

## The Effects of Shear stud Spacing on Composite steel plate shear wall Behavior

Dr. Issam Nasser\*  
Dr. Ghandy Loho\*\*  
Ali Tawwalo\*\*\*

(Received 10 / 4 / 2018. Accepted 10 / 1 / 2019)

### □ ABSTRACT □

Composite steel plate shear wall (C-SPW) are one of the effective lateral load resisting system. This shear wall are consisting of steel plate with reinforced concrete wall on one or both sides of the steel plate using bolt or shear studs to ensure combined work, with the aim of preventing a flexible buckling in the steel plate when the composite steel plate shear wall is exposed to loads.

Most previous studies have focused on the seismic behavior of the composite steel plate shear walls and have not given sufficient importance to the spacing between the bolts or shear studs, which is an important issue in the design of such walls.

In this paper, an investigation on the bolt spacing demand or shear stud on the behavior of composite steel plate shear walls(C-SPSW). In order to achieve this aim, a three-dimensional numerical model of the studied wall (C-SPSW) was developed using ABAQUS based on the finite element method. The model developed in this research is validated against experimental tests available from literature and its accuracy exceeded 90%.

The results showed that reducing the spacing of the bolts or shear studs plays a positive role in improving the elastic horizontal stiffness and ultimate resistance of the composite steel plate shear wall. The optimal spacing of the bolts or shear stud that perform best for the composite wall (C-SPSW) is the recommended spacing in the US code AISC-2010[1].

**Key words:** Composite steel plate shear wall, shear studs, bolts, shear buckling.

---

\*Professor at Department of structural engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Doctor at Department of structural engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

\*\*\*PhD student at Department of structural engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

## تأثير تباعد روابط القص على سلوك جدران القص المعدنية الصفائحية المختلطة

د. عصام ناصر\*

د. غاندي لوجو\*\*

علي طوالو\*\*\*

(تاريخ الإيداع 10 / 4 / 2018. قُبِلَ للنشر في 10 / 1 / 2019)

### □ ملخص □

تعتبر جدران القص الصفائحية المعدنية المختلطة واحدة من أهم الأنظمة الإنشائية المقاومة للحمولات الجانبية ويتكون جدار القص المختلط من صفيحة فولاذية ولوح بيتوني، هذه الصفيحة توضع من جهة واحدة أو من الجهتين يتم الوصل بينهما باستخدام براغي أو وصلات قص وذلك لضمان العمل المشترك بهدف منع حدوث تحنيب مرن في الصفيحة الفولاذية عند تعرض الجدار المختلط للحمولات.

لقد ركزت معظم الدراسات السابقة على السلوك الزلزالي لجدران القص المعدنية المختلطة ولم تعط الأهمية الكافية إلى التباعد بين البراغي أو وصلات القص والذي يعتبر عنصراً هاماً في تصميم مثل هذه الجدران.

نقدم في هذه الورقة البحثية دراسة لتأثير تباعد البراغي على سلوك جدران القص المعدنية الصفائحية المختلطة (CSPSW)، ولتحقيق هذا الهدف تم وضع نموذج عددي ثلاثي الأبعاد للجدار المدروس (C-SPSW) باستخدام برنامج ABAQUS القائم على طريقة العناصر المنتهية. وقد تم توثيق النموذج بالمقارنة مع نتائج تجريبية من الأبحاث المنشورة وقد تجاوزت دقة النموذج المطور في هذا البحث 90%.

أظهرت النتائج أن تقليل تباعد البراغي أو روابط القص يلعب دوراً إيجابياً في تحسين الصلابة الأفقية المرنة والمقاومة القصوى لجدار القص المعدني الصفائحي المختلط، وأن التباعد الأمثل للبراغي أو روابط القص الذي يحقق أفضل أداء للجدار المختلط (C-SPSW) هو التباعد الموصي به في الكود الأمريكي [1] AISC-2010.

**الكلمات المفتاحية:** جدران القص المعدنية الصفائحية المختلطة - روابط القص-براغي - التحنيب بالقص.

\* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

\*\* مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

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

**مقدمة:**

تعتبر جدران القص المعدنية الصفائحية المختلطة نموذجاً مطوراً لجدران القص المعدنية المقواة باستخدام أضلاع تقوية أفقية وشاقولية، حيث يلعب اللوح البيتوني في هذه الحالة دور عنصر التقوية للصفحة الفولاذية، ويمكن أن يكون مسبق الصنع ويتم وصله بالبراغي إلى الصفحة المعدنية أو يصب في المكان مع الصفحة الفولاذية ويُؤمن العمل المشترك عن طريق روابط القص. من الضروري تسليح اللوح البيتوني بنسبة تسليح أصغرية لا تقل عن 0.0025 والتي تكون ضرورية للتحكم بالانتقالات خارج مستوي الجدار الناتجة عن تحنيط الصفحة الفولاذية تحت تأثير الحمولات الدورية. [2]. أما بالنسبة لسماكة طبقة البيتون فتكون مطابقة للمواصفة الواردة في الكود الأمريكي بحيث لا نحتاج إلى تسليح قص للجدار.

قدم عدد من الباحثين دراسات حول سلوك جدران القص المختلطة حيث قام Hatami and A. Rahai بإجراء دراسة تحليلية وتجريبية لتحديد السماكة المثلى لطبقة البيتون وخلصت هذه الدراسة إلى تحديد علاقة توضح السماكة المثلى لطبقة البيتون في جدار القص المختلط [3, 4].

أنجز الباحث A. Arabzadeh et al. دراسة تجريبية لجدران قص مختلطة مؤلفة من طابق واحد ومن ثلاثة طوابق من أجل مطابقة النسبة (b/t) مع متطلبات الكود AISC وذلك لمنع حدوث تحنيط في الصفحة الفولاذية، (b: التباعد بين البراغي، t: سماكة الصفحة). [5]

من أجل وجود اللوح البيتوني من الجهتين قدم XB. Ma et al. نموذج مبسط مكافئ يعتمد على مبدأ تقوية مركز المقطع للجدار المختلط (تقوية الصفحة الفولاذية).

بشكل عام إن استخدام البيتون من الجهتين في جدران القص المعدنية الصفائحية المختلطة يحسن من أدائها على الرغم من أن الأمر غير اقتصادي بالمقارنة مع حالة البيتون من جهة واحدة [6]. إن وجود البيتون من جهة واحدة في الجدار المختلط لن يمنع حدوث التحنيط نهائياً في الصفحة المعدنية وهذا يعود لمشكلة الالتصاق بينهما حيث إن الصفحة الفولاذية موثوقة تماماً من جهة التقوية بينما حرة من الجهة الأخرى بين براغي التثبيت وهنا تلعب تباعدات البراغي دوراً أساسياً في مسألة التحنيط [7]. تركزت أبحاث KW, shawan and A.M, Waas [8] Seide's التحليلية حول دراسة آلية العمل المشترك للعناصر الانشائية المختلفة الخواص والسماكات مع شروط طرفية مختلفة. وقد توصل الباحثون إلى أن تأثير البيتون يكون أكبر في حال استخدام أقل عدد من روابط القص حيث التفاعل بين الفولاذ والبيتون يكون كبيراً بينما يقل احتمال زيادة الصلابة المقدمة من البيتون [9]. رغم الأبحاث العديدة حول جدران القص لا تزال المعلومات المتعلقة بخواص جدران القص الصفائحية المختلطة محدودة حتى أنها لم تأخذ بعين الاعتبار آلية التفاعل بين اللوح البيتوني والصفحة المعدنية وتأثير ذلك على سلوك جدار القص المختلط، وهناك حاجة لأبحاث إضافية من أجل الفهم الدقيق لآلية عمل هذه المنشآت المختلطة.

نقدم في هذا البحث دراسة تحليلية باستخدام برنامج ABAQUS [10] حول تأثير تباعد البراغي أو روابط القص على التحنيط الموضوعي والعمل المشترك للوح البيتوني والصفحة المعدنية في جدران القص المختلطة وكذلك بيان مدى تأثير سلوك وقدرة تحمل هذه الجدران عند وصل اللوح البيتوني من جهة واحدة إلى الصفحة الفولاذية، وبحيث لا يوجد فراغ بين اللوح البيتوني و العناصر المحيطية (الجوائز والأعمدة). تم افتراض أن الصفحة المعدنية متصلة بشكل مستمر مع الجوائز والأعمدة، وتم اعتبار الإطار المدروس إطاراً داخلياً في النموذج الانشائي ويساهم في مقاومة الحمولات الجانبية مع جدران القص بالإضافة إلى الحمولات الشاقولية المنقولة من المنشأ.

## أهمية البحث وأهدافه:

تستخدم جدران القص المختلطة في منشآت الأبنية بشكل قليل نظراً لحداتها وعدم توفر الأبحاث الكافية التي تعالج جميع البارامترات الخاصة بها. لذلك تكمن أهمية وهدف هذا البحث في إجراء دراسة تحليلية باستخدام طريقة العناصر المنتهية بمساعدة برامج بحثية متقدمة بهدف التحري عن تأثير تباعد البراغي أو روابط القص على سلوك جدران القص الصفائحية المعدنية المختلطة من حيث المقاومة والصلابة المرنة والتخنيب.

