جامعة حلب
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

السلوكية الستاتيكية و الديناميكية للإطارات بوجود العقد نصف الصلبة
Static and Dynamic Behavior of Frames with Semi-Rigid Connection

أطروحة أعدت لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الإنشائية

إعداد المهندس
ضياء الدين نعساني

بإشراف
الدكتور عبد الحكيم شيخو
أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب

2011
1432

شهادة

نشهد بأن العمل المقدم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح ضياء الدين نعساني، بإشراف الأستاذ الدكتور المهندس عبد الحكيم شيخو الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية بجامعة حلب

الباحث المهندس	المشرف
ضياء الدين نعساني	الدكتور المهندس عبد الحكيم شيخو

تصريح

أصرح بأن هذا البحث:

السلوكية الستاتيكية و الديناميكية للإطارات بوجود العقد نصف الصلبة
Static and Dynamic Behavior of Frames with Semi-Rigid Connection

لم يسبق له أن حصل على أية شهادة، و لا هو مقدم حاليا للحصول على شهادة أخرى.

المرشح

ضياء الدين نعساني

Edited with the trial version of
Foxit Advanced PDF Editor
To remove this notice, visit:
www.foxitsoftware.com/shopping

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ ١٦ / ١١ / ٢٠١٦ وأجيزت .

لجنة الحكم على الرسالة

الدكتور محمد صفو
أستاذ في كلية الهندسة المدنية
جامعة حلب

الدكتور عبد الحكيم شيخو
أستاذ في كلية الهندسة المدنية
جامعة حلب

الدكتور سهيل الجنزير
أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية
جامعة حلب

الدكتور مؤيد الصبح
أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية
جامعة دمشق

الدكتور عبد الإله زعرور
مدرس في كلية الهندسة المدنية
جامعة البعث

ملخص

يتأثر سلوك الإطارات المعدنية بصورة واضحة بوصلة الجائز– العمود، وتصنف هذه الوصلة في التحليل و التصميم الإنشائي على أنها صلبة أو مفصلية نظرا لسهولة التصنيف، بينما يقع السلوك الفعلي لوصلات الإطارات المعدنية بين هذين الحدين وهو السلوك شبه الصلب والذي يتميز بالعلاقة اللا خطية لمنحني العزم مع الدوران و الواجب أخذها بعين الاعتبار عند القيام بالتحليل والتصميم الإنشائي.

تستخدم وصلة قمة العمود (Cap Plate connection) بكثرة في الإطارات المعدنية الصناعية نظراً لأفضليتها عن الوصلات المعدنية الأخرى، و قد اتضح من مراجعة الأبحاث السابقة أن هذه الوصلة لم تتم دراستها بشكل كافٍ نظرياً و مخبرياً.

تمت دراسة سلوك أربع وصلات قمة العمود مخبرياً للحصول على منحنيات العزم و الدوران لهذه الوصلات، و كذلك مقارنة سلوكها و صلابتها مع وصلة الصفيحة الممتدة (وصلة صلبة) حيث تم اختبار عينتين لوصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection) و ذلك لإثبات أنها وصلة شبه صلبة. و بمقارنة الصلابة بين وصلة قمة العمود و الوصلة الصلبة و إدخال قيمة الصلابة بالتحليل و التصميم الإنشائي وجدنا أن وصلة قمة العمود تعطي مقاطع أصغر للعناصر المعدنية و بالتالي كلفة أقل للهيكل المعدني و ذلك نتيجة إعادة توزيع العزوم في الإطارات.

و تم تطوير مجموعة من المعادلات لحساب صلابة الوصلات و الحمولة الحدية للأعمدة الإطارية و دور الاهتزاز الأدنى للإطارات المعدنية بحيث تأخذ بعين الاعتبار السلوك شبه الصلب للعقد المعدنية.

قائمة المحتويات

الفصل الأول: المقدمة

١-١- عموميات ١

١-٢- الغرض من البحث..... ٧

الفصل الثاني : الأبحاث السابقة

٢-١- مقدمة..... ٩

٢-٢- تصنيف العقد المعدنية..... ٩

٢-٢-١- التصنيف الأمريكي ٩

٢-٢-٢- التصنيف الأوروبي.....١٢

٢-٣- أنواع الوصلات المعدنية..... ١٧

٢-٣-١- وصلة زاوية الجسد الواحدة.....١٨

٢-٣-٢- وصلة صفيحة الجسد الواحدة.....١٩

٢-٣-٣- وصلة القص ⊤.....٢١

٢-٣-٤- وصلة زاويتي الجسد.....٢٢

٢-٣-٥- وصلة الزاوية العليا و السفلى.....٢٣

٢-٣-٦- وصلة الصفيحة العليا و الزاوية السفلى.....٢٤

٢-٣-٧- وصلة زوايا الجسد و الجناح السفلي.....٢٥

٢-٣-٨- وصلة زوايا الجسد و الأجنحة.....٢٦

٢-٣-٩- وصلة الصفيحة الملحومة بجسد الجائز.....٢٧

٢-٣-١٠- وصلة الصفيحة الملحومة و الزاوية السفلى.....٢٨

٢-٣-١١- وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجائز.....٢٩

٢-٣-١٢- وصلة الصفيحة الممتدة.....٣٠

٢-٣-١٣- وصلة الأجنحة ⊤.....٣٢

٢-٣-١٤- وصلة صفيحة قمة العمود.....٣٣

٢-٤- التقنيات المستخدمة في التحكم بدوران الوصلة..... ٣٥

٢-٥- سلوك الوصلة..... ٣٧
٢-٦- نمذجة الوصلات..... ٣٩
٢-٦-١- النماذج الخطية.....٣٩
٢-٦-٢- النموذج متعدد الخطوط.....٤٠
٢-٦-٣- النموذج Cubic B-Spline.....٤٠
٢-٦-٤- نموذج القوة (Power Models).....٤١
٢-٦-٥- النموذج الأسي (Exponential Models).....٤١
٢-٦-٦- تابع Richard-Abbott.....٤٢
٢-٦-٦- نماذج العناصر المحدودة (Finite Element Models).....٤٢
٢-٧- قواعد بيانات الوصلات..... ٤٣
٢-٨- تحليل الإطارات الصلبة و النصف صلبة..... ٤٤

الفصل الثالث : استنتاج مصفوفات الصلابة بإدخال تأثير العقد نصف الصلبة

٣-١- مقدمة..... ٤٥
٣-١-١- الطول الفعال..... ٤٥
٣-١-٢- التأثيرات من الدرجة الثانية.....٤٦
٣-١-٣- الإطارات الصلبة و الشبه صلبة.....٤٨
٣-٢- اشتراطات..... ٤٨
٣-٣- مصفوفة الصلابة للعنصر بإدخال تأثير الصلابة الدورانية للعقدة (العقد نصف الصلبة).....٤٨
٣-٣-١- النوع الأول (موثوق – موثوق).....٤٩
٣-٣-٢- النوع الثاني (شبه صلب – موثوق).....٥٢
٣-٣-٢-١ الاشتقاق.....٥٢
٣-٣-٣- النوع الثالث (موثوق – شبه صلب).....٥٨
٣-٣-٤- النوع الرابع (متمفصل – موثوق).....٥٨
٣-٣-٥- النوع الخامس (موثوق- متمفصل).....٥٩

٣-٣-٦- النوع السادس (شبه صلب- متمفصل).....٦٠
٣-٣-٧- النوع السابع (متمفصل – شبه صلب).....٦٣
٣-٣-٨- النوع الثامن (متمفصل – متمفصل).....٦٤
الفصل الرابع : طريقة مبسطة لحساب الحمولة الحدية للأعمدة في الإطارات مع إدخال تـأثير العقد نصف الصلبة
طريقة ريتشارد-أبوت المعدلة لحساب صلابة الوصلات المعدنية
٤-١- طريقة مبسطة لحساب الحمولة الحدية للأعمدة في الإطارات مع إدخال تأثير العقد نصف الصلبة..... ٦٥
٤-١-١- النموذج المقترح..... ٦٥
٤-١-٢- الطريقة المقترحة.....٧١
٤-١-٢-١ معادلة لحساب حمولة العمود الحدية.....٧١
٤-١-٢-٢ حالة عمود متمفصل من أحد النهايتين و موثوق جزئيا من النهاية الأخرى.....٧٤
٤-١-٣- إثبات صحة الطريقة المقترحة.....٧٥
٤-١-٣-١ معادلة لحساب حمولة العمود الحدية.....٧٥
٤-١-٣-٢ حالة عمود متمفصل عند أحد نهايتيه.....٧٨
٤-١-٤- استخدام الطريقة المقترحة للاختيار المبدئي لمقاطع الأعمدة في الإطارات المعدنية.....٧٩
٤-١-٤-١ مثال ١ .....٨٠
٤-١-٤-٢ مثال ٢ .....٨٢
٤-٢- تطوير طريقة Richard-Abbott لحساب صلابة الوصلات المعدنية..... ٨٣
٤-٢-١- الطرق المستخدمة لحساب صلابة الوصلة..... ٨٣
٤-٢-٢- تابع ريتشارد-أبوت.....٨٨
٤-٢-٢-١ خصائص تابع ريتشارد-أبوت.....٨٨
٤-٢-٢-٢ صلابة الوصلة باستخدام تابع ريتشارد-أبوت ٨٩
٤-٢-٣- معادلة ريتشارد-أبوت المعدلة لحساب الصلابة.....٩٠

٤-٢-٤- إثبات صحة الطريقة المعدلة..... ٩١
الفصل الخامس : التجارب المخبرية
٥-١- الهدف..... ١٠٩
٥-٢- العينات المخبرية..... ١١٠
٥-٢-١- تفاصيل العينات..... ١١٠
٥-٣- تجهيز التجربة..... ١١٠
٥-٣-١- نظام تثبيت العينة..... ١١١
٥-٣-٢- التثبيت الجانبي عند نهاية الجسر..... ١١١
٥-٣-٣- خصائص المواد و التصنيع..... ١١١
٥-٣-٤- تجميع العينة..... ١٢٠
٥-٤- أجهزة القياس في التجربة..... ١٢٠
٥-٤-١- الحساسات LVDT(Linear Voltage Displacement Transducers)..... ١٢٠
٥-٤-٢- المضخم..... ١٢٠
٥-٥- مراحل التجربة..... ١٢٣
٥-٥-١- تدقيق تركيب العينة و أجهزة القياس..... ١٢٣
٥-٤-٢- تطبيق الحمولة..... ١٢٣
٥-٤-٣- تسجيل معطيات الاختبار..... ١٢٣
الفصل السادس : النتائج و نمذجة العينة التجريبية
٦-١- مقدمة..... ١٢٤
٦-٢- تحليل العينات..... ١٢٦
٦-٢-١- العينة الأولى ع١..... ١٢٦
٦-٢-٢- العينة الثانية ع٢..... ١٣٠
٦-٢-٣- العينة الثالثة ع٣..... ١٣٣
٦-٢-٤- العينة الرابعة ع٤..... ١٣٥
٦-٢-٥- العينة الخامسة ع٥..... ١٣٨
٦-٢-٦- العينة السادسة ع٦..... ١٤١

٦-٣- إدخال تأثير صلابة وصلة صفيحة قمة العمود في التصميم و الحصول على كلفة أقل للمنشأ المعدني).....١٤٤
٦-٤- نمذجة العينة التجريبية باستخدام برنامج ANSYS.....١٥١
٦-٤-١- مقارنة العزم الحدي بين نتائج التجارب و برنامج ANSYS.....١٥٨
٦-٥- تمثيل صلابة وصلة قمة العمود باستخدام معادلة Richard-Abbott المعدلة.....١٥٩

الفصل السابع : طريقة مبسطة لحساب دور الاهتزاز الأدنى للإطارات المعدنية بإدخال تأثير العقد نصف الصلبة

٧-١- مقدمة..... ١٦٣
٧-٢- حساب الدور الأساسي T_1..... ١٦٤
٧-٣- المعادلة المقترحة.....١٦٧
٧-٤- إثبات صحة المعادلة المقترحة.....١٧١
٧-٤-١- المثال ١.....١٧١
٧-٤-٢- المثال ٢.....١٧٣
٧-٥- الاستنتاج..... ١٧٦
٧-٦- إدخال تأثير صلابة العقد نصف الصلبة في تصميم المنشآت المعدنية تحت تأثير الحمولات الديناميكية و الحصول على كلفة أقل للمنشأ المعدني..... ١٧٦

الفصل الثامن : الملخص، الاستنتاجات

٨-١- الملخص..... ١٧٩
٨-٢- الاستنتاجات..... ١٧٩
٨-٣- توصيات الأعمال المستقبلية..... ١٨٠
الملحق الأول ١٨٩

الفصل الأول

المقدمة

١-١ عموميات

في مراحل تصميم المنشآت المعدنية يجب الأخذ بالحسبان وجود الوصلات بين الجوائز و الأعمدة . حيث أن السلوك الحقيقي للمنشأ يعتمد على نوع الوصلات و لذلك يجب وضع اشتراطات معينة في تنفيذ الوصلات عند تصميم المنشأ. وقد تبين في معظم حالات انهيار المنشآت أن الوصلات هي السبب الرئيسي لحدوثه. لذلك على المصمم أن يدرس سلوك الوصلة في تصميم وتحليل المنشآت.

تعتبر الوصلات في تصميم و تحليل المنشآت المعدنية إما موثوقة أو متمفصلة وذلك لسهولة الحساب والتصميم. و لكن السلوك الحقيقي للوصلات في المنشآت المعدنية وفقا لنتائج التجارب المخبرية يقع ضمن هذين الاعتبارين أي ما يسمى بالعقدة شبه الصلبة (وثاقة جزئية). لتحقيق الهدف من استخدام العقد شبه الصلبة في التحليل والتصميم يجب وضع دراسة وبحث أكثر لفهم سلوك الوصلة وتأثيرها على صلابة و استقرار المنشأ. إن من أهم الأساسيات التي تساعد المصمم على دراسة سلوك المنشأ ككل هي معرفة أنواع ونمذجة و تصميم جميع أنواع العقد المعدنية.

إن الشكل (1-1) يوضح تأثير شروط النهايات على مخطط عزم الانعطاف للجوائز المحملة بحمولة موزعة بانتظام، و لمقارنة تأثير شروط النهايات فإن الجدول (1-1) يبين التسهم عند منتصف المجاز ، الدوران عند نهايتي الجائز ، العزوم عند منتصف و نهايتي الجائز لكل من الحالات التالية:

١- جائز باستناد مفصلي

٢- جائز موثوق من الطرفين

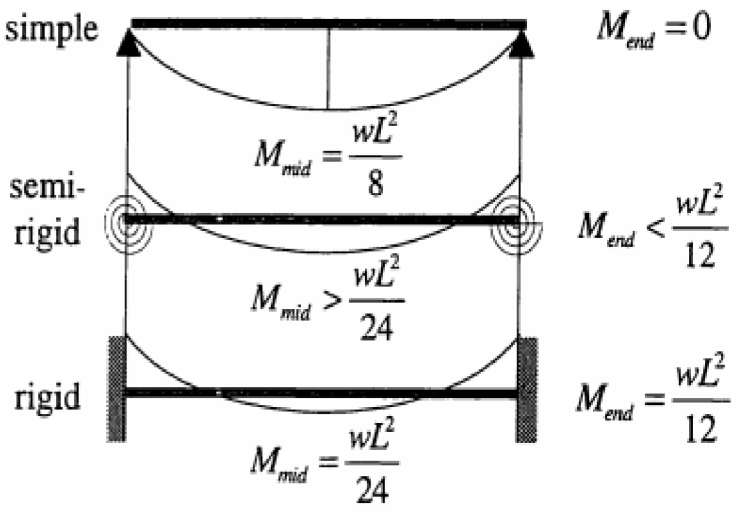
٣- جائز باستناد عقد شبه صلبة

تصنف جميع أنواع الوصلات المعدنية كعقد شبه صلبة و هذا التصنيف يستنتج من العلاقة بين العزم المطبق والدوران النسبي. حيث أن الدوران النسبي يعرف بالتغير

الزاوي النسبي للمحورين المركزيين للعنصرين المتصلين كما هو موضح بالشكل (1-2).

إن الهدف الرئيسي من استخدام العقد شبه الصلبة في المنشآت المعدنية هو إعادة توزيع العزوم في الإطارات بين العقد و المجاز بشكل أن تعطي توزيع أكثر اقتصاداً [19] كما هو موضح في الشكل (1-1). و هناك إمكانية أخرى لتخفيض الوزن في الأعمدة حيث أن الفهم الأعمق لطبيعة الاستناد الحقيقية و عزوم النهايات سوف يؤدي لقبول الدورانات و طرق تصميم أكثر أمثلية [44]. و لكن يجب الأخذ بالحسبان أن العقد شبه الصلبة ليست مناسبة لكل أنواع المنشآت المعدنية حيث أن الاستقرار الإنشائي هو العامل الأهم في الإطارات المعدنية.

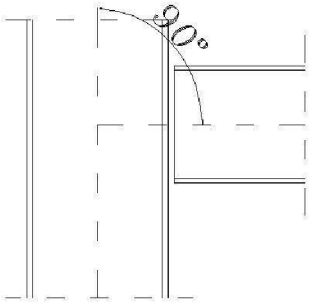
و لهذا السبب يجب أخذ اعتبارات مناسبة في التحليل من الدرجة الثانية لمعرفة السلوك الحقيقي للإطارات. أيضا من وجهة النظر التصميمية فإن الطريقة الحدية للتصميم هي الطريقة الأفضل للاستخدام نتيجة اللا خطية العالية للمنشأ. و على كل حال فإن تحليل الإطار بوجود العقد شبه الصلبة صعب الانجاز إلا في حال الحصول على العلاقة بين العزم و الدوران للعقد.



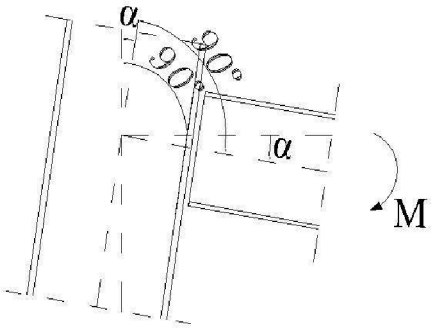
الشكل (١-١): الوصلة الصلبة و المفصلية و الشبه صلبة

الجدول (١-١): الوصلة الصلبة و المفصلية و الشبه صلبة

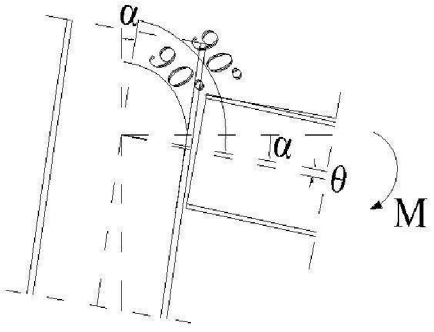
Support Type	End-Support Moment	Mid-Span Moment	End-Support Rotation	Mid-Span Deflection
Simple	$M_{end}=0$	$M_{mid}=\frac{wL^2}{8}$	$\theta=\frac{wL^3}{24EI}$	$\delta=\frac{5wL^4}{384EI}$
Semi-Rigid	$0<M_{end}<\frac{wL^2}{12}$	$\frac{wL^2}{24}<M_{mid}<\frac{wL^2}{8}$	$0<\theta<\frac{wL^3}{24EI}$	$\frac{wL^4}{384EI}<\delta<\frac{5wL^4}{384EI}$
Rigid	$M_{end}=\frac{wL^2}{12}$	$M_{mid}=\frac{wL^2}{24}$	$\theta=0$	$\delta=\frac{wL^4}{384EI}$



وصلة جائز-عمود بدون حمولات



وصلة صلبة محملة



وصلة نصف صلبة محملة

الشكل (2-1): مقارنة بين الوصلة الصلبة و الشبه صلبة

إن وصلة صفيحة قمة العمود (Cap Plate connection) الموضحة بالشكل (3-1) من أكثر وصلات جائز-عمود استخداماً في إطارات المنشآت الصناعية ذات الطابق الواحد، و لها عدة مميزات تجعلها أفضل من وصلة الصفيحة الممتدة (Extended end plate connection) الموضحة بالشكل (4-1) و أهم هذه الميزات هي :

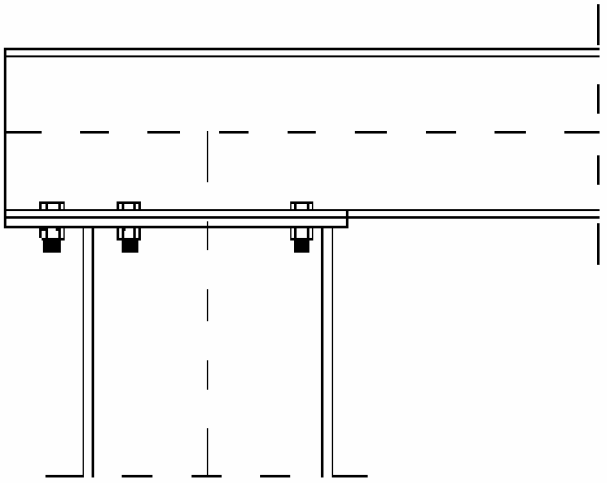
١- إن وصلة صفيحة قمة العمود (Cap Plate connection) أسهل للتركيب من وصلة الصفيحة الممتدة (Extended end plate connection) حيث أن الجائز يستند مباشرة على العمود.

٢- لا يوجد قوى قص شاقولية ناتجة عن الحمولة الميتة أو الحمولة الحية تنتقل عن طريق البراغي.

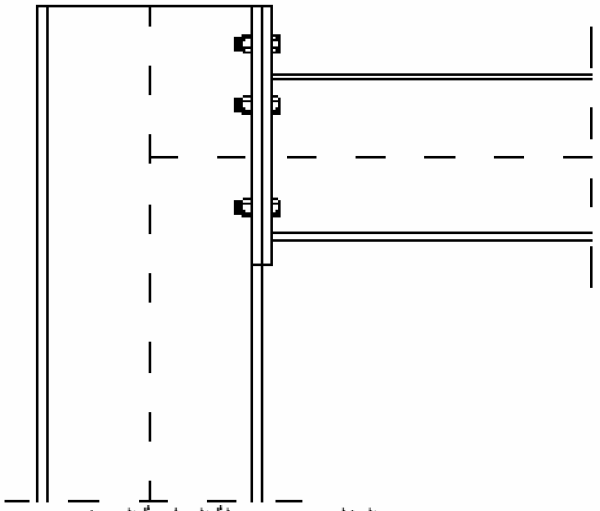
٣- إن وصلة صفيحة قمة العمود (Cap Plate connection) تسمح بدوران العقدة بحرية أكثر مما تسمح به وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate) وبالتالي فإن هذه الوصلة أكثر مرونة. فصلابة الوصلة أو مرونتها ترتبط بالعديد من العوامل مثل سماكة الصفيحة و عدد البراغي و نوعها و هذا ما بينته دراسة Lipson and Antonio [52] و دراسة Bose [16].

٤- بما أن وصلة صفيحة قمة العمود (Cap Plate connection) تسمح بالدوران أكثر من وصلة العزم التقليدية و بالتالي سيحصل إعادة بتوزيع العزوم في الإطارات بين العقد و المجاز بشكل يعطي توزيع أكثر اقتصاداً.

معظم التجارب المخبرية المتوفرة في الأبحاث السابقة نفذت على وصلات الصفيحة الممتدة أو أي من أنواع الوصلات المستخدمة بالمباني. أما بالنسبة لوصلة صفيحة قمة العمود (Cap Plate connection) فلا يوجد اختبارات مخبرية كافية عنها تشرح سلوك هذه الوصلة في الحد الأدنى حيث يوجد بحث واحد فقط عن وصلة صفيحة قمة العمود و تمت تجربة ست عينات فقط [32]. و لذلك فإن نتائج الاختبارات المزودة في بحثنا سوف تضيف معلومات جديدة و قيمة عن سلوك هذه الوصلة الشبه صلبة المستخدمة بشكل واسع في المنشآت المعدنية الصناعية.



الشكل (1-3) : وصلة قمة العمود



الشكل (1-4) : وصلة الصفيحة المسندة

١-٢ الغرض من البحث:

إن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة السلوك الحقيقي للعقد شبه الصلبة ودراسة تأثيرها الستاتيكي و الديناميكي على الإطارات المعدنية. و كذلك دراسة سلوك وصلة صفيحة قمة العمود و التي تعتبر النموذج الحقيقي للعقدة شبه الصلبة و التي تنتشر بشكل واسع في إطارات المنشآت الصناعية ذات الطابق الواحد و تفعيل سلوك هذه الوصلة في تحليل و تصميم الإطارات المعدنية. و على هذا الأساس إنه من الضروري عمل سلسلة من التجارب باستخدام وصلة صفيحة قمة العمود لمعرفة العلاقة الحقيقية بين العزم المطبق و الدوران النسبي للعقدة.

بالنسبة للتجارب فقد تم تصميم العينات و تركيبها و اختبارها في مخبر الإنشاء والبيتون بكلية الهندسة المدنية بجامعة حلب حيث تم اختبار وصلة صفيحة قمة العمود وبالمقياس الحقيقي . تم اختبار أربع عينات من وصلة (Cap Plate Connection). وكذلك تم اختبار عينتين من وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate).

إن الأهداف الأساسية من هذه الدراسة هي:

١- اختبار عينات متنوعة من وصلات صفيحة قمة العمود ذات مقاطع جوائز مختلفة ، أقطار براغي مختلفة ، سماكة صفيحة عمود مختلفة و ذلك للحصول على معطيات لمنحنيات العزم-الدوران للعينات. هذه التجارب سوف توضح سلوك هذا النوع من الوصلات و كيفية انهيارها.

٢- اختبار عينتين من وصلة الصفيحة الممتدة ذات مقاطع مطابقة لعينات وصلة صفيحة قمة العمود و ذلك لتحديد نسبة صلابة وصلة صفيحة قمة العمود بالنسبة لصلابة وصلة الصفيحة الممتدة(و التي تمثل وصلة العزم الصلبة) و إثبات أنها وصلة شبه صلبة.

٣- الهدف من الوصلة شبه الصلبة إعادة توزيع العزوم في الإطارات بين العقد والمجاز بشكل أن تعطي توزيع أكثر اقتصاداً. لذلك تم إدخال تأثير صلابة الوصلة شبه الصلبة (وصلة صفيحة قمة العمود) في التصميم و ذلك بإدخال قيمها كنسبة من صلابة

وصلة العزم (وصلة الصفيحة الممتدة) في البرامج الإنشائية للحصول على مقاطع أصـــغر للعناصر المعدنية و بالتالي كلفة أقل للهيكل المعدني.

٤- تطوير منحني العزم-الدوران لوصلة صفيحة قمة العمود باســتخدام المعطيــات الناتجة عن الاختبارات.

٥- استنتاج بعض التوصيات عن تصميم هذا النوع من الوصلات.

٦- تطوير معادلة Richard-Abbott لتعطي قيمة الصلابة للعقد المعدنية بشكل أدق

٧- تطوير معادلة تعطي قيمة تقريبية للحمولة الحدية للأعمدة المعدنية بإدخال تــأثير العقد نصف الصلبة.

٨- تطوير معادلة تعطي قيمة لدور الاهتزاز و تأخذ بعين الاعتبار وجود العقد شــبه الصلبة.

الفصل الثاني
الأبحاث السابقة

٢-١ مقدمة

سيتم في هذا البحث تصنيف الوصلات المعدنية و ذلك وفقاً للكود الأمريكي والكود الأوروبي، ثم شرح أنواع الوصلات المعدنية التي تم اختبارها سابقاً و الخصائص الأساسية لها و تقنيات القياس المستخدمة لقراءة دوران الوصلة خلال الاختبار. كما تم التحدث عن الطرق الإلباس المستخدمة لتمثيل سلوك الوصلة.

٢-٢ تصنيف العقد المعدنية

٢-٢-١ التصنيف الأمريكي

إن المعهد الأمريكي للمنشآت المعدنية (AISC American Institute of Steel construction) [6, 7] يعتبر من أكثر كودات التصميم انتشاراً، حيث تصنف المنشآت المعدنية إلى أنواع مختلفة و ذلك تبعاً لدرجة الوثق التي تعطيها الوصلات المعدنية.

تصنف المنشآت المعدنية وفقا لكود تصميم الإجهاد المسموح (ASD Allowable Stress Design) (AISC) [6] إلى ثلاثة أنواع أساسية:

١- النوع الأول: الإطارات الصلبة (الإطارات المستمرة) حيث يتم الافتراض بأن العقد المعدنية التي تصل الجائز بالعمود ذات صلابة تامة حيث لا تسمح بأي تغيير على الزاوية بين العنصرين المتصلين.

٢- النوع الثاني: الإطارات المفصلية حيث يتم الافتراض بأن العقد المعدنية تنقل قوى القص فقط و لا تنقل العزوم و هي قابلة للدوران تحت تأثير الحمولات المسببة للعزوم.

٣- النوع الثالث: وهو ما يعرف بالإطارات شبه الصلبة (موثوقة جزئيا) و في هذا النوع فإن العقدة شبه الصلبة قادرة على نقل قيمة عزم محددة و تكون بين صلابة النوع الأول و مرونة النوع الثاني.

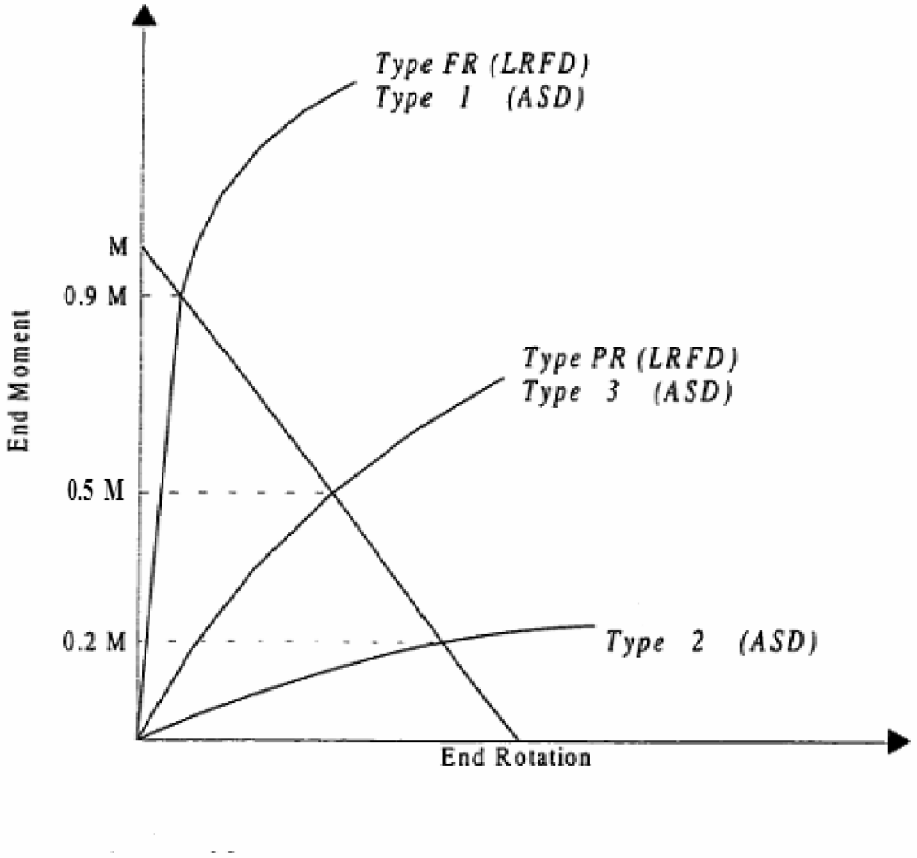
و وفقاً لكود تصميم تصعيد الحمولـــة (LRFD Load Resistance Factor Design) (AISC) فإن المنشآت المعدنية تصنف إلى نوعين أساسيين:

١- النوع الأول: الإطارات الموثوقة بشكل كامل و التي تصمم عادة كإطارات صـــلبة حيث يتم الافتراض بأن العقد المعدنية التي تصل الجائز بالعمود ذات صلابة تامة حيث لا تسمح بأي تغيير على الزاوية بين العنصرين المتصلين.

٢- النوع الثاني: الإطارات الموثوقة جزئيا و في هذا النوع فإن العقدة قادرة على نقل قيمة عزم محددة بين العنصرين المتصلين.

إن الشكل (1-2) يوضح سلوك الوصلة من خلال العلاقة بين العزم و الـــدوران وذلك وفقاً لكود تصميم الإجهاد المسموح (ASD) النوع الأول و الثاني والثالث، و كذلك وفقا لكود تصميم تصعيد الحمولة (LRFD) النوع الأول و الثاني كما هـــو موضـــح فـــي [70].

إن العقدة الصلبة (النوع الأول) قادرة على حمل 90% أو أكثر من قيمـــة العـــزم المطبق حيث أن العزم هو عزم الوثاقة لجائز محمل بحمولة موزعـــة بانتظـــام. العقـــدة المفصلية (النوع الثاني) تستطيع مقاومة 20% من العزم أو أقل بينما العقدة شبه الـــصلبة (النوع الثالث) فإنه من المتوقع أن تقاوم 50% بشكل وسطي من قيمة العزم الوثق.



الشكل (1-2): مخطط العزم-الدوران لأنواع الوصلات حسب المعهد الأمريكي للمنشآت المعدنية

٢-٢-٢ التصنيف الأوروبي:

إن الكود الأوروبي للمنشآت المعدنية (Eurocode3) (1992) يصنف الوصلات إما حسب الصلابة أو القوة [20]. إن الشكل (2-2) يوضح منحني العزم-الدوران لعقدة جائز-عمود حيث أن:

$M_{j,R}$ العزم المقاوم للعقدة،

θi الاستطاعة الدورانية للعقدة،

Ri الصلابة الأولية.

عند التصنيف حسب الصلابة فإن شروط التصنيف تحدد من خلال الصلابة الدورانية المبدئية للعقدة و هي كالتالي:

- للإطارات الممنوعة من الانزياح الجانبي:
  - حالة العقدة صلبة:

$$R_i \geq \frac{8EI_b}{L_b}$$

  - حالة العقدة شبه صلبة:

$$\frac{0.5EI_b}{L_b} < R_i < \frac{8EI_b}{L_b}$$

  - حالة العقدة مفصلية:

$$R_i \leq \frac{0.5EI_b}{L_b}$$

- للإطارات ذات الانزياح الجانبي:
  - حالة العقدة صلبة:

$$R_i \geq \frac{25EI_b}{L_b}$$

  - حالة العقدة شبه صلبة:

$$\frac{0.5EI_b}{L_b} < R_i < \frac{25EI_b}{L_b}$$

  - حالة العقدة مفصلية:

$$R_i \leq \frac{0.5 EI_b}{L_b}$$

حيث:

E عامل المرونة للمعدن

L_b طول الجائز

I_b عزم العطالة للجائز

عند التصنيف حسب القوة فإن شروط التصنيف تحدد من خلال العـــزم المقـــاوم للعقدة $M_{j,R}$ بالمقارنة مع عزمي التلدن للجائز $M_{b,pl}$ و للعمود $M_{c,pl}$ اللذان يتصلان عنـــد منتصف العمود و هي كالتالي:

- حالة العقدة كاملة القوة:

$$M_{j.R} \geq M_{b,pl}$$

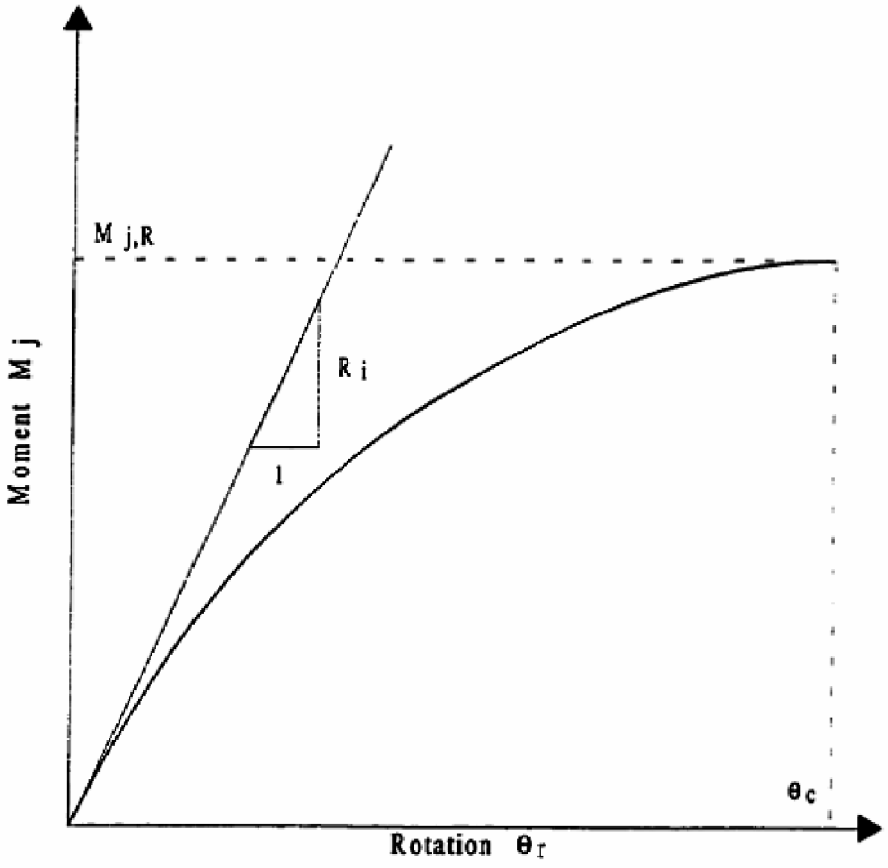
$$M_{j.R} \geq 2\, M_{c,pl}$$

- حالة العقدة متمفصلة:

تكون $M_{j.R} < 0.25$ مضروبة بالعزم المقاوم المطلوب للعقدة كاملة القوة

- حالة العقدة جزئية القوة:

تكون بين الحدود المطلوبة للحالتين السابقتين.



الشكل (2-2): منحني العزم-الدوران النموذجي لوصلة جائز-عمود

إن التحليل المرن شبه الصلب و التحليل اللدن جزئي القوة كلاهما يمكن استخدامه في الإطارات المقاومة للعزوم و لكن من الضروري التأكد من الاستطاعة الدورانية للعقد. إن الكود الأوروبي Eurocode3 (EC3) يستخدم الإلباس الخطي ثنائي الميل و الإلباس الخطي ثلاثي الميل كخيار تقريبي لمشتق العزم–الدوران. الشكل (3–2) يوضح الإلباس الخطي ثلاثي الميل و الذي يوضح الحدود بين أنواع الوصلات المختلفة للإطارات الحرة و الممنوعة من الانزياح الجانبي [50]. لقد تم استخدام عاملين بدون واحدة و هما

$$m' = \frac{M_1}{M_P} \quad \text{و} \quad \theta' = \frac{\theta_r}{(M_P L_P / EI_b)}$$

حيث M_p هي العزم اللدن للعنصر بغياب الحمولة المحورية.

M_1 هي العزم المطبق

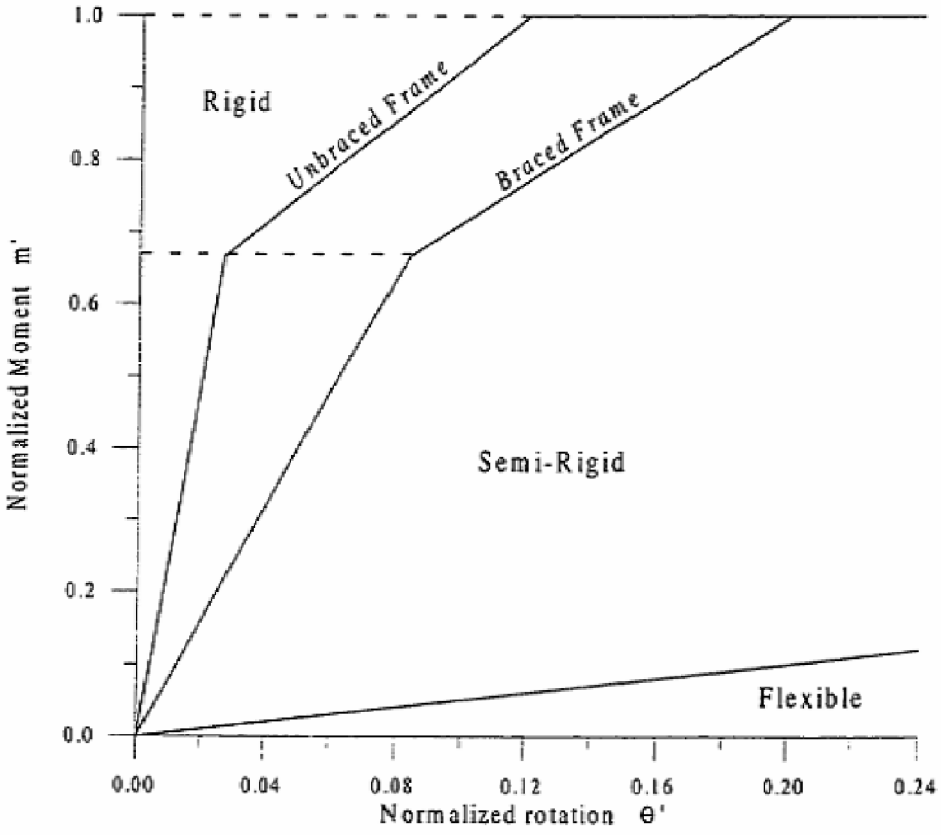
θ_r الدوران الناتج

E عامل المرونة

L_b طول الجائز

I_b عزم العطالة للجائز

على الرغم من أن معظم كودات التصميم للمنشآت المعدنية تسمح باستخدام تأثير العقد شبه الصلبة على التصميم و لكن فإن المصممين نادراً ما يوظفون هذه الميزة في التصميم و يفضلون استخدام الافتراض الأولي و هو أن العقدة إما أن تكون مفصلية أو موثوقة.



الشكل (3-2): تصنيف الوصلات وفقاً للكود الأوروبي

٢-٣ أنواع الوصلات المعدنية:

إن سلوك الوصلات في المنشآت المعدنية هو سلوك شبه صلب و يقع ضمن الافتراضين اللذين يعتبران سلوك الوصلة في تصميم و تحليل المنشآت المعدنية صلب أو بسيط.

وفقاً ل Chen [25] تم اعتبار خمس عوامل أساسية تؤثر على السلوك اللا خطي للوصلات:

- انزلاق البرغي حتى عند مستويات التحميل المرن
- إجهاد الخضوع للانعطاف عند عناصر الوصلة
- أجهاد الخضوع للتحمل عند عناصر المتصلة بالعقدة
- التحنيب الموضعي لجناح و جسد الجائز و العمود
- تشوه الوصلة و الذي يسبب تعديل في الإحداثيات الأساسية.

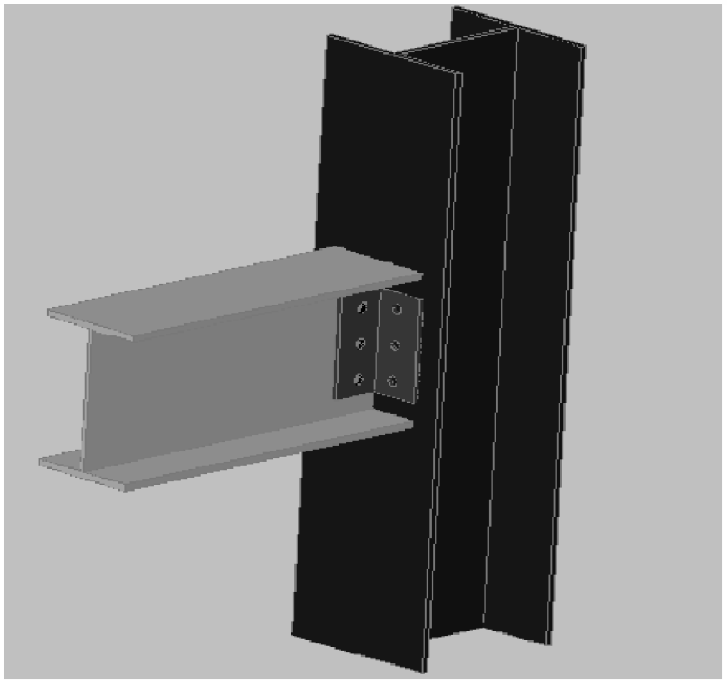
جميع الوصلات قادرة على مقاومة العزوم بشكل نسبي، حتى الوصلات التي يعتبر سلوكها مفصلي عالمياً قادرة على تحمل عزوم حتى 20% من الجائز المتصل. إن سلوك الوصلات يعتمد بشكل كبير على العوامل التالية حسب Jones et. Al. [43] و [59] Morris and Paker:

- حجم البرغي و خصائص المواد
- مقدار التثبيت مع وجه العمود
- سماكة الزاوية أو الصفيحة
- ارتفاع الجائز
- طول الزاوية أو الصفيحة
- وجود أو غياب صفائح التقوية
- سماكة جناح و جسد العمود
- خصائص مواد الجائز و العمود و الوصلة.

تم اختبار أنواع مختلفة من الوصلات المعدنية جائز-عمود في السابق للحصول على مخطط العزم-الدوران [25]. و قد تم تصنيف الوصلات المعدنية كالتالي:

٢-٣-١ وصلة زاوية الجسد الواحدة (Single Web Angle Connections):

إن وصلة زاوية الجسد الواحدة تتألف من زاوية واحدة و تكون هذه الزاوية إما ملحومة أو موصولة ببراغي بين جناح العمود و جسد الجائز كما هو موضح بالشكل (4-2). إن التجارب المطبقة من قبل Lipson and Antonio [52] توضح بأن زيادة عدد البراغي يزيد بشكل واضح من صلابة الوصلة و كذلك تحمل العزوم. و تعتبر هذه الوصلة مسند مفصلي في حال عدد البراغي أقل من ستة.



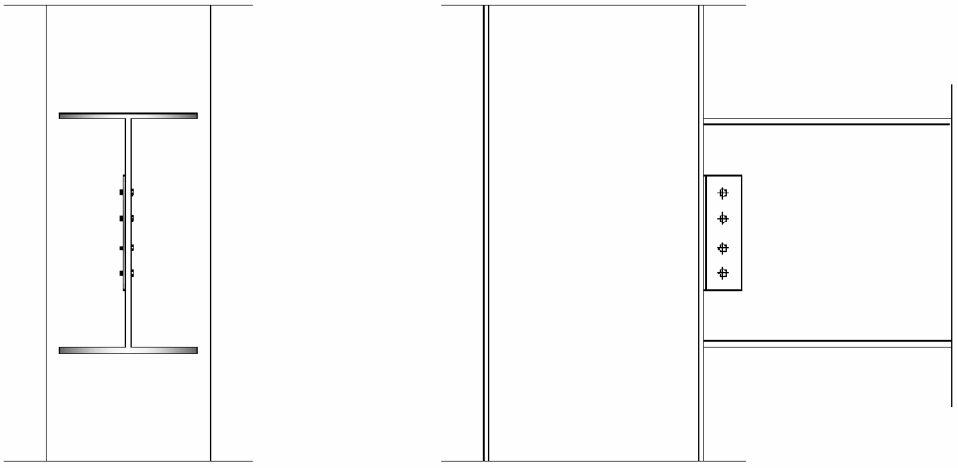
الشكل (4-2): وصلة زاوية الجسد الواحدة

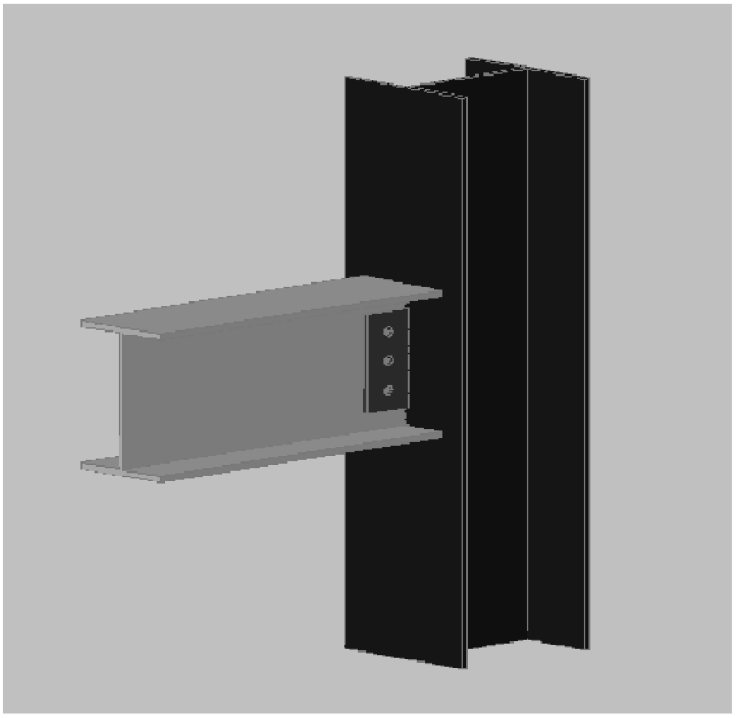
٢-٣-٢ وصلة صفيحة الجسد الواحدة (Single Web Plate Connections):

في هذا النوع من العقد يتم استخدام صفيحة بدلاً من الزاوية حيت تكون أقل وزن و كذلك تخفض تأثير اللامركزية كما هو موضح بالشكل (5-2). و بشكل عام فإن وصلة صفيحة الجسد الواحدة تملك صلابة مساوية أو أكبر من صلابة وصلة زاوية الجسد الواحدة و تعتبر وصلة مفصلية [26]. قام Richard, Kriegh [67] باختبار عينات باستخدام براغي مشدودة باليد و باستخدام براغي بدون عزم تدوير. تم اختبار عينات مشابهة و لكن باستخدام براغي ذات عزم تدوير كامل في ثقوب دائرية و ثقوب متطاولة و ذلك في [40] و [68].

من هذه التجارب تم استنتاج أن الوصلات ذات البراغي المشدودة باليد كانت الأكثر مرونة. و لم يلاحظ أيضا أي اختلاف في انجاز البراغي ذات عزم تدوير كامل في كل من الثقوب الدائرية و الثقوب المتطاولة.

اختبر Moore and Owens [57] تأثير طول الصفيحة على سلوك هذه الوصلات و استنتجا بأن الوصلات ذات الصفيحة القصيرة عادة تنهار إما بتمزق الصفيحة أو تمزق جسد الجائز. بينما الوصلات ذات الصفيحة الطويلة فإنها تميل للفتل و تتعرض لتحنيب الفتل الجانبي.

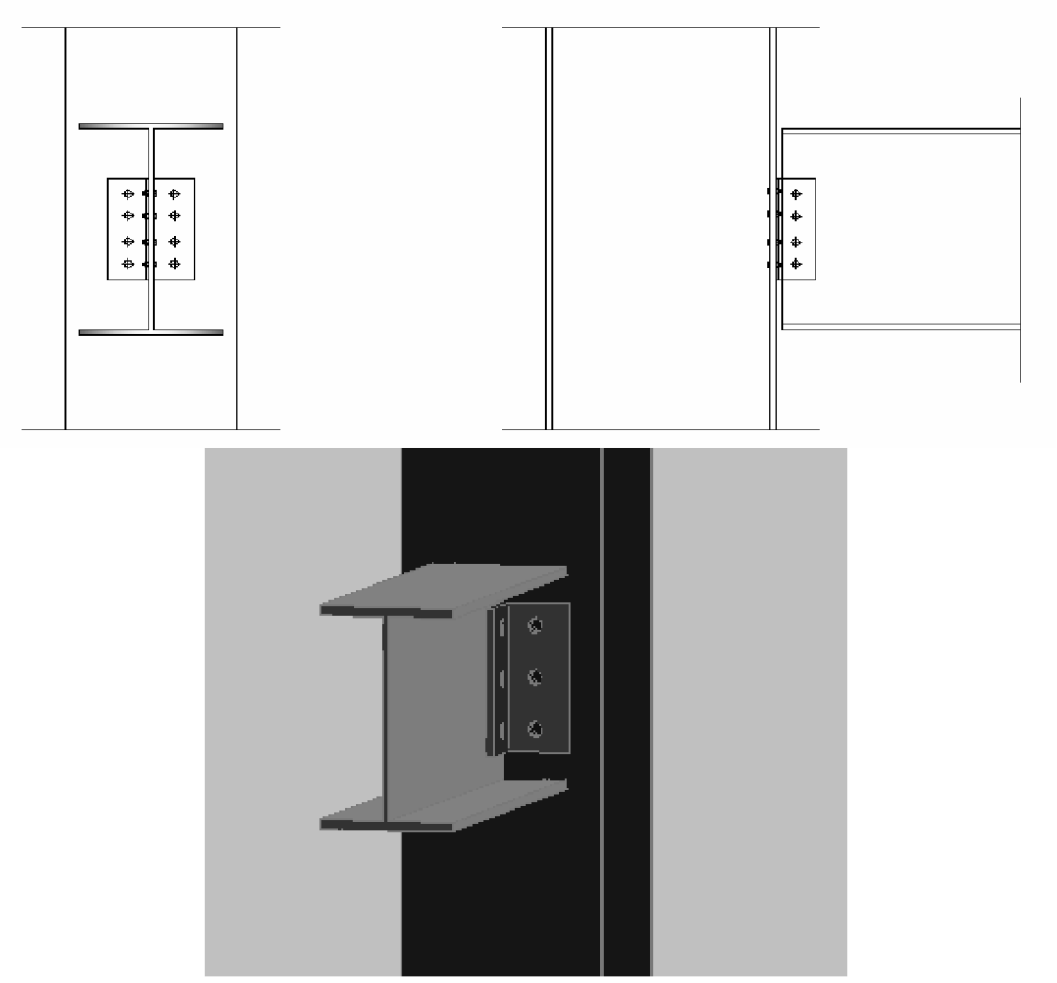




الشكل (5-2): وصلة صفيحة الجسد الواحدة

٢-٣-٣ وصلة القص ⊤ (Tee Shear Connections):

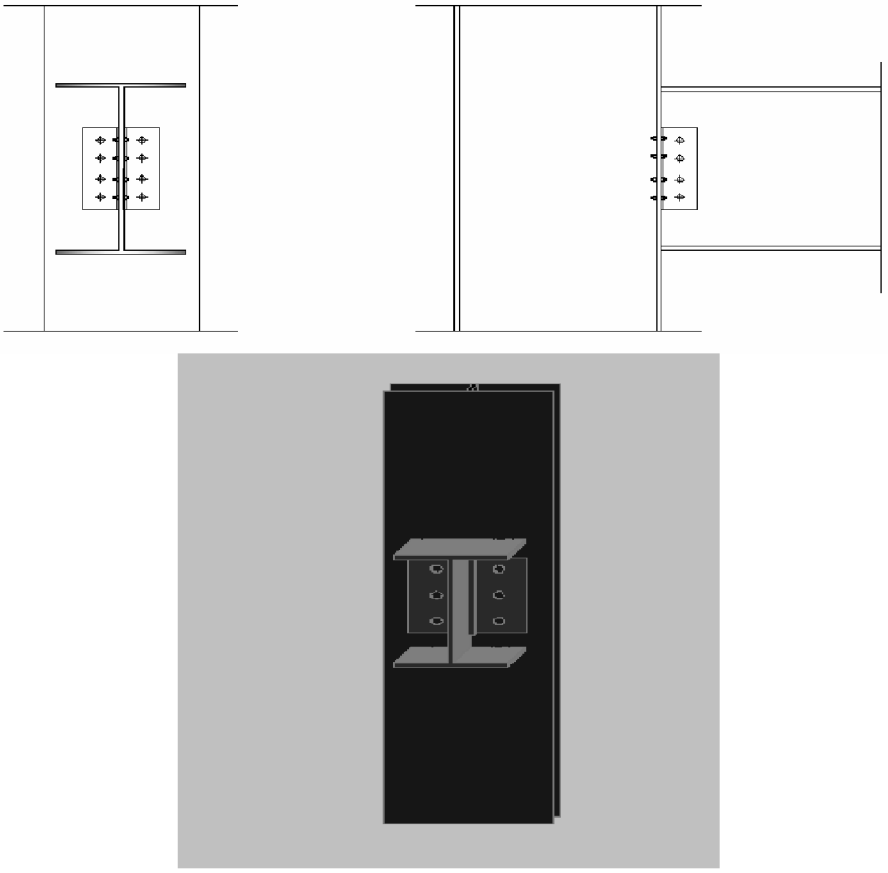
إن وصلة القص ⊤ تتألف من مقطع معدني بشكل ⊤ يصل الجائز بالعمود كما هو موضح بالشكل (6-2). إن الهدف الرئيسي من هذه الوصلة هو نقل قوة القص من الجائز للعمود. تم فحص السلوك الحقيقي لهذه الوصلة من قبل Astaneh and Nader [14] و التي كانت موصولة ببراغي مع جسد الجائز و ملحومة مع العمود. تم استنتاج أن الوصلات المختبرة مطاوعة و مرنة بشكل كافٍ و تعتبر وصلة مفصلية.



