

تأثير القوة المحورية على سلوك الوصلات الفولاذية جأز-عمود أأادية الجانب المقاومة للعزوم والمنفذة ببراعي وصفيحة جبهية غير بارزة

الدكتورة بادية حيدر*

الدكتور غاندي لحو**

خضر يوسف الحج***

(تاريخ الإيداع 5 / 8 / 2015. قُبل للنشر في 30 / 12 / 2015)

□ ملخص □

تعتبر الوصلات الفولاذية جأز-عمود المنفذة ببراعي وصفائح جبهية والمستخدمة في إطارات المنشآت ذات الأسقف المائلة وفي الإطارات الطابقية القابلة للانزياح الجانبي معرضة لتراكب عزوم انعطاف وقوى محورية حيث يمكن أن تبلغ القوة المحورية قيمة كبيرة. إن العديد من التوصيفات الحديثة لكودات التصميم الخاصة بالوصلات المعدنية تهمل تأثير القوة المحورية على سلوك الوصلة إذا كانت قيمتها منخفضة حيث أن الكود الأوروبي EN-1993-1-8 يشترط عدم تجاوز القوة المحورية (ضاغطة أو شاده) 10% من المقاومة للدنة لمقطع الجأز من أجل تطبيق طريقة المركبات المعتمدة في الكود لتصميم الوصلات .

يتلخص هدف البحث في دراسة تأثير القوة المحورية على سلوك الوصلات الفولاذية جأز-عمود أأادية الجانب المقاومة للعزوم والمنفذة ببراعي وصفيحة جبهية غير بارزة.

تم وضع نموذج عددي ثلاثي الأبعاد للوصلة المدروسة يعتمد طريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج الحساب CATIA من أجل تقييم سلوك الوصلة

تظهر نتائج التحليل اللاخطي للوصلة أن تطبيق قوة شد على الوصلة يخفض مقاومة الوصلة بشكل ملحوظ مقارنة مع حالة خضوع الوصلة لعزم فقط ومن جهة أخرى فإن تطبيق قوة ضاغطة منقولة من الجأز إلى الوصلة تسبب زيادة في مقاومة الوصلة الحدية للعزوم إلى حد معين ، حيث عند حدوث التحنيب في جناح الجأز المضغوط فإن مقاومة الوصلة للعزوم تميل إلى الانخفاض.

الكلمات المفتاحية: وصلات جأز عمود، عناصر منتهية لاخطية، وصلات صفيحة نهائية، طريقة المركبات، Catia.

* مدرسة - قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

** مدرس - قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

*** طالب ماجستير - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

The Effect of Axial Force on the Behavior of Bolted flush End-plate single-sided beam-to-column moment connections

Dr. Badia Haidar*
Dr. Ghandi Loho**
Khudr Alhaj***

(Received 5 / 8 / 2015. Accepted 30 / 12 / 2015)

□ ABSTRACT □

Flush end-plate beam-to-column joints often subjected to a combination of bending and axial forces. The level of axial forces in the joint may be significant in case of: sway frames under horizontal loads, pitched roof portal frames and irregular frames.. Many of design codes neglect the effect of axial force in the connection analysis as it is usually low. Eurocode 3 limits the axial force acting on the joint to 10% of the design plastic resistance of the connected member cross section to apply component method.

The objective of this paper is to discuss the behavior of flushend-plate connections under a combination of bending and axial tension or compression forces For the nonlinear finite element analysis the modeling process was carried out using CATIA computer program. The results of the finite element analysis of the connection showed that by applying the tensile axial load of the beam into the connection, the ultimate bending capacity of the connection will decrease. On the other hand, by applying compressive axial load of the beam to the connection, the ultimate bending capacity of the connection will increase at first; but after the buckling of the compressive flange of the beam takes place, the total capacity of the connection tends to decrease

Keywords: End-Plate Moment Connection, Flush End-Plate, Nonlinear Finite Element ,CATIA.

* Associate Professor , Department of structure engineering – Faculty of Civil engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

** Associate Professor , Department of structure engineering – Faculty of Civil engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

***Post graduate student , Department of structure engineering – Faculty of Civil engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

مقدمة:

لقد أصبح النظام الإنشائي القائم على استخدام المنشآت الإطارية واحداً من أكثر الأنظمة استخداماً في مجال البناء خلال القرن الأخير ، في هذا النظام ترتبط العناصر الإنشائية فيما بينها بما اصطلح على تسميته بالوصلات. إن لطبيعة الوصلات أهمية كبرى في المنشآت ، فهي تتحكم بشكل توزع العزوم في العناصر مما يؤثر على تصميم العناصر المشكلة لها أيضاً ، فإذا لم تكن الوصلة المقترحة من قبل المصمم متوافقة مع الفرضيات الإنشائية التي قادت إلى التحليل الإجمالي ، فإن هذا ينسف عملية التصميم كلياً ، إضافة لذلك تتحمل الوصلات الجزء الأكبر من التكاليف وخاصة عند تدعيم الوصلات الصلبة بصفائح ملحومة.

إن الوصلات المزودة بصفائح جبهية ومربوطة بالبراجي مستخدمة بشكل كبير لوصل الجوائز مع الأعمدة أو وصل الجوائز مع بعضها في إطارات الأبنية متعددة الطوابق . هذه الوصلات تقسم إلى صنفين:

• وصلات مزودة بصفحة نهاية ملتحمة

• وصلات مزودة بصفحة نهاية بارزة.

أهم الخصائص الإنشائية للوصلة الواجب معرفتها قبل تحليل المنشآت الإطارية وتصميم عناصرها هي العزم المقاوم ، الصلابة الدورانية ، القدرة على الدوران.

