استخدام النمذجة العددية بديلاً عن التجارب المعملية في اختبار مفاصل المنشآت الهيكلية

بشير صالح الساعدي

المعهد العالي للتقنيات الهندسية غريان

Abstract:

This paper presents studies on FE modeling behavior of the beam to column joints for multi-storey buildings that subjected to the service and exceptional loads when the structure framework exposed to an exceptional event such as a vehicle impact, explosion, fire or earthquake. Those loads might causes the collapse of the entire structure when its column is lost. This paper also presents a comparison between the FE modeling results and experimental tests results, which were done in Rzeszow University of technology some time ago from now [1]. Numerical investigation was carried using one of the most commercial advanced software [4], which is used in important research and scientific investigations in the field of steel and steel-concrete composite framework. The complexity of such investigations arises from the highly nonlinear effect associated with predicting the joint performance of structural elements in the affected joints and adjacent joints. In addition, the slipping may occur between concrete and structure steel. This paper deals with the work of modeling perfectly matching the experimental test, which was tested in a previous period of time [3]. This paper provides recommendations for the optimal use of FE modeling techniques as an alternative of experimental test and to evaluate those situations and similar situations with ease and effectiveness. Moreover, draws conclusions from FE modeling results comparison to experimental test results. With respect to the comparison between force - displacement and bending moment to rotation curves also study the behavior of the structure numerically especially in the case of exceptional events when the joints subjected to a negative and positive bending moment (sagging and hugging) at one time or reciprocal case and other cases which is important and similar. Finally, the paper addresses these whole problems

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

and provides recommendations for numerical modeling techniques for the evaluation of joint moment-rotation response under hogging and sagging moments.

نبذة مختصرة

تقدم هذه الورقة دراسات حول النمذجة العددية للسلوك المشترك للمفاصل عند اتصال كمرة بعمود في المباني متعددة الطوابق والتي تنقل أحمال الخدمة المصممة لنقلها أصلاً وأحمال استثنائية قد تنتج عند تعرض المبنى أو الهيكل إلى الزلازل أو الانفجارات وقد تتسبب هذه الأحمال في انهيار الهيكل الإنشائي بالكامل عند فقدانه لأحد عناصره، عمود على سبيل المثال.

هذه الورقة تقدم أيضاً مقارنة ما بين النتائج المعملية والتي أجريت في جامعة جاشووف في وقت سابق [1] والنتائج العددية باستخدام أحد اهم البرمجيات المتطورة [2] والتي تستخدم في الأبحاث والتحقيقات العلمية الهامة والمعقدة في مجال الإنشاءات الفولاذية والخرسانية المركبة والتي تستخدم فيها قطاعات الهياكل الفولاذية إلى جانب الخرسانة المسلحة.

إن تعقيد مثل هذه التحقيقات ينشأ من التأثير غير الخطي للغاية المرتبط بالتنبؤ للأداء المشترك بين عناصر الهياكل في المفاصل المعرضة للانهيار والمفاصل المجاورة، مثل عيوب الهيكلية والإزاحة الكبيرة مقارنة بالأحمال وأيضاً العلاقة ما بين العزوم ودوران المفصل والخصائص غير المرنة للصلب والخرسانة معاً في المنشآت الهيكلية، إضافة إلى الانزلاق الذي قد يحصل ما بين الخرسانة وصلب الهياكل من ناتج الأحمال الاستثنائية (موضوع البحث)، وتتناول هذه الورقة عمل نمذجة مطابقة تماماً للتجربة المعملية والتي تمت الاختبارات عليها في فترة سابقة [3]، كما تقدم هذه الورقة توصيات للاستخدام الأمثل لتقنيات النمذجة العددية كبديل للتجارب المعملية مستقبلاً وذلك لتقييم هذه الحالات والحالات المشابهة بكل يسر وفاعلية واستخلاص النتائج من عمل النمذجة ومقارنتها بالنتائج المعملية فيما يتعلق بالمقارنة ما بين الإزاحة والأحمال أو القوى المسلطة وحساب قيمة العزوم مقارنة بدوران المفصل (M-ø) والكثير من المعلومات التي سيستفاد منها لاحقا خصوصا في الأحداث والحالات الاستثنائية للإنشاءات عند خضوع المفاصل لعزوم سالبة وموجبة أو بشكل متبادل في توقيت واحد وأيضا حالات أخرى هامة ومشابهة.

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

الكلمات الدالة: المفاصل، المتانة، المركب، النظرية المحدودة، لوحة النهاية.

