

سلوك الأنظمة الإنشائية الثنائية المكونة من إطار بيتوني مسلح متعدد الطوابق والمجازات مع صفائح معدنية جزئية بفتحة موازية للجوائز لتعمل كجدران قص

د. بسام حويجة*

د. غاندي لוחو**

أسامة طراف***

(تاريخ الإيداع 4 / 7 / 2016. قُبِلَ للنشر في 19 / 10 / 2016)

□ ملخص □

تعد الإطارات أحد أنواع الجمل الإنشائية لمقاومة الأحمال الزلزالية، يتم رفع كفاءة هذه الإطارات بطرق عدة حيث تعتبر إضافة صفائح معدنية ضمن مجاز الإطار لتعمل كجدران قص إحدى هذه الطرق. يهدف هذا البحث لدراسة تأثير تقوية الإطارات البيتونية المسلحة بإضافة صفائح معدنية جزئية بفتحة موازية للجوائز لتعمل كجدران قص ضمن مجاز الإطار. استعمل في الدراسة التحليل العددي باستخدام نظرية العناصر المحدودة (Finite Element Method) واعتماد التحليل اللاخطي والذي يأخذ بالاعتبار لاخطية المادة و تأثير التشوهات الكبيرة (Geometrically and Materially Non-Linear Analysis, GMNLA). استخدمت في البحث طريقة الدفع الجانبي المتزايد (Pushover) لدراسة تصرف الإطار البيتوني المسلح مع صفيحة معدنية جزئية بفتحة موازية للجوائز على مقاومة الأحمال الجانبية. يبين البحث أن تقوية الإطارات البيتونية المسلحة بجدران قص معدني جزئية بفتحة موازية للجوائز قد أدى لزيادة المقاومة بشكل ملحوظ بالإضافة لزيادة قدرة الحملة على تبديد الطاقة الزلزالية.

الكلمات المفتاحية: إطار بيتوني مسلح، صفائح معدنية جزئية كجدران قص، تحليل ستاتيكي لاخطي، تبديد الطاقة الزلزالية.

*أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
**مدرس - قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
***طالب دكتوراه - قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Behavior of Dual structural Systems Consisting of multi-storey 'multi-span, Reinforced-Concrete Frame with Partial Steel Plate Shear Walls 'with opening parallel to beams

Dr. Bassam Hwaija*
Dr. Ghandi Loho**
Ussamah Tarraf***

(Received 4 / 7 / 2016. Accepted 19 / 10 / 2016)

□ ABSTRACT □

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

This research aims to study the effect of strengthening of the reinforced concrete frames by inserting partial steel plate shear walls, the opening is parallel to beams, embedded within the frame. This study applied numerical analysis using Finite Element Method (FEM) using nonlinear pushover analysis based on geometrical and Material Non-Linear Analysis (GMNLA). Using these methods allow us to study the behavior of the Partial steel plate that seal the whole span of the reinforced concrete frame with opening parallel to beams against lateral loads.

This study conclude that using a partial steel plate shear wall, with opening parallel to beams with reinforced- concrete frames can enhance the resistance and the seismic energy dissipation significantly.

Key words: Reinforced- Concrete Frame, Steel Plate Shear Wall, nonlinear pushover analysis, Seismic energy dissipation.

* Professor , Department Of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Member of the Syrian Standard Scientific Committee.

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

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

مقدمة.

تعتبر إضافة جدران قص لهبنى قائم من أكثر الطرائق شيوعاً لرفع كفاءتها الزلزالية، وهي تستخدم لزيادة صلابته ومقاومته لكونها طريقة اقتصادية وسهلة التوافق مع معظم المنشآت البيتونية المسلحة القائمة، واستخدمت الصفائح المعدنية الجزئية بفتحة موازية كجدران قص لتشارك الإطارات في تحمل القوى الأفقية الناتجة عن الزلازل. تتميز الصفائح المعدنية بسماكة صغيرة نسبياً مقارنة مع بعديها الآخرين مما يجعل سلوكها الإنشائي لمقاومة الإجهادات المختلفة مغايراً لسلوك المقاطع التي لا تعمل بشكل صفائحي من حيث سيطرة التحنيط الموضعي على عملها.

أهمية البحث و أهدافه.

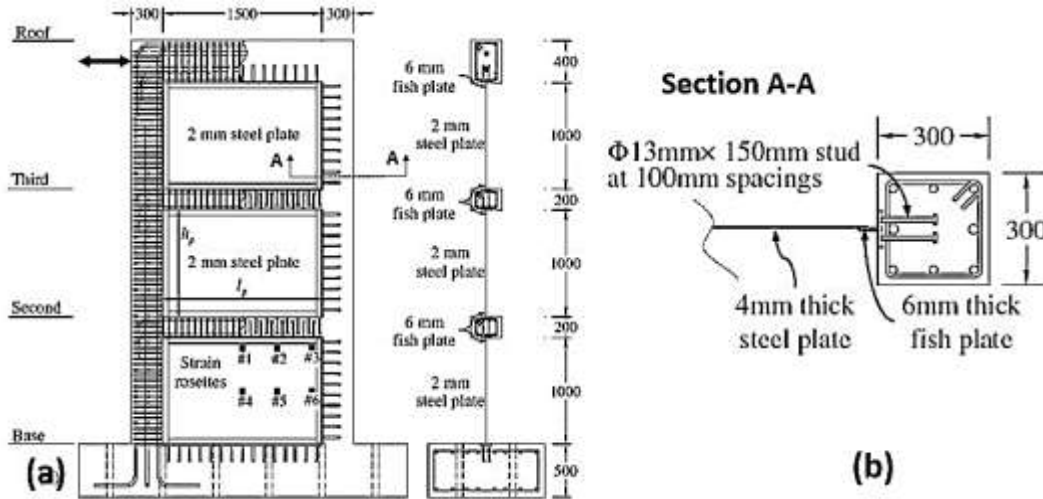
يهدف البحث لدراسة تأثير استعمال الصفائح المعدنية الجزئية كجدران قص (Partial SPSW) لتقوية الجمل الإطارية البيتونية المسلحة باستخدام تحليل ستاتيكيلاخطي بطريقة الدفع الجانبي (Pushover Analysis) يعتمد على برنامج (6.12) Abaqus [1]. لإطار بيتوني مسلح اعتمدت أبعاده ومقاطعها من دراسة تجريبية [2] لبيان تأثير إجراء فتحة موازية للجوائز في الصفيحة المعدنية، و تقييد الطرف الحر للصفيحة الجزئية بمدعمة معدنية و تأثير ذلك على سلوك الإطار المدعم.

طرائق البحث ومواده.

1دراسة مرجعية.

اخترع عملياً (Choi and Park, 2011) [2] بدراسة تجريبية إطار بيتوني مسلح مؤلف من ثلاثة طوابق ومجاز لوح وموثوق في أسفل أعمدته بأساس صلد الشكل (1)، وأضيفت صفائح معدنية لتعمل كجدران قص، ثم طبق انتقال أفقي دوري في أعلى الإطار. النموذجين المختبرين كما يلي:

النموذج (SPIW): يمثل الإطار البيتونى المسلح بنسبة تسليح في الأعمدة (3.7%) مضاف له صفيحة معدنية بسماكة ($t_p=2\text{ mm}$). **النموذج (RCF):** يمثل الإطار البيتونى المسلح بنسبة تسليح في الأعمدة (3.7%).
و يبين الشكل (a-1) أبعاد النموذج (SPIW) فيظهر أبعاد مقطع الأعمدة ($h_c=b_c=300\text{ mm}$) و أبعاد مقطع الجائزين للطابقين الأول والثاني ($h_b=200\text{ mm}, b_b=300\text{ mm}$) و أبعاد مقطع الجائز للطابق الثالث ($h_b=400\text{ mm}, b_b=300\text{ mm}$) و أبعاد الصفيحة المعدنية ($h_p=1000\text{ mm}, b_p=1500\text{ mm}$).



الشكل (1): أبعاد الإطار المختبر وأبعاد مقاطعه (Choi and Park, 2011).

ويبين الشكل (b-1) المقطع (Section A-A) فيظهر آلية الاتصال الوثيق بين الصفيحة وجسم الإطار البييتوني المسلح، فاستعملت روابط قص معدنية (Shear connections) بقطر ($\varnothing=13\text{mm}$) وطول ($L=150\text{mm}$) مع تباعدات ($S=100\text{mm}$)، ولحمت الروابط بجناحي عنصر معدني بشكل (T) بسماكة ($t_T=6\text{mm}$)، ولحمت الصفيحة بجسد هذا العنصر.

2 توصيف العناصر المستخدمة في النمذجة:

2-1 العنصر المستخدم لنمذجة البيتون و الصفيحة المعدنية الشكل (a-2).

تم لنمذجة البيتون استخدام العنصر [1](S4R) وهو عبارة عن عنصر مؤلف من أربع عقد (Shell-Element) وكل عقدة تحتوي ست درجات حرية (ثلاثة دورانات و ثلاثة انتقالات)، والرمز (R) يعني أنه قد تم تخفيض عدد نقاط غاوس لنقطة واحدة، حيث أن نقاط (Gauss) هي بالتعريف النقاط التي يتم عندها التكامل أثناء الحل بنظرية العناصر المحدودة.

2-2 العنصر المستخدم لنمذجة فولاذ التسليح الشكل (b-2).

تم لنمذجة فولاذ التسليح استخدام العنصر (T2D2)، وهو عبارة عن عنصر شبكي (Truss Element) مؤلف من عقدتين تحتوي كل عقدة على ثلاث درجات حرية (انتقالات فقط) [1].

ويبين الشكل (c-2) الإطار (RCF) من الدراسة التجريبية المرجعية (Choi and Park, 2011) مع تسليحه الطولي والعرضي بعد نمذجته باستخدام البرنامج (Abaqus (6.12).

3 توصيف مواد البناء.

