

## Behavior of Steel Plate Shear Walls Consisting of Reinforced Concrete Frame with Infill Low Yield Point (LYP) Steel Plate

Dr. Bassam HWAIJEH\*

Dr. Ghandi Loho\*\*

Alzahra Ali Turikieh\*\*\*

(Received 28 / 6 / 2023. Accepted 30 / 7 / 2023)

### □ ABSTRACT □

Frame structures systems contribute to resist the seismic loads. And there are many techniques used to improve the resistance to lateral loads where steel shear walls, which is embedded within the Frame span, are considered to be one of these ways.

The steel infilled plate can be made of low yield stress steel (LYP), This allows an early plasticization of the filling plate, and lateness shear buckling, and The demand for concrete peripheral elements (beams, columns) may be mitigated.

The research presented in this paper addresses the behavior of steel plate shear walls composed of a reinforced concrete frame and a infilled plate of low yield stress steel LYP. To achieve this purpose, A three-dimensional 3D numerical model was created using the finished elements program ABAQUS. This numerical model takes into account both geometric and physical nonlinearity. The completed numerical model is documented in comparison with experimental results drawn from published research.

The documented numerical model was used to perform a parametric study to investigate the influence of certain parameters on the behavior of this structural system. These parameters mainly included the thinness of the infilled plate and the addition of horizontal and vertical supports.

The results of this research confirmed that the use of a plate with a low yield stress Steel contributed to of lateness shear buckling and And making the plate plasticize by shearing is the controller of its behavior, For a thinness of no more than 150, buckling occurs very late at a relative displacement of more than 2%.

**Keywords:** Low yield point steel; Steel plate shear wall, elastic buckling, inelastic buckling.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

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

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

\*\*\* Postgraduate student (Master), Department Of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. alzahraaliturikieh@gmail.com

## سلوك جدران القص الصفائحية الفولاذية المكونة من إطار بيتوني مسلح و صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع LYP

د. بسام حويجة\*

د. غاندي لحو\*\*

الزهراء علي تريكيه\*\*\*

(تاريخ الإيداع 28 / 6 / 2023. قُبِلَ للنشر في 30 / 7 / 2023)

### □ ملخص □

تعد الجمل الإطارية البيتونية أحد أنواع الجمل الإنشائية لمقاومة الأحمال الزلزالية، يتم رفع كفاءة هذه الإطارات بطرائق عدة وتعتبر إضافة صفائح فولاذية ضمن مجاز الإطار لتعمل كجدران قص إحدى هذه الطرق. يمكن تصنيع صفيحة الملء الفولاذية من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع (Low yield point – LYP – Steel) ، وهذا يسمح بحدوث تلدن مبكر لصفيحة الملء وتأخير التحنيط القصي وقد يخفف الطلب على العناصر المحيطة البيتونية (الجوائز والأعمدة). يعالج البحث المقدم في هذه الورقة سلوك جدران القص الصفائحية الفولاذية المكونة من إطار بيتوني مسلح و صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع LYP . لتحقيق هذا الهدف، تم إنشاء نموذج عددي ثلاثي الأبعاد 3D باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS. يأخذ هذا النموذج العددي كلاً من اللاخطية الهندسية والمادية بعين الاعتبار. تم توثيق النموذج العددي المنجز بالمقارنة مع نتائج تجريبية مستخلصة من الأبحاث المنشورة. استخدم النموذج العددي الموثق لإنجاز دراسة بارامترية لتقصي تأثير بعض البارامترات على سلوك هذا النظام الإنشائي. وقد شملت هذه البارامترات بشكل رئيسي نحافة صفيحة الملء و إضافة مدعّمات أفقية وشاقولية. أكدت نتائج هذا البحث أن استخدام صفيحة بفولاذ منخفض إجهاد الخضوع ساهم في تأخير حدوث التحنيط وجعل تلدن الصفيحة بالقص هو المتحكم بسلوكها، ومن أجل نحافة لا تزيد عن 150 يحدث التحنيط بشكل متأخر جدا عند انزياح نسبي يزيد عن 2%.

الكلمات المفتاحية: فولاذ منخفض إجهاد الخضوع، جدار قص صفائحي فولاذي، تحنيط مرن، تحنيط غير مرن.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



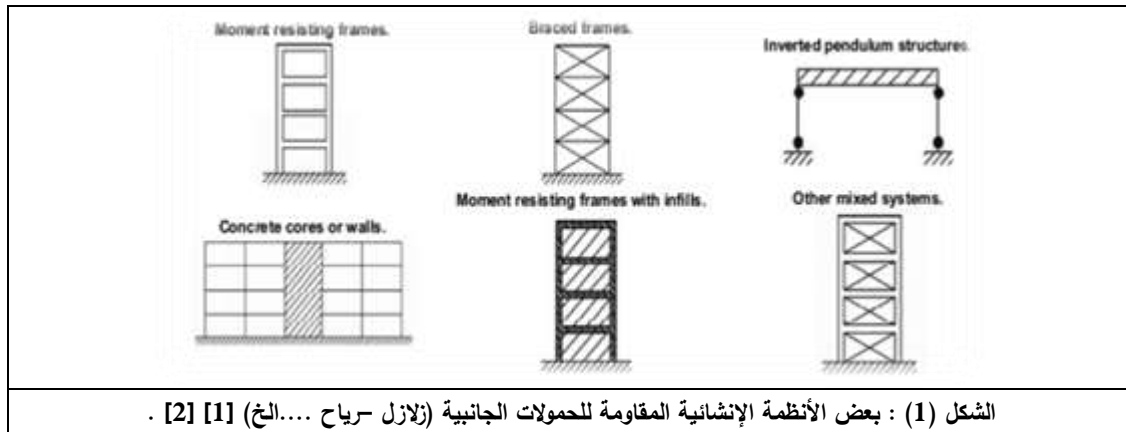
CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ-قسم الهندسة الإنشائية -كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.  
\*\*مدرس - قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.  
\*\*\*طالبة دراسات عليا (ماجستير)-قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.  
alzahraaliturikieh@gmail.com

## مقدمة:

الإطارات الصلبة وجدران القص والإطارات المقواة هي ثلاثة أنواع نموذجية من الأنظمة الإنشائية التي تستخدم لمقاومة الأحمال الجانبية والحد من الانتقال الجانبي في المباني، يوضح الشكل (1) بعض الأنظمة الإنشائية المقاومة للحمولات الجانبية (زلازل - رياح .... الخ) [1] [2].

تستخدم المنشآت الفولاذية بشكل واسع في إنشاء الأبنية الواقعة في المناطق ذات الفعالية الزلزالية العالية بفضل المقاومة والمطاوعة المرتفعة التي تتمتع بها. عادة يتم تصميم المنشآت الفولاذية باستخدام الإطارات المقاومة للعزوم (Moment resisting frames)، أو الإطارات المربطة (Braced frames). يتمتع هذان النظامان الإنشائيان بالعديد من المزايا مع وجود بعض السلبيات، حيث تتميز الإطارات المربطة بصلابة أكبر من الإطارات العزمية بينما تكون مطاوعة الإطارات العزمية أكبر. يضاف إلى ذلك، أن إنشاء الإطارات المربطة هو أكثر تعقيداً وأعلى تكلفة من الإطارات العزمية.



يمكن لجدران القص الصفائحية الفولاذية (Steel plate Shear Wall - SPSW) أن تشكل خياراً بديلاً للاستخدام كنظام إنشائي فعال لمقاومة الأحمال الجانبية ولإسيما الأحمال الزلزالية. حيث تتكون جدران القص الصفائحية الفولاذية من صفائح ملاء فولاذية محاطة عند أطرافها بأعمدة وجوائز الشكل (2-b)، ويمكن أن تكون متعددة الطوابق كما يمكن وضعها في مجاز واحد أو أكثر، ويمكن استخدام جدران القص الصفائحية الفولاذية لتدعيم الجمل الإطارية البيتونية المسلحة للمنشآت القائمة، كما يمكن استخدامها في المنشآت الحديثة قيد الإنشاء [3].

وفي الحالة التي تكون العناصر المحيطية (الجوائز والأعمدة) من البيتون المسلح يتم تحقيق الترابط بينها وبين الصفيحة الفولاذية باستخدام روابط قص توزع على سطوح التماس بين الصفيحة الفولاذية والبيتون. تكون سماكة الصفيحة الفولاذية المستخدمة في هذا النظام الإنشائي (SPSW) صغيرة جداً بسبب المقاومة المرتفعة للفولاذ. ونتيجة لصغر سماكتها، تتعرض الصفيحة الفولاذية لتحنيب قصي من (elastic shear buckling) في مرحلة مبكرة عند مستويات تحميل منخفضة، وهذا يعكس سلبياً على المقاومة والصلابة والقدرة على تبديد الطاقة.