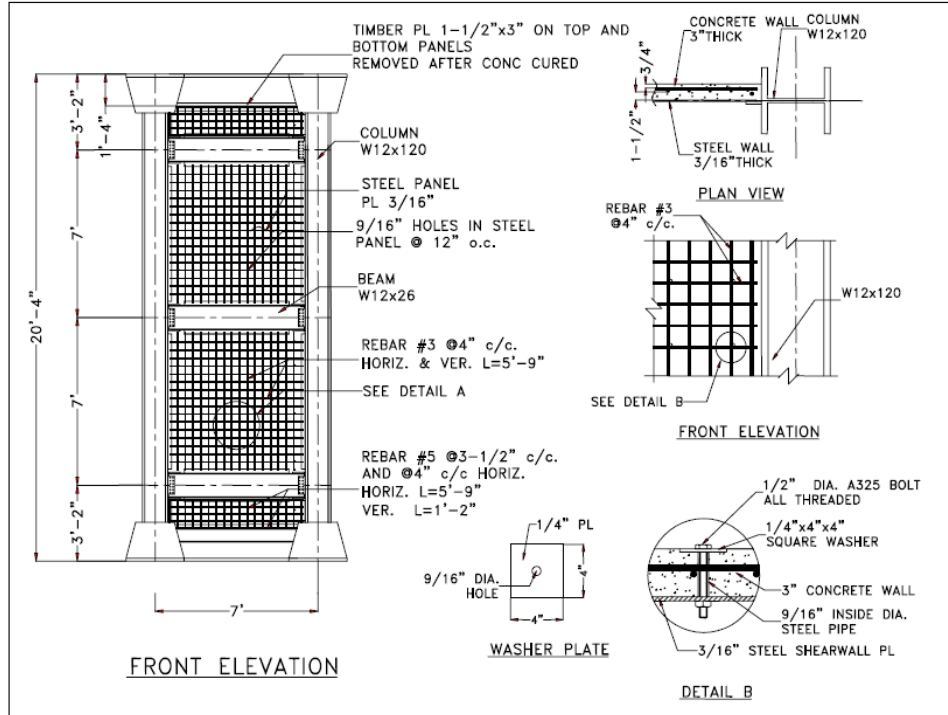
## طرائق البحث ومواده:

### 1- الدراسة التحليلية باستخدام النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية (FEM):

تم استخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS-V14.2 لإنشاء النموذج العددي اللازم لدراسة سلوك جدران القص المعدنية الصفائحية المختلطة. حيث تم وضع نموذج ثلاثي الأبعاد يأخذ بعين الاعتبار اللاخضية الهندسية والمادية، ومن أجل توثيق النموذج العددي المطور تم تشكيل النموذج بشكل مطابق للنموذج التجريبي المختبر من قبل الباحثين Qihong ZHAO1 and Abolhassan ASTANEH-A [11]، وذلك من حيث الأبعاد الهندسية وخواص مواد البناء المستخدمة والشروط الطرفية، ونعرض فيما يلي لمحة مختصرة عن الدراسة التجريبية المعتمدة في النمذجة.

### 2- الدراسة التجريبية المرجعية المعتمدة في النمذجة:

قام الباحثان Qihong ZHAO1 and Abolhassan ASTANEH-A [11] باختبار تجريبي على جدار قص مختلط موجود في مبنى ضمن عناصر إطارية وذلك لثلاثة طوابق وبمقياس 1/2 كما هو مبين في الشكل (1). تمثل العينة التجريبية نظام مقاوم للحمولات الجانبية حيث يعتبر الجدار المختلط هو النظام الإنشائي الأساسي لمقاومة الحمولات الجانبية.



الشكل (1) تفاصيل الجدار التجريبي والأبعاد الهندسية [11]

## 3-2 مواصفات المواد المستخدمة في التجربة:

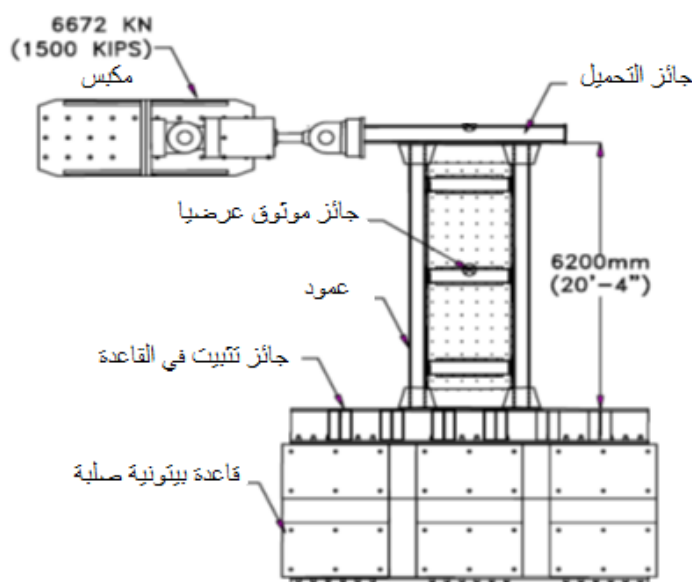
تم تصنيع الصفيحة الفولاذية من فولاذ نموذج A36 ( $f_u=372\text{MPa}$ ,  $f_y=248\text{MPa}$ ) أما العناصر المحيطة (الجوائز والأعمدة) فهي مصنعة من فولاذ A572 صنف 50 ( $f_u=500\text{MPa}$ ,  $f_y=345\text{MPa}$ ). الجدار البيتوني مكون من بيتون مسبق الصنع ( $f_c=28\text{MPa}$ )، ومسلح بقضبان فولاذية قطر 10mm ( $f_u=630\text{MPa}$ ,  $f_y=420\text{MPa}$ ). وتم وصل اللوح البيتوني الى الصفيحة المعدنية بواسطة براغي معدنية قطر 13mm نموذج A325 ( $f_u=950\text{MPa}$ ,  $f_y=650\text{MPa}$ ). يلخص الجدول (1) مكونات نموذج الاختبار.

الجدول (1) مكونات نموذج الاختبار

مقطع العمود المعدني *	مقطع الجائز المعدني *	قطر البراغي	الجدار البيتوني مسبق الصب			سماكة الصفيحة الفولاذية	
			نسبة التسليح	تباعد القضبان	قطر التسليح		
W12×120	W12×26	13 mm	0.92 %	100 mm	10 mm	76 mm	4.8mm

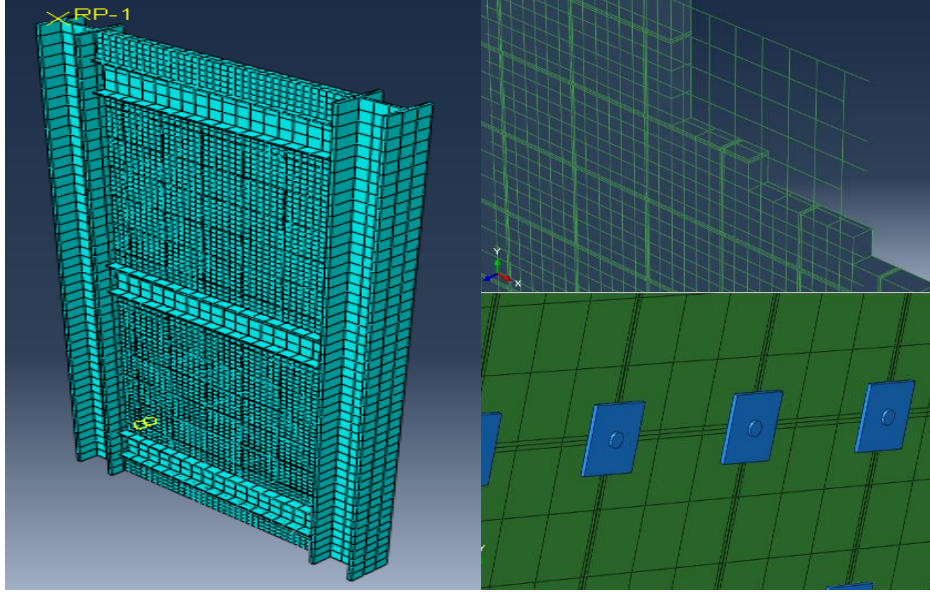
\* مواصفات المقطع حسب AISC.

صممت الوصلات عمود-جائز في الإطار المعدني كوصلات مقاومة لعزوم الانعطاف طبقاً لمواصفات FEMA350 [12]. أجريت التجربة بتطبيق انتقال أفقي متزايد باستخدام مكبس هيدروليكي عند أعلى الجدار عن طريق جائز علوي صلب وكانت الشروط الطرفية مناسبة لوضع الجدار الحقيقية في المنشأ حيث تم تقييد الانتقال للجائز الوسطي في الاتجاه العمودي على مستوي الجدار كما تم وثق النهاية السفلية للجدار بواسطة كتلة بيتونية صلبة (الشكل 2).



الشكل (2) النموذج التجريبي [11]

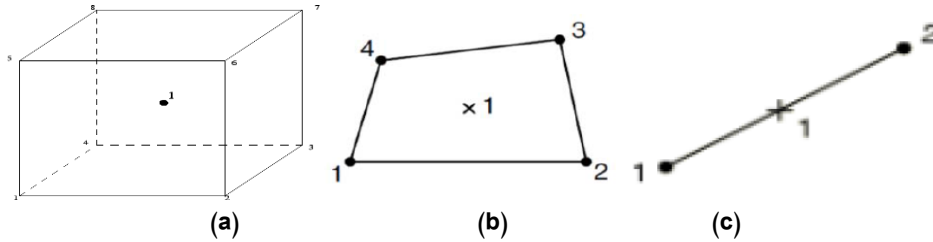
يظهر الشكل (3) النموذج العددي (3D-التسليح-البراغي) المطور باستخدام برنامج ABAQUS بشكله النهائي لمحاكاة التجربة المعروضة أعلاه [11].



الشكل (3) النموذج العددي المطور باستخدام ABAQUS بشكله النهائي

## 2-4 نمط العناصر المنتهية المستخدمة في النمذجة باستخدام ABAQUS:

تم استخدام العنصر C3D8 لنمذجة العناصر الإطارية واللوح البيتوني والبراغي وهو عنصر حجمي (SOLID ELEMENT) مؤلف من ثماني عقد (الشكل (a-4)) وكل عقدة تملك ثلاث درجات حرية (3انتقالات). كما تم استخدام العنصر S4R لنمذجة الصفيحة المعدنية وهو عنصر قشري (shell element) مكون من أربع عقد (الشكل (b-4)) وكل عقدة تحوي ست درجات حرية (3انتقالات و3دورانات).



