

## سلوك صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية تحت تأثير تحميل دوري

م. مصطفى جابر<sup>(1)</sup>

د. م. أمجد الحلواني<sup>(2)</sup>

### الملخص

تعتبر جدران القص من أكثر الجمل الإنشائية المستخدمة لمقاومة الأحمال الجانبية بشكل رئيسي نظراً لما تملكه من مقاومة قص عالية وقساوة جانبية كبيرة في مستويها ولكن مطاوعة قليلة نسبياً. في السنوات الأخيرة، البحث عن السلوك الزلزالي لجدران القص المختلطة (فولاذ-بيتون) قد ازداد. أكثر المفاهيم أهمية بالسلوك الزلزالي للمنشآت هو المقاومة والمطاوعة وقدرة تبديد الطاقة. هذا البحث يقدم دراسة تحليلية بواسطة برنامج ABAQUS لصفائح قص فولاذية مختلطة جدارية لفهم سلوكها الزلزالي تحت تأثير تحميل دوري. تتكوّن صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية المدروسة من صفيحة فولاذية متوضعة ضمن إطار فولاذي ومرتبطة من جانب واحد مع جدار بيتوني مسلح عبر براغي قص ومع وجود فراغ بين الإطار الفولاذي والجدار البيتوني المسلح المحيط بالصفحة الفولاذية. تمت معايرة النموذج التحليلي مع نموذج تجريبي تم إجراء دراسة بارامترية عن طريق تغيير المقاومة المميزة للبيتون وسماكة الجدار البيتوني المسلح وسماكة الصفيحة الفولاذية وحدّ الخضوع لفولاذ الصفيحة والتباعد بين براغي القص. أهمّ الاستنتاجات التي تمّ التوصل إليها بهذا البحث أنّ تغيير سماكة الصفيحة الفولاذية له الفعالية الأكبر بتحسين السلوك الزلزالي من ناحية المقاومة والقساوة الجانبية والمطاوعة لصفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية وتغيير التباعد بين براغي القص هو البارامتر الأكثر تأثيراً على كمية الطاقة المبددة للدنة والمطاوعة.

كلمات مفتاحية: جدران قص مختلطة، قساوة جانبية، سلوك زلزالي، مطاوعة، تبديد طاقة، تحميل دوري

<sup>(1)</sup> طالب ماجستير في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية-جامعة دمشق.

<sup>(2)</sup> مدرس في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية-جامعة دمشق.

## Behavior of Composite Steel Shear Panels Exposed to Cyclic Loading

Eng. Mustafa Jaber<sup>(1)</sup>  
Dr. Eng. Amjad Al Helwani<sup>(2)</sup>

### Abstract

Shear walls are considered one of the most structural systems used to resist lateral loadings basically, due to its high shear strength and high lateral stiffness in its plane. Nevertheless, it has low ductile behavior under such loadings. In recent years, research on seismic behavior of composite steel-concrete shear walls has increased. The most important concepts in seismic behavior of structures are strength, ductility, and energy dissipation capacity. This research presents an analytical study by ABAQUS program for composite shear panels to understand its seismic behavior under cyclic loading. The studied-composite shear panels consist of steel plate placed within steel frame and connected from one side with reinforced concrete wall by shear bolts. A gap is introduced between the steel frame and the reinforced concrete wall which surround the steel plate. Before the parametric study, the analytical model is calibrated with experimental model so that satisfactorily close to experimental results are obtained from the analytical model. After that the parametric study included varying the characteristic strength of concrete, thickness of R/C wall, thickness of steel plate, yield strength of steel plate, and spacing between shear bolts. Results obtained by this study included varying thickness of steel plate has the largest effect on improving strength, stiffness, and ductility of composite shear panels. While varying the spacing between shear bolts is the most influential parameter on energy dissipation quantity and the ductility.

**Keywords:** Composite shear walls, Lateral stiffness, Seismic behavior, Ductility, Energy dissipation, Cyclic loading.

---

<sup>(1)</sup> Student in Higher Institute for Earthquake Studies & Research-Damascus University.

<sup>(2)</sup> Teacher in Higher Institute for Earthquake Studies & Research-Damascus University.

## 1-المقدمة:

يبين الشكل (1) بعض الأمثلة عن صفائح القص الفولاذية الجدارية التي تستخدم كجملعة مقاومة للحمولات الجانبية.

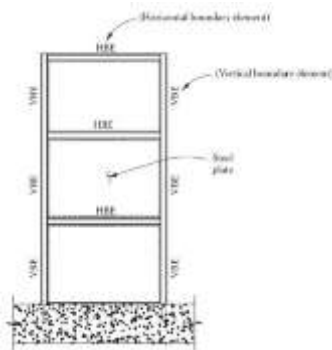


الشكل (1): أمثلة عن صفائح القص [1]

تتكوّن جدران القصّ الصفائحية الفولاذية (SPSW) من أعمدة وجوائز و صفيحة فولاذية تملأ الفراغ ضمن الإطار وسلوك جدران القصّ الصفائحية الفولاذية (SPSW) مشابه لسلوك جوائز صفائحية فولاذي ظفري شاقولي، حيث تعمل الأعمدة كأجنحة، وتعمل الجوائز كمدعّمات وسطية، وتعمل الصفيحة الفولاذية كجسد. [2]

الجدران المربّطة تربط جدارين مستويين مع الجوائز الرابطة أو جدران مترابطة مع بعضها لتشكل جملة فراغية. [2] تزود الصفيحة الفولاذية المقاومة القصيّة الرئيسية ويمكن أن تكون الصفيحة الفولاذية مدعّمة أو غير مدعّمة. [2]

يبين الشكل (2) واجهة جدار قصّ صفائحي فولاذي يستخدم لتكوين جدران مستوية مستقلة.



الشكل (2): جدار قصّ صفائحي فولاذي [2].

إنّ معظم الجمل الإنشائية المختارة لمقاومة الزلازل في سوريا مكونة بشكل أساسي من جدران قصّ خرسانية مسلحة، وهذه الجدران ذات قساوة عالية جداً مقارنة بالجمل الإطارية (إطارات متوسطة وخاصة)، ما يؤدي إلى تعرّضها لقوى قصّ كبيرة تتناسب مع قساوتها، إضافة أنها لا تملك المطاوعة الكافية والتي تُعدّ من أكثر السلوكيات الهامة للمباني التي تدرس على الزلازل بشكل دقيق، تمّ اقتراح صفائح القصّ الجدارية ذات المطاوعة العالية وقابليتها للتشوّه الكبيرة نسبياً مع خاصية تخميد الطاقة بشكل جيد فيها.

تملك صفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية مرونة معمارية عالية وسهولة في التنفيذ، بحيث يمكن توضعها ضمن الإطارات بشكل سهل وسريع بعد تنفيذ الإطارات. سيتمّ في هذا البحث إجراء دراسة تحليلية لسلوك صفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية باستخدام برنامج ABAQUS والتحقق من قدرتها على تخميد الطاقة الحركية من غير انهيار كبير في المقاومة الجانبية تحليلياً.

## 1-2-تعريف صفائح القصّ:

- هي عناصر صفائحية صلبة تتوضع ضمن الإطار لزيادة قدرته على مقاومة الأحمال الجانبية.
- تعمل صفائح القصّ على توزيع القوى الجانبية من إطار لآخر أو نقل الأحمال الشاقولية إلى أساسات البناء.
- يمكن أن ترتبط عدة صفائح قصّ مع بعضها بنفس المستوي لتشكل جدار قصّ بحيث تكون جملة مستمرة تغطي عدة طوابق، أو أن تكون على كامل ارتفاع المنشأ.

في التصميم النموذجية، الجسد يكون غير مدعم ونحياً، لذلك هو قادر على مقاومة قوى شد كبيرة، ولكن ضغط قليل، تتطور إجهادات قاصة في الجسد حتى الوصول إلى إجهادات ضاغطة رئيسية مائلة حوالي 45 درجة بالنسبة لإجهادات القص متجاوزة مقاومة الضغط للصفحة، عند هذه النقطة، صفحة الجسد تُحْتَب وتُشكّل خطوط منثنية قطرياً. تُثقل الأحمال الجانبية عبر إجهادات الشد الرئيسية المائلة.