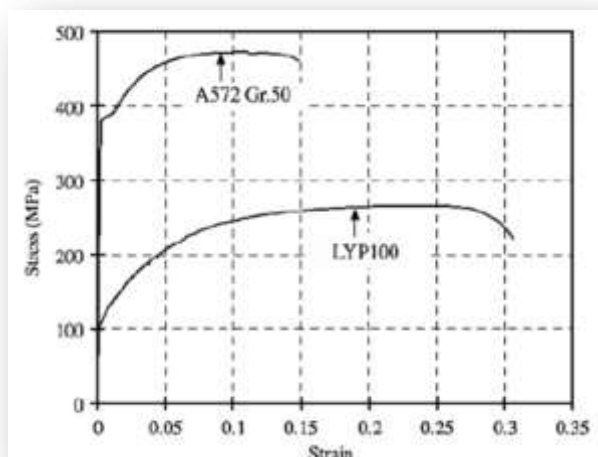
يستطيع هذا النظام الإنشائي الاستمرار في مقاومة الحمولات بعد حدوث التحنيب القصي المرن بآلية تتمثل بحقول الشد المائلة التي تتشكل في صفائح الملاء الفولاذية في المرحلة اللاحقة لتحنيب هذه الصفائح (post buckling) [4]. لكن آلية حقول الشد هذه تسبب طلباً كبيراً على العناصر المحيطية (الجوائز والأعمدة) نتيجة قوى الإرساء المنقولة

إليها. من جانب آخر قد تؤثر التشوهات الدائمة خارج مستوي الصفيحة المرافقة للتحنيب القصي المبكر سلباً على قابلية استثمار جدار القص الصفائحي الفولاذي الرقيق لاحقاً لزلزال بشدات صغيرة أو متوسطة. لتأخير التحنيب القصي، يمكن تقوية الصفيحة الفولاذية باستخدام مدعّمات أفقية و/أو شاقوليه تلحم على الصفيحة، كما يمكن تقويتها بلوح ملاصق لها من البيتون المسلح ليشكل معها ما يعرف بجدران القص المختلطة [5]، [6]، لكن هذه الاجراءات ستزيد من تكلفة الإنشاء. عوضاً عن الخيارين السابقين يمكن استخدام ما يعرف بالفولاذ منخفض إجهاد الخضوع (Low yield point –LYP –Steel) ، حيث يسمح استخدام هذا النوع من الفولاذ لصفيحة الملء بتلدن مبكر وتأخير التحنيب القصي وقد يخفف الطلب على العناصر المحيطة البيتونية (الجوائز والأعمدة) [3].



في السنوات الأخيرة، تم تطوير فولاذ ذو نقطة خضوع منخفضة (LYP 100) مع مقاومة خضوع منخفضة وخصائص استطالة عالية، واستخدم هذا النوع من الفولاذ في جدران القص الصفائحية الفولاذية. يمكن أن يصل إجهاد الخضوع لهذا النوع من الفولاذ إلى 100MPa ، وهو ما يمثل حوالي 40% من إجهاد الخضوع للفولاذ الإنشائي التقليدي مثل ASTM A36 ، كما تبلغ استطالته عند الانقطاع أكثر من ضعف استطالة الفولاذ الإنشائي التقليدي. يوضح الشكل (3) منحني الإجهاد والانفعال النموذجي للفولاذ LYP 100 المستخدم في البحث وفق Sheng–Jin Chena and (Chyuan Jhang` , 2006) [7].

إن استخدام إجهاد خضوع منخفض لصفيحة الملء الفولاذية ، يسمح بتلدن الصفيحة قبل الإطار المحيطي، وهذا يمنح جدار القص الصفائحي الفولاذي قدرة عالية على تبديد الطاقة قبل أن يصل الجدار إلى مقاومته القصوى.



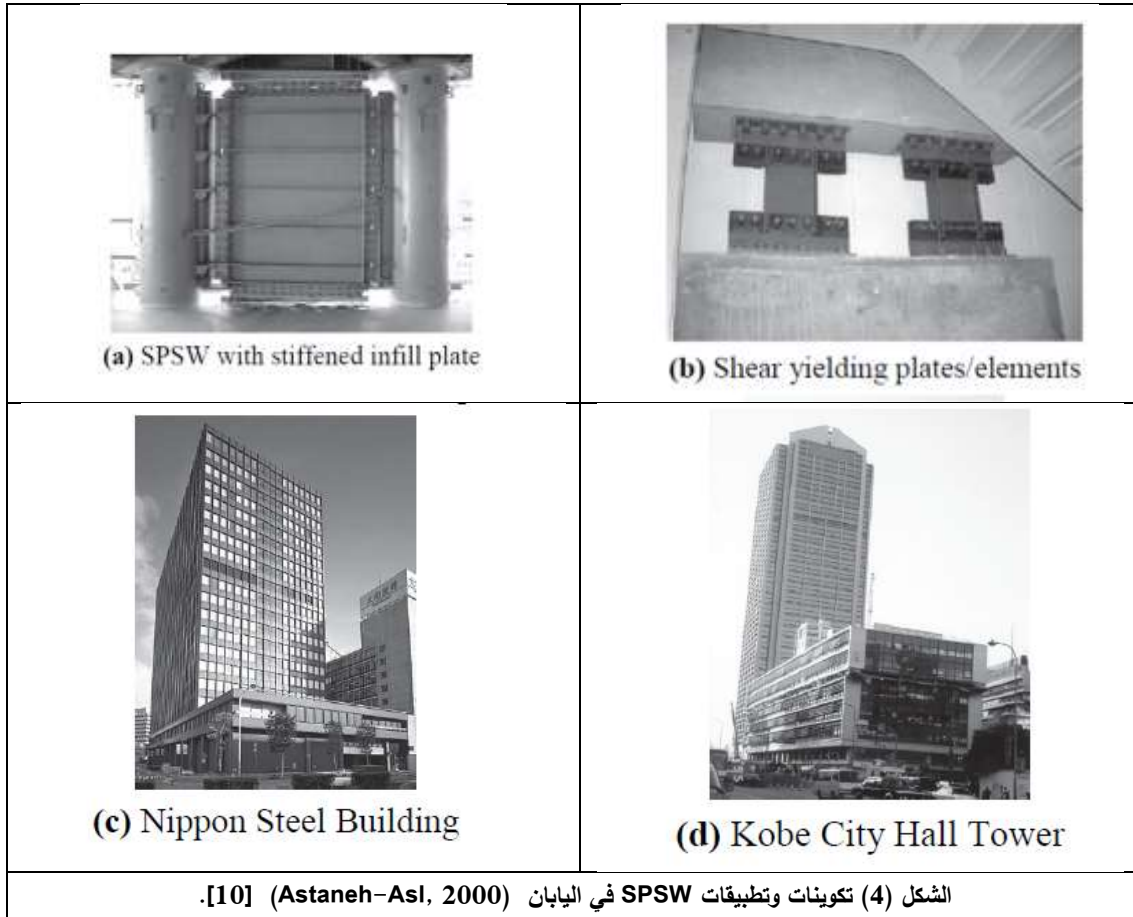
الشكل (3): منحنى الإجهاد والانفعال النموذجي للفولاذ LYP 100 المستخدم في التحليل وفق (Sheng-Jin Chena and Chyuan Jhang, 2006) [7].

يوضح الجدول (1) الخواص الميكانيكية للفولاذ LYP 100 المستخدم في جدران القص الصفائحية المدروسة (Yamaguchi et al., 1998) (SPSWs) [8].

الجدول (1) الخواص الميكانيكية لفولاذ منخفض إجهاد الخضوع (Yamaguchi et al., 1998) [8].				
Steel type	Yield point (MPa)	0.2% offset proof stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at fracture (%)
LYP100	-	80-120	200-300	≥50%
LYP235	215-245	-	300-400	≥40%

بعد تطوير فولاذ LYP بواسطة Nippon Steel في اليابان، نُفذت بعض المشاريع بجدران قص فولاذية بألواح من الفولاذ منخفض إجهاد الخضوع LYP 100 لتبديد الطاقة [8]. تقدم مباني وكالة Saitama واسعة المساحة، المكونة من 31 و 26 طابقاً، مثالاً على تنفيذ SPSW المقوى مع فولاذ LYP100، في هذه الهياكل، تراوحت سماكة الألواح من 6mm إلى 25mm بطول ارتفاع المبنى، بألواح يصل حجمها إلى  $3.0 \times 4.5m$  (Sabelli and Bruneau, 2006) [9].

تم استخدام SPSWs في اليابان في الإنشاءات والمباني الجديدة وفي الولايات المتحدة من أجل التأهيل الزلزالي للمباني القائمة وإنشاء المباني الجديدة، وفي وقت لاحق في ثمانينيات و تسعينيات القرن الماضي، تم استخدام جدران القص الفولاذية غير المقواة في المباني في الولايات المتحدة وكندا (Astaneh-Asl, 2000) [10]. أما في اليابان تم إدخال واستخدام أنواع مختلفة من تكوينات SPSW بما في ذلك الألواح الفولاذية المقواة الشكل (4 - a)، والمخمدات المكونة من صفائح تتلدن بالقص الشكل (4-b). يظهر الشكل (4-c) أمثلة لبعض المباني المزودة بألواح صلبة SPSW في مدينة طوكيو كمبنى Nippon Steel الذي تم بناؤه في السبعينيات، وكذلك برج Kobe City Hall المكون من 35 طابقاً في مدينة Kobe الذي تم تشييده في عام 1988. يظهر الشكل (4-d) المبنى الذي قاوم زلزال كوبي عام 1995 بأضرار طفيفة (Astaneh-Asl, 2000) [10].



### 1- الدراسة المرجعية:

تناولت العديد من الأبحاث السابقة دراسة جدران القص الصفائحية الفولاذية وجدران القص الفولاذية الصفائحية المختلطة. تناول الباحث طراف، أسامة (2016) سلوك الأنظمة الثنائية المكونة من إطارات بيتونية مسلحة مع جدران قص معدنية [4]، حيث كانت صفيحة المملء من فولاذ عادي. أكدت نتائج البحث فعالية النظام الإنشائي المدروس في مقاومة الأحمال الأفقية، وقدرته الجيدة على تبديد الطاقة من خلال السلوك اللاحق للتحبيب الذي يتطور في صفيحة المملء الفولاذية الرقيقة. بالمقابل، فإن هذا السلوك يسبب طلباً كبيراً على العناصر المحيطة (الجوائز والأعمدة) نتيجة قوى الإرساء المنقولة إليها.

درست الباحثة جمال الدين، رشا (2014) سلوك الإطار البيتوني المملوء بجدار قص معدني مع دعائم تحت تأثير الأحمال الزلزالية [5]، وكانت صفائح المملء من الفولاذ العادي. أظهرت نتائج الدراسة الأثر الإيجابي لاستخدام الدعائم في زيادة تبديد الطاقة وتحسين مقاومة النظام الإنشائي المدروس.

