

## رفع كفاءة الإطارات البيتونية المسلحة لمقاومة الأحمال الزلزالية باستعمال صفائح معدنية جزئية كجدران قص

أسامة طراف\*

(تاريخ الإيداع 2 / 10 / 2013. قُبل للنشر في 1 / 12 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

تعد الجمل الإطارية أحد أنواع الجمل الإنشائية لمقاومة الأحمال الزلزالية ، يتم رفع كفاءة هذه الإطارات بطرائق عدة و تعتبر إضافة صفائح معدنية ضمن مجاز الإطار لتعمل كجدران قص إحدى هذه الطرق. يهدف هذا البحث إلى دراسة أثر تقوية الإطارية البيتونية بإضافة صفائح معدنية كجدران قص ضمن مجاز الإطار. تم في هذه الدراسة استخدام التحليل العددي باستخدام نظرية العناصر المحدودة ( Finite Element Method ) واعتماد التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة وأثر التشوهات الكبيرة (Geometrically and Materially Non-Linear Analysis, GMNLA). تم في هذا البحث استخدام طريقة الدفع الجانبي المتزايد (Pushover) لدراسة تصرف الإطار البيتوني المملوء بصفحة معدنية على مقاومة الأحمال الجانبية، كما تم دراسة أثر سماكة الصفحة في هذه المقاومة. إضافة إلى ذلك تمت دراسة أثر صنع فتحة في هذا الإطار وأثر ذلك في المقاومة من حيث بعد الفتحة وتموضعها. يبين هذا البحث أن تقوية الإطارات البيتونية بجدار قص معدني مع أو بدون فتحة وبسماكة صغيرة قد أدى إلى زيادة المقاومة بشكل كبير بالإضافة إلى خفض الانتقال.

الكلمات المفتاحية: إطار بيتوني مسلح، جدران قص معدنية، تحليل سناتيكي لاخطي.

هذا البحث هو بحث ماجستير أنجز في المعهد العالي للبحوث و الدراسات الزلزالية بجامعة دمشق

\* ماجستير - الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للبحوث و الدراسات الزلزالية - جامعة دمشق-سورية.

## Upgrading The Seismic Reinforced-Concrete Frames Using Steel Plate as Partial Shear Walls

Usama Tarraf\*

(Received 2 / 10 / 2013. Accepted 1 / 12 / 2013)

### ▽ ABSTRACT ▽

Frame structures contribute to resist the seismic loads. On the other hand, frames work efficiently to increase the ductility of buildings. Therefore, many techniques were used to improve the resistance against lateral loads where steel shear walls are considered to be one of these ways.

This research aims to study the effect of inserting steel shear wall on the resistance of the reinforced concrete frame against earthquake loads. In this study, Finite Element Method (FEM) using Geometrically and Materially Non-Linear Analysis (GMNLA) was performed. Pushover analysis is used to explore the behavior of the steel plate in-filled reinforced concrete frame against lateral loads. Moreover, the effect of plate thickness was undertaken. On the other hand, an opening is made in this plate. Then, the influence of the position and dimension of this opening on the resistance was observed.

This study shows that using a steel plate shear wall with or without opening can enhance the resistance to seismic loads significantly together with the deflection decrease.

**Keywords:** Reinforced-Concrete Frame, Steel Plate Shear Wall, Nonlinear Pushover Analysis.

---

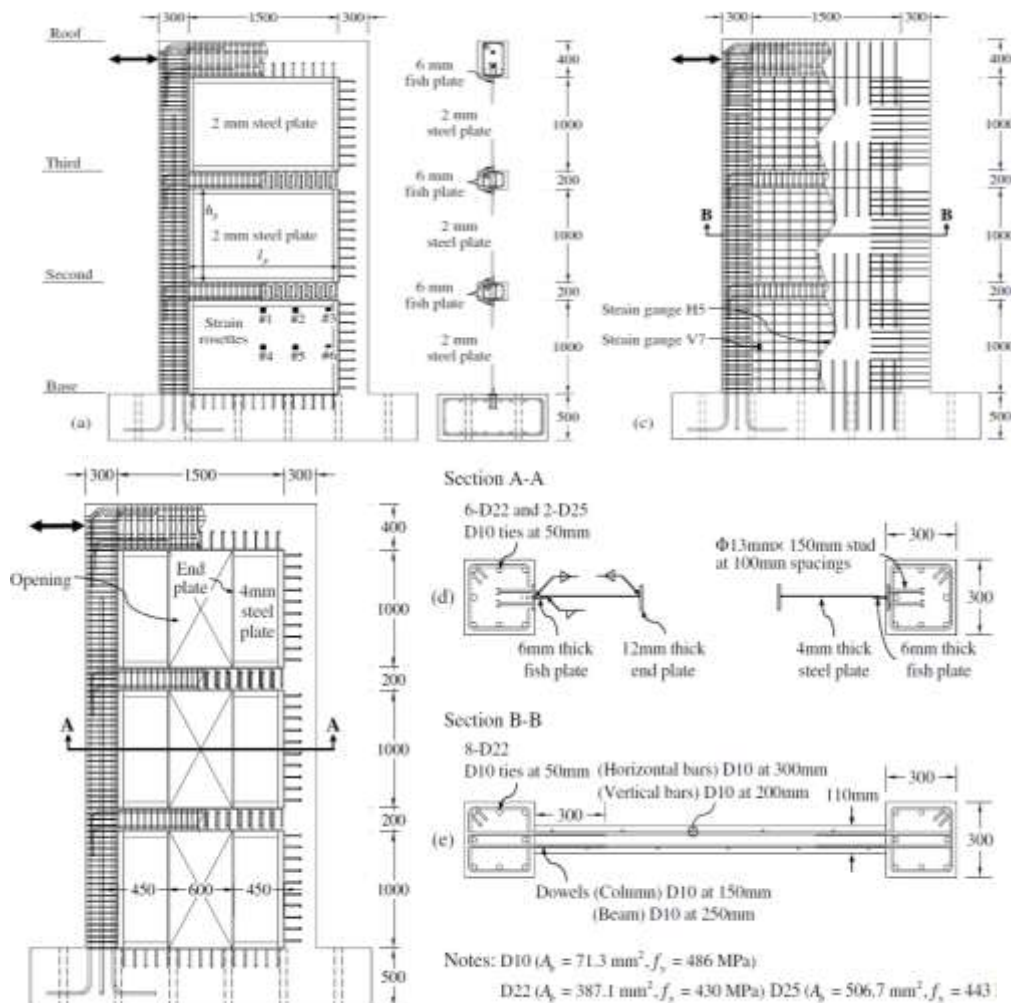
\* Engineer Department of Earthquake Structural Engineering; Higher Institute For Earthquake Studies and Researches; University of Damascus; Damascus: Syria.

## مقدمة:

تعتبر إضافة جدران قص إلى مبنى بيتوني قائم من أكثر الطرائق شيوعاً لرفع الكفاءة الزلزالية، وهي تستخدم لزيادة قساوة البناء ومقاومته [8] ، و ذلك نظراً لكونها طريقة اقتصادية وسهلة التوافق مع معظم المنشآت البيتونية القائمة ، تم استعمال الصفائح المعدنية كجدران قص تشارك الإطارات في تحمل القوى الأفقية الناتجة من الزلازل، (وهو موضوع هذا البحث). تتميز الصفائح المعدنية بسماكة صغيرة نسبياً مقارنة مع بعديها الآخرين الأمر الذي يجعل سلوكها الإنشائي في مقاومة الإجهادات المختلفة مغايراً لسلوك المقاطع التي لا تعمل بشكل صفائحي من حيث سيطرة التحنيط المحلي على عمل هذه الصفائح [7].

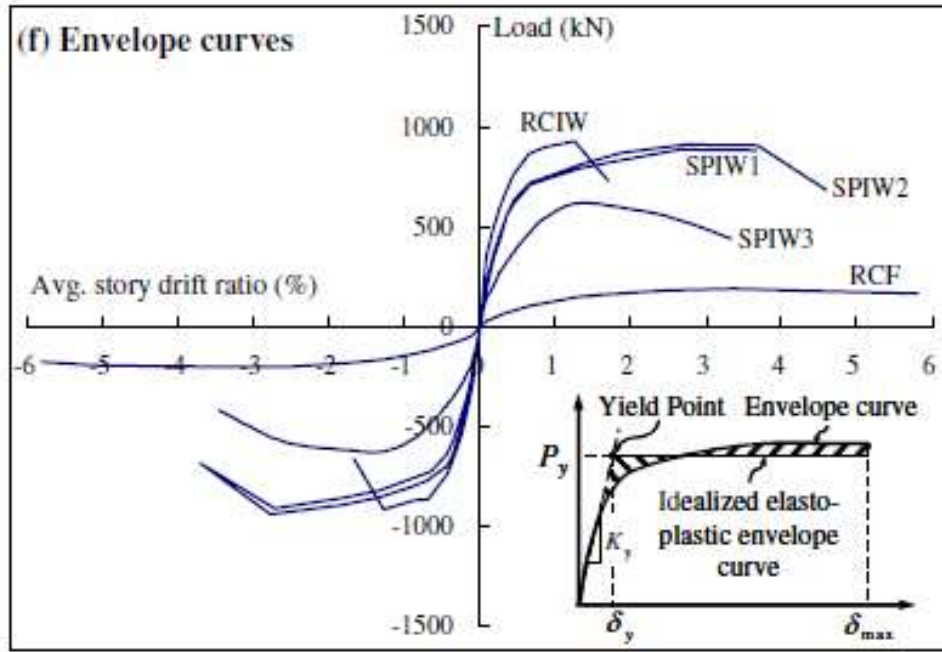
## (2) دراسات مرجعية

اختبر (Choi and Park, 2011) إطاراً بيتونياً مسلحاً مؤلفاً من ثلاثة طوابق ، ثم أُضيفت صفائح معدنية لتعمل كجدران قص ، وتم تعريض الجملة إلى حمولة أفقية دورية في أعلى الإطار. يبين الشكل (1) أبعاد النماذج التي تم اختبارها في هذه الدراسة، وكان المتغير نسبة التسليح في الأعمدة و الفتحة في الصفيحة المعدنية ، بالإضافة لذلك تم دراسة نموذج للإطار البيتوني مع جدران قص بيتونية كما يوضح الشكل (c-1) .



