



جامعة دمشق
المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية
قسم الهندسة الإنسانية

سلوك الإطار البيتوني المملوء بجدار قص معدني مع دعامات تحت تأثير الأحمال الزلزالية

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الزلزالية – قسم الهندسة الإنسانية

إعداد :

المهندسة رشا جمال الدين

إشراف :

الدكتور المهندس مصطفى بطيخة

دمشق 2014

جامعة دمشق

المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الإنسانية

سلوك الإطار البيتونى المملوء بجدار قص معدنى مع دعامات تحت تأثير الأحمال الزلزالية

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الزلزالية – قسم الهندسة الإنسانية

إعداد :

المهندسة رشا جمال الدين

إشراف :

الدكتور المهندس مصطفى بطيخة

العام الدراسي

2014

لجنة الحكم السادة الأساتذة:

كلية الهندسة المدنية

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنسانية

د. محمد درويش

عضوًأ

الاختصاص : إنشاءات معدنية

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

المدرس في قسم الهندسة الإنسانية

د. مصطفى بطيخة

عضوًA مشرفاً

الاختصاص : إنشاءات معدنية

جامعة دمشق

د. أمجد حلواني المدرس في قسم الهندسة الإنسانية الزلزالية المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

عضوًA

الاختصاص : رفع كفاءة المنشآت

جامعة دمشق

الملخص

Abstract

إن المطاوعة الكبيرة التي تتمتع بها مادة الفولاذ تجعل زيادة استخدامها في تقوية المنشآت المعرضة للأحمال الزلزالية أكثر فعالية في تحقيق الهدفين المقاومة والمطاوعة معاً.

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تحليلية لفعالية إضافة صفيحة معدنية مع وبدون دعامات (Stiffeners) للإطارات البيتونية في رفع مقاومتها تحت تأثير أحمال دورية (Cyclic load)، حيث تم في هذه الدراسة استخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) والتحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختطاف المادة (Materially Non-Linear Analysis) والانتقالات الكبيرة (Geometrically Non-Linear Analysis) لأخذ تأثير ظاهرة التحنّب (Buckling) بعين الاعتبار، وتشكل حقول الشد (Tension Fields) في الصفيحة وأثرها على رفع مقاومة القص وتأمين المطاوعة. كما تم أخذ ظاهرة التماسك (Bond) بين البيتون وفولاذ التسلیح بعين الاعتبار.

بيّنت هذه الدراسة الفعالية الكبيرة لإضافة الصفيحة المعدنية المدعمة للإطار البيتواني في رفع المقاومة والمطاوعة بشكل فعال بالمقارنة مع طرق تقوية أخرى كجداران القص البيتونية على سبيل المثال، كما أدت إضافة الدعامات إلى زيادة المطاوعة بشكل ملحوظ وذلك لتغيير سلوك الصفيحة من صفيحة نحيلة إلى صفيحة سميكة.

فهرس المحتويات

Contents

I.....	الرموز المستخدمة
IX.....	فهرس الجداول
X	فهرس الأشكال
1	الفصل الأول
1.....	مقدمة
2	١.١ مقدمة عن الجمل الإنسانية المقاومة للزلزال.
4	٢.١ مقدمة عن جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزم.
5	٣.١ مقدمة عن الصفائح المعدنية وسلوكها كجدران قص.
8	٤.١ مشكلة البحث وأهميته.
9	٥.١ الهدف من البحث.
9	٦.١ محتويات الأطروحة.
11.....	الفصل الثاني
11	الدراسة المرجعية
12	١.٢ مقدمة
12	٢.٢ السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح.
12	١.٢.٢ الانهيار الهش والأداء المطاوع.
14	٢.٢.٢ ميكانيكيات الانهيار.

17	الصفائح المعدنية.	٣.٢
18	سلوك الصفائح المعدنية على القص.	١.٣.٢
23	سلوك الصفائح المعدنية مع دعامات على القص.	٢.٣.٢
30	استخدام الصفائح المعدنية في رفع مقاومة الإطارات المقاومة للعزم.	٤.٢
30	الإطارات المعدنية مع صفيحة معدنية.	١.٤.٢
33	الإطارات البيتونية مع صفيحة معدنية.	٢.٤.٢
41	الفصل الثالث	

41 التحليل الإنثائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

42	مقدمة.	١.٣
42	التحليل الإنثائي للإطار البيتوبي المسلح باستخدام طريقة العناصر المحدودة.	٢.٣
43	توصيف النموذج.	١.٢.٣
44	العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS 6.12.	٢.٢.٣
45	الشروط المحيطية للنموذج المدروس.	٣.٢.٣
45	الأحمال المطبقة على النموذج.	٤.٢.٣
45	نوع التحليل المستخدم في النموذج.	٥.٢.٣
45	توصيف المواد المستخدمة في النمذجة.	٦.٢.٣
56	التماسك بين البيتون وفولاذ التسلیح.	٧.٢.٣
61	دراسة أثر تقارب الشبكة.	٨.٢.٣
62	مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري (Cyclic Load).	٩.٢.٣
65	التحليل الإنثائي للصفيحة المعدنية باستخدام طريقة العناصر المحدودة .	٣.٣
65	توصيف النموذج المدروس والشروط المحيطية.	١.٣.٣
66	العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS (6.12)	٢.٣.٣

66	الأحمال المطبقة على النموذج	٣.٣.٣
66	نوع التحليل المستخدم في النموذج	٤.٣.٣
66	توصيف المواد المستخدمة في النماذج.	٥.٣.٣
66	دراسة أثر تقارب الشبكة.	٦.٣.٣
67	مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري .(Cyclic Load)	٧.٣.٣
70	التحليل الإنثائي للصفيحة المعدنية المدعمة باستخدام طريقة العناصر المحدودة.	٤.٣
70	توصيف النموذج المدروس.	١.٤.٣
71	مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري.	٢.٤.٣
75	التحليل الإنثائي للإطار البيتوبي مع صفيحة معدنية باستخدام طريقة العناصر المحدودة.	٥.٣
75	توصيف النموذج المدروس.	١.٥.٣
77	النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري.	٢.٥.٣
77	فعالية إضافة الصفيحة.	٦.٣
80	التحليل الإنثائي للإطار البيتوبي مع صفيحة معدنية ودعامتين (أفقية وشاقولية).	٧.٣
80	توصيف النموذج المدروس.	١.٦.٣
81	النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري.	٢.٦.٣
82	التحليل الإنثائي للإطار البيتوبي مع صفيحة معدنية وثلاث دعامتين في كل اتجاه.	٨.٣
82	توصيف النموذج المدروس.	١.٨.٣
83	النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري.	٢.٨.٣
87	مقارنة النتائج.	٩.٣
93.....	الفصل الرابع	الفصل الرابع
93.....	Results and Recommendations	النتائج و التوصيات
94	النتائج	١.٤
95	التوصيات لأعمال مستقبلية.	٢.٤
9	References	المراجع

الرموز المستخدمة

Symbols

الرموز المستخدمة في البحث:

a طول الصفيحة (Length of Plate)

A_{contact} مساحة سطح الاتصال (Surface Contact) للنابض بين бетоном и сталью.

b عرض الصفيحة (Width of Plate)

d قطر قضيب التسلیح (Bar Reinforcement Diameter)

D صلابة الانعطاف للفولاذ (Flexural rigidity of isotropic plate)

d_c معامل انخفاض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable)

d_t معامل انخفاض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable)

E معامل المرونة لفولاذ الصفيحة (Modulus of elasticity of Plate)

E_0 معامل المرونة الابتدائي (Initial modulus of elasticity)

E_c معامل المرونة للبетون (Modulus of elasticity of Concrete)

E_{cm} معامل المرونة الثاني للبетون (Secant modulus of elasticity of concrete)

E_s معامل المرونة لحديد التسلیح (Modulus of elasticity of Reinforcement)

F قوة التماسك في النابض (Bond Force at Spring)

f_c مقاومة البетون على الضغط (The compressive strength of concrete)

f_{ck} المقاومة المميزة الاسطوانية للبетون على الضغط (Characteristic compressive cylinder strength of concrete)

(concrete at 28 days)

Compressive strength Mean value of concrete على الضغط (f_{cm}) المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط (

(cylinder

f_{ctm} المقاومة المتوسطة للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوہ النسبی للبيتون على

(strength of concrete Mean value of tensile الشد (

(Yield stress of reinforcement إجهاد الخضوع لحديد التسلیح (f_y)

(Height of frame ارتفاع الإطار (h)

(Moment of Inertia of column عزم عطالة العمود (I_c)

(Moment of Inertia of beam) عزم عطالة الجائز (I_b)

.(Second moment of area of stiffeners) عزم عطالة الدعامات حول المحور الضعيف (I_s)

.(Buckling Coefficient K معامل التحنّب (

L طول تقسيمة العنصر (The length of finite element) L

Mc₂، Mc₁ طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقدة آخذين بالحساب القوى المحورية التي تقابل أقل قيم للعزوم

Mb₂، Mb₁ طاقات تحمل العزوم للجائز عند أوجه العقدة

n عدد النواص المحيطة بقضيب التسلیح

P_{max} قيمة قوة القص القصوى

S قيمة انزلاق قضبان التسلیح (Slip of reinforcement bar) S

S₁ قيمة انزلاق قضبان التسلیح عند وصول إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسلیح إلى القيمة الأعظمية τ_{max}

S₂ قيمة انزلاق قضبان التسلیح عند بدء انخفاض قيمة إجهاد التماسك عن القيمة الأعظمية τ_{max}

S_3 قيمة انزلاق قضبان التسلیح عند وصول إجهاد التماسک بين البیتون و حید التسلیح إلى القيمة الأصغرية γ

S_4 قيمة انزلاق قضبان التسلیح عند انعدام إجهاد التماسک بين البیتون و حید التسلیح

انزلاق حید التسلیح عند وصوله للسیلان S_y

سمکة الصفيحة (Thickness of Plate) t

X, Y, Z الانقلالات باتجاه U_x, U_y, U_z

V_{cr} التحنیب الحدی المرن (Elastic buckling load)

V_u القوة الحدیة (Ultimate load)

β نسبة صلابة الدعامات باتجاه واحد إلى صلابة الصفيحة (Stiffener rigidity ratio)

δ_{max} الانقلال الطابقی الأعظمی (max story drift)

δ_y الانقلال عند الخضوع (The yield displacement)

δ الانقلال في أعلى الإطار (The displacement)

w_c معامل استرداد القساوة على الضغط (Recovery Modulus of the compressive stiffness)

w_t معامل استرداد القساوة على الشد (Recovery Modulus of the tensile stiffness)

ε_c^{pl} تشوہ الضغط اللدن المتبقی (Compressive Equivalent Plastic Strain)

ε_c^{in} تشوہ الضغط غير المرن (Compressive Inelastic Strain)

ε_c تشوہ الضغط الكلي للبیتون عند نقطة معينة (Compressive total Strain)

ε_t^{pl} تشوہ الشد اللدن المتبقی (Tensile Equivalent Plastic Strain)

ε_t^{ck} تشوہ التشقق (Cracking Strain)

ϵ_t تشوه الشد الكلي عند نقطة معينة (Tensile total Strain)

ϵ_{0t}^{el} تشوه الشد المرن (Tensile Elastic Strain)

ϵ_{0c}^{el} تشوه الضغط المرن (Compressive Elastic Strain)

ϵ_{c1} التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد f_{cm} Compressive strain in the concrete at the peak stress f_{cm}

(peak stress f_{cm})

ϵ_{cu1} التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط (Ultimate compressive strain in the concrete)

ϵ_{t0} التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد عند ذروة الإجهاد f_{ctm} في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد -

تشوه النسبي للبيتون على الشد

ϵ_{total} التشوه الحدي للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على

الشد

ϵ_y التشوه النسبي للحديد عند الخضوع (Relative strain yielding in the steel)

τ قيمة إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسلیح (Bond Stress)

τ_{max} قيمة إجهاد التماسك الأعظمي بين البيتون و حديد التسلیح (Ultimate Bond Stress)

τ_f قيمة إجهاد التماسك الأصغر بين البيتون و حديد التسلیح (Minimum Bond Stress)

$\tau_{u,split}^1$ قيمة إجهاد التماسك الأعظمي بين البيتون و حديد التسلیح لحالة (Splitting-stirrups)

$\tau_{u,split}^2$ قيمة إجهاد التماسك الأعظمي بين البيتون و حديد التسلیح لحالة (Splitting-unconfined)

η معامل يستخدم في حساب إجهاد الضغط في البيتون عند نقطة معينة

$\theta_x, \theta_y, \theta_z$ الدورانات باتجاه X, Y, Z

v_c معامل بواسون للبيتون (Poisson's ratio of concrete)

v_s معامل بواسون للحديد (Poisson's ratio of steel)

v_p معامل بواسون للفتحة (Poisson's ratio of plate)

σ_1 الإجهاد الرئيسي بالاتجاه 1.

σ_2 الإجهاد الرئيسي بالاتجاه 2.

σ_{c0} قيمة الإجهاد الابتدائي للبيتون على الضغط .(Initial compressive Stress of concrete)

σ_{cu} القيمة الحدية لإجهاد البيتون على الضغط .(Ultimate compressive Stress of concrete)

σ_c قيمة اجهاد الضغط في البيتون .(compressive stress of concrete)

σ_{cr} قيمة اجهاد التنحيف في الصفائح .(Buckling stress of plates)

σ_{to} قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد .(Ultimate tensile stress of concrete)

σ_{VM} إجهاد (Von Mises)

فهرس الجداول

Tables List

	الفصل الثاني
10.....	الجدول (1-2): شروط استناد الصفيحة المدروسة . (Alinia and Dastfan.,2007)
23.....	الجدول (2-2): الصفائح المدروسة في دراسة (Alinia and Dastfan.,2007)
27.....	الجدول (3-2): خصائص العينات المدروسة . (Choi and Park.,2011)
34.....	الجدول (4-2): قيمة المطاوعة وقوة القص العظمى للنماذج المدروسة (Choi and Park.,2011)
34.....	الفصل الثالث
53.....	الجدول (1-3): المقاومات و التشوہات النسبیۃ للبیتون . (Eurocode2 , 2004)
58.....	الجدول (2-3): قيم بار امترات منحني علاقۃ الانلاق- إجهاد التماسک بين البیتون و فولاد التسلیح . (CEB-FIP,2010)

فهرس الأشكال

Figures List

		الفصل الأول	الفصل الثاني
1.....	مقدمة		الدراسة المرجعية
3.....	أمثلة واقعية عن جرمان القص البيتونية والمعدنية	الشكل (1-1):	
3.....	أمثلة واقعية عن جمل إطارية بيتونية ومعدنية.	الشكل (2-1):	
4.....	الجمل المختلطة.	الشكل (3-1):	
6.....	تفاصيل التسلیح الأدنی لأعمدة الجمل الإطارية الثلاث. <i>(Han and Jee,2005)</i>	الشكل (4-1):	
7.....	جرمان القص الصفائحية.	الشكل (5-1):	
7.....	أبنية تحوي جرمان قص صفائحية. <i>(Ignasius et al,2005)</i>	الشكل (6-1):	
11.....			
13.....	انهيار المفاجئ والأداء المطاوع للأبنية.	الشكل (1-2):	
14.....	جملة عمود قوي وجائز ضعيف وتشكل مفاصل في الجوانز	الشكل (2-2):	
15.....	الأداء المطاوع للبناء أثناء زلزال في الصين (٢٠٠٨).	الشكل (3-2):	
15.....	جملة عمود ضعيف وجائز قوي وتشكل مفصل في العمود.	الشكل (4-2):	
16.....	تشكل المفاصل اللدننة في الأعمدة.	الشكل (5-2):	
16.....	أنماط انهيار عقد الإطارات البيتونية المسلاحة على الأحمال الزلزالية. <i>(Penelis and Kappos , 1997)</i>	الشكل (6-2):	
16.....	انهيار عقدة جائز عمود.	الشكل (7-2):	
17.....	مقارنة بين تحنيب العناصر على الضغط. <i>(Batikha , 2008)</i>	الشكل (8-2):	
19.....	معامل التحنّب K.	الشكل (9-2):	
	<i>(Singer et al , 1998)</i>		
21.....	الشكل (10-2): أشكال تحنيب جرمان القص المعدنية وتشكل حقول الشد. <i>(Habashi and Alinaia,2010).</i>		
22.....	الشكل (11-2): سلوك الصفيحة النحيفة على القص. <i>(Alinia etal.,2009)</i>		
22.....	الشكل (12-2): سلوك الصفيحة السميكة على القص. <i>(Alinia etal.,2009)</i>		
23.....	الشكل (13-2): الصفيحة المدرّوسة. <i>(Alinia and Dastfan.,2007)</i>		
24.....	الشكل (14-2): مخطط (الإجهاد – التشوه) لفولاذ الصفيحة . <i>(Alinia and Dastfan.,2007)</i>		
25.....	الشكل (15-2): أنماط التحنّب وتوزع الإجهادات في بعض النماذج المدرّوسة . <i>(Alinia and Dastfan.,2007)</i>		

26.....	الشكل (16-2): منحنيات (قوة – انتقال) لصفائح قص مدعمة. <i>(Alinia and Dastfan.,2007)</i>
27.....	الشكل (17-2): منحي (الزمن - الانقال) المطبق على الصفيحة . <i>(Alinia and Dastfan.,2007)</i>
28.....	الشكل (18-2): أنماط التخريب لنموذجين من الصفائح . <i>(Alinia and Dastfan.,2007)</i>
29.....	الشكل (19-2): منحنيات (قوة القص – الانقال) للنمذاج (٦-٣-١) . <i>(Alinia and Dastfan.,2007)</i>
31.....	الشكل (20-2): أبعاد الإطار المعدني ومقاطع عناصره <i>(Alinia and Habashi.,2010)</i>
32.....	الشكل (21-2): مخطط (قوة-انتقال) للجملة وإجهادات(Von Mises) في مراحل سلوك الصفيحة الثالث <i>(Alinia and Habashi.,2010)</i>
33.....	الشكل (22-2): مقارنة منحنيات (قوة-انتقال) للإطار المعدني مع وبدون صفيحة معدنية <i>(Alinia and Habashi.,2010)</i>
35.....	الشكل (23-2): أبعاد وتفاصيل تسليح العينات المدروسة. <i>(Choi and Park.,2011)</i>
36.....	الشكل (24-2): مغلف الحلقات الهستيرية للنمذاج المدروسة. <i>(Choi and Park.,2011)</i>
37.....	الشكل (25-2): نمط انهيار الإطار البetonوي والحلقات الهستيرية. <i>(Choi and Park.,2011)</i>
38.....	الشكل (26-2): نمط انهيار الإطار البetonوي المملوء بجدار قص بيتوني والحلقات الهستيرية. <i>(Choi and Park.,2011)</i>
38.....	الشكل (27-2): نمط انهيار الإطار البetonوي المملوء بجدار قص معدني والحلقات الهستيرية. <i>(Choi and Park.,2011)</i>
39.....	الشكل (28-2): نمط انهيار الإطار البetonوي المملوء بجدار قص معدني مع فتحة والحلقات الهستيرية. <i>(Choi and Park.,2011)</i>
41.....	الفصل الثالث التحليل الإنشائي
43.....	الشكل (1-3): توصيف الإطار المدروس. <i>(Anil and Altin,2007)</i>
44.....	الشكل (2-3): العنصر المساحي بأربع عقد S4R. <i>(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)</i>
44.....	الشكل (3-3): العنصر الشبكي T3D2 . <i>(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)</i>
45.....	الشكل (4-3): منحي (الزمن – الانقال) المطبق.
48.....	الشكل (5-3): مخطط (الإجهاد – التشوه النسبي) للبيتون في حالة الضغط . <i>(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)</i>
49.....	الشكل (6-3): مخطط (الإجهاد – التشوه النسبي) للبيتون في حالة الشد . <i>(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)</i>

51.....	الشكل (7-3): مخطط (الإجهاد – التشوه النسبي) للبيتون في حالي الضغط والشد. (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)
52.....	الشكل (8-3): مخطط (الإجهاد - التشوه النسبي) للبيتون على الضغط . (Eurocode2 , 2004)
55.....	الشكل (9-3): مخطط (الإجهاد - التشوه النسبي) للبيتون على الشد .
55.....	الشكل (10-3): مخطط (الإجهاد - التشوه النسبي) للتسلیح الطولی للعمود .
58.....	الشكل (11-3): منحني علاقه الانزلاق – إجهاد التماسك بين البيتون و فولاد التسلیح . Bond-slip Relationship (CEB-FIP,2010)
59.....	الشكل (12-3): أشكال مختلفة من النوابض المستخدمة لتمثيل ظاهره التماسك. (CEB-FIP,2010)
60.....	الشكل (13-3): شكل النابض المستخدم2 .Spring2 (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)
61.....	الشكل (14-3): منحني علاقه (الانزلاق-إجهاد التماسك) بين البيتون وفولاد التسلیح المستخدم في النماذج.....
62.....	الشكل (15-3): دراسة أثر تقارب الشبكة للإطار المدروس.
62.....	الشكل (16-3): شكل نموذج الإطار المدروس باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).
63.....	الشكل (17-3): مغلف منحنيات (قوة القص- الانتقال النسبي) للإطار المدروس باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).
63.....	الشكل (18-3): منحنيات (قوة القص- الانتقال النسبي) للإطار المدروس (Anil and Altin,2007)
62.....	الشكل (19-3): مقارنة مغلفي الحلقات الهستيرية للإطار المدروس بين الدراسة الحالية ودراسة (Anil and Altin,2007)
65.....	الشكل (20-3): التشوہات النسبیة الرئیسیة للإطار البیتونی عند انتقالات نسبیة مختلفة باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12) .
67.....	الشكل (21-3): دراسة أثر تقارب الشبكة للصفحة المدروسة.
68.....	الشكل (22-3): شكل نموذج الصفيحة المعدنية باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).
68.....	الشكل (23-3): منحنيات (قوة القص- الانتقال) للصفحة المدروسة باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).
69.....	الشكل (24-3): منحنيات (قوة القص- الانتقال) للصفحة. (Alinia and Dastfan.,2007)
69.....	الشكل (25-3): مقارنة مغلفي الحلقات الهستيرية للصفحة المدروسة بين الدراسة الحالية ودراسة (Alinia and Dastfan,2007)
70.....	الشكل (26-3): التشوہات النسبیة الرئیسیة للصفحة المعدنية باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12) .
71.....	الشكل (27-3): الصفيحة المعدنية المدعمة باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).
71.....	الشكل (28-3): منحنيات (قوة القص- الانتقال) للصفحة المدعمة باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).
72.....	الشكل (29-3): منحنيات (قوة القص- الانتقال) للصفحة المدعمة (Alinia and Dastfan.,2007)
72.....	الشكل (30-3): مقارنة نتائج مغلف الحلقات الهستيرية للصفحة المدعمة بين الدراسة الحالية ودراسة (Alinia and Dastfan,2007)

الشكل (31-3): التشوّهات النسبية للصفيحة المعدنية المدعمة عند انتقال (δ = 1.5 mm). باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	73.....
الشكل (32-3): مقارنة نتائج مغلف الحلقات الهيكلية للصفيحة المدروسة مع وبدون دعامات. باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	74.....
الشكل (33-3): مخطط (الإجهاد - التشوه) لفولاذ الصفيحة.	75.....
الشكل (34-3): الإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	75.....
الشكل (35-3): مخطط (القوة - الانتحال النسبي) للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية. باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	76.....
الشكل (36-3): التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	77.....
الشكل (37-3): مقارنة مغلفات الحلقات الهيكلية لحالتي الإطار مع وبدون صفيحة معدنية	77.....
الشكل (38-3): الحلقات الهيكلية لحالة الإطار مملوء بجدار قص بيتوبي (Anil and Altin, 2007)	78.....
الشكل (39-3): مقارنة مغلفات الحلقات الهيكلية لحالة الإطار مملوء بجدار قص بيتوبي ومعدني.	79.....
الشكل (40-3): الانهيار على القص لإطار مملوء بجدار قص بيتوبي (Anil and Altin, 2007)	79.....
الشكل (41-3): الإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة بدعامتين (أفقية وشاقولية) (β = 30°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	80.....
الشكل (42-3): مخطط (القوة - الانتحال النسبي) للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة بدعامتين (أفقية وشاقولية) (β = 60°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	81.....
الشكل (43-3): التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة بدعامتين (أفقية وشاقولية) (β = 60°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	82.....
الشكل (44-3): الإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة بثلاث دعامات أفقية وشاقولية باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	83.....
الشكل (45-3): مخطط (القوة - الانتحال النسبي) للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة بثلاث دعامات (أفقية وشاقولية) (β = 90°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	84.....
الشكل (46-3): التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة بثلاث دعامات (أفقية وشاقولية) (β = 90°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	85.....
الشكل (47-3): مخطط (القوة - الانتحال النسبي) للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة بثلاث دعامات (أفقية وشاقولية) (β = 120°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	86.....
الشكل (48-3): التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدومة (β = 120°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	86.....
الشكل (49-3): تأثير صلابة الدعامات على مقاومة الإطار المملوء بصفحة معدنية	87.....
الشكل (50-3): مقارنة نتائج مغلفات الحلقات الهيكلية لحالات المدروسة باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	89.....
الشكل (51-3): مقارنة نتائج مغلفات الحلقات الهيكلية لحالات المدروسة باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	89.....
الشكل (52-3): مساعدة العناصر في تحمل القص لجملة إطار مملوء بصفحة معدنية باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	91.....
الشكل (53-3): مساعدة العناصر في تحمل القص لجملة إطار مملوء بصفحة معدنية مدومة بدعامتين (β = 60°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	91.....
الشكل (54-3): مساعدة العناصر في تحمل القص لجملة إطار مملوء بصفحة معدنية مدومة بثلاث دعامات في كل اتجاه (β = 90°) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).	92.....



Chapter 1

Introduction



الفصل الأول

مقدمة

الفصل الأول

مقدمة

Introduction

١.١ مقدمة عن الجمل الإنسانية المقاومة للأحمال الزلزالية :

Introduction to Structural Seismic Resisting Systems

يُنطَلِّب التصميم الإنسائي المقاوم للزلزال تحقيق خصائص ديناميكية معينة في المنشآت للوصول إلى مستوى استجابة مقبول تحت تأثير الأحمال الزلزالية ، ويتم ذلك من خلال تعديل بعض الخصائص الإنسانية في البناء مثل مقدار وتوزع صلابة وكتل العناصر الإنسانية و مقاومتها النسبية.

صنفت الكودات العالمية ومنها الكود العربي السوري الجمل الإنسانية إلى ثلاثة أنواع كما ورد في (**ملحق الكود العربي السوري، 2005**) :

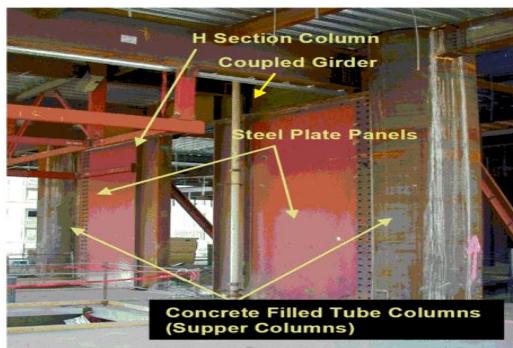
(Shear Walls : جدران القص)

هي جدران صممت لمقاومة الأحمال الجانبية الموازية لمستويها. يتمتع هذا النوع من الجمل بصلابة عالية مقارنة مع الجمل الأخرى إلا أن أحد سلبياتها انخفاض المطاوعة (**UBC 97**) (**Ductility**).

لقد بيَّنت الدراسات التي أجريت على الأبنية والمنشآت التي تعرضت إلى هزات أرضية أن الأبنية التي اشتغلت على جدران قص تصرفت بشكل أفضل من الأبنية التي قاومت الهزات بإطارات صلبة، وذلك من وجهتي نظر الأمان والسيطرة على الأضرار، وتبيَّن أيضاً أن جدران القص المصممة بشكل جيد والتي لها صلابة جانبية كافية تخفف من الانتفالات الجانبية بين الطوابق، وبالتالي تؤمن حلاً منطقياً وفعالاً لمعضلة الصلابة الجانبية للأبنية متعددة الطوابق، وعليه عندما تتعرض الجدران لهزات أرضية تخضع لقوى جانبية أكبر من عناصر الإطارات النظامية وذلك لأن إمكانية تشوه الجدار جانبياً أقل بسبب كبير عمق مقاطعها،(**السمارة، 2006**).

يمكن أن تكون جدران القص بيتونية (الشكل 1-1 -a) أو معدنية (الشكل 1-1 -b).

تتميز جدران القص المعدنية بمقاومتها العالية ومطابقتها بحسب تشكيل آلية حقل الشد (Tension Field) ودخوله في اللدونة.



(b) جدران القص المعدنية



(a) جدران القص البetonية

الشكل (1-1) : أمثلة واقعية عن جدران القص البetonية والمعدنية

ثانياً : الإطارات المقاومة للعزوم : (Moment Resisting Frame)

هي جملة ملائفة من إطار فراغي تام (أعمدة وجوازات) تقوم بنقل القوى الجانبية إلى الأرض، وتختلف عن بقية الجمل الإنسانية تكون انطلاقاتها تنتج بشكل أساسي عن تشوهات الانعطاف في عناصرها وبالتالي تومن صلابة الانعطاف (Moment) الاستقرار الجنبي للمنشأ (Resistance).

يعتمد تصرف الإطارات المقاومة للعزوم على نوع العناصر الإنسانية ووصلاتها وبناء على درجة مطابقتها تصنف الإطارات إلى ثلاثة أنواع : خاصة ومتوسطة وعادية ؛ تختلف درجة مطابقتها بناءً على تفاصيل تسلیحها.

يوضح الشكل (1-2) بعض الجمل الإطارية البetonية والمعدنية.



b) جملة إطارية معدنية



(a) جملة إطارية بيتونية

الشكل (1-2) : أمثلة واقعية عن جمل إطارية بيتونية ومعدنية.

ثالثاً : الجمل المختلطة : (Dual Systems)

هي جمل تتم مقاومة القوى الجانبية فيها عن طريق جدران القص والإطارات المقاومة للعزوم حيث تصمم هذه الإطارات لتحمل على الأقل 25% من قوة القص القاعدي (السمارة، 2006).

يوضح الشكل (3-1) أشكالاً لجمل مختلطة.



الشكل (3-1) : الجمل المختلطة

٢.١ مقدمة عن جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم

Introduction to Concrete Moment Resisting Frame Systems

يستخدم نظام الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم لمقاومة الأحمال الجانبية وتخفيف الانتقالات الجانبية الناتجة عن قوى الزلازل أو الرياح في الأبنية العالية.

وتكون من عناصر رأسية (عمود) وعناصر أفقيّة (جائز) تتصل مع بعضها بعقد صلبة تصمم هذه العناصر لمقاومة قوى قص وعزوم انحصار وقوى محورية ناتجة عن تراكب الأحمال الرأسية -أحمال ميّة وأحمال حيّة- مع الأحمال الجانبية قوى الرياح أو الزلازل.

وتصنف حسب خاصية سلوكها المطاوع (Ductility) أثناء الهزات الأرضية أو الأحمال الجانبية إلى ثلاثة تصنيفات:

١. إطارات خاصة مقاومة للعزوم (Special Moment Resisting Frame-SMRF)

تتمتع بخاصية تبديد الطاقة نتيجة تشكّل مفاصل لدنة في الجوانز في مناطق تكون فيها الخرسانة مطوفة بالتسليح العرضي ويجب أن تمتلك الأعمدة طاقة تحمل انعطاف أكبر من طاقة تحمل الجوانزو هي الأعلى مطاوعة بين بقية الإطارات، وتستخدم

في المناطق ذات النشاط الزلزالي المدرّج حيث يتم العناية بتفاصيل تسلیح الوصلات والعقد (الشكل 1-4-c) وتختلف عن الإطارات العاديّة المقاومة للعزوم بأن مقاطعها مصممة لمقاومة قوى قص حسابيّة تحدّد من طاقات العزوم عند العقد مصعدة بمعامل يساوي 1.25 ناتج عن المقاومة الإضافيّة للمادة في مرحلة ما بعد الخضوع وما قبل الانهيار (السمارة، ٢٠٠٦؛ ملحق الكود العربي السوري لتصميم وتحقيق المنشآت لمقاومة الزلازل، ٢٠٠٥).

ويمكن من الشكل (1-4-c) ملاحظة أن تراكب التسلیح وتكتيف أسوار القص قد تم في الثلث الوسطي من العمود وهي منطقة تشكّل المفصل على الأحمال الأفقيّة.

٢. إطارات متوسطة مقاومة للعزوم :(Intermediate Moment Resisting Frame-IMRF)

تستخدم في مناطق يكون فيها النشاط الزلزالي معتدلاً و تكون تفاصيل التسلیح أقل من الإطارات الخاصة (الشكل 1-4-b) وبحيث تؤمن سلوكاً مطابعاً بدرجة متوسطة بين الإطار العادي المقاوم للعزوم والإطار الخاص المقاوم للعزوم وتصمم العناصر لمقاومة قوة قص تحسب من المقاومة الإسمية للعناصر عند العقد (ملحق الكود العربي السوري لتصميم وتحقيق المنشآت لمقاومة الزلازل، ٢٠٠٥).

ويمكن من الشكل (1-4-b) ملاحظة أن تراكب التسلیح في العمود تم عند نقطتي البداية والنهاية.

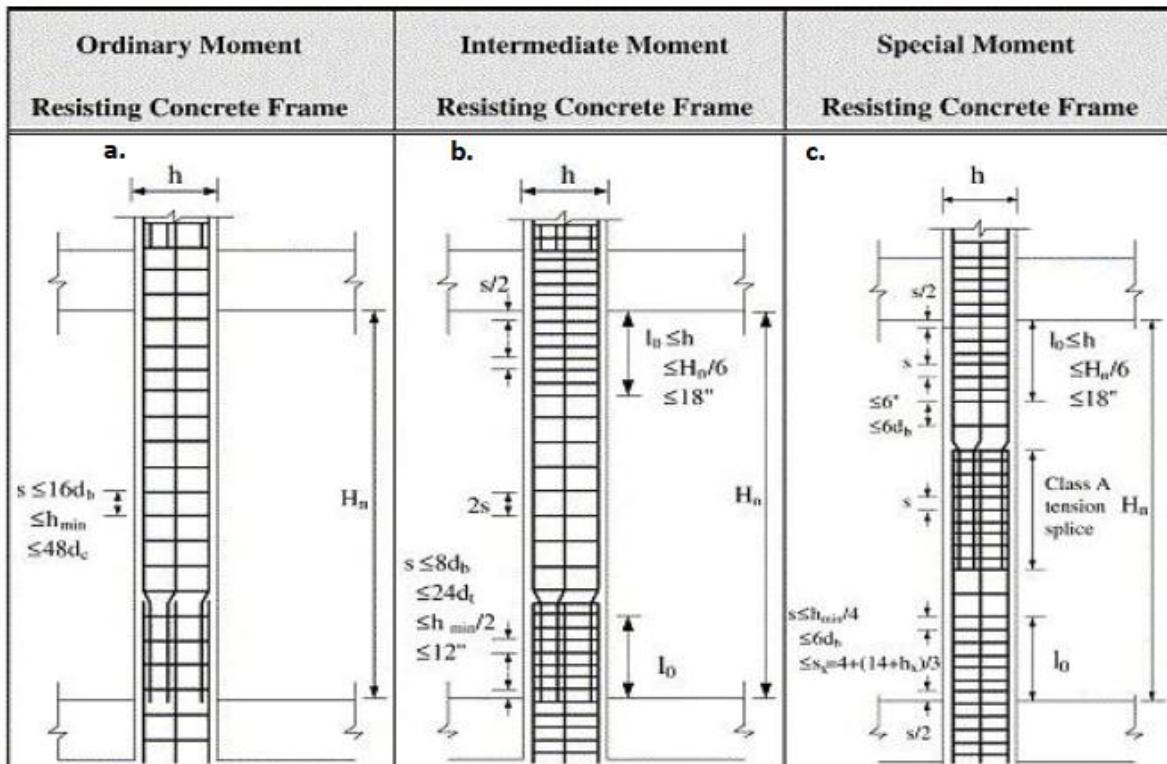
٣. إطارات عاديّة مقاومة للعزوم : (Ordinary Moment Resisting Frame-OMRF)

تستخدم في مناطق النشاط الزلزالي المنخفض حيث لا يعني بتفاصيل تسلیح العقد (الشكل 1-a) وبالتالي عدم تحقيق متطلبات السلوك المطابع (Ductility Behavior)، (ملحق الكود العربي السوري لتصميم وتحقيق المنشآت لمقاومة الزلازل، ٢٠٠٥).

٣.١ مقدمة عن الصفائح المعدنية وسلوكها كجدران قص

Introduction to Steel Plates and behavior as Shear walls

تتميز الصفائح المعدنية بسماكة صغيرة جداً بالمقارنة مع بعديها الآخرين (نسبة نحافة كبيرة جداً) مما يؤدي إلى سيطرة التحنّب (Buckling) على سلوكها الإنسائي في مقاومة الإجهادات المختلفة.



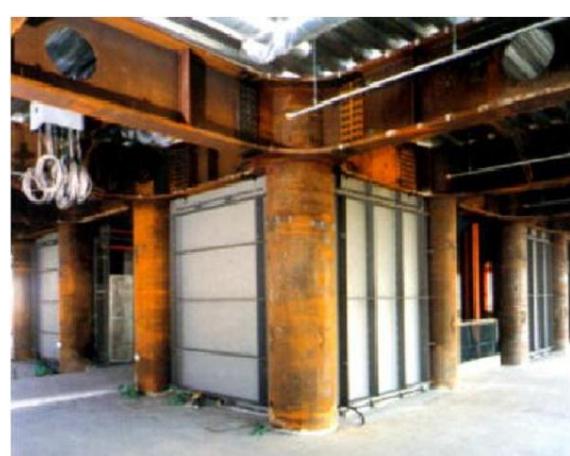
d_b, d_t : diameter of longitudinal and transverse bars, s : spacing of lateral bars, h_{min} : minimum dimension of column, S_x : longitudinal spacing of transverse bars within l_0

الشكل (4-1) : تفاصيل التسلیح الأنلی لأعمدة الجمل الإطارية الثلاث (Han and Jee, 2005)

في العقود الأربعه الماضية تم استخدام الصفائح المعدنية كجدران قص تشارک الإطارات في مقاومة الأحمال الجانبية وأطلق عليها اسم "جدران القص الصفائحية" (Steel Plate Shear Wall, SPSW)

إن جدران القص الصفائحية (الشكل 1-5) عبارة عن نظام جديد من أنظمة المقاومة لقوى الجانبية حيث تكون هذه الجدران من صفائح معدنية رقيقة متصلة بعناصر شاقولية وأفقية تشكل إطاراً محيطاً للفائح، قد تكون هذه الصفائح مدعة بصفائح أخرى متعدمة مع مستوى الصفيحة (Stiffeners) لمنع التحنّب من خلال تصغير مجال الصفيحة.

بدأ البحث في هذا النوع من الجدران في عام ١٩٧٠، حيث كانت بداية استخدامها في أميركا الشمالية ومن ثم تم استخدامها في اليابان كأنظمة مقاومة لقوى الجانبية على المنشآت كالرياح والزلزال (Seilie et al, 2005).



الشكل (5) : جرمان الصفائحية.

يوضح الشكل (6) أبنية اعتمدت على الجرمان الصفائحية كجمل مقاومة للأحمال الأفقية.



a-The Century, San Francisco(46-story building)

b-U.S. Federal Courthouse, Seattle (23-story building)

الشكل (6) : أبنية اعتمدت على جرمان الصفائحية كجمل مقاومة للأحمال الأفقية (Seilie et al,2005).

تتميز هذه الجمل بالميزات التالية (Seilie et al,2005):

١. ذات سماكة رقيقة :

تعتبر جدران القص الصفائحية ذات سماكة قليلة مقارنة بجدران القص البيتونية المسلحة حيث تكون السماكة الكلية للجدار المكون من الصفائح المعدنية أقل بحوالي 30 مرة تقريباً من سماكة جدران القص البيتونية من أجل الحصول على نفس المقاومة.

٢. تخفيف من وزن المبني الكلي:

تعتبر جدران القص الصفائحية ذات فعالية كبيرة في توفير الأوزان الإجمالية للمبني حيث بينت الدراسة التي أجريت لبناء (The Century) (الشكل 1-6-a) أن الوزن الإجمالي للبناء المصمم باستخدام جدران القص الصفائحية (SPSW) كان أقل بحوالي (18%) من وزن المبني في حال استخدام جدران القص البيتونية ، وهذا الوفر يقلل من الحمولة المنقولة للأساسات ويقلل من كلفتها، ويقلل كذلك من القوى الزلزالية التي يتعرض لها المبني، لأن القوة الزلزالية تتاسب طرداً مع وزن المنشأ، وهذا يدل على الجدوى الاقتصادية الكبيرة من استخدام هذا النوع من الجمل المقاومة للأحمال الأفقية.