درس الباحث (طولو، علي (2020)) [6] السلوك الزلزالي لجدران القص المعدنية الصفائحية المختلطة الحاوية على فتحات في الجمل الإنشائية للأبنية العالية. حيث كانت صفيحة المملء من فولاذ عادي مقواة بلوح من الخرسانة المسلحة الملاصق لها، أما الإطار المحيطي فكان إطاراً فولاذياً. وقد أكدت نتائج هذه الدراسة فعالية اللوح البيتوني في تأخير تحبيب الصفيحة الفولاذية.

تناول الباحث (Zirakian, Tadeh , 2013) دراسة الأداء الزلزالي وتصميم جدران القص الصفائحية الفولاذية المكونة من إطارات فولاذية و صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع [11]. وقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن استخدام صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع قد أخرج تحنيب صفيحة الملء وساهم بشكل فعال في زيادة قدرة النظام الإنشائي المدروس على تبديد الطاقة.

وهناك الكثير من الدراسات والأبحاث التحليلية التي تناولت بالتحليل سلوك الأنظمة الثنائية المكونة من إطارات بيتونية مسلحة أو فولاذية مع جدران قص معدنية جميعها ذات صفائح الملء من الفولاذ العادي. وجميع هذه الدراسات أظهرت المزايا الواضحة لاستخدام جدران القص المعدنية الصفائحية في المباني ( توفير في كمية الفولاذ المستخدمة، سرعة التشييد، خفض تكلفة الأساسات، زيادة المساحة الصالحة للاستخدام في المباني....الخ). وتوفر جدران القص المعدنية الصفائحية أيضا صلابة كبيرة ضد انزياح المبنى في المباني الشاهقة.

رغم الأبحاث العديدة التي تناولت استخدام جدران القص المعدنية لرفع مقاومة الإطارات المعدنية إلا أن الدراسات التي تُعنى باستخدام الإطارات البيتونية محدودة ، كما أوصى العديد من الباحثين في دراساتهم على استخدام صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع كوسيلة لتخفيض الطلب على الإطار المحيطي من البيتون المسلح، لكن الأبحاث في هذا المجال لا تزال محدودة جدا.

### أهمية البحث وأهدافه:

نظرا لأهمية الأنظمة الإنشائية الثنائية (Dual System) المكونة من إطارات بيتونية مسلحة و صفائح فولاذية ( جدران القص الصفائحية الفولاذية) في مقاومة القوى الزلزالية، ونظرا لاستخدامها الشائع مؤخرا بسبب كلفتها المنخفضة نسبيا وإمكانية إصلاح الاضرار الناتجة عن الزلزال، تكمن أهمية البحث بدراسة التأثير الإيجابي لاستخدام الفولاذ منخفض إجهاد الخضوع LYP في تحسين أداء الجملة الإنشائية المكونة من إطار بيتوني مسلح و صفائح ملء رقيقة لتحمل قوى الزلازل. يمكن أن تساهم هذه الدراسة في استخدام هذه النظم الإنشائية عند إعادة إعمار المنشآت في سوريا أو في تدعيم المنشآت الإطارية البيتونية القائمة.

إن الجملة (إطار بيتوني + صفائح معدنية) تتمتع بمطاوعة أفضل وتبديد طاقة أكبر من جملة (إطار بيتوني مسلح + جدار قص بيتوني مسلح) علاوة على توفير الفولاذ، وسرعة التشييد وسرعة الفك والتركيب، وتخفيف وزن المنشأ وخفض تكلفة الأساسات، وزيادة المساحة الصالحة للاستخدام في المباني. وتوفر جدران القص المعدنية الصفائحية أيضا صلابة كبيرة ضد انزياح المبنى في المباني الشاهقة وسرعة تنفيذه.

يكمن الهدف الرئيس لهذا البحث في تطوير نموذج عددي ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج Abaqus لمحاكاة جدران القص الصفائحية الفولاذية المكونة من إطار بيتوني مسلح و صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع LYP يكون قادراً على توقع السلوك اللامرّن الكلي لهذا النظام الإنشائي. ومن ثم استخدام النموذج المطور لدراسة تأثير الفولاذ منخفض إجهاد الخضوع في جدار الملء الفولاذي المرتبط بالإطار البيتوني على السلوك العام للنظام الإنشائي المدروس. إضافة إلى إنجاز دراسة بارامترية لتقصي تأثير بعض البارامترات على سلوك هذا النظام الإنشائي، وتشمل هذه البارامترات بشكل رئيسي نحافة صفيحة الملء و إضافة مدعمات أفقية وشاقولية.

## طرائق البحث ومواده:

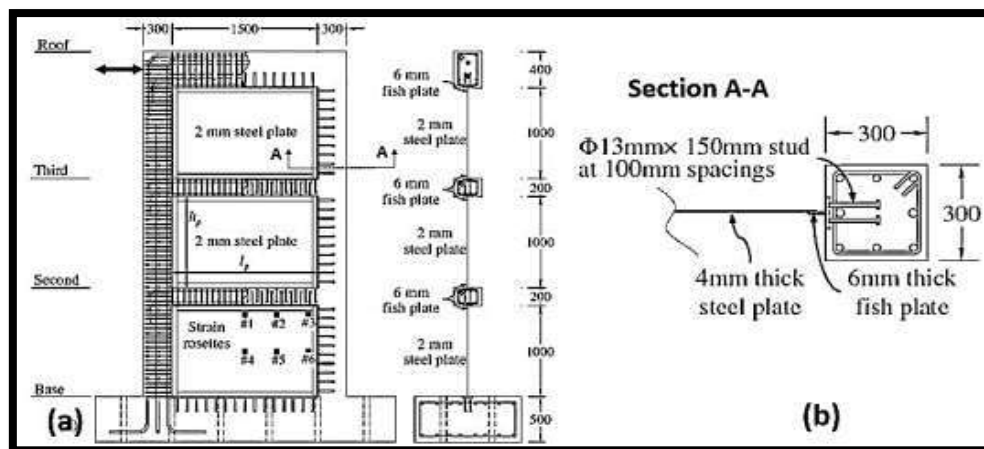
تم اعتماد المنهجية التحليلية في إجراء البحث، حيث تم استعراض الخطوات المنهجية المتبعة في النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية (FEM) باستخدام البرنامج المتخصص بالبحث العلمي (ABAQUS ( V14.2) [12] ، [13] و اعتمد التحليل الستاتيكي اللاخطي والذي يأخذ بعين الاعتبار اللاخطية الهندسية واللاخطية المادية ( Geometrically and Materially Non Liner Analysis).

تم تطوير نموذج عددي ثلاثي الأبعاد / 3D / باستخدام برنامج التحليل الإنشائي ABAQUS V14.2 وذلك لدراسة سلوك جدران القص الصفائحية الفولاذية المكونة من إطار بيتوني مسلح و صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع (LYP). يأخذ النموذج العددي المطور اللاخطية الهندسية واللاخطية المادية بالحسبان.

قمنا بتوثيق هذا النموذج بمقارنة سلوكه مع النتائج التجريبية المستخلصة من الدراسات المرجعية هي الدراسة التجريبية التي أعدها الباحثان (Choi and Park,2011) [14]. بعد ذلك تم استثمار النموذج العددي المطور في دراسة تأثير البارامترات المنوه عنها أعلاه على السلوك الإنشائي لجدران القص الصفائحية الفولاذية بوجود صفيحة ملء بفولاذ منخفض إجهاد الخضوع (LYP) وذلك على السلوك العام للنظام الإنشائي المختلط المدروس ( المقاومة، الصلابة، المطاوعة).

## 1. إنشاء النموذج العددي بطريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج ABAQUS:

من أجل توثيق النموذج العددي المطور موضوع البحث تم تشكيل النموذج بشكل مطابق للنموذج التجريبي المختبر من قبل الباحثين (Choi and Park ,2011) [14]، وذلك من حيث الأبعاد الهندسية وخواص مواد البناء المستخدمة والشروط الطرفية. اختبر عمليا (Choi and Park,2011) بدراسة تجريبية إطار بيتوني مسلح مؤلف من ثلاثة طوابق ومجاز واحد (RCF) بمقياس مصغ (1/3) وموثوق بأسفل أعمدته بأساس صلد الشكل (5) ثم أضيفت صفائح معدنية لتعمل كجدران قص (SPIW)، وتم التحميل بتطبيق انتقال Displacement أفقي دوري في أعلى الإطار. تم اختيار النموذج SPIW1 من أجل توثيق النموذج العددي المطور. يتكون هذا النموذج من إطار بيتوني مسلح بنسبة تسليح في الأعمدة 3.7% مضاف له صفيحة معدنية بسماكة (tp=2 mm). يبين الشكل (5) أبعاد النموذج (SPIW1) فيظهر أبعاد مقطع الأعمدة (hc=bc=300 mm) وأبعاد مقطع الجائزين للطابقين الأول والثاني (hb=200 mm , bp=300mm) و أبعاد مقطع الجائز للطابق الثالث (hb=400 mm , bp=300mm) أبعاد لصفحة المعدنية (hp=1000mm , bp=1500mm).



الشكل (5): أبعاد النموذج وأقطار فولاذ التسليح التي تم اختبارها في الدراسة (Choi and Park , 2011) [13].

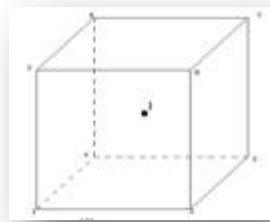


يظهر المقطع (Section A-A) المبين على الشكل (5-b) طريقة الاتصال الوثيق للصفائح المعدنية بجسم الإطار البيتوني المسلح، حيث استعملت روابط قص (Shear connections) بقطر ( $\varnothing=13\text{mm}$ ) وطول ( $L=150\text{mm}$ ) مع تباعدات ( $S=100\text{mm}$ )، ولحمت الروابط بجناحي عنصر معدني بشكل (T) بسماكة ( $t=6\text{mm}$ )، ولحمت الصفيحة بجسد هذا العنصر.

