

## تطوير طريقة النمذجة الشريطية لجدران القص الفولاذية مع الإطارات البيتونية المسلحة وبفتحة موازية للأعمدة

د. م أسامة طراف<sup>(1)</sup>

### الملخص

تعدّ الإطارات أحد أنواع الجمل الإنشائية لمقاومة الأحمال الزلزالية، وتقوى الإطارات بطرائق عدة، ومن الطرائق المتبعة إضافة صفائح معدنية ضمن مجاز الإطار لتعمل كجدران قص. هدف البحث إلى تطوير نموذج شريطي (Strip model) للصفائح المعدنية عندما تعمل مع الإطارات البيتونية المسلحة كجدران قص، وبفتحة موازية للأعمدة. استخدم في البحث التحليل العددي باستخدام نظرية العناصر المحدودة (Finite Element Method) واعتمد التحليل اللاخطي بطريقة الدفع الجانبي المتزايد (Pushover) الذي يأخذ بالحسبان لاختية المادة وتأثير التشوهات الكبيرة (Geometrically Non-Linear Analysis and Materially Non-Linear Analysis). بني النموذج المطور انطلاقاً من النموذج الرياضي الشريطي الأساسي (Basic Strip Model) المعتمد في كودات عالمية عدة وبعض النماذج المحسنة الموجودة في البحوث. بيّن البحث قدرة النموذج المطور على توقع السلوك اللامرن الكلي للجملة المدروسة، واختتم بإجراء دراسة بارامترية لتقييم أثر تغير عدد الأشرطة المستخدمة، وزاوية ميلها في السلوك اللامرن الكلي للنموذج الشريطي المطور.

الكلمات المفتاحية: نموذج شريطي، إطار بيتوني مسلح، صفائح معدنية كجدران قص، تحليل ستاتيكي لاخطي بطريقة الدفع الجانبي.

<sup>(1)</sup>كلية الهندسة المدنية في جامعة انطاكيا السورية الخاصة.

## **Develop the mathematical strip modeling Method of Steel Plate Shear Walls with Reinforced -Concrete Frame with opening parallel to Columns**

**Dr. Ussamah Tarraf<sup>(1)</sup>**

### **Abstract**

Structural Frame system is considers as an earthquake resisting structural systems. On the other hand, many techniques were used to improve the resistance against lateral loads. where Steel Plate Shear Wall fixed within frame span is one of those techniques.

This research aims to develop the Strip model of Steel Plate Shear Walls with Reinforced-Concrete Frame with opening parallel to Columns.

This study applied numerical analysis using Finite Element Method (FEM) based on Geometrical and Material Non-Linear Analysis (GMNLA). The developed model was built based on the fundamental strip model in the universal codes and Improved models used in research

This study conclude the ability of The developed model to predict the total nonlinear response with a good accuracy, A parametrical study on the effect of the used strip amount and its angel slop on the total nonlinear behavior of the developed strip model was also covered in the final part of this study.

**Key words:** Strip model, Reinforced- concrete frame, Steel plate shear walls, Nonlinear pushover analysis.

---

<sup>(1)</sup> Teacher in Faculty of Civil Engineering, ANTIOCH SYRIAN PRIVATE University.

**1- المقدمة:**

تطور خلال العقدین الأخيرین استخدام جدران القص الفولاذية (SPSW) كنظام إنشائي فعال لمقاومة القوى الجانبية التي يمكن أن يخضع لها المنشأ كحمولات الرياح والزلازل، فضلاً عن أنها تشكل حلاً اقتصادياً. تقاوم جدران القص الفولاذية قوى القص الطابقية الناتجة عن الحمولات الجانبية، بألية رئيسية تتمثل بحقول الشد المائلة التي تتشكل في ألواح الملء في المرحلة اللاحقة (post buckling) لتحنيب هذه الصفائح. ومن الشائع استخدام جدران قص فولاذية جزئية (تحوي فتحات) لأسباب معمارية أو تقنية، وهذا من شأنه أن يؤثر في سلوك جدار القص الفولاذي، مقارنة بلوح فولاذي مليء.

تتكوّن جدران القص الفولاذية من ألواح فولاذية محاطة عند أطرافها بأعمدة وجوائز، ويعدّ النموذج الرياضي الشريطي (Strip-model) حالياً أداة تحليلية واسعة القبول والانتشار، وذلك لمحاكاة سلوك حقول الشد المتشكلة في ألواح الملء لجدران القص الفولاذية الموجودة في الكودات [CAN/CSA S16-01, AISC 2010]، في هذه المقاربة يتم نمذجة لوح الملء، كشبكة من الأشرطة المشدودة فقط (Tension only strips) والموجهة بزواوية ميل حقول الشد نفسها، توفر هذه المقاربة سهولة في النمذجة في أثناء التصميم وسرعة في التحليل.

**2- طريقة إجراء البحث والهدف منه.**

هدف البحث بشكل رئيس إلى تطوير نموذج رياضي شريطي (Strip model) يحاكي الجمل الإنشائية الثنائية (Dual System) المكونة من إطارات بيتونية مسلحة وجدران قص فولاذية بفتحة موازية للأعمدة، يكون قادراً على توقع السلوك اللامرّن الكلي للجملّة المدروسة، مع

إمكانية استخدام النموذج في برامج التحليل المتاحة والمستخدمة من قبل مهندسي التصميم. باستخدام تحليل ستاتيكي لاخطي بطريقة الدفع الجانبي (Pushover Analysis) يعتمد على برنامج (Sap 2000) [6] لإطار بيتوني مسلح اعتمدت أبعاده ومقاطعته من دراسة تجريبية [5]. وقورنت النتائج بنتائج المحاكات العددية باستخدام برنامج العناصر المنتهية [1]Abaqus.

**1-2 تطوير نموذج شريطي لجدران القص المعدنية في حالة إطارات بيتونية.**

اعتمدنا على النموذج الشريطي المستخدم بشكل واسعاً من أجل جدران القص المعدنية المكونة من إطارات وألواح ملء فولاذية والموصى به من قبل العديد من الكودات العالمية [AISC 2010]، الذي سندعوه بالنموذج الشريطي الأساسي (Basic Strip Model-BSM).  
سنعتمد الدراسة التجريبية (Choi and Park, 2011) أجريت هذه الدراسة التجريبية على إطار بيتوني مسلح مؤلف من ثلاثة طوابق بمقياس مصغر (1/3) وموثق في أسفل أعمدته بأساس صلد، ثم أضيفت صفائح معدنية ( $t_p=2$  mm) لتعمل كجدران قص، وتم التحميل بتطبيق انتقال (Displacement) أفقي دوري في أعلى الإطار.

