

جامعة دمشق

المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية

قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية

**السلوك الزلزالي وأنماط الانهيار لعقد الإطارات البيتونية المسلحة المقواة باستعمال  
البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP)**

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

إعداد:

**المهندسة يارا منى**

إشراف:

**الدكتور المهندس مصطفى بطيخة**

العام الدراسي

2014

جامعة دمشق  
المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية  
قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية

السلوك الزلزالي وأنماط الانهيار لعقد الإطارات البيتونية المسلحة المقواة باستعمال  
البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP)

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

إعداد:

المهندسة يارا منى

إشراف:

الدكتور المهندس مصطفى بطيخة

لجنة الحكم السادة الأساتذة:

أ.د. محمد نزيه اليعشي إيلوش

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية

عضواً

الاختصاص: ديناميك الإنشاءات

كلية الهندسة المدنية

المدرس في قسم الهندسة الإنشائية

عضواً مشرفاً

الاختصاص: إنشاءات المعدنية

د. مصطفى بطيخة

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

المدرس في قسم الهندسة الإنشائية

عضواً

الاختصاص: ميكانيك إنشاءات

د. ربيع الصفدي

جامعة دمشق

## ملخص البحث

## Abstract

تعتمد الإطارات البيتونية من البيتون المسلح بشكل كبير على تصرف عقدها لتأمين المتطلبات الزلزالية من مقاومة ومطاوعة، لذلك كان لابد من تقوية هذه العقد لتحقيق متطلبات التصميم الزلزالي.

تم في هذا البحث استعمال البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) لتقوية العقد الإطارية من البيتون المسلح، حيث يعتبر الـ FRP من التقنيات الحديثة في تدعيم العناصر الإنشائية.

في هذه الدراسة، تم استخدام طريقة العناصر المحدودة و تطبيق حملات دورية وتحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة من أجل تحديد فعالية تطبيق الـ FRP على مستويي المقاومة والمطاوعة، كما تم أخذ أثر التماسك بين عناصر النموذج عند إجراء التحليل العددي.

بين هذا البحث أن فعالية التقوية بالـ FRP تعتمد بشكل كبير على نمط انهيار العقدة. إن التطبيق العملي لشرائح الـ FRP من حيث عدم القدرة على تقوية منطقة التقاء الجائز مع العمود يجعل الانهيار يحدث دائماً داخل العقدة على القص وبعيداً عن المنطقة المقواة، الأمر الذي يجعل استخدام شرائح الـ FRP غير فعال من ناحية المقاومة و المطاوعة معاً، وهو ما بينه هذا البحث.

من جهة أخرى فقد تم تحديد الأبعاد الأفضل لشرائح الـ FRP والتي تحقق التطبيق الاقتصادي لمادة

الـ FRP.

## الحمد والشكر لله عز وجل دائماً وأبداً

.

.

.

.

.

الشكر والتقدير للدعم العلمي والمعنوي الذي قدّمه الدكتور المشرف مصطفى بطيخة والذي أثق بمسيرته العلمية وأحترمها.

Fortune favors the bold.

## فهرس المحتويات

## Contents

I.....	الرموز المستخدمة .....
VII.....	فهرس الجداول .....
VIII.....	فهرس الأشكال .....
<b>1.....</b>	<b>الفصل الاول مقدمة</b>
2.....	1.1 مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل
3.....	1.1.1 جمل جدران القص (Shear Walls)
3.....	2.1.1 الجمل الإطارية (Frame Systems)
4.....	3.1.1 الجمل المختلطة من الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم وجدران القص
5.....	2.1 مقدمة عن جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم
6.....	3.1 لمحة عن الطرق المستخدمة في تدعيم الجمل الإطارية
8.....	4.1 البوليمرات المسلحة بالألياف FRP
10.....	5.1 مشكلة البحث وأهميته
10.....	6.1 هدف البحث
11.....	7.1 محتويات الأطروحة
<b>12.....</b>	<b>الفصل الثاني الدراسة المرجعية</b>
13.....	1.2 مقدمة
13.....	2.2 السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح
13.....	2.2.1 مفهوم المطاوعة Ductility Concept
16.....	3.2 الانهيار الهش و السلوك المطاوع للإطارات
17.....	4.2 ميكانيكيات الانهيار في الإطارات الخرسانية المسلحة
22.....	5.2 نموذج الشد و الضغط في توصيف انهيار عقد الإطارات على القص
25.....	6.2 الخواص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف FRP
29.....	7.2 ميكانيكيات انهيار العناصر المقواة باستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف
30.....	8.2 استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP) في تقوية عقد الإطارات الخرسانية المسلحة لمقاومة الأحمال الزلزالية

40.....	9.2	الخلاصة
41.....		<b>الفصل الثالث التحليل الإنشائي</b>
42.....	1.3	مقدمة
42.....	2.3	توضع التدعيم تنفيذياً لعقد الإطارات الخرسانية باستخدام البوليميرات المسلحة بالألياف
43.....	3.3	توصيف النموذج
46.....		<b>النمذجة باستخدام برنامج ABAQUS, 2012</b>
52.....	4.3	التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة
52.....	1.4.3	العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج Abaqus ver 6.12
52.....	2.4.3	شروط استناد النموذج المدروس
52.....	3.4.3	الأحمال المطبقة على النموذج
53.....	4.4.3	نوع التحليل المستخدم في النموذج
53.....	5.4.3	توصيف المواد المستخدمة في النمذجة
57.....	5.3	نمذجة ظاهرة التماسك
57.....	1.5.3	التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح
62.....	2.5.3	نمذجة التماسك لمادة FRP
65.....	6.3	دراسة أثر تقارب الشبكة
66.....	7.3	النموذج المدروس في برنامج ABAQUS ver 6.12
68.....	8.3	مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية للدراسة المرجعية
68.....	1.8.3	النموذج T0 قبل التدعيم
71.....	2.8.3	النموذج TR1 بعد التدعيم
74.....	3.8.3	مناقشة النتائج بين الدراسة التجريبية والتحليلية
77.....	9.3	الدراسة التحليلية ضمن هدف البحث
77.....	1.9.3	تحليل النموذج بمواصفات محلية قبل وبعد التدعيم (عقدة عادية)
82.....	2.9.3	أثر تغيير قساوة الجائر
87.....	3.9.3	تحليل نموذج (عقدة متوسطة)
93.....	4.9.3	مقارنة نتائج النموذجين التحليليين لعقدة عادية (MOR) ومتوسطة (MIR)
93.....	10.3	تأثير تغيير سماكة شريحة FRP
95.....	11.3	تأثير تغيير طول شريحة FRP
100.....		<b>الفصل الرابع</b>
100.....	4.1	النتائج (Conclusions)
102.....	4.2	التوصيات (Recommendations for future work)
104.....		المراجع (Refernces)