2- توصيف العناصر المستخدمة في النمذجة باستخدام ABAQUS:

1-2- العنصر المستخدم لنمذجة العناصر الإطارية وروابط القص (studs):

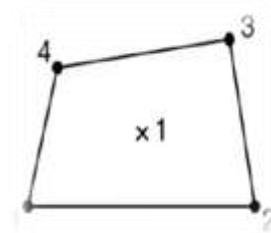
تم استخدام العنصر C3D8 لنمذجة العناصر الإطارية وروابط القص (studs) وهو عنصر حجمي صلب (SOLID ELEMENT) مؤلف من ثمانية عقد وكل عقدة تملك ثلاث درجات حرية (3 انتقالات) الشكل (6).



الشكل (6): العنصر الفراغي C3D8 [6].

2-2- العنصر المستخدم لنمذجة الصفيحة المعدنية:

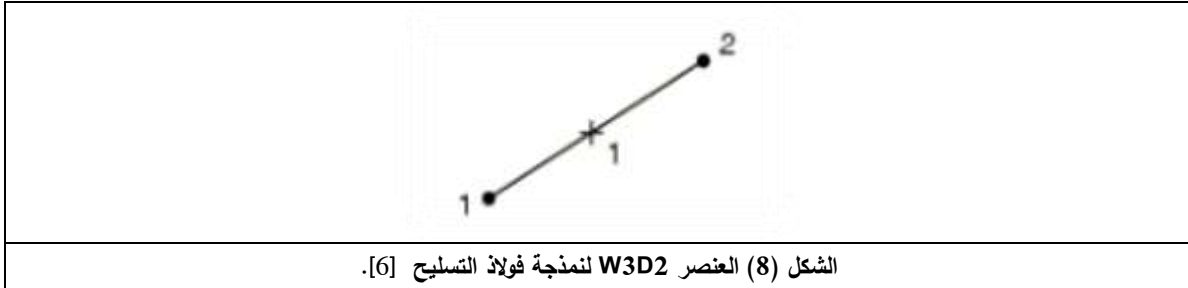
تم استخدام العنصر S4R لنمذجة الصفيحة المعدنية وهو عنصر مستوي قشري (shell element) ذو تشوهات منتظمة وأبعاد خطية ويملك نقطة تكاملية واحدة وهو مكون من أربع عقد وكل عقدة تحوي ست درجات حرية (3 انتقالات و3 دورانات) الشكل (7).



الشكل (7): العنصر S4R لنمذجة الصفيحة المعدنية [6].

2-3- العنصر المستخدم لنمذجة فولاذ التسليح:

من أجل نمذجة فولاذ التسليح أستخدم العنصر W3D2 وهو من النوع الشبكي الفراغي (Wire Element) مؤلف من عقدتين وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية (3 انتقالات)، ويبين الشكل (8) نموذج العنصر W3D2.



الشكل (8) العنصر W3D2 لنمذجة فولاذ التسليح [6].

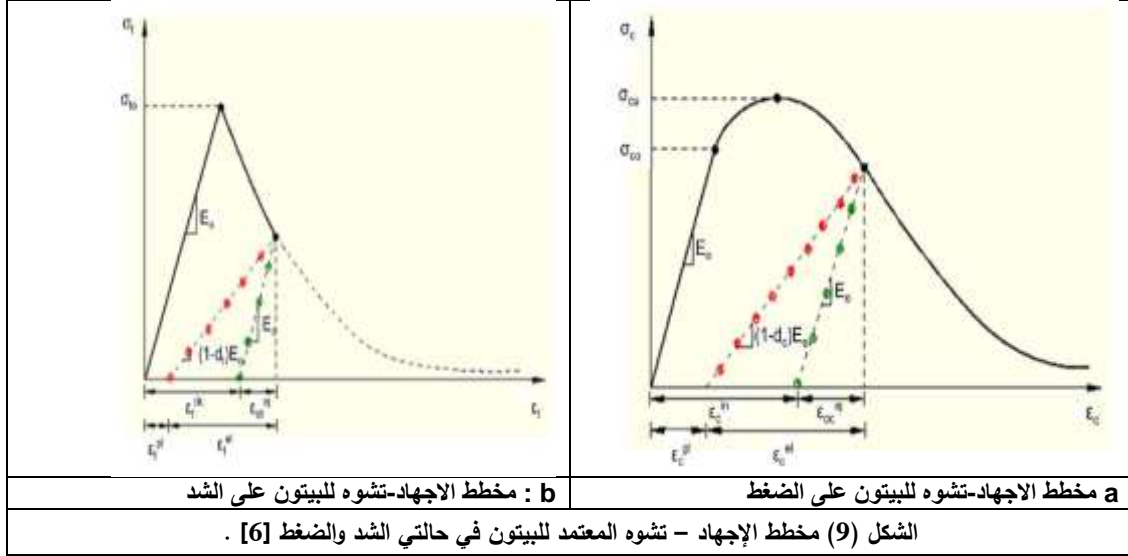
### 3- مواصفات المواد المستخدمة وتعريفها :

#### 3-1- البيتون (Concrete) :

تم في هذه الدراسة استخدام النموذج المستخدم في الطريقة (Concrete Damaged Plasticity (CDP لتوصيف مادة البيتون وهو نموذج تضرر قائم على اللدونة (Plasticity-based damage model) لوصف سلوك البيتون. يفترض هذا النموذج وجود آليتي انهيار رئيسيتين لمادة البيتون هما التشقق بالشد والتشقق بالضغط، ويتم التحكم بتطور سطح الانهيار من خلال متحولين، المتحول  $\epsilon_{cpl}$  ويمثل تشوه الضغط اللدن المكافئ وهو يرتبط بآلية الانهيار تحت حمولة ضغط والمتحول  $\epsilon_{tpl}$  ويمثل تشوه الشد اللدن المكافئ وهو يرتبط بآلية الانهيار تحت حمولة شد. يفترض النموذج (CDP) أنه يمكن توصيف استجابة البيتون تحت شد أو ضغط محوري باستخدام ما يعرف باللدونة المتضررة (Damaged Plasticity) كما يظهر الشكل (9).

يفترض أن سلوك البيتون الخاضع لشد أحادي المحور هو من خطي بمعامل مرونة ابتدائي ( $E_0$ ) حتى بلوغ إجهاد الانهيار بالشد ( $\sigma_{t0}$ ). يتوافق إجهاد الانهيار ( $\sigma_{t0}$ ) مع بدء تشكل تشققات مايكروية (Micro-cracking) في البيتون. وبعد إجهاد الانهيار يتم تمثيل التشققات المايكروية على مقياس أكبر (Macro) من خلال تليين (softening) الاستجابة إجهاد - تشوه للبيتون المشدود وهذا يؤدي إلى تركيز التشوهات فيه. بشكل مماثل يفترض أيضا أن سلوك البيتون الخاضع لضغط أحادي المحور هو من خطي حتى بلوغ مايعرف بإجهاد التلدن البدئي ( $\sigma_{c0}$  initial stress) ومن ثم يصبح سلوك البيتون لاختيا حيث تستمر الإجهادات بالتزايد بفعل التقسية (hardening) لتصل إلى إجهاد حدي  $\sigma_{cu}$  ومن ثم تنخفض الإجهادات مع ازدياد التشوهات بفعل التليين (softening).

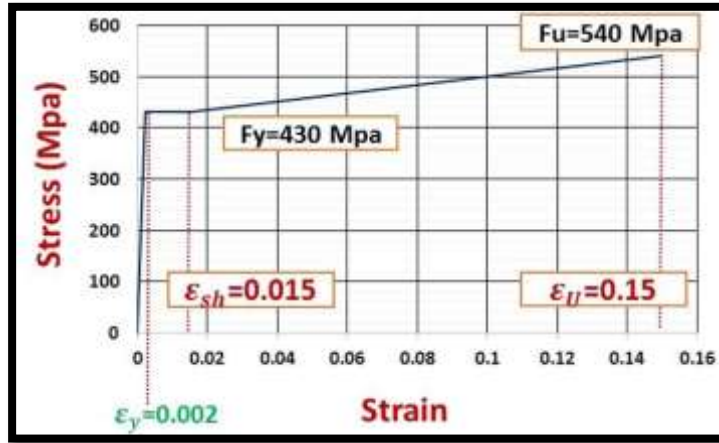
يتم توصيف تدهور الصلابة المرنة للبيتون المتضرر في مختلف مراحل سلوكه باستخدام متحولي تضرر (damage variables) dt (للبيتون المشدود) و dc (للبيتون المضغوط)، وهما تابعان للتشوهات اللدنة بشكل أساسي. يأخذ متحول الضرر القيم من الصفر (مادة غير متضررة) حتى الواحد (المادة متضررة بشكل تام). يظهر الشكل (9) مخطط الإجهاد - تشوه المعتمد للبيتون في حالتي الشد والضغط.



### 3-2- الفولاذ الإنشائي وفولاذ التسليح:

#### أ- فولاذ تسليح العمود:

اعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي للعمود من الدراسة التجريبية  $f_y=430\text{MPa}$  ومعامل المرونة (Elastic Modulus) مساو للقيمة  $(E_s=200\text{GPa})$  واعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح العرضي للعمود من الدراسة التجريبية  $(f_y=486\text{MPa})$  ومعامل المرونة مساو للقيمة  $(E_s=200\text{GPa})$  ويبين الشكل (10) مخطط الإجهاد-التشوه لفولاذ تسليح الطولي بالأعمدة



الشكل (10): مخطط الإجهاد-التشوه لفولاذ تسليح الطولي بالأعمدة

#### ب- فولاذ تسليح الجوائز:

تم اعتماد إجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي للجوائز من الدراسة التجريبية  $(f_y=471\text{MPa})$  ومعامل المرونة (Elastic Modulus) مساو للقيمة  $(E_s=200\text{GPa})$ . واعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح العرضي للجوائز من الدراسة التجريبية  $(f_y=486\text{MPa})$  ومعامل المرونة مساو للقيمة  $(E_s=200\text{GPa})$ .

### ج- فولاذ الصفيحة المعدنية:

اعتمد إجهاد خضوع فولاذ الصفيحة المعدنية من الدراسة التجريبية (  $f_y=302\text{MPa}$  ) ومعامل المرونة (Elastic Modulus) مساو للقيمة (  $E_s=200\text{GPa}$  ).

