

دراسة تأثير تدعيم وصلة جأز - عمود فولاذية

*أ.د. وليد ابراهيم

*م. ولاء السمان

(الإيداع: ، القبول: 6 كانون الأول 2021)

الملخص:

تعد المنشآت الفولاذية من المنشآت المهمة في الهندسة المدنية نظراً لسرعة تنفيذها وخصائصها الهندسية التي تسمح بالحصول على مجازات واسعة. وتعد العقد في المنشآت الفولاذية ذات أهمية كبيرة وتحتاج إلى اهتمام كبير نظراً لكونها مناطق تتركز فيها مختلف أنواع الإجهادات (ضغط - شد - قص)، وهذه العقد تحتاج في العادة إلى وجود أنواع مختلفة من عناصر التقوية لضمان عملها على نحو صحيح في نقل الإجهادات بين مختلف أجزاء العناصر الإنشائية. يدرس البحث كفاءة استخدام مقاطع فولاذية مختلفة في تدعيم وصلة جأز - عمود فولاذية، وذلك باستخدام برنامج (ABAQUS) الذي يعمل وفق طريقة العناصر المحدودة ويقوم بالتحليل اللاخطي. تمت دراسة اثنا عشر نموذجاً مدعماً بسماكات مختلفة لمقاطع صفائح التدعيم ونموذج معياري غير مدعم تحت تأثير الأحمال الجانبية، كما رُسم منحنى العزم - دوران لكل نموذج، ومقارنة نتائج النماذج فيما بينها ومع النموذج غير المدعم وحساب نسبة زيادة قدرة تحمل الوصلة الفولاذية في كل حالة، أظهرت النتائج أن إضافة عناصر التدعيم تؤدي إلى زيادة مقاومة الوصلة الفولاذية بنسب تختلف باختلاف سماكة صفائح التدعيم وشكلها ومكان توضعها، وأن التدعيم بشكل مجرأة هو شكل التقوية الأفضل حيث يؤدي إلى زيادة المقاومة العزمية للوصلة بشكل كبير ويخفض من قيمة الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في جسد العمود.

الكلمات مفتاحية: وصلة جأز - عمود فولاذية، التحليل اللاخطي، طريقة العناصر المحدودة.

*طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

**أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - اختصاص منشآت معدنية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

A Study Of The Effect Of Stiffening Steel Beam–Column Joint

*Eng. Walaa Alsamman

**Prof. Dr. Walid Ibrahim

(Received: , Accepted: 6 December 2021)

ABSTRACT:

Structures construction is an important type of structure in civil engineering, due to the speed of their implementation and their engineering characteristics, which allow the designer to reach design structures with larger spans. The joints in the steel structures are of great importance and need attention because they are an area where different types of stress are concentrated (compression, tension, and shear). These joints usually require different types of Stiffening to ensure that they can work properly in the transfer of stresses. The research studies the effect of using different stiffener in stiffening steel beam – column joint using the program (ABAQUS) which uses finite element method and nonlinear analysis. Twelve reinforced models with different thicknesses of stiffener sections and an unstiffened model were studied under effect of lateral loads And a moment–rotation curve was drawn for each model. The results of the models were compared with each other and with the unstiffened model, and Calculate the percentage increase in the resistance of the steel joint. The results showed that adding the Stiffening elements leads to increase in the resistance of the steel joint in proportions that are different according to the stiffeners thickness, their shape and place. It is shown that adding a channel is the preferred stiffener as it greatly increases the resistance moment of the joint and reduces web shear strain.

Key words: Steel Beam–Column Joint, Nonlinear Analysis, Finite Element Method.

*Postgraduate student (Master) – Department Of Structural Engineering – Faculty Of Civil Engineering – Albaath University.

**Professor in the Department Of Structural Engineering – Specialist in Steel Structures – Faculty Of Civil Engineering – Albaath University.

1- مقدمة عن البحث (Introduction):

يثبت الفولاذ عاماً بعد عام كفاءته كمادة فعالة في أعمال البناء والتشييد، وذلك بسبب المزايا التي يتمتع بها، كاللدونة الكبيرة وقدرة التحمل العالية مقارنةً مع الوزن، وخواصه المتجانسة إذا ما تمت مقارنته بمواد البناء الأخرى الشائعة كالبيتون والخشب، وذلك لامتلاكه مخطط إجهاد - تشوه متناظر، الأمر الذي يعني أن قدرة الفولاذ على تحمل الإجهادات متساوية تقريباً في حالتي الشد والضغط.

عند دراسة الإطارات في المنشآت الفولاذية يتم تصميم الجوائز والأعمدة لتحمل القوى والعزوم التي تتعرض لها من حيث اعتبارات المقاومة والصلابة في نفس الوقت، واختيار المقاطع اللازمة لمقاومة هذه القوى، ولكن عند الوصول إلى منطقة الوصل بين الجائز والعمود غالباً ما تواجه مشكلة أن الوصلة غير قادرة على مقاومة العزوم المنقولة من الجائز إلى العمود، لذلك يواجه المهندسون في هذه الحالة خيارين: إما استبدال مقطع الجائز والعمود بمقطع أكبر من أجل زيادة مقاومة الوصلة وهذا يؤدي إلى تكلفة كبيرة غير مبررة، أو تقوية الوصلة باستخدام طرق التدعيم المعروفة.

2- هدف البحث (Scope Of The Research):

حيث أن أغلب أنواع الفشل في المنشآت الفولاذية يحصل في العقد وخصوصاً عند تعرض هذه المنشآت إلى الأحمال الزلزالية. ونظراً لكون النشاط الزلزالي قد تزايد في الفترة الأخيرة في المنطقة وباعتبار أن الكثير من المنشآت الفولاذية غير مدروسة على مقاومة القوى الزلزالية كان من الضروري أن نأخذ بعين الاعتبار تأثير الأحمال الجانبية التي تتولد عند حدوث الهزات الأرضية.

يهدف البحث الحالي إلى دراسة تأثير تقوية الوصلات الفولاذية نوع جائز - عمود على سلوكها تحت تأثير الأحمال الجانبية باستخدام برنامج (ABAQUS) الذي يعمل وفق طريقة العناصر المحدودة باستخدام أشكال مختلفة من المدعمات، ودراسة تأثير تغيير سماكة مقاطع المدعمات المستخدمة على منحنى العلاقة بين العزم والدوران، وتحديد نسبة زيادة قدرة تحمل الوصلة في كل حالة

3- مواد وطرائق البحث (Material and Methods):

1- الدراسة المرجعية:

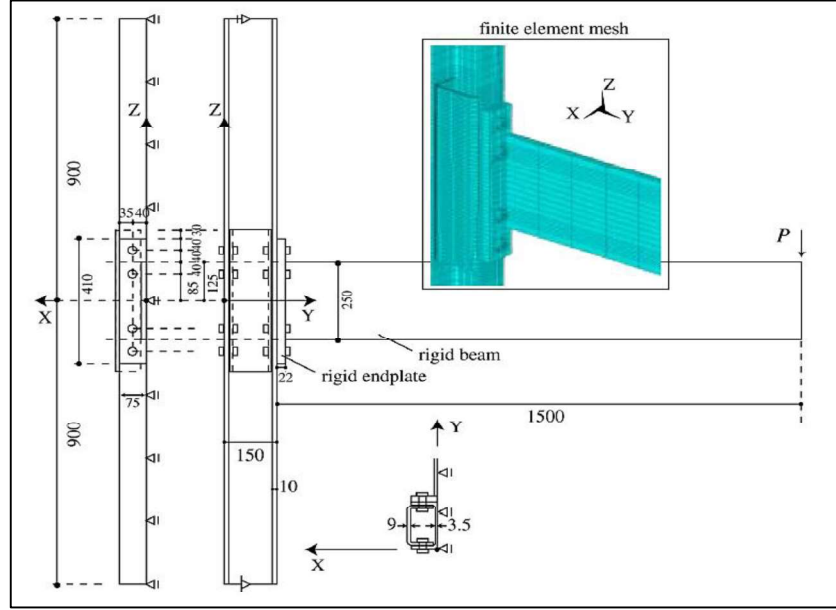
تناولت العديد من الأبحاث دراسة وتحليل سلوك وصلة جائز - عمود باستخدام الطرق التحليلية والتجريبية لتحديد طريقة دقيقة لتوقع سلوك الوصلات على الأحمال الجانبية والهدف الأساسي من هذه الدراسات هو إيجاد منحنى العزم - دوران لأنواع مختلفة من الوصلات.

أجرى الباحثان (Broderick B.M. and Thomson A.W.) دراسة عملية لمعرفة تأثير استعمال صفيحة معدنية من نوع (Flush end-plate) كوسيلة لتقوية وربط العقد الفولاذية. وقد تم التوصل إلى أن طريقة الربط المتبعة من الممكن استعمالها لمقاومة أحمال الزلازل إذ أعطت نتائج جيدة تحت تأثير الأحمال الجانبية [1].

