

تدعيم جدران القصّ المعدنية المائلة للإطارات البيتونية المسلحة باستخدام الدعامات الموافقة لزواوية حقول الشدّ

محمد إبراهيم التمر، داليا نجار

¹طالب ماجستير، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

²مدرّس، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق.

الملخص

إنّ الإطارات البيتونية المسلحة تُعد من الجمل الإنشائية الهامة في مقاومة الأحمال الجانبية، ويمكن رفع الكفاءة الزلزالية لهذه الإطارات من خلال تدعيمها باستخدام عدة طرائق، حيث أنّ التدعيم باستخدام جدران القصّ المعدنية (Steel Plate Shear Wall (SPSW)) يُعدّ من أفضل هذه الطرائق، كما أنّ تدعيم جدار القصّ المعدنيّ بدعامات يزيد من مقاومة هذه الإطارات البيتونية المسلحة. يهدف هذا البحث إلى دراسة أثر زيادة مقاومة الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران قصّ معدنيّة وذلك من خلال استخدام دعامات صفائح معدنيّة تميل بزواوية موافقة لزواوية حقول الشدّ، حيث أخذ عدد هذه الدعامات كبارامتر في الدراسة. تمّ في هذا البحث دراسة النماذج من خلال استخدام التحليل العددي باستخدام برنامج العناصر المحدودة ABAQUS وذلك تحت تأثير الحمل الدوري المطبق عليها، تمّ دراسة تأثير زيادة عدد الدعامات المدعّمة لجدران القصّ المعدنية المائلة للإطارات البيتونية المسلحة على السلوك الديناميكيّ لهذه الإطارات، وذلك من حيث قدرة التحمّل الأعظميّة والقساوة الجانبية المكافئة وكمية الطاقة المبدّدة للنماذج المدروسة.

أظهرت نتائج النمذجة في هذا البحث أنّ السلوك الديناميكيّ للإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران قصّ معدنيّة مدعّمة بدعامات موافقة لزواوية حقول الشدّ لجدار القصّ المعدنيّ يعطي نتائج أفضل مع زيادة عدد هذه الدعامات.

الكلمات المفتاحية: طريقة العناصر المحدودة، الإطار البيتونيّ المسلّح، جدار القصّ

المعدنيّ، حقول الشدّ، الدعامات.

تاريخ الإيداع: 2022/8/15

تاريخ القبول: 2022/10/5



حقوق النشر: جامعة دمشق - سورية،

يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

Consolidation of steel plate shear walls infilled R/C frames using stiffeners corresponding to the angle of the tensile fields

Mohammad Al Tamor¹, Dalia Najjar²

¹Master Student in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus.

² Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus

Abstract

Reinforced concrete frames are one of the most important structural systems to resisting lateral loads, and seismic upgrading of these frames can be raised by strengthening them using several techniques. The strengthening of R/C frames by using steel plates (SPSW: Steel Plate Shear Wall) is one of the best techniques of strengthening, this method of strengthening increases the resistance of the reinforced concrete frames. This research aims to study the effect of strengthening of reinforced concrete frames supported by steel plate shear walls with adding steel stiffeners inclined at an angle corresponding to angle of the tensile fields, the number of these stiffeners is consider as a parameter of this study. In this research, numerical analysis is carried out by using the finite element software (ABAQUS) for the studied models under cycle loading to study the effect of increasing the number of stiffeners that strengthening steel plate shear wall on the dynamic behavior of these frames, in terms of maximum capacity, lateral stiffness, and amount of dissipated energy for the studies models.

The modeling results of this research demonstrated that the dynamic behavior of R/C frames with steel plate shear walls strengthened by steel stiffeners inclined at an angle corresponding to angle of the tensile fields gave better results with the increase in the number of these stiffeners.

Key words: Finite Element Method (FEM), Reinforced Concrete Frame, Steel Plate Shear Wall, Tensile Fields, Stiffeners.

Received: 15/8/2022

Accepted: 5/10/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1- المقدّمة:

إنّ استخدام جدران القصّ المعدنيّة في تدعيم الإطارات البيتونيّة يساعد في مقاومة الأحمال الجانبيّة بكفاءة عالية، وإنّ هذا النوع من التّدعيم يتميز بسهولة وسرعة في التّففيذ مقارنة مع الجدران البيتونيّة المسلّحة، كما أنه خفيف الوزن مقارنة مع الجدران البيتونيّة المسلّحة، وهذا يؤدي إلى تقليل القوة الزلزاليّة على المنشأ، لأنّ هذه القوة تتناسب طردياً مع الوزن، كما أن الطريقة الأسهل والأسرع في التّعديل الديناميكي للأبنية القائمة هي طريقة التّدعيم باستخدام جدران القصّ المعدنيّة، وهذا النوع من التّدعيم يقلل من القوى المطبقة على العناصر المحيطية [1].

2- أهميّة البحث وأهدافه:

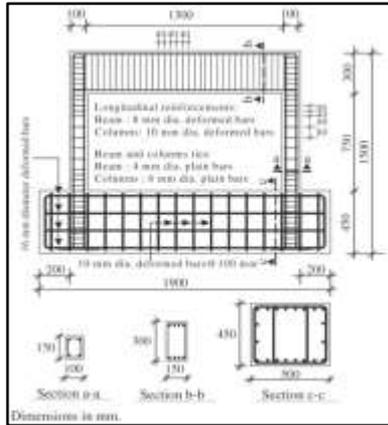
تُعتبر عملية رفع مقاومة الأبنية على الأحمال الديناميكيّة هدفاً رئيسياً في الدراسات الإنشائيّة، وإنّ رفع المقاومة على الزلازل يجب أن يكون مترافقاً مع الحفاظ على حد أدنى من المطاوعة باستخدام تقنيات ومواد إنشائية تُؤمن هذه الخاصيّة، وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن جدران القصّ المعدنيّة تؤمن رفع المقاومة والمطاوعة معاً، وبالتالي وكما تكمن أهميّة البحث في تسليط الضوء على دراسة السلوك الديناميكي للإطارات البيتونيّة بعد إضافة جدران القصّ المعدنيّة، حيث أجريت سابقاً دراسات عديدة على استخدام جدران القصّ المعدنيّة لرفع مقاومة الإطارات المعدنيّة، إلا أن الدراسات التي تُعنى باستخدام هذه الطريقة على الإطارات البيتونيّة المسلّحة محدودة جداً، كما تتركز أهميّة البحث في دراسة أثر توضع الدعامات المتوافقة مع حقول الشّد على السلوك الديناميكي للإطارات البيتونيّة المملوءة بجدران القصّ المعدنيّة.

يهدف البحث إلى دراسة أثر تقوية الإطارات البيتونيّة المسلّحة باستخدام صفائح معدنيّة، والتي تعمل كجدران قصّ ضمن مجاز هذه الإطارات، ومن ثمّ إضافة دعامات من الصفائح المعدنيّة لجدار القصّ المعدني، حيث تم وضع هذه

الدعامات بزواوية موافقة لزاوية حقول الشّد مع تغيير عدد هذه الدعامات ومقارنة النتائج بين النماذج العدديّة المدروسة.

3- الدّراسة المرجعيّة وفرضيات النّمذجة:**3-1- الدّراسة المرجعيّة:**

درس (Anil and Altin, 2007) [2] (في العام 2007) الإطار البيتوني المسلّح الموضح بالشكل (1)، وهو عبارة عن إطار بيتوني مسلّح يتكون من فتحة واحدة وطابق واحد، وكما أن مقاطع وأقطار وتوزع التسليح الطولي والعرضي لكل من الأعمدة والجائز والأساس موضحة بالشكل (1)، ومواصفات التسليح المستخدم في الإطار مبينة في الجدول (1) والذي يبين إجهاد الخضوع وإجهاد الانقطاع لكل قطر من أقطار التسليح المستخدم، وقيمة المقاومة المميّزة للبيتون $f_c=21.8$ MPa، والحمل المطبق على هذا الإطار والذي هو عبارة عن حمل انتقالي دوري جانبي مبين بالشكل (2)، حيث تم تطبيق هذا الحمل عند مستوي الجائز كما هو مبين بالشكل (3)، وينتج عن تطبيق هذا الحمل الدوري الحلقات الهستيرية المبينة في الشكل (4).