الشكل (6-2): وصلة القص ⊤

٢-٣-٤ وصلة زاويتي الجسد (Double Web Angles Connections):

إن وصلة زاويتي الجسد تتألف من زاويتين و هما موصولتين إما باللحام أو بالبراغي بين جناح العمود و جسد الجائز كما هو موضح بالشكل (2-7). تم تنفيذ تجارب على هذا النوع من الوصلات بواسطة Bose [16] بالنسبة لزاويتين موصولتين بالبراغي مع جسد الجائز و جناح العمود و التجارب بواسطة Bjorhovde [17] بالنسبة لزاويتين ملحومتين مع جسد الجائز و موصولتين بالبراغي مع جناح العمود و تم استنتاج بأن هذه الوصلة مرنة، إن السبب الرئيسي لمرونة هذه الوصلات هو التشوه زاويتي الوصل بالإضافة إلى انزلاق البراغي. يمكن زيادة صلابة الوصلة باستخدام زوايا أثقل و بمقاطع أكبر و بزيادة عدد البراغي في نفس مستوي البراغي الأصلية أو بوضعها في منسوب ثانٍ.

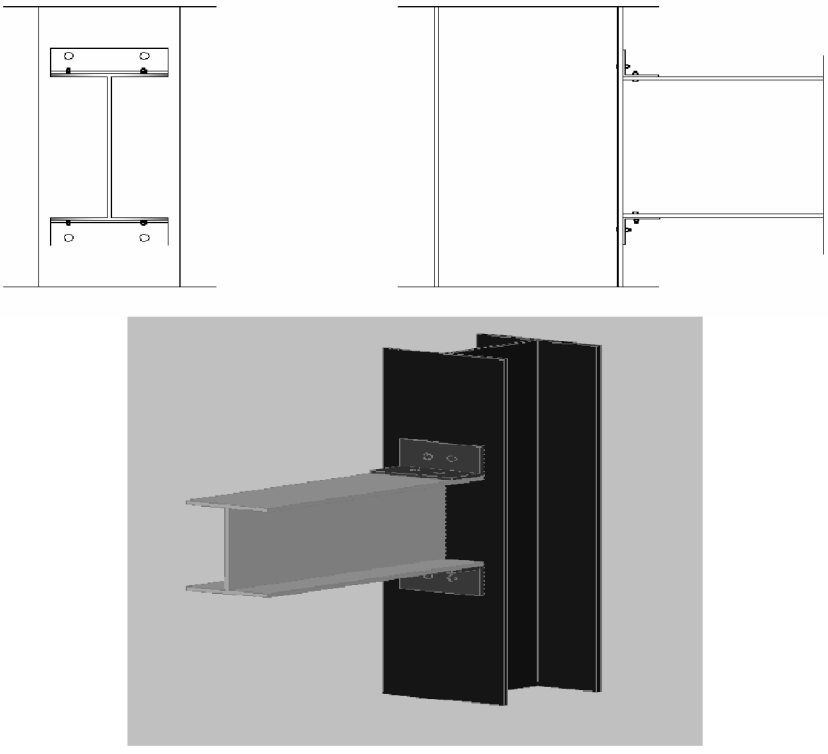


الشكل (2-7): وصلة زاويتي الجسد

٢-٣-٥ وصلة الزاوية العليا و السفلى (Top and Seat Angle Connections):

إن الشكل (8-2) يوضح هذا النوع من الوصلات حيث أن الجائز يتصل بالعمود بواسطة زوايا على الأجنحة فقط. و تدعى أيضا وصلة زاوية الجناح (flange angle connection). أن المعهد الأمريكي للمنشآت المعدنية (AISC-ASD) [6] يشرح أن وظيفة الزاوية السفلية لنقل رد الفعل الشاقولي فقط أما الزاوية العليا لضمان الاستقرار الجانبي. و على أية حال فإنه وفقا لنتائج تجارب Maxwell and Howlett [56] فإن هذه الوصلات قادرة على مقاومة بعض العزوم النهائية للجائز حتى 20% و تعتبر وصلة مفصلية.

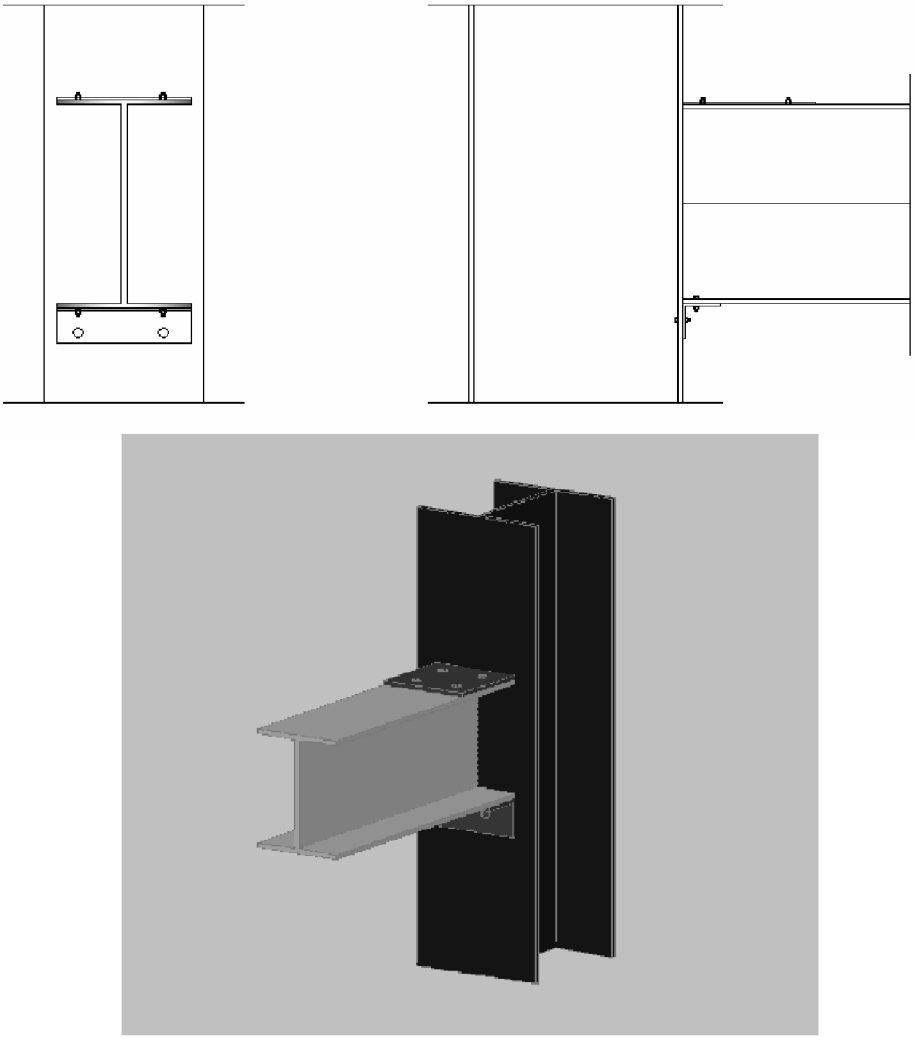
تفسر اختبارات Van Dalen and Godoy [78] تأثير الفعل المركب لتدعيم و تقوية الوصلة. و يمكن زيادة صلابة الوصلة بزيادة سماكة الزاوية و بوضع المحور الأول للبراغي على الساق الشاقولية للزاوية المشدودة مطابقة قدر الإمكان لذراع العطالة. ويمكن أيضا استخدام براغي ذات طوق معدني لمنع انزلاق البرغي.



الشكل (8-2): وصلة الزاوية العليا و السفلى

٢-٣-٦ وصلة الصفيحة العليا و الزاوية السفلى (Top Plate and Seat Angle Connections):

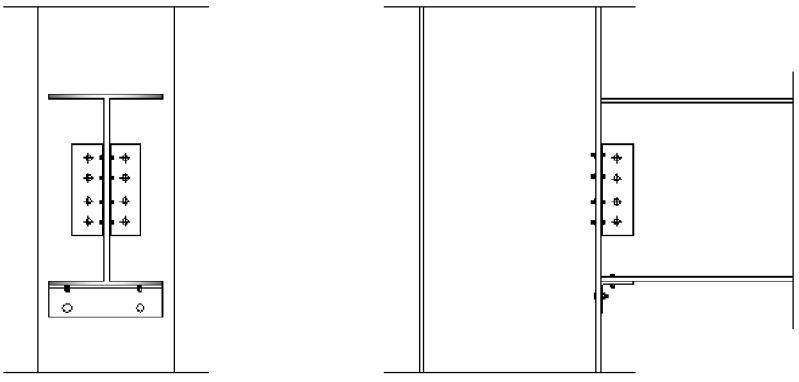
إن وصلة الصفيحة العليا و الزاوية السفلى الموضحة بالشكل (9-2) أكثر صلابة من وصلة الزاوية العليا و السفلى. و هي تستخدم بشكل واسع في الأسقف و البلاطات المختلطة. درس Van Dalen and Godoy [78] تأثير الفعل المركب للبلاطة-الجائز على منحني العزم-الدوران لهذه الوصلة و استنتج بأنه يمكن زيادة صلابة الوصلة بزيادة سماكة الصفيحة العليا و بإضافة عناصر التقوية.

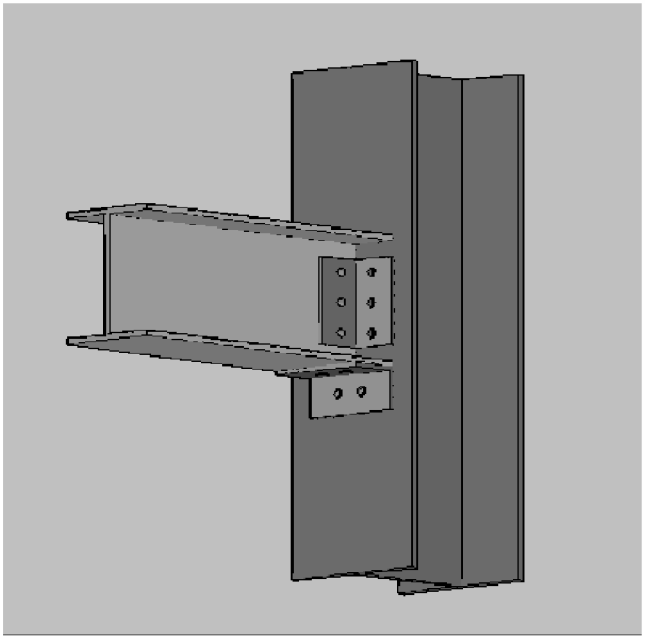


الشكل (9-2): وصلة الصفيحة العليا و الزاوية السفلى

٢-٣-٧ وصلة زوايا الجسد و الجناح السفلي (Bottom Flange and Web Angles Connections):

في هذا النوع من الوصلات يوصل الجائز بالعمود بواسطة زاويتين تربطان جسد الجائز و زاوية سفلية تربط جناح الجائز كما هو موضح بالشكل (10-2). تم تنفيذ تجارب قليلة عن هذه الوصلة من قبل Aggarwal [3] و اعتبر أن الوصلة قادرة على نقل جزء من العزوم و يمكن اعتبارها وصلة شبه صلبة.

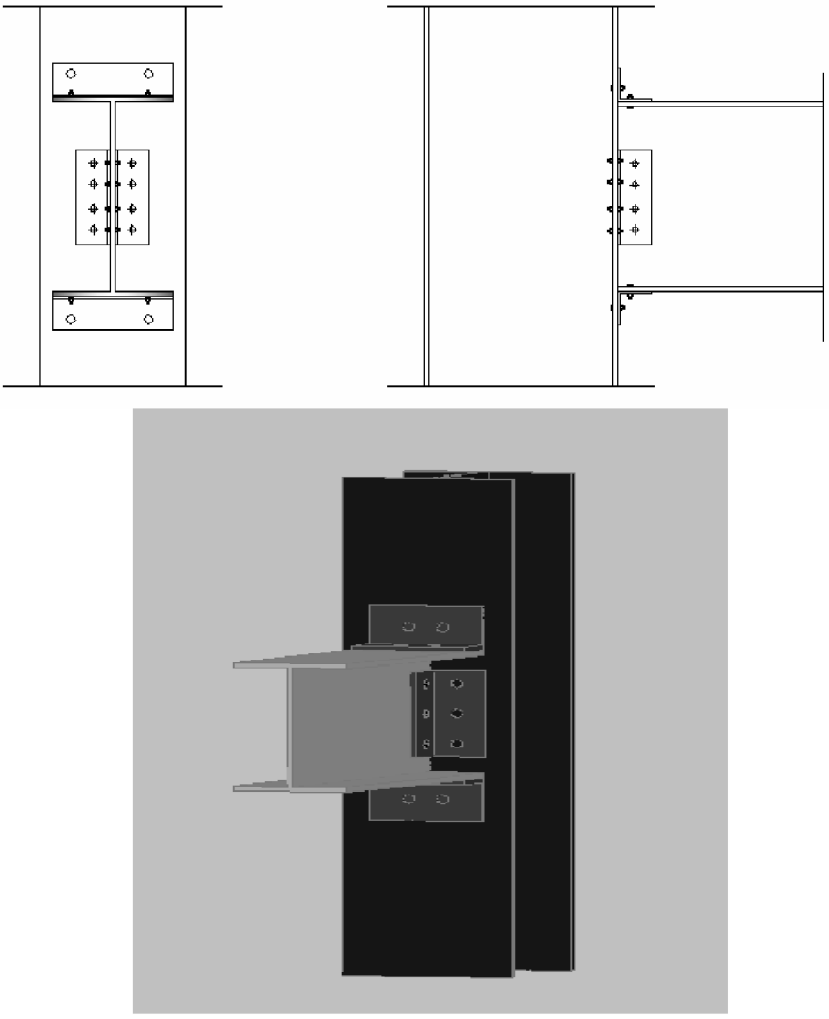




الشكل (10-2): وصلة زوايا الجسد و الجناح السفلي

٢-٣-٨ وصـــلة زوايـــا الجـــسد و الأجنحـــة (Web and Flange Angles Connections):

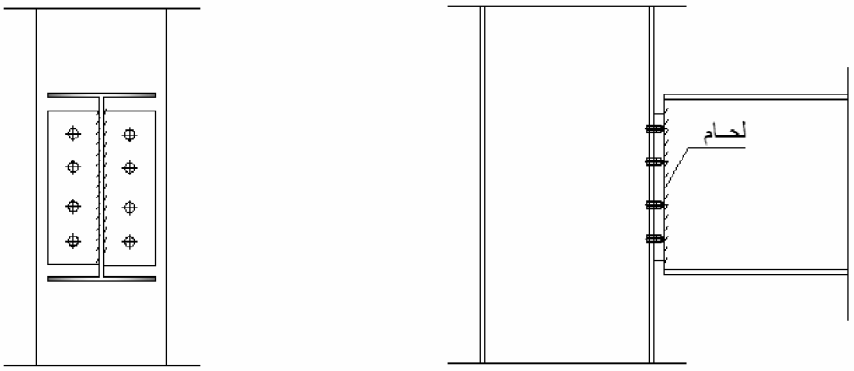
في هذا النوع من الوصلات فإن جناحي و جسد الجائز توصلان مع جناح العمود بواسطة زوايا كما هو موضح بالشكل (11-2). التجارب المخبريـــة المنفـــذة مـــن قبـــل Zoetemeijer [82] توضح السلوك اللا خطي للوصلة خلال المجال الكلي للـــدورانات. شرح Altman and Azizinamini [9] التأثير الكبير لتفاصيل و مقاطع الزوايـــا علـــى الصلابة المبدئية وتحمل العزوم للوصلة و اعتبرها وصلة صلبة.

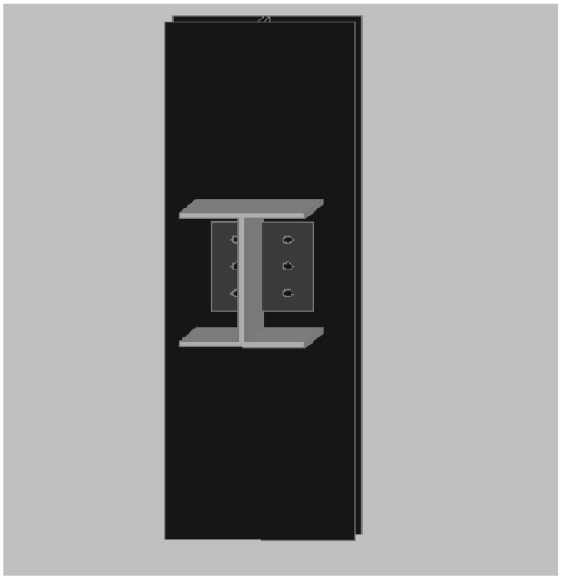


الشكل (11-2): وصلة زوايا الجسد و الأجنحة

٢-٣-٩ وصلة الصفيحة الملحومة بجسد الجائز (Header End Plate Connections):

إن وصلة الصفيحة الملحومة بجسد الجائز الموضحة بالشكل (12-2) تتألف من صفيحة مثبتة ببراغي مع العمود و ملحومة بجسد الجائز. إن طول الصفيحة عادة أقصر من ارتفاع جسد الجائز. تم تنفيذ تجارب على هذه الوصلة بواسطة Sommer [75] Owens and Moore، [61]. و استنتجا بأن هذه الوصلة تستخدم لنقل رد الفعل من الجائز للعمود و تعتبر وصلة بسيطة (مفصلية).

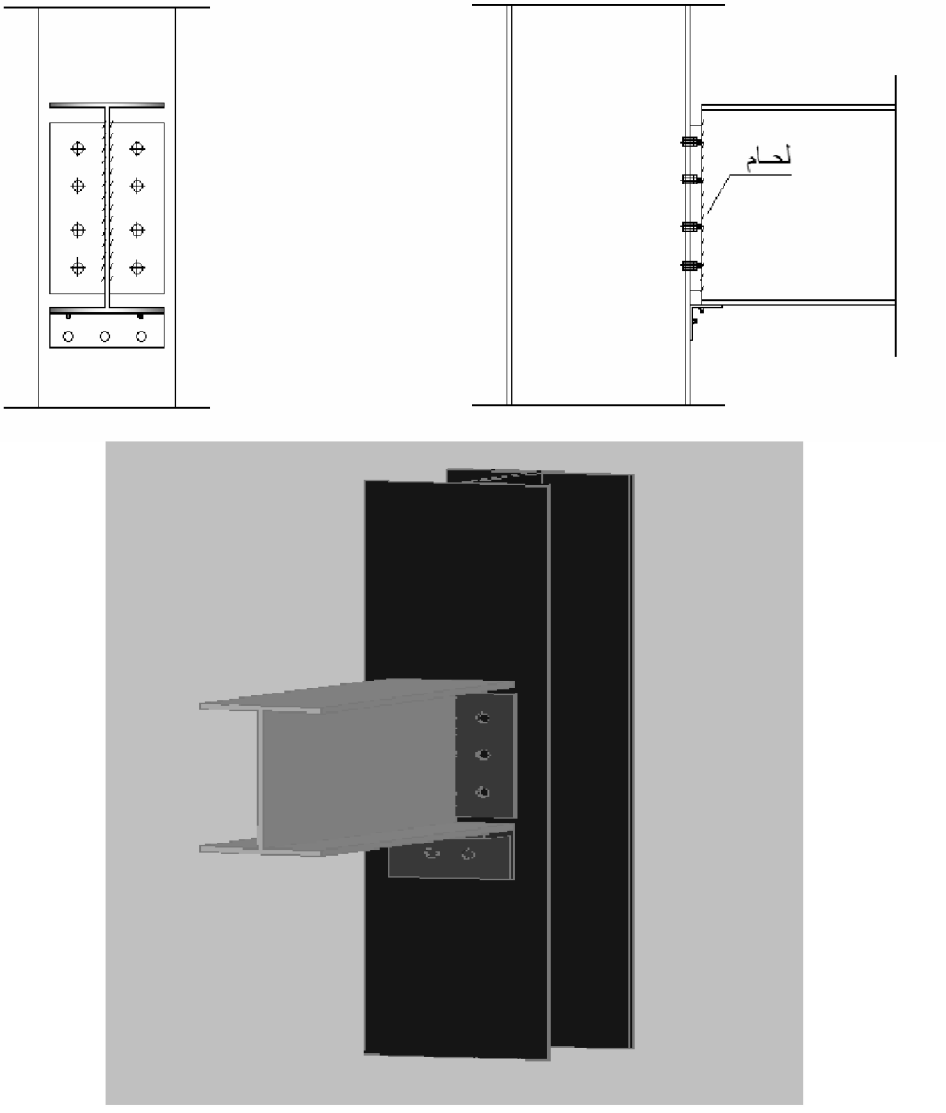




الشكل (12-2): وصلة الصفيحة الملحومة بجسد الجائز

٢-٣-١٠ وصلة الصفيحة الملحومة و الزاوية السفلى (Header End Plate and Seat Angle Connections):

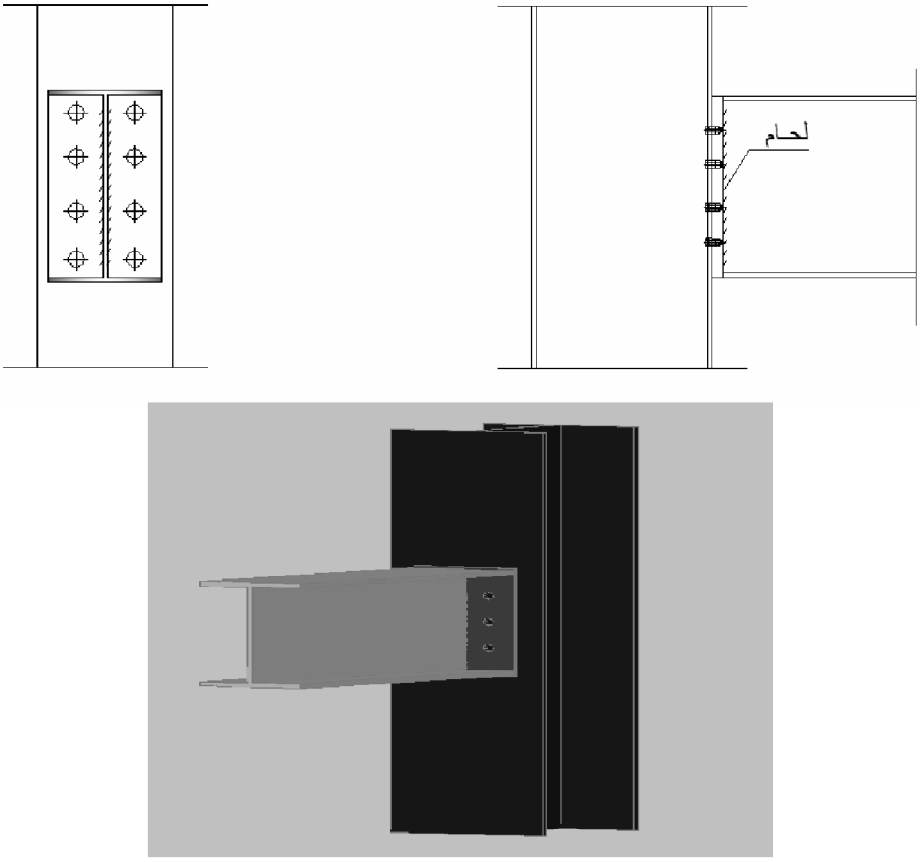
إن وصلة الصفيحة الملحومة و الزاوية السفلى الموضحة بالشكل (2-13) قد اختبرت من قبل Aggarwal [4]. و قد قام Abdalla and Chen [1] بوضع نموذج تحليلي يصف منحني العزم-الدوران لهذه الوصلة و تعتبر وصلة شبه صلبة.



الشكل (2-13): وصلة الصفيحة الملحومة و الزاوية السفلى

٢-٣-١١ وصـــلة الـــصفيحة المطابقـــة لجـــسد الجـــائز (Flush End Plate Connections):

إن وصلة الصفيحة المطابقة هي مشابهة لحد كبير لوصلة الصفيحة الملحومة ولكن الفرق هو أن طول الصفيحة مساوٍ لارتفاع الجائز كما هو موضح بالشكل (2-14). هذا النـــوع من الوصلات يستطيع أن يقاوم العزوم أكثر من وصـــلة الـــصفيحة الملحومـــة. أجـــرى Jenkins [42] العديد من التجارب و اقترح طريقة التصميم الحدية لهـــذه الوصـــلة. تـــم اختبار صلابة و متانة و مطاوعة هذه الوصلة من قبل .Bose et al [19, 20] و استنتج بأن سماكة الصفيحة الملحومة مع الجائز و كذلك المسافة بين جناح الجـــائز المـــشدود و صف البراغي الأول تلعب دورا كبيرا على سلوك منحني العـــزم-الـــدوران للوصـــلة و اعتبرها وصلة شبه صلبة.



الشكل (2-14): وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجائز

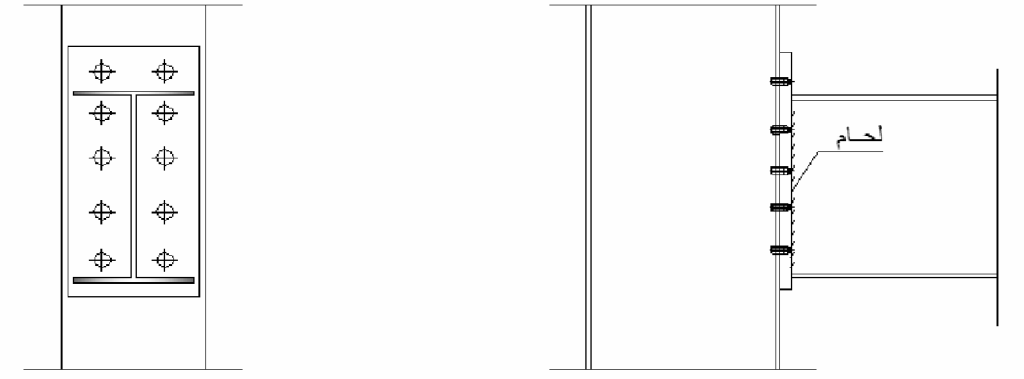
٢-٣-١٢ وصلة الصفيحة الممتدة: (Extended End Plate Connections):

تتألف وصلة الصفيحة الممتدة من صفيحة ملحومة مع جسد الجائز و موصولة ببراغي مع العمود. إن طول الصفيحة أكبر من ارتفاع الجائز.

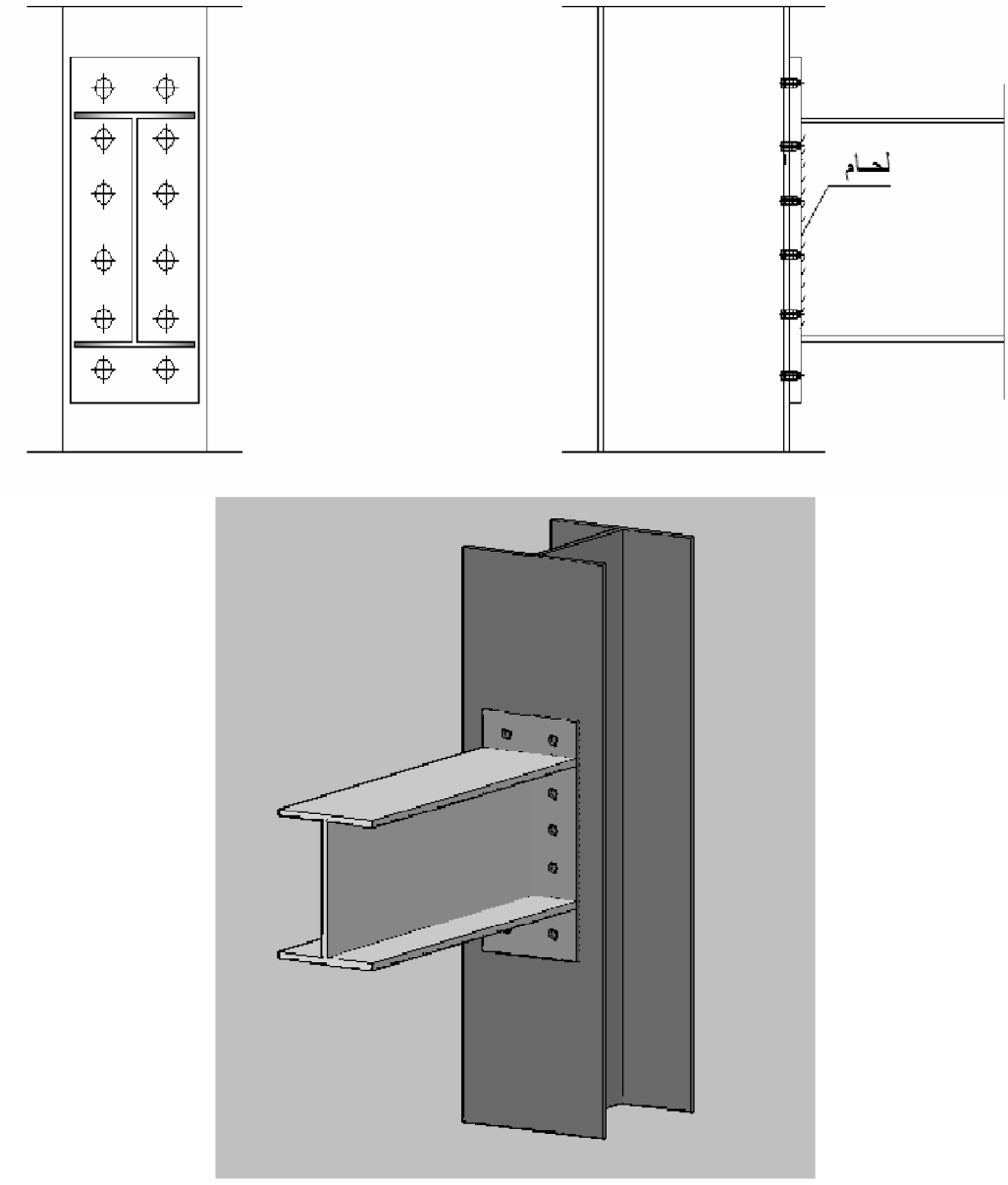
يكون امتداد الصفيحة في منطقة الشد كما في الشكل (2-15) و يمكن أن تمتد في منطقة الشد و الضغط كما في الشكل (2-16) في حال كانت الحمولة متناوبة.

درس Bose and Hughes [19] تأثير سماكة الصفيحة الممتدة على لدونة الوصلة، و كان من المتوقع بأن تكون الصلابة الدورانية متناسبة مع مربع المسافة بين مراكز الضغط و الشد. و لكن Bose and Hughes استنتجا بأن الصفيحة عالية السماكة ذات استطاعة دورانية قليلة و بالتالي تقود إلى الانهيار غير اللدن. لقد تم اقتراح بأن الوصلة التي تحقق دوران 0.03 Rad يمكن أن تعتبر وصلة لدنة (ductile). إذا لم تستطع الوصلة تحقيق استطاعة دورانية قيمتها 0.02 Rad فإنه لا يسمح باستخدام طريقة التصميم اللدنة.

إن سلوك الصفيحة المعدنية و البراغي يتأثر بوجود مدعمات أجنحة العمود. وهذا يعود لتأثير المدعمات في منع التشوه الزائد لأجنحة العمود.



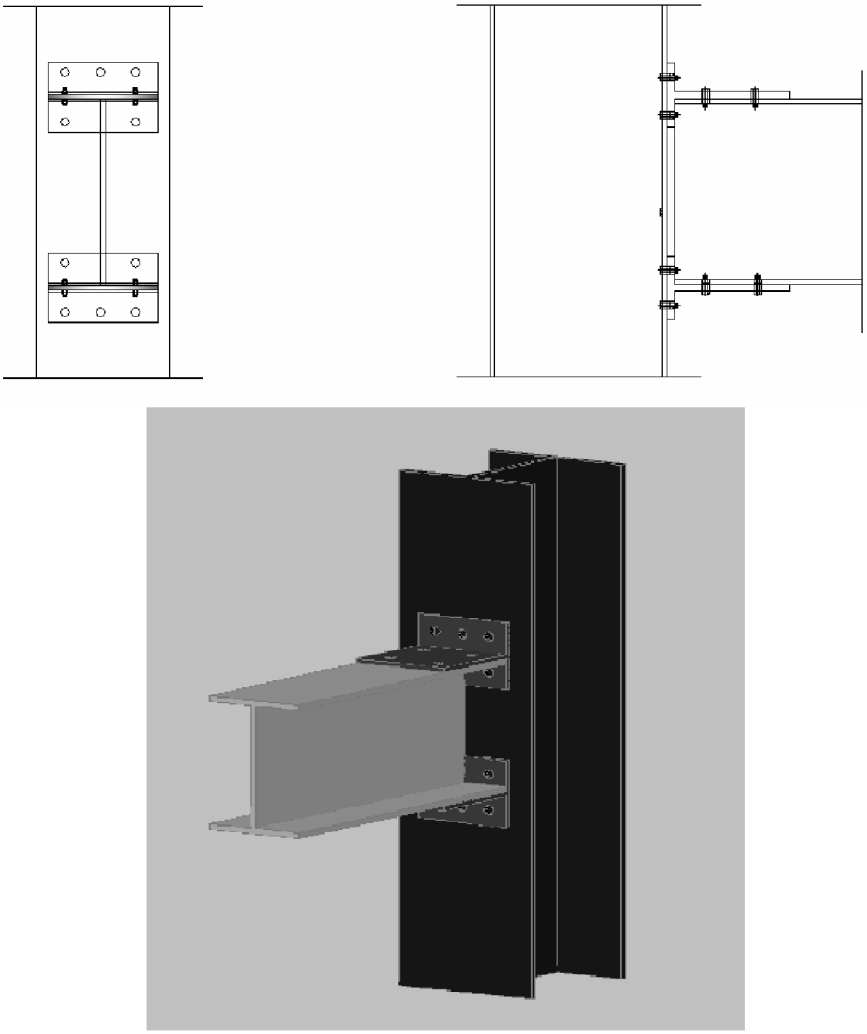
الشكل (2-15): وصلة الصفيحة الممتدة



الشكل (16-2): وصلة الصفيحة الممتدة

٢-٣-١٣ وصلة الأجنحة ⊤ : (T-Stub Connections):

إن الشكل (17-2) يوضح و صلة الأجنحة ⊤ و هي عبارة عن مقطع معدني بشكل ⊤ يصل الجائز بالعمود عند الأجنحة. استنتج Zoetemeijer [82] بأن انزلاق هام يحصل عند 30 إلى 40% من استطاعة العزم، و هذا يقود بأن الاستقرار في منحني العزم-الدوران يتبعه زيادة في الصلابة ناتجة عن تحميل البراغي حتى التمزق، و تعتبر هذه الوصلة صلبة.



الشكل (17-2): وصلة الأجنحة ⊤

٢-٣-١٤ وصلة صفيحة قمة العمود (Cap Plate Connections):

إن الشكل (18-2) يوضح وصلة قمة العمود حيث يتم وضع الجائز فوق مقطع العمود و هذه الوصلة صالحة للمنشآت الصناعية ذات الطابق الواحد. يتم تثبيت الجائز مع العمود بواسطة براغي تربط الجناح السفلي للجائز مع صفيحة ملحومة في أعلى العمود.

أجرى El-Boghdadi [32] تجارب على ست عينات و استنتج بأن هذه الوصلة شبه صلبة و ذلك بسبب مرونتها الناتجة عن ارتباط الجناح السفلي للجائز فقط بالعمود وتظهر المرونة بوضوح من خلال منحني العزم-الدوران لنتائج التجارب الستة، و أن إهمال مرونتها و افتراضها صلبة سيقود لقيم إضافية لعزم الوصلة و قيم أقل لتسهمات الإطار.

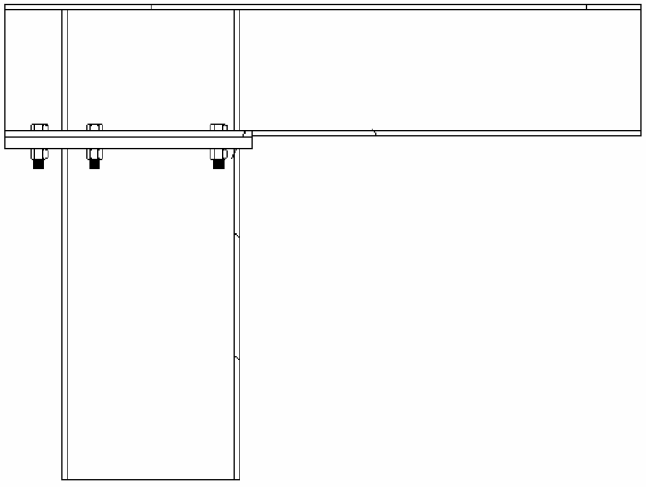
كما أن سماكة صفيحة الجناح السفلي للجائز عند موقع العمود تؤثر على الصلابة الدورانية الأولية و على العزم الأعظمي للوصلة و التي تزداد مع زيادة سماكة الصفيحة.

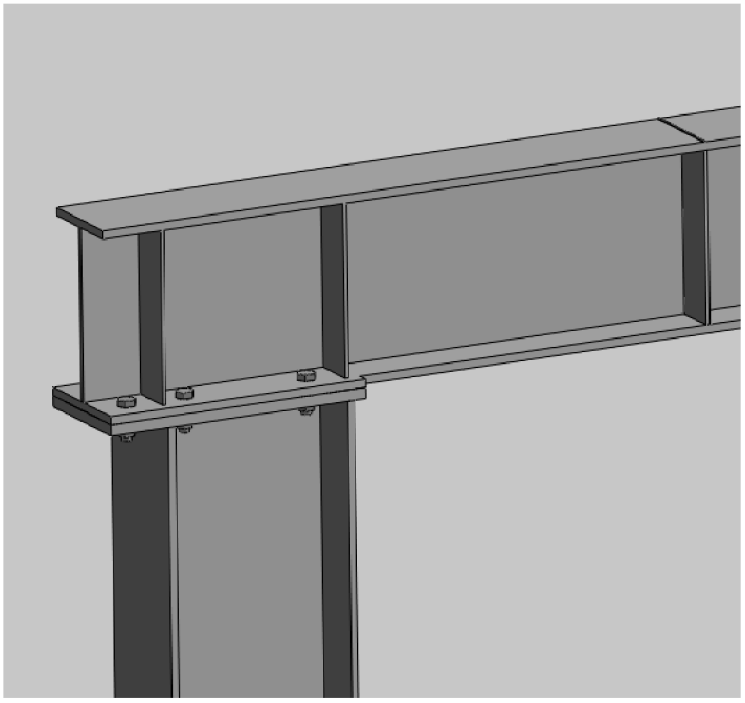
استنتج El-Boghdadi بأن القوى العمودية (normal forces) في البراغي المعرضة للشد تتأثر بشكل كبير بسماكة صفيحة الجناح السفلي للجائز. و أن الصفيحة ذات السماكة الأكبر تعطي تفاوت أكبر بين قوى الشد في البراغي الخارجية و البراغي الداخلية، حيث أن البراغي الخارجية تصل إلى إجهاد الخضوع بسرعة أكبر من البراغي الداخلية. أما في حال الصفيحة الرقيقة فإنها تتشوه بشكل أكبر و يكون التفاوت بين براغي الشد الخارجية و الداخلية يكون أقل.

كما ينصح الباحث باستخدام عناصر تقوية شاقولية للجسد في الجوائز عند منطقة الوصلة و التي تؤدي لزيادة الصلابة. وفي حال عدم وجود عناصر التقوية فإن الأجنحة ستنهار بفعل عزم الإنعطاف و ستتشوه بسرعة أكبر.

أوصى الباحث بأن سماكة صفيحة العمود يجب أن تكون مساوية أو أكبر لسماكة صفيحة الجائز و ذلك لتجنب التشوه الزائد لصفيحة العمود.

أوصى الباحث بإضافة عناصر تقوية قطرية لجسد الجائز عند منطقة الوصلة و ذلك في حال كون الجسد رقيق لمنع تحنيب الجسد.





الشكل (18-2): وصلة قمة العمود

٢-٤ التقنيات المستخدمة في التحكم بدوران الوصلة:

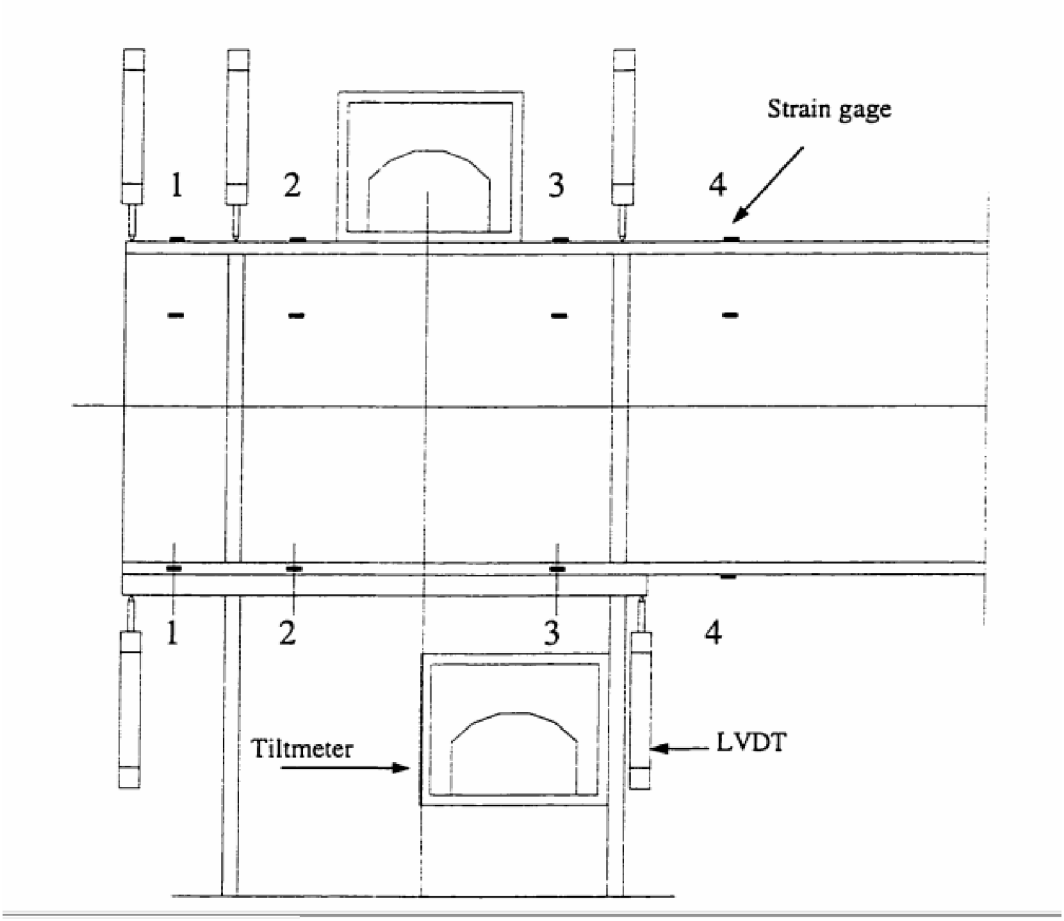
استخدم Moore and Owens [57] جهاز دوران يتألف من ذراع أفقية متصلة بنواس شاقولي بواسطة شريط معدني رقيق. تم تثبيت أربع حساسات تطاول على الشريط المعدني. تم تثبيت الذراع الأفقية مع الجسر أو العمود.

دوران الجسر أو العمود سبب انحناء الشريط المعدني حيث يبقى الوزن شاقولياً. و بما أن الجهاز حساس جداً و معرض للاهتزاز تم أخذ معطيات خمسون قراءة و من ثم المتوسط لها.

ابتدع Aggarwal and Coates [5] تقنية بصرية لقياس دوران وصلة الجائز-العمود. تتألف التقنية من مرآتين منفصلتين و مثبتتين على أجنحة الجائز و العمود وبشكل قريب من الوصلة. تم تثبيت أوراق رسم بياني على ألواح شاقولية لهدف المشاهدة. تم استخدام مجموعة من الحساسات لقراءة الصور المنعكسة على أوراق الرسم البياني.

تم أخذ القراءات خلال التجربة لحساب دوران الوصلة عند زيادة كل حمولة. هذه الطريقة غير قابلة للتنفيذ باستخدام التسجيل الأوتوماتيكي.

قاس El-Boghdadi [32] دوران وصلة قمة العمود باستخدام وسيلتين مختلفين، الأول جهاز قياس دوران الوصلة (Tiltmeters) و يحسب دوران الوصلة مباشرة حيث تم تثبيت جهازين الأول يتوضع شاقولياً على جناح العمود الداخلي و الثاني يتوضع أفقياً على جناح العلوي للجائز كما بالشكل (19-2)، أما الوسيلة الثانية باستخدام مجموعة من حساسات الانتقالات (LVDT) و ذلك لقراءة الانتقالات المقاسة خلال التحميل ثم يتم حساب الدورانات و تتوضع الحساسات في مناطق مختلفة في الوصلة.

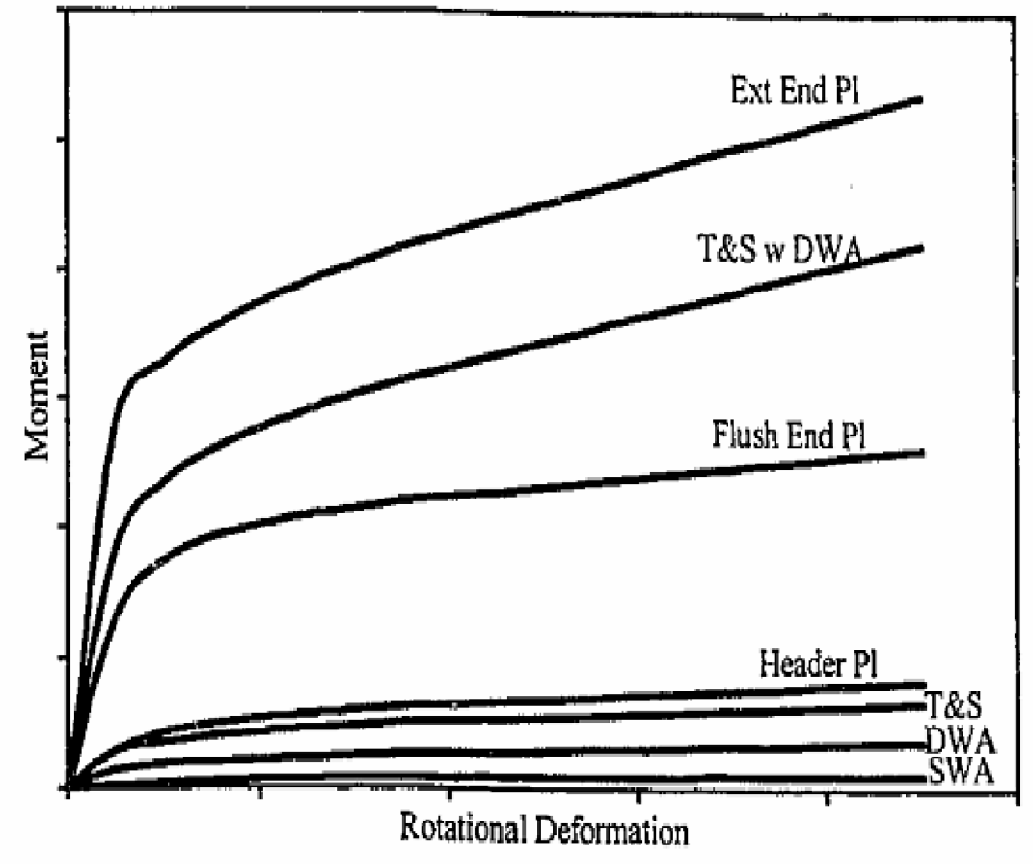


الشكل (2-19): أماكن توضع Tiltmeter و LVDT

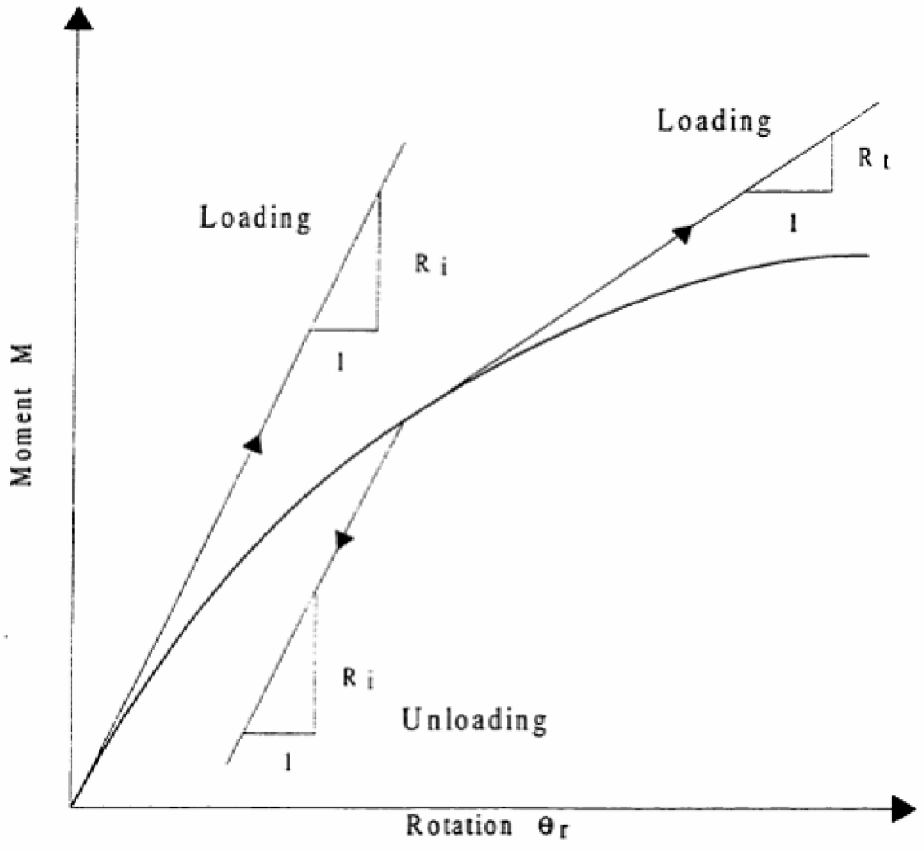
٢-٥ سلوك الوصلة:

من التجارب المخبرية نستنتج أن منحنيات العزم-الدوران للوصلات لا خطية. تنشأ الا خطية من أسباب متنوعة مثل نوع الوصلة، تشوه البرغي، تشوه العناصر المتصلة مثل الصفائح أو الزوايا ...الخ [28, 25]. أن الشكل (20-2) يوضح مقارنة برسم تخطيطي لسلوك مختلف أنواع الوصلات.

عند أي مرحلة من التحميل فإن صلابة الوصلة تعتمد على مسار التحميل. خلال التحميل يكون للوصلة صلابة معينة Rt و لكن عند إلغاء التحميل تصبح الصلابة مساوية للصلابة المبدئية Ri لمنحني العزم-الدوران كما هو موضح بالشكل (21-2).



الشكل (20-2): مقارنة العلاقة بين العزم و الدوران لمختلف أنواع الوصلات



الشكل (21-2): مسارات التحميل و التفريغ للعقد شبه الصلبة

٢-٦ نمذجة العلاقة ($M-\theta$) للوصلات:

تم اشتقاق نماذج متعددة و بطرق مختلفة لتمثل السلوك اللا خطي للوصلات المعدنية. و كانت هذه النماذج مستنتجة من العديد من الاختبارات. و لكل نموذج ايجابيات و سلبيات و كذلك اشتراطاته.

٢-٦-١ النماذج الخطية:

تم استنتاج النماذج الخطية من قبل Lightfoot and Le Messurier [51] و Jones et al. [44]. تم تقديم سلوك الوصلة على أنه نموذج خطي بصلابة دورانية بدائية Ri خلال كامل مرحلة التحميل أي ذات ميل واحد.

$$R_i = \frac{M}{\theta_r} \qquad (2\text{-}1)$$

حيث:

M العزم المطبق عند الوصلة

θ_r الدوران النسبي بين الجائز و العمود

إن هذا النموذج سهل الاستخدام في تحليل المنشآت المعدنية و لكن غير قابل للتنفيذ عندما يزداد العزم عن الحد المرن للوصلة .

إن التمثيل الأمثل لسلوك الوصلات هو ثنائي الميل الذي استنتجه كل من Romstad and Subramanian [69] و Sugimoto and Chen [77]. حيث يملك النموذج ميلين بحيث يكون الميل الثاني أقل صلابة من الميل الأول و ذلك عند عزم معين لتمثيل صلابة الوصلة المتناقصة عند قيم دورانات عالية. لتطوير النماذج السابقة تم اقتراح النموذج الخطي متعدد الميل من قبل Moncarz and Crestle [58] و Razzaq [66]. في هذا النموذج الشكل اللا خطي لمنحني M-θ تم تقريبه بسلسلة من الخطوط المستقيمة.

٢-٦-٢ النموذج متعدد الحدود (Polynomial Models):

تم استخدام هـذا النمـوذج بواسـطة Frye and Morris [32]، Morris and Packer [59] حيث تم تمثيل العلاقة بين العزم و الدوران النسبي بواسطة تـابع متعـدد الحدود ذي أس فردي

$$\theta r = C_1(KM)^1 + C_2(KM)^3 + C_3(KM)^5 \qquad (2-2)$$

حيث:

K متغير يعتمد على الشكل الهندسي للوصلة

C ثوابت إلباس المنحني و يتم تحديدها بطريقة Least-squares curve fitting

السلبية الأساسية لهذا النموذج هو أن المشتق الأول للتابع التي تشير إلى صلابة الوصلات قد يصبح سلبياً لبعض قيم M وهذا مستحيل منطقياً.

٢-٦-٣ النموذج Cubic B-Spline:

تم اقتراح هذا النموذج لتجنب الميل السالب و ذلك بواسـطة Jones et al. [43] حيث تم تقسيم معطيات تجارب العزم-الدوران إلى عدد من الأقسام ، و كل قـسم يمثـل جزءاً صغيراً من العزم. معادلة هذا النموذج على الشكل التالي:

$$\theta r = \sum_{j=0}^{3} a_j M_j + \sum_{j=1}^{m} b_j (<M - M_j>)^3 \qquad (2-3)$$

حيث:

m عدد العقد (نقاط اتصال أجزاء المنحني)

Mj عزم الأعلى في الجزء j من المنحني

ai, bi معامل و يتم تحديدها بطريقة Least-squares curve fitting

$$(M - M_j) > 0 \quad \text{for} \quad <M - M_j> = M - M_j$$

$$(M - M_j) < 0 \quad \text{for} \quad <M - M_j> = 0$$

إن التابع Cubic B-Spline يستخدم لإلباس كل مجموعة من البيانات مع الحفاظ علـى استمرارية المشتقات الأولى والثانية عند نقطة التقاطع . إن عملية الإلباس بهذه الطريقـة تحتاج لعددٍ كبيرٍ من المعطيات.

٢-٦-٤ نموذج القوة (Power Models):

الشكل الأبسط لهذا النموذج يكون بمتغيرين و تم استخدامه بواسطة Krishnamurthy et al. [48]، معادلة هذا النموذج على الشكل التالي:

$$\theta r = aM^{\,b} \qquad (2\text{-}4)$$

حيث a, b معامل و يتم تحديدها بطريقة الإلباس المنحني

هذا النموذج لا ينصح بالاستخدام عندما تتطلب نتائج دقيقة.

- استخدم Goldberg and Richard [37] ، Kishi and Chen [47] نموذج بثلاث متغيرات وهي أدق لتمثيل منحني العزم- الدوران النسبي .

معادلة نموذج قوة بالشكل التالي:

$$\theta r = \frac{|M|}{R_{ki}\left(1-\left|\frac{M}{M_u}\right|^{n}\right)^{\frac{1}{n}}} \qquad (2\text{-}5)$$

حيث:

R_{ki} الصلابة الأولية للوصلة

Mu قيمة العزم الحدية للوصلة

n عامل الشكل، تم استخدام عامل الشكل ليعدل انحناء جزء المنحني الذي يوصل الصلابة الأولية بالعزم الأقصى.

٢-٦-٥ النموذج الأسي (Exponential Models):

تم تطوير النموذج الأسي متعدد المتغيرات بواسطة Lui and Chen [54] و قد أعطت إلباساً جيداً لمنحني العزم – الدوران النسبي، بعض المتغيرات تحدد حسابياً بينما متغيرات أخرى تحدد تجريبياً بواسطة إلباس المنحني للنتائج التجريبية. و شكل المعادلة يكون:

$$M = \sum_{j=1}^{m} C_j\left[1-\exp\left(-\frac{|\theta_r|}{2j\alpha}\right)\right] + M_0 + R_{kf}|\theta_r| \qquad (2\text{-}6)$$

حيث:

M_0 القيمة الأولية لعزم الوصلة التي عندها يتم إلباس المنحني

R_{kf} صلابة الانفعال (strain hardening stiffness)

α عامل المقياس

C ثوابت إلباس المنحني

و هناك نماذج أسية أخرى تم تطويرها من قبل Yee and Melchers [81]، Wu and Chen [80]، و Chen and Lui [28].

٢-٦-٦ تابع Richard-Abbott

يعرف تابع Richard-Abbott بستة عوامل و هي : S_0, S_p, M_0, $Ø_u$, n_1 , n_2 و تكون المعادلة كالتالي Dong [31]:

$$M = \frac{(s_0 - s_p)\phi}{\left[\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1} + \left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2}\right]^{1/n_2}} + S_p\phi \qquad (4\text{-}22)$$

حيث

M_0 العزم المرجعي (reference moment)

S_o الميل الأولي للمنحني

S_p الميل النهائي للمنحني

n_1 , n_2 عامل الشكل

ϕ_u التشوه الدوراني اللدن

M_0 العزم المرجعي هو العزم عند نقطة تقاطع خط الميل النهائي مع المحور الشاقولي.