٣. سرعة في الاتساع:

من الطبيعي أن تكون سرعة الاتساع هي العامل الأساسي المميز لهذا النوع من الجدران وذلك نظراً لأن هذه العناصر معدنية و يتم تصنيعها في المعمل ومن ثم تنقل إلى الموقع وتركيب بالإضافة لسهولة استبدالها.

٤. تزيد من مطاوعة البناء :

تعتبر جدران القص الصفائحية ذات فعالية كبيرة من حيث المطاوعة حيث أنها تزيد من مطاوعة المنشأ بشكل كبير بالمقارنة مع جدران القص البيتونية.

٤.١ مشكلة البحث وأهميته:

The Importance and Problem of This Research

تعتبر عملية رفع مقاومة الأبنية على الأحمال الزلزالية هدفاً رئيسياً في الدراسات الإنسانية ولا سيما تلك الأبنية التي تم إنشاؤها قبل الإصدارات الحديثة من كودات التصميم الزلزالي.

إن رفع المقاومة على الزلازل يجب أن يكون مترافقاً مع الحفاظ على حد أدنى من المطاوعة باستخدام تقنيات ومواد إنشاء تؤمن هذه الخاصية، وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن جدران القص المعدنية تومن رفع المقاومة والمطاوعة معاً.

جرت عدة دراسات على استخدام جدران القص المعدنية لرفع مقاومة الإطارات المعدنية إلا أن الدراسات التي تعنى باستخدام هذه الطريقة على الإطارات البيتونية محدودة جداً، من هنا تأتي أهمية هذا البحث في أنه يسلط الضوء على تغير سلوك الإطار البيtonي بعد إضافة الصفيحة المعدنية.

٥.١ الهدف من البحث: Objective of This Research

يهدف هذا البحث إلى دراسة السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة الملوءة بصفحة معدنية ودراسة تأثير إضافة الدعامات (Stiffeners) على تحسين السلوك الإنسائي لل إطار البيتونi مع جدار القص المعدني تحت تأثير الأحمال الزلزالية.

٦.١ محتويات الأطروحة: Contents of Thesis

تتألف هذه الأطروحة من أربعة فصول :

الفصل الأول: يحتوي مقدمة عامة عن العناصر الأساسية في هذا البحث، حيث يبدأ بمقدمة عن الجمل الإنسانية المقارنة للزلازل و أنواعها المستخدمة، ثم أنواع الإطارات البيتونية المسلحة و استخداماتها، بالإضافة إلى مقدمة عن الصفائح المعدنية و سلوكها كجدران قص و أخيراً تم التحدث عن الهدف من البحث و محتويات البحث.

الفصل الثاني: يتم فيه استعراض الدراسات المرجعية لمكونات البحث (الإطار البيتونi والصفحة المعدنية)، حيث سيتم التركيز على السلوك الزلزالي للإطارات البيتون المسلحة و ميكانيكيات انهيارها تحت تأثير الأحمال الجانبية، وسلوك الصفائح المعدنية تحت تأثير الأحمال الزلزالية وتأثير إضافة الدعامات على تحسين السلوك الإنسائي للصفحة وكذلك سيتم استعراض دراسة مرجعية عن السلوك الإنسائي للإطار المعدني المدعم بصفحة معدنية وكذلك الإطار البيتونi المدعم بصفحة معدنية والذي يشكل موضوع البحث.

الفصل الثالث: يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث، حيث تم توصيف النموذج المعتمد في التحليل الإنسائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (ABAQUS,Ver 6.12) و برنامج (Finite Element Method) من حيث توصيف المواد الداخلية في النموذج و شروط الاستناد و الأحمال المطبقة و بما يحقق هدف البحث.

الفصل الرابع: يلخص النتائج التي تم التوصل إليها في الفصول السابقة بالإضافة إلى وضع توصيات من أجل الأعمال المستقبلية.



الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

Chapter 2

Literature Review

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

Literature Review

١.٢ مقدمة: Introduction

يعرض هذا الفصل السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة وأنماط انهيارها وكذلك الصفائح المعدنية وسلوكيها الإنثائي والإجهادات المتولدة فيها نتيجة القوى المختلفة، حيث تم التركيز على سلوك الصفائح المعدنية على القص ودراسة إجهاد التحنّب في الصفائح وتشكل حقول الشد والعوامل المتعلقة بهما، وكذلك تم التمييز بين نوعين من الصفائح: الصفائح النحيلة (Slender Plate) والصفائح السميكة (Stocky Plate).

وفي هذا الفصل أيضاً تم استعراض بعض الدراسات المرجعية التي تتناول سلوك جدران القص المعدنية مع دعامات تحت تأثير الأحمال الزلزالية وكذلك مقارنة سلوك الإطارات البيتونية المدعمة بصفائح معدنية مع طرق أخرى للتدعيم.

٢.٢ السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة:

Seismic behavior of RC Frames

١.٢.٢ الانهيار المفاجئ والأداء المطاوع :

يعبر عن مفهوم المطاوعة (Ductility) وفق ما يلي (Eurocode 8-2,2005):

- مطاوعة المادة (التشوهات):** وتعرف بأنها قابلية المواد المكونة للعناصر لإبداء تشوهات نسبية كبيرة دون خسارة هامة في مقاومتها، وتعطى مطاوعة المادة بنسبة التشوه النسبي الأقصى إلى التشوه النسبي عند بدء الخضوع، وبالتالي تعبر عن قدرة المادة على التشوه أكثر في المجال اللامرن دون انخفاض كبير في المقاومة.
- من التعريف السابق للمطاوعة يتبين أن الفولاذ هو مادة مطاوعة مع عامل مطاوعة مساوٍ لـ 20 أو أكثر، بينما تعتبر مادة البيتون مادة غير مطاوعة.
- مطاوعة المقطع (الانحناء):** أي قابلية المقطع للدوران وبالتالي القدرة على تشكيل المفاصل اللدننة.

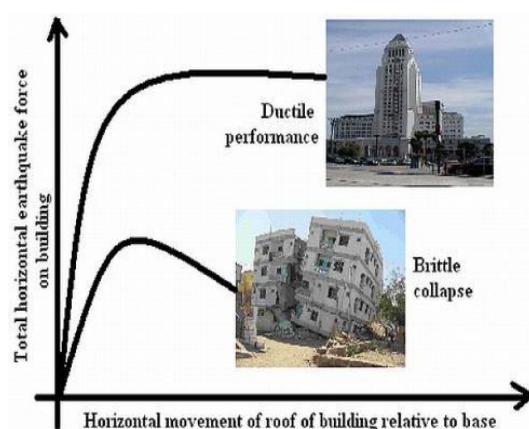
• مطاوعة الجملة (الانتقال): وتعرف بأنها قدرة المنشأ كل على الانتقال في المجال اللامرن (تشكل مفاصل لدنة)

دون انخفاض كبير في المقاومة، وتعتبر مطاوعة الجملة من أكثر المعايير استعمالاً في تقييم الاستجابة الإنسانية للمنشآت.

يحدث انهيار المنشآت والعناصر البيتونية وفق أحد نمطين: انهيار مفاجئ أو هش (Brittle Collapse) أو أداء مطاوع (Ductile Performance). يوضح الشكل (2-1-b) العلاقة بين الانتقال في أعلى البناء وقوة القص المطبقة حيث يبين الفرق بين السلوك المطاوع والانهيار الهش :

حيث يحدث الانهيار الهش (Brittle Collapse) (مثال: الشكل 2-a) بشكل مفاجئ بعد وصول البناء لمقاومته الأعظمية دون أن يبدي أي استطاعة تشوّه (deformability)، وهو نمط غير مرغوب في الانهيار.

بينما يبدي البناء المطاوع تشوّهًا كبيرًا في المرحلة اللدنة ويترافق ذلك مع تبديد كمية كبيرة من الطاقة ويكون هذا بمثابة إنذار بقرب انهيار المبنى وهو السلوك المفضل في التصميم الإنساني.



(b) مقارنة الانهيار المفاجئ والهش والأداء المطاوع
(Architect in earthquake engineering, 2010)



(a) الانهيار المفاجئ لمبنى نتيجة زلزال تركيا 1999 (الطوابق اللينة).
(Soft Stories)

الشكل(2-1): الانهيار المفاجئ والأداء المطاوع للأبنية

تعتبر المطاوعة أحد أهم العوامل في الأداء الزلزالي للبناء لذلك يسعى التصميم الزلزالي لتحديد موقع الضرر المتوقعة مسبقاً و من ثم تزويد هذه المناطق بتفاصيل تسلیح جيدة للتتأكد من السلوك المطاوع للبناء لأن الفلسفة الحالية للتصميم على الزلازل تستند على امتصاص الطاقة وتبيدها بواسطة التشوّهات اللدنة لكي يصمد المنشأ أمام الزلازل القوية، وبالتالي فإن المنشآت غير القادرة على أن تسلك سلوكاً مطاوعاً يجب أن تصمم على قوى زلزالية أكبر إذا ما أردت تجنب انهيارها مما يؤدي إلى عدم الاقتصادية في التصميم.

٢.٢.٢ ميكانيكيات الانهيار: Mechanisms of Failure

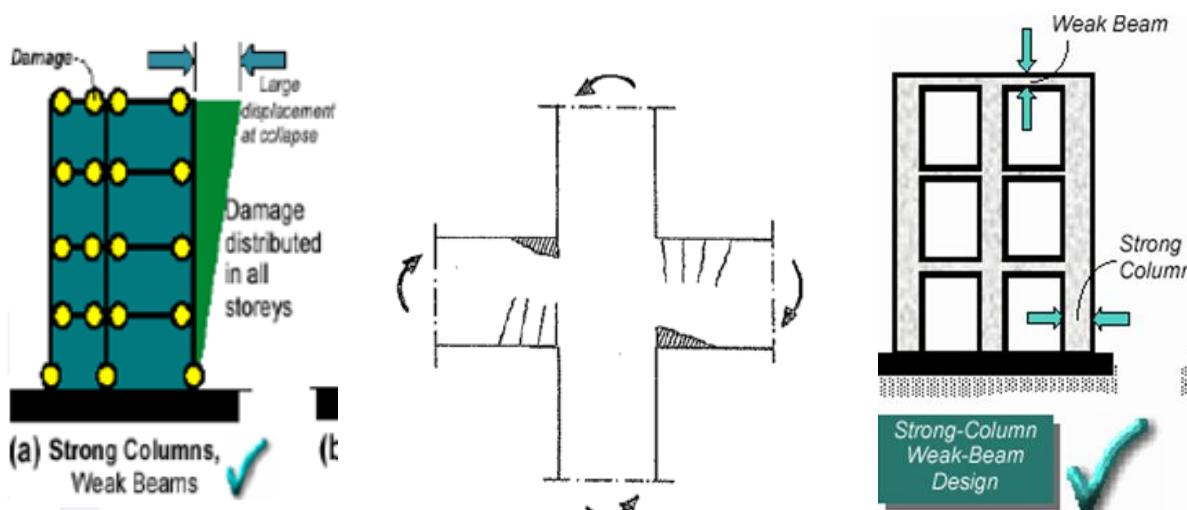
من الضروري دراسة خصائص تشوّه العناصر الإنسانية تحت تأثير الأحمال لتفادي حدوث الانهيار الهش في العناصر، وبناء على سلوك العناصر تقسم ميكانيكيات انهيار الإطارات حسب أنواع الجمل الإنسانية إلى:

١. جملة عمود قوي وجائز ضعيف: Strong column - Weak beam

في هذه الجملة تكون صلابة الأعمدة أكبر من صلابة الجوازات (2-2-a) حيث تمتلك الأعمدة طاقة تحمل انعطاف أكبر من طاقة تحمل الجوازات، ويجب أن يكون لكل العناصر مقاومة قص وإرساء تسليح كافيين بحيث يمكن لقطع الجوازات الوصول إلى طاقة تحملها اللدنة وحصر تطور الدونة في الجوازات (2-2-b, c) للوصول إلى الأداء المطابع المطلوب، و لتحقيق ذلك ينص (الكود العربي السوري، ٢٠٠٤) على أن تحقق الأبعاد النسبية للجازر والعمود في العقدة الإطارية والتسليح الشرط التالي:

$$\frac{Mc1 + Mc2}{Mb1 + Mb2} \geq 1.2 \quad (1-1)$$

حيث Mc_1 و Mc_2 هي طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقد، آخذين بالحساب القوى المحورية التي تقابل قيماً أقل للعزوم، بينما تعبّر Mb_1 و Mb_2 عن طاقات تحمل العزوم للجوازات عند أوجه العقد.



(c) تشكل المفاصل اللدنة في الجواز

(Murty , 2005)

(b) تشكل المفصل اللدن في الجائز

(Penelis and Kappos , 1997)

(a) جملة عمود قوي وجائز ضعيف

(Murty , 2005)

الشكل(2-2): جملة عمود قوي وجائز ضعيف وتشكل المفاصل اللدنة في الجواز.

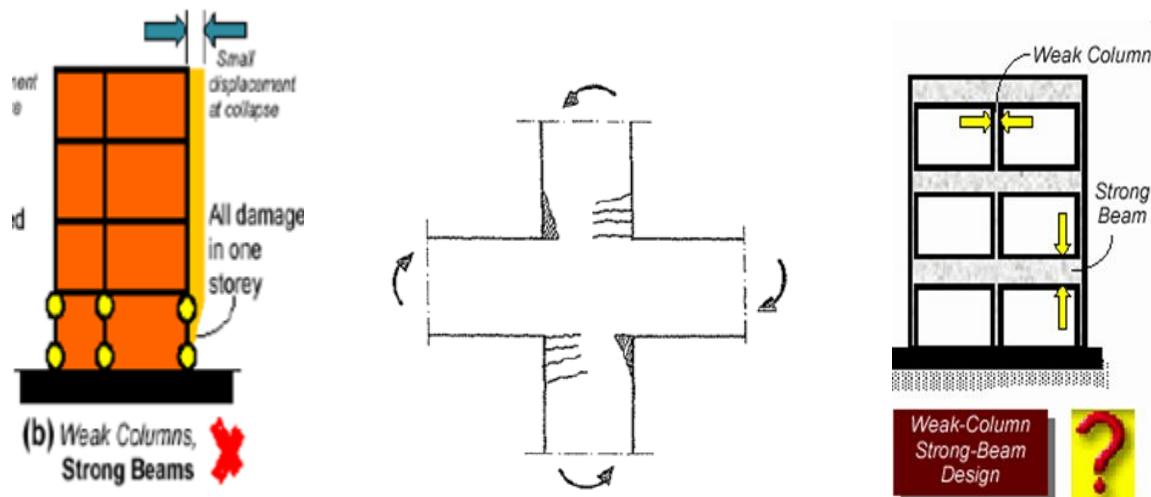
إن انهيار العمود يؤثر على استقرار البناء ككل بينما يؤدي انهيار الجائز إلى تأثير محلي محدود (localized effect)

الشكل (2-3) يوضح الأداء المطاوع للبناء وبقاء الأعمدة سليمة.



الشكل(3-2):الأداء المطاوع للبناء أثناء زلزال في الصين (2008).

٢. جملة عمود ضعيف وجائز قوي :



(c) تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة

(Murty , 2005)

(b) تتشكل المفصل اللدن في العمود

(Penelis and Kappos , 1997)

(a) جملة عمود ضعيف وجائز قوي

(Murty , 2005)

الشكل(2-4): جملة عمود ضعيف وجائز قوي وتشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة

في هذه الجملة تكون صلابة الجائز أكبر من صلابة العمود مما يؤدي إلى تشكل المفاصل اللدنة (Plastic Hinges) في الأعمدة (الشكل 2-4)، وبالتالي حدوث الانهيار المفاجئ والهش. يبين الشكل (2-5) تشكل المفاصل اللدنة في الأعمدة.

٣. انهيار العقدة :

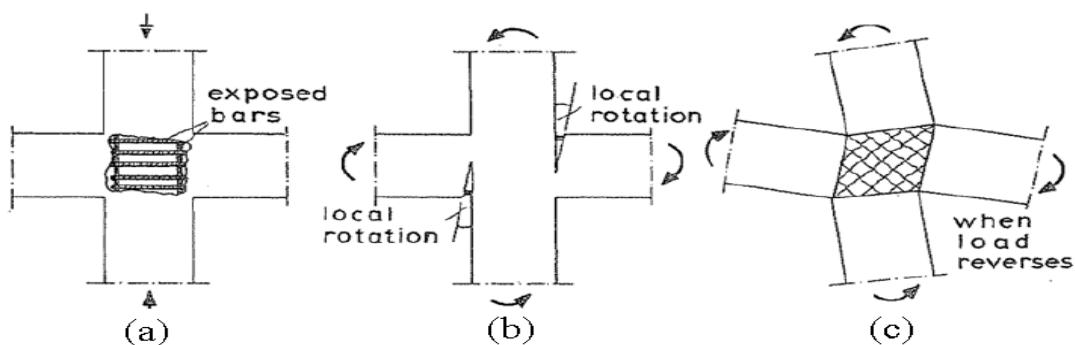
: (Penelis and Kappos,1997) و هو انهيار قلب عقدة جائز عمود حيث تم تصنیف أنماط انهيار العقد إلى ثلاثة أنماط

- تكسر طبقة الغطاء البetonي لوجهي العقدة (الشكل 2-6-a)، ويجب تجنبه لأنه يؤدي إلى إضعاف قدرة تحمل العمود.

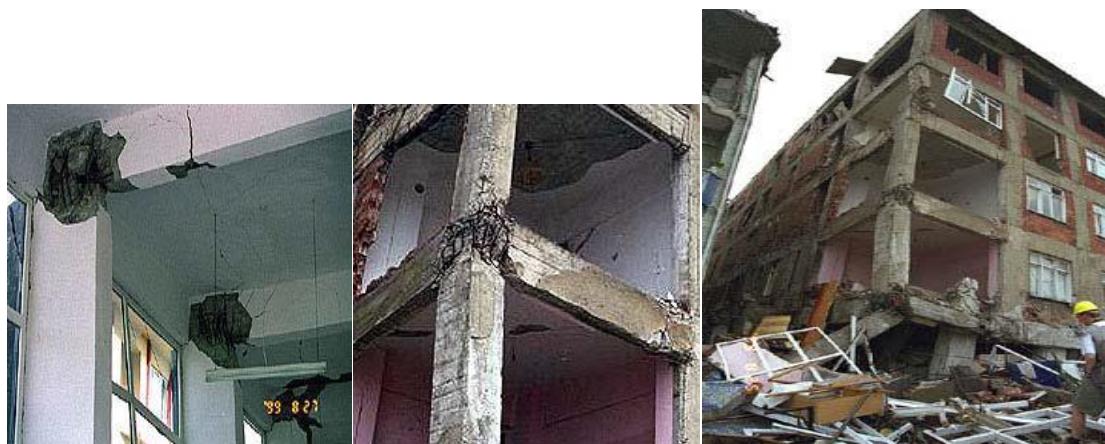


الشكل(5-2):تشكل المفاصل اللدننة في الأعمدة.

- انهيار إرساء قضبان الجائز داخل العقدة (الشكل 2-6-b)، و يجب تجنبه لأنه يؤدي إلى هبوط في المقاومة وحصول تشوهات كبيرة و دائمة و بالتالي يؤدي إلى حصول هبوط خطير في صلابة العقدة .
- انهيار قلب العقدة بسبب الشد القطري(الشكل 2-6-c)، وهو ناتج عن الفص الدوري و يجب تجنبه لأنه يؤدي إلى هبوط شديد في المقاومة و في الصلابة .



الشكل (6-2) : أنماط انهيار عقد الإطارات البetonية المسلحة على الأحمال الزلزالية (Penelis and Kappos , 1997 ،).



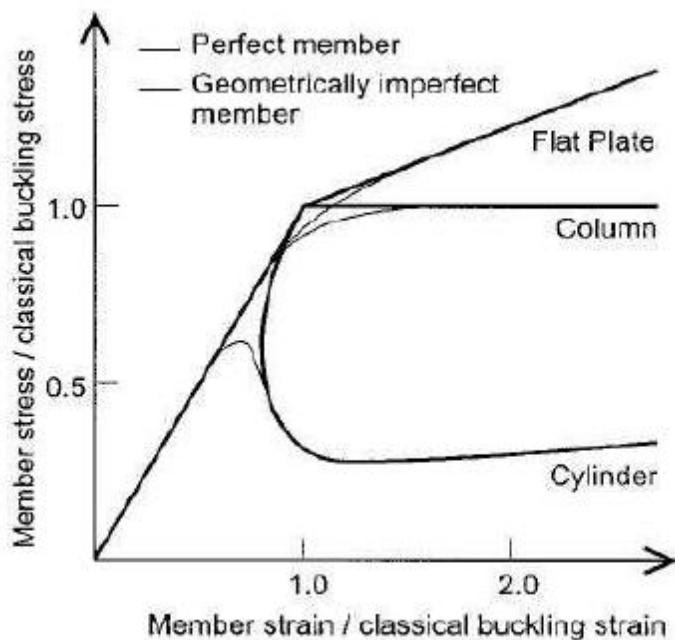
الشكل (7-2) : أمثلة واقعية لانهيار عقدة جائز عمود.

Steel Plates ٣.٢ الصفائح المعدنية :

استخدمت الصفائح المعدنية الرقيقة على نطاقٍ واسع على شكل جوانز صفائحية أو في تشكيل المقاطع، وكذلك في مجال مقاومة الأحمال الجانبية حيث استخدمت الصفائح كجدران قص.

أهم ما يميز سلوك الصفائح المعدنية عند تعرضها لحمولات قاسية أو ضاغطة هو حدوث التحنّب (Buckling)، وهو نوع من أنواع السلوك الإنسائي الذي يتطور فيه شكل التشوه في اتجاه أو مستوى عمودي على جهة أو مستوى تطبيق الحمولة التي سببته.

يوضح الشكل (8-2) مقارنة لسلوك عدة عناصر إنسانية على الضغط وهي الصفيحة (Flat Plate)، العمود (Column) (Column Strain)، والأسطوانة (Cylinder)، حيث يبين الشكل (8-2) العلاقة بين تشهُّد العنصر الفعلي خارج مستوىه (Member Strain) (Member Stress) إلى تشهُّد التحنّب الكلاسيكي النظري (Classic Buckling Strain)، والإجهاد المطبق (Classic Buckling Stress).



الشكل(8-2) : مقارنة بين تحنيب العناصر على الضغط .(Batikha,2008)

نلاحظ أن سلوك العناصر الثلاثة قبل التحنّب هو سلوك خطى حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحرّج للتحنّب، حيث يختلف سلوك هذه العناصر فالعمود يحافظ على مقاومته مع حدوث تشوّهات كبيرة، أما الأسطوانة فيحدث فيها هبوط

حاد بالمقاومة، بينما الصفيحة تزداد فيها المقاومة بشكل طفيف بعد التحنّب بسبب إعادة توزيع الإجهادات للمناطق التي لم يحدث فيها تحنّب.

١.٣.٢ سلوك الصفائح المعدنية على القص :

The Behavior of Steel Plates under Shear Loads

► إجهاد تحنّب الصفائح : Buckling stress of plates:

يعطى إجهاد تحنّب الصفائح σ_{cr} أو الإجهاد الحراري (Critical Stress) (Yoo and Lee,2011) بالعلاقة التالية

$$\sigma_{cr} = K \frac{\pi^2 E}{12(1-v^2)} \left[\frac{t}{b} \right]^2 \quad (1-2)$$

حيث :

.K: معامل التحنّب (Buckling Coefficient)

.b: بعد الصفيحة المطبق عليه الحمل (Loaded edge)

.t: سماكة الصفيحة (Plate Thickness)

.v: معامل بواسون (Poisson's ratio)

.E: معامل مرنة مادة الصفيحة (Modulus of Elasticity)

يبين الشكل (9-2) قيم معامل تحنّب الصفائح المعدنية K حيث يتعلّق بثلاثة عوامل:

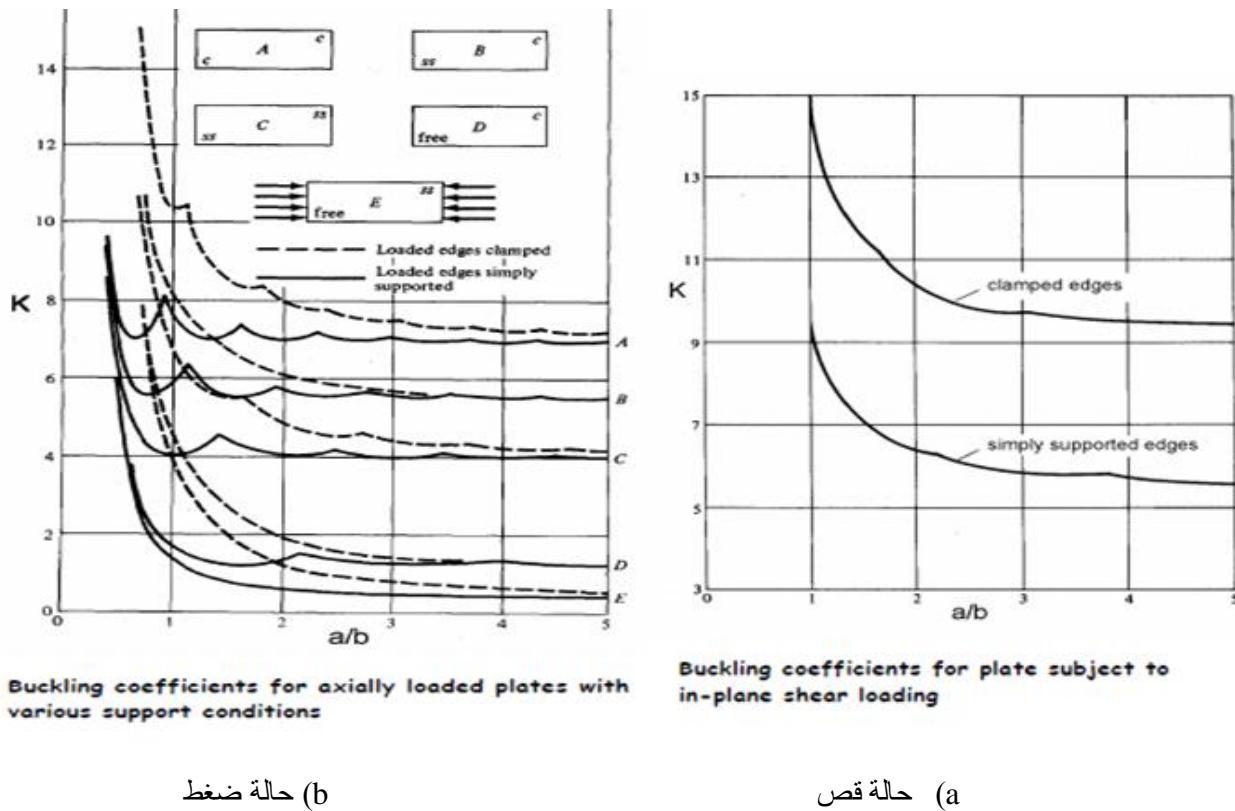
- نوع القوى المطبقة سواءً قص (Shear) أو ضغط (Compression) أو انعطاف (Bending)

- نسبة أبعاد الصفيحة (a/b).

- شروط استناد الصفيحة (Boundary Conditions).

حيث يرمز الخط المنقط في الشكل (9-2) إلى حالة يكون فيها الطرف المحمّل موثوقاً (Loaded edges clamped)، بينما

يرمز الخط المستمر لحالة كون الطرف المحمّل متوفقاً (Loaded edges simply supported).



الشكل (9-2): معامل التحنّي K (Singer et al, 1998).

فعلى سبيل المثال فإن الشكل (9-2-b) يبيّن أن K في حالة الضغط لحالة أطراف الصفيحة متضمنة (simply supported) من كل الجهات (الحالة C) تكون بقيمة ($K=4$) من أجل a/b كبيرة، بينما تكون ($K=0.43$) لحالة صفيحة حرة من طرف واحد ومتضمنة من بقية الأطراف (Outstand element) (الحالة E)، الأمر الذي يدل على أن الصفيحة تبدي مقاومة أعلى عندما تكون أطرافها الأربع متضمنة.

كما يبيّن الشكل (9-2-a) لحالة الصفيحة على القص أن اعتبار الأطراف موثقة (clamped edges) يعطي مقاومة أكبر من الصفيحة ذات الأطراف المتضمنة.

يمكن تحديد قيمة المعامل K (معامل التحنّي على القص) من العلاقات التالية (Yoo and Lee, 2011) حسب أبعاد الصفيحة وشروط استنادها حيث a, b هي أبعاد الصفيحة:

1 - الصفيحة بسيطة الاستناد من الجهات الأربع (Plate Simply Supported on Four Edges)

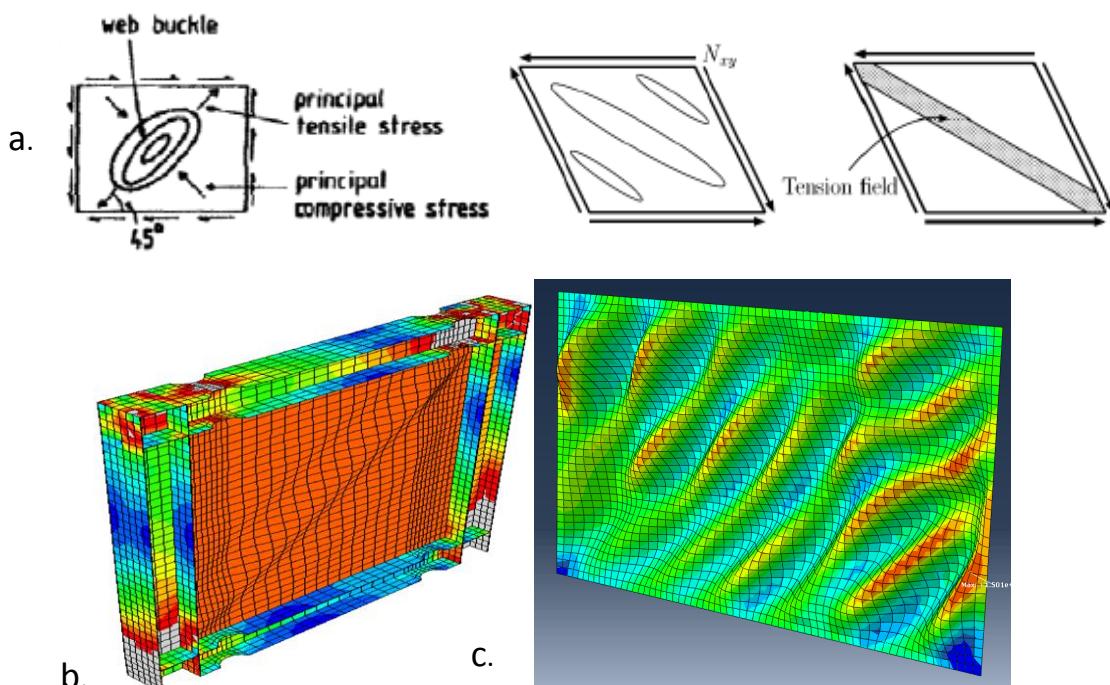
$$K_s = 4.00 + \frac{5.34}{\alpha^2} \quad \text{for } \alpha \leq 1 \quad \alpha = \frac{a}{b} \quad (2-2)$$

$$K_s = 5.34 + \frac{4.00}{\alpha^2} \quad \text{for } \alpha > 1 \quad \alpha = \frac{a}{b} \quad (3-2)$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)} \quad (10-2)$$

حيث: σ_1 : الإجهاد الرئيسي بالاتجاه 1.

σ_2 : الإجهاد الرئيسي بالاتجاه 2.



الشكل (10-2): أشكال تحنيب جدران القص المعدنية وشكل حقول الشد (Habashi and Alinaia, 2010).

من الجدير بالذكر أنه قد يتشكل في الصفيحة حقل شد واحد (الشكل 10-2-b) أو عدد من حقول الشد (الشكل 10-2-c)، ويتعلق ذلك بأبعاد الصفيحة (b/t : نسبة بعد الصفيحة إلى سماكتها) وبزيادة عدد حقول الشد المتتشكلة تزداد مقاومة الصفيحة.

► أنواع الصفائح

نميز بين نوعين من الصفائح عند دراسة سلوكها على القص (Alinia et al., 2009):

١- الصفيحة النحيلة (Slender Plate)

يوضح الشكل (11-2) منحني (قوة – انتقال) لصفيحة نحيلة.

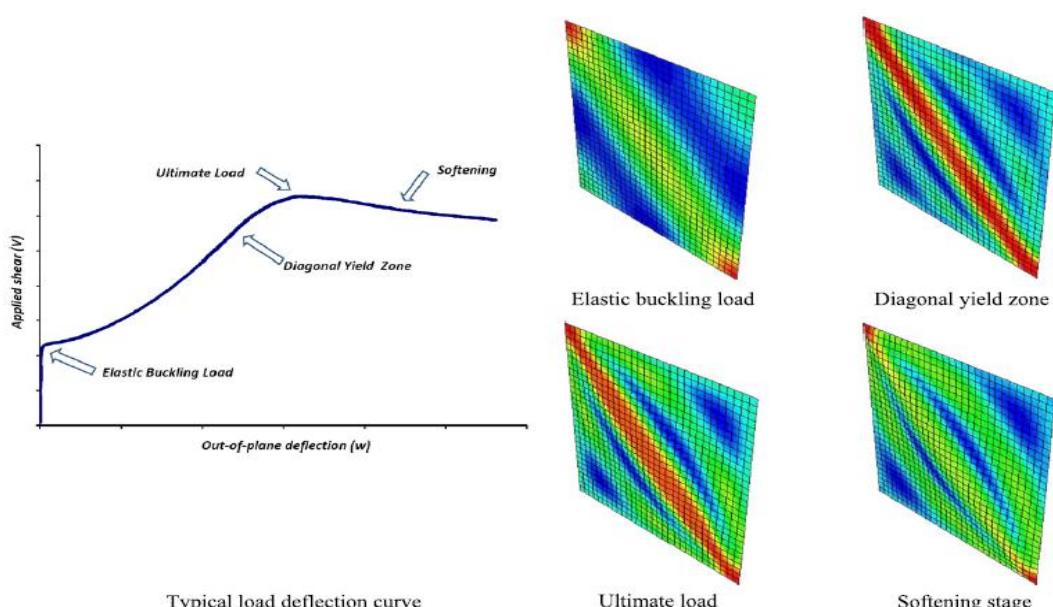
عند تعرض صفيحة نحيلة لقوة قص متزايدة تزداد القوة في الصفيحة حتى الوصول لقيمة التحنّب الحدي المرن (V_{cr})

بعد ذلك يبدأ تشكّل حقل الشد (Tension field) ويدخل جزء منه في التلن (Elastic buckling load

.(yield zone

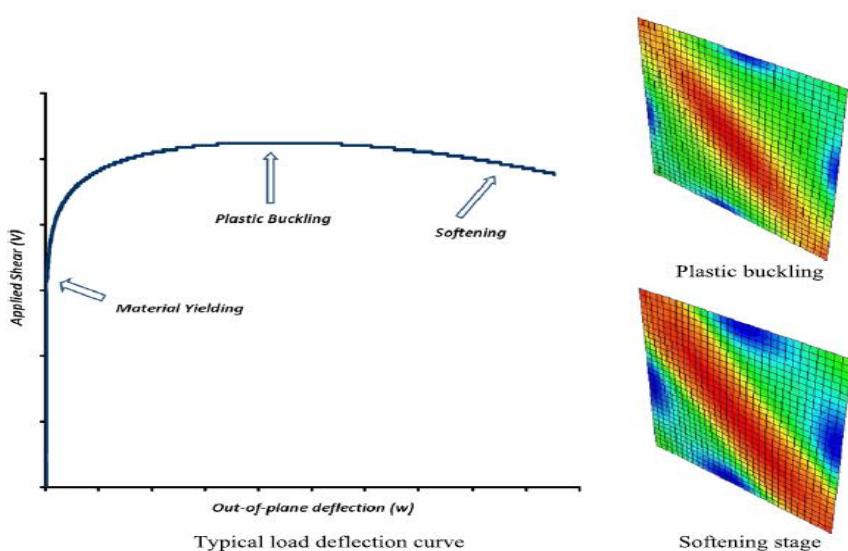
يتم الوصول إلى القوة الحدية (V_u) عند دخول كامل عرض حقل الشد في اللدونة ثم تبدأ القوة

بالانخفاض تدريجياً حتى الانهيار في مرحلة (Softening stage).



الشكل (11-2): سلوك الصفيحة النحيفة على القص (Alinia et al., 2009)

٢ - الصفيحة السميكة (Stocky Plate) :



الشكل (12-2): سلوك الصفيحة السميكة على القص (Alinia et al., 2009)

يوضح الشكل (12-2) سلوك صفيحة سميكة عند تعرضها لحمولة قص إذ نلاحظ اختفاء التحنّب المرن (Elastic buckling) والذي ظهر في حالة الصفيحة النحيلة (الشكل 11-2) حيث يتتشكل حقل الشد مباشرة والذي يدخل في السيلان مسبباً ما يعرف بالتحنّب الللن (Plastic buckling) ثم يليه مرحلة (Softening stage) ثم يليه مرحلة (Plastic buckling).

٢.٣.٢ سلوك الصفائح المعدنية مع دعامات على القص :

The Behavior of Stiffened Steel Plate under Shear Load

إن إضافة الدعامات (Stiffeners) للصفيحة يؤدي إلى زيادة صلابتها ويتحول سلوكها بزيادة الدعامات من صفيحة نحيلة إلى صفيحة سميكة، والسبب في ذلك هو أن عرض الصفيحة (b) في العلاقة (1-2) يصبح أصغر مما يجعل الإجهاد الحدي للتحنّب المرن (σ_{cr}) بقيمة أكبر من إجهاد السيلان، أي عدم حدوث التحنّب إنما الانهيار نتيجة وصول المادة إلى الإجهاد الأعظمي.

قامت العديد من الأبحاث بدراسة سلوك الصفائح المعدنية وإضافة الدعامات على سلوكها تحت تأثير الأحمال الزلزالية سيعرض منها الدراسة التالية:

: (Alinia and Dastfan ,2007) ➤

تم في هذا البحث دراسة سلوك صفيحة معرضة للقص الدوري (الشكل 13-2)، حيث تمت دراسة تقوية هذه الصفيحة بدعامات بأعداد و توزيعات مختلفة وصلابات مختلفة .

يبين الجدول (1-2) شروط استناد الصفيحة .

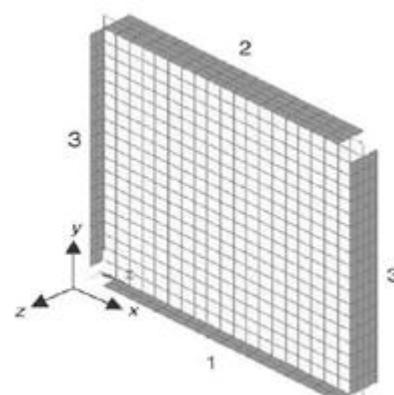
الجدول (1-2): شروط استناد الصفيحة المدروسة

(Alinia and Dastfan.,2007)

Boundary No.	U_x	U_y	U_z	θ_x	θ_y	θ_z
1	1	1	1	0	1	0
2	0	0	1	0	1	0
3	0	0	0	0	0	0

0: Not constrained

1: Constrained



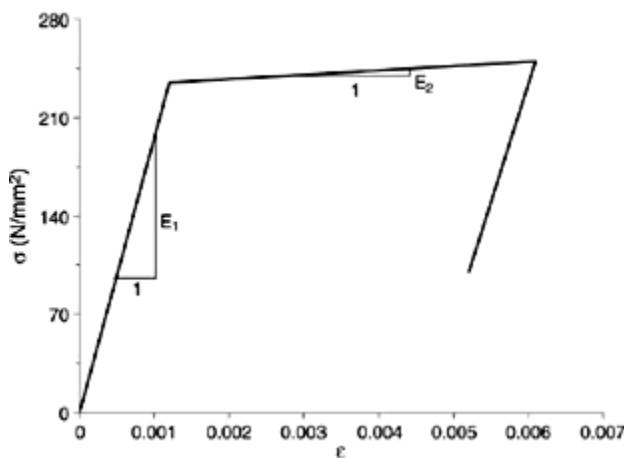
الشكل (13-2): الصفيحة المدروسة .(Alinia and Dastfan.,2007)

يبين الشكل (14-2) علاقة التشوہ النسبی (ϵ) والإجهاد (σ) لمادة الصفيحة، حيث:

$$\sigma_y = 240 \text{ MPa}$$

وتم اعتبار معامل المرونة الأولى (Initial Modulus of Elasticity) لفولاذ الصفيحة ($E_1 = 210 \text{ GPa}$) ومن ثم تزداد مقاومة بشكلٍ طفيف بمقدار متساوٍ لـ ($E_2 = E_1/100$).