قام الباحثون (de Lima, L.R.O., de Andrade, S.A.L., da S. Vellasco, P.C.G., and da Silva, L.S.) بدراسة عملية ونظرية للتنبؤ بمقاومة العزوم ومقدار الدوران للمحور الثانوي للوصلة الفولاذية من النوع جائز - عمود. وقد تم التوصل في هذه الدراسة إلى أن سماكة جناح العمود من العوامل المؤثرة في قوة وصلابة الوصلة الفولاذية وأن استخدام التقوية على شكل زاوية بحيث تعمل على زيادة سماكة جناح العمود وجناح الجائز من وسائل التدعيم المجدية عملياً [2].

كما قام الباحثان (H.Tagawa , S.Gurel) بدراسة نموذج عددي كامل لوصلة جائز - عمود معدنية تم تدعيمها باستخدام مقطع مجرة معدنية بسماكة (9 mm) وصفيحة وصل بسماكة (22 mm) وذلك باستخدام برنامج

(Ansys12)، حيث تمت نمذجة نصف الوصلة بسبب خاصية التناظر حول المحور (Z) كما تم استخدام العنصر (Solid185) في تقسيم عناصر الوصلة، ويبين الشكل (1) النموذج المستخدم في التحليل وشروط الاستناد والتحميل.



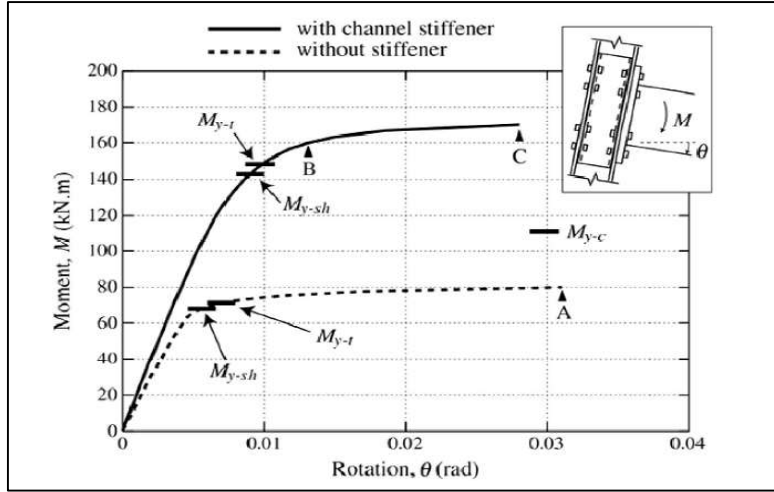
الشكل رقم (1): النموذج الكامل للعقدة المستخدمة في الدراسة المرجعية [3].

كما يبين الجدول (1) خصائص مواد الوصلة المدروسة باستخدام برنامج (Ansys12).

الجدول رقم (1): خصائص مواد الوصلة المدروسة باستخدام برنامج (Ansys12)

Component	Material	Yield Stress (N/mm ²)	Ultimate Stress (N/mm ²)	Elongation (%)
Column (H-150x150x7x10)	SN400B	288	427	30.5
Plate: 9 mm	SN400B	305	446	29.5
Plate: 22 mm	SN490B	352	538	26.5

تم تحليل النموذج تحليلاً ستاتيكيًا لاخطياً مع اعتبار الانتقالات كبيرة (Non-Linear Large Displacement Static Analysis) وتقسيم التحليل إلى (50) خطوة وكانت نتائج التحليل كما في الشكل (2).



الشكل رقم (2): منحنيات العزم - دوران لنماذج الدراسة المرجعية [3].

حيث يبين الشكل (2) نتائج التحليل من خلال منحنى العزم - دوران للعقدة المدعمة باستخدام مقطع المجرة ذو السماكة (9 mm)، ومقارنته مع منحنى العزم - دوران للعقدة غير المدعمة، حيث نجد من المخطط أن العزم المقاوم الأعظمي للعقدة قد ازداد بنسبة (112.5%) عن العقدة غير المدعمة.

2- الدراسة التحليلية باستخدام النمذجة العددية بطريقة العناصر المحدودة (FEM):

تم استخدام برنامج العناصر المحدودة (ABAQUS) لإنشاء النماذج العددية اللازمة لدراسة سلوك العقد الفولاذية المعتمدة في هذا البحث، إذ يعتبر برنامج (ABAQUS) من البرامج الهامة والضخمة في الدراسات البحثية لما يتمتع به من ميزات من ناحية توفير العديد من العناصر التي تلائم المشكلة الإنشائية بالإضافة إلى إمكانية تطبيق كافة أنواع الحملات الستاتيكية والديناميكية، بالإضافة إلى إمكانية استخدام التحليل اللاخطي للمادة (Nonlinear Analysis) وإدخال أثر التشوهات الكبيرة.

توصيف النموذج (Description Of Model):

• موضع العقدة المدروسة:

العقدة المدروسة هي عقدة خارجية في بناء إطاري معدني مكون من ثلاث فتحات بمجازات (6 m) وستة طوابق بارتفاع طابقي يساوي (3 m)، موجودة في الطابق الخامس (طابق ما قبل الأخير) مرتبطة بعمود أعلى وأسفل العقدة مع امتداد للجائز.

• المقاطع المكونة للعقدة:

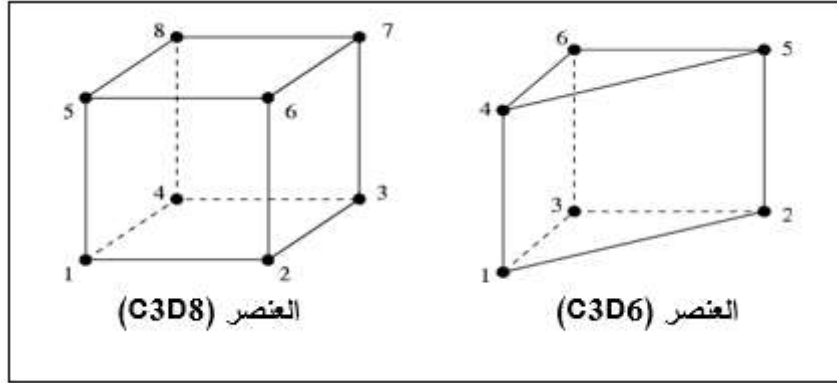
العمود والجائز بمقطع واحد ثابت تم اختياره من جداول مقاطع الكود الأوروبي وهو المقطع (IPE 240).

• تصميم الوصلة:

يستخدم بشكل شائع نوعان من عناصر الربط، إما البراغي أو اللحام. ولكن وبما أن الهدف الأساسي من البحث هو التركيز على مقدار رفع المقاومة الذي يحققه كل نوع من أنواع التدعيم ومعرفة سلوك الوصلة في كل حالة ومقارنته مع سلوكها قبل التدعيم لتحديد مدى فعالية التدعيم المستخدم، لن يكون لطريقة الوصل في هذا البحث أهمية بالغة إذ سيتم إهمال انهيار عناصر الربط لضمان عدم انهيارها قبل انهيار الوصلة وبالتالي انهيار الوصلة قبل أن تعمل المدعمات المستخدمة. تم في هذا البحث اعتماد اللحام الزاوي كعنصر للربط بين الجائز والعمود.

العناصر المستخدمة في النمذجة (Elements used in modeling):

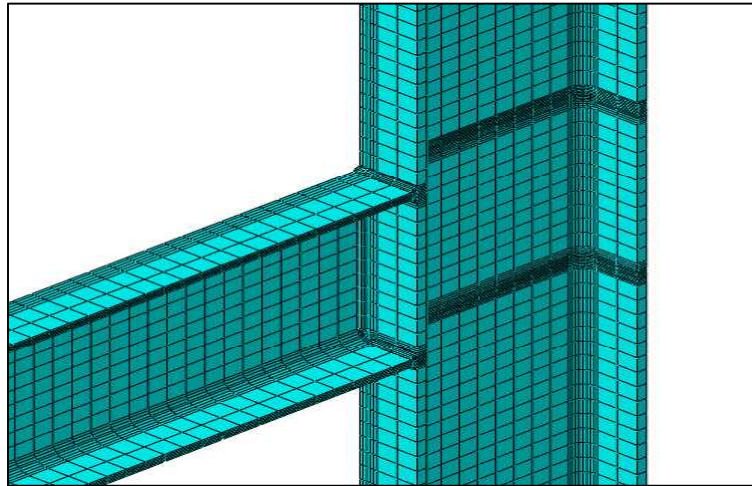
تم استخدام العنصر C3D8 في تقسيم العمود والجائز وصفائح التدعيم وهو عنصر حجمي مؤلف من ثماني عقد تمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية هي الانتقالات باتجاه المحاور الثلاثة، ومن أجل تقسيم مناطق الانحناء في الوصلة تم استخدام العنصر C3D6 وهو عنصر حجمي مؤلف من ست عقد تمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية.



