

## The effect of using the replaceable coupling beams on the reduction of earthquake impact and energy dissipation in high hybrid buildings, resulting from the coupling of reinforced concrete shear walls with bonded steel beams

Dr. Badia Haidar\*  
Elias Salloum\*\*

(Received 6 / 4 / 2017. Accepted 5 / 7 / 2017)

### □ ABSTRACT □

The expected shear strength and deformation required on the coupling beams associated with medium and high-rise installations during the earthquake event require the conversion of conventional anti collapse design to a repairable design in some important structures. The simplest way to achieve a repairable design is to put some replaceable structural elements in appropriate locations, while the whole structure remains functioning as an integrated system.

A group of researchers has presented studies in the behavior of replaceable fuse within the steel coupling beams by means of testing and analysis. The results of the experimental and analytical studies by pushover analysis showed that the new replaceable coupling beams have the ability to absorb and dissipate large amounts of earthquake energy before failure.

The research aims to study the effect of the use of replaceable coupling beams on the reduction of earthquake impact and energy dissipation in high hybrid buildings, resulting from the coupling of reinforced concrete shear walls with bonded steel beams by calibrating an analytical model using ANSYS 16 with experimental results in this field and monitoring performance earthquake correlations associated with the results of modeling and pushover analysis.

The results of the pushover analysis show, that the damage to the replaceable coupling beams focused on the "fuse", while the remaining parts of the coupling beam kept elastic. This was beneficial to repair after earthquake. In contrast, the damage to the conventional coupling beams focused on the end of beam, which was difficult to repair after earthquake.

**Keywords:** hybrid coupled wall, replaceable coupling beams, elastic elements, pushover analysis, earthquake energy dissipation.

---

\* Assistant Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

\*\* Postgraduate student, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## تأثير استعمال جيزان الاقتران القابلة للاستبدال على تخفيض الأثر الزلزالي وتبديد الطاقة في المباني العالية الهجينة، الناتجة عن اقتران جدران القص البيتونية المسلحة مع جيزان فولاذية رابطة

د. بادية حيدر \*

الياس سلوم \*\*

(تاريخ الإيداع 6 / 4 / 2017. قُبل للنشر في 5 / 7 / 2017)

### □ ملخص □

تتطلب مستلزمات قوة القص والتشوه المتوقعة على الجيزان المقترنة في المنشآت متوسطة وعالية الارتفاع خلال الحدث الزلزالي تحويل طريقة التصميم التقليدية المضادة للانهايار لطريقة تصميم قابلة للإصلاح في بعض الهياكل الهامة. تعتبر أبسط طرق تحقيق تصميم قابل للإصلاح هو بوضع بعض العناصر الإنشائية القابلة للاستبدال في مواقع مناسبة، بينما يبقى كامل الهيكل يعمل كنظام متكامل.

قدمت مجموعة من الباحثين دراسات في سلوك فاصمة قابلة للاستبدال ضمن الجيزان المعدنية المقترنة عن طريق الاختبار والتحليل. بينت نتائج الدراسات التجريبية والتحليلية بطريقة التحليل الستاتيكي اللاخطي، أن الجيزان المقترنة الجديدة القابلة للاستبدال "الفاصمة" تمتع بقدرة عالية على امتصاص وتبديد كميات كبيرة من الطاقة الزلزالية قبل فشلها.

يهدف البحث لدراسة تأثير استعمال جيزان الاقتران القابلة للاستبدال على تخفيض الأثر الزلزالي وتبديد الطاقة في المباني العالية الهجينة، الناتجة عن اقتران جدران القص البيتونية المسلحة مع جيزان فولاذية رابطة، وذلك من خلال معايرة نموذج تحليلي باستعمال برنامج ANSYS 16 مع نتائج تجريبية ضمن هذا المجال ورصد الأداء الزلزالي للجيزان المقترنة من نتائج النمذجة والتحليل الستاتيكي اللاخطي.

تظهر نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي تركيز الضرر لجيزان الاقتران القابلة للاستبدال على "الفاصمة"، في حين تبقى الأجزاء الأخرى لجائز الاقتران مرنة. يعتبر هذا مفيداً للإصلاح بعد الزلزال. في المقابل، تركيز الضرر لجيزان الاقتران التقليدية في نهاية الجائز، والذي كان من الصعب إصلاحه في مرحلة ما بعد الزلزال.

**الكلمات المفتاحية:** الجدار المقترن الهجين، الجيزان المقترنة القابلة للاستبدال، العناصر المرنة، التحليل

الستاتيكي اللاخطي، تبديد الطاقة الزلزالية.

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

## مقدمة

تستعمل أنظمة الجدران البيتونية المسلحة (Reinforced Concrete RC Wall) المقترنة بواسطة الجيزان في المنشآت متوسطة وعالية الارتفاع، حيث تَقْرَن جيزان فولاذية أو بيتونية مسلحة زوجين أو أكثر من جدران بيتونية مسلحة في سلسلة بشكل متكرر. تكون فوائد الاقتران في مثل هذه الأنظمة معروفة ومفهومة جيداً، حيث توفر الجيزان المقترنة نقل القوى الشاقولية بين الجدران المتقاربة، مما يولد فعل اقتران شبيه بالإطار، الذي يقاوم جزء من مجموع عزوم الانقلاب المتولدة بواسطة الفعل الزلزالي. يخفض هذا الفعل المقترن العزوم التي يجب مقاومتها بالجدران المستقلة، ويوفر وسائل تبديد الطاقة الزلزالية على كامل ارتفاع الجدار، ويمتلك صلابة جانبية أكبر بكثير من مجموع الجدران المكونة لها.

إن مستلزمات قوة القص والتشوه المتوقعة على الجيزان المقترنة خلال الحدث الزلزالي على مستوى التصميم، إلى جانب النسبة المنخفضة للمجاز إلى العمق والتدهور لآليات مقاومة القص المستندة إلى البيتون تحت تأثير انعكاس الحمل، قادت المصممين لتوفير تفاصيل تسليح قطري خاص ضمن وعلى مقربة من الجيزان المقترنة البيتونية المسلحة [1] (ACI 2005). يعقد هذا التسليح الخاص الإنشاء ويؤدي لزيادة كل من وقت البناء والتكلفة. وعلاوة على ذلك، فإن قدرة القص الحديدية للجيزان المقترنة البيتونية المسلحة يتطلب غالباً من المصممين تقديم عناصر عميقة بطريقة غير عملية. أظهرت أيضاً الأضرار الزلزالية السابقة حصول تضرر جيزان الاقتران بسهولة في زلزال التشيلي الذي حدث في 27/2/2010 بقوة 8.8 بالمقياس الزلزالي، حيث تعرض عدد كبير من جيزان الاقتران لأضرار بالغة [2] (Carpenter, Naeim, and Lew et al. 2011).

للتخفيف من هذه المشاكل، تحول بعض المهندسين إلى جيزان مقترنة هيكلية معدنية كبديل للجيزان البيتونية المسلحة. يشار إلى النظام الهيكلي الناتج كنظام جدار مقترن هجين (Hybrid Coupled Wall (HCW)). علاوة على ذلك، كان من الصعب إصلاح جيزان الاقتران هذه بعد الزلزال، وهو ما سيسبب زيادة تكلفة دورة حياة البناء. لذلك، فمن الضروري تحويل طريقة التصميم التقليدية المضادة للانتهيار لطريقة تصميم قابلة للإصلاح في بعض الهياكل الهامة. يعتبر وضع بعض العناصر الإنشائية القابلة للاستبدال في مواقع مناسبة من المنشأة بينما يبقى كامل الهيكل يعمل كنظام متكامل، أحد أبسط الطرق لتحقيق تصميم قابل للإصلاح.