من أجل تصميم أمثلي، ينبغي أن يُصمّم الجسد ليصل للتلدّن الشاد بشكل كامل عند كل مستوٍ بشكل آني. [2]

#### 1-5- ميزات جدران القصّ الصفائحية الفولاذية:

- 1- سماكة الجدار: سماكة أقل بالنسبة لجدران القصّ الخرسانية المسلحة.
- 2- وزن المبنى: وزن مبنى أقل مقارنة بالأبنية المكونة من جدران القصّ الخرسانية المسلحة.
- 3- سرعة الإنشاء: تقليل الزمن اللازم لتنفيذها وتركيبها.

4- المطاوعة: تملك مطاوعة عالية عند حدود إزاحات طابقيّة عالية دون ضرر كبير.

5- إمكانية قطع استمراريّتها الشاقولية من أجل تحقيق الشروط المعمارية وتحسين رفع الكفاءة عن طريق تغيير توزّع هذه الجدران. [1]

#### 1-6- جدران القصّ الصفائحية الفولاذية المختلطة (C-SPW):

تتكوّن جدران القصّ الصفائحية الفولاذية المختلطة (C-SPW) من صفائح فولاذية مع خرسانة مسلحة متوضّعة من جهة واحدة أو من جهتين بالنسبة للصفحة، أو صفائح فولاذية على جانبي الخرسانة

#### 1-3- تموضع جدران القصّ الصفائحية الفولاذية:

بناءً على أماكن تموضع جدران القصّ الصفائحية الفولاذية، تُصنّف الجمل الإنشائية إلى:

- جمل النواة (Core Systems).
  - الجمل المستوية (Planar Systems).
- حيث يتم اختيار الجملة المناسبة بينهما اعتماداً على: نسق البناء، قياس البناء، ارتفاع البناء. (SPSW Core Systems):  
هذه الجمل مناسبة للمباني متوسطة-عالية الارتفاع.

يزوّد هذا التموضع طاقة تحمّل وقساوة على القلب والفتل بشكل أفضل.

#### (Multiple Planar SPSW):

هذه الجمل مناسبة للمباني المنخفضة الارتفاع والمباني القائمة من أجل إعادة تأهيلها.

تزوّد هذه الجدران قدرة قصّ كافية بالإضافة إلى قدرة على العزوم القالبة محدودة قليلاً. [1]

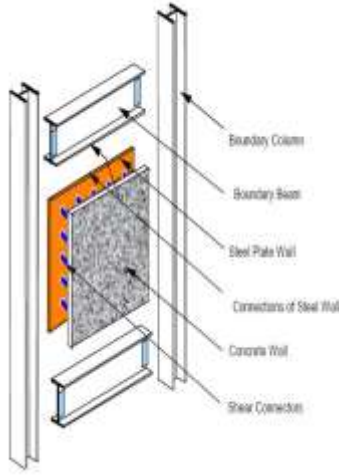
#### 1-4- أنواع جدران القصّ الصفائحية الفولاذية (SPSW):

1. جدران قصّ صفائحية فولاذية غير مدعّمة (Unstiffened Steel Plate Shear Walls).
2. جدران قصّ صفائحية فولاذية مدعّمة (Stiffened Steel Plate Shear Walls).
3. جدران قصّ صفائحية فولاذية مختلطة (Composite Steel Plate Shear Walls). [1]

تُصنّف صفائح الجسد في جدران القصّ الصفائحية الفولاذية وفقاً لقدرتها على مقاومة التحنيب إلى:

صفائح مدعّمة (Stiffened) و صفائح غير مدعّمة (Unstiffened).

تكون الصفحة مدعّمة إذا دُعّمت بشكل كافٍ لتجنّب التحنيب والسماح بتطور كامل مقاومة القصّ.



الشكل (3) المكونات الأساسية لجدار قص صفائحي فولاذي مختلط [3].

### 1-8- أشكال المقاطع العرضية لجدران القص الصفائحية الفولاذية المختلطة:

يوجد عدة أنواع من المقاطع العرضية لجدران القص الصفائحية الفولاذية المختلطة، وذلك حسب تموضع الصفيحة الفولاذية مع البيتون المحيط بها، وجود فراغ أو من دون وجود فراغ بين البيتون المحيط بالصفيحة والإطار.

يبين الشكل (4) بعض الأمثلة عن المقاطع العرضية لجدران القص الصفائحية الفولاذية المختلطة من دون وجود فراغ بين البيتون والإطار.

- (a): صفيحة فولاذية مع بيتون من جهة واحدة .  
 (b): صفيحة فولاذية مع بيتون من الجهتين.  
 (c): صفيحة فولاذية مع بيتون محيط بالصفيحة والإطار .

(d): صفيحتين فولاذيتين مع بيتون مصبوب بينهما.  
 ويبين الشكل (5) أنظمة جدران القص الصفائحية الفولاذية المختلطة مع وجود فراغ، ومن دون وجود فراغ بين البيتون والإطار .

المسلحة بالإضافة لعناصر محيطية إنشائية إما فولاذية أو مختلطة.

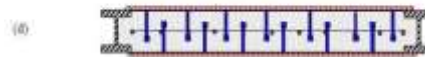
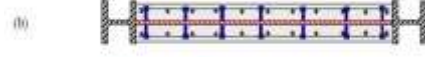
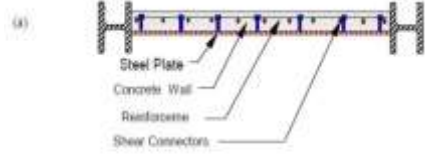
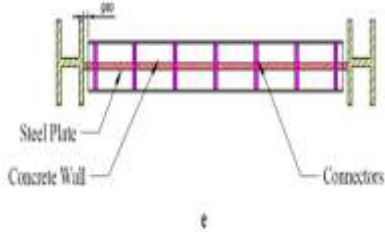
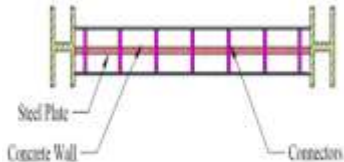
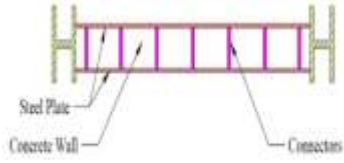
من المتوقع أن تتعرض جدران القص (C-SPW) لتشوّهات لا مرنة عالية بجسد الصفيحة الفولاذية.

ينبغي أن يتم تصميم العنصر الأفقي المحيطي (HBE) والعنصر المحيطي الشاقولي (VBE)، بحيث يبقيان مرنيين بشكل أساسي تحت تأثير القوى الأعظمية الممكن تولدها عبر الجسد الفولاذي المتلدّن باستثناء تشكّل مفاصل لدنة بنهايات العناصر الأفقية المحيطية المسموح بها. [2]

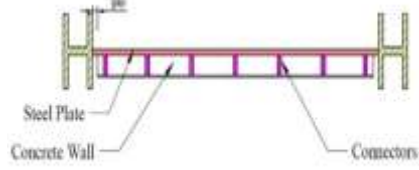
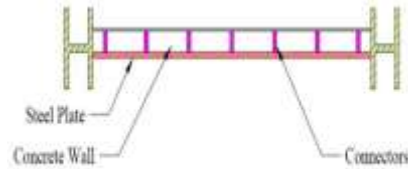
### 1-7- المكونات الأساسية لجدران القص الصفائحية الفولاذية المختلطة:

- 1- جدار القص الصفائحي الفولاذي Steel Plate (Shear Wall)
  - 2- جدار القص البيتوني المسلح (RC Shear Wall)
  - 3- وصلات القص بين صفيحة القص والجدار البيتوني (Shear Connectors)
  - 4- أعمدة محيطية (Boundary Columns)
  - 5- جوائز محيطية (Boundary Beams)
  - 6- الوصلات بين جدار القص والعناصر المحيطية (Connections of Shear Wall to Boundary Members)
- وصلات الجوائز مع الأعمدة (Beam-to-column Connections) [3]

يبين الشكل (3) المكونات الأساسية لجدار قص صفائحي فولاذي مختلط.