إن وصلات جوائز عمود هي عاد معرضة لتراكب عزوم انعطاف وقوى محورية . على الرغم من أنه في العديد من إطارات الأبنية يكون مستوى القوة المحورية المنقولة من الجوائز منخفض غير أنه قد يصل إلى قيم كبيرة في كثير من الحالات مثل :

• إطارات الأبنية الخاضعة لحمولات أفقية كبيرة (زلزالية أو رياح شديدة) وخاصة الإطارات القابلة للانزاح

الجانبية .

• إطارات المنشآت الصناعية ذات الأسقف المائلة.

يحتوي الكود الأوروبي Eurocode 3 قواعد تصميم لتحديد الخصائص الدورانية لعدد كبير من نماذج

الوصلات بما فيها المزودة بصفحة جبهية ومربوطة بالبراجي . غير أن الكود الأوروبي يعتمد قيمة حرجة للقوة المحورية تعادل 5% من المقاومة للدنة للجوائز . إن تطبيق القوة المحورية على الوصلة المزودة بصفحة نهاية مترافقة مع وجود عزم انعطاف ناجم عن أحمال الثقالة أو الأحمال الجانبية يمكن أن يؤدي إلى تغيير كبير في سلوك الوصل مما يجعل التحليل اعتماداً على طريقة العناصر المنتهية هو أداة مثالية لحل هذه المشكلة المعقدة .

تعتبر التجارب المخبرية هي الوسيلة الوحيدة التي تسمح بمعرفة السلوك الحقيقي عزم-دوران لوصلات جوائز -

عمود ولكن أنواع الوصلات وتفصيلها كثيرة وقياساتها مختلفة (إذا كانت صفحة النهاية ملتحمة أو بارزة، الصفحة بارزة عن جناح الجوائز من جهة أو من جهتين، طول بروز الصفحة ، قطر البراجي، عدد صفوف البراجي ، التباعدات الأفقية والشاقولية بين البراجي ، سماكة الصفحة الجبهية ، قوة الشد في البراجي ، ابعاد العمود والجوائز، حد الخضوع للفولاذ، معامل الاحتكاك لسطوح التماس) كل هذه العوامل تجعل من المستحيل دراسة سلوك العقد بشكل شامل إلا عن طريق الدراسة التحليلية ، علاوة على ذلك فإن الدراسة التجريبية قد تكون مكلفة جداً.

فيما يلي نذكر بعض الدراسات التجريبية والتحليلية التي تناولت موضوع دراسة سلوك وصلات جوائز - عمود

ونخص في دراستنا المزودة منها بصفحة جبهية وخاضعة للتأثير المشترك للعزوم والقوى المحورية.

قام الباحث (Petroid et al,2000) بإجراء دراسة تجريبية على نموذجين من الوصلات (جاذز-جاذز، جاذز-عمود) خاضعة لتأثير عزم انعطاف وقوة محورية وفي كلا النموذجين حصل الانهيار في جناح العمود ضمن المنطقة المضغوطة ، لسوء الحظ أن الباحث لم يدرس حالة تأثير عزم فقط من أجل تقييم تأثير القوة المحورية على سلوك الوصلة.

قام كل من (Lima,da silva, 2004) بإجراء تجارب على وصلات جاذز عمود خاضعة لتأثير عزم انعطاف وقوة محورية، شملت التجارب على 15 نموذج : 8 لوصلات مزودة بصفيحة نهاية غير بارزة و 7 لوصلات مزودة بصفيحة نهاية بارزة . آلية التحميل المتبعة في التجربة هي إخضاع الوصلة لقوة محورية ثابتة وعزم متزايد حتى الانهيار وتوصل الباحث بنهاية التجربة أنه ومن أجل مستويات منخفضة من القوة المحورية الضاغطة تزداد مقاومة العقدة للعزم وبالمقابل وجد انخفاض ملحوظ في مقاومة العقدة للعزم عند تأثير قوة محورية شادة.

قام (Gang shi ,2007) بإجراء دراسة تجريبية لوصلات جاذز-عمود مزودة بصفيحة نهاية وخاضعة لتأثير عزم انعطاف وقوة محورية لكنه اعتمد استراتيجية تحميل مختلفة فالقوة والعزم تؤثر بشكل متزايد على الوصلة ، وتوصل الباحث بنهاية التجربة لرسم مخطط عزم دوران للوصلة المدروسة يشرح بشكل مفصل آلية تأثير القوة المحورية المتزايدة على سلوك الوصلة.

وبالرغم من أن التجارب المخبرية هي الوسيلة الأكثر دقة في معرفة السلوك الحقيقي للوصلة إلا أنها قد تكون مكلفة جداً ومن أجل ذلك فقد عمل العديد من الباحثين على تطوير نماذج عددية بطريقة العناصر المنتهية تسمح بمحاكاة سلوك الوصلات جاذز-عمود الخاضعة لعزم انعطاف وقوى محورية.

اقترح (Sokol et al ,2002) نموذج تحليلي ليتنبأ بسلوك الوصلات الخاضعة لتأثير عزم انعطاف وقوة محورية، آلية التحميل المتبعة في التحليل هي إخضاع الوصلة لقوة محورية ثابتة وعزم متزايد حتى الانهيار ، ولمعايرة نتائج التحليل قام بمقارنة النتائج مع النتائج التجارب المنفذة من قبل (Wald and Savark , 2002) قدم (Faning,2000) نموذج عناصر منتهية باستخدام برنامج ANSYS للوصلات المزودة بصفيحة نهاية غير بارزة.