قدم الباحث Fortney وزملاءه في البحثين [4] و [3] دراسة في سلوك فاصمة قابلة للاستبدال ضمن الجيزان المعدنية المقترنة عن طريق الاختبار والحساب. بينت نتائج الدراسة التجريبية والتحليلية بطريقة Pushover أن فاصمة الجيزان المعدنية المقترنة قد أبدت أداء جيداً، إلا أن التصميم تضمن بعض السلبيات على مستوى لحامات المقاطع المكون للجيزان المقترنة وعلى مستوى طريقة وصله بالجزء غير المعرض للخضوع والمضمن في جدار القص (الشكل (1)).

في بحث تجريبي أجراه Xilin Lu وزملاءه [5] تم تصميم نوع جديد من جيزان الاقتران القابلة للاستبدال ليتم استخدامها في هياكل جدران القص البيتونية المسلحة، حيث تتألف هذه الجيزان من عناصر مرنة وعناصر يمكن استبدالها، تسمى "فاصمة". تتكون العناصر المرنة من الجيزان المعدنية المضمنة في الجدران البيتونية المسلحة، أما العناصر القابلة للاستبدال فهي عبارة عن جوائز معدني بمقطع ا مع وجود ثقب على شكل معين في منتصف الجوائز لتكون أضعف منطقة في سعتها الحملية. تتميز جيزان الاقتران القابلة للاستبدال هذه بقدرة امتصاص عالية للطاقة وتركز الضرر على "الفاصمة"، إضافة لإمكانية استبدالها بعد الضرر الذي تسببه الزلازل عالية الشدة.



الشكل (1) تصميم الفاصمة القابلة للاستبدال ضمن الجيزان المعدنية المقترنة في بحث Fortney [5].

استناداً إلى معطيات الاختبار التجريبي للباحث Xilin Lu وزملاءه [5] وسجل تحميل القوى وأجهزة القياس ونتائج الأداء الزلزالي للجيزان المقترنة الجديدة القابلة للاستبدال، ومقارنتها بجيزان اقتران تقليدية من البيتون المسلح، تدرس هذه الورقة البحثية نماذج الاختبار التجريبي للباحث Xilin Lu وزملاءه تحليلياً من خلال وضع نموذج عددي ثلاثي الأبعاد باستعمال طريقة العناصر المنتهية وإجراء تحليل ستاتيكي لاخطي Pushover اعتماداً على برنامج ANSYS 16، حيث تعابير النماذج التحليلية مع النماذج التجريبية لرصد الأداء الزلزالي للجيزان المقترنة الجديدة القابلة للاستبدال "الفاصمة" Fuse في الزلازل متوسطة وعالية الشدة وقدرتها العالية على استيعاب وتبديد كميات كبيرة من الطاقة قبل فشلها، وبيان الحالة الإجهادية-التشوهية للعناصر المرتبطة مع "الفاصمة" قبل وأثناء تطور الاجهادات لللدنة في "الفاصمة" وصولاً إلى فشلها.

### أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث لدراسة تأثير استعمال جيزان الاقتران القابلة للاستبدال على تخفيض الأثر الزلزالي وتبديد الطاقة في المباني العالية الهجينة، الناتجة عن اقتران جدران القص البيتونية المسلحة مع جيزان فولاذية رابطة، وذلك من خلال معايرة نموذج تحليلي باستعمال برنامج ANSYS 16 مع نتائج تجريبية ضمن هذا المجال ورصد الأداء الزلزالي للجيزان المقترنة من نتائج النمذجة والتحليل الستاتيكي اللاخطي.

## طرائق البحث ومواده

## دراسة مرجعية

اختبر Xilin Lu وزملاءه [5] بدراسة تجريبية عينتين تمثلان جداري قص من البيتون المسلح بارتفاع ثلاثة طوابق، لهما نفس الأبعاد باستثناء جيزان الاقتران، تضمنت العينة 1 جيزان اقتران تقليدية مسلحة؛ في حين كان لدى العينة 2 جيزان اقتران قابلة للاستبدال، بنفس قيمة المجاز. يوضح الشكل (2) أبعاد ومخطط التسليح العينتين 1 و 2. كانت نسبة المجاز إلى العمق لكل جيزان الاقتران هي 3. يتكون جائر الاقتران الجديد القابل للاستبدال من ثلاثة أجزاء، فاصمة (الجزء القابل للاستبدال) مرتبطة مع قسمين غير معرضين للخضوع.

نُفذت عيني الاختبار تقريباً بنصف مقياس الجدار المقترن الاساسي. حيث تم الافتراض أن ارتفاع مقطع الجيزان المقترن البيتوني المسلحة التقليدية هو 200 mm، والمجاز هو 600 mm. وقيمة القص التصميمي  $V_b = 24$  kN، وقيمة العزم التصميم  $M_b = 7.2$  kN.

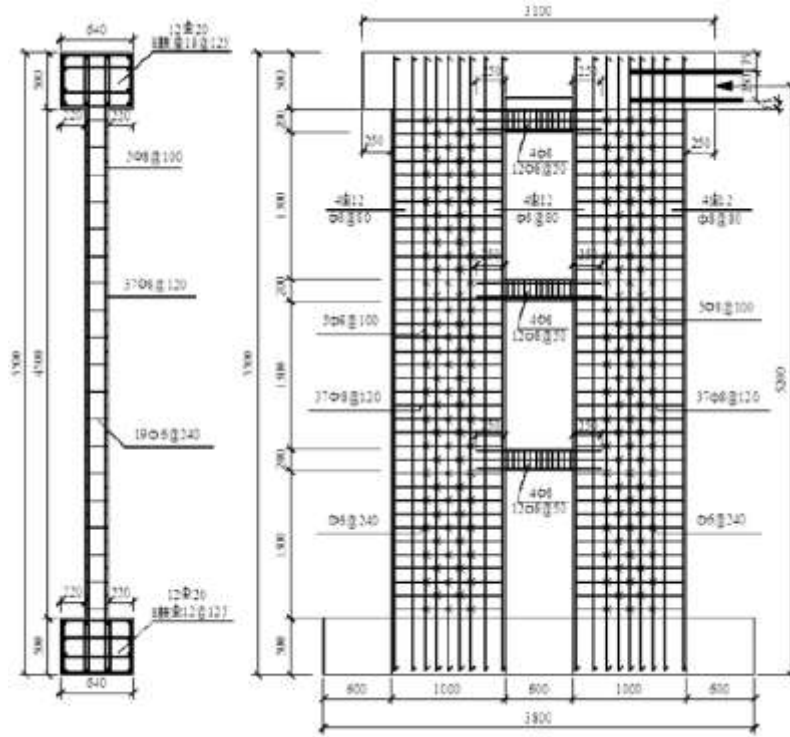
صمم الباحثون [5] جيزان الاقتران القابلة للاستبدال الجديدة للجزء غير المعرض للخضوع، على حاصل ضرب قيمتي العزم التصميمي والقص التصميمي بمعامل تضخيم  $\eta$  لقيمة القوة التصميمية الداخلية لجيزان الاقتران التقليدية. تكون قيمة  $\eta$  مرتبطة بمستوى الزلازل والكود المعتمد، وقد حددت هنا  $\eta=1.2$ . بالتالي يكون القص التصميمي للجزء غير الخاضع  $(V_b=1.2 \times 24 = 28.8$  kN)، والعزم التصميمي  $(M_b=1.2 \times 7.2 = 8.64$  kN).