الشكل رقم (3): العناصر المستخدمة في النمذجة.

تقسيم النموذج (Meshing):

تم التقسيم بشكل يدوي عند جميع نقاط الالتقاء (العمود مع الجائز - اللحام مع الجائز والعمود - صفائح التدعيم مع العمود والجائز) لضمان ارتباط جميع العقد مع بعضها في مناطق الوصل. أما بالنسبة للتقسيم العام فقد تم اختيار التقسيم المنتظم بشكل مربعات بأبعاد (20 x 20 mm)، وبالنسبة لمناطق الانحناء سواءً في مقطع العمود أو الجائز أو اللحام فقد تم تقسيمها بشكل زاوي.

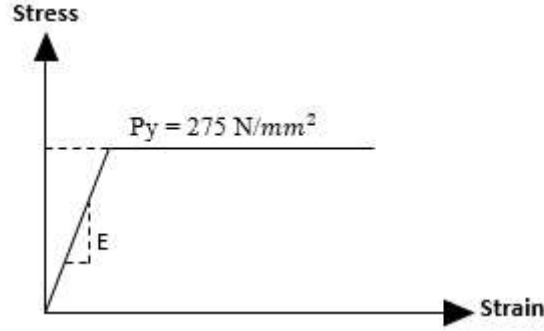


الشكل رقم (4): تقسيم النموذج (Meshing).

المواد المستخدمة في النمذجة (Material Used In Modeling):

الفولاذ الإنشائي لمقطع الجائز والعمود ومقاطع التدعيم من الماركة (43)، مقاومته التصميمية ($P_y = 275 \text{ N/mm}^2$) وفقاً للكود البريطاني BS5950.

تم توصيف سلوك فولاذ العمود والجائز وصفائح التدعيم المستخدمة في النمذجة وفق برنامج (ABAQUS) بسلوكه الخطي باستخدام مخطط الإجهاد- التشوه النسبي للفولاذ كما هو واضح في الشكل (5). حيث يبدأ سلوك الفولاذ مرناً خطياً تزداد فيه التشوهات النسبية مع ازدياد الإجهادات حتى الوصول إلى المقاومة التصميمية ($P_y = 275 \text{ N/mm}^2$) بعدها يدخل الفولاذ بحالة اللدونة التامة (Plastic)، حيث تزداد التشوهات دون أي زيادة في الإجهادات. معامل بواسون (0.3)، معامل المرونة ($E=205000 \text{ N/mm}^2$)، الوزن الحجمي (78.5 KN/m^3).



الشكل رقم (5): مخطط الإجهاد - التشوه للفولاذ.

أشكال المدعمات المستخدمة في تدعيم الوصلة:

الشكل الأول:

يتألف الشكل الأول من أربع صفائح فولاذية تمتد بشكل أفقي بين جناحي العمود من الجهتين في مستوى اتصاله مع الجائز.

الشكل الثاني:

الشكل الثاني عبارة عن صفيحتين معدنيتين بشكل زاوية L متساوية الساقين بطول (10 cm) توضع أعلى وأسفل الجائز بحيث تربط بين جناح العمود وجناح الجائز.

الشكل الثالث:

الشكل الثالث من المدعمات عبارة عن صفائح فولاذية توضع بشكل قطري مائل بزاوية (46.246°) بين جناحي العمود على جانبي الجسد.

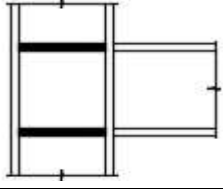
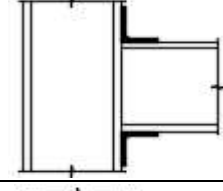
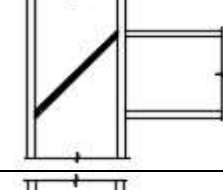
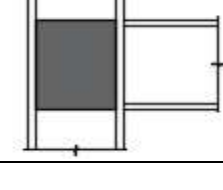
الشكل الرابع:

الشكل الرابع من المدعمات شكل حديث الاستخدام نسبياً ظهرت الحاجة إليه بسبب الحاجة إلى زيادة مقاومة العقدة مع الحفاظ على الفراغ بين جناحي العمود من أجل تمرير الأنابيب والتمديدات، وهو عبارة عن مجرة فولاذية تمتد بين جناحي العمود من الجهتين.

النماذج التي ستم نمذجتها ضمن برنامج (ABAQUS):

يوضح الجدول (2) نماذج البحث وشكل التقوية المستخدم في كل منها.

الجدول رقم (2): نماذج البحث

سماكة صفائح التدعيم	شكل التدعيم	النموذج
-	بدون تدعيم	النموذج الأول
8 mm		النموذج الثاني
10 mm		النموذج الثالث
12 mm		النموذج الرابع
8 mm		
10 mm	النموذج السادس	
12 mm	النموذج السابع	
8 mm		النموذج الثامن
10 mm		النموذج التاسع
12 mm		النموذج العاشر
8 mm		النموذج الحادي عشر
10 mm		النموذج الثاني عشر
12 mm		النموذج الثالث عشر

شروط استناد النموذج المدروس (Model's Boundary Condition):

تم تقييد النهاية السفلية للعمود على كافة الانتقالات وتم السماح للنهاية العلوية للعمود بالانتقال الشاقولي باتجاه المحور (Y) وبالإستفادة من الشروط التناظرية في العقدة حول مستوي جسد العمود ومستوي جسد الجائز تمت نمذجة نصف العقدة. جميع العقد في مستوي التناظر منعت من الانتقالات خارج المستوي ومن الدورانات المستوية حول محور المستوي.

الأحمال المطبقة على النموذج (Applied Load To The Model):

1- حمولة العمود (Column-Load):

وهي حمولة شاقولية ثابتة مع الزمن، ناتجة عن الأحمال المنقولة من الطابق الذي يعلو طابق العقدة المدروسة من أوزان ذاتية للعناصر وغيرها وتقدر قيمتها بـ (100 KN).

2- الحمولة الجانبية (Lateral-Load):

حمولة شاقولية توضع بشكل موازي لحمولة العمود على الطرف الحر للجائز، وهي حمولة متزايدة مع الزمن تم تطبيقها لدراسة انهيار العقدة.

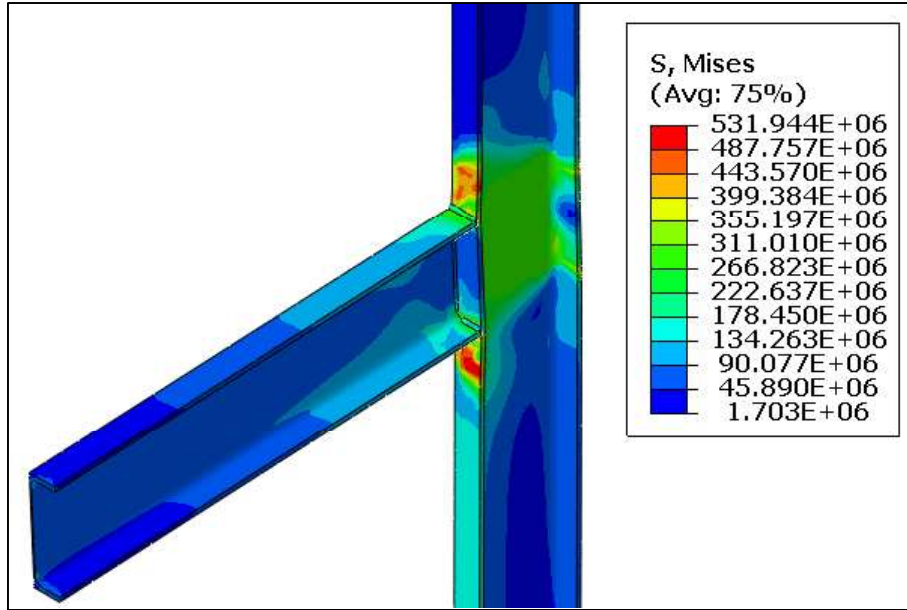
نوع التحليل المستخدم في تحليل النموذج (Type of used Analysis):

تم اعتماد تحليل لاخطي (Nonlinear Analysis) يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة وأثر التشوهات الكبيرة.