الشكل (1) : أبعاد النماذج التي تم اختبارها في الدراسة (Choi and Park, 2011) .

- النموذج (SPIW1) هو عبارة عن الإطار البيتوني المسلح حيث نسبة التسليح في الأعمدة ( 3.7 % ) مضافاً إليه الصفيحة المعدنية بسماكة ( 2 mm ) .
- النموذج (SPIW2) هو عبارة عن الإطار البيتوني المسلح حيث نسبة التسليح في الأعمدة ( 5.1 % ) مضافاً إليه الصفيحة المعدنية بسماكة ( 2 mm ) .
- النموذج (SPIW3) هو عبارة عن الإطار البيتوني المسلح حيث نسبة التسليح في الأعمدة ( 3.7 % ) مضافاً إليه الصفيحة المعدنية بسماكة ( 4mm ) و فتحة في منتصف الصفيحة بعرض ( 600 mm ) .
- النموذج (RCIW) هو عبارة عن الإطار البيتوني المسلح حيث نسبة التسليح في الأعمدة ( 3.4 % ) مضافاً إليه جدار القص البيتوني المسلح بسماكة ( 110 mm ) .
- النموذج (RCF) هو عبارة عن الإطار البيتوني المسلح حيث نسبة التسليح في الأعمدة ( 3.7 % ) .
- يبين الشكل (2) مقارنة النتائج للنماذج الخمسة , حيث أبدى النموذج (SPIW2) الصفيحة بسماكة (2mm) قدرة التحمل نفسها للنموذج (RCIW) , لكن وجود الصفائح في النموذج (SPIW2) جعلته يبدي مطاوعة أفضل من التي أظهرها جدار القص البيتوني المسلح في النموذج (RCIW) ذي الصلابة العالية . هذا يشير إلى أن استعمال الصفائح المعدنية وبسماكات منخفضة لتعمل كجدران قص مع الإطارات البيتونية المسلحة , هو حل إنشائي جيد و اقتصادي في الوقت نفسه .
- و أبدى النموذج (SPIW3) قدرة تحمل منخفضة مقارنة مع النموذجين (SPIW1) (SPIW2) , و ذلك بسبب وجود الفتحة في الصفيحة المعدنية .



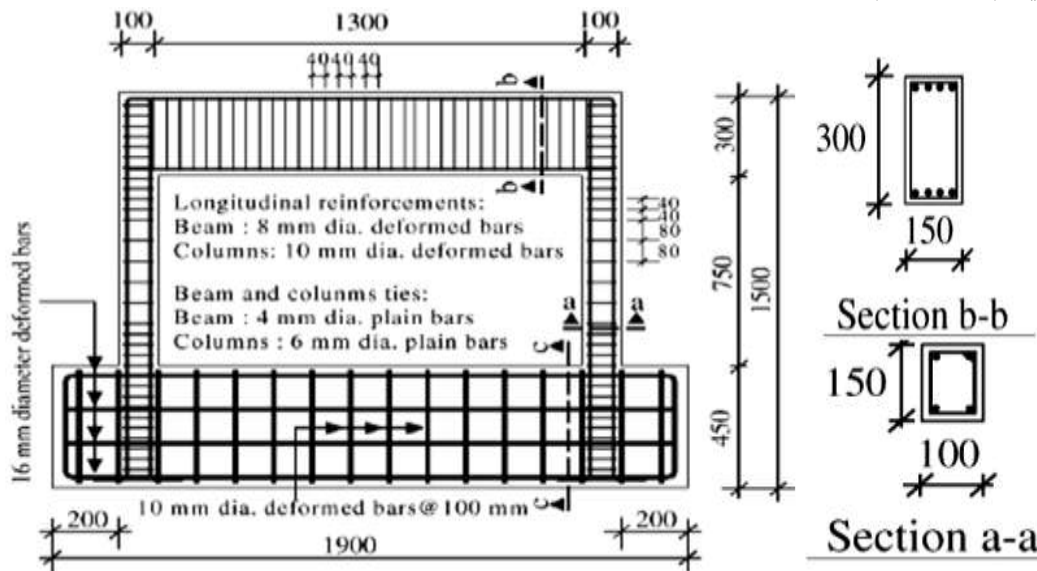
الشكل (2) : مقارنة نتائج النماذج التي تم اختبارها في الدراسة (Choi and Park ,2011) .

### أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير استخدام الصفائح المعدنية كجدران قص (Steel Shear Wall Plate) لتقوية الجمل الإطارية البيتونية باستخدام تحليل ستاتيكي لاخطي (Pushover Analysis) يعتمد على برنامج (6.11) Abaqus [1] لإطار بيتوني تم اختياره تجريبياً في بحث سابق [2]، لبيان تأثير سماكة الصفيحة المعدنية ووجود فتحات فيها في سلوك الإطار المدعم.

### طرائق البحث ومواده

اختبر Anil and Altin (2007) [2] إطاراً بيتونياً بفتحة واحدة مؤلفاً من جائر وعمودين موثوقين من الأسفل بواسطة أساس صلد. يبين الشكل (3) الإطار المدروس، كما يبين أبعاد مقطع العمود وهي  $hc=150mm$  ،  $(bc=100mm)$  وقطر قضبان تسليحه الطولي ( $\varnothing=10mm$ ) وقطر قضبان تسليحه العرضي ( $\varnothing = 6mm$ ) ، كما يبين أبعاد مقطع الجائر ( $hb=300mm$  ،  $bb=150mm$ ) وقطر تسليحه الطولي ( $\varnothing=8mm$ ) وقطر تسليحه العرضي ( $\varnothing = 4mm$ ) .



الشكل (3): الإطار المدروس (Anil and Altin, 2007) [2].

### A. توصيف العناصر المستخدمة في النمذجة

يبين الشكل (5) الإطار المدروس مع تسليحه بعد نمذجته في برنامج (6.11) Abaqus [1] باستخدام

العناصر التالية :

#### • العنصر المستخدم لنمذجة البيتون والصفحة المعدنية

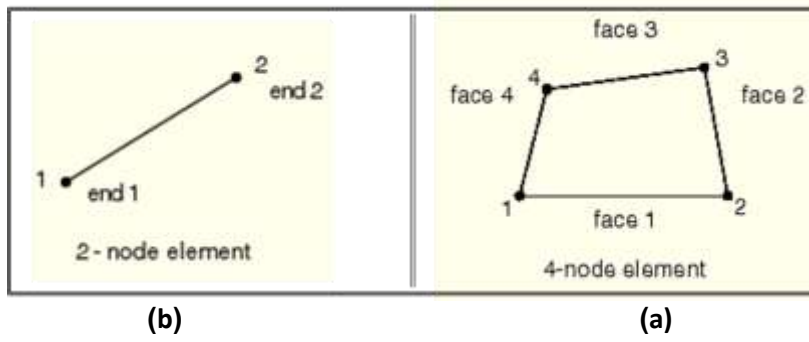
تمت نمذجة البيتون باستخدام العنصر S4R المبين بالشكل (4-a)، وهو عنصر مساحي (Shell Element)

مؤلف من أربع عقد لكل منها ست درجات حرية ( ثلاثة دورانات وثلاثة انتقالات).

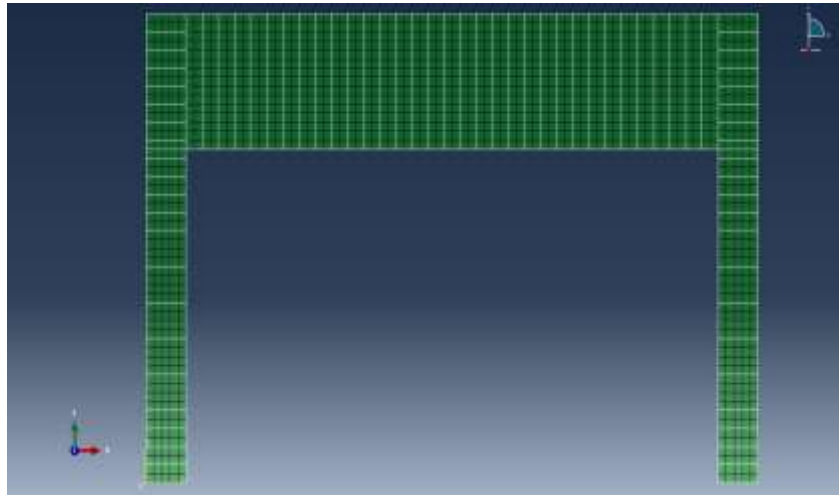
#### • العنصر المستخدم لنمذجة فولاذ التسليح

تمت نمذجة فولاذ التسليح باستخدام العنصر T2D2 المبين بالشكل (4-b)، وهو عنصر شبكي ( Truss

Element) مؤلف من عقدتين، لكل منهما ثلاث درجات حرية (انتقالات فقط) .



الشكل(4): العناصر المستخدمة في النمذجة (ABAQUS Documentation,2011) [1].