1- المقدمــة

النمذجة العددية للسلوك المشترك ما بين الفولاذ والخرسانة المسلحة في الهياكل الفولاذية والهياكل المركبة يعتبر من أهم التحقيقات نظراً لأنه يوفر الجهد والوقت الذي كانت تستغرقه التجارب المعملية وخاصة التي تجرى على المباني والهياكل العالية والكبرى والتي تحاكي مبنى متعدد الطوابق به عدة مفاصل يراد دراسة سلوكها وتصرفها عند تعرضها لأحمال استثنائية وخضوعها لأحمال لم تصمم لأجلها كالزلازل أو الانفجارات. إن الكود الأوروبي يغطي في الوقت الحاضر فقط ما يسمى حالات التصميم الأساسية التي تتعرض لها المفاصل عند اتصال الكمرة بالعمود والتي تسبب عزوم انحناء سالبة مع إهمال التأثير الهام للقوى المحورية، وعند النظر في متانة الهياكل ومتطلبات التصميم لحالات الأحمال الاستثنائية (زلازل وانفجارات)، المهم في هذه المسألة هو قدرة الهيكل لإعادة توزيع القوى والأحمال المستجدة والغير مصمم لأجلها وتوزيعها داخليا بين أجزائه (المفاصل المجاورة) حتى يتوقف الضرر ولا يقتصر على مفصل واحد وبالتالي يتعرض لأحمال قوية من ناتج الأحمال الاستثنائية المستجدة ويحدث الانهيار.

إن توزيع الأحمال من المفصل المتضرر إلي المفاصل المجاورة يتم بتوليد ما يسمى بمسارات التحميل البديلة وفي الغالب من خلال ليونة المفاصل، على اعتبار أن المفاصل تمتلك ليونة كافية تعطيها قدرة دوران كافية وتشوه كبير قبل مرحلة الانهيار الجزئي أو الكلي، وفي هذا الأمر يتم انتقال جزء من القوى المسلطة من الأحمال الاستثنائية على المفصل المتضرر إلى المفاصل المجاورة والتي تليها حتى يتم توزيع هذه القوى بالتدريج أو بمعنى أخر تفريغ هذه القوى من المفصل الذي تعرض للضرر إلى المفاصل الأخرى المجاورة، وهذا يضمن عدم انهيار المفصل الذي تعرض لخسارة عمود ويجنب الهيكل ونظامه الانهيار التدريجي أو الانهيار التام، هذا الأمر يتطلب تحقيقات في سلوك استجابة المفاصل للانحناءات سواء كانت من ناتج العزوم السالبة أو العزوم الموجبة مصحوبة بمقدار انتقال القوى المحورية بشكل تدريجي عبر الكمرات الرابطة. هذا التحقيق يحتاج للعديد من الأبحاث والتجارب المعملية أجريت بعض منها

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

في جامعة جاشووف – بولندا [2] ولكن ونظرا للكلفة العالية لهذه التجارب والتي تحتاج لتموين ودعم مادي كبير، وجب البحث عن بدائل مناسبة لاستمرار هذه الأبحاث المهمة.

ومن هنا وجب التفكير في طرق اقل كلفة وأيضا يمكن إعادة التجربة ذاتها عدة مرات وإعادة سيناريو عملية التجربة للحصول على بيانات هامة ونتائج دقيقة تفيد في التعامل مع مثل هذه الحالات وهذا لا يمكن عمله في التجا رب المعملية، فكان البديل هو استعمال التقنية الحديثة في علم النمذجة العددية للعناصر المحددة والمحاكاة.

إن تقنيات النمذجة الحالية والمستخدمة في هذا البحث درست بتوسع لمفاصل الفولاذ والمفاصل المركبة تحت إجراءات معقدة تظهر في حالة من الانهيار التدريجي، والتحقق من صحتها تم من خلال إجراء مقارنات مع نتائج الاختبارات المعملية والتي أجريت في وقت سابق بمعمل جامعة جاشووف التقنية – بولندا كما سبق الإشارة إلى ذلك [15] كما سيتم توضيحه بالتفاصيل في هذه الورقة البحثية. تهدف هذه الورقة البحثية إلى المساهمة في دفع عجلة المعرفة في مجال البحث وخلق أساس لتقييم دولي لحالة ضعف المفاصل في المباني العالية والهياكل والتي قد تكون عرضة لأحمال استثنائية غير مصممة لأجلها قد تتسبب في انهيار الهيكل بالكامل، إضافة إلى اختيار أنسب نمذجة عددية وعمل محاكاة لهذه المفاصل سواء كانت لمعالجة الهيكل أو جزء من عناصره كاتصال كمرة بعمود أو أكثر أو دراسة عدة مفاصل في وقت واحد وهذا الذي تتضمنه هذه الورقة بشكل شامل.

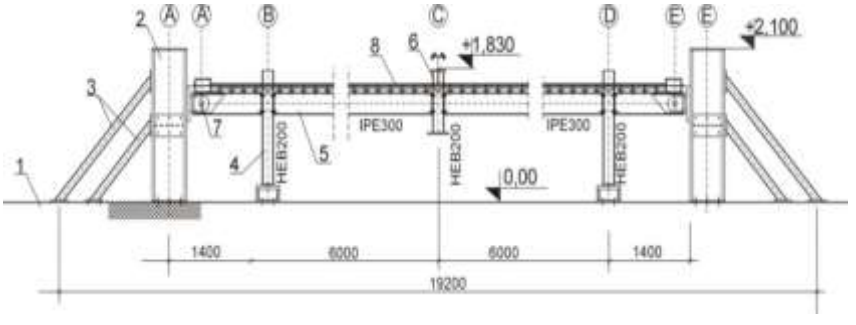
2- تطوير النمذجــة العددية للعناصر المحددة