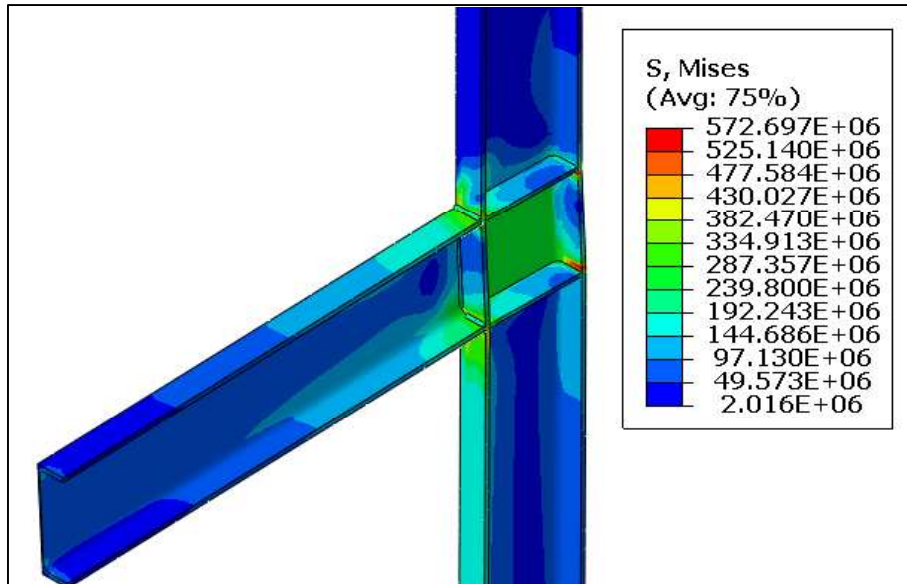
4- النتائج (Results):

نتائج نماذج شكل التدعيم الأول:

أظهرت الوصلة بعد إضافة شكل التدعيم الأول توزع إجهادات مختلف بالمقارنة مع العقدة الأساسية، إذ نجد أن صفائح التدعيم ساهمت بشكل واضح في تخفيض قيم إجهادات جسد العمود وجناحه عند مستوى اتصاله مع الجائز إذ تحملت جزء من هذه الإجهادات، كما نجد قيم إجهادات أعلى في جناحي الجائز، وهذا يدل على تحقق الهدف من استخدام الصفائح من خلال رفع مقاومة الوصلة وصمودها لتتحمل عزم مقاوم أكبر بكافة مكوناتها قبل انهيارها.

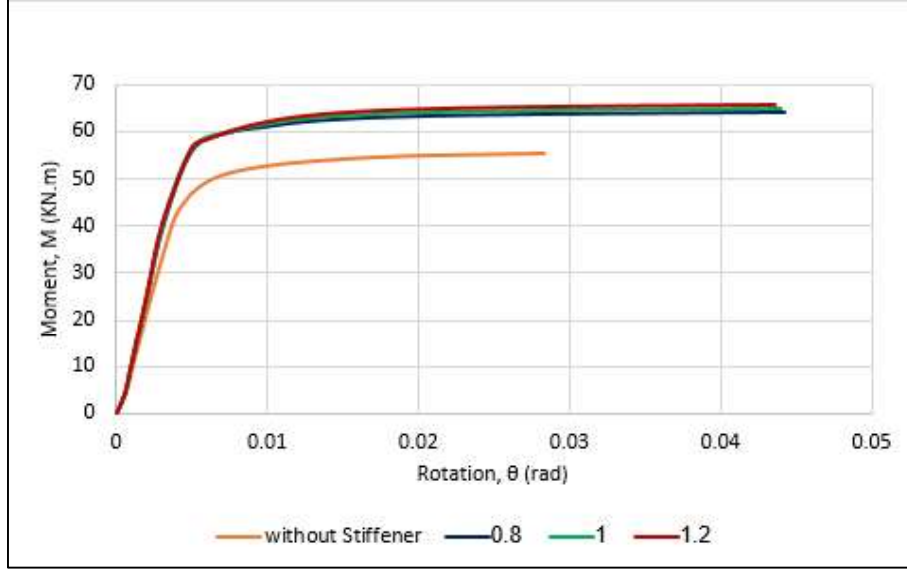


الشكل رقم (6): إجهادات (Von Mises) في النموذج المعياري بدون تدعيم.



الشكل رقم (7): إجهادات (Von Mises) بعد إضافة شكل التدعيم الأول.

يبين المخطط الوارد في الشكل (8) نتائج تحليل النماذج المدعمة باستخدام شكل التدعيم الأول بالإضافة إلى النموذج الأول المرجعي بدون تدعيم من أجل المقارنة، حيث يمثل المحور الأفقي سعة الدوران ويمثل المحور الشاقولي العزم المقاوم للوصلة، أما المنحنيات فتم تعريفها بدلالة نسبة سماكة صفيحة التدعيم إلى سماكة جناح العمود (المتغير سماكة صفيحة التدعيم)، وذلك بهدف جعل النتائج عامة.

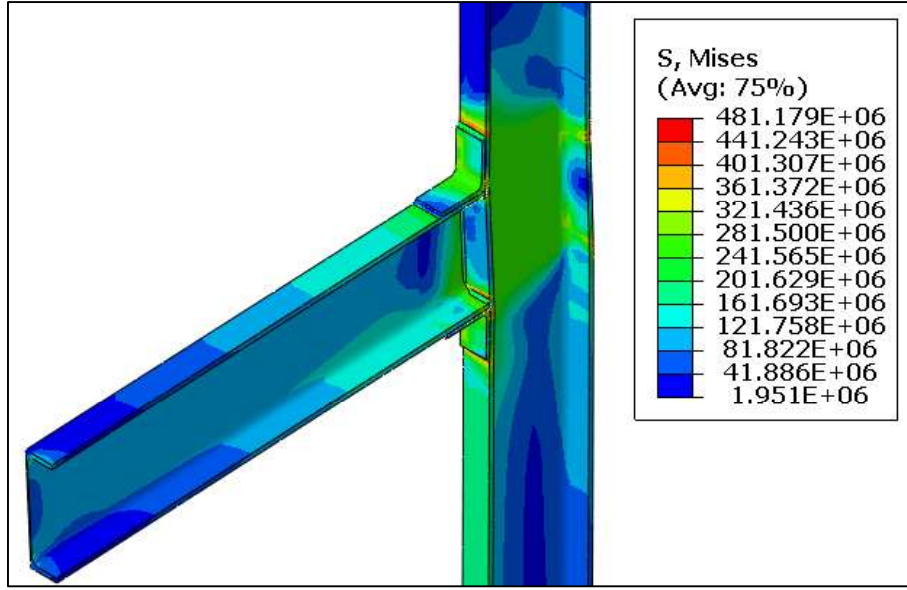


الشكل رقم (8): منحنيات (عزم - دوران) شكل التدعيم الأول.

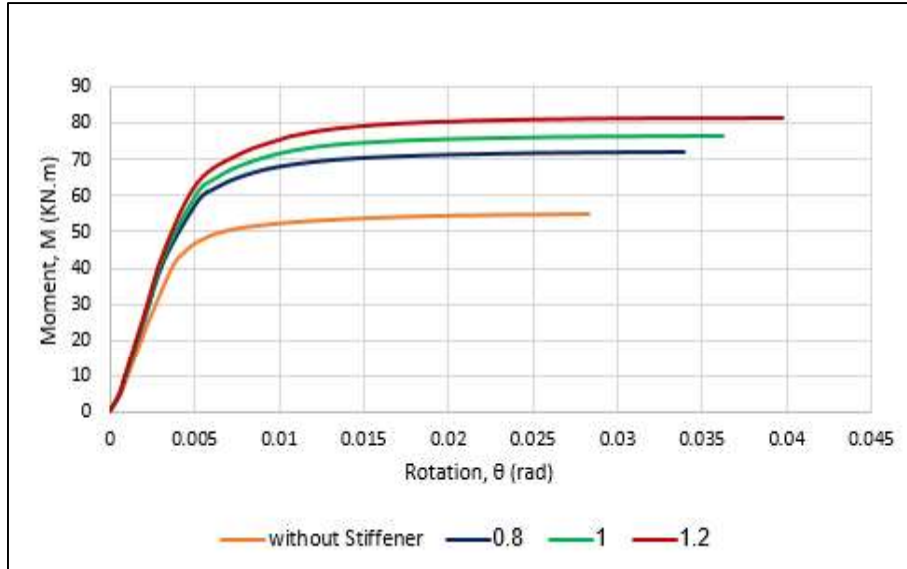
نجد من المنحنيات أن العزم المقاوم الأعظمي للعقدة قد ازداد بنسبة (16%) عند استخدام شكل التدعيم الأول بسماكة تعادل 0.8 سماكة جناح العمود، وبنسبة (18%) عند استخدامه بسماكة تعادل سماكة جناح العمود، وبنسبة (19%) عند استخدام صفائح التدعيم بسماكة تعادل 1.2 سماكة جناح العمود. لم تؤدي زيادة سماكة صفائح التدعيم عند استخدام شكل التدعيم الأول لفعالية ملحوظة إذ لم تتجاوز فروق كفاءتها في رفع مقاومة العقدة 1%، وهذه النسبة قليلة جداً لا تستدعي زيادة سماكة صفائح التدعيم.