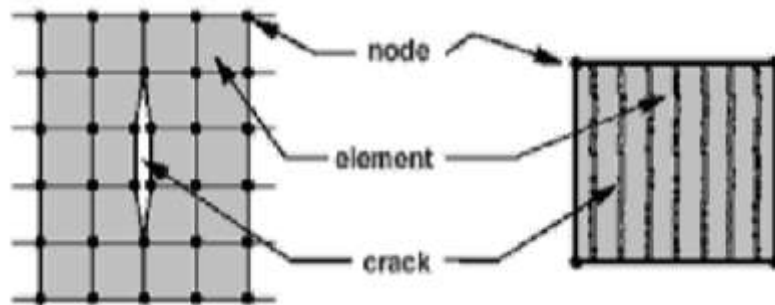


الشكل (5) : نموذج الإطار باستخدام البرنامج (Abaqus (6.11) [1].

## B. توصيف المواد

### • البيتون (Concrete)

تمت نمذجة البيتون باعتماد طريقة الشقوق الموزعة (Smearred Crack Approach) التي تستخدم لنمذجة سلوك التشقق للمواد الهشة خلال التحليل اللاخطي. تفترض هذه الطريقة تشكل مجموعة من التشققات المكروية (Micro Cracks) الدقيقة، المتوازية، الموزعة بشكل منتظم ومتعامد مع اتجاه الإجهادات الرئيسية، ضمن منطقة الانهيار كما في الشكل(6). في هذه الطريقة تمثل المادة المتشققة ذات السلوك الهش (Brittle material) بوصفها مادة مرنة، بحيث يتم تخفيض معامل المرونة للمادة بالاتجاه المتعامد مع الشقوق [1].



الشكل(6): التشققات المكروية (Micro Crack) الدقيقة (Suleiman,2009).

يبين الشكل (7-b) المراحل الأساسية الأربعة لسلوك مادة البيتون عندما تخضع لحمولة ضاغطة محورية (Shamass,2011):

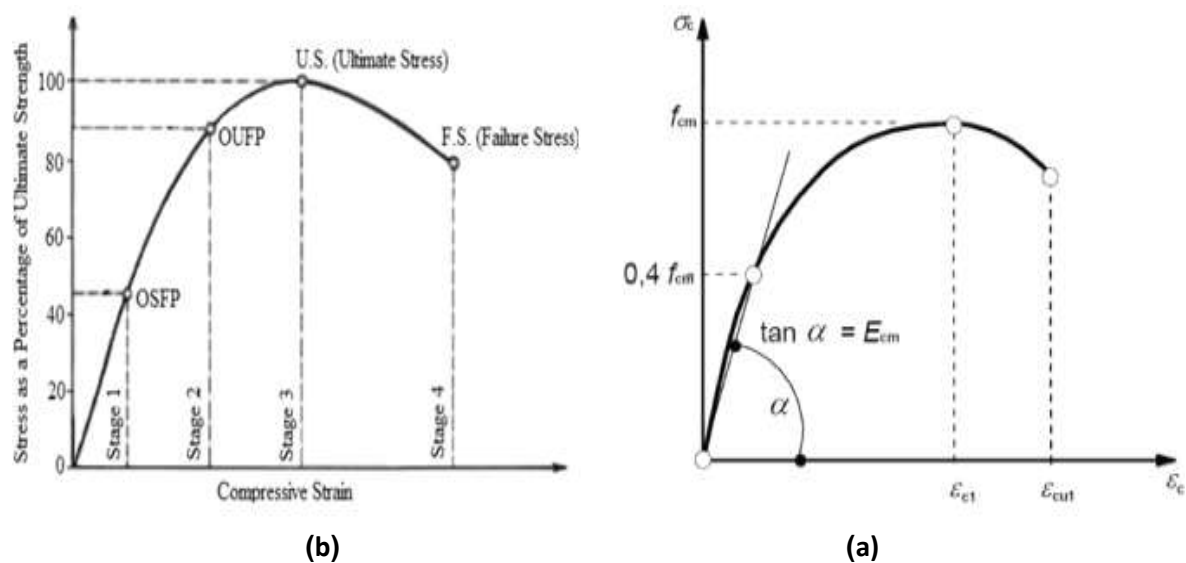
المرحلة الأولى (Stage 1) : تستمر حتى قيمة (30-60) % من قيمة إجهاد الضغط الحدي، حيث تكون علاقة الإجهاد-التشوه علاقة خطية. في هذه المرحلة يفترض أن المادة متماثلة الخواص (Isotropic) ومتجانسة (Homogeneous)، كما تبدأ التشققات المكروية بالظهور في مناطق الشد الأعظمي وتكون هذه التشققات مستقرة، أي لا يحدث انتشار للتشققات في هذه المرحلة.

المرحلة الثانية (Stage 2): في هذه المرحلة يصل الإجهاد المطبق إلى (70-90) % من الإجهاد الحدي ويدخل البيتون المرحلة اللاخطية، ومع تزايد الإجهاد المطبق يتزايد عدد التشققات لكن بشكل بطيء، وعند وصول الحمل لقيمة معينة يبدأ الشق بالانتشار والتوسع.

المرحلة الثالثة (Stage 3): تستمر هذه المرحلة حتى الوصول إلى الإجهاد الحدي، في هذه المرحلة تتداخل التشققات المكروية بعضها ببعض و يبدأ توسع الشقوق بالتأثير في الانفعالات بشكل واضح .

المرحلة الرابعة (Stage 4): في هذه المرحلة تصبح التشققات غير مستقرة وتنتشر بشكل ذاتي، وذلك لأن الطاقة المحررة في أثناء انتشار التشققات تكون أكبر من الطاقة اللازمة لذلك .

تم اعتماد تصرف مادة البيتون على الضغط وفق الكود الأوروبي (Eurocode 2,2004) وفيه تتصرف المادة بشكل خطي حتى القيمة  $0.4f_{cm}$ ، حيث  $f_{cm}$  هي المقاومة المتوسطة على الضغط، وبعدها تدخل المادة في المرحلة اللاخطية وفق تابع رياضي يمثل قطعاً مكافئاً كما يبين الشكل (7-a).

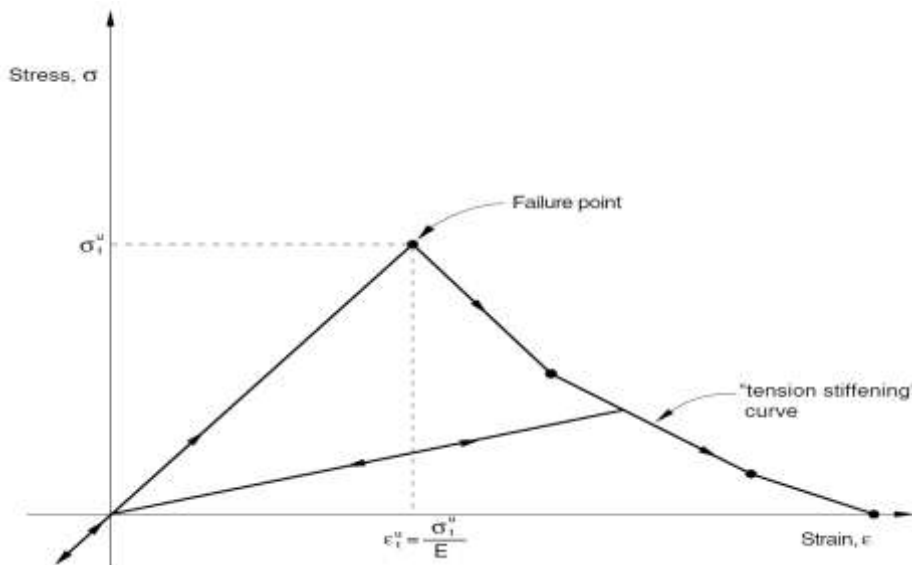


الشكل (7): مراحل سلوك البيتون على الضغط (Shamass,2011).

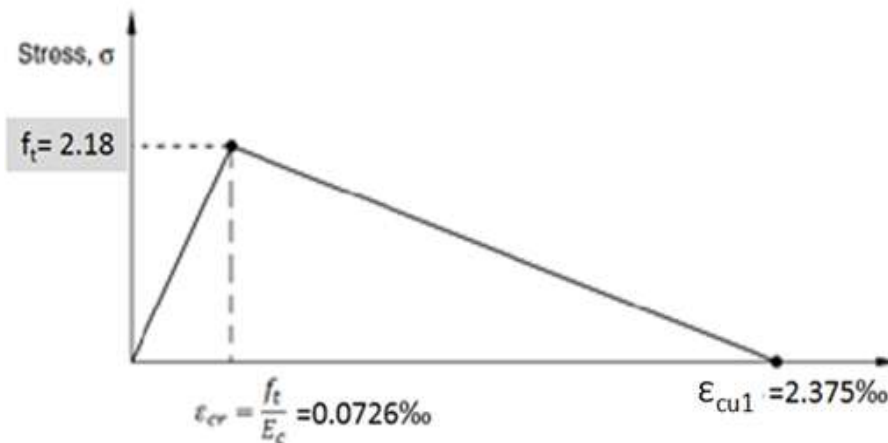
تم حساب خصائص مادة البيتون باستخدام العلاقات المعطاة في الكود الأوربي: المقاومة البيتونية المتوسطة على الضغط  $f_{cm} = 21.8 \text{ Mpa}$ ، معامل مرونة البيتون  $E_{cm} = 30 \text{ Gpa}$ ، الانفعال النسبي عند إجهاد الضغط الأعظمي  $\epsilon_{cu1} = 1.82\%$ ، الانفعال النسبي عند الانهيار  $\epsilon_{cu1} = 3.5\%$  .