## الرموز المستخدمة

## Symbols

الرموز المستخدمة في البحث:

$A_{\text{contact}}$	مساحة سطح الاتصال (Surface Contact) للناض بين البيتون و الحديد
$d$	قطر قضيب التسليح ( Bar Reinforcement Diameter )
$d_c$	معامل انخفاض القساوة على الضغط (Uniaxial compression damage variable)
$d_t$	معامل انخفاض القساوة على الشد (Uniaxial Tension Damage Variable)
$E_0$	معامل المرونة الابتدائي (Initial modulus of elasticity)
$E_c$	معامل المرونة للبيتون (Modulus of elasticity of Concrete)
$E_{cm}$	معامل المرونة الثاني للبيتون (Secant modulus of elasticity of concrete)
$E_s$	معامل المرونة لحديد التسليح (Modulus of elasticity of Reinforcement)
$F$	قوة التماسك في النابض (Bond Force at Spring)
$f_c$	مقاومة البيتون على الضغط (The compressive strength of concrete )
$f_{ck}$	المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون على الضغط (Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days)
$f_{cm}$	المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط (Compressive strength Mean value of concrete cylinder)
$f_{ctm}$	المقاومة المتوسطة للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد (strength of concrete Mean value of tensile )
$f_y$	إجهاد الخضوع لحديد التسليح ( Yield stress of reinforcement)

عزم عطالة العمود (Moment of Inertia of column)	$I_c$
عزم عطالة الجانز (Moment of Inertia of beam)	$I_b$
الطول الكلي للظفر في النموذج	$L$
طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقدة آخذين بالحسبان القوى المحورية التي تقابل أقل قيم للعزوم	$M_{c1}, M_{c2}$
طاقات تحمل العزوم للجوائز عند أوجه العقدة	$M_{b1}, M_{b2}$
عدد النوابض المحيطة بقضيب التسليح	$n$
قيمة انزلاق قضبان التسليح (Slip of reinforcement bar)	$S$
قيمة انزلاق قضبان التسليح عند وصول إجهاد التماسك بين البيتون وحديد التسليح إلى القيمة الأعظمية $\tau_{max}$	$S_1$
قيمة انزلاق قضبان التسليح عند بدء انخفاض قيمة إجهاد التماسك عن القيمة الأعظمية $\tau_{max}$	$S_2$
قيمة انزلاق قضبان التسليح عند وصول إجهاد التماسك بين البيتون وحديد التسليح إلى القيمة الأصغرية $\tau_f$	$S_3$
انزلاق حديد التسليح عند وصوله للسيلان	$S_y$
معامل استرداد القساوة على الضغط (Recovery Modulus of the compressive stiffness)	$w_c$
معامل استرداد القساوة على الشد (Recovery Modulus of the tensile stiffness)	$w_t$
معامل يستخدم لحساب إجهاد التماسك بين البيتون وحديد التسليح	$\alpha$
الوزن الحجمي للبيتون (Unit weight of the concrete)	$\gamma_c$
تشوه الضغط اللدن المتبقي (Compressive Equivalent Plastic Strain)	$\epsilon_c^{pl}$
تشوه الضغط غير المرن (Compressive Inelastic Strain)	$\epsilon_c^{in}$
تشوه الضغط الكلي للبيتون عند نقطة معينة (Compressive total Strain)	$\epsilon_c$
تشوه الضغط المرن (Compressive Elastic Strain)	$\epsilon_{oc}^{el}$
تشوه الشد اللدن المتبقي (Tensile Equivalent Plastic Strain)	$\epsilon_t^{pl}$
تشوه التشقق (Cracking Strain)	$\epsilon_t^{ck}$
تشوه الشد الكلي عند نقطة معينة (Tensile total Strain)	$\epsilon_t$



تشوه الشد المرن (Tensile Elastic Strain)	$\epsilon_{ot}^{el}$
التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد $f_{ctm}$	$\epsilon_{c1}$
التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط (Ultimate compressive strain in the concrete)	$\epsilon_{cu1}$
التشوه النسبي الابتدائي للبيتون على الشد عند ذروة الإجهاد $f_{ctm}$ في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد	$\epsilon_{to}$
التشوه الحدي للبيتون على الشد في المنحني الخطي المبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الشد	$\epsilon_{total}$
التشوه النسبي للحديد عند الخضوع (Relative strain yielding in the steel)	$\epsilon_y$
قيمة إجهاد التماسك بين البيتون و حديد التسليح (Bond Stress)	$\tau$
قيمة إجهاد التماسك الأعظمي بين البيتون و حديد التسليح (Ultimate Bond Stress)	$\tau_{max}$
قيمة إجهاد التماسك الأعظمي بين مادة FRP و المقطع المقوى (Ultimate Bond Stress)	$\tau_m$
قيمة إجهاد التماسك الأصغري بين البيتون و حديد التسليح (Minimum Bond Stress)	$\tau_f$
إجهاد التماسك عند وصول حديد التسليح إلى الخضوع (Yielding Bond Stress)	$\tau_y$
معامل يستخدم في حساب إجهاد الضغط في البيتون عند نقطة معينة	$\eta$
معامل الاحتكاك (Friction coefficient)	$\mu$
معامل بواسون للبيتون (Poisson's ratio of concrete)	$\nu_c$
معامل بواسون للحديد (Poisson's ratio of steel)	$\nu_s$
معامل بواسون لمادة FRP (Poisson's ratio of FRP)	$\nu_f$
القيمة الحدية لإجهاد البيتون على الضغط (Ultimate compressive Stress of concrete)	$\sigma_{cu}$
قيمة إجهاد الضغط في البيتون (compressive stress of concrete)	$\sigma_c$
قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد (Ultimate tensile stress of concrete)	$\sigma_{to}$