الشكل (4) نمط العناصر المستخدمة في النمذجة [ABAQUS 6.14 Documentation] [10]

أما من أجل نمذجة فولاذ التسليح أستخدم العنصر T3D2 وهو من النوع الشبكي الفراغي (Truss Element) مؤلف من عقدتين (الشكل (c-4)) وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية (3 انتقالات).

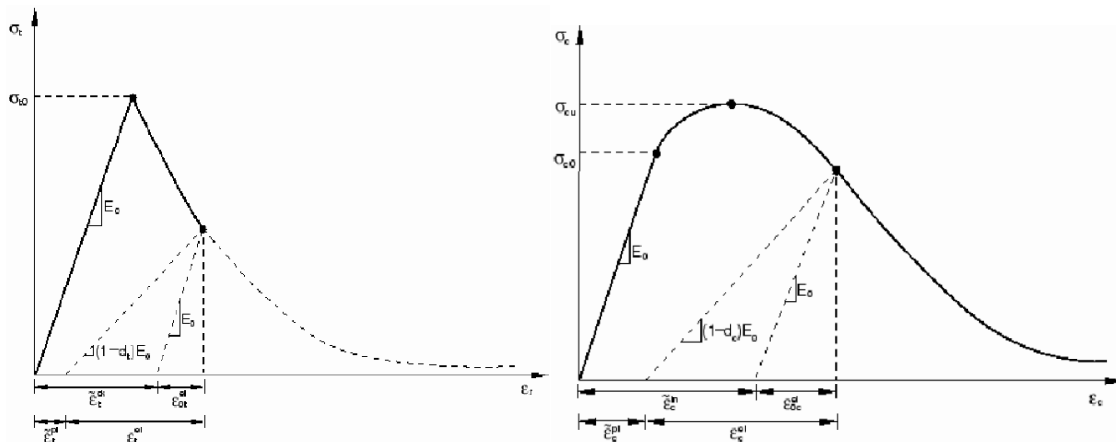
## 2-5 توصيف مواد البناء:

**2-5-1 البيتون:** تم استخدام النموذج 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  $\epsilon_c^{pl}$  ويمثل تشوه الضغط اللدن المكافئ وهو يرتبط بآلية الانهيار تحت حمولة ضغط

والمتحول  $\epsilon_t^{pl}$  ويمثل تشوه الشد لللدن 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(5).

يُفترض 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 أيضاً أن سلوك البيتون الخاضع لضغط أحادي المحور هو من خطي حتى بلوغ ما يعرف بإجهاد التلدن البدئي ( $\sigma_{c0}$  initial stress) ومن ثم يصبح سلوك البيتون لاختطياً حيث تستمر الاجهادات 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 التضرر القيم من الصفر (مادة غير متضررة) حتى الواحد (المادة متضررة بشكل تام). يظهر الشكل(5) مخطط الاجهاد - تشوه المعتمد للبيتون في حالتي الشد والضغط.



الشكل(5) a مخطط الاجهاد-تشوه للبيتون على الضغط

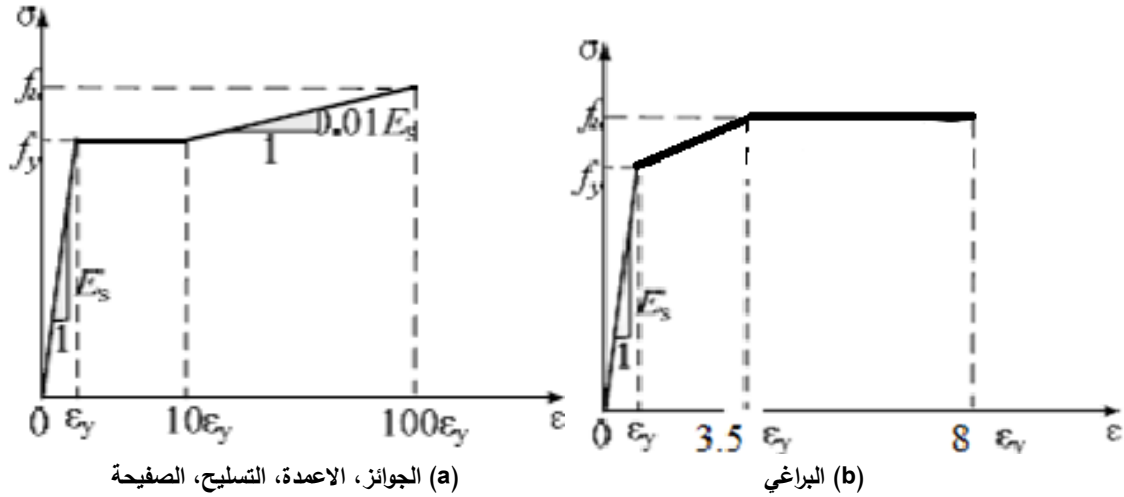
b : مخطط الاجهاد-تشوه للبيتون على الشد

[ABAQUS V6.14 Documentation] [10]

$E_0 = 5000\sqrt{f_c}$  ، معامل المرونة الابتدائي،

$f_c$ : المقاومة المميزة للبيتون على الضغط البسيط مقدرة بـ MPa.

**2-5-2 الفولاذ:** الفولاذ مادة مطاوعة تسلك سلوكاً لاختطياً نتيجة الخضوع لللدن والتصلب التشوهي للمادة. قمنا بنمذجة هذا السلوك بمنحني إجهاد-تشوه ثلاثي الخطية ميبين على الشكل(7-a) من أجل فولاذ الجوائز، الأعمدة، الصفيحة الفولاذية وقضبان التسليح وعلى الشكل(7-b) من أجل فولاذ البراغي.



الشكل (7) مخطط الاجهاد-تشوه المعتمد لمادة الفولاذ

## 2-6 الشروط الطرفية والتحميل:

تمت نمذجة الشروط الطرفية بشكل يتطابق مع الدراسة التجريبية المعتمدة:

- الأعمدة والصفيحة موثوقة من نهايتها السفلية.

- تم تقييد الانتقالات الجانبية للجوائز الوسطي بما يتوافق مع الاختبار التجريبي.

- تم وصل الصفيحة الفولاذية مباشرة إلى العناصر المحيطة في النموذج العددي.

تم التحميل بتطبيق انتقال أفقي عند أعلى الإطار متزايد بشكل تدريجي للوصول إلى إزاحة طابقية نسبية وسطية مقدارها (2.5%) والتي توافق القيمة العظمى الواردة في الكود الأمريكي ASCE7-05 [13] والكود العربي السوري الملحق الثاني لحالة دور اهتزاز أقل من 0.7sec [14].

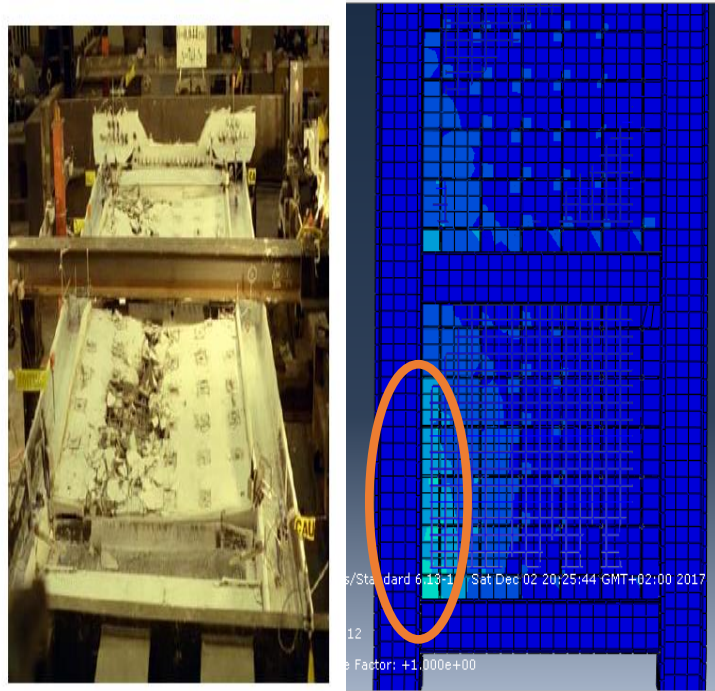
## 2-7 معايرة وتوثيق النموذج:

لتوثيق النموذج العددي المختبر، سنقارن النتائج التي يعطيها مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة في عملية النمذجة. تتضمن المقارنة جانبين أساسيين: يتعلق الجانب الأول بأنماط الانهيار الملاحظة، أما الجانب الثاني فيتعلق باستجابة النموذج الممثلة بمنحني القوة-انتقال.