يهدف هذا البحث إلى تطوير نموذج عددي لا خطي ثلاثي الأبعاد باستخدام طريقة العناصر المنتهية لدراسة تأثير القوة المحورية على سلوك الوصلات الفولاذية جاذز-عمود أحادية الجانب المقاومة للعزم والمنفذة ببراعي وصفيحة جبهية غير بارزة ولتحقيق هذه الغاية استخدم برنامج العناصر المنتهية CATIA حيث تم توثيق ومعايرة النموذج المطور بمقارنة نتائج النموذج مع نتائج التجارب المنفذة من قبل (da Silva ,2004) ، ثم أجريت دراسة بارمترية لتوضيح وفهم أثر القوة المحورية على سلوك الوصلة.

يجري البحث في جامعة تشرين- اللاذقية- سوريا وفترة التنفيذ سنتين.

أهمية البحث وأهدافه :

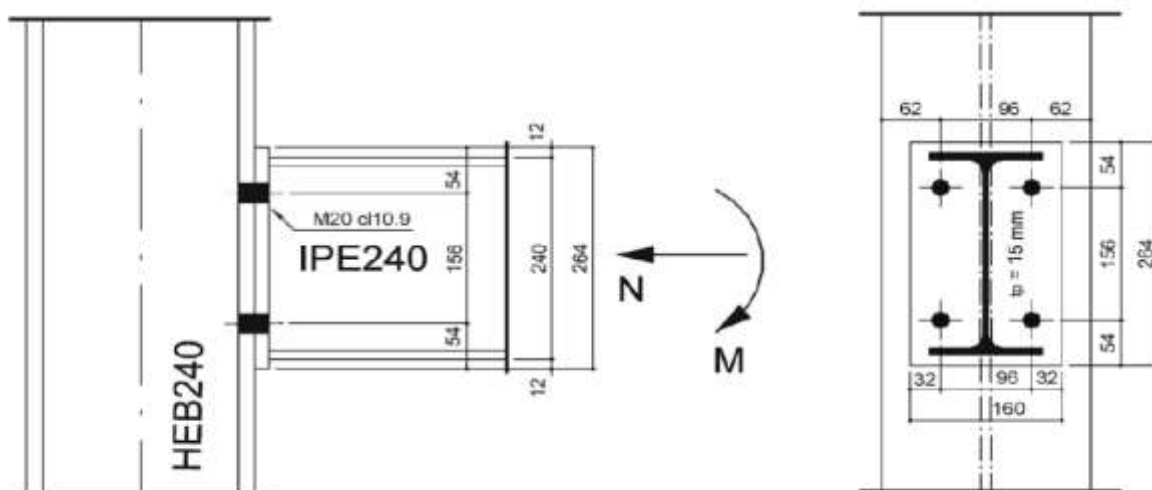
إن هدف البحث هو دراسة تأثير القوة المحورية على الخصائص الدورانية لوصلات جاذز-عمود المزودة بصفيحة جبهية من خلال وضع نموذج تحليلي يعتمد طريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج CATIA ومقارنة نتائج النمذجة والتحليل مع المعطيات التجريبية المستخلصة من الأبحاث المدروسة في هذا المجال.

طرائق البحث ومواده:

3.1 الدراسة التجريبية المعتمدة لمعايرة وتوثيق النموذج العددي

تم اختبار عدة نماذج لوصلات جوائز عمود مزودة بصفيحة جبهية وأخضعت لتأثير حملات دورية. في هذا البحث ومن أجل معايرة النموذج العددي قمنا باختيار نماذج تم اختبارها تجريبياً من قبل (da Silva, 2004) حيث اعتمدت كنماذج مرجعية من أجل الدراسة [2]: النموذج FE1 معرض فقط لعزم انعطاف من دون قوة محورية، النموذج FE5 معرض لعزم انعطاف وقوة ضاغطة تعادل 20% من المقاومة اللدنة للجائز، (Npl: beam plastic resistance)، النموذج FE6 معرض لعزم انعطاف وقوة ضاغطة قيمتها 27%NPL، النموذج FE9 معرض لعزم انعطاف وقوة شاده قيمتها 20%Npl. الخواص الهندسية للنماذج السابقة وخواص المواد موضحة ضمن الشكل (1) والجدول (1).

في جميع التجارب الأعمدة متمفصلة من الطرفين ومولفة من مقاطع HEB240، الجوائز مؤلفة من مقاطع IPE240 والصفيحة الجبهية بسماكة 15mm، جميع المقاطع مصنعة من فولاذ S275، البراغي المستخدمة M20 صنف 10.9



الشكل(1): الخواص الهندسية للنماذج المدروسة من قبل (da Silva et al 2004)

الجدول (1) : خواص المواد (da Silva et al 2004)

Material	Application	Yielding stress (MPa)	Ultimate stress (Mpa)	Young's modulus (MPa)
S275	Beam web	363.4	454.3	203713
S275	Beam flange	340.14	448.23	215222
S275	Column web	372.02	477.29	206936
S275	Column flange	342.95	448.79	220792
S275	End-plate	369.44	503.45	200248
M20	Bolts	900	1000	200000