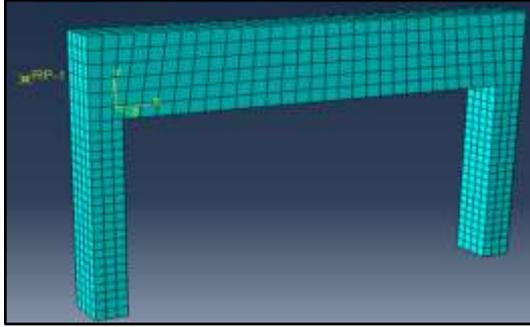


الشكل (1) مواصفات الإطار المدروس (أبعاده - مقاطع عناصره -

تسليحه)، [2].

3-2- فرضيات النمذجة:

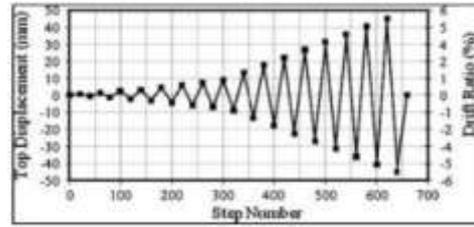
بالاعتماد على أبعاد الإطار البيتوني المسلح والموضّح بالشكل (1)، تمّت المُحاكاة العدديّة لنموذج الإطار بالاعتماد على برنامج العناصر المحدودة ABAQUS 6.14، [3]. ويوضح الشكل (5) النموذج التحليلي للإطار المدروس.



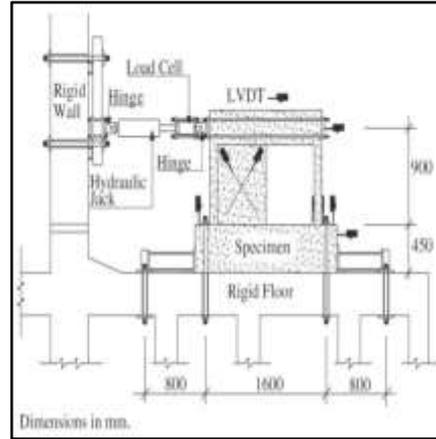
الشكل (5) النموذج التحليلي للإطار المدروس.

يمكن تلخيص أهمّ نُقاط النمذجة وفق ما يلي:

- تمّ اعتماد العنصر المحدود Solid (C3D8R) لنمذجة الإطار البيتوني، وهو عبارة عن عنصر فراغي يتكون من 8 عقد، ولكل عقدة 3 انتقالات، وفي هذا العنصر يتمّ تخفيض نُقاط التّكامل إلى نُقطة واحدة.
- تمّ اعتماد العنصر المحدود Wire (T3D2) لنمذجة قضبان وأساور التسليح للإطار البيتوني، وهو عبارة عن عنصر شبكي يتكون من عقدتين، وكل عقدة لها 3 انتقالات فقط.
- تمّ اعتبار التّرابط تام بين فولاذ التسليح والبيتون في نمذجة الإطار، وتمّ ذلك من خلال اعتبار فولاذ التسليح مغموس بالبيتون من النوع (Embedded region).
- تمّ اعتبار الإطار البيتوني موثوق بشكل تامّ بالأساس، لذلك تمّ التعويض عن الأساس في نموذج الإطار البيتوني بوثاقة تامّة عند أسفل الأعمدة، حيث تمنع الانتقالات والدورانات بكافة الاتجاهات.



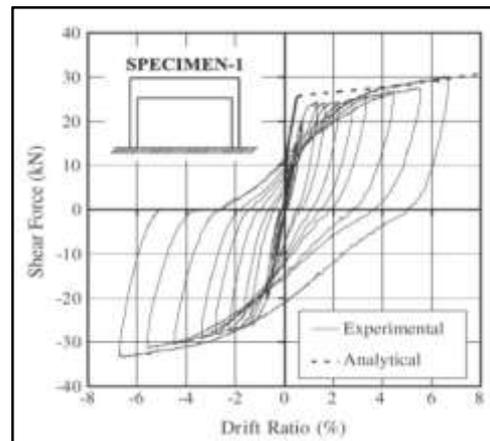
الشكل (2) منحني (الخطوة -الانتقال) المطبق على الإطار، [2].



الشكل (3) جهاز تطبيق الحمل على الإطار، [2].

الجدول (1) مواصفات التسليح المستخدم في الإطار، [2].

Bar diameter (mm)	fsy (MPa)	fsu (MPa)	Type
4	326	708	Plain
6	427	489	Plain
8	592	964	Deformed
10	475	689	Deformed



الشكل (4) الحلقات الهستيرية التجريبية للإطار المدروس، [2].

السلوك اللاخطي للبيتون ضمن مرحلة تدعى بمرحلة التقسية الانفعالية (Strain Hardening) حتّى الوصول إلى القيمة الحديّة لإجهاد البيتون على الضّغط σ_{cu} بعدها تبدأ الإجهادات بالانخفاض مع استمرار تزايد التّشوهات وتُسمى هذه المرحلة بالتلين الانفعالي (Strain Softening)، عند إزالة الحُمولة عند أي نُقطة من هذه المرحلة، يؤدي إلى تناقص قساوة المادة، حيث يتمّ التعبير عن انخفاض القساوة بالمعامل dc، ويمكن حساب التّشوهات اللدنة ε_c^{pl} واللامرنة ε_c^{in} والمرنة ε_{oc}^{el} والإجهاد σ_c الموافق للتشوه ε_c عند أي نقطة بالعلاقات التالية [5]:

$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{dc}{1-dc} \frac{\sigma_c}{E_o} \quad (1)$$

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{oc}^{el} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_o} \quad (3)$$

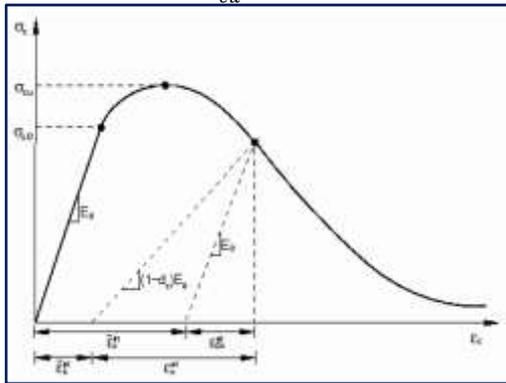
$$\sigma_c = (1 - dc) * E_o * (\varepsilon_c - \varepsilon_c^{pl}) \quad (4)$$

حيث E_o هو معامل المرونة للبيتون.

حيث dc هو معامل تخفيض القساوة على الضّغط ويعطى

بالعلاقة التالية:

$$dc = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} \quad 0 \leq dc \leq 1 \quad (5)$$



الشّكل (6) سلوك البيتون في حال الضّغط، [5].

b- سلوك البيتون في حالة الشّد:

يوضح الشّكل (7) أنّ سلوك البيتون على الشّد يختلف عنه في الضّغط بغياب مرحلة (Strain Hardening)، وبدء الانهيار وتشكّل الشقوق عند الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي

• تمّ تطبيق الحمل الدوري على الإطار المدروس من خلال نقطة مرجعية RP-1 والتي ترتبط مع جانب الإطار من خلال القيد من النوع (Rigid Body).