وبيّن الشكل (1) الإطار المدروس في التجربة والنمذجة العددية باستعمال النموذج الشريطي الأساسي في بيئة برنامج (Sap 2000).

ودعونا النموذج الجديد بالنموذج الشريطي المحسن  
(Improved Strip Model-ISM).

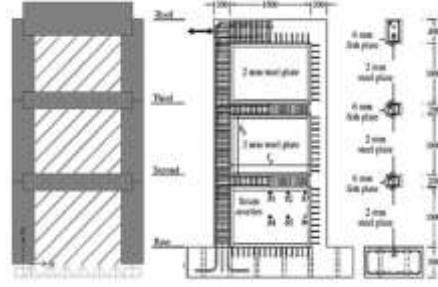
### 1-1-2 تأثير لوح العقدة (Joint Panel).

لوح العقدة (Joint Panel) بالتعريف: هو منطقة من العمود لها أبعاد عرض العمود وارتفاع الجائز  $(d_c \times d_b)$  كما يبين الشكل (2)، وتدعى نقطة التقاء محور العمود مع محور الجائز في مركز لوح العقدة بنقطة الاتصال (Connection node)، في أثناء النمذجة ببرامج العناصر المنتهية تتصل العناصر مع بعضها بنقطة الاتصال وتحسب القوى الداخلية استناداً إلى ذلك، ولمحاكاة الواقع الفعلي يجب إدخال تأثير لوح العقدة في سلوك الإطار. إن الاشتراطات الخاصة بتسليح عقد الإطارات البيتونية الخاصة في الكودات تضمن عدم حدوث الانهيار في منطقة العقدة، مع بقاء التشوهات فيها صغيرة بما يكفي لإهمالها في التحليل الإنشائي.

في برامج العناصر المنتهية كبرنامج التحليل الإنشائي SAP 2000 وفي أثناء النمذجة يلحظ تأثير لوح العقدة بإجراء تعليمة خاصة تدعى (End offset) عند نهايات العناصر، وهذا يحاكي لوح عقدة لا تحدث فيه أية تشوهات.

### 2-1-2 المفاصل اللدنة (Plastic Hinges).

تملك المفاصل اللدنة المتشكلة في العناصر الإطارية الخاصة للانعطاف طولاً محدداً يساوي تقريباً ارتفاع مقطع العنصر الإطاري، بيد أنه في عملية النمذجة يفترض غالباً أن المفصل اللدن يتشكل في نقطة واحدة من العنصر الإطاري، ونظراً إلى أنه تم افتراض لوح العقدة كم منطقة صلبة (Rigid area)، يؤخذ موقع المفصل اللدن على بعد يساوي نصف ارتفاع مقطع العنصر الإطاري عن



الشكل (1): الإطار المدروس

في التجربة والنمذجة العددية باستعمال النموذج الشريطي الأساسي.

أظهرت النتائج أن النموذج الأساسي أبدى قدرة تحمل بنسبة دقة  $(\mu = 86\%)$  من النتائج التجريبية. وهذا يعود إلى جملة من الأسباب أهمها:

(a) إهمال تأثير لوح العقدة (Joint Panel) إذ تُمدج الاتصال الصلب بين الجائز والعمود بعقدة صلبة وضعت عند التقاء محوريهما.

(b) إهمال بعض الظواهر الملاحظة تجريبياً من قبل بعض الباحثين في سلوك لوح الملاء الفولاذي Shishkin (et al., 2005) إذ يهمل النموذج الشريطي الأساسي (BSM) الإسهام الصغير في المقاومة والصلابة للوح الملاء الناتجة عن مقاومة لوح الملاء على الضغط ولا سيما في منطقة الزوايا، حيث يكون الطول الفعال صغيراً مما يحول دون تحنيط لوح الملاء في تلك المنطقة.

(c) فضلاً عن ذلك فإن النموذج الشريطي الأساسي (BSM) لا يأخذ بالحسبان حقل الشد الشاقولي الناتج عن عزم الانقلاب والمتشكل في لوح الملاء بجوار العمود المشدود، الذي يؤدي إلى زيادة الصلابة المحورية للعمود المشدود.

استناداً إلى هذه الملحوظات قمنا بإجراء بعض التحسينات على النموذج الشريطي الأساسي (BSM)

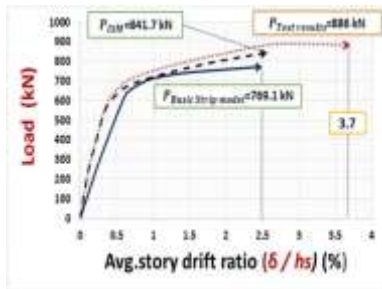
## 2-2 نتائج التحليل باستعمال النموذج الشريطي المعدل (ISM).

يبين الشكل (3) مخطط القوة-الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية (Avg.story drift ratio%) للنموذج (SPIW1) أجريت فيه المقارنة بين النتائج التجريبية والتحليلية باستعمال النموذج الشريطي الأساسي (BSM) والنموذج الشريطي المحسن (ISM).

يظهر الشكل أن النموذج (BSM) أبدى قدرة تحمل وصلت إلى قيمة تساوي ( $P=769.3 \text{ kN}$ )، وبنسبة دقة تساوي ( $\mu = 86\%$ ) من النتائج التجريبية ( $P_T=886 \text{ kN}$ ).

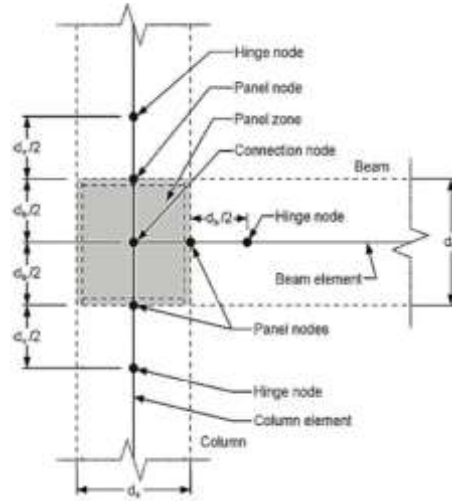
بينما ارتفعت قدرة تحمل النموذج الشريطي المعدل (ISM) لتصل إلى قيمة ( $P=841.7 \text{ kN}$ )، وبنسبة دقة وصلت إلى قيمة تساوي ( $\mu = 95\%$ ) من النتائج التجريبية ( $P_T=886 \text{ kN}$ ).