يتضمن مجاز جيزان الاقتران القابلة للاستبدال الجديدة قسمين غير خاضعين (Non-yield segments) و"فاصمة" Fuse واحدة، كما في الشكل (3). يكون شكل "الفاصمة" عبارة عن جائر معدني بمقطع  $a$  مع وجود ثقب على شكل معين في منتصف الجائر لتكوين أضعف منطقة فيه.

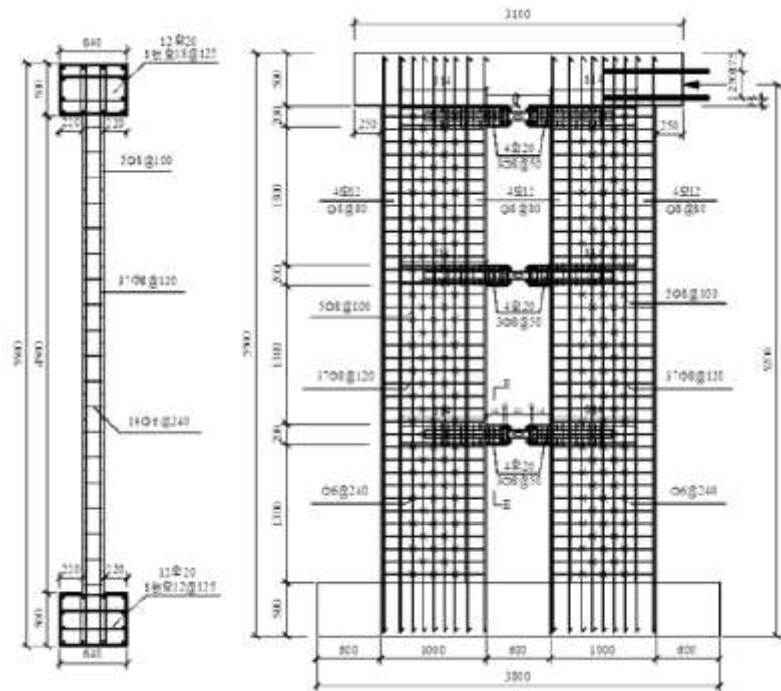
يبين الشكل (4) صور جهاز الاختبار مع العينة 2 وجائر الاقتران القابل للاستبدال. تم تحميل عينات الاختبار بحمولة محورية قيمتها 1200 kN عن طريق كابلات مسبقة الشد حتى وصلت لنسبة قوة محورية 21%، وأُقيمت ثابتة تقريباً طوال مدة الاختبار. بعد ذلك، تم تطبيق تحميل أفقي دوري متحكم به على العينة بواسطة محرك هيدروليكي واحدة مثبت أفقياً إلى الجدار الخاضع للتجربة.

تم وضع مقاييس التشوهات (strain gages) في المناطق الحرجة من العينتين، كما هو مبين في الشكل (4) (على قضبان التسليح لجيزان الاقتران بما فيها الجزء غير المعرض للخضوع، عند سطح قدم الجدار، عند سطح نهاية جائر الاقتران، على جسد وجناح الفاصمة)، كما استخدمت أجهزة قياس الانتقال والتشوه على القص عند كل طابق لجيزان الاقتران.

يبين الشكل (5) سجل التحميل لاختبارات الحمولة الدورية العكسية. كان تزايد الانزياح 1 mm قبل الخضوع، ثم تغير إلى 5 mm بعد الخضوع وحتى الفشل.

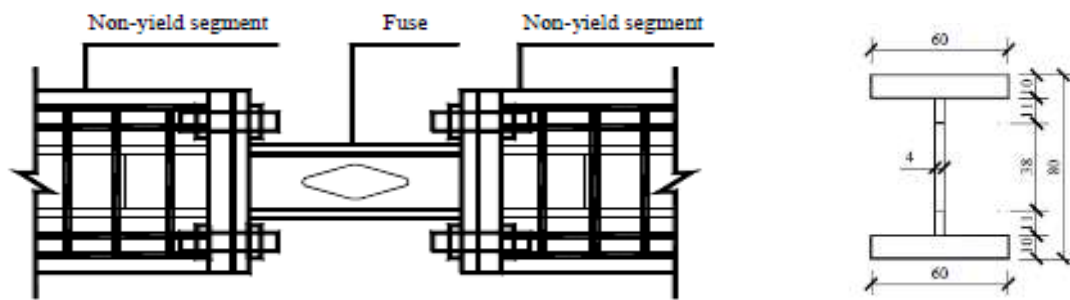


العينة 1

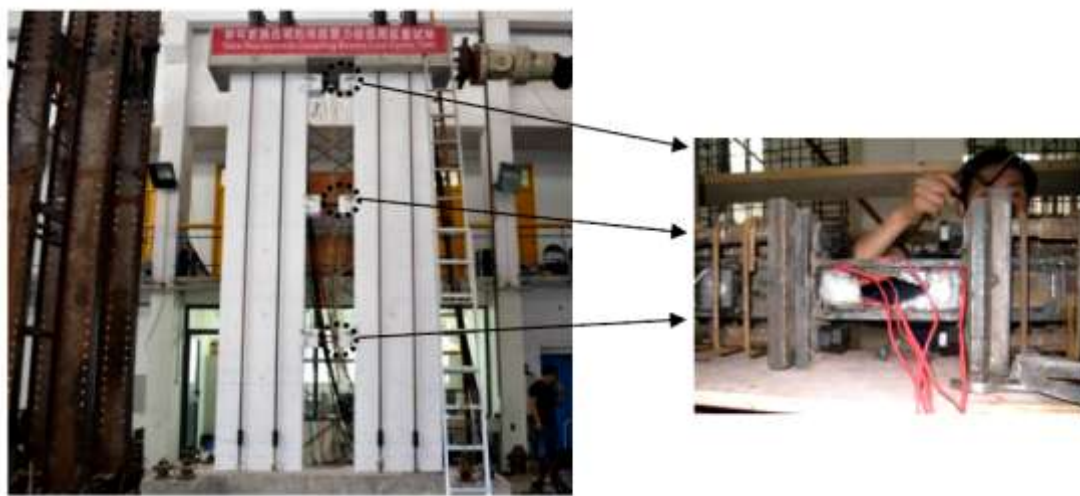


العينة 2

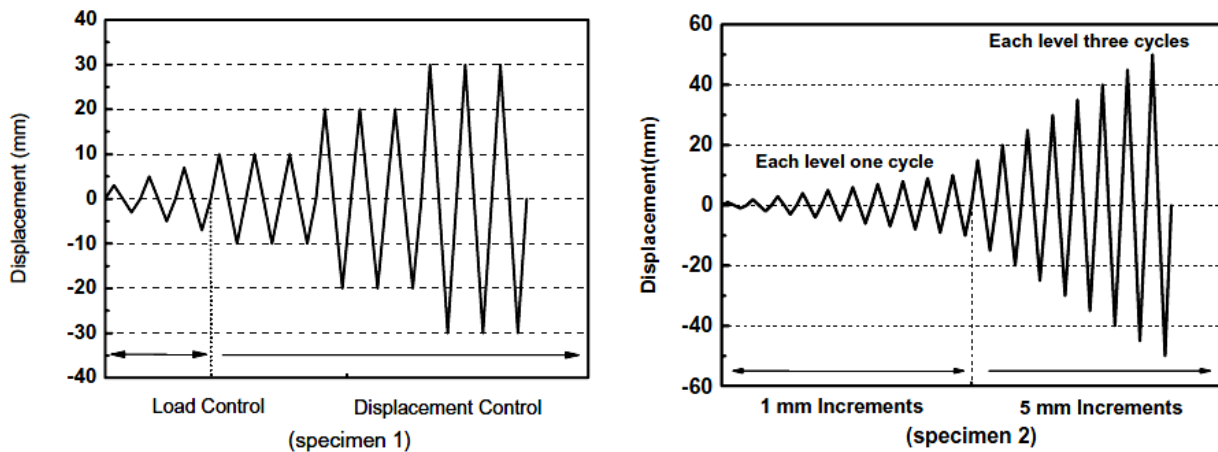
الشكل (2) أبعاد ومخطط التسليح للعينة 1 والعينة 2 مع الجيزان المقترنة القابلة للاستبدال [5].