بناء على دراسة أولية [11] كان من المسلم به أن التحليل الديناميكي غير الخطي يعطي نتائج أكثر واقعية ودقيقة إلى حد كبير، هذا يجعلنا في ثقة متزايدة على استخدام نمذجة العناصر المحددة بديلاً عن الاختبارات المعملية غير الاقتصادية والتي تحتاج لأعداد وفترة زمنية طويلة، كما إن التطور الكبير في عمل المحاكاة العددية للهياكل باستخدام برمجيات العناصر المحددة التجارية ABAQUS وأيضاً Ls-Dyna استخدمت [6، 7] لنوعين مختلفين من التحليل في هذا البحث، وهي التحليل الثابت والتحليل شبه الثابت. من أجل إجراء نمذجة عددية متكاملة وتحليل مع التدرج الزمني في تقنية النمذجة العددية، تم استخدام Global Viscous Damping للحد من فعالية الاهتزازات الناجمة عن الأحمال المطبقة وللحصول على

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

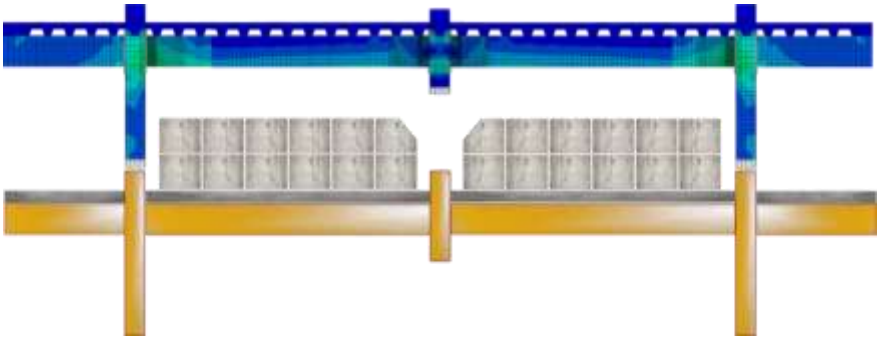
نتائج مستقرة وبدون تذبذب، وتم نمذجة جميع عناصر الصلب باستخدام عدد3 أو 4 عناصر العقدة القشرية المترابطة ولوحة اتصال الكمرة بالعمود نوع (Shell Plate Joints -FlashEnd) [8] ويتم نمذجة منطقة اللحام في المفصل ما بين الكمرة واللوحة الأمامية عن طريق دمج العقد مع بعضها بصورة تجميعية لضمان الحصول على نتائج دقيقة وأيضا لمحاكاة العقد بنفس طريقة الربط بواسطة المسامير في التجارب المعملية [9]. أما كثافة تقسيم (شبكة FE Meshing) فهي دقيقة في الأماكن التي يتوقع أن تكون بها تشوهات كبيرة ومتوسطة في المناطق البعيدة عن المفاصل وذلك لتسهيل وتسريع عملية الحصول على النتائج، ويبين الشكل .2الطريقة المثالية للتقسيم الشبكي للمناطق المشتركة ما بين الكمرة والعمود لكل النمذجة.

إن التحدي الأكبر والأصعب هو نمذجة مفاصل المناطق المحيطة للوصلات والمفاصل Joint) (Flush End-Plate، أي مناطق اللحام والمسامير الرابطة لعناصر الكمرة والعمود وهذا يحتاج لدقة في عمل النمذجة ولتجنب تركيز قوى الضغط بالقرب من البراغي أو المسامير وتوزيعها بشكل منتظم، واستخدمت تقنية خاصة مطابقة تماما لما هو واقعي [5، 6] في هذا البحث، ويمثل الفولاذ الهيكلي عن طريق نمذجة عددية من مادة مرنة مع تقريب دالة متعددة التعريف الخطي للعلاقة ما بين الإجهاد والانفعال التي يحددها المستخدم استناداً إلى الاختبارات المعملية التي أجريت سابقا، الشكل.1 يوضح المخطط التصميم للتجربة المعملية والشكل.2 يوضح التجربة المعملية وعمل النمذجة في البرمجيتين (ABAQUS & PATRAN).



الشكل (1) (الإطار المركب من الفولاذ والخرسانة)؛ 1-الارضية، 2–عمود تابت لمقاومة الاحمال الأفقية، عناصر 3 أذرع تثبيت، -4عمود خارجي، 5–كمرة، 6–عمود داخلي، 7– مفصل البلاطة خرسانية

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية



الشكل (2) نموذج الهيكل الخرساني المركب (التجربة المعملية والعددية).