• بما أنّ الإطار هو عبارة عن (جائز قوي - عمود ضعيف) وبالتالي فإن الأعمدة هي العاملة بشكل رئيسي في مقاومة الأحمال الجانبية، لذلك تمّ تكثيف التقسيم (Mesh) للأعمدة بحيث تمّ اعتماد التقسيم (30*30) mm، أمّا الجائز فتّم اعتماد التقسيم (50*50) mm، وذلك لأنّه تمّ الملاحظة أنّ تكثيف التقسيم للجائز أكثر من القيمة المعتمدة يكون غير مجدي من حيث زمن التحليل، كما أنّه له تأثير ضئيل جداً على النتائج.

• بالنسبة لتوصيف المواد المستخدمة فهي كما يلي:

1. فولاذ التسليح:

تمّ اعتبار سلوك الفولاذ (مرن - تام اللدونة)، عامل يونغ $E=200$ GPa، وثابت بواسون $\nu=0.3$ ، وإجهاد الخضوع لقبان فولاذ التسليح المستخدم موضحة بالجدول (1).

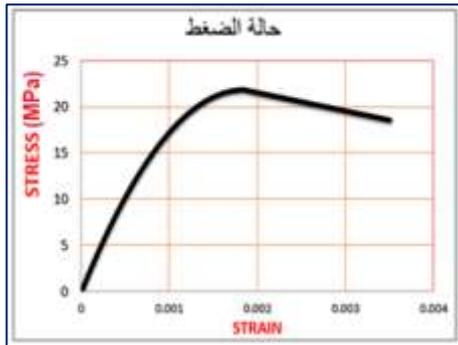
2. البيتون:

تمّ اعتماد خصائص المرونة وفق عامل يونغ مساوي إلى $E=20$ GPa، وثابت بواسون $\nu=0.2$ ، وتمّ استخدام نموذج البيتون، حيث يُعتبر من أفضل النماذج في نمذجة البيتون لأنّه يُعبر عن السلوك اللاخطي للبيتون في حالة الضّغط والشّد، كما أنّه يفترض آليتين لانهايار البيتون هي: التشقق على الشّد (Tensile Cracking) والتّحطم على الضّغط (Compressive Crushing) [4].

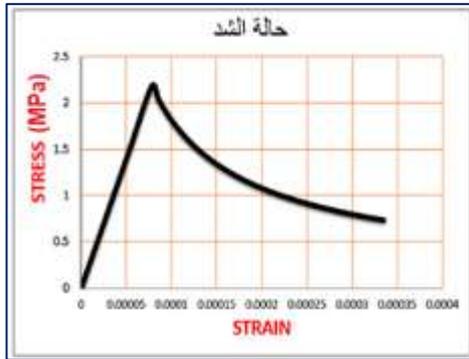
a- سلوك البيتون في حالة الضّغط:

يُوضح الشّكل (6) العلاقة بين التّشوه النسبي للبيتون على الضّغط ε_c وإجهاد الضّغط في البيتون σ_c ، تحت تأثير حمولة ضغط محوريّة، يكون سلوك البيتون في البداية سلوكاً خطياً حتّى الوصول لقيمة الإجهاد الابتدائي σ_{co} ، يبدأ بعدها

فيكون سلوك البيتون في حالة الضغط للإطار المدروس موضح بالشكل (9)، وسلوكه في حالة الشد موضح بالشكل (10)، وذلك بعد الاستفادة من القوانين السابقة، وبالوصول على التشوهات الحديدية والتشوهات المقابلة للإجهادات الأعظمية من جدول في الكود الأوروبي (Eurocode 2)، [6]، وباعتبار إجهاد الشد الأعظمي $(0.10 \cdot f^c)$.



الشكل (9) سلوك البيتون في حالة الضغط.



الشكل (10) سلوك البيتون في حالة الشد.

كما تم اعتبار اللامركزية $Eccentricity=0.1$ ، وزاوية التمدد $Dilation\ Angle=35$ ، ومقاومة الضغط ثنائي المحور إلى الضغط أحادي المحور للبيتون $fb_0/fc_0=1.16$ ، وعامل سطح التلدن $K=0.667$ ، [5]، أما عامل اللزوجة (Viscosity Parameter) هو أهم عامل لتعريف سلوك البيتون المعرض لأحمال جانبية، وحتى يكون الحاسب قادر على إتمام التحليل يتم تقسيم الإطار إلى عدة مناطق بحيث يتم إعطاء قيم صغيرة للأجزاء الأكثر مقاومة للأحمال الجانبية في الإطار البيتوني المسلّح، لذلك تم إعطاء قيم مختلفة لمعامل اللزوجة

للبيتون على الشّد σ_{to} ، ويمكن حساب التشوهات اللدنة ϵ_t^{pl} ، وتشوه الشّق ϵ_t^{ck} ، والتشوه المرن ϵ_{ot}^{el} ، والإجهاد σ_t المُوَافق للتشوه ϵ_t بالعلاقات التالية [5]:

$$\epsilon_t^{pl} = \epsilon_t^{ck} - \frac{dt}{(1-dt)} \frac{\sigma_t}{E_o} \quad (6)$$

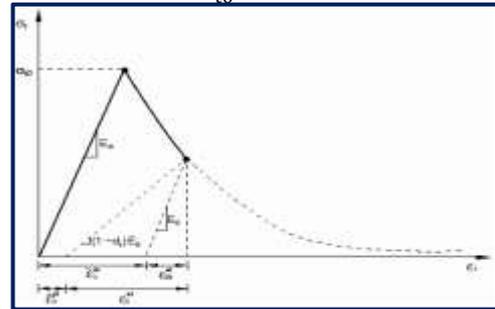
$$\epsilon_t^{ck} = \epsilon_t - \epsilon_{ot}^{el} \quad (7)$$

$$\epsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_o} \quad (8)$$

حيث E_o هو معامل المرونة للبيتون.

حيث dt هو معامل تخفيض القساوة على الشّد ويعطى بالعلاقة التالية:

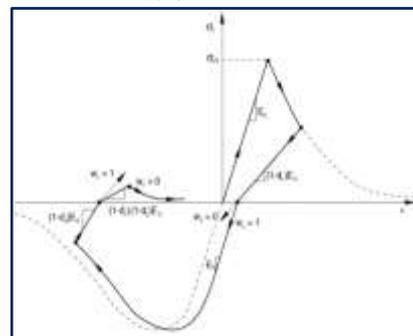
$$dt = \frac{\sigma_{to} - \sigma_t}{\sigma_{to}} \quad 0 \leq dt \leq 1 \quad (9)$$



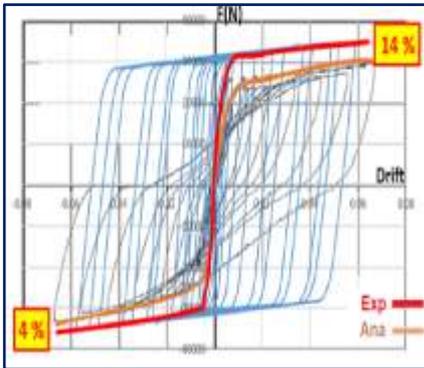
الشكل (7) سلوك البيتون في حال الشّد، [5].

c- سلوك البيتون تحت التّحميل الدوري:

في التّحميل الدّوري يحدث انفتاح وانغلاق الشّق نتيجة انعكاس جهة التّحميل المطبق، نتيجة لذلك فإنّه عند انغلاق الشّق بسبب الشّد، يؤدي ذلك إلى تحسين سلوك البيتون المعرض للشّد من خلال استرداد جزء من القساوة المرنة عند دورة الضّغط، كما هو مبين بالشكل (8).

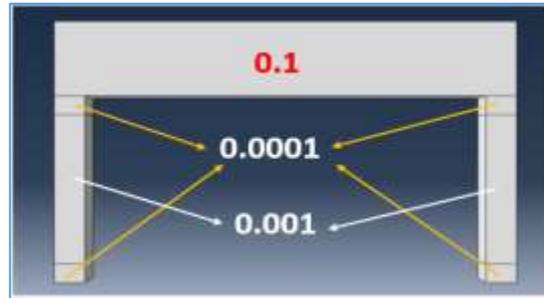


الشكل (8) سلوك البيتون في التّحميل الدوري، [5].