طوّرت التحسينات المُدخلة للنموذج من النتائج بشكل جيد على صعيد المقاومة والصلابة، فإدخال أثر لوح العقدة زاد من صلابة عقد الإطار، وفضلاً عن ذلك فإن إضافة دعائم الضغط ساعد في تحسن ملحوظ للمقاومة والصلابة.



الشكل (3): مخطط القوة-الإزاحة الطابقية النسبية الوسطية للنتائج التجريبية والتحليلية باستعمال النموذج الشريطي المحسن (ISM) والأساسي (BSM).

محيط لوح العقدة، وبيّن الشكل (2) موقع نقطة تعريف المفصل اللدن (Hinge node) لكل من الجائز والعمود.



الشكل (2): شكل يوضح لوح العقدة (Joint Panel)

## 3-1-2 دعامة الضغط (Compression Strut).

إنّ النموذج الشريطي الأساسي (BSM) يهمل الإسهام الصغير في المقاومة والصلابة للوح المملء الناتجة عن مقاومة لوح المملء على الضغط ولاسيما في منطقة الزوايا، إذ يكون الطول الفعّال صغيراً ممّا يحول دون تخريب لوح المملء في تلك المنطقة. فضلاً عن ذلك فإنه لا يأخذ بالحسبان حقل الشد الشاقولي الناتج عن عزم الانقلاب والمتشكل في لوح المملء بجوار العمود المشدود، الذي يؤدي إلى زيادة الصلابة المحورية للعمود المشدود.

يمكن أخذ هذه الملحوظات بالحسبان بشكل تقريبي من خلال استعمال دعامة ضغط (Compression Strut) متمفصلة الطرفين تصل قطرياً بين زاويتي لوح المملء باتجاه معاكس لاتجاه الأشرطة المشدودة.

### 3- توصيف الإطار المدروس:

يبين الشكل (4) أبعاد النموذج المدروس المؤلف من طابقتين ومجازين وموثق في أسفل أعمدته بوثاقفة تامة، فيه عتالة العمود أكبر من عتالة الجائز، ومسلح باشتراطات الإطار المقاوم للعزوم وفق الكود[9]، الارتفاع الطابقي وعرض فتحة المجاز على الترتيب  $h=100$  cm،  $b=150$  cm كما يبين أبعاد مقطع العمود  $hc=300$  mm مع قطر وعدد قضبان تسليحه الطولي والعرضي على الترتيب  $(4T20,4T18, \text{Ø}8/8\text{cm})$  وبتبين أبعاد مقطع الجائز  $(hb=200$  mm ،  $bb=300$  mm) مع قطر وعدد قضبان تسليحه الطولي والعرضي على الترتيب  $(2T18, \text{Ø}8/8\text{cm})$ .

### 3-1 مدخلات خاصة ببناء النموذج:

اعتمدت المنهجية المتبعة لنمذجة جدران القص الفولاذية بطريقة النمذجة الرياضية الشريطية (Strip model) كما يأتي: استعمل لنمذجة أعمدة الإطار البيتوني العنصر (Frame Element) المادة متمائلة الخواص (Isotropic).

استعمل لنمذجة جوائز الإطار المتمفصلة من النهايات العنصر (Frame Element) المادة متمائلة الخواص (Isotropic).

استعمل لنمذجة اللوح المعدني عناصر شريطية متمفصلة النهايات، أيضاً من النوع (Frame Element) المادة (Uniaxial) بمقطع دائري حسب مساحته من المعادلة (4) عدد العناصر الشريطية  $(n=10)$  و تميل بزواية  $(\alpha)$ .

### 3-2 مدخلات خاصة بالتحليل.

طورت تقارير كل من (ATC40) و (FEMA-273) إجراءات النمذجة، ومعايير قبول إجراءات التحليل الدفعي، تُعرّف هذه التقارير معايير العلاقة بين القوة والتشوه للمفاصل (اللجنة) المستخدمة في التحليل.

توضع المفاصل على النموذج باختيار العناصر الإطارية وتخصيصها بخواص المفاصل المذكورة ومواقع هذه المفاصل كما يأتي:

الجوائز: يسند نوع المفصل (Interacting P-M3) عند طرفي الجوائز.

الأعمدة: يسند نوع المفصل (Interacting P-M3) عند طرفي الأعمدة.

الأشرطة: المشدودة: يسند نوع المفصل (Axial P) في منتصف الأشرطة.

كما تخفّض صلابة العناصر البيتونية لأخذ تأثير تشقق البيتون بالحسبان كما يأتي:

عمود مضغوط نسبة التخفيض (0.7)، عمود مشدود نسبة التخفيض (0.5)، جوائز نسبة التخفيض (0.5).

### 4- المناقشة.

يبين الشكل (5) مخطط القوة-الانتقال للنموذج (SPSW) بمجازين وطابقتين أجريت فيه المقارنة بين النتائج التحليلية (Abaqus) ونتائج النموذج الشريطي المحسن (ISM).

يظهر الشكل أن النموذج الشريطي المحسن (ISM) أبدى قدرة تحمل وصلت إلى تساوي  $P_{ISM}=1478.5$  (kN)، وبنسبة دقة تساوي  $(\mu = 96.8\%)$  من النتائج التحليلية، كما أنّ الصلابة البدائية قريبة جداً من الصلابة التحليلية.

#### 1-1-4 مدخلات خاصة ببناء النموذج.

#### 1-1-1-4 تعديلات خاصة بالزاوية ( $\alpha$ ).

يحسب ميل الزاوية ( $\alpha$ ) في حالة لوح ملء يشغل كامل المجاز من المعادلة (1) [8].

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{2A_c}}{1 + t_w h_s \left[ \frac{1}{A_b} + \frac{h_s^3}{360 I_{CL}} \right]} \quad (1)$$

$A_c$ : مساحة مقطع العمود.

$I_c$ : عزم عطالة مقطع العمود.

$A_b$ : مساحة مقطع الجائز.

$h_s$ : ارتفاع الطابق.  $L$ : عرض المجاز.

$t_w$ : سماكة لوح الملء (mm).