فهرس الجداول

Tables List

41.....	<b>الفصل الثالث</b>
46.....	<b>الجدول (1):</b> خصائص الشرائح المستخدمة في تدعيم العقدة ( <i>El-Amoury and Ghobarah, 2002</i> )
55.....	<b>الجدول (2):</b> المقاومات و التشوهات النسبية للبيتون. ( <i>Eurocode 2, 2004</i> )
62.....	<b>الجدول (3):</b> قيم بارامترات منحني علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح ( <i>CEB-FIP,2010</i> )
74.....	<b>الجدول (4):</b> مقارنة فعالية التدعيم مع ودون تغيير مقاومة البيتون (الدراسة الحالية)
86.....	<b>الجدول (5):</b> فعالية التدعيم بشرائح FRP على المقاومة العظمى عند تطبيق الحمولة الدورية للأعلى و تغيير نسبة $\Sigma Mc/Mb$ .
86.....	<b>الجدول (6):</b> فعالية التدعيم بشرائح FRP على المقاومة العظمى عند تطبيق الحمولة الدورية للأسفل و تغيير نسبة $\Sigma Mc/Mb$ .
86.....	<b>الجدول (7):</b> فعالية التدعيم بشرائح FRP من حيث المطاوعة وقيم الطاقة المبددة عند انتقال نسبي 2.28% عند تغيير نسبة $\Sigma Mc/Mb$ .
96.....	<b>الجدول (8):</b> مقارنة فعالية التدعيم بشرائح FRP للنموذجين بعقدة عادية و متوسطة من ناحية مقاومة العقدة.
96.....	<b>الجدول (9):</b> مقارنة فعالية التدعيم بشرائح FRP للنموذجين بعقدة عادية و متوسطة من ناحية مقاومة العقدة.
101.....	<b>الجدول (10):</b> مقارنة فعالية التدعيم بأخذ الأبعاد الأفضلية للسمائة و الطول.

فهرس الأشكال

Figures List

- الفصل الأول** 1.....
- الشكل (1):** التحقق من ملائمة الأداء في المبنى و الجمل الأنشائية المختلفة المقاومة للزلازل. (ATC-40, 1996)
- 2.....
- الشكل (2):** توضع وسلوك جدران القص .
- 3.....
- الشكل (3):** التطور الأمثل للمفاصل اللدنة في الإطارات. (Sung Eom et al., 2011)
- 4.....
- الشكل (4):** التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجملة الثنائية (Penelis and Kappos, 1997)
- 5.....
- الشكل (5):** تفاصيل التسليح الأدنى في أعمدة الجمل الإطارية (Han and Jee, 2005)
- 7.....
- الشكل (6):** طرق تقليدية في تدعيم عناصر الإطارات بقمصان بيتونية أو فولاذية (Murty, 2006)
- 8.....
- الشكل (7):** مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة للإطار. (Rai, 2009)
- 9.....
- الشكل (8):** المواد الداخلة في تركيب FRP و سلوكها (Baghpour, 2012)
- 10.....
- الشكل (9):** علاقة إجهاد-تشوه لأنواع متعددة من مادة FRP مقارنة مع الفولاذ. (Baghpour, 2012)
- 11.....
- الفصل الثاني** 14.....
- الشكل (1):** المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي. (Eurocode 8-2, 2005)
- 15.....
- الشكل (2):** حدود المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي. (Eurocode 8-2, 2005)
- 15.....
- الشكل (3):** الأداء الأفضل للجمل الإطارية بسلوك عمود قوي - جائز ضعيف. (Murty, 2006)
- 16.....
- الشكل (4):** أنواع الانهيارات التي تتعرض لها الأبنية و الجمل الإطارية.
- 17.....
- الشكل (5):** النمط العام لميكانيكيات الانهيار في الإطارات. (Ghobarah and Biddah, 1999)
- 18.....
- الشكل (6):** تشكل مفصل لدن عند التقاء الجائز بالعقدة على يمين و يسار العقدة.
- 18.....
- الشكل (7):** شرط تحقيق السلوك المطاوع للإطار. (ACI 318, 2008)
- 19.....
- الشكل (8):** سلوك الجوائز على الأحمال الزلزالية. (Penelis and Kappos, 1997)
- 20.....