وكذلك تم اعتبار معامل بواسون (Poisson's Ratio) للصفيحة $\nu_s = 0.3$.

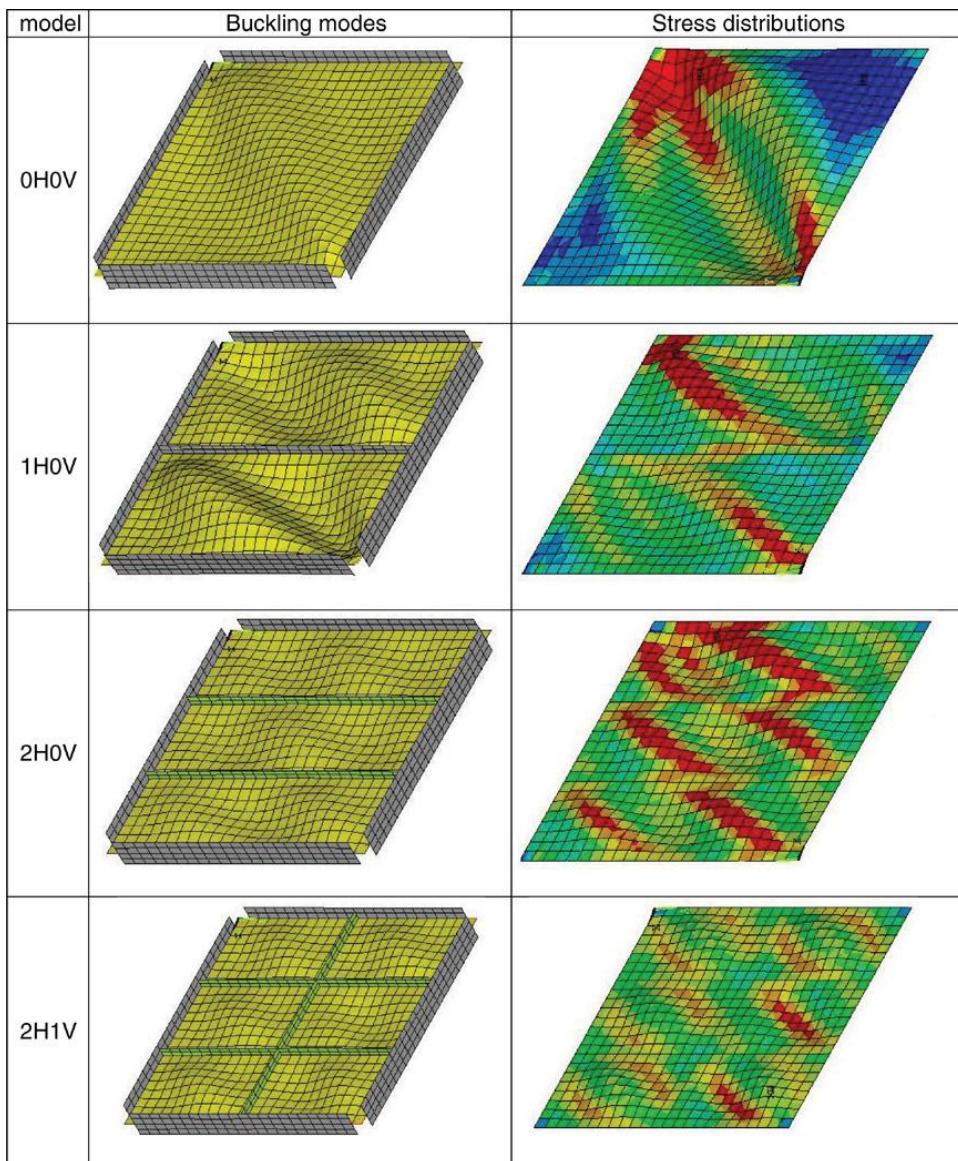


الشكل (14-2): مخطط (الإجهاد – التشوہ) لفولاذ الصفيحة. (Alinia and Dastfan, 2007)

تم استخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method FEM)، والأخذ بعين الاعتبار أثر الانتقالات الكبيرة (large deformations) ولاخطية المادة (Materially Nonlinear).

في المرحلة الأولى: تمت دراسة الصفيحة غير المدعمة بأبعاد (300*300*0.5 mm)، حيث تم تطبيق قوة قص متزايدة على الصفيحة ورسم منحني (قوة – انتقال) لها، ثم تمت إضافة دعامات مستطيلة الشكل بأبعاد (10*10 mm) وبتوسيعات مختلفة ورسم منحنيات (قوة – انتقال) لها أيضاً ثم المقارنة بين المنحنيات كما يبين الشكل (16-2).

يوضح الشكل (15-2) أنماط التحييد بعد إضافة الدعامات للفائج المدروسة وتوزع الإجهادات فيها حيث تمثل المناطق الحمراء المناطق المتلبدنة في حقول الشد القطرية، ويمكن ملاحظة زيادة عدد حقول الشد المتتشكلة بزيادة عدد الدعامات حيث أصبح لكل جزء من الصفيحة بين الدعامات حقلها الخاص الأمر الذي أدى إلى رفع مقاومة الصفيحة للقص.

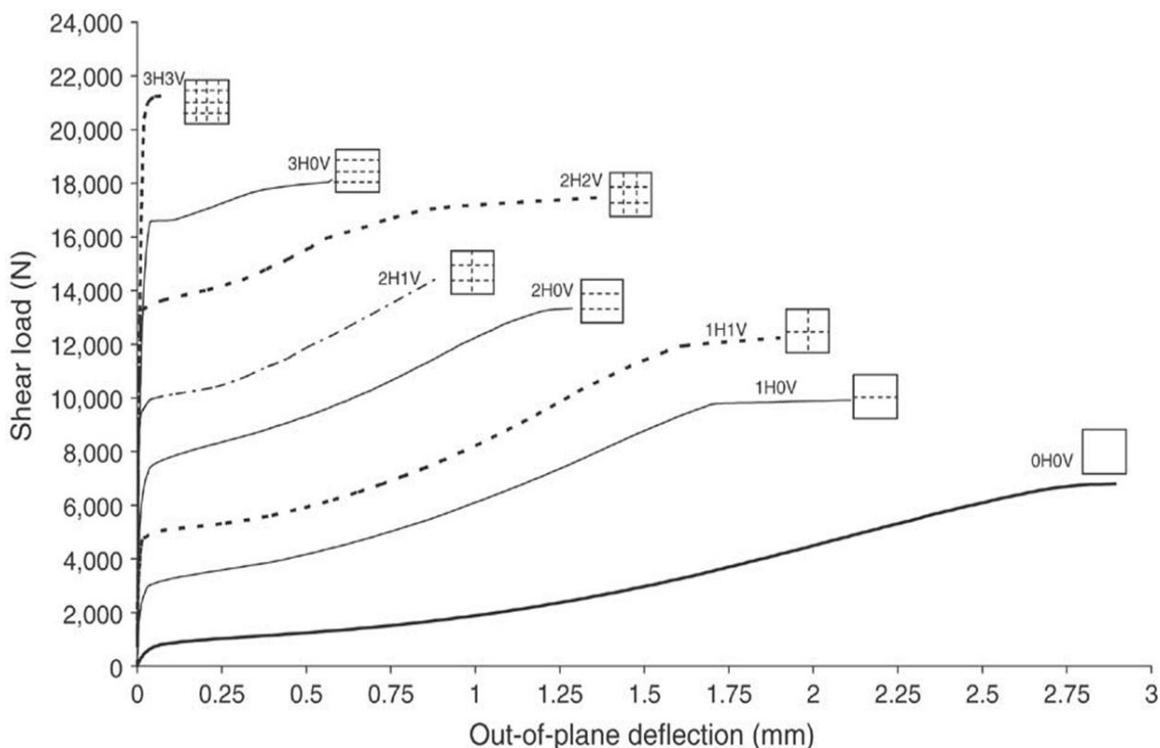


الشكل (15-2) : أنماط التحنّب وتوزع الإجهادات في بعض النماذج المدروسة (Alinia and Dastfan.,2007)

يوضح الشكل (16-2) مقارنة بين منحنيات (قوة – انتقال) لعدد من النماذج المدروسة حيث يمثل المحور الأفقي الانتقال خارج المستوى (Out of plane deflection) والمحور الشاقولي يمثل قوة القص (Shear Load) حيث يمكن من الشكل ملاحظة ما يلي :

- إن صفيحة القص النحيلة وغير المدعمة (0H0V) كانت مقاومتها للتحنّب قليلة وتشوه التحنّب فيها كبيراً حيث حدث التحنّب المرن في مرحلة مبكرة.
- إن استخدام الدعامات يرفع من مقاومة الصفيحة للتحنّب حيث تبين أنه عند استخدام ثلاث دعامات أفقية وثلاث شاقولية (3H3V)، ارتفعت مقاومة الصفيحة حوالي ثلاثة أضعاف وقل تشوه التحنّب حوالي 50 مرة.

قابلية التشوه في هذه الحالة قليلة جداً، وبالتالي فإن زيادة الدعامات أدت إلى تحويل الصفيحة من صفيحة نحيلة (Slender Plate) إلى صفيحة سميكه (Stocky Plate). (3H3V) (0H0V).



الشكل (16-2) : منحنيات (قوة – انتقال) لصفائح قص مدعمة.(Alinia and Dastfan.,2007)

في المرحلة الثانية : تمت دراسة سلوك 16 نموذجاً من الصفائح المدعمة مع تغيير عدد وصلابات الدعامات وتم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load) ورسم الحلقات الهستيريزية (hysteresis curve) للنماذج المدروسة .

- النماذج الستة عشر المدروسة مبينة في الجدول (2-2) :

حيث: β نسبة صلابة الدعامة إلى صلابة الصفيحة وتعطى بالعلاقة (1-2).

I_s : عزم عطلة مقطع الدعامات حول محور تحبيب الصفيحة.

E معامل مرنة فولاذ الصفيحة.

b ارتفاع الصفيحة.

D صلابة الانعطاف للفولاذ، وتعطى بالعلاقة (2-2).

v معامل بواسون.

سمكية الصفحية. t

$$\beta = E I_s / b D \quad (1-2)$$

$$D = E t^3 / 12(1 - v^2) \quad (2-2)$$

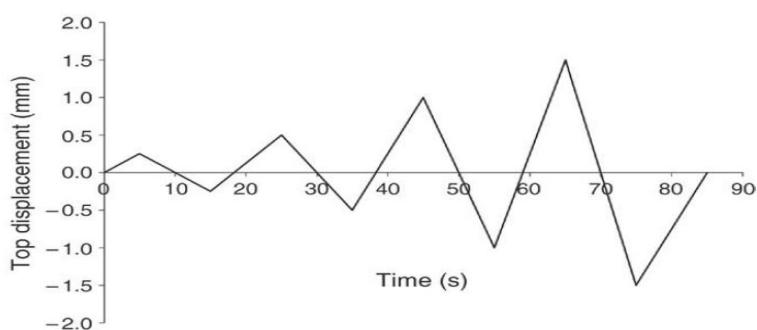
الجدول (2-2): الصفائح المدروسة في دراسة (Alinia and Dastfan, 2007)

Geometrical specifications of panels, stiffeners and buckling loads—all dimensions are in (mm) and (N)

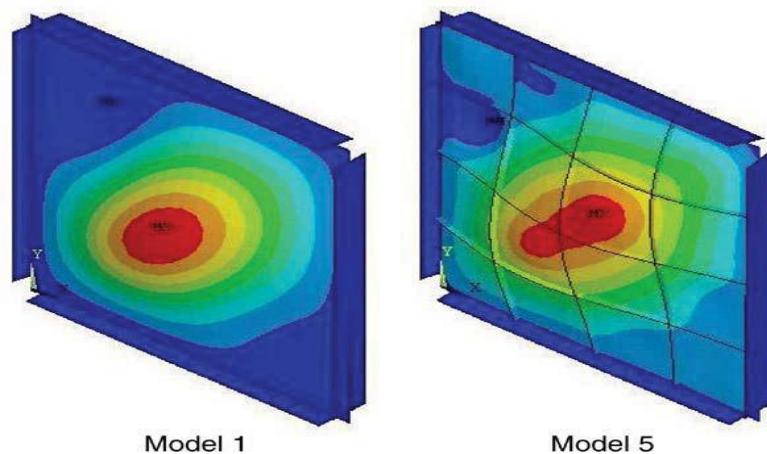
Model no.	Panel dimensions			I_s	Number of stiffeners		β	Shear buckling load	
	Length	Depth	Thickness		Longitudinal	Transverse		Unstiffened	Stiffened
1	300	300	1	0	0	0	0	8,664	8,664
2	300	300	1	6	3	3	1	8,664	11,670
3	300	300	1	28	3	3	4	8,664	22,220
4	300	300	1	60	3	3	9	8,664	32,080
5	300	300	1	210	3	3	30	8,664	69,550
6	300	300	1	280	3	3	40	8,664	167,670
7	300	300	1	25	5	5	6	8,664	31,150
8	300	300	1	50	5	5	12	8,664	49,950
9	300	300	1	100	5	5	24	8,664	84,080
10	450	450	1	155	3	3	15	5,749	39,130
11	450	450	1	260	3	3	25	5,749	54,150
12	450	450	1	310	3	3	30	5,749	61,200
13	3,000	3,000	10	700,000	3	3	10	86,000	411,000
14	3,000	3,000	10	1,400,000	3	3	20	86,000	652,000
15	3,000	3,000	10	2,100,000	3	3	30	86,000	1,091,000
16	2,000	3,000	10	1,370,000	3	5	30	97,000	1,074,000

- **الحمولة المطبقة :** تم تطبيق حمولة (Cyclic load) عن طريق تطبيق انتقال جانبي مع الزمن (Displacement)

على النقاط العلوية للصفحة الشكل (2-17) لكل من الصفيحة مع وبدون دعامات.



الشكل (17-2): منحني (الزمن - الانتقال) المطبق على الصفيحة (Alinia and Dastfan, 2007)

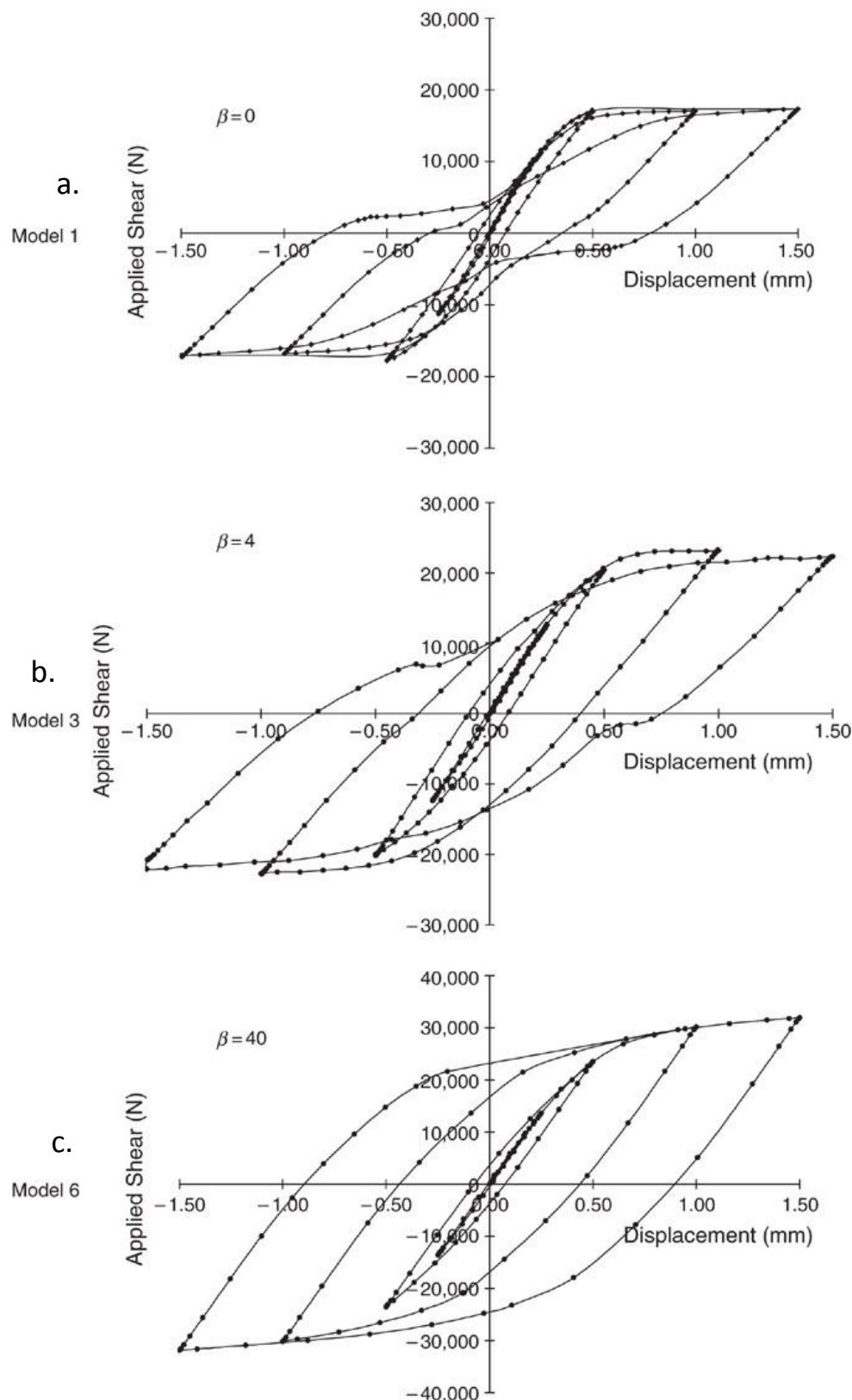


الشكل (18-2): أنماط التحنّب لنماذجين من الصفائح (Alinia and Dastfan, 2007).

يوضح الشكل (18-2) أنماط التحنّب لنماذجين من الصفائح مع ثلاثة دعامات في كل اتجاه (Model 5) وبدون دعامتين (Model 1) بينما يوضح الشكل (19-2) الحالات الهستيرية للنموذج (Model 1) صفيحة بأبعاد (300*300*1 mm) غير مدعمة حيث يلاحظ انخفاض القوة الحدية للقص ($V_u = 17.3 \text{ kN}$) (Ultimate Load V_u) ، وكذلك انخفاض قوة التحنّب المرن ($V_{cr} = 8.664 \text{ kN}$) (Elastic Shear Buckling Load V_{cr})، وكذلك أيضاً تضيق الحلقات الهستيرية (Pinching) (الشكل 19-2-a) بسبب التحنّب مما يدل على كمية الطاقة المبذدة الفاقدة.

النموذج (Model 3) هو لصفيحة بأبعاد (300*300*1 mm) مدعمة بثلاث دعامتين أفقيتين وثلاث دعامتين شاقوليات حيث نسبة صلابة الدعامتين إلى صلابة الصفيحة ($\beta = 4$). إن إضافة الدعامتين رفعت من القوة الحدية للقص ($V_u = 23 \text{ kN}$) حوالي (33%) وارتفعت كذلك قوة التحنّب ($V_{cr} = 22.22 \text{ kN}$) بنسبة (156 %)، ويلاحظ اقترابها من قوة القص الحدية، ويمكن أيضاً ملاحظة توسيع الحلقات الهستيرية (الشكل 19-2-b)، مما يدل على زيادة الطاقة المبذدة مع بقاء التحنّب المرن.

النموذج (Model 6) لصفيحة بأبعاد (300*300*1 mm) مدعمة بثلاث دعامتين أفقيتين وثلاث دعامتين شاقوليات، نسبة صلابة الدعامتين إلى صلابة الصفيحة ($\beta = 40$). إن إضافة الدعامتين رفعت من القوة الحدية للقص ($V_u = 32.2 \text{ kN}$) حوالي (86%) وارتفعت كذلك قوة التحنّب المرن ($V_{cr} = 167.67 \text{ kN}$) بنسبة (1835 %) وبشكل تجاوزت قوة القص الحدية، الأمر الذي يفسر اختفاء التحنّب المرن، والذي يؤكد توسيع الحلقات الهستيرية (الشكل 19-2-c) بشكل أكبر دون حدوث تضيق الأمر الذي أدى إلى زيادة الطاقة المبذدة.



.(Alinia and Dastfan.,2007) (1-3-6) للنماذج (الانقال – القص) منحنيات (الشكل (19-2)

٤ . ٢ استخدام الصفائح المعدنية في رفع مقاومة الإطارات المقاومة للعزم:

Using Steel Plates to strengthen the Moment Resisting Frames

الإطارات المعدنية مع صفيحة معدنية : ١.٤.٢

Steel Frame with Stiffened Steel Plate infilled Wall

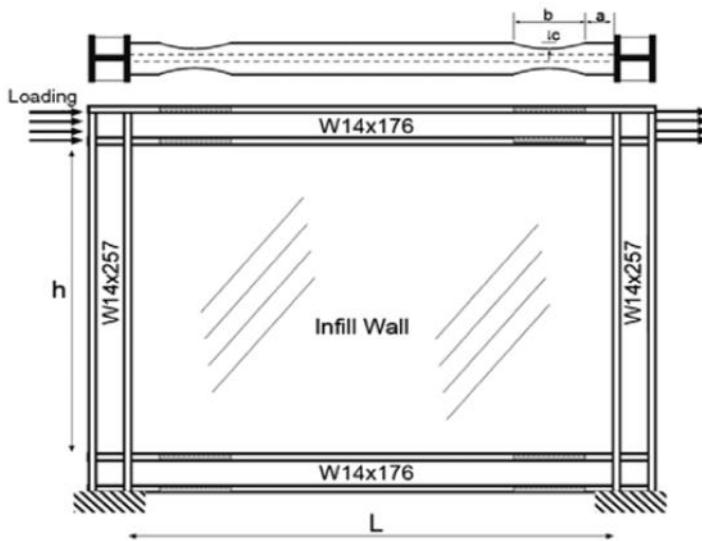
قامت العديد من الدراسات التحليلية والتجريبية بدراسة تأثير إضافة صفيحة معدنية إلى الإطار المعدني على سلوكه في مقاومة الأحمال الجانبية وتبيّن هذه الدراسات مقاومة العالية لهذا النوع من الجمل وكذلك المطاوعة الجيدة بالإضافة لقدرة على تبديد الطاقة.

:(Alinia and Habashi,2010) ➤

وهي دراسة تحليلية باستخدام برنامج ABAQUS لإطار معدني موضح بالشكل (20-2)، أبعاده (L=1.4m,H=1m,L/H=1.4) ومقطع الأعمدة (W14*257) بينما تم اختيار مقطع (W14*176) للجائز ليكون الإطار مُؤلف من عمود قوي وجائز ضعيف وتم إجراء تضيق في مقطع الجائز عند الأطراف لضمان تشكيل المفصل اللدن عند طرف الجائز. تم ملء مجاز الإطار بصفحة معدنية بسمك (t_w=3mm)، حيث تم اختيار معامل مرنة الفولاذ لصفحة والإطار (E=200 GPa)، ومعامل بواسون (v=0.3)، أما إجهاد الخضوع فكان (327 MPa) و(385 MPa) لصفحة وعناصر الإطار على الترتيب.

تم تطبيق حمولة جانبية متزايدة (Pushover) عند عقدة اتصال الجائز والعمود حيث تم منع الحركة بالاتجاهات الثلاث للنقاط السفلية من الأعمدة والصفحة ومنع حركة الجائز خارج مستوىه، وكذلك أخذت الدراسة بعين الاعتبار لخطية المادة ولخطية الانتقالات الكبيرة (Large Displacement).

يوضح الشكل (21-2) منحني (القوة الأفقية المطبقة - الانتقال الأفقي) للجملة المدروسة، وللتعرف على سلوك الصفحة المعدنية المائلة للإطار عند تعرضها لحمل قص متزايد يمكن تقسيم هذا المنحني لثلاثة أجزاء كما يلي:



الشكل (20-2) :أبعاد الإطار المعدني ومقاطع عناصره .(Alinia and Habashi,2010)

١ - (OA): عند تعرض الصفيحة لحمل قص منخفض تحدث فيها انقبالات مرنة (Elastic deformations) وتتشكل إجهادات رئيسية شادة وضاغطة متساوية في مستوى يميل بزاوية 45° . مع زيادة الحمل تزيد الإجهادات حتى الوصول

إلي الإجهاد الحراري (σ_{cr}) وعندها يحدث التحنّب وتتصرف الصفيحة بشكل غير خطى هندسياً (Geometrically)

وتختسر الجملة جزءاً كبيراً من صلابتها. وبسبب تطور حقل الشد القطرى (nonlinear

Field) تتمكن الصفيحة من تحمل جزء إضافي من القص حتى الوصول إلى أول نقطة لدونة موضعية تمثلها النقطة A

في الشكل(21-2). يوضح الشكل (a-21-2) إجهادات (Von Mises) عند النقطة A حيث تظهر الصفيحة في المرحلة

المرنة (Elastic Stage) بعد التحنّب والإجهادات في العناصر المحيطية منخفضة جداً.

٢ - (AC): بزيادة الحمل تدخل الصفيحة مرحلة لاختفاف المادة واللاخطية الهندسية (Geometrically and Materially)

، وتنتشر اللدونة حتى يتذبذب كامل عرض حقل الشد القطرى عند (النقطة B) (الشكل 2-2)، يتبعها هبوط

ملحوظ في مقاومة الصفيحة وتكون الصلابة ثابتة. عند النقطة C تحدث أول نقطة خضوع في العناصر المحيطية.

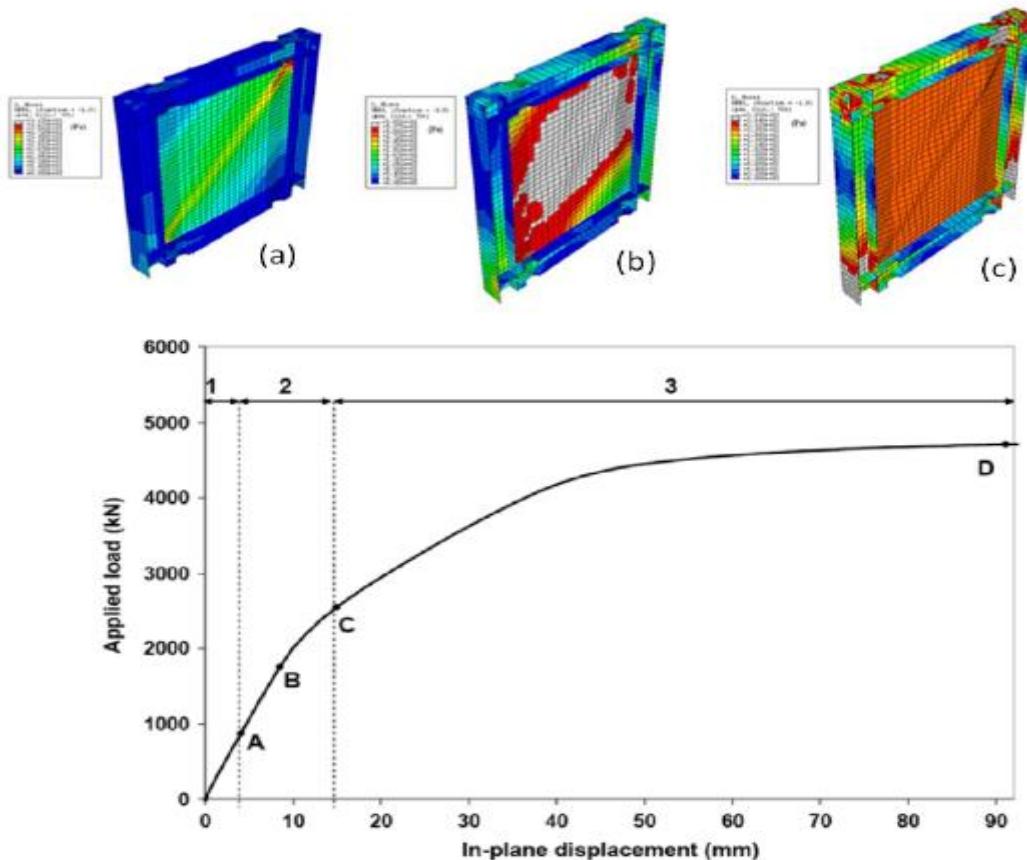
يوضح الشكل (b-21-2) إجهادات (Von Mises) في الجملة حيث تظهر المنطقة المتذبذبة في الصفيحة وتظهر

العناصر المحيطية في المرحلة المرنة.

٣ - (CD): في هذه المرحلة تدخل العناصر المحيطية في المرحلة اللاخطية حيث تكون الصفيحة قد تاذنت بشكل كامل،

وتشكل مفصل لدن جزئي أو كلي في الجائز وتنخفض الصلابة تدريجياً حتى تنعدم عند النقطة D.

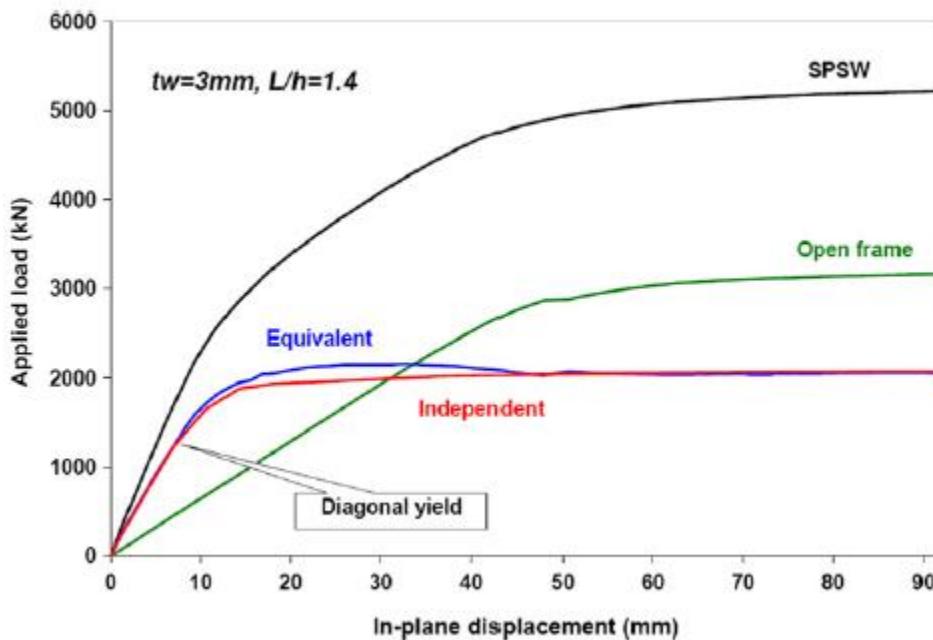
و يبين الشكل (c-21-2) إجهادات (Von Mises) للجملة حيث يظهر انتشار اللدونة في جدار القص المعدني وتشكل المفاصل اللدنة في العناصر المحيطية.



الشكل (21-2) : مخطط (قوة-انتقال) للجملة وإجهادات(Von Mises) في مراحل سلوك الصفيحة الثلاث .(Alinia and Habashi,2010)

يبين الشكل (22-2) العلاقة بين الانتحال (Displacement-mm) والقوة المطبقة (Applied Load-kN) حيث يوضح مقارنة بين الإطار بدون صفيحة (Open Frame)، والإطار مع صفيحة (Steel Plate Shear Wall-SPSW)، و يبين كذلك التابع (Equivalent) وهوتابع ناتج من طرح قيمة تابع الإطار بدون صفيحة (Open Frame) من تابع الإطار مع التابع (Independent) الذي ينتج من مكاملة صفيحة (SPSW) أي مساعدة الصفيحة في مقاومة القص القاعدي، والتتابع (Independent) الذي ينتج من إجهادات القص للفحصة ضمن (SPSW)، والتتابع متواافقان تقربياً.

ويلاحظ ارتفاع مقاومة الإطار نتيجة إضافة الصفيحة بمقدار 2100 kN أي بما يقارب 60% من مقاومة الإطار.



.الشكل (22-2) مقارنة منحنيات (قوة-انتقال) للإطار المعدني مع وبدون صفيحة معدنية (Alinia and Habashi, 2010).

الإطارات البetonية مع صفيحة معدنية :

٢.٤.٢

RC Frame with Steel Plate infilled Wall

إن الدراسات الخاصة بتأثير إضافة صفيحة معدنية إلى الإطار البetonي على سلوكه في مقاومة الأحمال الجانبية محدودة جداً، حيث استخدمت طرق أخرى للتقوية كإضافة عناصر تربيط (Bracing) (Youssef et al., 2007)، أو جدران قص بيتونية (Anil and Altin, 2007).

إن إضافة عناصر تربيط في بحث (Youssef et al., 2007) أدت إلى رفع المقاومة بنسبة (150%). فيما يتعلق بتبديد الطاقة فإن ظاهرة تصيق الحلقات (Pinching) ظلت واضحة في الإطار المرivet على الرغم من تحسن المطاوعة ولكن بشكل طفيف، وذلك بسبب تحنيب عناصر التربيط وحدوث مفاصل لينة في أعلى وأسفل الجائز مباشرةً بعد ذلك (Youssef et al., 2007).

من ناحية أخرى فإن ملء الإطار البetonي بجدار قص بيتوني أدى إلى رفع المقاومة بشكل كبير حوالي (380%) ولكن الانهيار كان هشاً (Brittle Collapse) دون الحصول على المطاوعة المطلوبة (Anil and Altin, 2007). مما يشير إلى استعمال الصفائح المعدنية جاءت كحل بديل لتحقيق الفائدتين معًا: المقاومة والمطاوعة.

:(Choi and Park ,2011) ➤

تتضمن هذه الدراسة التجريبية مقارنة بين عدة طرق لتدعم الإطار البيتوبي (RCF)، مرة بإضافة جدار بيتوبي مسلح (RCIW)، ومرة بإضافة صفيحة معدنية SPIW 1,2، وتمت دراسة صنع فتحة في هذه الصفيحة (SPIW 3).

الإطار البيتوبي المدروس (RCF) هو إطار خاص مقاوم للعزم تسلیحه موضح في الشكل(2-23) ومؤلف من ثلاثة طوابق حيث تم تدعيمه بإضافة جدار قص بيتوبي (RCIW) بسمك (110 mm) نسبة بعده إلى سماكته ($b/t=9$)، وأبعاده وتسلیحه موضح في الجدول (3-2).

طريقة التدعيم الثانية في النموذجين (SPIW1) و (SPIW2) هي إضافة صفيحة معدنية بسمك (2mm)، حيث نسبة بعدها إلى سماكتها ($b/t=500$). يختلف النموذجان عن بعضهما بنسبة تسلیح أعمدة الإطار حيث كانت النسبة (3.7%) للنموذج (SPIW1) و (5.1%) للنموذج (SPIW2) أما في حالة وجود فتحة في صفيحة النموذج (SPIW3) فسمك الصفيحة (4mm).

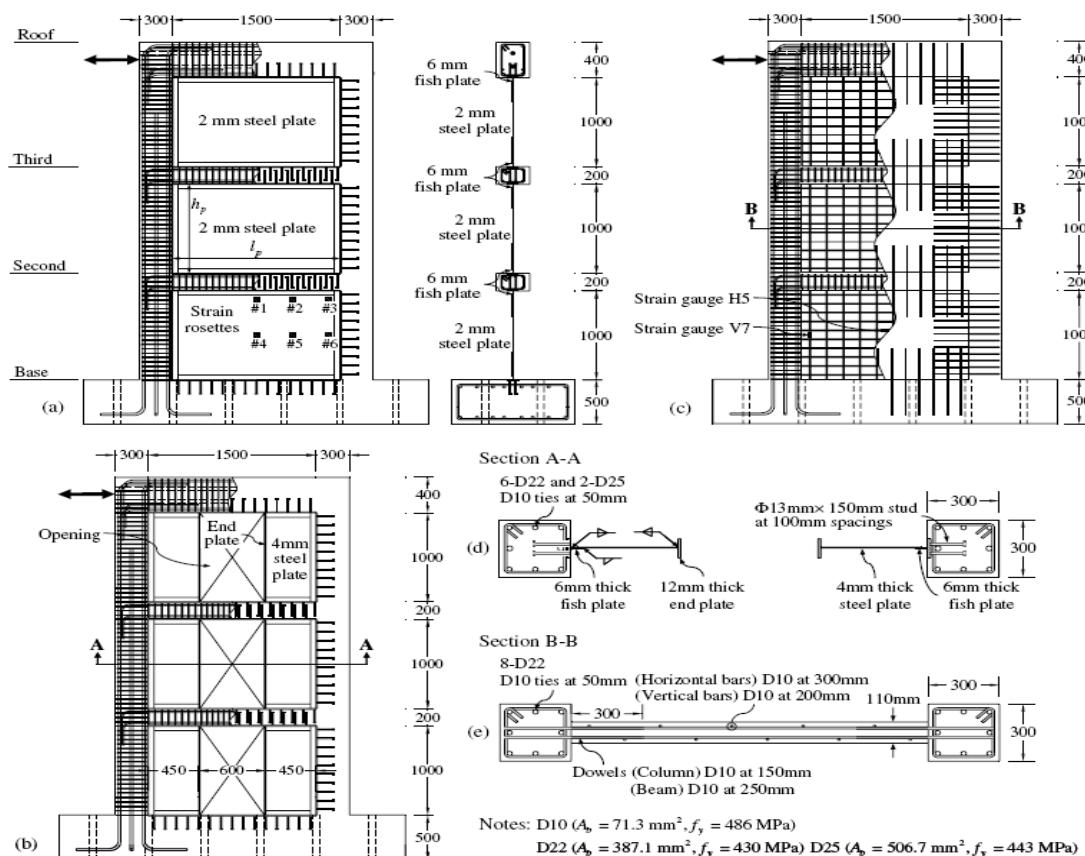
يبين الجدول (3-2) والشكل (2-23) تفاصيل النماذج المدروسة.

الجدول (3-2): خصائص العينات المدروسة (Choi and Park.,2011).

		SPIW1 (steel plate infilled wall)	SPIW2 (steel plate infilled wall)	SPIW3 (steel plate infilled wall with an opening)	RCIW (RC infilled wall)	RCF (RC frame)
Concrete compressive strength, MPa		26.4	26.4	26.4	32.1	26.4
Infilled steel plate	Thickness (mm)	2	2	4	—	—
	Yield strength (MPa)	302	302	300	—	—
Infill RC panel	Horizontal reinforcement ^a	Reinforcement ratio (%)	—	—	0.65	—
	Vertical reinforcement ^a	Reinforcement ratio (%)	—	—	0.43	—
Column	Longitudinal reinforcement	Area (mm ²)	3,336 ^b	4,596 ^c	3,336 ^b	3,097 ^d 3,336 ^b
		Reinforcement ratio (%)	3.7	5.1	3.7	3.4 3.7
	Transverse reinforcement ^a	Spacing (mm)	50	50	50	50 50
Beam	Longitudinal reinforcement	Area (mm ²)	794 ^e	794 ^e	794 ^e	794 ^e 794 ^e
		Reinforcement ratio (%)	1.3	1.3	1.3	1.3 1.3
	Transverse reinforcement ^a	Spacing (mm)	60	60	Midspan: 50 Both ends: 60	60 60

تم تطبيق حمولة (Cyclic load) عن طريق تطبيق انتقال جانبي مع الزمن (Displacement Time History) على نقاط الجائز العلوي مع منع الجوانز في الطابقين الأول والثاني من التسوس خارج مستوىهما.

تم رسم منحنيات العلاقة بين القوة (Load-kN) ، والانتقال الطابقي النسبي الوسطي (Average story drift ratio) لكل حالة من الحالات السابقة، ثم رسم مغلف هذه الحالات والمقارنة بينها (الشكل 24-2)، ويبيّن الجدول (4-2) قيم قوة القص القصوى (P_{max}) والمطاوعة ($\mu = \delta_{max}/\delta_y$) (نسبة الانتقال الأقصى إلى انتقال بدء الخضوع) للنماذج المدروسة.