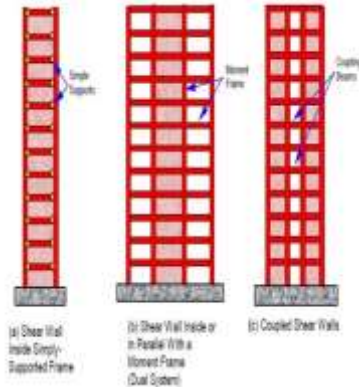
الشكل (4) أمثلة عن جدران القص الصفائحية الفولاذية المختلطة [3].



الشكل (5) أنظمة جدران القص الصفائحية المختلطة [4].

- a- البيتون من جهة واحدة.
- b- البيتون من جهة واحدة مع وجود فراغ.
- c- البيتون مصبوب بين الصفيحتين.
- d- البيتون من جهتين.
- e- البيتون من جهتين مع فراغ.

يبين الشكل (6) منشأ فولاذي مع جدار قص مختلط يستخدم لتزويد المقاومة للحمولات الجانبية.



الشكل (6) منشأ فولاذي نموذجي مع جدار قص مختلط [3].

سيتم في هذا البحث تناول نموذج جدار القصّ C-SPW مع وجود فراغ بين البيتون والإطار الفولاذي.

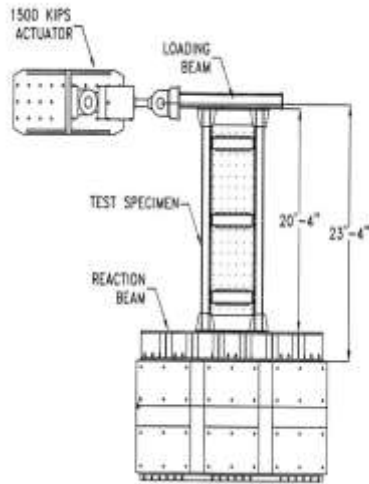
يبين الجدول (1) خصائص عينات التجربة ويبين الجدول (2) خصائص المواد للعناصر المستخدمة بالإضافة لقطر البراغي والتباعد بين البراغي المستخدمة، أما الشكل (9) فيوضح تركيبة التجربة والنموذج الذي سيتم نمذجته باستخدام برنامج ABAQUS.

الجدول (1) خصائص عينات التجربة [3].

النموذج	الأبعاد	الجزء	الجدار البيتوني		
			سمك لفحة الفولاذية	نوع البيتون	نسبة الصلب على جهة السمك
مع فراغ	W12X120	W12X26	4.8 mm	سحق لصبغ	75 mm 0.92%
بدون فراغ	W12X120	W12X26	4.8 mm	سحق لصبغ	75 mm 0.92%

الجدول (2): خصائص المواد لعينات التجربة [3].

الصفحة	الإطار	البراغي	قطر البراغي	التباعد بين البراغي	البيتون
A36	A572	A325	13 mm	300 mm	$f_c = 28 \text{ Mpa}$



الشكل (9) تركيبية التجربة [3].

يوضح الشكل (10) منظور التجربة.

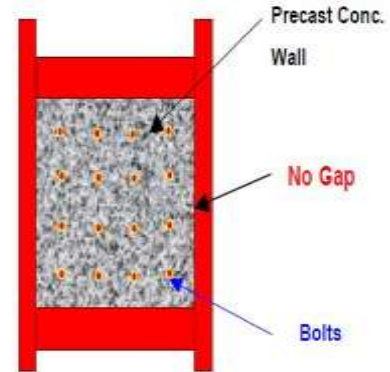
## 2- الدراسة التحليلية لصفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية:

ستتم الدراسة التحليلية بالاعتماد على الدراسة التجريبية المرجعية للباحث Abolhassan Astaneh (2002) والذي قام بمقارنة السلوك لنموذجين من الجدران القصّ المختلطة C-SPW، حيث تمت الدراسة تجريبياً في مختبرات جامعة كاليفورنيا على نموذجين من هذه الجدران:

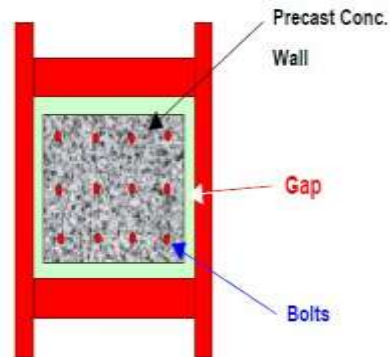
نموذج مع وجود فراغ (With Gap) وبين البيتون والإطار الفولاذي ونموذج من دون وجود فراغ (No Gap).

[3]

يوضح الشكلان (7) و(8) النماذج المختبرة على جدران القصّ المختلطة في مختبرات جامعة كاليفورنيا.



الشكل (7) الجدار المختلط التقليدي [3].



الشكل (8) الجدار المختلط المبتكر [3].

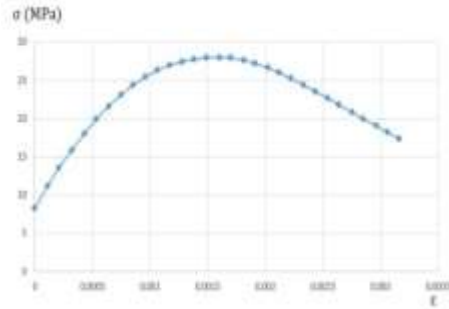
ABAQUS6.14 وذلك من أجل دراستها تحليلياً ثم إجراء الدراسة البارامترية.

## 2-1-1- توصيف المواد المستخدمة بالنمذجة:

### • البيتون:

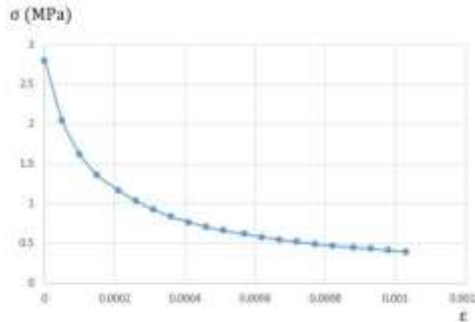
موديل البيتون المستخدمة بالنمذجة هو Concrete Damaged Plasticity والذي يستخدم لتطبيقات البيتون المعرّض لشروط تحميل كيفية متضمنةً التحميل الدوري المعكوس. هذا الموديل يأخذ بالحسبان انخفاض القساوة المرنة الناتج عن الانفعال اللدن بحالتي الشد والضغط. يأخذ أيضاً تأثيرات استرجاع القساوة نتيجة تحميل دوري. [5]

يوضح الشكل (12) سلوك البيتون على الضغط ما بعد مرحلة المرونة المُستخدَم بالتحليل العددي.



الشكل (12): مخطط (الإجهاد-الانفعال اللامرن) للبيتون على الضغط.

ويوضح الشكل (13) سلوك البيتون على الشد ما بعد مرحلة المرونة المُستخدَم بالتحليل العددي.

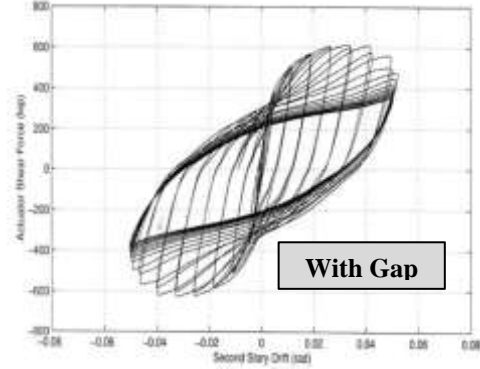


الشكل (13) مخطط (الإجهاد-الانفعال اللامرن) للبيتون على الشد.