- الشكل (9): علاقة إجهاد-تشوه لأنواع متعددة من مادة FRP مقارنة مع الفولاذ.  
11..... (Baghpour, 2012)
- الفصل الثاني** 14.....
- الشكل (1): المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي.  
15..... (Eurocode 8-2, 2005)
- الشكل (2): حدود المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي.  
15..... (Eurocode 8-2, 2005)
- الشكل (3): الأداء الأفضل للجمل الإطارية بسلوك عمود قوي - جانز ضعيف.  
16..... (Murty, 2006)
- الشكل (4): أنواع الانهيارات التي تتعرض لها الأبنية و الجمل الإطارية.  
17.....
- الشكل (5): النمط العام لميكانيكيات الانهيار في الإطارات.  
18..... (Ghobarahand Biddah, 1999)
- الشكل (6): تشكل مفصل لدن عند التقاء الجانز بالعقدة على يمين و يسار العقدة.  
18.....
- الشكل (7): شرط تحقيق السلوك المطاوع للإطار.  
19..... (ACI 318, 2008)
- الشكل (8): سلوك الجوائز على الأحمال الزلزالية.  
20..... (Penelis and Kappos, 1997)
- الشكل (9): تشكل مفصل لدن في العمود أعلى و أسفل العقدة  
20..... (Penelis and Kappos, 1997)
- الشكل (10): حالات تشكل المفاصل اللدنة.  
21..... (Seaoc blue book, 1997)
- الشكل (11): أنماط انهيار عقد الإطارات البيتونية المسلحة على الأحمال الزلزالية.  
21..... (Penelis and Kappos, 1997)
- الشكل (12): نموذج الشد و الضغط (Strut and Tie)  
22..... (ACI 318, 2008)
- الشكل (13): نموذج الشد و الضغط لتوصيف انهيار العقدة على القص.  
22..... (Park and Paulay, 1997)
- الشكل (14): نموذج الشد و الضغط لتوصيف انهيار العقدة على القص  
22..... (Park and Paulay, 1997)
- الشكل (15): اتساع مساحة حقل الضغط حسب جودة التماسك بين حديد التسليح و البيتون.  
25..... (Shiohar, 1998)
- الشكل (16): مكونات مادة FRP و الخواص الميكانيكية لكل منها.  
25..... (Reddy, 1997)
- الشكل (17): تأثير ميل ألياف مادة FRP في المادة الرابطة على مقاومتها على الشد.  
27..... (Baghpour, 2012)
- الشكل (18): أنماط ترتيب الألياف في شريحة FRP.  
28..... (Batikha, 2008)
- الشكل (19): علاقة (إجهاد - تشوه): لمادة FRP.  
28..... (Concrete society, 2004)
- الشكل (20): ميكانيكيات انهيار جانز مقوى بمادة FRP.  
29..... (Smith and teng, 2001)

- 30..... الشكل(21): تقوية العناصر الإنشائية باستخدام مادة FRP.  
الشكل(22): آلية التدعيم لبناء تجريبي.  
31..... (Di Ludovico, 2007)
- 32..... الشكل(23): تفاصيل تدعيم العقد بشرائح مادة FRP.  
(Di Ludovico, 2007)
- 33..... الشكل(24): العلاقة بين إجهاد القص الشد الرئيسي  
لعقدة ركنية في الطابق الثالث من البناء المدروس.  
(Di Ludovico, 2007)
- 34..... الشكل(25): نموذج العقدة المدروسة ومخطط التدعيم  
بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف.  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 35..... الشكل(26): شكل الانهيار للنماذج TR1، TR2، TR0.  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 36..... الشكل(27): مغلف الحلقة الهستيرية للعلاقة  
بين الانتقال في طرف الظفر و الحمولة المطبقة للنماذج المدروسة.  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 36..... الشكل(28): مخطط الطاقة المبذولة للنماذج المدروسة.  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 37..... الشكل(29): تفاصيل تدعيم العقد بشرائح مادة GFRP.  
(Danesh et al., 2008)
- 37..... الشكل(30): علاقة قوة – انتقال في طرف الجائز للعقدة قبل و بعد التدعيم.  
(Danesh et al., 2008)
- 38..... الشكل(31): فعالية تدعيم العقدة بشرائح مادة FRP.  
(السباعي، 2012)
- 39..... الشكل(32): تأثير تغير امتداد شريحة FRP النسبي على نسبة الحمولة  
الحرجة مع FRP إلى حمولة الانهيار بدون FRP.  
(السباعي، 2012)
- 40..... الشكل(33): تأثير السماكة النسبية FRP على الحمولة الحرجة  
النسبية مع FRP إلى الحمولة الانهيار بدون FRP.  
(السباعي، 2012)
- 42..... **الفصل الثالث**
- 43..... الشكل(1): آليات التدعيم الممكنة لعقد الإطارات الخارجية باستخدام FRP.  
(U. Akguzel et al., 2011)
- 44..... الشكل(2): العقدة المدروسة وشكل تطبيق الحمولة الدورية.  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 44..... الشكل(3): تفاصيل تسليح العقدة المدروسة (T0).  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 45..... الشكل(4): الطول المناسب لتأمين إرساء داخل العقدة.  
(سمارة، 2006)

- 46..... الشكل (5): تفاصيل تسليح العقدة المدروسة بعد التدعيم (TR1)  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 47..... الشكل (6): تمثيل العنصر المساحي ذو أربع عقد.  
(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)
- 47..... الشكل (7): تمثيل العنصر الشبكي بعقدتين.  
(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)
- 49..... الشكل (8): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط.  
(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)
- 50..... الشكل (9): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد.  
(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)
- 51..... الشكل (10): التحميل الدوري اللاخطي (شد - ضغط - شد):  
مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ( $w_t=0$  ،  $w_c=1$ ).  
(ABAQUS 6.12 Documentation , 2012)
- 52..... الشكل (11): مخطط الزمن- الانتقال المطبق Displacement Time History  
(El-Amoury and Ghobarah, 2002)
- 53..... الشكل (12): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون على الضغط.  
(Eurocode 2, 2004)
- 55..... الشكل (13): مخطط الاجهاد- التشوه النسبي المبسط للبيتون على الشد المعتمد في النمذجة  
الشكل (14): مخطط الاجهاد- التشوه النسبي لحديد التسليح  
الطولي و العرضي المعتمد في النمذجة.
- 57..... الشكل (15): أنواع التشققات التي تحصل في المقطع البيتوني المسلح.  
(BS 5400-part4, 1990)
- 58..... الشكل (16): القوى التي تعبر عن ظاهرة التماسك بين قضبان التسليح و البيتون.  
(ACI-8, 2008)
- 58..... الشكل (17): أشكال مختلفة من النوابض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك  
(CEB-FIP,2000)
- 60..... الشكل (18): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح  
Bond- Slip relationship  
(CEB-FIP,2000)
- 62..... الشكل (19): شكل النابض المستخدم في النمذجة من نوع Spring2.  
(CEB-FIP,2000)
- 62..... الشكل (20): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك بين  
البيتون وفولاذ التسليح المعتمد في النمذجة.
- 63..... الشكل (21): التشقق في منطقة اتصال مادة FRP بالبيتون.  
(CEB-FIP,2000)
- 63..... الشكل (22): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك لمادة FRP.  
(CEB-FIP,2000)
- 64..... الشكل (23): الإجهادات ومسافات الانزلاق في شريحة FRP.  
(CEB-FIP,2000)
- 65..... الشكل (24): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك لشريحة FRP
- 65..... الشكل (25): دراسة أثر تقارب تقسيم الشبكة للنموذج المدروس مبيناً القوة العظمى و زمن كل تحليل.
- 66..... الشكل (26): شكل نموذج العقدة المدروسة موضحاً عليه شبكة التسليح باستخدام برنامج  
(ABAQUS Ver6.12)
- 67.....