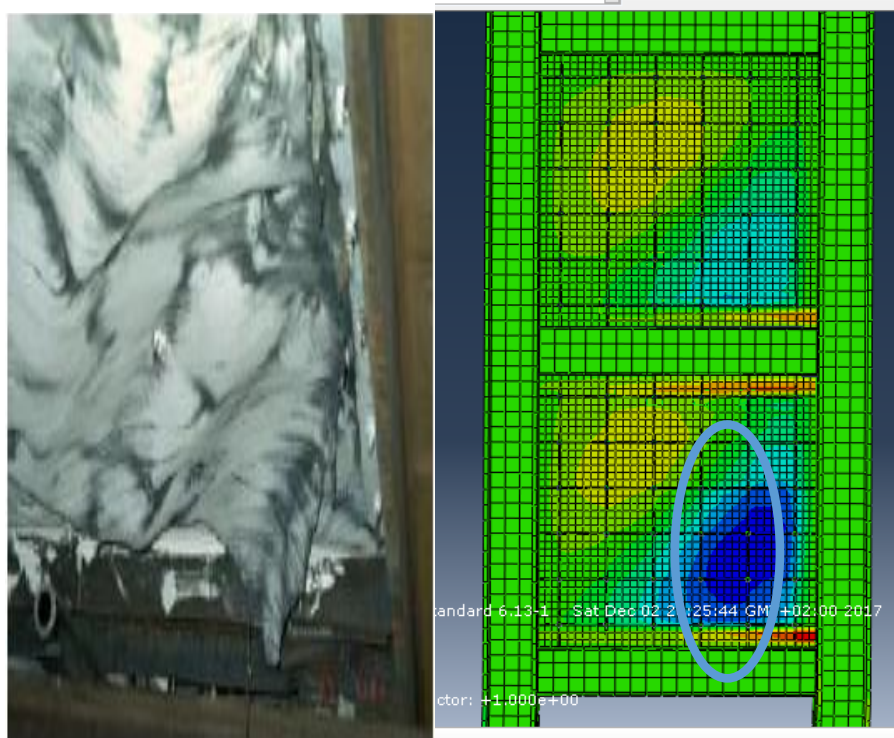
يظهر الشكل (8) تقارباً واضحاً بين النموذجين التجريبي والعددي فيما يتعلق بآلية تشكل التشققات في البيتون وتموضعها، كما يبين الشكل (9) أن النموذج العددي المطور يستطيع محاكاة ظاهرة التحنيب الملاحظة تجريبياً.

يظهر الشكل (10) المنحني قوة-انتقال المستنتج تجريبياً والمنحني المستنتج باستخدام النموذج العددي المنجز في هذا البحث. حيث وصلت قدرة تحمل النموذج التجريبي إلى (2969 kN) بينما بلغت قدرة التحمل المحسوبة عددياً (2925 kN)، وبذلك تجاوزت الدقة في توقع المقاومة القصوى للجدار المختلط باستخدام النموذج 90%.

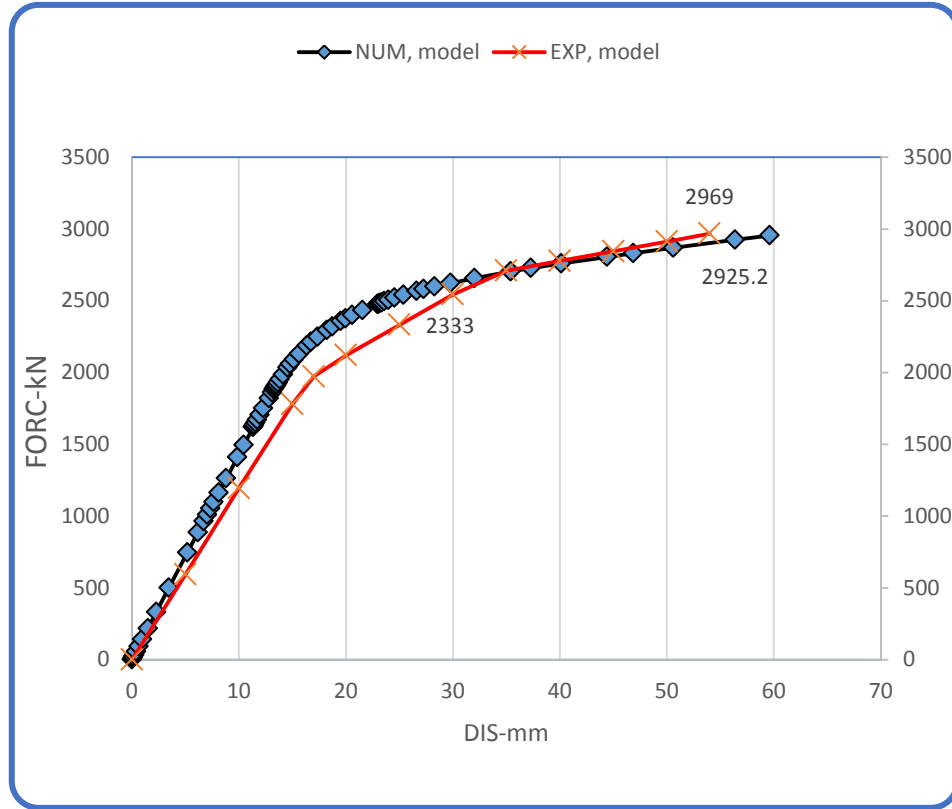




الشكل (8) مقارنة مكان توضع التشققات في النموذجين التحليلي والتجريبي



الشكل (9) آلية وموضع تشكل التحنيط في الصفيحة المعدنية



الشكل (10) مقارنة المخطط القوة-انتقال التجريبي والتحليلي

### 3- الدراسة البارامترية:

#### 3-1 تصميم النماذج العددية باستخدام ABAQUS:

تم استخدام نفس الإجراءات المتبعة في بناء النموذج العددي وتوثيقه من أجل بناء نماذج إضافية لاستخدامها في تحليل ودراسة أهم البارامترات المؤثرة على سلوك جدار القص المختلط.

يعتبر تباعد البراغي أو وصلات القص عاملاً هاماً يؤثر بشكل فعال في أداء جدار القص المختلط، وحيث لا يوجد دليل واضح لتحديد القيم الأصغر والأعظم لهذا التباعد لذلك لجأ الباحثون إلى الاعتماد إما على الطريقة المنطقية (rational method) من أجل تحديد تباعد البراغي الأمثل وهذه الطريقة تعتمد بشكل أساسي على نظرية التحنيب لصفحة فولاذية مقواة في الاتجاه العمودي على مستويها، أو بالاعتماد على مفهوم الطول المكافئ (Development Length) [15].

#### 3-2 تحنيب جدار القص المختلط:

يمكن اعتبار جدار القص المختلط مثل جدار قص معدني مؤلف من صفحة فولاذية مقواة بواسطة الجدار البيتوني على طول خطوط البراغي بالاتجاهين الأفقي والشاقولي.

يمكن للصفحة الفولاذية المقواة أن تحنّب بطريقتين:

(1) نمط تحنيب إجمالي لكامل الصفحة المعدنية المقواة.

(2) نمط تحنيب موضعي ضمن الصفحة.

يتم اختيار اللوح البيتوني المكون الثاني لجدار القص المختلط بحيث يُحوّل تحنيب الصفيحة الفولاذية من نمط تحنيب إجمالي إلى نمط تحنيب موضعي، أما التحنيب الإجمالي فهو يحدث عندما تملك عناصر التقوية (وهنا متمثلة باللوح البيتوني) عزم عطالة صغيراً نسبياً. من جانب آخر يجب أن يتم وصل اللوح البيتوني مع الصفيحة الفولاذية بطريقة تجعل هذه الصفيحة تصل إلى الخضوع قبل التحنيب الموضعي أو الإجمالي، تستخدم هذه المتطلبات لحساب التباعد الأصغري بين البراغي أو وصلات القص في الجدران المختلطة [17].

ينص الكود الأمريكي AISC-2010 [1] على أنه يجب أن يكون تباعد البراغي أو روابط القص في الجدار المختلط بحيث لا تتعرض الصفيحة الفولاذية لأي تحنيب إجمالي أو موضعي قبل خضوعها بالقص. وبناء عليه، يجب أن يحقق التباعد بين روابط القص أو البراغي (باعتبارها موزعة بانتظام) المتراحة التالية:

$$S \leq \sqrt{\frac{20.77 E t p^2}{f_y(1-\nu^2)}} \quad (1)$$

حيث S : التباعد بين روابط القص أو البراغي في الجدار المختلط (mm)

E : معامل المرونة للصفحة (MPa).  $\nu$  : معامل بواسون.

f<sub>y</sub> : إجهاد خضوع فولاذ الصفحة (MPa)

من جانب آخر يصنف الكود الأمريكي AISC-2010 العناصر المضغوطة كعناصر نحيفة (slender) أو غير نحيفة (non-slender) وذلك بالاعتماد على نسبة نحافة الصفحة. تعرف هذه الأخيرة في جدران القص الصفائحية المختلطة كنسبة بين تباعد البراغي أو روابط القص (S) وسماكة الصفحة الفولاذية tp : (S/tp). ولضمان خضوع الصفحة الفولاذية بالضغط قبل تعرضها لأي تحنيب موضعي (صفحة غير نحيفة) يجب ألا تتجاوز نسبة نحافة الصفحة القيمة المعطاة بالعلاقة التالية:

$$\frac{S}{t_p} = 1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2)$$

يمكن أن نجد توصيات أخرى خاصة بتباعد البراغي أو روابط القص في الجدران المختلطة، فمثلاً يقترح الكود الأمريكي AISC-2005 (المواصفات الزلزالية) [18] أنه في حال كان البيتون من جهة واحدة من الصفحة الفولاذية يمكن حساب تباعد البراغي أو روابط القص باستخدام النسب الحدية المعتمدة في تصميم أجساد الجوائز الفولاذية على القص. واستناداً إلى ذلك، يجب أن تحقق نسبة نحافة الصفحة (S/tp) العلاقة (3) لضمان خضوعها بالقص قبل تعرضها لأي تحنيب موضعي:

$$\frac{S}{t_p} \leq 1.1 \sqrt{\frac{K_v E}{f_y}} \quad (3)$$

حيث  $K_v$ : معامل تحنيب الصفحة ويمكن اعتماد القيمة المتحفظة  $K_v=5$ .

ويقدم الكود AISC-2005 [18] أيضاً مجموعة من التوصيات الخاصة بتصميم جدران القص الصفائحية المختلطة وأهمها:

1. السماكة الأصغرية للجدار البيتوني لا تقل عن (10cm) إذا كان البيتون موجوداً على جهتي الصفحة الفولاذية و (20cm) إذا كان البيتون من جهة واحدة.
2. يجب استعمال براغي أو وصلات قص بحيث تمنع الصفحة الفولاذية من التحنيب الموضعي.

