتج عن تخرب الصف الأخير من البراغي الخاضع للشد. يوضح الشكل 15 توزيع الاجهادات في البرغي الاكثر انفعالا



الشكل 15 : توزيع الاجهادات في البرغي الاكثر انفعالا

يوضح الشكل 16 توزيع الاجهادات في الوصلة حيث ان الاحتكاك بين العناصر المتصلة (الصفائح والفنجات) ناتجة عن الإجهاد في البراغي والذي يؤدي إلى انتقال تأثير القوة. ونلاحظ أن كل رؤوس وصامولات البراغي كانوا خاضعين للضغط الناتج عن تأثير الشد. باقي المناطق لم تنشوه



الشكل 15 : توزيع الاجهادات في الوصلة

الاستنتاجات:

1. إن زيادة قطر البرغي من 14mm إلى 18mm يزيد من القدرة على تحمل عزم اكبر بنحو 8.9% وقدرة الدوران بنحو 77%.
2. زيادة قطر البرغي من 18mm إلى 22mm يزيد العزم بنحو 4.2% وقدرة الدوران بنحو 5.6%.
3. من أجل الوصلة من نوع Extended مع عصب مدعم، الصلابة الأولية تزداد بشكل ملحوظ بزيادة سماكة الصفيحة، في حين أنه تزداد قليلا مع زيادة قطر البرغي. يمكن أيضا ملاحظة أن قطر البرغي وسماكة الصفيحة لها تأثير كبير على العزم وقدرة الدوران.
4. طريقة العناصر المنتهية للوصلات توفر الكثير من الكلفة المادية والزمنية وتعطي معلومات عن السلوك الفعلي للوصلات أثناء تعرضها لحمولة ما، وبرنامج CATIA V5 يقدم الكثير من التسهيلات لنمذجة ومحاكاة الوصلات. التحليل العددي للوصلات يقدم تحليل جيد للوصلات الخاضعة للقوى بالمقارنة مع الاختبارات الفعلية.

التوصيات:

1. استخدام لوالب بقطر لايزيد عن 18mm لانها تعطي اكبر قدرة على تحمل عزم وتزيد مقتومة الفتل بمقدار 77%
2. إجراء دراسة تجريبية مخبرية لعدد من العينات ومقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية التي تم الوصول اليها
3. إجراء دراسة تحليلية مشابهة على برامج هندسية اخرى مثل ANSYS او ABAQUS للتأكد من وثوقه النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج CATIA V5

References:

- [1] K. S. RAGU RAM, D. AJAY KUMAR "Stress Analysis of Traverse Beam Crane Hook Used in Steel Melting Shops of Steel Plant by ANSYS and CATIA " (2017).37-43
- [2] K.ALHAJ, H. BADIA, G.LOHO "The Effect of Axial Force on the Behavior of Bolted flush End-plate single-sided beam-to-column moment connections ", (2016). 439-451
- [3] ROXANA BALC ALEXANDRU CHIRA NICOLAE CHIRA "Finite element analysis of beam to column end plate bolted connection", (2012). 23-29
- [4] MASHALY, E., EL-HEWEITY, M., ABOU-ELFATH, H. and OSMAN, M., "Behavior of four-bolt extended end-plate connection subjected to lateral loading", Engineering Journal, (2011). 79–90.
- [5] MOHAMADI-SHOORE, M.R. and MOFID, M. "New modeling for moment–rotation behavior of bolted endplate connections", Scientia Iranica, (2011). 827-834.
- [6] GANG SHI,Y,M. "Finite element analysis of beam-column bolted end-plate connections in steel frames". Department of Engineering, China, 2007, 88-99
- [7] DABAO, M. A., EL-BOGHADADY, M. H. and KHAROOB, O. F. "Semi-rigid joints in bare steel and composite frames subjected to loading in space part II: Finite element modeling" Twelfth international colloquium on structural and geotechnical engineering, (2007).60- 72.
- [8] SHI Y., SHI ,G. and WANG, Y. , "Experimental and theoretical analysis of the moment–rotation behavior of stiffened extended end-plate connections", Journal of Constructional Steel Research., (2007). 1279–1293
- [9] SOKOL, Z, F. "Design of End Plate Joints Subject to Moment and Normal Force". Proceedings of the Third European Conference on Steel Structures, (2002). 55-65
- [10] FANNING, P., TUCKER, M. "Non-Linear Finite Element Analysis of Semi-Rigid Bolted End-Plate Connections". Proceedings of the Fifth International Conference on Computational Structures Technology, Japan, (2006). 58-72.
- [11] CATIA. users' manual. Structure Design, User's Guide Version 5 (2014)