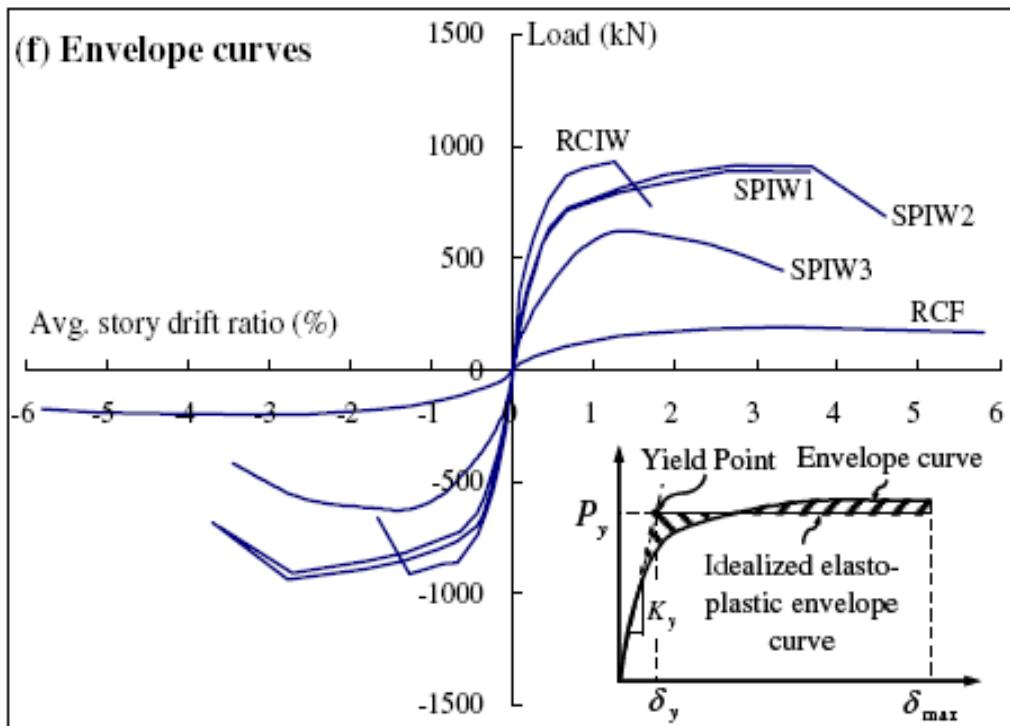


الشكل (23-2): أبعاد وتفاصيل تسليح العينات المدروسة .(Choi and Park.,2011)

الجدول (4-2): قيمة المطاوعة أو نسبة الانتقال الأعظمي إلى انتقال بدء الخضوع وقيم قوة القص العظمى.

.(Choi and Park.,2011)

Specimen	$P_{max}(\text{kN})$	δ_{max}/δ_y
SPIW 1	886	8.6
SPIW 2	914	9.8
SPIW 3	618	5.3
RCIW	912	4.4
RCF	190	7.4



الشكل (24-2): ملخص الحلقات الهستيرية للنماذج المدروسة (Choi and Park.,2011).

يوضح الشكل (24-2) والجدول (4-2) ما يلي :

- إن سلوك الإطار البيتونى (RCF) هو سلوك مطابع بدرجة كبيرة ($\mu=7.4>3$) (Eurocode 8,2005). ولكن

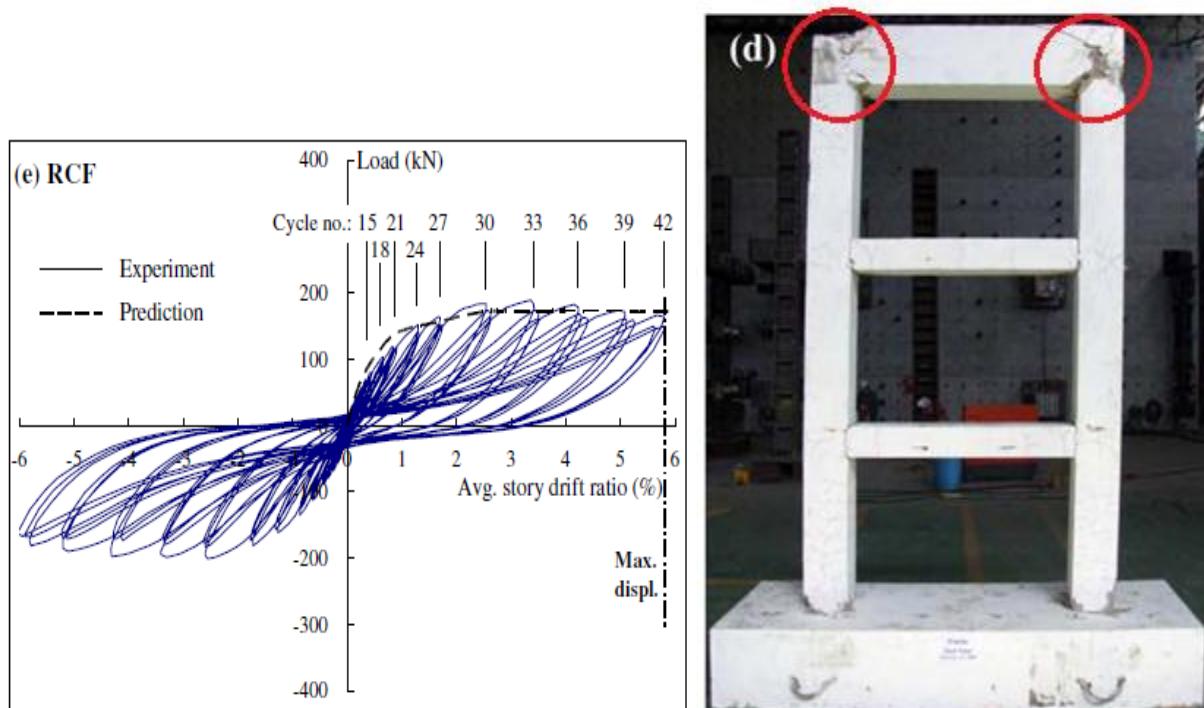
مقاومة هذا الإطار قليلة جدا (190 kN) بالإضافة لذلك حصل تضيق في الحلقات الهستيرية (الشكل 2-25-b) بسبب التشوه الناجمة عن القص في عقدة جائز عمود. كما يظهر في الشكل (2-25-a) نمط انهيار الإطار البيتونى (RCF)، حيث تتشكل مفاصل لدنة في نهاية الجوانز والأعمدة ثم يحصل الانهيار نتيجة تشكيل مفصل لدن في عقدة جائز عمود في الطابق العلوي.

- إن إضافة جدار القص البيتونى (RCIW) أكسب العينة مقاومة عالية (912 kN) وقدرة تحمل على القص أكبر بنسبة (380%)، ولكنها أدت إلى تقليل المطاوعة بنسبة كبيرة حوالي (50%) (الجدول 2-4)، وذلك بسبب الانهيار الهش للجدار البيتونى على القص (الشكل 2-26-a)، ويظهر من الحلقات الهستيرية (الشكل 2-26-b) أيضاً ارتفاع المقاومة وانخفاض المطاوعة.

- إن إضافة جدار قص معدنى (SPIW 1,2) رفع مقاومة الإطار بنسبة (380%) وكذلك المطاوعة بنسبة (30%)، وذلك بسبب تشكيل حقول الشد في الصفيحة. ويوضح الشكل (2-27-a) انهيار الإطار البيتونى المملوء بجدار قص معدنى (SPIW)، حيث يلاحظ في البداية حدوث تحنيب في الصفائح وتتشكل حقول الشد، ثم تلذت الصفائح بعد

ذلك تشكلت مفاصل لدنة في نهايات الجوانز في الطابقين الثاني والثالث وفي أسفل أعمدة الطابق الأول، وهذا يفسر الأداء المطابع للجملة والقدرة على تبديد الطاقة، ويظهر ذلك من الحلقات الهستيرية وتوسيعها (الشكل 2-27-b).

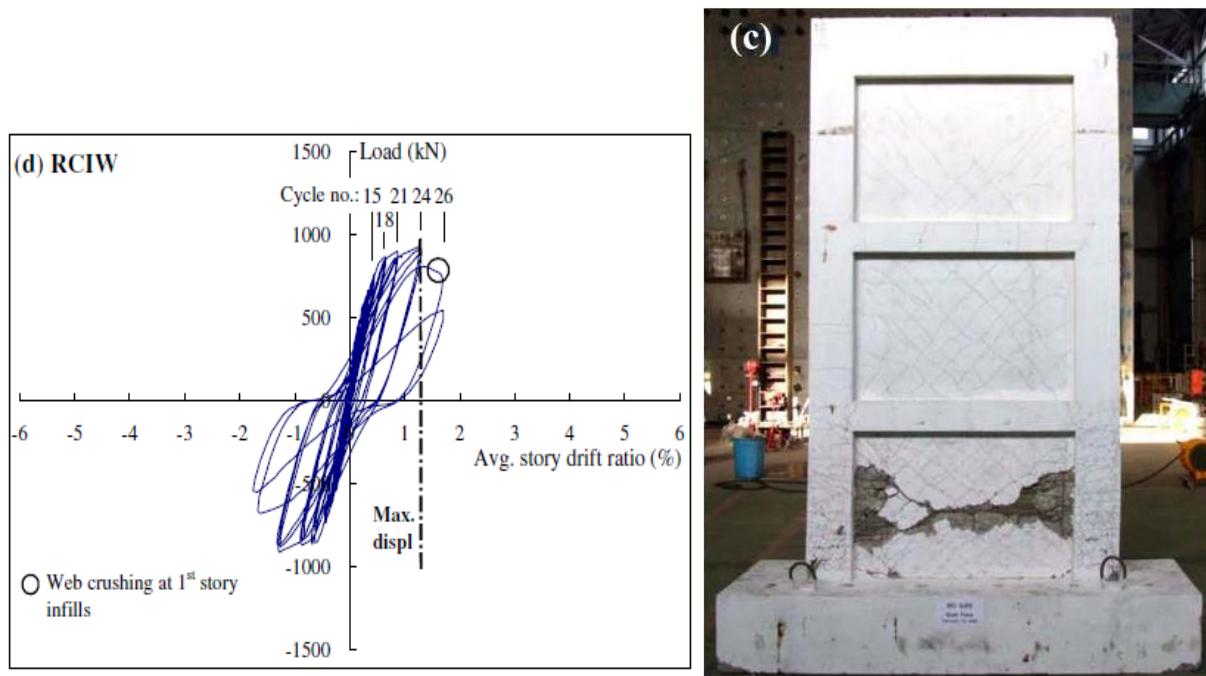
- إن صنع فتحة في الصفيحة (3 SPIW) يرفع المقاومة للإطار بنسبة (230%) أي أقل من حالة صفيحة كاملة، وذلك بسبب عدم وصول الصفيحة للخضوع بشكل كامل، وانهيار الجوانز الرابطة (الشكل 2-28-a)، حيث تظهر الشقوق القطرية.



a. نمط انهيار الإطار البetonاني b. الحلقات الهستيرية للإطار البetonاني

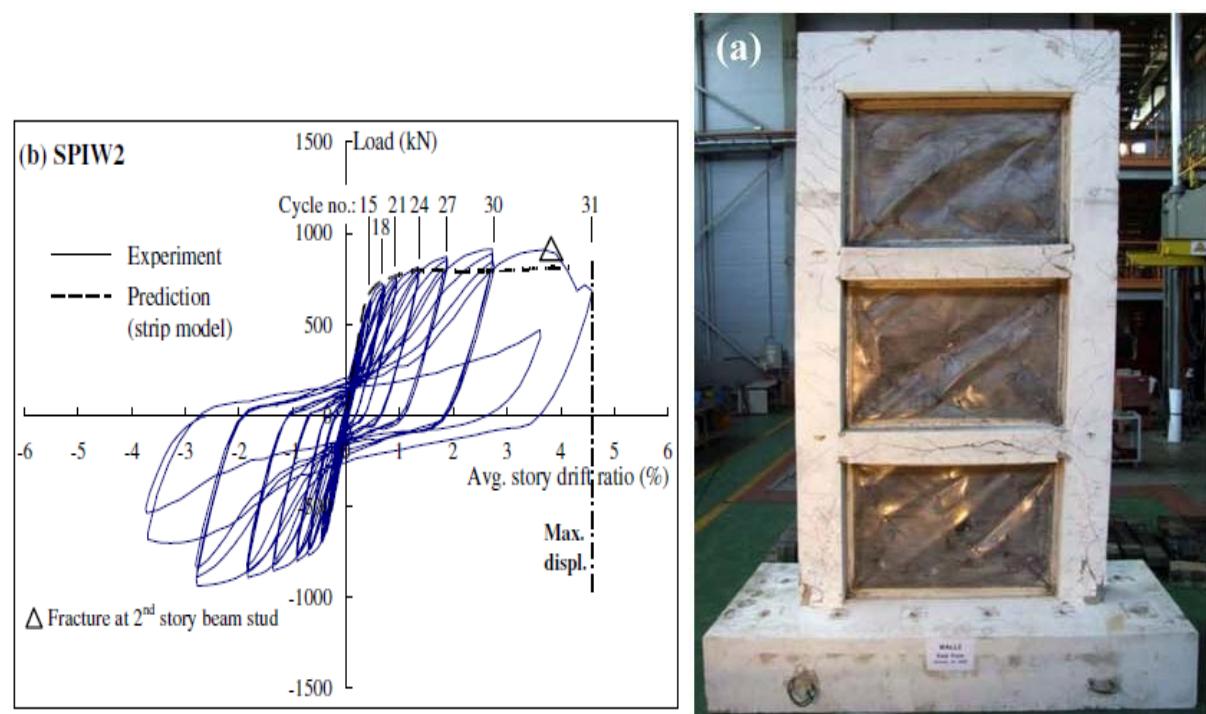
الشكل (25-2): نمط انهيار الإطار البetonاني والحلقات الهستيرية (Choi and Park., 2011).

- إن النموذجين (RCIW 1) و(SPIW 1) لهما نفس المقاومة تقريباً ولكن استطاعة التشوه ومطاوعة الانتقال للنموذج كانت أكبر بنسبة (100%) تقريباً (الجدول 2-4).
- بالرغم من أن نسبة تسليح الأعمدة في (SPIW 2) كانت أعلى من (1 SPIW) بنسبة (1.4) إلا أن هذا لم يؤثر بشكل ملحوظ على قدرة التحمل والمطاوعة للنموذجين، وذلك بسبب أن سلوكهما محكم بخضوع الصفيحة الفولاذية أكثر من مقاومة العناصر المحيطية، حيث أن الصفيحة المعدنية أصبحت تمتص النسبة الأكبر من قوة القص القاعدية.



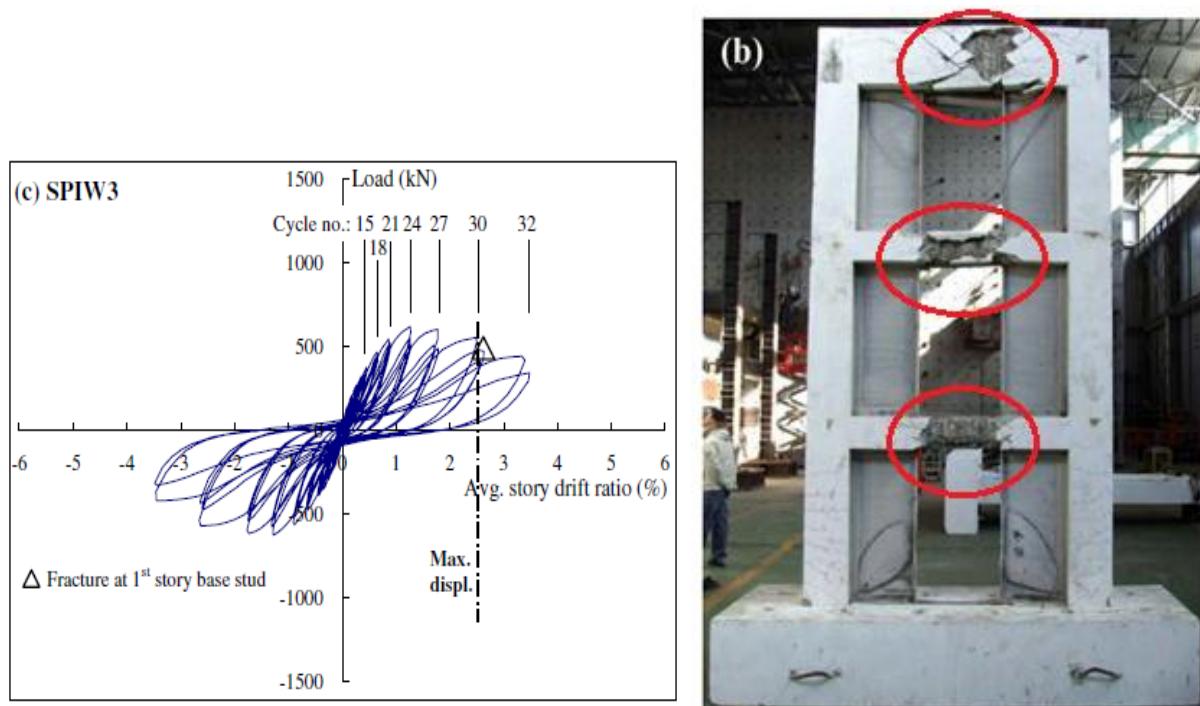
a. نمط انهيار الإطار المملوء بجدار قص بيتوني
b. الحالات الهستيرية للإطار المملوء بجدار قص بيتوني

الشكل (26-2): نمط انهيار الإطار المملوء بجدار قص بيتوني والحالات الهستيرية (Choi and Park.,2011).



a. نمط انهيار الإطار المملوء بجدار قص معدني
b. الحالات الهستيرية للإطار المملوء بجدار قص معدني

الشكل (27-2): نمط انهيار الإطار المملوء بجدار قص معدني والحالات الهستيرية (Choi and Park.,2011).



a. نمط انهيار الإطار المملوء بجدار قص معدني.
b. الحلقات الهستيرية للإطار المملوء بجدار قص معدني.

الشكل (28-2): نمط انهيار الإطار المملوء بجدار قص معدني مع فتحة وحلقات الهستيرية (Choi and Park., 2011).

ملخص:

تم في هذا الفصل التعرف على السلوك الإنسائي للإطارات البيتونية المسلحة، والصفائح المعدنية نتيجة تعرضها لحمولات القص وكذلك آلية تحنيبها وتشكل حقول الشد فيها، وتم التمييز بين نوعين من الصفائح: الصفائح النحيلة (Slender Plate) والصفائح السميكة (Sticky Plate).

كما تم استعراض دراسات مرئية تبحث في سلوك الصفائح المعدنية المقاومة بدعامات (Stiffeners) والتي بينت أن استخدام الدعامات يرفع مقاومة الصفيحة ويزيد من تبديد الطاقة، ويحول سلوك الصفيحة النحيلة إلى صفيحة سميكة بزيادة عدد الدعامات.

كما تم استعراض استعمال الصفيحة المعدنية في تقوية الإطارات المقاومة للعزم المعدنية منها والبيتونية، وتم التركيز على تدعيم الإطارات البيتونية بصفائح معدنية والذي هو هدف البحث.

يبين هذا الفصل أن الدراسات المرجعية التحليلية والتجريبية الخاصة باستعمال الصفائح المعدنية لتقوية الإطارات البetonية المسلحة محدودة جداً مقارنة مع الإطارات المعدنية، من هنا تأتي أهمية الدراسة الحالية.



الفصل الثالث

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)



الفصل الثالث

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة

Structural Analysis Using Finite Element Method (FEM)

١.٣ مقدمة: Introduction

يستعرض هذا الفصل الدراسة التحليلية العددية باستخدام طريقة العناصر المحدودة لسلوك الإطار البيتونى المملوء بجدار قص معدنى تحت تأثير الحمولات الدورية (cyclic load)، وتأثير إضافة الدعامات على سلوكه الإنشائي في مقاومة القص في مستوىه .

تضمنت الدراسة التحليلية إطار بيتوبي مسلح تم تعريضه لحمولات دورية في مستوىه معأخذ لا خطية المادة بعين الاعتبار (القوة – الانتقال) (Materially Non-linear Analysis,MNLA) وتم رسم منحنيات (القوة – الانتقال) ومقارنة النتائج مع نتائج دراسة تجريبية سابقة لنفس الإطار.

ثم تمت دراسة نموذج صفيحة معدنية معرضة للقص وإجراء تحليلاً لا خطياً يدخل تأثير الانتقالات الكبيرة (Geometrically and Materially Non-linear Analysis, GMNLA) بسبب حدوث التحنّي في الصفيحة، وكذلك تم إضافة دعامات أفقية وشاقولية للصفيحة ودراسة تأثيرها على زيادة صلابة الصفيحة ومقاومتها من خلال رسم منحنيات (القوة – الانتقال) ومقارنة النتائج مع نتائج دراسة تحليلية سابقة لنفس الصفيحة.

في المرحلة التالية تمت دراسة الإطار السابق مع صفيحة معدنية وتطبيق الحمولة الدورية ورسم الحلقات (قوة – انتقال) ثم إضافة دعامات على الصفيحة وتغيير صلابة هذه الدعامات ورسم منحنيات (قوة – انتقال) للنماذج المدروسة ومقارنة النتائج للتعرف على فعالية إضافة الصفيحة ومدى تأثيرها على مقاومة الإطار ومطابعته.

٢.٣ التحليل الإنشائي للإطار البيتوبي المسلح باستخدام طريقة العناصر المحدودة:

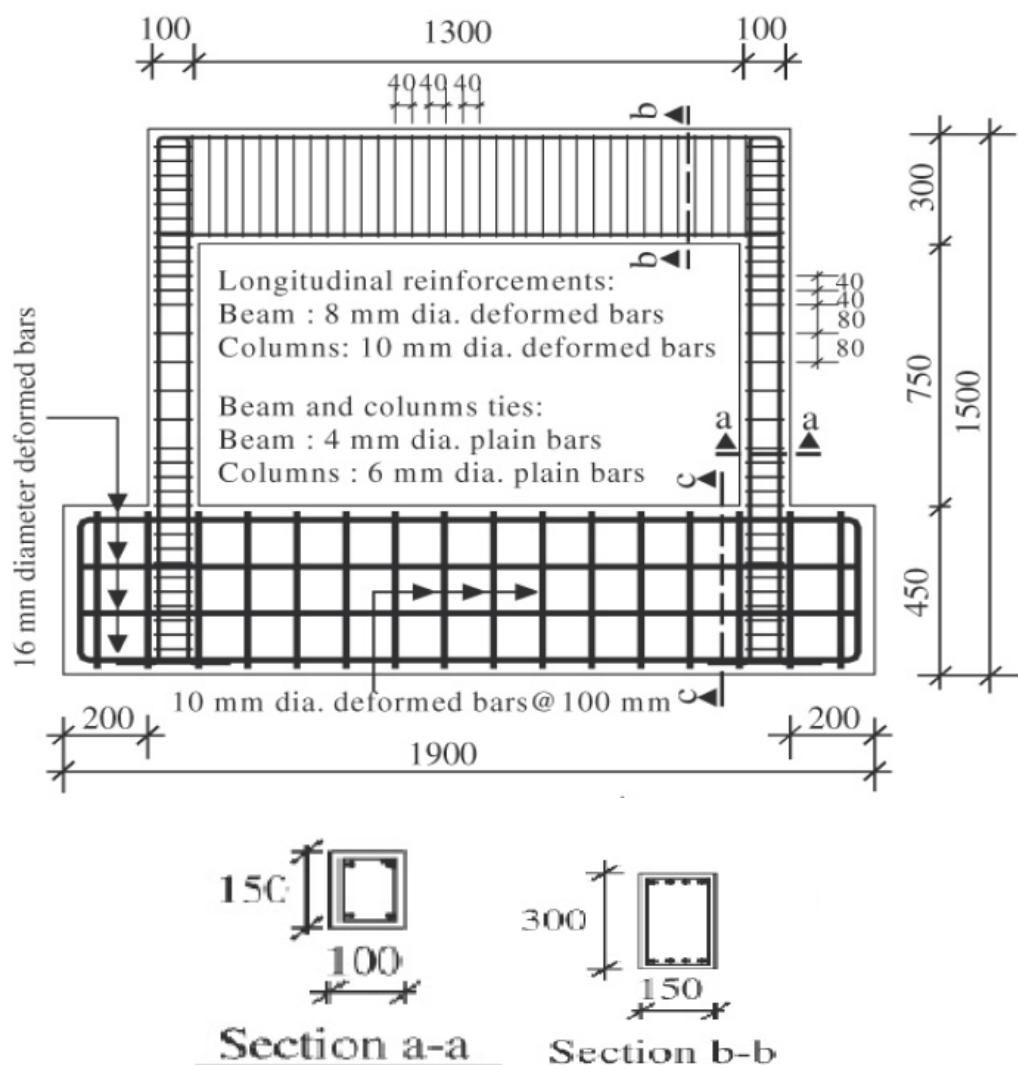
Structural Analysis for RC Frame Using Finite Element Method

Model Description: ١.٢.٣ توصيف النموذج

تم تحليل النموذج المدروس تجريبياً في دراسة (Anil and Altin,2007) الموضح في الشكل (1-3)، حيث يبين الشكل إطاراً بيتونياً مؤلفاً من فتحة واحدة وطابق واحد، ارتفاع الإطار الكلي مع الأساس ($H=1.5\text{ m}$) فتحة الإطار ($L=1.4\text{ m}$).

يوضح المقطع (Section a-a) أبعاد العمود ($100*150\text{ mm}^2$) وتسليحه الطولي ($4\Phi 10$) و تسليحه العرضي ($\Phi 6\text{mm}/40\text{mm}$).

بينما يوضح المقطع (Section b-b) أبعاد الجائز ($300*150\text{ mm}^2$) وتسليحه الطولي ($4\Phi 8$) و تسليحه العرضي ($\Phi 4\text{mm}/40\text{mm}$).



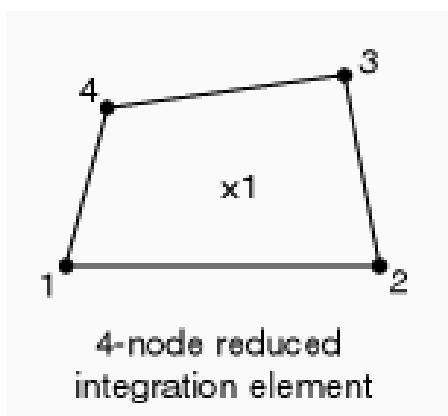
الشكل (1-3): توصيف الإطار المدروس (Anil and Altin,2007)

تمت نمذجة الإطار المبين في الشكل (3-1) باستخدام برنامج ABAQUS 6.12 (FEM) الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة.

٢.٢.٣ العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام ABAQUS 6.12

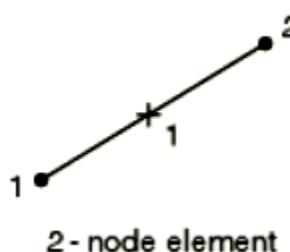
Elements Used by ABAQUS-6.12

تم استخدام العنصر S4R لتمثيل الإطار البيتونى (البيتون والتسلیح الطولی)، و هو عنصر مساحي (Shell Element) لكل عقدة ست درجات حرية (٣ انتقالات و ٣ دورانات) والرمز R للدلالة على تخفيف نodal غاوس (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012).



الشكل (2-3): العنصر المساحي بأربع عقد S4R (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

تم استخدام العنصر T3D2 لنمذجة حديد التسلیح العرضي في عناصر الإطار (الشكل 3-3)، وهو عبارة عن عنصر شبكي فراغي (Truss Element) مكون من عقدتين و لكل عقدة ثلاثة درجات حرية (٣ انتقالات) (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012).



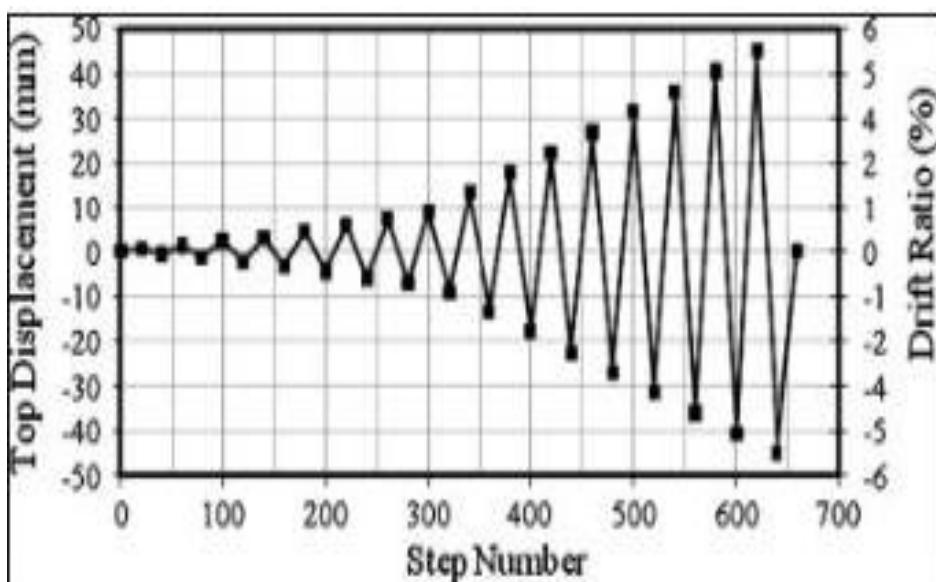
الشكل (3-3): العنصر الشبكي T3D2 (ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)

Model's Boundary Conditions**٣.٢.٣ الشروط المحيطية للنموذج المدروس**

تم نمذجة الجزء العلوي من الإطار فوق الأساس (الشكل 3-1)، وبالتالي تم اعتبار العقد السفلية للنموذج ممنوعة من الانتقالات بالاتجاهات الثلاثة.

٤.٢.٣ الأحمال المطبقة على النموذج المدروس

تم اعتماد نمط الحمولة (Cyclic Load) عن طريق تطبيق انتقال جانبي دوري (Cyclic Displacement) (الشكل 3-4) على الجائز كما هو في التجربة (Anil and Altin, 2007).



الشكل (4-3): منحني (الخطوة – الانتقال) المطبق (Anil and Altin, 2007).

٥.٢.٣ نوع التحليل المستخدم :

تم اعتماد تحليل لآخر يأخذ بعين الاعتبار لآخرية المادة (Materially Non-linear Analysis, MNLA)

٦.٢.٣ توصيف المواد المستخدمة في النمذجة :

Concrete ➤ البeton :

تحوي قاعدة بيانات برنامج ABAQUS 6.12 (ABAQUS 6.12) ثلاثة طرق مختلفة لنمذجة бетона وهي (Johnson,2006)·(Documentation,2012

١. Concrete Smeared Cracking Model

٢. Cracking Model for Concrete (Brittle Cracking Model)

٣. Concrete Damage Plasticity

كل طريقة من هذه الطرق معدة من أجل إمكانية نمذجة бетона (Plain Concrete) و бетون المسلح (Reinforced Concrete)، بالإضافة إلى المواد شبه الهاشة (Quasi-Brittle Materials) مثل مادة блок (Masonry)، وذلك لجميع أنواع العناصر الإنسانية كالإطارات (Frames)، العناصر الشبكية (Truss Elements)، العناصر المساحية المستوية (Shells) و العناصر المستوية الفراغية (Solids).

تستخدم الطريقة الأولى في نمذجة бетона (Concrete Smeared Cracking Model) عندما يسبب تحميل бетона بشكل أساسي حصول تشوهات متزايدة (Monotonic Straining)، لذلك لا يمكن استخدامها إلا عند تطبيق حمولات متزايدة (Pushover Loading)، و لا تصلح عند تطبيق التحميل الدوري (Cyclic Loading)، وتفترض أن حدوث التشقق (crack) هو السلوك الأكثر أهمية في سلوك бетона وهو المسيطر في النمذجة، و انهيار бетона فيها إما أن يكون بسبب التشقق على الشد (Tensile Cracking) أو التحطّم على الضغط (Compressive Crushing).

أما الطريقة الثانية (Brittle Cracking Model) فتستخدم في نمذجة المواد التي يسيطر على سلوكها الانهيار (Brittle behavior) بينما في حالة الضغط فإنها تتمتع بمرنة خطية كافية (Elastic Behavior) وتستخدم في حالات التحليل التي يكون فيها سلوك انهيار бетона على الضغط و الشد غير مهم.

أما الطريقة الثالثة (Concrete Damage Plasticity) تستخدم في حالات التحميل العشوائي (Arbitrary Loading) وحالات التحميل (المترافق - الدوري - الديناميكي)، حيث يأخذ عين الاعتبار تأثير إزالة القوة و التناقض التدرج في الصلابة المرنة (Elastic Stiffness) في حالي الشد و الضغط بسبب التشوّهات اللينة المتبقية، أيضاً يأخذ بالاعتبار آثار استرداد القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness w_c, w_t) تحت تأثير التحميل الدورى عند انعكاس الحمولة.

تستخدم هذه الطريقة كما ذكر سابقاً في نمذجة бетона والمواد شبه الهمزة (Quasi-brittle materials) وكذلك бетона ABAQUS 6.12 (Documentation, 2012).

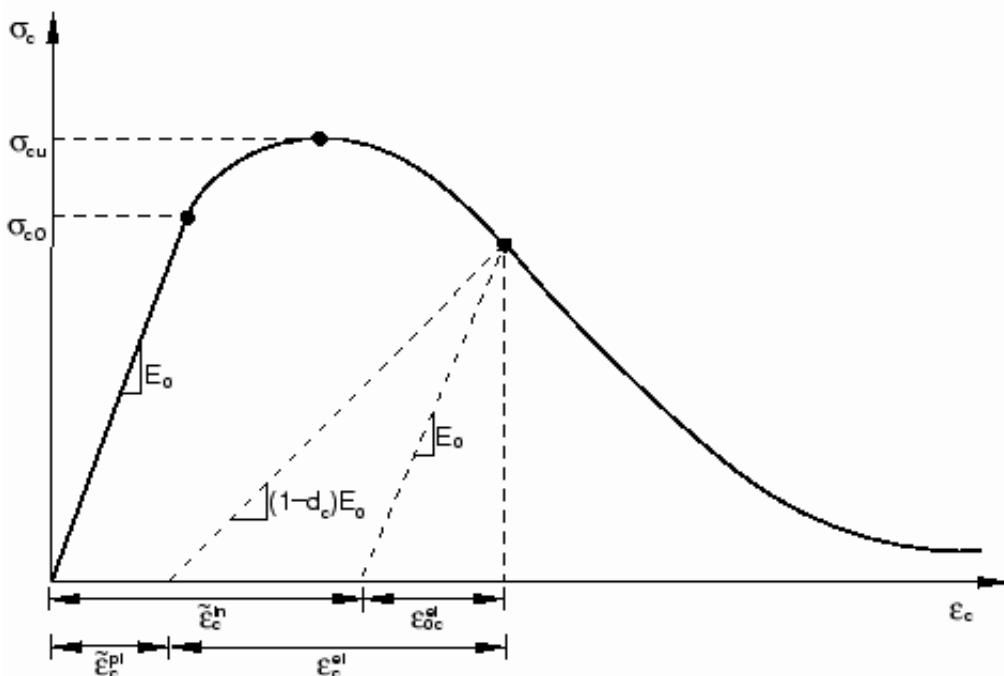
و بالتالي بناءً على ما سبق فإن طريقة Concrete Damage Plasticity في نمذجة бетона هي الطريقة الأفضل، حيث تعبّر عن السلوك غير الخطى للمواد في حالتي الشد والضغط و تقرض آليتين لانهيار бетона: إما بسبب التشقق على الشد (Tensile Cracking) أو التحطّم على الضغط (Compressive Crushing).

لمناقشة كل حالة على حدة، يعبر الشكل (5-3) عن سلوك бетона في حالة الضغط وفق طريقة Concrete Damage Plasticity، حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي للبетون على الضغط ϵ_u ، بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد الضغط في бетون σ_c . نتيجة تأثير حمولة ضغط محورية (uniaxial compression load) يكون سلوك бетون في البداية سلوكاً خطياً حتى الوصول إلى الخضوع الابتدائي (Initial Yield) عند قيمة الإجهاد الابتدائي (σ_{c0})، بينما بعدها السلوك اللاخطي للمادة، حيث توصف المرحلة التالية بمرحلة التقسيمة الاجهادية (Stress Hardening)، حيث تستمر الاجهادات و التشوهات بالإضافة بشكل لاحظي حتى الوصول إلى القيمة الحدية لإجهاد бетون على الضغط (σ_{cu})، بعدها تبدأ الاجهادات بالانخفاض مع استمرار تزايد التشوهات تسمى هذه المرحلة بـ (Strain Softening)، حيث بعد ظهور أول شق تضعف مقاومة المادة بسبب ازدياد التشققات و اتصالها فيما بينها.

عند إزالة الحمولة عند أي نقطة من المرحلة (Strain Softening) من منحني الإجهاد - التشوه على الضغط تتناقص قساوة المادة، حيث يتم التعبير عن انخفاض القساوة بالمعامل d_c الذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable)، حيث يأخذ قيمة ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة غير المتشقة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها، حيث يعبر الخط المنقط ذي الميل $E_0(1-d_c)$ في الشكل (5-3) عن حالة إزالة الحمولة حيث يسلك бетون سلوكاً لدائماً، وبالمقارنة مع الخط المنقط ذي الميل E_0 الذي يعبر عن سلوك المادة المرن عند إزالة الحمولة حيث E_0 (معامل المرونة الابتدائي Initial modulus of elasticity) يمكن ملاحظة انخفاض ميل الخط المنقط الأول إلى $E_0(1-d_c)$ و هذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب

ظهور تشوّهات الضغط اللادنة لمتبقيّة في المادة (ε_c^{pl}) التي تعطى بالعلاقة (1-3) :

$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1 - d_c)} \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (1-3)$$



.الشكل (5-3) : مخطط (الإجهاد – التشوّه النسبي) للبيتون في حالة الضغط (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012).

حيث ε_c^{in} هو التشوّه غير المرن (Inelastic Strain) و يحدّد بالعلاقة (3-2) وهو الفرق بين التشوّه الكلي الحاصل عند نقطة معينة ε_c من منحني الإجهاد - التشوّه على الضغط غير المحوري و التشوّه المرن عند هذه النقطة Elastic) ε_{0c}^{el} الموضح في العلاقة (Strain 3-3).

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{0c}^{el} \quad (2-3)$$

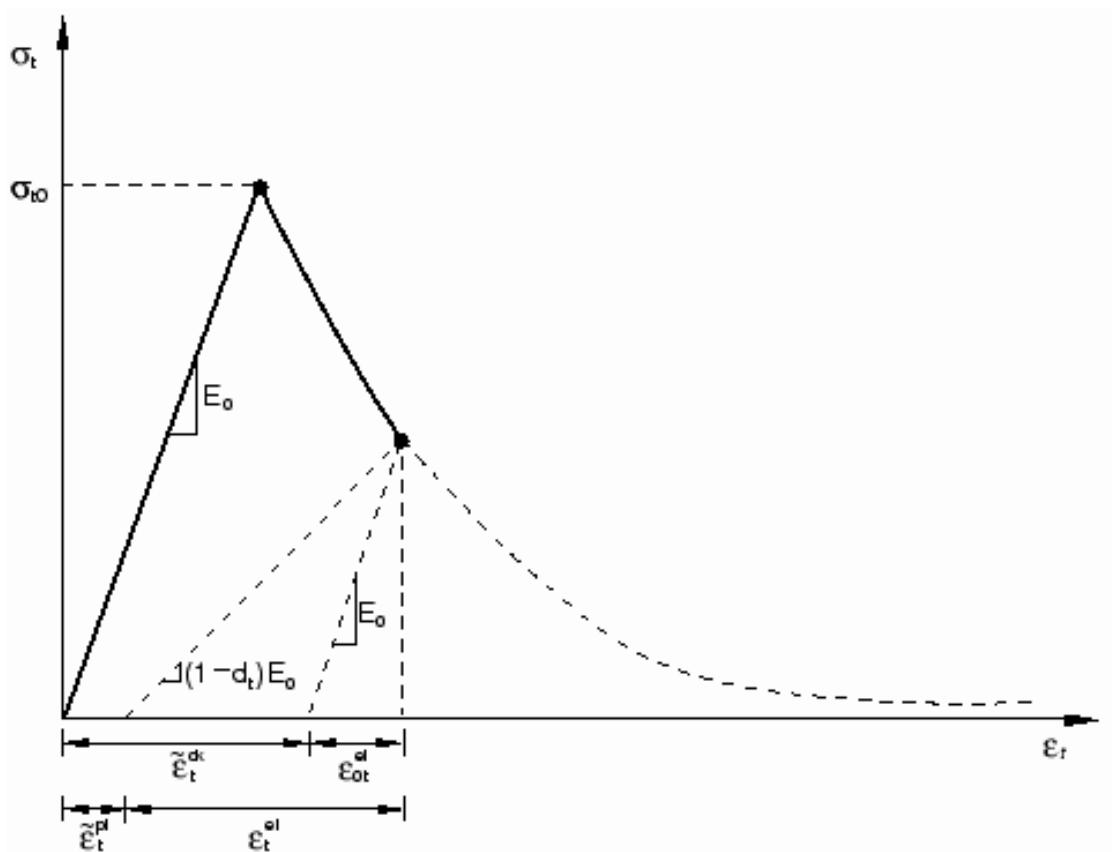
$$\varepsilon_{0c}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (3-3)$$

و d_c هو معامل تحفيض القساوة على الضغط (Uniaxial Compressive Damage Variable)

و يعطى بالعلاقة التالية (Jankowiak and Lodygowski,2005)

$$d_c = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} \quad 0 \leq d_c \leq 1 \quad (4-3)$$

أما سلوك البيتون في حالة الشد، فيوضح الشكل (3-6) منحني (الإجهاد – التشوه النسبي) للبيتون على الشد حيث تكون استجابة المادة خطية مرنة حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد σ_{t0} أو (Failur Stress) إجهاد الانهيار الذي يترافق مع ظهور أول شق ميكروي في مادة البيتون، وبعد الوصول إلى الإجهاد الحدي تسلك المادة سلوكاً لاحظياً حيث تبدأ التشققات بالظهور و يصبح بالإمكان رؤيتها بالعين المجردة و تبدأ الإجهادات في هذه المرحلة بالانخفاض مع استمرار التشوّهات بالتزايد حيث تسمى هذه المرحلة بـ (Strain Softening)، و تصبح المادة ضعيفة بسبب ازدياد السقوق و اتساعها.