$L_{cf}$ : المسافة في الضوء (الفراغ) بين أجنحة العناصر

المحيطة الشاقولية. (VBA).

وفي حالة الإطارات البيتونية يدخل المعامل ( $n =$

elastic modulus ratio,  $E_s/E_c$ ) للعلاقة لتصبح كما

يأتي [2]:

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{nt_w L}{2A_c}}{1 + nt_w h_s \left[ \frac{1}{A_b} + \frac{h_s^3}{360 I_{CL}} \right]} \quad \dots (2)$$

إذ:

$E_s$ : معامل مرونة فولاذ الصفيحة.

$E_c$ : معامل مرونة البيتون.

وتعطي مقاومة الشد المتوقعة لأشرطة الجسد بالعلاقة:

$$P_y = F_y A_s \quad \dots (3)$$

$$A_s = \frac{L \cos \alpha + H \sin \alpha}{n} t_w \quad \dots (4)$$

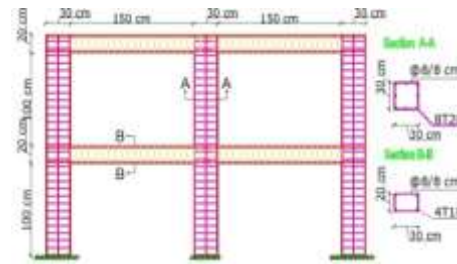
حيث:

$A_s$ : مساحة الشريط.

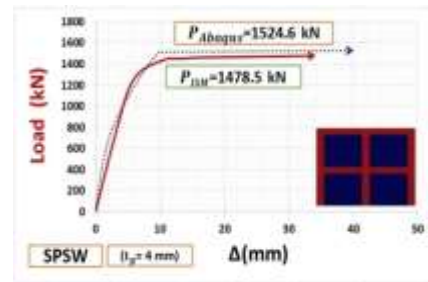
$L$ : عرض اللوح.

$H$ : ارتفاع اللوح.

$n$ : عدد الأشرطة.



الشكل (4): أبعاد النموذج المدروس.



الشكل (5): مخطط القوة-الانتقال

للنتائج التحليلية (Abaqus) ونتائج للنموذج الشريطي

المحسن (ISM).

#### 1-4 تطوير نموذج رياضي شريطي Strip

(model) لجدران القص الفولاذية الجزئية.

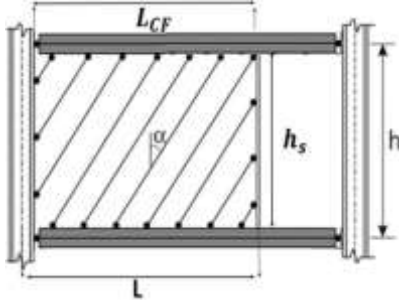
طوّرنّا نموذجاً شريطياً لحالة (SPSW) بألواح ملء فولاذية جزئية وإطار بيتوني. أثبتت الدراسات أنه من الضروري تدعيم الطرف الحر للوح الملء لتأمين إرساء حقول الشد التي تتشكل في الصفيحة بعد تحنّبها، كما أنّ الكودات العالمية توصي بهذا الإجراء أيضاً.

لذلك طوّرنّا نموذجاً شريطياً لحالة (SPSW) بإطار بيتوني وألواح ملء فولاذية جزئية و مدعمة عند طرفها الحر، سيبنى هذا النموذج استناداً إلى النموذج الرياضي الشريطي المحسن (Improved Strip Model) لحالة ألواح ملء كاملة، وذلك بإجراء بعض التعديلات التي تأخذ بالحسبان وجود لوح ملء جزئي.

$$(6) \dots \tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{2A_s}}{1 + t_w h_s \left[ \frac{1}{(A_b/n)} + \frac{h_s^3}{360 I_s L} \right]}$$

2-1-1-4 مقطع العنصر الشريطي و مقطع دعامة الضغط.

يحسب مقطع العنصر الشريطي ومقطع دعامة الضغط من أجل المقاومة والصلابة من العلاقة (4) مع استبدال الأبعاد كافة الخاصة باللوح الكلي بأبعاد اللوح الجزئي، كما يوضح الشكل (7).



الشكل (7): توضيح للأبعاد في حالة اللوح الجزئي.

#### 3-1-1-4 المدعمة المقيدة للطرف الحر.

تجرى نمذجة المدعمة المعدنية بعنصر إطاري معدني متصل بشكل صلب مع الجيزان، أو الأعمدة حسب شكل الفتحة أفقية أو شاقولية.

#### 2-1-4 مدخلات خاصة بالتحليل.

يستند إلى الشرح الوارد في الفقرة (3-3) مع لحظ الاختلاف لتعريف وإسناد نوع المفاصل اللدنة وموقعها كما يأتي:

#### 1-2-1-4 المفاصل اللدنة.

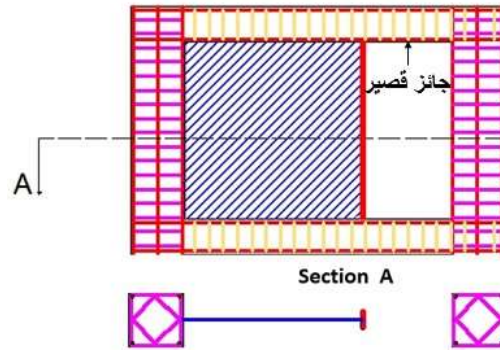
إن إجراء الفتحات من شأنه خلق جيزان قصيرة في حالة الفتحات الشاقولية كما يبين الشكل (6)، ومن المحتمل أن تنهار هذه الجيزان بالقص، لذلك يجب أخذ هذا الأمر بالحسبان من خلال إسناد مفاصل قصية لهذه العناصر القصيرة.

بوجود فتحة في لوح الملء الفولاذي مع مدعّمات لتقييد الأطراف الحرة، يدخل الصلابة المحورية وصلابة الانعطاف للمدعمة المعدنية، ونمير الحالات الآتية:

(a) يتصل لوح الملء الفولاذي مع الجيزان من الأعلى والأسفل ومع العمود من جهة واحدة، ومع المدعمة من الجهة الأخرى كما يبين الشكل (6) ومن ثمّ تعدّل علاقة الزاوية ( $\alpha$ ) لتصبح بالشكل الآتي:

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{\left(\frac{A_c}{n}\right) + A_s}}{1 + t_w h_s \left[ \frac{1}{\left(\frac{A_b}{n}\right)} + \frac{h_s^3}{360 \left[ \frac{(I_c/n) + I_s}{2} \right] L} \right]}$$

(5) .....