3- الاختبارات المعمليـــة

في جامعة جاشووف التقنية – بولندا [1، 2، 10] أجريت أربعة اختبارات وتجارب معملية على هيكل يتضمن كمرة مستمرة بها خمسة مفاصل، التجربة الأولى أجريت على كمرات من مقاطع فولاذ نوع (IPE300) وأعمدة ذات مقاطع فولاذية (HEB200) وبدون خرسانة الأسقف أي هيكل فولاذي فقط، أما التجربة الثانية فكانت على كمرة مركبة Steel-Concrete Composite Frame Work، والتجربة المعملية صممت وفقا لمعايير الكود الأوروبي بطول كلي يصل إلى 19.20 متر، مقسمة إلى كمرات وسطية بطول 6.00 متر وكمرات طرفية قصيرة بطول 1.4 متر لمحاكاة جزء من بناية عالية تعرضت لانفجار تسبب في تدمير أحد الأعمدة الوسطية الشكلان.1، 2 يوضحان التفاصيل. وتم استخدام لوحة النهاية -Flash End Plate Joint للربط ما بين الكمرة والعمود بعدد 4 مسامير والتي تربط الكمرة بالعمود (المفصل) كلوحة قصيرة سمك 10 مم وبمسامير ربط قطر 20مم ولمحاكاة أحمال الخدمة والأحمال الاستثنائية في المبنى تم تسليط نوعين من الأحمال على الكمرة لمحاكاة الواقع تماما عند خضوع الكمرة لأحمال الخدمة والأحمال الاستثنائية في وقت واحد. إن أحمال الخدمة التي استخدمت في التجربة المعملية تمثلت في مكعبات خرسانية مقاس 1.20م * 1.20م *1.20م صنعت خصيصا لهذه التجربة، وعند اكتمال التحميل تم إزالة المسند الذي يرتكز عليه المفصل الوسطي بعد أن تم رفع المفصل مسافة 2مم بواسطة رفاع خاص بالتجربة ومن بعد تم ترك العمود في الهبوط التدريجي وتسجيل القراءات على المفصل الوسطي والمفاصل الجانبية لدراسة

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

سلوك الكمرة عند محاكاتها لهذه الأحمال، أما في التجربة الأولى فلا وجود لأحمال الخدمة باعتبار الكمرة عبارة عن مقاطع من الفولاذ فقط وقد أجريت هذه التجربة لمعرفة السلوك المبدئي لمثل هذه الحالات مع اخذ قراءات لتصرف الكمرة وإمكانية تطبيق الفكرة من حيث المبدأ، نتائج هذه التجربة نشرت في بحث سابق بالتفاصيل [1، 9، 11].أخذت كل القياسات اللازمة بشكل تدريجي ومنتظم عند كل تغير يحدث من جراء تسليط القوة وردود الأفعال وحالة التشوه في كل مفصل على حدة وبشكل منتظم. هذه القياسات أجريت بشكل قراءة للعدادات بطريقة بصرية مباشرة وقياسات أخرى أخذت بطرق أكثر تقنية وأكثر دقة لتأكيد وأهمية هذه المعلومات، مع تصوير مرئي دقيق لكل حالة تشوه في المفصل الوسطي (خسارة عمود) والمفاصل الجانبية كما في الشكل. 3.

الشكل (3) تقنية حديثة استخدمت لأول مرة بمعمل جامعة جاشووف لرصد تصرف المفاصل وحساب الإجهاد والانفعال في الخرسانة والفولاذ وتشوه المفاصل والقطاعات

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

4- التحقق من النمذجــة

طريقة العناصر المحدودة هي طريقة عامة لتحليل الإنشاءات حيث يتم تقريب حل مشكلة في ميكانيكا الوسط من خلال تحليل تجميع العناصر المحددة التي تكون مترابطة في عدد محدود من النقاط العقدية وتمثل مجال حل المشكلة .

إن طريقة العناصر المحدودة الآن مقبولة بشكل جيد كأقوى تقنية عامة للحل العددي من مجموعة متنوعة من المشاكل الهندسية، وتتراوح التطبيقات من تحليل الإجهاد في المواد الصلبة إلى حل الظواهر الصوتية وأيضاً (Neutron Physics) وحل مشاكل (Fluid Dynamic) Problems وغيرها من التطبيقات في الحياة العامة كالعلوم الهندسية والإنشاءات الضخمة المعقدة عند دراسة تصرفها أثناء تعرضها للأحمال الإنشائية. والواقع أن طريقة العنصر المحدود أصبحت طريقة رقمية عامة لحل المعادلات التفاضلية الجزئية الخاضعة للشروط الحدية والمبدئية وسيتم البحث في هذه الورقة في (Robust Structures) وبواسطة (Joint) Ductility وسيكون هناك أيضاً إجراء دراسات متفاوتة وهامة في سلوك الوصلات عند تعرضها للأحمال والعزوم بالتناوب، ودراسة (Stiffness Dimensions)، ومقارنة النتائج المعملية بالنتائج التجريبية المعملية.

إن المحاكاة العددية هي أساس لفهم كيفية تصرف المنشأ وعناصره التأسيسية وكيفية إعادة توزيع القوى في الجزء الذي لا يخضع لتأثير الأحمال الاستثنائية كأحمال الزلازل والانفجارات والتي قد تسبب في انهيار أحد أجزاء الهيكل كخسارة عمود مثلاً [2].