الشكل (6-3): مخطط (الإجهاد – التشوه النسبي) للبيتون في حالة الشد (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012).

و كما في حالة الضغط عند إزالة الحمولة عند أي نقطة من المرحلة (Strain Softening) من منحنى الإجهاد – التشوه على الشد تتناقص قساوة المادة حيث يتم التعبير عن انخفاض القساوة بالمعامل d_t الذي يسمى معامل تخفيض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable)، حيث يأخذ قيمة ابتداءً من الصفر للتعبير عن المادة غير المتشقة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها. يعبر الخط المنقط ذو الميل $E_0(1-d_t)$ في الشكل (3-6) عن حالة إزالة الحمولة حيث يسلك البيتون سلوكاً لدنأً، و بالمقارنة مع الخط المنقط ذي الميل E_0 الذي يعبر عن سلوك المادة المرنة عند إزالة الحمولة يمكن ملاحظة انخفاض ميل الخط المنقط إلى $E_0(1-d_t)$ وهذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الشد اللينة المتبقية في المادة ε_t^{pl} (Tensile Equivalent Plastic Strain) التي تعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{ck} - \frac{d_t}{(1 - d_t)} \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (5 - 3)$$

حيث ε_t^{ck} هو تشوه التشقق (Cracking Strain) و يحدد بالعلاقة (3-6)، وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة t من منحنى الإجهاد - التشوه على الشد و التشوه المرنة عند هذه النقطة ε_{0t}^{el} (Elastic Strain) المعطى بالعلاقة (7-3).

$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{0t}^{el} \quad (6 - 3)$$

$$\varepsilon_{0t}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (7 - 3)$$

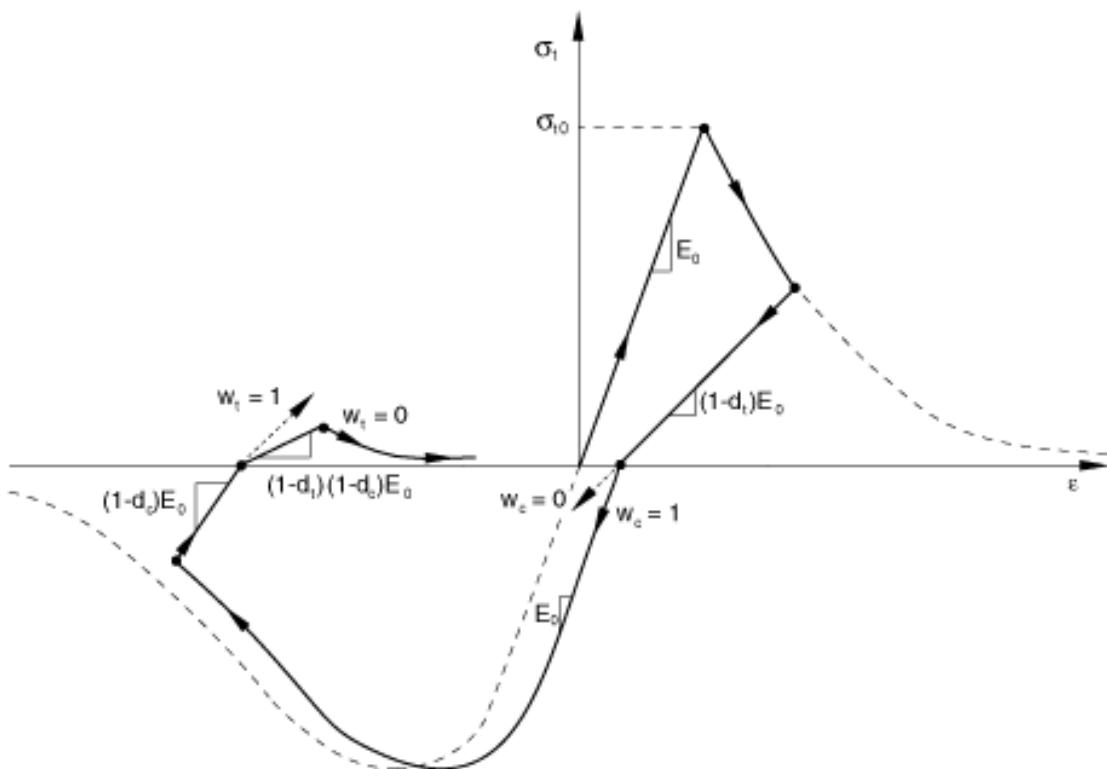
و d_t هو معامل تخفيض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable)

و يعطى بالعلاقة التالية: (Jankowiak and Lodygowski, 2005)

$$d_t = \frac{\sigma_{to} - \sigma_t}{\sigma_{to}} \quad 0 \leq d_t \leq 1 \quad (8 - 3)$$

أما سلوك البيتون تحت تأثير التحميل الدوري (Cyclic Load)، فهو سلوك معقد تظهر فيه آليات تدهور واستعادة صلابة معقدة، إذ يتضمن انفلاق و انفتاح شقوق صغيرة نتيجة انعكاس جهة الحمولة وكذلك اتصال الشقوق وتوسيعها في دورات لاحقة، حيث لوحظ تجريبياً أنه يحصل استرداد لبعض القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness) عند

انعكاس جهة الحمولة أثناء التحميل الدوري من الشد إلى الضغط بسبب انغلاق شقوق الشد التي تؤدي إلى استرداد القساوة على الضغط. يوضح الشكل (7-3) دورة تحميل لاحطي (شد - ضغط - شد) معأخذ القيم الافتراضية لمعاملات استعادة الصلابة أو مايعرف أيضا بـ (unilateral effect) أو (weight factors) حيث تعد هذه المعاملات من خصائص المادة ولها تأثير مهم في تمثيل سلوك الびتوبن نتيجة التحميل الدوري. إن اعتماد $w_c=1$ تعني أن الشقوق تتغلق بشكل تام عند انتقال المادة من حالة الشد إلى حالة الضغط، بينما $w_t=0$ فتعني عدم انغلاق الشقوق عند الانتقال من حالة الضغط للشد.



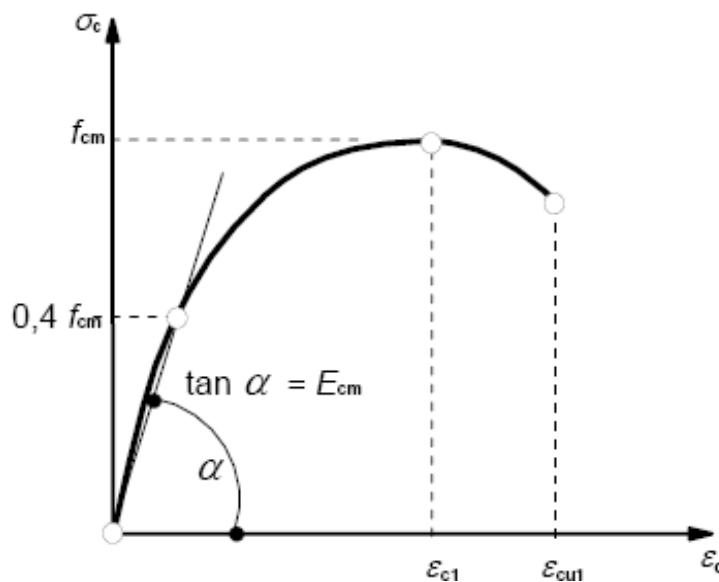
الشكل (7-3): مخطط (الإجهاد - التشوه النسبي) للبيتون في حالتي الضغط والشد (ABAQUS 6.12 Documentation, 2012).

في الدراسة الحالية تم اعتماد منحنيات (الإجهاد - التشوه النسبي) للبيتون في حالتي الضغط والشد حسب الكود الأوروبي في الشكل (3-8) منحي (الإجهاد - التشوه النسبي) للبيتون في **حالة الضغط**. حيث تكون العلاقة خطية حتى وصول قيمة الإجهاد إلى f_{cm} ، حيث f_{cm} هي المقاومة المتوسطة الأسطوانية للبيتون على الضغط (Compressive strength Mean value of concrete cylinder)، و من ثم يتحوال سلوك المادة إلى سلوك لامرن (Inelastic behavior) حتى الوصول إلى المقاومة f_{cm} والتي يقابلها التشوه النسبي (ϵ_{c1})

تنخفض بعدها المقاومة وصولاً إلى الانهيار عند التشوه النسبي الحدي (in the concrete at the peak stress f_{cm}

(Ultimate compressive strain in the concrete) ϵ_{cu1} للبيتون

حيث E_{cm} هو معامل المرنة الأولى للبيتون (Initial modulus of elasticity of concrete)



الشكل (3-8): مخطط (الإجهاد - التشوه النسبي) للبيتون على الضغط (Eurocode2,2004).

تحدد قيمة كل من f_{cm} ، E_{cm} ، ϵ_{c1} ، ϵ_{cu1} من الجدول (1-3) (Eurocode2 , 2004)

بالعودة إلى الجدول (3-1) نجد أن :

المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط : f_{cm} (Anil and Altin,2007) ، 21.8 MPa

معامل المرنة الثاني للبيتون E_{cm} (28000 MPa)

التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد f_{cm} تؤخذ قيمته 0.182%

ϵ_{c1} التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط تعتمد قيمته في النمذجة 0.35%

v_c معامل بواسون للبيتون تم افتراض قيمته 0.2 وفق الكود الأوروبي (Eurocode2 , 2004)

الجدول (3-1): المقاومات و التشوّهات النسبية للبيتون (Eurocode2 , 2004)

Strength classes for concrete											Analytical relation / Explanation			
f_a (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,abe}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{dm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{du,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{du,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
$\varepsilon_{ci} (\%)$	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	see Figure 3.2 $\varepsilon_{ci,0.1} = 0.7 \varepsilon_{ci}$, $\varepsilon_{ci,0.95} \leq 2.8(\%)$
$\varepsilon_{cu1} (\%)$	3,5					3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 $\varepsilon_{cu1,0.1} = 2.8 + 27(\%)$, $\varepsilon_{cu1,0.95} = 0.7 \varepsilon_{cu1}$
$\varepsilon_{cu2} (\%)$	2,0					2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	see Figure 3.3 $\varepsilon_{cu2,0.1} = 2(0.085(f_a - 50)^{0.65})$
ε_{cu2}	3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	see Figure 3.3 $\varepsilon_{cu2,0.1} = 2.6 + 35[(90-f_a)/100]^4$
n	2,0					1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	for $f_a \geq 50$ MPa
$\varepsilon_{du1} (\%)$	1,75					1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	see Figure 3.4 $\varepsilon_{du1,0.1} = 1.75 + 0.58(f_a - 50)^{0.40}$
$\varepsilon_{du3} (\%)$	3,5					3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	see Figure 3.4 $\varepsilon_{du3,0.1} = 2.6 + 35[(90-f_a)/100]^4$

و من أجل تحديد قيم اجهادات الضغط لنقاط منحنى الإجهاد - التشوہ النسبی للبیتون عند قيم متتالية للتشوهات ابتداءً من الصفر وصولاً لقيمة التشوہ الحدی للبیتون_{cu1}، تم استخدام العلاقة التالية التي تربط إجهاد الضغط مع التشوہ النسبی في البیتون وفق الكود الأوروبي (Kmiecik and Kaminski,2011)

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{K\eta - \eta^2}{1 + (K - 2)\eta} \quad (9 - 3)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}} \quad (10 - 3)$$

حيث : ε_c التشوہ النسبی للبیتون على الضغط عند النقطة المدروسة ، K معامل يعطى بالعلاقة (11-3) :

$$K = \frac{1.05 E_{cm} |\varepsilon_{c1}|}{f_{cm}} \quad (11 - 3)$$

حيث: $|\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$

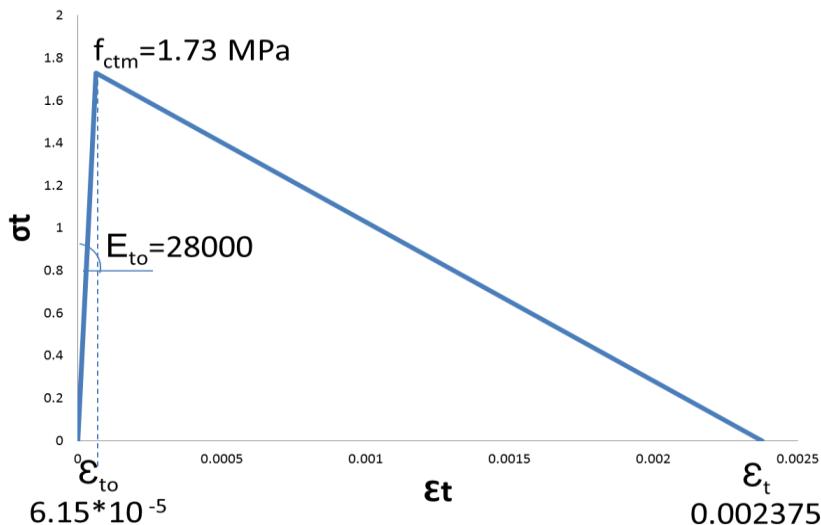
ولمنجه سلوك البیتون في حالة الشد، فقد تم اعتماد مخطط (إجهاد – تشوہ نسبی) مبسط بالاعتماد على (Eurocode2,) كمافي الشكل (9-3)، حيث يصل البیتون لمقاومته العظمى على الشد f_{ctm} Mean value of axial tensile strength of concrete (2004) التي تعطى بالعلاقة (12-3) (Kmiecik& Kaminski,2011) (strength of concrete الابتدائي للبیتون على الشد المرافق لذروة الإجهاد ε_{t0} Initial tensile strain in the concrete) (بالعلاقة (13-3)، ثم تبدأ المقاومة بعدها بالانخفاض بشكل خطى حتى انعدامها عند قيمة التشوہ الحدی للبیتون على الشد ε_{total} (Ultimate tensile strain in the concrete . وذلك عند وصول حديد التسليح للسیلان التي تعطى بالعلاقة (14-3) .

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} \quad (12 - 3)$$

$$\varepsilon_{t0} = \frac{f_{ctm}}{E_0} \quad (13 - 3)$$

$$\varepsilon_{total} = \frac{f_y}{E_s} \quad (14 - 3)$$

تم في هذا البحث اعتبار إجهاد البeton على الشد ($f_{ctm}=1.73 \text{ MPa}$) اعتماداً على العلاقة (12-3).

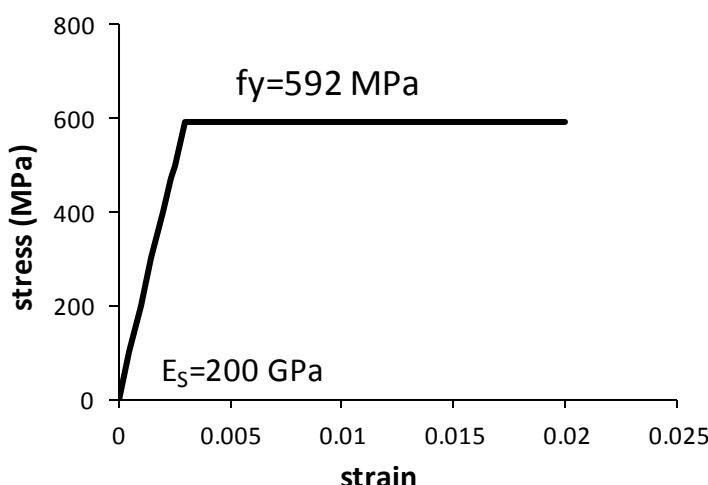


الشكل (3-9): مخطط (الإجهاد-التشوه النسبي) للبيتون على الشد.

Steel Reinforcement

فولاذ التسلیح :

يبين الشكل (3-10) منحني (الإجهاد - التشوه النسبي) للفولاذ في النمذجة، حيث يكون سلوك الحديد خطياً حتى وصوله لإجهاد الخصوع (f_y) الذي يرافقه التشوه النسبي (ϵ_y) و يحسب من العلاقة (3-14) حيث E_s معامل مرنة الحديد، بعدها تم فرض سلوك فولاذ التسلیح لدناً مثالياً أي (Elastic-Perfectly Plastic).



الشكل (3-10): مخطط (الإجهاد-التشوه النسبي) للتسلیح الطولي للعمود.

تم أخذ إجهاد الخصوص للتسليح الطولي ($f_y = 592 \text{ MPa}$) لكل من الجائز والعمود وكذلك ($E_s = 200 \text{ GPa}$) للتسليح العرضي للعمود والجاز على الترتيب وتم اعتماد قيمة معامل مرونة فولاذ التسليح ($E_s = 200 \text{ GPa}$).

٧.٢.٣ التماسك بين البeton و فولاذ التسليح

Bond-Slip Relationship between Concrete and Reinforcement

إن التماسك بين البeton وحديد التسليح يمثل الخاصية التي تؤمن نقل الإجهادات بين فولاذ التسليح وطبقة البeton المحيطة، ويعبر التماسك عن مقاومة البeton لازلاق قضيب التسليح ويعتبر تماسك الحديد مع البeton هو أساس فكرة التصميم الإنثائي للعناصر البetonية المسلحة، و من أهم الظواهر المدروسة في سلوك البeton المسلحة المتشقق.

حيث تنشأ ظاهرة التماسك بسبب عدة عوامل منها :

- الالتصاق الكيميائي (Chemical adhesion).
- قوى الاحتكاك بين الحديد والبیتون (Friction).
- التحميل على النتوءات البارزة في قضبان التسليح (Bearing).

في البeton غير المتشقق، يكون في البداية إجهاد التماسك منخفضاً وكفاءة التماسك تكون بشكل أساسي ناتجة عن الالتصاق الكيميائي، وعند ظهور أول شق (crack) في البeton تنكسر روابط الالتصاق الكيميائية و تتحرر الإجهادات في البeton بقرب الشق الحاصل، ولكن الشد في الحديد يزداد بدرجة كبيرة ينتقل هذا الإجهاد الكبير إلى البeton عبر سطوح تماسك داخلية (Interfacial bond).

ولذلك يعتبر التماسك شرطاً أساسياً لعمل كل من مادتي البeton والحديد معاً كمادة مركبة (Composite Material)، وبدون التماسك فإن قضيب التسليح لن يتمكن من مقاومة أي حمل خارجي، وسيتصرف العنصر البetonاني المسلحة كعنصر بيتوني عادي (Plain Concrete member) وبالتالي سينهار سريعاً تحت تأثير حمولة شد صغيرة.

بناء على ذلك فإن التشوه الوسطي والتشوه الكلي الناتج في قضيب الفولاذ (الموجود ضمن عنصر بيتوني) أصغر من التشوه الناتج في نفس القضيب (إذا كان بدون بيتون) تحت نفس الحمل، لذلك فإن التماسك يقلل من عرض الشقوق ويزيد من صلابة العنصر الإنثائي (Li, 2007).

تعطى علاقة (إجهاد التماسك – الانزلاق) بين البeton والحديد (Bond-Slip Relationship) حسب (CEB-) (Bond-Slip Relationship) بين البeton والحديد (Bond-Slip Relationship) حسب (FIP,2010) بالعلاقة (15-3) من أجل حالة تحمل وحيد الاتجاه في حالتي السحب (Pull Out) أو حالة انهيار ناتج عن تشقق طبقة التغطية (Splitting Failure).

$$\tau = \tau_{max} (S/S_1)^\alpha \quad \text{for } 0 \leq S \leq S_1$$

$$\tau = \tau_{max} \quad \text{for } S_1 \leq S \leq S_2 \quad (15 - 3)$$

$$\tau = \frac{\tau_{max} (\tau_{max} - \tau_f)(S - S_2)}{S_3 - S_2} \quad \text{for } 0 < S < S_1$$

$$\tau = \tau_f \quad \text{for } S_3 < S$$

حيث : τ قيمة إجهاد التماسك عند النقطة المدروسة

τ_{max} قيمة إجهاد التماسك الأعظمي

S قيمة انزلاق قضبان التسلیح عند النقطة المدروسة

S_1 قيمة الانزلاق عند وصول الإجهاد إلى القيمة الأعظمية و تعطى من الجدول (2-3)

α تعطى قيمتها في الجدول (2-3)

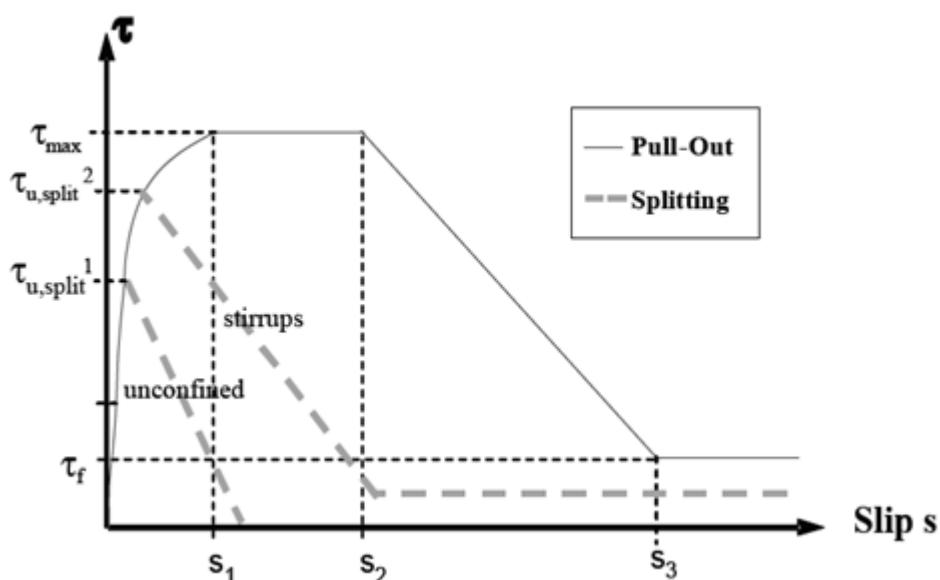
يعطي الجدول (2-3) قيم الانزلقات S_1 ، S_2 ، S_3 وقيم إجهاد التماسك الأعظمي τ_{max} باستخدام f_{ck} المقاومة المميزة للبيتون على الضغط، قيم إجهاد التماسك الأصغر τ_f ، قيم معامل التخفيض α لحالتي الانهيار بالسحب (Pull Out) أو انهيار طبقة التغطية (Splitting Failure).

يوضح الشكل (11-3) علاقة (إجهاد التماسك – الانزلاق) بين البeton والحديد (Bond-Slip Relationship) حسب (CEB-FIP,2010)، حيث يمثل المحور الأفقي الانزلاق (Slip) في قضبان فولاذ التسلیح، بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد التماسك (Bond Stress) بين البeton و الفولاذ.

الجدول (3-2): قيم بارامترات منحني علاقه الانزلاق - إجهاد التماسك بين البيرتون و فولاذ التسلیح (CEB-FIP,2010)

	1	2	3	4	5	6
Pull-Out (PO)		Splitting (SP)				
$\varepsilon_s < \varepsilon_{s,y}$		$\varepsilon_s < \varepsilon_{s,y}$				
Good bond cond.	All other bond cond.	Good bond cond.		All other bond cond.		
		unconfined	stirrups	unconfined	stirrups	
τ_{max}	$2.5\sqrt{f_{ck}}$	$1.25\sqrt{f_{ck}}$	$7.0 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$	$8.0 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$	$5.0 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$	$5.5 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{20}\right)^{0.25}$
s_1	1.0mm	1.8mm	$s(\tau_{max})$	$s(\tau_{max})$	$s(\tau_{max})$	$s(\tau_{max})$
s_2	2.0mm	3.6mm	s_1	s_1	s_1	s_1
s_3	$c_{clear}^{1)}$	$c_{clear}^{1)}$	$1.2s_1$	$0.5c_{clear}^{1)}$	$1.2s_1$	$0.5c_{clear}^{1)}$
α	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
τ_f	$0.40\tau_{max}$	$0.40\tau_{max}$	0	$0.4\tau_{max}$	0	$0.4\tau_{max}$

¹⁾ c_{clear} is the clear distance between ribs

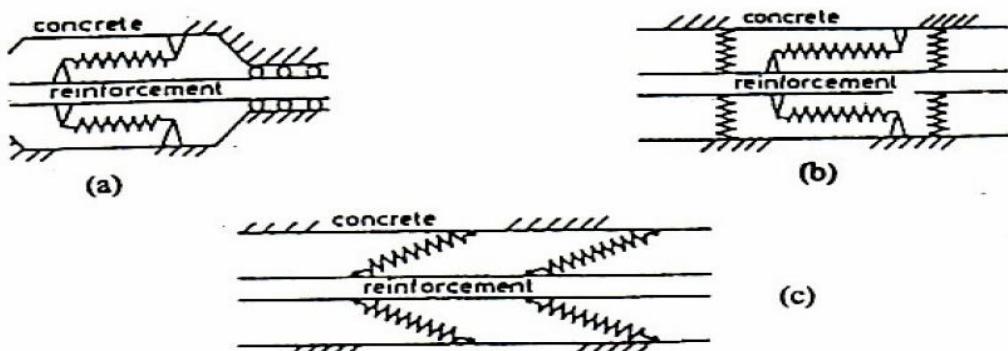


الشكل (3-11): منحني علاقه الانزلاق - إجهاد التماسك بين البيرتون و فولاذ التسلیح (CEB-FIP,2010)

يمثل المنحني بالخط المستمر حالة تحمل وحيد الاتجاه من أجل انهيار تحت تأثير السحب (Pull Out) في حالة تطبيق جيد للبيتون، حيث تبدأ إجهادات التماسك وانزلاق قسبان التسلیح بالتزاید بشكل لاحظي حتى الوصول إلى قيمة إجهاد التماسك الأعظمي τ_{max} ، وتكون قيمة الانزلاق عنده مساوية لـ S_1 وعند تشكّل أول شق تبدأ مرحلة ثبت فيها قيمة إجهاد التماسك الأعظمي مع استمرار تزايد قيمة الانزلاق حتى الوصول إلى قيمة انزلاق مساوية لـ S_2 . إن هذه المرحلة تمثل القدرة المتبقية للتماسك بين البيرتون والهديد ويتطور خلالها الانهيار والتحطم في البيرتون بين القسبان. تحدث هذه المرحلة (المرحلة الأفقية) بين S_1 و S_2 فقط في البيرتون المطوق ويمكن زيادة طولها بواسطة طبقة تغطية كبيرة أو بوضع الحد الأدنى من التسلیح العرضي، بعدها تبدأ إجهادات التماسك بالانخفاض عن القيمة الأعظمية مع ازدياد الانزلاق حتى وصوله إلى قيمة S_3 عند قيمة إجهاد تماسك أصغر τ_f ، أما في حالة بيرتون غير مطوق أو غير محصور (unconfined) يحصل الانهيار فجأة قبل دخول المرحلة الأفقية عند إجهاد $\tau_{u,split}^1$ نتیجة تشقق الطبقة المحيطية بسبب إجهاد الشد المحيطي في البيرتون حول القسبي CEB - $(S_1,split)^2$ (Splitting Failure) وفي حال تطبيق البيرتون (Stirrups) ترتفع المقاومة التشقق بشكل طفيف إلى $\tau_{u,split}^2$ (FIP,2010).

إن علاقة (إجهاد التماسك – الانزلاق) تتأثر بعدة عوامل أهمها: أبعاد القسبي، مقاومة البيرتون، موقع القسبي، وسمك طبقة التغطية، حالة الإجهاد المطبق، والشروط المحيطية.

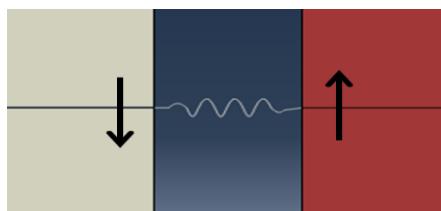
▶ للتعبير عن ظاهرة التماسك باستخدام برنامج ABAQUS 6.12 يمكن تعريف عدة أنواع من القيود والوصلات بين جزئين كالنابض (spring) مثلاً، وبين الشكل (12-3) أشكال متعددة للنوابض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك.



الشكل (12-3): أشكال مختلفة من النوابض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك (CEB-FIP,2000).

تم نمذجة علاقة التماسك بين бетоном والصلب بإدخال تأثير صلابة الشد (Tension Stiffening) على الـбетон لتعبر عن نقل الحمولة عبر الشقوق بواسطة قضبان التسلیح باستخدام عناصر اتصال بين الصلب والـбетون.

تم استخدام عناصر اتصال عبارة عن نوابض من نوع (Spring 2) وهو نابض يصل بين عقدتين صلابته غير خطية النابض موضح بالشكل (13-3-a)، كما يوضح الشكل (13-3-b) توضع النابض المستخدمة في النمذجة بشكل عمودي على حركة تلك النابض لتمثل ظاهرة الانزلاق شاقولياً على سطح التماس.



b. توضع النابض في نمذجة ظاهرة التماسك بين الـбетون والصلب
باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).

a. شكل النابض المستخدم (Spring2)

(ABAQUS Ver6.12 Documentation, 2012)

الشكل (3-13): شكل النابض المستخدم (Spring2)

حيث يتطلب ذلك إدخال علاقة (قوة - انتقال) للتعبير عن صلابة النابض في برنامج (ABAQUS 6.12) (ABAQUS) بالاعتماد على العلاقة (3-15)(CEB-FIP, 2010) والجدول (3-2) ورسم علاقة (إجهاد التماسك - الانزلاق)(الشكل 3-14)، ثم يتم استخدام العلاقتين (3-16) و(3-17) في تعريف أزواج (قوة - انتقال) للنابض.

$$F = \tau * A_{contact} \quad (16-3)$$

$$A_{contact} = \pi d L / n \quad (17-3)$$

حيث : F : القوة في كل نابض.

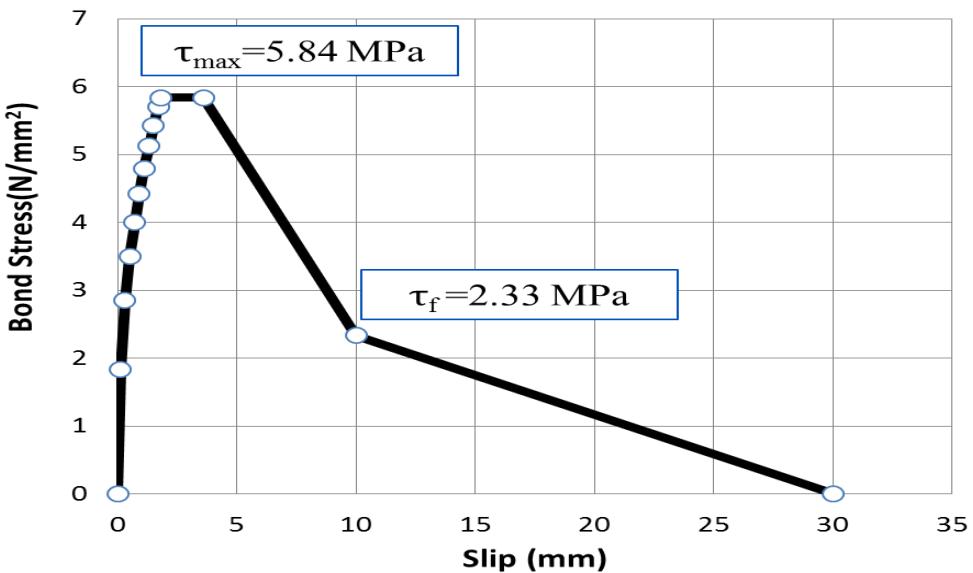
$A_{contact}$: سطح الاتصال بين الـбетون والصلب.

d : قطر القضيب

L : طول العنصر

n : عدد النابض حول محيط القضيب لكل عنصر.

وبتطبيق العلاقة (3-15) واستخدام الجدول (2-3) ينتج مخطط الانزلاق-إجهاد التماسك المستخدم في النمذجة (الشكل 3-14).



الشكل (3-14): منحني علاقة (الانزلاق-إجهاد التماسك) بين البeton وفولاذ التسلیح المستخدم في النمذجة.

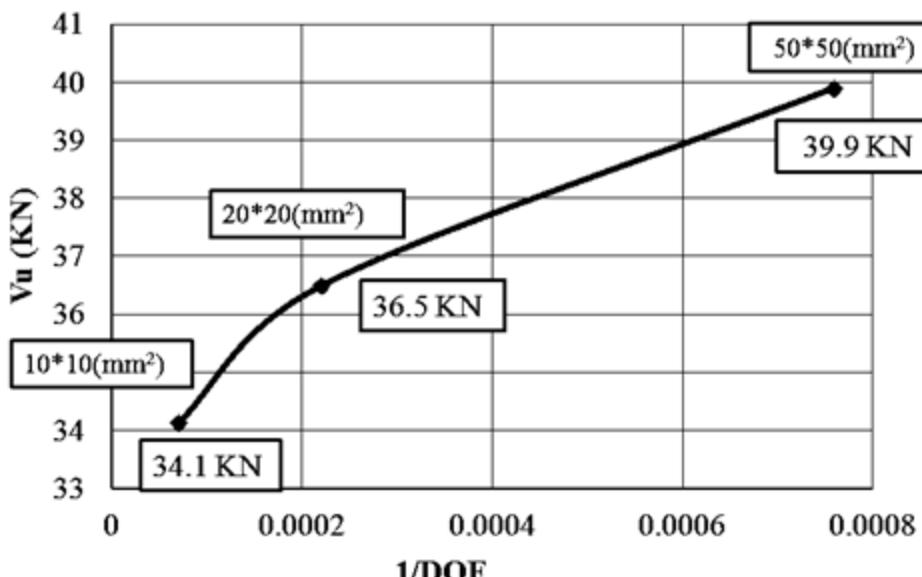
٨.٢.٣ دراسة أثر تقارب الشبكة Mesh Convergence

لدراسة أي عنصر إنشائي في برنامج (ABAQUS 6.12) الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة (Finite Element) في التحليل لابد من تقسيم العنصر إلى تقسيمات صغيرة ولتحديد الأبعاد المناسبة للتقسيمات من أجل الوصول إلى تقسيم مثالي للشبكة يحقق الاقتضائية في زمن الحل، وبنفس الوقت الدقة في النتائج تمت دراسة أثر تقارب الشبكة (Mesh Convergence) لنموذج الإطار المدروس .

حيث تمت دراسة ثلاثة نماذج للإطار البetonي المدروس بأبعاد مختلفة للشبكة ($5 \times 5 \text{ cm}^2$ ، $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ، $1 \times 1 \text{ cm}^2$)

الشكل (14-3) يوضح أثر تقارب الشبكة للإطار المدروس، حيث يمثل المحور الأفقي مقلوب عدد درجات الحرية (Degree of Freedom , DOF) في النموذج، بينما يمثل المحور الشاقولي تغير قيمة قوة الانهيار V_u للإطار تحت تأثير حمل جانبي (cyclic load) في مستوى الإطار الموضح بالشكل (1-3)، وذلك من أجل تقسيمات الشبكة المذكورة سابقاً. يبين الشكل(15-3) أن استخدام العنصر الماسي S4R بأبعاد (10x10 mm) أعطى نتائج متقاربة بنسبة (6%) بالمقارنة مع استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (20x20 mm)، و بالتالي اعتماد العنصر الماسي بأبعاد (20x20 mm) كافٍ للحصول على حل دقيق، فاعتماد أبعاد أكبر للعنصر الماسي S4R عند النمذجة (50x50 mm) أعطى حلًا غير دقيق

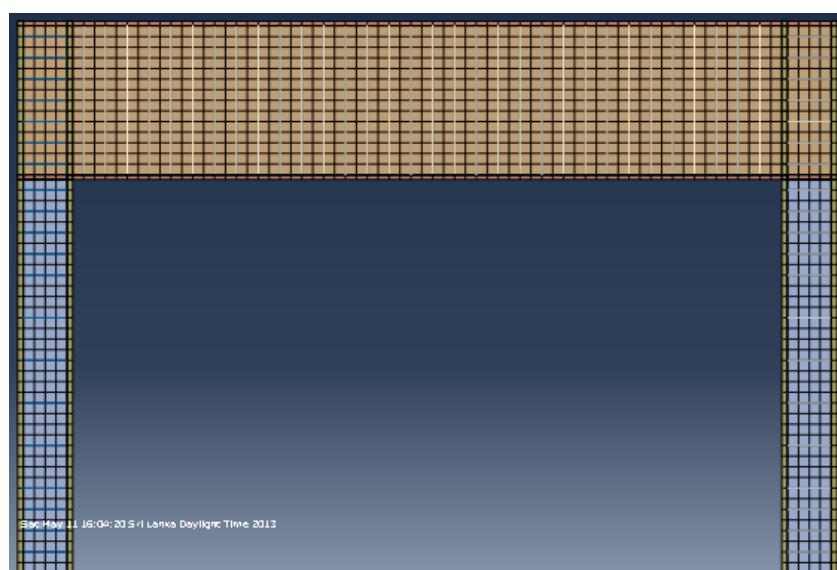
بنسبة (10%)، في حين يؤدي استخدام العنصر الماسي ذو الأبعاد الأصغر ($10 \times 10 \text{ mm}$) إلى عدم اقتصادية في زمن الحل.



الشكل (3-15): دراسة أثر تقارب الشبكة للإطار المدروس

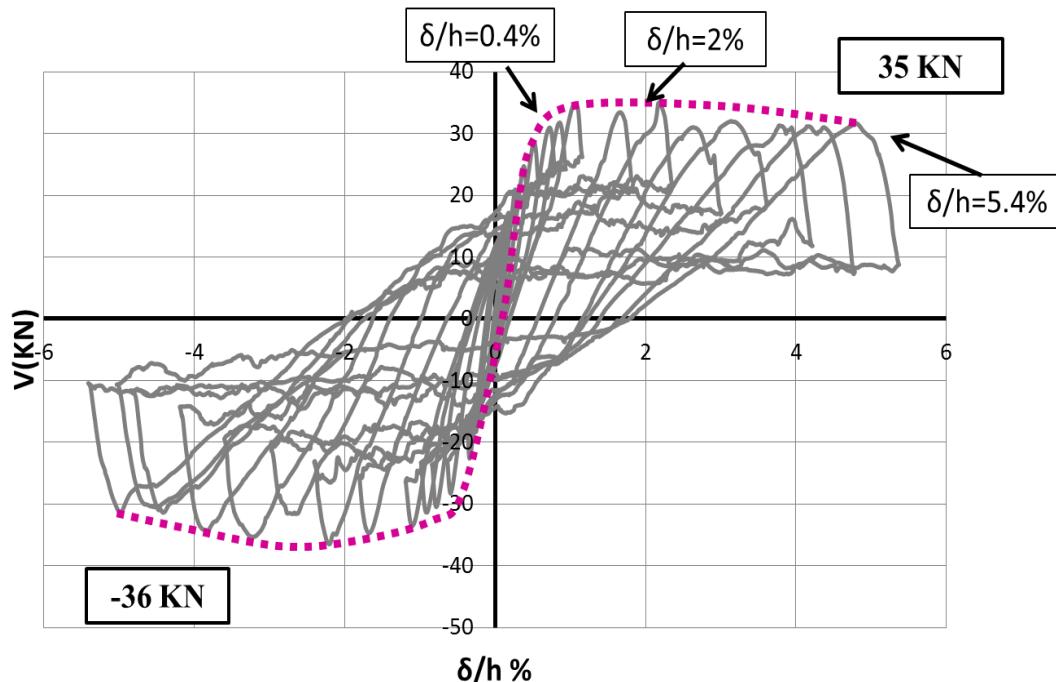
٩.٢.٣ مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري (Cyclic Loading):

يبين الشكل (3-16) النموذج النهائي المدروس وفق برنامج ABAQUS (Ver 6.12)، حيث يظهر في الشكل الإطار البيtonي والتسلighin الطولي والعرضي.