الشكل (6): حالة الفتحة شاقولية ومن جهة العمود.

(b) يتصل لوح الملء الفولاذي مع الجيزان من الأعلى والأسفل، ومع المدعّمين المعدنيتين من الطرفين الجانبيين، دون وجود اتصال مع الأعمدة (فتحة شاقولية من الطرفين) ومن ثمّ تعدّل علاقة الزاوية ( $\alpha$ ) لتصبح بالشكل الآتي:



### الجوائز:

يسند نوع المفصل (Interacting P-M3) عند طرفي الجوائز، فضلاً عن مفصل قصي (Shear V2) وسط كل جوائز قصير.

### الأعمدة:

يسند نوع المفصل (Interacting P-M3) عند طرفي الأعمدة.

### الأشرطة المشدودة:

يسند نوع المفصل (Axial P) في منتصف الأشرطة.

### دعامة الضغط:

يسند نوع المفصل (Axial P) في منتصف دعامة الضغط.

### المدعمات:

نظراً إلى أنّ صلابة المدعمة على الانعطاف صغيرة في حالتنا الخاصة فستخضع بشكل أساسي لقوى محورية (شد وضغط)، ومن ثمّ يمكن نمذجة سلوك المدعمة اللاخطي بإسناد مفصل محوري (Axial P) عند طرفي المدعمة. وفي الحالة العامة عندما يكون مقطع المدعمة كبيراً، ويحقق شروط الكود الخاصة بصلابة العناصر الطرفية، ومن ثمّ ستخضع لانعطاف و قوى محورية، ومن ثمّ فالمفاصل المسندة للمدعمة هي مفاصل تفاعلية (Interacting P-M3) عند طرفي المدعمة.

### 2-4 توثيق النموذج المطور لجدران القص الفولاذية

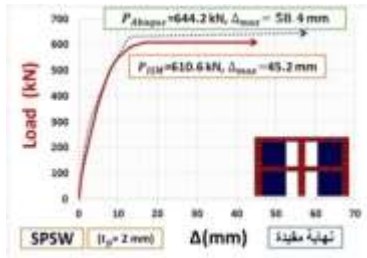
#### الجزئية ذات النهاية المقيدة.

A-الفتحة مجاورة للعمود الوسطي وتشغل ثلث المجاز

(Opening=0.33L).

يبين الشكل (8) مخطط القوة-الانتقال للنموذج (SPSW) بمجازين وطابقين بفتحة مجاورة للعمود الوسطي (Opening=0.33L). أجريت فيه المقارنة بين النتائج التحليلية (Abaqus) ونتائج النموذج الشريطي المحسن (ISM).

يظهر الشكل أنّ النموذج الشريطي المحسن (ISM) أبدى قدرة تحمل وصلت إلى قيمة تساوي  $P_{ISM}=610.6$  (kN)، ونسبة دقة تساوي ( $\mu = 94.7\%$ ) من النتائج التحليلية.



### الشكل (8): مخطط القوة-الانتقال للنتائج التحليلية

(Abaqus) ونتائج للنموذج الشريطي المحسن (ISM).

B-كامل عقد الإطار مقيدة عن الدوران (الفتحة بمنتصف المجاز) (Opening=0.33L).

يبين الشكل (9) مخطط القوة-الانتقال للنموذج (SPSW) بمجازين وطابقين مع لوح ملء جزئي (الفتحة بمنتصف المجاز) أجريت فيه المقارنة بين النتائج التحليلية (Abaqus) ونتائج النموذج الشريطي المحسن (ISM).

يظهر الشكل أنّ النموذج الشريطي المحسن (ISM) أبدى قدرة تحمل وصلت إلى قيمة تساوي  $(P_{ISM}=489.1$  kN)، ونسبة دقة تساوي ( $\mu = 95.8\%$ ) من النتائج التحليلية.

خلال استخدام عدد محدود من الشرائط، ولكن هذا قد يؤثر سلباً في دقة النتائج. بناءً على ذلك سيكون من المفيد جداً تحديد عدد ما للشرائط المستخدمة بحيث يحقق في آن معاً سهولة النمذجة ودقة النتائج.

درسنا في هذه الفقرة تأثير تغيير الزاوية ( $\alpha$ ) وعدد الشرائط المستخدمة ( $n$ ) في السلوك اللامرّن الناتج من تطبيق النموذج الشريطي المحسن المطور (Improved Strip Model) على (SPSW) بإطارات بيتونية.

طبّقنا النموذج الشريطي المحسن المطور على (SPSW) متعدد الطوابق وبمجازين، يتكون (SPSW) من إطار بيتوني خاص مقاوم للعزوم متعدد الطوابق وبمجازين مع ألواح فولاذية جزئية متصلة مع الجيزان والأعمدة والعناصر الطرفية المستخدمة لتقييد أطرافها الحرة، ليشكل المجموع جملة ثنائية مكونة من (SPSW) وإطار بيتوني خاص مقاوم للعزوم.

لإنجاز هذه الدراسة البرمترائية اختير نموذج بناء واحد منتظم بمسقطه وارتفاعه، (18 طابق).

#### 4-3-1 معايير التصميم.

#### 4-3-1-1 وصف نموذج البناء المعتمد.

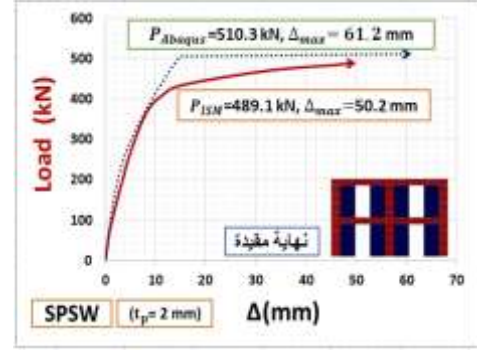
يبين الشكل (10) مسقطاً أفقياً للمبنى المعتمد لهذه الدراسة البرمترائية (المجازات متساوية 6m)، يتكون النظام الإنشائي من:

مجموعة من الإطارات البيتونية باتصال مفصلي بين الأعمدة والجيزان وبين الأعمدة والأساسات، تقاوم هذه الإطارات بشكل أساسي حمولات الثقالة.