يستطيع البيتون تحمل إجهادات شد حتى بعد التشقق [1]، و يتم تمثيل هذا التصرف من خلال ما يسمى أثر تقسية الشد (Tension Stiffening) كما يبين الشكل (8) حيث يحتفظ البيتون بعد الوصول إلى الإجهاد الحدي على

الشد بقدرته على تحمل هذه الإجهادات الشادة، وتتناقص هذه القدرة مع زيادة الانفعال النسبي حتى تصبح معدومة عند الانفعال النسبي الحدي على الشد، والذي يقدر بعشرة أمثال الانفعال النسبي عند الوصول إلى إجهاد الشد [1]. في هذه الدراسة، تم تمثيل تقسية الشد للبيتون كما في الشكل (9)، حيث يبدأ إجهاد الشد بالتزايد من الصفر إلى أن يصل لقيمة عظمى  $f_t = 2.18 \text{Mpa}$  يكون عندها الانفعال النسبي على الشد مساوياً  $\epsilon_{cr} = 0.0726\%$ . وبدءاً من هذه النقطة يبدأ البيتون بالتشقق فينخفض إجهاد الشد مع تزايد الانفعال النسبي على الشد إلى أن يصل إلى قيمة معدومة عندما تكون قيمة الانفعال النسبي على الشد مساوية  $\epsilon_{cu1} = 2.375\%$ .



الشكل(8): أثر التقسية في الشد (Tension Stiffening) لمادة البيتون (ABAQUS Documentation,2011).



الشكل(9): تمثيل تقسية الشد للبيتون (Tension Stiffening) (ABAQUS Documentation,2011).

#### • فولاذ التسليح (Anil and Altin,2007)

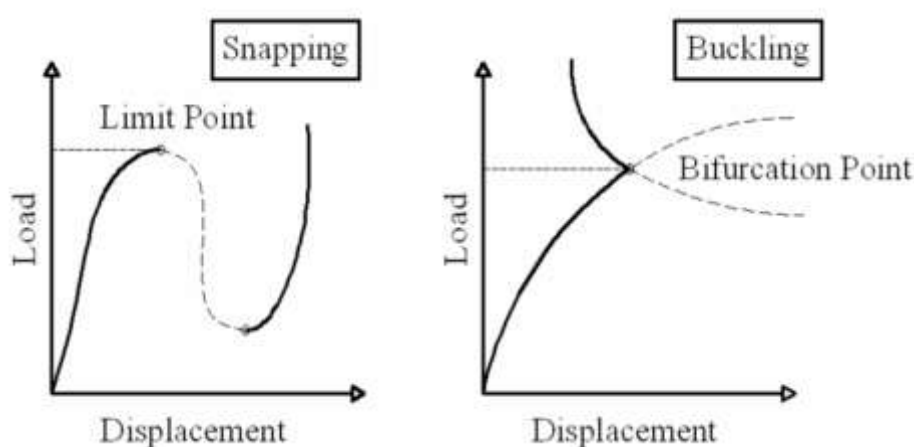
تم اعتبار أن اللدونة تامة (Perfectly plastic) بعد مرحلة المرونة لجميع أنواع التسليح المستخدم. تم اختيار إجهاد السيلان للتسليح الطولي في العمود  $f_y = 475 \text{MPa}$ ، و  $f_y = 425 \text{MPa}$  للتسليح العرضي. إجهاد السيلان للتسليح الطولي في الجائز  $f_y = 590 \text{MPa}$ ، و  $f_y = 325 \text{MPa}$  للتسليح العرضي. إجهاد السيلان للصفحة المعدنية



تم اعتبار معامل المرونة لجميع أنواع الفولاذ المستخدم في النماذج (Elastic Modulus) مساوياً  $f_y = 250 \text{ MPa}$  .  $E_s = 200 \text{ GPa}$  .

### (3) التحليل :

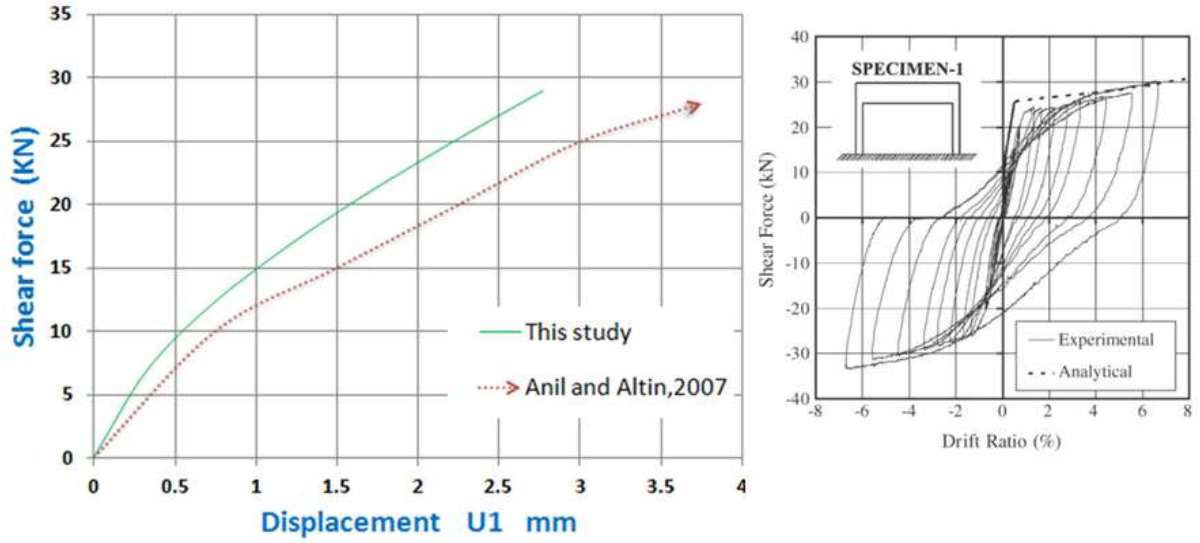
تم إجراء تحليل ستاتيكي لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة واللاخطية، اعتمدت فيه طريقة ريكس المعدلة (Modified Riks Approach) الموضحة في الشكل (10) لتتبع الاستجابة اللاخطية للمادة. تعرف هذه الطريقة بتقنية طول القوس (Arc Length Technique) وهي طريقة تزايدية تستخدم بشكل أساسي في حل مسائل ما بعد الانهيار (Post Failure) ومسائل عدم الاستقرار، حيث يتم فيها الوصول إلى الحل الدقيق بعد عدد معين من الدورات [1]. يتم في هذه الطريقة فرض قيد جديد يسمى طول القوس ( $\Delta L - \text{Arc Length}$ ) كمعادلة إضافية إلى معادلات التوازن.



الشكل (10): مسائل عدم الاستقرار (ABAQUS Documentation, 2011).

### النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (a-11) مقارنة مخطط القوة-الانتقال في أعلى الإطار لكل من التجربة (Anil and Altin 2007) والدراسة الحالية. كما يبين الشكل (b-11) علاقة الانحراف النسبي (Drift ratio) في أعلى الإطار مع قوة القص القاعدية (Shear force). بينت نتائج كل من الدراسة التجريبية والتحليلية أن مقاومة الإطار قبل الانهيار بلغت حوالي (29 kN)، كما بلغ الانتقال في الاختبار (3.7mm) في حين كان الانتقال الناتج من الدراسة التحليلية (2.7mm) وذلك نتيجة افتراض وجود تماسك مطلق بين التسليح والبيتون الأمر الذي يختلف عن الواقع التجريبي، ما يفسر الفرق في قيم الانتقال .

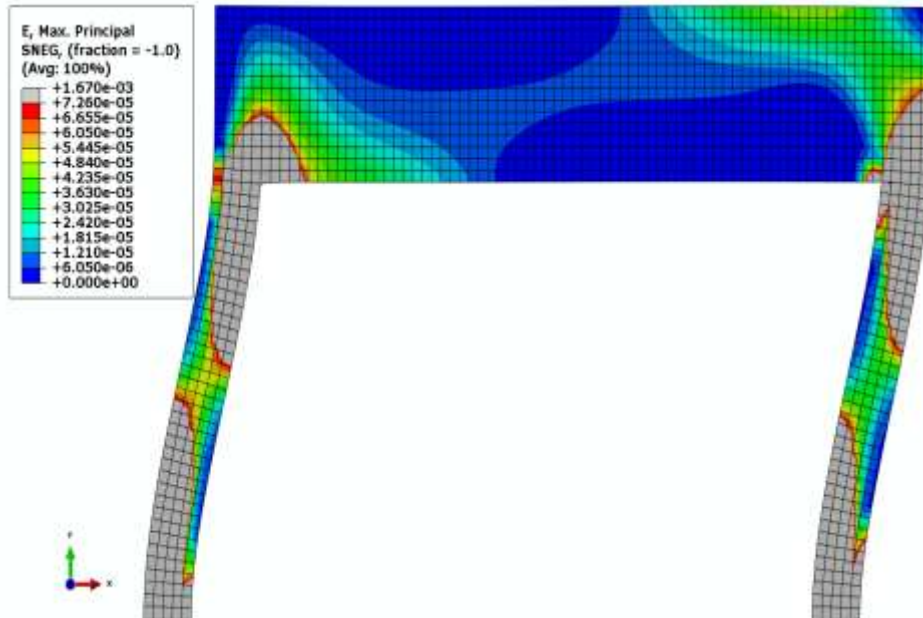


(a)

(b)

الشكل(11): مخطط القوة-الانتقال في أعلى الإطار.