1-3 البيتون (Concrete):

اعتمد تصرف مادة البيتون على الضغط وفق الكود الأوروبي [3](Eurocode 2, 2004) حيث تبدأ المادة بالتصرف بشكل خطي للوصول للقيمة ($0.4f_{cm}$)، حيث (f_{cm}) هي المقاومة المتوسطة على الضغط، بعدها تدخل المادة للمرحلة اللاخطية بشكل تابع رياضي (قطع مكافئ) الشكل (a-3). اعتمدت المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط من الدراسة التجريبية مساوية للقيمة ($f_{cm}=26.4\text{Mpa}$) واعتمد معامل مرونة (Elastic Modulus) البيتون مساوٍ للقيمة ($E_{cm} = 29.5\text{ Gpa}$)، حيث تم استنتاجه وفق العلاقة (1) (Eurocode 2, 2004) [3].

$$E_{cm} = 22 \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3} \dots\dots\dots(1)$$

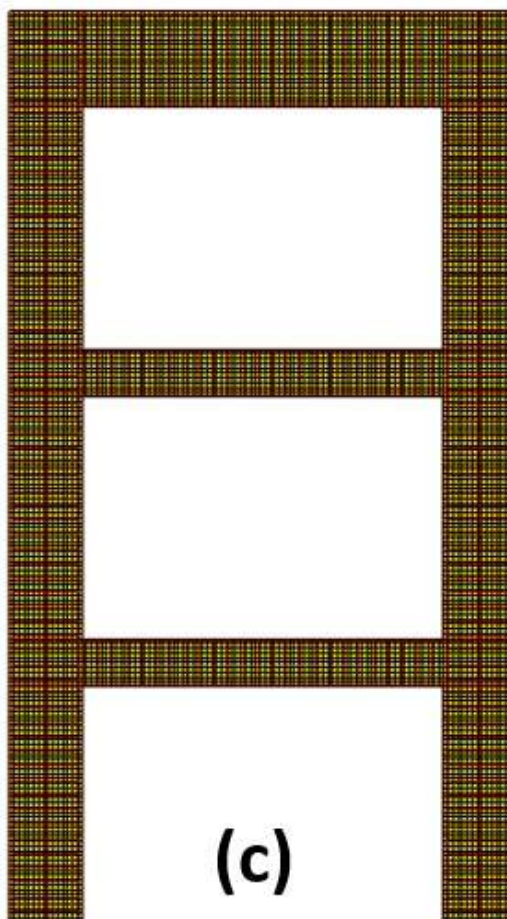
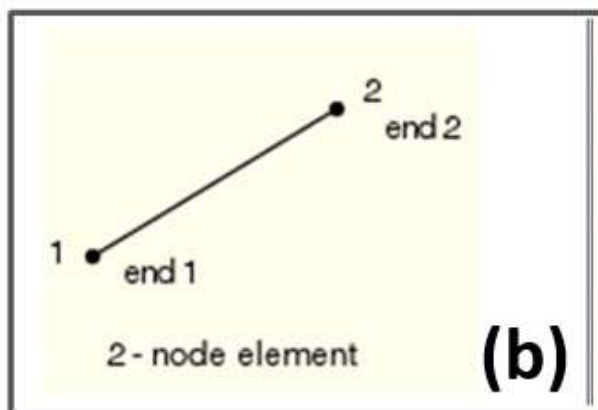
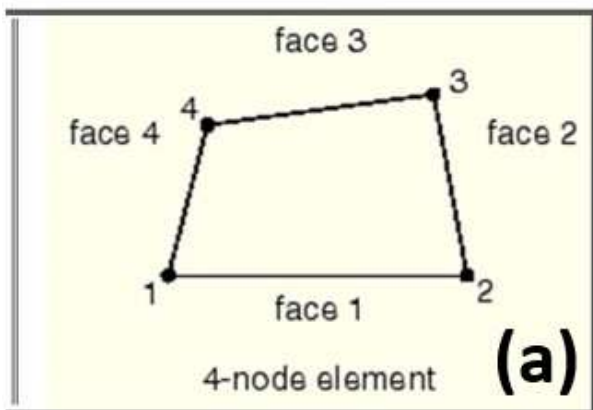
اعتمد التشوه النسبي (Strain) عند إجهاد الضغط الأعظمي مساوٍ للقيمة $(\epsilon_{c1}=1.93\%)$ حيث تم استنتاجه وفق العلاقة (2) من الكود (Eurocode 2,2004)[3].

$$\epsilon_{c1} \% = 0.7 (f_{cm})^{0.31} \dots\dots\dots(2)$$

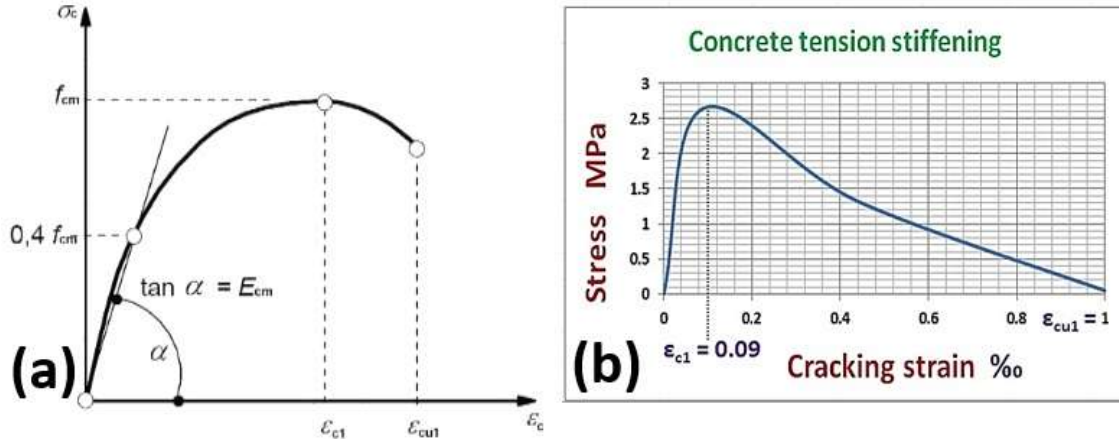
اعتمد التشوه النسبي للبيتون (Strain) عند الانهيار مساوٍ للقيمة $(\epsilon_{cu1} = 3.5\%)$ حيث تم استنتاجه وفق العلاقة (3) من الكود (Eurocode 2, 2004)[3].

$$\epsilon_{cu1} \% = 2.8 + 27 \left[\frac{(98-f_{cm})}{100} \right]^4 \dots\dots\dots (3)$$

تم تمثيل تقسية الشد (Tension Stiffening) في الدراسة كما في الشكل (b-3) حيث يبدأ إجهاد الشد بالتزايد من الصفر ليصل لقيمة عظمى $(f_t=2.64\text{Mpa})$ حيث التشوه النسبي على الشد مساوٍ للقيمة $(\epsilon_{c1}=0.09\%)$ عندها يبدأ البيتون بالتشقق فينخفض إجهاد الشد مع تزايد التشوه النسبي على الشد، ليصل لقيمة شبه معدومة حيث التشوه النسبي على الشد مساوٍ إلى $(\epsilon_{cu1} = 1\%)$.



الشكل (2):العناصر المستخدمة في النمذجة لنمذجة الإطار (RCF) في برنامج (Abaqus 6.12)..

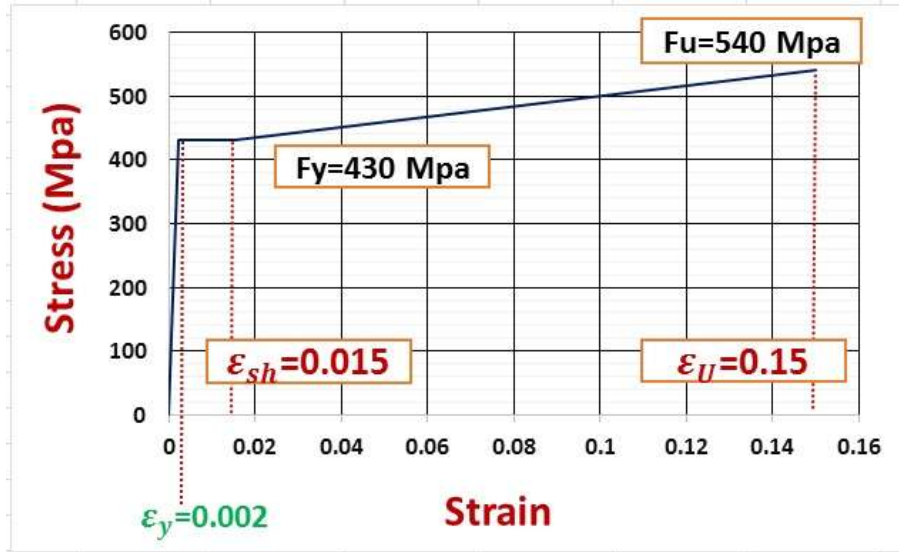


الشكل (3): سلوك مادة البيتون على الضغط وتمثيل تقسية الشد (Tension Stiffening).

23 الفولاذ الإنشائي و فولاذ التسليح:

➤ فولاذ تسليح العمود:

اعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي للعمود من الدراسة التجريبية ($f_y=430\text{MPa}$) ومعامل المرونة مساوٍ للقيمة ($E_s=200\text{GPa}$)، واعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح العرضي للعمود من الدراسة التجريبية ($f_y=486\text{Mpa}$) ومعامل المرونة ($E_s=200\text{GPa}$). ويبين الشكل (4) مخطط الإجهاد-التشوه لفولاذ الأعمدة،



الشكل (4): مخطط الإجهاد-التشوه لفولاذ تسليح الأعمدة.

➤ فولاذ تسليح الجانز:

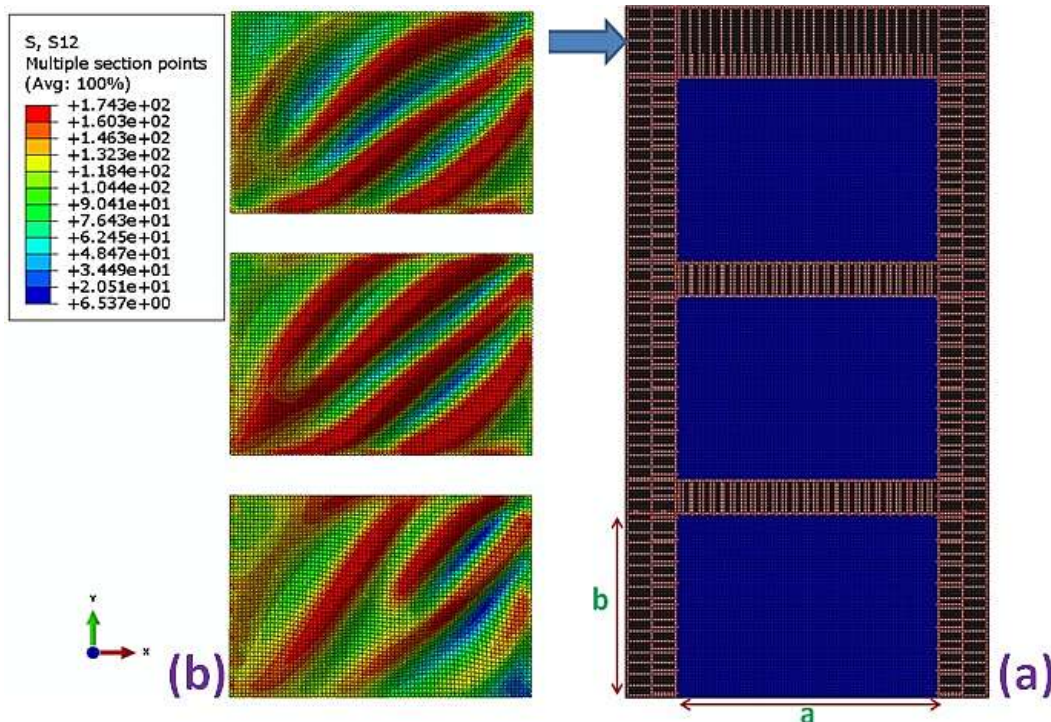
اعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي للجانز من الدراسة التجريبية ($f_y=471\text{MPa}$) ومعامل المرونة مساوٍ للقيمة ($E_s=200\text{GPa}$)، واعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح العرضي للجانز من الدراسة التجريبية ($f_y=486\text{Mpa}$) ومعامل المرونة مساوٍ للقيمة ($E_s=200\text{GPa}$).