٢-٦-٧ نماذج العناصر المحدودة (Finite Element Models):

درس Chasten [24] تأثير الدفع (Prying Force) والقص في وصلة الصفيحة الممتدة مستخدما برنامج العناصر المحدودة (ADINA). القوى في البراغي المتنبأ بها حسابيا تم مقارنتها مع القوى التي تم قياسها تجريبيا ووجدت أنها متطابقة الى حد كبير .

استخدم Bahaari and Sherbourne [74, 15] نموذج العناصر المحدودة ليقيم تحليليا خصائص صلابة وقوة الوصلات المعدنية ذات البراغي .في التحليل استخدم البرنامج (ANSYS) في العناصر المتناهية المحدودة في التحليل الإنشائي.

استخدم Choi and Chung [30] طريقة العناصر المحدودة ليتحققا من سلوك وصلة الصفيحة الممتدة. لقد طورا نموذجاً ثلاثي الأبعاد و اثبتا عدم تطابق النموذج ثلاثي الأبعاد مع السلوك الحقيقي للوصلة.

٢-٧ قواعد بيانات الوصلات:

هي عبارة عن مجموعة من الاختبارات التجريبية لأنواع عديدة من الوصلات عمود- جائز و تحتوي على التفاصيل التالية :

- الخواص الفيزيائية لعناصر الوصلات كالأعمدة والجوائز وأبعاد الوصلات
- الخواص المعدنية لأنواع الحديد المستعمل
- تفاصيل الوصلات
- معطيات العلاقة بين العزم والدوران
- معلومات عن الباحث (اسم الباحث و تاريخ التجارب)

قواعد بيانات الوصلات الرئيسية:

١-قاعدة البيانات Goverdhan من جامعة [Vanderbilt] [38]. معظم المعطيات المتوفرة عن التجارب حول خصائص العلاقة بين العزم و الدوران تم جمعها مع المعادلات المفترضة لكل منحني.

٢ – قاعدة البيانات Nethercot (1985) من جامعة Sheffield [60]. تم تمثيل نتائج تجارب الوصلات العمود –الجائز و تم تمثيل المنحني بواسطة إلباس النتائج التجريبية.

٣ -قاعدة البيانات Kishi and Chen (1986) من جامعة Purdue U.S.A [46, 45] طور Kishi and Chen بنك معلومات عن الوصلات المعدنية (SCDB) بناء على نتائج التجارب المخبرية التي تم جمعها.

٢-٨ تحليل الإطارات الصلبة و النصف صلبة:

التحليل من الدرجة الأولى للإطارات المستوية الصلبة باستخدام طريقة الصلابة تمت صياغته من قبل Chajes [22] ، Weaver and Gere [79].

أما بالنسبة للتحليل من الدرجة الثانية و تأثيره على استقرار الإطارات المستوية الصلبة فقد تم تطويره من قبل Chajes and Churchull [23] و Chen and Lui [28, 27] و ذلك بإيجاد توابع متعلقة باستقرار المنشأ في مصفوفة الصلابة للعنصر.

اقترح Chen and Lui [28]، Abu-Yasein and Fredrick [2] خطوات تحليلية لإجراء التحليل من الدرجة الثانية للمنشآت الإطارية المستوية آخذين بعين الاعتبار مرونة وصلات جائز-عمود.

اقترح Lui [5] طريقة تحليل من الدرجة الثانية باستخدام التحليل الإنشائي من الدرجة الأولى. الطريقة المقترحة أدخلت تأثير $P-\Delta$/ باستخدام حمولات جانبية افتراضية.

هناك طرق عملية لتحليل الإطارات المستوية تأخذ بعين الاعتبار مرونة الوصلة و التأثير من الدرجة الثانية تم تطويرها من قبل Barakat and Chen [16] و Al-Mashary and Chen [8].

الفصل الثالث

استنتاج مصفوفات الصلابة بإدخال تأثير العقد شبه الصلبة

٣-١ مقدمة

تصنف الإطارات حسب العقد فيها كإطارات صلبة أو شبه صلبة أو مفصلية تبعا لصلابة وصلة جائز-عمود . يجب إدخال تأثير مرونة الوصلة في التحليل و ذلك باعتبار تأثيرها على صلابة عنصر الجائز و العمود.

في هذا الفصل سيتم شرح سلوك الإطارات. و سيتم استنتاج مصفوفة الصلابة لمنشآت الإطارات المستوية بإدخال تأثير العقد نصف الصلبة و ذلك بتمثيل وصلة جائز-عمود بنابض.

٣-١-١ الطول الفعال

إن سلوك الأعمدة في المنشآت المعدنية يتأثر بشروط النهايات للعنصر و حالة الإطار فيما إذا كان موثوقاً ضد الانزياح الجانبي أم لا.

إن الطول الفعال KL في الإطارات الموثوقة ضد الانزياح الجانبي يختلف عنه في الإطارات غير الموثوقة. إن الكود الأمريكي AISC [6] يشرح بأن مبدأ الطول الفعال يستخدم لتقدير التأثيرات المشتركة لعناصر الإطار على العمود.

في الإطارات الموثوقة ضد الانزياح الجانبي يكون الطول الفعال KL أقل أو يساوي الطول الحقيقي L. كما أن ثابت طول العمود الفعال K يزداد مع نقصان صلابة الجائز و يصبح مساوياً للواحد مع الصلابة المعدومة للجائز.

أما بالنسبة للإطارات الغير موثوقة ضد الانزياح الجانبي يكون الطول الفعال KL أكبر من الطول الحقيقي L. و يكون ثابت طول العمود الفعال K يزداد مع نقصان صلابة الجائز و يصبح مساوياً للانهاية مع الصلابة المعدومة للجائز [36]. و لهذا السبب فإن الكود الأمريكي- الطريقة الحدية LRFD [7] يشترط إدخال ثابت الطول الفعال K في التحليل الإنشائي و يجب أن لا يكون أقل من الواحد.

لغرض التصميم تم إعطاء منحنيات بيانية لتقدير الطول الفعال للأعمدة من قبل [70, 36]. و بالنسبة للحالات البسيطة يمكن استخدام إرشادات جمعية الأبحاث الإنشائية SSRC [35]. طور Aristizabal-Ochao [12] معادلات يمكن استخدامها لتقدير الطول الفعال في حالات التحميل غير المتناظرة.

٣-١-٢ التأثيرات من الدرجة الثانية:

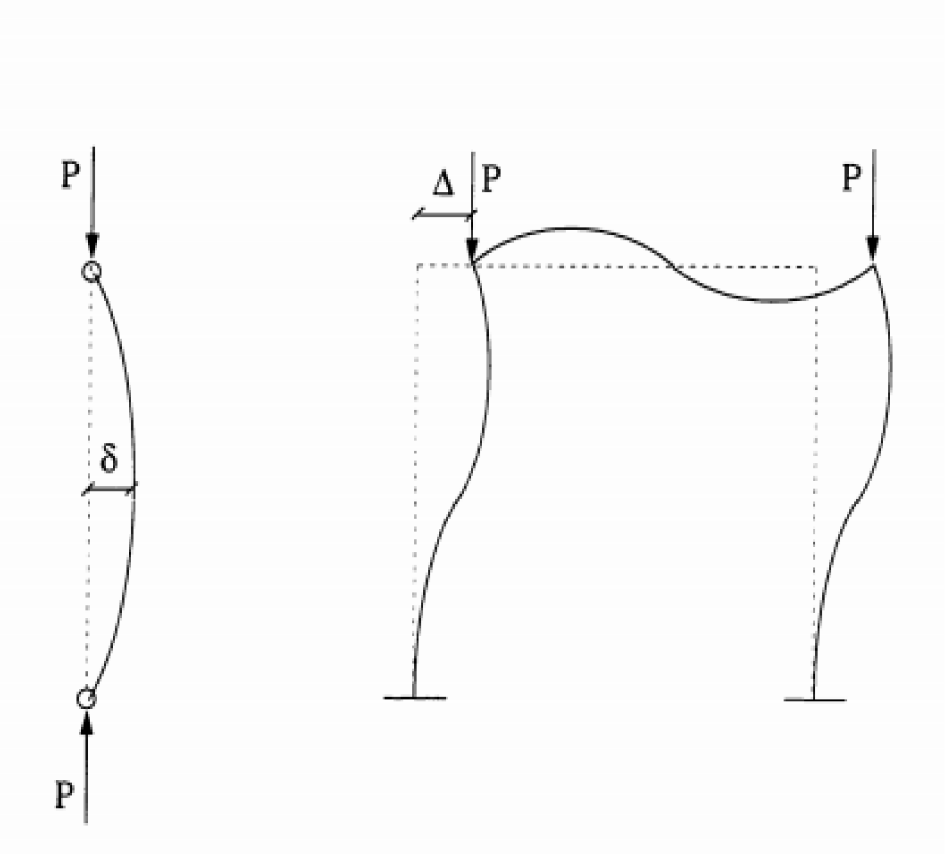
إن الجوائز البسيطة والمستمرة و تحت تأثير الحمولات تكون معرضة لسهوم وعزوم رئيسية و التي يتم التصميم اعتمادا عليها. أما بالنسبة للإطارات فإنه يجب إدخال تأثير السهوم و العزوم الثانوية الناتجة عن التشوهات بالإضافة للسهوم و العزوم الرئيسية.

تحصل التأثيرات الثانوية من تطبيق قوى محورية على العنصر الخاضع للتشوهات الرئيسية. و يكون هذا التأثير بشكل رئيسي على الأعمدة أكثر منها على الجوائز. و يكون التصميم معتمدا على التأثير التراكمي للأفعال الرئيسية و الثانوية.

تتألف التأثيرات الثانوية من نوعين [28] كما هو موضح بالشكل (1-3). النوع الأول هو تأثير $P-\delta$ و الذي ينتج من تطبيق قوة محورية على الشكل المشوه الناتج عن التحميل الرئيسي للعنصر مع منع انزياح النهايات. و يعرف هذا التأثير أيضا بالتأثير غير المستقر للعنصر (member instability effect).

النوع الثاني هو تأثير $P-\Delta$ و الذي ينتج من تطبيق قوة محورية على العنصر مع انزياح النهايات Δ . هذا التأثير سيزيد من قيمة الانزياح Δ و بالتالي سيزيد من قيمة العزم. و يعرف هذا التأثير أيضا بالتأثير غير المستقر للإطار.

للأخذ التأثيرات الثانوية بعين الاعتبار فإنه يجب استخدام التحليل الإنشائي من الدرجة الثانية و على عدة مراحل من خلال تطبيق حمولات مع الأخذ بعين الاعتبار التشوه الناتج عن كل مرحلة في تصميم الإطار. العلاقة الأساسية لتحنيب عنصر متمفصل من الطرفين هو $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$ و هي معادلة أولر (حمولة التحنيب الحدية لهذا العنصر) حيث L طول التحنيب الذي يختلف حسب شروط الاستناد.



الشكل (1-3): التأثيرات من الدرجة الثانية

٣-١-٣ الإطارات الصلبة و الشبه صلبة:

في معظم البرامج الإنشائية يتم افتراض بأن الإطارات صلبة حيث يعتبر بأن العناصر المعدنية متصلة بشكل صلب بواسطة عقد صلبة جدا أثناء مراحل التحليل. والخاصة الرئيسية لهذه العقد بأن الزاوية بين العناصر المتصلة تبقى بنفس القيمة قبل وبعد تطبيق الحمولات. يوجد برامج إنشائية تأخذ بعين الاعتبار التأثير من الدرجة الثانية والذي يؤدي للتحليل اللا خطي.

إن إهمال مرونة الوصلة في الإطارات المعدنية يؤدي لإعطاء قيم قليلة للانزياح الجانبي و قيم كبيرة للعزوم عند الوصلة و التي تؤدي بدورها لمقاطع أكبر للعناصر المعدنية المتصلة بالوصلة. في تحليل الإطارات نصف الصلبة فإنه يؤخذ بالاعتبار مرونة الوصلة.

يتم تعريف مواصفات الوصلة من خلال العلاقة اللا خطية بين العزم و الدوران المأخوذة قيمها من تجارب تم تنفيذها على مثل هذه الوصلة.

٣-٢ اشتراطات

تستخدم الافتراضات التالية لاشتقاق مصفوفة الصلابة لعناصر الأعمدة والجوائز مع وصف شروط النهايات:

أ- عناصر الأعمدة و الجوائز متجانسة و مستقيمة

ب- المواد متجانسة و في الحالة المرنة

ت- التشوهات صغيرة بحيث لا تتغير إحداثيات المنشأ بشكل واضح خلال التحميل

٣-٣ مصفوفة الصلابة للعنصر بإدخال تأثير الصلابة الدورانية للعقدة (العقد شبه الصلبة):

إن صلابة الجوائز و الأعمدة تعتمد على شروط النهايات لها (العقدة صلبة ،العقدة شبه الصلبة ، البسيطة). حيث يوجد عدة حالات ممكنة لشروط النهايات كما هو موضح بالجدول (1-3). قمنا باشتقاق مصفوفة الصلابة لكل حالة و حصلنا على النتائج المبينة في هذا الفصل. العلاقة بين أنواع حالات العناصر المختلفة تم شرحها أيضا.

هذه المصفوفات التي تأخذ بعين الاعتبار وجـود العقـد نـصف الـصلبة سـيتم استخدامها في الفقرات القادمة.

٣-٣-١ النوع الأول (موثوق – موثوق)

إن العنصر من النوع الأول هو عنصر جائز أو عمود تقليـدي و يـستخدم فـي تحليل الإطارات الصلبة، حيث تم افتراض أن العقدتين عند نهايتي العنصر موثوقتان.

باستخدام نظام ترقيم المحاور كما في الشكل (2-3) فإن مصفوفة الصلابة $[K_m]_1$ للعنصر m (النوع الأول) تعطى كالتالي [39] :

$$[K_m]_1 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L \\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L \\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (3-1)$$

حيث :

A مساحة المقطع العرضي لعنصر الجائز أو العمود

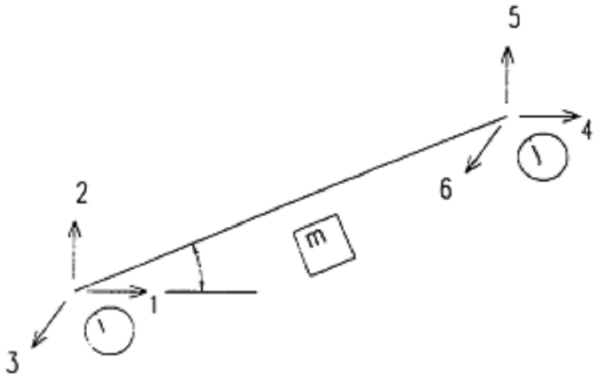
E عامل المرونة

I عزم العطالة لعنصر الجائز أو العمود حول محور الانعطاف

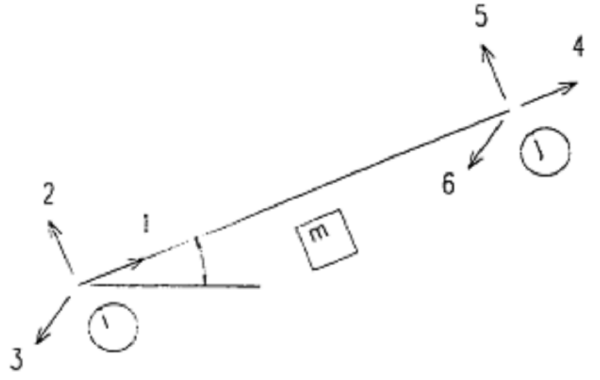
L طول العنصر

الجدول (1–3) الحالات المختلفة لشروط نهايات العناصر الإنشائية

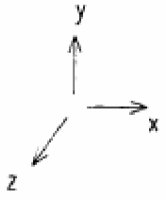
Member Type	End i	Member Shape	End j
1	Fixed		Fixed
2	Spring		Fixed
3	Fixed		Spring
4	Hinged		Fixed
5	Fixed		Hinged
6	Spring		Hinged
7	Hinged		Spring
8	Hinged		Hinged



ترقيم درجات الحرية بالنسبة للمحاور الرئيسية



ترقيم درجات الحرية بالنسبة للمحاور المحلية



الشكل (2–3) نظام ترقيم المحاور

٣-٣-٢ النوع الثاني (شبه صلب – موثوق)

من أجل العنصر من النوع الثاني (الجدول 1-3)، فإن النهاية i مسنودة بنـــابض دوراني مرن ذو صلابة دورانية Ri ، و النهاية j موثوقة. سيتم في الفقرة التاليـــة شـــرح الخطوات الرئيسية لاشتقاق مصفوفة الصلابة للعنصر من النوع الثاني.

٣-٣-٢-١ الاشتقاق

بتطبيق انتقال واحدي $\Delta = 1$ عند النهاية i كما هو موضح بالشكل (3-3) و فـــي حال إهمال تأثيرات تشوهات القص و تقاصر محور العنصر، فإنه من الممكـــن اســـتخدام طريقة الخط المرن (elastic line method) .

نأخذ العزم عند النهاية j:

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1 + M_2}{L}$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1 + M_2}{L} x$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

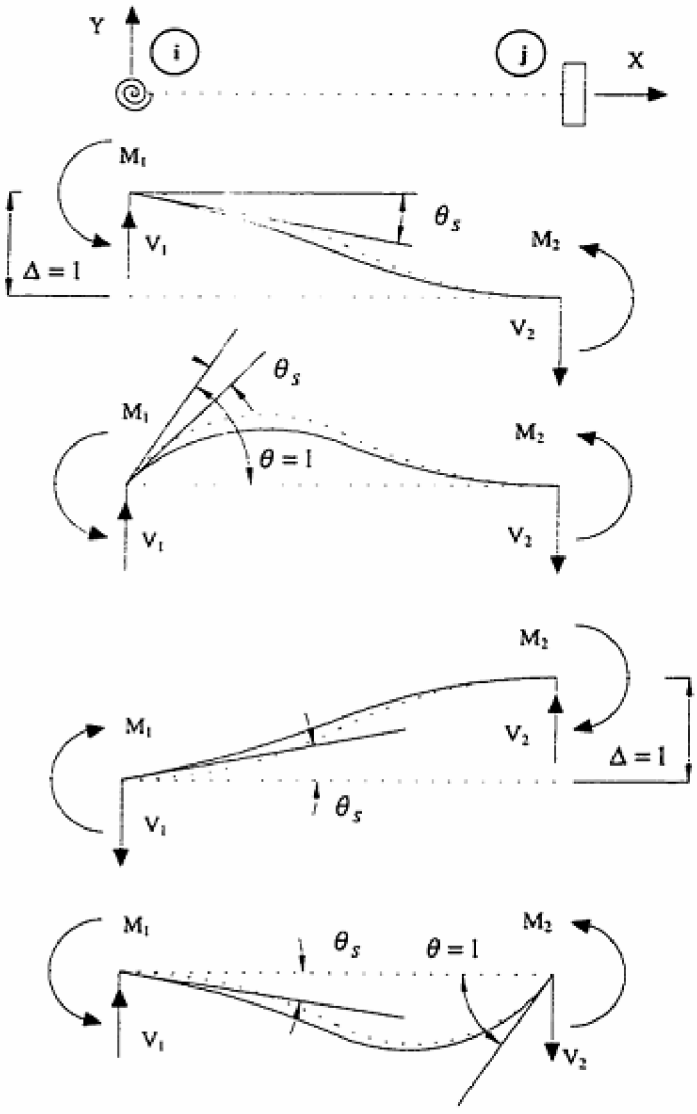
1- at $x = 0 \Rightarrow Y = 1$

2- at $x = 0 \Rightarrow Y' = -\theta_s = -\frac{M_1}{R_1}$

3- at $x = L \Rightarrow Y = 0$

4- at $x = L \Rightarrow Y' = 0$

حيث أن R_1 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة i



الشكل (3-3) الانتقالات و الدورانات الواحدية عند النهايتين j ,i

و بعد سلسلة من الحسابات نحصل على:

$$M_1 = \frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

$$M_2 = \frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1+2\frac{EI}{LR_1}}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

$$V_1 = -V_2 = \frac{12EI}{L^3}\left(\frac{1+\frac{EI}{LR_1}}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

- و بتطبيق دوران واحدي $\theta = 1$ عند النهاية i كما هو موضح بالشكل (3-3):

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1 + M_2}{L}$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1 + M_2}{L}x$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

1- at $x = 0 \Rightarrow Y = 0$

2- at $x = 0 \Rightarrow Y' = 1 - \theta_s = 1 - \frac{M_1}{R_1}$

3- at $x = L \Rightarrow Y = 0$

4- at $x = L \Rightarrow Y' = 0$

و بعد سلسلة من الحسابات نحصل على:

$$M_1 = \frac{4EI}{L}\left(\frac{1}{1 + 4\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

$$M_2 = \frac{2EI}{L}\left(\frac{1}{1 + 4\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

$$V_1 = -V_2 = \frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1}{1 + 4\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

- و بتطبيق دوران واحدي $\theta = 1$ عند النهاية j كما هو موضح بالشكل (3-3):

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1 + M_2}{L}$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1 + M_2}{L}x$$

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1 + M_2}{L} \right) \frac{x^3}{6} - M_1 \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

1- at $x = 0 \Rightarrow Y = 0$

2- at $x = 0 \Rightarrow Y' = -\theta_s = -\frac{M_1}{R_1}$

3- at $x = L \Rightarrow Y = 0$

4- at $x = L \Rightarrow Y' = 1$

و بعد سلسلة من الحسابات نحصل على:

$$M_1 = \frac{2EI}{L} \left(\frac{1}{1 + 4\frac{EI}{LR_1}} \right)$$

$$M_2 = \frac{4EI}{L} \left(\frac{1 + 3\frac{EI}{LR_1}}{1 + 4\frac{EI}{LR_1}} \right)$$

$$V_1 = -V_2 = \frac{6EI}{L^2} \left(\frac{1 + 2\frac{EI}{LR_1}}{1 + 4\frac{EI}{LR_1}} \right)$$

- و بتطبيق انتقال شاقولي واحدي عند النهاية j كما هو موضح بالشكل (3-3) وبإتباع نفس الخطوات المذكورة سابقا يمكن اشتقاق العناصر المتبقية في مصفوفة الصلابة.

و تعطى مصفوفة الصلابة $[K_m]_2$ للعنصر من النوع الثاني كالتالي:

$$[K_m]_2 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & -12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 4L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & 12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & -6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 4L^2\left(\frac{1+3\rho_1}{1+4\rho_1}\right) \end{bmatrix}$$

(3-2)

حيث أن $\rho_1 = \frac{EI}{LR_1}$

R_1 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة i

إن وجود النابض عند النهاية i يؤثر على صلابة العناصر المتصلة و ذلك بالتأثير على قيمة العزم و القص من خلال العامل ρ_1 .

بالمقارنة بين العنصر من النوع الأول و النوع الثاني نجد أن العنصر من النوع الأول (موثوق-موثوق) هو حالة خاصة للعنصر من النوع الثاني(شبه صلب-موثوق). ولإثبات ذلك سنفترض بأن العقدة i في العنصر من النوع الثاني ذو صلابة دورانية عالية جدا بحيث أن R تصل إلى اللانهاية و بالتالي فإن النهاية i تصبح موثوقة. ρ_1 تقترب للصفر و بالتالي مصفوفة الصلابة $[K_m]_2$ للعنصر من النوع الثاني تتحول إلى مصفوفة الصلابة $[K_m]_1$ للعنصر من النوع الأول و هذا ما يؤكد صحة الاستنتاجات و العمليات الحسابية.

٣-٣-٣ النوع الثالث (موثوق – شبه صلب)

إن العنصر من النوع الثالث يعاكس العنصر من النوع الثاني من حيث شروط النهايات. حيث يكون العنصر موثوق من النهاية i و نابض دوراني مرن من النهاية j ذو صلابة R_2. إن قيم العزوم و القص ستتأثر بقيم العامل ρ_2 . مصفوفة الصلابة تعطى بالعلاقة:

$$[K_m]_3 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 0 & -12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 4L^2\left(\frac{1+3\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & -6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 0 & 12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) & 4L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \end{bmatrix}$$

(3-3)

حيث أن $\rho_2 = \frac{EI}{LR_2}$

R_2 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة j

٤-٣-٣ النوع الرابع (متمفصل – موثوق)

من أجل العنصر من النوع الرابع (الجدول 1-3)، فإن النهاية i عبارة عن مفصل والنهاية j موثوقة. نجد أن العنصر من النوع الرابع (متمفصل – موثوق)هو حالة خاصة للعنصر من النوع الثاني (شبه صلب–موثوق). سنفترض بأن صلابة العقدة i في العنصر من النوع الثاني مرنة جدا لتعتبر كمفصل و بذلك قيمة R_1 تصل إلى الصفر. وبالتالي فإن ρ_1 تقترب للانهاية. و بالنتيجة مصفوفة الصلابة $[K_m]_2$ للعنصر من النوع الثاني تتحول إلى مصفوفة الصلابة $[K_m]_4$ للعنصر من النوع الرابع. و تصبح مصفوفة الصلابة:

$$[K_m]_4 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & -3 & 3L \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -3 & 0 & 0 & 3 & -3L \\ 0 & 3L & 0 & 0 & -3L & 3L^2 \end{bmatrix}$$

(3-4)

و هي نفس المعادلة المعروفة في كتب ميكانيك الإنشاءات و مما يؤكد صحة الاستنتاجات. بما أن النهاية i عبارة عن مفصل فإننا نلاحظ بأن قيم عناصر السطر و العمود الثالث مساوية للصفر و التي تتعلق بالعزوم عند النهاية i.

٣-٣-٥ النوع الخامس (موثوق- متمفصل)

إن العنصر من النوع الخامس يعاكس العنصر من النوع الرابع من حيث شروط النهايات. حيث يكون العنصر موثوقاً من النهاية i و مفصلاً من النهاية j. مرة أخرى نجد أنه حالة خاصة للعنصر من النوع الثالث (موثوق – شبه صلب) في حال كان النابض مرناً جداً و بدون صلابة دورانية.

مصفوفة الصلابة تعطى بالعلاقة:

$$[K_m]_5 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 3L & 0 & -3 & 0 \\ 0 & 3L & 3L^2 & 0 & -3L & 0 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -3 & -3L & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(3-5)

نلاحظ بأن العناصر في العمود و السطر السادس مساوية للصفر.

٣-٣-٦ النوع السادس (شبه صلب- متمفصل)

من أجل العنصر من النوع السادس (الجدول 1-3)، فإن النهاية i عبارة عن نـــابض ذو صلابة دورانية و النهاية j متمفصلة. سيتم شرح الخطوات الرئيسية لاشـــتقاق مـــصفوفة الصلابة للعنصر من النوع السادس:

إن العنصر الموضح بالشكل (3-4) معرض لانتقال شاقولي $\Delta = 1$ و مطبق عند النهايةi.

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1}{L}$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

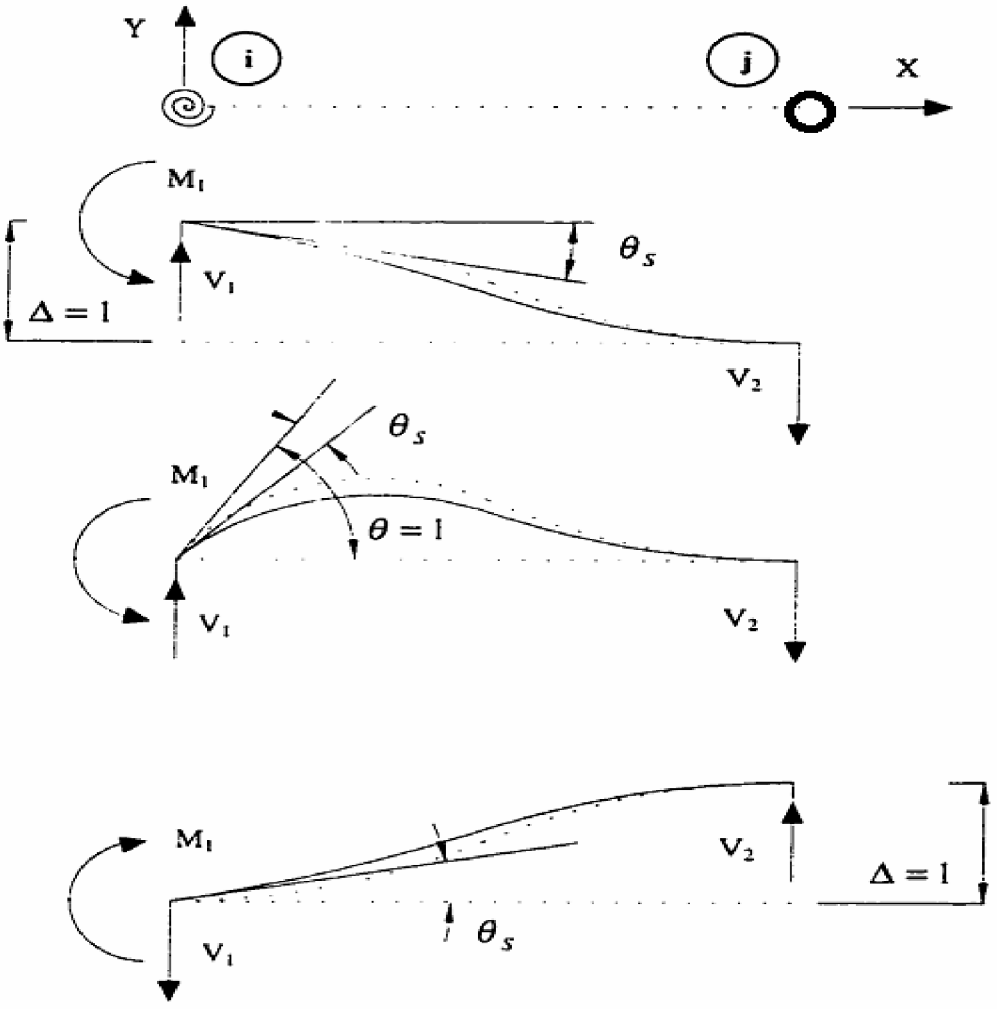
$$EI\ Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\ Y'' = -M_1 + \frac{M_1}{L}x$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\ Y' = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1$$

بالتكامل مرة ثانية:



الشكل (3-4) الانتقالات و الدورانات الواحدية عند النهايتين i, j

$$EIY = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

1- at $x = 0 \Rightarrow Y = 1$

2- at $x = 0 \Rightarrow Y' = -\theta_s = -\frac{M_1}{R_1}$

3- at $x = L \Rightarrow Y = 0$

حيث أن R_1 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة i

و بعد سلسلة من الحسابات نحصل على:

$$M_1 = \frac{3EI}{L^2}\left(\frac{1}{1 + 3\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

$$V_1 = \frac{3EI}{L^3}\left(\frac{1}{1 + 3\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

- و بتطبيق دوران واحدي $\theta = 1$ عند النهاية i كما هو موضح بالشكل (4-3):

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1}{L}$$

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1}{L}x$$

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1$$

$$EIY = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

1- at $x = 0 \Rightarrow Y = 0$

2- at $x = 0 \Rightarrow Y' = 1 - \theta_s = 1 - \frac{M_1}{R_1}$

3- at $x = L \Rightarrow Y = 0$

و سلسلة من الحسابات نحصل على:

$$M_1 = \frac{3\,EI}{L}\left(\frac{1}{1+3\,\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

$$V_1 = -V_2 = \frac{3\,EI}{L^2}\left(\frac{1}{1+3\,\frac{EI}{LR_1}}\right)$$

و تعطى مصفوفة الصلابة $[K_m]_6$ للعنصر من النوع السادس كالتالي:

$$[K_m]_6 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 \\ 0 & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 3L^2\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(3-6)

بمقارنة العنصر من النوع السادس(نصف صلب-متمفصل) مع العنصر من النوع الخامس(موثوق-متمفصل) نجد بأنه في حال إعطاء العنصر من النوع السادس صلابة عالية جدا سيتحول للعنصر من النوع الخامس (ρ_1 تساوي الصفر).

٣-٣-٧ النوع السابع (متمفصل – شبه صلب)

يكون العنصر من النوع السابع متمفصلاً من النهاية i و نابض دوراني مرن من النهاية j ذو صلابة R_2. مصفوفة الصلابة تعطى بالعلاقة:

$$[K_m]_7 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 0 & 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 0 & 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) \\ 0 & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 0 & 0 & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 3L^2\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) \end{bmatrix}$$

(3-7)

مرة أخرى و باستبدال قيمة ρ_2 بالصفر في العنصر من النوع السابع ينتج لنا العنصر من النوع الرابع (متمفصل-موثوق) و الذي يوضح حالة الوصلة الصلبة عند النهاية **j**.

٣-٣-٨ النوع الثامن (متمفصل – متمفصل)

حيث يكون العنصر متمفصلاً من كلا النهايتين و لا يوجد مقاومة للعزوم في هذه العناصر.

$$[K_m]_8 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3\text{-}8)$$

لمعرفة تفاصيل استنتاج المصفوفات يرجى الاطلاع على الملحق في آخر الرسالة

الفصل الرابع

طريقة مبسطة لحساب الحمولة الحدية للأعمدة في الإطارات مع إدخال تأثير العقد شبه الصلبة

طريقة Richard-Abbott المعدلة لحساب صلابة الوصلات المعدنية

٤-١ طريقة مبسطة لحساب الحمولة الحدية للأعمدة في الإطارات مع إدخال تأثير العقد نصف الصلبة

يتطلب حساب الحمولة الحدية للأعمدة في المنشآت ذات الانزياح الجانبي في طرق التصميم الحالية حساب الطول الفعال للعمود وكذلك استخدام المعادلات والجداول المتعلقة بحساب حمولة العمود كما بالشكل (4-1A). وبذلك لا نستطيع إدخال تأثير العقد شبه الصلبة.

في هذا الفصل تم اقتراح طريقة مبسطة يمكن استخدامها لتقدير حمولة الأعمدة في المنشآت ذات الانزياح الجانبي مع الأخذ بالحسبان تأثير العقد شبه الصلبة. نستطيع حساب الحمولة الحدية للعمود وذلك بمعرفة الوثق الدوراني لنهاية العمود ونسبة الحمولة الأفقية إلى الحمولة الشاقولية وكذلك صلابة العقد شبه الصلبة.

وتسمح الطريقة المقترحة بأخذ تأثير العزوم عند نهايات الأعمدة الناتجة عن وجود الحمولات الخارجية المطبقة.

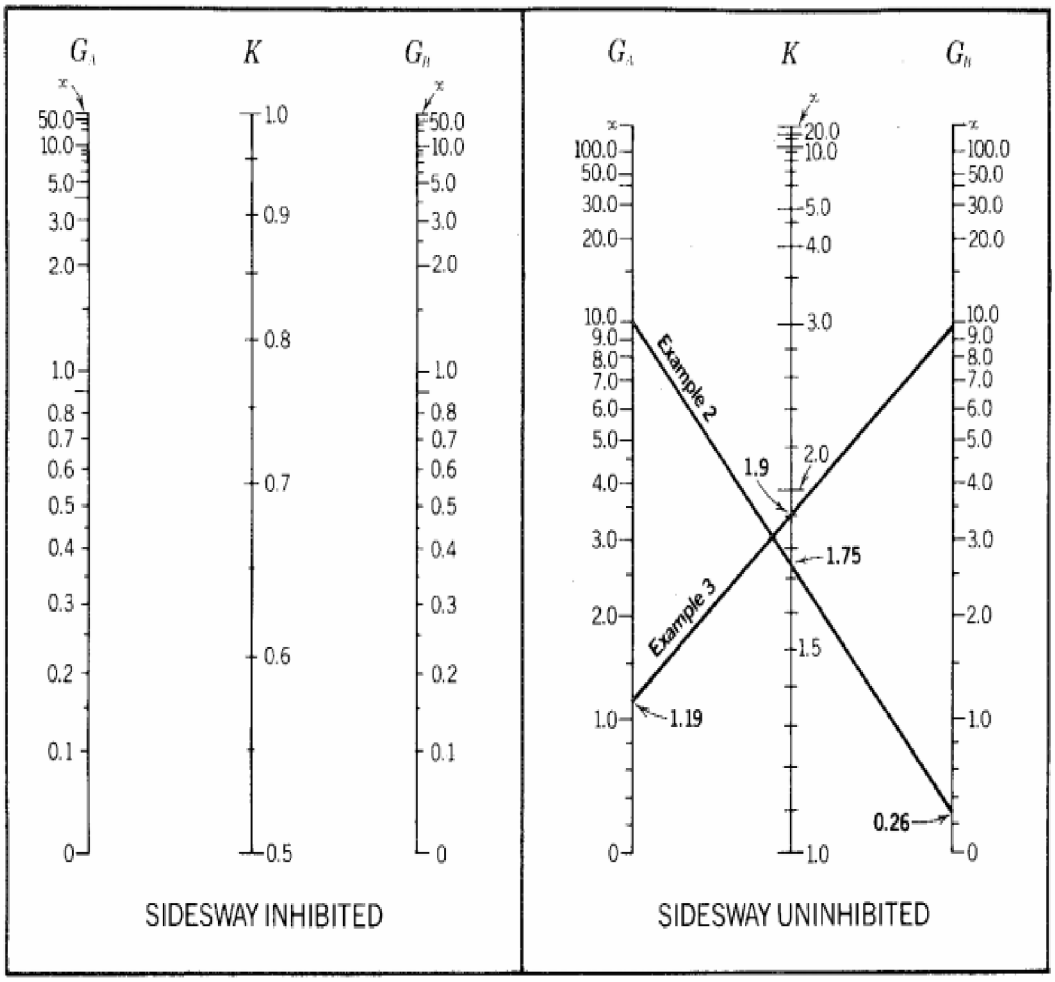
٤-١-١ النموذج المقترح

إن سلوك الأعمدة الإطارية في المنشآت غير مسنودة جانبياً يتأثر بالعوامل [29]:

-الوثق الدوراني لنهايتي العمود.

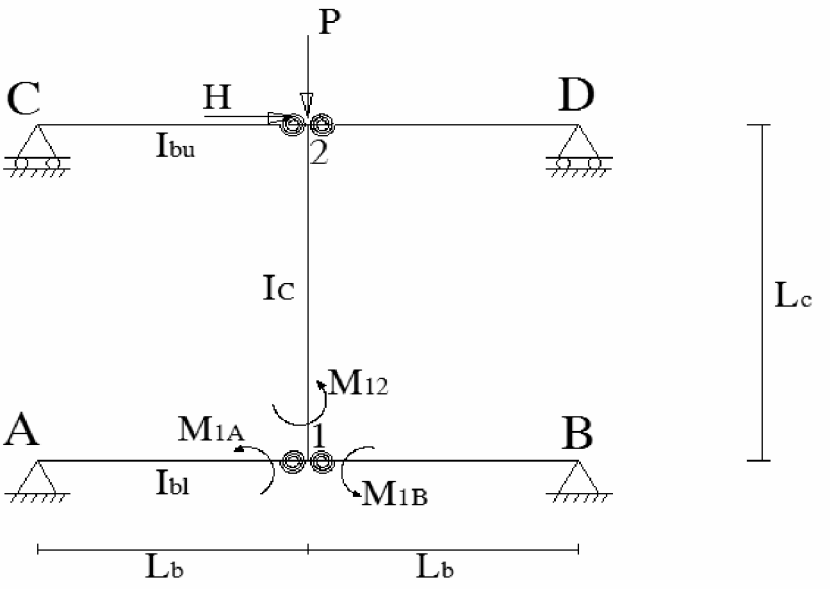
-نسبة الحمولة الأفقية للحمولة الشاقولية المطبقة على العمود

-قيمة الانزياح الجانبي الأولي لشاقولية العمود



الشكل (4-1A) معامل طول التحنيب

لذلك تم اقتراح نموذج بسيط موضح بالشكل (4-1B) و الذي يتـــألف مـــن عمـــود قابـــل للانزياح الجانبي و مسنود بجائزين عند كلٍ من نهايتيه و معـــرض لحمولـــة شـــاقولية P وأفقية H عند طرفه العلوي.



الشكل (4-1B) نموذج بسيط مستخدم في التحليل

تم اقتراح هذا النموذج لأنه يسمح بدراسة تأثير العوامل المذكورة بالأعلى.

سنقوم بحساب العزوم عند نهايتي العمود 1 ,2 و بافتراض العزم الموجب عكس عقـــارب الساعة.

- العقدة (1):

باستخدام معادلة الدورانات [80] فإن قيمة العزم M_{12} تكون كالتالي

$$M_{12} = \frac{EI_c}{L_c}\left[s\,\theta_1 + sc\,\theta_2 + \frac{s(1+c)}{L_c}\,\delta \right] \qquad (4\text{-}1)$$

باستخدام المصفوفة المستنتجة في الفصل الثالث و التي تعطي قيم الدورانات بإدخال تأثير العقد شبه الصلبة فإن قيمة العزم M_{1A} تكون كالتالي

$$M_{1A} = M_{1B} = \frac{EI_{bl}}{L_b}\left[3\left(\frac{1}{1+3\rho_1} \right)\theta_1 \right] \qquad (4\text{-}2)$$

Where:

$$P_E = \frac{\pi^2 EI_c}{L_c^2}; \beta = \frac{p}{P_E}; \alpha = \frac{\pi\sqrt{\beta}}{2}$$

$$s = \frac{\alpha(1 - 2\alpha \cot g(2\alpha))}{\tan(\alpha) - \alpha}$$

$$c = \frac{2\alpha - \sin(2\alpha)}{\sin(2\alpha) - 2\alpha\cos(2\alpha)}$$

$$\rho_1 = \frac{EI}{LR_1}$$

باستخدام مبدأ التوازن عند العقدة (1) حيث أن مجموع العزوم يساوي الصفر

$$\sum_1 M = 0 \rightarrow M_{12} + M_{1B} + M_{1A} = 0 \qquad (4\text{-}3)$$

$$\left[\frac{EI_c}{L_c} s + \frac{2EI_{bl}}{L_b}\left(\frac{3}{1+3\rho_1}\right)\right]\theta_1 + \frac{EI_c}{L_c} cs\,\theta_2 + \frac{EI_c}{L_c}\frac{s(1+c)}{L_c}\delta = 0 \qquad (4\text{-}4)$$

- العقدة 2:

$$M_{21} = \frac{EI_c}{L_c}\left[s\theta_2 + sc\,\theta_1 + \frac{s(1+c)}{L_c}\delta\right] \qquad (4\text{-}5)$$

باستخدام المصفوفة المستنتجة في الفصل الثالث و التي تعطي قيم الدورانات بإدخال تأثير العقد نصف الصلبة فإن قيمة العزم M_{2C} تكون كالتالي

$$M_{2C} = M_{2D} = \frac{EI_{bu}}{L_b}\left[3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right)\theta_2\right] \qquad (4\text{-}6)$$

باستخدام مبدأ التوازن عند العقدة (2) حيث أن مجموع العزوم يساوي الصفر

$$\sum_2 M = 0 \rightarrow M_{21} + M_{2C} + M_{2D} = 0 \qquad (4\text{-}7)$$

$$\frac{EI_c}{L_c} cs\,\theta_1 + \left[\frac{EI_c}{L_c} s + \frac{2EI_{bu}}{L_b}\left(\frac{3}{1+3\rho_2}\right)\right]\theta_2 + \frac{EI_c}{L_c}\frac{s(1+c)}{L_c}\delta = 0 \quad (4\text{-}8)$$

باستخدام مبدأ التوازن عند العمود في العقدة (1)

$$\sum_{column} M = o \rightarrow M_{12} + M_{21} - P(\delta + \delta_0) - HL_c = 0 \quad (4\text{-}9)$$

$$\frac{EI_c}{L_c}(s + sc)\theta_1 + \frac{EI_c}{L_c}(s + sc)\theta_2 + \left(\frac{2EI_c}{L_c}\frac{s(1+c)}{L_c} - P\right)\delta - P\delta_0 - HL_c = 0 \quad (4\text{-}10)$$

حيث

E عامل المرونة

L_C ارتفاع العمود

L_b طول الجائز العلوي و السفلي

I_{bu} عزم العطالة للجائز العلوي

I_{bl} عزم العطالة للجائز السفلي

θ_2, θ_1 الدورانات عند النهايتين 2, 1

δ_0 الانزياح الأولي للعمود

δ انزياح العمود نتيجة الحمولة H

P الحمولة الشاقولية المطبقة على العمود

H الحمولة الأفقية المطبقة على العمود

R الصلابة الدورانية للوصلة

بحل المعادلات (4-4)، (4-8) ، (4-10) نستطيع الحصول على قيم $\theta_1, \theta_2, \delta$ و بتعويض تلك القيم في المعادلة (4-1) نحصل على العزم الأعظمي عند نهاية العمود:

$$M_{max} = M_{12} = PL_C\left(\frac{H}{P} + \frac{\delta_0}{L_c}\right)F \quad (4\text{-}11)$$

Where: $$F = \frac{s\left[(A+c)+B(1+c)\right]}{s(1+c)(1+A+2B)-\rho\pi^{2}B}$$

$$A = \frac{\frac{6}{G_2}+s(1-c)}{\frac{6}{G_1}+s(1-c)}$$

$$B = \frac{-1}{s(1+c)}\left[\frac{6}{G_2}+s(1+cA)\right]$$

$$G_1 = \frac{\frac{6\,EI_c}{L_c}}{2\left(\frac{3\,EI_{bl}}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right)\right)}$$

$$G_2 = \frac{\frac{6\,EI_c}{L_c}}{2\left(\frac{3\,EI_{bu}}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right)\right)}$$

حيث أن G1,G2 هي نسبة صلابة العمود للجائز، و عادة يتم إيجاد قيمتها عنـــد الحاجـــة لحساب الطول الفعال للعمود.

بحساب إجهاد العمود الأعظمي عند النهاية 1:

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A_c}+\frac{M_{12}}{I_c}Y_{max} \rightarrow \qquad (4\text{-}12)$$

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A_c}\left[1+\frac{L_c\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)Fh}{2r^{2}}\right] \qquad (4\text{-}13)$$

بمساواة إجهاد العمود الأعظمي σ_{max} مع إجهاد الخضوع للعمود σ_y نحصل على:

$$\frac{P_{ult}}{P_y} = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{H}{P} + \frac{\delta_0}{L_c}\right) FhL_c\right] \Big/ 2r^2} \qquad (4\text{-}14)$$

حيث:

P_{ult} الحمولة الحدية للعمود

P_y حمولة الخضوع للعمود

σ_{ult} إجهاد الضغط الأعظمي للعمود

σ_y إجهاد الخضوع

h ارتفاع مقطع العمود

A_c مساحة مقطع العمود

H/P نسبة الحمولة الأفقية للشاقولية

$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ نصف قطر العطالة للعمود

δ_0 / L_c نسبة الانزياح الأولي إلى ارتفاع العمود

٤-١-٢ الطريقة المقترحة

لحساب الحمولة الحدية للعمود في الإطارات غير مسنودة جانبياً فإنه يجب حل المعادلة (4-14)، و هذا يتطلب سلسلة من الحسابات. لذلك تم القيام بدراسة لإيجاد معادلة بسيطة و التي يمكن استخدامها في تصميم الأعمدة غير المسنودة جانبياً، و بافتراض بأن نسبة صلابة عمود-جائز عند نهايتي العمود متساويتين ($G_1 = G_2 = G$). حيث أن معظم الأعمدة المعدنية في الإطارات غير المسنودة جانبياً، و خصوصاً الأعمدة الوسطية، توافق هذا الافتراض.

٤-١-٢-١ معادلة لحساب حمولة العمود الحدية

تم إجراء بحث موسع لتقدير الحمولة الحدية للأعمدة في المنشآت القابلة للانزياح الجانبي و ذات العقد نصف الصلبة و بافتراض أن المعدن Grade 43 (وفقا للكود البريطاني و بإجهاد خضوع σ_y=275 N/mm^2 و عامل مرونة E=210000 N/mm^2) تم إيجاد المعادلة التالية بطريقة (الخطأ-الصواب):

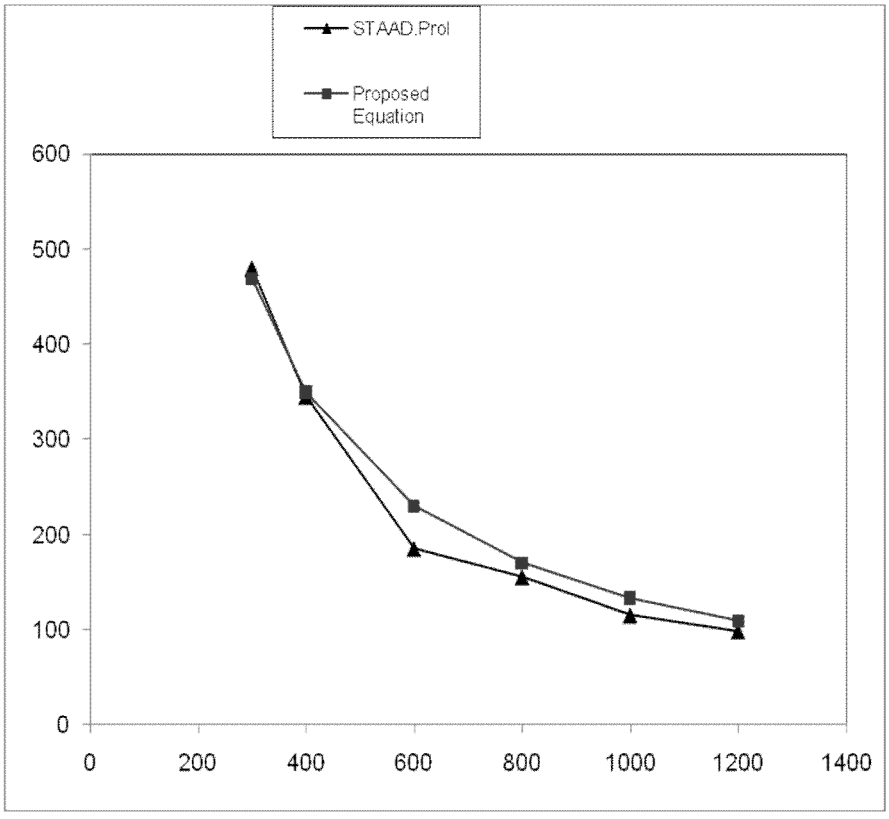
$$\frac{P_{ult}}{P_y}\left(\frac{L_c}{r}\right)^{1.3} = 15\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)^{-0.35} - 2.5\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)^{-0.5} \ln G \qquad (4\text{-}15)$$

حيث أن G هي نسبة صلابة العمود للجائز $G = \dfrac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_b I_b / L_b)\left(\dfrac{1}{1+3\rho}\right)}$

تم فرض ثلاث اشتراطات على قيمة G في المعادلة (4-15)

- $G \geq 0.7 \times \sqrt[3]{\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)}$ حيث أن $G \cong 0.7 \times \sqrt[3]{\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)}$ تمثل النهاية الموثوقة تقريبا و أي قيمة ل G أقل من $0.7 \times \sqrt[3]{\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)}$ لا تبدو مفيدة لزيادة الحمولة الحدية للعمود.
- $G \leq 15$ حيث أن $G = 15$ تمثل النهاية المفصلية للعمود.
- العمود القصير الجسيئ يتطلب صلابة أقل ليصل لحمولته الحدية مقارنة مع العمود النحيف، لذلك تمت إضافة هذا الشرط $G \geq \dfrac{24}{L_c / r}$ للتأكد بأن الوثق عند نهاية العمود لا تزيد عن القيمة المطلوبة مع مراعاة نحافة العمود و ذلك للوصول للحمولة الحدية للعمود.

تم استنتاج المعادلة المقترحة (4-15) بطريقة (الخطأ – الصواب) و ذلك من خلال إلباس المنحني الناتج عن العلاقة بين ارتفاع العمود و الحمولة الحدية باستخدام برنامج STAAD.Pro كما هو موضح بالشكل (4-1C) و الجدول (4-1).



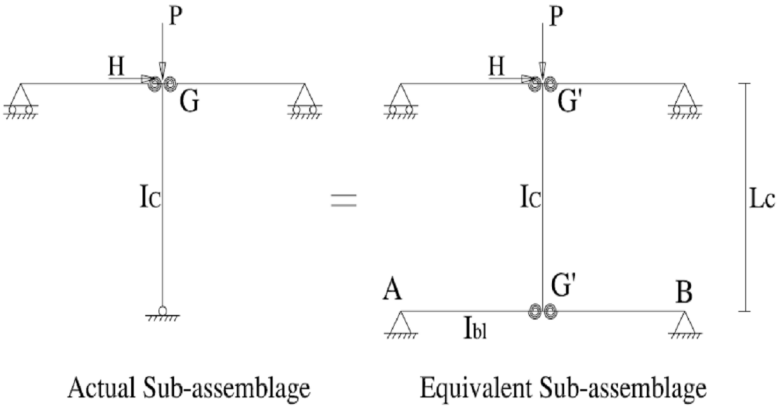
الشكل (4-1C) إلباس المعادلة المقترحة (4-15)

٤-١-٢-٢ حالة عمود متمفصل من أحد النهايتين و موثوق جزئيا من النهاية الأخرى

حيث أن المعادلة (4-15) صممت لأجل الأعمدة ذات نسب صلابة متساوية في أعلى و أسفل العمود، تم إجراء بعض التعديلات لاستخدامها من اجل الأعمدة ذات النهاية المفصلية.

تم إيجاد معادلة لحساب نسبة صلابة عمود-جائز الفعالة G' ، حيث تم افتراض عمود معدل يمتلك نسبة صلابة عمود-جائز عند نهايتي العمود متساويتين G' مع الحفاظ على قيمة الحمولة الحدية للحالة الأصلية للعمود (متمفصل من أحد النهايتين).

و بذلك فإن حساب الحمولة الحدية لحالة عمود متمفصل من طرف و ذو نسبة صلابة G من طرف آخر قد تحولت إلى حالة حساب الحمولة الحدية لعمود بديل ذو نسب صلابة G' عند نهايتي العمود مع الحفاظ على مطابقة الحمولة الحدية للحالتين (انظر الشكل 4-2)



الشكل (4-2) النموذج الأصلي و النموذج المعدل

إن قيمة G' تعطى بدلالة قيم $G\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)$ & من خلال المعادلة التالية و التي تم الحصول عليها بطريقة (الخطأ-الصواب):

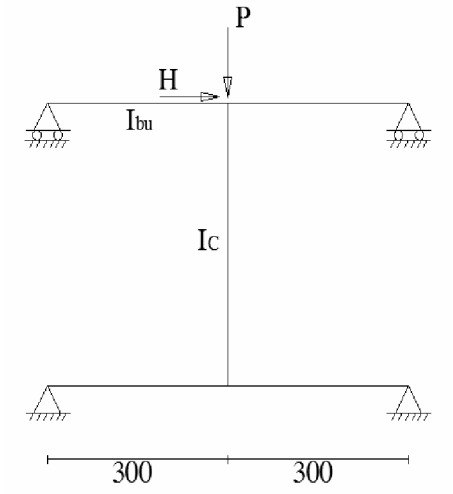
$$\frac{G'}{G}=\frac{1}{1-7.5\left(\frac{H}{P}+\frac{\delta_0}{L_c}\right)}\times\frac{4}{G\,(1-0.15\times G)} \qquad (4\text{-}16)$$

٤-١-٣ إثبات صحة الطريقة المقترحة

٤-١-٣-١ حالة عمود متساوي نسب صلابة عمود-جائز عند نهايتيه

لإثبات دقة الطريقة المقترحة لتقدير الحمولة الحدية للأعمدة الإطارية في المنشآت غير مسنودة جانبيا تمت مقارنة نتائج الطريقة المقترحة مع نتائج برنامج الإنشائي STAAD.Pro [76] و باستخدام التحليل غير خطي P-Delta لحساب حمولات العمود الحدية للنموذج المبين بالشكل (4-1)

مثال ١: حساب الحمولة الحدية للعمود في الشكل (4-1) و مواصفات العناصر المعدنية كالتالي:



مقطع العمود : UC 152x152x23

مقطع الجائز : UB 203x133x30

$L_b = 300$ cm

$A_c = 29.2$ cm^2

$I_{bu} = I_{bl} = I_b = 2896$ cm^4

$I_c = 1250$ cm^4

$\sigma_y = 275$ N/mm^2

$E = 210000$ N/mm^2

$$\left(\frac{H}{P} + \frac{\delta_0}{L_c}\right) = 1\%$$

- تم استخدام وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection) و بصلابة دورانية R= 10000 kN.m/rad و هذه القيمة تم أخذها من بحث Scerbo [72].
- تم استخدام ارتفاعات أعمدة مختلفة (٣م-١٢م) و النتائج مبينة في الجدول (4-1).
- لحساب الحمولة الحدية للعمود بارتفاع ٣م باستخدام الطريقة المقترحة تكون كالتالي:

$L_c = 300$ cm; $r = \sqrt{1250/29.2} = 6.54$ cm

$L_c/r = 45.85$; $Py = 29.2 \text{ X } 27.5 = 803$kN

$(H/P + \delta_0/ Lc) = 0.01$

بتعويض هذه القيم في المعادلة (4-15) نحصل على:

$$\frac{P_{ult}}{P_y}\left(\frac{L_c}{r}\right)^{1.3} = (75.18 - 25\ln G)$$

الاشتراطات على قيمة G

$$\text{but } 0.151 \le G \le 15 \text{ and } G \ge \frac{24}{45.85} = 0.523$$

مراحل حساب قيمة G

$$G = \frac{\sum (E_c I_c / L_c)}{\sum (E_b I_b / L_b)\left(\frac{1}{1+3\rho}\right)}$$

$$\rho = \frac{EI_b}{L_b R} = 0.20272$$

$$\frac{1}{1+3\times 0.20272} = 0.622$$

$$G = \frac{1250/300}{0.622 \times (2896/300)} = 0.694$$

أخيرا و بتعويض قيمة G = 0.694 تكون قيمة الحمولة الحدية P_{ult} = 469kN .