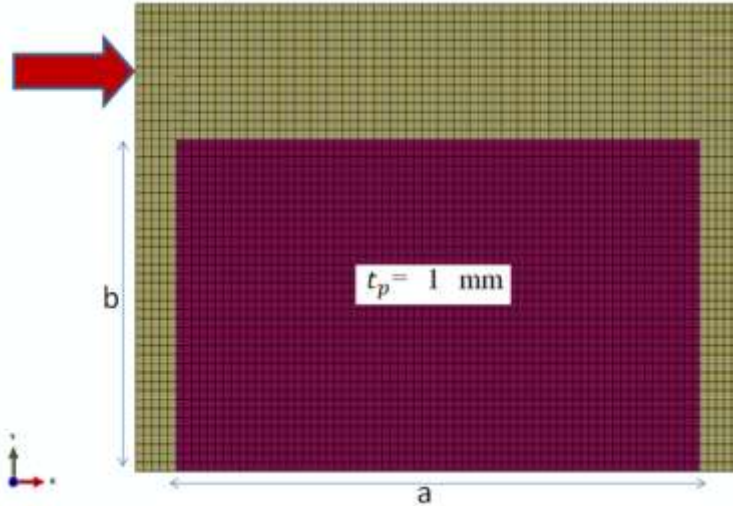
يبين الشكل (12) الشكل المشوه للإطار المدروس (Deformation shape) مع قيم الانفعالات الرئيسية الأعظمية (Max Principal Strain), حيث يظهر الشكل تشكل المفصل اللدن في العمود والعقدة (وهي المناطق التي يتجاوز فيها الانفعال النسبي على الشد القيمة  $\epsilon_c1 = 0.0726\%$ ) أي أن الجملة المختبرة تجريبياً تمثل جملة جائز قوي وعمود ضعيف.



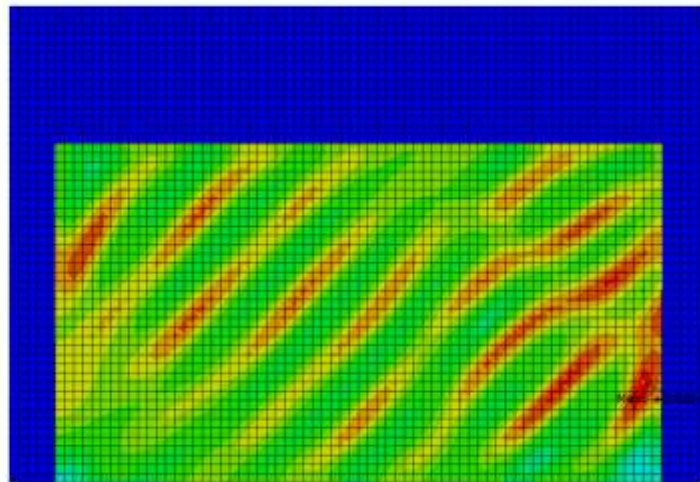
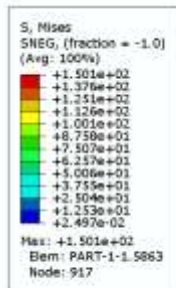
الشكل(12): الشكل المشوه (Deformation shape)

4) دراسة تأثير بعض العوامل في سلوك الإطار البيتوني  
 A. تأثير إضافة صفيحة معدنية على كامل عرض الفتحة  
 • إضافة صفيحة كاملة سماكة 1مم:

تمت إضافة صفيحة معدنية على كامل عرض فتحة الإطار ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ ) مع اعتبارها موثوقة وثاقبة تامة مع القاعدة، وبالتالي فإن نسبة طول الصفيحة إلى عرضها ( $\alpha = a/b = 1.73$ ,  $K_S = 10.85$ ). يبين الشكل (13) الإطار بعد إضافة صفيحة بسماكة 1 مم ( $t_p = 1 \text{ mm}$ ) موضح عليه جهة التحميل. كما يبين الشكل (14) الشكل المشوه مع إجهاد فون ميسس (Von Mises) لجملة الإطار مع الصفيحة.



الشكل (13): نمذجة الإطار البيتوني المدعم بصفيحة معدنية سماكة 1مم.



الشكل (14): الشكل المشوه (Deformation shape) مع قيم إجهاد فون ميسس (Von Mises) لجملة الإطار المدعم بصفيحة معدنية سماكة 1مم.

يعطى إجهاد فون ميسس  $\sigma_{VM}$  بالعلاقة:

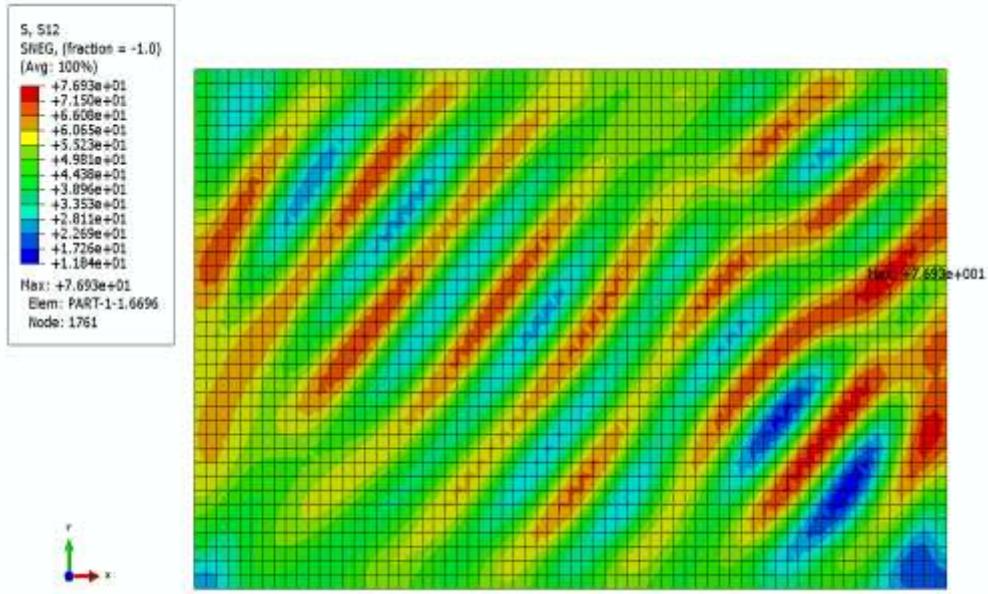
$$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)} \dots\dots\dots(1)$$

حيث  $\sigma_1, \sigma_2$  الإجهادين الرئيسيين الأعظمي والأصغري .

كما يعطى الإجهاد المماسي اللازم للتحنيب  $\tau_{cr}$  وفق العلاقة :

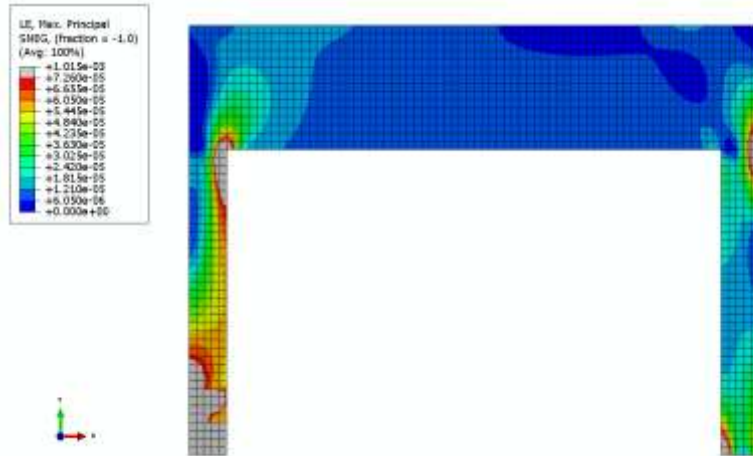
$$\tau_{cr} = K_s * \frac{\pi^2 * E * t^2}{12(1 - \nu^2) * b^2} \dots \dots \dots (2)$$

(2) العلاقة من  $\tau_{cr}$  حساب تم  
 $S_{12} = \tau_{cr} = 3.5 \text{ MPa}$  ، وهو أصغر من الإجهاد المماسي المتشكل في الصفيحة بنتيجة الدراسة الحالية  
 76.93 MPa كما يظهر الشكل (15)، مما يفسر تحنيب الصفيحة وتشكل حقل الشد .



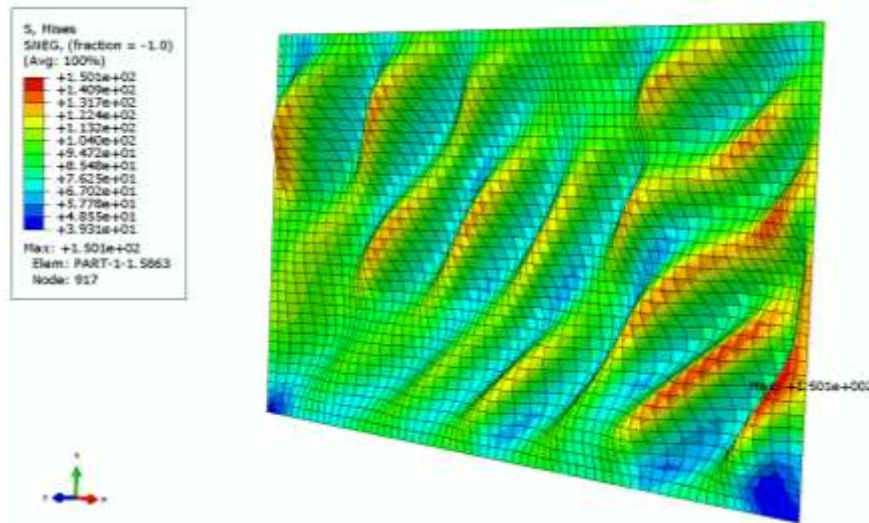
الشكل(15): الإجهاد المماسي المتشكل في صفيحة التدعيم بسماكة 1مم.

يبين الشكل(16) الانفعالات اللغارتمية الرئيسية الأعظمية (Max Principal Logarithmic Strain) الناتجة في البيتون، إذ وصلت هذه الانفعالات إلى القيمة (7.26E-05) التي يبدأ البيتون بعدها بالتشقق، مما أدى إلى تشقق البيتون وخروجه عن العمل، حيث تشكل مفصل لدن في أسفل العمود الأيسر .