3.2. وصف النموذج العددي بطريقة العناصر المنتهية

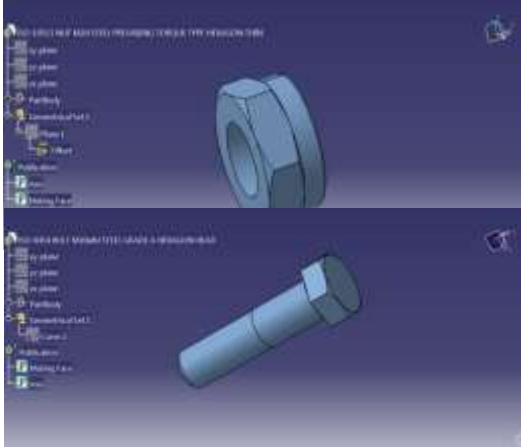
3.2.1. وصف البرنامج

من أجل تحقيق أهداف البحث تمت عملية النمذجة باستخدام برنامج العناصر المنتهية CATIA وهو أحد أهم برامج التصميم بمساعدة الحاسب الذي يلبي حاجات المهندسين في التصميم و التصنيع و النمذجة و المحاكاة ويقوم بخدمة مجالات عديدة في الهندسة تتضمن :

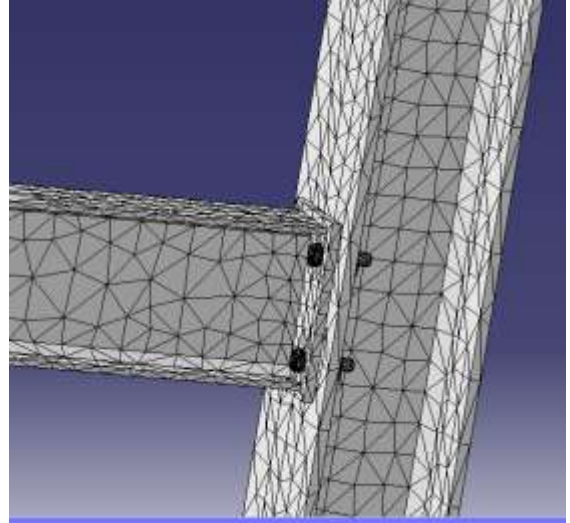
- تمثيل القطع الهندسية كأجسام حقيقية في الفراغ ثلاثي الأبعاد.
 - إمكانية إجراء النمذجة العددية للآليات و الإنشاءات والقوالب المعدنية لتحليل الاجهادات.
 - إنشاء طبقات القوالب المعدنية المستخدمة في حقن النماذج البلاستيكية.
 - التعامل مع الإنشاءات الهيكلية المعدنية من حيث الإنشاء و الحصول على البروفيلات.
- ويتطلب الحصول على نتائج دقيقة تصف سلوك الوصلة المميز بمنحني العزم-دوران اعتبار العديد من البارامترات في عملية النمذجة، تم إهمال بعضاً من هذه البارامترات في هذه الدراسة كاللحام والعيوب البديئية المتمثلة بالعيوب الهندسية والإجهادات المتبقية.

3.2.2. نمط العناصر المنتهية المستخدمة في النمذجة

استخدمت عناصر صلبة ثلاثية الأبعاد (C3D8) تمتلك ثلاث درجات في كل عقدة لنمذجة الجاذز، العمود، الصفيحة الجبهية والبراغي. ولمحاكاة شروط التماس بين الصفيحة الجبهية، جناح العمود والبراغي تم استخدام عناصر اتصال بين الصفيحة الجبهية وجناح العمود وأيضاً بين سطح البراغي والصفيحة الجبهية من جهة وبين سطح البراغي وجناح العمود من جهة أخرى مع اعتماد معامل احتكاك 0.3 لعناصر الاتصال هذه وتوضح الأشكال (2)،(3) نموذج نمط شبكة العناصر المنتهي والبراغي المستخدمة في التحليل.



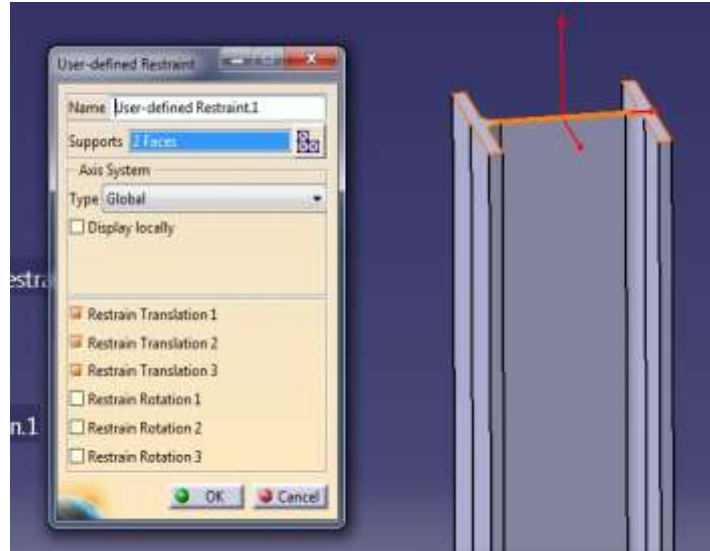
الشكل (3) : البراغي المستخدمة في التحليل.



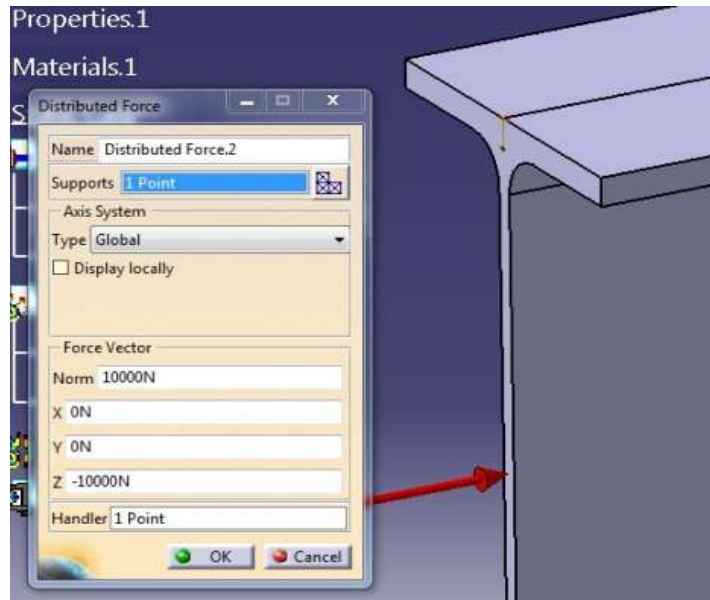
الشكل(2): نموذج نمط شبكة العناصر المنتهية.