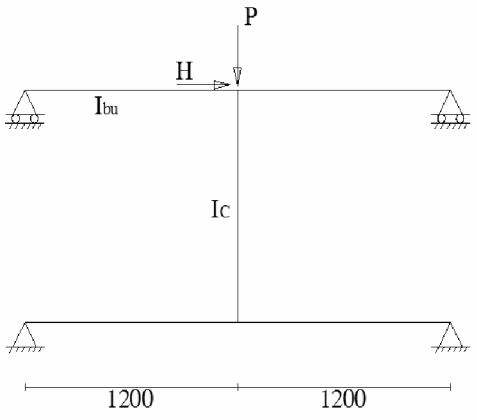
تم حساب الحمولة الحدية على ارتفاعات مختلفة للأعمدة و النتائج في الجدول (1-4).

أيضا تم حساب الحمولة الحدية باستخدام البرنامج الإنشائي STAAD.Pro و باستخدام التحليل غير خطي P-Delta و النتائج مكتوبة بالعمود الرابع في الجدول (1-4). و بمقارنة نتائج الطريقة المقترحة مع البرنامج الإنشائي نجد القيم متقاربة.

الجدول (1-4): الحمولة الحدية لمعطيات المثال الأول

Column height (cm)	L_c/r	Prop. Method Eq(4-15) P=(kN)	STAAD.Pro P=(kN)	الفرق %
300	45.85	469	480	2.3
400	61.14	350	345	1.5
600	91.7	230	185	19.5
800	122.27	170	155	9
1000	152.84	133	115	13.5
1200	183.41	109	98	10

مثال ٢: حساب الحمولة الحدية للعمود كما في المثال الأول مع تغيير طول الجائز و $(H/P + \delta_0/Lc)$ و مواصفات العناصر المعدنية كالتالي:



مقطع العمود : UC 152x152x23

مقطع الجائز : UB 203x133x30

$(H/P + \delta_0/Lc) = 10\%$

L_b =1200 cm

$A_c = 29.2\ cm^2$

$I_{bu} = I_{bl} = I_b = 2896\ cm^4$

$I_c = 1250\ cm^4$

$\sigma_y = 275\ N/mm^2$

R= 10000 kN.m/rad

باستخدام نفس الخطوات المتبعة بالمثال الأول نجد النتائج في الجدول (2-4).

الجدول (2-4): الحمولة الحدية لمعطيات المثال الثاني

Column height (cm)	L_c/r	Prop. Method Eq(4-15) P=(kN)	STAAD.Pro P=(kN)	الفرق %
300	45.85	158	145	8.3
400	61.14	117	108	7.7
600	91.7	76	65	14.5
800	122.27	56	50	10.7
1000	152.84	44	44	0
1200	183.41	36	30	16.6

مثال٣: حساب الحمولة الحدية للعمود كما في المثال الأول مع تغيير نوع الوصلة و مواصفات العناصر المعدنية كالتالي:

L_b=300cm

$(H/P + \delta_0/Lc) = 1\%$

Beam section: UB 203x133x30

Column section: UC 152x152x23

$A_c = 29.2\ cm^2$

$I_{bu} = I_{bl} = I_b = 2896\ cm^4$

$I_c = 1250\ cm^4$
$\sigma_y = 275\ N/mm^2$
$E = 210000\ N/mm^2$

- تم استخدام وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجائز (Flush End Plate Connections) و بصلابة دورانية R= 2900 kN.m/rad و هذه القيمة تم أخذها من بحث Scerbo [72].

الجدول (3-4): الحمولة الحدية لمعطيات المثال الثالث

Column height (cm)	L_c/r	Prop. Method Eq(4-15) P=(kN)	STAAD.Pro P=(kN)	الفرق %
300	45.85	378	445	15
400	61.14	288	345	16.5
600	91.7	193	180	7
800	122.27	144	138	4.2
1000	152.84	114	110	4
1200	183.41	94	90	4.2

٤-١-٣-٢ حالة عمود متمفصل عند أحد نهايتيه

مثال ٤: حساب الحمولة الحدية للعمود في الشكل (2-4) و مواصفات العناصر المعدنية كالتالي:

$I_{bl} = 0.0$
$I_{bu} = 2896\ cm^4$
$L_b = 300\ cm$
$I_c = 1250\ cm^4$
$(H/P + \delta_0/ Lc) = 5\%$

- تم استخدام وصلة الصفيحة الممتدة (extended end plate connection) و بصلابة دورانية R= 10000 kN.m/rad.

- تم استخدام ارتفاعات أعمدة مختلفة (٤م-١٢م) و النتائج مبينة في الجدول (4-4).

- يفترض بأن هذه الأعمدة متصلة بمفصل عند النهاية السفلى و بجائزين متساويي الطول و باستناد بسيط من الأعلى.

- لحساب الحمولة الحدية للعمود بارتفاع ٤م باستخدام الطريقة المقترحة تكون كالتالي:

حساب نسبة صلابة عمود-جائز G عند النهاية العليا الموثوقة جزئيا

$$G = \frac{1250/400}{0.622 \times (2896/300)} = 0.52$$

انظر العمود الثاني في الجدول (4-4)

حساب نسبة صلابة عمود-جائز الفعالة 'G:

$$G' = \frac{0.52}{1 - 7.5 \times 0.05} \times \frac{4}{0.52(1 - 0.15 \times 0.52)} = 6.94$$

انظر العمود الثالث في الجدول (4-4)

باستخدام المعادلة (4-15) لحساب حمولة العمود مع الانتباه بأن G يجب أن تستبدل ب 'G و تكون الحمولة الحدية P_{ult} = 81kN

الجدول (4-4): الحمولة الحدية لمعطيات المثال الرابع

Column height (cm)	G	G'	Prop. Method P=(kN)	STAAD.Pro P=(kN)	الفرق %
400	0.52	6.94	81	80	2
600	0.35	6.75	49	45	10
800	0.26	6.66	34	35	3
1000	0.21	6.6	25	24	4
1200	0.17	6.57	20	18	10

أيضا تم حساب الحمولة الحدية باستخدام البرنامج الإنشائي STAAD.Pro و باستخدام التحليل اللا خطي P-Delta و النتائج مكتوبة بالعمود الخامس في الجدول (4-4). و بمقارنة نتائج الطريقة المقترحة مع البرنامج الإنشائي نجد القيم متقاربة.

٤-١-٤ استخدام الطريقة المقترحة للاختيار المبدئي لمقاطع الأعمدة في الإطارات المعدنية

يمكن استخدام الطريقة المقترحة بشكل فعال في الاختيار المبدئي لمقاطع الأعمدة في الإطارات المعدنية. تم حل مثالين الموضحين بالشكل (4-3) حيث استخدمنا الطريقة

المقترحة لاختيار مقاطع الأعمدة و تم تدقيق النتائج باستخدام برنامج إنشائي STAAD.Pro و التحليل اللا خطي P-Delta analysis

٤-١-٤-١ مثال ١

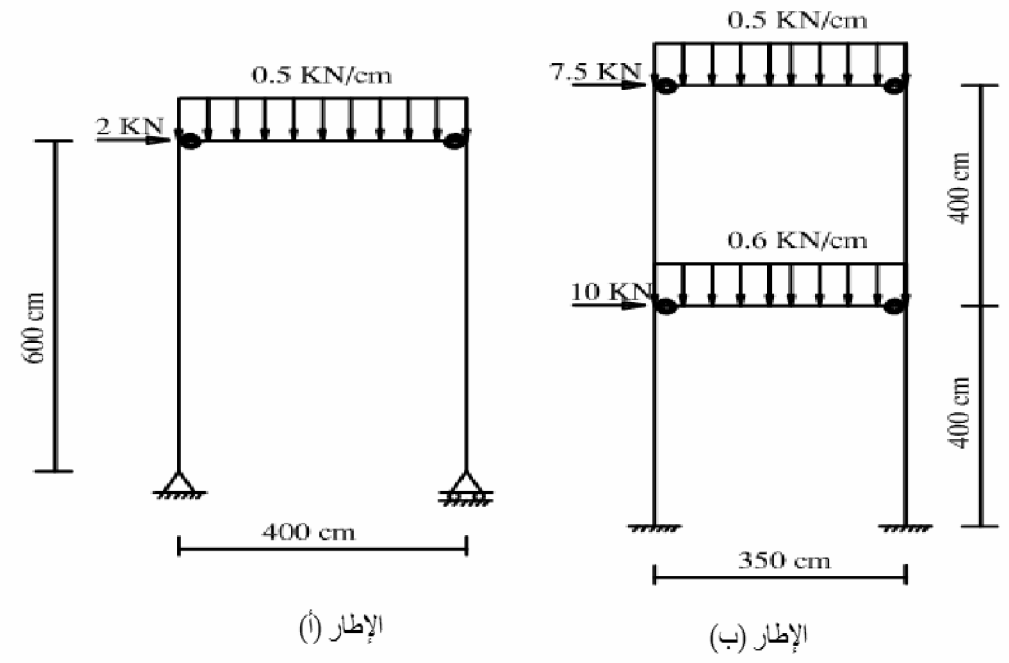
المثال ١موضح بالإطار (أ) في الشكل (3-4)

إن عزم الانعطاف الأعظمي للجائز باعتبار أنه يستند استناد بسيط يكون:

$$M_{b,\max} = \frac{50 \times 4^2}{8} = 100\ kN.m$$

نختار مقطع جائز UB406×140×46 حيث استطاعة تحمل عزم الانعطاف لهذا الجائز M_b=107 kN.m

إن نسبة إجهاد الجائز تساوي $(sr = 100/107 = 0.93)$



الشكل (3-4) النموذج (أ) و النموذج (ب)

لحساب مقطع العمود فإن الحمولة الشاقولية و الأفقية كالتالي :

$$(P = \frac{50 \times 4}{2} = 100\ kN\ ; H\ = 2kN\ ; \delta_0\ = 0)$$

و سنفترض القيم الآتية : $G = 1; L/r \cong 65$

و بالتعويض بالمعادلة (4-16)

$$G \cong 1; L/r \cong 65 \xrightarrow{Eq\ 4-16} G'/G = 5.5 \xrightarrow{Eq\ 4-15}$$

$$\frac{\sigma_{ult}}{\sigma_y} \cong 0.13 \rightarrow \sigma_{ult} = 0.13 \times 27.5 = 3.55 kN/cm^2$$

$$A_{req} = \frac{100}{3.55} = 28.2 cm^2\ choose UC\ \ 152 \times 152 \times 30$$

إن مواصفات المقطع كالتالي:

$(r = 6.75cm;\ A = 38.3cm^2;\ I_x = 1748\ cm^2)$

بحساب قيمة G و بالتعويض بالمعادلة (4-16)

$$G \cong 0.13; L/r \cong 88.9 \xrightarrow{Eq4-16} G' = 4.79 \xrightarrow{Eq4-15}$$

$$\frac{\sigma_{ult}}{\sigma_y} \cong 0.093 \rightarrow \sigma_{ult} = 0.093 \times 27.5 = 2.56 kN/cm^2$$

$$A_{req} = \frac{100}{2.56} = 39 cm^2 \cong 38.3 cm^2 (ok)$$

$$P_{ult} = 2.56 \times 38.3 = 98.1 kN$$

و تكون نسبة الإجهاد $(sr = \frac{100}{98.1} = 1.02)$

باستخدام البرنامج الإنشائي STAAD.Pro و باعتماد المقاطع التي حصلنا عليها باستخدام الطريقة المقترحة و يمكن ملاحظة أن النتائج مناسبة و هي موضحة بالجدول (5-4)

الجدول (5-4): المقارنة بين الطريقة المقترحة و STAAD.Pro لاختيار مقطع الأعمدة

			Stress ratio (proposed method)	Stress ratio STAAD.Pro
Frame a	Beam section	UB 406x140x46	0.93	1.03
	Column section	UC 152x152x30	1.02	0.95
Frame b	Beam upper section	UB 356x127x39	0.92	0.82
	Beam lower section	UB 305x127x48	0.89	0.74
	Column upper section	UC 152x152x23	0.53	0.76
	Column lower section	UC 152x152x30	0.87	0.97

٤-١-٤-٢ مثال ٢

المثال ٢: موضح بالإطار (ب) في الشكل (4-3)

باستخدام نفس الخطوات المستخدمة بالمثال الأول مع ملاحظة أن يتم حساب G لجميع الأعمدة بدلا من 'G لأن النهاية ليست استنادا بسيطا.

- مقطع الجائز العلوي:

$UB356\times127\times39$ ($M_{\max} = 76.6\ kN.m$; $M_b = 82.0\ kN.m$

تكون نسبة الإجهاد $sr = 76.6/82 = 0.92$

- مقطع الجائز السفلي:

$UB305\times127\times48$ ($M_{\max} = 91.9 kN.m$; $M_b = 103\ kN.m$

تكون نسبة الإجهاد $sr = 91.9/103 = 0.89$

- مقطع العمود في الطابق الثاني:

$UC\ 152\times152\times23$ ($A_{req} = 15.4\ cm^2$; $A_{available} = 29.2 cm^2$;

$sr = 15.4/29.2 = 0.53$

- مقطع العمود في الطابق الأول:

$UC\ 152\times152\times30\ (A_{req} = 33\ cm^2;\ A_{\ available} = 38.3\ cm^2;$

$$sr = 33/38.3 = 0.87$$

بمقارنة النتائج الموضحة بالسطور من 4 و حتى 7 في الجدول (4-5) بين الطريقة المقترحة وبرنامج STAAD.Pro نجد أيضاً أن الطريقة المقترحة أعطت نتائج مقاربة للبرامج الإنشائية و هذا يبرهن فعاليتها في الاختيار المبدئي لمقاطع الأعمدة في الإطارات المعدنية.

٤-٢ تطوير معادلة Richard-Abbott لحساب صلابة الوصلات المعدنية

إن سلوك الإطارات المعدنية يتأثر بشكل كبير بسلوك التشوه الدوراني الناتج عن العزوم المطبقة على العقد الواصلة بين الجائز و العمود.

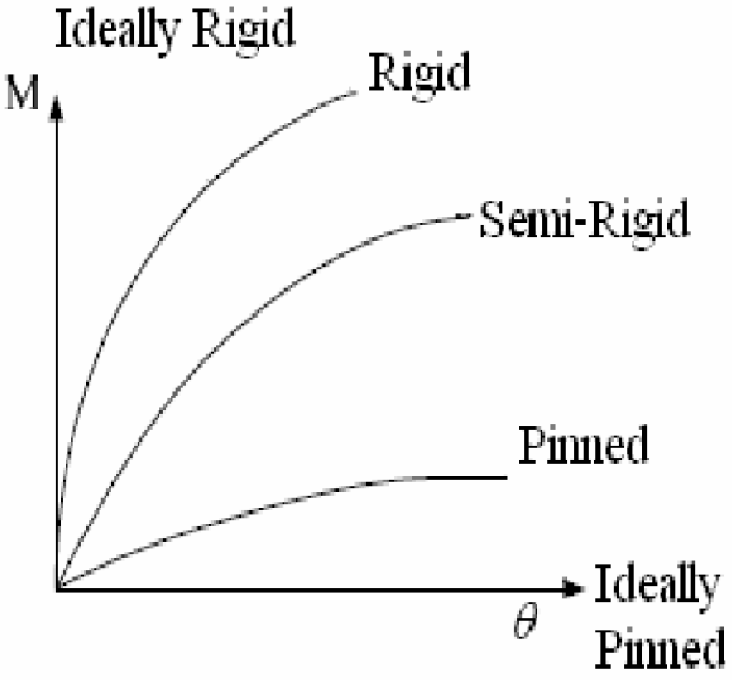
من أكثر الطرق شيوعاً لتمثيل سلوك الوصلة هو إلباس منحني العزم-الدوران للوصلات عند إجراء التجارب المخبرية بحيث يسهل حساب قيمة صلابة العقدة تبعا للعزم المطبق عليها، و هناك العديد من المعادلات التي تتنبأ قيمة دوران و صلابة الوصلات تحت تأثير العزوم المطبقة.

في هذه الدراسة تم إجراء تعديلات على معادلة Richard-Abbott لتعطي قيماً أكثر دقة لصلابات العقد. بمقارنة نتائج الطريقة المعدلة و معادلة Richard-Abbott مع النتائج التجريبية تبين أن المعادلة المعدلة تعطي قيم صلابات تساوي أو أقل من النتائج المخبرية بينما علاقة Richard-Abbott أعطت قيماً أكبر من النتائج المخبرية و هذا غير آمن.

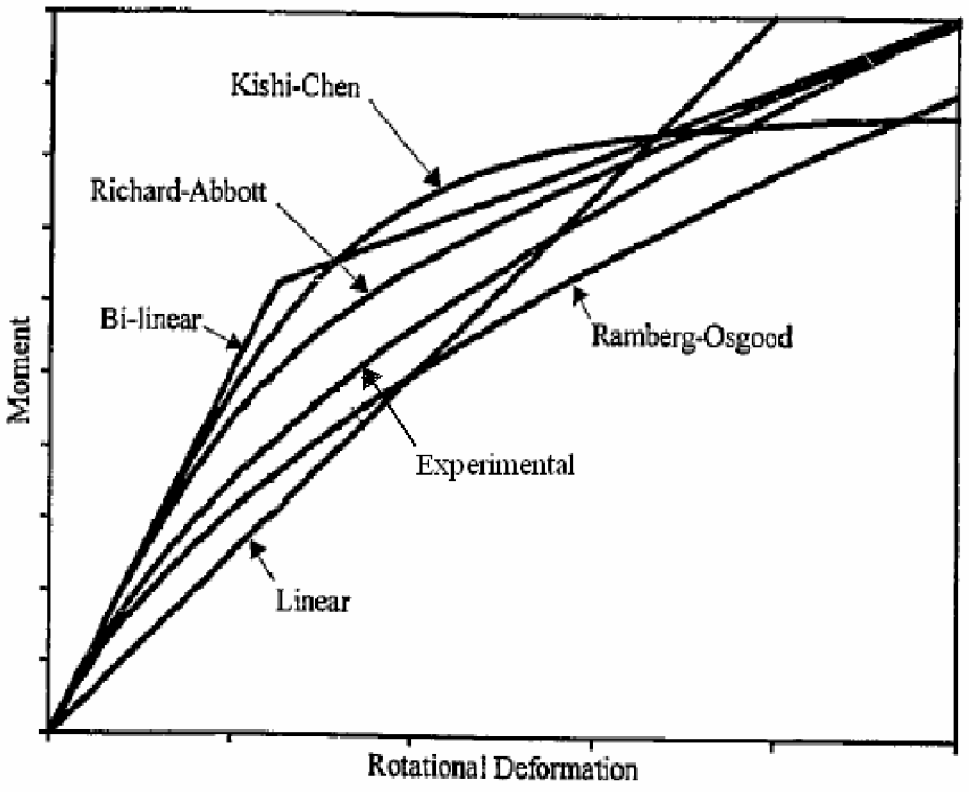
٤-٢-١ الطرق المستخدمة لحساب صلابة الوصلة

يعرف سلوك الوصلات في الإطارات المعرضة للعزوم بالعلاقة بين العزم و الدوران النسبي (منحني M-θ) كما هو موضح بالشكل (4-4). تؤثر صلابة الوصلات على توزع العزوم السالبة و الموجبة على طول العنصر و على التشوه الدوراني للعناصر الإنشائية.

– إن ابسط أنواع تمثيل سلوك الوصلات هو التمثيل الخطي أحادي الميل كما هو موضح بالشكل (5–4) حيث يفترض بأن صلابة الوصلة ثابتة خلال مراحـــل التحميـــل، وهذا التمثيل لا يشرح كيفية تناقص صلابة الوصلة تدريجيا مع زيادة الحمولة. و هـــذا لا يمثل سلوك الوصلة بشكل ملائم و مناسب.



الشكل (4–4) منحنيات العزم–الدوران للوصلات



الشكل (5-4) نماذج إلباس المنحني

- النموذج ثنائي الميل يستخدم خطين مستقيمين بحيث يكون الخط الثاني أقل انحداراً و ذلك عند نقطة تحول العزم، و هذا النموذج لا يناسب الوصلات ذات السلوك غير الخطي بين العزم المطبق و الدوران خلال مرحلة التحميل. و لتجاوز هذه الشروط تم تطوير النموذج متعدد الميل من قبلMoncarz and Crestle [58] و في هذا النموذج تم تقريب الشكل غير الخطي لمنحني العزم–الدوران بسلسلة من الخطوط المستقيمة.

- اقترح Kishi and Chen [47] نموذج قوة بالشكل التالي:

$$\theta r = \frac{|M|}{R_{ki}\left(1-\left|\frac{M}{M_u}\right|^n\right)^{\frac{1}{n}}} \qquad (4-17)$$

حيث:

R_{ki} الصلابة الأولية للوصلة

Mu قيمة العزم الحدية للوصلة

n عامل الشكل

- استخدم Ang and Morris [10] لتمثيل سلوك الوصلة في برنامج تحليل إنشائي لإطار ثلاثي البعد العلاقة التالية:

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \frac{KM}{M_0}\left[1+\left(\frac{KM}{M_0}\right)^{n-1}\right] \qquad (4\text{-}19)$$

حيث:

M_0 العزم المرجعي

K عامل القياس

هذا التابع له نفس السلبية كما في Kishi and Chen حيث لا يوجد متحول لقيمة الميل النهائي.

- قام Ramberg and Osgood [64] بتطوير تابع لنمذجة العلاقة بين الانفعال و الإجهاد و تم استخدام هذا التابع لتمثيل العلاقة بين العزم و الدوران و العلاقة كالتالي:

$$\theta = \frac{M}{S_0}\left[1+\left(\frac{M}{M_0}\right)^{n-1}\right] \qquad (4\text{-}18)$$

حيث:

M_0 العزم المرجعي

S_0 عامل الميل الأولي

n عامل الشكل

إن تابع Ramberg and Osgood لا يعطي إلباساً جيداً لمنحني العزم- الدوران كما بالشكل (5-4) و يكون أقرب لإلباس الثنائي الميل كما أنه لا يوجد عامل الميل النهائي، كما أن الميل الأولي لا يحدد بوضوح حيث أن عامل الشكل يؤثر على قيمة عامل الميل الأولي في المنحني.

- طور Frye and Morris [32] النموذج متعدد الحدود و هو على الشكل التالي:

$$\theta r = C_1(KM)^1 + C_2(KM)^3 + C_3(KM)^5 \qquad (4\text{-}20)$$

K متغير يعتمد على الشكل الهندسي للوصلة

C ثوابت إلباس المنحني و يتم تحديدها بطريقة نظرية المربعات الصغرى

و السلبية الأساسية لهذا النموذج هو أن المشتق الأول للتابع الذي يشير إلى صلابة الوصلات قد يصبح سلبي لبعض قيم M وهذا مستحيل منطقياً.

- قام Jones et al. [43] باقتراح نموذج Cubic B-Spline لتجنب الميل السالب حيث تم تقسيم معطيات تجارب العزم-الدوران إلى عدد من الأقسام ، و كل قسم يمثل جزء صغير من العزم. معادلة هذا النموذج على الشكل التالي:

$$\theta r = \sum_{j=0}^{3} a_j M_j + \sum_{j=1}^{m} b_j (<M - M_j>)^3 \qquad (4\text{-}21)$$

حيث:

m عدد العقد (نقاط اتصال أجزاء المنحني)

Mj عزم الأعلى في الجزء j من المنحني

ai, bi معامل و يتم تحديدها بطريقة الإلباس المربعات الدنيا

إن التابع Cubic B-Spline يستخدم لإلباس كل مجموعة من البيانات مع الحفاظ على استمرارية المشتقات الأولى والثانية عند نقطة التقاطع . إن عملية الإلباس بهذه الطريقة تحتاج لعدد كبير من المعطيات.

- إن تابع Richard-Abbott يعطي دقةً و تمثيلاً أفضل لسلوك الوصلات عن الطرق المتبعة الأخرى لتمثيل الوصلات كما شرح Scerbo [72] حيث أنه يحتوي على عامل الميل النهائي و عامل الدوران اللدن، ولكن سلبية هذا التابع أنه يعطي أحياناً قيم صلابات أعلى من نتائج التجارب.

٤-٢-٢ تابع Richard-Abbott

٤-٢-٢-١ خصائص تابع Richard-Abbott

يعرف تابع Richard-Abbott بستة عوامل و هي : S_0, S_p, M_0, $Ø_u$, n_1 , n_2 و تكون المعادلة كالتالي Dong [31]:

$$M = \frac{(s_0 - s_p)\phi}{\left[\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1} + \left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2}\right]^{1/n_2}} + S_p\phi \qquad (4\text{-}22)$$

حيث

M_0 العزم المرجعي (reference moment)

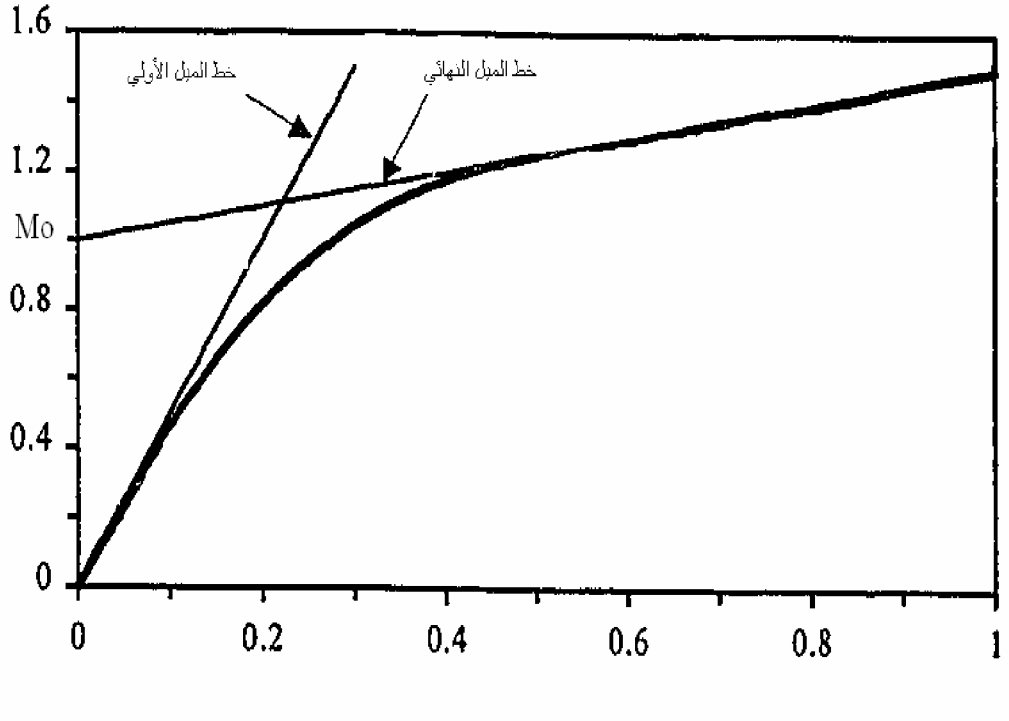
S_o الميل الأولي للمنحني

S_p الميل النهائي للمنحني

n_1 , n_2 عامل الشكل

ϕ_u التشوه الدوراني اللدن

كما هو موضح بالشكل (4-6) فإن الرسم البياني للتابع هو عبارة عن منحني له ميل أولي S_o و ميل نهائي S_p . M_0 العزم المرجعي هو العزم عند نقطة تقاطع خط الميل النهائي مع المحور الشاقولي.



الشكل (4-6) الرسم البياني لتابع Richard-Abbott

٤-٢-٢-٢ صلابة الوصلة باستخدام تابع Richard-Abbott

إن المعادلة (4-23) تعرف العلاقة بين صلابة الوصلة و الدوران النسبي

$$S(\phi) = S_p + \frac{(s_0 - s_p)}{\left[\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1} + \left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2}\right]^{1/n_2}} S_p\phi \qquad (4\text{-}23)$$

$$-\frac{1}{n_2}\left[\frac{(s_0 - s_p)\phi\left(\left(n_2\left(\frac{(s_0 - s_p)}{M_0}\right)\left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2-1}\right) - \left(\frac{1}{n_2\phi_u}\right)\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1-1}\right)}{\left[\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1} + \left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2}\right]^{1+1/n_2}}\right]$$

باستخدام معادلة Richard-Abbott لحساب الصلابة تبين بأنها تعطي قيم صلابات أكبر من النتائج المخبرية هذا غير آمن لذلك قمنا بإجراء تعديلات على هذه المعادلة لتعطي قيم أكثر دقة لصلابات العقد.

٤-٢-٣ الطريقة المعدلة لحساب الصلابة

تم إجراء بحث موسع لتطوير Richard-Abbott و الحصول على نتائج صلابات مساوية أو أقل من النتائج التجريبية حيث أن هذه المعادلة تعطي قيم صلابات أكبر من النتائج المخبرية.

لقد قمنا بإلباس منحني الصلابة–الدوران للنتائج التجريبية وفق مبدأ (الخطأ–الصواب) و للحصول على منحني ذو صلابات مساوية أو أقل من الصلابة التجريبية كما بالشكل (4-8)، (4-10).....الخ. و هذا قادنا لإضافة عامل جديد و هو الدوران الأولي للوصلة ϕ_0 حيث أن الدوران الأولي يلعب دور أساسي في سلوك الوصلة و دورانها و صلابتها و بالنتيجة حصلنا على المعادلة :

$$S(\phi) = S_p + \frac{(s_0 - s_p)}{\left[\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1} + \left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2}\right]^{1/n_2}} S_p\phi \qquad (4\text{-}24)$$

$$-\frac{1}{n_2}\left[\frac{(s_0 - s_p)\phi\left(\left(n_2\left(\frac{(s_0 - s_p)}{M_0}\right)\left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2-1}\right) - \left(\frac{1}{n_2\phi_u}\right)\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1-1}\right)}{\left[\left(\frac{\phi_u - \phi}{\phi_u}\right)^{n_1} + \left(\frac{(s_0 - s_p)\phi}{M_0}\right)^{n_2}\right]^{1+1/n_2}}\right]$$

$$-0.7 \times s_p \times \log\left(\frac{\phi_0 \times 10^4}{\phi}\right)$$

٤-٢-٤ إثبات صحة الطريقة المعدلة

للتحقق من صحة المعادلة المقترحة (4-24) لحساب صلابة الوصلة المعدنية، تم حل العديد من الأمثلة و مقارنة نتائج المعادلة المقترحة مع النتائج التجريبية و معادلة Richard-Abbott، سنشرح بعض الأمثلة:

تم أخذ نتائج التجارب من بحث Scerbo [72] حيث أن هذا البحث قام بجمع نتائج جميع التجارب على الوصلات و بجميع أنواعها و نشر هذا البحث بجامعة (مانيتوبا-كندا) (University of Manitoba)

مثال ١: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجائز (Flush End Plate Connections)

$M_0 = 51$ kN.m
$S_o = 9040$ kN.m/rad
$S_p = 205$ kN.m/rad
$n_1 = 0.752$
$n_2 = 1.518$
$Ø_u = 0.055$ rad
$Ø_0 = 0.0003$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربة [72] كما في الشكل (7-4) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحة و الموضحة بالعمود الثالث بالجدول (6-4) و باستخدام معادلة Richard-Abbott نحصل على العمود الرابع بنفس الجدول

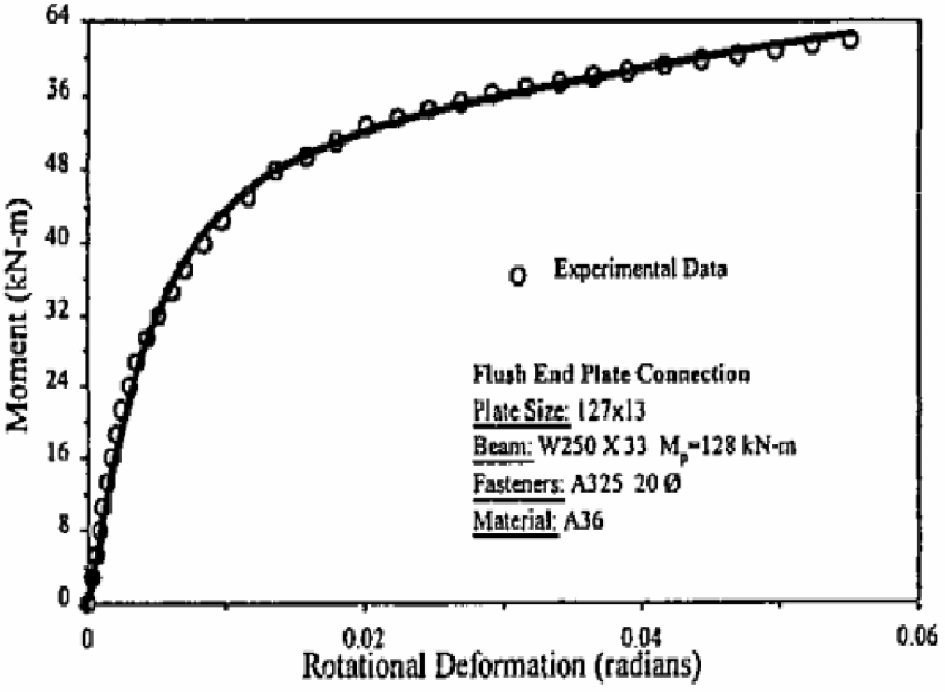


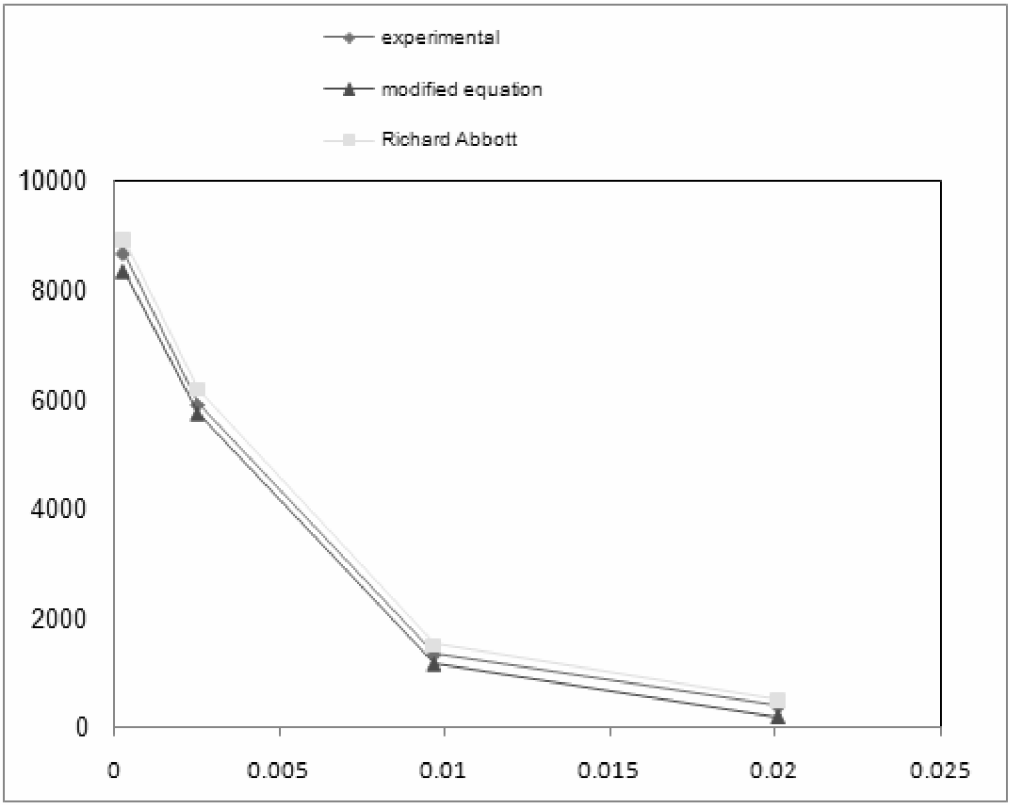
Figure 4.14 (a) M-ϕ curve for Ostrander: Test 1

الشكل (4–7) منحني العزم الدوران للمثال ١

الجدول (6-4): نتائج المثال ١

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد-أبوت (kN.m/rad)
0.0003	8663	8347	8921
0.0026	5898	5743	6183
0.0097	1328	1152	1509
0.0201	380	180	492

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (8-4)



الشكل (8-4) الصلابة-الدوران النسبي للوصلة

مثال ٢: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجـــائز (Flush End Plate Connections)

$M_0 = 44$ kN.m
$S_o = 8850$ kN.m/rad
$S_p = 190$ kN.m/rad
$n_1 = 2.111$
$n_2 = 1.055$
$Ø_u = 0.0525$ rad
$Ø_0 = 0.0002$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربـــة [72] كما في الشكل (9-4) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحـــة و الموضحة بالعمود الثالث بالجدول (7-4) .

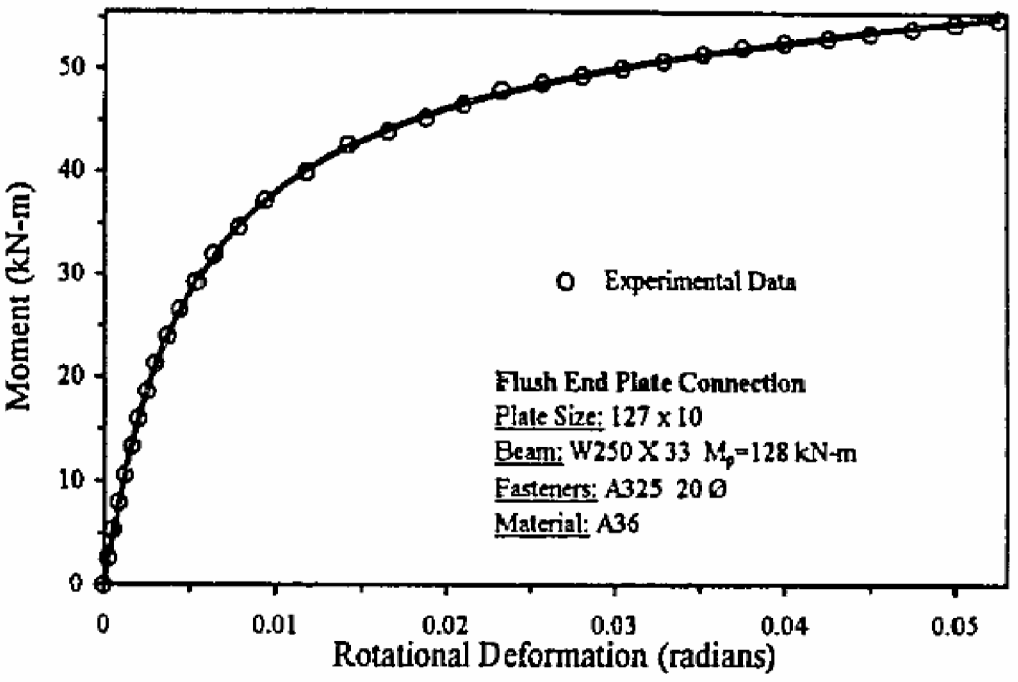


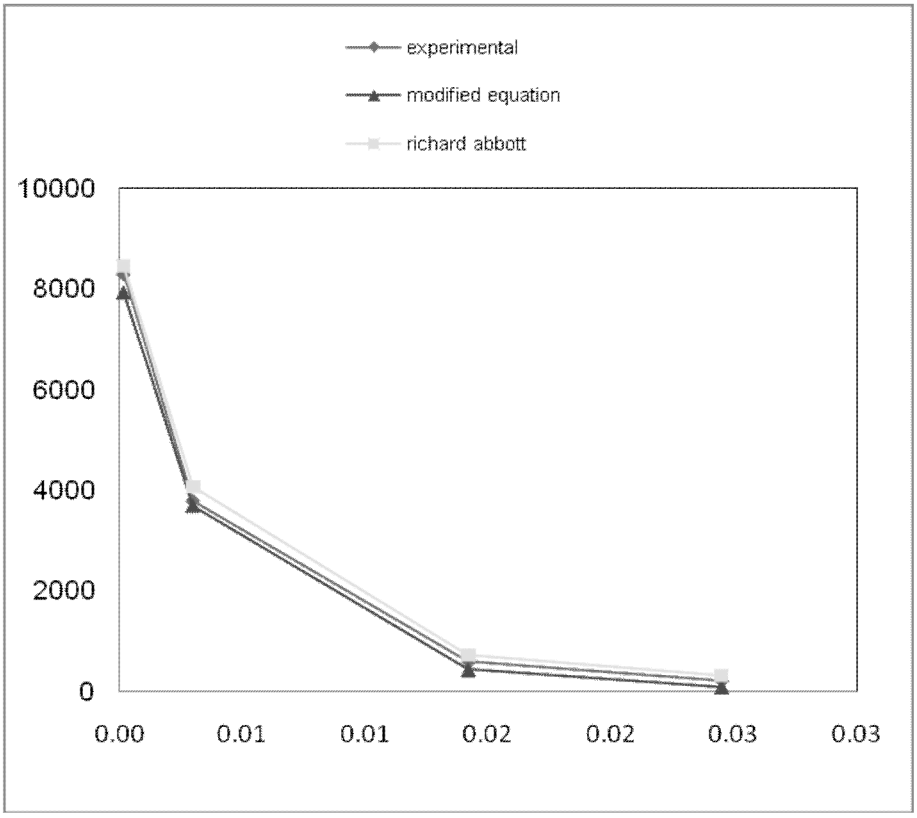
Figure A.194 (a) M-ϕ curve for Ostrander: Test 3

الشكل (9-4) منحني العزم الدوران للمثال ٢

الجدول (7-4): نتائج المثال ٢

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد-أبوت (kN.m/rad)
0.0002	8300	7920	8452
0.003	3792	3696	4065
0.0142	578	436	715
0.0257	312	89	204

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (10-4)



الشكل (10-4) الصلابة-الدوران النسبي للوصلة

مثال ٣: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجـــائز (Flush End Plate Connections)

$M_0 = 21$ kN.m
$S_o = 5000$ kN.m/rad
$S_p = 273$ kN.m/rad
$n_1 = -0.017$
$n_2 = 1.892$
$Ø_u = 0.036$ rad
$Ø_0 = 0.0002$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربـــة [72] كما في الشكل (4-11) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحـــة و الموضحة بالعمود الثالث بالجـــدول (4-8) و باســـتخدام معادلـــة Richard-Abbott نحصل على العمود الرابع بنفس الجدول.

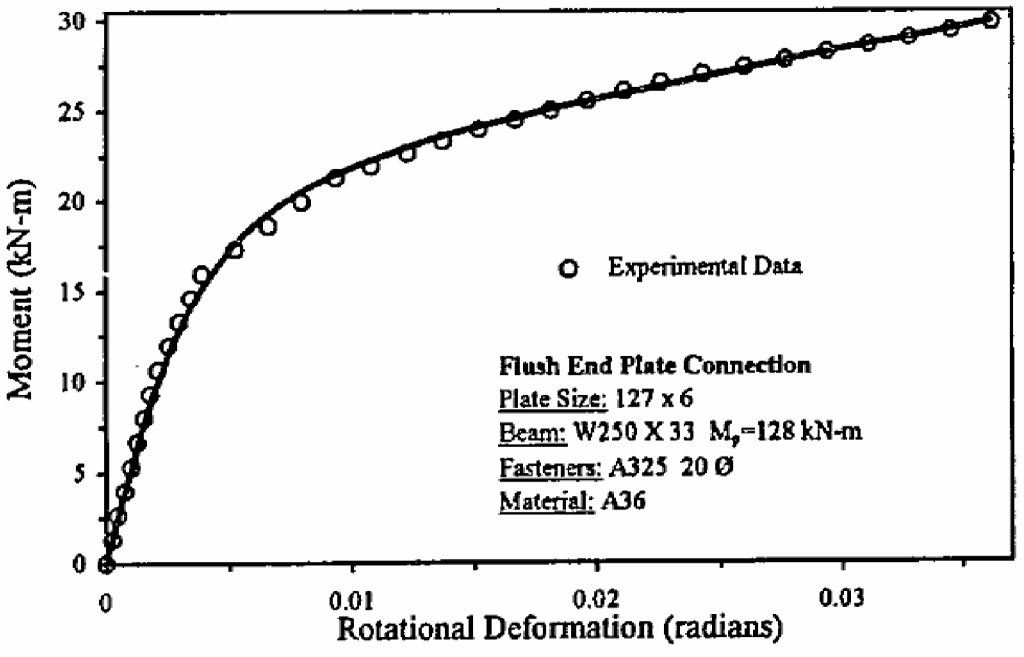


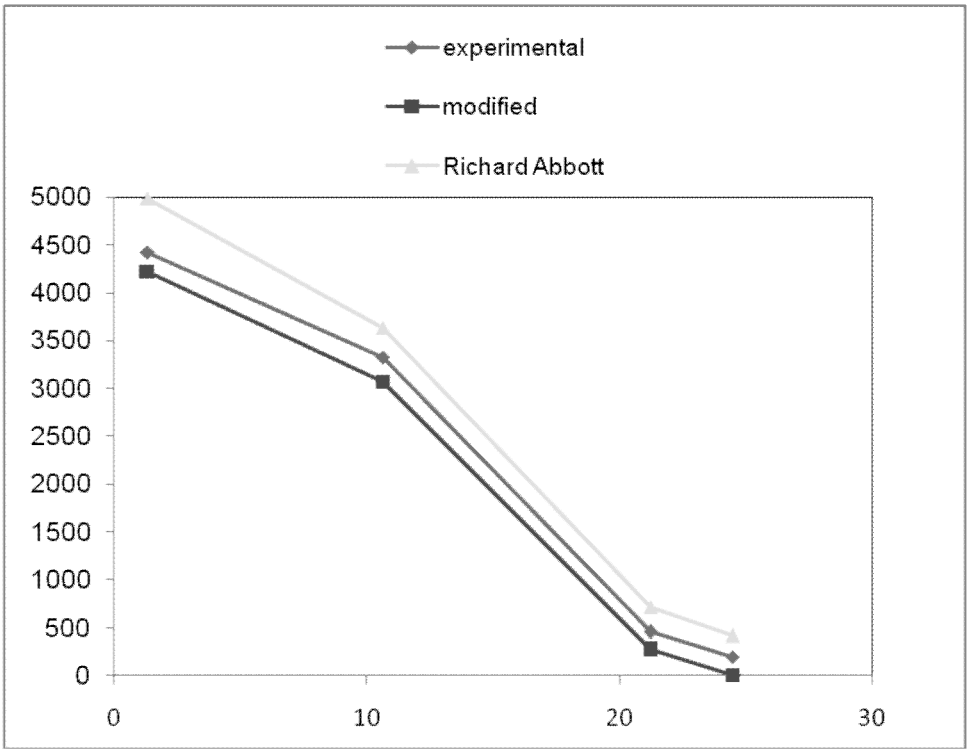
Figure A.195 (a) M-ϕ curve for Ostrander: Test 4

الشكل (4-11) منحني العزم الدوران للمثال ٣

الجدول (8-4): نتائج المثال ٣

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد-أبوت (kN.m/rad)
0.0002	4423	4222	4987
0.0022	3320	3068	3635
0.0093	452	266	711
0.0152	192	91	408

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (4-12)



الشكل (4-12) الصلابة-الدوران النسبي للوصلة

مثال ٤: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجـــائز (Flush End Plate Connections)

$M_0 = 54$ kN.m
$S_o = 13300$ kN.m/rad
$S_p = 220$ kN.m/rad
$n_1 = -0.027$
$n_2 = 1.337$
$Ø_u = 0.0591$ rad
$Ø_0 = 0.0001$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربـــة [72] كما في الشكل (4-13) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحـــة و الموضحة بالعمود الثالث بالجدول (4-9).

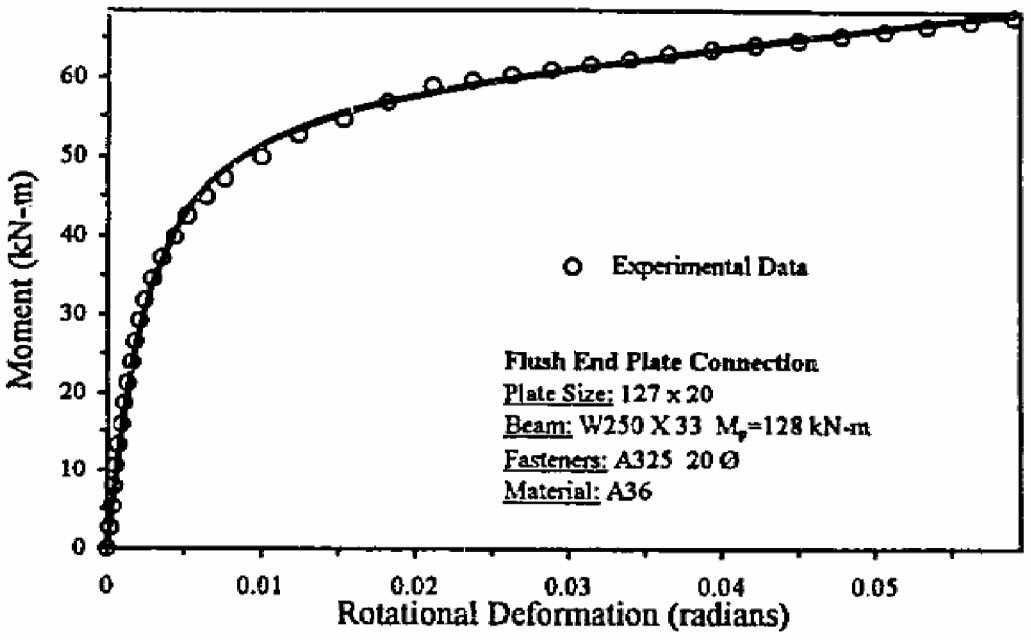


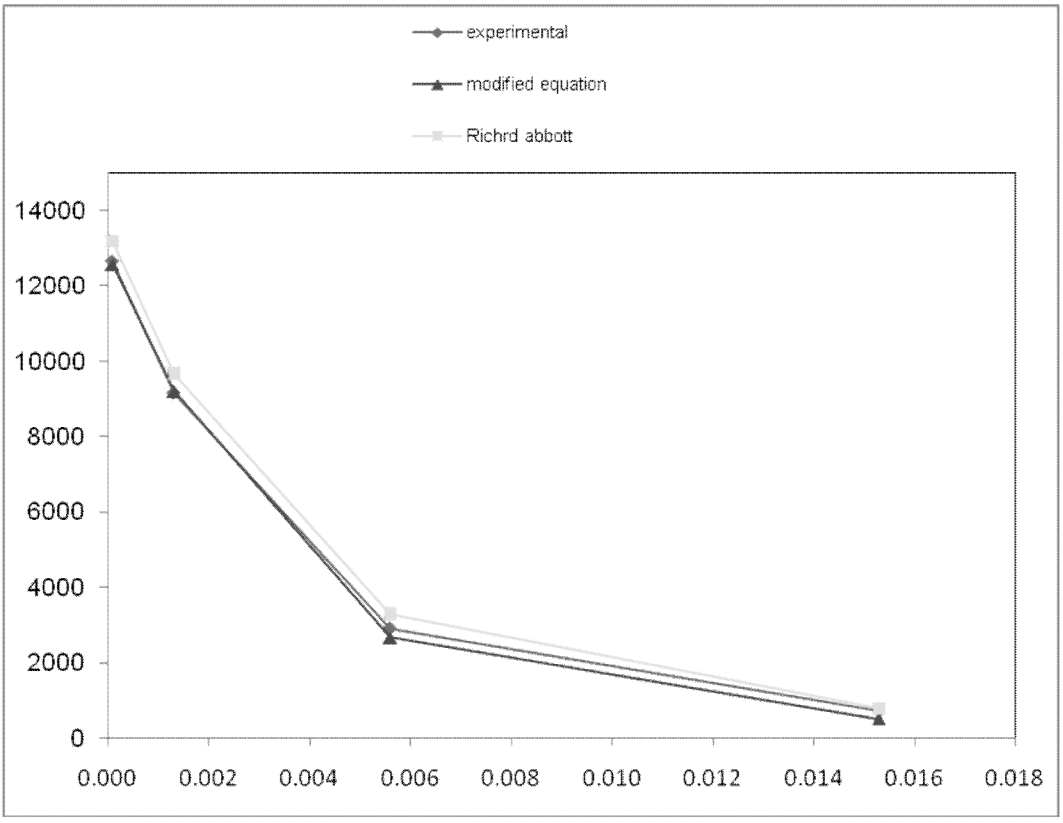
Figure A.196 (a) M-ϕ curve for Ostrander: Test 9

الشكل (4-13) منحني العزم الدوران للمثال ٤

الجدول (9-4): نتائج المثال ٤

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد-أبوت (kN.m/rad)
0.0001	12647	12559	13175
0.0013	9152	9198	9664
0.0056	2895	2668	3292
0.0153	702	504	777

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (14-4)



الشكل (14-4) الصلابة-الدوران النسبي للوصلة

مثال ٥: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection)

$M_0 = 76$ kN.m

$S_o = 23550$ kN.m/rad

$S_p = 1400$ kN.m/rad

$n_1 = 2.8$

$n_2 = 1.9$

$Ø_u = 0.0252$ rad

$Ø_0 = 0.0002$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة لهذه الوصلة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربة [72] كما في الشكل (4-15) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحة و الموضحة بالعمود الثالث بالجدول (4–10) و باستخدام معادلة Richard-Abbott نحصل على العمود الرابع بنفس الجدول

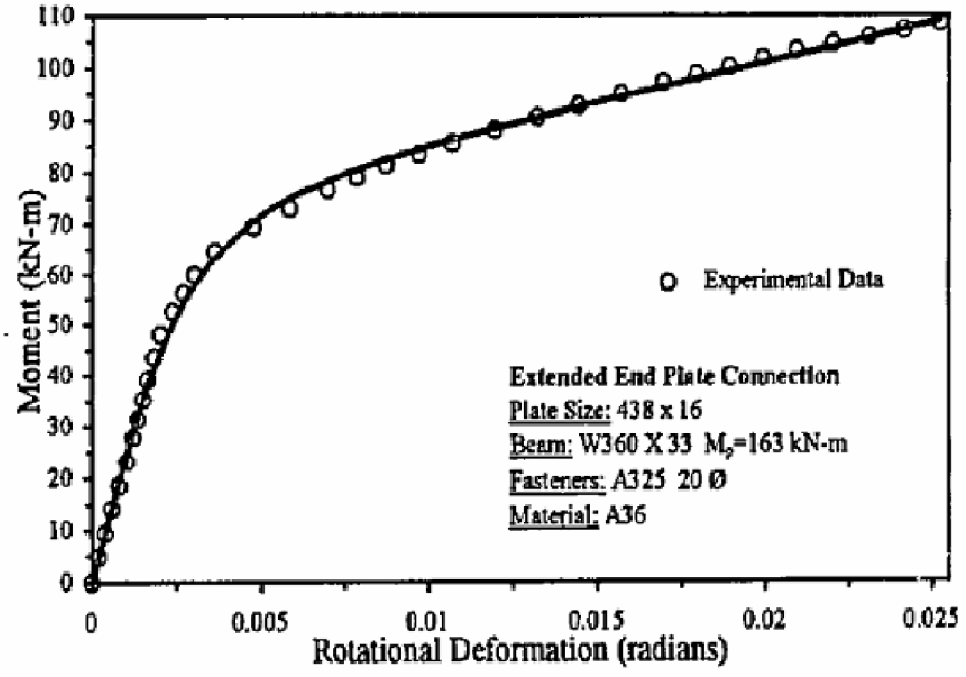


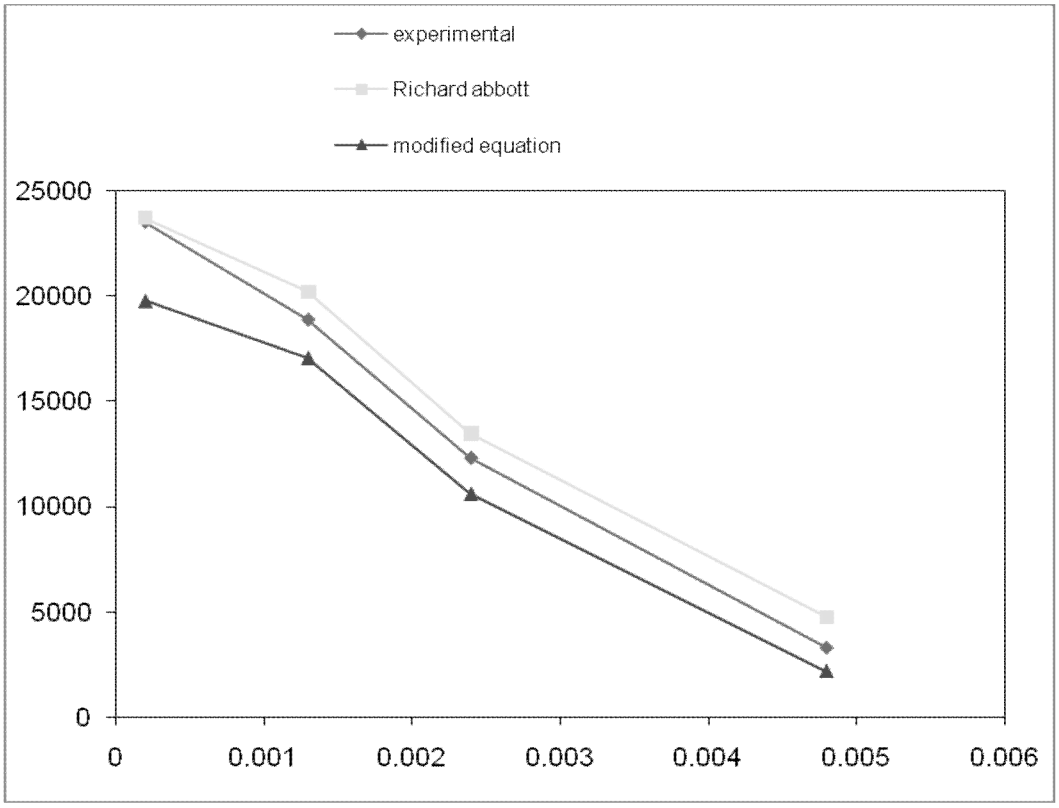
Figure A.217 (a) M-ϕ curve for Ioannides: Test 1

الشكل (4–15) منحني العزم الدوران للمثال ٥

الجدول (10-4): نتائج المثال ٥

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد-أبوت (kN.m/rad)
0.0002	23530	19784	23704
0.0013	18880	17075	20198
0.0024	12323	10604	13466
0.0048	3300	2167	4735

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (4-16)



الشكل (16-4) الصلابة-الدوران النسبي للوصلة

مثال ٦: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection)

$M_0 = 173$ kN.m

$S_o = 130000$ kN.m/rad

$S_p = 2200$ kN.m/rad

$n_1 = 0.267$

$n_2 = 1.409$

$Ø_u = 0.022$ rad

$Ø_0 = 0.0001$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة لهذه الوصلة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربة [72] كما في الشكل (4-17) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحة و الموضحة بالعمود الثالث بالجدول (4–11) .