الشّكل (12) مقارنة الحلقات الهستيرية التجريبية مع الحلقات الهستيرية التحليلية للإطار المدروس.

كما هو موضح بالشّكل (11)، من أجل تقليل كلفة وزمن التحليل بحيث تم إعطاء عقد الإطار القيمة الأصغر لمعامل اللزوجة، وذلك لأن التشوهات الأعظمية والمفاصل اللدنة تتشكل ضمن العقد.



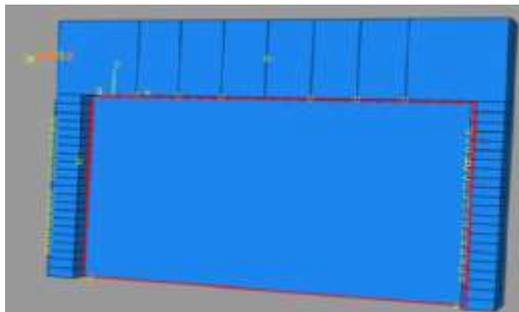
الشّكل (11) قيم معامل اللزوجة للإطار المدروس.

4- دراسة أثر إضافة جدار قص معدني للإطار البيتوني

المسلّح:

4-1- فرضيات التّمدجة:

تم تدعيم الإطار البيتوني المسلّح بجدار قص معدني (SPSW) وبسماكة 1mm وطول 1300mm وعرض 750mm، وباعتماد على هذه الأبعاد، تمّت المحاكاة العدديّة لنموذج الإطار المدعّم بجدار قص معدني بالاعتماد على برنامج العناصر المحدودة ABAQUS 6.14، [3].



الشّكل (13) نموذج العناصر المحدودة للإطار المدروس.

يمكن تلخيص أهمّ نقاط التّمدجة وفق ما يلي:

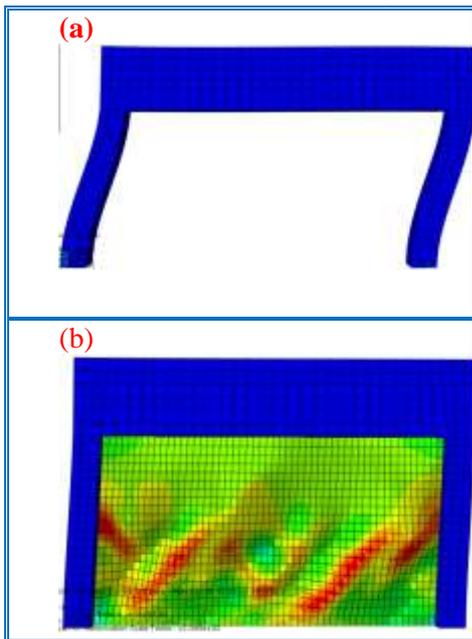
- تمّ اعتماد العنصر المحدود Shell (S4R) لنمذجة جدار القص المعدني، وهو عبارة عن عنصر مساحي يتكون من 4 عقد، ولكل عقدة 3 انتقالات و 3 دورانات، وفي هذا العنصر يتم تخفيض نقاط التّكامل إلى نقطة واحدة.

3-3- النتائج والمناقشة:

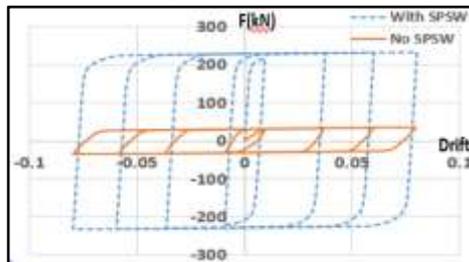
بعد تطبيق الحمل الدوري على نموذج الإطار المدروس، ومقارنة الحلقات الهستيرية للنموذج التحليلي مع الحلقات الهستيرية التجريبية كما هو موضح في الشّكل (12)، تمّ المقارنة بين المغلفين التحليلي والتّجريبي ف لوحظ أنّ الفارق النسبي بينهما هو 14% في القسم الموجب و 4% في القسم السّالب، وهذا يعود إلى أنه قد تم اعتبار الترابط تام بين البيتون وفولاذ التسليح من خلال استخدام القيد من النوع Embedded region، أي أنه لا يوجد انزلاق بين فولاذ التسليح والبيتون مما يؤدي إلى غياب التضيق (Pinching) في وسط الحلقات الهستيرية وعدم وجود تدهور في مقاومة البيتون، وكما يعود هذا الفارق النسبي إلى أن مادة البيتون غير متجانسة لذلك فإن النماذج المستخدمة للتعبير عن سلوك البيتون هي نماذج تقريبية.

4-2- النتائج والمناقشة:

يوضح الشكل (15-a) الشّكل المتشوّه للإطار المدروس المعرض للحمل الدوري، كما يوضح الشّكل (15-b) الشّكل المتشوّه للإطار وذلك بعد إضافة جدار قص معدني، حيث تمّ ملاحظة حدوث التحنيب (Buckling) في جدار القصّ المعدني وتشكل حقول الشد (Tension Field) ضمن جدار القصّ المعدني، وبالمقارنة بين الحلقات الهستيرية لنموذجي الإطار مع وبدون جدار قص معدني، تمّ ملاحظة توسع الحلقات الهستيرية عند إضافة جدار قص معدني، مما يؤدي إلى التحسن في السلوك الديناميكي للإطار المدروس كما هو موضح بالشكل (16).



الشّكل (15) الشّكل المتشوّه للإطار مع وبدون (SPSW).

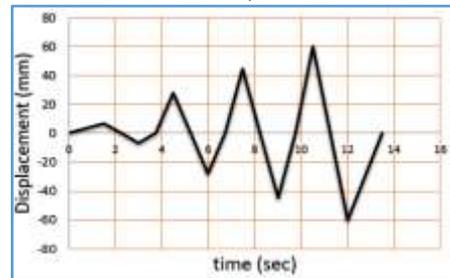


الشّكل (16) مقارنة السلوك الهستيري للإطار مع وبدون (SPSW).

- تمّ اعتبار التّرايط تام بين الإطار وجدار القصّ المعدني المدعّم للإطار، حيث تمّت النمذجة باعتبار أن جدار القصّ المعدني المدعّم للإطار مرتبط مع الوجه الداخلي للإطار من خلال القيد من النوع (Tie) حيث تمّ اعتبار الإطار كعناصر (Master) وجدار القصّ المعدني كعناصر (Slave).
- تمّ اعتبار جدار القصّ المعدني المألئ للإطار موثوق بشكل تام مع الأساس، بحيث يتمّ منع الانتقالات والدورانات بكافة الاتجاهات.
- تمّ اعتماد التقسيم (Mesh) لجدار القصّ المعدني (30×30) mm.

- تمّ تطبيق الحمل الدوري المبين بالشّكل (14) على الإطار المدروس من خلال النقطة المرجعية RP-2 الموضحة بالشّكل (13) والتي ترتبط مع جانب الإطار من خلال القيد من النوع (Rigid Body)، بحيث يتمّ تطبيق هذا الحمل مرّة بدون جدار قصّ معدني ومرّة بوجود جدار قصّ معدني.
- تمّت النمذجة من خلال نموذجين، الأول يتمّ فيه تعريف حمولة واحدة ضمن الخطوة من النوع (buckle)، والذي يعتبر كشرط بدائي للنموذج الثاني الذي يتمّ فيه تطبيق الحمل الدوري.

- تمّ اعتبار سلوك المعدن لجدار القصّ المعدني (مرن - تام اللدونة)، بحيث تمّ اعتبار عامل يونغ $E=200$ GPa وثابت بواسون $\nu=0.3$ ، وإجهاد الخضوع هو $F_y=250$ MPa.