وفي هذا البحث سيتم عمل محاكاة عددية للمفصل الذي تعرض للانهيار من ناتج فقدان عمود ليحاكي نفس التجربة المعملية، حيث إنه تم تطبيق التحميل في التجربة المعملية ببطء لتجنب الآثار الديناميكية، تم وبنفس الخاصية التحكم في توقيت الأحمال في عملية النمذجة والمحاكاة العددية وباستخدام التقنية المتوفرة في برمجيات العناصر المحددة ,ABAQUS (PATRAN and LS-DYNA) والمقارنة الأولية تمت ما بين الأحمال المسلطة والإزاحة بالنسبة للتجربة المعملية والعددية وعمل مقارنة وفقا للشكل.4 حيث وجد توافق شبه تام ما بين نتائج التجربة المعملية ونتائج النمذجة بالنسبة للعلاقة (Force –Displacement) وبشكل عام يمكن ملاحظة حالتين مميزتين في السلوك الشامل من العينات المركبة التي تم اختبارها.

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

في الحالة الأولى هناك ضعف مفاصل اتصال الكمرة بالعمود، وقوة العمود الوسطي قد لا تصل إلى قيمة الصفر أو قريبة من مستوى قيمة الصفر في شكل منحنى الأحمال مقارنة بالإزاحة (Load Displacement Curve)، ويرتبط هذا التأثير بشكل عام مع وجود الكسر وتمزق تدريجي في نهاية اللوحات الفولاذية المتصلة ما بين الكمرة والعمود وهي أكثر منطقة متعرضة لقوة شد، وعملية مفاجئة تسببت في تمزق تدريجي في اللوح وهذا دليل على السلوك غير المرن في نظام الهيكل (Non-Robust).

الحالة الثانية هي الوضعية بالنسبة للمفاصل وبشكل متالي أقوى ما بين الكمرة والعمود، حيث القوة تتجاوز قيمة الصفر وهذا يرتبط بتغيير نوع القوة في سلوك رد الفعل إلى سلوك نشط وهو ما يعني أن هذا النظام هو أكثر قوة، وقدرة على إيجاد مسار بديل لنقل الأحمال في الوضع العرضي للمحاكاة في الاختبار عن طريق إزالة العنصر الرئيسي ويمكن اعتبار حجم العبء النهائي مؤشراً على درجة من الصلابة الهيكلية وهامش أمان للهيكل وهذا قد يظهر تحت ظروف التحميل الاستثنائية كما هو موضح في الشكل. 4 حيث يقدم الشكل مقارنة بين النتائج العددية والتجريبية لاثنين من نتائج تحاليل العينات.

وفي الشكلين 5 و6. يمكن ملاحظة عملية تدهور الصلابة والتشوه الجزئي إلى تقريباً تشوه كلي للمفصل الرئيسي الواقع تحت وضع خسارة عمود وقد لوحظ في المرحلة الأولية من التحقيق التجريبي استمرارية التشوهات البلاستيكية المفرطة في لوحة النهاية المشتركة ما بين الكمرة والعمود، والحالة مشابهة إلى حد كبير أيضاً في عمليات المحاكاة والنمذجة العددية سواء كانت من نتائج النمذجة بواسطة البرمجيةLS-DYNA (ABAQUS, PATRAN أو) [4, 8] أو من نتائج التجربة المعملية [3، 12، 14].

المنحنيات الخاصة بالنمذجة العددية بدأت في الانفصال في النقطة المعروفة في النتيجة التي ظهرت في التجربة المعملية والتي كانت من ناتج كسر مفاجئ في منطقة اللحام والتي تحوّل فيها الصلب إلى منطقة متصلبة وخالية من المرونة في مكان اتصال الكمرة بلوحة النهاية بالعمود، وتعتبر هذه المنطقة هي المسؤولة عن آلية الفشل للمفصل وفقدان المرونة المناسبة وبالتالي لا تسمح بالمزيد من الانتقال الجزئي للأحمال من المفصل المتضرر إلى المفاصل المجاورة وتم إثباته في بحث سابق [1، 2، 3]، النتائج كاملة في الأشكال. 5، 6، 7 توضح أن

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

العلاقة (Load-Displacement Characteristics) سواء المعملية أو العددية في الهيكل المركب ليست قوية بالقدر الكافي والمفصل تشوه بطريقة مشابهة تماما للحالة الأولى (Steel Specimen).

في المرحلة الأولى من التحميل (الأحمال الخدمية) كان هناك توافق تام ما بين النتائج المعملية ونتائج النمذجة العددية، أما في المرحلة الثانية للأحمال الاستثنائية لوحظ تغير وانفصال ما بين المنحنيات، حيث قيمة النمذجة العددية أكبر من النتائج المعملية والسبب هنا يرجع إلى حالتين هما:

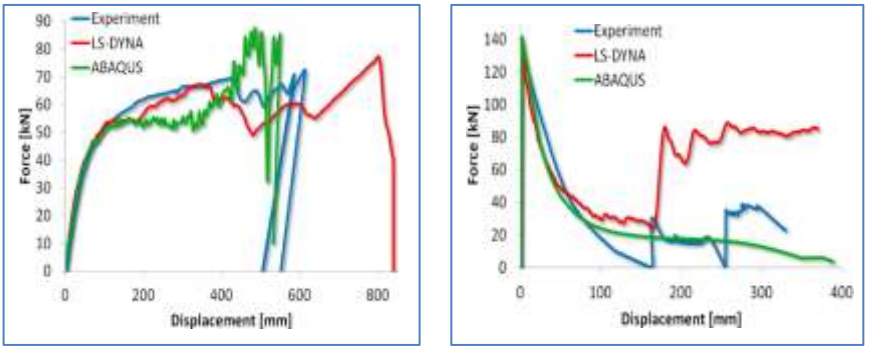
أن لوحة النهاية التي تربط الكمرة بالعمود غير منمذجه بشكل دقيق أو مناسب لما يتطلبه نظام المحاكاة العددي، هذا الأمر تسبب في تناقص في العلاقة (Load-Displacement) Curves على مقربة من منطقة الصفر في المنحى وهذا التصرف يحاكي ويرتبط بالتأثير مع الكسر التدريجي في لوحات الصلب الأكثر عرضة للإجهادات، وأيضًا العملية المفاجئة للتمزيق الذي حصلت في لوحة الصلب في الاختبار التجريبي والذي تم إثباته واكتشافه في بحث سابق وتأكيده في النتائج العددية [13].

أما الحالة الثانية فترجع إلى اختلاف في أنظمة التحليل المستخدمة في البرمجيات (Static & Quasi-Static) ومن أجل إجراء تحليل شبه ثابت عددي مع تكامل زمني واضح ورغم استخدام نظام التخميد اللزج المتاح في البرمجية (Ls-Dyna) إلا أن تأثيره واضح وخاصة في العلاقة (Force-Displacement) في الشكل.4، أما في الشكل. 5 فقد تم استبعاد نتائج البرمجية Ls-Dyna من المقارنة لان هذه البرمجية تعطي نتائج دقيقة في الاختبارات الديناميكية أكثر منها في الاختبارات الاستاتيكية (الثابتة) وهذا الامر يحتاج للمزيد من البحث للحصول على طرق أفضل من نظام التخميد اللزج المستخدم في البرمجية والذي استخدم وله تأثير سلبي كما سبقت الإشارة إلى ذلك وسيكون موضوع البحث القادم لما له من أهمية كبيرة في الاختيار المناسب لعلم النمذجة والمحاكاة في التجارب المعملية التي تحتاج للبحث والتحقيق الدقيق ومدى مطابقة النتائج معملياً وعددياً وخاصة تأثير (FE Meshing) المهم في الحصول على نتائج قريبة ومطابقة لنتائج الاختبارات المعملية والتي قد لا يحتاج لها

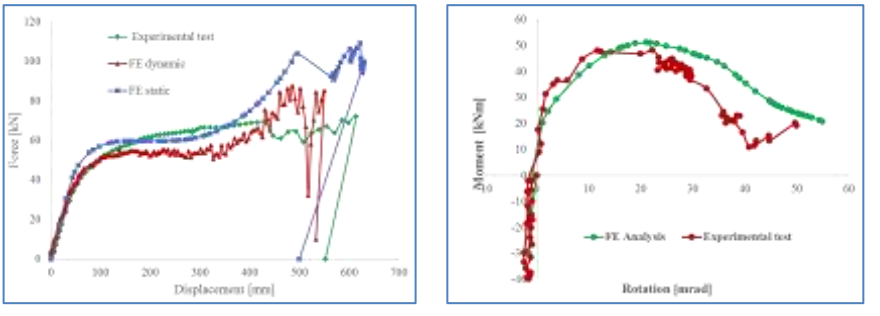
 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

كثيراً في الاختبارات والأبحاث مستقبلاً بعد الاختيار الأنسب للنمذجة (FE Modeling) ويتم تطبيق المحاكاة بشكل علمي مناسب ودقيق.

إن الأمر المطمئن في هذا البحث هو أن كل المنحنيات أخذت أشكالاً وانحناءات معملياً وعددياً ورغم تفاوت درجة تطابقها إلا أن النتائج المتحصل عليها وخاصة في (Elastic Stage)وبهذا الشكل يعتبر تحدياً كبيراً وتفوقاً علمياً جيداً ومع الوقت يمكن استثماره وتوضيبه بشكل ذي فائدة لأبحاث مستقبلية.

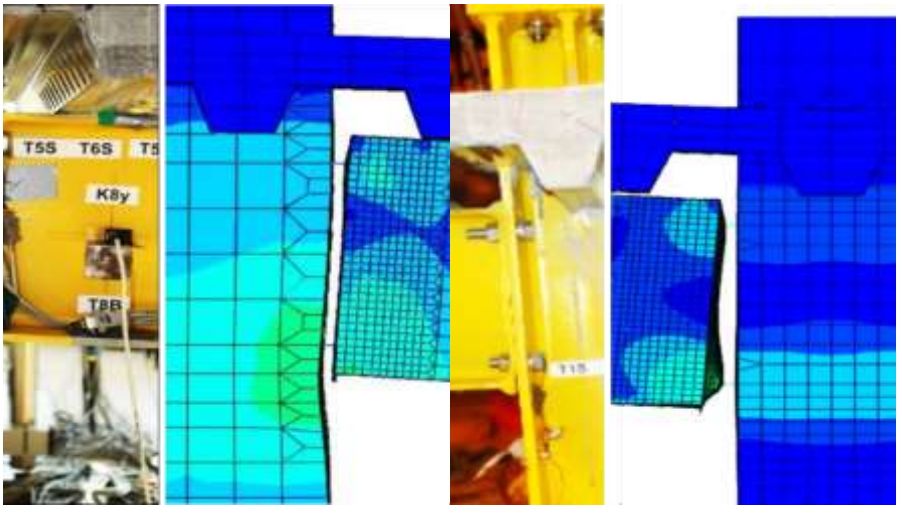


الشكل (4) مقارنة ما بين القوة والازاحة في المفصل الفولاذي وأيضاً العزوم ودوران المفصل المركب (فولاذ وخرسانة).