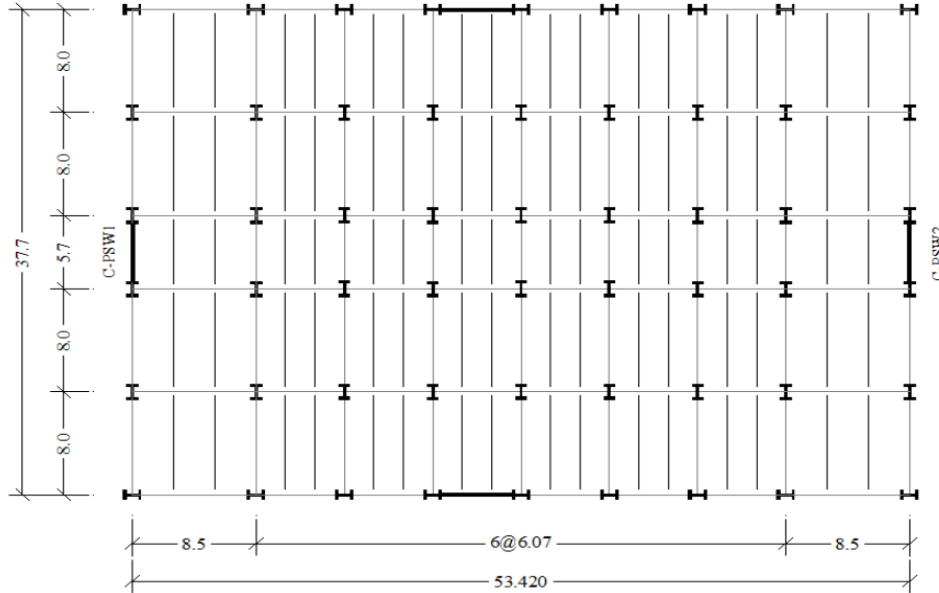
3. يجب ألا تقل نسبة التسليح الأفقية والشاقولية في اللوح البيتوني عن 0.0025 حسب متطلبات الكود (ACI-318 code) [19].

4. تصمم العناصر الاطارية حسب متطلبات الكود (AISC, 2005) [18]

5. في حال احتواء الجدار على فتحة يجب أن تتم إضافة عناصر مناسبة حول الفتحة.

#### 4-التطبيق العملي: [16]

من المفضل الانطلاق من مبنى ذو أبعاد حقيقة يحوي في مسقطه على جدران قص مختلطة. يحوي المبنى المدروس جدران قص مختلطة وهو مبنى مكاتب نموذجي بمسقط أفقي متناظر مؤلف من عشرة طوابق، مساحته الطابقية  $2014\text{m}^2$  ويتألف من جداري قص مختلطين في كل اتجاه لمقاومة الحمولات الأفقية، كما هو مبين على الشكل (11). وبذلك يتم تصميم كل جدار لمقاومة نصف مقدار الحمولة الزلزالية المطبقة في الاتجاه المدروس. تم اعتبار الحمولة الميتة المطبقة على كل بلاطة من بلاطات الطابق تساوي  $4.26\text{ kN/m}^2$ ، وحمولة  $1.12\text{ kN/m}^2$  على السطح، بالإضافة إلى حمولة حية متساوية مطبقة على كل الطوابق ومقدارها  $2.4\text{ kN/m}^2$ .



الشكل (11) المسقط الافقي للمبنى [16]

تم اعتبار اجهاد الخضوع (Yield strength) لمادة الفولاذ تساوي  $F_y=350\text{MPa}$  ومعامل المرونة (Young's modulus) يساوي  $E=200,000\text{MPa}$ .

استخدم الكود 7 (LRFD) ASCE/SEI [14] للحصول على التراكب الأعظمي للحمولات الميتة والحية:

$$W_u=1.2DL + 1.6LL \quad (4)$$

$$W_u=1.2DL + 1.0 E + (0.5 \text{ or } 1.0)LL+0.2 S \quad (5)$$

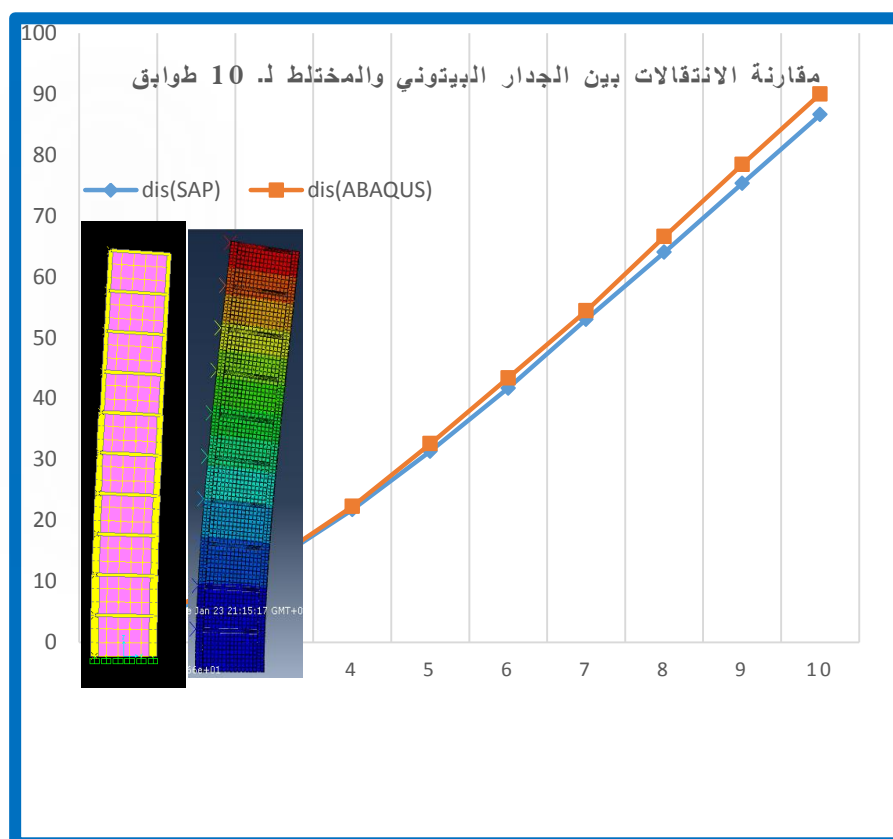
استخدم صنف الفولاذ ST37 من أجل الصفيحة الفولاذية والعناصر الاطارية والصنف A325 من أجل الدراغي.

لا توجد طريقة دقيقة لنمذجة جدار القص الصفائحي المختلط باستخدام برنامج SAP2000 وخاصة الاتصال بين اللوح البيتوني والصفيحة الفولاذية لذلك عمدنا إلى حل هذه المشكلة في ثلاث خطوات:

تمت في الخطوة الأولى نمذجة المبنى المؤلف من 10 طوابق بالأبعاد الهندسية الحقيقية مع جدران قص بيتونية باستخدام برنامج SAP2000 وتم تصميم جميع العناصر الاطارية وفق الكود AISC تحت تأثير تراكم الحمولات الحية والميتة المعطاة بالعلاقة (4). أما جدران القص البيتونية فتم تصميمها لمقاومة الحمولات الأفقية المتولدة من التحليل بتأثير السجل الزلزالي (Time History) لزلزال السنترو EL-Centro. وكانت المقاطع التصميمية للعمود والجائز على الترتيب: (W12\*14)، (W30\*173).

وفي الخطوة الثانية، تم عزل جدار القص البيتوني من البناء مع القوى المطبقة عليه وتم إنجاز تحليل مرن خطي له باستخدام برنامج SAP2000.

وفي الخطوة الثالثة، تم العمل على إيجاد الجدار المختلط المكافئ للجدار البيتوني باستخدام النموذج العددي للجدار المختلط المطور باستخدام برنامج ABAQUS. وكان معيار التكافؤ بين الجدارين هو تطابق الصلابة الأفقية (تطابق الانتقالات تحت تأثير نفس الحمولات الأفقية) الشكل (12). يلخص الجدول (2) مواصفات الجدار المختلط المكافئ.



الشكل (12) مقارنة الانتقالات الجانبية للجدار البيتوني والجدار المختلط المكافئ ل 10 طوابق

الجدول (2) مواصفات الجدار المكافئ

الموديل	التركيب	السماكة (t:mm)	تباعد البراغي (mm)	قطر البراغي (d: mm)
الجدار المختلط المكافئ	الصفیحة الفولاذیة	4.8	200	16
	اللوح البیتونی	100	200	
الجدار البیتونی الاساسی	الجدار البیتونی	250		

تمت دراسة ثلاثة نماذج لجدران القص المختلطة بأخذ طابق واحد من الجدار واعتبار المسافة الأفقية والشاقولية بين البراغي متساوية واعتمدنا في تحديد مجال هذه التباعدات على عدة دراسات موضحة سابقاً. يوضح الجدول (3) التباعدات المحسوبة باستخدام العلاقات المعروضة في الدراسات.

الجدول (3) حساب تباعد البراغي

العلاقة (3) AISC 2005	العلاقة (2) AISC 2010	العلاقة (1)	تباعد البراغي
335.28	136.31	651.22	$S \leq \dots$ (mm)

#### 4-1 النماذج المدروسة مع ثلاث قيم للتباعدات:

في تصميم النماذج تم استخدام الفولاذ ST37 حيث معامل المرونة  $E=2E+5MPa$  ومعامل بواسون 0.3 وإجهاد الخضوع  $f_y=248MPa$  (للصفیحة) و  $f_y=345MPa$  (للعناصر الإطارية) وكانت المقاومة المميزة للبيتون على الضغط  $f'_c=28MPa$  ومعامل بواسون يساوي 0.2 ومعامل المرونة  $E_c=25000MPa$ . أما مادة البراغي فقد استخدم الفولاذ A325 حيث  $f_y=650MPa$  و  $f_u=950MPa$ .