نتائج نماذج شكل التدعيم الثاني:

أظهرت الوصلة بعد إضافة شكل التدعيم الثاني توزع إجهادات مختلف بالمقارنة مع العقدة الأساسية، إذ نجد أن زوايا التدعيم ساهمت في زيادة سماكة جناح العمود وجناح الجائز، الأمر الذي أدى إلى تقوية هذه الأجزاء وزيادة مقاومتها وصلابتها عن الأجزاء الأخرى من الوصلة، وهذا ما يظهره مخطط توزع إجهادات Von Mises من خلال مساهمة جسد الجائز في تحمل جزء من الإجهادات المنقولة للوصلة قبل ارتفاع الحالة الإجهادية ومساهمة المناطق الأكثر صلابة في مقاومتها لتصمد الوصلة أمام عزم مقاوم أكبر من العزم الذي تحملته قبل التدعيم.



الشكل رقم (9): إجهادات (Von Mises) بعد إضافة شكل التدعيم الثاني بسماكة 0.8 mm.

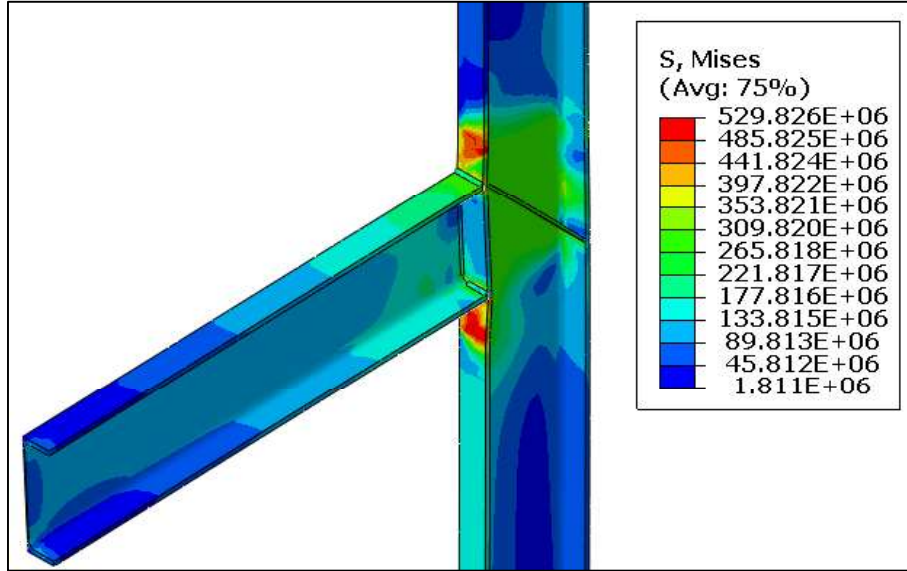


الشكل رقم (10): منحنيات (عزم - دوران) شكل التدعيم الثاني.

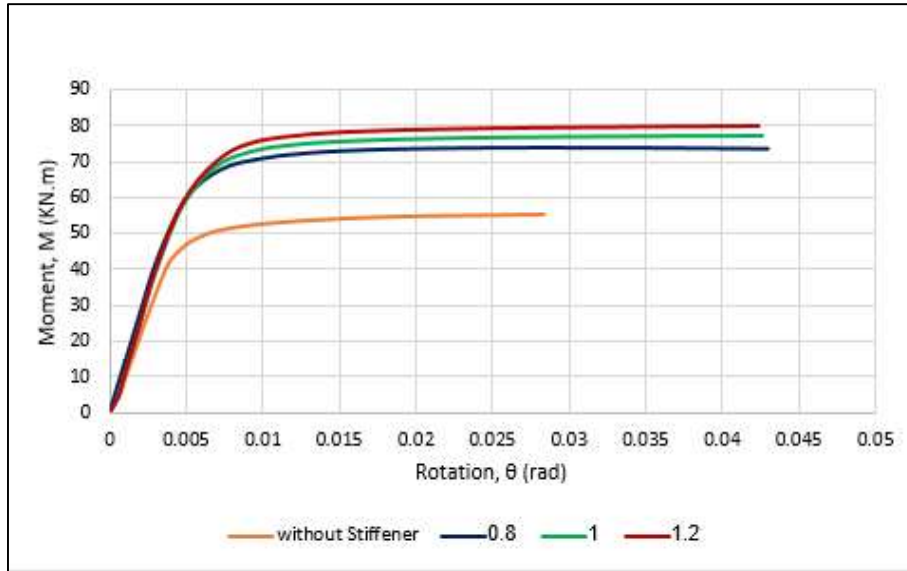
يبين الشكل منحنيات (عزم - دوران) نماذج شكل التدعيم الثاني بالإضافة إلى النموذج الأول المرجعي. نلاحظ أن العزم المقاوم الأعظمي للعقدة قد ازداد بنسبة (30%) عند استخدام شكل التدعيم الثاني بسماكة تعادل 0.8 سماكة جناح العمود، وبنسبة (39%) عند استخدامه بسماكة تعادل سماكة جناح العمود، وبنسبة (47%) عند استخدام الزوايا الفولاذية بسماكة تعادل 1.2 سماكة جناح العمود. نلاحظ أن زيادة سماكة الزوايا المستخدمة في التدعيم مجدية في زيادة مقاومة الوصلة الفولاذية، وذلك بسبب زيادة مقاومة جناح العمود وجناح الجائز لإجهادات الشد والضغط مع زيادة سماكة كل منهما.

نتائج نماذج شكل التدعيم الثالث:

أظهرت الوصلة بعد إضافة شكل التدعيم الثالث توزيع إجهادات مختلف بالمقارنة مع العقدة الأساسية، حيث نجد أن صفائح التدعيم ساهمت في تقوية جسد العمود وجناحه عند مستوى اتصاله مع الجائز وتحملت جزء من الإجهادات التي تتعرض لها، كما نجد قيم إجهادات أعلى في أجنحة الجائز وجسده بمسافة انتشار تفوق وسائل التدعيم السابقة، وهذا يدل على مساهمة أكبر للجائز في مقاومة الإجهادات التي تتعرض لها الوصلة.



الشكل رقم (11): إجهادات (Von Mises) بعد إضافة شكل التدعيم الثالث بسماكة 8 mm.



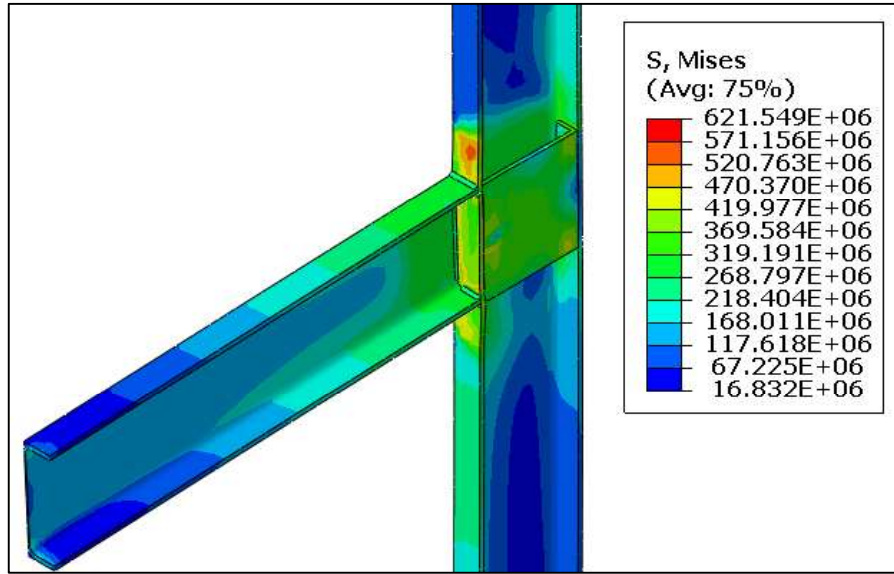
الشكل رقم (12): منحنيات (عزم - دوران) شكل التدعيم الثالث.