النظام الإنشائي المقاوم للأحمال الجانبية يتألف من:

في الاتجاه القصير:

جملة ثنائية مكونة من:



الشكل (9): مخطط القوة-الانتقال

للنتائج التحليلية (Abaqus) ونتائج للنموذج الشريطي المحسن (ISM).

#### 4-3-2 الدراسة البارمترائية.

تظهر العلاقات المستخدمة لتعريف زاوية ميل حقول الشد المتشكلة في لوح الملاء الفولاذي (الزاوية  $\alpha$ ) أنّ قيمة هذه الزاوية تعتمد اعتماداً رئيساً على:

a- سماكة لوح الملاء.

b- خصائص المقطع العرضي للعناصر المحيطية (مساحة المقطع وعزم عطالته).

c- ارتفاع لوح الملاء وعرضه.

من المعروف أنّ عملية التصميم هي إجراء تكراري يجري فيه تغيير أبعاد مقاطع العناصر الإنشائية ليتم الوصول إلى أبعاد تحقق متطلبات التصميم كلّها. يرافق كل تغيير لأبعاد لوح الملاء والعناصر المحيطية تغيير الزاوية ( $\alpha$ )، وهذا يقتضي إعادة توليد النموذج الشريطي المستخدم لنمذجة لوح الملاء، ما يجعل الأمر معقداً نسبياً للمصمم، فسيكون من المفيد اعتماد قيمة وحيدة للزاوية ( $\alpha$ ) خلال عملية التصميم حتى إذا تغيرت أبعاد الأعمدة والجيزان البيتونية وألواح الملاء الفولاذية.

إنّ عدد الشرائط المستخدمة لنمذجة لوح الملاء الفولاذي يؤدي دوراً مهماً في تعقيد أو تبسيط عملية النمذجة عند توليد النموذج الشريطي. يمكن تبسيط عملية النمذجة من

لتحمل ما لا يقل عن قيمة ( 25 % ) من الحمولة الزلزالية التصميمية (الكود العربي السوري، 2012).

#### 2-1-3-4 الحملات المطبقة على المبنى. حملات

##### الثقالة:

اعتمد الكود العربي السوري (2012) لتحديد الحملات الاستثمارية باعتبار أن المبنى سكني:

حمولات ميتة DL=5 KN/m<sup>2</sup>

حمولات استثمارية LL=3 KN/m<sup>2</sup>

##### الحملات الزلزالية:

اعتمد الكود العربي السوري (2012) ملحق الزلازل لتحديد الحملات الزلزالية، إذ استخدمت الطريقة الستاتيكية المكافئة باعتبار أن المنشأ منتظم ولا يزيد ارتفاعه على (h=73 m)، ويقع المنشأ في الساحل السوري حيث معامل المنطقة الزلزالية (Z=0.3)، ونموذج المقطع الشاقولي للتربة من النوع (SD).

نظراً إلى أن الجملة المقاومة للأحمال الزلزالية هي جملة ثنائية مكونة من إطار بيتوني مسلح خاص مقاوم للعزوم مع جدران قص فولاذية صفائحية خاصة، فتكون المعاملات الزلزالية كما يأتي:

$$R=8, \Omega=2.5, Cd=6.5$$

#### 3-1-3-4 تراكيب الأحمال.

اعتمد الكود العربي السوري (2012) لتحديد تراكيب الأحمال.

$$1.4D+1.7L$$

$$1.32D+1.1E+1.1(f1L)$$

$$0.99D \pm 1.1E$$

#### 4-1-3-4 التصميم.

وفقاً للتوصيات الخاصة بهذا النمط من الجمل الإنشائية الثنائية، يصمم الإطار المقاوم للعزوم بشكل مستقل لتحمل (25%) على الأقل من القص القاعدي

a-إطار بيتوني خاص مقاوم للعزوم بثلاثة مجازات متوضعة عند طرفي المبنى.

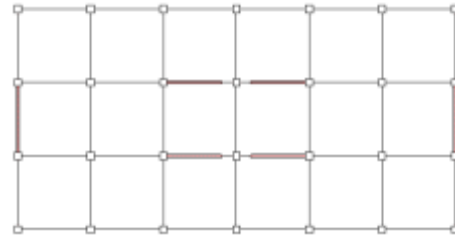
b-لوح ملء فولاذي جزئي يشغل الفتحة الوسطية من كل إطار من الإطارين السابقين، ويتصل مع العناصر المحيطية (الجيزان والأعمدة) ليشكل معها (SPSW) بإطار بيتوني خاص مقاوم للعزوم.

في الاتجاه الطويل:

جملة ثنائية أيضاً مكونة من:

a-إطارين بيتونيين خاصين مقاومين للعزوم بمجازين متوضعين في وسط المبنى بالاتجاه الطويل.

b-لوح ملء فولاذي في مجازي كل إطار ويحوي كل لوح ملء فتحة في جوار، يتصل لوح الملء الجزئي مع الجيزان والأعمدة الطرفية لكل إطار، لتشكل معها جدار قص فولاذي جزئي بإطار بيتوني، يدعم الطرف الحر لكل لوح ملء جزئي بعنصر معدني (H).



الشكل (10): مسقط أفقي للمبنى المعتمد في الدراسة.

المبنى متناظر ومنتظم في المسقط وعلى كامل ارتفاعه، لذلك اكتفينا بدراسة الجملة المقاومة للأحمال الجانبية في الاتجاه الطويل حيث يوجد جدار القص بألواح ملء جزئية، الذي هو موضوع اهتمامنا الرئيس في هذا البحث.

وفقاً لتعريف الجمل الثنائية بإطارات خاصة مقاومة للعزوم يجب أن يصمم الإطار الخاص المقاوم للعزوم

حالات (L/h=1.2) (L/h=0.9) (L/h=0.6) (L/h=1.5).

Group-B: درست في هذه المجموعة دراسة قيمتان للزاوية ( $\alpha=38$ ) ( $\alpha=50$ )، مع قيمتين لعدد الأشرطة (n=10) (n=20)، وتم تثبيت معامل شكل اللوح الفولاذي عند القيمة (L/h=1.5)، والمتغير في هذه المجموعة هو معامل ليونة المدعمة المستخدمة لتقييد الطرف الحر للوح الملء الفولاذي الجزئي، فدرست ثلاث حالات مختلفة:

$$\omega_h = 1.5 - \omega_h = 2 - \omega_h = 2.5$$

يبين الشكل (11) مخطط القوة-الانتقال للنموذج (18) طابق بارتفاع (3.5 m) أجريت فيه المقارنة بين أربع حالات لقيمة معامل شكل اللوح الفولاذي (L/h=0.6, 1.2, 1.5) مع دراسة قيمتين لعدد الأشرطة (n=10,20) وزاوية دورانها ( $\alpha=38$ ).