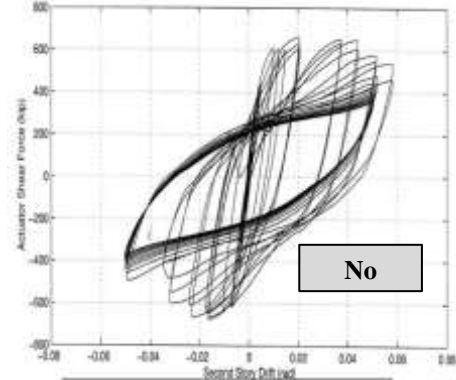


الشكل (10) منظور التجربة [3].

يوضح الشكل (11) الحلقات الهيسترية لعينات التجربة في مختبرات جامعة كاليفورنيا.



الشكل (11): سلوك العينات (قوة القص-الإزاحة) [3].



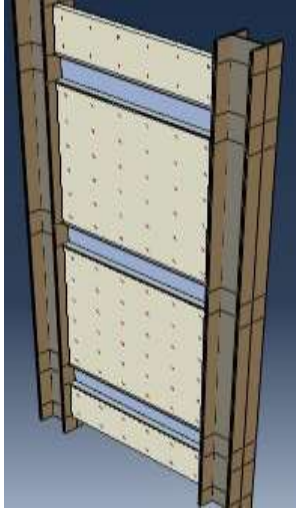
الشكل (Cont.11) سلوك العينات (قوة القص-الإزاحة) [3].

## 2-1-2- النمذجة باستخدام برنامج ABAQUS:

تمت نمذجة صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية التي اختُبرت من قبل الباحث Abolhasan (2002) Astaneh-Asl باستخدام برنامج الأباكوس



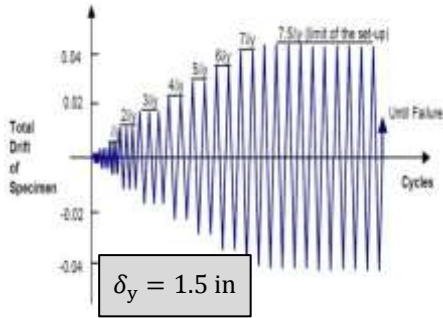
يوضح الشكل (15) النموذج التحليلي لصفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية بوساطة برنامج ABAQUS.



الشكل (15) النموذج التحليلي، ABAQUS

#### 2-1-4- نموذج التحميل الدوري المطبق:

التحميل المطبق على النموذج عبارة عن تحميل دوري متزايد ومطبق في أعلى النموذج التحليلي ليحاكي التحميل المطبق تجريبياً في الدراسة [3] ويبين الشكل (16) التحميل الدوري المطبق.

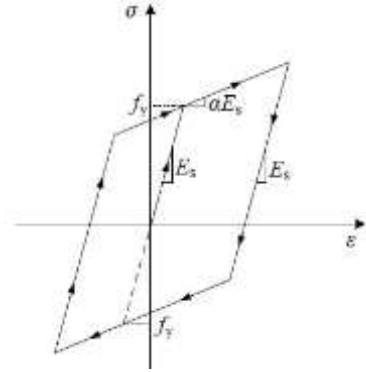


الشكل (16): التحميل الدوري [3].

2-2- السلوك الهيسنتيري للنموذج المدروس ومقارنته مع النموذج التجريبي في الدراسة [3]:  
تم استخراج الحلقات الهيسنتيرية للنموذج التحليلي الذي تمت نمذجته ببرنامج ABAQUS، ومقارنة هذه الحلقات الهيسنتيرية بين التجربة والنموذج نتيجة

#### • الفولاذ:

تمت نمذجة سلوك مادة العناصر الفولاذية باستخدام موديل ثنائي الخطية Bilinear Kinematic Hardening Model وذلك من أجل أخذ التقسية التشوهية للفولاذ ما بعد مرحلة المرونة. يوضح الشكل (14) سلوك الفولاذ المُستخدَم بالتحليل العددي.



الشكل (14): مخطط (الإجهاد-الانفعال) للفولاذ [6].

#### 2-1-2- توصيف العناصر المستخدمة بالنمذجة:

نُمدج الإطار الفولاذي والصفحة الفولاذية باستخدام عناصر قشرية S4R، أما الجدار البيتوني استُخدمت عناصر حجمية C3D8R، أما شبكة التسليح الطولي والعرضي فقد استُخدمت عناصر شبكية T3D2، أما براغي القص فقد استُخدمت عناصر جاذزية B31. [5]

#### 2-1-3- الشروط المحيطة:

تم تطبيق قيد وثاقفة بالأسفل عند أسفل الأعمدة، إضافة إلى وضع نقطة مرجعية (Reference Point) عند أعلى النموذج تمثل حركة جسم صلد (Rigid Body) محدد بمساحة المقطع العرضي العلوي لأعمدة الإطار الفولاذي، حيث يتم تطبيق التحميل الدوري عند هذه النقطة، كما تم منع الحركة خارج المستوي للنموذج (Out of Plane Displacements) عن طريق تطبيق قيد بالاتجاه العمودي على النموذج يمنع الحركة خارج المستوي.

الدراسة البارامترية لصفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية هي دراسة تحليلية عبر برنامج ABAQUS من أجل دراسة سلوك هذه الصفائح تحت تأثير تحميل دوري اعتماداً على النموذج التحليلي الذي تمّت معايرته سابقاً مع نموذج تجربة الباحث (2002) Astaneh-Asl (نموذج مع فراغ) وتطبيق بروتوكول التحميل الدوري المطبق بالتجربة على النماذج التحليلية، مع أخذ عدّة بارامترات بالدراسة، ثم استخراج النتائج لكل نموذج وإجراء مقارنة بين النماذج من أجل معرفة تأثير كل بارامتر على السلوك الزلزالي لهذه الصفائح المختلطة.

#### بارامترات الدراسة:

- $f'_c$ : المقاومة المميزة للبيتون.
- $t_c$ : سماكة الجدار البيتوني.
- $t_p$ : سماكة الصفيحة الفولاذية.
- $f_y$ : حد الخضوع لفولاذ الصفيحة.
- $S$ : التباعد بين براغي القص.

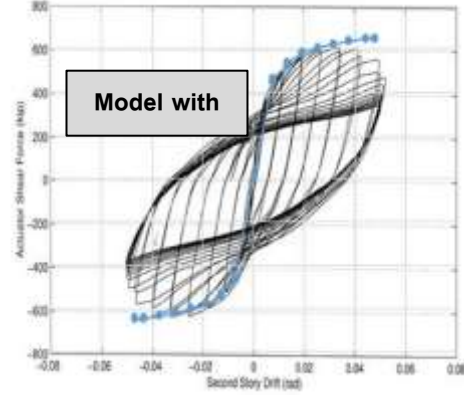
أما بالنسبة للنتائج لكل نموذج فتمّ استخراج النتائج الآتية:

- الحلقات الهيسترية ومقاومة القص الأعظمية (RF(max)).
- الطاقة المبددة اللدنة الأعظمية (ALLPD(max)).
- الانفعال اللدن المكافئ (PEEQ).

يبين الجدول (4) مواصفات نموذج المعايرة والبارامترات التي تمّ تغييرها بالنماذج المدروسة تحليلياً، بغرض إجراء الدراسة البارامترية لهذه النماذج بوساطة برنامج ABAQUS.

التحميل الدوري المطبق، ويوضح الشكل (17) مقارنة المنحني الهيكلي للنموذج التحليلي مع الحلقات الهيسترية للنموذج التجريبي في الدراسة [3].

— Experime  
●●● Finite



الشكل (17) مقارنة المنحني الهيكلي للنموذج التحليلي مع الحلقات الهيسترية للنموذج التجريبي مع فراغ.