### د- فولاذ روابط القص (studs):

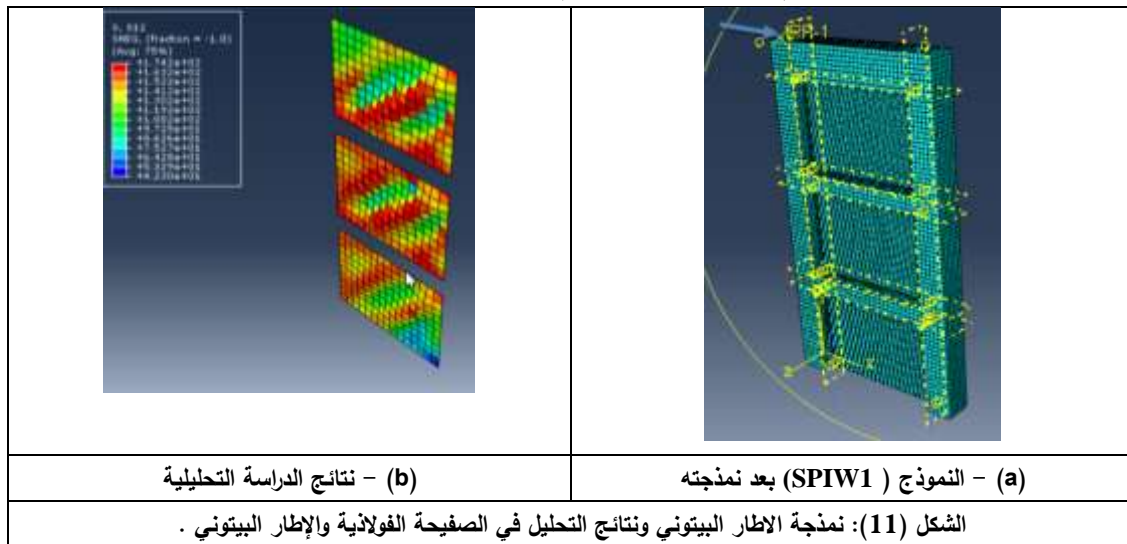
اعتمد إجهاد خضوع فولاذ روابط القص (studs) من الدراسة التجريبية (  $f_y=240\text{Mpa}$  ) ومعامل المرونة (Elastic Modulus) مساو للقيمة (  $E_s=200\text{GPa}$  ).

### 4- الشروط الطرفية والتحميل:

- الشروط المحيطية للإطار البيتوني المسلح، وثاقفة تامة في أسفله.
- الشروط المحيطية للصفحة المعدنية، وثاقفة تامة في أسفلها عن اتصالها بالقاعدة، وتتصل مباشرة مع العناصر المحيطية (الأعمدة والجوائز) في النموذج العددي بواسطة مسامير القص.
- تم تقييد الانتقالات الجانبية للجائزين الواسطين بما يتوافق مع الاختبار التجريبي.
- الأحمال المطبقة على النموذج المدروس: تم اعتماد تطبيق انتقال جانبي أفقي على الجائز العلوي في أعلى الإطار متزايد بشكل تدريجي للوصول لإزاحة طابقية نسبية وسطية مقدارها (2.5%) توافق القيمة العظمى الواردة في الكود الأمريكي ASCE 7- 05

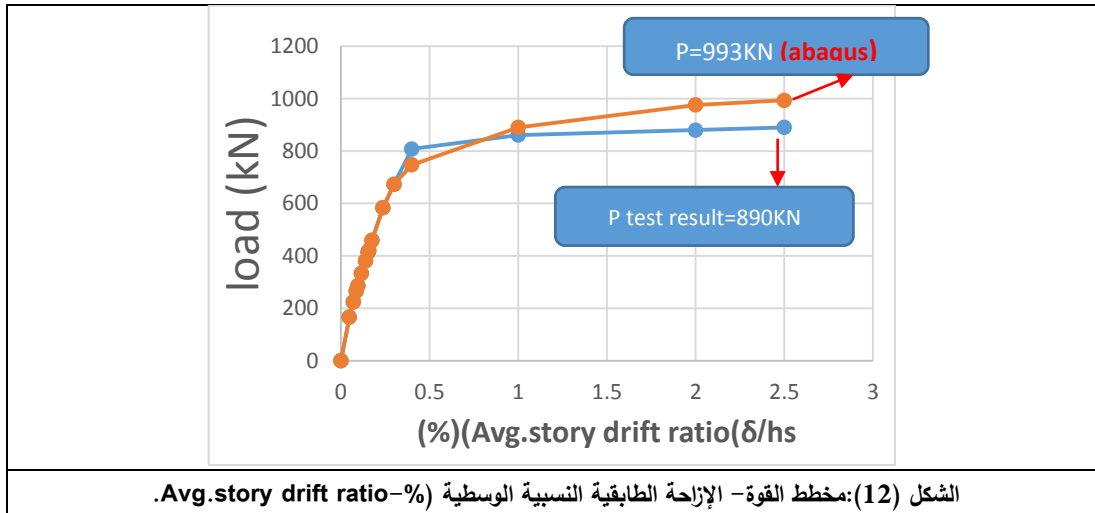
### 5- معايرة وتوثيق النموذج (SPIW1):

يبين الشكل (a-11) النموذج (SPIW1) بعد نمذجته في برنامج ABAQUS V14.2 ، كما يظهر الشكل (11) (b- نتائج الدراسة حيث لدينا قيمة (  $\tau_{cr} = 8.3 \text{ MPa}$  ) التجريبية وهي أصغر من الإجهاد المماسي المتشكل في الصفيحة نتيجة الدراسة الحالية (  $S_{12} = 174,2 \text{ Mpa}$  ) وهذا ما يفسر تحنيب الصفيحة وتشكل حقول الشد.

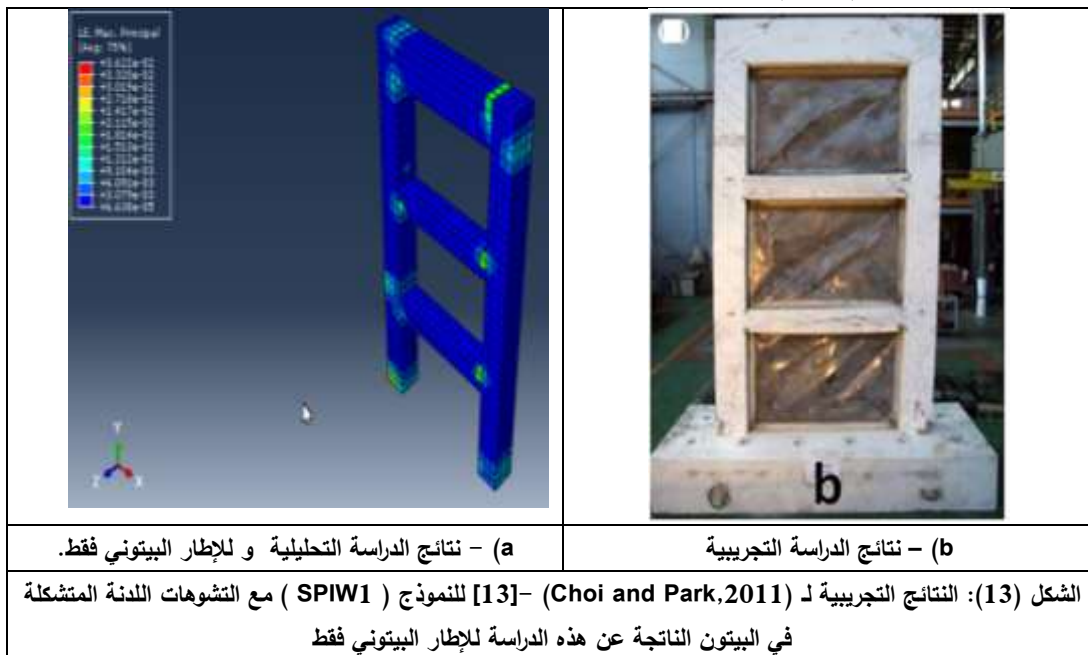


يظهر الشكل (12) منحنى القوة- الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg.story drift ratio -%) لنتائج الدراسة المرجعية التجريبية للنموذج (SPIW1) حيث بلغت قيمة القوة العظمى  $P \text{ test result} = 890\text{kN}$  . وعلى نفس الشكل (12) يظهر منحنى القوة- الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg.story drift ratio -%) لنتائج الدراسة