- الشكل (27): توضع النوايض في نمذجة ظاهرة التماسك بين الحديد و البيتون باستخدام  
67..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (28): شكل نموذج العقدة المدروسة موضحاً عليه  
توضع شرائح FRP بعد التدعيم و توضع النوايض الممثلة لظاهرة التماسك باستخدام برنامج  
68..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (29): الانهيار الحاصل في العقدة لكل من النموذجين التحليلي و التجريبي.  
الشكل (30): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة قبل التدعيم باستخدام برنامج  
70..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (31): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة قبل التدعيم من الدراسة التجريبية.  
71..... (Amoury and Ghobarah, 2002)
- الشكل (32): مغلف الانتقال- قوة لكل من الدراسة التحليلية و التجريبية.  
71..... الشكل (33): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة بعد التدعيم باستخدام برنامج  
72..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (34): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة بعد التدعيم من الدراسة التجريبية.  
73..... (Amoury and Ghobarah, 2002)
- الشكل (35): مغلف الانتقال- قوة لكل من الدراسة التحليلية و التجريبية.  
73..... الشكل (36): مقارنة مغلف الانتقال- قوة لكل من النماذج  
بعد التدعيم مع و بدون تغيير مقاومة البيتون .  
74..... الشكل (37): النماذج التجريبية في الدراسة المرجعية للعقدة قبل التدعيم.  
75..... (Amoury and Ghobarah, 2005)
- الشكل (38): تفاصيل النماذج T-B11 و T-B12  
76..... (Amoury and Ghobarah, 2005)
- الشكل (39): الحلقات الهستيرية للنموذجين T-B11 و T-B12  
77..... (Amoury and Ghobarah, 2005)
- الشكل (40): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة المتوسطة  
قبل وبعد التدعيم من الدراسة التجريبية.  
78..... (Amoury and Ghobarah, 2005)
- الشكل (41): مخطط الطاقة المبذودة للنماذج المدروسة.  
78..... (Amoury and Ghobarah, 2005)
- الشكل (42): النموذج قبل التدعيم (MO).  
79..... الشكل (43): الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة  
للمنموذج قبل التدعيم من الدراسة التحليلية.  
79..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (44): النموذج بعد التدعيم (MOR).  
80..... الشكل (45): الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج بعد التدعيم من الدراسة التحليلية.  
81..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (46): مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة  
للمنموذج قبل و بعد التدعيم من الدراسة التحليلية.  
81..... (ABAQUS Ver6.12)

- الشكل (47): تعريف الطاقة المبذدة خلال دورة واحدة من مساحة الحلقة الهيسنيرية بتطبيق الحمولة و إزالتها.  
82..... (antonine-education.co.uk), accessed 2013
- الشكل (48): مخطط الطاقة المبذدة للنماذج التحليلية المدروسة قبل وبعد التدعيم.  
83..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (49): شكل توضيحي لتغيير نسبة عزوم الأعمدة إلى عزم الجانز عن طريق تغيير مقطع الجانز.  
83.....
- الشكل (50): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 300 cm قبل وبعد التدعيم.  
84..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (51): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 500 cm قبل وبعد التدعيم.  
84..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (53): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 600 cm قبل وبعد التدعيم.  
85..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (53): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 700 cm قبل وبعد التدعيم.  
85..... (ABAQUS Ver6.12)
- الشكل (54): علاقة بين نسبة المقاومة العظمى للنموذج قبل و بعد التدعيم إلى نسبة مجموع عزوم العمود إلى الجانز  $\Sigma Mc/Mb$  للنماذج التحليلية السابقة.  
87.....
- الشكل (55): علاقة بين كمية الطاقة المبذدة التراكمية للنماذج بعد التدعيم إلى نسبة مجموع عزوم العمود إلى الجانز  $\Sigma Mc/Mb$  للنماذج التحليلية السابقة.  
88.....
- الشكل (56): النموذج لعقدة متوسطة (MI).  
89.....
- الشكل (57): مراحل انهيار النموذج قبل التدعيم لعقدة متوسطة.  
90..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (58): الحلقات الهيسنيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج قبل التدعيم لعقدة متوسطة.  
91..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (59): النموذج بعد التدعيم لعقدة متوسطة (MIR).  
91.....
- الشكل (60): الحلقات الهيسنيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج بعد التدعيم لعقدة متوسطة.  
92..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (61): مقارنة مغلفات الحلقات الهيسنيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج قبل و بعد التدعيم لعقدة متوسطة.  
93..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (62): مخطط الطاقة المبذدة للنماذج التحليلية المدروسة قبل وبعد التدعيم.  
94..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (63): مقارنة مغلفات الحلقات الهيسنيرية لمنحنيات الانتقال- قوة لعقدة عادية و متوسطة، بعد التدعيم.  
95..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (64): مخطط الطاقة المبذدة لعقدة عادية و متوسطة، بعد التدعيم.  
95..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (65): سماكة شرائح البولميرات المسلحة بالألياف FRP.  
97.....