أبعاد الجدار المدروس: الارتفاع  $H=3800mm$  والعرض  $B=5700mm$ . وكانت سماكة الصفیحة 4.8mm وسماكة البيتون 100mm.

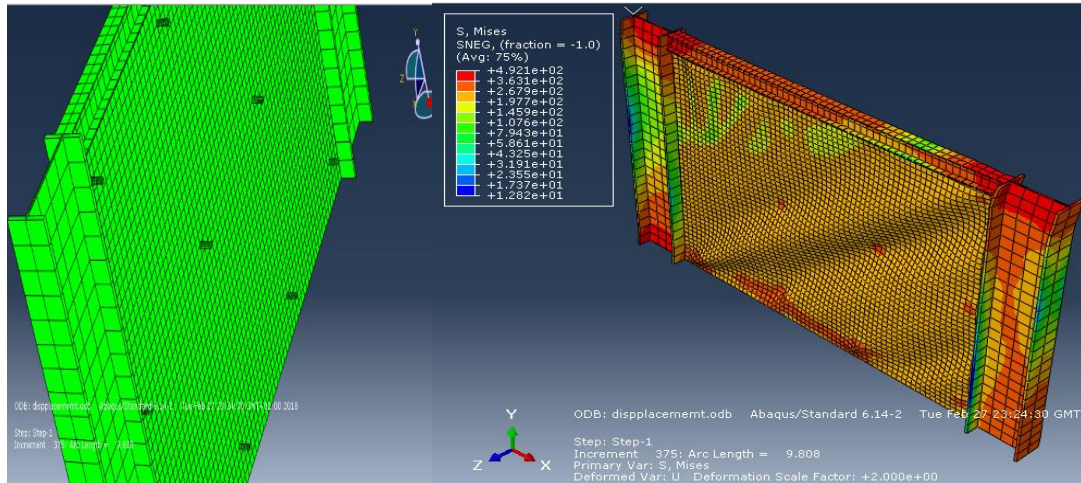
تم اعتبار التباعد بين البراغي S هو القيمة المتغيرة بين النماذج الثلاثة المدروسة حيث أخذ في الاتجاهين الأفقي والشاقولي القيم التالية:  $S=500,250,125$  mm

تجدر الإشارة هنا إلى أنه عند تحليل كل نموذج بترتيبات مختلفة للبراغي، تم اختيار قطر البراغي بحيث لا تتلدن قبل مكونات الجدار الأخرى بما يؤمن العمل المشترك بين اللوح البیتونی والصفیحة الفولاذیة.

#### النتائج والمناقشة:

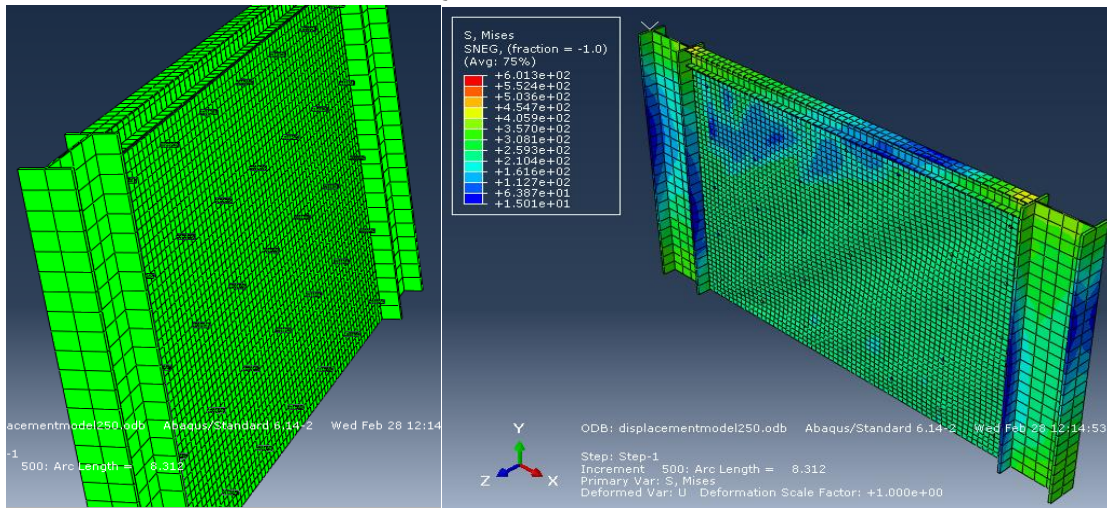
يظهر الشكل (13) النماذج الثلاثة للجدران المختلطة المدروسة إضافة إلى تمثيل إجهادات Von-Mises على الشكل المتشو (deformed shape) لكل من هذه النماذج عند نهاية التحليل.





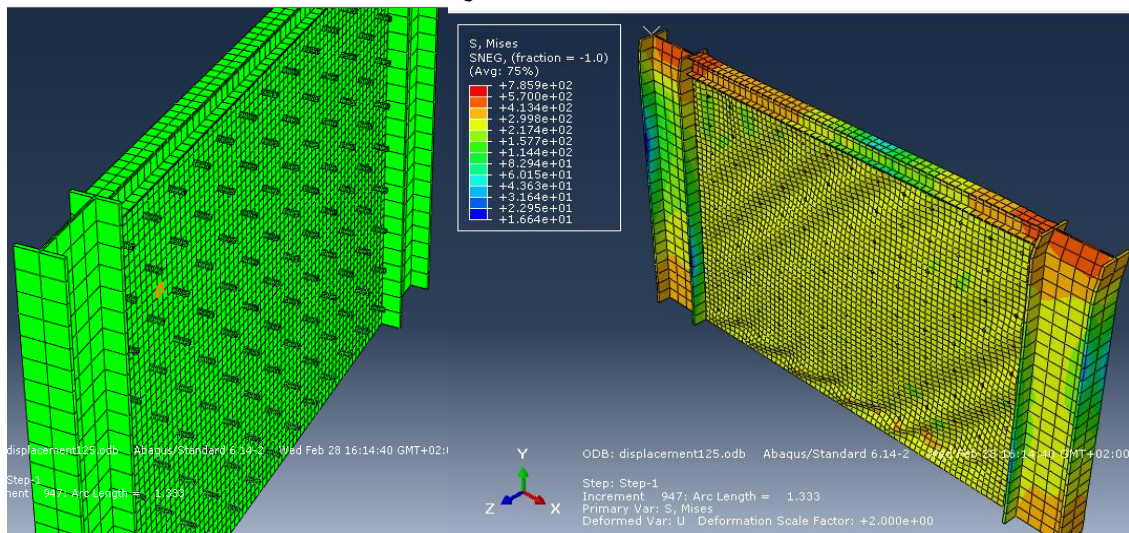
نموذج الجدار المختلط S=500mm

الاجهادات V-mesis



نموذج الجدار المختلط S=250mm

الاجهادات V-mesis

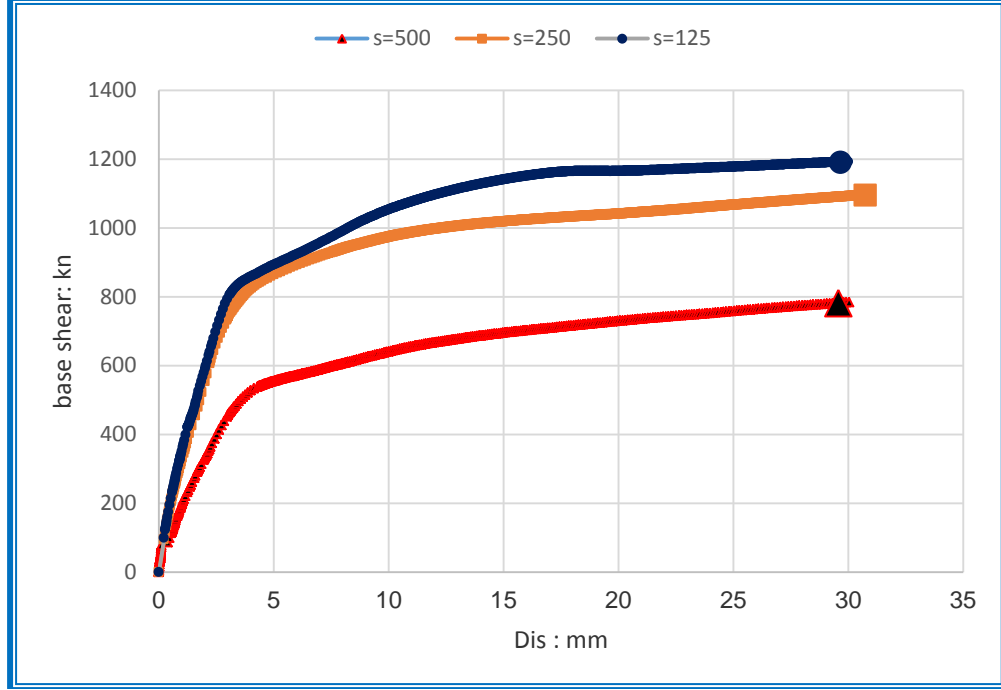


نموذج الجدار المختلط S=125mm

الاجهادات V-mesis

الشكل (13) نماذج الجدران المختلطة المعدنية مع تمثيل الإجهادات Von-Mises على الشكل المشوه (deformed shape)

يظهر الشكل (14) منحنيات القص القاعدي - الانتقال للنماذج الثلاثة المدروسة.