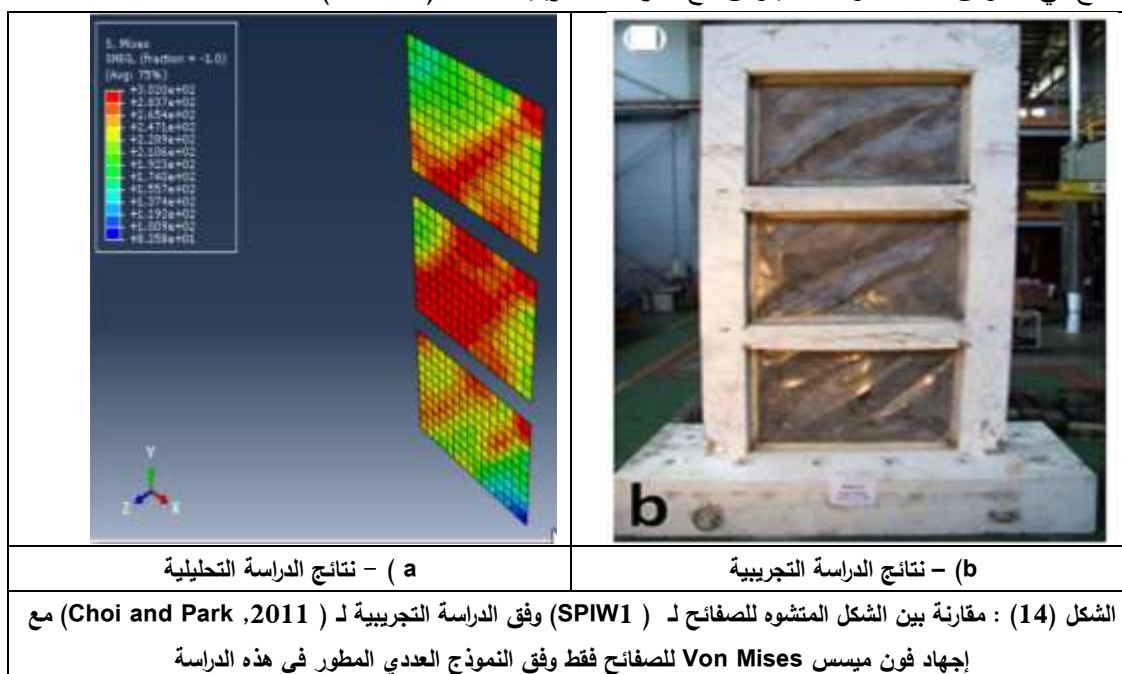
العددية ( Abaqus ) حيث يبين المخطط وصول قدرة التحمل للدراسة الحالية للقيمة (  $P=993.5 \text{ kN}$  ) بفرق (12%) فقط عن النتائج التجريبية، فتكون نسبة الدقة لقدرة التحمل للنموذج العددي للدراسة الحالية (88%)، حيث تم إيقاف التحليل عند إزاحة طابقية نسبية وسطية مساوية للقيمة ( 2.5% ) التي توافق القيمة العظمى الواردة في الكود الأمريكي ASCE 7-05 [15].



يبين الشكل (b-13) الشكل المتشوه للإطار وفق النتائج التجريبية ( Choi and Park,2011 ) [13] مع التشوهات اللدنة الناتجة في البيتون للنموذج ( SPIW1 ) الناتجة عن الدراسة التحليلية للإطار البيتوني فقط الشكل (a-13). تظهر هذه الدراسة التحليلية تشكل مفاصل لدنة (Plastic hinges) في أسفل العمود الأيسر ونهايات الجوائز للطابقين الأول والثاني، وظهور تشققات على ارتفاع العمود الأيسر في الطابقين الأول والثاني، وهذا ما يتوافق مع نتائج الدراسة المرجعية التجريبية الشكل (b-13).



كما يبين الشكل ( b-14 ) الشكل المتشوه (Deformed shape) للصفحة الفولاذية مع إجهاد Von-Mises للنموذج ( SPIW1 ) وفق نتائج دراستنا وللصفائح المعدنية فقط. تبين النتائج تشكل حقول الشد بعد تحنيط الصفائح في الطوابق الثلاثة، كما وصل إجهاد Von-Mises لقيمة إجهاد الخضوع للصفائح ( $f_y=302 \text{ MPa}$ ) وتلدنت الصفائح في الطوابق الثلاثة، وهذا ما يتوافق مع الدراسة التجريبية الشكل ( b - 14 ).



## النتائج المناقشة:

### 5- الدراسة التحليلية:

بعد معايرة وتوثيق النموذج العددي المنجز والموثق في الفقرة السابقة تم استثماره لدراسة سلوك النظام الإنشائي (SPSW) المكون من إطار بيتوني مسلح و صفائح ملء فولاذية مصنعة من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع (LYP100)، وذلك عبر إجراء دراسة بارامترية لتقصي تأثير بعض البارامترات على سلوك هذا النظام الإنشائي. وقد شملت هذه البارامترات بشكل رئيسي نحافة صفيحة الملء و إضافة مدعّمات أفقية وشاقولية. يظهر الشكل (3) منحنى الإجهاد-تشوه للفولاذ منخفض إجهاد الخضوع (LYP 100) المستخدم في جدران القص الصفائحية (Chen S. and Jhang C., 2011) [7].

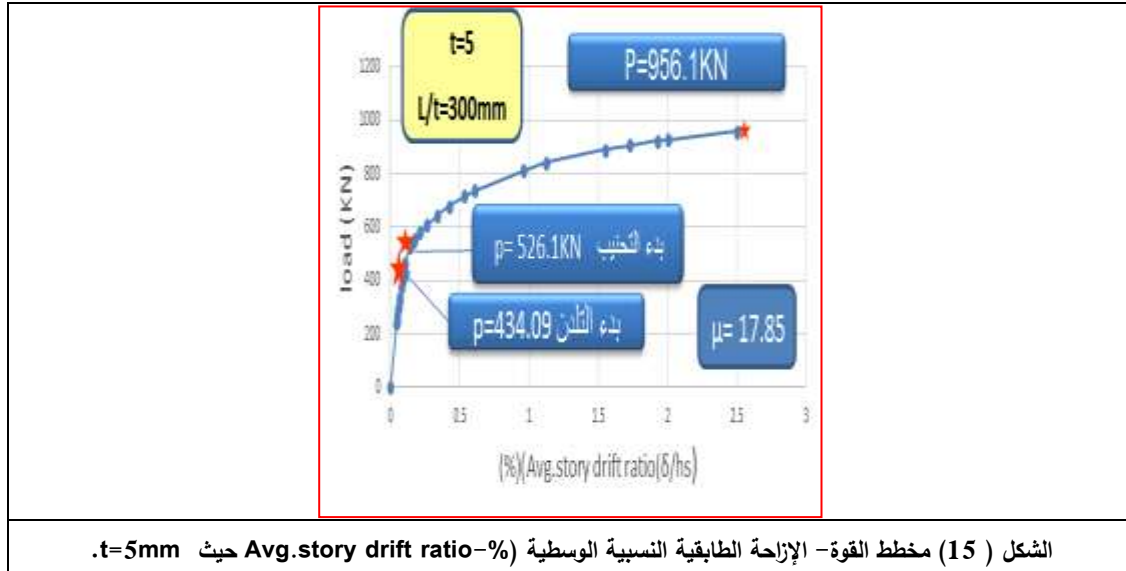
### أولاً - نتائج التحليل عند تغيير نحافة صفيحة الملء.

بالنسبة لنحافة صفيحة الملء تم اعتماد القيم التالية: 150 ، 250 ، 300  $L/t =$

#### نتائج التحليل في حالة ( $L/t=300$ ):

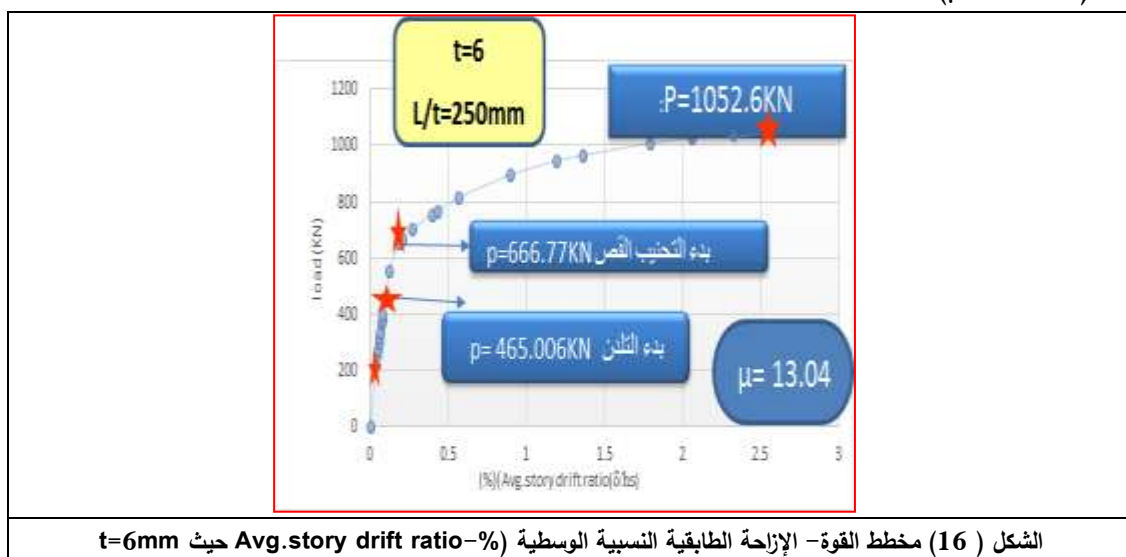
يظهر الشكل ( 15 ) مخطط القوة- الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية ( $\text{Avg. story drift ratio} \%$ ) حيث سماكة الصفيحة  $t= 5\text{mm}$ . يبين الشكل أنه عند إزاحة طابقية نسبية وسطية ( $0.1 \%$ ) بدأت الصفائح بالتلدن حيث ( $p=434.09\text{KN}$ ) ومن ثم بدأت الصفائح بالتحنيط عند إزاحة طابقية نسبية وسطية ( $0.14\%$ ) حيث ( $p=526.1\text{KN}$ ). أبدى الإطار البيتوني المسلح مع صفائح ملء منخفضة إجهاد الخضوع قدرة تحمل

عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (2.5%) مع صلابة (144.9 KN/mm) ومطاوعة عالية نسبياً قيمتها ( $\mu = 17.85$ ).