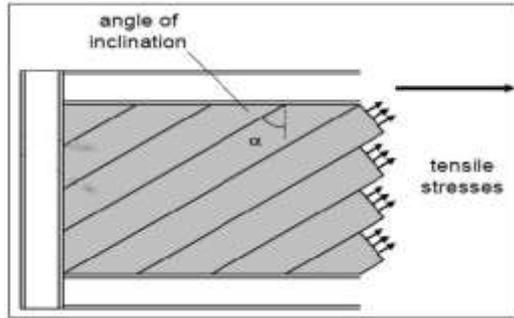


الشّكل (14) الحمل الدوري المطبق على الإطار المدروس.

أمّا بالنسبة لقدرة التّحمل الأعظميّة والطاقة المُبدّدة لكل من التّمودجين قبل وبعد إضافة جدار قص معدني فقد تمّ توضيح ذلك من خلال الجدول (2).

الجدول (2) مقارنة (قدرة التّحمل الأعظميّة والطاقة المبدّدة) للإطار قبل وبعد إضافة (SPSW).

الطاقة المبدّدة (kN.m)	الفرق النسبي (%)	قدرة التّحمل الأعظميّة (kN)	الفرق النسبي (%)
15.42		35.59	
118.29	667%	233.24	555%



الشّكل (18) زاوية ميلان حقل الشّد، [7].

يمكن تلخيص أهم نقاط النّمذجة وفق ما يلي:

- تمّ اعتماد العنصر المحدود Shell (S4R) لنمذجة الدّعامات، وهو عبارة عن عنصر مساحي يتكون من 4 عقد، ولكل عقدة 3 انتقالات و 3 دورانات، وفي هذا العنصر يتم تخفيض نقاط التّكامل إلى نقطة واحدة.
- تم اعتبار التّرابط تام بين جدار القص المعدني المدعّم للإطار والدّعامات، وذلك من خلال استخدام القيد من النوع (Tie) حيث تمّ اعتبار جدار القص المعدني كعناصر (Master) والدّعامات كعناصر (Slave).
- تمّ اعتماد التّقسيم (Mesh) لجدار القص المعدني (20×20) mm.

- تمّ اعتبار سلوك المعدن للدّعامات (مرن - تام اللدونة)، عامل يونغ $E=200$ GPa، وثابت بواسون $\nu=0.3$ ، وإجهاد الخضوع هو $F_y=250$ MPa.

تم في هذه المرحلة إجراء دراسة تحليلية للإطار البيتوني المملوء بجدار القص المعدني المدعّم بدعامات متوافقة مع حقول الشّد، حيث تم الاعتماد على دعامات الصفائح المعدنيّة

وبالعودة للجدول (2) تمّ الملاحظة أن إضافة جدار قص معدني تُؤدّي إلى زيادة فُدرة التّحمل الأعظميّة والطاقة المبدّدة الكلّيّة للإطار، بحيث تصل نسبة الزيادة في قدرة التّحمل إلى 555%، وكما تصل نسبة الزيادة في الطاقة المبدّدة إلى 667%.

5- دراسة أثر إضافة الدعامات لجدار القص

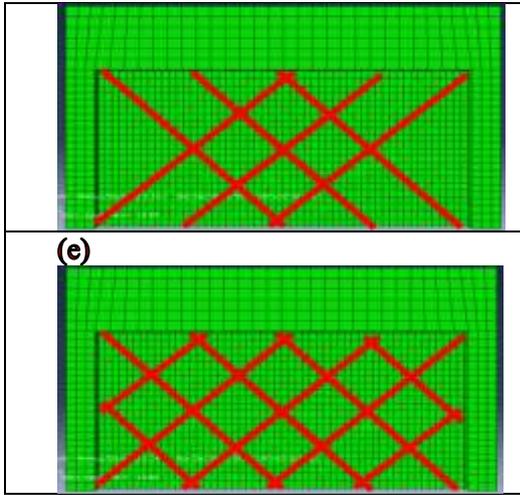
المعدني:

5-1- فرضيات النّمذجة:

تمّ تدعيم جدار القص المعدني بإضافة دعامات مقطّع صفيحة معدنية والموضّح أبعادها في الشّكل (17)، بحيث تمّ وضع الدعامات بزواياة موافقة لزواياة حقول الشّد المتشكلة في جدار القص المعدني، وإن زاوية حقول الشّد تُقاس مع الشّاقول كما هو موضح بالشّكل (18)، وبعد القيام بقياس تلك الزواياة من الشّكل المتشوه للإطار المملوء بجدار قص معدني والمبين بالشّكل (15-b) تم الحصول على قيمة هذه الزواياة في جدار القص المعدني، حيث بلغت 43° .



الشّكل (17) مقطّع الدعامة المستخدمة.



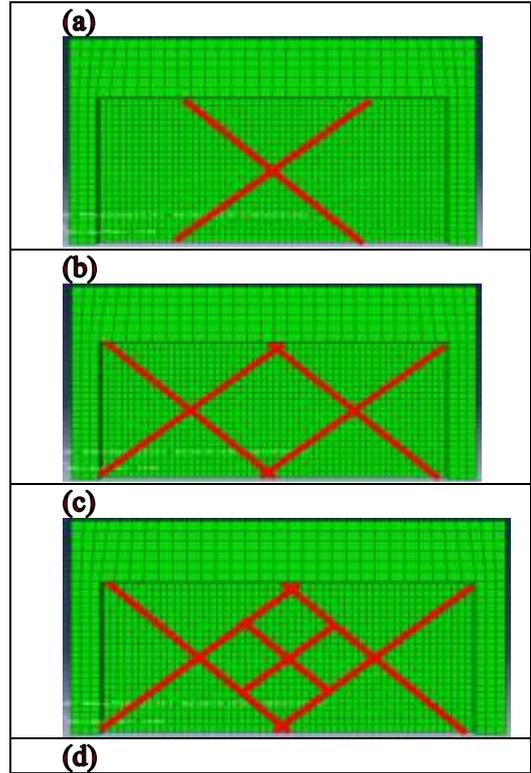
الشكل (19) الحالات المدروسة لعدد الدعامات.

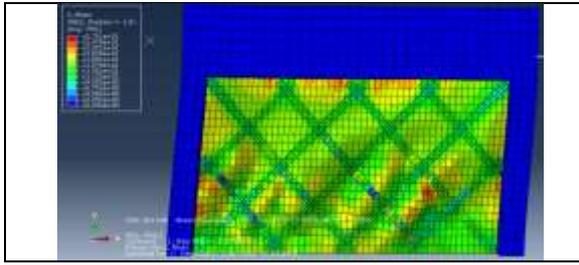
5-2- النّتائج والمناقشة:

يُظهر الشكل (20) الشكل المتشوه وتوزع الإجهادات عند الانزياح 0.1%، ضمن الإطار البيتوني المملوء بجدار قص معدني مدعم بدعامات صفائح معدنية مع تغيير عددها، وتم الملاحظة أن زيادة عدد الدعامات يؤدي إلى زيادة أقسام جدار القص المعدني الموجودة بين الدعامات، كما يؤدي إلى زيادة مقاومة الدعامات للأمواج التحنيب المتشكلة في جدار القص المعدني عندما تمر هذه الأمواج عبر هذه الدعامات فتظهر أمواج التحنيب بشكل واضح في أجزاء جدار القص المعدني الموجودة بين الدعامات، ومن الطبيعي أنه عند زيادة عدد الدعامات فإن ذلك يعني زيادة عدد أمواج التحنيب في جدار القص المعدني التي تقاومها هذه الدعامات، وبالتالي تأخير تشكل حقول الشد في جدار القص المعدني عند التدعيم بالدعامات، كما أن زيادة عدد الدعامات يؤدي إلى تقسيم جدار القص المعدني إلى عدة أجزاء أبعادها صغيرة والتي تعمل كل منها كصفحة بسيطة الاستناد، الأمر الذي يعني زيادة في نسبة النحافة $\left(\frac{t}{b}\right)$ في كل جزء، وبالتالي فإن ذلك يؤدي إلى زيادة كبيرة في إجهاد التحنيب الحرج τ_{cr} لأنه يتناسب طردياً مع مربع نسبة النحافة $\left(\frac{t}{b}\right)^2$ كما هو موضح بالعلاقة (10) [8]، وبالتالي فإن التحنيب يحدث بعد تجاوز