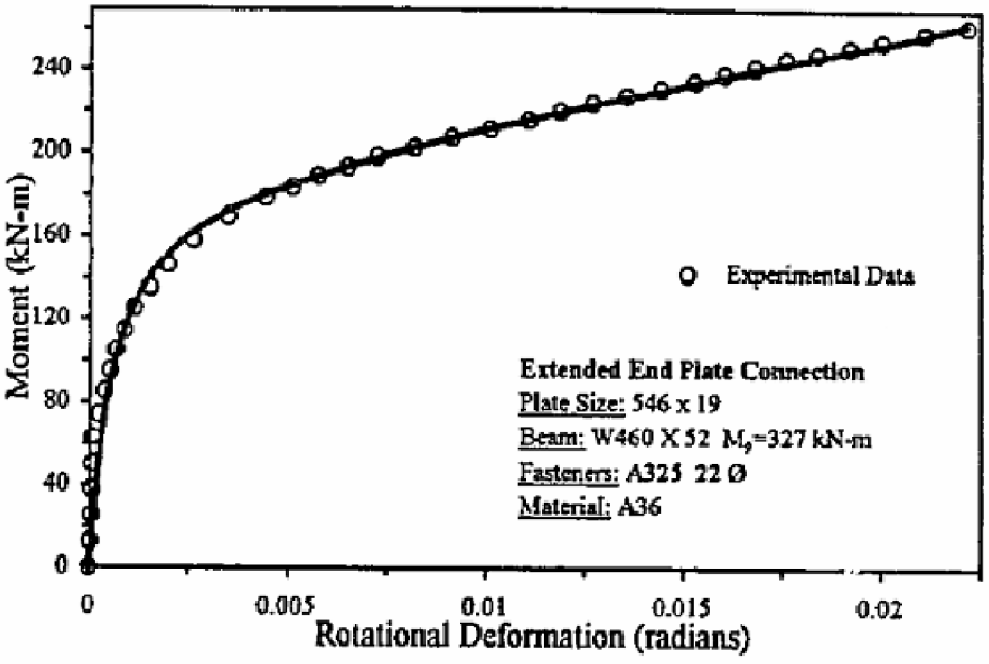


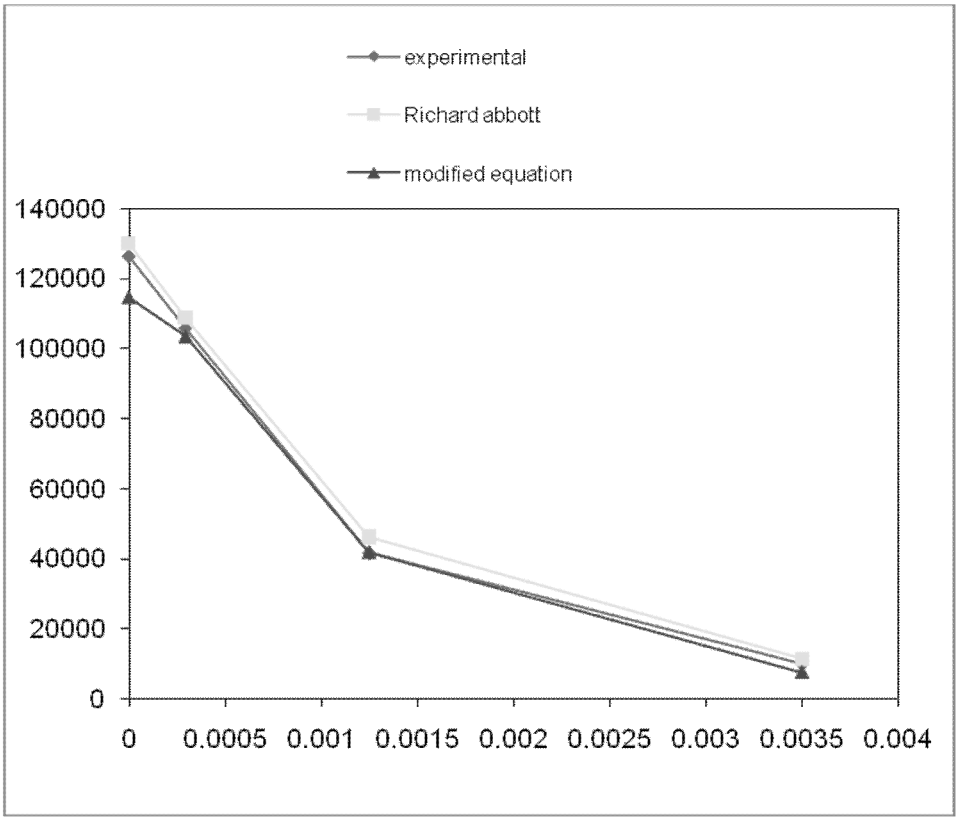
Figure A.218 (a) M-ϕ curve for Ioannides: Test 2

الشكل (4–17) منحني العزم الدوران للمثال ٦

الجدول (11-4): نتائج المثال ٦

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد-أبوت (kN.m/rad)
0.0001	126270	114600	130000
0.0003	105771	103478	108915
0.0013	41692	41840	46314
0.0035	10054	7664	11446

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (4-18)



الشكل (18-4) الصلابة-الدوران النسبي للوصلة

مثال ٧: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection)

$M_0 = 235$ kN.m

$S_o = 130000$ kN.m/rad

$S_p = 4160$ kN.m/rad

$n_1 = 1.176$

$n_2 = 0.758$

$Ø_u = 0.0118$ rad

$Ø_0 = 0.0001$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة لهذه الوصلة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربة [72] كما في الشكل (19-4) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحة و الموضحة بالعمود الثالث بالجدول (12-4) و باستخدام معادلة Richard-Abbott نحصل على العمود الرابع بنفس الجدول

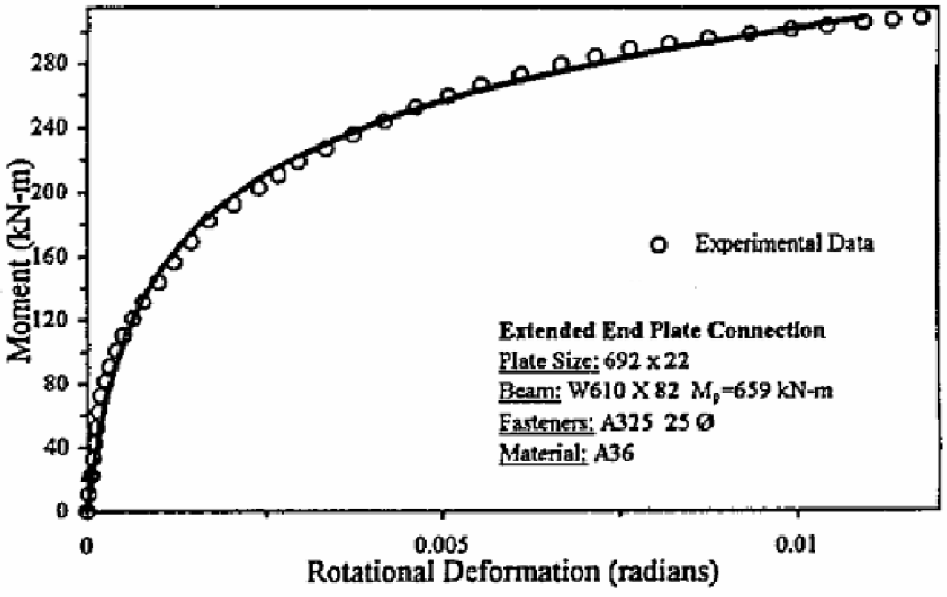


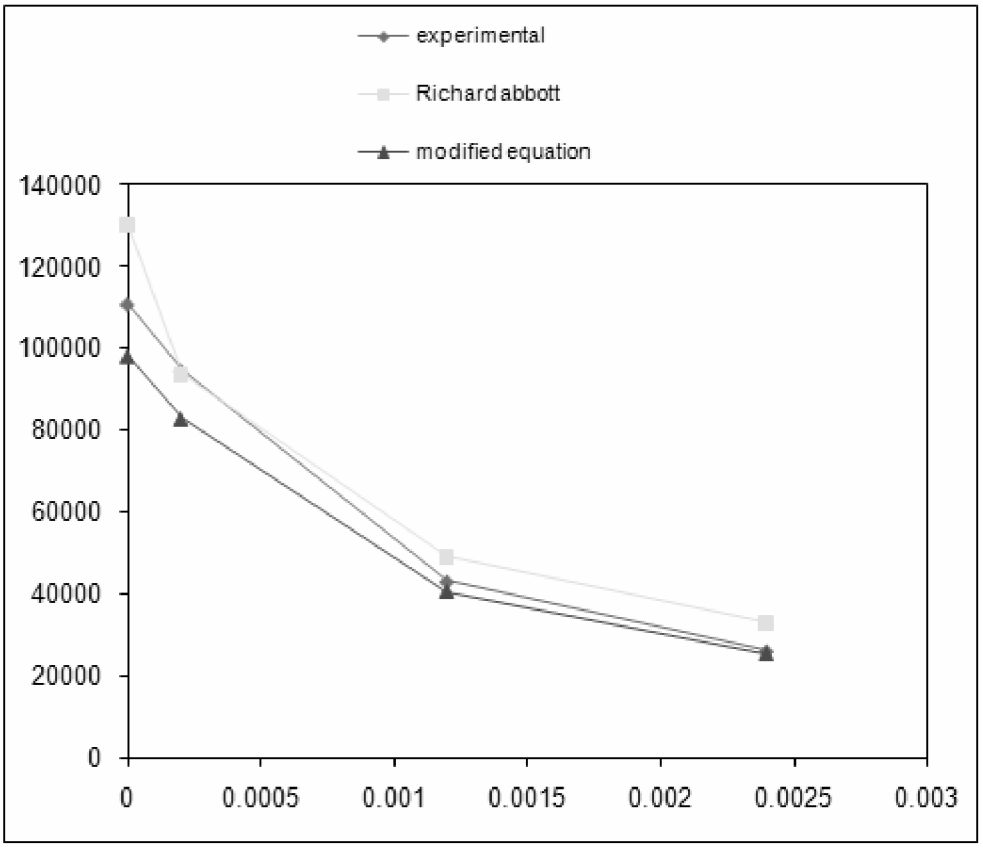
Figure A.219 (a) M-ϕ curve for Ioannides: Test 3

الشكل (19-4) منحني العزم الدوران للمثال ٧

الجدول (4–12): نتائج المثال ٧

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد–أبوت (kN.m/rad)
0.0001	110560	97968	130000
0.0002	94420	82714	93485
0.0012	42967	40512	49017
0.0024	26066	25236	32864

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (4-20)



الشكل (4–20) الصلابة–الدوران النسبي للوصلة

مثال ٨: نوع الوصلة هو وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection)

$M_0 = 97$ kN.m

$S_o = 61000$ kN.m/rad

$S_p = 1350$ kN.m/rad

$n_1 = 0.345$

$n_2 = 0.969$

$Ø_u = 0.02$ rad

$Ø_0 = 0.0001$ rad

بأخذ قيم الدورانات المختلفة لهذه الوصلة و الناتجة عن العزوم المطبقة خلال مراحل التجربة [72] كما في الشكل (4-21) نستطيع حساب صلابة الوصلة باستخدام المعادلة المقترحة و الموضحة بالعمود الثالث بالجدول (4–13) و باستخدام معادلة ريتشارد–أبوت نحصل على العمود الرابع بنفس الجدول

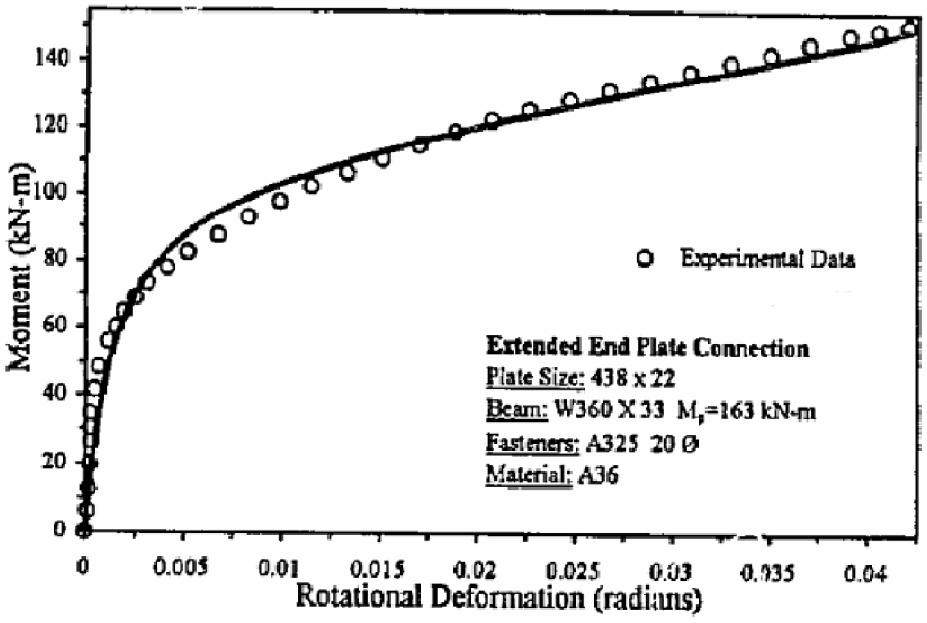


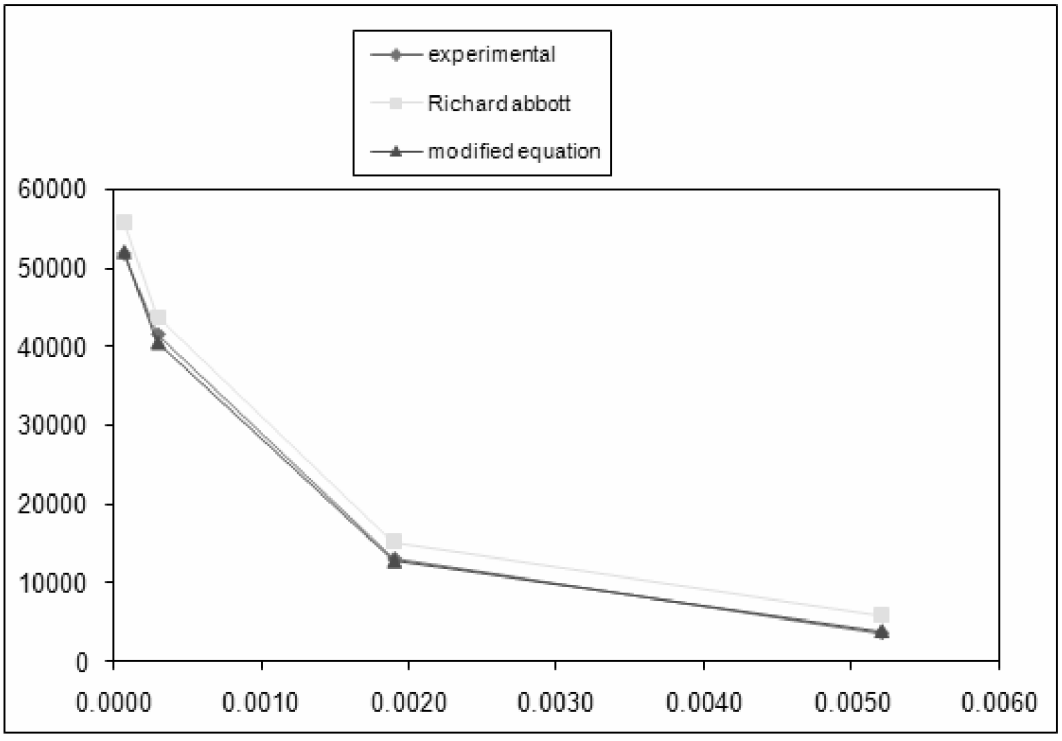
Figure A.220 (a) M-ϕ curve for Ioannides: Test 4

الشكل (4–21) منحني العزم الدوران للمثال ٨

الجدول (13-4): نتائج المثال ٨

الدوران (radians)	صلابة الوصلة		
	النتائج التجريبية (kN.m/rad)	المعادلة المقترحة (kN.m/ rad)	ريتشارد-أبوت (kN.m/rad)
0.0001	51908	52121	55902
0.0003	41665	40572	43755
0.0019	13020	12724	15150
0.0052	3788	3787	5799

برسم النتائج بيانيا نحصل على الشكل (22-4)



الشكل (22-4) الصلابة-الدوران النسبي للوصلة

بمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها في جميع الأمثلة السابقة نجد بأن علاقة Richard-Abbott أعطت قيم صلابات لأنواع الوصلات المختلفة أكبر من النتائج المخبرية و هذا غير آمن للتصميم، بينما نجد بأن نتائج الطريقة المعدلة أعطت قيم

صلابات تساوي أو أقل من النتائج المخبرية و خصوصاً عند المرحلة المرنة لدوران الوصلة و هذا ما يؤكد صحة هذه الطريقة.

الفصل الخامس

التجارب المخبرية

٥-١ الهدف

إن التجارب المخبرية لهذا البحث صممت لدراسة سلوك وصلة صفيحة قمة العمود (Cap plate connection) و التي تستخدم بشكل واسع في الإطارات المعدنية ذات الطابق الواحد و مقارنة صلابتها مع صلابة وصلة الصفيحة الممتدة (Extended end plate connection) ذات مقاطع مطابقة لعينات وصلة صفيحة قمة العمود. أجريت الاختبارات على أربع وصلات من وصلة صفيحة قمة العمود و وصلتين من نوع وصلة الصفيحة الممتدة و ذلك لقياس العلاقة بين العزم المطبق و دوران العقدة ولتحديد نسبة صلابة وصلة صفيحة قمة العمود بالنسبة لصلابة وصلة الصفيحة الممتدة (والتي تمثل وصلة العزم الصلبة).

تم استخدام تجربة الظفر التقليدي (Traditional Cantilever Test Setup) [32, 33, 49, 83] لإيجاد العلاقة بين العزم و الدوران. تم حساب العزم المطبق على العقدة باستخدام معادلات التوازن الستاتيكية عند المحور المركزي للعمود.

إن العناصر الأساسية في التجارب هي المقطع العرضي للجائز و سماكة الجناح السفلي للجائز و قطر البرغي حيث تم فحص تأثير العناصر المختلفة على القوة والصلابة الدورانية للعقدة من خلال تنفيذ عدد من التجارب.

إن الهدف الأساسي للتجارب هي إنشاء منحنيات العزم – الدوران لوصلة صفيحة قمة العمود و مقارنة صلابتها مع صلابة وصلة الصفيحة الممتدة و إثبات بأن وصلة صفيحة قمة العمود هي وصلة شبه صلبة تسمح بالدوران أكثر من وصلة العزم التقليدية وبالتالي إعادة توزيع العزوم في الجوائز لتعطي مقاطع أكثر اقتصاداً.

إن نتائج التجارب سوف تضيف معلومات مهمة و قيمة لمعطيات الاختبارات المتوفرة في مجال أبحاث العقد المعدنية و ذلك بسبب قلة المعطيات المتوفرة بالأبحاث

السابقة حول وصلة صفيحة قمة العمود. في هذا الفصل سيتم توضيح كيفية تصميم العينات و تركيبها و كذلك الأجهزة المستخدمة في التجارب و مراحل الاختبار.

٥-٢ العينات المخبرية

إن العينات المختارة في التجارب هي عبارة عن جسر ظفري و عمود و يمثلان جزءاً من إطار مقاوم للعزوم. إن الشكل A(1-5) يوضح عينة صفيحة قمة العمود والشكل B(1-5) يوضح عينة الصفيحة الممتدة المستخدمة في التجارب.

تم اختيار مقاطع الجسور و الأعمدة لتناسب التجهيزات المخبرية المتوفرة و أن تكون أقرب للتنفيذ في الواقع. و قد تم تحضير أربع عينات وصلة صفيحة قمة العمود بمقاطع مختلفة للجسور و الأعمدة و أقطار مختلفة للبراغي المستخدمة و وصلتين من نوع وصلة الصفيحة الممتدة مقاطع مطابقة لعينات وصلة صفيحة قمة العمود.

٥-٢-١ تفاصيل العينات

تم اختيار أبعاد العينات الستة بحيث تكون مقاطعها متراصة و ذلك لإلغاء تأثير التحنيب الموضعي خلال التجربة.

إن الشكل (2-5) يوضح تفاصيل تركيب الوصلة و الجدول (1-5) يوضح أبعاد صفائح الجناح و صفائح الجسد للجائز و العمود لكل عينة.

تتألف كل عينة من عمود مع صفيحة غطاء ملحومة عند أعلى العمود، و فوق العمود يوجد جائز ظفري بطول ٩٠ سم و مثبت بصفيحة غطاء العمود. الجائز موصول بستة براغي مع صفيحة غطاء العمود حيث يوجد أربع براغي في الجانب الذي يتعرض للشد و برغيين في جانب الضغط.

تم لحام صفائح تقوية على جسد و جناح الجائز و ذلك لمنع التحنيب الموضعي لجسد الجائز وكانت صفائح التقوية في مكانين: ١- عند الوصلة. ٢- تحت الحمولة المطبقة كما هو موضح بالشكل A(1-5).

٥-٣ تجهيز التجربة:

إن تجهيز الاختبار يعتبر المرحلة الأولى من التجربة حيث تم تصميم العينة وتركيبها و اختبارها في مخبر البيتون و الإنشاء في جامعة حلب.

٥-٣-١ نظام تثبيت العينة:

تم تصميم و تصنيع قاعدة معدنية خاصة لاستخدامها بالتجربة لتثبيت العينة وأبعادها 120x50 cm كما هو موضح بالشكل (3-5). تتألف القاعدة المعدنية من جوائز IPE160 و يتم تثبيتها مع أرضية المكبس الهيدروليكي بواسطة ستة قضبان بقطر 30mm. يتم تثبيت العمود مع القاعدة المعدنية باستخدام ثمانية براغي أميال بقطر 18mm وهذه البراغي بدورها تكون ملحومة مع القاعدة المعدنية كما هو موضح بالشكل (4-5).

تم تثبيت العمود جانبيا بواسطة زاوية تصالبية مائلة 7x7cm كما هو موضح بالشكل (5-5) و ذلك لإلغاء تأثير تشوه الانعطاف للعمود و كذلك لمنع الحركة الجانبية حول المحور القوي.

و لمنع حركة العمود حول المحور الضعيف تم لحام زاويتين 7x7cm أفقيتين مع جسد العمود كما موضح بالشكل (5-5)

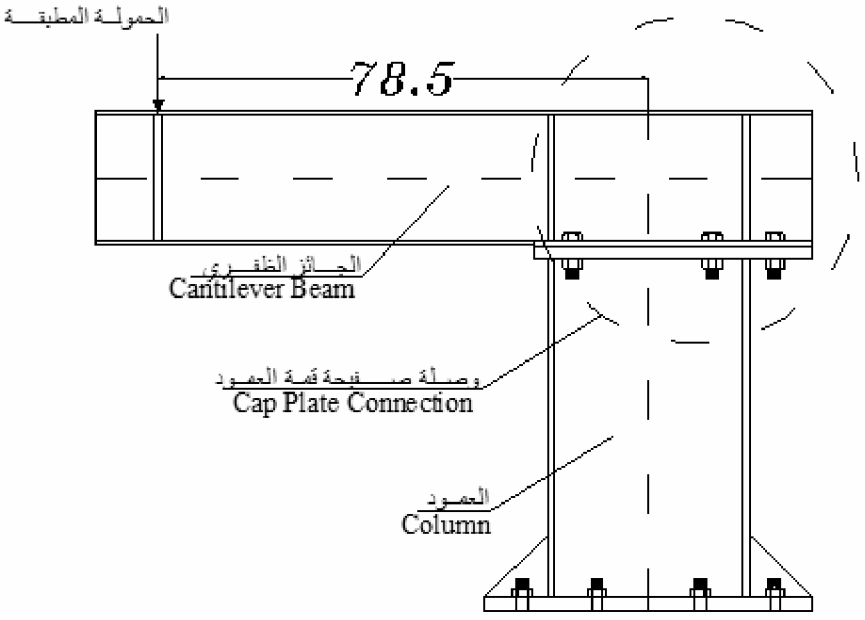
٥-٣-٢ التثبيت الجانبي عند نهاية الجسر:

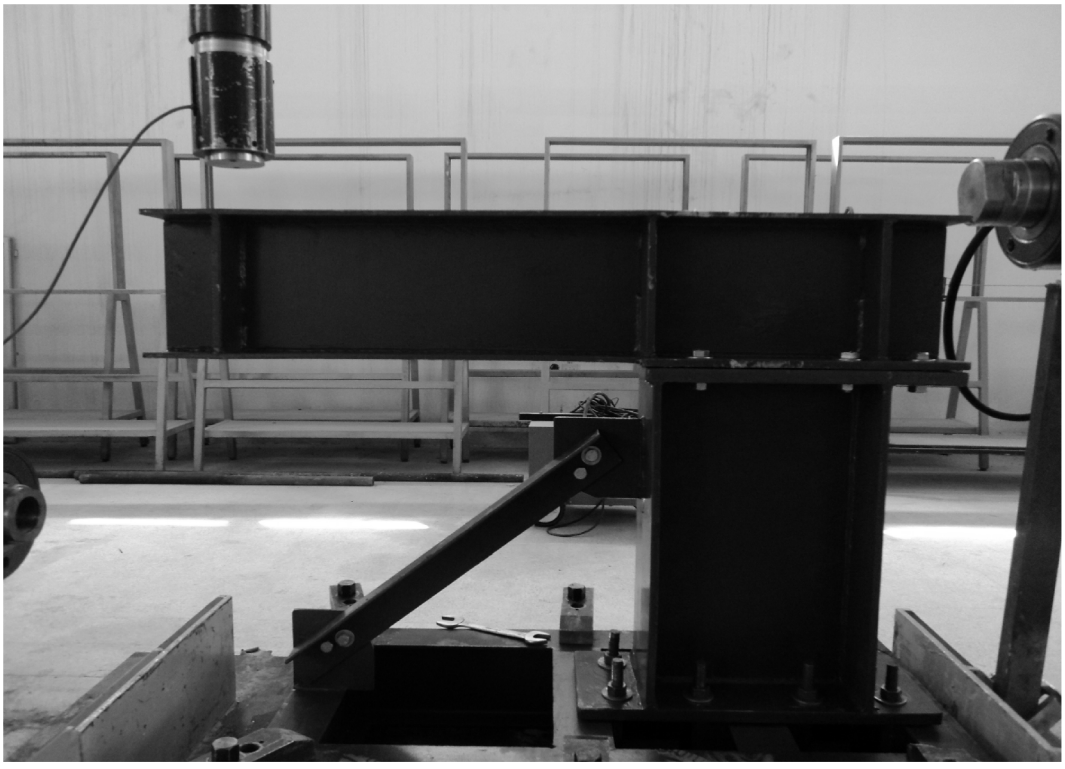
تم تثبيت النهاية الحرة للجائز لمنع الحركة الجانبية عند نهاية الظفر أثناء تحميل العينة و ذلك بواسطة زاويتين شاقوليتين ملحومتين مع القاعدة المعدنية كما هو موضح بالشكل (6-5). تم وضع مادة شحمية بين الزاويتين و الجائز لمنع أي احتكاك يمكن أن يحصل بين الزاوية و الجائز و لتسمح بالانتقال الشاقولي السهل أثناء الاختبار.

٥-٣-٣ خصائص المواد و التصنيع:

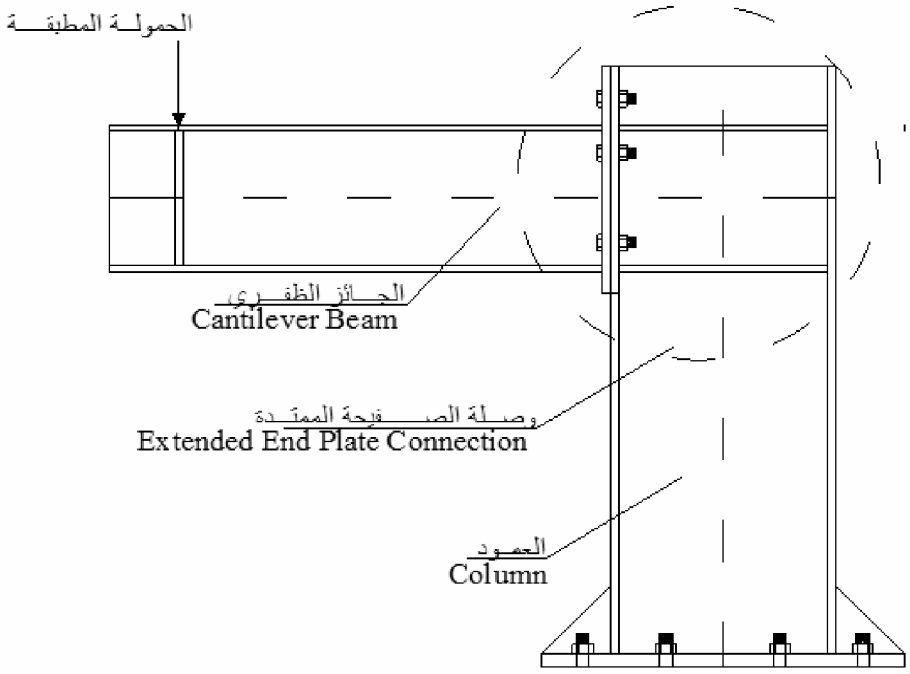
إن المواد المستخدمة في تصنيع مكونات العينات (الجوائز، الأعمدة، الصفائح) هي من نوع الحديد ST37 ذي إجهاد الخضوع f_y=240MPa و عامل مرونة E=200000 MPa و البراغي المستخدمة لوصل أجزاء العينة هي من البراغي عالية المقاومة M8.8 و التي تستخدم بشكل واسع في المنشآت المعدنية. أما ثقوب البراغي فتم تثقيبها بقطر أكبر ب 2mm من قطر البرغي.

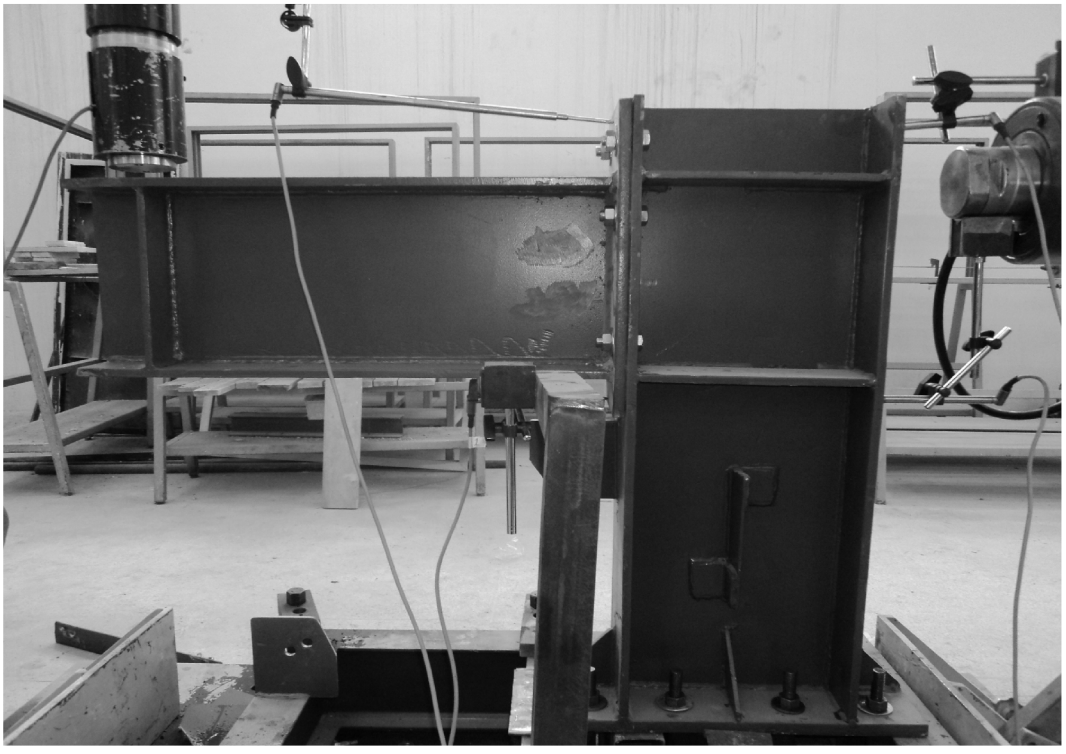
تم تصنيع جميع العينات في شركة الشهابي للمنشآت المعدنية و باستخدام المعايير المتبعة بالشركة.



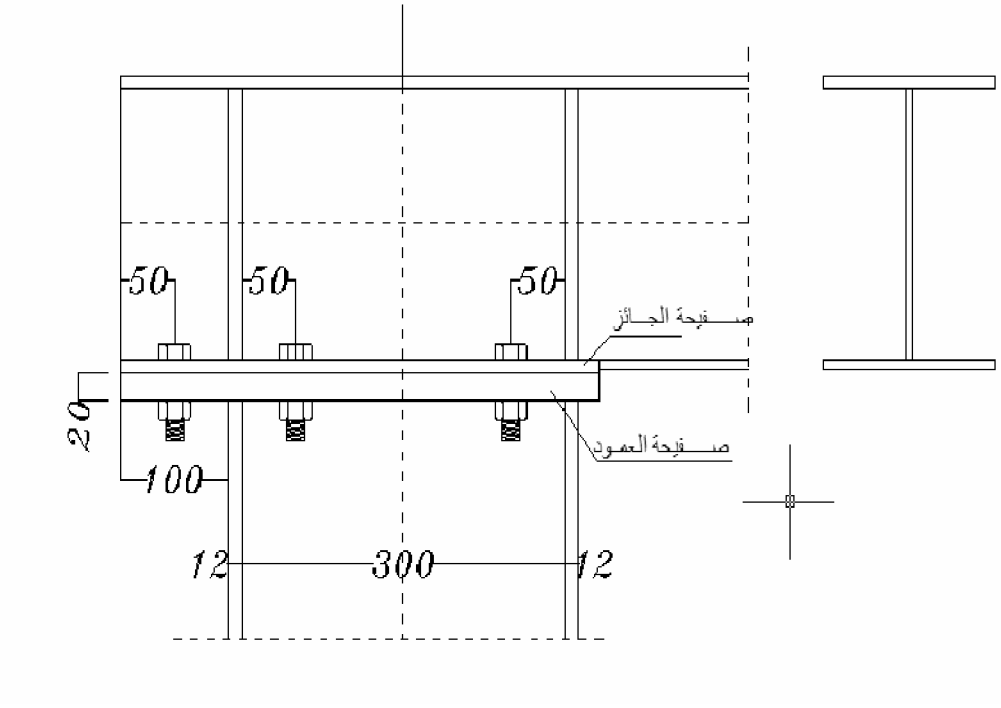


الشكل A(1-5): وصلة صفيحة قمة العمود





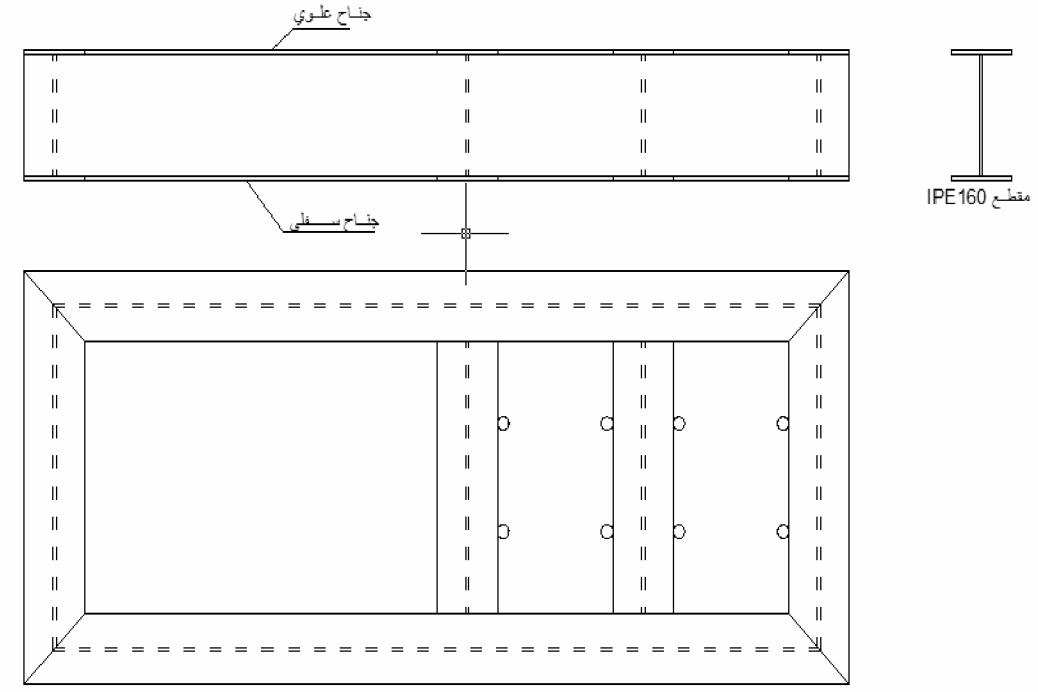
الشكل B(1-5): وصلة الصفيحة الممتدة

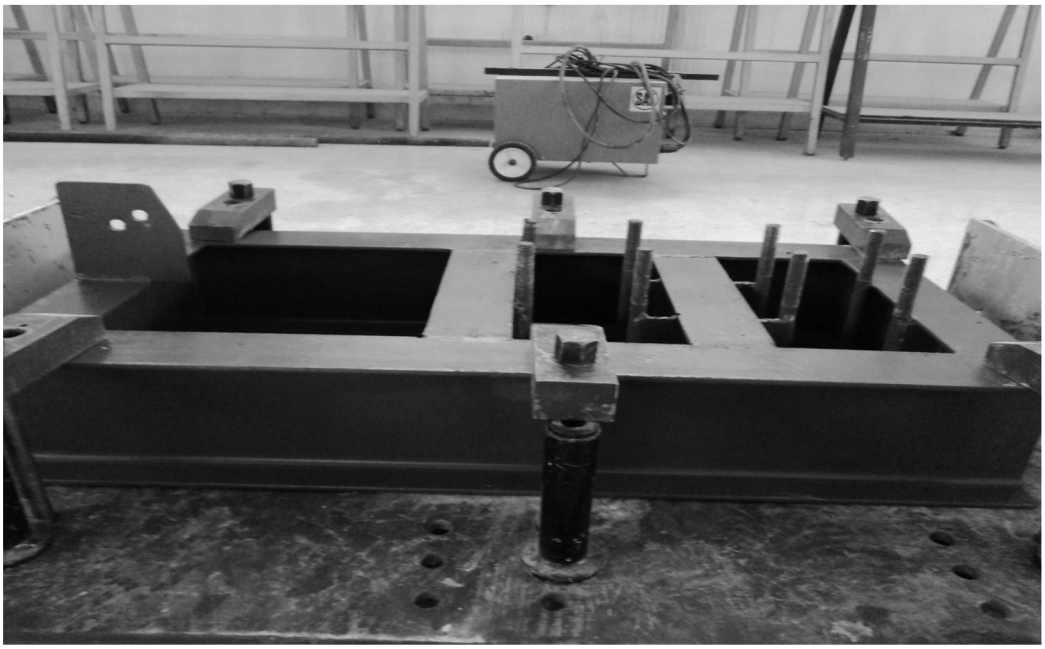


الشكل (2-5): أبعاد العينة

الجدول (1-5): تفاصيل العينات (الواحدات بالميلليمتر)

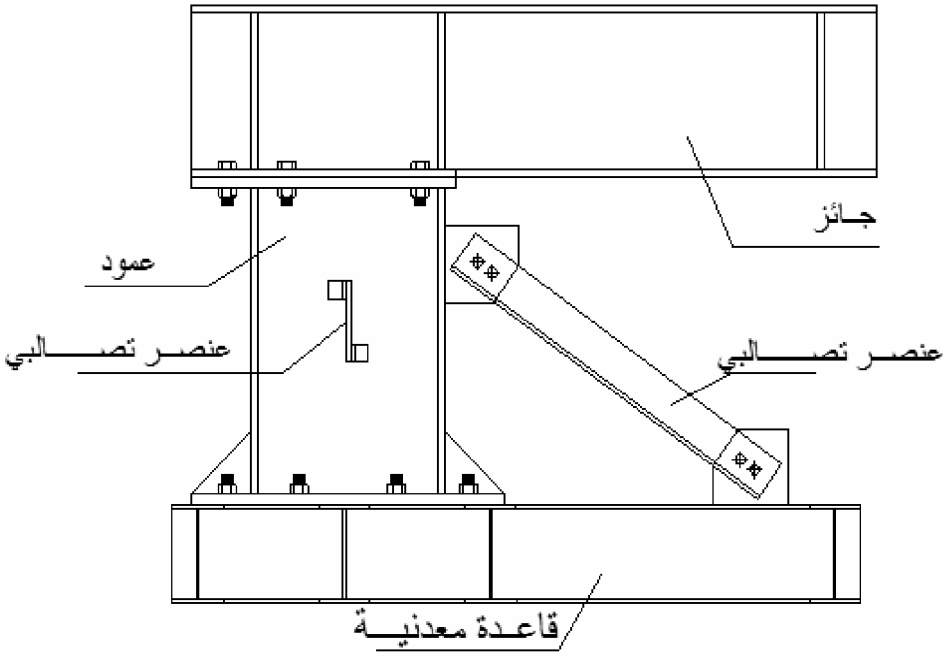
		الجائز			العمود			
رقم العينة	نوع الوصلة	الجناح	الجسد	صفيحة الجائز	الجناح	الجسد	صفيحة غطاء العمود	قطر البرغي
ع١	قمة العمود	٨×١٦٠	٦×٢٠٠	٨×٢٠٠	١٢×٢٠٠	٨×٣٠٠	١٦×٢٠٠	١٦
ع٢	قمة العمود	٨×١٦٠	٦×٢٠٠	١٢×٢٠٠	١٢×٢٠٠	٨×٣٠٠	٢٠×٢٠٠	١٦
ع٣	قمة العمود	١٢×١٦٠	٨×٢٥٠	١٢×١٦٠	١٢×٢٠٠	٨×٣٠٠	١٦×٢٠٠	١٦
ع٤	قمة العمود	١٢×١٦٠	٨×٢٥٠	٢٠×١٦٠	١٢×٢٠٠	٨×٣٠٠	٢٠×٢٠٠	٢٢
ع٥	الصفيحة الممتدة	١٢×١٦٠	٨×٢٥٠	١٢×١٦٠	١٢×٢٠٠	٨×٣٠٠	١٦×٢٠٠	١٦
ع٦	الصفيحة الممتدة	١٢×١٦٠	٨×٢٥٠	٢٠×١٦٠	١٢×٢٠٠	٨×٣٠٠	٢٠×٢٠٠	٢٢



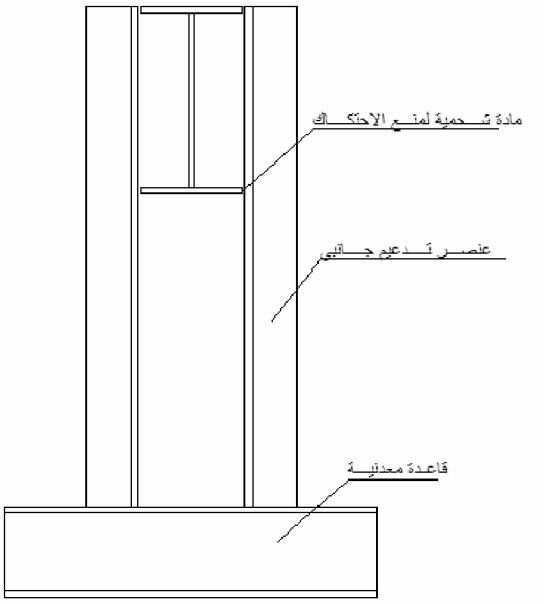


الشكل (3-5): القاعدة المعدنية

الشكل (4-5): براغي أميال عدد /٨/ و قطر /١٨/ملم



الشكل (5-5): نظام التثبيت التصالبي



الشكل (6-5): نظام التثبيت الجانبي عند نهاية الجسر

٥-٣-٤ تجميع العينة:

تم تثبيت القاعدة المعدنية مع أرضية المكبس الهيدروليكي بواسطة قضبان معدنية أولاً و ذلك في المكان المناسب بالنسبة لمكان التحميل. بعد ذلك تم وضع العمود و تثبيت قاعدته مع القاعدة المعدنية.تم تثبيت العنصر التصالبي الذي يربط أعلى العمود مع القاعدة المعدنية.

بعد ذلك تم وصل الجائز بالعمود. و عند النهاية الحرة للجائز تم وضع نظام استناد جانبي حيث تم ترك فراغ صغير بين الجائز و المسندين الشاقوليين و تم تشحيم جوانب المسندين الشاقوليين و ذلك لمنع تأثير أي احتكاك بين الجائز و المسندين.

٥-٤ أجهزة القياس في التجربة:

إن الهدف الرئيسي من الأجهزة هو قياس العلاقة بين العزم و الدوران للوصلة و هذه الأجهزة هي:

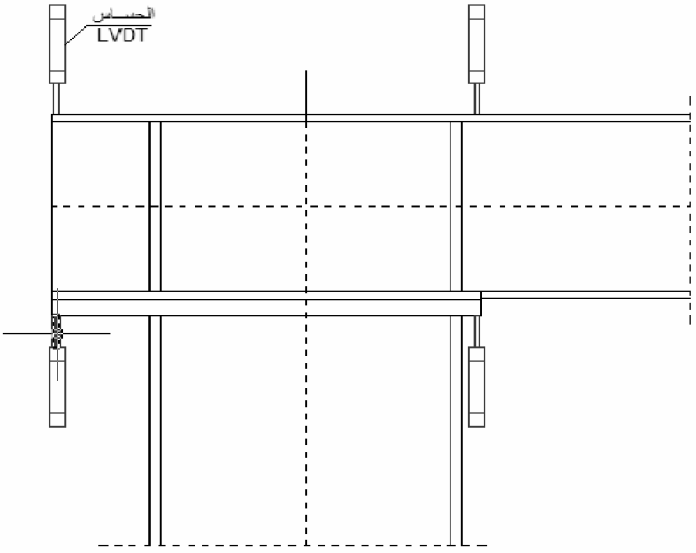
٥-٤-١ الحساسات LVDT (Linear Voltage Displacement Transducers):

تم استخدام حساسات باستطاعة قياس 25mm عدد \2\ و استطاعة قياس 10mm عدد \1\ و استطاعة قياس 100mm عدد \1\ و هي الحساسات المتوفرة بالمخبر و ذلك لقياس الانتقالات في أماكن متعددة على وصلة الجائز-العمود.

تمت الإشارة لأماكن توضع الحساسات في الشكل (7-5).

٥-٤-٢ المضخم

المضخم جهاز موصول بالحساسات و مهمته نقل القراءات من الحساسات إلى الكمبيوتر كما هو موضح بالشكل (8-5).



الشكل (7-5): أماكن توضع الحساسات

الشكل (8-5): المضخم

٥-٥ مراحل التجربة:

٥-٥-١ تدقيق تركيب العينة و أجهزة القياس:

تم تثبيت العمود أولاً على أرضية المكبس الهيدروليكي. بعد ذلك تم تثبيت أنظمة الاستناد الجانبية و المائلة لتثبيت العمود. تم رفع الجائز و وضعه على العمود.

تم تثبيت الزوايا الشاقولية و التي تسند عند نهاية الجسر و تم تشحيمها لتسمح بانزياح شاقولي للجائز أثناء عملية التحميل. بعد ذلك تم شد البراغي بشكل محكم.

تم تركيب جميع الحساسات بأماكنهم المناسبة. و تم وصل كبال الحساسات مع المضخم باعتماد الأرقام لكل حساس.

٥-٥-٢ تطبيق الحمولة:

تم تطبيق حمولة صغيرة لتجريب خلية الحمولة و تم أخذ القراءات من جميع الحساسات للتأكد من عملهم كما هو متطلب. تم قياس الحمولة المطبقة بواسطة خلية الحمولة و هي موصولة إلى المضخم حيث يتم قراءة الحمولة المطبقة أوتوماتيكياً.

تم تطبيق الحمولة بشكل بطيء وبعدها تمت زيادة السرعة على مراحل. تم إيقاف التحميل عند الانهيار والذي يلاحظ من خلال تشوه الجائز والوصلة.

٥-٥-٣ تسجيل معطيات الاختبار

تم تحميل كل عينة بشكل بطيء و تم زيادة التحميل تدريجيا. تم أخذ القراءات من جميع الحساسات بمعدل خمس و عشرون قراءة بالثانية و تم تسجيلها على الكمبيوتر. عند نهاية كل تجربة تقوم بإزالة العينة المختبرة و التحضير للعينة الجديدة.

الفصل السادس

النتائج و نمذجة العينة التجريبية

٦-١ مقدمة

سنناقش في هذا البحث النتائج التجريبية للاختبارات الستة التي تم اختبارها في مخبر البيتون و الإنشاء في جامعة حلب. حيث تم إعطاء أبعاد العينات في الجدول (1-5). سيتم تقديم نتائج التجارب و سنناقشها و سيتم تفسير النقاط التالية:

١- منحني العزم الدوران: تم رسم المخطط البياني باعتماد القراءات الناتجة عن الحساسات (LVDT).

٢- شكل الانهيار: يجب ملاحظة بأنه في جميع الاختبارات تم إيقاف التحميل عند الانهيار و ذلك عندما أعطت الوصلة تشوهاً مرئياً و واضح حيث تمت ملاحظة عدم زيادة قيمة التحميل و تترافق مع زيادة بالتشوهات.

بالاعتماد على أبعاد العينة المعطى بالجدول (1-5) تم تقسيم العينات إلى ثلاث مجموعات.

- المجموعة الأولى(أ) و تتألف من العينتين ع١، ع٢ حيث لهما نفس أبعاد مقطع الجائز و لكن العينة ع٢ لها سماكة أكبر لصفيحة الجائز و سماكة أكبر لصفيحة العمود. نوع الوصلة هو وصلة قمة العمود.
- المجموعة الثانية(ب) و تتألف من العينتين ع٣، ع٤ حيث لهما نفس أبعاد مقطع الجائز و لكن العينة ع٤ لها سماكة أكبر لصفيحة الجائز و سماكة أكبر لصفيحة العمود من العينة ع٣. نوع الوصلة هو وصلة قمة العمود (Connection Cap Plate).
- المجموعة الثالثة (ت) تتألف من العينتين ع٥ ، ع٦ و هاتان العينتان لهما نفس مقطع العينتين ع٣ ، ع٤ على التتالي و الاختلاف يكون في نوع الوصلة حيث أن الوصلة في العينتين ع٥ ، ع٦ هي وصلة الصفيحة الممتدة Extended End Plate Connection.

إن عينات المجموعة الثانية لها عزم عطالة و مساحة مقطع عرضي أكبر من عينات المجموعة الأولى. إن الجدول (1-6) يوضح عزم الخضوع و عزم التلدن لجوائز العينات وصلة قمة العمود الأربعة وذلك باستخدام معدن ST37 ذي إجهاد خضوع 240 MPa .

الجدول (1-6) عزم الخضوع و عزم التلدن لجوائز عينات وصلة قمة العمود

رقم العينة	عزم الخضوع kN.m	عزم التلدن kN.m
ع١	70.5	78.3
ع٢	70.5	78.3
ع٣	133.7	150.8
ع٤	133.7	150.8

٦-٢ تحليل العينات

٦-٢-١ العينة الأولى ع١:

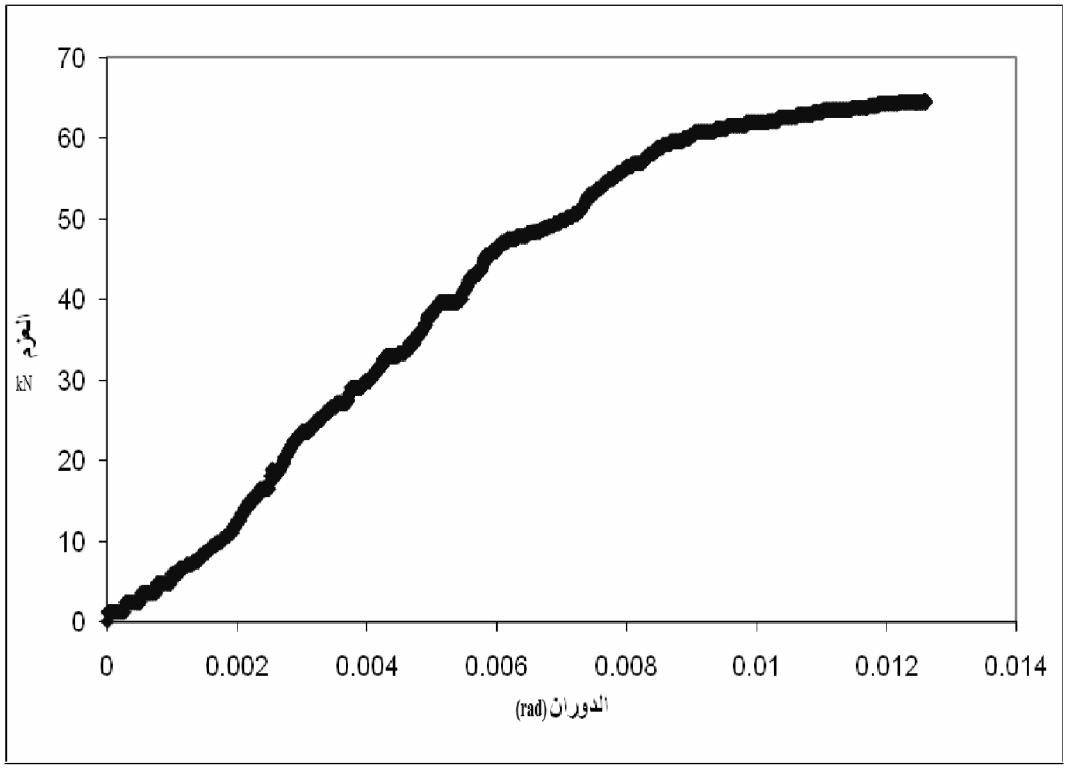
إن الشكل (1-6) يوضح الرسم البياني للعلاقة بين العزم و الدوران و التي تكون خطية تقريبا حتى يصل العزم قيمة 50kN.m و بعد ذلك يصبح الرسم البياني لعلاقة العزم و الدوران غير خطي حتى قيمة العزم الأعظمي 65 kN.m و عندها يتم إيقاف التجربة. إن الصلابة الأولية للوصلة 40/0.0054=7400 kN.m/rad ، إن عدم الخطية تشير إلى التناقص في صلابة الوصلة و الممثلة بميل المنحني.

تمت ملاحظة تشوه الجائز بقيم كبيرة عند نهاية الاختبار كما في الشكل (2-6) و تمت ملاحظة التشوه الزائد لصفيحة الجائز و كذلك الفجوة بين صفيحة الجائز و صفيحة العمود كما في الشكل (3-6).

إن سلوك هذه العينة يشير بأن قوة الشد في منطقة الشد للوصلة و الناتجة عن العزم المطبق تم توزيعها بشكل متساوٍ تقريباً على البراغي المشدودة و ذلك بسبب التشوه الزائد لصفيحة الجائز.