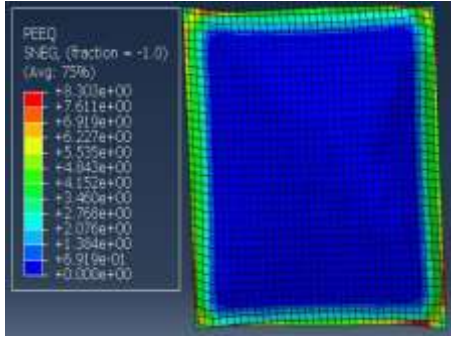
ويبين الجدول (3) مقارنة قوة القص بين النموذج التحليلي والنموذج التجريبي في الدراسة [3].

تمّ في هذا الجدول حساب النسبة المئوية لقيمة الفرق بين قوة القص بالنموذج التجريبي والتحليلي منسوبة إلى قوة القص التجريبية، وعند دورة التحميل الخامسة، بلغت النسبة 1.12 %

الجدول (3): مقارنة قوة القص بين النموذج التحليلي والنموذج التجريبي.

Cyclic load: $\delta_y = 1.5 \text{ in}$	$F_{EXP}$ (kips)	$F_{FE}$ (kips)	$\frac{F_{EXP} - F_{FE}}{F_{EXP}}$
$\delta_y$	386	448	-16.06 %
$2\delta_y$	509	522	-2.55 %
$3\delta_y$	582	604	-3.78 %
$4\delta_y$	622	620	0.32 %
$5\delta_y$	627	634	-1.12 %
$6\delta_y$	620	645	-4.03 %
$7\delta_y$	568	650	-14.4 %
$7.5\delta_y$	494	646	-30.77 %

### 3- الدراسة البارامترية:



الشكل (20) الانفعال اللدن المكافئ (نموذج المعايير).

نتائج النموذج (1):  $f'_c = 5.08 \text{ ksi}$

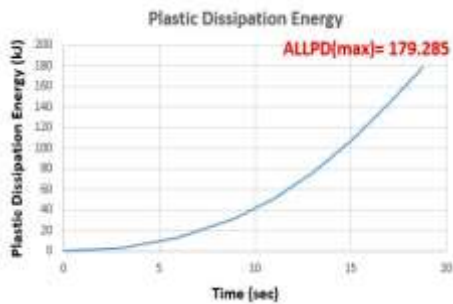
يوضح الشكل (21) الحلقات الهستيرية للنموذج (1)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 647.86 kips



الشكل (21) الحلقات الهستيرية (النموذج (1)).

ويوضح الشكل (22) الطاقة المبدة اللدنة للنموذج

(1)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 179.285 kJ



الشكل (22) الطاقة المبدة اللدنة (النموذج (1)).

ويوضح الشكل (23) الانفعال اللدن المكافئ

لنموذج (1)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 8.397

نوع العنصر	نوع العنصر		نوع العنصر			نوع العنصر			نوع العنصر		
	W12X120	W12X26	00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
عنصر (1)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (2)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (3)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (4)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (5)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (6)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (7)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (8)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (9)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (10)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (11)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (12)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (13)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (14)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0
عنصر (15)	W12X120	W12X26	00	0.1875	20	3	4	0.0	0.0	0.0	0.0

الجدول (4): بارامترات النماذج المدروسة تحليلياً.

### نتائج نموذج المعايير:

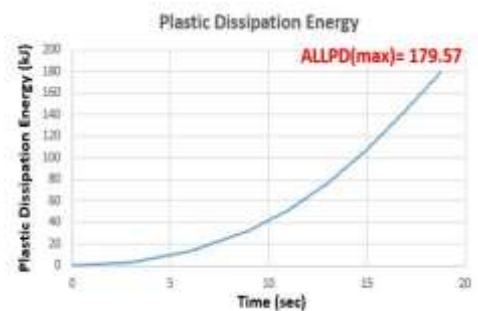
يوضح الشكل (18) الحلقات الهستيرية لنموذج المعايير، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 648.99 kips



الشكل (18): الحلقات الهستيرية (نموذج المعايير).

ويوضح الشكل (19) الطاقة المبدة اللدنة لنموذج

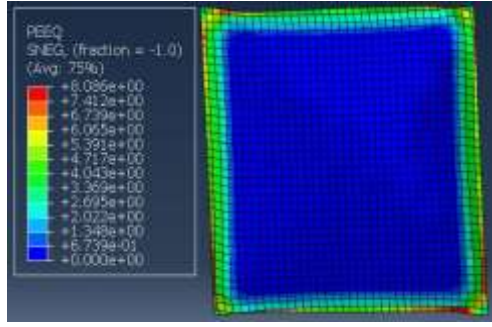
المعايير، حيث بلغت القيمة الأعظمية 179.57 kJ



الشكل (19) الطاقة المبدة اللدنة (نموذج المعايير).

ويوضح الشكل (20) الانفعال اللدن المكافئ

لنموذج المعايير، حيث بلغت القيمة الأعظمية 8.303



الشكل (26) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج ((2)).

نتائج تغيير بارامتر المقاومة المميزة للبيتون:

❖ زيادة المقاومة المميزة للبيتون ليس له تأثير على سلوك صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية، وذلك من ناحية المقاومة والمطاوعة.

نتائج النموذج (3):  $t_c = 2$  in

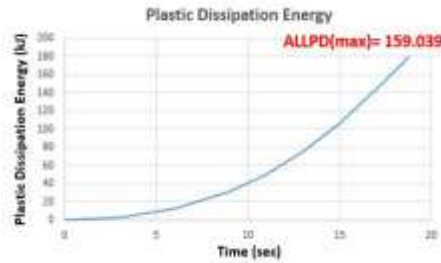
يوضح الشكل (27) الحلقات الهيسترية للنموذج (3)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 617.07 kips



الشكل (27) الحلقات الهيسترية (النموذج ((3)).

ويوضح الشكل (28) الطاقة المبذوبة للندنة

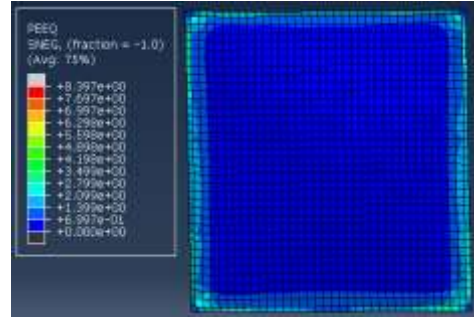
(3)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 159.039 kJ



الشكل (28) الطاقة المبذوبة للندنة (النموذج ((3)).

ويوضح الشكل (29) الانفعال اللدن المكافئ

للنموذج (3)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 6.812



الشكل (23) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج ((1)).

نتائج النموذج (2):  $f'_c = 5.81$  ksi

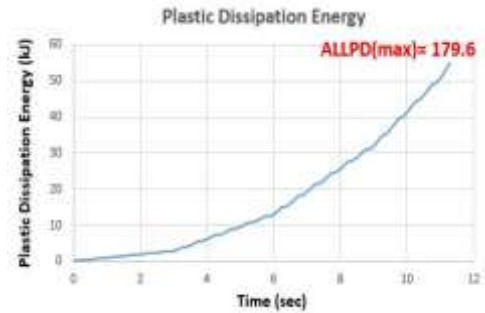
يوضح الشكل (24) الحلقات الهيسترية للنموذج (2)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 649.31 kips



الشكل (24) الحلقات الهيسترية (النموذج ((2)).

ويوضح الشكل (25) الطاقة المبذوبة للندنة

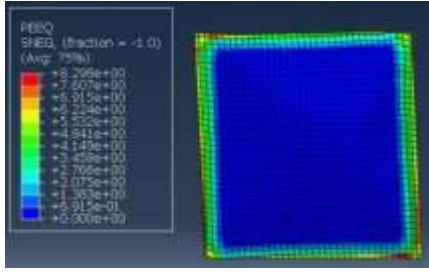
(2)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 179.6 kJ



الشكل (25) الطاقة المبذوبة للندنة (النموذج ((2)).