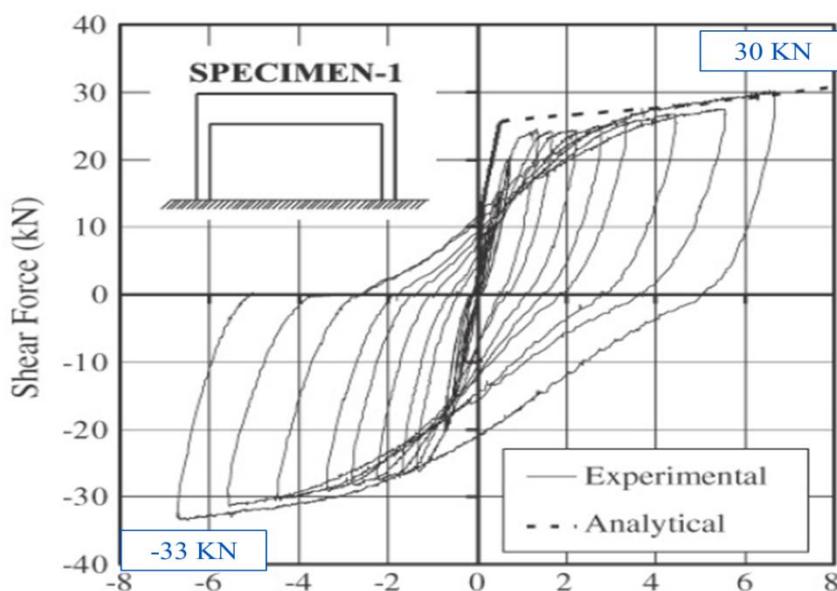


الشكل (3-16): شكل نموذج الإطار المدروس باستخدام برنامج ABAQUS Ver6.12.

يوضح الشكل(3-17) منحنيات (قوة القص-الانتقال النسبي) للإطار البيتونى المدروس نتيجة تحميله بحمولة دروية (Cyclic) مع مغلف الحلقات الهستيرية حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (35 kN) وعند عكس جهة الحمولة بلغت القوة العظمى(-36 kN)، يمكن الملاحظة من المغلف تغير قساوة الإطار عند انتقال نسبي (Drift Ratio) ($\delta/h=0.4\%$).

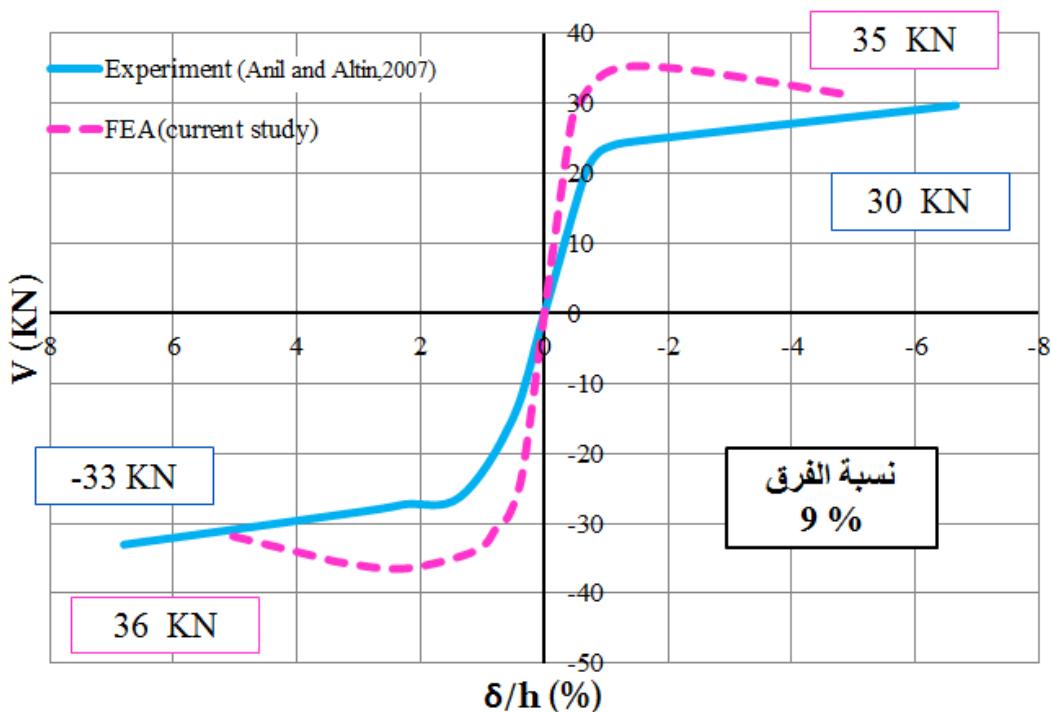


الشكل (3-17): مغلف منحنيات (قوة القص- الانتقال النسبي) للإطار المدروس باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).



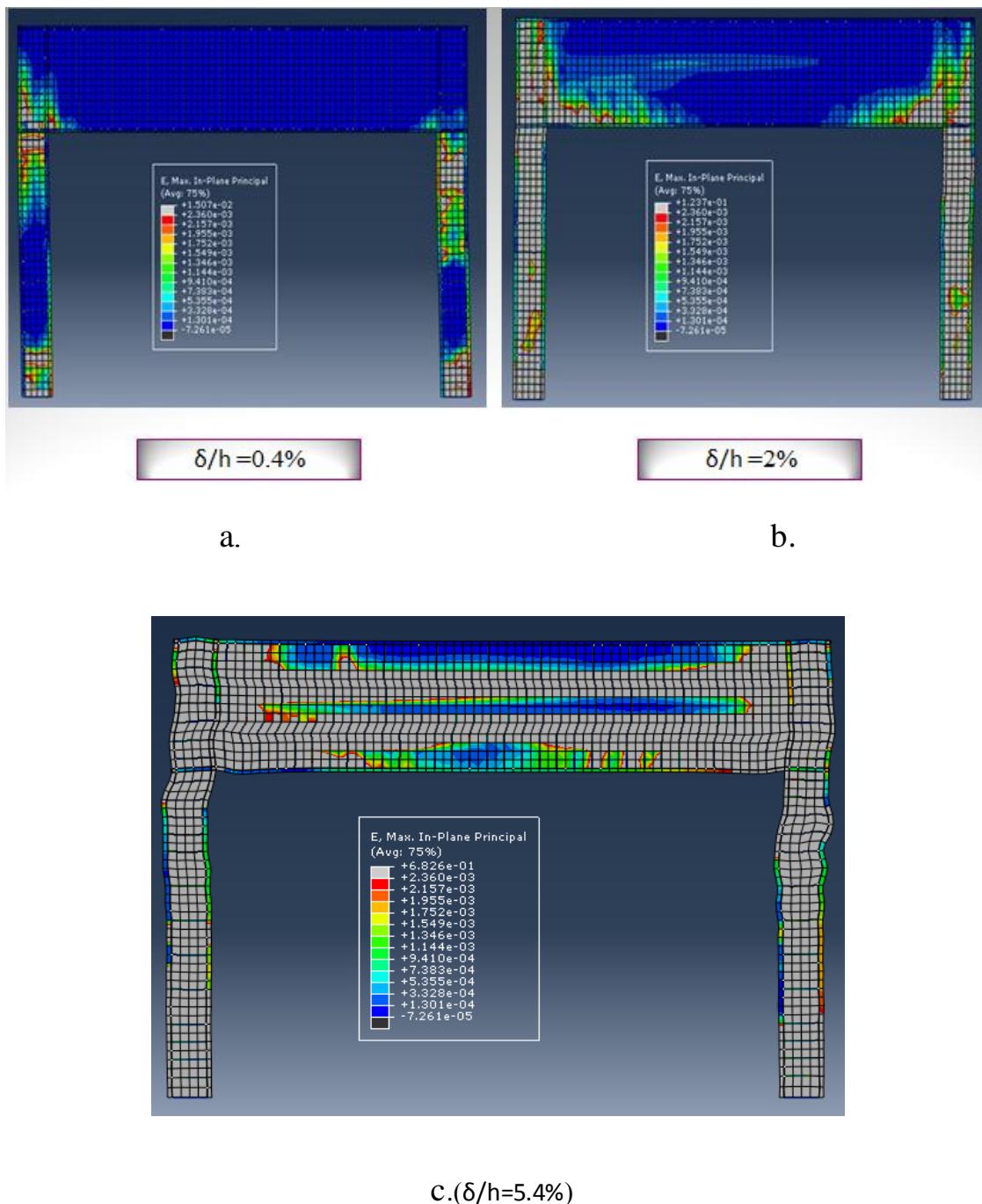
الشكل (3-18): منحنيات (قوة القص- الانتقال النسبي) للإطار المدروس (Anil and Altin,2007).

بينما يوضح الشكل (3-18) الحلقات الهمستيرية للإطار تجريبياً (Anil and Altin,2007) حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (30 kN) بالاتجاه الموجب و (-33 kN) بالاتجاه السالب، وبمقارنة الحلقات الهمستيرية بين النموذج التجربى (Anil and Altin,2007) (القوة العظمى 36 kN)، والنموذج التحليلي (القوة العظمى 33 kN) (الشكل 3-19)، كانت نسبة الفرق بين القوى الاعظمية (9%)، وقد أعطى النموذج التجربى حلقات هستيرية أوسع، ويعود ذلك إلى استخدام منحنيات تصرف مادة نموذجية (Typical) في النموذج التحليلي، إضافة إلى فرض قيم اعتبارية لظاهرة توسيع وانغلاق الشقوق والتي يعطيها برنامج ABAQUS (Ver 6.12).



الشكل (3-19): مقارنة ملغي الحلقات الهمستيرية للإطار المدروس بين الدراسة الحالية ودراسة (Anil and Altin,2007).

يوضح الشكل (3-20) التشوہات النسبیة الرئیسیة للإطار (principal Strain) وأشكال تشوہه عند انتقالات نسبیة مختلفه، حيث يبین أنه عند انتقال نسبی ($\delta/h = 0.4\%$) (الشكل 3-20-a) فإن الانهیارات تظهر في أعلى وأسفل العمود، ذلك لأن الإطار يمثل جملة عمود ضعیف وجائز قوی، بينما يمكن ملاحظة نشقق كامل منطقة العمود عند انتقال نسبی ($\delta/h = 2\%$) (الشكل 3-20-b). ويمثل الشكل (3-20-c) التشوہات النسبیة عند انتقال نسبی ($\delta/h = 5.4\%$) حيث يظهر تغلغل التشققات وانتشارها في الجائز.



الشكل (3-20): التشوّهات النسبية الرئيسية للإطارات البيتونية عند انتقالات نسبية مختلفة باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12).

٣.٣ التحليل الإنشائي للصفيحة المعدنية باستخدام طريقة العناصر المحدودة:

Structural Analysis for Steel Plate Using Finite Element Method

١.٣.٣ توصيف النموذج المدروس والشروط المحيطة :

Model Description and Boundary Conditions

تم تحليل نموذج الصفيحة المعدنية المدروسة تحليلياً في مقالة (Alinia and Dastfan,2007) الموضح في الشكل (13-2) حيث يبين الشكل صفيحة معدنية أبعادها ($300 \times 300 \times 1 \text{ mm}^3$)، ويبين الجدول (1-2) شروط استنادها الطرفية.

٢.٣.٣ العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)

Elements Used by ABAQUS (6.12)

تم استخدام العنصر S4R لتمثيل عناصر الصفيحة والمعرف في البند (٢.٢.٣).

٣.٣.٣ الأحمال المطبقة على النموذج: Applied Loads to The Model

تم اعتماد نمط الحمولة (Cyclic Displacement) عن طريق تطبيق انتقال جانبي دوري (Cyclic Load) على النقاط العلوية للصفيحة كما هو في الدراسة التحليلية (Alinia and Dastfan,2007) (الشكل 17-2).

٤.٣.٣ نوع التحليل المستخدم في النموذج: Type of Used Analysis

تم اعتماد تحليل لاحطي يأخذ بعين الاعتبار لاحظية المادة والانتقالات الكبيرة (Geometrically and Materially) وذلك لإدخال أثر التهنيب خارج مستوى الصفيحة والقوى الإضافية الناجمة عنه (Non-linear Analysis GMNLA).

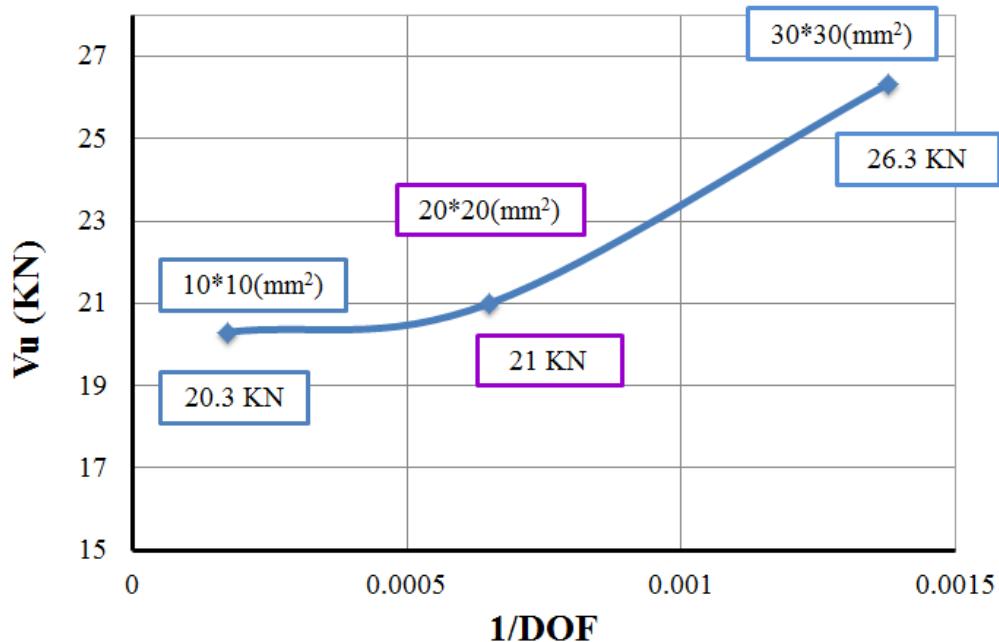
٥.٣.٣ توصيف المواد المستخدمة في النماذج: Materials Used in Modeling

تم اعتماد منحني المادة المبين في الشكل (14-2).

٦.٣.٣ دراسة أثر تقارب الشبكة : Mesh Convergence

تمت دراسة ثلاثة نماذج لنقسيم الصفيحة المدروسة حيث كانت أبعاد العناصر S4R كالتالي ($10 \times 10 \text{ mm}^2$),($20 \times 20 \text{ mm}^2$),($30 \times 30 \text{ mm}^2$).

والشكل (21-3) يوضح أثر تقارب الشبكة للصفيحة المدروسة حيث يمثل المحور الأفقي مقلوب عدد درجات الحرية في النموذج بينما يمثل المحور الشاقولي تغير قيمة قوة الانهيار Vu للصفيحة تحت تأثير حمل جانبي(cyclic load) (الشكل 17-2)، وذلك من أجل تقسيمات الشبكة المذكورة سابقاً.



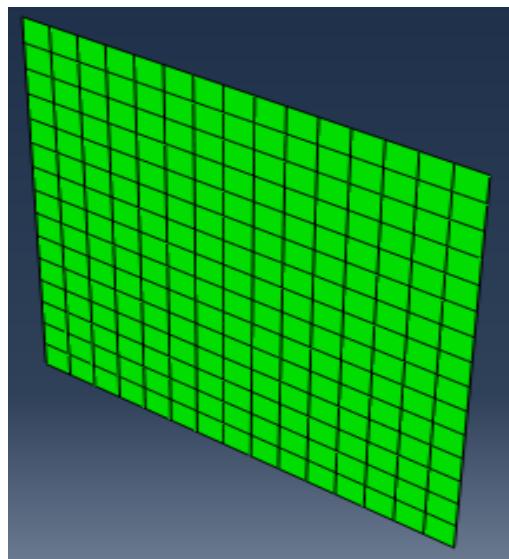
الشكل (3-21): دراسة أثر تقارب الشبكة للفحص المدروسة.

نلاحظ من الشكل(3-21) أن استخدام العنصر الماسي S4R بأبعاد (10x10 mm) أعطى نتائج متقاربة بنسبة (3%) بالمقارنة مع استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (20x20 mm)، وبالتالي اعتماد العنصر الماسي بأبعاد (20x20 mm) كافٍ للحصول على حل دقيق، فاعتماد أبعاد أكبر للعنصر الماسي S4R عند النسبة (30x30 mm) أعطى حلًا غير دقيق بنسبة (25%)، في حين يؤدي استخدام العنصر الماسي ذي الأبعاد الأصغر (10x10 mm) إلى عدم اقتصادية في زمن الحل.

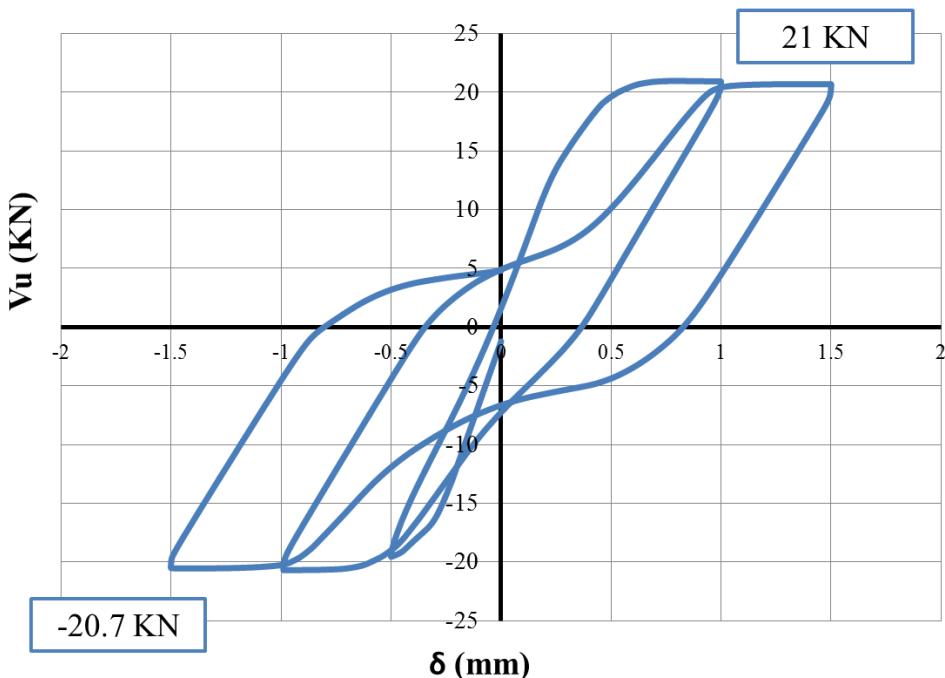
٧.٣.٣ مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري : (Cyclic Loading)

يبين الشكل (3-22) النموذج النهائي المدروso وفق برنامج ABAQUS (Ver 6.12)، حيث يظهر في الشكل الفحص المعدنية المدروسة.

يوضح الشكل(3-23) منحنيات (قوة القص-الانتقال) للفحص المدروسة نتيجة تحملها بحمولة دورية (Cyclic Load)، حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (21 kN)، ويمكن ملاحظة تضيق الحلقات (Pinching) بسبب التحنّك المرن مما يقلل من كمية الطاقة المبددة .



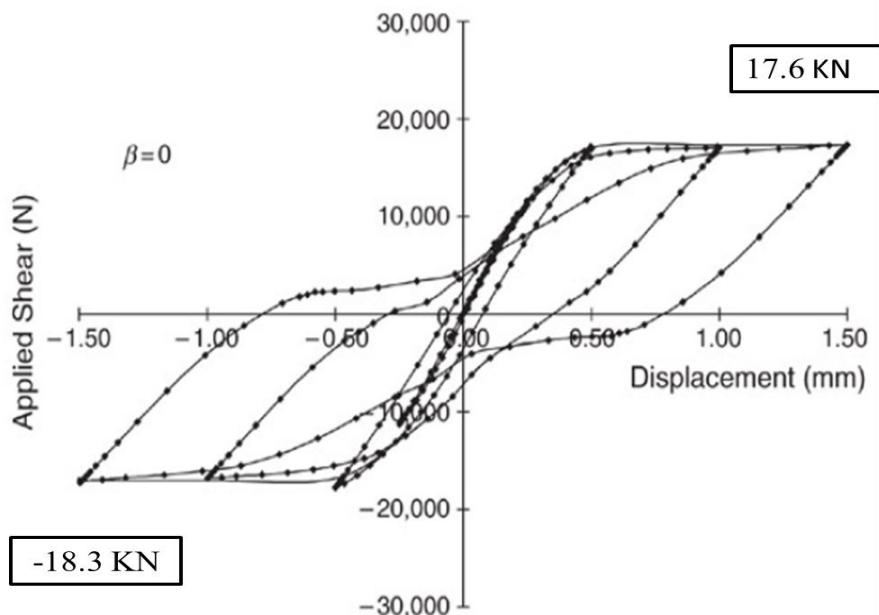
الشكل (3-22): شكل نموذج الصفيحة المعدنية باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).



الشكل (3-23): منحنيات (قوة القص - الانقلال) للصفيحة المدروسة باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).

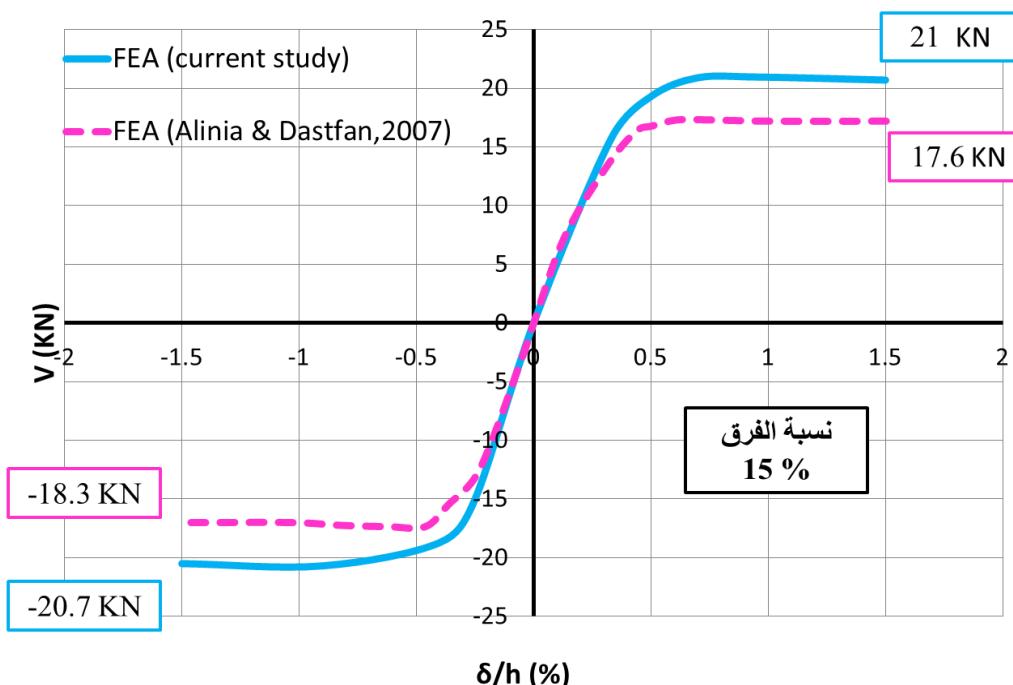
يوضح الشكل (3-24) الحلقات الهمستيرية للصفيحة تحليلياً من دراسة (Alinia and Dastfan, 2007) حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (18.3 kN).

ولمقارنة النتائج التحليلية من (Alinia and Dastfan, 2007) مع النتائج التحليلية من دراسة (ABAQUS Ver 6.12) يبين الشكل (3-25) مغلفات الحلقات في الدراسة الحالية والمرجعية، حيث كانت نسبة الفرق (15%).

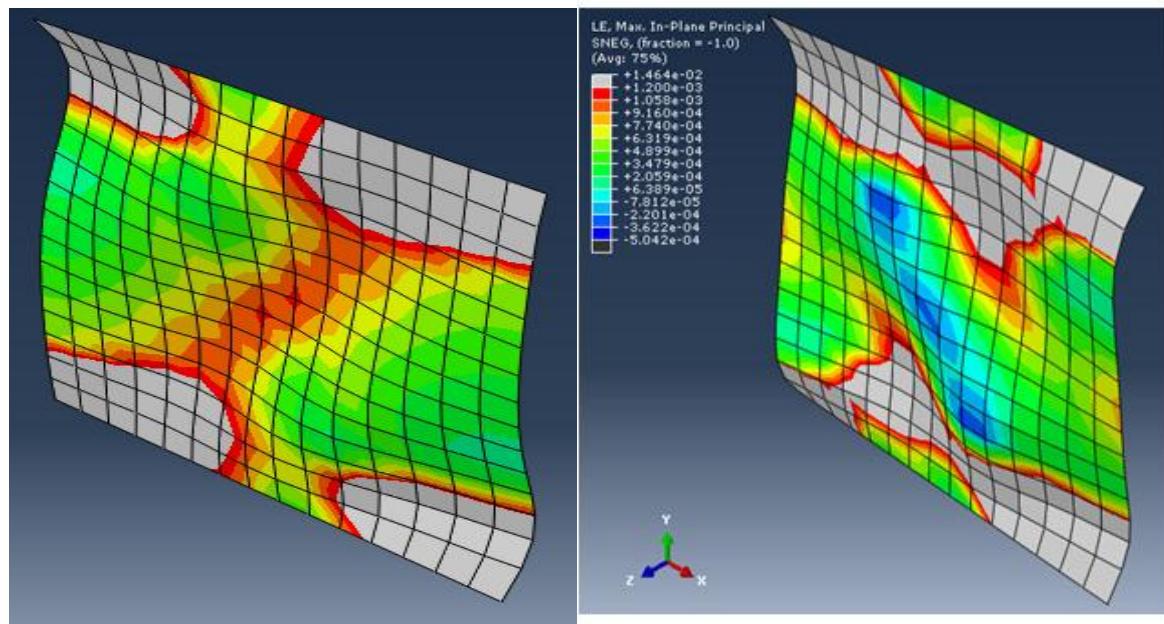


الشكل (24-3): منحنيات (قوة القص- الانقال) للكبحة (Alinia and Dastfan,2007).

يبين الشكل (3-a) التشوّهات النسبية الرئيسية عند انقال ($\delta = 0.79 \text{ mm}$) حيث يظهر شكل التحنّب و حقل الشد المتشكّل وتلدن أجزاء منه حيث تظهر باللون الرمادي، بينما يوضح الشكل(3-b) التشوّهات النسبية الرئيسية للكبحة في نهاية الهرة المطبقة عند انقال ($\delta = 1.5 \text{ mm}$).



الشكل (3-3): مقارنة مخلفي الحلقات الهستيريك للكبحة بين الدراسة الحالية ودراسة (Alinia and Dastfan,2007).



(δ = 0.79 mm). a

(δ = 1.5 mm). b

.(ABAQUS,Ver 6.12) : التشوّهات النسبية الرئيسيّة لـلصفيحة المعدنيّة باستخدـام (ABAQUS,Ver 6.12).

٤.٣ التحليل الإنشائي لـلصفيحة المعدنيّة المدعـمة باستخدـام طريقة العناصر المحدودـة:

Structural Analysis for Stiffened Steel Plate Using Finite Elements Method

٤.٣ توصيف النموذج المدروس: Model Description

تمت إضافة ثلاثة دعـامـات أفقـية وثلاث شـاقـولـية لـلصـفـيـحة السـابـقـة (300x300x1 mm³) كما في الشـكـل (18-2) .

.(5)

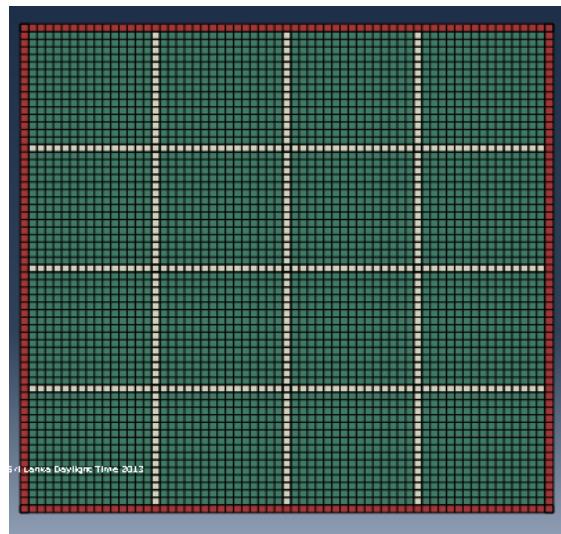
العنـاصـر المستـخدمـة في النـمـذـجـة باـسـتـخدـام (ABAQUS) (2-3) هي S4R المـوضـحـ فيـ الشـكـل (2-3) . تم استخدامـه لـعـنـاصـر الصـفـيـحة والـدعـامـاتـ، وـ تمـ اـخـتـيـارـ الدـعـامـاتـ بـحيـثـ كانـتـ $\beta=40$ ،

حيـثـ β تعـطـىـ بـالـعـلـاقـةـ (1-2) .

تم تـطـبـيقـ حـمـوـلةـ جـانـبـيـةـ دـورـيـةـ (Cyclic Load) في مـسـطـوـيـ الصـفـيـحةـ مـوضـحـةـ بـالـشـكـلـ (17-2) . وـ تمـ أـيـضـاـ تـحلـيلـ النـمـوذـجـ

تحـليـلاـ لـأـخـطـيـاـ يـأخذـ بـعـينـ الـاعتـبارـ لـأـخـطـيـةـ المـادـةـ وـ لـأـخـطـيـةـ التـشوـهـاتـ الكـبـيرـةـ (Geometrically and Materially) (non-linear analysis GMNLA)، وـ تمـ منـعـ العـقـدـ السـفـلـيـةـ لـلـنـمـوذـجـ منـ الحـرـكةـ بـالـاتـجـاهـاتـ الـثـلـاثـ.

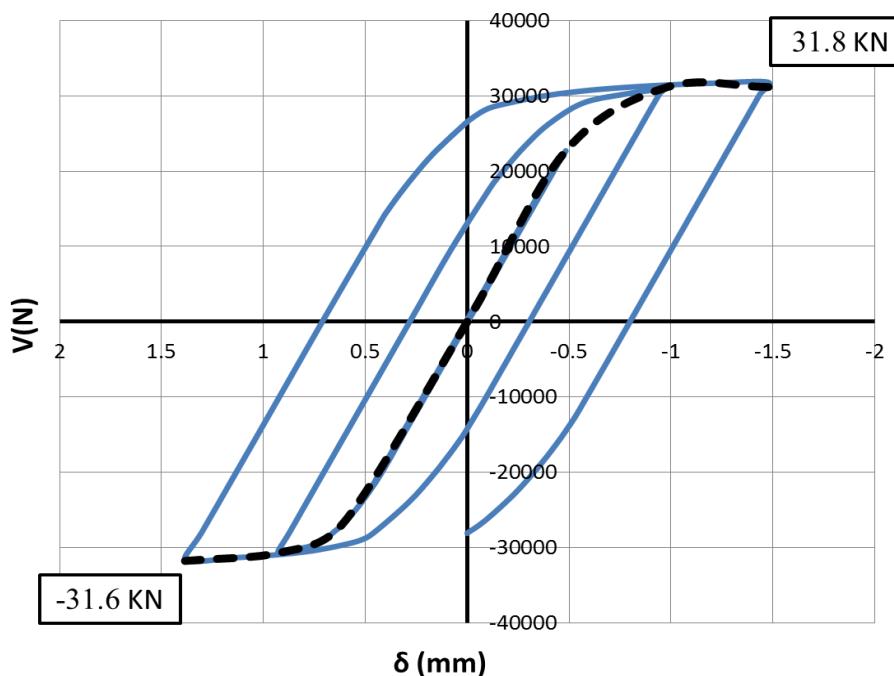
.ABAQUS (Ver 6.12) شكل نموذج الصفيحة المدعمة (Stiffened Steel Plate) باستخدام



الشكل (3-27): الصفيحة المعدنية المدعمة باستخدام برنامج ABAQUS Ver6.12.

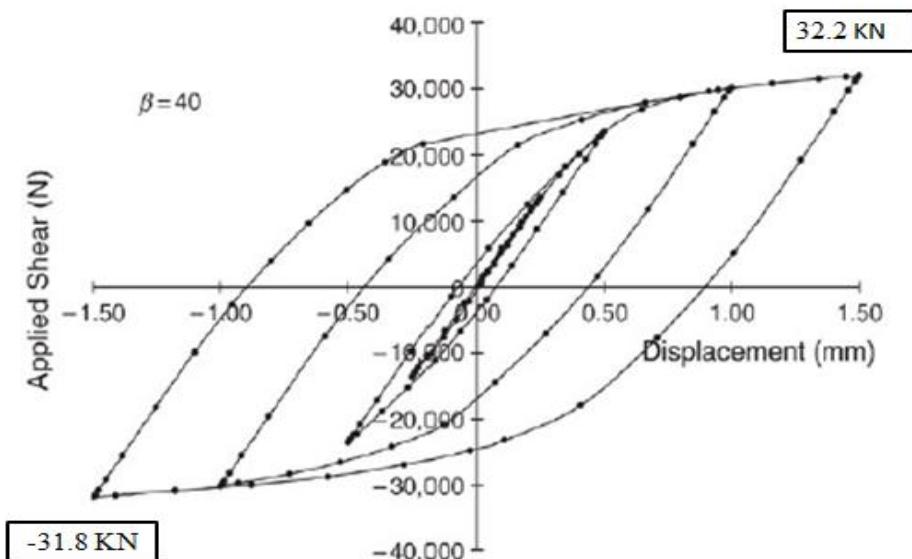
٢٤٣ مقارنة النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري مع التجربة :

يوضح الشكل(3-28) منحنيات (قوة القص-الانقلال) للصفيحة المدروسة نتيجة تحميلها بحمولة دورية (Cyclic Load)، حيث بلغت قوة القص الفاقد العظمى (31.8 kN) ويمكن ملاحظة توسيع الحلقات مما يدل على زيادة كمية الطاقة المبددة وذلك بسبب تحول الصفيحة إلى صفيحة سميكة بالإضافة الدعامات واحتفاء التحنّب المرن (Elastic Buckling).

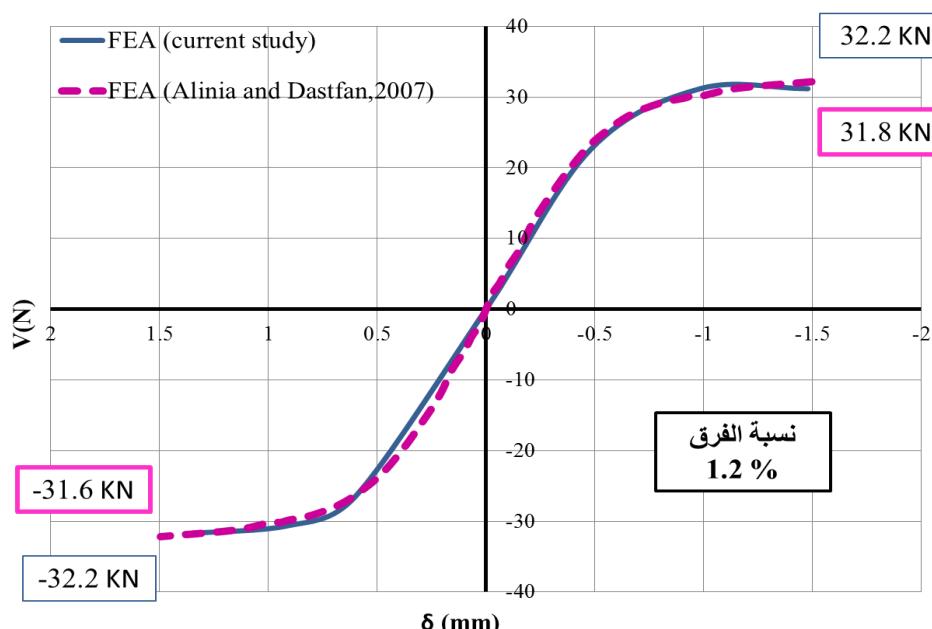


الشكل (3-28): منحنيات (قوة القص- الانقلال) للصفيحة المدعمة باستخدام برنامج ABAQUS Ver6.12.

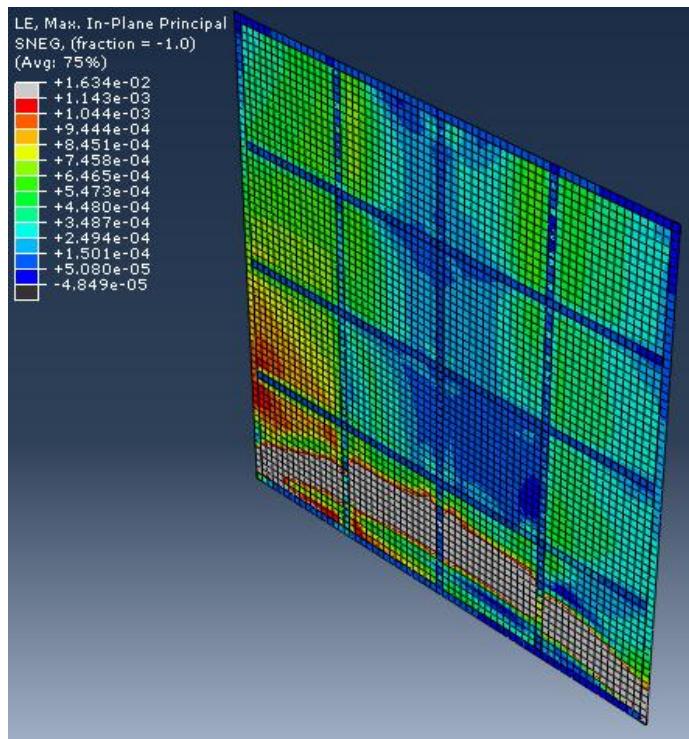
يوضح الشكل (29-3) الحلقات الهمتيرية للصفيحة المدعمة في دراسة (Alinia and Dastfan, 2007)، حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (32.2 kN) (Ver 6.12) مع النتائج التحليلية في دراسة (Alinia and Dastfan, 2007)، تم في الشكل (30-3) مقارنة مخلفات الحلقات في الدراستين حيث كانت نسبة الفرق (1.2%).



الشكل (29-3): منحنيات (قوة القص- الانتقال) للصفيحة المدعمة (Alinia and Dastfan, 2007).



الشكل (30-3): مقارنة نتائج مخلف الحلقات الهمتيرية للصفيحة المدعمة بين الدراسة الحالية ودراسة (Alinia and Dastfan, 2007)



الشكل (31-3): التشوّهات النسبية الرئيسية لـ الصفيحة المعدنية المدعمة عند انتقال ($\delta = 1.5 \text{ mm}$)

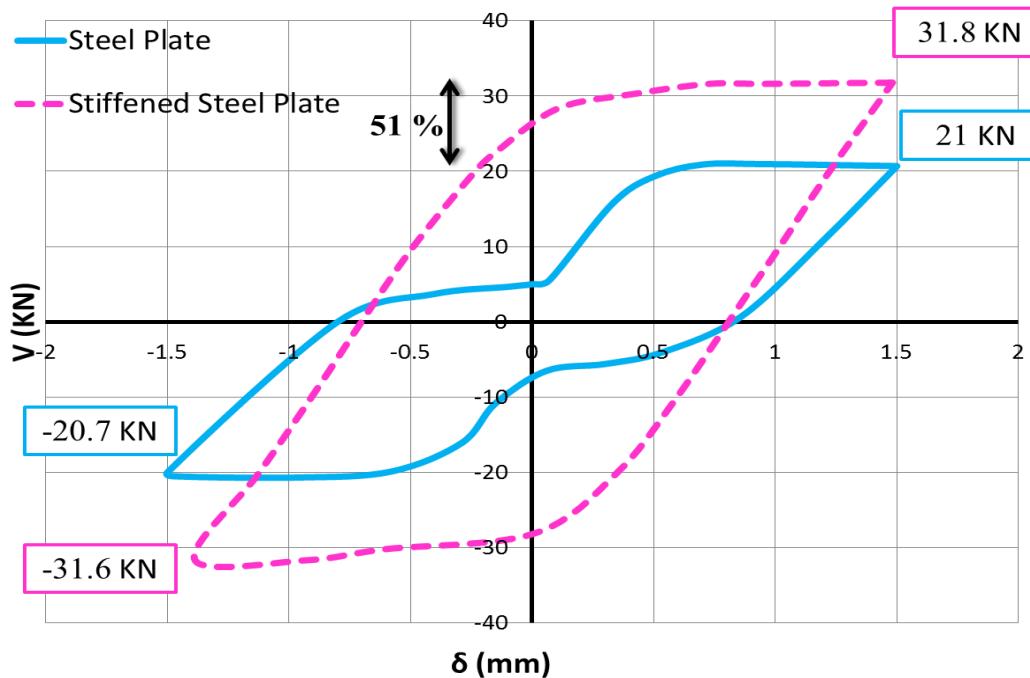
باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12).