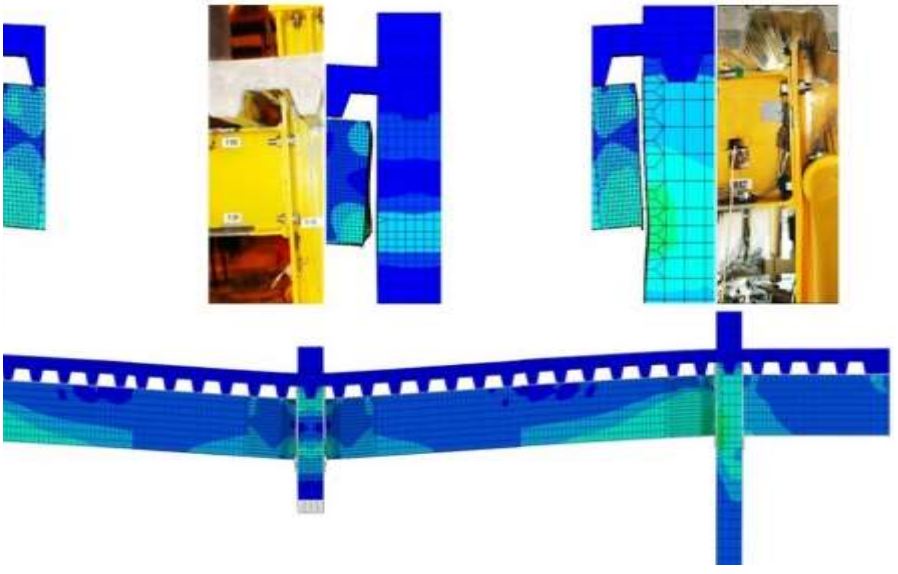


الشكل (5) مقارنة ما بين منحنيات القوة مقابل الإزاحة والانحناء ضد العزوم لعينة الفولاذ، مقارنة ما بين النتائج المعملية والرقمية (المحاكاة).

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية



الشكل (6) يوضح مقارنة التشوه للمفاصل الفولاذ والخرسانة للعينات المعملية وعينات المحاكاة.



الشكل (7) يوضح مقارنة التشوه للمفاصل الفولاذ والخرسانة للعينات المعملية وعينات المحاكاة الرقمية لكل المفاصل

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

5- الخلاصـة

العنصر المهم في الهياكل هو متانة المفاصل لمقاومة الانهيار التدريجي في الوقت نفسه يجب أن تكون على قدر كافٍ من المرونة لمقاومة الحالات الاستثنائية المذكورة لزيادة نسبة التشوه دون حدوث تمزق أو كسر في المنطقة المهمة والتي يرتبط فيها العمود بالكمرة والعكس.

في النمذجة العددية تم من خلال هذا البحث تأكيد إثبات أن قوة ومتانة المفاصل (الفولاذ والخرسانة) يجب أن تكونا على قدر متساوٍ من المتانة والمرونة بحيث يضمنان وبالتوافق على أن مفاصل الهياكل الفولاذية–الخرسانية ممكن لهما تحمل ونقل الأحمال الاستثنائية الناتجة عن الانفجارات (خسارة عمود أو عنصر من الهيكل) وتوزيعها من المفصل المتضرر إلى المفاصل المجاورة عند وجود أحمال استثنائية وفقدان الهيكل لاحد عناصره أو أكثر.

التجارب سواء المعملية أو النمذجة العددية أثبتت أن هذا النوع من المفاصل (Flush End-Plate Joints)

لا يصلح لهذه المهمة في تحمل ونقل الأحمال الاستثنائية إلى كل المفاصل المجاورة وبالتالي لا يمنح فرصة كبيرة لتجنب حدوث انهيار لمبنى العالي أو الهيكلي عند خضوعه لأحمال استثنائية الأمر الذي يستدعي البحث عن بدائل تكون أكثر قوة وبقدر كافٍ من المرونة وبالتالي سيتم إجراء أبحاث أخرى معملية وعددية.

الشيء المهم والإيجابي في هذا البحث هو النتائج الكبيرة في نسبة التوافق ما بين التجارب المعملية والنمذجة العددية والذي يعطي ثقة كبيرة في هذا النوع من الاختبارات والثقة في النتائج يمكن الاعتماد عليها بشكل كبير وهذا يكون واضحاً في المفصل وفقاً للشكل رقم.6، كما يوضح مدى التوافق في التشوه ما بين التجربة المعملية والنمذجة العددية تماماً متلما كانت النتائج مبهرة في التمثيل البياني شكل. 4.