يوضح الشكل زيادة مستمرة بقدرة التحمل بزيادة معامل الشكل، إذ وصلت قدرة التحمل الحدية إلى قيمة تساوي عند قيمة معامل الشكل (L/h=1.5)  $P_U = 90007.3$  (kN) عند عدد الأشرطة (n=10)، وبزيادة عدد الأشرطة لتصبح (n=20) ارتفعت قدرة التحمل بنسبة صغيرة جداً ( $\mu = 2\%$ ) فوصلت إلى القيمة  $P_U = 91879.9$  (kN).

يبين الشكل (12) مخطط القوة-الانتقال للنموذج (18) طابق بارتفاع (3.5 m) أجريت فيه المقارنة بين أربع حالات لقيمة معامل شكل اللوح الفولاذي (L/h=0.6, 1.2, 1.5) مع دراسة قيمتين لعدد الأشرطة (n=10) (n=20) وزاوية دورانها ( $\alpha=50$ ).

يوضح الشكل زيادة مستمرة بقدرة التحمل بزيادة معامل الشكل، إذ وصلت قدرة التحمل عند قيمة معامل الشكل (L/h=1.5) إلى القيمة ( $P_U = 94240.1$  kN) عند عدد

التصميمي فضلاً عن حمولات إذ تهمل مساهمة (SPSW) في تحمل الحمولات الشاقولية.

فرضت الأبعاد الأولية للمقاطع بعد الأخذ بالحسبان: a- تحقيق الاشتراطات كلها الخاصة بالإطارات الخاصة المقاومة للعزوم.

b- ألا تزيد ليونة العناصر الطرفية للوح الملء الفولاذي (جيزان، أعمدة، مدعّمات للطرف الحر للوح الملء الجزئي) وفق الكود [CAN/CSA S16-01] على قيمة عظمى  $\omega_{hMax} = 2.5$ .

اعتمد التحليل الستاتيكي اللاخطي بطريقة الدفع الجانبي المتزايد (Pushover)، الحمولة المطبقة بشكل مثلث مقلوب وفق نمط الطور الأول للاهتزاز.

#### 2-3-4 اختيار بارمترات الدراسة.

اختيرت البرمترات الأكثر تأثيراً في النموذج الشريطي المحسن المطور (ISM)، وهي:

A-معامل الشكل للوح الملء الفولاذي (L/h).

B-ليونة العنصر المستخدم لتقييد الطرف الحر للوح الملء الجزئي  $\omega_h$ .

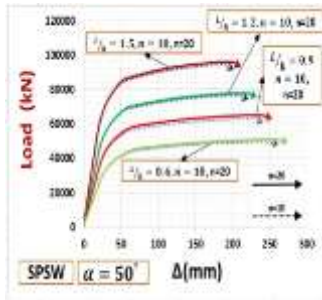
C-زاوية ميل حقول الشد ( $\alpha$ ).

D-عدد الأشرطة المستخدم لنمذجة لوح الملء (n).

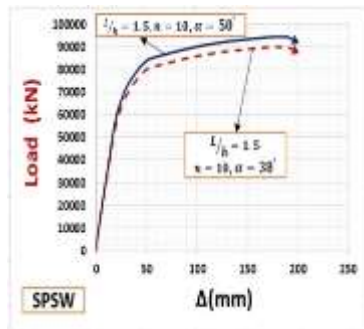
#### 3-3-4 توصيف المتغيرات ضمن النماذج.

قسّمت المتغيرات إلى مجموعتين كما يأتي:

Group-A: تم في هذه المجموعة دراسة قيمتين للزاوية ( $\alpha=38$ ) ( $\alpha=50$ ) التي تمثل القيم الحدية المسموحة في الكود الكندي [CAN/CSA S16-01] مع قيمتين لعدد الأشرطة (n=10) (n=20)، وتم تثبيت معامل ليونة المدعمة المستخدمة لتقييد الطرف الحر للوح الملء الفولاذي الجزئي  $\omega_h = 2.5$ . والمتغير في هذه المجموعة هو معامل شكل اللوح الفولاذي، فدرست أربع



الشكل (12): مخطط القوة-الانتقال للنموذج (18) طابق بارترفاع (3.5 m) أجريت فيه المقارنة بين أربع حالات لقيمة معامل شكل اللوح الفولاذي ( $\alpha=50$ ).



الشكل (13): مخطط القوة-الانتقال للنموذج (18) طابق بارترفاع (3.5 m) أجريت فيه المقارنة بين حالتين لقيمة زاوية ميل الأشرطة ( $\alpha=50$ ) ( $\alpha=38$ ).

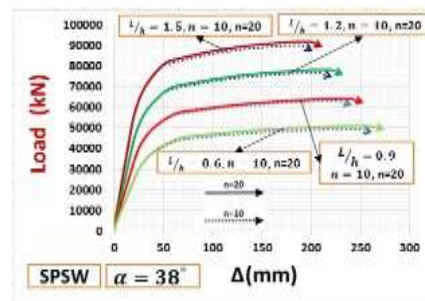
يبين الشكل (14) المقارنة بين عدة حالات لقيمة معامل ليونة المدعمة المستخدمة لتقييد الطرف الحر للوح الملاء (2.5, 2, 1.5) مع دراسة قيمتين لعدد الأشرطة (n=10) (n=20) وزاوية دورانها ( $\alpha=38$ ). مع ثبات قيمة معامل الشكل ( $L/h=1.5$ ).

يوضح الشكل زيادة مستمرة بقدرة التحمل بنقصان معامل ليونة المدعمة، إذ وصلت قدرة التحمل عند قيمة معامل ليونة المدعمة ( $\omega_h = 1.5$ ) إلى القيمة ( $P_U=99010.6$  kN) عند عدد الأشرطة (n=10)، وبزيادة عدد الأشرطة لتصبح (n=20) ارتفعت قدرة التحمل

الأشرطة (n=10)، وبزيادة عدد الأشرطة لتصبح (n=20) ارتفعت قدرة التحمل بنسبة صغيرة جداً ( $\mu = 2.44$  %) فوصلت إلى القيمة الحدية التالية ( $P_U=96544.3$  kN).