الشكل (14) القص القاعدي-الانتقال للنماذج الثلاثة

بنظرة عامة، يظهر الشكل (13) أن تشوهات الصفائح الفولاذية خارج مستويها ينخفض بشكل ملحوظ مع تقليل تباعد البراغي الذي يساهم في زيادة مقاومة الصفائح للتحنيب. كما يصبح توزيع الإجهادات Von-Mises أكثر انتظاماً في الصفائح الفولاذية مع انخفاض التباعد بين البراغي وهذا يشير إلى خضوع الصفائح بالقص. كما تبين المنحنيات قوة-انتقال الموضحة على الشكل (14) أن تقليل التباعد بين البراغي يساهم في زيادة الصلابة الأفقية للجدار وفي تحسين مقاومته. سنقوم فيما يلي بتوضيح أكثر تفصيلاً لتأثير البراغي على تحنيب الصفائح الفولاذية، مقاومة الجدار المختلط وصلابة الجدار المختلط.

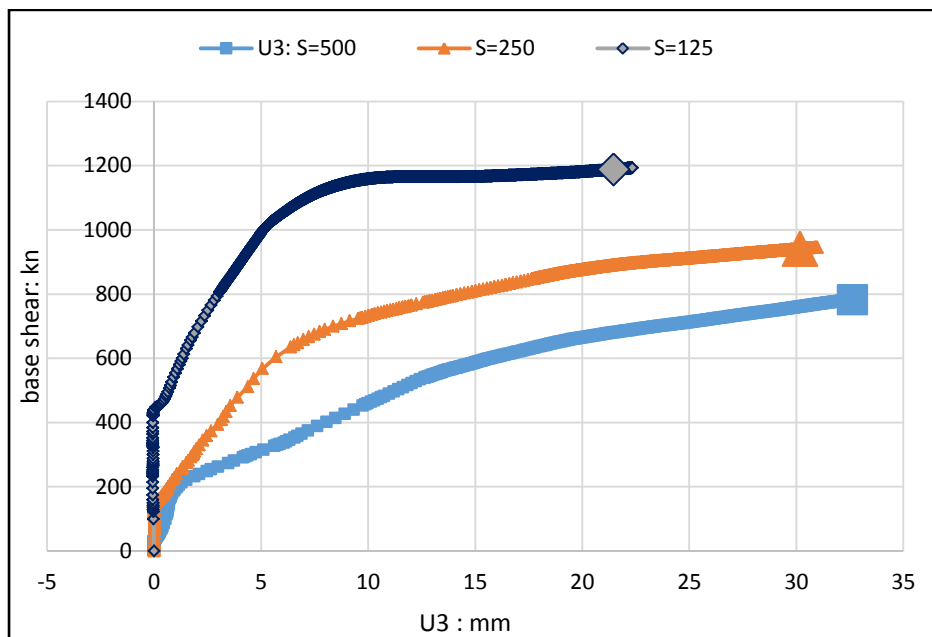
### 5-1 تحنيب الصفائح الفولاذية:

يظهر الشكل (15) منحنى القص القاعدي-انتقال خارج مستوي الصفائح للنماذج الثلاثة المدروسة. ويبين الشكل

$$(16) \text{ تعبير قوة القص القاعدي الموافقة لبدء تحنيب الصفائح بدلالة النحافة النسبية للصفائح الفولاذية } \lambda = \frac{s}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

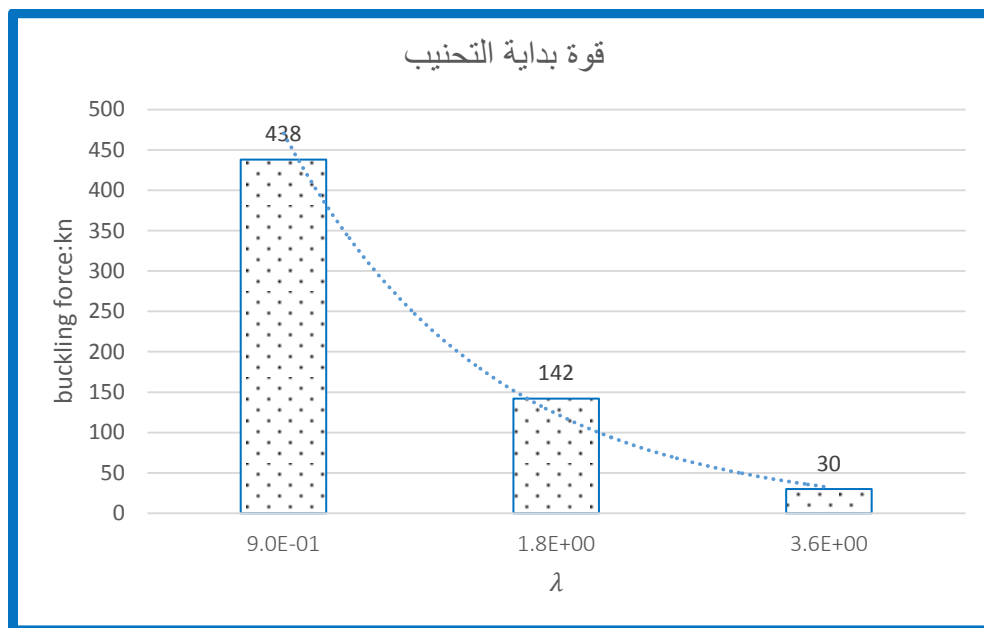
نلاحظ من الشكل (15) أن تحنيب الصفائح الفولاذية (بدء ظهور الانتقالات خارج مستوي الصفائح) يحدث عند قيم أكبر لقوة القص كلما انخفض التباعد بين البراغي وبترافق هذا أيضاً مع انخفاض الانتقالات خارج مستوي الصفائح.





الشكل (15) علاقة قوة القص القاعدة-الانتقال U3

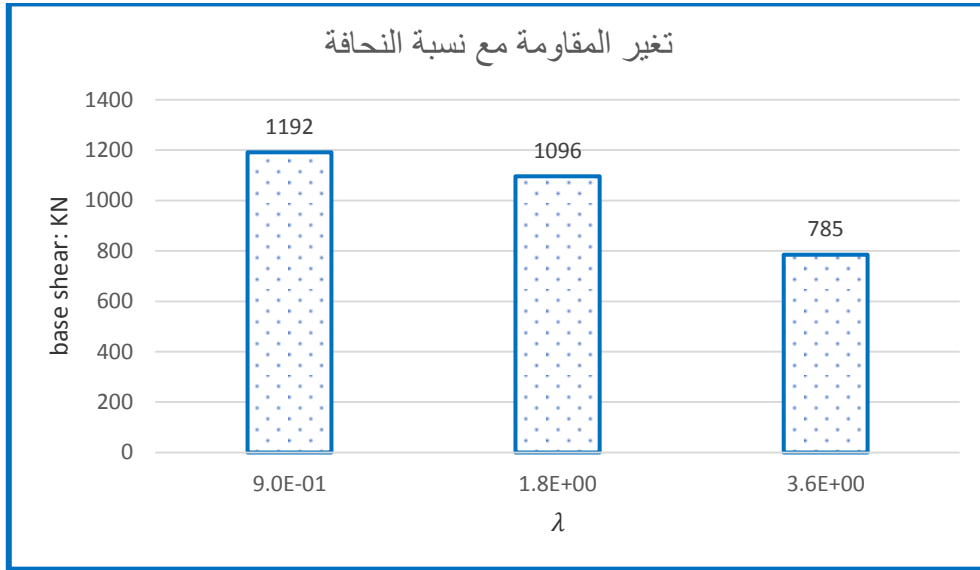
يبين الشكل (16) أن تغير قوة القص القاعدي الموافقة لبدء التحنيد بدلالة النحافة النسبية ( $\bar{\lambda}$ ) له شكل تابع أسي، حيث تتناقص قوة التحنيد بشكل سريع مع زيادة النحافة النسبية للصفحة الفولاذية. مثلاً من أجل قيمة نحافة نسبية  $\bar{\lambda} = 0.9$  بدأ تحنيد الصفحة الفولاذية عند قوة قص قاعدي مرتفعة نسبياً (438kN). وبمضاعفة النحافة النسبية  $\bar{\lambda} = 1.8$  بلغت قوة بدء التحنيد (142 kN) أي بانخفاض مقداره 68%، ويبلغ هذا الانخفاض 93% عندما تكون النحافة النسبية  $\bar{\lambda} = 3.6$ .