لم تتم ملاحظة تشوه لصفيحة العمود كما في الشكل (3-6) و ذلك بسبب السماكة العالية لصفيحة العمود (16mm) بالمقارنة مع سماكة صفيحة الجائز (8mm).

إن العزم الحقيقي عند وجه العمود يكون بإنقاص العزم عند محور الوصلة (65kN.m) ب 20% أي أن العزم عند وجه العمود مساوٍ ل 52 kN.m و هذه القيمة تقترب لقيمة عزم الخضوع للجائز 70.5 kN.m كما في الجدول (1-6).



الشكل (1–6): الرسم البياني لعلاقة العزم–الدوران للعينة ع١

الشكل (2-6): تسهم الجائز للعينة ع١

الشكل (3-6): تشوه صفيحة الجائز للعينة ع١

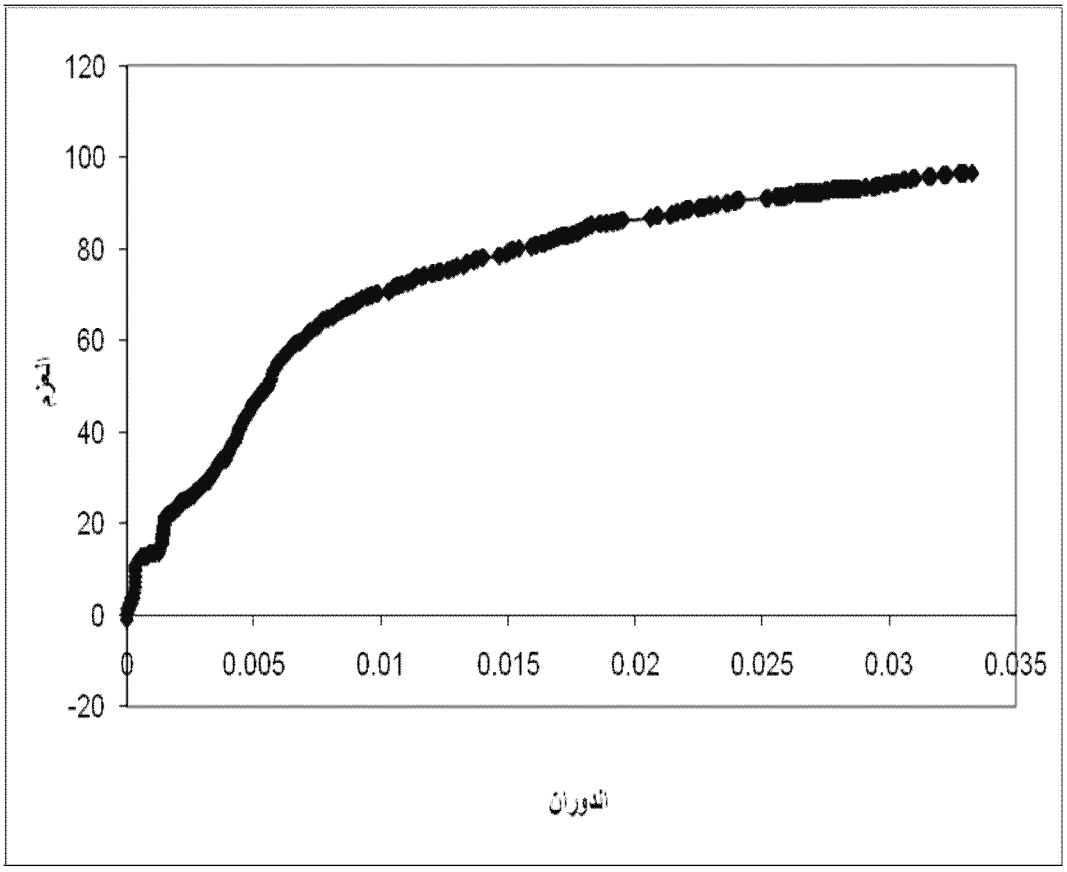
٦-٢-٢ العينة الثانية ع٢:

إن الرسم البياني للعلاقة بين العزم و الدوران للعينة ع٢ موضحة بالشكل (4-6). بمقارنة منحنيات العزم-الدوران للعينة ع١، ع٢ (الشكل 1-6 و الشكل 4-6) نجد بأن العينة ع٢ لها صلابة أولية 9230 kN.m/rad أعلى من العينة ع١ 7400 kN.m/rad. و كذلك العزم الأعظمي للعينة ع٢ (96 kN.m) أعلى من العزم الأعظمي للعينة ع١(65 kN.m). و يعود هذا لسبب أن العينة ع٢ ذات جساءة وصلابة أعلى منها للعينة ع١ و ذلك نتيجة لزيادة سماكة صفيحة الجائز من 8mm حتى 12mm و زيادة سماكة صفيحة العمود من 16mm حتى 20mm على الرغم أن العينتين لهما نفس أبعاد مقطع الجائز.

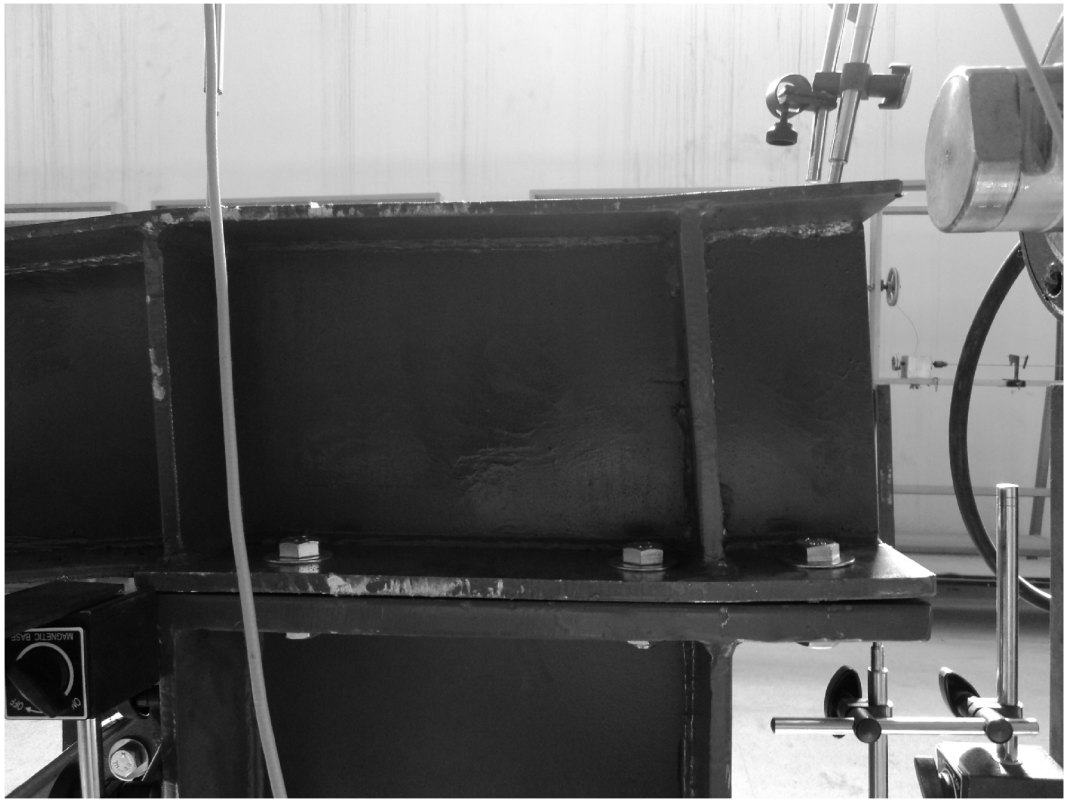
إن تشوه العينة الموضح بالشكل (5-6) يشرح تأثير القص الناتج السماكة الصغيرة لجسد الحائز (6 mm)

إن العزم الحقيقي عند وجه العمود يكون بإنقاص العزم عند محور الوصلة (96kN.m) ب 20% أي أن العزم عند وجه العمود مساوي ل 76.8 kN.m و هذه القيمة تقع بين عزم الخضوع للجائز 70.5 kN.m و عزم التلدن 78.3 kN.m كما في الجدول (1-6)

نستنتج من نتائج العينتين الأولى و الثانية بأنه يجب قص الجناح السفلي للجائز عند منطقة العمود و استبداله بصفيحة ذات سماكة أكبر و ذلك يؤدي إلى زيادة صلابة الوصلة.



الشكل (4–6): الرسم البياني لعلاقة العزم–الدوران للعينة ع٢

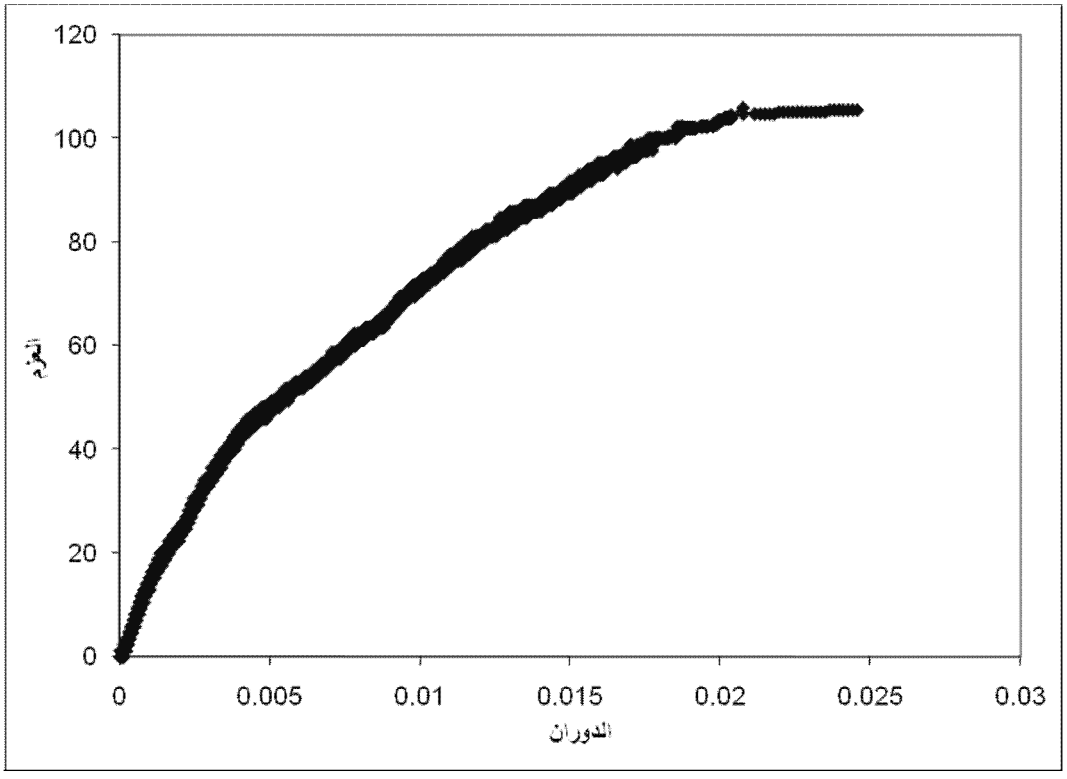


الشكل (5-6): تشوه العينة ع٢

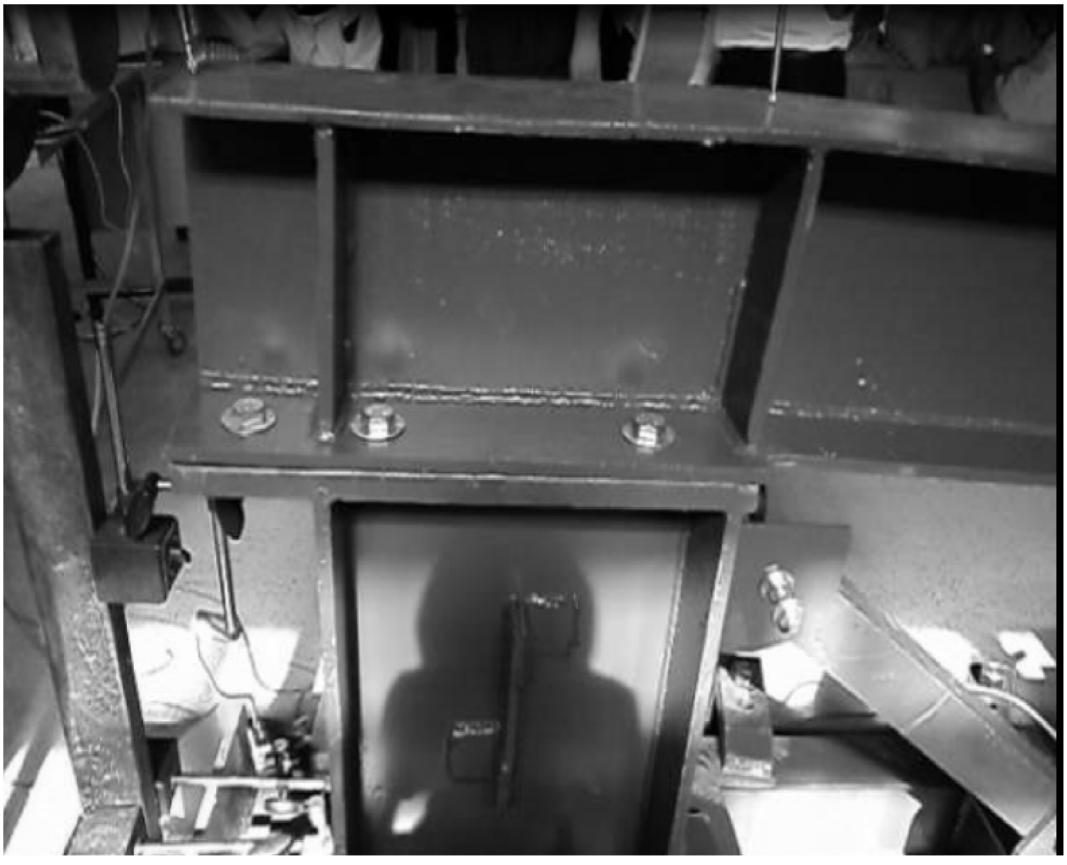
٦-٢-٣ العينة الثالثة ع٣:

إن الشكل (6-6) يوضح الرسم البياني للعلاقة بين العزم و الدوران و التي تكون خطية تقريبا حتى يصل العزم قيمة 55kN.m و بعد ذلك يصبح الرسم البياني لعلاقة العزم و الدوران غير خطي حتى قيمة العزم الأعظمي 105 kN.m و عندها يتم إيقاف التجربة. إن الصلابة الأولية للوصلة 60/0.0055=10909 kN.m/rad

إن تشوه العينة موضح بالشكل (6-7) و يوضح تشوه الجناح العلوي للجائز



الشكل (6-6): الرسم البياني لعلاقة العزم-الدوران للعينة ع٣



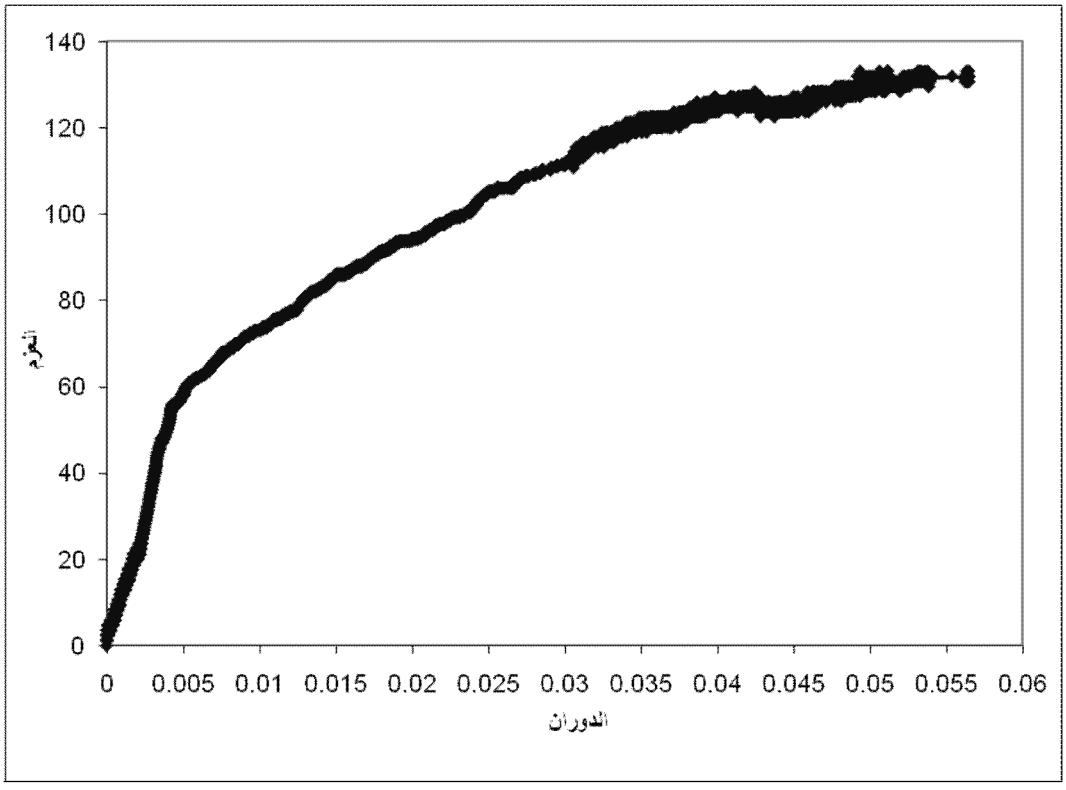
الشكل (7–6): تشوه العينة ع٣

٦-٢-٤ العينة الرابعة ع٤:

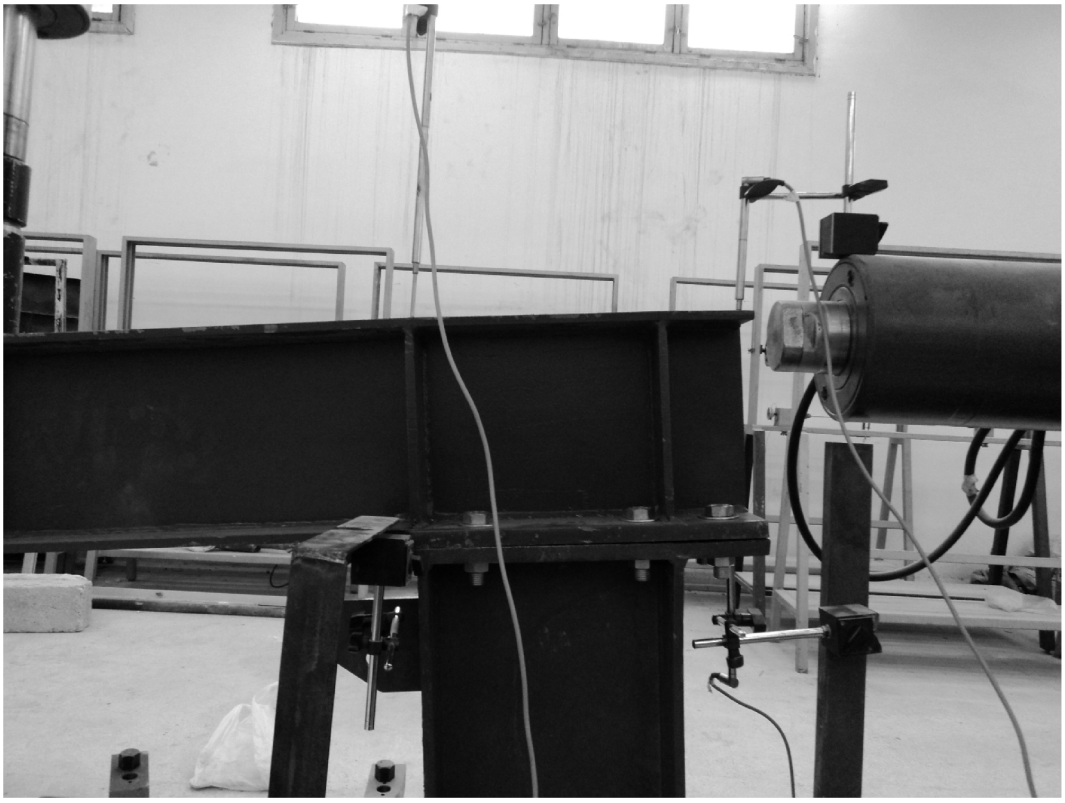
إن الشكل (8-6) يوضح الرسم البياني للعلاقة بين العزم و الدوران و التي تكون خطية تقريبا حتى يصل العزم قيمة 65kN.m و بعد ذلك يصبح الرسم البياني لعلاقة العزم و الدوران غير خطي حتى قيمة العزم الأعظمي (131 kN.m).

بمقارنة منحنيات العزم-الدوران للعينة ع٣، ع٤ (الشكل 6-6 و الشكل 8-6) نجد بأن العينة ع٤ لها صلابة أولية 11500 kN.m/rad أعلى من العينة ع٣ 10909 kN.m/rad. و كذلك العزم الأعظمي للعينة ع٤ أعلى من العزم الأعظمي للعينة ع٣. و يعود هذا لسبب أن العينة ع٤ ذات جساءة وصلابة أعلى منها للعينة ع٣ و ذلك نتيجة لزيادة سماكة صفيحة الجائز من 12mm حتى 20mm و زيادة سماكة صفيحة العمود من 16mm حتى 20mm و زيادة قطر البرغي من 16mm إلى 22mm على الرغم أن العينتين لهما نفس أبعاد مقطع الجائز.

إن تشوه العينة موضح بالشكل (9-6) يشرح التشوه النسبي لعناصر الوصلة و هي صفيحة الجائز و صفيحة العمود و جناح الجائز العلوي و جسد الجائز.



الشكل (8–6): الرسم البياني لعلاقة العزم–الدوران للعينة ع٤



الشكل (9-6): تشوه العينة ع٤

٦-٢-٥ العينة الخامسة ع٥:

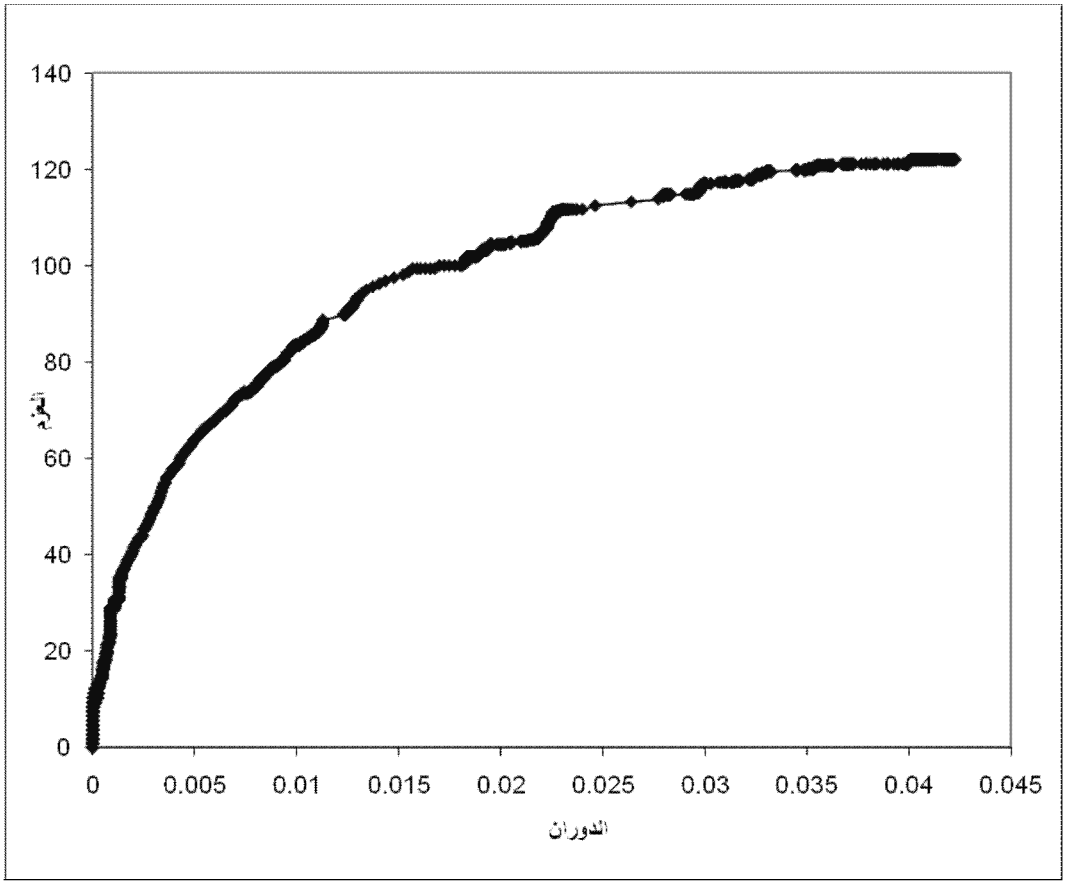
إن العينة الخامسة ذات وصلة الصفيحة الممتدة و مقطع الجائز فيها مطابق لمقطع الجائز في العينة الثالثة ذات وصلة قمة العمود. إن الهدف الرئيسي من هذا الاختبار هو تحديد صلابة هذه الوصلة و التي تعتبر وصلة صلبة و مقارنة صلابتها مع صلابة العينة الثالثة و بالنتيجة نستطيع تحديد نسبة صلابة وصلة صفيحة قمة العمود بالنسبة لصلابة وصلة الصفيحة الممتدة.

إن الشكل (10-6) يوضح الرسم البياني للعلاقة بين العزم و الدوران و التي تكون خطية تقريبا في البداية و بعد ذلك يصبح الرسم البياني لعلاقة العزم و الدوران غير خطي حتى قيمة العزم الأعظمي.

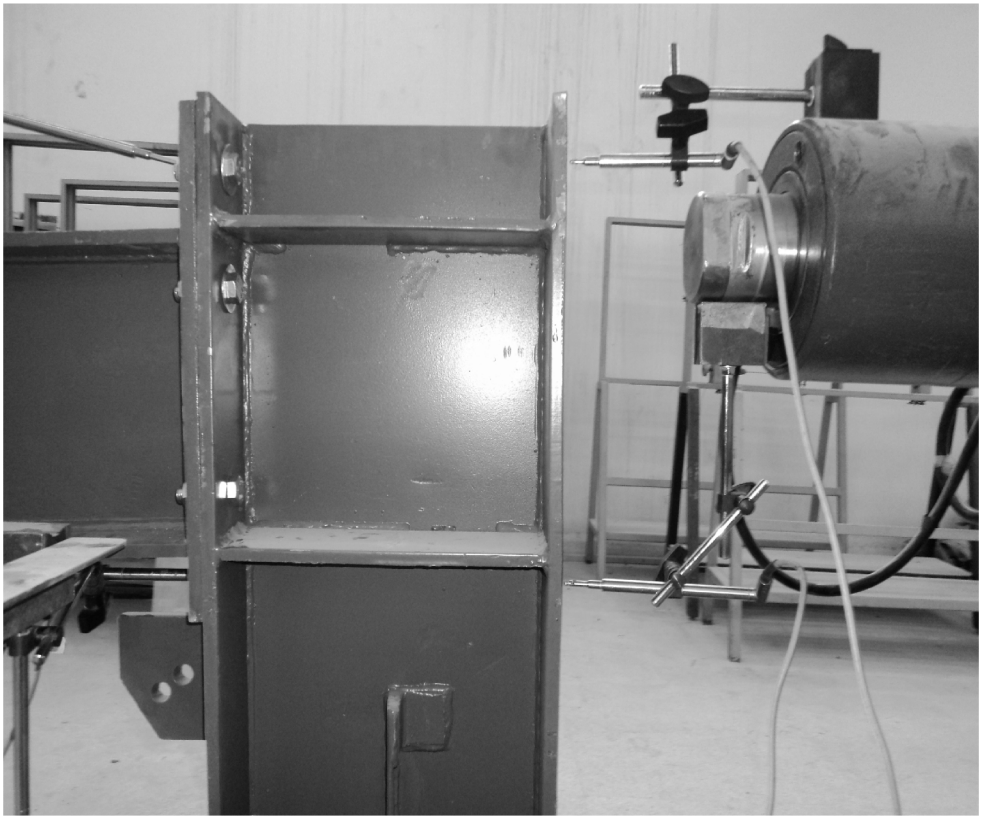
بمقارنة منحنيات العزم-الدوران للعينة ع٣، ع٥ (الشكل 6-6 و الشكل 10-6) نجد بأن العينة ع٥ لها صلابة أولية (13953 kN.m/rad) أعلى من العينة ع٣(10909 kN.m/rad).

و كذلك العزم الأعظمي للعينة ع٥ (122 kN.m) أعلى من العزم الأعظمي للعينة ع٣ (105 kN.m). و يعود هذا لسبب أن العينة ع٥ ذات جساءة وصلابة أعلى منها للعينة ع٣ و هذه نتيجة طبيعية حيث أن وصلة الصفيحة الممتدة في العينة الخامسة تعتبر وصلة صلبة نسبيا و ذلك حسب الكودات و الأبحاث المعتمدة عالميا بينما وصلة قمة العمود في العينة الثالثة تعتبر وصلة نصف صلبة و ذلك بناء على النتائج التي حصلنا عليها و مرجع [32] .

إن تشوه العينة موضح بالشكل (11-6) و نلاحظ تشوه صفيحة الجائز و صفيحة العمود.



الشكل (10-6): الرسم البياني لعلاقة العزم-الدوران للعينة ع٥



الشكل (11–6): تشوه العينة ع٥

٦-٢-٦ العينة السادسة ع٦:

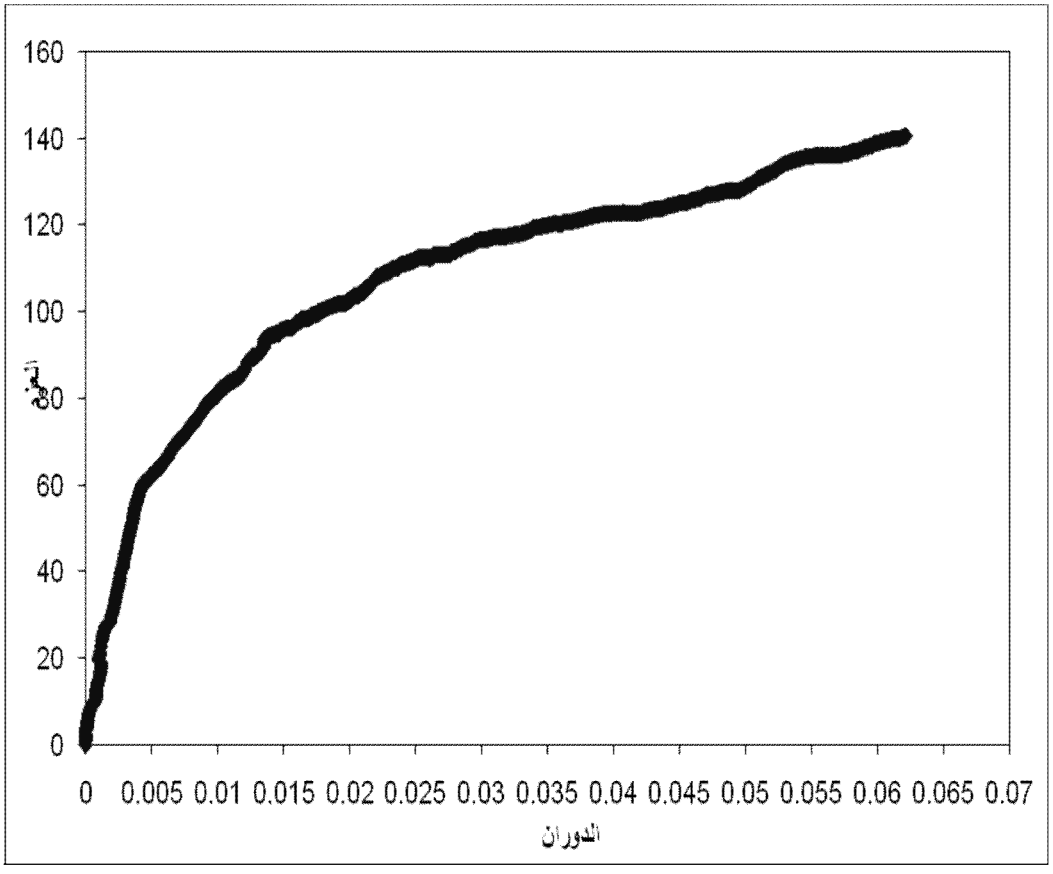
إن العينة السادسة ذات وصلة الصفيحة الممتدة و مقطع الجائز فيها مطابق لمقطع الجائز في العينة الرابعة ذات وصلة قمة العمود. إن الهدف الرئيسي من هذا الاختبار هو تحديد صلابة هذه الوصلة و التي تعتبر وصلة صلبة و مقارنة صلابتها مع صلابة العينة الثالثة و بالنتيجة نستطيع تحديد نسبة صلابة وصلة صفيحة قمة العمود بالنسبة لصلابة وصلة الصفيحة الممتدة.

إن الشكل (12-6) يوضح الرسم البياني للعلاقة بين العزم و الدوران و التي تكون خطية تقريبا في البداية و بعد ذلك يصبح الرسم البياني لعلاقة العزم و الدوران غير خطي حتى قيمة العزم الأعظمي.

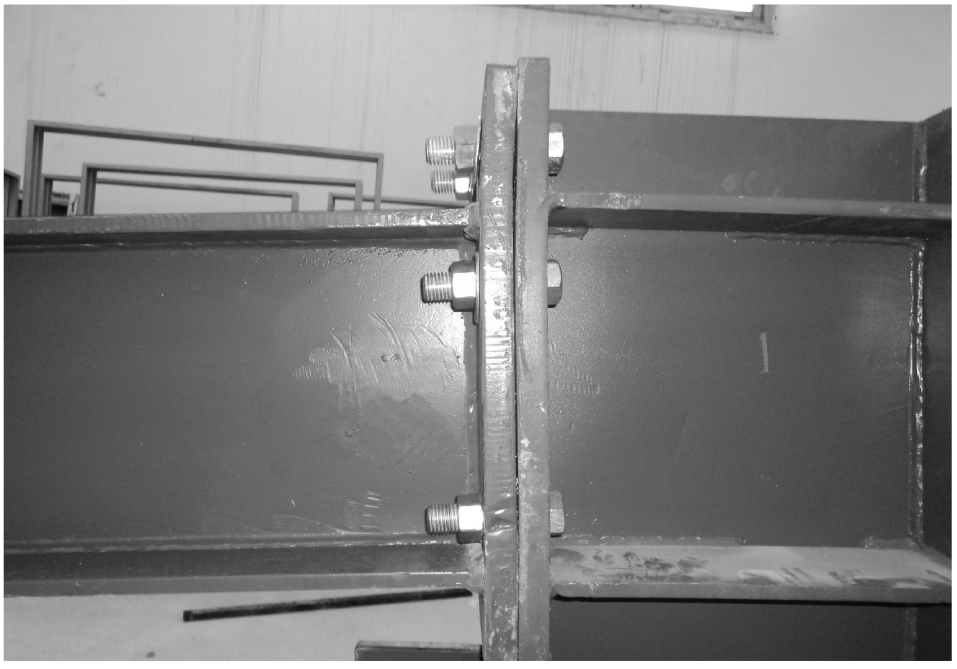
بمقارنة منحنيات العزم-الدوران للعينة ع٤، ع٦ (الشكل 8-6 و الشكل 12-6) نجد بأن العينة ع٦ لها صلابة أولية (15000 kN.m/rad) أعلى من العينة ع٤(11500 kN.m/rad).

و كذلك العزم الأعظمي للعينة ع٦ (141 kN.m) أعلى من العزم الأعظمي للعينة ع٤ (131 kN.m). و يعود هذا لسبب أن العينة ع٦ ذات جساءة وصلابة أعلى منها للعينة ع٤ و هذه نتيجة طبيعية حيث أن وصلة الصفيحة الممتدة في العينة الخامسة تعتبر وصلة صلبة نسبيا و ذلك حسب الكودات و الأبحاث المعتمدة عالميا بينما وصلة قمة العمود في العينة الثالثة تعتبر وصلة نصف صلبة و ذلك بناء على النتائج التي حصلنا عليها و مرجع [32].

إن تشوه العينة موضح بالشكل (13-6) و نلاحظ تشوه صفيحة الجائز و صفيحة العمود و جسد العمود.



الشكل (12-6): الرسم البياني لعلاقة العزم-الدوران للعينة ع٦



الشكل (13–6): تشوه العينة ع٦

٦-٣ إدخال تأثير صلابة وصلة صفيحة قمة العمود في التصميم و الحصول على كلفة أقل للمنشأ المعدني

بناءً على نتائج التجارب للعينة الثالثة و العينة الخامسة وجدنا أن العينة ع٥ لها صلابة أولية قيمتها (13953 kN.m/rad) بينما العينة ع٣ لها صلابة أولية قيمتها (10909 kN.m/rad). سنقوم بحساب صلابة وصلة قمة العمود كنسبة من صلابة وصلة الصفيحة الممتدة.

نسبة الصلابة = 10909/13953= 0.78

أما بالنسبة للعينة الرابعة و السادسة وجدنا أن العينة ع٦ لها صلابة أولية قيمتها (15000 kN.m/rad) بينما العينة ع٤ لها صلابة أولية قيمتها (11500 kN.m/rad). سنقوم بحساب صلابة وصلة قمة العمود كنسبة من صلابة الوصلة الصلبة (وصلة الصفيحة الممتدة).

نسبة الصلابة = 11500/15000= 0.77

- سنقوم بدراسة عنصر معدني باستخدام برنامج إنشائي معروف STAAD.Pro وستكون الدراسة بحالتين :

١- دراسة عنصر باستخدام وصلة الصفيحة الممتدة (وصلة صلبة)

٢-دراسة عنصر باستخدام وصلة قمة العمود (وصلة شبه صلبة) و ذلك بإدخال صلابتها بنسبة 0.78 (أي سنقوم بتحرير الصلابة بقيمة: 1-0.78=0.22)

و ستتم مقارنة المقطع المعدني(وزن الهيكل المعدني) بين الحالتين في اعتماد نفس نسبة الإجهاد

مثال ١: في هذا المثال ستتم مقارنة مقطع العنصر المعدني و بالتالي وزن العنصر بين وصلة قمة العمود بصلابة 0.78 (Cap Plate connection) و وصلة الصفيحة الممتدة

L_b=500cm

Semi-rigid member section: 30x15x1.0x0.6

Rigid member section: 30x15x1.05x0.8

σ_y = 240 N/mm^2

E = 205000 N/mm^2

إن الجدول (2-6) يوضح وزن العنصر في حال وصلة قمة العمود (تحرير صلابة بقيمة 0.22) و وصلة الصفيحة الممتدة

إن الشكل (6-14) يوضح توزع العزوم للعنصر بين حالة وصلة الصفيحة الممتدة و وصلة قمة العمود و نجد أن العنصر في حالة وصلة قمة العمود يكون العزم الأعظمي 37.5 kN.m أقل منها في حالة وصلة الصفيحة الممتدة 42.5 kN.m حيث إعادة توزيع العزم سيؤدي لتصغير المقطع.

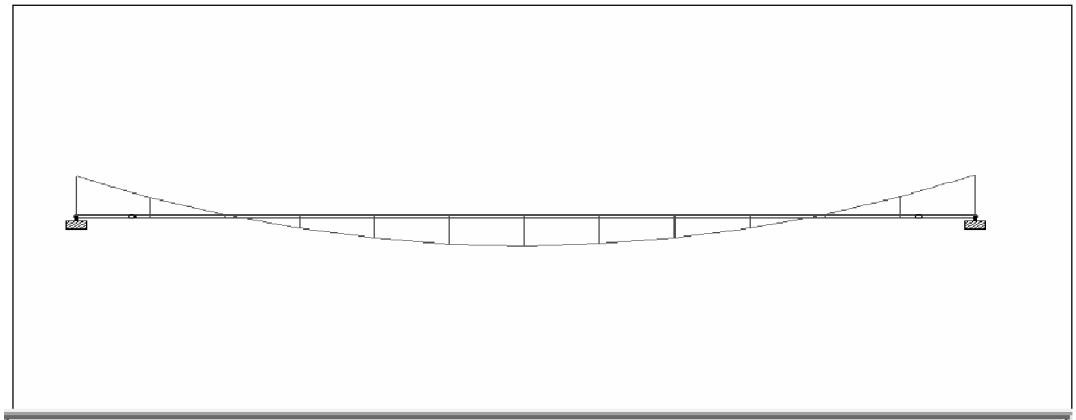
الجدول (2-6) مقارنة وزن العنصر بين وصلة قمة العمود و وصلة الصفيحة الممتدة

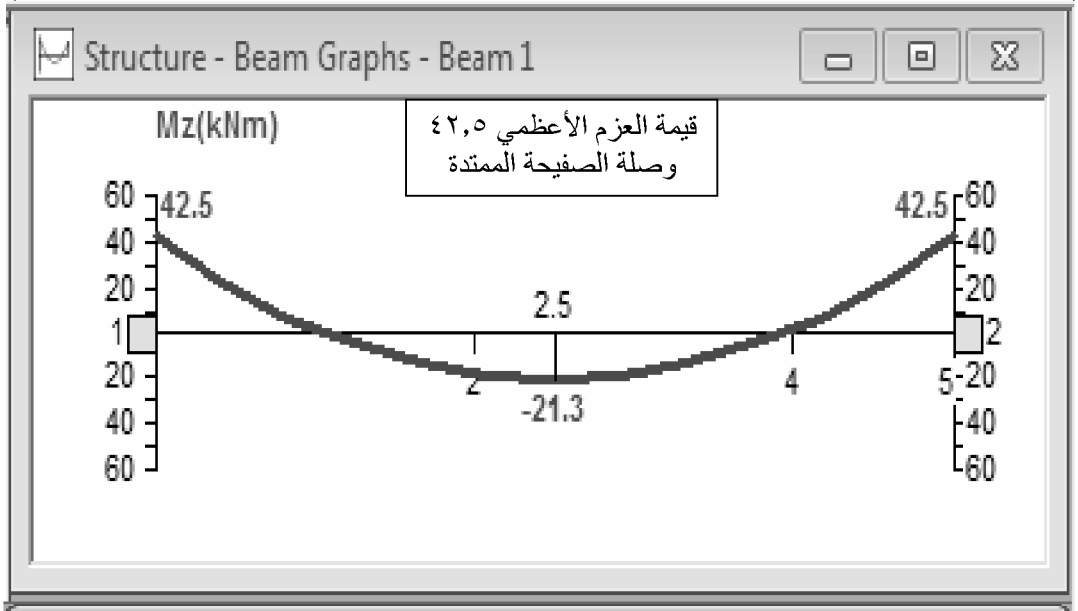
Member weight	Cap plate connection	Extended end plate
STAAD.Pro	179.8 kg	206.7 kg

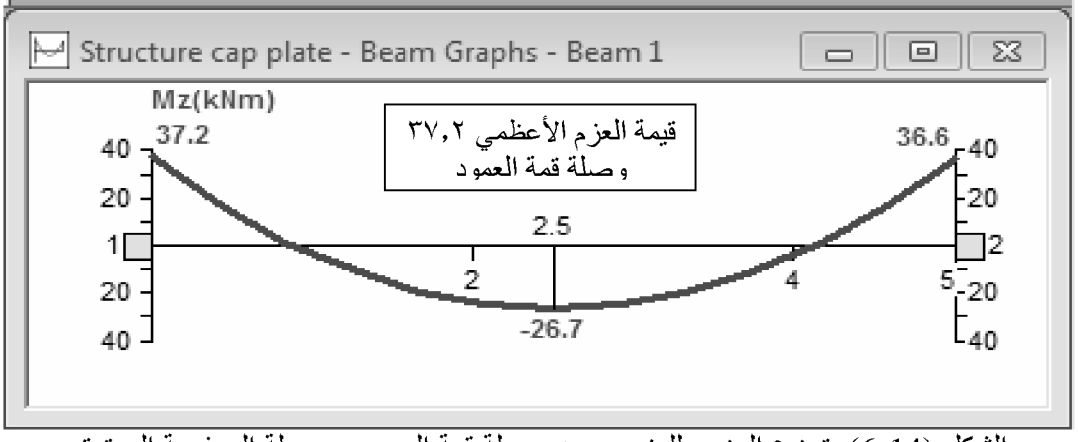
بمقارنة النتائج في الجدول (6-2) نجد أن وزن العنصر ذي وصلة قمة العمود (Cap Plate connection) أقل من وزن العنصر في حال وصلة الصفحة الممتدة (Extended End Plate connection) مع الحفاظ على نفس قيمة نسبة الإجهاد

إن نسبة تخفيض الوزن هي: 1 – 179.8/206.7=0.13

و هكذا نستنتج بان وصلة قمة العمود تخفض وزن العنصر المعدني ب ١٣% عن وصلة الصفيحة الممتدة و بالتالي تكون كلفة العنصر المعدني أقل.







الشكل (14-6) توزع العزوم للعنصر بين وصلة قمة العمود و وصلة الصفيحة الممتدة

مثال ٢: في هذا المثال ستتم مقارنة وزن هيكل معدني باستخدام وصلة شبه صلبة بصلابة نسبية قيمتها 0.6 و وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection) مع اعتماد نفس نسبة الإجهاد

المنشأ عبارة عن طابقين بارتفاع الطابق /٤م/ و بأبعاد /٩×٤م/ كما بالشكل (6-15)

Semi-rigid beam section: 25x15x0.8x0.55

Rigid beam section: 25x15x0.9x0.7

$\sigma_y = 240 \ N/mm^2$

$E = 205000 \ N/mm^2$

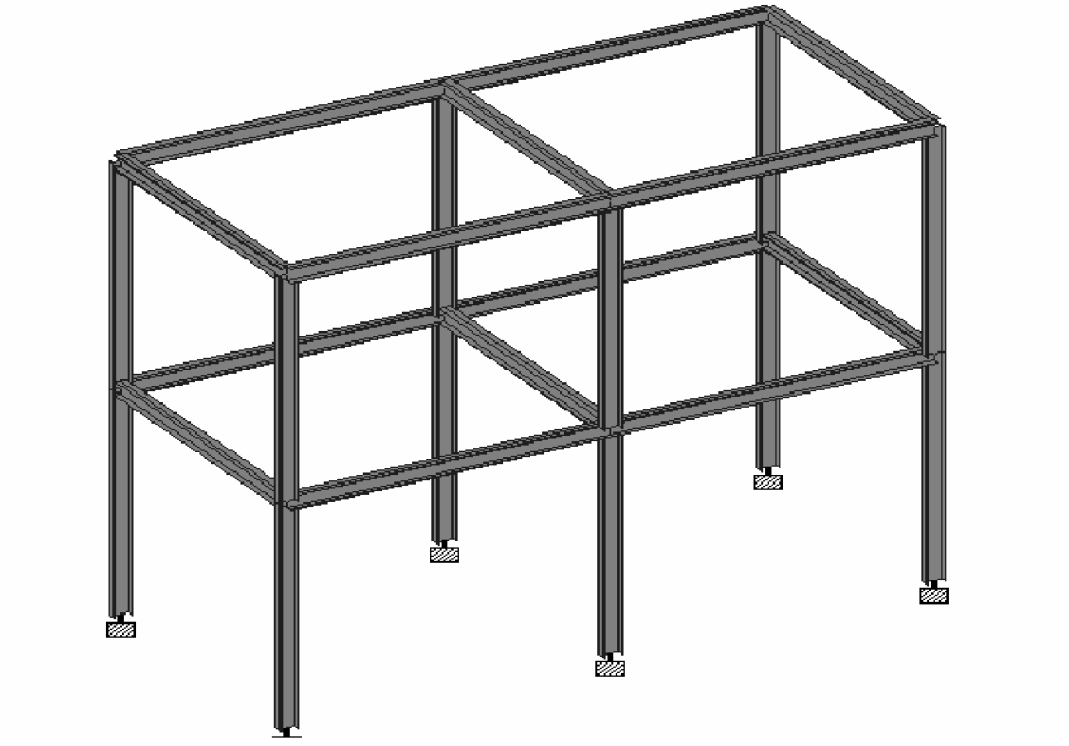
الجدول (6-3) مقارنة وزن الجوائز بين الوصلة الصفيحة الممتدة و النصف صلبة

Structure weight	Semi-rigid connection	Extended end plate
STAAD.Pro	3261 kg	3608 kg

بمقارنة النتائج في الجدول (6-3) نجد أن وزن المنشأ ذي العقدة شبه الصلبة أقل من وزن العنصر في حال العقدة الصلبة (Extended End Plate connection) مع الحفاظ على نفس قيمة نسبة الإجهاد

إن نسبة تخفيض الوزن هي: 1 – 1753/1963=0.11

و هكذا نستنتج بان الوصلة شبه الصلبة تخفض وزن الهيكل المعدني ب ١١% عن وصلة الصفيحة الممتدة و بالتالي تكون كلفة الهيكل المعدني أقل.



الشكل (15–6) المنشأ المعدني للمثال٢

مثال ٣: في هذا المثال ستتم مقارنة وزن منشأ معدني باستخدام وصلة نصف صلبة بصلابة نسبية قيمتها 0.6 و وصلة الصفيحة الممتدة (Extended End Plate connection) مع اعتماد نفس نسبة الإجهاد

المنشأ عبارة عن ثلاث طوابق بارتفاع الطابق /٤م/ و ثلاث فتحات بالاتجاه X و فتحتين بالاتجاه Z بأبعاد /٨×١٣,٥ م/ كما بالشكل (6-16)

مقاطع المنشأ ذو وصلة شبه صلبة

beam section: 30x15x0.7x0.5
column section: 25x25x0.95x0.6

مقاطع المنشأ ذو وصلة الصفيحة الممتدة

beam section: 30x15x0.9x0.6
column section: 25x25x1.0x0.6

$\sigma_y = 240 \ N/mm^2$
$E = 205000 \ N/mm^2$

الجدول (4-6) مقارنة وزن المنشأ في حال وصلة الصفيحة الممتدة و النصف صلبة

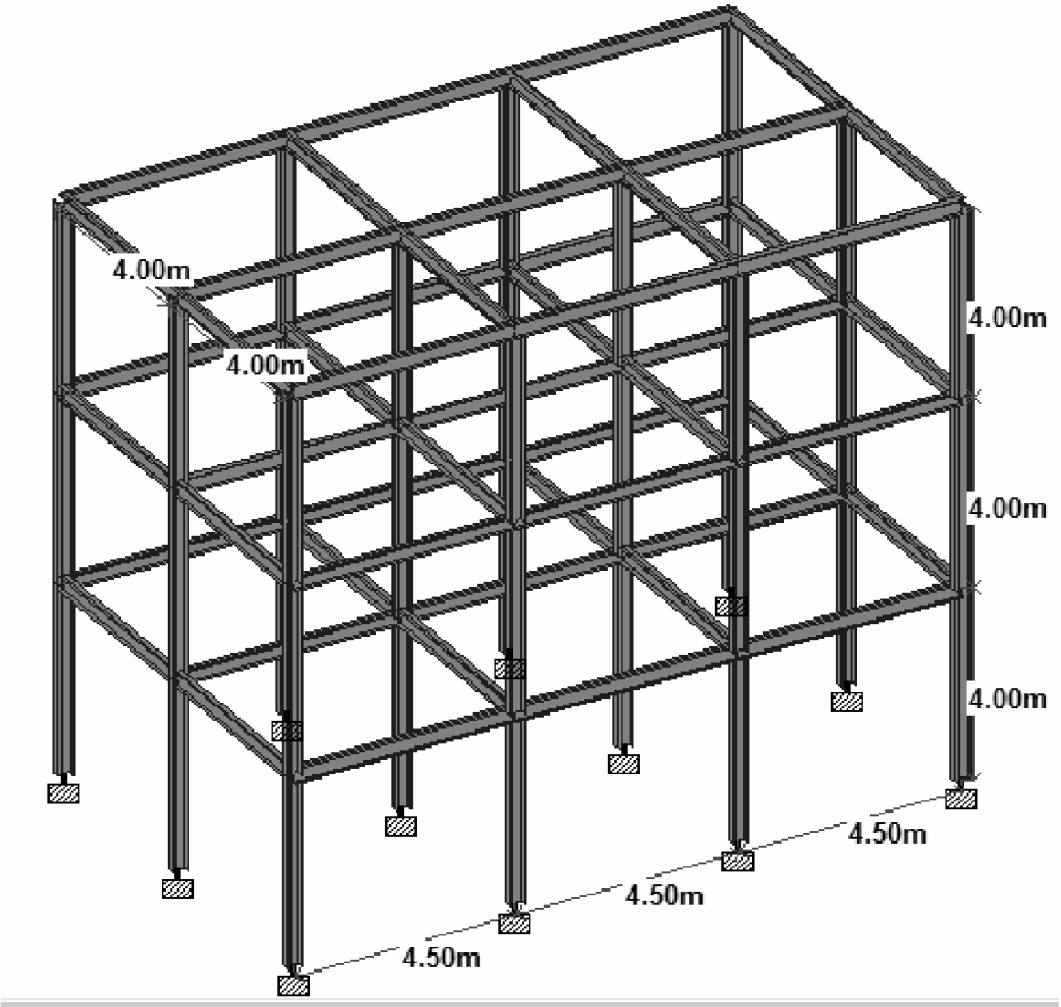
Structure weight	Semi-rigid connection	Extended end plate
STAAD.Pro	12700 kg	14400 kg

بمقارنة النتائج في الجدول (6-4) نجد أن وزن المنشأ ذي العقدة شبه الصلبة أقل من وزن العنصر في حال العقدة الصلبة (Extended End Plate connection) مع الحفاظ على نفس قيمة نسبة الإجهاد

إن نسبة تخفيض الوزن هي: 1 – 12700/14400=0.12

و هكذا نستنتج بأن الوصلة شبه الصلبة تخفض وزن الهيكل المعدني ب ١٢% عن وصلة الصفيحة الممتدة و بالتالي تكون كلفة المنشأ المعدني أقل.