الشكل (3) جيزان الاقتران القابلة للاستبدال الجديدة [5].



الشكل (4) صورة عينة الاختبار 2 مع جيزان الاقتران القابلة للاستبدال [5].

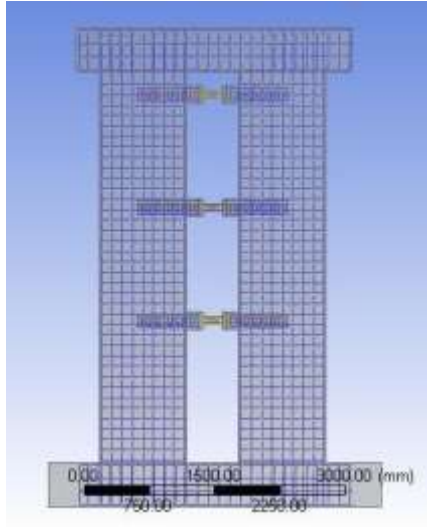


الشكل (5) سجل التحميل لجدار القص البيتوني المسلح مع جيزان الاقتران التقليدية والقابلة للاستبدال [5].

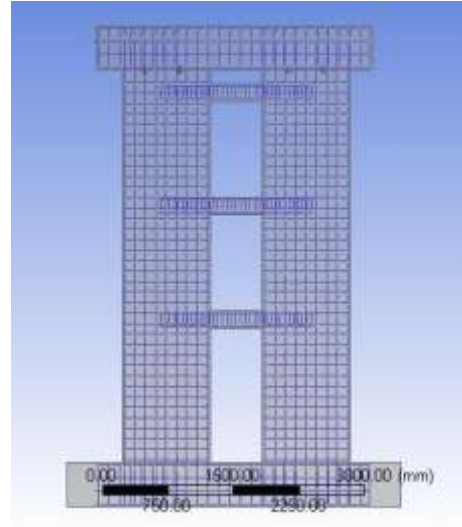
## الدراسة التحليلية

### النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية (FEM)

من أجل تحقيق هدف البحث، تم محاكاة التجربة العملية في بحث Xilin Lu وزملاءه [5] حاسوبياً باستعمال برنامج التصميم ثلاثي الأبعاد ANSYS 16 لتشكيل جدران القص البيتونية المسلحة مع جيزان الاقتران التقليدية ومع جيزان الاقتران القابلة للاستبدال، حيث تم تشكيل النموذج بأبعاده الهندسية ومكونات مواده وخصائصها الميكانيكية وشروطه الطرفية بشكل مطابق تماماً للعينات المدروسة تجريبياً في المرجع المذكور، كما هو مبين في الأشكال (6- 7- 8).

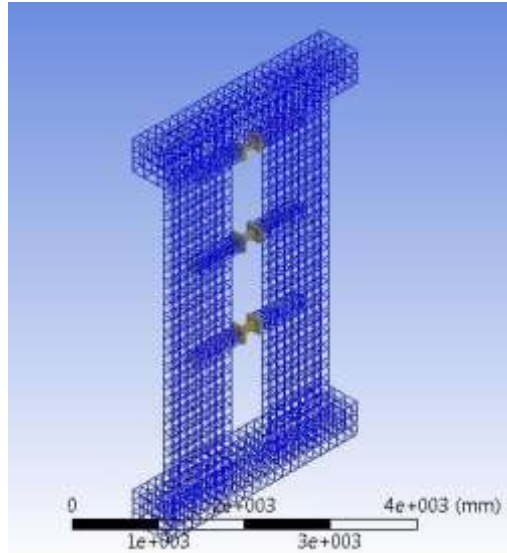


نمذجة العينة 2



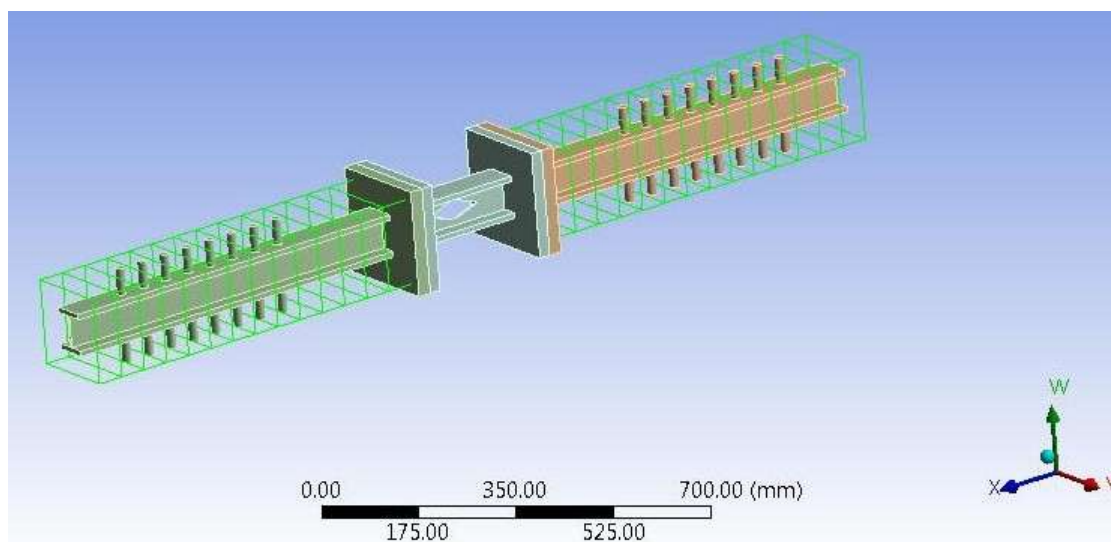
نمذجة العينة 1

الشكل (6) نمذجة جدران القص وجيزان الاقتران بشكل مطابق للعينة التجريبية 1 والعينة التجريبية 2



الشكل (7) مخطط تفصيلي لنمذجة جدران القص وجيزان الاقتران القابلة للاستبدال في العينة التجريبية 2





الشكل (8) مخطط تفصيلي لنموذج جانز الاقتران في العينة التجريبية 2، يبين فيه الجزء القابل للاستبدال Fuse والأجزاء غير المعرضة للخضوع المضمنة في جدران القص البيتونية مع تسليحها