3.2.3. الشروط الطرفية وآلية التحميل

العمود متمفصل من الطرفين عند نهايتيه العلوية والسفلية كما يظهر الشكل (4) ، والحمولة مطبقة عند طرف الجائز الظفري كما يظهر الشكل (5) وتتألف من جزئين : حمولة محورية شاده أو ضاغطة مطبقة بقيمة ثابتة وحمولة شاقولية مسببة للعزم ومتزايدة بشكل تدريجي .



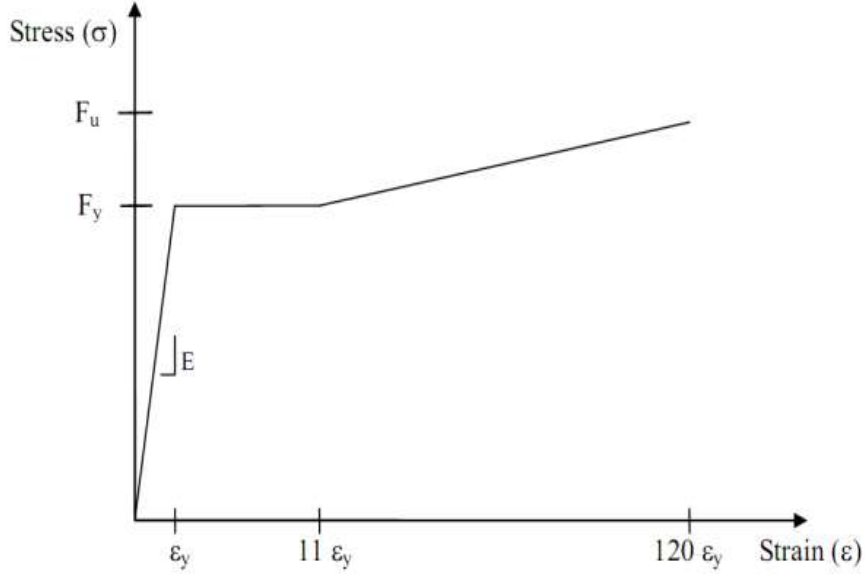
الشكل (4):آلية تعريف الشروط الطرفية للوصلة المدروسة



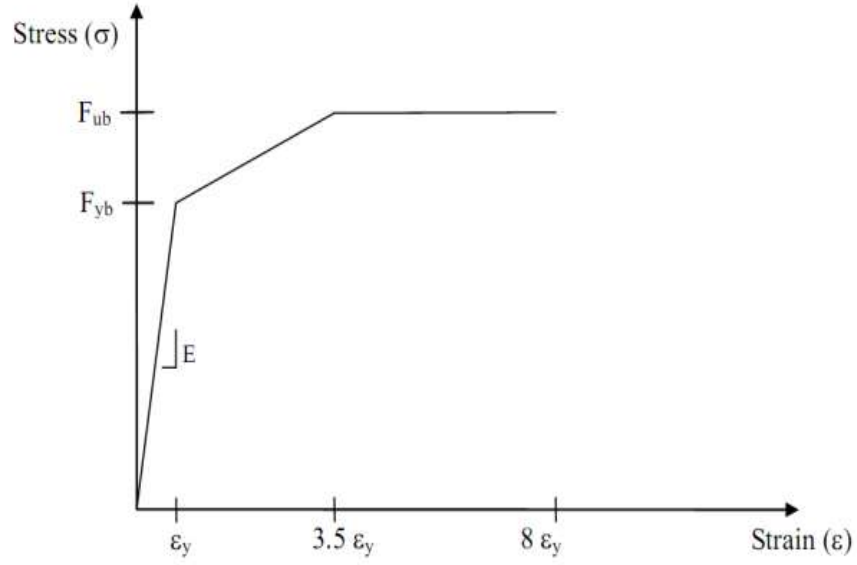
الشكل (5):آلية تطبيق الحمولة المحورية للوصلة المدروسة.

3.2.4. توصيف الفولاذ

تمت نمذجة الجائز، العمود، الصفيحة الجبهية والبراغي كمادة مرنة لدنة معرفة بمنحني إجهاد-تشوه ثلاثي الخطية كما تظهر الأشكال (6),(7)، حيث استخدمت القيم التجريبية لخصائص الفولاذ المبينة في الجدول (1) لتعريف هذه المنحنيات



الشكل(6): مخطط إجهاد-تشوه خاص بفولاذ الجائز، العمود والصفحة الجبهية



الشكل(7): مخطط إجهاد-تشوه خاص بفولاذ البراغي

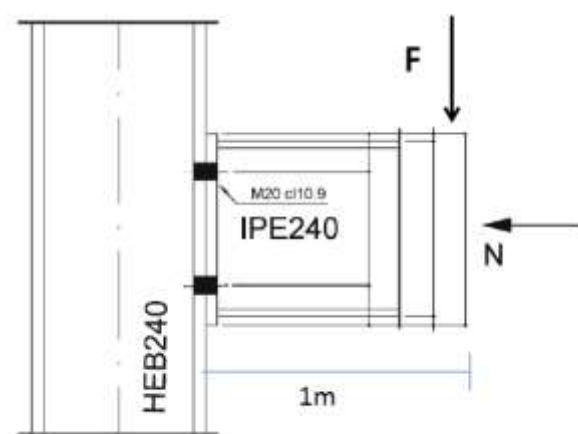
النتائج والمناقشة

1. تعريف منحنى عزم-دوران للوصلات المدروسة

يعرف سلوك وصلة جائز-عمود مقاومة لعزم الانعطاف من خلال منحنى عزم دوران يصف العلاقة بين عزم الانعطاف المطبق على الوصلة ودوران الوصلة.