ذات المقطع الموضح بالشكل (17)، مع تغيير عدد هذه الدعامات، حيث تم دراسة الحالات التالية لتوضع الدعامات:

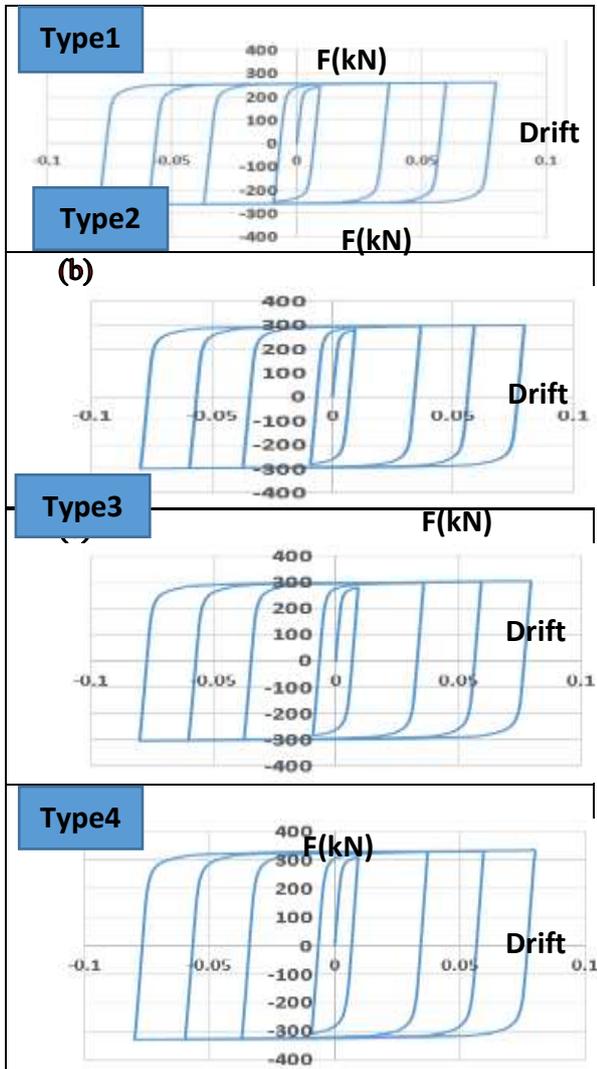
- ❖ الحالة الأولى (Type1): استخدام دعامتين وتم توزيعها كما في الشكل (a-19).
- ❖ الحالة الثانية (Type2): استخدام 4 دعامات وتم توزيعها كما في الشكل (b-19).
- ❖ الحالة الثالثة (Type3): يكون توزع الدعامات كما هو الحالة الثانية، مع إضافة دعامتين صغيرتين في منتصف جدار القص المعدني، كما هو موضح بالشكل (c-19).
- ❖ الحالة الرابعة (Type4): استخدام 6 دعامات وتم توزيعها كما في الشكل (d-19).
- ❖ الحالة الخامسة (Type5): استخدام 10 دعامات وتم توزيعها كما في الشكل (e-19).





الشّكل (20) توزيع الإجهادات ضمن النماذج.

وتم الوصول إلى النتائج المبينة بالشكل (21) والذي يوضح الحلقات الهستيرية للإطار المملوء بجدار القصّ المعدني المدعم بدعامات صفائح معدنية مع تغيير عدد هذه الدعامات.



الإجهاد المطبق على جدار القص المعدني إجهاد التحنيب

الحرج τ_{cr}

$$\tau_{cr} = K \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (10)$$

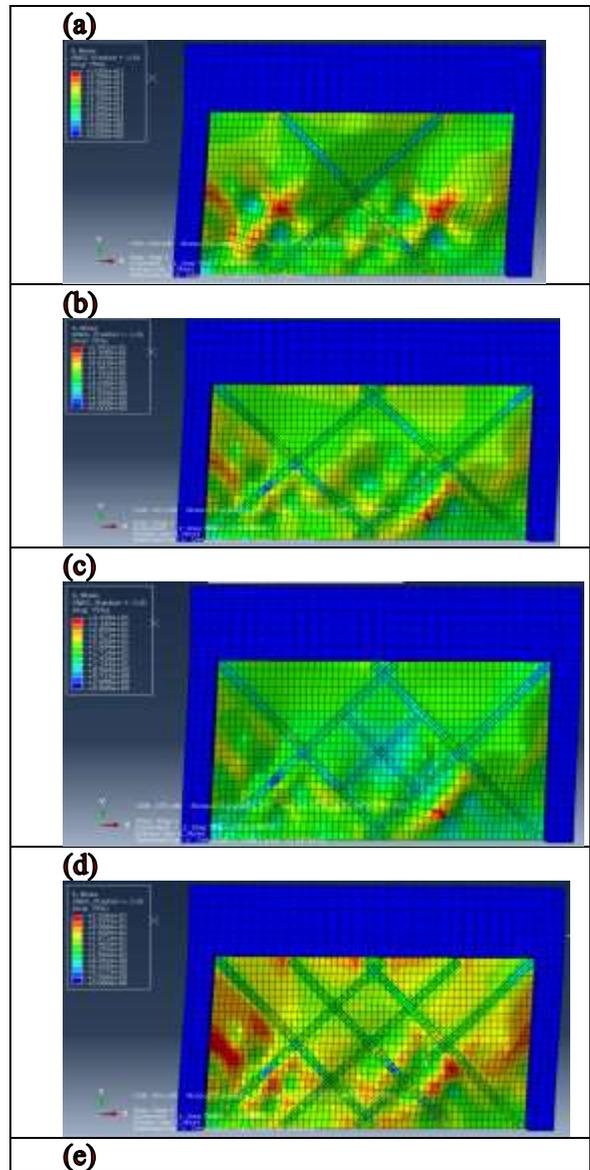
حيث: b: بُعد الصفيحة المطبق عليها الحمل.

t: سماكة الصفيحة المعدنية.

ν : معامل بواسون.

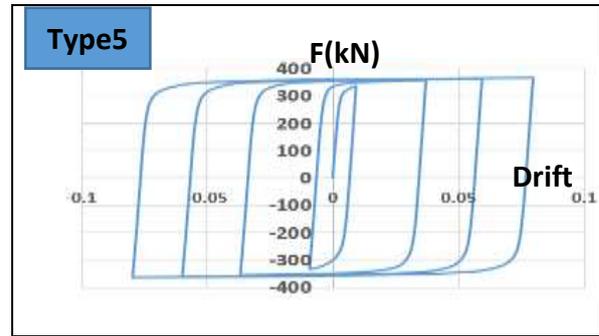
E: معامل مرونة مادة الصفيحة المعدنية.

K: معامل التحنيب.