نلاحظ أن العزم المقاوم الأعظمي للعقدة قد ازداد بنسبة (34%) عند استخدام شكل التدعيم الثالث بسماكة تعادل 0.8 سماكة جناح العمود، وبنسبة (39%) عند استخدامه بسماكة تعادل سماكة جناح العمود، وبنسبة (44%) عند استخدام صفائح التدعيم بسماكة تعادل 1.2 سماكة جناح العمود. كما نلاحظ أنه بزيادة سماكة الصفائح المستخدمة في التدعيم

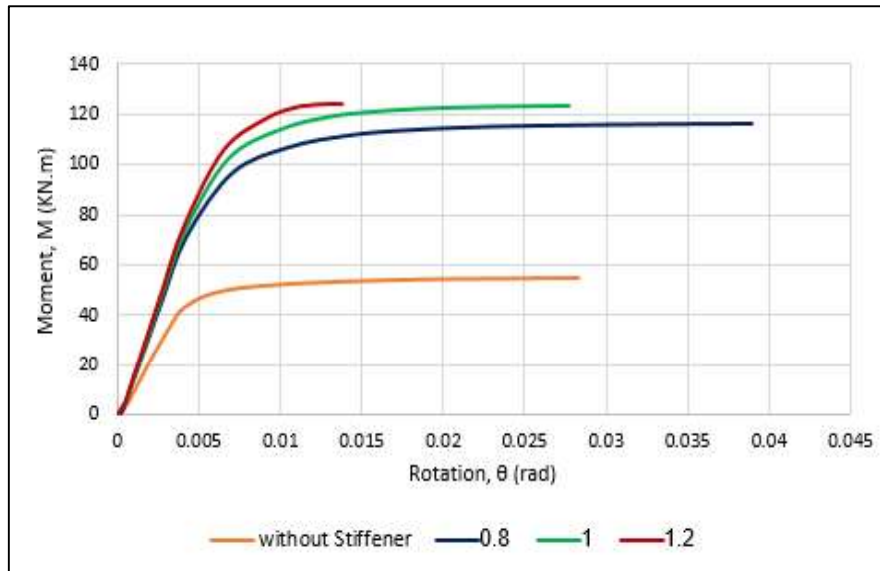
تزداد مقاومة الوصلة الفولاذية، وذلك بسبب أنه كلما زادت سماكة الصفائح تزداد مقاومة إجهادات الشد والقص في العمود مما يؤدي إلى زيادة مقاومة الوصلة بشكل عام.

نتائج نماذج شكل التدعيم الرابع:

أظهرت الوصلة بعد إضافة شكل التدعيم الرابع توزع إجهادات مختلف بالمقارنة مع العقدة الأساسية، إذ نجد أن العمود في منطقة اتصاله مع الجائز قد اكتسب مقاومة كبيرة تفوق وسائل التدعيم السابقة، الأمر الذي أدى إلى مساهمة كامل الجائز تقريباً في تحمل الإجهادات وحدوث الانهيار في النموذج نتيجة انهيار الجائز، وهي حالة مفضلة انشائياً نحصل فيها على عمود قوي جائز ضعيف، كما يمكننا في هذه الحالة استخدام مقطع جائز أكبر لتحمل عزم أكبر دون الحاجة إلى تكبير مقطع العمود.



الشكل رقم (13): إجهادات (Von Mises) بعد إضافة شكل التدعيم الرابع بسماكة 8 mm.



الشكل رقم (14): منحنيات (عزم - دوران) شكل التدعيم الرابع.

نلاحظ أن العزم المقاوم الأعظمي للعقدة قد ازداد بنسبة (111%) عند استخدام شكل التدعيم الرابع بسماكة تعادل 0.8 سماكة جناح العمود، وبنسبة (123%) عند استخدامه بسماكة تعادل سماكة جناح العمود، وبنسبة (125%) عند

استخدام المجرة الفولاذية المستخدمة في التدعيم بسماكة تعادل 1.2 سماكة جناح العمود. نجد أنه بزيادة سماكة المجرة يزداد العزم المقاوم الأعظمي، وذلك بسبب زيادة مقاومة منطقة الشد في العمود بزيادة سماكة جناح المجرة وزيادة مقاومة منطقة الضغط في العمود بزيادة سماكة جسد المجرة.

5- مقارنة النتائج (Compare The Results):

المقارنة الأولى: سعة الدوران للعقدة (θ):

يتجسد سلوك العقد الفولاذية بإيجاد منحنى العزم - دوران للعقدة والذي يمثل العلاقة بين العزم والدوران المرافق له، وتكمن أهمية إيجاد هذا المنحنى بمعرفة خصائص الوصلة من حيث العزم المقاوم للعقدة، الصلابة الدورانية للعقدة، سعة الدوران للعقدة، وهذه الثوابت هي التي تحدد مصطلح مطاوعة العقدة (Ductility Of Joint).

تمثل المطاوعة (Ductility) قدرة المادة على التشوه بشكل كبير دون أن تفقد قدرة تحملها أو تنهار. وتعرف سعة الدوران (Rotation Capacity) بأنها القيمة العظمى لدوران الوصلة على منحنى العزم - دوران.

لا يعطي الكود البريطاني صيغة واضحة لحساب سعة الدوران لوصلة جوائز عمود، إنما يعتبر أن العقدة تملك سعة دوران كافية من أجل التحليل اللدن ضمن شروط محددة.

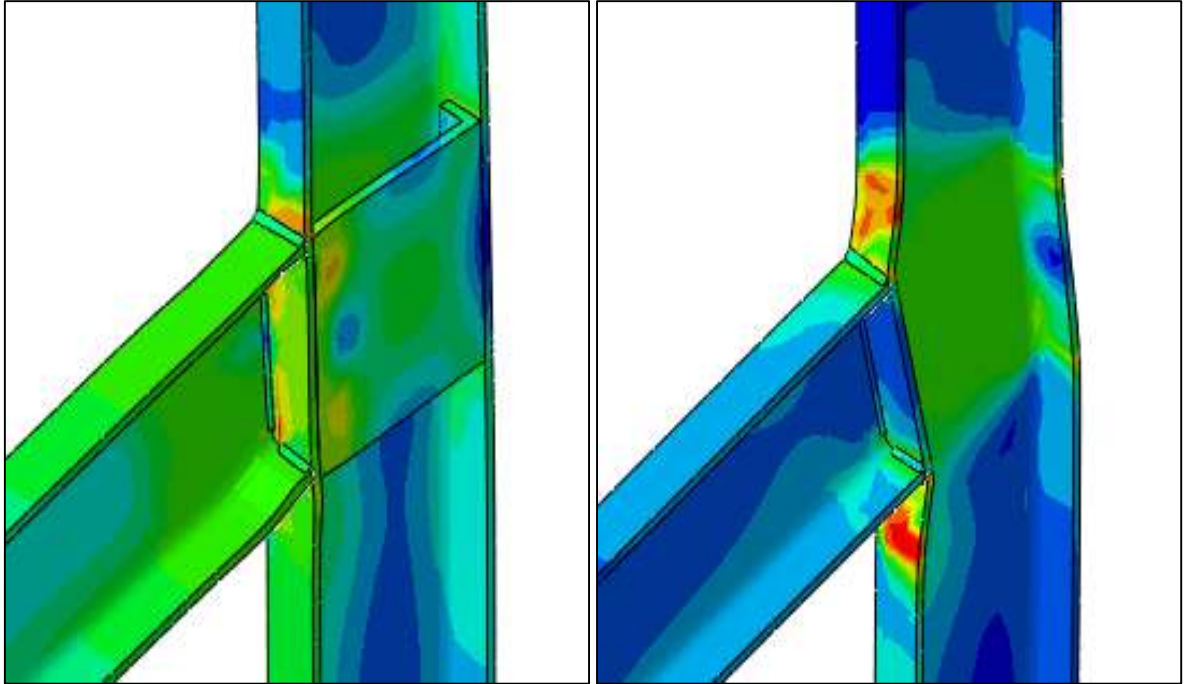
يبين الجدول (3) نتائج تحليل الدوران في النماذج المدروسة، إذ يحتوي على كافة المعلومات المتعلقة بقيم سعة الدوران بالإضافة إلى قيم الدوران عند العزم المقاوم الأعظمي للوصلة بدون تدعيم والذي بلغت قيمته (55 KN.m)، وذلك بهدف معرفة نسبة انخفاض الدوران التي حققها كل شكل من أشكال التدعيم ومقارنتها بين النماذج.

الجدول رقم (3): مقارنة الدوران بين النماذج

رقم النموذج	t _f column (mm)	t _{stiffener} (mm)	$\frac{t_{stiffener}}{t_{column}}$	θ_{max} (rad)	نسبة زيادة سعة الدوران (%)	θ (rad)	نسبة انخفاض الدوران (%)
1	9.8	-	-	0.0283	-	0.0250	-
2	9.8	8	0.82	0.0442	55.97	0.0049	80.60
3	9.8	10	1.02	0.0440	55.24	0.0048	80.76
4	9.8	12	1.22	0.0437	54.15	0.0048	80.90
5	9.8	8	0.82	0.0339	19.81	0.0048	80.83
6	9.8	10	1.02	0.0363	28.02	0.0045	81.88
7	9.8	12	1.22	0.0397	40.22	0.0043	82.80
8	9.8	8	0.82	0.0430	51.85	0.0045	81.83
9	9.8	10	1.02	0.0427	50.62	0.0045	81.85
10	9.8	12	1.22	0.0424	49.64	0.0045	82.20
11	9.8	8	0.82	0.0390	37.57	0.0033	86.82
12	9.8	10	1.02	0.0277	-2.28	0.0032	87.39
13	9.8	12	1.22	0.0138	-51.16	0.0030	87.84

بتحليل قيم سعة الدوران الواردة في الجدول السابق نستنتج أن شكل التدعيم الأول المحلل ضمن النماذج الثاني والثالث والرابع والمؤلف من صفائح تدعيم أفقية هو الشكل الأفضل بالنظر إلى مطاوعة العقدة إذ نجد فيه أكبر قيم سعة الدوران، وبالتالي هو الشكل الأكثر ملائمة للتحليل اللدن يليه شكل التدعيم الثالث ثم الثاني، على خلاف شكل التدعيم الرابع الذي أبدى مطاوعة جيدة مع السماكة الصغيرة للمجرة المستخدمة في التدعيم، لكن مع زيادة السماكة لتعادل أو تفوق سماكة جناح العمود أظهر سلوك أكثر صلادة للوصلة من سلوكها قبل التدعيم. أيضاً نلاحظ أنه من أجل شكل تقوية واحد كلما زادت سماكة صفائح التدعيم تنخفض سعة الدوران إلا في شكل التدعيم الثاني، حيث تزداد سعة الدوران مع زيادة سماكة زوايا التدعيم المستخدمة.