في حالة دراسة المنشأ باستخدام وصلة شبه صلبة سيتم استخدام وصلة قمة العمود للطابق العلوي أما و وصلة (Flush End Plate) للطوابق المتكرر

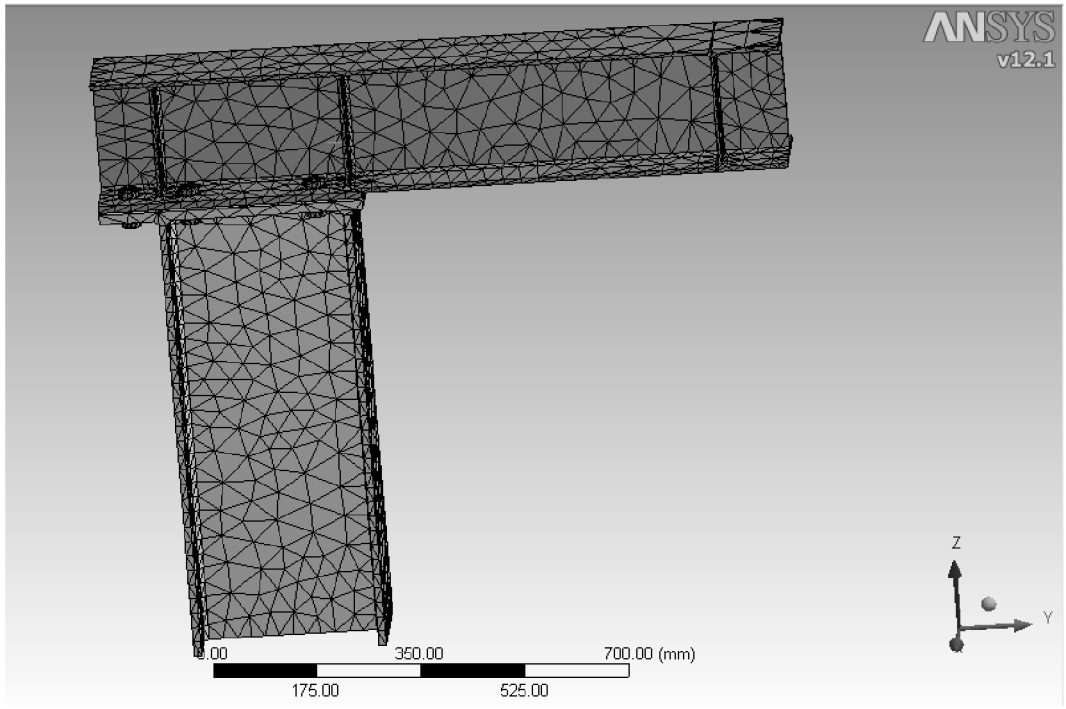


الشكل (16-6) المنشأ المعدني للمثال٣

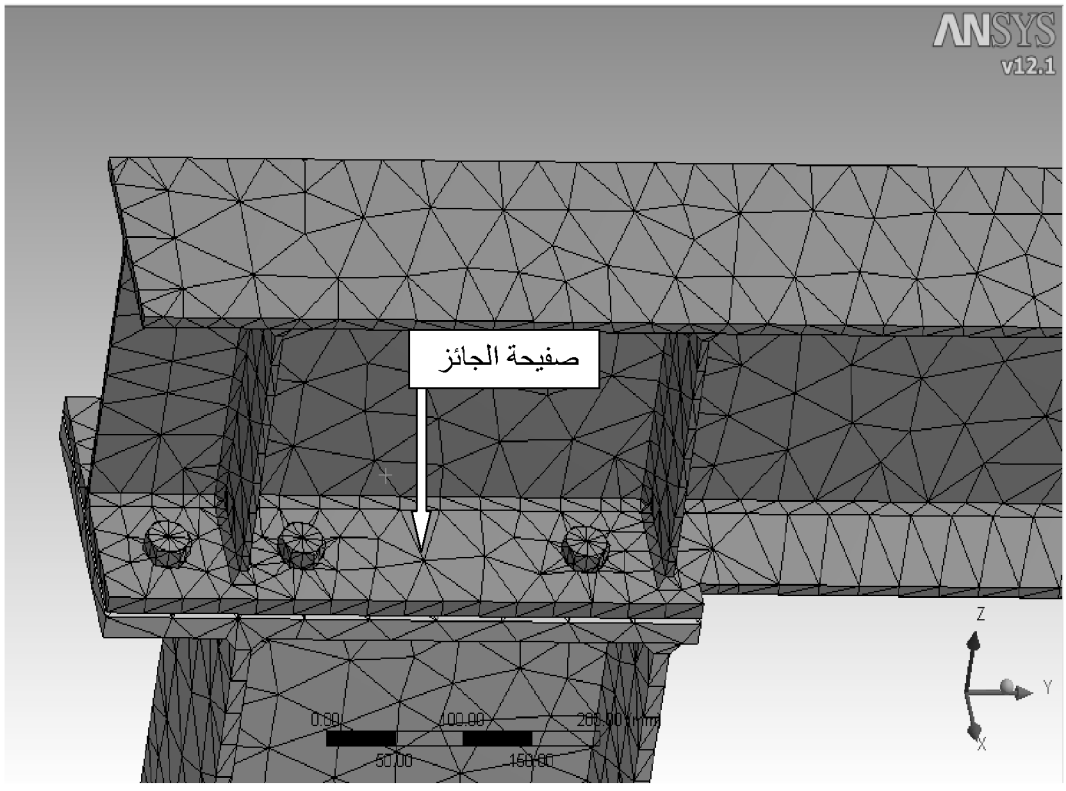
٦-٤ نمذجة العينة التجريبية باستخدام برنامج ANSYS

يعتبر برنامج ANSYS برنامج تحليل إنشائي قوي [11]. تم استخدام البرنـــامج لتمثيل وصلة صفيحة قمة العمود و لحساب العزم الحدي للوصلة برمجياً. الشكل (6-17) يوضح الأجزاء المختلفة لعناصر الوصلة و التي هي:

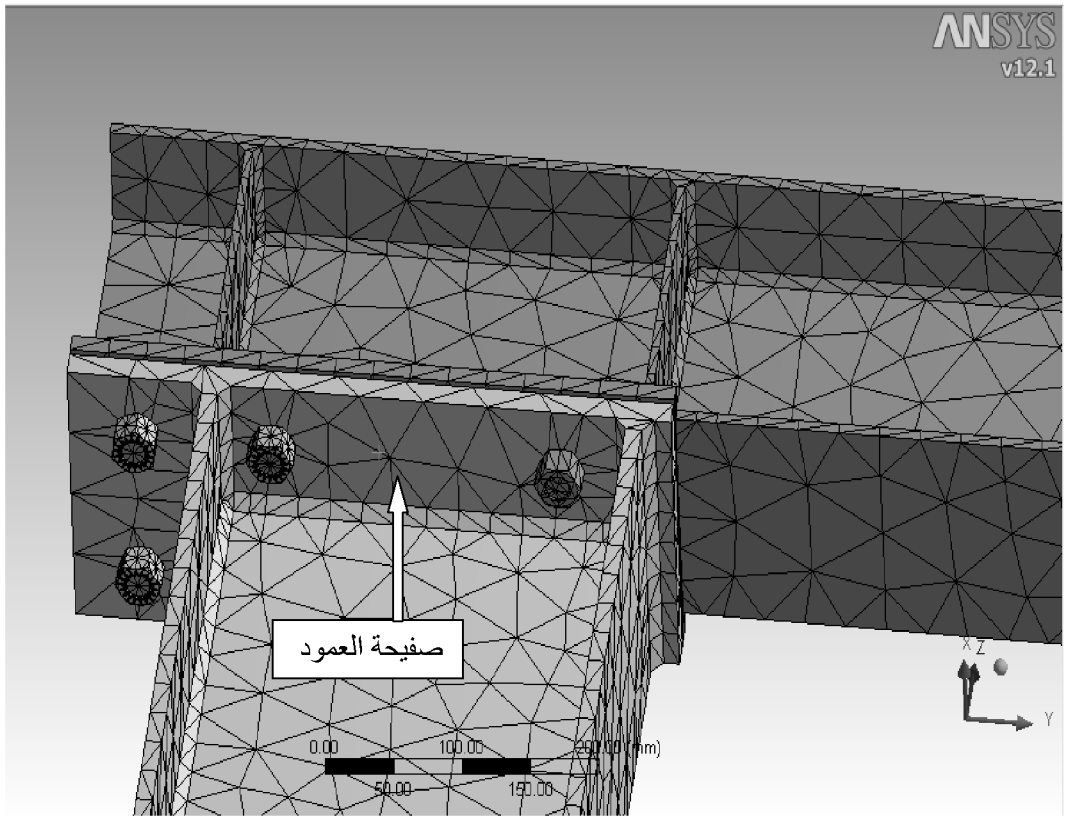
- صفيحة الجائز الشكل (6-18)
- جناح الجائز العلوي
- صفيحة العمود (6-19)
- جسد الجائز
- البراغي



الشكل (6-17): نمذجة الوصلة باستخدام برنامج ANSYS

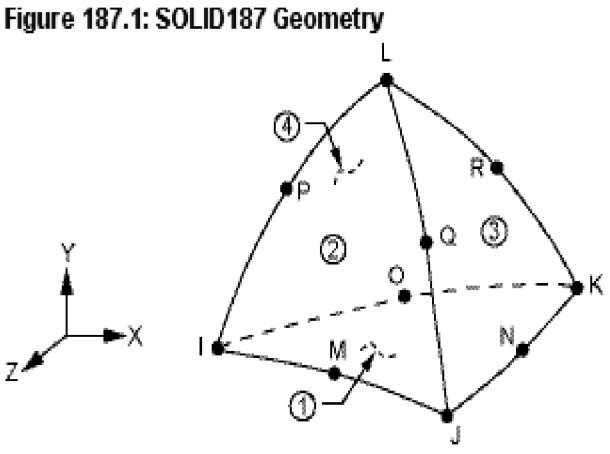


الشكل (18–6): صفيحة الجائز



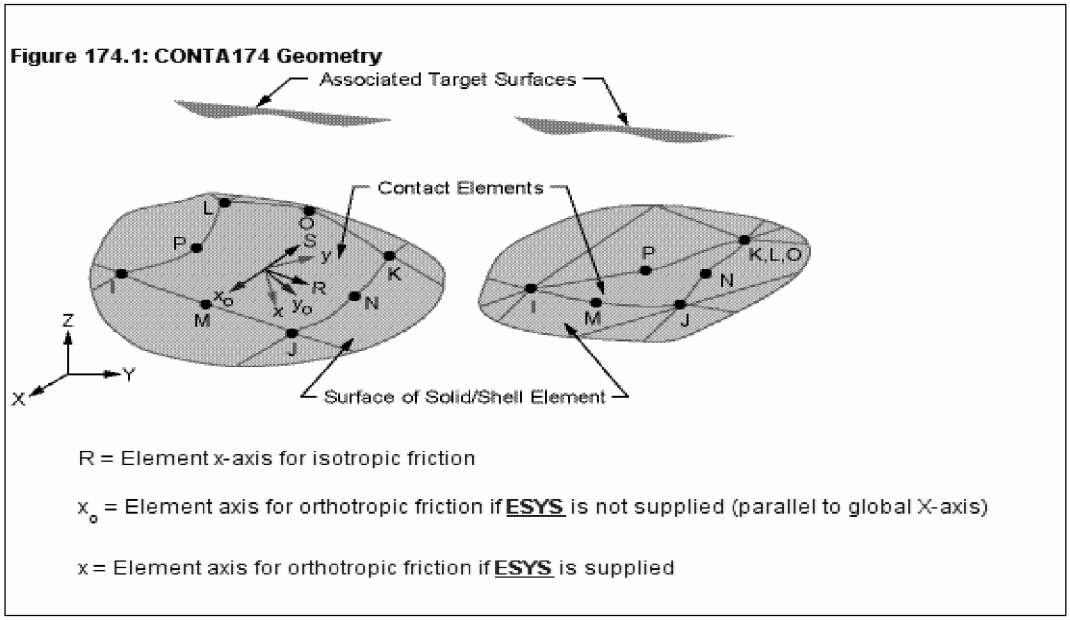
الشكل (19–6): صفيحة العمود

تم استخدام العنصر Solid 187 المكون من 10 Nodes و ذلــك لتمثيــل مــادة الحديد كما بالشكل (6-20)



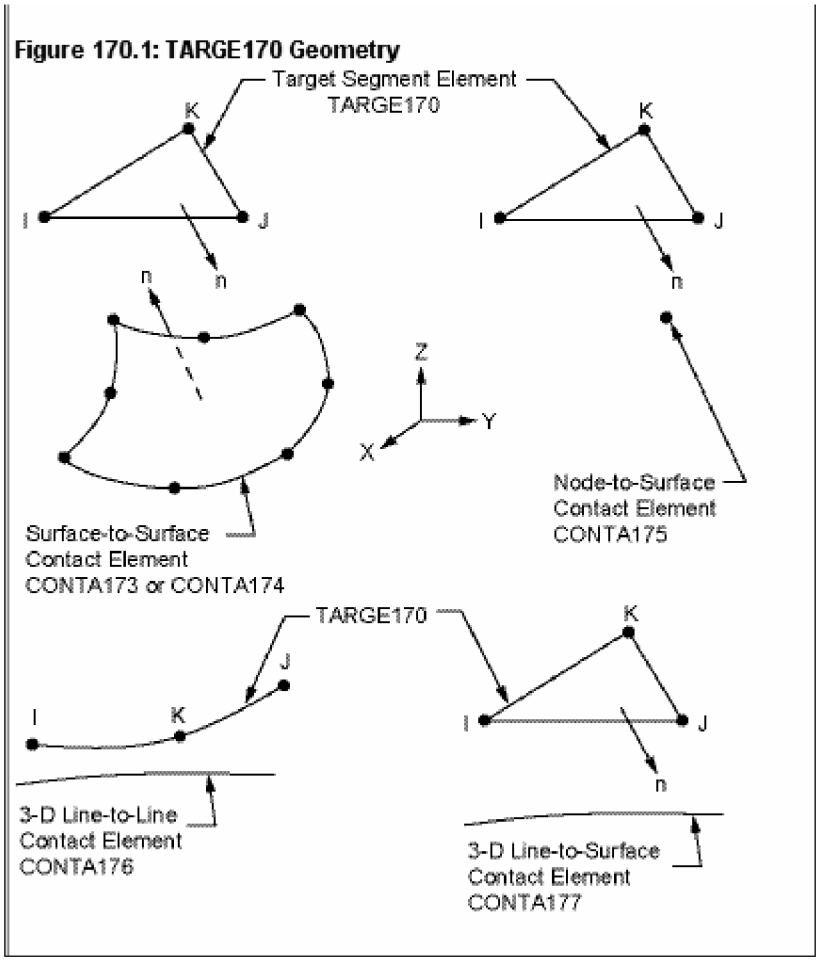
الشكل (6–20):العنصر Solid 187 لتمثيل مادة الحديد

بالنسبة لتمثيل الاحتكاك بين البرغي و المعدن الملامس فقد تم استخدام العنصر Contact 174 لتمثيل سطح الاحتكاك الأساسي كما بالشكل (6–21)



الشكل (6–21): العنصر Contact 174 لتمثيل سطح الاحتكاك الأساسي

تم استخدام العنصر Target 170 لتمثيل سطح الاحتكاك الثانوي بين البرغي و المعدن كما بالشكل (22-6)



الشكل (22-6) : العنصر Target 170 لتمثيل سطح الاحتكاك الثانوي

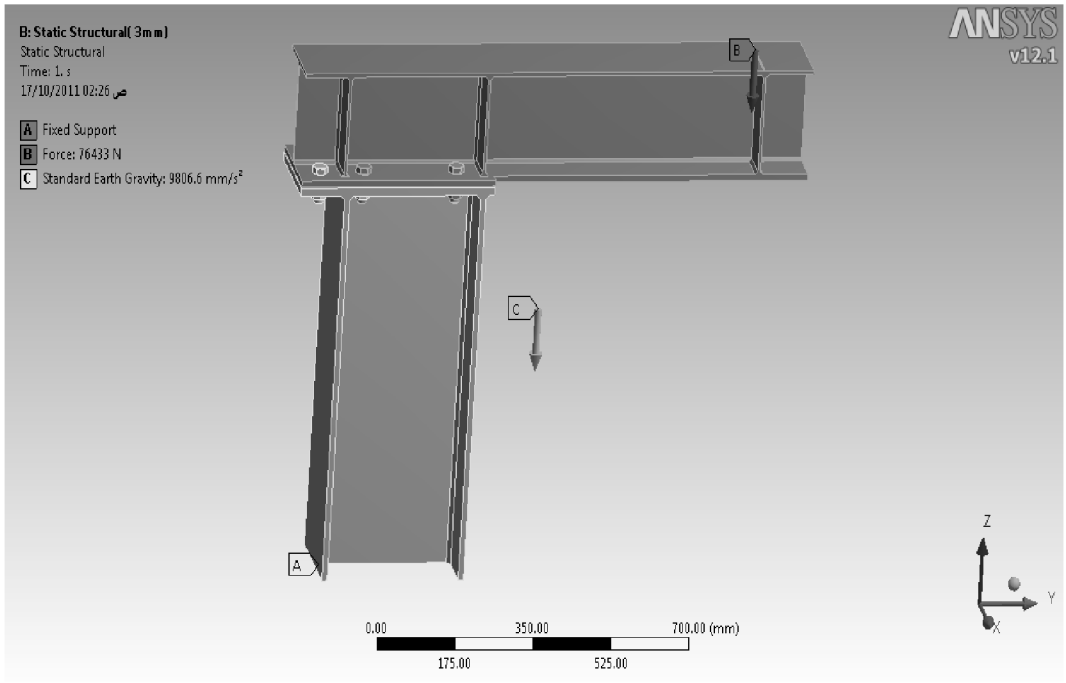
تم إدخال الخصائص الميكانيكية للحديد المستخدم في تصنيع العينات كما هو موضح بالشكل (23–6)

Properties of Outline Row 3: Structural Steel

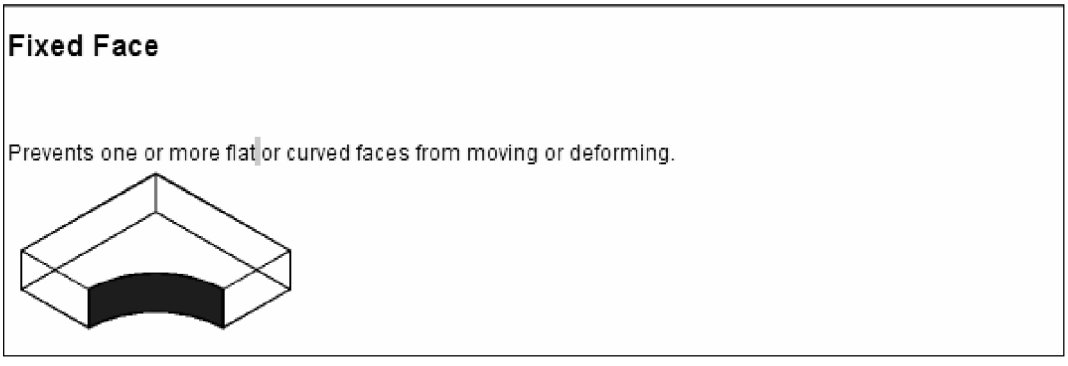
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m^-3
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C^-1
5	Reference Temperature	22	C
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
8	Young's Modulus	2.1E+05	MPa
9	Poisson's Ratio	0.3	
10	Bulk Modulus	1.75E+11	Pa
11	Shear Modulus	8.0769E+10	Pa
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
16	Strain-Life Parameters		
24	Tensile Yield Strength	2.4E+08	Pa
25	Compressive Yield Strength	2.4E+08	Pa
26	Tensile Ultimate Strength	3.6E+08	Pa
27	Compressive Ultimate Strength	3.6E+08	Pa

الشكل (23-6) : إجهاد المرونة و عامل بواسون للحديد المستخدم

إن الشكل (6–24) يوضح مكان توضع الحمولة B و كذلك مكان تثبيت العينة A حيث تم اختيار نوع Fixed face و هو وثاقة تمنع السطح من التشوه أو الحركـــة كمـــا بالشكل (6–25)



الشكل (6-24) : أماكن التثبيت و تطبيق الحمولة



الشكل (6-25) : خصائص شروط النهاية Fixed Face

٦-٤-١ مقارنة العزم الحدي بين نتائج التجارب و برنامج ANSYS

إن العزم الحدي للوصلة هو العزم الأعظمي و الذي تستطيع الوصلة مقاومته عند الانهيار. و بما أن الوصلة مركبة من صفائح معدنية و براغي فهناك إمكانية وجود عدة حالات لميكانيكية الانهيار كالتالي.

- انهيار صفيحة العمود على الانعطاف
- انهيار صفيحة الجائز على الانعطاف
- تكسر و خضوع البراغي على الشد
- تمزق جسد الجائز عن الأجنحة بسبب اللحام غير المناسب

بالاعتماد على سماكة صفيحة العمود و سماكة جناح العمود و قطر البرغي و وجود الدعامات فإنه سيتم حصول أحد حالات ميكانيكية الانهيار الموضحة بالأعلى. و في حال كون جسد الجائز ملحوم بشكل جيد مع الأجنحة (في حال المقاطع المشكلة) فإن ميكانيكية تمزق جسد الجائز يمكن إلغاؤها.

تم استخدام برنامج ANSYS لحساب قيمة العزم الحدي للوصلة كما هو موضح بالجدول (5-6) و مقارنتها مع النتائج التجريبية و تبين وجود توافق بينهما.

الجدول (5-6): مقارنة العزم الحدي بين نتائج التجارب و برنامج ANSYS

رقم العينة	العزم الحدي kN.m	
	تجربة	برنامج ANSYS
ع١	65	63.3
ع٢	96	98.1
ع٣	105	113.8
ع٤	131	143.6

٦-٥ تمثيل صلابة وصلة قمة العمود باستخدام معادلـــة Richard-Abbott المعدلة

تم تمثيل الصلابة التجريبية للوصلة باستخدام معادلة Richard-Abbott المعدلـــة و ذلك بناءً على نتائج التجارب المخبرية على وصلة قمة العمود.

- العينة ع١ (الشكل 26-6):

$M_0 = 52$ kN.m

$S_o = 7400$ kN.m/rad

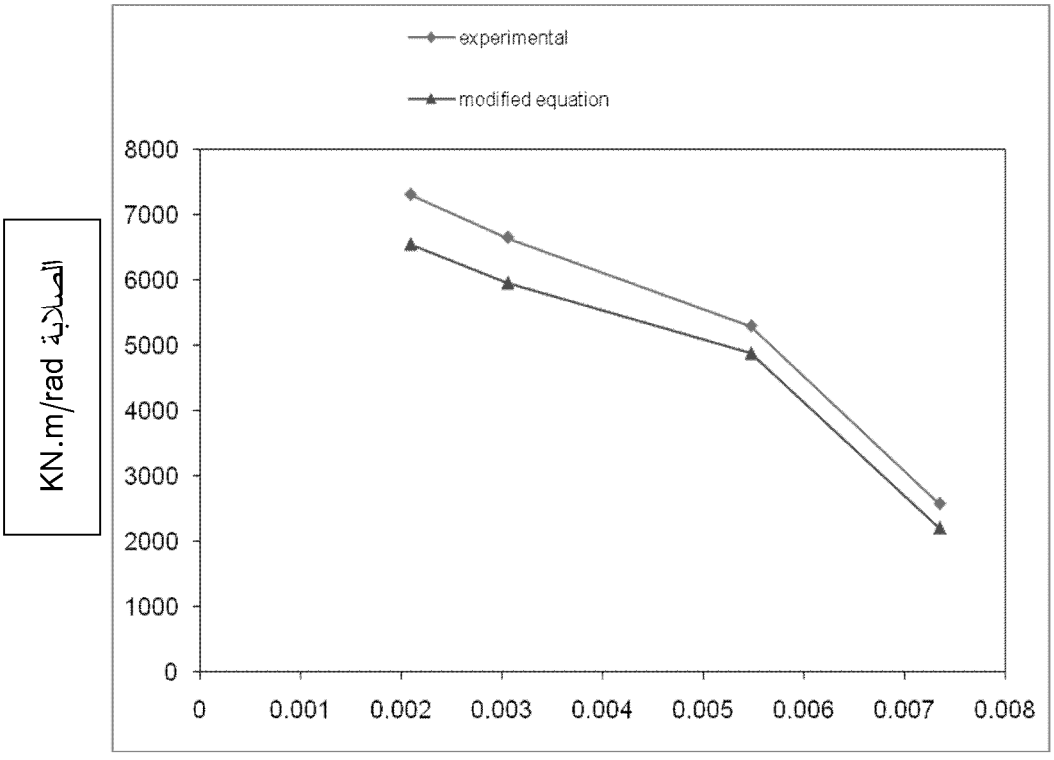
$S_p = 1032$ kN.m/rad

$n_1 = 1$

$n_2 = 4.5$

$Ø_u = 0.01259$ rad

$Ø_0 = 0.001$ rad



الشكل (26-6) الصلابة-الدوران النسبي للعينة ع١

- العينة ع٢ (الشكل 27-6):

$M_0 = 68$ kN.m

$S_o = 9230$ kN.m/rad

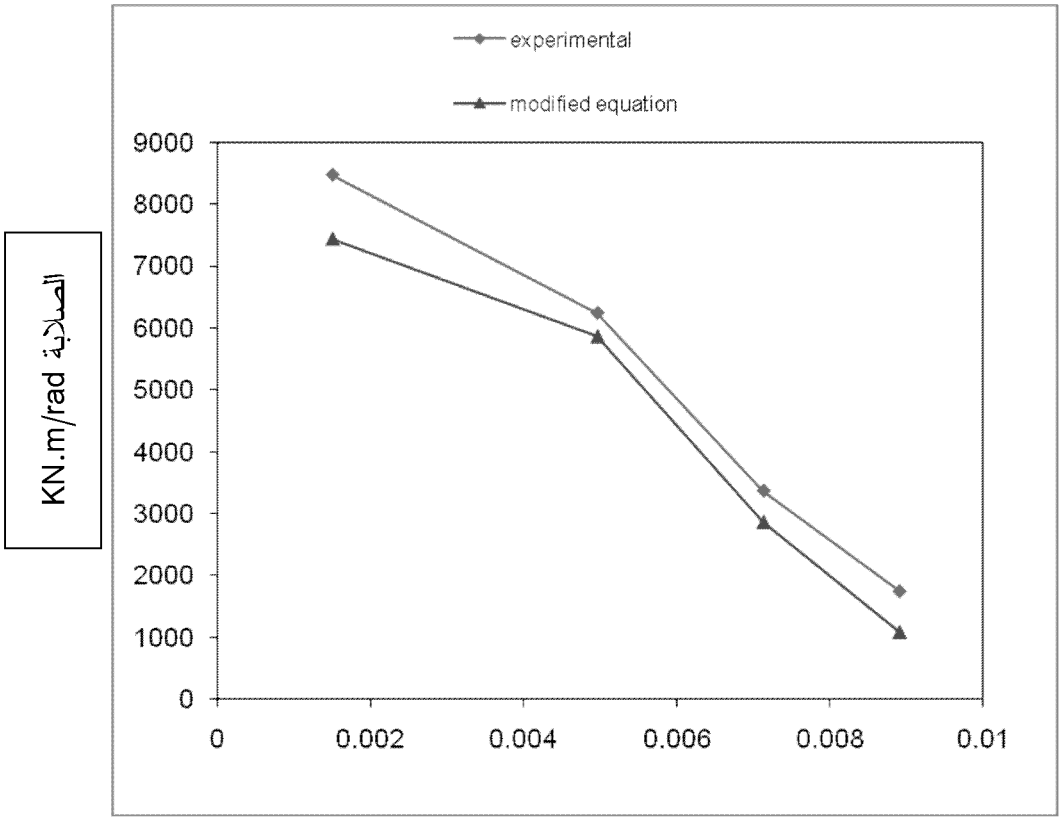
$S_p = 840.9$ kN.m/rad

$n_1 = 2.4$

$n_2 = 3.2$

$Ø_u = 0.03329$ rad

$Ø_0 = 0.0008$ rad



الشكل (27-6) الصلابة-الدوران النسبي للعينة ع٢

- العينة ع٣ (الشكل 28-6):

$M_0 = 98.5$ kN.m

$S_o = 10909$ kN.m/rad

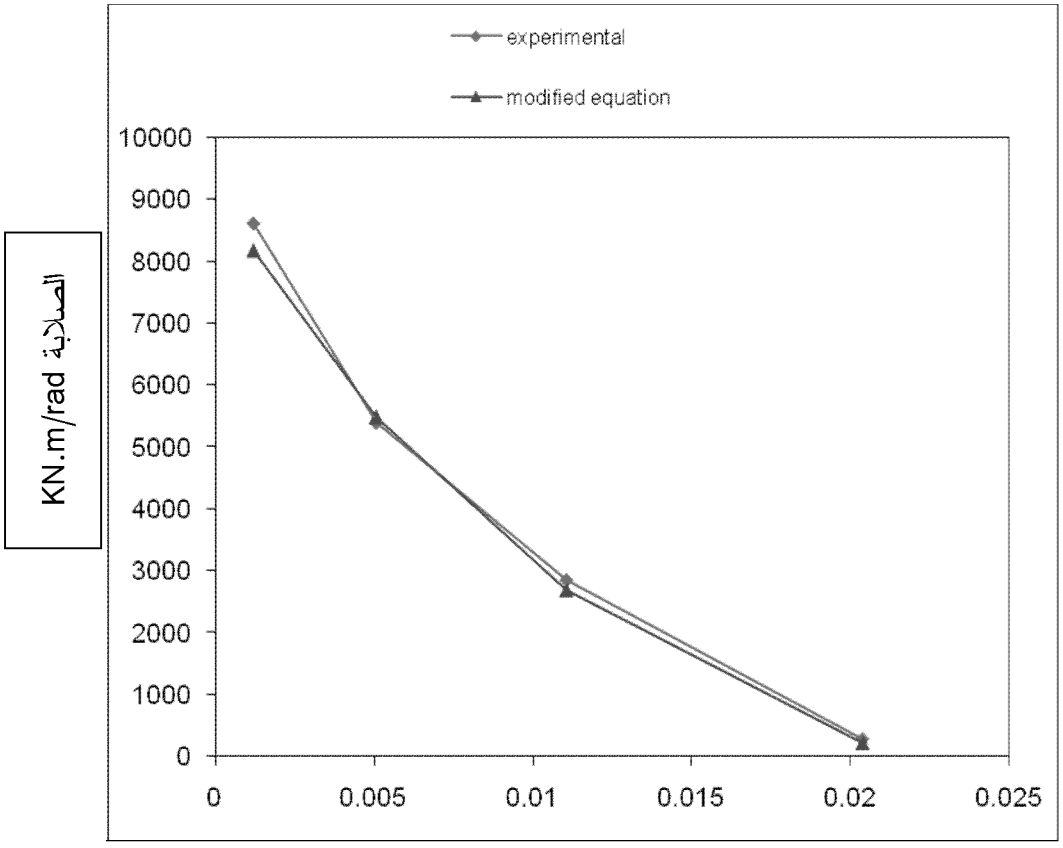
$S_p = 150$ kN.m/rad

$n_1 = 2.2$

$n_2 = 0.8$

$Ø_u = 0.02457$ rad

$Ø_0 = 0.001$ rad



الشكل (28-6) الصلابة-الدوران النسبي للعينة ع٣

- العينة ع٤ (الشكل 29-6):

$M_0 = 105$ kN.m

$S_o = 11500$ kN.m/rad

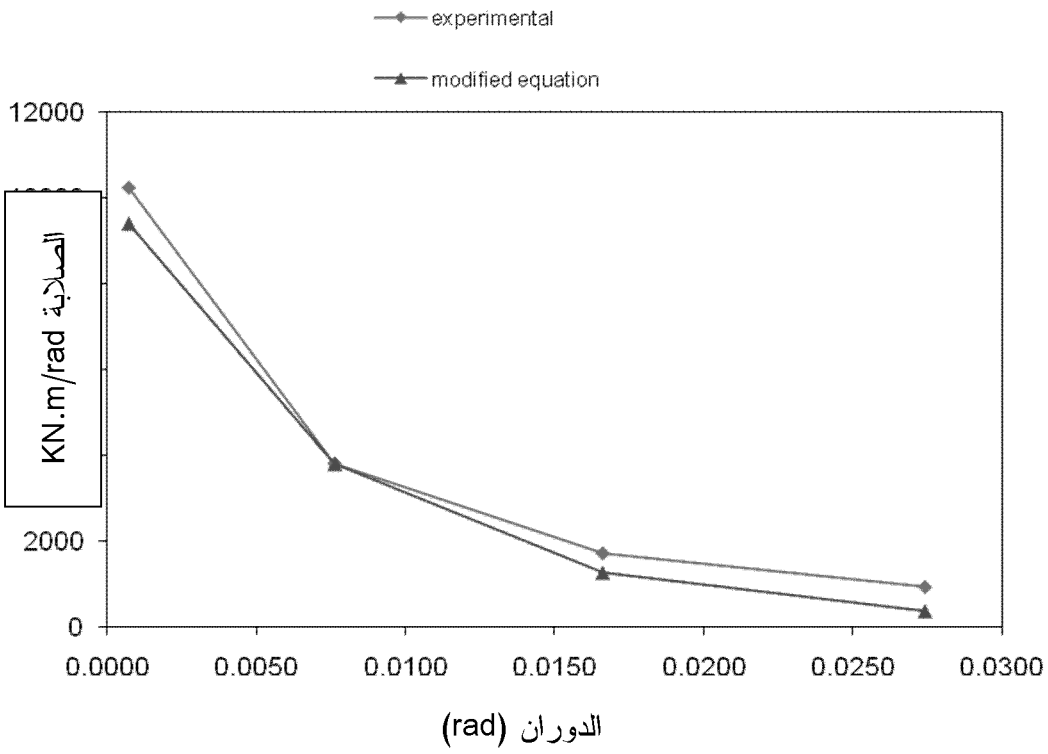
$S_p = 508$ kN.m/rad

$n_1 = 1$

$n_2 = 1.2$

$Ø_u = 0.0512$ rad

$Ø_0 = 0.0007$ rad



الشكل (29-6) الصلابة-الدوران النسبي للعينة ع٤

الفصل السابع

طريقة مبسطة لحساب دور الاهتزاز الأدنى للإطارات المعدنية بإدخال تأثير العقد نصف الصلبة

٧-١ مقدمة

تسمح معظم الكودات العالمية [7, 21] باستخدام ما يسمى بطريقة القوى الجانبية الستاتيكية المكافئة في تصميم المنشآت المعدنية تحت تأثير الهزات الأرضية. تتطلب هذه الطريقة الحساب التقريبي لدور الاهتزاز الأدنى لهذه المنشآت.

تقترح هذه الكودات أيضاً معادلات تقريبية لحساب أدوار الاهتزاز للمنشآت ولكن هذه المعادلات لا تعطي دقة كافية لدور الاهتزاز ولا تأخذ بالاعتبار وجود العقد نصف الصلبة حيث أنها معادلات تجريبية تقريبية لذلك تتطلب هذه الكودات أيضاً إعادة حساب أدوار الاهتزاز وفق معادلات أكثر دقة في المراحل المتطورة من الحل. إن طريقة القوى الستاتيكية المكافئة قابلة للتطبيق في المنشآت المنتظمة فقط (regular building) و التي يكون تحليلها في مستويين.

تم اقتراح العديد من المعادلات لحساب الدور الأساسي للاهتزاز للمنشآت المعدنية و المعادلات التالية تم تطويرها قبل الجمعية الأمريكية للهندسة المدنية ASCE 7-05 (American Society of Civil Engineering) [7] و هي:

$$T_a = 0.0724\, h_n^{0.8} \qquad (7\text{-}1)$$

الدور الأساسي للاهتزاز للإطارات المعدنية المقاومة للعزوم

$$T_a = 0.0731\, h_n^{0.75} \qquad (7\text{-}2)$$

الدور الأساسي للاهتزاز للإطارات المعدنية المتصالبة بشكل لا مركزي

حيث h_n هو الارتفاع الإجمالي للمنشأ (واحدة الارتفاع هي المتر m)

و هناك معادلات أخرى طورت من قبل الكود الأوروبي [21]:

$$T_1 = 0.075\, h_t^{0.75} \qquad (7\text{-}3)$$

الدور الأساسي للاهتزاز للمنشآت الإطارية

حيث h_t هو الارتفاع الكلي للمنشأ (واحدة الارتفاع هي المتر m)

$$T_1 = 2\pi\left(\frac{1}{g}\frac{\sum w_i \delta_i^{\,2}}{\sum H_i \delta_i}\right)^{0.5} \qquad (7\text{-}4)$$

الدور الأساسي للاهتزاز لجميع أنواع المنشآت

حيث w_i هي حمولة الجاذبية الكلية للطابق i

δ_i الانزياح الجانبي للطابق i تحت تأثير الحمولات الأفقية H_i و المطبقة عند منسوب كل طابق

إن المعادلة (4-7) تعرف أيضا بمعادلة Rayleigh

على الرغم من أن المعادلة (1-7) و (2-7) و (3-7) و (4-7) سهلة الاستخدام و لكنها تعطي قيم غير دقيقة لدور الاهتزاز في الإطارات، كما أنها لا تتطرق لتأثير العقد شبه الصلبة ، و لا تتطرق لكتل و صلابة المنشآت على الرغم من أنها أهم العوامل التي تؤثر على دور الاهتزاز الأساسي.

لذلك تم في هذا الفصل تطوير معادلة جديدة لحساب أدوار الاهتزاز الدنيا للمنشآت مع اعتبار الوزن الكتلي لهذه المنشآت وصلابتها وكذلك وجود العقد شبه الصلبة، هذه المعادلة سهلة الاستخدام و تعطي قيم دقيقة لدور الاهتزاز الأدنى للمنشآت وبالتالي فهي أكثر منطقية من المعادلات المستعملة حالياً.

٧-٢ حساب الدور الأساسي T_1

تعتبر طريقة Rayleigh-Ritz من أكثر الطرق شيوعا لحساب الدور الأساسي T_1 للمنشآت متعددة درجات الحرية. في هذه الطريقة تم الحصول على قيمة تقريبية للقيمة الخاصة eigenvalue الدنيا بواسطة العلاقة التالية:

$$\rho(\phi)_a = \frac{(\phi)_a^{\,T}[K](\phi)_a}{(\phi)_a^{\,T}[M](\phi)_a} \qquad \text{and} \qquad \lambda_1 \subseteq \rho(\phi)_a \subseteq \lambda_n \qquad (7\text{-}5)$$

حيث

[K] مصفوفة الصلابة للمنشأ

[M] مصفوفة الكتلة للمنشأ

$(\phi)_1$ القيمة الدنيا للمنحى الخاص eigenvector

$(\phi)_a$ القيمة مفترضة للمنحى الخاص eigenvector

في حال افتراض $(\phi)_a$ قيمة تقديرية لأقل قيمة للمنحى الخاص $(\phi)_1$ فإن قيمة معامل Rayleigh في المعادلة (5-7) تصبح مطابقة ل $\rho(\phi)_l = \lambda_1$

إن القيمة البدائية للمنحى الخاص (eigenvector) غير معروفة في بداية حل المسألة. لذلك يتم افتراض منحى خاص بشكل اختياري و استخدام علاقة Rayleigh للحصول على القيمة الخاصة eigenvalue (انظر المعادلة 5-7). و تعاد هذه العملية حتى حصول التقارب.

في التحليل الإنشائي فإن قيمة المنحى الخاص $(\phi)_a$ يمكن أن تؤخذ كمنحى الانزياح الجانبي (δ) و الناتجة من تعرض المنشأ لحمولات جانبية (H)

$$[K](\delta) = (H) \quad , (\phi)_a = (\delta) \tag{7-6}$$

بتعويض المعادلة (8-8) بالمعادلة (7-7) و بترتيبها يعطي

$$\rho(\phi)_a = \frac{(\delta)^T (H)}{(\delta)^T [M](\delta)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_i H_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i \delta_i^{\,2}} \tag{7-7}$$

حيث

δ_i الانزياح الجانبي للطابق i

H_i الحمولة الأفقية المطبقة على الطابق i

m_i الكتلة للطابق i

n عدد الطوابق في المنشأ

بتعويض $\lambda_1 = \omega_1^{\,2}$ حيث ω_1 التكرار الطبيعي الدائري الأدنى للمنشأ

و بذلك يكون:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \delta_i^{\,2}}{\sum_{i=1}^{n} H_i \delta_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \delta_i^{\,2}}{g \sum_{i=1}^{n} H_i \delta_i}} \tag{7-8}$$

حيث g تسارع الجاذبية

إن المعادلة (7-8) هي معادلة معروفة في معظم الكودات العالمية و كذلك بالكود السوري (الملحق-٢).

و لتسهيل استخدام المعادلة (7-8) و بما أن الشعاع (δ) هو افتراض للقيمة الأدنى للمنحى الخاص eigenvector للمنشأ لذلك يمكن افتراض بأن الحمولات المطبقة أفقيا عبارة عن حمولة وزن الطابق و مطبقة أفقيا عند منسوب كل طابق أي $H_i = w_i$ و بذلك تصبح المعادلة (7-8) على الشكل التالي:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \delta_i^{\,2}}{g \sum_{i=1}^{n} w_i \delta_i}} \qquad (7\text{-}9)$$

و لتبسيط المعادلة (7-9) تمت إضافة الافتراضات التالية:

١- حمولة الجاذبية للطابق ثابتة في المنشأ أي أن: ثابت $= w_i$

٢- افتراض أن الانزياح الطابقي δ_i يكون انزياحاً نسبياً خطياً بالنسبة لانزياح الطابق العلوي δ_n أي أن $\delta_i = \frac{h_i}{h_t} \times \delta_n$

٣- ارتفاعات الطوابق لها قيمة ثابتة و تساوي h أي أن $h = h_t / n$

حيث:

δ_n الانزياح الأفقي للطابق العلوي للمنشأ

h_i ارتفاع الطابقي و يأخذ من منسوب الأرض

h_t الارتفاع الكلي للمبنى

و بذلك تصبح المعادلة (7-9) على الشكل التالي:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{w_i \times h^2 \times \frac{\delta_n^{\,2}}{h_t^{\,2}} \left(1^2 + 2^2 + \ldots + n^2\right)}{g \times w_i \times h \times \frac{\delta_n}{h_t} \left(1 + 2 + 3 + \ldots n\right)}} \qquad (7\text{-}10)$$

و بإجراء بعض العمليات الحسابية نحصل على:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{h \times \frac{\delta_n}{h_t} \times \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}{g \times \frac{n}{2}(n+1)}} \qquad (7\text{-}11)$$

بافتراض $2n \approx (2n+1)$ و بترتيب المعادلة (7-11) نحصل على:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{2\delta_n}{3g}} \qquad (7\text{-}12)$$

يجب الانتباه إلى أن الافتراضات المذكورة بالأعلى لن تقلل قدرة المعادلة (7-12) على حل المسائل حيث تمت دراسة تأثير هذه الافتراضات و وجدنا أن تأثيرها بسيط جداً على دور الاهتزاز الأدنى.

٧-٣ المعادلة المقترحة

لحساب قيمة الانتقال δ_n في المعادلة (7-12) تم اقتراح النموذج الموضح بالشكل (7-1). يتألف هذا النموذج من عمود متصل بجائز من الأعلى و جائز من الأسفل و بهدف السهولة افترضنا الجائزين متطابقين.

- بحساب العزوم عند نهايات العناصر و باعتبار العزم الموجب عكس عقارب الساعة فإننا نحصل على:

$$M_{21} = M_{12} = \frac{EI_c}{L_c}\left[6\theta + \frac{6\delta_i}{L_c}\right] \;;\; M_{2B} = \frac{EI_b}{L_b}\left[3\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)\theta\right] \qquad (7\text{-}13)$$

حيث:

$$\beta = \frac{EI_b}{LR}$$

E عامل المرونة

I_c عزم العطالة للعمود

L_c ارتفاع العمود

I_b عزم العطالة للجائز

L_b طول الجائز

θ الدوران عند نهايتي العمود العلوية و السفلية

δ_i الانزياح الطابقي

R الصلابة الدورانية للوصلة

- باستخدام مبدأ التوازن عند العقدة 2:

$$\sum_2 M_{21} + M_{2B} = 0 \Rightarrow \left(\frac{6EI_c}{L_c} + \frac{3EI_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)\right)\theta + \frac{6EI_c}{L_c}\frac{\delta_i}{L_c} = 0 \Rightarrow$$

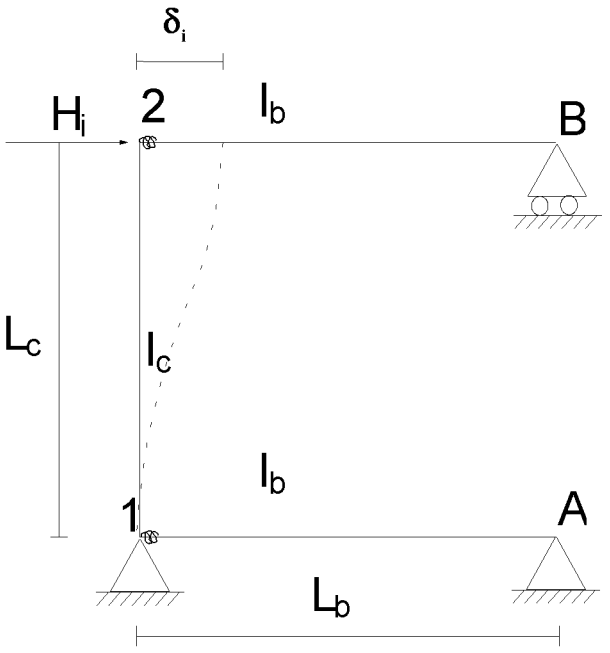
$$\theta = \left(\frac{-\frac{6EI_c}{L_c}\frac{\delta_i}{L_c}}{\frac{6EI_c}{L_c} + \frac{3EI_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)} \right) \qquad (7\text{-}14)$$

- باستخدام مبدأ التوازن عند العمود:

$$\sum_{column} M = 0 \Rightarrow M_{12} + M_{21} - H_i L_c = 0 \qquad (7\text{-}15)$$

بتعويض المعادلة (8-15) و (8-16) في المعادلة (8-17) و بحلها نحصل على :

$$\delta = \frac{\frac{HL_c^{\,3}}{12EI_c}}{G_i} \quad \text{where} \quad G_i = \frac{\frac{3EI_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)}{\frac{3EI_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right) + \frac{6EI_c}{L_c}} \qquad (7\text{-}16)$$



الشكل (1-7) النموذج المقترح

لاستخدام المعادلة (16-7) في الإطارات ذات الطوابق المتكررة يجب اعتبار الملاحظات التالية:

- في الإطارات ذات الانزياح الجانبي فإن تحنيب الجائز يكون ثنائي التقوس، و هنا الصلابة الدورانية للجائز يجب أن تضرب ب /2/.
- في الإطارات كل جائز يقيد عمودين و بذلك الصلابة الدورانية للجائز يجب أن تضرب ب /2/.
- كل جائز في الإطارات ذات الطوابق المتكررة و القابلة للانزياح الجانبي يقيد عمودين أعلاه و أسفله و بذلك الصلابة الدورانية للجائز يجب أن تقسم على /2/.

نتيجة للملاحظات المذكورة أعلاه فإنه يمكن استخدام المعادلة (16-7) في الإطارات ذات الطوابق المتكررة و ذلك بضرب الصلابة الدورانية للجائز ب /2/

$$G_i = \frac{\sum_{storey} \frac{6EI_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)}{\sum_{storey} \frac{6EI_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)+\frac{6EI_c}{L_c}} = \frac{\sum_{storey} \frac{I_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)}{\sum_{storey} \frac{I_b}{L_b}\left(\frac{1}{1+3\beta}\right)+\frac{I_c}{L_c}} \qquad (7\text{-}17)$$

إن العامل G_i عبارة عن نسبة مجموع صلابات الجوائز في الطابق i إلى مجموع صلابات الطابق كاملا (الجوائز و الأعمدة).

بالاستناد للمعادلة (7-17) نستطيع حساب الانزياح الجانبي للطابق العلوي والناتج عن تعرض المنشأ لحمولة الجاذبية الطابق و مطبقة بشكل أفقي عند منسوب كل طابق، و يكون الانزياح كالتالي:

$$\delta_n = \sum_{i=1}^{n} \delta_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{WL_c^{\,3}}{12EI_c n}\left(\frac{n+1-i}{G_i}\right) = \frac{W}{12En}\sum_{i=1}^{n} \frac{L_{ci}^{\,3}}{I_{ci}}\left(\frac{n+1-i}{G_i}\right) \qquad (7\text{-}18)$$

حيث:

I_{ci} مجموع عزوم العطالة للأعمدة قي الطابق i

L_{ci} ارتفاع الطابق i

G_i عبارة عن نسبة مجموع صلابات الجوائز في الطابق i إلى مجموع صلابات الطابق كاملا (الجوائز و الأعمدة)(7-17).

W الوزن الكامل للمنشأ

و بذلك

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{W}{18Egn}\sum_{i=1}^{n} \frac{L_{ci}^{\,3}}{I_{ci}}\left(\frac{n+1-i}{G_i}\right)} \qquad (7\text{-}19)$$

يجب ملاحظة أن المعادلة (7-19) مشابهة للمعادلة المستخدمة لحساب الدور الأدنى لمنشأ ذو لدرجة حرية واحدة $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ حيث m, K هي صلابة و كتلة المنشأ ذو درجة حرية واحدة على التتالي.

٧-٤ إثبات صحة المعادلة المقترحة

ليتم إثبات دقة المعادلة المقترحة (7-19) لحساب جيد لدور الاهتزاز الأدنى للمنشآت، تم اختيار مثالين من عدة أمثلة تم حلها من قبل الباحثين.

٧-٤-١ المثال ١

إن الإطار الموضح بالشكل (2-7) يتألف من ثلاث طوابق و الخصائص المعدنية للإطار كالتالي:

مقطع الجائز UB 203x102x23

مقطع العمود UC 152x152x23

$L_c = 300$ cm

$A_c = 29.2$ cm^2

$I_b = 2105$ cm^4

$I_c = 1250$ cm^4

$\sigma_y = 275$ N/mm^2

$E = 210000$ N/mm^2

تم استخدام وصلة الصفيحة المطابقة لجسد الجائز (Flush End Plate Connections) و بصلابة دورانية R= 3800 kN.m/rad و هذه القيمة تم أخذها من بحث [72] Scerbo.

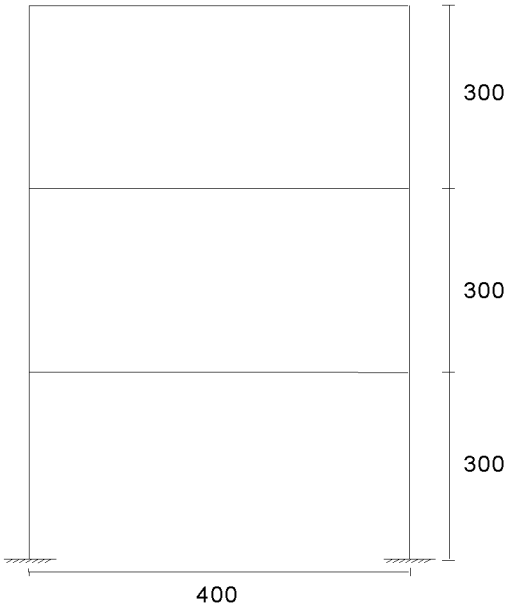
حمولة الجاذبية للطوابق (2,1) 30N/mm

حمولة الجاذبية للطابق العلوي 20N/mm

حساب خصائص الطابق الأول في الإطار تعطي:

$$\beta_1 = \frac{EI_b}{L_b R} = \frac{210000 \times 10^2 \times 2105}{400 \times 3800 \times 10^5} = 0.29$$

$$G_1 = \frac{\frac{2105}{400} \times \left(\frac{1}{1+3\times 0.29} \right)}{\frac{2105}{400} \times \left(\frac{1}{1+3\times 0.29} \right) + 2 \times \frac{1250}{300}} = 0.253$$



الشكل (2-7): الإطار في المثـــال 1

بتكرار نفس الخطوات لجميع الطوابق للإطار نحصل على الجدول (1-7)

الجدول (1-7) حسابات المثال ١

Story No.	$I_{ci}\sum_{storey} I_c$ x10^4 mm^4	G_i	$\frac{L_{ci}^{\ 3}}{I_{ci}}(n+1-i)$ 1/mm	$\frac{L_{ci}^{\ 3}}{I_{ci}}\frac{(n+1-i)}{G_i}$ 1/mm
1	2500	0.253	3240	12806
2	2500	0.253	2160	8537
3	2500	0.253	1080	4268
			$\sum = 6480$	$\sum = 25611$

نتائج حساب دور الاهتزاز الأدنى للإطار باستخدام المعادلة (19-7) موضح في الـــسطر الثالث للجدول (2-7). باستخدام برنامج SAP2000 [71] لحساب دور الاهتزاز موضـــح بالسطر الثاني للجدول (2-7).

الجدول (2-7) دور الاهتزاز للمثال ١

	دور الاهتزاز الأدنى
SAP2000	1.٧3
الطريقة المقترحة (19-7)	1.7
ASCE 7 (1-7)	0.42

نتائج حساب دور الاهتزاز الأدنى للإطار باستخدام الطريقة التقليديـــة ASCE 7 (1-7) موضح في السطر الرابع للجدول (2-7)

يمكن الاستنتاج من الجدول (2-7) بأن الطريقة المقترحة تعطي قيم لدور الاهتزاز الأدنى أكثر دقة من الطرق التقليدية.

٧-٤-٢ المثال ٢

إن الإطار الموضح بالشكل (3-7) يتألف من عشر طوابق و الخصائص المعدنية للإطار كالتالي:

مقطع الجائز UB 203x133x30

مقطع العمود UC 254x254x89

$L_c = 300$ cm

$A_c = 113$ cm^2

$I_b = 2896$ cm^4

$I_c = 14270$ cm^4

$\sigma_y = 275$ N/mm^2

$E = 210000$ N/mm^2

تم استخدام وصلة الصفيحة الممتـــدة (extended end plate connection) و بـــصلابة دورانية R= 10000 kN.m/rad و هذه القيمة تم أخذها من بحث Scerbo [72].

حمولة الجاذبية للطوابق (1 to 9) 20N/mm

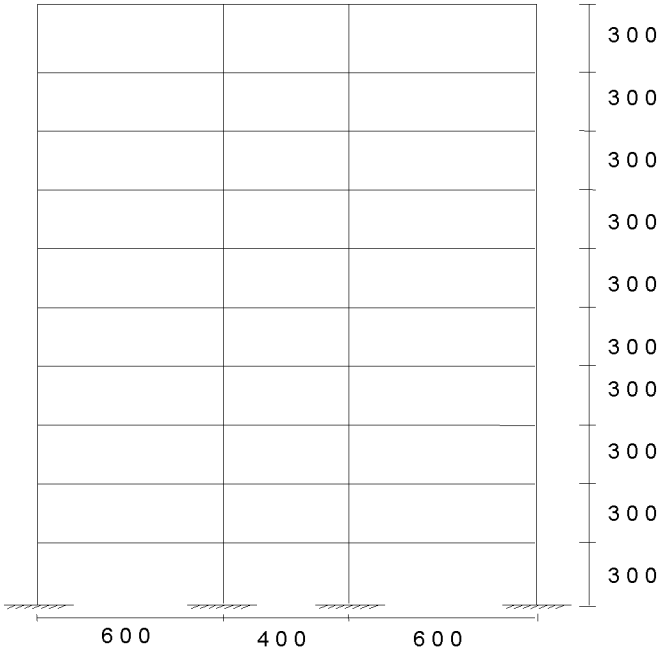
حمولة الجاذبية للطابق العلوي 10N/mm

حساب خصائص الطابق الأول في الإطار تعطي:

$$\beta_1 = \frac{EI_b}{L_b R} = \frac{210000 \times 10^2 \times 2896}{400 \times 10000 \times 10^5} = 0.152$$

$$\beta_2 = \frac{EI_b}{L_b R} = \frac{210000 \times 10^2 \times 2896}{600 \times 10000 \times 10^5} = 0.102$$

$$G_1 = \frac{2 \times \frac{2896}{600} \times \left(\frac{1}{1+3 \times 0.102} \right) + \frac{2896}{400} \times \left(\frac{1}{1+3 \times 0.152} \right)}{2 \times \frac{2896}{600} \times \left(\frac{1}{1+3 \times 0.102} \right) + \frac{2896}{400} \times \left(\frac{1}{1+3 \times 0.152} \right) + 4 \times \frac{14270}{300}} = 0.061$$



الشـــكل (3 – 7) إطـــار المثـــال 2

بتكرار نفس الخطوات لجميع الطوابق للإطار نحصل على الجدول (3–7)

الجدول (3-7)حسابات المثال ٢

Storey No.	$I_{ci}\sum_{storey} I_c$ x10^4 mm^4	G_i	$\frac{L_{ci}^3}{I_{ci}}(n+1-i)$ 1/mm	$\frac{L_{ci}^3}{I_{ci}}\frac{(n+1-i)}{G_i}$ 1/mm
1	57080	0.061	473	7754
2	57080	0.061	425	6967
3	57080	0.061	378	6196
4	57080	0.061	331	5426
5	57080	0.061	283	4639
6	57080	0.061	236	3868
7	57080	0.061	189	3098
8	57080	0.061	142	2327
9	57080	0.061	94	1540
10	57080	0.061	47	770
			$\sum = 2598$	$\sum = 42585$

نتائج حساب دور الاهتزاز الأدنى للإطار باستخدام المعادلة (7-19) موضح في السطر الثالث للجدول (7-4). باستخدام برنامج SAP2000 [71] لحساب دور الاهتزاز موضح بالسطر الثاني للجدول (7-4).

الجدول (7-4) دور الاهتزاز للمثال ٢

	دور الاهتزاز الأدنى
SAP2000	3.36
الطريقة المقترحة (8-21)	3.7
ASCE 7 (8-1)	1.1

نتائج حساب دور الاهتزاز الأدنى للإطار باستخدام الطريقة التقليدية ASCE 7 (7-1) موضح في السطر الرابع للجدول (7-4)

يمكن الاستنتاج من الجدول (7-4) بأن الطريقة المقترحة تعطي قيم لدور الاهتزاز الأدنى أكثر دقة من الطرق التقليدية.

٧-٥ الاستنتاج

إن تصميم المنشآت لمقاومة أفعال الهزات الأرضية يتطلب حساب دور الاهتـــزاز الأدنى لهذه المنشآت. تم اقتراح معادلات كثيرة في الكودات العالمية لحساب دور الاهتزاز و معظم هذه المعادلات أعطت نتائج غير دقيقة. المعادلة المقترحة من قبلنا تعطـــي قـــيم جيدة لدور الاهتزاز و تأخذ بعين الاعتبار كتلة و صلابة المنشأ و تأثير وجود العقد شـــبه الصلبة.

تم إثبات صحة المعادلة المقترحة بحل عدة أمثلة لحساب دور الاهتزاز. بمقارنـــة نتائج المعادلة المقترحة مع نتائج برنامج SAP2000 و نتائج المعادلة التقليديـــة ASCE تبين بأن المعادلة المقترحة تعطي قيماً لدور الاهتزاز أكثر دقة من المعادلة التقليدية ممـــا يثبت صحة هذه المعادلة.