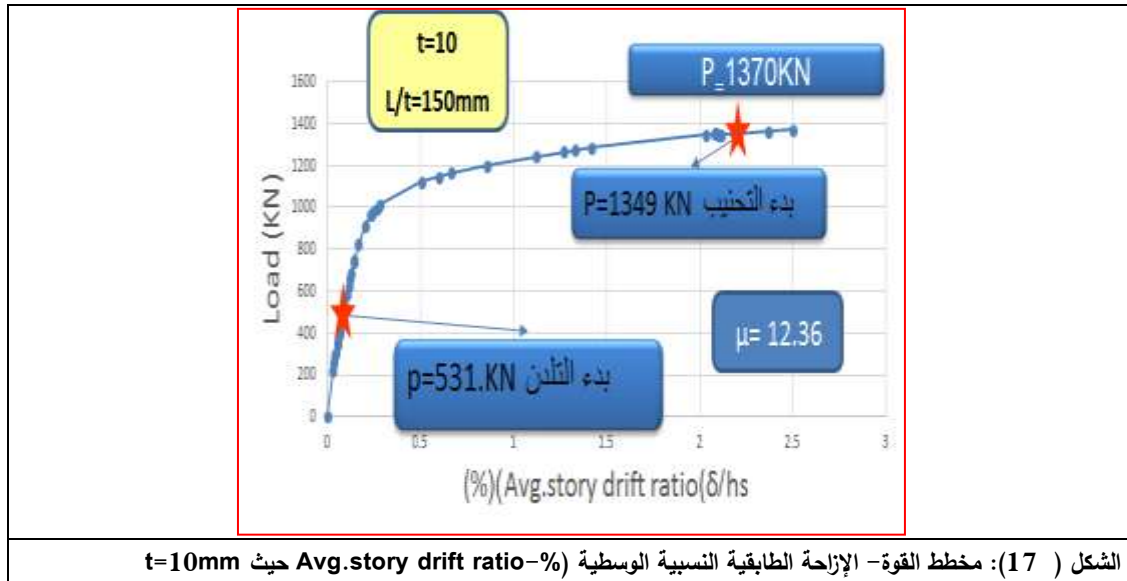
#### نتائج التحليل في حالة ( $L/t=250$ ):

بين الشكل (16) مخطط القوة- الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (%Avg.story drift ratio) الناتج عن التحليل حيث سماكة الصفيحة مساوية حيث ( $t= 6mm$ ). يبين الشكل أنه عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (0.1%) بدأت الصفائح بالتلدن حيث ( $p=465.006kN$ ) ومن ثم بدأت الصفائح بالتحنيب عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (0.2%) حيث ( $p=666.77kN$ ). أبدى الإطار البيتوني المسلح مع صفائح ملء منخفضة إجهاد الخضوع قدرة تحمل ( $P= 1052.6kN$ ) عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (2.5%) مع صلابة (159.6 KN/mm) ومطاوعة قيمتها ( $\mu = 13.04$ ).



### نتائج التحليل في حالة ( $L/t=150$ ):

بين الشكل (17) مخطط القوة- الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg.story drift ratio) الناتج عن التحليل حيث سماكة الصفيحة مساوية حيث ( $t=10\text{mm}$ ). يبين الشكل أنه عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (0.1) بدأت الصفائح بالتلدن حيث ( $p=531\text{KN}$ ) ومن ثم بدأت الصفائح بالتحنيب عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (2%) حيث ( $p=1349\text{KN}$ ). أبدى الإطار البيتوني المسلح مع صفائح ملء منخفضة إجهاد الخضوع قدرة تحمل ( $P=1370\text{KN}$ ) عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (2.5%) مع صلابة ( $196.26\text{ KN/mm}$ ) وانخفضت المطاوعة حيث وصلت قيمتها إلى ( $\mu = 12.36$ ).



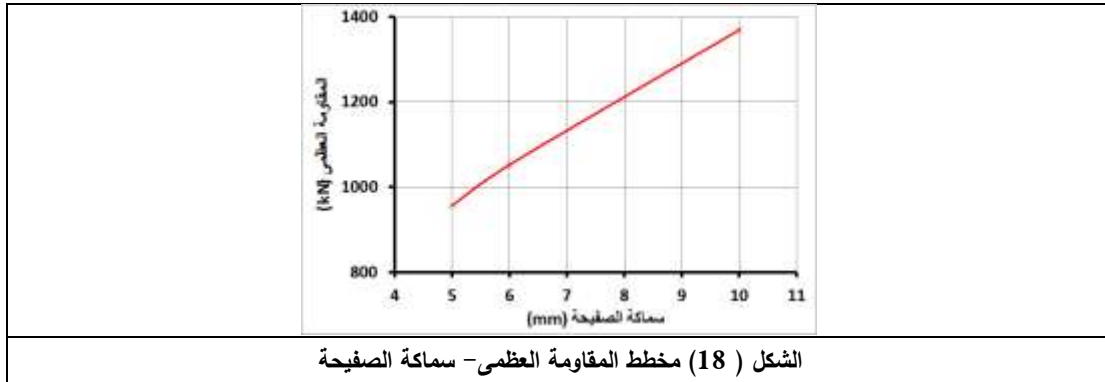
يبين الجدول (2) مقارنة بين نتائج التحليل من أجل القيم المعتمدة لنحافة صفيحة الملء التي تم تغييرها عبر تغيير سماكة الصفيحة.

الجدول (2) مقارنة بين نتائج التحليل مع تغيير نحافة صفيحة الملء ( $L/t = 300, 250, 150$ )			
10	6	5	سماكة الصفيحة (mm)
150	250	300	النحافة ( $L/t$ )
531	465.006	434.09	قوة بدء التلدن (kN)
1349	666.77	526.1	قوة بدء التحنيب (kN)
1370	1052.6	956.1	المقاومة العظمى (kN)
12.36	13.04	17.85	المطاوعة $\mu$

يظهر الشكل (18) تغير المقاومة العظمى بدلالة تغير سماكة صفيحة الملء. من خلال الأشكال من 15 حتى 18 و الجدول (2) يمكن استخلاص النتائج التالية:

- كلما زادت سماكة الصفيحة انخفضت النحافة وتأخر حدوث التحنيب مقارنة مع حدوث التلدن، ومن أجل نحافة لا تزيد عن 150 يحدث التحنيب بشكل متأخر جدا عند انزياح نسبي يزيد عن 2%.
- كلما قلت سماكة الصفيحة انخفضت القوة التي يحدث عندها الخضوع وزادت المطاوعة.
- تزداد المقاومة العظمى بشكل خطي مع ازدياد السماكة كما هو مبين بالشكل (18).





ثانياً -نتائج التحليل عند إضافة مدعّمات أفقية وشاقولية على سلوك ال (SPSW).

بالنسبة للمدعّمات (Stiffeners) تمت دراسة حالتين: مدعّمة أفقية مع مدعّمة شاقولية ، مدعّمتين أفقيتين مع ثلاث مدعّمات شاقولية. استخدمت مدعّمات بأبعاد (  $bs=20\text{mm}$  ,  $ts=10\text{mm}$  ) مصنعة من فولاد تقليدي إجهاد خضوعه (  $fy=302\text{MPa}$  ) ومعامل مرونته (  $Es=200\text{GPa}$  ).

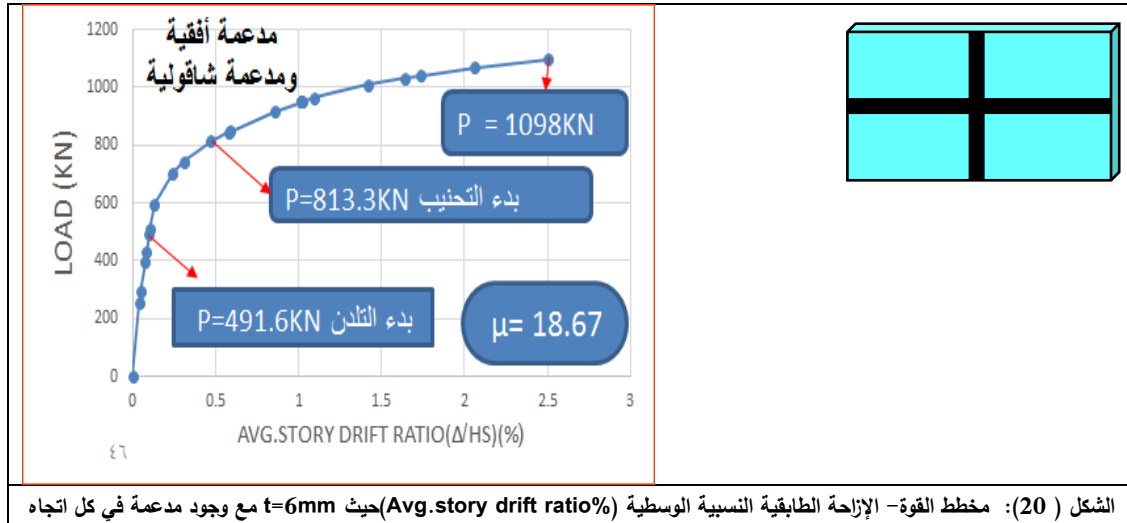
☒ حالة :عدم وجود مدعّمات:

بين الشكل(19) مخطط القوة- الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg.story drift ratio%) الناتج عن التحليل حيث سماكة الصفيحة مساوية حيث (  $t= 6\text{ mm}$  ) .