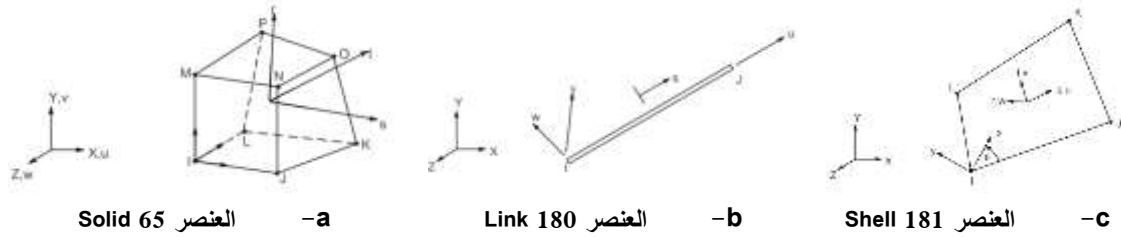
### العناصر المستعملة في النمذجة

تم تشكيل النموذج العددي بتقسيم الشكل الهندسي المدروس الى عناصر منتهية لكل من جدار القص البيتوني وقضبان التسليح الرئيسية والثانوية والجيزان المقترنة التقليدية والقابلة للاستبدال باختيار العناصر المناسبة من مكتبة البرنامج ANSYS 16 [6] وفق التالي:

I. تم اختيار العنصر Solid 65 ثلاثي الابعاد لمحاكاة مادة البيتون، الذي يؤمن امكانية التشقق تحت تأثير قوى الشد وامكانية التحطم تحت تأثير قوى الضغط. لدى هذا العنصر 8 عقد (الشكل (a-9)) ولكل عقدة ثلاثة درجات حرية (انتقالات بالاتجاهات  $x, y, z$ )، كما يمكن تعريف خواص السلوك الخطي واللاخطي لهذا العنصر بسهولة، مع إمكانية حساب الاجهادات النازمية والقصية ومختلف انواع التشوهات.

II. تم اختيار العنصر Link 180 ثلاثي الابعاد لمحاكاة قضبان التسليح داخل الجدران، وهذا العنصر ثنائي العقد (الشكل (b-9)) ولكل عقدة ثلاث درجات حرية (انتقال بالاتجاهات  $x, y & z$ ). هذا العنصر يتحمل قوى الشد أو الضغط المحورية فقط ويمكن اضافة الخواص اللاخطية والخضوع إليه مع تفعيل الانتقالات الكبيرة للعناصر أثناء التحليل.

III. تم اختيار العنصر Shell 181 ثلاثي الابعاد لمحاكاة صفائح الفولاذ في جيزان الاقتران القابلة للاستبدال والأجزاء المضمنة في جدار القص البيتوني، وهذا العنصر رباعي العقد (الشكل (c-9)) ولكل عقدة ست درجات حرية (ثلاثة دورانات وثلاثة انتقالات) وهو مناسب للتحليل المتضمن سلوك لاخطي وتغيرات كبيرة في الشكل، مع إمكانية حساب مختلف انواع الاجهادات والتشوهات في عقده.



الشكل (9) العناصر المستعملة في نمذجة الأشكال الهندسية المدروسة [6].

### توصيف مواد البناء

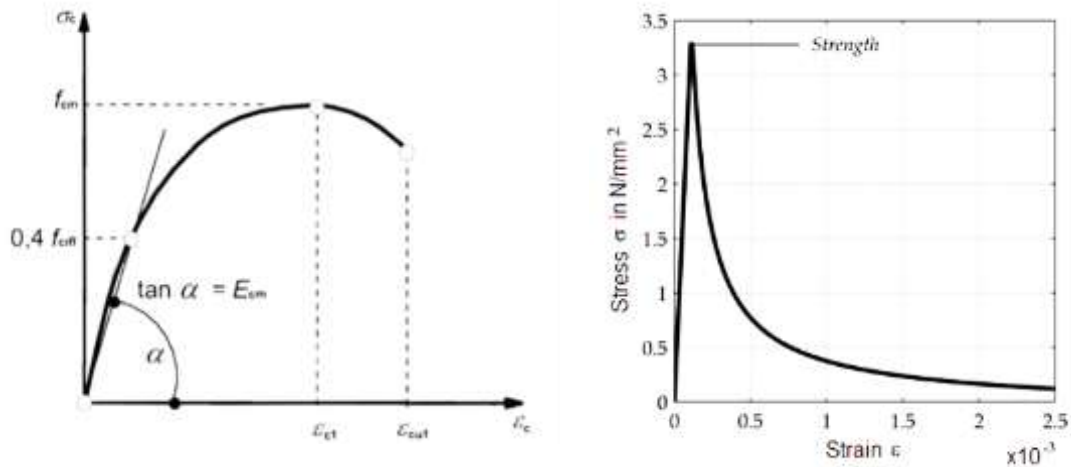
أ. **البيتون Concrete**: تم اعتماد توصيف الكود الأوربي EC2 [7] لمقاربة سلوك التجربة في البرنامج ANSYS 16، حيث تسلك المادة بشكل خطي حتى القيمة  $0.4f_{cm}$  المقاومة المتوسطة على الضغط، وهي وفق التجربة مساوية للقيمة (24 MPa) بعدها تدخل المادة بسلوك لاخطي وفق الشكل (10-a). وتم تمثيل سلوك مادة البيتون تحت تأثير اجهاد الشد Stress-strain Behavior في الدراسة بشكل مطابق لسلوك العنصر Solid 65 من مكتبة البرنامج ANSYS 16، والمبين في الشكل (10-b)، حيث يبدأ اجهاد الشد بالتزايد من الصفر إلى القيمة القصوى 3.2 MPa مع تشوه نسبي مرافق 0.1%، عندها يبدأ البيتون بالتشقق فينخفض اجهاد الشد مع تزايد التشوه النسبي ليصل لقيمة متناهية في الصغر عند التشوه النسبي  $\epsilon_{cu1} = 2.5\%$ .

أ. **فولاذ التسليح**: تم اعتماد توصيف الكود الأوربي EC2 [7] مع اجهاد خضوع للتسليح الطولي (وفق التجربة)  $f_y = 430$  MPa وللتسليح العرضي  $f_y = 480$  MPa ومعامل مرونة للجميع  $E_s = 200$  GPa.  
 أ. **فولاذ الجيزان المعدنية المقترنة**: تم اعتماد توصيف الكود الأوربي EC3 [8] [9] مع اجهاد خضوع لصفائح الفاصمة والأجزاء المعدنية المضمنة بجداري القص (وفق التجربة)  $f_y = 235$  MPa، حيث أنها مصنعة من فولاذ S235، ومعامل مرونة  $E_s = 210$  GPa.

### معايرة النماذج التحليلية مع الاختبارات التجريبية

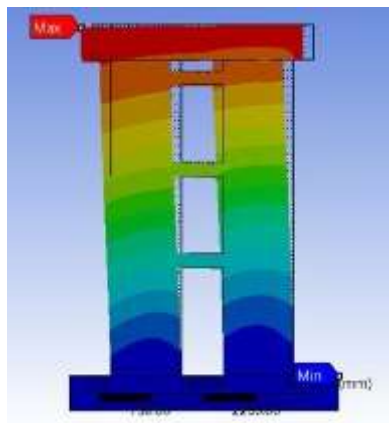
من أجل معايرة النماذج التحليلية مع الاختبارات التجريبية لكل من جداري القص المقترنين بالجيزان التقليدي وجداري القص المقترنين بالجيزان القابلة للاستبدال. تم في البداية تطبيق حمولة محورية 1200 kN موزعة على ثمانية نقاط لمحاكاة القضبان مسبقة الشد الموجودة في التجربة. ثم، تم تطبيق تحميل الانزياح وفق سجل التحميل المطبق في التجربة المبين في الشكل (5).