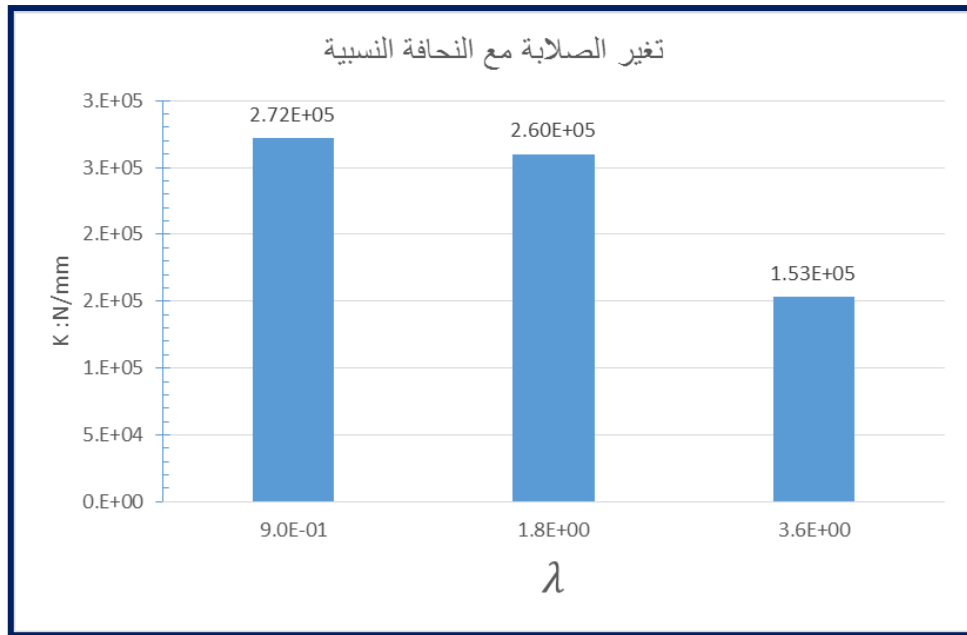
الشكل (16) قيمة قوة بداية التحنيد لكل نموذج بدلالة النحافة النسبية

## 2-5 المقاومة القصوى للجدار المختلط:

يظهر الشكل (17) تغير مقاومة الجدار المختلط بدلالة النحافة النسبية ( $\bar{\lambda}$ ) للصفحة الفولاذية. تبين النتائج الموضحة على الشكل أن المقاومة القصوى للجدار المختلط تزداد بنسب متفاوتة مع تناقص النحافة النسبية للصفحة الفولاذية (تقليل تباعد البراغي). مثلاً من أجل نحافة نسبية بقيمة كبيرة ( $\bar{\lambda} = 3.6$ )، بلغت مقاومة الجدار المختلط (785kN). أدى تخفيض النحافة النسبية بمقدار النصف ( $\bar{\lambda} = 1.8$ ) إلى تحسين مقاومة الجدار المختلط لتبلغ (1096 kN) أي بزيادة بلغت 40% مقارنة مع مقاومة الجدار المختلط في حال ( $\bar{\lambda} = 3.6$ ). وبتخفيض النحافة النسبية أيضاً بمقدار النصف ( $\bar{\lambda} = 0.9$ ) ازدادت مقاومة الجدار لتصل إلى (1192 kN) مسجلة زيادة صغيرة مقدارها 10% مقارنة مع الجدار المختلط بنسبة نحافة ( $\bar{\lambda} = 1.8$ ).



الشكل (17) تغير المقاومة بدلالة النحافة النسبية للصفحة



الشكل (18) تغير الصلابة بدلالة النحافة النسبية للصفحة

### 3-5 الصلابة المرنة للجدار المختلط:

يظهر الشكل (18) تغير الصلابة الأفقية المرنة للجدار المختلط بدلالة النحافة النسبية ( $\bar{\lambda}$ ) للصفحة الفولاذية. تبين النتائج الموضحة على الشكل (18) أن الصلابة الأفقية المرنة للجدار المختلط تزداد أيضاً بنسب متفاوتة مع تناقص النحافة النسبية للصفحة الفولاذية. مثلاً، من أجل ( $\bar{\lambda} = 3.6$ ) كانت الصلابة الأفقية المرنة للجدار المختلط ( $153E+3 \text{ kN/m}$ )، وبتخفيض النحافة النسبية إلى النصف ( $\bar{\lambda} = 1.8$ ) أصبحت صلابة الجدار الأفقية ( $260E+3 \text{ kN/m}$ ) أي بزيادة بلغت 70% مقارنة مع صلابة الجدار في حالة ( $\bar{\lambda} = 3.6$ ). وبتخفيض النحافة النسبية أيضاً إلى النصف ( $\bar{\lambda} = 0.9$ )، ازدادت صلابة الجدار المختلط بشكل طفيف لتصل إلى ( $272E+3 \text{ kN/m}$ ) مسجلة زيادة صغيرة بلغت 5% مقارنة مع صلابة الجدار المختلط في حال ( $\bar{\lambda} = 1.8$ ).

كنتيجة لهذه المناقشة حول تأثير تباعد البراغي على تحنّب الصفحة الفولاذية ومقاومة وصلابة الجدار المختلط، نخلص إلى أن تقليل تباعد البراغي يلعب دوراً إيجابياً في تحسين الصلابة الأفقية المرنة والمقاومة القصوى للجدار المختلط. ويُعزى هذا الدور الإيجابي إلى واقع أن تقليل تباعد البراغي يساهم من جهة في تخفيض نحافة الصفحة الفولاذية وبالتالي تأخير خضوعها للحنّب، ومن جهة أخرى يزيد من فعالية العمل المشترك بين اللوح البيتوني والصفحة الفولاذية. وتقل أهمية هذا الدور الذي يلعبه تخفيض تباعد البراغي عندما تكون النحافة النسبية للصفحة الفولاذية ( $\bar{\lambda} \leq 1$ )، بسبب خضوع الصفحة الفولاذية قبل حنّبها. وقد بينت النتائج أن أفضل أداء (من حيث الصلابة والمقاومة) للجدار المختلط قد تم تسجيله عندما كانت النحافة النسبية للصفحة الفولاذية ( $\bar{\lambda} = 0.9$ ).

### الاستنتاجات والتوصيات:

يتأثر سلوك جدران القص الصفائحية المختلطة (C-SPSW) بشكل كبير بتباعد البراغي أو روابط القص المستخدمة لوصل الصفحة الفولاذية إلى اللوح البيتوني. لدراسة هذه المشكلة، اعتمدت النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية، حيث تم إنشاء نموذج عددي باستخدام برنامج العناصر المنتهية ABAQUS، واعتمد التحليل الستاتيكي اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة واللاخطية الهندسية، وتم توثيق النموذج العددي المطور بالمقارنة مع نتائج تجريبية مستخلصة من الأبحاث المنشورة. استخدم النموذج العددي الموثق لإنجاز دراسة بارامترية حول تأثير تباعد البراغي على سلوك وخصائص جدار القص المعدني الصفائحي المختلط (المقاومة والصلابة) ونلخص فيما يلي أهم النتائج التي توصلنا إليها في هذا البحث:

- أظهرت المقارنة مع نتائج تجريبية قدرة النموذج العددي 3D المطور في هذا البحث على توقع الاستجابة اللامرنة الكلية للجدار المختلط (C-SPSW) بدقة جيدة.
- يلعب تقليل تباعد البراغي دوراً إيجابياً في تحسين الصلابة الأفقية المرنة والمقاومة القصوى للجدار المختلط وذلك من خلال تخفيض نحافة الصفحة الفولاذية وتأخير حنّبها من جهة، وزيادة فعالية العمل المشترك بين اللوح البيتوني والصفحة الفولاذية من جهة أخرى.
- تم تسجيل أفضل أداء (بالنسبة للصلابة والمقاومة) للجدار المختلط عندما كانت النحافة النسبية للصفحة الفولاذية قريبة من الواحد ( $\bar{\lambda} \approx 1$ ).

- أظهرت النتائج أن التباعد الأمثل للبراغي الذي يحقق أفضل أداء لجدار القص المعدني الصفائحي المختلط هو التباعد الموصي به في الكود الأمريكي AISC-2010 والمعبر عنه بالعلاقة (2).

### المراجع :

1. AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago(IL): American Institute of Steel Construction, 2010
2. ASTANEH, A. *Seismic behavior and design of composite steel shear walls*. Structural Steel Educational Council, Steel TIPS Report ,Moraga, California,2002.
3. HATAMI,F; RAHAI,A. *Performance evaluation of composite shear wall behavior under cyclic loadings*. Journal of constructional steel research, Tehran, Iran,2009,1528-37.
4. HATAMI,F. *Performance evaluation and optimization of composite shear wall*. Ph.D. Thesis, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran,2008.
5. ARABZADEH, A; SOLTANI,M; AYAZI,A. *Experimental investigation of composite shear walls under shear loadings*. Journal of thin-walled structures. Vol 49, pp 842-854.
6. ZHANG,SM; GUO,LH; Guan,N. *Simplified model of steel concrete composite shear wall with two-side connection*. Journal of Xi'an university of Agriculture and Technology, Vol 41,2009,PP 352-357.
7. SEIDE, P. *Compressive buckling of a long simply supported plate on an elastic foundation*. Journal of the aeronautical Sciences, June 1958, PP 382-395.
8. SHAHWAN,K.W; WAAS,A.M. *A mechanical model for the buckling of unilaterally constrained rectangular plates*. International journal of solids and structures,1994,PP 75-87.
9. ARABZADEH,A; MOHARRAMI,H; AYAZI,A. *Local elastic buckling coefficients of steel plates in composite steel plate shear wall*. Journal of Scientia Iranica A, Iran, 2011,PP 9-15.
10. ABAQUS, Version 6.14.2, (2014) , " **ABAQUS/Standard User's Manual** " ABAQUS Inc., USA.
11. ZHAO, Q; ASTANEH-ASL, A. *Cyclic Behavior of an Innovative Steel Shear Wall System*. University of California, Berkeley, Canada, Vancouver, 2004, Paper No. 2578.
12. FEMA 350, 2000, *Recommended Seismic Design Criteria for Moment-Resisting Steel Frame Structures*, prepared by the SEAOC, ATC, and CUREE Joint Venture for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. (FEMA Publication No.350).
13. ASCE STANDARD ASCEISEI 7-05. American Society of Civil Engineers, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.2006.
14. الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، الملحق 2، دمشق 2013
15. AISC. " *Load and Resistance Factor Design Specification*." American Institute of Steel Construction Inc., Chicago. 1999.
16. KAI ZHANGA, A; VARMAA, S; MALUSHTEB, S, G." *Effect of shear connectors on local buckling and composite action in steel concrete composite wall*" . Nuclear Engineering and Design, Purdue University, West Lafayette, USA.2013,No of pp9.
17. SANDIP, D." *Seismic performance of Composite Plate Shear Walls*" MAsC Civil Engineering.2014.

18. AISC. *Seismic provisions for structural steel buildings*. American Institute of steel Construction, Chicago (IL), 2005
19. ACI 318R-14. *Building Code Requirements for Structural Concrete*. Reported by ACI Committee 318, August 29, 2014.