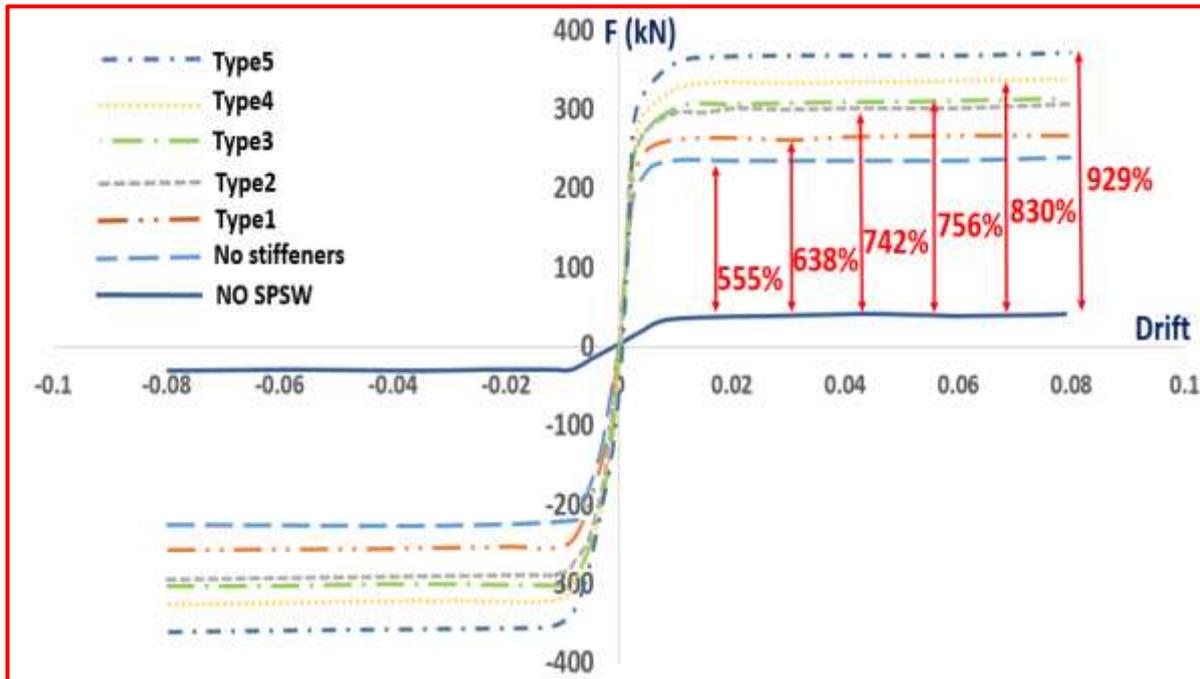


وبالعودة إلى الشكل (21)، تمّ الملاحظة أنه عند زيادة عدد الدعامات فإنه يؤدي إلى توسع في شكل الحلقات الهستيرية.

ويوضح الشكل (22) مقارنة مغلف الحلقات الهستيرية للإطار بدون جدار قص معدني، مع مغلف الحلقات الهستيرية للإطار المملوء بجدار قص معدني بدون دعامات بالإضافة إلى رسم المغلفات الخاصة بوجود الدعامات المعدنية مع تغيير عدد هذه الدعامات.



الشكل (21) الحلقات الهستيرية للنماذج المدروسة.



الشكل (22) مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية للنماذج المدروسة.

وكما تمّ الملاحظة أن مغلف الحلقات الهستيرية عند استخدام شكل توضع الدعامات Type3، يعطي تحسن ضئيل في الحلقات الهستيرية وذلك بالمقارنة مع مغلف الحلقات الهستيرية عند استخدام شكل توضع الدعامات Type2، لذلك فإن إضافة دعامتين صغيرتين في منتصف جدار القص المعدني كما في الحالة Type3 لا يساهم بشكل كبير في زيادة قدرة تحمل جملة (الإطار + SPSW + دعامات).

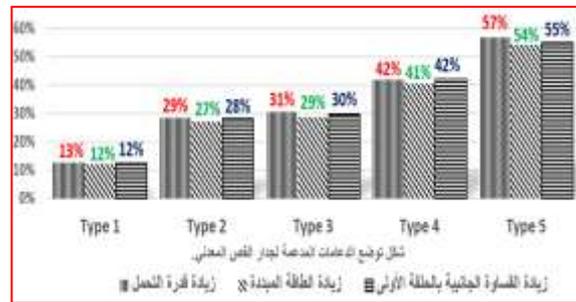
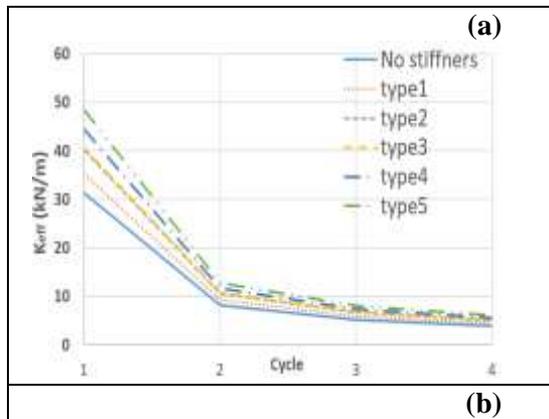
وبالعودة إلى الشكل (22) والذي يوضح مقارنة مغلف الحلقات الهستيرية للإطار بدون جدار قص معدني، مع مغلف الحلقات الهستيرية للإطار المملوء بجدار قص معدني بدون دعامات أو بوجودها باعتبار تغيير عددها، فتمّ الملاحظة أنه مع زيادة عدد الدعامات وفق الحالات (Type1, Type2, Type3, Type4, Type5)، وبالمقارنة مع الإطار بدون جدار قص معدني فإن ذلك يؤدي إلى زيادة نسبة قدرة التحمل وفق القيم التالية على التوالي (555, 685, 814, 825, 926, 1021) %.

يوضح الجدول (3) والشكل (23) المقارنة بين الإطار المملوء بجدار قص معدني بدون دعّامات والإطار المملوء بجدار قص معدني مدعم بصفّائح معدنية مع تغيير عدد هذه الدعامات وباعتبار الإطار بدون دعّامات هو الحالة المرجعية. الجدول (3) مقارنة قيم الخصائص الديناميكية بين الإطار المملوء بجدار القص المعدني بدون دعّامات والإطار المملوء بجدار القص المعدني المدعم مع تغيير عدد هذه الدعامات.

شكل توضع الدعامات	قدرة التحمل الأعظمية (kN)	الفارق النسبي مقارنة مع No stiffeners (%)	الطاقة المبددة (kN.m)	الفارق النسبي مقارنة مع No stiffeners (%)	القساوة المكافئة عند الحلقة الأولى (kN/m)	الفارق النسبي مقارنة مع No stiffeners (%)
No stiffeners	233.24		118.29		31259.04	
Type1	262.80	13%	132.56	12%	35095.74	12%
Type2	299.75	29%	150.29	27%	40093.78	27%
Type3	304.68	31%	152.31	29%	40603.03	29%
Type4	331.12	42%	166.42	41%	44405.26	41%
Type5	366.11	57%	182.52	54%	48449.37	54%

وكما أن استخدام أكبر عدد من الدعامات (Type5) يعطي الجملة (الإطار + SPSW + دعّامات) أفضل القيم من الناحية الإنشائية الزلزالية.

يوضح الشكل (24) مقارنة (القساوة الجانبية والطاقة المبددة وقدرة التحمل الأعظمية) لكل حلقة من حلقات التحميل الدوري الموضح سابقاً، وذلك للإطار المملوء بجدار القص المعدني بعد تدعيمه بدعامات صفّائح معدنية مع تغيير عددها.



الشكل (23) مقارنة نسب الفروقات النسبية بين الإطار المملوء بجدار القص المعدني بدون دعّامات والإطار المملوء بجدار القص المعدني المدعم مع تغيير عدد هذه الدعامات.

وبالعودة إلى الشكل (23) والجدول (3) تم الملاحظة أنه عند زيادة عدد الدعامات تؤدي إلى زيادة في قدرة التحمل الأعظمية والطاقة المبددة الكلية والقساوة الجانبية عند الحلقة الأولى، فعند استخدام أقل عدد من الدعامات (Type1)، فإن نسبة الزيادة في قدرة التحمل وصلت إلى 13%، وكما وصلت نسبة الزيادة في الطاقة المبددة والقساوة الجانبية إلى 12%، أما عند استخدام أكبر عدد من الدعامات (Type5)، فإنه نسبة الزيادة في قدرة التحمل وصلت إلى 57%، وكما وصلت النسبة في زيادة الطاقة المبددة إلى 54%، بينما وصلت نسبة الزيادة في القساوة الجانبية إلى 55%.