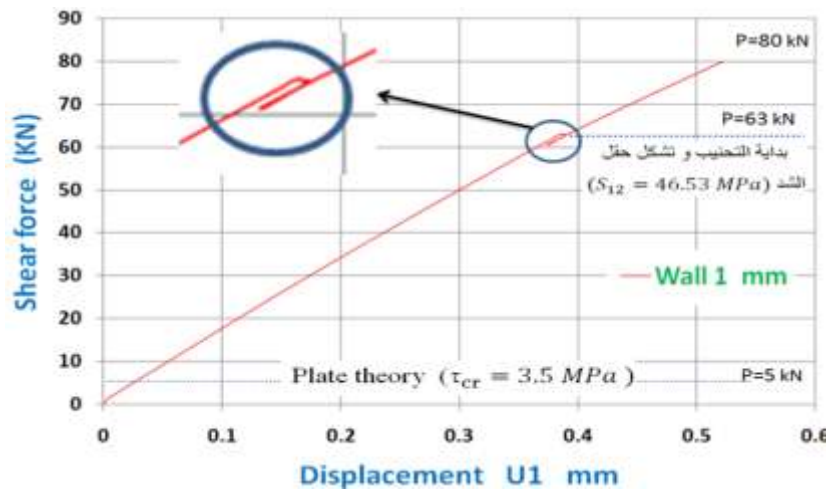
الشكل(16): الانفعالات اللغارتمية الرئيسية الأعظمية ( Max Principal Logarithmic Strain ) الناتجة في البيتون لجملة الإطار المدعم بصفيحة معدنية سماكة 1مم.

كما يبين الشكل (17) لقطة فراغية للصفحة المشوهة مع إجهاد فون ميسس فيها. حيث مازال إجهاد فون ميسس أقل من إجهاد الخضوع لمادة الصفحة ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ ).



الشكل(17): لقطة فراغية للنموذج المشوه مع قيم إجهاد فون ميسس للصفحة ذات سماكة 1م فقط.

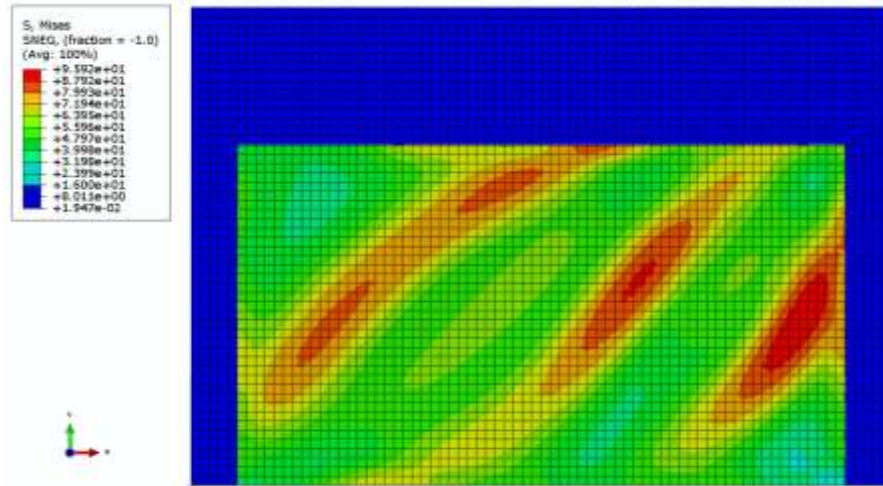
يبين الشكل(18) مخطط القوة-الانتقال في أعلى الإطار, حيث يلاحظ أن تحنيب الصفحة وتشكل حقول الشد بدأ عند القوة  $P=63 \text{ kN}$ , وعند اكتمال تشكل عرض حقول الشد بدأت الزيادة من جديد حتى انهيار العمود اليساري عند القاعدة عند القوة  $P=80 \text{ kN}$  (وهذا مبين أيضاً بالشكل(16)). يعزى الفرق الكبير الحاصل بين القوة التي أعطتها نظرية الصفائح لبدء التحنيب ( $P=5 \text{ kN}$ ) والقيمة التي حصلنا عليها في النموذج الحالي ( $P=63 \text{ kN}$ )، إلى أن نظرية الصفائح تفترض تشكل حقل شد واحد بين الزاويتين القطريتين, بينما يبين النموذج الحالي تشكل مجموعة من حقول الشد، الأمر الذي أعطى الصفحة مقاومة أكبر قبل الوصول إلى التحنيب.



الشكل(18): مخطط القوة-الانتقال في أعلى الإطار البيتوني المدعم بصفحة معدنية سماكة 1م

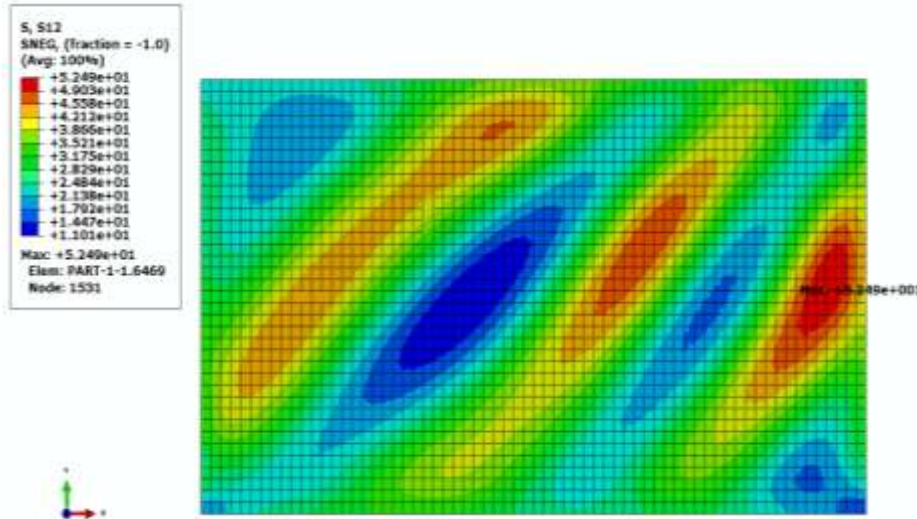
• إضافة صفحة كاملة سماكة 2م:

تمت إضافة صفحة معدنية بسماكة 2م على كامل عرض فتحة الإطار. يبين الشكل(19) الشكل المشوه مع إجهاد فون ميسس لجملة الإطار والصفحة المعدنية .



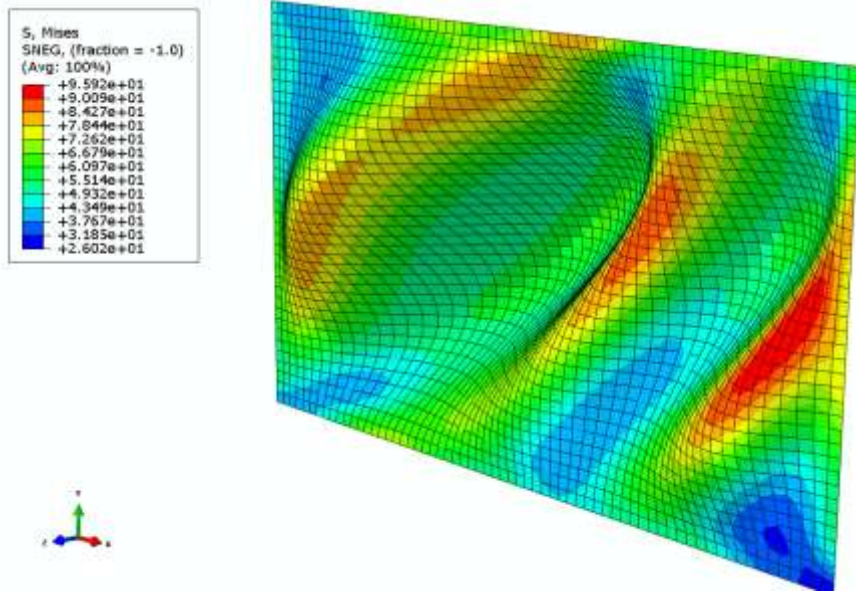
الشكل(19): الشكل المشوه وإجهاد فون ميسس، لجملة الإطار البيتوني المدعم بصفيحة معدنية سماكة 2مم.

ويكون الإجهاد المماسي الحرج اللازم للتحنيب  $\tau_{cr}$  مساوياً:  $\tau_{cr} = 14 \text{ MPa}$  وهو أصغر من الإجهاد المماسي المتشكل في الصفيحة  $S_{12} = 52.49 \text{ MPa}$  نتيجة الدراسة الحالية، كما يظهر الشكل(20) ما يفسر تحنيب الصفيحة وتشكل حقل الشد .



الشكل(20): الإجهاد المماسي المتشكل في الصفيحة المعدنية الكاملة سماكة 2مم.

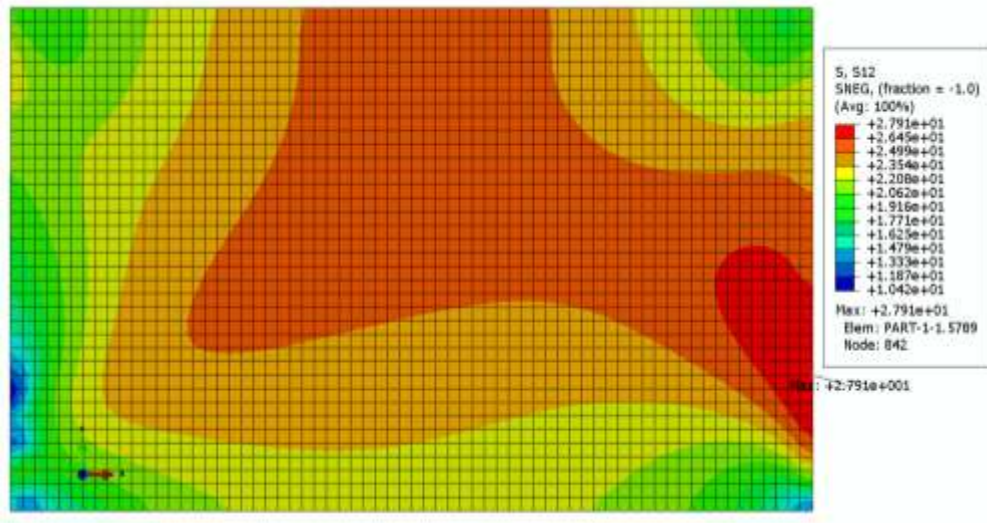
يبين الشكل(21) نقطة فراغية للنموذج المشوه مع إجهاد فون ميسس للصفيحة فقط . حيث مازال إجهاد فون ميسس أقل من إجهاد الخضوع للصفيحة ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ ) .