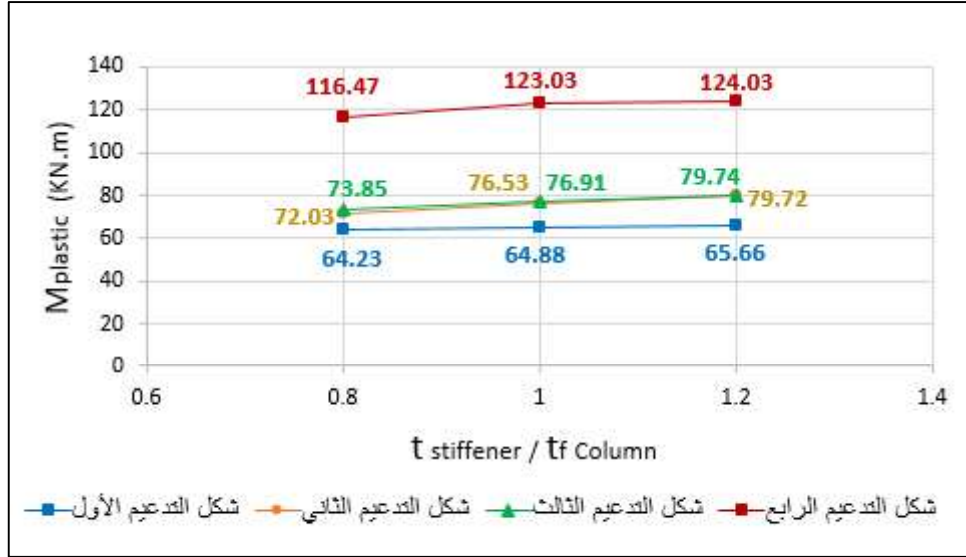
وبتحليل قيم الدوران عند العزم (55 KN.m) يبين الجدول السابق أن الدوران ينخفض مع زيادة سماكة صفائح التدعيم في كافة الأشكال، فمن أجل شكل تقوية واحد تحقق السماكة 12 mm أعلى نسبة انخفاض في دوران الوصلة بفرق بسيط عن السماكات الأخرى. نلاحظ أن نسب انخفاض الدوران متقاربة جداً بين النماذج وأن أعلى نسب حققها شكل التدعيم الرابع المتمثل بالنماذج الثلاثة الأخيرة والمؤلف من مجرة فولاذية، حيث وصلت نسبة انخفاض الدوران إلى (86.82%) عند استخدام المجرة بسماكة تعادل 0.8 سماكة جناح العمود لترتفع إلى (87.84%) عند استخدامها بسماكة تعادل 1.2 سماكة جناح العمود. ويبين الشكل (15) التشوه في النموذج المعياري بدون تدعيم وبعد إضافة المجرة الفولاذية.



الشكل رقم (15): التشوه قبل إضافة المجرة وبعد إضافتها.

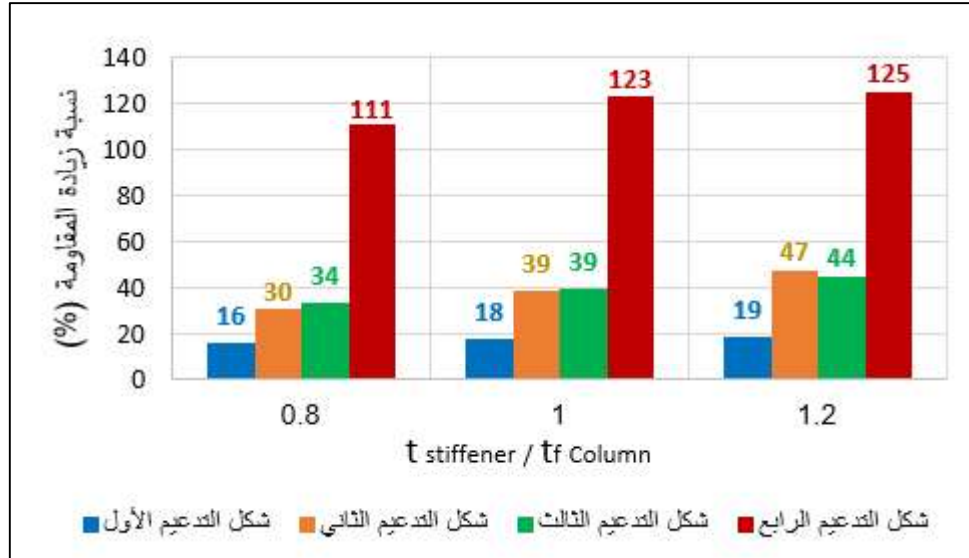
المقارنة الثانية: العزم المقاوم الأعظمي عند الانهيار ($M_{plastic}$):

يبين المخطط الوارد في الشكل (16) نتائج تحليل العزم الأعظمي اللدن في كافة النماذج المدعمة، حيث يمثل المحور الشاقولي العزم الأعظمي اللدن أما المحور الأفقي فيمثل نسبة سماكة صفيحة التدعيم إلى سماكة جناح العمود (المتغير سماكة صفيحة التدعيم).



الشكل رقم (16): مقارنة العزم الأعظمي لللدن في النماذج المدعمة.

بتحليل المخطط نلاحظ أن العزم المقاوم الأعظمي يزداد مع زيادة سماكة صفائح التدعيم في كافة أشكال التدعيم، ولتحديد نسبة زيادة قدرة تحمل الوصلة في كل حالة ومقارنة النسب فيما بينها تم إنشاء المخطط الموضح في الشكل (17) والذي يبين نسبة زيادة العزم المقاوم الأعظمي في كل نموذج من النماذج المدعمة بالمقارنة مع العزم المقاوم الأعظمي للنموذج المعياري المحلل بدون تدعيم والذي تبلغ قيمته (55.197 KN.m)، حيث يمثل المحور الشاقولي نسبة زيادة العزم المقاوم الأعظمي أما المحور الأفقي فيمثل نسبة سماكة صفيحة التدعيم إلى سماكة جناح العمود (المتغير سماكة صفيحة التدعيم).

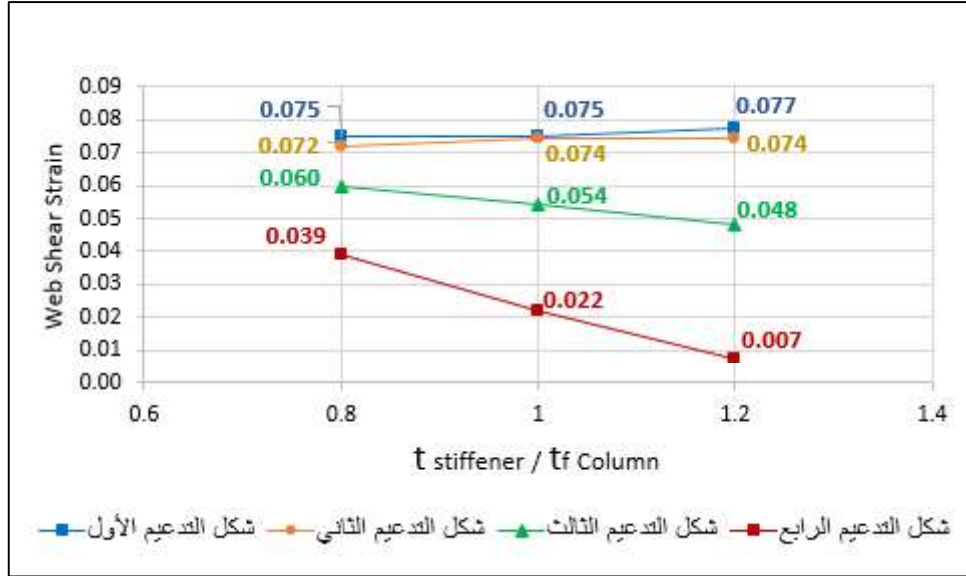


الشكل رقم (17): نسبة زيادة العزم الأعظمي لللدن في النماذج المدعمة.