يبين الشكل (11) تغير الحالة الإجهادية-التشوهية لجداري القص المقترنين بالجيزان التقليدي وفق سلوك النموذج التحليلي عند إزاحة علوية 4 mm وإزاحة علوية 40 mm.  
 يبين الشكل (12) توزيع اجهاد (Von-Mises) في فواصم جداري القص المقترنين بالجيزان القابلة للاستبدال (العينة 2) عند تطبيق إزاحة علوية 30 mm مع تكبير لمكان الفاصمة السفلية.

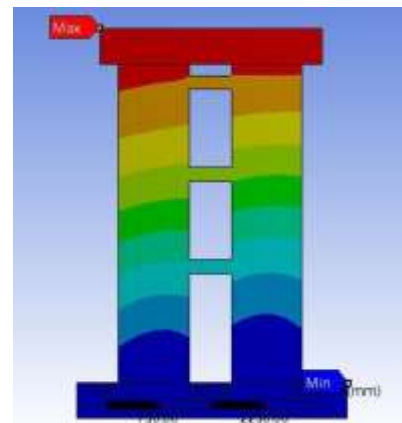


**a** - تصرف مادة الببتون على الضغط وفق EC2 [7] **b** - سلوك مادة الببتون تحت تأثير اجهاد الشد [6] الشكل (10) سلوك مادة الببتون المستعملة في النمذجة على الضغط (a) وعلى الشد (b).

يمكن أن نرى من خلال الشكل (12)، أن جيزان الاقتران القابلة للاستبدال للعينة 2 تنتج بشكل أساسي تشوهات قص وتتركز هذه التشوهات على "الفاصمة"، في حين أن جيزان الاقتران التقليدية تنتج بشكل رئيسي تشوهات انعطاف، لذلك خضع معظم جسد "الفاصمة"، ولكن الجائز المعدني المضمن في الجزء غير المعرض للخضوع لا يزال في الحالة المرنة، ويعتبر هذا مفيداً للإصلاح بعد الزلزال. في المقابل، تركز الضرر للعينة 1 في نهاية جائز الاقتران [5]، والذي كان من الصعب إصلاحه في مرحلة ما بعد الزلزال.

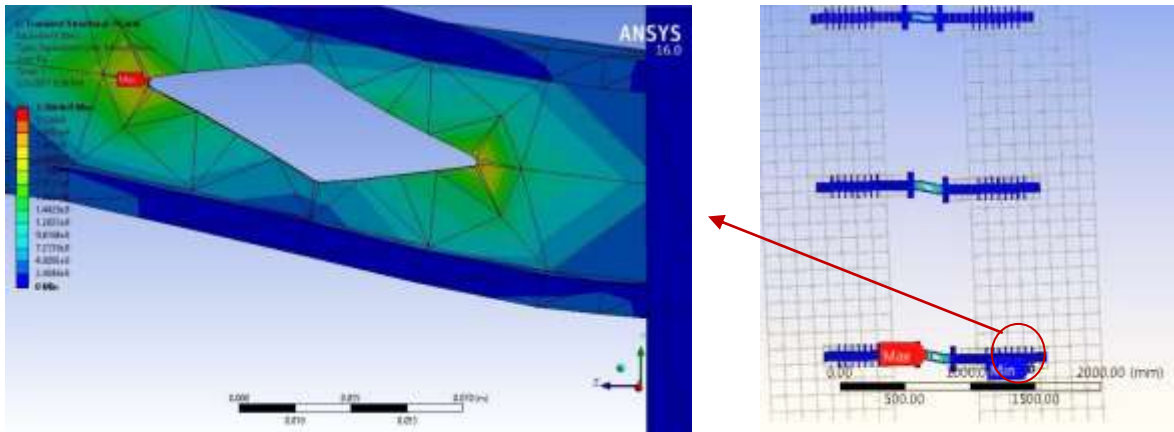


إزاحة 40 mm



إزاحة 4 mm

الشكل (11) تغير الحالة الإجهادية-التشوهية لجدران القص المقترنة بالجيزان التقليدية عند إزاحة 4 mm و 40 mm.

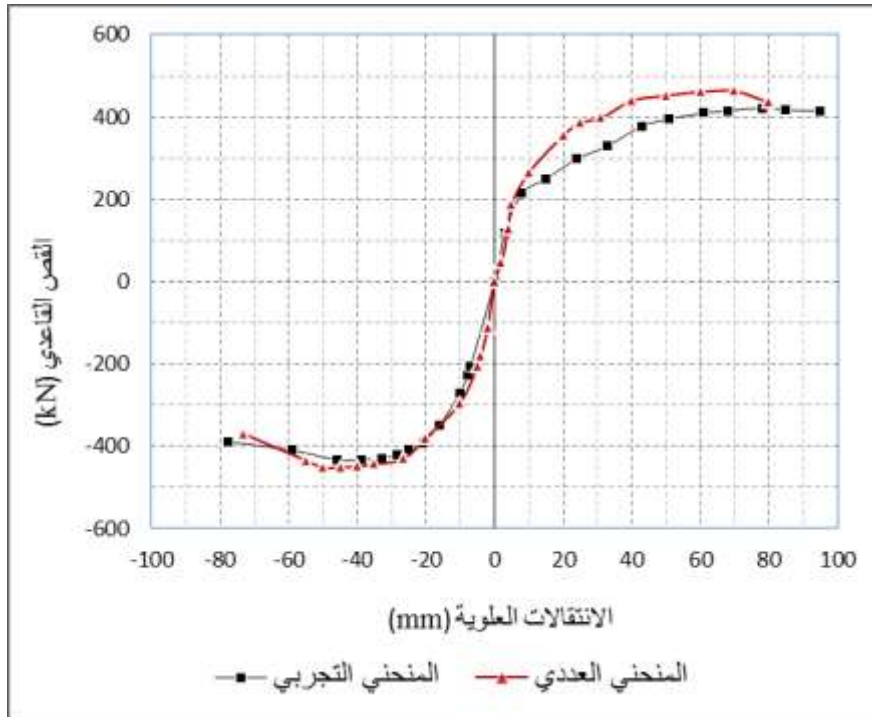


الشكل (12) توزيع اجهاد (Von-Mises) في الفواصم القابلة للاستبدال للعيينة 2 عند تطبيق إزاحة 30 mm مع تكبير مكان الفاصمة السفلية