الشكل(21): لقطة فراغية للنموذج المشوه مع قيم إجهاد فون ميسس للصفحة ذات سماكة 2مم فقط.

• إضافة صفیحة كاملة سماكة 3مم:

تمت إضافة صفیحة معدنية بسماكة 3مم. قيمة الإجهاد المماسي الحرج اللازم للتحنيب  $\tau_{cr}$  مساوٍ إلى  $\tau_{cr} = 31.5 \text{ MPa}$  وهو أكبر من الإجهاد المماسي المتشكل في الصفیحة  $S_{12} = 27.9 \text{ MPa}$ ، كما يظهر الشكل (22) ما يفسر عدم تحنيب الصفیحة وعدم تشكل حقل الشد. حيث أن البيتون في أعمدة الإطار انهار على الشد قبل بلوغ الإجهادات المماسية في الصفیحة الإجهادات اللازمة للتحنيب .

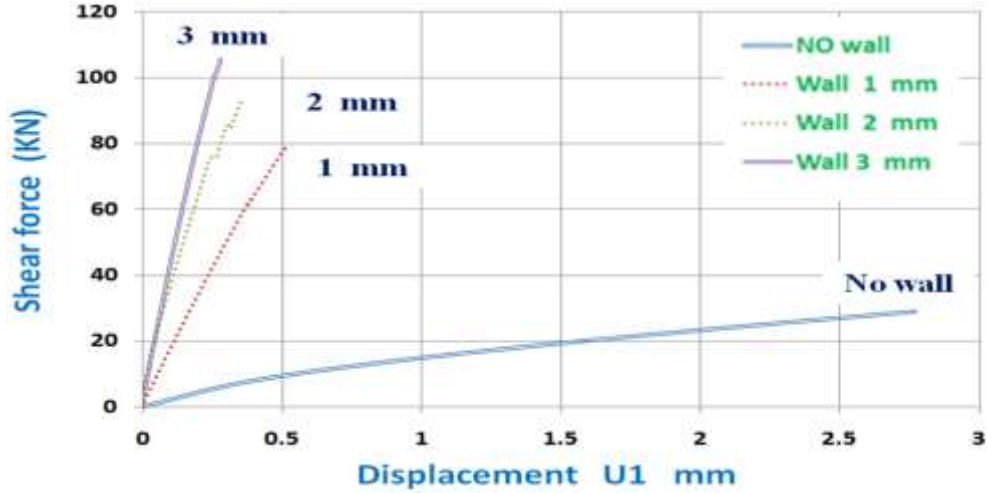


الشكل(22): الإجهاد المماسي المتشكل في الصفیحة المعدنية سماكة 3مم.

• مقارنة الحالات الثلاث لسماكة الصفیحة

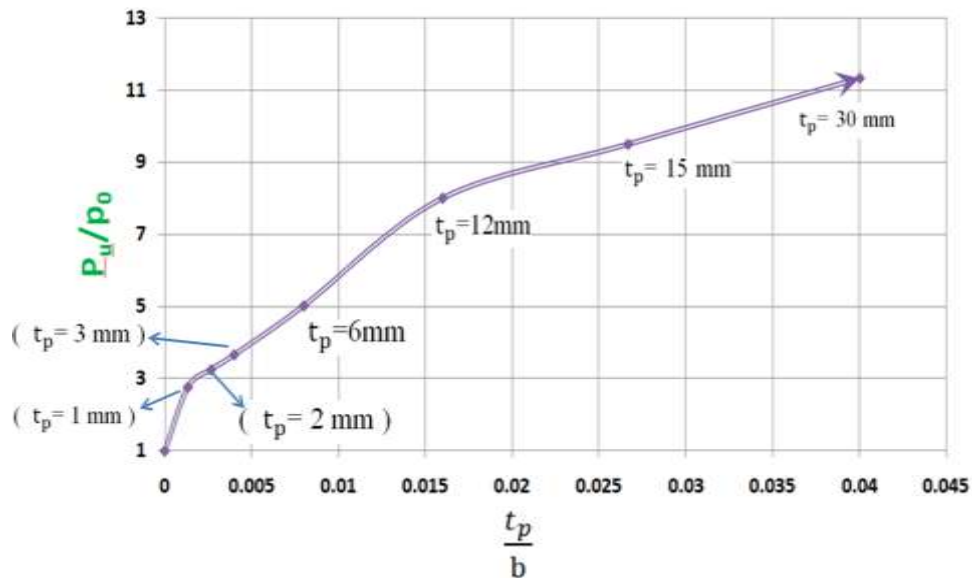
يبين الشكل (23) مقارنة مخططات القوة-الانتقال في أعلى الإطار للنماذج الثلاث. يبين هذا المخطط أن الإطار البيتوني بدون صفیحة أبدى قدرة تحمل صغيرة مقارنة مع الإطار المدعم بصفیحة. فقد أدت إضافة صفیحة بسماكة 1مم إلى زيادة قدرة تحمل الجملة بمقدار 185% (وصلت قدرة التحمل إلى  $P=80 \text{ kN}$ ) بعد أن كانت (

(  $P=28.1 \text{ kN}$  ) . بزيادة سماكة الصفيحة إلى 2مم أيضاً زادت قدرة تحمل الجملة 200% (وصلت قدرة التحمل إلى (  $P=86.7 \text{ kN}$  ), وبزيادة سماكة الصفيحة إلى 3مم أيضاً زادت قدرة تحمل الجملة 280% لكن الإطار انهيار بسبب خروج البيتون عن العمل نتيجة الإجهادات الشادة في الأعمدة قبل تحنيب الصفيحة وتشكل حقل الشد. إلا أن زيادة سماكة الصفيحة أدت إلى زيادة قساوة الجملة الإنشائية.



الشكل(23): مخطط القوة-الانتقال في أعلى الإطار المدعم بصفيحة معدنية من أجل سماكات مختلفة.

يبين الشكل(24) تأثير سماكة الصفيحة في القوة الحرجة التي يتحملها الإطار المدعم بصفيحة ( $P_u$ ),  $P_0$  هي القوة التي يتحملها الإطار بدون صفيحة, يمثل المحور الأفقي نسبة سماكة الصفيحة إلى عرضها ( $t_p/b$ ). نجد من الشكل زيادة تحمل الإطار بزيادة سماكة الصفيحة, وذلك نتيجة زيادة قساوة الجملة, لكن بدءاً من السماكة 3مم توقف تحنيب الصفيحة وتشكل حقل الشد نتيجة انهيار بيتون الأعمدة على الإجهادات الشادة.



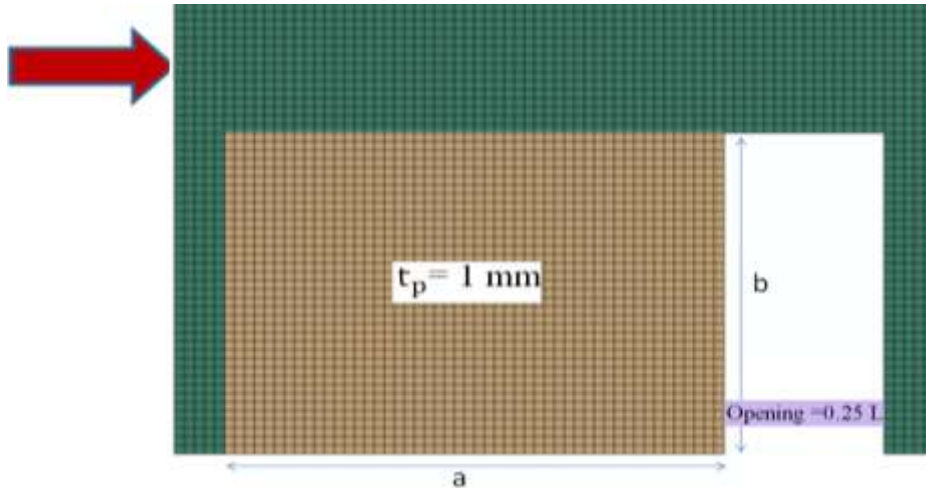
الشكل(24): تأثير سماكة الصفيحة على قدرة التحمل العظمى للإطار.



### B. تأثير إضافة صفيحة معدنية جزئية

• إضافة صفيحة سماكة 1 مم بفتحة تغطي ربع المجاز ( $\text{Opening} = 0.25 L$ ).

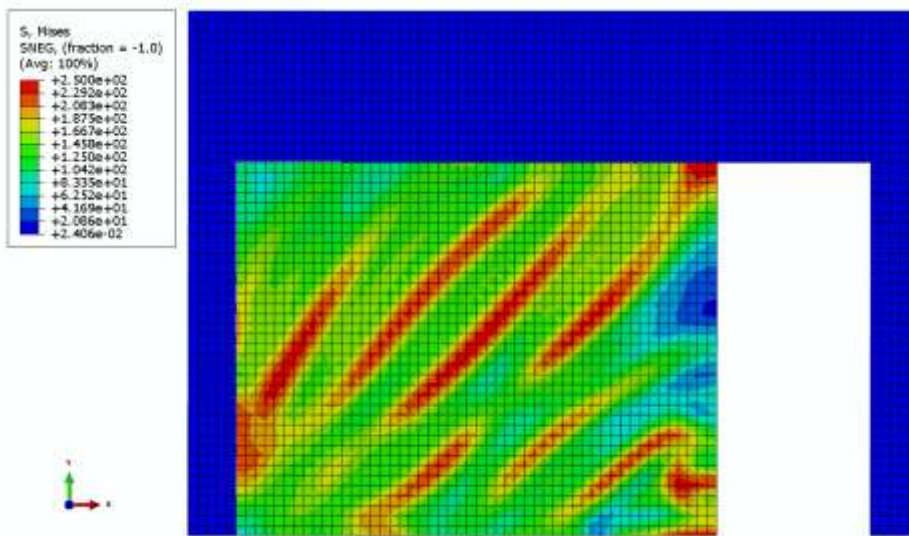
تمت إضافة صفيحة جزئية بسماكة 1 مم تغطي ثلاثة أرباع عرض فتحة الإطار, يبين الشكل (25) الإطار المدعم بإضافة صفيحة جزئية موضح عليه جهة التحميل .