➤ فولاذ الصفيحة المعدنية:

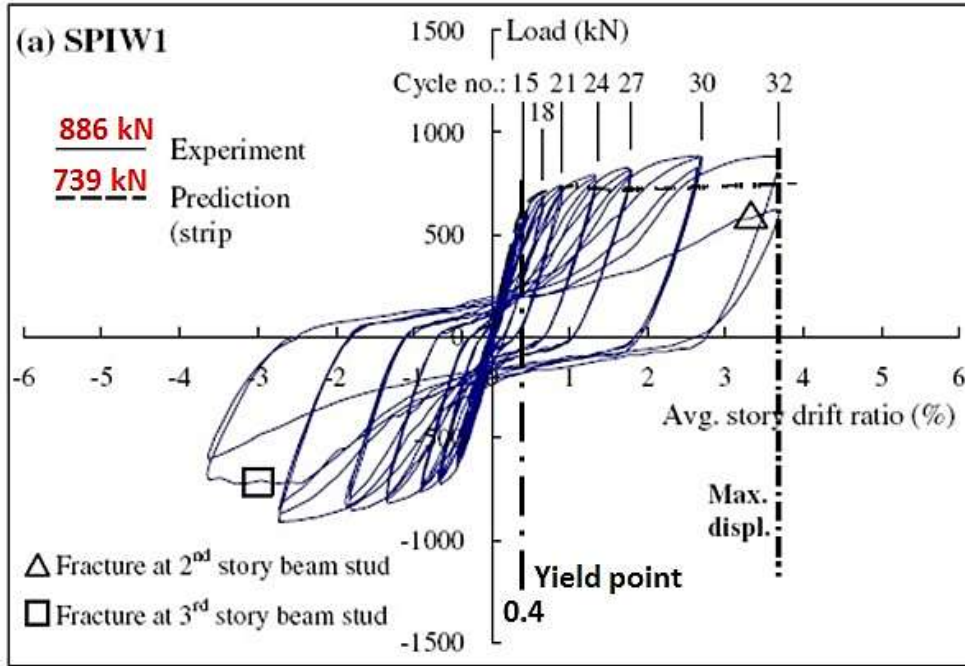
اعتمد إجهاد خضوع فولاذ الصفيحة من الدراسة التجريبية ($f_y=302\text{MPa}$) ومعامل المرونة ($E_s=200\text{GPa}$).

4 توثيق و معايرة النموذج (SPIW).

يبين الشكل (a-5) النموذج (SPIW) بعد نمذجته في برنامج (ABAQUS(6.12)، إن (τ_{cr}) إجهاد التحنيب المماسي يساوي ($\tau_{cr} = 8.3\text{MPa}$) وهو أصغر من الإجهاد المماسي المتشكل في الصفيحة نتيجة الدراسة الحالية ($S_{12} = 174\text{MPa}$) كما يظهر الشكل (b-5) ما يفسر تحنيب الصفيحة وتشكل حقول الشد. يبين الشكل (6) مخطط القوة-الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg.story drift ratio%) للدراسة المرجعية التجريبية للنموذج (SPIW) ، حيث يبين أن الإطار قد أبدى قدرة تحمل تجريبية (Experimental) وصلت للقيمة ($P=886\text{kN}$) بينما انخفضت قدرة التحمل التحليلية (Analytical) للقيمة ($P=739\text{ kN}$) حيث كان الفرق (17%) عن النتائج التجريبية، يعود السبب لأن النموذج التحليلي تم بنائه بطريقة (Strip model) بالإضافة لعدم أخذ تأثير التقسية التشوهية للفولاذ بالاعتبار، و يبين أنه عند نقطة خضوع فولاذ التسليح (Yield point) كانت الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية مساوية للقيمة (0.4%)، بينما وصلت الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية بعد انتهاء التحميل للقيمة (3.7%).

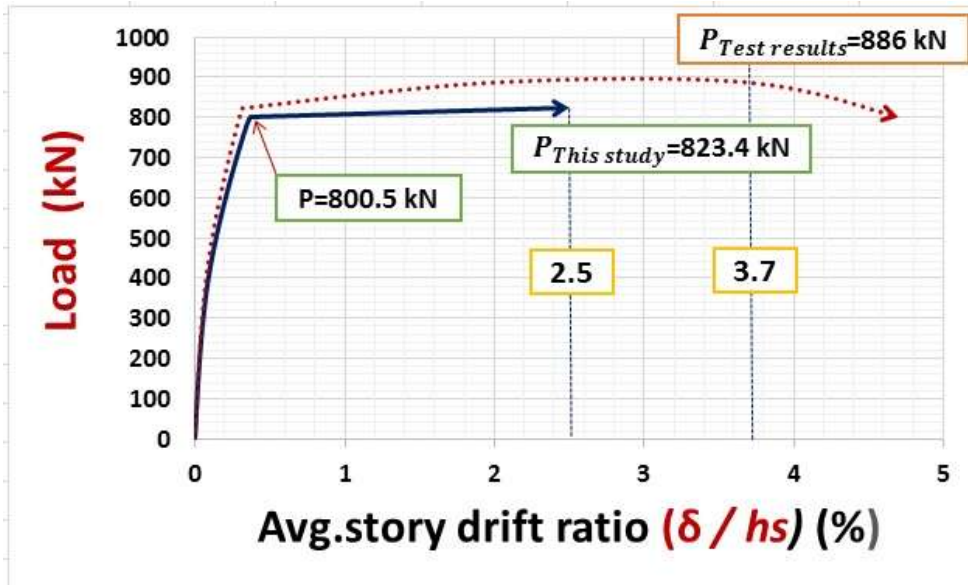


الشكل (5): نمذجة النموذج (SPIW) مع الإجهاد المماسي المتشكل في الصفيحة ($t_p = 2\text{ mm}$).



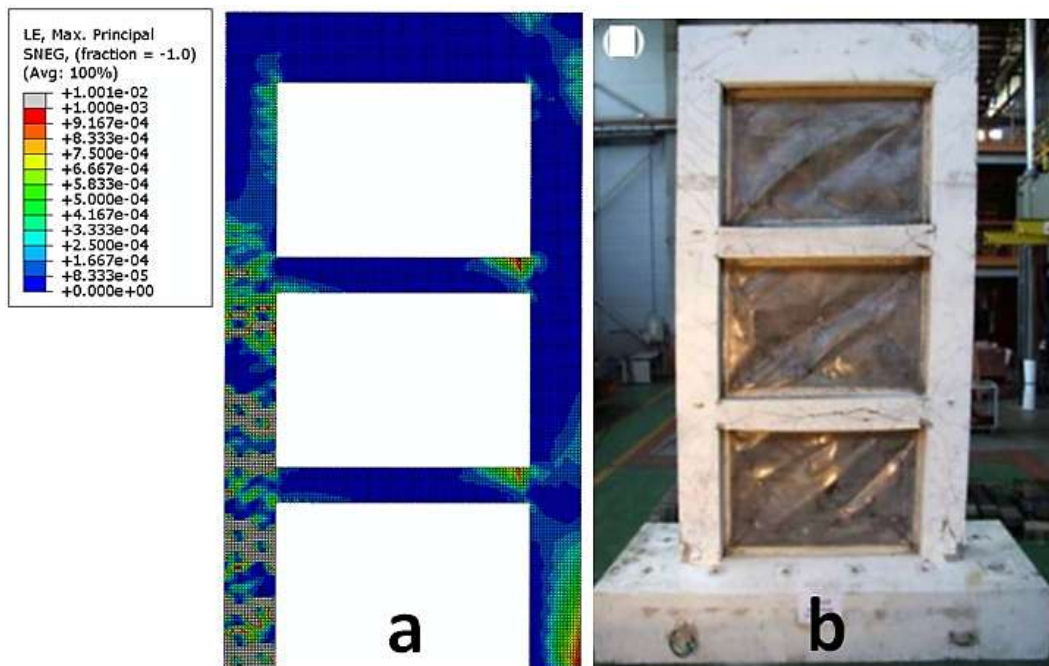
الشكل (6): مخطط القوة-الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (% Avg. story drift ratio) في أعلى الإطار للنموذج (SPIW).

يبين الشكل (7) مخطط القوة-الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية، تمت فيه المقارنة بين نتائج الدراسة المرجعية التجريبية للنموذج (SPIW) مع هذه الدراسة (This study)، يبين المخطط وصول قدرة التحمل للدراسة الحالية للقيمة (P=800.5 kN) ونتيجة التصلب التشوهي للفولاذ ارتفعت قدرة التحمل لتصل للقيمة (P=823.4 kN) و بفرق (7%) فقط عن النتائج التجريبية، فتكون نسبة الدقة لقدرة التحمل للنموذج العددي للدراسة الحالية (μ = 93%)، حيث تم إيقاف التحليل عند إزاحة طابقية نسبية وسطية مساوية للقيمة (2.5%) توافقت القيمة العظمى الواردة في الكود الأمريكي ASCE 7-05.



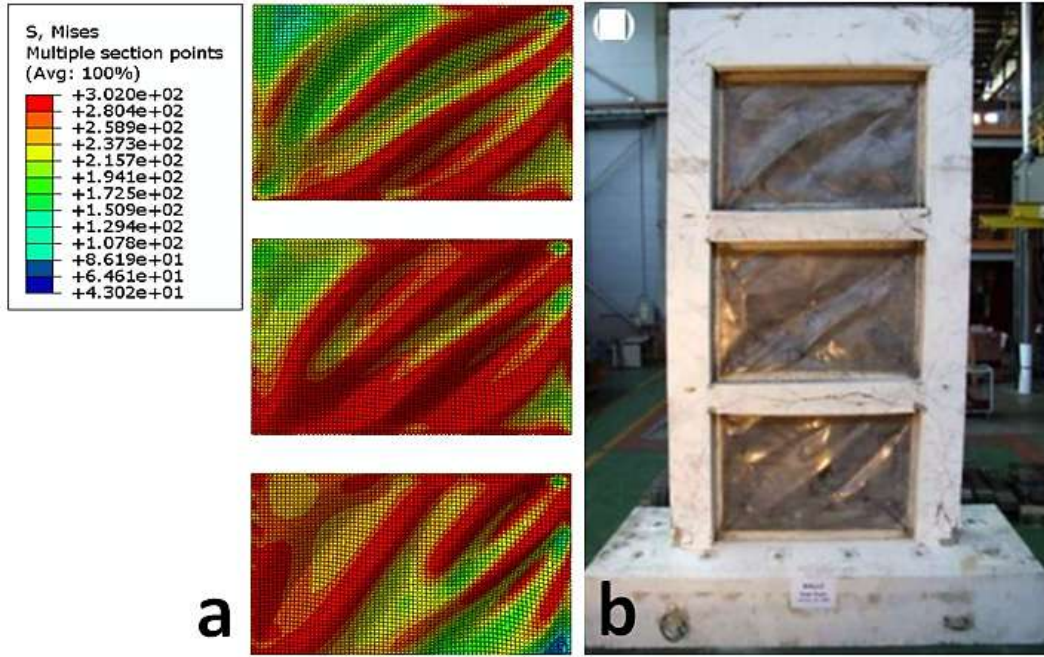
الشكل (7): مخطط القوة-الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (% Avg. story drift ratio) في أعلى الإطار للنموذج (SPIW).