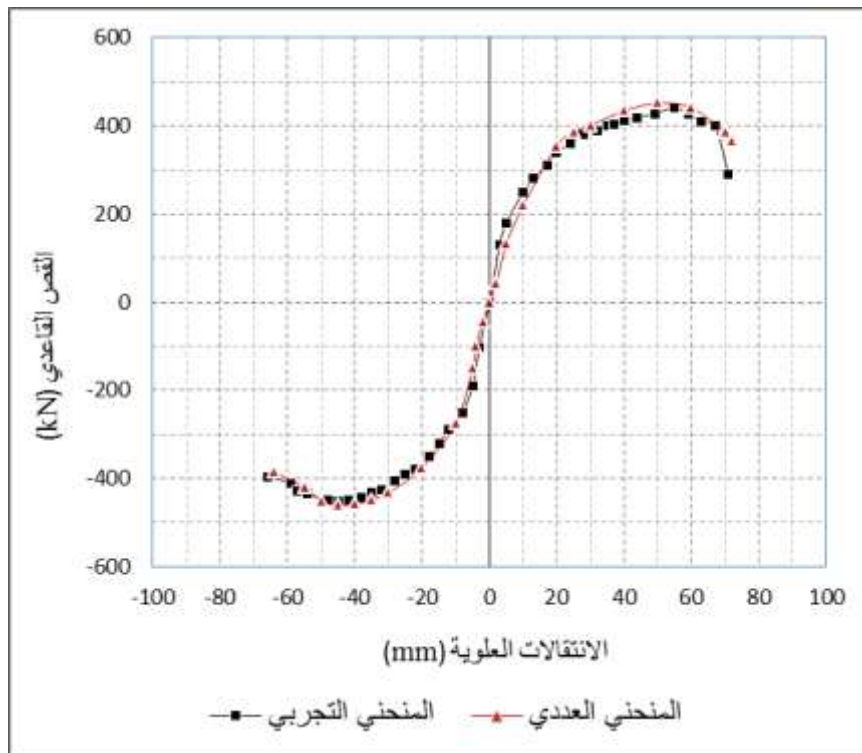
يبين الشكل (13) مقارنة المنحنيات المغلفة للانتقال العلوي-القص القاعدي للنموذج التحليلي مع الاختبار التجريبي للعيينة 1 (جداري القص المقترنين بالجيزان التقليدية)، حيث كانت متوسط المقاربة في النتائج 85.2%. ويبين الشكل (14) مقارنة المنحنيات المغلفة للانتقال العلوي-القص القاعدي للنموذج التحليلي مع الاختبار التجريبي للعيينة 2 (جداري القص المقترنين بالجيزان القابلة للاستبدال)، حيث كانت متوسط المقاربة في النتائج 91.3%.  
يبين الجدول (1)، امتلاك العينتين حمولة خضوع وحمولة انهيار متقاربتين على مستوى النماذج التجريبية والنماذج التحليلية، بينما كانت قيم انزياح الخضوع وانزياح الانهيار للعيينة 1 أكبر من القيم العائدة للعيينة 2. مع ذلك، كان معامل المطاوعة للعيينة 2 أكبر من معامل المطاوعة للعيينة 1، وهذا يثبت أن العينة 2، بالإضافة لإمكانية حفاظها على قدرة تحمل مماثلة للعيينة 1، فإنها تملك أيضاً مطاوعة أعلى من العينة 1.

الجدول (1) ملخص نتائج النموذج التجريبي والنموذج التحليلي لكل من العينة 1 والعيينة 2.

العيينة 1	إزاحة الخضوع mm	حمولة الخضوع kN	الإزاحة في الذروة mm	ذروة الخضوع kN	الإزاحة القصوى mm	الحمولة القصوى kN	معامل المطاوعة
العيينة 1 (اقتران بالجيزان التقليدية)	ملخص نتائج النموذج التجريبي						
	34.07	351.69	73.75	431.46	81.10	426.74	2.38
	-24.73	-376.30	-55.10	-463.82	-77.43	-388.99	3.13
	ملخص نتائج النموذج التحليلي						
	31.20	398.21	70.09	493.16	80.07	435.04	2.57
	-25.41	-392.15	-49.10	-453.14	-73.21	-370.31	2.88
العيينة 2 (اقتران بالجيزان الجديدة)	ملخص نتائج النموذج التجريبي						
	26.36	374.16	55.75	455.06	67.29	386.80	2.55
	-20.97	-358.65	-48.06	-444.27	-66.46	-393.71	3.17
	ملخص نتائج النموذج التحليلي						
	25.41	386.11	54.22	451.66	72.01	365.04	2.83
	20.71	376.13	-47.33	-461.20	-64.14	385.31	3.10



الشكل (13) مقارنة منحنيات الانتقال العلوي-القص القاعدي للنموذج التحليلي مع الاختبار التجريبي للعيينة 1.



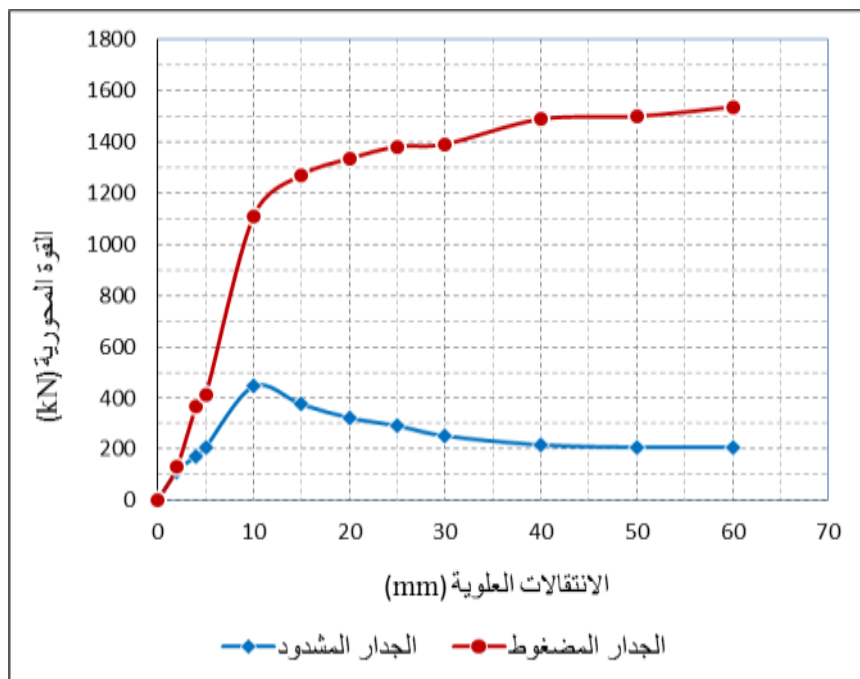
الشكل (14) مقارنة منحنيات الانتقال العلوي-القص القاعدي للنموذج التحليلي مع الاختبار التجريبي للعيينة 2.

### التحليل الستاتيكي اللاخطي (push-over):

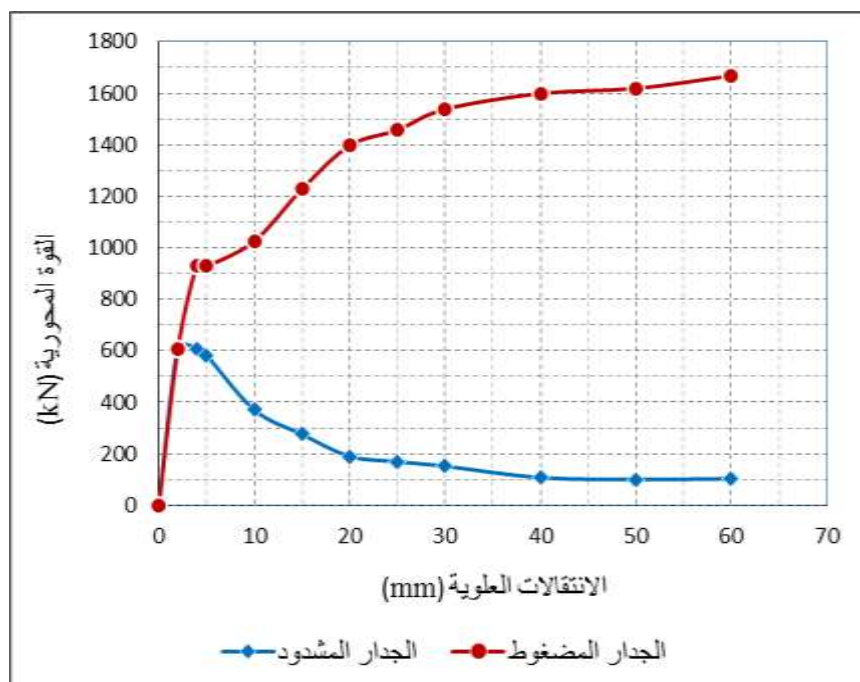
من أجل الاستفادة من نماذج التحليل للعينتين 1 و 2 وإجراء مقارنة تفصيلية للأداء الزلزالي بين جدار قص تقليدي وجدار قص مقترن، تم إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي (push-over).