ويوضح الشكل (26) الانفعال اللدن المكافئ

للنموذج (2)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 8.086



الشكل (32) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (4)).

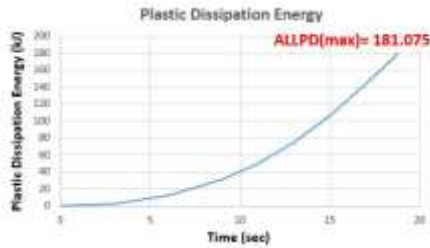
نتائج النموذج (5):  $t_c = 5 \text{ in}$

يوضح الشكل (33) الحلقات الهستيريرية للنموذج (5)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 680.5 kips



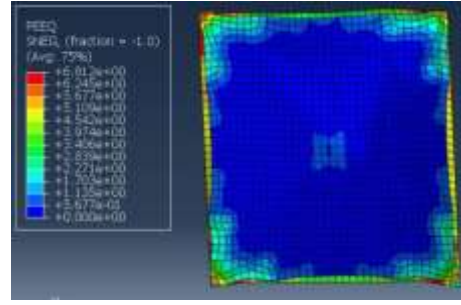
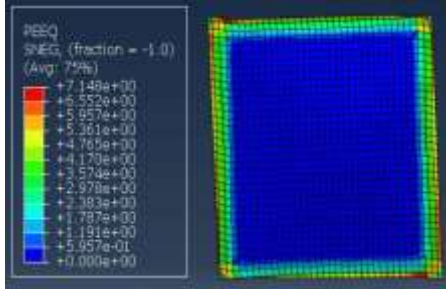
الشكل (33): الحلقات الهستيريرية (النموذج (5)).

ويوضح الشكل (34) الطاقة المبدة اللدنة للنموذج (5)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 181.075 kJ



الشكل (34) الطاقة المبدة اللدنة (النموذج (5)).

ويوضح الشكل (35) الانفعال اللدن المكافئ للنموذج (5)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 7.148



الشكل (29) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (3)).

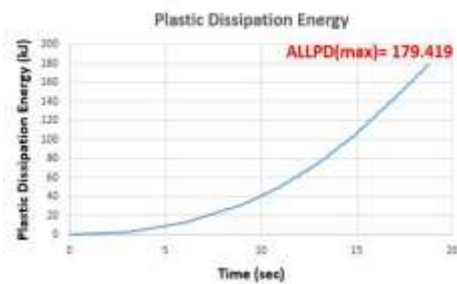
نتائج النموذج (4):  $t_c = 4 \text{ in}$

يوضح الشكل (30) الحلقات الهستيريرية للنموذج (4)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 666.08 kips



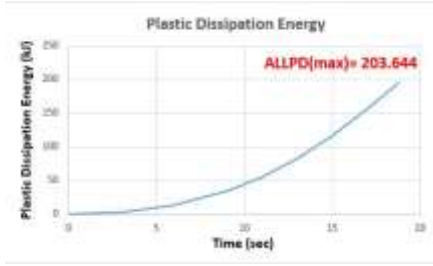
الشكل (30): الحلقات الهستيريرية (النموذج (4)).

ويوضح الشكل (31) الطاقة المبدة اللدنة للنموذج (4)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 179.419 kJ



الشكل (31) الطاقة المبدة اللدنة (النموذج (4)).

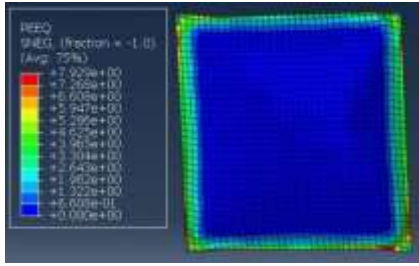
ويوضح الشكل (32) الانفعال اللدن المكافئ للنموذج (4)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 8.298



الشكل (37) الطاقة المبذودة للدنة (النموذج (6)).

ويوضح الشكل (38) الانفعال اللدن المكافئ

للمنموذج (6)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 7.929



الشكل (38) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (6)).

نتائج النموذج (7):  $t_p = 0.4263$  in

يوضح الشكل (39) الحلقات الهستيريرية للنموذج

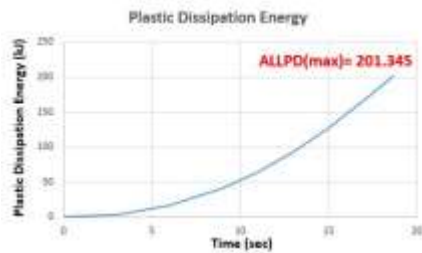
(7)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 759.76 kips



الشكل (39) الحلقات الهستيريرية (النموذج (7)).

ويوضح الشكل (40) الطاقة المبذودة للدنة للنموذج

(7)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 201.345 kJ



الشكل (40) الطاقة المبذودة للدنة (النموذج (7)).

الشكل (35) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (5)).

نتائج تغيير بارامتر سماكة الجدار البيتوني:

❖ تؤدي زيادة سماكة الجدار البيتوني المحيط بصفحة القص الفولاذية إلى زيادة غير ملحوظة في قوة القص القاعدي، ونتيجة تغيير سماكة الجدار البيتوني من 3 in إلى 5 in كانت الزيادة بقوة القص القاعدي بنسبة 104.79%.

❖ زيادة سماكة الجدار البيتوني المحيط بصفحة القص الفولاذية غير مؤثرة في مطاوعة صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية.

❖ الهدف الأساسي من البيتون في صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية مع وجود فراغ بين البيتون والإطار الفولاذي، هو تقييد صفحة القص الفولاذية ومنعها من التحنيب، وبالتالي إمكانية استخدام البيتون الخفيف (Light-Weight Concrete) للجمال الإنشائية المكوّنة من صفائح قص فولاذية مختلطة جدارية.

نتائج النموذج (6):  $t_p = 0.2662$  in

يوضح الشكل (36) الحلقات الهستيريرية للنموذج

(6)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 736.16 kips

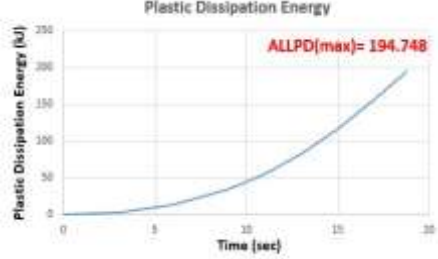


الشكل (36) الحلقات الهستيريرية (النموذج (6)).

ويوضح الشكل (37) الطاقة المبذودة للدنة للنموذج

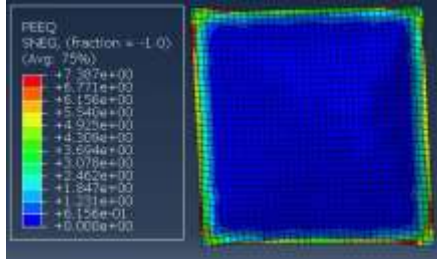
(6)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 203.644 kJ

ويوضح الشكل (43) الطاقة المبذوبة للدنة للنموذج (8)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 194.748 kJ



الشكل (43): الطاقة المبذوبة للدنة (النموذج (8)).

ويوضح الشكل (44) الانفعال اللدن المكافئ للنموذج (8)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 7.387



الشكل (44) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (8)).

نتائج تغيير بارامتر حد الخضوع للصفحة الفولاذية:

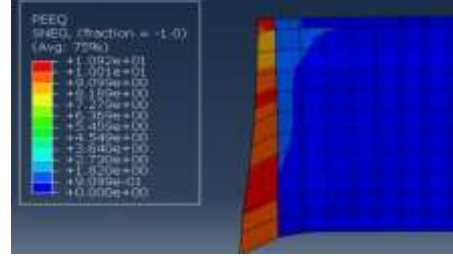
❖ تؤدي زيادة حد الخضوع للصفحة الفولاذية إلى زيادة في قوة القص القاعدي، ونتيجة تغيير حد الخضوع من 35 ksi إلى 40 ksi كانت الزيادة بقوة القص القاعدي بنسبة 112.24%.