يبين الشكل (a-8) الشكل المتشوه مع التشوهات الرئيسية الأعظمية (Max,Principal Strain) للنموذج (SPIW) الناتج عن الدراسة الحالية و للإطار البيتوني فقط، ف تظهر هذه الدراسة التحليلية (This study) تشكل مفاصل لدنة (Plastic hinges) في أسفل العمود الأيسر و نهايات الجوائز للطابقين الأول و الثاني، و ظهور تشققات على ارتفاع العمود الأيسر في الطابقين الأول و الثاني، و هذا ما تبينه الدراسة المرجعية التجريبية الشكل (b-8).



الشكل (8): النتائج المخبرية (Choi and Park,2011) للنموذج (SPIW) مع التشوهات النسبية الرئيسية الأعظمية (Max,Principal-Strain) الناتجة عن التحليل و للإطار البيتوني فقط.

يبين الشكل (a-9) الشكل المتشوه (Deformed shape) مع إجهاد فون ميسس (Von-Mises) للنموذج (SPIW) وللصفائح المعدنية فقط، فتشكلت حقول الشد بعد تحنيط الصفائح في الطوابق الثلاثة، كما وصل إجهاد لقيمة إجهاد الخضوع للصفائح ($f_y = 302 MPa$) وتلدنت الصفائح في الطوابق الثلاثة، وهذا ما تبينه الدراسة التجريبية الشكل (b-9).



الشكل (9): الشكل المتشوه (Deformedshape) مع إجهاد فون ميسس (VonMises) للصفائح فقطم الدراسة التجريبية للنموذج (SPIW) (Choi and Park ,2011).

النتائج والمناقشة.

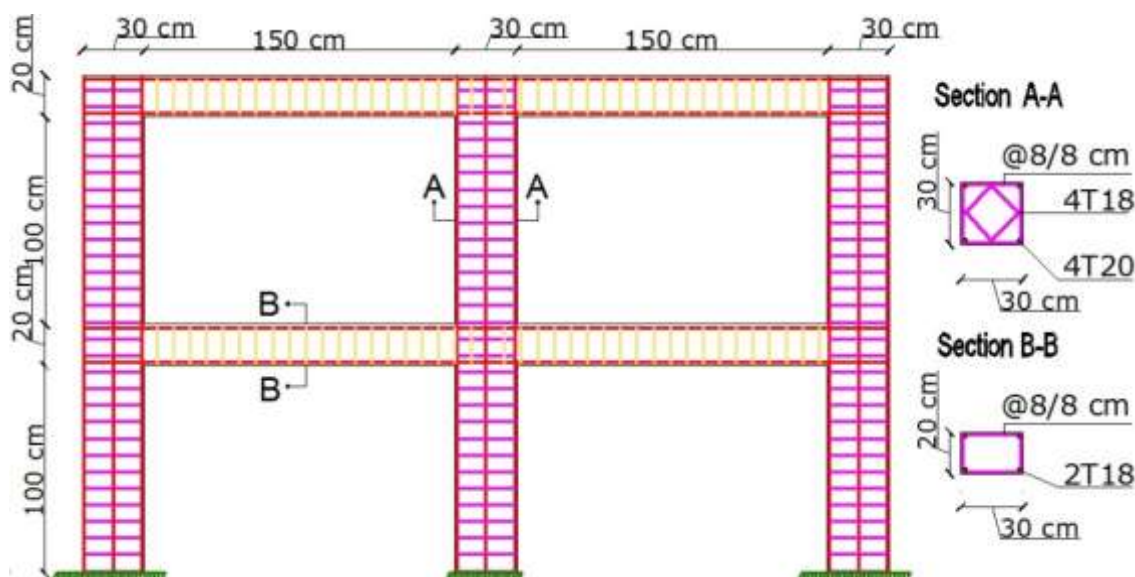
1 توصيف الإطار المدروس:

يبين الشكل (10) أبعاد النموذج المدروس المؤلف من طابقين و مجازين و موثوق في أسفل أعمدته بوثاقه تامة، فيه عطالة العمود أكبر من عطالة الجائز و مسلح باشتراطات الإطار المقاوم للعزوم وفق الكود [4]، الارتفاع الطابقوعرض فتحة المجازعلى الترتيب (h=100 cm, b=150 cm). كما يبين أبعاد مقطع العمود $h_c=300$ (4T20,4T18) مع قطر و عدد قضبان تسليحه الطولي و العرضي على الترتيب ($\mu = 2.5\%$), Ø8/8cm و يبين أبعاد مقطع الجائز ($h_b=200$ mm , $b_b=300$ mm) مع قطر و عدد قضبان تسليحه الطولي و العرضي على الترتيب (2T18, Ø8/8cm).

اعتمدت المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط مساوية للقيمة ($f_{cm}=25$ Mpa) واعتمد معامل مرونة البيتون مساو للقيمة ($E_{cm} = 30$ Gpa).

➤ فولاذ تسليح الأعمدة والجوائز:

اعتمد إجهاد خضوع فولاذ تسليح الطولي للأعمدة والجوائز ($f_y=400$ MPa) ومعامل المرونة مساو للقيمة ($E_s=200$ GPa)، واعتمد إجهاد خضوع فولاذ التسليح العرضي للأعمدة والجوائز ($f_y=240$ Mpa) ومعامل المرونة مساو للقيمة ($E_s=200$ GPa).



الشكل (10): أبعاد النموذج المدروس.

أضيفت صفيحة معدنية جزئية ($t_p=2mm$) بفتحة موازية للجوائز، ارتفاع الفتحة ($Opening=0.33b$) بحيث أصبحت العقدة الوسطية للطابق الأول غير مقيدة وحررة للدوران ، و من ثم أضيفت مدعّمات معدنية (Stiffeners) بأبعاد ($t_s=10mm, b_s=100mm$) للصفائح المعدنية الجزئية لتقيّد الطرف الحر للصفيحة . يبين الشكل (11) الإطار المدعم بالصفائح المعدنية الجزئية المقيدة بمدعّمات معدنية عند طرفها الحركما يبين أبعاد المقاطع للإطار والصفائح ($2 mm$) والمدعّمات المعدنية.

تستعمل الصفائح المعدنية الجزئية بفتحة موازية للجوائز كجدران قص في الحياة العملية لأسباب معمارية في مستوى الأقبية حيث تتواجد المدعّمات الميكانيكية التي تخدم المنشأ (مراجل، مدعّمات تكييف، أنابيب بأقطار كبيرة لمختلف الاستعمالات) وبالتالي تأتي الفتحات لتحافظ على استمرارية العمل على كامل مساحة المنشأ. ولأسباب إنشائية أيضاً، وذلك لتخفيض صلابة الصفيحة مما يخفض الطلب على عناصر الإطار المحيطي.

الشروط المحيطة للإطار البيتوني المسلح، وثيقة تامة في أسفله،

الشروط المحيطة للصفيحة المعدنية وثيقة تامة مع جسم الإطار البيتوني المسلح، ووثيقة تامة في الطرف

السفلي لصفائح الطابق الأول.

الشروط المحيطة للمدعّمة المعدنية وثيقة تامة مع الصفيحة الجزئية ومع الجوائز. تم لنمذجة المدعّمات

المعدنية استخدام العنصر (S4R).

تم التحميل بتطبيق انتقال أفقي في أعلى الإطار.

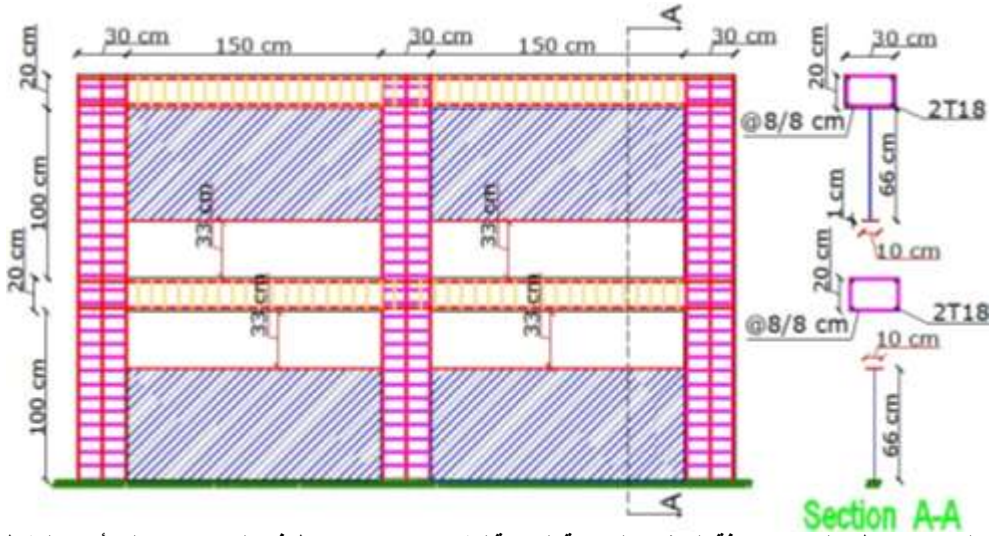
(The loading was controlled by the displacement at the top beam)

فولاذ الصفيحة المعدنية:

اعتمد إجهاد خضوع فولاذ الصفيحة المعدنية ($f_y=225MPa$) ومعامل المرونة ($E_s=200GPa$).

فولاذ المدعّمات المعدنية:

اعتمد إجهاد خضوع فولاذ المدعّمات المعدنية ($f_y=300MPa$) ومعامل المرونة ($E_s=200GPa$).



الشكل (11): الإطار المدعم بإضافة الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة بمدعمات عند طرفها الحروض عليه أبعاد المقاطع.