لذلك فإن زيادة عدد الدعامات المدعمة لجدار القص المعدني تؤدي إلى تحسين في سلوك الإطارات البيتونية المسلّحة من الناحية الإنشائية في مقاومة الأحمال الجانبية،

• إن قدرة التحمل للجملة الإنشائية المدروسة تزداد قيمتها بشكل كبير عند دورة التحميل الثانية، أما في دورات التحميل المتبقية تزداد بشكل ضئيل.

ومن الشكل (c-24) تم ملاحظة ما يلي:

• إن الطاقة المبددة للجملة الإنشائية المدروسة تأخذ أصغر قيمة لها عند دورة التحميل الأولى، وتكون قيمة الطاقة المبددة متقاربة عند دورة التحميل هذه.

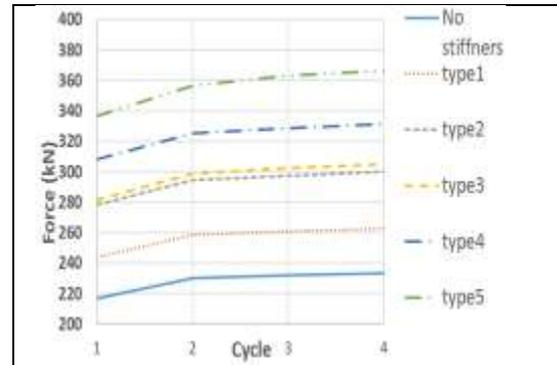
• إن الطاقة المبددة للجملة الإنشائية المدروسة تزداد قيمتها مع زيادة دورات التحميل، وتأخذ أكبر قيمة لها عند دورة التحميل الأخيرة، وكما تزداد قيمتها مع زيادة عدد الدعامات المدعمة لجدار القصّ المعدني.

6- الاستنتاجات:

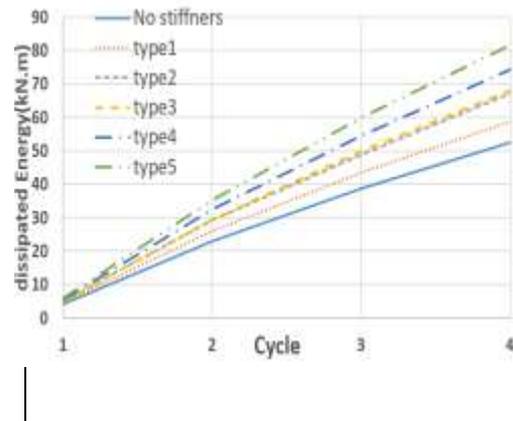
1- إن استخدام جدران قصيّة معدنيّة مألنة للإطارات البيتونيّة المسلّحة، أدّى إلى زيادة في قيمة قدرة التحمل بنسبة 555%، وزيادة في قيمة الطّاقة المبدّدة بنسبة 667%، وذلك بالمقارنة مع حالة عدم وجود جدران قصيّة معدنيّة.

2- كلما زاد عدد الدعامات كلما زادت قدرة التحمل والقساوة الجانبية والطاقة المبددة للإطار المملوء بجدار قص معدني مدعم بدعامات صفائح معدنيّة موافقة لحقول الشّد، فعند التدعيم بدعامتين تكون نسبة زيادة قدرة التحمل الأعظمية 13% بالمقارنة مع الإطار المملوء بجدار قص معدني بدون دعامات، بينما تكون هذه النسبة 57% عند التدعيم بأربع دعامات.

3- إن شكل توضع الدعامات Type3 (أربع دعامات ودعامتين صغيرتين في وسط جدار القصّ المعدني)، بالمقارنة مع شكل توضع الدعامات Type2 (أربع دعامات فقط)، يؤدي إلى زيادة قليلة في قدرة التحمل والقساوة الجانبية والطاقة المبددة للإطار المملوء بجدار قص معدني والمدعم بدعامات صفائح معدنيّة.



(c)



الشكل (24) مقارنة (القساوة الجانبية والطاقة المبددة وقدرة التحمل الأعظمية) لكل حلقة للإطار المملوء بجدار قص معدني بعد تدعيمه بدعامات صفائح معدنيّة مع تغيير عددها.

ومن الشكل (a-24) تم ملاحظة ما يلي:

• إن القساوة الجانبية للجملة الإنشائية المدروسة تأخذ قيمتها العظمى عند دورة التحميل الأولى، وتزداد قيمتها مع زيادة الدعامات المدعمة لجدران القصّ المعدنيّة.

• إن القساوة الجانبية للجملة الإنشائية المدروسة تتناقص قيمتها مع زيادة عدد دورات التحميل، وتتقارب قيمة القساوة المكافئة للحالات المدروسة عند دورة التحميل الأخيرة.

ومن الشكل (b-24) تم ملاحظة ما يلي:

• إن قدرة التحمل للجملة الإنشائية المدروسة تأخذ أصغر قيمة لها عند دورة التحميل الأولى، وتزداد قيمتها مع زيادة الدعامات المدعمة لجدران القصّ المعدنيّة.

- 4- مع زيادة عدد دورات التحميل للحمل المطبق على الإطارات البيتونية المملوءة بجدران قص معدنية، والمدعمة بالدعامات الموافقة لحقول الشد، أدى إلى تناقص بقيمة القساوة الجانبية وتراوح هذا التناقص ضمن المجال $10^3 [5-50]$ kN/m وذلك عند التدعيم بدعامات Type 5، وكما أدى إلى زيادة بقيمة الطاقة المبددة من أجل نفس النوع من التدعيم وتراوحت هذه الزيادة ضمن المجال $[5-81]$ kN.m.
- 7- التوصيات:
- 1- دراسة نماذج لإطارات بيتونية مسلحة مملوءة بجدران قصية معدنية ومدعمة بالدعامات الموافقة لحقول الشد، وذلك تحت تأثير عدة هزات أرضية.
- 2- دراسة أثر وجود التدعيم الموافق لحقول الشد، وذلك على إطارات مؤلفة من عدة فتحات وعدة طوابق.
- 3- دراسة أثر تغيير عدة بارامترات متعلقة بالدعامات مثل إجهاد الخضوع ومقاطع الدعامات، وذلك على السلوك الديناميكي للإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران قصية معدنية.
- التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References

- [1] 45. Rahmzadeh1a, A., Ghassemieh1b, M., Park, Y., & Abolmaali, A. (2016). **Effect of stiffeners on steel plate shear wall systems. Steel and Composite Structures**, 20(3), 545-569.
- [2] Anil, Ö., & Altin, S. (2007). **An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. Engineering Structures**, 29(3), 449-460.
- [3] ABAQUS, Version 6.14, 2014 - ABAQUS/ Standard User's Manual, ABAQUS Inc, USA.
- [4] Sümer, Y., & Aktaş, M. (2015). **Defining parameters for concrete damage plasticity model. Challenge Journal of Structural Mechanics**, 1(3), 149-155.
- [5] Hafezolghorani, M., Hejazi, F., Vaghei, R., Jaafar, M. S. B., & Karimzade, K. (2017). **Simplified Damage Plasticity Model for Concrete. Structural Engineering International**, 27(1), 68–78. doi:10.2749/101686616x1081.
- [6] EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [7] Mathias, N., Sarkisian, M., Long, E., & Huang, Z. (2008, July). **Steel Plate Shear Walls: Efficient Structural Solution for Slender High-Rise in China. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1020, No. 1, pp. 43-50). American Institute of Physics**
- [8] Alinia, M. M., Gheitasi, A., & Erfani, S. (2009). **Plastic shear buckling of unstiffened stocky plates. Journal of Constructional Steel Research**, 65(8-9), 1631–1643. doi: 10.1016/j.jcsr.2009.04. 001