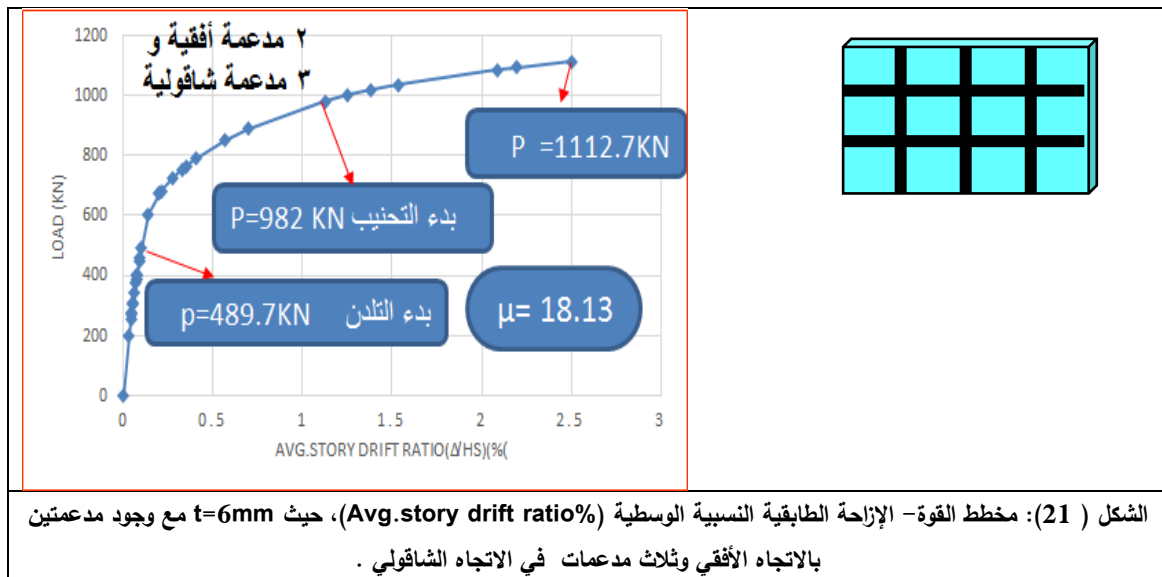
☒ حالة : مدعّمة أفقية ومدعّمة شاقولية:

بين الشكل (20) مخطط القوة- الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg.story drift ratio%) حيث كانت سماكة صفيحة الملء (  $t= 6\text{mm}$  ) مع وجود مدعّمات أفقية وأخرى شاقولية . يبين الشكل أنه عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (0.1 %) بدأت الصفائح بالتلدن حيث (  $p=491\text{kN}$  ) ومن ثم بدأت الصفائح بالتحنيب عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (0.4%) حيث القوة (  $p=813.3\text{kN}$  ) . أبدى الإطار الببتوني المسلح مع صفائح ملء منخفضة إجهاد الخضوع قدرة تحمل وصلت إلى (  $P= 1098\text{kN}$  ) عند إزاحة طابقية نسبية وسطية (2.5%) مع صلابة (160 KN/mm) ومطاوعة قيمتها (  $\mu = 18.67$  ).



حالة: 2 مدعّمة أفقيّة و 3 مدعّمة شاقوليّة :  $\square$

بين الشكل (21) مخطط القوة- الإزاحة الطابقيّة النسبيّة الوسطيّة (Avg. story drift ratio%) حيث كانت سماكة صفيحة الملاء ( $t=6\text{mm}$ ) مع وجود مدعّمتين أفقيّتين وثلاث مدعّمات شاقوليّة . يبين الشكل أنه عند إزاحة طابقيّة نسبيّة وسطيّة (0.1 %) بدأت الصفائح بالتلّدن حيث ( $p=489.7\text{KN}$ ) ومن ثمّ بدأت الصفائح بالتحنيب عند إزاحة طابقيّة نسبيّة وسطيّة (1.13%) حيث القوة ( $p=982\text{KN}$ ) . أبدى الإطار البيتوني المسلح مع صفائح ملاء منخفضة إجهاد الخضوع قدرة تحمل وصلت إلى ( $P=1112.7\text{KN}$ ) عند إزاحة طابقيّة نسبيّة وسطيّة (2.5%) مع صلابة ( $161\text{ KN/mm}$ ) ومطاوعة قيمتها ( $\mu=18.13$ ).



يبين الجدول (3) مقارنة بين نتائج التحليل مع أو دون إضافة مدعّمات لصفحة الملء الفولاذية.

الجدول (3): مقارنة بين نتائج التحليل مع أو دون إضافة مدعّمات لصفحة الملء الفولاذية			
عدد المدعّمات	بدون مدعّمات	مدعّمات أفقية و مدعّمات شاقوليه	2 مدعّمات أفقية و 3 مدعّمات شاقوليه
قوة بدء التلدن (kN)	465.006	491.6	489.7
قوة بدء التحنّب (kN)	666.77	813.3	982
المقاومة العظمى (KN)	1052.6	1098	1112.7
المطاوعة $\mu$	13.04	18.67	18.13

من خلال الأشكال من 19 حتى 21 و الجدول (3) يمكن استخلاص النتائج التالية:

- ✚ يؤخّر وجود المدعّمات بدء التحنّب وكلما زاد عددها تأخر حدوث التحنّب (بوجود المدعّمات حدث التحنّب عند انزياح نسبي يزيد عن 0.4 %)
- ✚ لم يسبب وجود المدعّمات زيادة كبيرة في المقاومة القصوى (حوالي 6% فقط) مقارنة مع حالة غيابها والسبب هو أن تلدن الصفيحة بالقص هو المتحكّم بالمقاومة وليس التحنّب.

### الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا في هذا البحث بدراسة سلوك جدران القص الصفائحية الفولاذية المكونة من إطار بيتوني مسلح و صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع LYP . حيث تم إنشاء نموذج عددي ثلاثي الأبعاد 3D باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS لمحاكاة سلوك هذا النوع من الأنظمة الإنشائية. قمنا بتوثيق النموذج العددي المنجز بالمقارنة مع نتائج تجريبية مستخلصة من الأبحاث المنشورة. استخدم النموذج العددي الموثق لإنجاز دراسة بارامترية لتقصي تأثير بعض البارامترات على سلوك هذا النظام الإنشائي. وقد شملت هذه البارامترات بشكل رئيسي نحافة صفيحة الملء و إضافة مدعّمات أفقية و شاقوليه. وفيما يلي أهم النتائج التي توصلنا إليها:

- (1) يستطيع النموذج العددي المطور باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS محاكاة سلوك النظام الإنشائي المدروس بدقة جيدة.
- (2) إن استخدام صفيحة بفولاذ منخفض إجهاد الخضوع ساهم في تأخير حدوث التحنّب وجعل تلدن الصفيحة بالقص هو المتحكّم بسلوكها.
- (3) كلما زادت سماكة الصفيحة انخفضت النحافة وتأخر حدوث التحنّب مقارنة مع حدوث التلدن. ومن أجل نحافة لا تزيد عن 150 يحدث التحنّب بشكل متأخر جدا عند انزياح نسبي يزيد عن 2%.
- (4) يؤدي استخدام صفيحة فولاذ منخفض إجهاد الخضوع إلى تركّز الضرر في الصفائح الفولاذية وانخفاضه بنسبة كبيرة في الإطار البيتوني المسلح، وهذا يسمح بتبديد الطاقة بشكل كبير في الصفيحة.
- (5) أدى وجود المدعّمات إلى تأخير التحنّب مقارنة مع حالة غيابها وذلك من أجل نفس السماكة لكن المقاومة العظمى للنموذجين (مدعّمات و غير مدعّمات) لم تختلف بأكثر من 6%.

(6) أظهرت نتائج التحليل أن جدران القص الصفائحية الفولاذية المكونة من إطار بيتوني مسلح و صفيحة ملء من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع LYP تتمتع بمطاوعة انتقال كبيرة لا تقل عن 12. وهذا يؤكد أهمية استعمال هذا النظام الإنشائي كجملعة مقاومة للزلازل.

#### وبناء على دراستنا نوصي بما يلي:

- استخدام الصفائح المصنعة من فولاذ منخفض إجهاد الخضوع كوسيلة تدعيم للمنشآت الإطارية البيتونية ضد الزلازل.
- تم في بحثنا دراسة إطار بيتوني بفتحة واحدة نوصي بتوسيع هذه الدراسة لتشمل إطارات متعددة الفتحات ومتعددة الطوابق.

#### References:

[1]-	Hawija Bassam, (2013) " <b>Structures &amp; Lateral Loads</b> ," Tishreen University Publications, Lattakia, Syria.
[2]-	Implementation Syrian Arab code (SAC) and its accessories for the design and of installations in reinforced concrete 2012 - Publications of Engineers Syndicate, Syria.
[3]-	Seilie, I.F., and Hooper, J.D. (2005) " <b>Steel Shear Walls; Practical Design and Construction</b> " ,Modern Steel Construction, AISC, v 45, April, 2005, p 37-43.
[4]-	Tarraf Ussamah, Hwaija Bassam , Loho Ghandi (2016) "Behavior of Dual System Consisting of Reinforced-Concrete Frames With Infill Steel plate Shear Walls, and Development of Strip model for Perforated and Partial Steel plate Shear Walls" PhD dissertation, Tishreen University, Syria.
[5]-	Jamal Eddin Rasha,(2014) "The behavior of RC Frame infilled with stiffened steel shear Wall under seismic loads" Master thesis, Damascus University , Syria.
[6]-	Tawalo Ali, Lawhou Gandhi, Nasser Essam, (2020) " <b>The seismic behavior of mixed sheet metal shear walls containing openings in the structural beams of tall buildings</b> ," PhD thesis, Tishreen University, Syria.
[7]-	Sheng-Jin Chen_, Chyuan Jhang , (2006), <b>Cyclic behavior of low yield point steel shear walls</b> , Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, P.O. Box 90-130, Taipei, Taiwan .
[8]-	Yamaguchi T., Nakata Y., Takeuchi T., Ikebe T., Nagao T., Minami A. and Suzuki T.. " <b>Seismic Control Devices Using Low-Yield-Point Steel</b> ". Nippon Steel(1998) Technical Report No77, 78 July, 65-72..
[9]-	Sabelli R. and Bruneau M. (2006). Steel Plate Shear Walls. Steel Design Guide 20, American231 Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
[10]-	Astaneh-Asl A. (2002). <b>Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls</b> . Steel TIPS Report, Structural Steel Educational Council, Moraga, CA.
[11]-	Zirakian, Tadeh , 2013 " Seismic Performance and Design of Steel Plate Shear Walls with Low Yield Point Steel Infill Plates " PhD dissertation - UNIVERSITY OF CALIFORNIA - Los Angeles
[12]-	ABAQUS, Version 6.14.2, (2014), "ABAQUS/Standard User's Manual" ABAQUS Inc., USA.
[13]-	ABAQUS, Version 6-12 (2012). ABAQUS/Standard User`s Manual, ABAQUS Inc., USA.
[14]-	Choi R., Park G., (2011). <b>Cyclic loading test for Reinforced Concrete Frame with thin Steel Infill Plate</b> , Journal of Engineering Structures, 137:654-664.
[15]-	AISC American Institute of Steel Construction. 2010. <b>Seismic provisions for structural steel buildings</b> .ANSI/AISC 341-10.