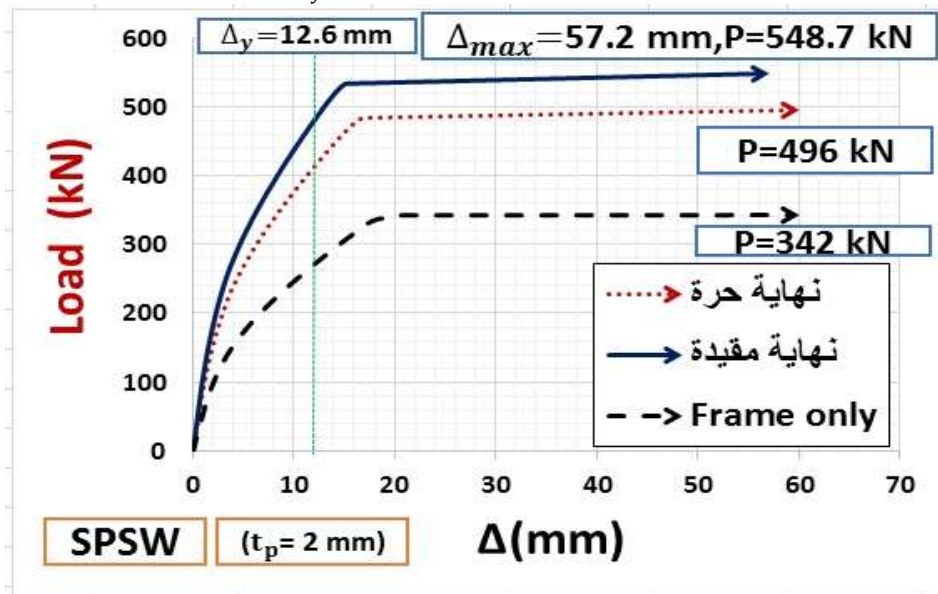
2-4 مناقشة نتائج التحليل.

يبين الشكل (12) مخطط القوة-الانتقال مع صفيحة معدنية جزئية ($t_p=2\text{mm}$)

تمت (Opening=0.33b)

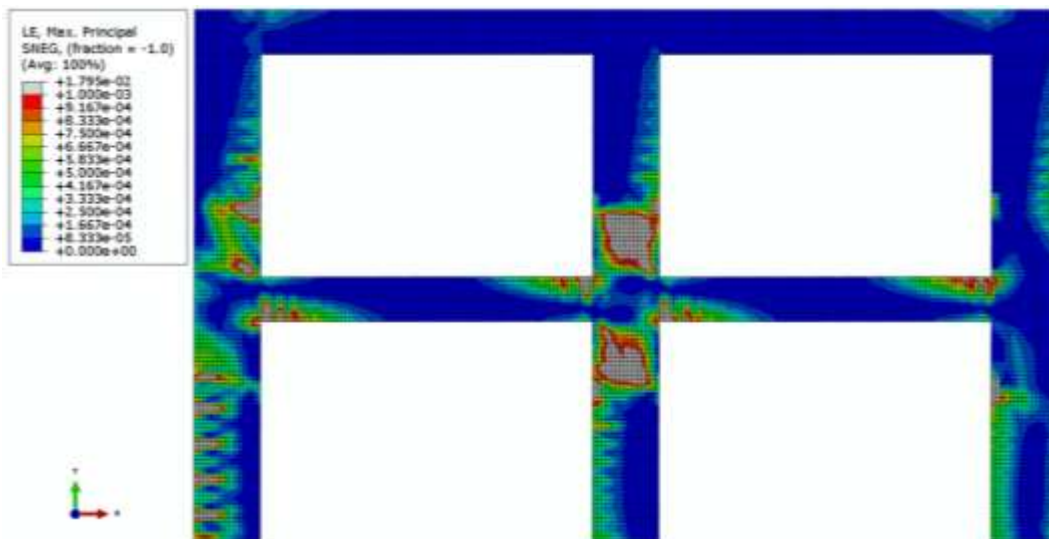
فيه المقارنة بين حالة الإطار (Frame only) والإطار مع الصفائح بنهاية حرة و الإطار مع الصفائح بنهاية مقيدة بالمدعمات المعدنية، فيه المحور الشاقولي يمثل القوة القص المطبقة (Load-kN) والمحور الأفقي يمثل الانتقال في أعلى الإطار (Δ -mm).

يظهر الشكل أن النموذج (Frame only) أبدى قدرة تحمل وصلت للقيمة ($P=342\text{kN}$) أما الإطار مع صفائح معدنية جزئية بنهاية حرة أبدى قدرة تحمل وصلت للقيمة ($P=496\text{kN}$)، بينما ارتفعت قدرة التحمل نموذج النهاية المقيدة للقيمة ($P=548.7\text{ kN}$) (بزيادة 10% عن قدرة تحمل نموذج النهاية الحرة) مع صلابة اعلى بقليل من نموذج النهاية الحرة، ومطاوعة انتقال وصلت للقيمة ($\mu = \frac{\Delta_{Max}}{\Delta_y} = \frac{57.2}{12.6} = 4.54$).



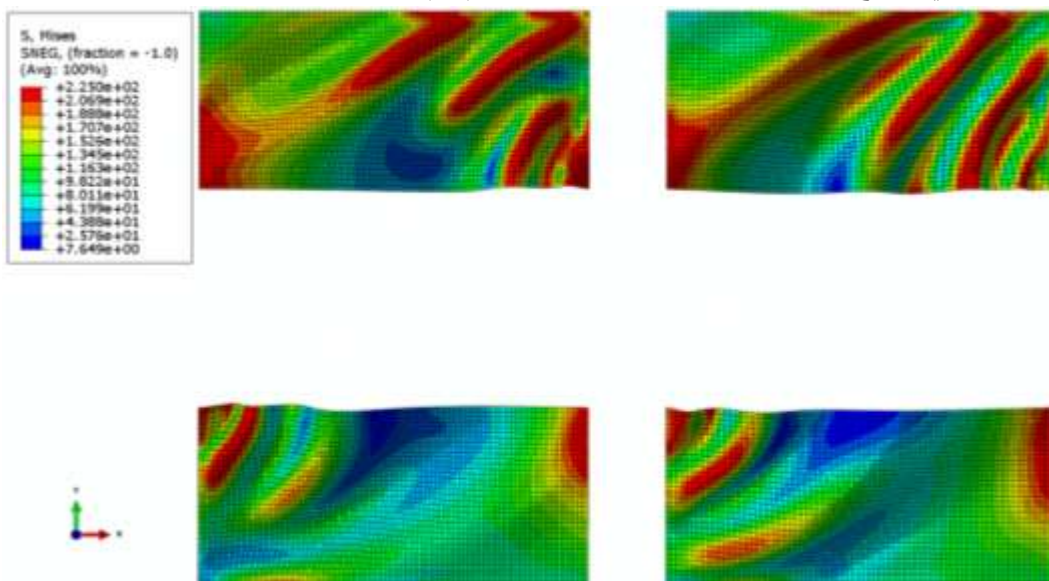
الشكل (12): مخطط القوة-الانتقال للإطار (Frame only) و (Partial SPSW) الحرة والمقيدة.

فبعد بدء التحميل وتزايد الحمولة المطبقة يبدأ البيتون بالتشقق في أسفل العمود الأيسر عند قوة مقدارها $(P=179.3 \text{ kN})$ ، ومع تزايد التحميل تنتشر التشققات في البيتون على ارتفاع العمود الأيسر للطابق الأول ويكتمل تشكل حقول الشد في الصفائح الأربع، وبنهاية التحميل تتزايد التشققات في البيتون لتغطي ارتفاع العمود الأيسر للطابقين، ويتشكل مفصلين لدنين فوق العقدة الوسطية وتحتها على ارتفاع الفتحة للعمود الوسطي، ويتشكل مفاصل لدنة في عقد الجائز الطرفيتين والوسطيتين للطابق الأول، كما يوضح الشكل (13).

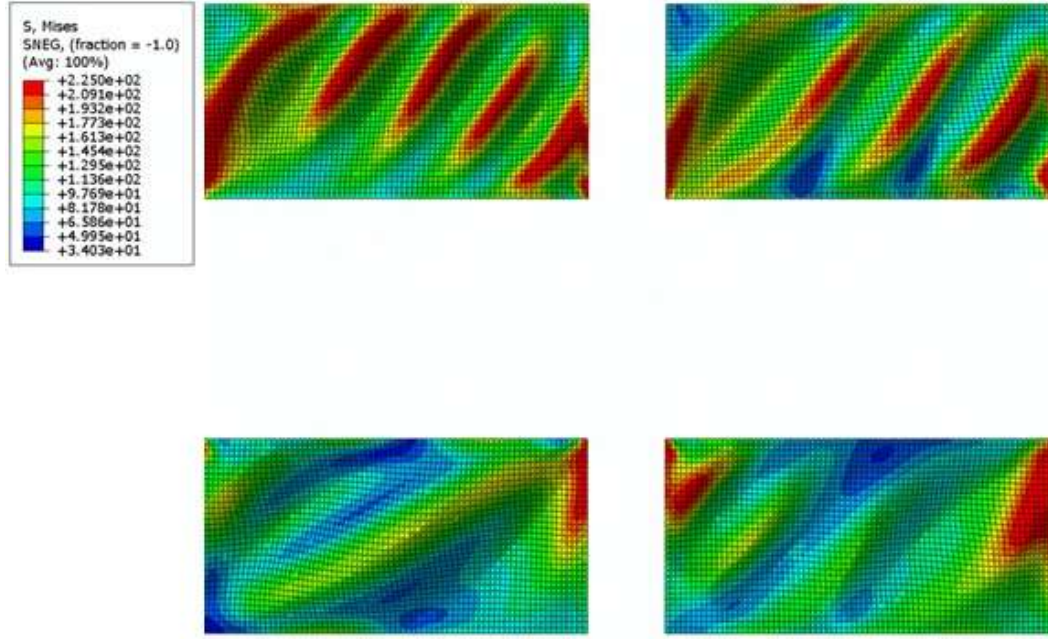


الشكل (13): تشكل مفصلين لدنين فوق العقدة الوسطية وتحتها على ارتفاع الفتحة للعمود الوسطي.

فبعد انتهاء التحميل تتركز نقاط الخضوع في مراكز تشكل حقول الشد للصفائح المعدنية الأربع حيث وصل إجهاد التلدن فون ميسس (Von-Mises) في الألواح الجزئية الأربعة لقيمة تساوي إجهاد الخضوع $(\sigma_y = 225 \text{ MPa})$ ، فيبين الشكل (14) الشكل المتشوه (Deformed shape) مع إجهاد فون ميسس (Von-Mises) للصفائح المعدنية الجزئية بنهاية حرة، فتظهر التشوهات عند النهاية الحرة للصفائح، وتخفي هذه التشوهات نتيجة التقيد بالمدعمات المعدنية في نموذج النهاية المقيدة وهذا ما يوضحه الشكل (15).



الشكل (14): الشكل المتشوه للصفائح الجزئية فقط $(t_p=2 \text{ mm})$ بنهاية حرة.