نلاحظ أن شكل التدعيم الرابع المؤلف من مجرة هو الشكل الأكثر فاعلية في زيادة قدرة تحمل العقدة الفولاذية، حيث أدى إلى رفع مقاومة الوصلة إلى أكثر من الضعف مع كافة السماكات، كما نلاحظ أن نسب شكلي التدعيم الثاني والثالث متقاربة وتزيد عن شكل التدعيم الأول بما يعادل الضعف تقريباً، وبذلك يكون شكل التدعيم الأول المؤلف من صفائح أفقية هو الشكل الأقل فاعلية في رفع مقاومة الوصلة الفولاذية.

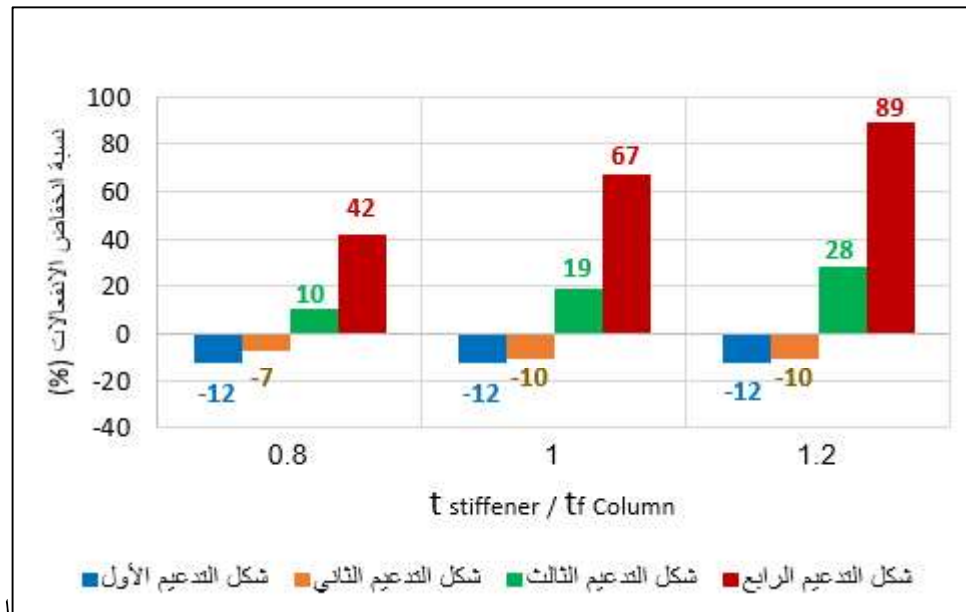
المقارنة الثالثة: الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في جسد العمود:

بنفس الأسلوب السابق تم إنشاء المخططات الواردة في الشكلين (18) و(19) لمقارنة نتائج تحليل الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في جسد العمود في كافة النماذج.



الشكل رقم (18): مقارنة الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في النماذج المدعمة.

بتحليل المخطط نجد أن الانفعالات في جسد العمود تتخفض مع زيادة سماكة صفائح التدعيم عند استخدام الشكلين الثالث والرابع في التدعيم، وتزداد مع زيادة السماكة عند استخدام الشكلين الأول والثاني، وبمقارنة هذه القيم مع قيمة انفعال النموذج المعياري (0.067) نلاحظ أن استخدام شكل التدعيم الرابع يؤدي إلى انخفاض انفعالات جسد العمود الناتجة عن إجهادات القص بشكل كبير ويليه الشكل الثالث، أما استخدام الشكل الأول والشكل الثاني في التدعيم فقد أدى إلى زيادة الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في جسد العمود، ولم يكن مجدياً في تقوية جسد العمود على القص.



شكل رقم (19): نسبة انخفاض الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في النماذج المدعمة.

6- الاستنتاجات (Conclusion):

تم في هذا البحث دراسة تأثير عناصر التدعيم على سلوك الوصلات الفولاذية نوع جأز - عمود تحت تأثير الأحمال الجانبية، والتأكد من فعالية هذه العناصر في تقوية الوصلات الفولاذية وفق عدد من المعايير، ودراسة تأثير تغيير سماكة صفائح التدعيم على فعالية مقاومة القوى الجانبية، ثم مقارنة النتائج من خلال وضع عدة معايير من حيث المطاوعة والصلابة والمقاومة، وتم في نهاية هذا البحث التوصل إلى النتائج التالية:

- 1- تتخفص سعة دوران الوصلة الفولاذية بزيادة سماكة صفائح التدعيم عند استخدام التدعيم بشكل مجرة فولاذية (الشكل الرابع من أشكال التدعيم) حيث أن زيادة صلابة النموذج تساهم في تخفيض سعة الدوران.
- 2- تبين من دراسة النماذج أن النموذج الأكثر مطاوعة هو النموذج الثاني والذي تم فيه استخدام شكل التدعيم الأول بسماكة تعادل 0.8 سماكة جناح العمود، وتم استنتاج أن سعة دوران العقدة المدعمة ازدادت بحوالي (56%) عنها في العقدة غير المدعمة.
- 3- ارتفعت سعة دوران الوصلة الفولاذية مع زيادة السماكة عند استخدام التدعيم بشكل زوايا فولاذية (الشكل الثاني من أشكال التدعيم) على خلاف أشكال التدعيم الأخرى.
- 4- تؤدي إضافة عناصر التدعيم إلى زيادة مقاومة الوصلة الفولاذية بشكل واضح وبنسب تختلف باختلاف سماكة صفائح التدعيم وشكلها ومكان توضعها.
- 5- لم تعط زيادة سماكة صفائح التدعيم عند استخدام شكل التدعيم الأول فعالية ملحوظة إذ لم تتجاوز فروق كفاءتها في رفع مقاومة العقدة 1%، وهذه النسبة قليلة جداً لا تستدعي زيادة سماكة صفائح التدعيم المستخدمة في تدعيم العقدة.
- 6- حقق شكل التدعيم الرابع النسب الأعلى في زيادة مقاومة العزم اللدن للوصلة الفولاذية، إذ أدى إلى رفع مقاومتها إلى أكثر من الضعف مع كافة السماكات.
- 7- تزداد مقاومة الوصلة مع زيادة سماكة صفائح التدعيم في كافة أشكال التدعيم.
- 8- لم يؤدي استخدام شكلي التدعيم الأول والثاني إلى تخفيض قيمة الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في جسد العمود.
- 9- يؤدي استخدام شكل التدعيم الرابع إلى انخفاض قيم الانفعالات الناتجة عن إجهادات القص في جسد العمود بشكل فعال، إذ تتخفص بنسبة (89%) مع السماكة (12 mm) للمجرة الفولاذية المستخدمة في التدعيم.

7- التوصيات (Recommendations):

- 1- إجراء دراسة تجريبية لنماذج مشابهة لنماذج هذا البحث ومقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التحليلية التي تم الوصول إليها باستخدام طريقة العناصر المحدودة على برنامج (ABAQUS).
- 2- دراسة أثر استخدام أنواع أخرى من صفائح التدعيم.
- 3- تغيير الأبعاد الهندسية لعناصر الوصلة الفولاذية من أجل تحليل فعالية عناصر التدعيم في مقاومة الأحمال الجانبية مع أبعاد مختلفة للجأز والعمود.
- 4- إجراء دراسة تحليلية مشابهة لهذه الدراسة على وصلة جأز - عمود فولاذية موجودة في الطابق الأخير من الإطار الفولاذي.
- 5- دراسة أثر استخدام سماكات أخرى لصفائح التدعيم.

8-المراجع (References):

1. Broderick, B.M. and Thomson A.W. (2002): “The Response Of Flush End Plate Joints Under Earthquake Loading”. Journal Of Constructional Steel Research, vol. 58, PP.1167-1175.
2. de Lima, L.R.O., de Andrade, S.A.L., da S. Vellasco, P.C.G., and da Silva, L.S. (2001): “Experimental And Mechanical Model For Predicting The Behaviour Of Minor Axis Beam-To-Column Semi-Rigid Joints”. Journal Of Constructional Steel Research, vol. 44, PP.1047-1065.
3. Tagawa H, Gurel S (2005). “Application of steel channels as stiffeners in bolted moment connections”. Journal of constructional steel research, 61(12), 1650-1671.
4. EN1993-1-8 (2002) Eurocode 3: “Design of steel structure- part 1.8: Design of joints”. Brussels:CEN.
5. Margarida A, Coelho G (2004). “Characterization Of The Ductility Of Bolted End Beam-To-Column Steel Connections” ,(Phd Thesis), University Of Coimbra, France.
6. Concepcion Diza, Pascual Marti, Mariano Victoria, Osvaldo M. Querin (2010). “Review On The Modelling Of Joint Behaviour In Steel Frames”. Journal Of Constructional Steel Research, 67(5), 741-758.
7. “Joints Of Steel Construction: Moment Connections” (1995), British Constructional Steelwork Association, The Steel Construction Institute, 233 pages.
8. British Standard BS 5950-1 (2000). “ Structural use of steelwork in building – Part1: Code of practice for design – Rolled and welded sections”, British standard institution, london, UK.