يبين الشكل (13) مخطط القوة-الانتقال للنموذج (18) طابق بارترفاع (3.5 m) أجريت فيه المقارنة بين حالتين لقيمة زاوية ميل الأشرطة ( $\alpha=38$ ) ( $\alpha=50$ ). حيث معامل شكل اللوح الفولاذي ( $L/h=1.5$ ) وقيمة عدد الأشرطة (n=10). يوضح الشكل زيادة بقدرة التحمل بزيادة قيمة الزاوية ( $\alpha$ ) إذ وصلت قدرة التحمل عند الزاوية ( $\alpha=38$ ) إلى القيمة ( $P_U = 9009.7$  kN). بينما ارتفعت قدرة التحمل عند ارتفاع قيمة الزاوية ( $\alpha=50$ ) لتصل إلى القيمة ( $P_U=94240.1$  kN).

إذ بزيادة زاوية ميل الأشرطة المشدودة من ( $\alpha=38$ ) إلى ( $\alpha=50$ ) حدثت زيادة بقدرة التحمل بنسبة ( $\mu = 4.7$  %).



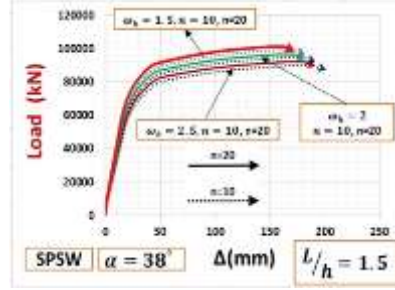
الشكل (11): مخطط القوة-الانتقال للنموذج (18) طابق بارترفاع (3.5 m) أجريت فيه المقارنة بين أربع حالات لقيمة معامل شكل اللوح الفولاذي ( $\alpha=38$ ).

ما توصل إليه عدد من الباحثين في مجال جدران القص الفولاذية (SPSW) بإطارات فولاذية، منهم *Driver et al.* (1998) و *Shishkin et al.* (2005) ومن ثمّ نوصي باستخدام عدد الأشرطة ( $n=10$ ) وهي القيمة نفسها المعتمدة في الكود الأمريكي 2010 AISC من أجل (SPSW) بإطارات فولاذية. ولتبسيط عملية التصميم يمكن استخدام قيمة ثابتة لزاوية ميل الأشرطة المشدودة ( $\alpha = 40^\circ$ ) في أثناء عملية تصميم (SPSW) بإطارات بيتونية، وهذا يتوافق أيضاً مع القيم الموصى بها في الكود الأمريكي 2010 AISC وبعض المراجع *Shishkin et al.* (2005) من أجل (SPSW) بإطارات فولاذية.

C-نمذجة الاستجابة اللامرنة للعناصر الإطارية القصيرة المتولدة من وجود صفيحة ملء جزئية، أسندت مفاصل قصية في وسط هذه العناصر القصيرة فضلاً عن المفاصل التفاعلية عند طرفي كل عنصر قصير.

بعد توثيق النموذج الشريطي المحسن أجريت دراسة بارامترية لتقييم أثر زيادة عدد الأشرطة المستخدمة لنمذجة صفيحة الملء، وأثر تغيير زاوية ميل الأشرطة ( $\alpha$ ) في السلوك اللامرن الكلي للنموذج.

بنسبة صغيرة جداً ( $\mu = 2\%$ ) فوصلت ( $P_U=101005.3 \text{ kN}$ ).



الشكل (14): مخطط القوة-الانتقال للنموذج (18) مطابق بارتفاع (3.5 m) أجريت فيه المقارنة بين حالات عدّة لقيمة معامل ليونة المدعمة المستخدمة لتقييد الطرف الحر للوح الملء الفولاذي الجزئي ( $\alpha=38$ ).

## 5-النتائج (Conclusions):

طوّر النموذج في هذا البحث انطلاقاً من النموذج الشريطي المحسن الخاص لحالة صفائح ملء كاملة، وذلك بإجراء بعض التعديلات التي تأخذ بالحسبان وجود صفيحة ملء جزئية، وفيما يأتي أهم هذه التعديلات:

A-عدّلت علاقة حساب زاوية ميل حقول الشد المستخدمة من أجل صفائح ملء كاملة بإدخال الصلابة المحورية والصلابة على الانعطاف للمدعمة الفولاذية المقيدة للطرف الحر لصفيحة الملء الجزئية.

B-أجريت نمذجة المدعمة الفولاذية بعنصر إطاري متصل بشكل صلب مع الجوائز في حال فتحة شاقولية موازية للأعمدة، كما أجريت نمذجة السلوك اللامرن لهذه المدعمة باستخدام مفصل تفاعلي موضوع عند طرفي المدعمة.

D-تم الحصول على منحنى الاستجابة اللامرنة الكلي لكل نموذج، وقد أكدت النتائج عدم حساسية النموذج الشريطي المحسن لتغيير زاوية ميل حقول الشد ( $\alpha$ ) أو لزيادة عدد الأشرطة المشدودة ( $n$ ). وتلتقي هذه النتيجة مع

## المراجع References

- [1] ABAQUS, Version 6.12, 2012- ABAQUS/ Standard User`s Manual, ABAQUS Inc USA.
- [2] AISC, 2010. Seismic provisions for structural steel buildings. ANSI/AISC 341-10. American Institute of Steel Construction.
- [3] Applied Technology Council, A TC-40 (1996), Volume 1. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", Seismic Safety Commission, California, USA.
- [4] Canadian Standard Association, CAN/CSA S16-01, (2001). "Limit States Design of Steel Structures", Toronto, Ontario.
- [5] Choi R., Park G., (2011). "Cyclic loading test for Reinforced Concrete Frame with thin Steel Infill Plate", Journal of Engineering Structures, 137:654-664.
- [6] Computers and Structures, Inc, 1984-2000. SAP2000, Nonlinear Version 21 (2019), Computers and Structures, Inc, Berkeley, California, USA.
- [7] FEMA, 2000. "NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 369)", Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency Washington, D.C.
- [8] Shishkin J., Driver R., and Grondin G., (2005). "Analysis of steel plate shear wall using the modified strip model ", Structural Engineering Report No.261.
- [9] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (وملحقاته) (2012). منشورات نقابة المهندسين، سورية.