تم حساب عزم الانعطاف المطبق على الوصلة M_j والمعرف على وجه العمود من خلال جداء القوة "F" بالمسافة ($L_b=1m$) بين نقطة تطبيق القوة ووجه العمود الشكل(8)

$$M_j = F * L_b$$



الشكل (8): آلية تطبيق العزم للوصلة المدروسة.

أما دوران الوصلة المعرف كتغير الزاوية القائمة بين محوري الجانز والعمود فقد تم تحديده انطلاقاً من تشوهات عناصر الوصلة.

يمكن اعتبار الوصلة "joint" مكونة من جزأين رئيسيين هما لوح جسد العمود "column web panel" وعناصر الربط في الوصلة "connections" وبناء عليه يحسب دوران الوصلة " θ_j " كمجموع دورانيين : الدوران " θ_c " وهو ناتج عن تشوه عناصر الربط (تشوهات الانعطاف في الصفيحة الجبهية وجناح العمود إضافة إلى تطاول البراغي) الدوران " μ " وهو ناتج عن تشوهات القص في لوح جسد العمود.

$$\theta_j = \theta_c + \mu$$

باستخدام الانتقالات الناتجة عن التحليل العددي يمكن حساب الدوران θ_c كما يلي:

$$\theta_c = \frac{\Delta 3 - \Delta 4}{hb}$$

$\Delta 3$: الانتقال النسبي الأفقي بين نقطتين إحداها تقع على الجناح العلوي للجانز قرب وجه العمود والأخرى على جسد العمود.

$\Delta 4$: الانتقال النسبي الأفقي بين نقطتين إحداها تقع على الجناح السفلي للجانز قرب وجه العمود والأخرى على جسد العمود.

ويحسب دوران لوح جسد العمود μ بالصيغة التالية:

$$\mu = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2a * b} (\Delta 1 - \Delta 2)$$

$\Delta 1, \Delta 2$: تقاصر وتطاول قطري لوح جسد العمود

a, b : عرض وارتفاع لوح جسد العمود

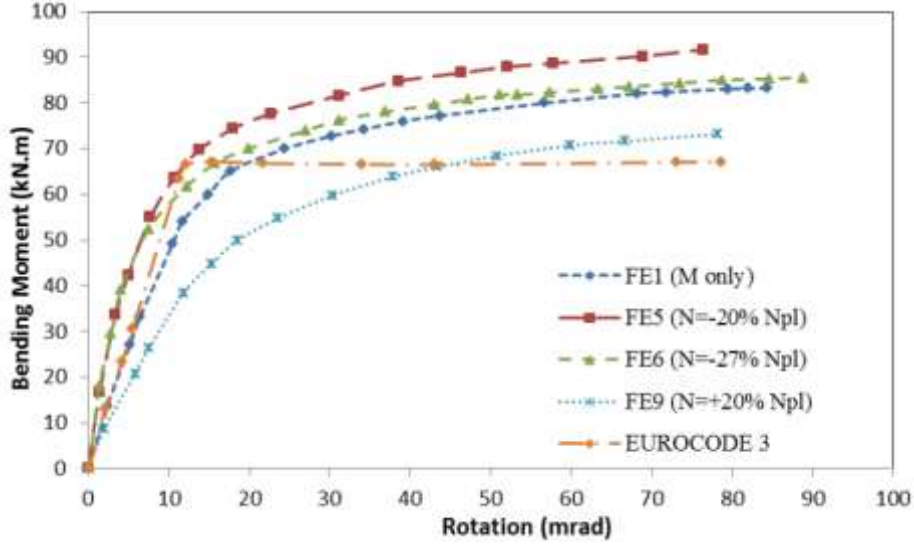
بعد الحصول على منحنى عزم-دوران للوصلة يتم استخدامه لتعريف أهم خصائص الوصلة وهي :

- الصلابة البدئية (initial stiffness) $S_{j,ini}$ وتمثل ميل منحنى العزم-دوران في المرحلة المرنة.
- المقاومة على الانعطاف (moment resistance) $M_{j,Rd}$ وتمثل القيمة العظمى لعزم الانعطاف على منحنى العزم- دوران.

• القدرة الدورانية $\phi_{j,u}$ (rotation capacity) وتمثل القيمة العظمى لدوران الوصلة على منحنى العزم - دوران.