- الشكل (66): تأثير تغير امتداد شريحة FRP النسبي على نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم.  
97..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (67): تأثير تغير السماكة النسبية على نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم.  
98..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (68): الفرق بين التحليل باستخدام الدفع المتتالي (Pushover Analysis):  
والحمولة الدورية (Cyclic Load)  
98..... (Eurocode 8-2, 2005)
- الشكل (69): أبعاد شرائح البولميرات المسلحة بالألياف FRP.  
99.....
- الشكل (70): تأثير تغير طول الشريحة على امتداد الجائز على نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم.  
100..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (71): نسبة طول الشريحة إلى طول الظفر إلى نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم.  
100..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (73): مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة  
لعقدة متوسطة قبل وبعد التدعيم أفضلية لشرائح FRP.  
101..... (ABAQUS ver.6.12)
- الشكل (73): مخطط الطاقة المبددة لعقدة لعقدة متوسطة قبل وبعد التدعيم بأبعاد مثلى لشرائح FRP.  
102..... (ABAQUS ver.6.12)

## الفصل الأول

### مقدمة (Introduction)

# الفصل الأول

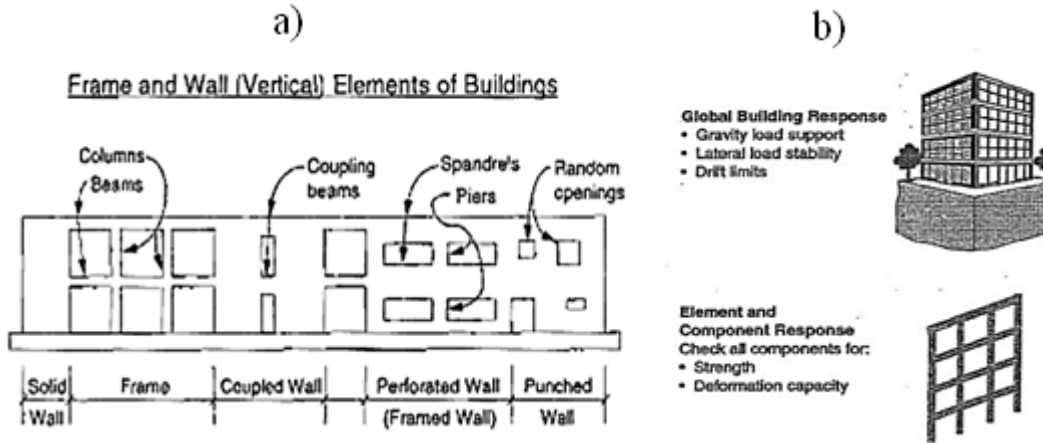
## مقدمة

### (Introduction)

#### 1.1 مقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل

#### Introduction to structural seismic resisting systems

تعتمد معايير مقاومة المنشآت للزلازل بحيث يتمكن المنشأ من الصمود بما تبديه جملته الإنشائية من مطاوعة (Ductility) وصلابة (Stiffness) كافتين باختلاف نسب كل من المفهومين السابقين تبعاً لنوع الجملة نفسها حيث تعرف المطاوعة بأنها القدرة على تحمل تشوهات زائدة عن مرحلة التصرف المرن للمنشأ قبل حدوث الانهيار عن طريق تشكل مفاصل لدنة، أما صلابة المنشأ فتعبر عن قدرة المنشأ من الحد من الانتقالات الأفقية الكبيرة التي يمكن أن تحدث نتيجة الحركة الزلزالية. يوضح الشكل (1-1) الجمل الأساسية المقاومة للزلازل والمستخدم في المنشآت الشكل (1-1-a)، إضافة إلى المتطلبات الأساسية الشكل (1-1-b) التي تهدف إلى ضمان سلامة السكان (Life safety) وتقليل الخسائر البشرية إلى أدنى حد ممكن في حالة تعرض المنطقة إلى زلازل كبيرة وعلى فترات زمنية مختلفة (ATC40- 1996).



الشكل (1-1): التحقق من ملائمة الأداء في المبنى و الجمل الإنشائية المختلفة المقاومة للزلازل. (ATC-40, 1996)

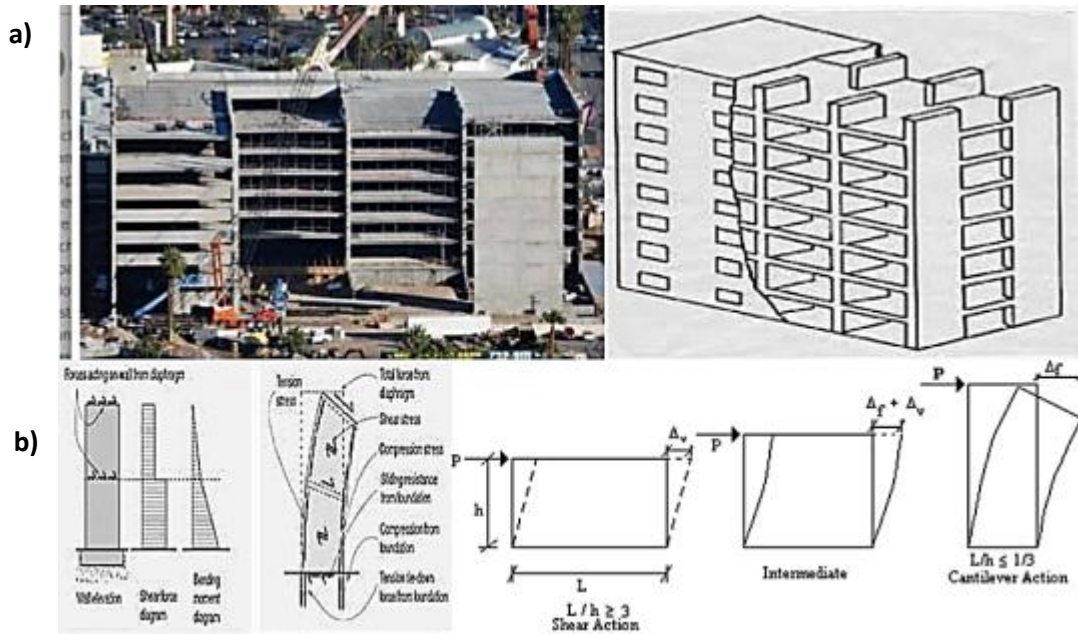
بشكل عام يمكن مقاومة تأثير الزلازل على الأبنية من خلال أسلوبين أساسيين هما (ATC 40- 1996) :