الشكل (15): الشكل المتشوه (Deformed-shape) للصفائح الجزئية المقيدة بمدعمات عند طرفها الحر ($t_p=2$ mm) مع إجهاد التلدن فون ميسس (Von-Mises) (بفتحة موازية للجوائز). (Opening =0.33b)

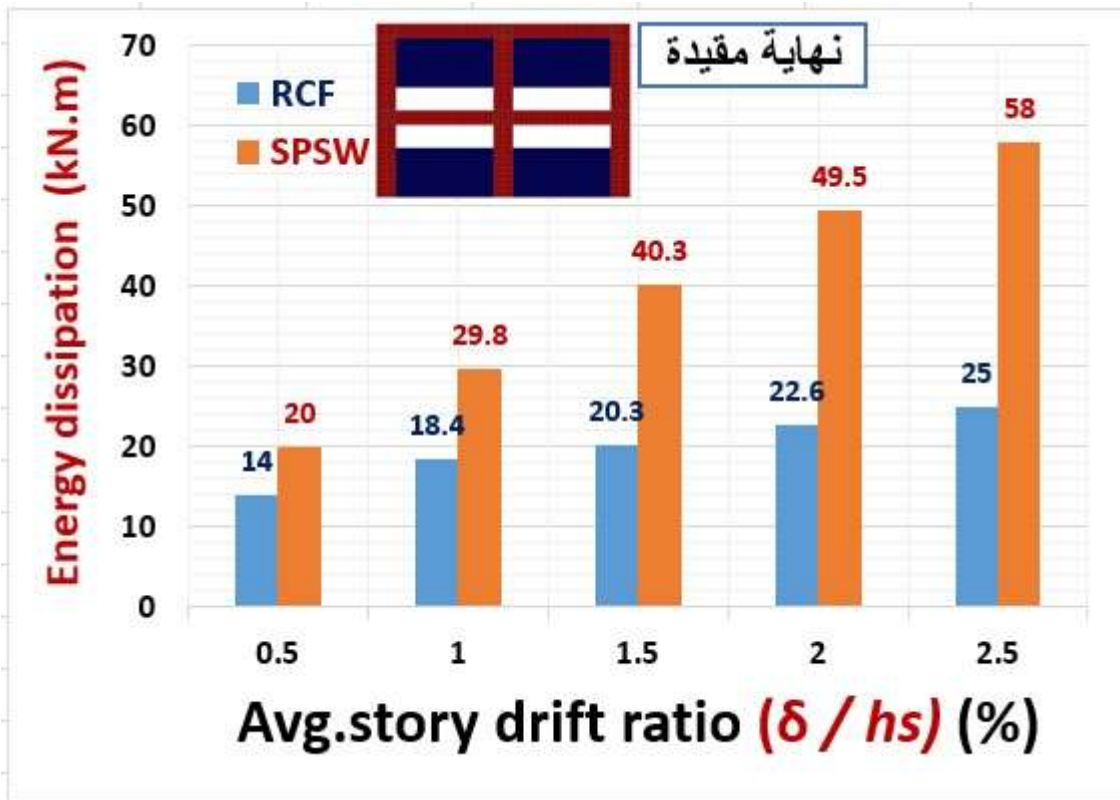
➤ قدرة تبديد الطاقة.

يبين الشكل (16) مقارنة الطاقة المبذوبة بين النموذج (RCF) و النموذج (SPSW)، فيه المحور الأفقي يمثل الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg-story drift ratio%) والمحور الشاقولي يمثل قيمة الطاقة المبذوبة (Energy dissipation kN.m).

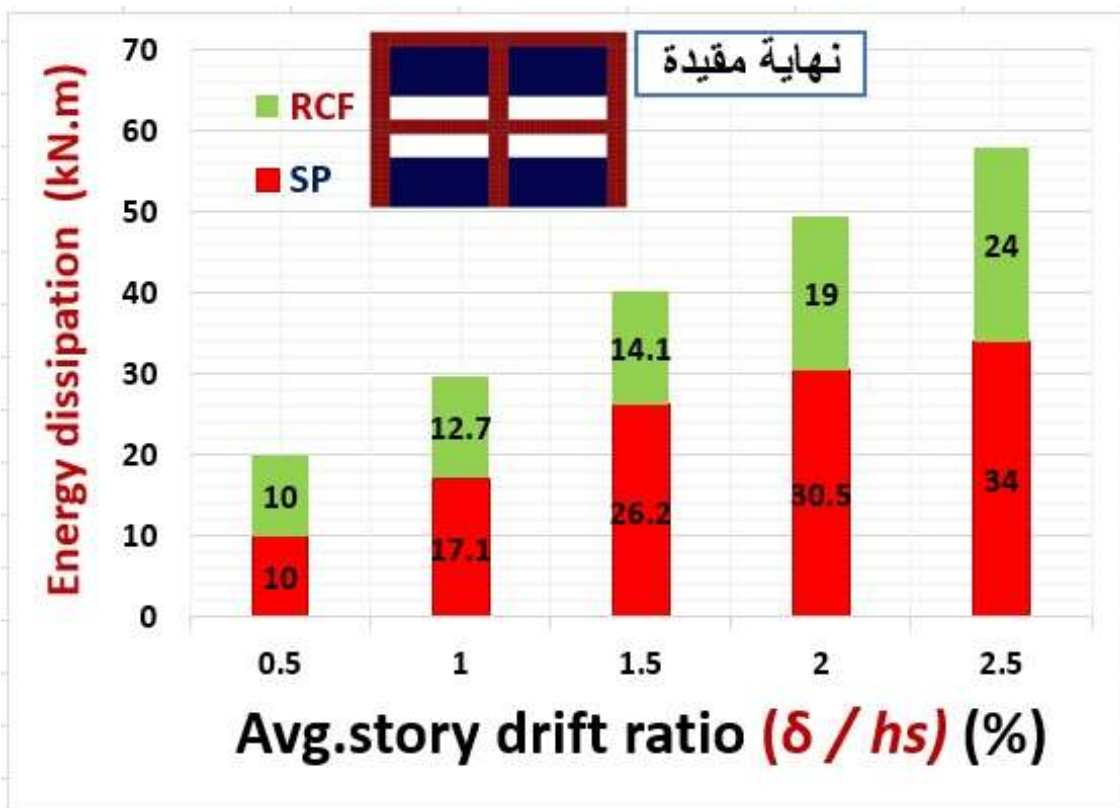
فيبين أنه عند ($\text{Avg-story drift ratio}\%=0.5$) كانت الطاقة المبذوبة مساوية للقيمة ($E=14$ Kn.m) للنموذج (RCF) و ($E=20$ Kn.m) للنموذج (SPSW)، ومع تزايد التحميل ليصل لقيمة ($\text{Avg-story drift ratio}\%=1.5$) أصبحت الطاقة المبذوبة مساوية للقيمة ($E=20.3$ Kn.m) للنموذج (RCF) ومساوية ($E=40.3$ Kn.m) للنموذج (SPSW)، ومع انتهاء التحميل عند ($\text{Avg-story drift ratio}\%=2.5$) وصلت الطاقة المبذوبة للقيمة ($E=25$ Kn.m) للنموذج (RCF) و ($E=58$ Kn.m) للنموذج (SPSW).

يبين الشكل (17) مقارنة بين الطاقة المبذوبة في الإطار البيتوني المسلح و في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة بالنموذج (SPSW)، فيه المحور الأفقي يمثل الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg-story drift ratio%) والمحور الشاقولي يمثل قيمة الطاقة المبذوبة (Energy dissipation kN.m).

فيبين أنه عند ($\text{Avg-story drift ratio}\%=0.5$) كانت الطاقة المبذوبة مساوية للقيمة ($E=10$ Kn.m) في الإطار البيتوني المسلح و ($E=10$ Kn.m) في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة، ومع تزايد التحميل ليصل لقيمة ($\text{Avg-story drift ratio}\%=1.5$) أصبحت الطاقة المبذوبة مساوية للقيمة ($E=14.1$ Kn.m) في الإطار البيتوني المسلح و ($E=26.2$ Kn.m) في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة، ومع انتهاء التحميل عند قيمة تساوي ($\text{Avg-story drift ratio}\%=2.5$) وصلت الطاقة المبذوبة للقيمة ($E=24$ Kn.m) في الإطار البيتوني المسلح وللقيمة ($E=34$ Kn.m) في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة.



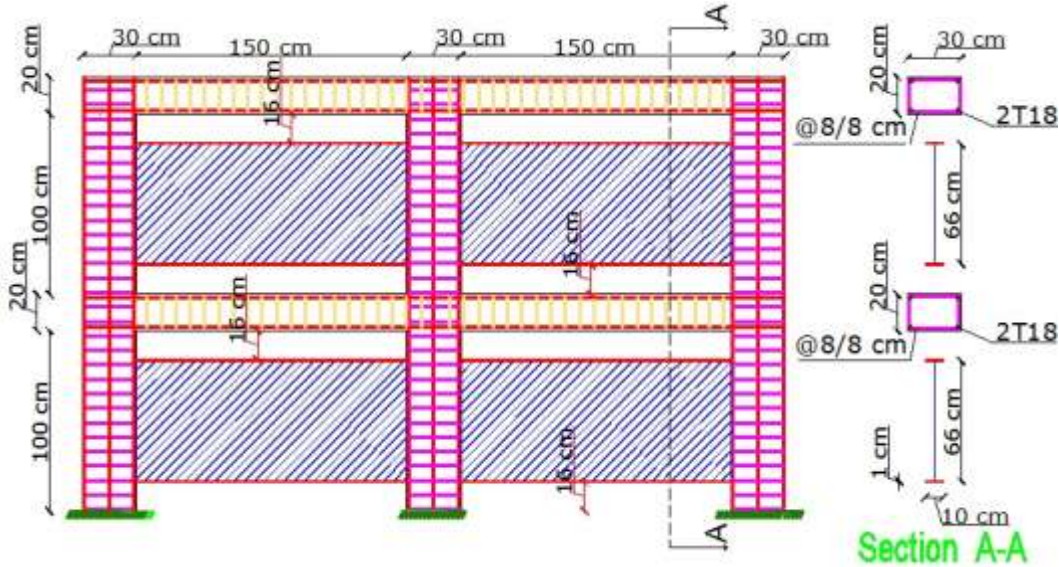
الشكل (16): مقارنة الطاقة المبذورة بين النموذج (RCF) و النموذج (SPSW) (صفائح معدنية جزئية) (نهاية مقيدة).



الشكل (17): مقارنة الطاقة المبذورة بين الإطار البيتوني المسلح و الصفائح المعدنية في النموذج (SPSW) (صفائح معدنية جزئية) (نهاية مقيدة).

3-4 كامل عقد الإطار محررة للدوران.

أضيفت صفيحة معدنية جزئية ($t_p=2\text{mm}$) بفتحتين موازية للجوائز، ارتفاع الفتحة ($\text{Opening}=160\text{ mm}$) بحيث أصبحت كامل عقد الإطار غير مقيدة وحررة للدوران، ثم أضيفت مدعّمات معدنية (Stiffeners) بأبعاد ($t_s=10\text{mm}, b_s=100\text{mm}$) للصفائح المعدنية الجزئية لتقيّد الطرف الحر للصفائح. يبين الشكل (18) الإطار المدعّم بالصفائح المعدنية الجزئية المقيدة بمدعّمات عند طرفها الحر (بفتحتين على طرفي الصفيحة، عرض كل فتحة ($\text{Opening}=16\text{ cm}$)) كما يبين أبعاد المقاطع للإطار والصفائح ($t_p=2\text{mm}$) و المدعّمات المعدنية.