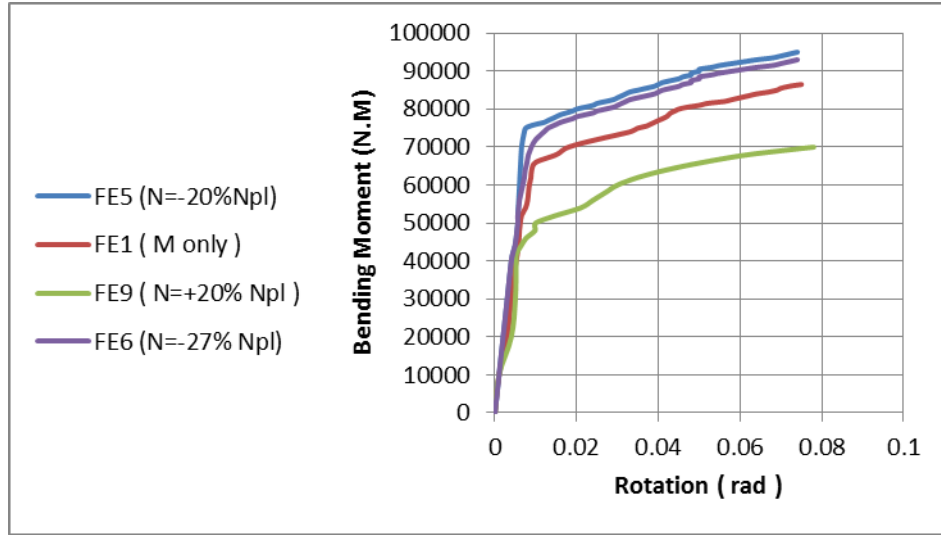
4.2. معايرة النموذج

يوضح الشكل (9) منحنيات عزم-دوران للنماذج التجريبية (FE1, FE5, FE6, FE9) [2].



الشكل(9): مخططات عزم-انعطاف للنماذج التجريبية (da silva 2004)

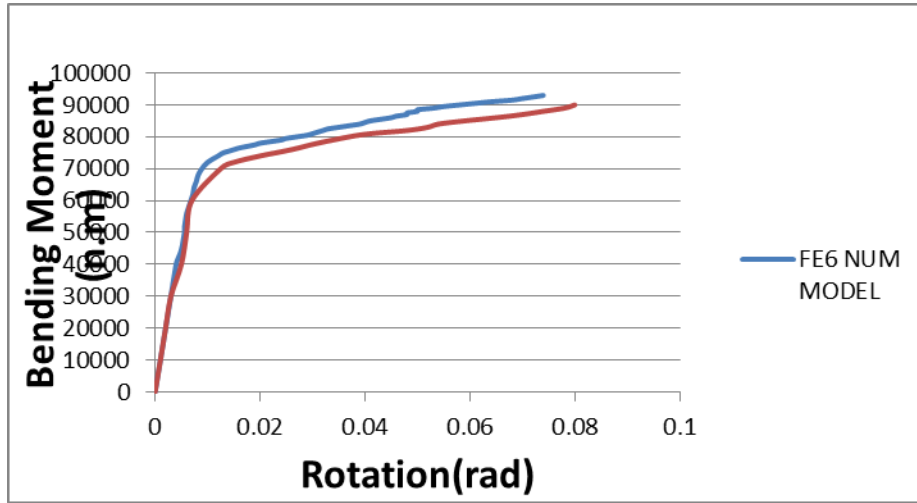
كما يوضح الشكل (10) نتائج التحليل باستخدام طريقة العناصر المنتهية لمخططات عزم- دوران .



الشكل(10): مخططات عزم-انعطاف للنماذج العددية بطريقة العناصر المنتهية

نلاحظ مما سبق أن النتائج التحليلية متقاربة جداً مع النتائج التجريبية.

يوضح الشكل (11) مدى التقارب في السلوك التحليلي والتجريبي في المرحلتين المرنة واللينة للنموذج FE6



الشكل (11): مخططات عزم انعطاف للنموذج FE6 تجريبياً وتحليلياً.

نلاحظ مما سبق ما يأتي :

نلاحظ أنه عند تطبيق قوة محورية ضاغطة تعادل 20% من المقاومة اللينة للجائز يتم الوصول إلى العزم الحدي الأعظمي للوصلة وعند تجاوز القيمة 20% للقوة المحورية فإن العزم الحدي ينخفض بسبب التشوهات الكبيرة الناتجة عن تحنيب جناح الجائز.

ومن أجل قيمة للقوة المحورية الضاغطة تعادل 27% من المقاومة اللينة للجائز، فإن العزم الحدي للوصلة يصبح تقريباً مساوياً للعزم الحدي في حال كانت الوصلة معرضة لعزم صافي (النموذج FE1) .

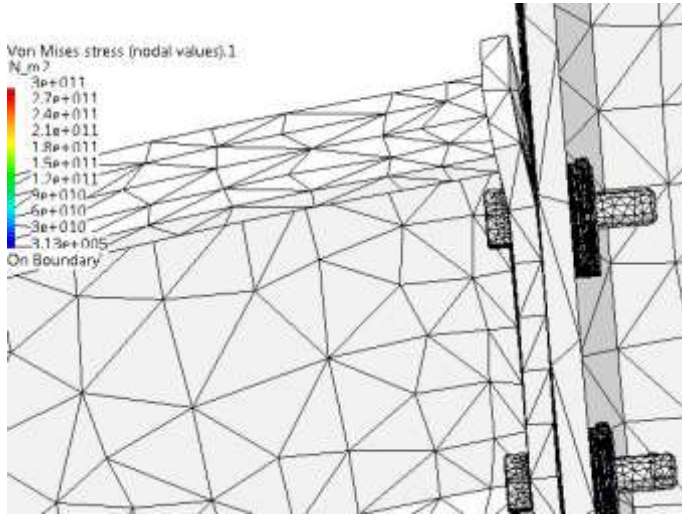
كما أن تطبيق قوة شد مترافقة مع عزم انعطاف على الوصلة، يسبب انخفاضاً في مقاومة الوصلة للعزوم، حيث إنه وعند تطبيق قوة شد تعادل 20% من المقاومة اللينة للجائز فإن مقاومة الوصلة تنخفض حوالي 30% عن حالة العزم الصافي FE1 .