1. تصميم منشأ مقاوم قادر على مقاومة الحمولات الزلزالية بواسطة صلابته فقط.
  2. تصميم منشأ مطاوع قادر على امتصاص طاقة الزلازل بتشوهات مقبولة.
- عادة يكون استخدام أيّاً من الحلين السابقين غير مجدٍ إقتصادياً إذا تم استخدامه بمعزل عن الأسلوب الآخر، ويكون الحل الأمثل بتصميم منشأ يقاوم الأحمال الزلزالية بواسطة صلابته ومطاوعته بأن معاً.

يمكن تقسيم العناصر الإنشائية الأساسية المستخدمة في مقاومة الزلازل إلى ثلاث وحدات أساسية وهي:  
"جدران قص – الجمل الإطارية – والجمل المختلطة" (ملحق الكود العربي السوري (2)، 2005).

### 1.1.1 جمل جدران القص (Shear Walls)

هي عناصر ذات صلابة كبيرة مقارنةً بأعمدة الإطارات، وبالتالي تؤدي إلى زيادة صلابة المنشأ و تخفيض الانتقالات التي تفيد في انخفاض التأثيرات من الدرجة الثانية ( $P-\Delta$ ) مما يزيد الأمان ضد الانهيار كما تخفف هذه الصلابة من الضرر في العناصر غير الإنشائية وتخفض كثيراً من التأثيرات النفسية على سكان الطوابق العليا في الأبنية العالية التي تسببها الانتقالات الناتجة عن الزلازل، إلا أن أحد سلبياتها انخفاض المطاوعة (سمارة، 2006). يوضح الشكل (a-2-1) توضع و سلوك جدران القص حيث يختلف تصرف جدار القص باختلاف ارتفاعه ( $h$ ) إلى طول مقطعه ( $L$ ) الشكل (b-2-1).



(a) توضع جدران القص. (b) سلوك جدران القص (Gils، 2012).

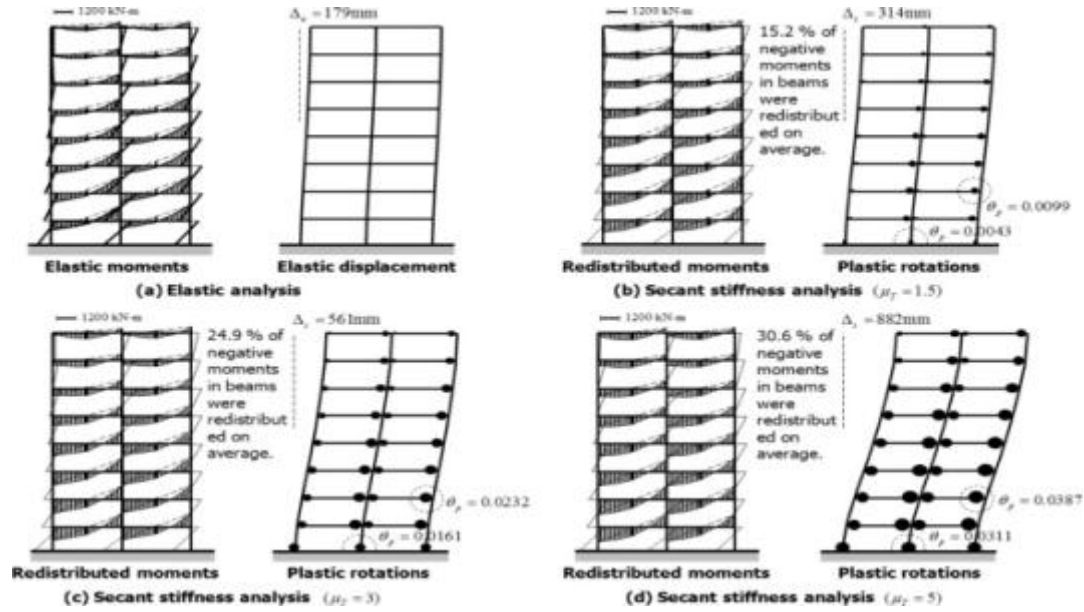
الشكل (2-1): توضع و سلوك جدران القص.

### 2.1.1 الجمل الإطارية (Frame Systems)

وهي جمل مؤلفة من جوائز (عناصر أفقية) وأعمدة (عناصر شاقولية) تربط بينها عقد وتختلف عن بقية الجمل الإنشائية بكون انتقالاتها تنتج بشكل أساسي عن تشوهات الانعطاف في عناصرها، حيث تؤمن صلابة الانعطاف (Moment Resistance) الاستقرار الجانبي للمنشأ.

تكمّن الفكرة الأساسية في الجمل الإطارية الخاصة، في إمكانية تبديد الطاقة نتيجة تشكل مفاصل لدنة في الجوائز ولهذا يجب أن تمتلك الأعمدة طاقة تحمل على الانعطاف أكبر من طاقة تحمل الجوائز، أي يتم حصر

اللدونة في الجوائز، إلا أن أحد مساوئه هو السماح بحدوث انتقالات كبيرة للمبنى (سمارة, 2006). يوضح الشكل (3-1) السلوك المطاوع للإطارات، وتطور المفاصل اللدنة تبعاً لتقدم عملية التحليل.