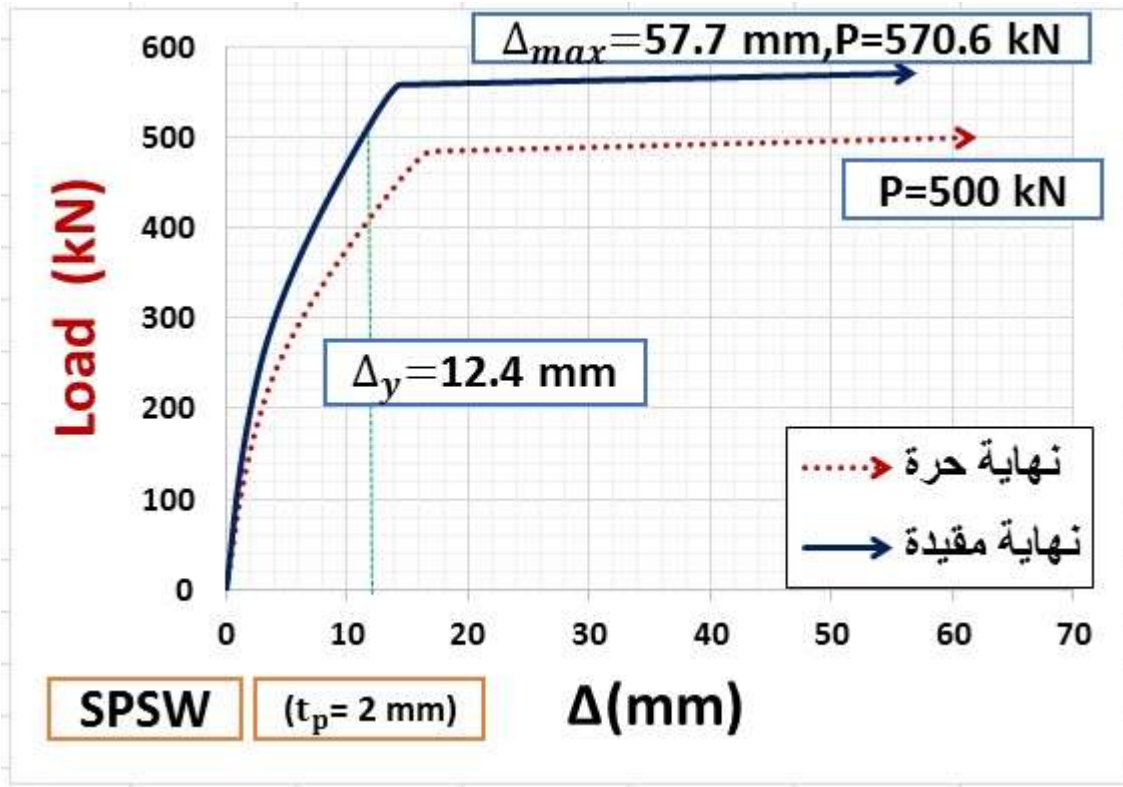
الشكل (18): الإطار المدعّم بإضافة الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة بمدعّمات عند طرفها الحر (بفتحتين موازية للجوائز) موضع عليه أبعاد المقاطع ($\text{Opening}=16\text{ cm}$) (عقد الإطار محررة بالكامل).

4-4 مناقشة نتائج التحليل.

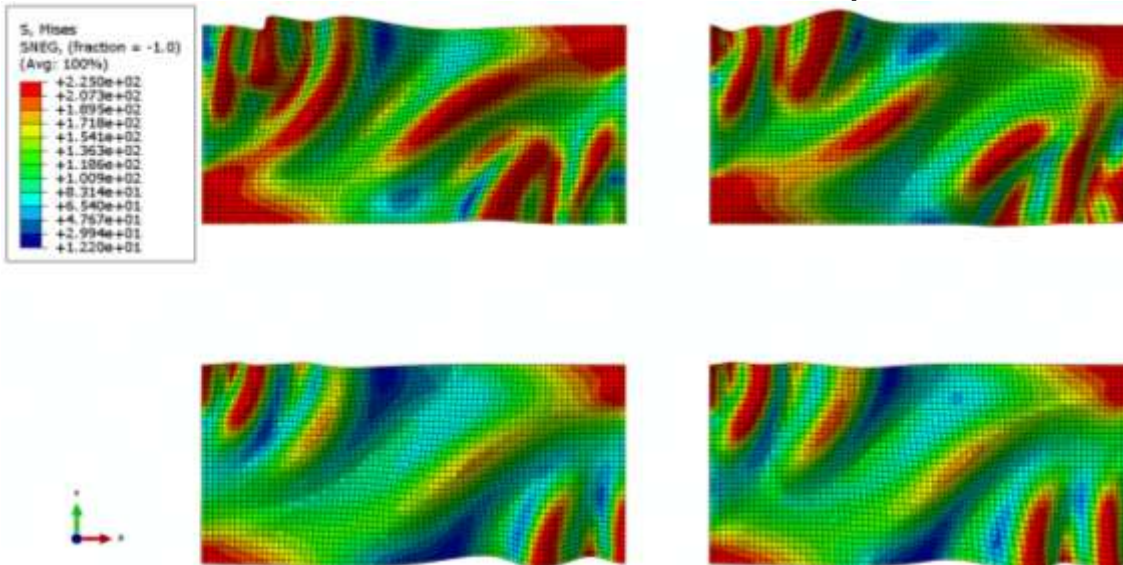
يبين الشكل (19) مخطط القوة-الانفعال للإطار مع صفيحة معدنية جزئية ($t_p=2\text{ mm}$) بفتحتين على طرفي الصفيحة، ارتفاع كل فتحة ($\text{Opening}=16\text{ cm}$)، تمت فيه المقارنة بين حالة الصفائح مع نهاية حرة والصفائح بنهاية مقيدة بالمدعّمات المعدنية. فيه المحور الشاقولي هو قوة القص المطبقة (Load-kN) والمحور الأفقي يمثل الانتقال في أعلى الإطار ($\Delta\text{-mm}$)، يظهر الشكل أن النموذج مع صفائح معدنية بنهاية حرة أبدى قدرة تحمل وصلت للقيمة ($P=500\text{kN}$)، بينما ارتفعت قدرة التحمل نموذج النهاية المقيدة للقيمة ($P=570.6\text{kN}$) (بزيادة 14% عن قدرة تحمل نموذج النهاية الحرة) مع صلابة أعلى بقليل من نموذج النهاية الحرة، ومطاوعة انتقال وصلت للقيمة

$$\left(\mu = \frac{\Delta_{Max}}{\Delta_y} = \frac{57.7}{12.4} = 4.65\right).$$

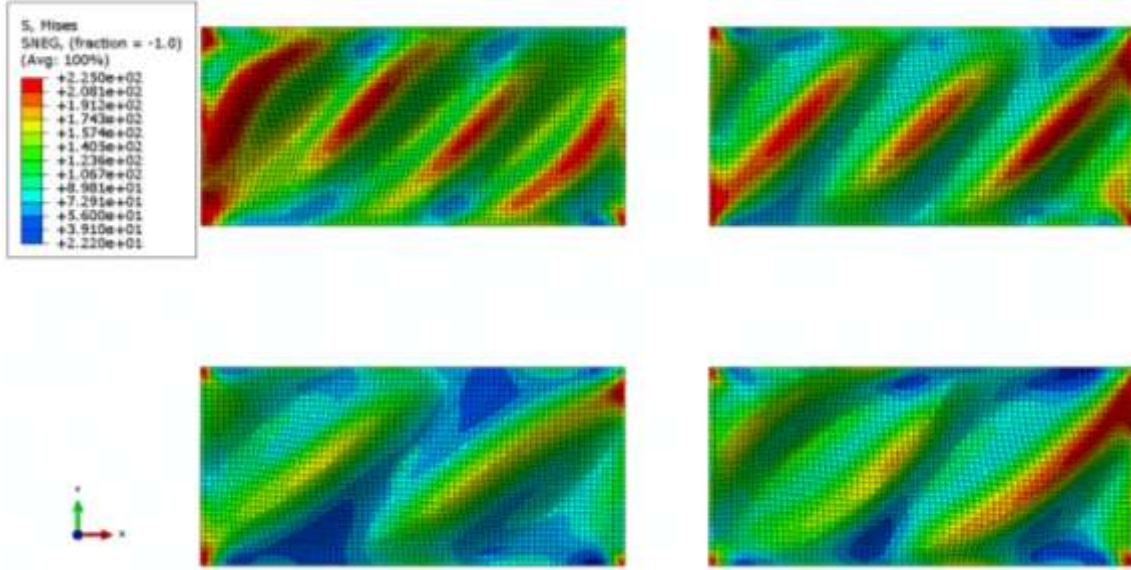
فبعد بدء التحميل و تزايد الحمل المطبقة يبدأ البيتون بالتشقق في أسفل العمود الأيسر عند قوة مقدارها ($P=185.2\text{ kN}$)، و مع تزايد التحميل يبدأ التحنيب بالصفائح المعدنية، و عند انتهاء التحميل تتركز نقاط الخضوع في مراكز تشكل حقول الشد للصفائح المعدنية الأربع حيث وصل إجهاد التلذّن فون ميسرفي الألواح الجزئية الأربعة لقيمة تساوي إجهاد الخضوع ($f_y = 225\text{ MPa}$)، فيبين الشكل (20) الشكل المشوه (Deformed shape) مع إجهاد فون ميسر (Von-Mises) للصفائح المعدنية الجزئية بنهاية حرة، فتظهر التشوهات عند النهايتين الحرّتين للصفائح، وتحتفي هذه التشوهات نتيجة التقيّد بالمدعّمات المعدنية في نموذج النهاية المقيدة وهذا ما يوضحها الشكل (21).



شكل (19): مخطط القوة-الانتقال للمقارنة بين حالة الصفائح مع نهاية حرة والصفائح بنهاية مقيدة بالمدعيات المعدنية (ت_p=2mm) بفتحتين على طرفي الصفيحة، ارتفاع كل فتحة (Opening=16 cm).



الشكل (20): الشكل المتشوه (Deformed-shape) للصفائح الجزئية فقط (Opening =0.165 b) (t_p= 2 mm) مع إجهاد التلدن فون ميسس (Von-Mises) (بفتحة موازية للجوانب) (عقد الإطار محررة بالكامل).



الشكل (21): الشكل المشوه (Deformed-shape) للصفائح الجزئية فقط ($t_p = 2 \text{ mm}$) ($\text{Opening} = 0.165 b$) مع إجهاد التلدن فون ميسس (Von-Mises) (بفتحة موازية للجوائز).