❖ زيادة حد الخضوع للصفحة الفولاذية من 35 ksi إلى 40 ksi يزيد الطاقة المبذوبة للدنة لصفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية بنسبة 108.45%.

❖ زيادة حد الخضوع للصفحة الفولاذية من 35 ksi إلى 40 ksi يقلل الانفعال اللدن المكافئ لصفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية بنسبة 88.97%.

نتائج النموذج (9):  $S = 4$  in

ويوضح الشكل (41) الانفعال اللدن المكافئ للنموذج (7)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 10.92



الشكل (41) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (7)).

نتائج تغيير بارامتر سماكة الصفحة الفولاذية:

❖ تؤدي زيادة سماكة الصفحة الفولاذية إلى زيادة في قوة القص القاعدي، ونتيجة تغيير سماكة الصفحة الفولاذية من 0.1875 in إلى 0.4236 in كانت الزيادة بقوة القص القاعدي بنسبة 117.07%.

❖ زيادة سماكة الصفحة الفولاذية من 0.1875 in إلى 0.2662 in يزيد الطاقة المبذوبة للدنة لصفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية بنسبة 113.41%.

❖ زيادة سماكة الصفحة الفولاذية من 0.1875 in إلى 0.4236 in يزيد الانفعال اللدن المكافئ لصفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية بنسبة 131.52%.

نتائج النموذج (8):  $f_y = 40$  ksi

ويوضح الشكل (42) الحلقات الهيستيرية للنموذج (8)، حيث بلغت قوة القصّ القاعدي الأعظمية 728.45 kips



الشكل (42) الحلقات الهيستيرية (النموذج (8)).

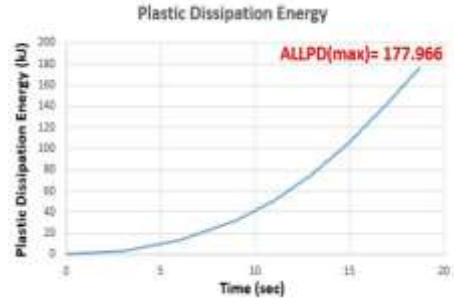
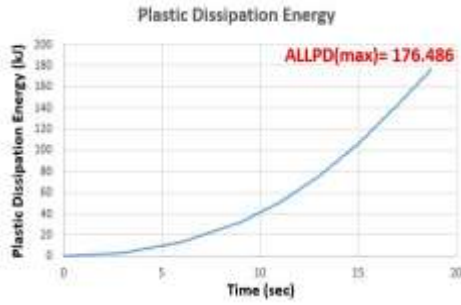


يوضح الشكل (45) الحلقات الهيسيرية للنموذج (9)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 669.66 kips



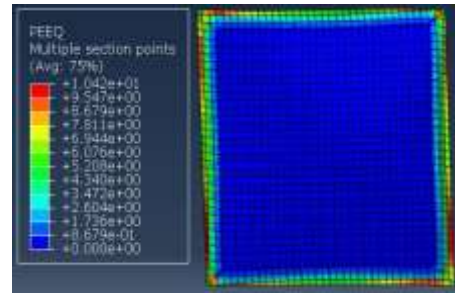
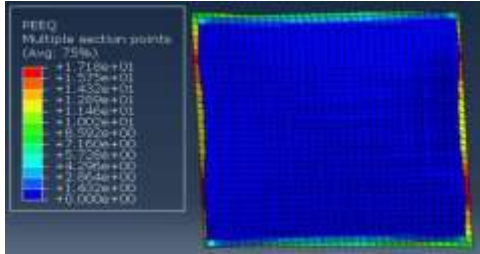
الشكل (48) الحلقات الهيسيرية (النموذج (10)). ويوضح الشكل (49) الطاقة المبذوبة اللدنة للنموذج (10)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 176.486 kJ

الشكل (45) الحلقات الهيسيرية (النموذج (9)). ويوضح الشكل (46) الطاقة المبذوبة اللدنة للنموذج (9)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 177.966 kJ



الشكل (49) الطاقة المبذوبة اللدنة (النموذج (10)). ويوضح الشكل (50) الانفعال اللدن المكافئ للنموذج (10)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 17.18

الشكل (46) الطاقة المبذوبة اللدنة (النموذج (9)). ويوضح الشكل (47) الانفعال اللدن المكافئ للنموذج (9)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 10.42



الشكل (50) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (10)).

الشكل (47) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (9)).

نتائج النموذج (11):  $S = 8 \text{ in}$

يوضح الشكل (51) الحلقات الهيسيرية للنموذج (11)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 668.35 kips

نتائج النموذج (10):  $S = 6 \text{ in}$

يوضح الشكل (48) الحلقات الهيسيرية للنموذج (10)، حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 659.79 kips



❖ لا يؤثر تكثيف التباعد بين براغي القصّ في الطاقة المبددة اللدنة لصفائح القصّ الفولاذية المختلفة الجدارية.

❖ يؤدي تكثيف التباعد بين براغي القصّ إلى زيادة في الانفعال اللدن المكافئ، ونتيجة تكثيف التباعد من 6 in إلى 12 in كانت الزيادة في الانفعال اللدن المكافئ بنسبة 206.91%.

❖ عندما يكون التباعد بين براغي القص أكبر من حدّ معيّن (8 in)، فلن يمنع التحنّب المحلي للصفحة.

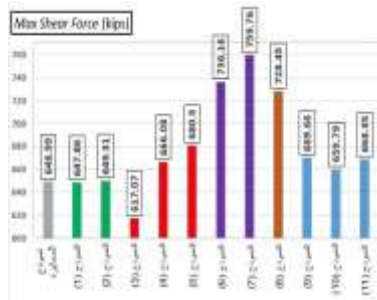
❖ عندما يكون التباعد بين البراغي بشكل مكثّف (4 in)، يكون العمل المشترك بين البيتون والصفحة يشابه عمل مقطع مركّب وبالتالي لا يحدث تلدّن للصفحة.

❖ بالتباعد الوسطي (6 in)، وجود البراغي يمنع الصفحة من التحنّب، وبالمقابل يساعد في تبديد الطاقة الانفعالية اللدنة نتيجة تشوّه القصّ للصفحة (حقول شد يعاكسها عدم تحنّب بالاتجاه المتعامد-المضغوط) وبالتالي انفعال لدن للصفحة (PEEQ) أكبر ما يمكن.

### مقارنة نتائج النماذج:

#### 1- مقارنة مقاومة القصّ الأعظمية:

يوضح الشكل (54) قيمة قوة القصّ القاعدي الأعظمية لجميع نماذج الدراسة البارامترية.

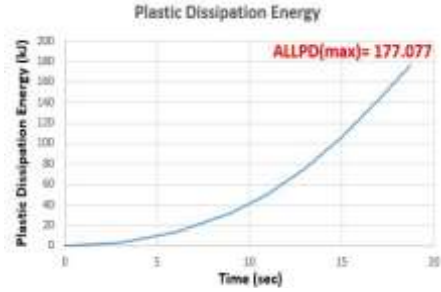


الشكل (54) مقاومة القصّ الأعظمية للنماذج.



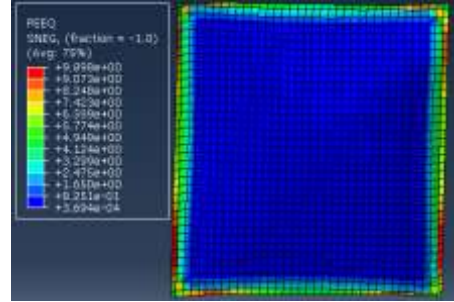
الشكل (51) الحلقات الهيسيرية (النموذج (11)).

ويوضح الشكل (52) الطاقة المبددة اللدنة للنموذج (11)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 177.077 kJ



الشكل (52) الطاقة المبددة اللدنة (النموذج (11)).