يوضح الجدول (2) نتائج التجارب المنفذة من قبل (da Silva et al, 2004) بالإضافة إلى النتائج التي حصلنا عليها من خلال النمذجة اعتماداً على طريقة العناصر المنتهية . حيث يتبين أن نتائج النماذج العددية قريبة إلى حد كبير من القيم التجريبية.

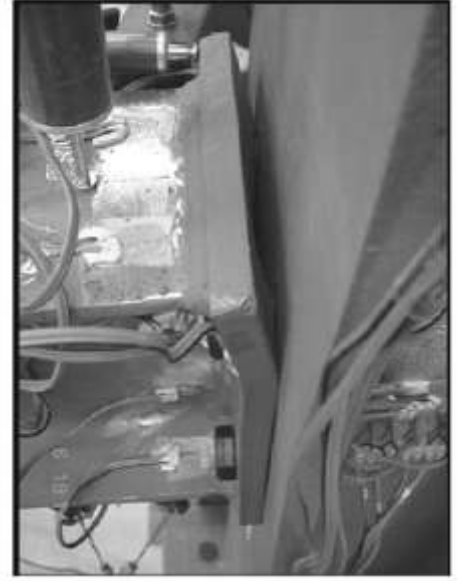
الجدول (2) : مقارنة نتائج الحساب للنموذج العددي مع القيم التجريبية

Test Specimen	Axial Force (Kn)	Connection flexural resistance (kN.m)		Diffrence %
		FE Model	Experimental	
FE1 (M only)	-	69.5	68.4	1.6
FE5 (N=-20% Npl)	265	79.4	78.5	1.1
FE6 (N=-27% Npl)	345	74	72.4	2.3
FE9 (N=+20% Npl)	265	48	52.3	8.2

يظهر الشكل (12) التشوهات الحاصلة من جراء تحنيب الجناح السفلي للجائز في نموذج العناصر المنتهية وكما هو ملاحظ فإن التشوهات الحاصلة مطابقة تقريباً للتشوهات المرئية في النموذج التجريبي.



النموذج العددي



النموذج التجريبي

الشكل (12) : تحنيد الجناح السفلي للجائز

تؤكد نتائج الحساب بطريقة العناصر المنتهية أن البراغي المشدودة هي التي تتحكم في انهيار الوصلة عند تطبيق قوة محورية شادة، وفي حال تطبيق قوة محورية ضاغطة مترافقة مع عزم الانعطاف فإن مقاومة الوصلة للعزوم تزداد مبدئياً بزيادة القوة المحورية حتى حدوث التحنيد في جناح الجائز مما يتوافق مع نمط الانهيار الثاني حيث أن المفصل اللدن يتشكل في جسد الجائز ويليه حدوث التلدن في البراغي.

الاستنتاجات والتوصيات

1. إن تأثير القوة المحورية الضاغطة بقيمة أقل من 20% من المقاومة اللدنة للجائز تسبب زيادة ملحوظة في مقاومة الوصلة للعزوم.
 2. عند زيادة القوة المحورية الضاغطة عن النقطة (20%) يلاحظ بدء التحنيد في جناح الجائز 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.
 3. عند تطبيق عزم انعطاف المؤثر مع قوة محورية شادة قيمتها 20% من المقاومة اللدنة للجائز فإن مقاومة الوصلة للعزوم بلغ 30% عن حالة تأثير عزم فقط.
- وبناءً على نتائج البحث يمكن وضع التوصيات التالية :
- ✓ مراجعة القيمة الحدية (10%) المعتمدة في الكود الأوروبي للوصلات المعرضة لعزم انعطاف وقوة محورية.
 - ✓ عند دراسة سلوك الوصلات المقاومة للعزوم والمزودة بصفيحة جبهية فإن تأثير القوة المحورية يجب أن يحسب بشكل دقيق عند تقييم مقاومة الوصلة الحدية للعزوم.
 - ✓ البحث في إمكانية وضع جداول مساعدة للتصميم تحوي على الخصائص الدورانية للوصلات المعرضة لعزوم انعطاف وقوى محورية كبيرة.

المراجع

1. Pertold, J. R. *Embedded steel column bases I. Experiments and numerical simulation*. Journal of Constructional Steel Research, France, 18, 2000, 56-77.
2. da Silva, L., Lima, L., Vellasco, P. *Behaviour of flush end-plate beam to column joints under bending and axial force*. 4, Journal of Steel Composite Structures, Portugal, 2004, 77-94.
3. Gang Shi, Y, M. *Finite element analysis of beam-column bolted end-plate connections in steel frames*. 8, Department of Civil Engineering, China, 2007, 88-99.
4. CATIA. (2014) users' manual. Structure Design, User's Guide Version 5 .
5. Sokol, Z, F. *Design of End Plate Joints Subject to Moment and Normal Force*. Proceedings of the Third European Conference on Steel Structures, Coimbra, 2002, 55-65.
6. Wald, F, M. *Experiments with End Plate Joints Subject to Moment and Normal Force*. Contributions to Experimental Investigation of Engineering Materials and Structures, Prague, 6, 2002, 25-39.
7. 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, 7, 2006, 58-72.
8. Silva, L, S. *An analytical evaluation of the response of steel joints under bending and axial force*. Computers and Structures, US, 79, 2008, 873-81.
9. Eurocode 3 (1998), ENV-1993-1-1:1992/A2, Annex J, Design of Steel Structures- Joints in Building Frames. CEN, European Committee for Standardisation, Document CEN/TC 250/SC 3, Brussels.