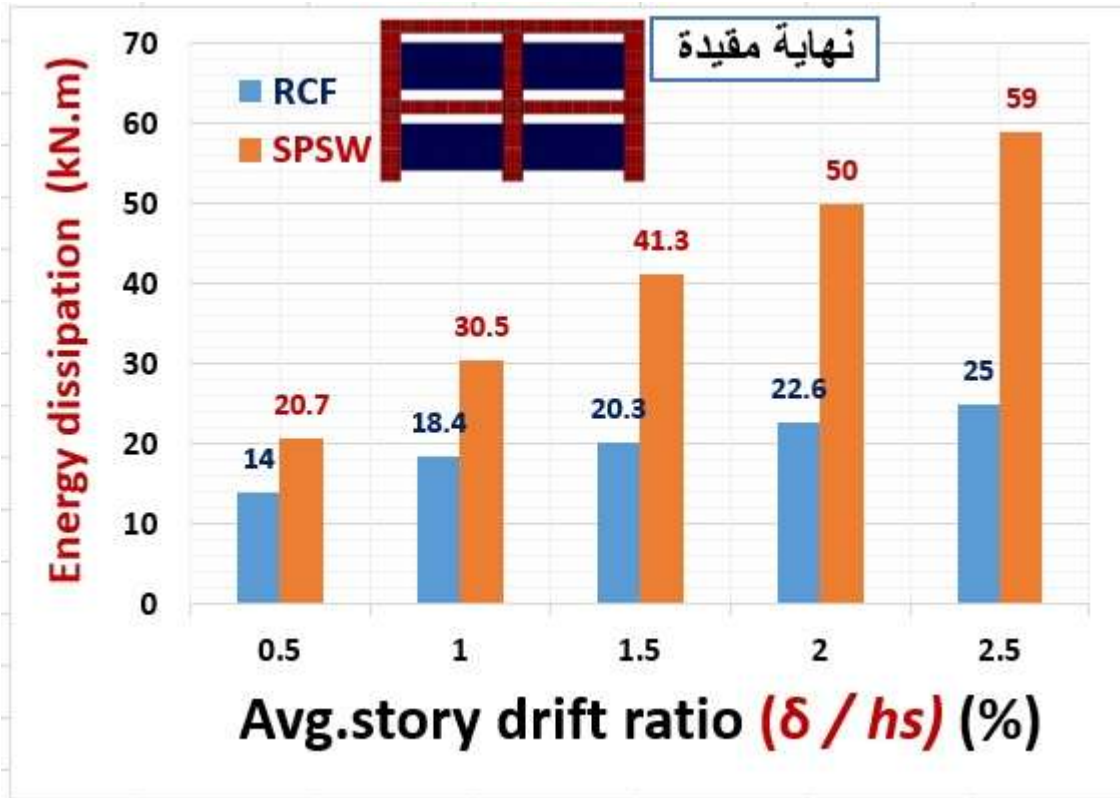
➤ قدرة تبديد الطاقة.

يبين الشكل (22) مقارنة الطاقة المبددة بين النموذج (RCF) و النموذج (SPSW)، فيه المحور الأفقي يمثل الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية ($\text{Avg-story drift ratio}\%$) والمحور الشاقولي يمثل قيمة الطاقة المبددة ($\text{Energy dissipation kN.m}$).

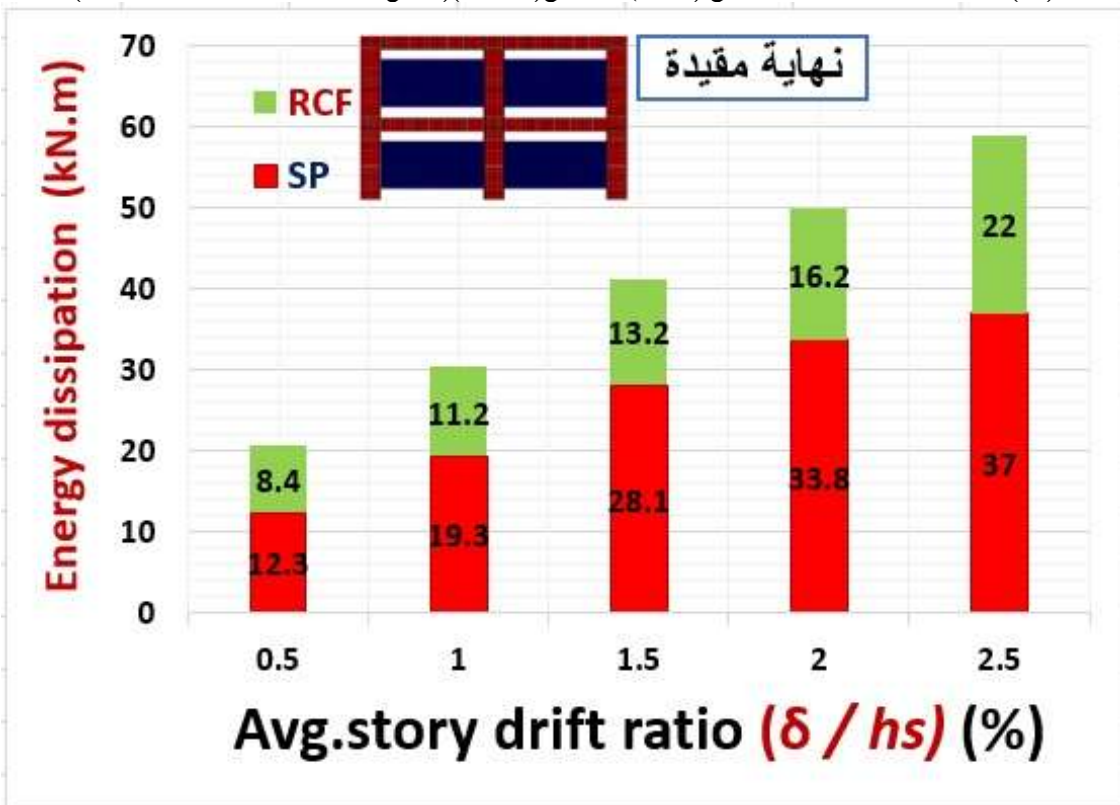
فيبين أنه عند ($\text{Avg-story drift ratio}\% = 0.5$) كانت الطاقة المبددة مساوية للقيمة ($E = 14 \text{ Kn.m}$) للنموذج (RCF) و ($E = 20.7 \text{ Kn.m}$) للنموذج (SPSW)، ومع تزايد التحميل ليصل لقيمة تساوي ($\text{Avg-story drift ratio}\% = 1.5$) أصبحت الطاقة المبددة مساوية للقيمة ($E = 20.3 \text{ Kn.m}$) للنموذج (RCF) و ($E = 41.3 \text{ Kn.m}$) للنموذج (SPSW)، ومع انتهاء التحميل عند ($\text{Avg-story drift ratio}\% = 2.5$) وصلت الطاقة المبددة للقيمة ($E = 25 \text{ Kn.m}$) للنموذج (RCF) و ($E = 59 \text{ Kn.m}$) للنموذج (SPSW).

يبين الشكل (23) مقارنة بين الطاقة المبددة في الإطار البيتوني المسلح و في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة بالنموذج (SPSW)، فيه المحور الأفقي يمثل الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية ($\text{Avg-story drift ratio}\%$) والمحور الشاقولي يمثل قيمة الطاقة المبددة ($\text{Energy dissipation kN.m}$).

فيبين أنه عند ($\text{Avg-story drift ratio}\% = 0.5$) كانت الطاقة المبددة مساوية للقيمة ($E = 8.4 \text{ Kn.m}$) في الإطار البيتوني المسلح و ($E = 12.3 \text{ Kn.m}$) في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة، ومع تزايد التحميل ليصل لقيمة ($\text{Avg-story drift ratio}\% = 1.5$) أصبحت الطاقة المبددة مساوية للقيمة ($E = 13.2 \text{ Kn.m}$) في الإطار البيتوني المسلح و ($E = 28.1 \text{ Kn.m}$) في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة، ومع انتهاء التحميل عند قيمة تساوي ($\text{Avg-story drift ratio}\% = 2.5$) وصلت الطاقة المبددة للقيمة ($E = 22 \text{ Kn.m}$) في الإطار البيتوني المسلح وللقيمة ($E = 37 \text{ Kn.m}$) في الصفائح المعدنية الجزئية المقيدة.



الشكل (22): مقارنة الطاقة المبذولة بين النموذج (RCF) والنموذج (SPSW) (صفائح معدنية جزئية مقيدة عند طرفها الحر).



الشكل (23): مقارنة الطاقة المبذولة بين الإطار البيتوني المسلح و الصفائح المعدنية في النموذج (SPSW).

الاستنتاجات والتوصيات.

الاستنتاجات.

تم في البحث دراسة تأثير استعمال الصفائح المعدنية الجزئية لتعمل كجدران قص (Partial SPSW) لتحسين سلوك الجمل الإطارية البيتونية المسلحة لمقاومة الأحمال الزلزالية. وذلك باستخدام طريقة الدفع الجانبي (Pushover Analysis) في التحليل. لبيان تأثير إجراء فتحة موازية للجوائز في الصفيحة المعدنية، وتقييد الطرف الحر للصفيحة الجزئية بمدعمة معدنية وتأثير ذلك على سلوك الإطار المدعم، وتوصل البحث للنتائج التالية:

➤ زيادة قدرة تحمل الجملة الإطارية البيتونية المسلحة بتقويتها بالصفائح المعدنية الجزئية بفتحة موازية للجوائز لتعمل كجدار قص وبسماكات صغيرة ($t_p = 2 \text{ mm}$) بنسبة جيدة (60% - 66%)، وزيادة بكمية الطاقة المبددة تجاوزت المثليين.

➤ إجراء تقييد للنهاية الحرة للصفائح المعدنية الجزئية بالمدعمات المعدنية، أدى لخلق شروط محيطيو أفضل وأصلب لتطور وإرساء حقول الشد، وبالتالي زيادة قدرة الجملة لتحمل القوى الخارجية وتبديد الطاقة.

➤ أبدى نموذج الإطار مع صفائح معدنية جزئية بفتحتين موازيتين للجوائز عند طرفي الصفيحة، سلوك إنشائي أفضل من نموذج الإطار مع صفائح معدنية جزئية بفتحة واحد مجاورة لجائز الطابق الأول، فتحسنت قدرة التحمل والقدرة على تبديد الطاقة الزلزالية.

التوصيات.

تطوير نموذج رياضي شريطي (Strip model) يحاكي الجمل الإنشائية الثنائية (Dual System) المكونة من إطارات بيتونية مسلحة وجدران قص فولاذية بلوح جزئي بفتحة موازية للجوائز، يكون قادراً على توقع السلوك اللامر الكلي للجملة المدروسة، والقوى في عناصر الإطار المحيطي بشكل دقيق مع إمكانية استخدام النموذج في برامج التحليل المتاحة للعموم والمستخدمة من قبل مهندسي التصميم.

المراجع:

[1]. ABAQUS, Version 6.12, ABAQUS/Standard User`s Manual, ABAQUS Inc USA (2012).

[2]. CHOI R. PARK G, *Cyclic Loading Test for Reinforced Concrete Frame with Thin Steel Infill Plate*. Journal of Structure Engineering, (2011) 137:654-664.

[3]. EUROCODE 2: *Design of concrete structures*, Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, CEN (2008).

[4]. الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (وملحقاته). منشورات نقابة المهندسين،

سوريا (2012).