ويوضح الشكل (53) الانفعال اللدن المكافئ للنموذج (11)، حيث بلغت القيمة الأعظمية 9.898



الشكل (53) الانفعال اللدن المكافئ (النموذج (11)).

#### نتائج تغيير بارامتر التباعد بين براغي القصّ:

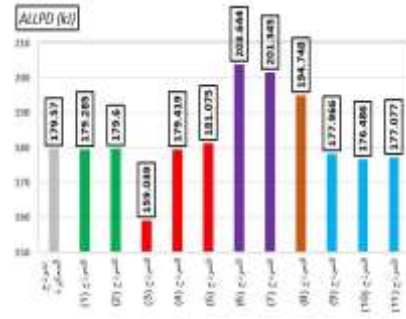
❖ يؤدي تكثيف التباعد بين براغي القصّ إلى زيادة غير ملحوظة في قوة القصّ القاعدي، ونتيجة تكثيف التباعد من 4 in إلى 12 in كانت الزيادة بقوة القصّ القاعدي بنسبة 103.18%.

### نتيجة مقارنة مقاومة القص الأخرى للنماذج:

زيادة بارامتر سماكة الصفيحة الفولاذية من 0.1875 in إلى 0.4236 in هو البارامتر الأكثر تأثيراً على زيادة القص القاعدي، حيث كانت الزيادة بقوة القص القاعدي 117.07% بالنسبة لنموذج المعايرة.

### 2-مقارنة الطاقة المبذولة للشد:

يوضح الشكل (55) قيمة الطاقة المبذولة للشد لجميع نماذج الدراسة البارامترية.



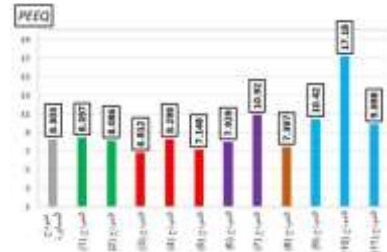
الشكل (55) الطاقة المبذولة للشد للنماذج.

### نتيجة مقارنة الطاقة المبذولة للنماذج:

زيادة بارامتر سماكة الصفيحة الفولاذية من 0.1875 in إلى 0.2662 in هو البارامتر الأكثر تأثيراً على زيادة الطاقة المبذولة للشد، حيث كانت الزيادة بالطاقة المبذولة للشد 113.41% بالنسبة لنموذج المعايرة.

### 3-مقارنة الانفعال اللدن المكافئ:

يوضح الشكل (56) قيمة الانفعال اللدن المكافئ لجميع نماذج الدراسة البارامترية.



الشكل (56) الانفعال اللدن المكافئ للنماذج.

### نتيجة مقارنة الانفعال اللدن المكافئ للنماذج:

تكثيف بارامتر التباعد بين براغي القص من 12 in إلى 4 in هو البارامتر الأكثر تأثيراً على زيادة الانفعال اللدن المكافئ، حيث كانت الزيادة بالانفعال اللدن المكافئ 206.91% بالنسبة لنموذج المعايرة.

### 4-القيم النسبية بين نتائج النماذج ونموذج المعايرة:

يوضح الجدول (5) نسب النتائج بين النماذج المدروسة ونموذج المعايرة، والذي تم فيه الحصول على النسبة بين نتيجة كل نموذج مدروس إلى نتيجة نموذج المعايرة وذلك لكل من قوة القص الأخرى (RF(max)) والطاقة المبذولة للشد (ALLPD(max)) والانفعال اللدن المكافئ (PEEQ).

### 4-نتائج البحث:

1. زيادة سماكة الصفيحة الفولاذية بنسبة 2.26 عن السماكة الأساسية لنموذج المعايرة ( $t_p = 0.1875 \text{ in}$ ) يزيد مقاومة صفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية بمقدار 17.07%.
2. زيادة سماكة الصفيحة الفولاذية بنسبة 1.42 عن السماكة الأساسية لنموذج المعايرة ( $t_p = 0.1875 \text{ in}$ ) يزيد الطاقة المبذولة للشد (ALLPD) لصفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية بمقدار 13.41%.
3. البحث عن التباعد الأمثل بين براغي القص يؤدي إلى زيادة كل من الطاقة المبذولة للشد (ALLPD) والانفعال اللدن المكافئ (PEEQ) لصفائح القص الفولاذية المختلطة الجدارية، حيث تغيير التباعد من (12 in) إلى (6 in) أدى إلى زيادة 106.91% بالانفعال اللدن المكافئ (PEEQ).

4. زيادة المقاومة المميزة للبيتون المحيط بالصفحة الفولاذية ليس له تأثير مهم في مقاومة صفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية ومطاوعتها، وإمكانية استخدام بيتون خفيف (Light-Weight Concrete) بالجمل الإنشائية المقاومة للزلازل المكونة من صفائح قصّ فولاذية مختلطة جدارية.

الجدول (5) نسب النتائج بين النماذج المدروسة ونموذج المعايرة.

اسم النموذج	RF(max)	ALLPD(max)	PEEQ
نموذج المعايرة	648.99 kips	179.57 kJ	8.303 in/in
القيم النسبية	$\frac{RF(\text{نموذج})}{RF(\text{نموذج المعايرة})}$	$\frac{ALLPD(\text{نموذج})}{ALLPD(\text{نموذج المعايرة})}$	$\frac{PEEQ(\text{نموذج})}{PEEQ(\text{نموذج المعايرة})}$
النموذج (1)	0.9983	0.9984	1.0113
النموذج (2)	1.0005	1.0002	0.9739
النموذج (3)	0.9508	0.8857	0.8204
النموذج (4)	1.0263	0.9992	0.9994
النموذج (5)	1.0486	1.0084	0.8609
النموذج (6)	1.1343	1.1341	0.9550
النموذج (7)	1.1707	1.1213	1.3152
النموذج (8)	1.1224	1.0845	0.8897
النموذج (9)	1.0318	0.9911	1.2550
النموذج (10)	1.0166	0.9828	2.0691
النموذج (11)	1.0298	0.9861	1.1921

5. زيادة سماكة الصفحة الفولاذية له الفعالية الأكبر بتحسين السلوك الزلزالي لصفائح القصّ الفولاذية المختلطة الجدارية، وذلك من ناحية المقاومة والمطاوعة والقساوة الجانبية.

#### قائمة بالرموز المستخدمة:

$F_{Exp}$ : قوة القص بالنموذج التجريبي.

$F_{FE}$ : قوة القص بالنموذج التحليلي.

$\delta_y$ : قيمة الانتقال بالتحميل الدوري.

## References

- [1] Seilie, I. F. & Hooper, J. D. (2005). **Steel Plate Shear Walls: Practical Design and Construction.** North American Steel Construction Conference.
- [2] Taranath, B. S. (2012). **Structural analysis and design of tall buildings.** Boca Raton: USA. CRS Press, Taylor & Francis Group. p: 624.
- [3] Astaneh-Asl, A. (2002). **Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls.** Moraga: CA. Structural Steel Educational Council.
- [4] Rahnavard, R., Hassanipour, A. & Mounesi, A. (2016). **Numerical study on important parameters of composite steel-concrete shear walls.** Journal of Constructional Steel Research.
- [5] ABAQUS6.14 Documentation.
- [6] Han, Q., Wang, D., & Zang, Y. (2017). **Modeling and Analysis of Composite Steel Plate Shear Wall with Assembled Multi-Concrete Slab.** School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou, PR: China.
- [7] Khosravi, H., Mousavi, S. S., & Tadayonfar, G. (2017). **Numerical study of seismic behavior of Composite Steel Plate Shear Walls with flat and corrugated plates.**
- [8] Dey, S. (2014). **Seismic Performance of Composite Plate Shear Walls.** Quebec: Canada. Concordia University Montreal.
- [9] Driver, R. G. (1997). **Seismic Behavior of Steel Plate Shear Walls.** University of Alberta, Canada.