الشكل(25):الإطار البيتوني المدعم بصفيحة جزئية سماكة 1مم وفتحة 0.25 L.

يبين الشكل (26) الشكل المشوه مع إجهاد فون ميسس لجملة الإطار المدعم بصفيحة جزئية سماكة 1مم وفتحة

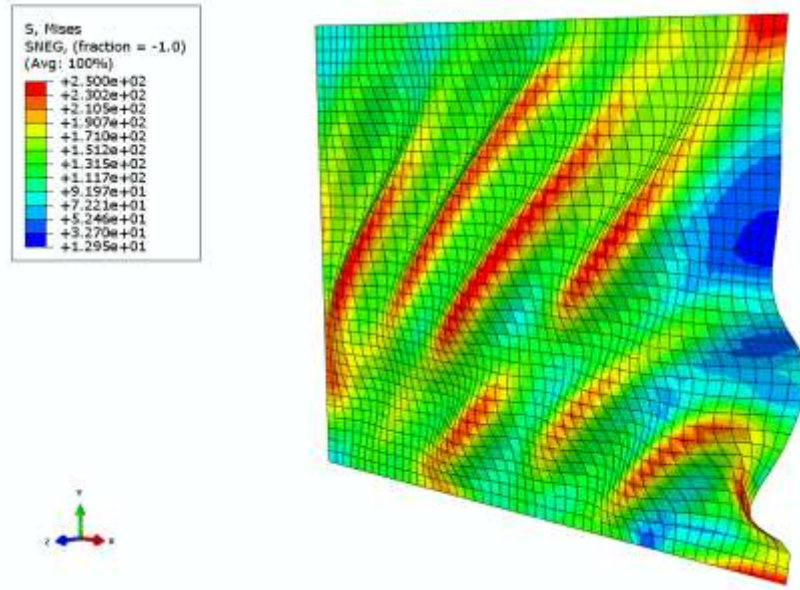
0.25 L



الشكل(26): الشكل المشوه مع إجهاد فون ميسس لجملة الإطار المدعم بصفيحة جزئية سماكة 1مم وفتحة 0.25 L.

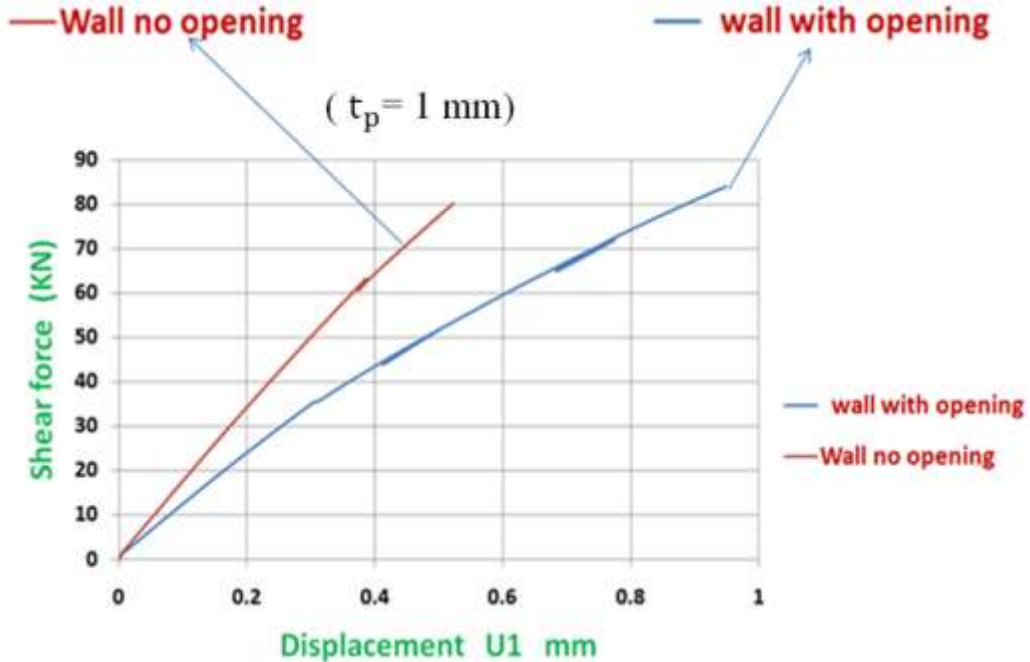
يبين الشكل (27) لقطة فراغية للنموذج المشوه مع إجهاد فون ميسس للصفيحة فقط, حيث إن إجهاد فون

ميسس وصل هنا إلى إجهاد الخضوع للصفيحة ( $f_y = 250 \text{ MPa}$ ).



الشكل(27): لقطة فراغية للنموذج المشوه مع إجهاد فون ميس للصفحة فقط (سماكة 1مم وفتحة L 0.25).

يبين الشكل (28) مخطط القوة-الانتقال في أعلى الإطار , حيث نلاحظ أن الإطار المدعم بصفحة سماكة 1مم وفتحة L 0.25.. قد أبدى مقاومة أكبر من الإطار بدون فتحة, كما أدى صنع فتحة إلى زيادة الانتقال مقارنة مع الصفحة بدون فتحة، وبالتالي انخفاض قساوة الجملة الإنشائية عند صنع الفتحة، ويمكن تفسير ذلك أنه في عدم وجود الفتحة يجعل الصفحة تعمل وكأن عنصر تربيط قد تمت إضافته بين زاويتي الإطار مما يعطي قساوة أعلى للجملة.



الشكل(28): مخطط القوة-الانتقال في أعلى الإطار .

## الاستنتاجات والتوصيات:

### A. استنتاجات (Conclusions) :

■ تم في هذا البحث دراسة تأثير استخدام الصفائح المعدنية كجدران قص (Steel Shear Wall Plate) لتقوية الجمل الإطارية. وذلك باستخدام طريقة الدفع الجانبي (Pushover Analysis) في التحليل. للتعرف إلى تأثير إجراء فتحات في الصفيحة المعدنية وأثر سماكة الصفيحة وموقع الفتحة. وقد توصل البحث إلى النتائج التالية:

■ أدى استخدام صفيحة معدنية كجدار قص وبسماكات صغيرة إلى زيادة قدرة تحمل الجملة الإطارية بنسبة كبيرة (تتجاوز الضعف).

■ أدى استخدام الصفيحة المعدنية كجدار قص إلى زيادة قساوة الجملة وبالتالي انخفاض الانتقال الجانبي.

■ أدى استخدام صفيحة معدنية جزئية (فتحة ضمن الصفيحة) كجدار قص، إلى مقاومة مماثلة تقريباً لحالة الصفيحة بدون فتحات، إلا أنها أعطت انتقالاً أكبر وبالتالي قساوة أقل.

### B. توصيات (Recommendations)

■ ضرورة إجراء تحليل ديناميكي يأخذ بعين الاعتبار الحمولات الزلزالية .

■ لم يتم في هذه الدراسة أخذ أثر التماسك بين المواد بعين الاعتبار, إذ تم اعتبار التماسك كاملاً ( Perfect Bond) وبالتالي ضرورة أخذ ذلك في دراسات مستقبلية وذلك لأن التماسك يؤثر في الانتقال.

■ دراسة تأثير الصفائح المعدنية كجدران قص في أنماط انهيار مختلفة للجملة الإطارية، إذ إنّ هذه الدراسة تناولت حالة جملة إطارية بجائز قوي-عمود ضعيف.

■ إجراء دراسة على أثر استخدام دعامات (Stiffeners) لمنع تحنيب الصفيحة وأثر ذلك في تصرف الجملة الإطارية على الأحمال الزلزالية.

**المراجع:**

- [1] ABAQUS, Version 6.11 (2011) . ABAQUS/Standard User`s Manual, ABAQUS Inc USA.
- [2] Anil O. and Altin S " An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames ", Engineering Structures, (2007). 64, 449-460.
- [3] Choi R . Park G " Cyclic Loading Test for Reinforced Concrete Frame with Thin Steel Infill Plate ", Journal of Engineering Structures, (2011). 137:654-664.
- [4] Eurocode 2: Design of concrete structures." Part 1-1: General rules and rules for buildings", Brussels :CEN, (2008), 10-115.
- [5] Shamass R "Numerical analysis of single dried key joint in precast concrete segmental bridge ", Master thesis, Brunel University,UK, (2011), 22-56.
- [6] Suleiman S "Cyclic performance of RC beams strengthened with CFRP sheets: Experimental and FE studies", PhD thesis, University of Nottingham, UK. (2009), 34-108.
- [7] Singer J. Arbocz J. and Weller T " Buckling experiments-Experiments methods in buckling of thin-walled structures ", John Wiley and Sons, volume 1, New York , (1998), 26-177.
- [8] Uniform Building Code UBC " Structural Engineering design Provisions. international conference of building officials ", USA, (1997), 240-388.
- (9) - الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (ملحق الزلازل), منشورات نقابة المهندسين، سوريا(2005).