يبين الشكل (31-3) التشوّهات النسبية الرئيسية في الصفيحة المعدنية في نهاية الاهزة المطبقة عند انتقال ($\delta = 1.5 \text{ mm}$) حيث نلاحظ اختفاء تشوّه التحنّب، الأمر الذي يفسر اختفاء التضييق (Pinching) في الحلقات الهمستيرية (الشكل 3-28).

ولدراسة تأثير إضافة الدعامات (Stiffeners) لـ الصفيحة المعدنية على سلوكها الإنشائي، يبين الشكل (32-3) مقارنة مخلفات الحلقات الهمستيرية بشكل حلقة مغلقة لـ الصفيحة قبل وبعد إضافة الدعامات. يبين المحور الأفقي في الشكل الانتقالات الأفقية للصفيحة والمحور الشاقولي قوة القص المطبقة.

يبين الشكل (32-3) تأثير إضافة الدعامات لـ الصفيحة في رفع مقاومتها لقوى القاصة حيث ارتفعت المقاومة على القص بنسبة (51%) ويعزى ذلك إلى عدم تحنيب الصفيحة بإضافة الدعامات، وزيادة صلابتها في مستوىها بسبب صلابة الدعامات المضافة كما يُلاحظ من الشكل اختفاء التضييق (Pinching) في الحلقات في الصفيحة المدعمة وتوسيع هذه الحلقات مما يدل على زيادة الطاقة المبذدة.

وبالتالي أدى وضع الدعامات إلى تغيير سلوك الصفيحة من صفيحة نحيلة (Slender Plate) (الشكل 2-11)، إلى صفيحة سميكية (Stocky Plate) (الشكل 2-12).



الشكل (3-32): مقارنة نتائج مغلف الحلقات الهستيرية للصفيحة المدروسة مع وبدون دعامات

باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12)

٥.٣ التحليل الإنثائي للإطار البيتونى مع صفيحة معدنية:

Structural Analysis of RC Frame infilled with Steel Plate

١.٥.٣ توصيف النموذج المدروس: Model Description:

لإطار المدروس سابقاً الموضح في الشكل (3-16) تمت إضافة صفيحة معدنية سماكة (2.5 mm) وملء كامل فتحة الإطار بأبعاد (130*75 cm²)، وبالتالي فإن نسبة حافة الصفيحة (b/t=520).

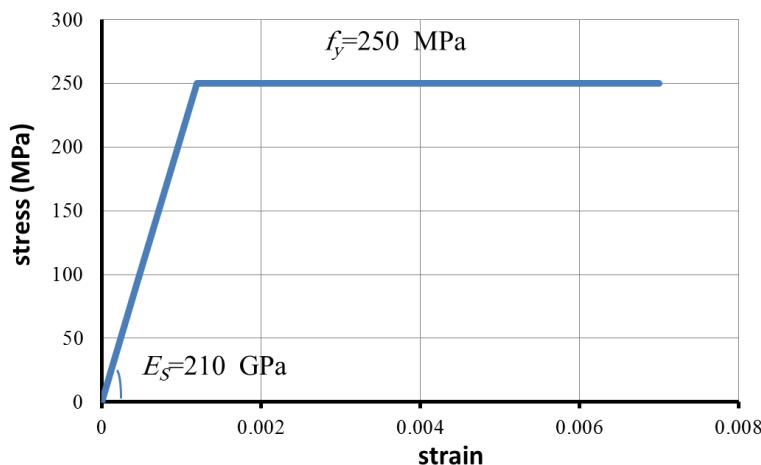
وتم اختيار مواصفات مادة الصفيحة كالتالي:

$f_y = 250 \text{ Mpa}$: إجهاد الخضوع لفولاذ الصفيحة.

$E_s = 210 \text{ GPa}$: معامل مرنة الفولاذ.

$\nu_s = 0.3$: معامل بواسون.

يوضح الشكل (33-3) مخطط (الإجهاد - التشوه) لفولاذ الصفيحة، حيث تم فرض تصرف مادة الفولاذ للصفيحة مناً - لدناً مثاليًا (Elastic-Perfectly Plastic)، وتم اعتبار الشروط المحيطية بحيث تم منع الانتقالات بالاتجاهات الثلاث للعقد السفلي للأعمدة والصفيحة، وتم كذلك تطبيق انتقال دوري (Cyclic Displacement) على نقاط الجائز موضح في الشكل .(4-3)



الشكل (33-3): مخطط (الإجهاد - التشوه) لفولاذ الصفيحة.

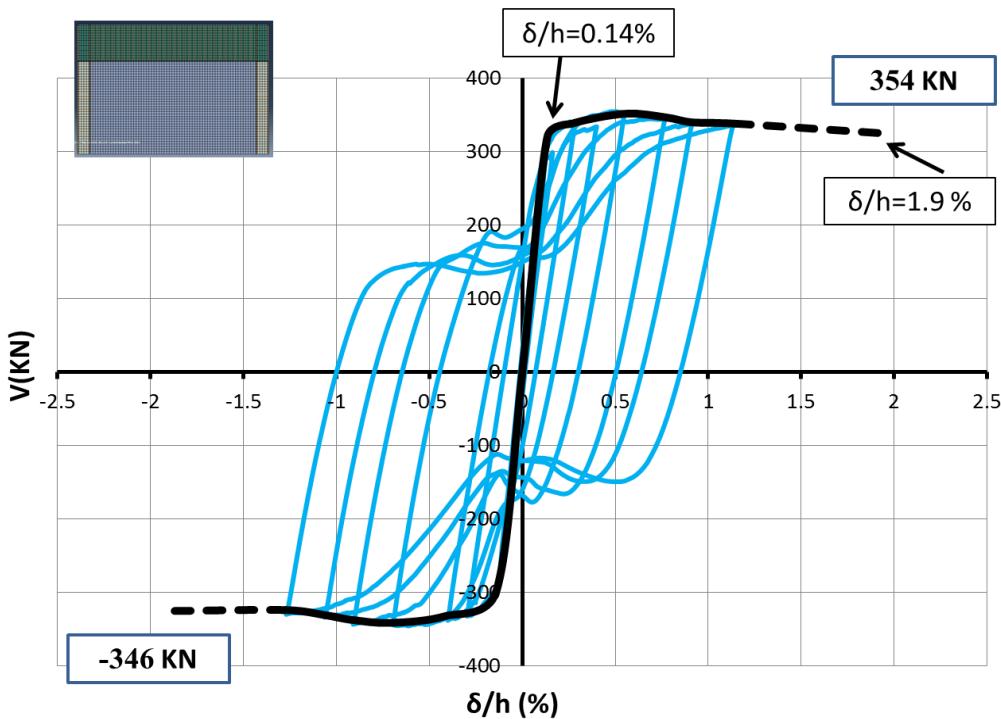
الشكل (34-3) يوضح شكل الإطار المملوء بصفحة باستخدام برنامج ABAQUS (Ver 6.12)



الشكل (34-3): الإطار البيتونى المملوء بصفحة معدنية باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12).

النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري :

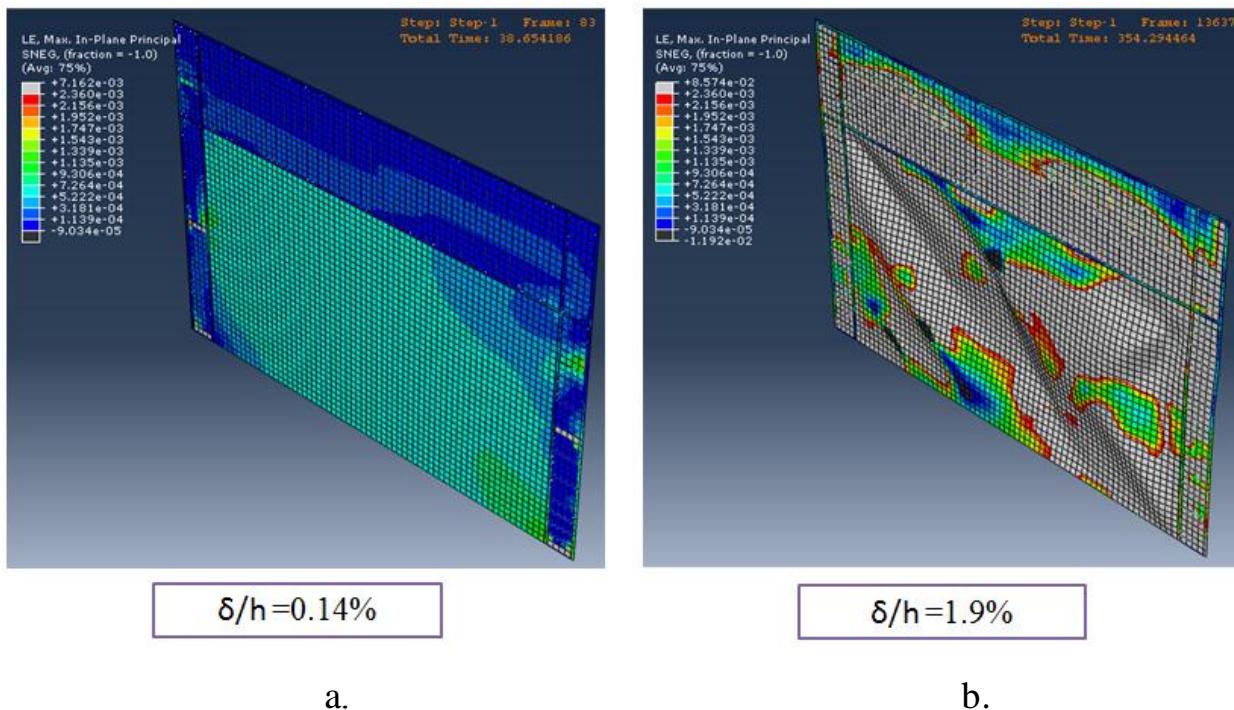
٢.٥.٣



الشكل (3-35): مخطط (القوة – الانتقال النسبي) للإطار البيtonي المملوء بصفحة معدنية باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12).

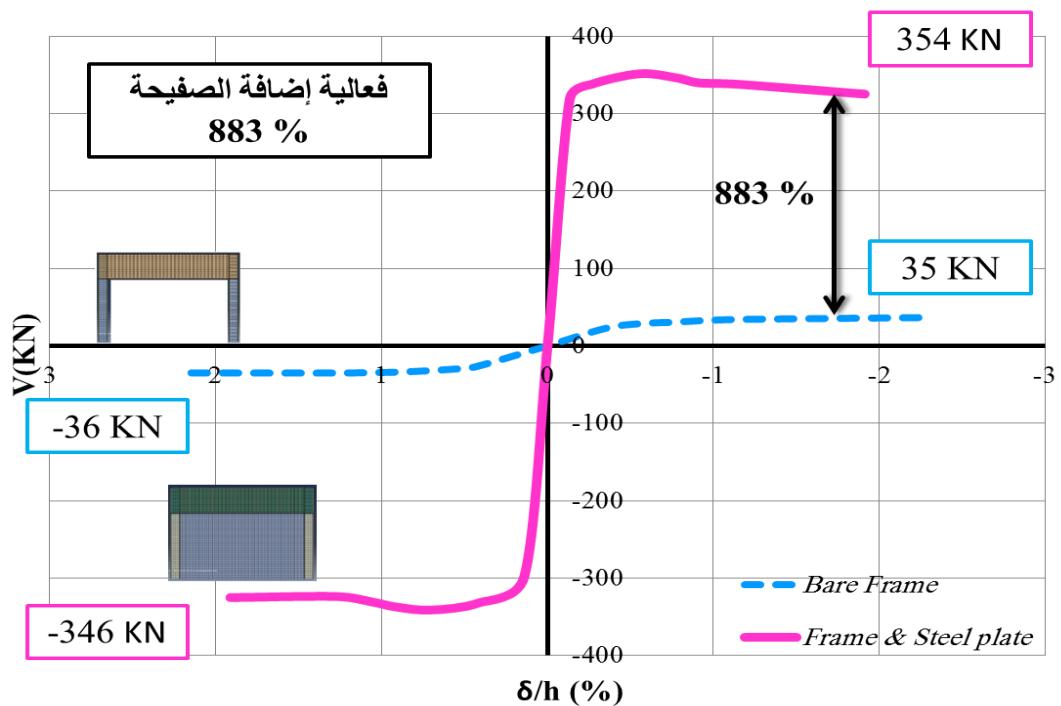
يوضح الشكل (3-35) الانتقالات النسبية (المحور الأفقي) و القوة المطبقة (المحور الشاقولي) للإطار البيتوني المملوء بصفحة معدنية حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (354 kN)، وعند عكس جهة الحمولة بلغت القوة الأعظمية (-346 kN)، ويمكن ملاحظة توسيع الحلقات مما يدل على زيادة كمية الطاقة المبذدة مع وجود بعض التضيق في الحلقات بسبب حدوث التحنّب المرن.

يوضح الشكل (36-3) التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار (Principal Strain) وأشكال تشوّهه عند نقطتين الأولى عند انتقال نسبي ($\delta/h = 0.14\%$) (الشكل 3-36-a) والذي يمثل بدء تغيير قساوة الجملة، والنقطة الثانية عند انتقال نسبي ($\delta/h = 1.9\%$) (الشكل 3-36-b). حيث يبين الشكل تلدن جزء كبير من الصفيحة وخروج معظم مناطق الإطار البيتوني عن العمل وهذا يدل على استغلال طاقة الإطار والصفيحة بشكل كبير، وكذلك يمكن الملاحظة من الشكل (3-36-b) نمط تحنيب الصفيحة و حقل الشد (Tension Field) المتتشكل والذي يساهم في رفع مقاومة الصفيحة والجملة ككل.



الشكل (36-36): التشوّهات النسبية الرئيسيّة للإطار البيتونـي المملوء بصفحة معدنية باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).

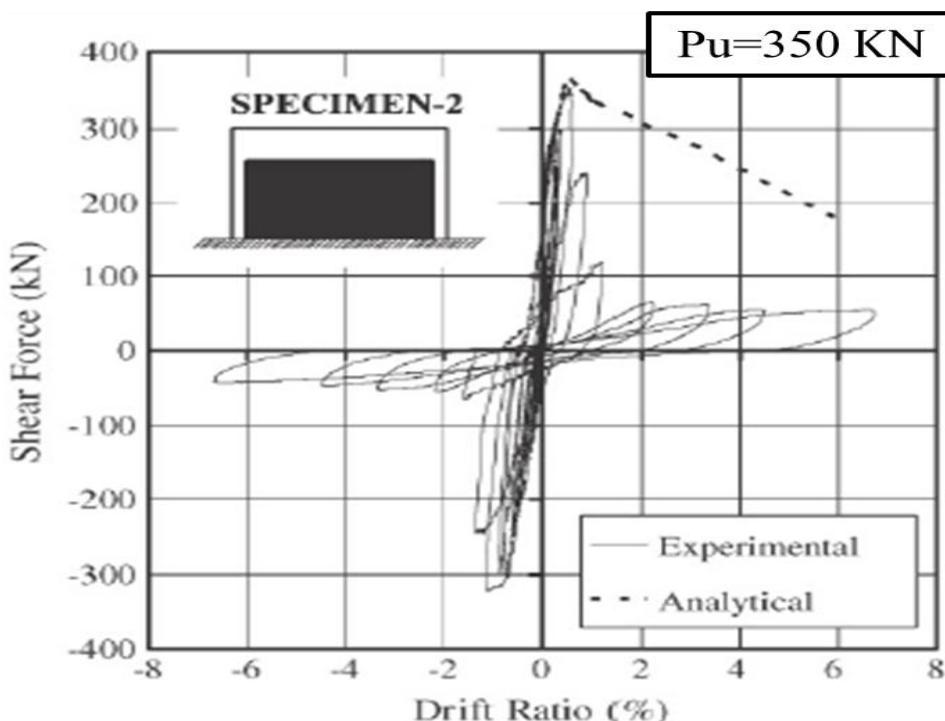
٦.٣ فعالية إضافة الصفيحة:



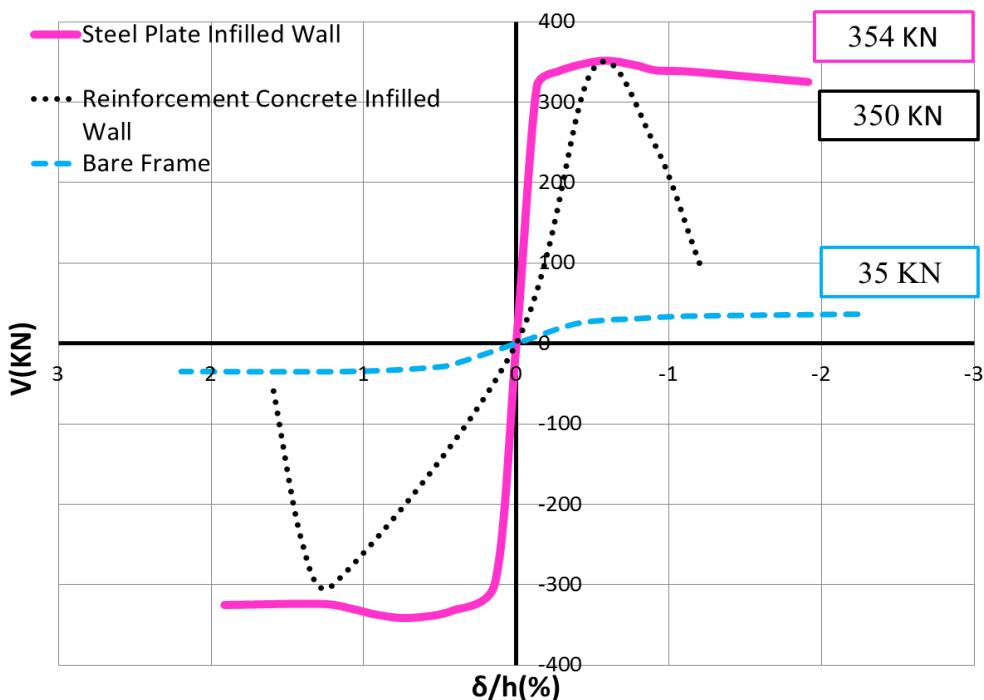
الشكل (37-37): مقارنة مخلفات الحلقات الهنستيرية لحالتي الإطار مع وبدون صفيحة معدنية.

يبين الشكل (37-3) مقارنة لمغلفي الحلقات الهستيرية لحالي الإطار، والإطار مع صفيحة معدنية، حيث أدت إضافة صفيحة معدنية نسبة نحافتها ($b/t=520$) إلى رفع مقاومة الإطار بنسبة (883%)، ويعود السبب في هذه النسبة المرتفعة لكون الإطار المدروس من نوع جائز قوي وعمود ضعيف.

وللتعرف على فعالية طريقة التدعيم بإضافة صفيحة معدنية، في رفع المقاومة والمطاوعة معاً، تمت مقارنة هذه الطريقة في الدراسة الحالية مع طريقة تدعيم للإطار نفسه (الشكل 3-1) بإضافة جدار قص بيتوني في دراسة (Anil and Altin, 2007)، حيث تم ملء فتحة الإطار بجدار بيتوني مسلح سماكته (50 mm)، نسبة نحافته ($b/t=26$)، وتعریضه لحمولة دورية (الشكل 3-4) فكانت المقاومة العظمى للجملة (350 kN)، أي أن مقاومة الجملة ارتفعت بنسبة (%) 872. ولكن بمحاجة الشكل (38-3) الذي يوضح الحلقات الهستيرية للإطار المملوء بجدار قص بيتوني، يتبيّن الانهيار المفاجئ لهذه الجملة، بسبب الانهيار على القص أسفل الجدار (الشكل 3-40). بينما تبدي جملة الإطار المملوء بجدار قص معدني سلوكاً مطاوعاً (الشكل 3-35)، ويمكن ملاحظة توسيع الحلقات الهستيرية، مما يدل على تبديد أكبر للطاقة في حالة إطار مملوء بجدار قص معدني. ويبين الشكل (39-3) مقارنة بين مغلفي الحلقات في حالتي التدعيم المذكورتين.



الشكل (38-3): الحلقات الهستيرية لحالة الإطار مملوء بجدار قص بيتوني (Anil and Altin, 2007).



الشكل (3-39): مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية لحالة الإطار مملوء بجدار قص بيتوني ومعدني.



الشكل (3-40): الانهيار على القص لإطار مملوء بجدار قص بيتوني .(Anil and Altin,2007)

٧.٣ التحليل الإنشائي للإطار البيتونى مع صفيحة معدنية دعامتين (أفقية و شاقولية):

Structural Analysis for RC Frame infilled with Stiffened Steel Plate Using (FEM)

في هذه المرحلة تمت إضافة دعامتين للفتحة المعدنية الملائة للإطار بهدف تدعيم الصفيحة و رفع مقاومتها على القص من خلال زيادة صلابتها وزيادة عدد حقول الشد المتشكلة .

١.٧.٣ توصيف النموذج: Model Description:

للإطار السابق المدعم بصفحة معدنية بسمك (2.5 mm) ونسبة بعد الصفيحة إلى سماكتها ($b/t=520$) تمت إضافة دعامة أفقية وأخرى شاقولية في منتصف الصفيحة من نفس مادة الصفيحة (الشكل 3-33).

تم اختيار أبعاد الدعامات بحيث كانت نسبة صلابة الدعامات باتجاه واحد بالنسبة لصلابة الصفيحة ($\beta = 60$) حسب العلاقة (18-3)، وبناء عليه كان عزم العطالة لقطع الدعامة حول محور التحنّب ($I_s = 32194 \text{ mm}^4$)، ومنه أبعاد مقطع الدعامات المستخدمة : الأفقية($20.27 \times 26.71 \text{ mm}^2$) و الشاقولية($19.98 \times 26.84 \text{ mm}^2$).

حيث:

$$\beta = n \frac{E \cdot I_s}{b \cdot D} \quad (18 - 3)$$

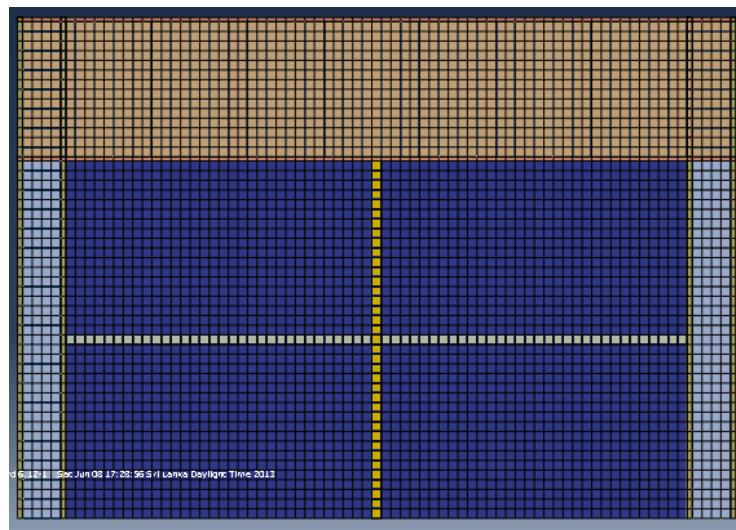
β : نسبة صلابة الدعامات باتجاه واحد إلى صلابة الصفيحة.

E, D, b, I_s : معطاة بالعلاقة (1-2).

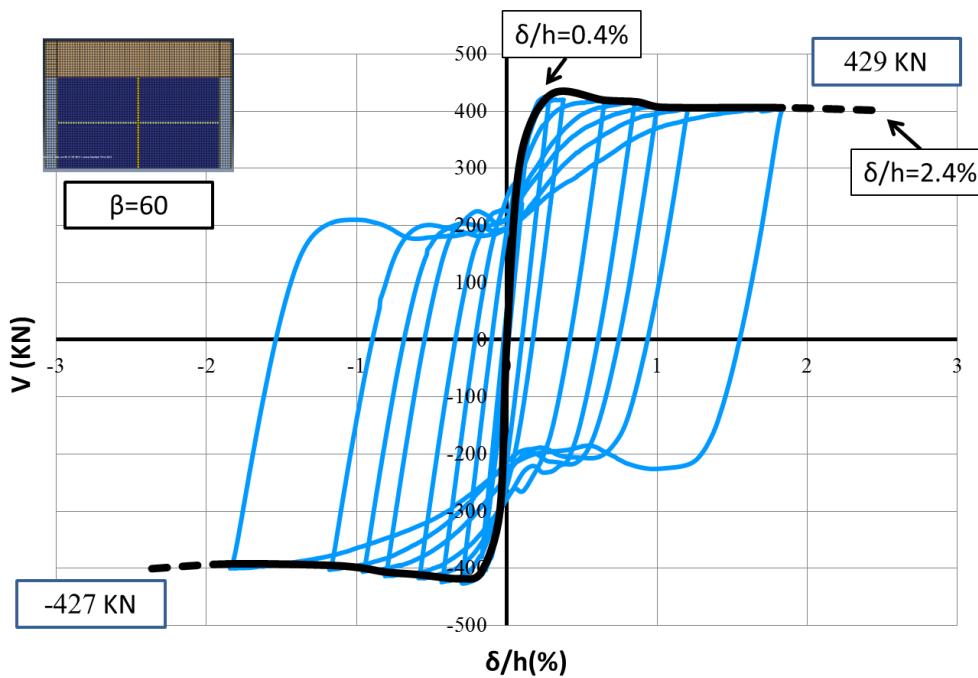
n : عدد تقسيمات الصفيحة = عدد الدعامات + 1.

الشكل (3-41) يوضح شكل النموذج باستخدام ABAQUS (Ver 6.12).

تم تطبيق الحمولة الدورية المبينة نفسها في الشكل (3-4) على نقاط الجائز، وكذلك شروط الاستناد السابقة نفسها حيث منعت الانتقالات أسفل الأعمدة والصفحة.



الشكل (3-41): الإطار البيتونى المملوء بصفحة معدنية بدعامتين (أفقية وشاقولية) ($\beta = 60$) باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).
النتائج التحليلية لحالة التحميل الدورى: ٢.٧.٣

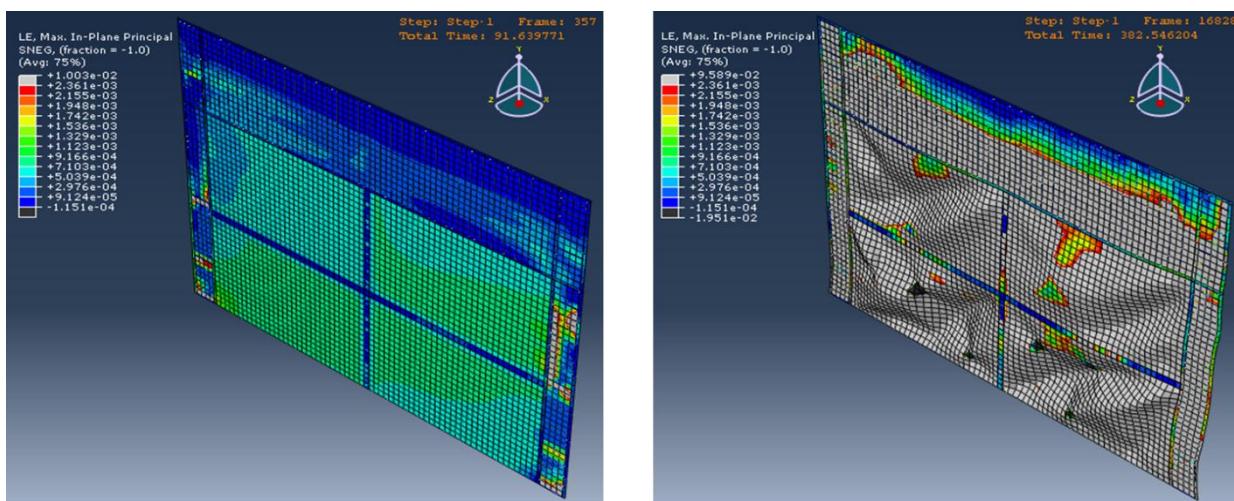


الشكل (3-42): مخطط (القوة – الانفعال النسبي) للإطار البيتونى المملوء بصفحة معدنية بدعامتين (أفقية وشاقولية) ($\beta = 60$) باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12)

يوضح الشكل (3-42) الانفعالات النسبية (المحور الأفقي) و القوة المطبقة (المحور الشاقولي)، حيث بلغت قوة القص القاعدي العظمى (429 kN) وعند عكس جهة الحمولة بلغت القوة الأعظمية (427 kN). يمكن ملاحظة ارتفاع مقاومة

القص للجملة بسبب زيادة قساوة الصفيحة حيث أدى وضع الدعامات إلى زيادة قوة تحنيب الصفيحة (Buckling Load) بسبب تصغير عرضها b ، وتشكل حقل شد لكل جزء من الصفيحة بين الدعامات، و كانت نسبة الزيادة (21%) عن حالة الإطار مع صفيحة بدون دعامات (الشكل 3-35)، كما يمكن ملاحظة زيادة كمية الطاقة المبذلة مع ملاحظة وجود بعض التضيق (Pinching) بسبب ظهور التحنّب المرن في أجزاء الصفيحة.

يوضح الشكل (43-3) التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار المدعم (Principal Strain) وأشكال تشوّهه عند نقطتين الأولى عند انتقال نسبي ($\delta/h = 0.14\%$) (الشكل 3-43-a)، وهو يمثل بدء تغيير قساوة الجملة في مخطط (القوة – الانتحال النسبي) ($b-43-3$) للإطار والصفيحة (الشكل 3-42). والنقطة الثانية عند انتقال نسبي ($\delta/h = 2.4\%$)، حيث يُلاحظ من الشكل (3-b) ظهور التحنّب في كل جزء من أجزاء الصفيحة بين الدعامات وتلذن معظم الصفيحة وخروج معظم مناطق الإطار البetonوي عن العمل حيث تظهر في الشكل باللون الرمادي وهذا يدل على استغلال الإطار والصفيحة حتى طاقتها القصوى وكذلك يمكن من الشكل (3-b) ملاحظة أشكال حقول الشد (Tension Field) المتتشكلة في المناطق بين الدعامات والتي تساهم في رفع مقاومة الصفيحة والجملة ككل.



$$\delta/h = 0.14\%$$

a.

$$\delta/h = 2.4\%$$

b.

الشكل (3-43): التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار البetonوي المملوء بصفحة معدنية بدعامتين (أفقية وشاقولية) ($\beta = 60^\circ$) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).

٨.٣ التحليل الإنشائي للإطار البيتوبي مع صفيحة معدنية وثلاث دعامات في كل اتجاه:

تم في هذه المرحلة تغيير عدد الدعامات المضافة للفتحة المائلة للإطار وكذلك تغيير صلابة الدعامات ودراسة تأثير ذلك على مقاومة الإطار للأحمال الجانبية.

١.٨.٣ توصيف النموذج: Model Description

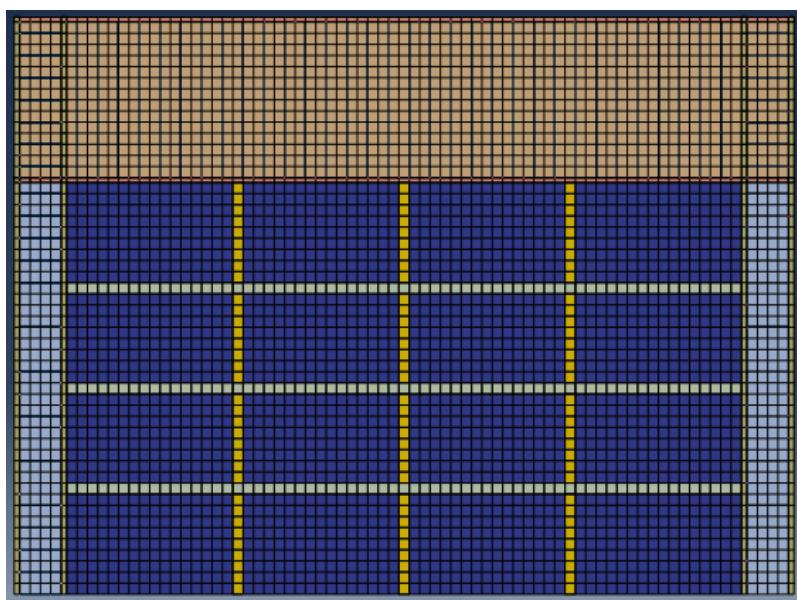
تمت إضافة ثلاثة دعامات أفقية وثلاث شاقولية للفتحة السابقة (2.5 mm) المائلة للإطار المذكور سابقاً واعتماد نسبة صلابة الدعامات باتجاه واحد إلى صلابة الصفيحة ($\beta = 90$) و ($\beta = 120$) حسب العلاقة (3-18). وكانت أبعاد مقطع الدعامة كالتالي:

($\beta = 90$): أبعاد الدعامة الأفقية ($19.98 \times 24.27 \text{ mm}^2$) و الشاقولية ($20.27 \times 24.38 \text{ mm}^2$).

($\beta = 120$): أبعاد الدعامة الأفقية ($19.98 \times 26.71 \text{ mm}^2$) و الشاقولية ($20.27 \times 26.84 \text{ mm}^2$).

تم تطبيق الحمولة الدورية المذكورة سابقاً على نقاط الجائز الشكل (3-4)، مع الحفاظ على شروط استناد النموذج بمنع الانتقالات الثلاث عند أسفل الأعمدة والصفيحة.

الشكل (3-44) يوضح شكل النموذج باستخدام ABAQUS (Ver 6.12).

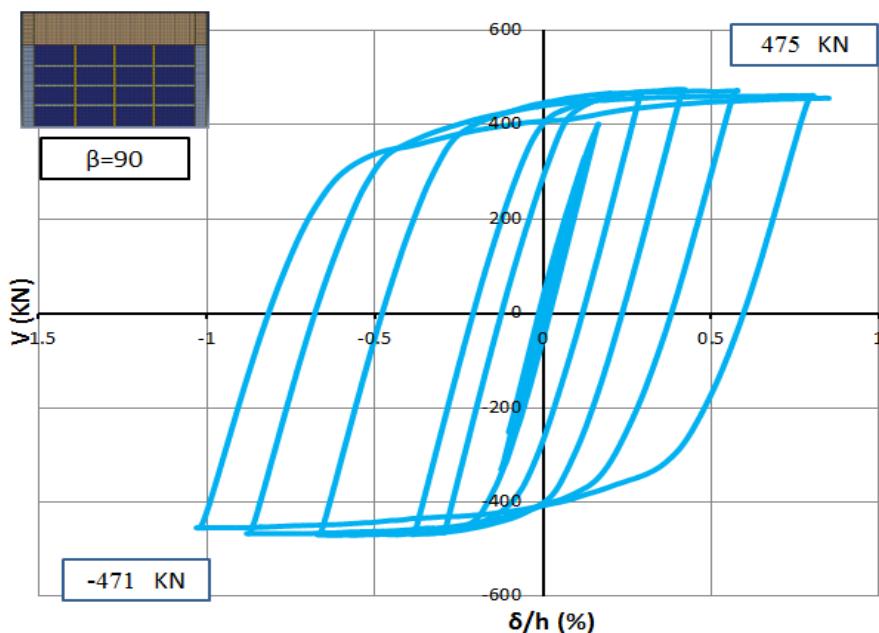


الشكل (3-44): الإطار البيتوبي المملوء بصفحة معدنية مدعمة بثلاث دعامات أفقية وشاقولية باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12).

٢.٨.٣ النتائج التحليلية لحالة التحميل الدوري:

» النموذج الأول ($\beta = 90$)

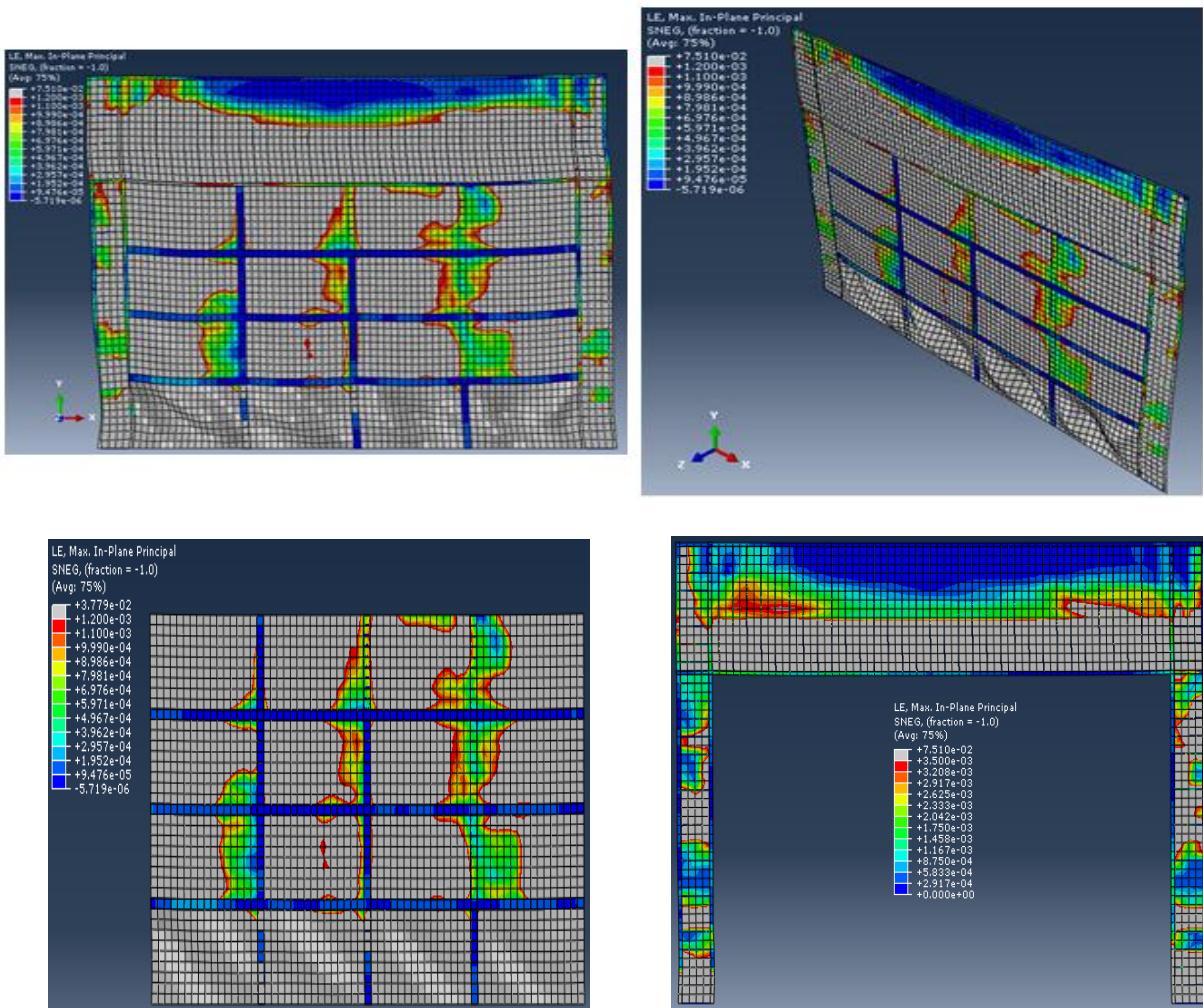
يبين الشكل (3-45) الحلقات الهستيرية لجملة اطارات وصفحة مدعمة بثلاث دعامات أفقية وثلاث شاقولية نسبة صلابتها ($\beta=90$) معرضة لحملة جانبية دورية حيث تظهر المنحنيات ارتفاع مقاومة الإطار إلى (475 kN) وعند عكس جهة الحملة أيضاً وصلت المقاومة إلى (471 kN) ونلاحظ أيضاً توسيع الحلقات مما يدل على زيادة الطاقة المبددة وكذلك اختفاء التضيق (Pinching) لعدم تحنيب الصفحة بسبب تحول سلوكها لسلوك صفيحة سميكة.



الشكل (3-45): مخطط (القوة – الانتقال النسبي) للإطار البياني المملوء بصفحة معدنية مدعمة بثلاث دعامات أفقية وشاقولية (ABAQUS, Ver 6.12) ($\beta = 90$) باستخدام (ABAQUS, Ver 6.12).