يبين الشكلين (15 و 16) منحنيات الانتقال العلو-القوة المحورية وفق سلوك النموذج التحليلي لجداري القص المقترنين بالجيزان التقليدية والجيزان القابلة للاستبدال عند إزاحة علوية من 0 mm حتى 60 mm، وترتيب خضوع مكونات جدار القص. في جدار القص التقليدي، تخضع قضبان التسليح الطولي لجيزان الاقتران أولاً، ثم تبدأ قضبان التسليح الطولي للعنصر المحيطي بالخضوع. وأخيراً، يخضع المنشأ بالكامل. بشكل مماثل، في جدار القص الجديد، يبدأ جسد "الفاصمة" بالخضوع أولاً. ثم يبدأ حديد التسليح الطولي للعنصر الحدودي بالخضوع. وأخيراً، يخضع المنشأ بالكامل. مع ذلك، فإن آليات خضوع كل من جائزي الاقتران مختلفة جداً، حيث خضعت فاصمة جائز الاقتران الجديد نتيجة تشوهات القص، ولكن قضبان التسليح الطولي للجزء المرن لم تتعرض للخضوع. في المقابل، تعرضت قضبان التسليح الطولي لجيزان الاقتران التقليدية للخضوع وفشل البيتون نتيجة القص عموماً، الأمر الذي يصعب إصلاحه بعد الزلزال. وبالتالي فإن جيزان الاقتران القابلة للاستبدال تنتج بشكل أساسي تشوهات قص وتتركز هذه التشوهات على "الفاصمة"، ويبقى الجائز المعدني المضمن في الجزء غير المعرض للخضوع لا يزال في الحالة المرنة، في حين أن جيزان الاقتران التقليدية تنتج بشكل أساسي تشوهات انعطاف وفشل في البيتون نتيجة القص.

يلاحظ أيضاً أن حديد التسليح الطولي قد تعرض للخضوع بالكامل في جيزان الاقتران التقليدية، وربما كان هذا مفيداً لجيزان الاقتران من أجل تبديد طاقة الزلزال. تجدر الإشارة أنه بسبب كون نسبة المجاز إلى العمق لجيزان الاقتران التقليدية في هذه المقالة كان أكبر من الواقع، لذلك كان تشوه الانعطاف كبير. ولكن في الوضع الفعلي تكون نسبة المجاز إلى العمق لمعظم جيزان الاقتران أصغر، لذلك جيزان الاقتران كثيراً ما تفشل نتيجة القص، والذي يشكل خطراً على المنشأة.



الشكل (15) منحنيات الانتقال العلوي-القوة المحورية وفق سلوك النموذج التحليلي للعينة 1.



الشكل (16) منحنيات الانتقال العلوي-القوة المحورية وفق سلوك النموذج التحليلي للعينة 2.

## الاستنتاجات والتوصيات

### الاستنتاجات

- تركز هذه المقالة على جدار القص الجديد مع جيزان الاقتران القابلة للاستبدال وجدار القص التقليدي، حيث تمت المقارنة بين الخواص الميكانيكية بواسطة المحاكاة العددية، وتم استخلاص الاستنتاجات التالية:
- (1) أظهرت المحاكاة العددية إمكانية أن يتركز الضرر للعينة 2 في "الفاصمة" لجيزان الاقتران القابلة للاستبدال، في حين تبقى الأجزاء الأخرى لجائر الاقتران مرنة. يعتبر هذا مفيداً للإصلاح بعد الزلزال. في المقابل، تركز الضرر للعينة 1 في نهاية جائر الاقتران، والذي يصعب إصلاحه في مرحلة ما بعد الزلزال.
  - (2) في هذه المقالة، بسبب كون القوة الداخلية التصميمية لجيزان الاقتران التقليدية أكبر من القوة في جيزان الاقتران القابلة للاستبدال، فإن العزم المحدد لجيزان الاقتران التقليدية يكون أيضاً أكبر من العزم في جيزان الاقتران القابلة للاستبدال، الأمر الذي تم التحقق منه بالحساب.
  - (3) الميزة الأخرى لجيزان الاقتران القابلة للاستبدال أنها قد لا تحتاج إلى تحقيق متطلبات نسبة حمولة القص الحدية، لأن أنماط الفشل سيطرت عليها "الفاصمة". على الرغم من أن "الفاصمة" تتعرض للخضوع على القص، فإنها ستبقى تقدم عزم تقييد إلى فرعي الجدار. في المقابل، عندما تبدأ جيزان الاقتران التقليدية بالفشل على القص، فإنها لن تتحمل أي عزم تقييد في فرعي الجدار ولن تبدي أي طاقة زلزالية. تجدر الإشارة إلى أن هذا لم يتم التحقق منه في التحليل، وربما لن ينتج فشل على القص من أجل نسبة مجاز إلى عمق أكبر لجيزان الاقتران التقليدية.
  - (4) كانت المطاوعة للعينة 2 أفضل منها للعينة 1، بسبب خضوع فاصمة جائر الاقتران الجديد نتيجة تشوهات القص، مع عدم تعرض قضبان التسليح الطولي للجزء المرن للخضوع. في المقابل، تعرض قضبان التسليح الطولي لجيزان الاقتران التقليدية للخضوع وفشل البيتون نتيجة القص عموماً، والذي يصعب إصلاحه بعد الزلزال.

### التوصيات

إجراء نمذجة تحليلية للعينات المدروسة بأبعاد وأحمال حقيقة دون نسب تصغير ورصد الأداء الزلزالي للجيزان المقترنة من نتائج التحليل الستاتيكي اللاخطي.

### المراجع

- [1] - American Concrete Institute (ACI) Committee 318, ACI 318-05 Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-05/ACI 318R-05), Farmington Hills, MI., 2005
- [2] - CARPENTER, L.D.; NAEIM, F. and LEW, M. et al. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Performance of Tall Buildings in Viña del Mar in the 27 February 2010 Offshore Maule, Chile Earthquake, Austria, 2011, 17-36.
- [3] -FORTNEY, P.J. *The Next Generation of Coupling Beams*, Doctoral Dissertation, University of Cincinnati, USA, 2005, 1-369.
- [4] – FORTNEY, P.J.; SHAHROOZ, B.M. and RASSATI, G.A. (2007a), *Large Scale Testing of a Replaceable 'Fuse' Steel Coupling Beam*. Journal of Structural Engineering, ASCE, USA, 2007, 257-265.



[5] - LU, X. L.; MAO, Y. J.; CHEN, Y.; LIU, J. and ZHOU, Y. *New structural system for earthquake resilient design*. Journal of Earthquake and Tsunami, Vol. 7, No. 3, Tongji University, China, 2013, 08-14.

[6] - ANSYS, Version 16.0.0, ANSYS Help Viewer, 2014 SAS IP, Inc.

[7] - Eurocode 2: Design of concrete structures. "Part 1-1: General rules and rules for buildings", Brussels: CEN, (2008), 10-115.

[8] - Eurocode 3: Design of steel structures. "Part 1-1: General rules and rules for buildings", Brussels: CEN, (2006), 10-38.

[9] - Eurocode 3: Design of steel structures." Part 1-5: Plated structural elements", Brussels: CEN, (2006), 10-56.