من خلال هذا البحث وأبحاث مشابهة سبق نشرها [7، 11] تؤكد أن النمذجة العددية هي إحدى تقنيات العصر ويمكن الاعتماد عليها بشكل كبير في الحصول على نتائج كبيرة وأكثر دقة في الكثير من العلوم التي تخص الهندسة الإنشائية كما أنها تصلح لحل الكثير من المشاكل القائمة والتي ربما من خلالها يمكن إنقاذ الهياكل والمباني والجسور من الانهيارات بإجراء البحوث المتناوبة وتشجيع الطلاب والبحاث عليها وعلى إتقان البرمجيات الهامة التي تساعد في

Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

إجراء مثل هذه الأبحاث، كما يشار هنا إلى أنه وفي الوقت الحالي لا بديل عن إجراء الاختبارات المعملية ولكن بقدرٍ قليل لتأكيد أكبر من التوافق مع البرمجيات العددية لضمان النتائج بنسبة كبيرة.

النتائج المتحصل عليها من هذا البحث والمتوافقة تماماً مع التجارب المعملية إلى حدٍ كبير تشجع على إجراء بحث آخر وبنفس الكيفية (Steel-Concrete Composite Framework) ولكن باستخدام مفاصل أكثر متانة أي باستخدام لوحة نهاية الاتصال بين الكمرة والعمود مختلفة (Extended End-Plate) وبزيادة عدد مسامير الربط من أربعة إلى الضعف أي ثمانية مسامير.

المراجـع

[1] B. SALEH, Experimental investigation for the steel-concrete composite joints subjected to in exceptional load, 6th Conference of Building Materials and Construction, Gharyan, Libya, 201**6**.

[2] B. SALEH, Modeling of beam-to-column joint of steel-concrete composite frames subjected to standard and extreme load combinations, PhD thesis, Warsaw University of Technology, Warsaw 2013.

[3] B. Saleh, Moment-Rotation Characteristic of Joints of Steel-Concrete Composite Frame under Exceptional Events, Elegance in Structures, Volume 104, Issue 1, Pages 1-6, IABSE Conference , Nara, JAPAN, 2015.

[4] Dassault Systèmes SIMULIA 2011. ABAQUS Theory Manual, Version 6.10, ABAQUS User's Manual, Version 6.610.

[5] Gizejowski M.A., Kwasniewski L., Salah W., Barcewicz W. (2008) Robustness oriented analysis of structural joints of steel-concrete composite frames, Robustness of Structures COST Action TU0601, 1st Workshop, 2nd MC Meeting and 1st WG Meetings, Proceedings

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

of the 1st Workshop, Zurich, Switzerland, February 4-5, 2008, pp. 133-142.

[6] Kwasniewski L., Gizejowski M.A. (2010) Numerical modelling of joint ductility in steel and steel-concrete composite frames, International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, SDSS'Rio 2010, vol. 1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 239-246.

[7] Balcerzak, M., Kwasniewski L., Neves L.C., Gizejowski M.(2011) Numerical analysis of frame systems in case of progressive collapse, Robustness of Structures, Proceedings of the Final Conference of COST Action TU060, Prague, Czech Republic, 30 – 31 May 2011, pp. 139-152.

[8] Hallquist J.O., LS-DYNA Keyword User's Manual (2007), Version 970, Livermore Software Technology Corporation: Livermore, California.

[9] Kozlowski A., Gizejowski M., Sleczka L., Pisarek Z., Saleh B. (2011) Experimental investigations of the joint behaviour - Robustness assessment of steel and steel-concrete composite frames, Proceeding of 6th European Conference on Steel and Composite Structures, Budapest, Hungary, August 31 - September 2, 2011, vol. A, pp. 339-344.

[10] Gizejowski M., Barcewicz W., Uziak J, Saleh B., Evaluation of a unified moment-rotation characteristic of steel and steel-concrete composite joints, SEMC 2013: The Fifth International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, 2-4 September 2013, Cape Town, South Africa.

[11] Gizejowski M. A., Kwasniewski L., Saleh B., Balcerzak M. (2012) Numerical Study of Joint Behaviour for Robustness Assessment, Applied Mechanics and Materials, Trans Tech Publ, vol. 166, pp. 3114-3117.

[12] Gizejowski M., Barcewicz W., Uziak J, Saleh B., Composite steel-concrete joints for efficient applications in modern building structures, Botswana Journal of Technology, April 2012.

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية

[13] Gizejowski M., Saleh B., Kozlowski A., Pisarek Z., Sleczka L., "Experimental investigations of the frame behaviour subjected to exceptional actions", Badania doświadczalne ram poddanych oddziaływaniom wyjątkowym, Magazine: Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Poland, Construction and Environmental Engineering, Yearbook 2012, volume z. 59, No. 3 / II, pages 161-168.

[14] Actions, 85th Annual Conference on Scientific Problems of Civil Engineering, Krynica- Rzeszow, Poland, September 2012.

[15] An intensive course at the American University of Michigan through the acrobat.com, one of the courses offered by the Warsaw University of Technology WUT, 2012.

 Copyright © GJT حقوق الطبع محفوظة لمجلة غريان للتقنية