تعرض الأشكال (3-46) التشوّهات النسبية الرئيسية (Principal Strain) لكل من الإطار والصفحة عند انتحال نسبي ($\delta/h = -1\%$) حيث تظهر المناطق المتلائمة في الصفحة باللون الرمادي وكذلك المناطق الخارجية عن العمل في الإطار.

يُلاحظ من أشكال التشوّهات أن زيادة عدد الدعامات يقلل من تشوّهات الصفحة خارج مستوىها، كما يمكن ملاحظة تدنٍ معظم أجزاء الصفحة مما يدل على اقتراب سلوك الصفحة الحنفية (Slender Plate) المائلة للإطار من سلوك صفيحة سميكة (Stocky Plate) بالإضافة للدعامات، بالإضافة إلى ذلك يمكن ملاحظة تشكيل حقول شد بين الدعامات في المناطق السفلية فقط للصفحة وذلك عند نقاط الاستناد.



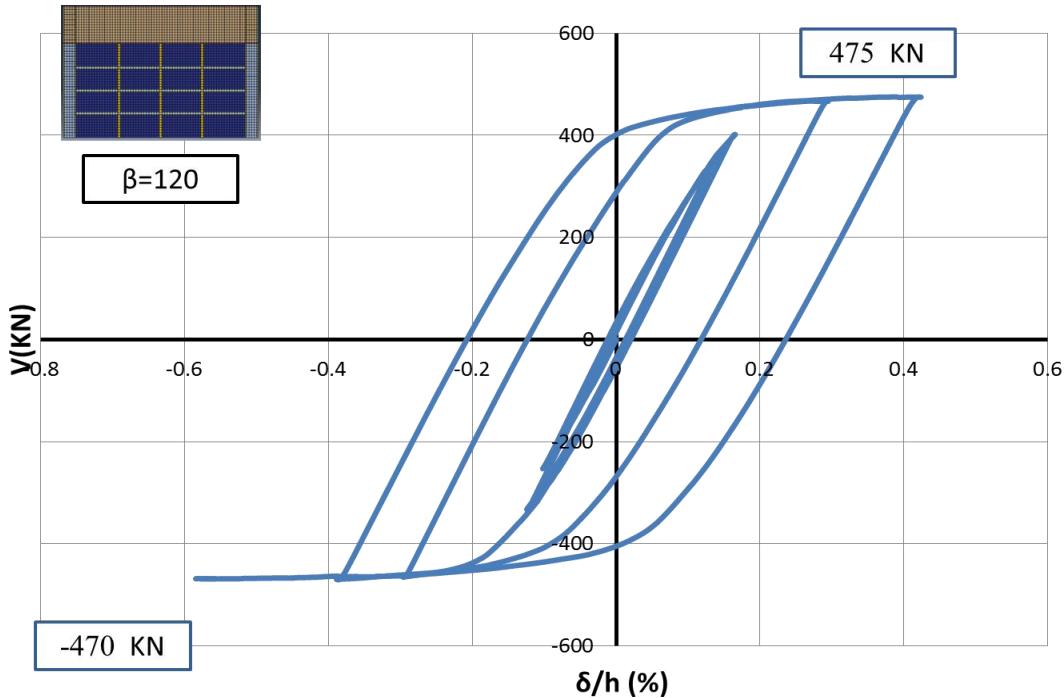
a. التشوهات النسبية الرئيسية للإطار البetonى
b. التشوهات النسبية الرئيسية للصفيحة المدعمة المائلة للإطار

الشكل (3-46): التشوهات النسبية الرئيسية للإطار البetonى المملوء بصفحة معدنية مدعمة ($\beta = 90$)
باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12).

► النموذج الثاني ($\beta = 120$) :

تم الحفاظ على نفس عدد الدعامات في الاتجاهين ولكن زيادة صلابة الدعامات إلى ($\beta = 120$). يبين الشكل (47-3) الانقلادات النسبية الأفقية في أعلى الإطار (المحور الأفقي)، و قوة القص المطبقة (المحور الشاقولي)، في جملة إطار وصفحة مدعمة بثلاث دعامات أفقية وثلاث شاقولية نسبة صلابتها ($\beta = 120$) معرضة لحمولة جانبية دورية، حيث تظهر المنحنيات وصول مقاومة الجملة إلى (475 kN)، وعند عكس جهة الحمولة وصلت المقاومة إلى (470 kN)، ويمكن بالمقارنة مع الشكل (45-3) ملاحظة ثبات المقاومة بزيادة صلابة الدعامات المضافة.

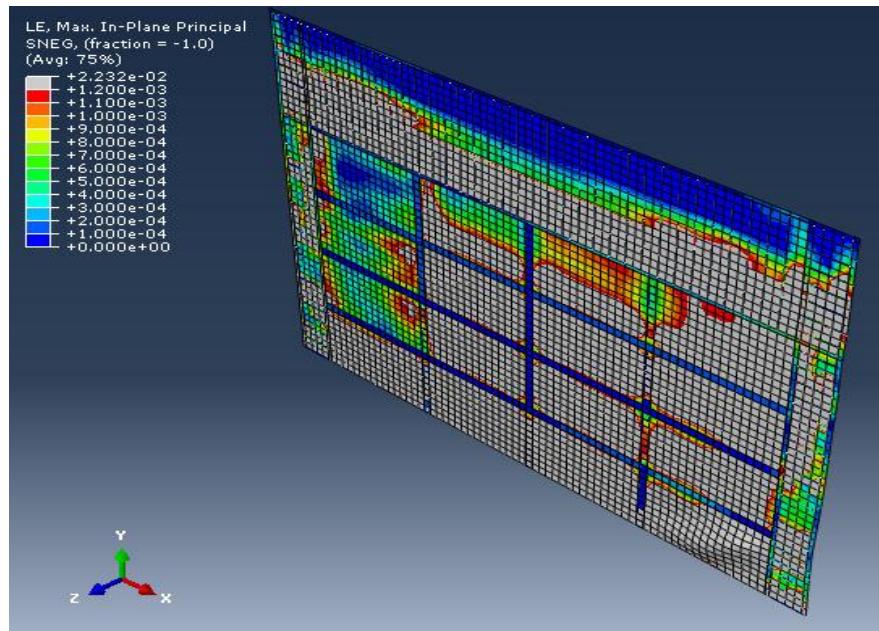
يوضح الشكل(3-48) التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار المملوء بصفحة مدعمة بثلاث دعامات أفقية وثلاث شاقولية ($\beta=120$)، حيث تظهر المناطق المتذبذبة من الصفحة والخارج عن العمل من الإطار باللون الرمادي وذلك عند انتقال نسبي $\delta/h = -0.58 \%$ ، يُلاحظ من الشكل اختفاء تشوه التحنّب في الصفحة وتذبذب معظم أجزائها وهذا يدل على أنها تسلك سلوك صفحية سميك بالإضافة للدعامات .



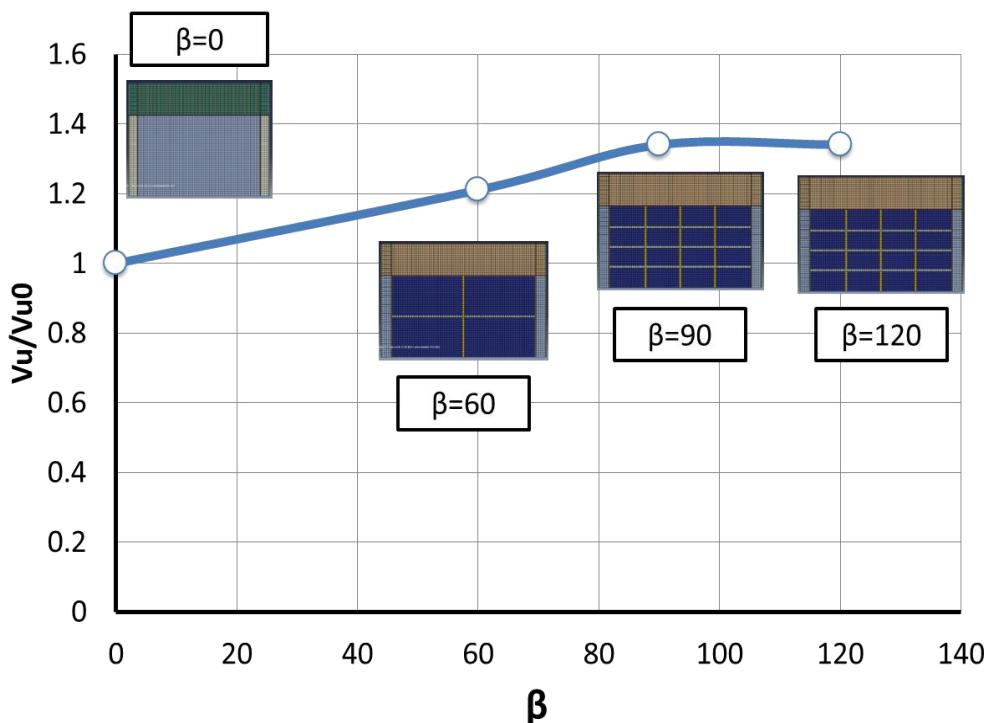
الشكل (3-47): مخطط (القوة – الانتحال النسبي) للإطار البينوني المملوء بصفحة معدنية مدعمة بثلاث دعامات أفقية وشاقولية ($\beta = 120$) باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12).

يبين الشكل(3-49) أثر نسبة صلابة الدعامات إلى صلابة الصفحة (β) على مقاومة القص لجملة الإطار المملوء بصفحة معدنية، حيث المحور الأفقي يمثل نسبة صلابة الدعامات إلى صلابة الصفحة (β) (العلاقة 3-18) ، والمحور الشاقولي هو نسبة قوة القص القاعدي الأعظمي في جملة إطار مملوء بصفحة مدعمة (V_{u0}) إلى قوة القص في جملة الإطار المملوء بصفحة غير مدعمة (V_{u0}). يبين الشكل أن إضافة دعامتين (أفقية و شاقولية) نسبة صلابتها ($\beta=60$) رفع مقاومة الجملة بنسبة (20%)، بينما إضافة ثلاثة دعامات أفقية وثلاث شاقولية مع نسبة صلابة ($\beta=90$) أدى إلى رفع مقاومة الجملة بنسبة (34%)، وزيادة نسبة الصلابة إلى ($\beta=120$) لم يرفع من مقاومة الجملة كل ما يدل على أن زيادة صلابة وعدد الدعامات

يكون مجدياً إلى حد معين وبعده لا يمكن رفع مقاومة الجملة، ويعزى ذلك إلى وصول الصفيحة السميكة إلى التلدين وعدم إمكانية زيادة مقاومتها بعد الخضوع.



الشكل (3-48): التشوّهات النسبية الرئيسية للإطار البيتوني المملوء بصفحة معدنية مدعمة ($\beta = 120$) باستخدام .(ABAQUS,Ver 6.12)

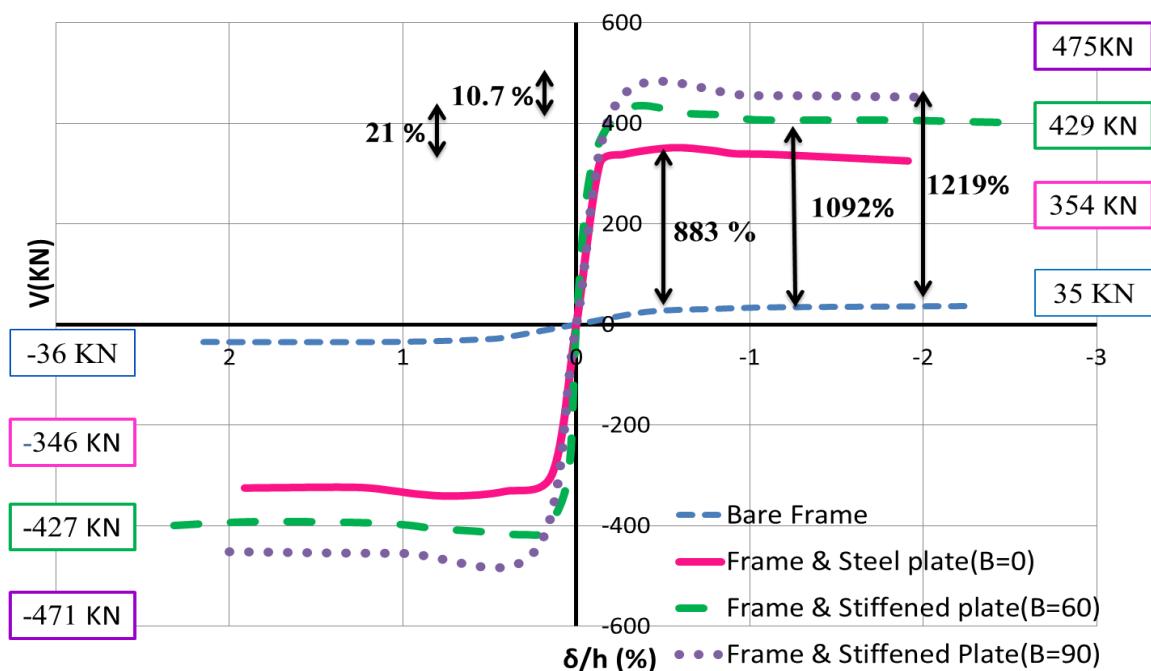


الشكل (3-49): تأثير صلابة الدعامات على مقاومة الإطار المملوء بصفحة معدنية.

٨.٣ مقارنة النتائج :

يبين الشكل (50-3) مقارنة نتائج ملفات الحلقات الهستيرية للحالات التالية باستخدام برنامج ABAQUS (Ver 6.12)

- إطار بيتوني مسلح (Bare Frame).
- إطار بيتوني مسلح مملوء بصفحة معدنية غير مدمعة.
- إطار بيتوني مسلح مملوء بصفحة معدنية مدمعة بدعامتين (أفقية و شاقولية) نسبة صلابة الدعامة إلى صلابة الصفحة ($\beta=60$).
- إطار بيتوني مسلح مملوء بصفحة معدنية مدمعة بثلاث دعامات في كل اتجاه نسبة صلابة الدعامة إلى صلابة الصفحة ($\beta=90$).



الشكل (3-50): مقارنة نتائج ملفات الحلقات الهستيرية للحالات المدروسة باستخدام ABAQUS, Ver 6.12

يبين الشكل (50-3) أن مقاومة الإطار على الأحمال الجانبية (36 kN) ارتفعت عند إضافة الصفحة إلى (354 kN) أي بنسبة (883 %)، وهي نسبة مرتفعة ويعزى ذلك إلى تشكيل حقول الشد في الصفحة والتي تكافئ وجود عنصر تربيط أو أكثر، الأمر الذي يؤدي إلى تحول الإطار البeton إلى إطار مربط (Braced frame) علىقوى الجانبية. ويجب الانتباه

إلى أن الإطار المدروس هو من طابق واحد بجائز قوي وعمود ضعيف، من هنا فإن الصفيحة المعدنية وعرض حقل الشد المتشكل أدى إلى تضييق ارتفاع العمود مما يؤدي إلى زيادة فساوته وبالتالي فساوة الجملة ككل فتزداد المقاومة وينخفض الانقال الجانبي إلى النسبة المرتفعة التي أعطتها نتائج التحليل.

وعند إضافة دعامتين (أفقية و شاقولية) نسبة صلابة الداعمة بالنسبة للفسيحة ($\beta=60$) نلاحظ ارتفاع مغلق الحلقات إلى (429) KN أي ارتفاع المقاومة بنسبة (1092 %) عن حالة إطار وحده وبنسبة (21 %) عن حالة صفيحة غير المدعمة، وقد أدى ذلك إلى زيادة عدد حقول الشد لكل جزء بين الدعامات. ويعزى ذلك إلى تضييق عرض الصفيحة b ليصبح إلى المسافة بين الدعامات (العلاقة 1-2) عوضاً عن مجاز الإطار كاملاً.

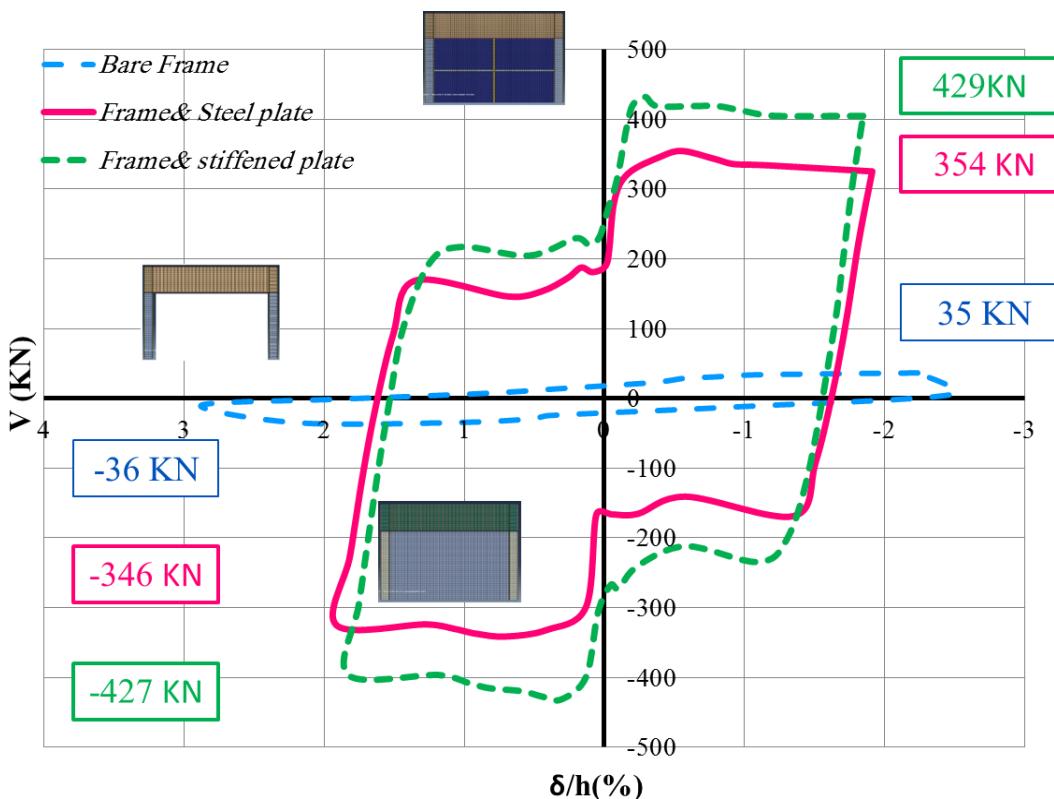
وعند زيادة عدد وصلابة الدعامات إلى ثلاثة أفقية وثلاث شاقولية مع نسبة صلابة ($\beta=90$) ازدادت المقاومة إلى (475 kN) بنسبة (1219 %) عن الإطار وحده وبنسبة (10.7 %) عن حالة دعامتين و($\beta=60$). إن زيادة عدد وصلابة الدعامات أدت إلى زيادة مقاومة الجملة حيث أن الدعامات تزيد من القوة اللازمة للتحبيب وتزيد صلابة الصفيحة وتقلل من انتقالها خارج المستوى وينتجه سلوك الصفيحة النحيلة إلى سلوك صفيحة سميكة بزيادة عدد وصلابة الدعامات.

يبين الشكل (51-3) مقارنة بين مخلفات الحالات المدروسة بشكل حلقة مغلقة لإعطاء مؤشر عن كمية الطاقة المبذدة في كل حالة، حيث يمكن ملاحظة تضييق الحلقة وانخفاضها في حالة الإطار وحده، وهذا يدل على أن كمية الطاقة التي يبدها الإطار قليلة جداً بسبب مقاومته المنخفضة وأنهيار أعمدته الضعيفة ذات القساوة المنخفضة بالمقارنة مع قساوة جائزه، أما بعد ملء مجاز هذا الإطار بصفحة معدنية فإن الحلقة ترتفع وتتوسع، وذلك بسبب المقاومة والمطاوعة العالية التي تمنحها الصفيحة للجملة ككل، ولكن يبقى التضييق موجوداً في الحلقة بسبب ظهور التحبيب المرن في الصفيحة.

وبعد إضافة دعامة أفقية وأخرى شاقولية للفسيحة ($\beta=60$)، ترتفع الحلقة وتتوسع أكثر، وهذا يدل على زيادة الطاقة المبذدة، ولكن يمكن ملاحظة وجود بعض التضييق في الحلقات بسبب ظهور تحبيب مرن في أجزاء الصفيحة بين الدعامات.

ولكن الشكل (45-3) في حالة إطار مملوء بصفحة ومدعم بثلاث دعامات في كل اتجاه مع نسبة صلابة ($\beta=90$)، يبين توسيع الحلقات وارتفاع التضييق، وذلك بسبب اختفاء التحبيب المرن الذي يميز سلوك الصفائح النحيفة وتحول هذه الصفيحة بسبب الدعامات إلى صفيحة سميكة تتميز بانهيارها اللدن (Plastic Collapse).

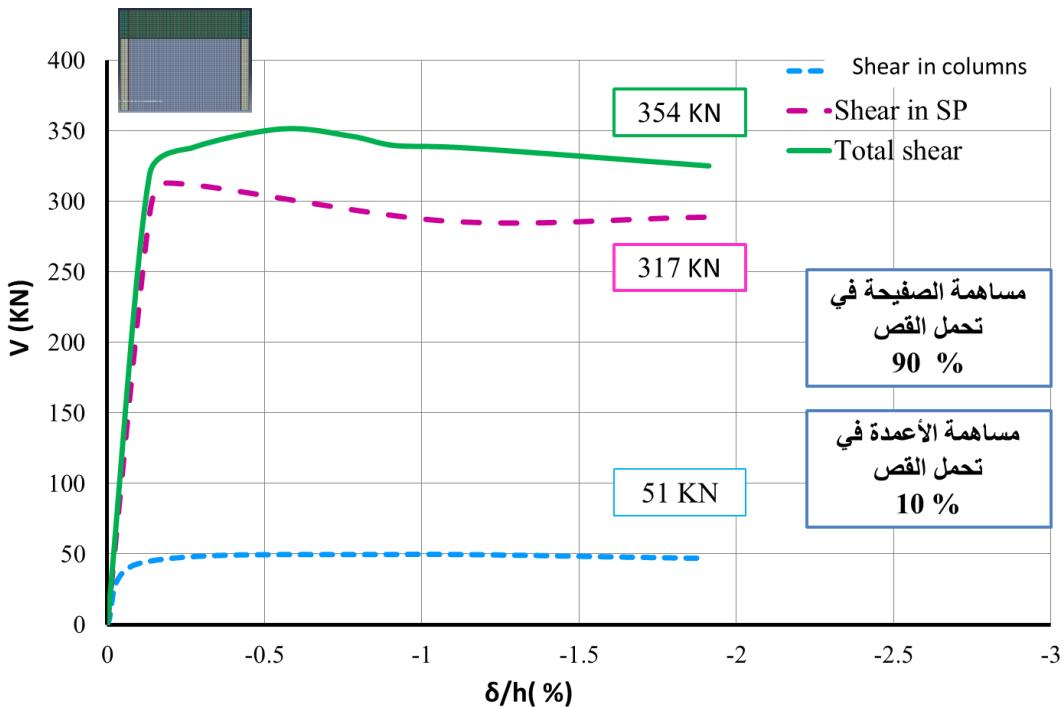
الشكل (52-3) يوضح مساهمة العناصر في تحمل القص في حالة إطار إطار مدعم بصفحة معدنية حيث المحور الأفقي في الشكل يمثل الانتقالات النسبية ($\delta/h\%$), والمحور الشاقولي يمثل قوة القص المطبقة (V KN). يبين الشكل أن نسبة مساهمة الصفحية المضافة في تحمل القص هي (90%)، بينما تحمل الأعمدة (10%) (51 kN) من القص الأعظمي (354 kN) المطبق على الجملة، فالصفحة تتحمل بفضل صلابتها العالية في مستوىها الجزء الأكبر من القص. وكذلك الأمر (95%) في حالة إطار مملوء بصفحة مدعمة بدعامتين (أفقية و شاقولية) (الشكل 3-53)، فالصفحة تتحمل (408 kN) من القص الكلي (429 kN). الأمر الذي يبرهن كفاءة الصفحة في تدعيم الإطار وزيادة فعاليته في مقاومة القص في مستوىه.



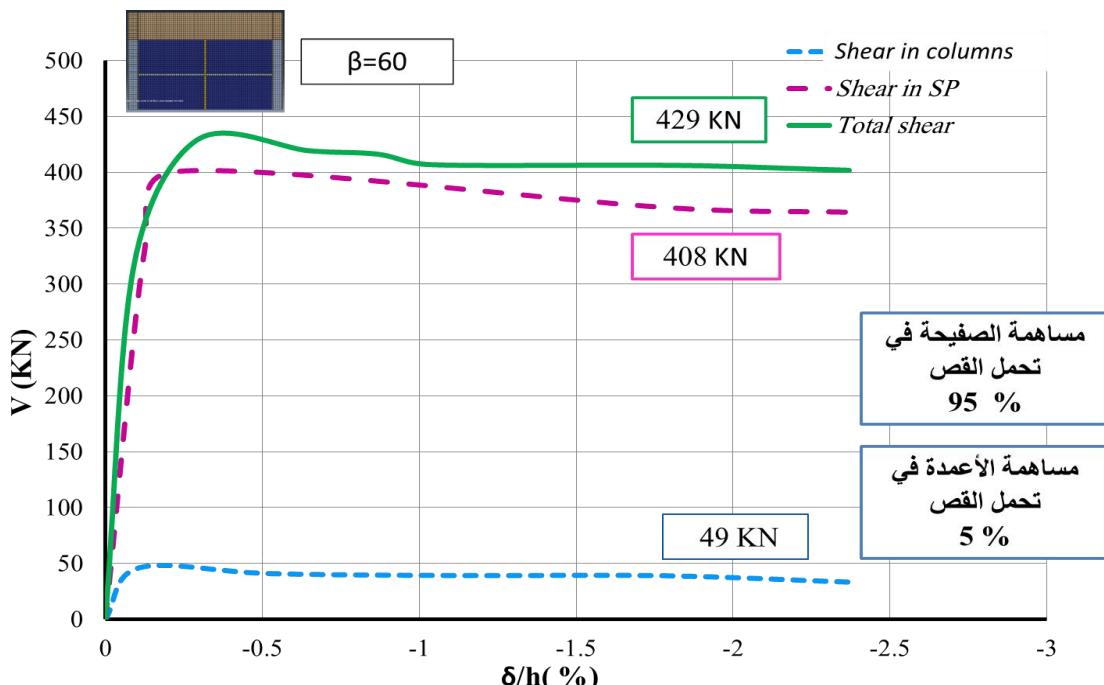
الشكل (3-51): مقارنة نتائج مخلفات الحلقات الهستيرية للحالات المدروسة باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12).

و يوضح الشكل (54-3) مساهمة العناصر في تحمل القص في جملة إطار بيتوني مملوء بصفحة معدنية مدعمة بثلاث دعامات في كل اتجاه مع نسبة صلابة للدعامات ($\beta=90$), حيث يبين المخطط أن مساهمة الصفحة (449 kN) أي بما يعادل (95%) من القص الكلي (475 kN) ويمكن أيضاً ملاحظة المساهمة العالية للصفحة وتحملها معظم القص بينما

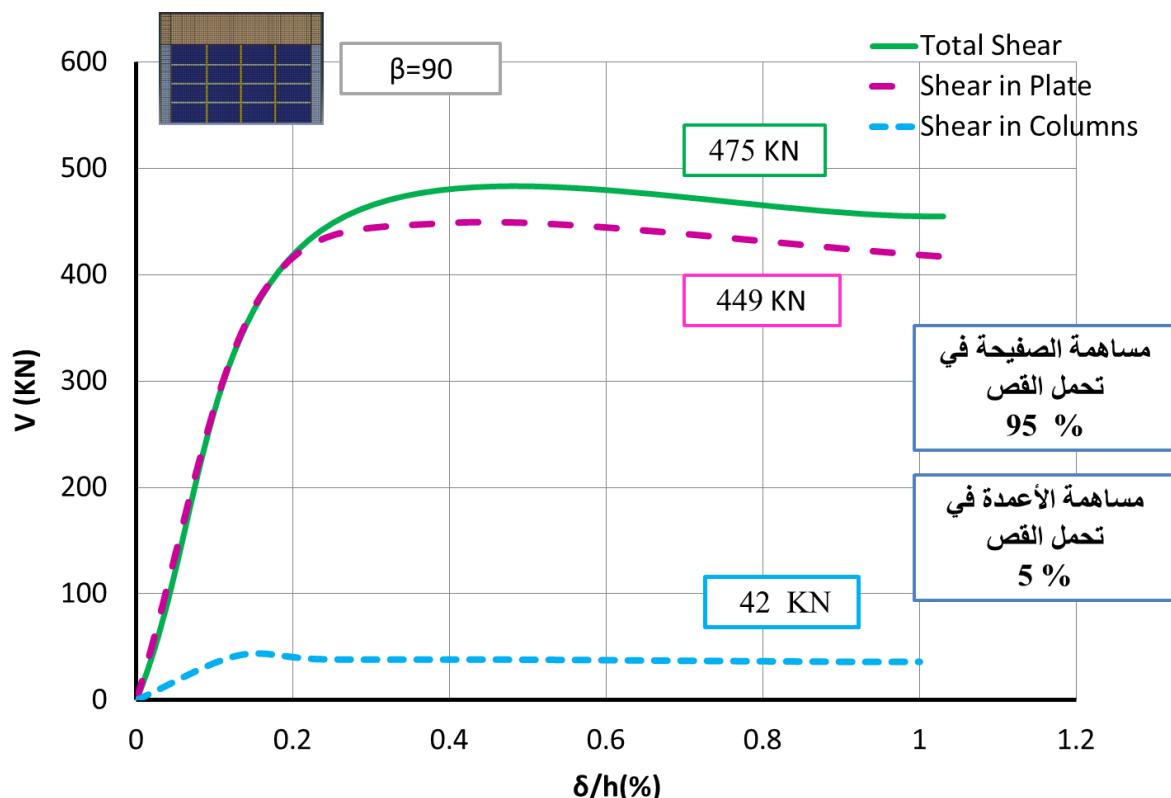
مساهمة الأعمدة مهمة وهذا يدل على تحول الجملة إلى جملة جدار قص معدني ولكنه مقيد بعناصر محاطية مما يرفع مساهمته على القص وهذه هي أهمية دور الإطار البيتوبي.



الشكل (3-52): مساهمة العناصر في تحمل القص لجملة إطار مملوء بصفحة معدنية باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12)



الشكل (3-53): مساهمة العناصر في تحمل القص لجملة إطار مملوء بصفحة معدنية مدعاة بدعامتين ($\beta=60$) باستخدام (ABAQUS,Ver 6.12)



الشكل (3-54): مساهمة العناصر في تحمل القص لجملة إطار مملوء بصفحة معدنية مدعمة بثلاث دعامات في كل اتجاه .(ABAQUS,Ver 6.12)($\beta=90$)



الفصل الرابع

النتائج والتوصيات

Chapter 4

Results and Recommendations

الفصل الرابع

النتائج والتصنيفات

Conclusions and Recommendations

١.٤ النتائج : Conclusions

تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة صفية معدنية للإطارات البيتونية المسلحة على السلوك الزلزالي لهذه الإطارات وتحقق من فعاليتها في زيادة مقاومة ومطاوعة الجملة كل وكذلك دراسة تأثير إضافة الدعامات وتغيير عددها وصلابتها على السلوك الزلزالي للصفية.

حيث تم في هذه الدراسة إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) واستخدم التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة (Materially Non- Linear Analysis,MNA) والانتقالات الكبيرة (Geometrically Non-linearity) معأخذ خاصية التماسك (Bond) بين مادة البيتون و فولاذ التسلیح بعين الاعتبار. ثمت الدراسة بتطبيق تحمل دوري (Cyclic Load) على النماذج المدروسة. في نهاية هذا البحث التوصل إلى النتائج التالية :

١. أدى ملء مجاز الإطار البيتوبي بصفية معدنية إلى رفع مقاومة الجملة الإطارية وتحسين مطاوعة الجملة بشكل ملحوظ حيث وصلت النسبة في هذا البحث إلى 883%， وسبب هذه الزيادة في المقاومة أن الإطار المدروس ذو قساوة للأعمدة منخفضة جداً مقارنة مع قساوة الجائز.
٢. أدت تقوية الصفيحة بعناصر تقوية (Stiffeners) إلى زيادة المقاومة عن الصفيحة بدون عناصر تقوية مابين (20% إلى 34%) في هذا البحث. إلا أن الدعامات أدت إلى تبذيد للطاقة أكبر وذلك بسبب تحول ظاهرة التخريب المرن في حالة الصفيحة النحيلة (Slender Plate) بدون دعامات، إلى ظاهرة الانهيار اللدن (Plastic Collapse) مباشرة والذي يتميز به الصفائح السميكة (Stocky Plate).
٣. بينت هذه الدراسة وجود قساوة أفضلية للدعامات، حيث أن زيادة قساوة الدعامات عن هذه القساوة الأفضلية لن تؤدي إلى زيادة في المقاومة بسبب تلدن الصفيحة السميكة وعدم إمكانية زيادة مقاومتها بعد الخضوع.

٤. تتحمل الصفيحة المعدنية نسبة كبيرة من قوة القص القاعدية، حيث وصلت في هذا البحث إلى ٩٥٪، وبالتالي فإن وجود الصفيحة أدى إلى مشاركة مهملة للأعمدة البيتونية، كما أدت إضافة الدعامات إلى مشاركة أقل للأعمدة. من هنا يمكن تفسير زيادة المقاومة والمطاوعة معاً، حيث أن الجملة تحولت إلى جدار قص معدني فقط.

٢.٤ التوصيات لأعمال مستقبلية :

Recommendations for Future Work

١. استعمال منحنيات تجريبية أكثر تمثيلاً لنصرف مادة الびتون من المنحنيات النموذجية التي تعطيها الكودات، وكذلك تحديد نسبة توسيع وانغلاق الشقوق أثناء الحركة الدورية بشكل أكثر دقة وفي ذلك اقتراب من التصرف الحقيقي للإطار البيتونى.
٢. تم في هذه الدراسة دراسة إطار بيتوبي بفتحة واحدة وطابق واحد، وبالتالي يوصى بتوسيع هذه الدراسة لتشمل إطارات متعددة الفتحات ومتعددة الطوابق.
٣. إجراء دراسة مقارنة بين الصفيحة المعدنية وشبكات التربيط من حيث المقاومة والمطاوعة معاً.
٤. استعمال سجل زلزالي حقيقي كبديل عن الحمولات الدورية المستعملة في هذا البحث، وذلك لإعطاء جملة الإطار المقوى بصفحة معدنية تصرف أكثر واقية على الأحمال الزلزالية.
- ٥.أخذ أثر خطأ الصنع (Imperfection) على الصفيحة المعدنية على تصرف الصفيحة، حيث يؤدي إلى انخفاض المقاومة.

المراجع

References

ABAQUS, Version 6.12, (2012) , " **ABAQUS/Standard User's Manual** ", *ABAQUS Inc., USA.*

Alinia M.M and Dastfan M.(2007)." **Cyclic behaviour, deformability And rigidity of stiffened steel shear panels**", *Journal of Constructional Steel Research*, 63 ,554–563.

Alinia M.M.,GheitasiA.andErfani S.(2009)." **Plastic Shear buckling of unstiffened stocky plates**", *Journal of constructional steel Research*, 65,1631-1643.

Alinia M.M and Habashi H.R,(2010). " **Characteristics of The Wall-Frame Interaction Steel Plate Shear Walls**",*Journal of Constructional Steel Research*, 66 ,150–158.

Alinia M.M and Shirazi R. S,(2009). " **On The Design of Stiffeners Steel Plate Shear Walls**",*Journal of Constructional Steel Research*, 65 ,2096–2077b.

Anil O. and Altin S.(2007)." **An Experimental study on reinforced concrete partially infilledframes**", *Engineering Structures*,29,449-460.

Batikha M. (2008). " **Strengthening of thin metallic cylindrical shells using fibre reinforced polymers**". *PhD thesis, Edinburgh University*, UK .

BS EN 1992-1 (2004). Eurocode2: **Design of Concrete Structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings**, CEN, Brussels.

Building Construction Materials for Earthquake Resistance ,posted by Architect in Earthquake engineering on 2010 (Accessed at 2012) ,available at :

http://articles.arachitectjaved.com/earthquake_resistant_structures/building-constructions-materials-for-earthquake-resistance/#more-63.

Case J. ,Chilver A.H. and Ross C.T.F. (1999). "Strength of materials and structures", John Willy & Sons, Fourth edition, London,UK.

CEB-FIP (2010). "**Model Code 2010**", Volume 1, International Federation for Structural Concrete, Switzerland.

Choi R. and Park H.G. (2011). "**Cyclic Loading Test for Reinforced Concrete Frame with Thin Steel Infill Plate**", Journal of Structural Engineering, 137 ,654-664.

Jankowiak T. and Odygowski T. (2005). "**Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model**", Foundation of Civil and Environmental Engineering , House of Ponznan University of Technology ,(6), 53-69.

Johnson S. (2006)."Comparison of Nonlinear Finite Element Modeling tools for Structural Concrete", CEE561 Project, Illinois University,USA.

Kmiecik P. and Kaminski M . (2011). "**Modeling of Reinforced Concrete Structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration**", Archives of Civil and Mechanical Engineering , XI(3) ,624-636.

Li X .(2007)."**Finite Element Modeling of Skewed Reinforced Concrete Bridge and Reinforcement** ". *PhD thesis ,Auburn university ,Auburn ,Alabama.*

- Moehle J. P. , Hooper J. D. and Lubke C. D. (2008) , “**Seismic Design of Reinforced Concrete Special Moment Frames :A Guide for Practicing Engineers**” , *National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, USA.
- Murty, C.V.R. (2005), “**Earthquake Tips – Learning Earthquake Design and Construction**”, *National Information Center of Earthquake Engineering*, IIT Kanpur, India.
- Penelis G G. and Kappos A J., (1997). “**Earthquake Resistant Concrete Structures**”, E & FN Spon, London, UK.
- Han S.W. , Jee N.Y. (2005) .”**Seismic Behaviors of columns in ordinary and intermediate moment resisting concrete frames**” , *Engineering Structures* , 27(6), 951-962.
- Seilie, I.F., and Hooper, J.D. (2005). “**Steel Plate Shear Walls: Practical Design and Construction**” *Modern Steel Construction*, AISC, v 45, n 4, April, 2005, p 37-43
- Singer J.,Arboc J. and Waller T. (1998).”**Buckling experiments-Experiments methods in buckling of thin –walled structures**”. *John Wiley and sons* ,NewYork, volume 1.
- Singer J.,Arboc J. and Waller T. (2002).”**Buckling experiments-Experiments methods in buckling of thin –walled structures**”. *John Wiley and sons* ,NewYork, volume 2
- Uniform Building Code UBC (1997) , “**Structural Engineering Design international conference of building officials**” .USA Provisions.
- Yoo C.H. and Lee S.C. (2011) ”**Stability of Structures-Principles and Applications**”, *Butterworth, Heinemann*, USA.

- Youssef M.A., Ghaffarzadeh H. and Nehdi M. (2009). "Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing", Engineering Structures, 29, 1561-1568.
- Wahalathantri, B.L., Thambiratnam, D.P., Chan, T.H.T. and Fawzia, S (2011)." A material model for flexural crack simulation in reinforced concrete elements using ABAQUS". *Procee. of the First International Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing*, Queensland University of Technology, Brisbane, pp. 260-264.
- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (٢٠٠٤) ، منشورات نقابة المهندسين، دمشق.
- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (الملحق رقم ٢): تصميم و تحقيق المباني و المنشآت لمقاومة الزلازل (٢٠٠٥). منشورات نقابة المهندسين، سوريا.
- السمار، محمد (٢٠٠٦). "أساسيات ديناميك المنشآت و الهندسة الزلزالية" . دمشق ، سوريا .

Abstract

Using steel material to strengthen structures against seismic load is too efficient because of the resistance and ductility the steel material has.

The aim of this research is to perform an analytical study to explore the efficiency of using a steel plate with and without stiffeners for rehabilitation of moment resisting concrete frames under cyclic load.

Using Finite Element Analysis, Geometrically and Materially Non-linear Analysis, GMNA, is applied to a concrete frame infilled with Steel Plate Shear Wall (SPSW). On the other hand, the bond phenomenon between steel and concrete is undertaken in this study.

This research shows that using steel plate to reinforce concrete frames is much powerful than using other techniques where steel plate can provide the both requirements of resistance and ductility for the whole structure.

Damascus University

Higher Institute of Earthquake Studies and Research

Department of Structural Engineering

The behavior of RC Frame infilled with stiffened steel shear Wall under seismic loads

Thesis Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of
Science in Seismic structural Engineering

By

Rasha Jamal Eddin

Supervisor

Dr Mustafa Batikha

Damascus 2014