٧-٦ إدخال تأثير صلابة العقد نصف الصلبة في تصميم المنشآت المعدنيـــة تحت تأثير الحمولات الديناميكية و الحصول على كلفة أقل للمنشأ المعدني

- سنقوم بدراسة منشأ معدني فراغي تحت تأثير الحمولات الديناميكية باستخدام برنـــامج إنشائي معروف SAP2000 [71] و ستكون الدراسة بحالتين :

١- دراسة المنشأ باستخدام وصلة الصفيحة الممتدة

٢-دراسة المنشأ باستخدام وصـــلة شـــبه صـــلبة و ذلـــك بإدخـــال قيمـــة صـــلابتها 10000kN.M/rad

و ستتم المقارنة بين الحالتين من خلال المقطع المعدني (وزن المنشأ) مع اعتمـــاد نفـــس نسبة الإجهاد

مواصفات المنشأ:

منشأ معدني فراغي مؤلف من طابقين بارتفاع /٣م/ للطـــابق الواحـــد و ثـــلاث فتحـــات بالاتجاه X و فتحتين بالاتجاه y حيث أن طول الفتحة /٦م/ كما بالشكل (4-7)

L_b=600cm

L_c=300cm

σ_y = 240 N/mm^2

$E = 205000\ N/mm^2$

مقاطع المنشأ المعدني في حال العقد الصلبة

Beam section: 40x20x1.1x0.7

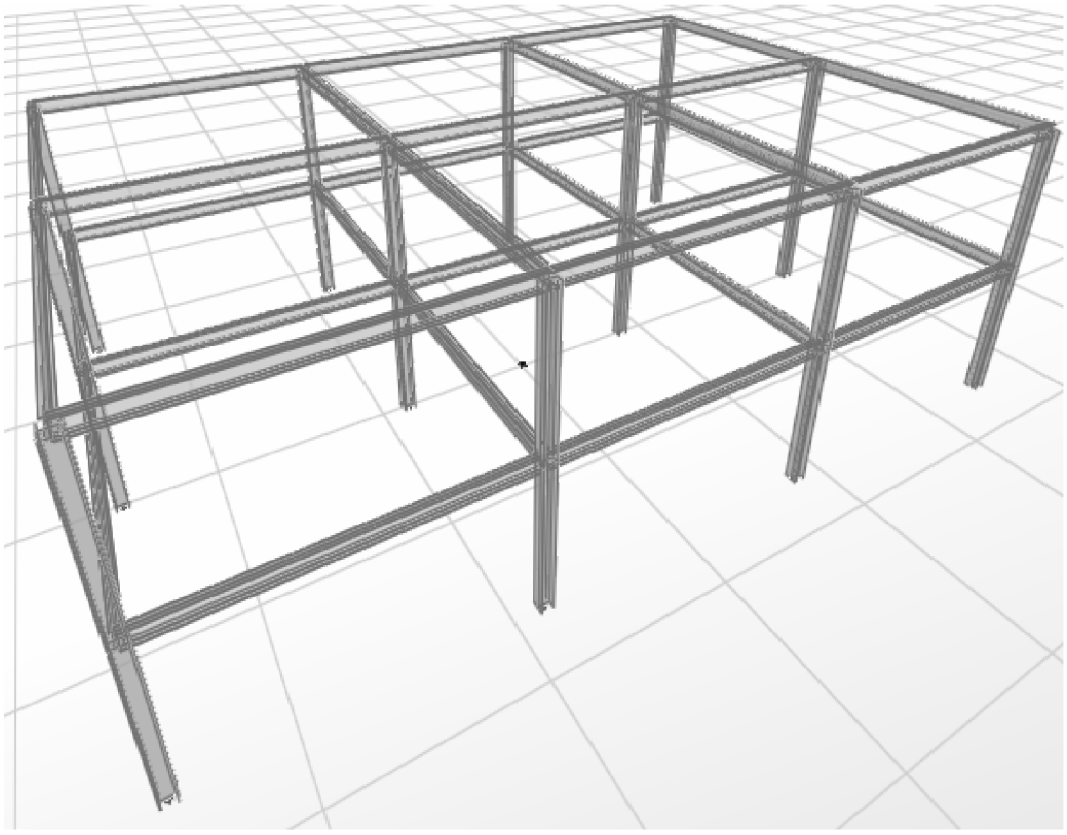
Column section: 35x35x1.1x0.7

مقاطع المنشأ المعدني في حال العقد شبه الصلبة

Beam section: 40x20x1.0x0.6

Column section: 35x35x1.0x0.6

إن الجدول (5-7) يوضح مقارنة بين وزن المنشأ في حال استخدام الوصلة الصلبة و شبه الصلبة مع الحفاظ على نفس قيمة نسبة الإجهاد



(4-7) المنشأ المعدني الفراغي

الجدول (5-7) مقارنة وزن المنشأ في حال استخدام الوصلة الصلبة و النصف صلبة

Structure weight	Semi-rigid connection	Rigid connection
SAP2000	15130 kg	17327 kg

بمقارنة النتائج في الجدول (5-7) نجد أن وزن المنشأ ككل ذو العقدة نصف الصلبة أقل من وزن المنشأ في حال العقدة الصلبة مع الحفاظ تقريبيا على نفس قيمة نسبة الإجهاد.

إن نسبة تخفيض الوزن هي: 1 - 15130/17327=0.13

و هكذا نستنتج بأن الوصلة نصف الصلبة تخفض وزن العنصر المعدني ب 13% عن الوصلة الصلبة و بالتالي تكون كلفة المنشأ المعدني أقل.

الفصل الثامن

الملخص، الاستنتاجات

٨-١ الملخص

تم في هذا البحث دراسة سلوك وصلات قمة العمود و التي تنتشر بشكل واسع في إطارات المنشآت الصناعية، حيث أن المعلومات الملائمة حول هذه الوصلة قليلة. تحتوي الرسالة على استعراض الأبحاث السابقة حول أنواع الوصلات المعدنية.

تم اختبار أربع عينات من وصلة قمة العمود و ذات مقاطع متنوعة و سماكة صفيحة عمود-جائز مختلفة و كذلك اختبار وصلتين للصفيحة الممتدة. تم عرض نتائج الاختبارات و كذلك مناقشتها من خلال الرسم البياني لمنحني العزم-الدوران. تم استخدام تابع ريتشارد-أبوت لتمثيل سلوك وصلة قمة العمود و ذلك برسم منحني العزم-الدوران، و تمت المقارنة بين التابع و نتائج الاختبارات.

و قد تم تطوير مجموعة من المعادلات لحساب صلابة الوصلات و الحمولة الحدية للأعمدة الإطارية و دور الاهتزاز الأدنى للإطارات المعدنية بحيث تأخذ بعين الاعتبار السلوك نصف الصلب للعقد المعدنية.

٨-٢ الاستنتاجات

١- إن سلوك الإطارات يتأثر بشكل كبير بصلابة الوصلة، لذلك يجب أخذ هذه الصلابة بعين الاعتبار قي التصميم و التحليل. إن افتراض الوصلة صلبة و إهمال مرونتها سيؤدي إلى إعطاء قيم زائدة للعزوم بالوصلات و بالتالي يؤدي إلى مقاطع أكبر للعناصر المعدنية و وزن أكبر و بالتالي كلفة أكبر للهيكل المعدني.

٢- تم اختبار أربع عينات من وصلة صفيحة قمة العمود و عينتين وصلة الصفيحة الممتدة ذات مقاطع مطابقة لعينات وصلة صفيحة قمة العمود و ذلك لتحديد نسبة صلابة وصلة صفيحة قمة العمود بالنسبة لصلابة وصلة الصفيحة الممتدة(و التي تمثل وصلة العزم الصلبة) و لإثبات أن وصلة قمة العمود وصلة شبه صلبة.

إدخال تأثير صلابة وصلة صفيحة قمة العمود (وصلة شبه صلبة) في التصميم و ذلك بإدخال قيمها كنسبة من صلابة وصلة العزم (وصلة الصفيحة الممتدة) في البرامج الإنشائية و التي تؤدي إلى إعادة توزيع العزوم في الإطارات بين العقد و المجاز بحيث تعطي توزيع أكثر اقتصاداً.

٣- تعتبر وصلة صفيحة قمة العمود كوصلة شبه صلبة و ذلك لخصائصها المرنة و التي تنشأ لأن صفيحة الجناح السفلي للجائز فقط تتصل بصفيحة العمود. و هذا السلوك المرن يظهر بوضوح في منحنيات العزم-الدوران من النتائج التجريبية.

٤- إن سماكة صفيحة الجناح السفلي للجائز عند موضع الوصلة تؤثر على صلابة الوصلة و العزم الأعظمي لها و التي تزداد بزيادة سماكة الصفيحة.

٥- إن سماكة جسد الجائز عند موضع الوصلة تؤثر على صلابة الوصلة و ذلك بسبب التشوه الناتج عن القص. إن الصلابة الأولية تتناقص مع الجسد الضعيف بسبب ازدياد التشوه الناتج عن القص.

٦- تطوير معادلة ريتشارد-أبوت لتعطي قيمة الصلابة للعقد المعدنية بشكل أفضل

٧- تطوير معادلة تعطي قيمة تقريبية للحمولة الحدية للأعمدة المعدنية بإدخال تأثير العقد نصف الصلبة.

٨- تطوير معادلة تعطي قيمة لدور الاهتزاز و تأخذ بعين الاعتبار وجود العقد نصف الصلبة.

٨-٣ توصيات الأعمال المستقبلية

- نحتاج لاختبارات أكثر عن وصلات صفيحة قمة العمود لزيادة قاعدة البيانات عن هذه الوصلة.
- يجب إجراء اختبارات على إطارات بأبعاد حقيقية لمعرفة سلوك الإطار ككل بتأثير وصلة صفيحة قمة العمود.
- نحتاج لدراسة تأثير عدد صفوف البراغي على سلوك الوصلة.
- إدخال مصفوفة الصلابة المعدلة و الإلباس في برامج عناصر منتهية.

المراجع

1- Abdalla,K .M.and Chen, W. F.(1995)."Expanded database of semi-rigid steel connections." Computers and Structures, Vol.56, No.4, pp.553-564.

2- Abu-Yasein,O.A. and Fredrick,G.R.(1994). "Elastic second-order analysis for frame design." Computers and Structures,Vol.52,No.6,pp.1161-1168.

3- Aggarwal, A.K. (1990)."Behavior of flexible beam-to-column connections."The Institution of Engineers Australia Structural Engineering Conf.pp.462-467.

4- Aggarwal, A.K. (1990)."Behavior of flexible end plate beam-to-column joints."Journal of Constructional Steel Research, Vol.16 ,pp.111-134.

5- Aggarwal, A. K. and Coates, R.C.(1988). "Moment-rotation characteristics of bolted beam-column connections."Journal of Constructional Steel Research,Vol.6,pp.303-318.

6- AISC (1989) , Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design , Ninth Edition, American Institute of Steel Construction , Chicago, IL.

7- AISC (2005), Manual of steel construction, Load and Resistance Factor Design. American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

8- Al-Mashary, F. and Chen W.F.(1990). "Elastic second-order analysis for frame design." Journal of Constructional Steel Research,Vol.15,pp.303-322.

9- Altman, W., Azizinamini, A., Bradburn,J. and Radziminski,J. (1982). "Moment rotation characteristics of semi-rigid steel beam-to-column connections." Report of Investigation,Department of Civil Engineering, University of South Carolina.

10- Ang,K .M.and Morris. G.A.(1984). "Analysis of the three-dimensional frames with flexible beam-column connections." Canadian Journal of Civil Engineers,Vol.11,No.2,pp.245-254.

11- ANSYS (2009) " ANSYS Workbench Version 12.1".

12- Aristizabal-Ochao,J.D.(1996)."Braced, partially braced and unbraced columns: complete set of classical stability equation." Structural Engineering and Mechanics,Vol.4,No.4,pp.365-381.

13- ASCE 7-05., (2005) "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures". American Society of Civil Engineers, Virginia, USA.

14- Astaneh, Abolhassan and Nader, Marwan N.(1990)."Experimental Studies and design of steel teel-shear connections."Journal of Structural Division. ASCE, VOI.116, No.10,pp.2882-2902.

15- Bahaari, M.R .and Sherbourne, A.N.(1996). "Structural behavior of end-plate bolted connection to stiffened columns." Computers and Structures,Vol.122,No.8,pp.926-935.

16- Barakat,M. and Chen,W.F.(1990). "Practical analysis of semi-rigid frames."AISC Engineering Journal,Vol.27,No.2,pp.54-68.

17- Bjorhovde,R.(1984)."Effect of end-restraint on column strength-Practical Applications."AISC Engineering Journal,VOI,20,No.I,First quarter.

18- Bose, B.(1981)."Moment rotation characteristics of semi-rigid joints in steel structures."Journal of Institution of Engineers (India),Part CI,Civil Engineering Division,VOI.62,Part 2,pp.128-132.

19- Bose B. and Hughes A.F. (1995). "Verifying the performance of standard ductile connections for semi-continuous steel frames. "Proc . Inst. Civ. Engrs. Structures and Buildings, Vol. 110, pp. 441-457.

20- Bose B. Youngson, G. K. and Wang, Z. M. (1996). " An appraisal of the Design rules in Eurocode 3 for bolted end-plate joints by comparison with experimental results." Proc. Inst. Civ. Engrs. Structures and Buildings, Vol. 116, pp.221-234.

21- CEN., (2004) "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance" Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard EN 1998- 1, 2004, Comité Européen de Normalisation, Brussels, Belgium.

22- Chajes, A.(1990). "Structural analysis." Second Eidition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

23- Chajes, A. and Churchull, J.E.(1987). "Nonlinear frame analysis by finite element methods." Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.113, No.6, pp.1221-1235.

24- Chasten, C.P., Lu, L.W. and Driscoll, G.C.(1992). "Prying and shear in end plate connection design." Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.118, No.5,pp.1295-1311.

25- Chen, W.F. (1993) (ED). " Semi – rigid connections in steel frames." Council on Tall Building and Urban Habitat, McGraw-Hill.

26- Chen, W. F. and Kishi, N. (1989). " Semi- rigid steel beam-to-column connections: Data base and modeling." Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol . 115, No. 1, pp. 105-119.

27- Chen,W.F. and Lui, E.M.(1987). "Structural stability:Theory and Inplementation." Elsevier Science Publishing CO.,Inc.

28- Chen W.F and Lui E.M.(1991). "Stability design of steel frames." CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A.

29- Chikho, A.H., (2002) "An approximate formula for calculating lateral displacements of sway structures" *R.J .of Aleppo Univ., Engineering Science Series*, No.**32**.

30- Choi, C.K. and Chung, G.T.(1996). "Refined three-dimensional finite element model for end-plate connection." Journal of Structural Division,ASCE,Vol.122,No.11,pp.1307-1316.

31- Dong, Q.(1994), Microcomputer Analysis of Reinforced Concrete Flat-Plate Structures Subjected to Lateral Loading. M. Sc. Thesis, The Uninersity of Manitoba, Canada, 1994.

32- El-Boghdadi, M.H., (1998), "Elastic plastic analysis of semi-rigid industrial frames." Ph.D. Dissertation, KFUPM, KSA

33- Federico, M. M. and Robert, T.(2000). " Behavior of steel structures in seismic area." Third International Conference STESSA, Montreal, Canada, PP.21-24.

34- Galal, G.M.H.(1992). "Plastic design of steel frames with rigid and semi-rigid joints."Ph.D.thesis, Suez Canal University, Egypt.

35- Galambos, T.V.(ED.) (1988). "Guide to stability design criteria for metal structures." Forth Edition, New York: john Wiley& Sons.

36- Gaylord, E.H. Gaylord, C.N. and Stallmeyer,J.E.(1992). "Design of steel structures ." Third Edition, New York: McGraw-Hill.

37- Goldberg, J .E. and Richard, R.M.(1963)."Analysis of nonlinear structures." Journal of Structural Division, ASCE, Vol.89, No.ST4, pp.333.

38- Goverdhan, A.V.(1983). "A Collection of experimental moment-rotation curves and evaluation of prediction equations for semi-rigid connections." Thesis, Vanderbilt University, Vashville, Tannessee.

39- HIBBELER. R.C., (2006). Structural Analysis. Sixth edition.

40- Hormby, D.F., Richard, R.M.and Kriegh, J.D(1984)."Single-plate framing connection with grade-50 steel and composite construction."AISC Engineering Journal,VOI.21,No.3,pp.125-38.

41- Horne M.R.; Merchant W., (1965) "The stability of frame. " Pergamon Press, Oxford.

42- Jenkins, W .M., Tong, C.S.and Prescott, A.T.(1986)."Moment-transmitting endplate connections in steel construction, and a proposed basis for flush endplate design." The Structural Engineer Vol.64A,No.5,pp.121-132.

43- Jones, S.W., Kirby. P.A. and Nethercot, D.A.(1982). "Columns with semi-rigid joints." Journal of Structural Division ,ASCE, Vol.108, No.ST2, PP.361-372.

44- Jones S. W ., Kirby P. A. and Nethercot D. A. (1983). "The analysis of frames with semi- rigid connections - A state-of-the-art report. " Journal of Constructional Steel Research, Vol. 3, No. 2-13.

45- Kishi, N. and Chen W.F.(1986). "Steel connection data bank program." Structural Engineering Report NO. CE-STR-86-11, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette,Ind.

46- Kishi, N. and Chen W.F.(1986). "Data base of steel beam –to-column connections." Vols 1 and П.Structural Engineering Report no.CE-STR-86-26,School of Civil Engineering, Purdue University, west Lafayette,Ind.

47- Kishi, N. and Chen W. F. (1990). "Moment-rotations of semi-rigid connections with angles." Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.116, No.7,pp.1813-1834.

48- Krishnamurthy, N., Huang. H. T., Jeffrey, P.K. and Avery, L.K.(1979). "Analytical M-θ curves for end-plate connections." Journal of Structural Division, ASCE,Vol.105,No.ST1,pp.133-145.

49- Kevin S. M. (1995). " Strength of singly symmetric steel beams with non-compact and slender compression elements." M.Sc University of Texas at Austin.

50- Liew , J. Y. R., White, D. W. and Chen, W. F. (1993). " Limit states design of semi-rigid frames using advanced analysis : part 2: Analysis and design ." Journal of Constructional Steel Research, Vol. 26,pp. 29-57.

51- Lightfoot, E. and Le Messurier, A.P.(1974). "Elastic analysis of frameworks with elastic connections." Journal of Structural Division, ASCE, Vol.100, No.ST6, pp.1297-1309.

52- Lipson S. L. and Antonio M. E. (1980). " single angle welded-bolted beam connections." Canadian Journal of Civil Engineering , Vol. 7, pp. 315-324.

53- Lo. D.S.K. and Stiemer, S.F.(1995). "A practical method for incorporating flexible connections in plane frame analysis." Canadian Journal of Civil Engineering,Vol.22,pp.871-882.

54- Lui, E.M. and Chen W.F.(1986)."Analysis and behavior of flexibly-jointed frames." Engineering Structures,Vol.8,pp.107-118.

55- Lui, E.M.(1988). "A practical P-delta analysis method for Type PR frames."AISC Engineering Journal,Vol.25,Part 3,Third qaurter,pp.85-98.

56- Maxwell, S., Howlett, J., Jenkins,W. and Bosa, B.(1981)."A realistic approach to the performance and application of semi-rigid joints in steel structures." In Joints in Structural Steelwork, J.H.HOWLETT, W.M.Jenkins and R.Stainsby,(Eds),Wiley, New York,N.Y.,PP.271-298.

57- Moore, d.b. and Owens, G.W.(1992). "Verification of design methods for finplate connection, "The Structural Engineer, VOI.70, No.3/4, pp.46-53.

58- Moncarz, P.D. and Crestle, K.H.(1981). "Steel frames wit nonlinear connections." Journal of Structural Division, ASCE, Vol.No.ST8, pp.1427-41.

59- Morris,G.A. and Packer, J.A.(1987). "Beam to column connections in steel frames." Canadian Journal of Civil Engineering. Vol.14. No.1, pp.68-76.

60- Nethercot, D.A.(1985). "Steel beam-to-column connections-A review of test data and its applicability to the evaluation of joint behavior in the performance of steel frames." CIRIA Project Record,RP 338,London.

61- Owens G. W . and Moore D. B. (1992). "Steelwork connection s: the robustness of simple connections." The Structural Engineer Vol.70,No.3/4,pp.37-46.

62- Packer, J.A. and Morris, L.J.(1977). "A limit state design method for the tension region of bolted beam-column connections." The Structural Engineer,Vol.55,No.10,pp.446-458.

63- Packer, J.A., Bruno,L. and Birkemoe, P.C.(1989)."limit analysis of bolted RHS flange plate joints." Journal of Structural Engineering,ASCE,Vol.115,No.9,pp.2226-2242.

64- Ramberg, W. ; Osgood, W. R. (1943). Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters. NACA Technical Paper, No.902.

65- Rashed, A., Machaly, B. Niaz, A.S.(1990). "Stability of space frames with semi-rigid connections." Computers and Structures, Vol.36, No.4, pp.613-622.

66- Razzaq,Z.(1983). "End retrained effect on steel column strength." Journal of Structural Division,ASCE,Vol.109,No.ST2,pp.314-334.

67- Richard, R. M., Kriegh, J. D. and Hormby, D. F. (1982). " Design of single plate framing connections with A 307 bolts." AISC Engineering Journal, Vol. 19, No. 4, pp.209-213.

68- Richard, R. M., Gillett, P. E., kriegh, J. D. and Lewis, B. A. (1980). " The analysis and design of single plate framing connections. " AISC Engineering Journal, Vol. 16, Second quarter, pp. 38-52.

69- Romstad, K.M. and Subramanian, C.V.(1970). "Analysis of frames with partial connection rigidity." Journal of Structural Division,ASCE,Vol.69,No.11,pp.2283-2300.

70- Salmon C. G. and Johnson E. J. (1990). " Steel Structures, Design and Behavior.", Third Edition, Harper Collins

71- SAP2000, (2009) "Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structure" California, USA.

72- Scerbo J.S., (1996) Analysis of steel frames with deformable beam to column connections. M.Sc. Thesis, The Uninersity of Manitoba, Canada

73- Scholz, H.(1991). "Plastic design of sway frames with semi-rigid connections using allowable slenderness ratio." Journal of Constructional Steel Research,Vol.19,Part1,pp.19-32.

74- Sherbourne, A.N. and Bahaari, M.R.(1994). "3D simulation of end-plate bolted connection." Journal of Structural Engineering ASCE,Vol.120,No.11,pp.3122-3136.

75- Sommer, W.H.(1969). "Behavior of welded header plate connections." Master's Thesis, University of Toronto, Ont.Canada.

76- STAAD PRO., 2007- Technical reference manual. Research Engineer International.

77- Sugimoto,H. and Chen,W.F.(1982). "Small end restraint effects on the strength of H-column." Journal of Structural Division, ASCE, Vol.108, No.ST3,PP.661-681.

78- Van Dalen,K. and Godoy,H.(1982) ."Strength and rotational behavior of composite beam-column connections."Canadian Journal of Civil Engineers,VOI.9,No.2,pp.313-322.

79- Weaver W . and Gere J.M.(1990). "Matrix analysis of framed structures." Third Edition,Van Nostrand Reinold,U.S.A.

80- Wu, F.S. and Chen W.F.(1990). "A design model for semi-rigid connections." Engineering Structures, Vol.2,pp.88-97.

81- Yee, Y.L. and Melchers, R.E.(1986). "Moment-rotation curves for bolted connections." Journal of Structural Engineering , ASCE, Vol.112, No.3, pp.615-635.

82- Zoetemeijer, P.(1974)."A design method for te tension side of statically loaded beam to column connections."Heron,Vol.20,No.I.

83- Zandonini, R., Bjorhovde, R., Colson, A., (1996) " Connections in steel structures III."

الملحق الأول

المراحل و الخطوات الرئيسية لاستنتاج مصفوفة الصلابة للحالات التالية:

١ – حالة العنصر (نصف صلب – موثوق)

من أجل العنصر نصف صلب–موثوق (النوع الثاني، الجدول 1-3)، فإن النهاية i مسنودة بنابض دوراني مرن ذو صلابة دورانية Ri ، و النهاية j موثوقة.

–الاشتقاق

إن العنصر الموضح بالشكل (3–3) معرض لانتقال شاقولي $\Delta 1=$ و مطبق عند النهاية i. في حال إهمال تأثيرات تشوهات القص و تقاصر محور العنصر، فإنه من الممكن استخدام طريقة الخط المرن (elastic line method) .

نأخذ العزم عند النهاية j :

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 \times L = M_1 + M_2 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1 + M_2}{L} \qquad (١)$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1 + M_2}{L} x \qquad (2)$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1 \qquad (3)$$

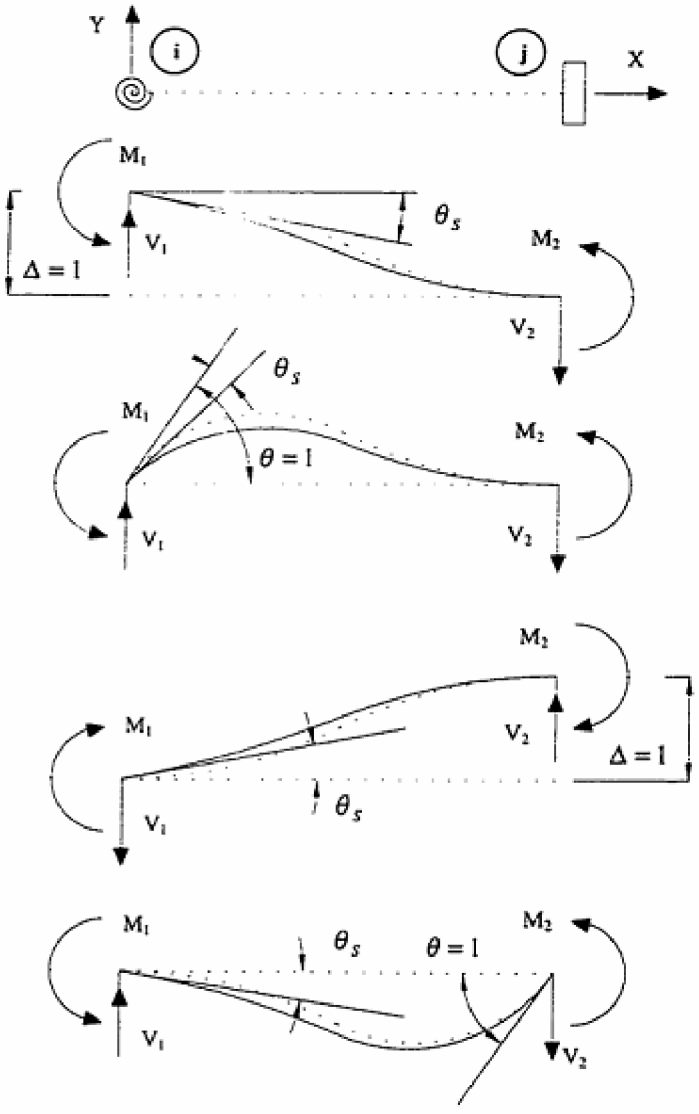
بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \qquad (4)$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

- at $x = 0 \Rightarrow Y = 1$ (5)
- at $x = 0 \Rightarrow Y' = -\theta_s = -\frac{M_1}{R_1}$ (6)
- at $x = L \Rightarrow Y = 0$ (7)
- at $x = L \Rightarrow Y' = 0$ (8)

حيث أن R_1 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة i



الشكل (3-3) الانتقالات و الدورانات الواحدية عند النهايتين i, j

و بتعويض شرط النهايات (5) في المعادلة (4) نحصل على:

$$C_2 = EI \qquad (9)$$

بتعويض شرط النهايات (6) في المعادلة (3) نحصل على:

$$C_1 = -EI\ \theta_s = -EI\ \frac{M_1}{R_1} \qquad (10)$$

بتعويض شرط النهايات (7) و المعادلة (9) و المعادلة (10) في المعادلة (4) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^3}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\ \theta_s L + EI = 0 \Rightarrow$$

$$(M_1 + M_2)\frac{L^2}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\ \frac{M_1}{R_1}L + EI = 0 \Rightarrow \qquad (11)$$

$$-\frac{1}{3}M_1L^2 + \frac{1}{6}M_2L^2 - EI\ \frac{M_1}{R_1}L + EI = 0$$

بتعويض شرط النهايات (8) و المعادلة (10) في المعادلة (3) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^2}{2} - M_1L - EI\ \frac{M_1}{R_1} = 0 \Rightarrow$$

$$-\frac{1}{2}M_1L + \frac{1}{2}M_2L - EI\ \frac{M_1}{R_1} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2}M_2L = \frac{1}{2}M_1L + EI\ \frac{M_1}{R_1} \Rightarrow$$

$$M_2 = M_1 + \frac{2\,EI}{LR_1}M_1 \Rightarrow$$

$$M_2 = M_1\left(1 + \frac{2\,EI}{LR_1}\right) \qquad (12)$$

بتعويض المعادلة (12) في المعادلة (11) نحصل على:

$$-\frac{1}{3}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1\left(1+\frac{2EI}{LR_1}\right)L^2-EI\frac{M_1}{R_1}L+EI=0\Rightarrow$$

$$\frac{1}{6}M_1L^2-\frac{1}{6}M_1\left(\frac{2EI}{LR_1}\right)L^2+EI\frac{M_1}{R_1}L=EI\Rightarrow$$

$$M_1\left(\frac{1}{6}L^2-\frac{1}{3}\frac{EI}{R_1}L+\frac{EI}{R_1}L\right)=EI\Rightarrow$$

$$M_1\left(\frac{1}{6}L^2+\frac{2}{3}\frac{EI}{R_1}L\right)=EI\Rightarrow$$

$$M_1\left(1+4\frac{EI}{LR_1}\right)=\frac{6EI}{L^2}\Rightarrow$$

$$M_1=\frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (13)$$

بتعويض المعادلة (13) في المعادلة (12) نحصل على:

$$M_2=\frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right)\left(1+\frac{2EI}{LR_1}\right)\Rightarrow$$

$$M_2=\frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1+2\frac{EI}{LR_1}}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (14)$$

بتعويض المعادلة (13) و المعادلة (14) في المعادلة (1) نحصل على:

$$V_1=\frac{M_1+M_2}{L}=\frac{6EI}{L^3}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}+\frac{1+2\frac{EI}{LR_1}}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right)\Rightarrow$$

$$V_1=\frac{6EI}{L^3}\left(\frac{2+2\frac{EI}{LR_1}}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right)\Rightarrow$$

$$V_1 = -V_2 = \frac{12\ EI}{L^3}\left(\frac{1+\frac{EI}{LR_1}}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (15)$$

- و بتطبيق دوران واحدي $\theta = 1$ عند النهاية i كما هو موضح بالشكل (3-3):

نأخذ العزم عند النهاية j :

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 \times L = M_1 + M_2 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1 + M_2}{L} \qquad (16)$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\ Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\ Y'' = -M_1 + \frac{M_1 + M_2}{L} x \qquad (17)$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\ Y' = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1 \qquad (18)$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \qquad (19)$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

- at $x = 0 \Rightarrow Y = 0$ (20)
- at $x = 0 \Rightarrow Y' = 1 - \theta_s = 1 - \frac{M_1}{R_1}$ (21)
- at $x = L \Rightarrow Y = 0$ (22)
- at $x = L \Rightarrow Y' = 0$ (23)

و بتعويض شرط النهايات (20) في المعادلة (19) نحصل على:

$$C_2 = 0 \qquad (24)$$

بتعويض شرط النهايات (21) في المعادلة (18) نحصل على:

$$C_1 = EI\ (1 - \theta_s) = EI\left(1 - \frac{M_1}{R_1}\right) \qquad (25)$$

بتعويض شرط النهايات (22) و المعادلة (24) و المعادلة (25) في المعادلة (19) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1+M_2}{L}\right)\frac{L^3}{6}-M_1\frac{L^2}{2}+EI\left(1-\frac{M_1}{R_1}\right)L=0\Rightarrow$$

$$(M_1+M_2)\frac{L^2}{6}-M_1\frac{L^2}{2}-EI\frac{M_1}{R_1}L+EIL=0\Rightarrow \qquad (26)$$

$$-\frac{1}{3}M_1L^2+\frac{1}{6}M_2L^2-EI\frac{M_1}{R_1}L+EIL=0$$

بتعويض شرط النهايات (23) و المعادلة (25) في المعادلة (18) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1+M_2}{L}\right)\frac{L^2}{2}-M_1L+EI\left(1-\frac{M_1}{R_1}\right)=0\Rightarrow$$

$$-\frac{1}{2}M_1L+\frac{1}{2}M_2L+EI-EI\frac{M_1}{R_1}=0\Rightarrow$$

$$\frac{1}{2}M_2L=\frac{1}{2}M_1L+EI\frac{M_1}{R_1}-EI\Rightarrow$$

$$M_2=M_1+\frac{2EI}{LR_1}M_1-\frac{2EI}{L}\Rightarrow \qquad (27)$$

بتعويض المعادلة (27) في المعادلة (26) نحصل على:

$$-\frac{1}{3}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1L^2\left(\frac{2EI}{LR_1}\right)-\frac{1}{6}L^2\left(\frac{2EI}{L}\right)-EI\frac{M_1}{R_1}L+EIL=0\Rightarrow$$

$$-\frac{1}{6}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1\left(\frac{2EI}{LR_1}\right)L^2-EI\frac{M_1}{R_1}L=-\frac{2}{3}EIL\Rightarrow$$

$$M_1\left(-\frac{1}{6}L^2+\frac{1}{3}\frac{EI}{R_1}L-\frac{EI}{R_1}L\right)=-\frac{2}{3}EIL\Rightarrow$$

$$M_1\left(\frac{1}{6}L^2+\frac{2}{3}\frac{EI}{R_1}L\right)=\frac{2}{3}EIL\Rightarrow$$

$$M_1\left(1+4\frac{EI}{LR_1}\right)=\frac{4EI}{L}\Rightarrow$$

$$M_1=\frac{4EI}{L}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (28)$$

بتعويض المعادلة (28) في المعادلة (27) نحصل على:

$$M_2 = \frac{4EI}{L}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right) + \frac{4EI}{L}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right)\left(\frac{2EI}{LR_1}\right) - \frac{2EI}{L_1} \Rightarrow$$

$$M_2 = \frac{2EI}{L}\left(\frac{2+4\frac{EI}{LR_1}}{1+4\frac{EI}{LR_1}} - 1\right) \Rightarrow$$

$$M_2 = \frac{2EI}{L}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (29)$$

بتعويض المعادلة (28) و المعادلة (29) في المعادلة (16) نحصل على:

$$V_1 = -V_2 = \frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1}{1+4\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (30)$$

- و بتطبيق دوران واحدي $\theta = 1$ عند النهاية j كما هو موضح بالشكل (3-3):

نأخذ العزم عند النهاية j :

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 \times L = M_1 + M_2 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1 + M_2}{L} \qquad (31)$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1 + M_2}{L}x \qquad (32)$$

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1 \qquad (33)$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \qquad (34)$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

- at $x = 0 \Rightarrow Y = 0$ (35)

- at $x = 0 \Rightarrow Y' = -\theta_s = -\frac{M_1}{R_1}$ (36)
- at $x = L \Rightarrow Y = 0$ (37)
- at $x = L \Rightarrow Y' = 1$ (38)

و بتعويض شرط النهايات (35) في المعادلة (34) نحصل على:

$$C_2 = 0 \quad (39)$$

بتعويض شرط النهايات (36) في المعادلة (33) نحصل على:

$$C_1 = EI \times -\theta_s = EI \times -\frac{M_1}{R_1} \quad (40)$$

بتعويض شرط النهايات (37) و المعادلة (39) و المعادلة (40) في المعادلة (34) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^3}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\ \frac{M_1}{R_1}L = 0 \Rightarrow$$

$$(M_1 + M_2)\frac{L^2}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\ \frac{M_1}{R_1}L = 0 \Rightarrow \quad (41)$$

$$-\frac{1}{3}M_1L^2 + \frac{1}{6}M_2L^2 - EI\ \frac{M_1}{R_1}L = 0$$

بتعويض شرط النهايات (38) و المعادلة (40) في المعادلة (33) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^2}{2} - M_1L - EI\ \frac{M_1}{R_1} = EI \Rightarrow$$

$$-\frac{1}{2}M_1L + \frac{1}{2}M_2L - EI - EI\ \frac{M_1}{R_1} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2}M_2L = \frac{1}{2}M_1L + EI\ \frac{M_1}{R_1} + EI \Rightarrow$$

$$M_2 = M_1 + \frac{2EI}{LR_1}M_1 + \frac{2EI}{L} \Rightarrow \quad (42)$$

بتعويض المعادلة (42) في المعادلة (41) نحصل على:

$$-\frac{1}{3}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1L^2\left(\frac{2EI}{LR_1}\right)+\frac{1}{6}L^2\left(\frac{2EI}{L}\right)-EI\,\frac{M_1}{R_1}L=0\Rightarrow$$

$$-\frac{1}{6}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1\left(\frac{2EI}{LR_1}\right)L^2-EI\,\frac{M_1}{R_1}L=-\frac{1}{3}EIL\Rightarrow$$

$$M_1\left(-\frac{1}{6}L^2+\frac{1}{3}\frac{EI}{R_1}L-\frac{EI}{R_1}L\right)=-\frac{1}{3}EIL\Rightarrow$$

$$M_1\left(\frac{1}{6}L^2+\frac{2}{3}\frac{EI}{R_1}L\right)=\frac{1}{3}EIL\Rightarrow$$

$$M_1\left(1+4\frac{EI}{LR_1}\right)=\frac{2EI}{L}\Rightarrow$$

$$M_1=\frac{2EI}{L}\left(\frac{1}{1+4\dfrac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (43)$$

بتعويض المعادلة (43) في المعادلة (42) نحصل على:

$$M_2=\frac{2EI}{L}\left(\frac{1}{1+4\dfrac{EI}{LR_1}}\right)+\frac{2EI}{L}\left(\frac{1}{1+4\dfrac{EI}{LR_1}}\right)\left(\frac{2EI}{LR_1}\right)+\frac{2EI}{L_1}\Rightarrow$$

$$M_2=\frac{2EI}{L}\left(\frac{1+2\dfrac{EI}{LR_1}}{1+4\dfrac{EI}{LR_1}}+1\right)\Rightarrow$$

$$M_2=\frac{4EI}{L}\left(\frac{1+3\dfrac{EI}{LR_1}}{1+4\dfrac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (44)$$

بتعويض المعادلة (43) و المعادلة (44) في المعادلة (31) نحصل على:

$$V_1=-V_2=\frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1+2\dfrac{EI}{LR_1}}{1+4\dfrac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (45)$$

▪ و بتطبيق انتقال شاقولي واحدي عند النهاية j كما هو موضـــح بالـــشكل (3-3) و بإتباع نفس الخطوات المذكورة سابقا يمكن اشتقاق العناصر المتبقية في مصفوفة الصلابة. و تعطى مصفوفة الصلابة $[K_m]_2$ كالتالي:

$$[K_m]_2 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & -12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 4L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & 12\left(\frac{1+\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & -6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_1}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1+2\rho_1}{1+4\rho_1}\right) & 4L^2\left(\frac{1+3\rho_1}{1+4\rho_1}\right) \end{bmatrix}$$

(46)

حيث أن $\rho_1 = \frac{EI}{LR_1}$

R_1 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة i

٢- حالة العنصر (موثوق – نصف صلب)

إن العنصر موثوق–نصف صلب يعاكس العنصر من النوع نصف صلب–موثـــوق مـــن حيث شروط النهايات. حيث يكون العنصر موثوق من النهاية i و نابض دوراني مرن من النهاية j ذو صلابة R_2. مصفوفة الصلابة تعطى بالعلاقة:

$$[K_m]_3 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 0 & -12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 4L^2\left(\frac{1+3\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & -6L\left(\frac{1+2\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & 0 & 12\left(\frac{1+\rho_2}{1+4\rho_2}\right) & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) & 4L^2\left(\frac{1}{1+4\rho_2}\right) \end{bmatrix}$$

(47)

حيث أن $\rho_2 = \frac{EI}{LR_2}$

R_2 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة j

٣- حالة العنصر (نصف صلب- متمفصل)

من أجل العنصر نصف صلب-متمفصل (النوع السادس، الجدول 1-3)، فإن النهاية i عبارة عن نابض ذو صلابة دورانية و النهاية j متمفصلة.

إن العنصر الموضح بالشكل (3-4) معرض لانتقال شاقولي $\Delta = 1$ و مطبق عند النهاية i.

نأخذ العزم عند النهاية j :

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 \times L = M_1 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1}{L} \qquad (48)$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1}{L}x \qquad (49)$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\ Y' = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1 \qquad (50)$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \qquad (51)$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

- at $x = 0 \Rightarrow Y = 1$ (52)
- at $x = 0 \Rightarrow Y' = -\theta_s = -\frac{M_1}{R_1}$ (53)
- at $x = L \Rightarrow Y = 0$ (54)

حيث أن R_1 تمثل الصلابة الدورانية للعقدة i

و بتعويض شرط النهايات (52) في المعادلة (51) نحصل على:

$$C_2 = EI \qquad (55)$$

بتعويض شرط النهايات (53) في المعادلة (50) نحصل على:

$$C_1 = -EI\ \theta_s = -EI\ \frac{M_1}{R_1} \qquad (56)$$

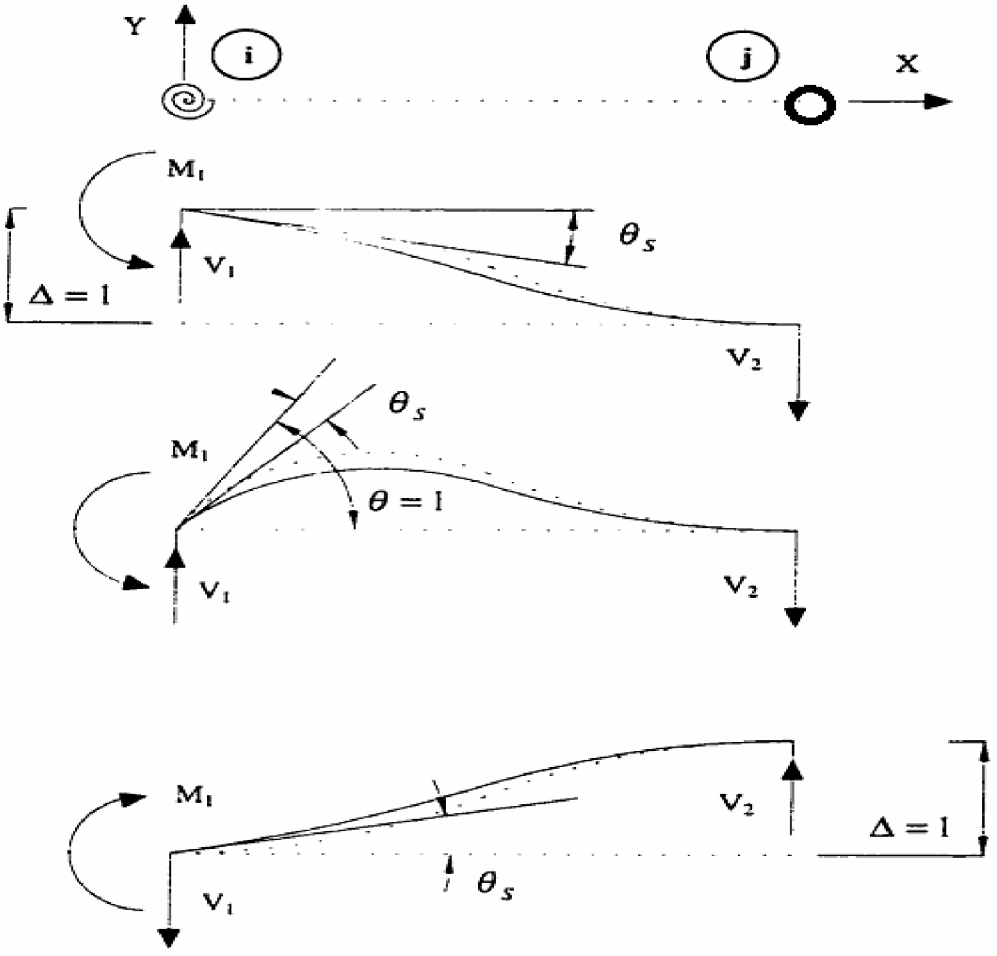
بتعويض شرط النهايات (54) و المعادلة (55) و المعادلة (56) في المعادلة (51) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{L^3}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\ \theta_s L + EI = 0 \Rightarrow$$

$$(M_1)\frac{L^2}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\ \frac{M_1}{R_1}L + EI = 0 \Rightarrow$$

$$M_1\left(\frac{L^2}{3} + EI\ \frac{L}{R_1}\right) = EI$$

$$M_1 = \frac{3\,EI}{L^2}\left(\frac{1}{1 + 3\,\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (57)$$



الشكل (4–3) الانتقالات و الدورانات الواحدية عند النهايتين j ,i

بتعويض المعادلة (57) في المعادلة (48) نحصل على:

$$V_1 = \frac{3EI}{L^3}\left(\frac{1}{1+3\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (58)$$

- و بتطبيق دوران واحدي $\theta = 1$ عند النهاية i كما هو موضح بالشكل (4-3):

نأخذ العزم عند النهاية j :

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 \times L = M_1 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1}{L} \qquad (59)$$

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1}{L}x \qquad (60)$$

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1 \qquad (61)$$

$$EIY = \left(\frac{M_1}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \qquad (62)$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

- at $x = 0 \Rightarrow Y = 0$ (63)
- at $x = 0 \Rightarrow Y' = 1 - \theta_s = 1 - \frac{M_1}{R_1}$ (64)
- at $x = L \Rightarrow Y = 0$ (65)

و بتعويض شرط النهايات (63) في المعادلة (62) نحصل على:

$$C_2 = 0 \qquad (66)$$

بتعويض شرط النهايات (64) في المعادلة (61) نحصل على:

$$C_1 = EI\,(1-\theta_s) = EI\left(1 - \frac{M_1}{R_1}\right) \qquad (67)$$

بتعويض شرط النهايات (65) و المعادلة (66) و المعادلة (67) في المعادلة (62) نحصل على:

$$(M_1)\frac{L^2}{6} - M_1\frac{L^2}{2} + EI\left(1 - \frac{M_1}{R_1}\right)L = 0 \Rightarrow$$

$$M_1\left(\frac{L^2}{3} + EI\,\frac{L}{R_1}\right) = EIL$$

$$M_1 = \frac{3EI}{L}\left(\frac{1}{1+3\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (68)$$

بتعويض المعادلة (68) في المعادلة (59) نحصل على:

$$V_1 = -V_2 = \frac{3EI}{L^2}\left(\frac{1}{1+3\frac{EI}{LR_1}}\right) \qquad (69)$$

و تعطى مصفوفة الصلابة $[K_m]_6$ للعنصر كالتالي:

$$[K_m]_6 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 \\ 0 & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 3L^2\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_1}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad (70)$$

٤- حالة العنصر (متمفصل – نصف صلب)

يكون العنصر من النوع السابع متمفصل من النهاية i و نابض دوراني مرن من النهايــة j ذو صلابة R_2. مصفوفة الصلابة تعطى بالعلاقة:

$$[K_m]_7 = \frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 0 & 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 0 & 0 & 3\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) \\ 0 & 3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 0 & 0 & -3L\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) & 3L^2\left(\frac{1}{1+3\rho_2}\right) \end{bmatrix}$$

(71)

٤- حالة العنصر (شبه صلب – شبه صلب)

نفترض أن الصلابة الدورانية R1=R2=R

نطبق انتقال شاقولي Δ 1= و مطبق عند النهاية i.

نأخذ العزم عند النهاية j :

$$\sum M_j = 0 \Rightarrow V_1 \times L = M_1 + M_2 \Rightarrow V_1 = \frac{M_1 + M_2}{L} \quad (72)$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y'' = -M_1 + V_1 x \Rightarrow EI\,Y'' = -M_1 + \frac{M_1 + M_2}{L} x \quad (73)$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\,Y' = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2} - M_1 x + C_1 \quad (74)$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY = \left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{x^3}{6} - M_1\frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2 \quad (75)$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

at $x = 0 \Rightarrow Y = 1$ (76)

at $x = 0 \Rightarrow Y' = -\frac{M_1}{R}$ (77)

at $x = L \Rightarrow Y = 0$ (78)

at $x = L \Rightarrow Y' = -\frac{M_2}{R}$ (79)

و بتعويض شرط النهايات (76) في المعادلة (75) نحصل على:

$$C_2 = EI \quad (80)$$

بتعويض شرط النهايات (77) في المعادلة (74) نحصل على:

$$C_1 = -EI\,\theta_s = -EI\,\frac{M_1}{R} \quad (81)$$

بتعويض شرط النهايات (78) و المعادلة (80) و المعادلة (81) في المعادلة (75) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^3}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\,\theta_s L + EI = 0 \Rightarrow$$

$$(M_1 + M_2)\frac{L^2}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\,\frac{M_1}{R}L + EI = 0 \Rightarrow \quad (82)$$

$$-\frac{1}{3}M_1L^2 + \frac{1}{6}M_2L^2 - EI\,\frac{M_1}{R}L + EI = 0$$

بتعويض شرط النهايات (79) و المعادلة (81) في المعادلة (74) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^2}{2} - M_1L - EI\,\frac{M_1}{R} = -EI\,\frac{M_2}{R} \Rightarrow$$

$$-\frac{1}{2}M_1L + \frac{1}{2}M_2L - EI\,\frac{M_1}{R} + EI\,\frac{M_2}{R} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2}M_2L + EI\,\frac{M_2}{R} = \frac{1}{2}M_1L + EI\,\frac{M_1}{R} \Rightarrow$$

$$M_2 + \frac{2EI}{LR}M_2 = M_1 + \frac{2EI}{LR}M_1 \Rightarrow$$

$$M_2 = M_1 \quad (83)$$

بتعويض المعادلة (83) في المعادلة (82) نحصل على:

$$-\frac{1}{3}M_1L^2+\frac{1}{6}M_1L^2-EI\frac{M_1}{R}L+EI=0\Rightarrow$$

$$-2M_1L^2+M_1L^2-6EI\frac{M_1}{R}L+6EI=0\Rightarrow$$

$$M_1\left(1+6\frac{EI}{LR}\right)=6\frac{EI}{L^2}\Rightarrow$$

$$M_1=\frac{6EI}{L^2}\frac{1}{(1+6\rho)} \qquad (84)$$

بتعويض المعادلة (84) في المعادلة (83) نحصل على:

$$M_2=\frac{6EI}{L^2}\frac{1}{(1+6\rho)} \qquad (85)$$

بتعويض المعادلة (84) و المعادلة (85) في المعادلة (72) نحصل على:

$$V_1=-V_2=\frac{12EI}{L^3}\frac{1}{(1+6\rho)} \qquad (86)$$

حيث أن $\rho=\frac{EI}{LR}$

- و بتطبيق دوران واحدي $\theta=1$ عند النهاية i:

نأخذ العزم عند النهاية j :

$$\sum M_j=0\Rightarrow V_1\times L=M_1+M_2\Rightarrow V_1=\frac{M_1+M_2}{L} \qquad (87)$$

إن العلاقة التفاضلية للعنصر تعطى كما يلي:

$$EI\,Y''=-M_1+V_1x\Rightarrow EI\,Y''=-M_1+\frac{M_1+M_2}{L}x \qquad (88)$$

حيث أن EI تمثل صلابة الانعطاف للجائز في مستوي العزم

و بالتكامل للمرة الأولى:

$$EI\,Y'=\left(\frac{M_1+M_2}{L}\right)\frac{x^2}{2}-M_1x+C_1 \qquad (89)$$

بالتكامل مرة ثانية:

$$EIY=\left(\frac{M_1+M_2}{L}\right)\frac{x^3}{6}-M_1\frac{x^2}{2}+C_1x+C_2 \qquad (90)$$

بتطبيق شروط النهايات التالية:

$$\text{at } x = 0 \Rightarrow Y = 0 \tag{91}$$

$$\text{at } x = 0 \Rightarrow Y' = 1 - \frac{M_1}{R} \tag{92}$$

$$\text{at } x = L \Rightarrow Y = 0 \tag{93}$$

$$\text{at } x = L \Rightarrow Y' = -\frac{M_2}{R} \tag{94}$$

و بتعويض شرط النهايات (91) في المعادلة (90) نحصل على:

$$C_2 = 0 \tag{95}$$

بتعويض شرط النهايات (92) في المعادلة (89) نحصل على:

$$C_1 = EI\ (1 - \theta_s) = EI\left(1 - \frac{M_1}{R_1}\right) \tag{96}$$

بتعويض شرط النهايات (93) و المعادلة (95) و المعادلة (96) في المعادلة (90) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^3}{6} - M_1\frac{L^2}{2} + EI\left(1 - \frac{M_1}{R}\right)L = 0 \Rightarrow$$

$$(M_1 + M_2)\frac{L^2}{6} - M_1\frac{L^2}{2} - EI\ \frac{M_1}{R}L + EIL = 0 \Rightarrow \tag{97}$$

$$-\frac{1}{3}M_1L^2 + \frac{1}{6}M_2L^2 - EI\ \frac{M_1}{R}L + EIL = 0$$

بتعويض شرط النهايات (94) و المعادلة (96) في المعادلة (89) نحصل على:

$$\left(\frac{M_1 + M_2}{L}\right)\frac{L^2}{2} - M_1L + EI\left(1 - \frac{M_1}{R}\right) = -EI\ \frac{M_2}{R} \Rightarrow$$

$$-\frac{1}{2}M_1L + \frac{1}{2}M_2L + EI - EI\ \frac{M_1}{R} = -EI\ \frac{M_2}{R} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2}M_2 + \frac{EI}{LR}M_2 = \frac{1}{2}M_1 + \frac{EI}{LR}M_1 - \frac{EI}{L} \Rightarrow$$

$$\left(1 + \frac{2EI}{LR}\right)M_2 = M_1 + \frac{2EI}{LR}M_1 - \frac{2EI}{L} \Rightarrow$$

$$M_2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{2EI}{LR}\right)}M_1 + \frac{\frac{2EI}{LR}}{\left(1 + \frac{2EI}{LR}\right)}M_1 - \frac{2EI}{L} \Rightarrow \tag{98}$$

بتعويض المعادلة (98) في المعادلة (97) نحصل على:

$$-\frac{1}{3}M_1L^2+\frac{1}{6}\frac{1}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}M_1L^2+\frac{1}{6}\frac{\frac{2EI}{LR}}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}M_1L^2-\frac{1}{6}L^2\left(\frac{2EI}{L}\right)-EI\frac{M_1}{R_1}L+EIL=0\Rightarrow$$

$$-\frac{1}{3}M_1+\frac{1}{6}\frac{1}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}M_1+\frac{1}{6}\frac{\frac{2EI}{LR}}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}M_1-\frac{1}{6}\left(\frac{2EI}{L}\right)-EI\frac{M_1}{LR}+\frac{EI}{L}=0\Rightarrow$$

$$-2M_1+\frac{1}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}M_1+\frac{\frac{2EI}{LR}}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}M_1-\left(\frac{2EI}{L}\right)-6\frac{EI}{LR}M_1+6\frac{EI}{L}=0\Rightarrow$$

$$M_1\left(-2+\frac{1}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}+\frac{\frac{2EI}{LR}}{\left(1+\frac{2EI}{LR}\right)}-6\frac{EI}{LR}\right)=\frac{2EI}{L}-\frac{6EI}{L}\Rightarrow$$

$$M_1\left(-1-6\frac{EI}{LR}\right)=-\frac{4EI}{L}\Rightarrow$$

$$M_1=\frac{4EI}{L}\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) \qquad (99)$$

بتعويض المعادلة (99) في المعادلة (98) نحصل على:

$$M_2=\frac{2EI}{L}\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) \qquad (100)$$

بتعويض المعادلة (99) و المعادلة (100) في المعادلة (87) نحصل على:

$$V_1=-V_2=\frac{6EI}{L^2}\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) \qquad (101)$$

- و بتطبيق دوران و انتقال واحدي عند النهاية j و بإتباع نفس الخطوات المـــذكورة سابقا يمكن اشتقاق العناصر المتبقية في مصفوفة الصلابة.

و تعطى مصفوفة الصلابة [K_m] للعنصر كالتالي:

$$[K_{m7}]=\frac{EI}{L^3}\begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 12\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 0 & -12\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 4L^2\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) \\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 \\ 0 & -12\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & -6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 0 & 12\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & -6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) \\ 0 & 6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 2L^2\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 0 & -6L\left(\frac{1}{1+6\rho}\right) & 4L^2\left(\frac{1}{1+3\rho}\right) \end{bmatrix} \quad (102)$$

ABSTRACT

The behavior of steel frames is highly influenced by the beam-column connections. In the analysis and design, they are idealized as either rigid or pinned for simplicity and between these two extremities lie the actual behavior of steel frames connections which is semi-rigid. This classification is characterized by the nonlinear moment-rotation relationship which must be incorporated in the analysis. Cap plate connection is widely used n industrial steel frames for its advantages over other types of building connections, but the response of such connection has not been experimentally determined sufficiently.

In this research, the behavior of cap plate connection was studied by testing four different connections to obtain data for moment-rotation curves of such connections, to compare their stiffness with rigid connection which modeled as Extended End Plate Connection by testing two connections. By comparison we found that the cap plate connection has more advantage than the extended end plate connection, specially it can reduce the weight of the structure which mean reduce the cost.

In this research, we developed simple model for calculating the ultimate load of a framed column in sway structures including the effect of semi-rigid connections, also we developed modification to Richard-Abbott equation for Calculating the Connections Stiffness. We studied the effect of semi-rigid Connections on the Fundamental Mode Period of Vibration in Steel Structures.

Testimony

We witness that the described work in this treatise is the result of scientific search conducted by the candidate Dia Eddin Nassani under the supervision of Dr. Abdul Hakim Chikho (main supervisor) professor at the department of structural Engineering, Faculty of Civil Engineering ,University of Aleppo.
Any other references mentioned in this work are documented in the text of the treatise.

Candidate	Supervisor
Eng. Dia Eddin Nassani	**Dr. Abdul Hakim Chikho**

DECLARATION

I hereby certify that this work:

Static and Dynamic Behavior of Frames with Semi-Rigid Connection

has not been accepted for any degree or it is not submitted to any other degree.

Candidate

Eng. Dia Eddin Nassani

Aleppo University
Faculty of Civil Engineering
Department of Structural Engineering

Static and Dynamic Behavior of Frames with Semi-Rigid Connection

A Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Structural Engineering

Submitted by
Eng. Dia Eddin Nassani

Supervised by
Dr. Abdul Hakim Chikho
Department of Structural Engineering
Faculty of Civil Engineering
University of Aleppo

2011