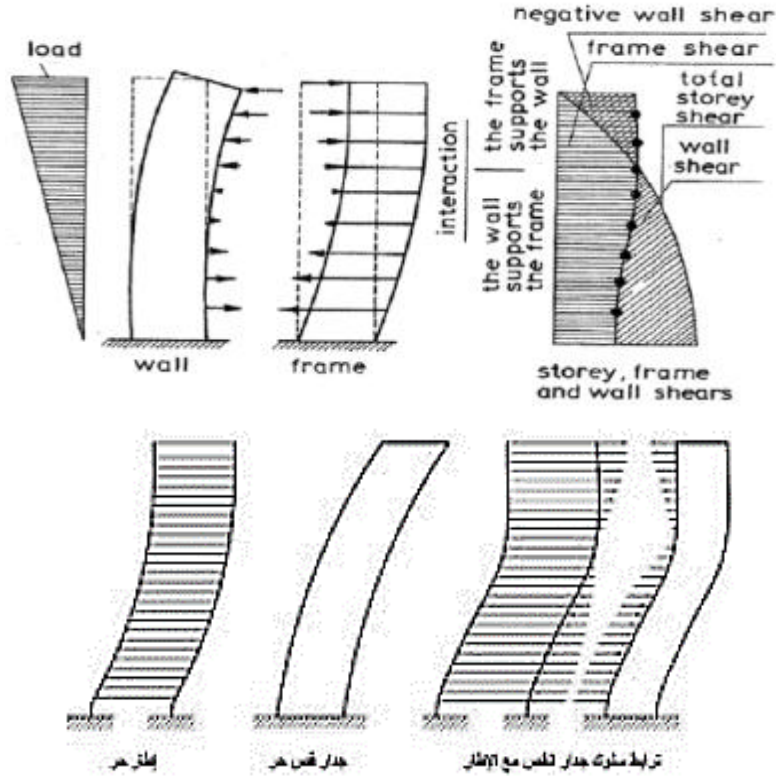


الشكل (3-1): التطور الأمثل للمفاصل اللدنة في الإطارات.  
(Sung Eom et al., 2011)

### 3.1.1 الجمل المختلطة من الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم وجدران القص (Dual Systems of Concrete Moment Resisting Frames and Shear Walls)

تتألف هذه الجمل من إطارات بيتونية مسلحة وجدران قص، حيث تصمم الإطارات المقاومة للعزوم لتحتمل 25% على الأقل من قوة القص القاعدية التصميمية حتى لو كانت نسبة مساهمتها أقل من ذلك (ملحق الكود العربي السوري رقم (2), 2005).

إن آلية عمل هذا النوع من الجمل تكمن في كون الإطار يعمل بشكل فعال في الجزء العلوي من المنشأ بينما يقاوم جدار القص القوى الأفقية في الجزء السفلي من المنشأ (الكود العربي السوري, 2005) حيث يوضح الشكل (4-1) التفاعل بين الإطار وجدار القص في الجملة الثنائية (Penelisand Kappos, 1997). تؤمن هذه الجملة خاصية المطاوعة من خلال مساهمة الإطارات إضافة إلى تخفيف انتقالات المبنى من خلال مساهمة جدران القص.



الشكل (4-1): التفاعل بين الإطار و جدار القص في الجملة الثنائية.  
(Penelis and Kappos, 1997)

## 2.1 مقدمة عن جمل الإطارات الخرسانية المقاومة للعزوم

### Introduction to Concrete Moment Resisting Frame Systems

يعرف الإطار المقاوم للعزوم على أنه الإطار الذي تستطيع عقدة اتصال عناصره الشاقولية والأفقية أن تقاوم القوى وعزوم الانحناء المؤثرة بشكل رئيسي من أحمال الزلازل، مع الأخذ بالحسبان القوى وعزوم الانحناء الناتجة من الأحمال الشاقولية، حيث يبذل تلك الطاقة بتشكيل مفاصل لدنة تختلف أماكن تشكلها تبعاً لطريقة تصميم تلك الإطارات.

صنف (ملحق الكود العربي السوري رقم (2) ، 2005 ) الإطارات المقاومة للعزوم تبعاً لتفاصيل التسليح ودرجة المطاوعة (Ductility) إلى ثلاثة أنواع:

#### A- الإطار العادي المقاوم للعزوم (Ordinary Moment Resisting Frame - OMRF)

هو إطار مقاوم للعزوم لكنه لا يحقق التفاصيل الخاصة بمتطلبات سلوك المطاوعة (Ductility)، ولا يسمح باستخدامه في المنطقتين الزلزليتين (3) و(4). الشكل (a-5-1)

#### B - الإطار المتوسط المقاوم للعزوم (Intermediate Moment Resisting Frame - IMRF)

هو إطار مقاوم للعزوم مفصل بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة بدرجة تتوسط ما بين الإطار العادي المقاوم للعزوم و الإطار الخاص المقاوم للعزوم ، وفيه تصمم العناصر لمقاومة قوة قص تحسب من المقاومات الأسمية للعناصر عند العقد، و لا يسمح باستخدامه في المنطقة الزلزالية (4). الشكل (b-5-1)

### C - الإطار الخاص المقاوم للعزوم (Special Moment Resisting Frame - SMRF)

هو إطار مقاوم للعزوم يفصل تسليحه بشكل خاص لتأمين سلوك المطاوعة (Ductility)، ويختلف عن الإطار المقاوم للعزوم العادي بأن قطاعاته مصممة لمقاومة قوى قص حسابية تحدد من قيم طاقات العزوم عند العقد، بعد تصعيدها بمعامل يساوي 1.25 وهو ناتج عن المقاومة الإضافية للمادة في مرحلة ما بعد الخضوع  $(1.25f_y)$ ، كما تتم عملية التراكب بين قضبان التسليح في الأعمدة في الثلث الوسطي من العمود أو منطقة انعدام العزم على الأحمال الأفقية الشكل (c-5-1).

Ordinary Moment Resisting Concrete Frame	Intermediate Moment Resisting Concrete Frame	Special Moment Resisting Concrete Frame
<p>a.</p>	<p>b.</p>	<p>c.</p>

$d_b, d_t$ : 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  $l_o$

الشكل (5-1): تفاصيل التسليح الأدنى في أعمدة الجمل الإطارية.

(Han and Jee, 2005)

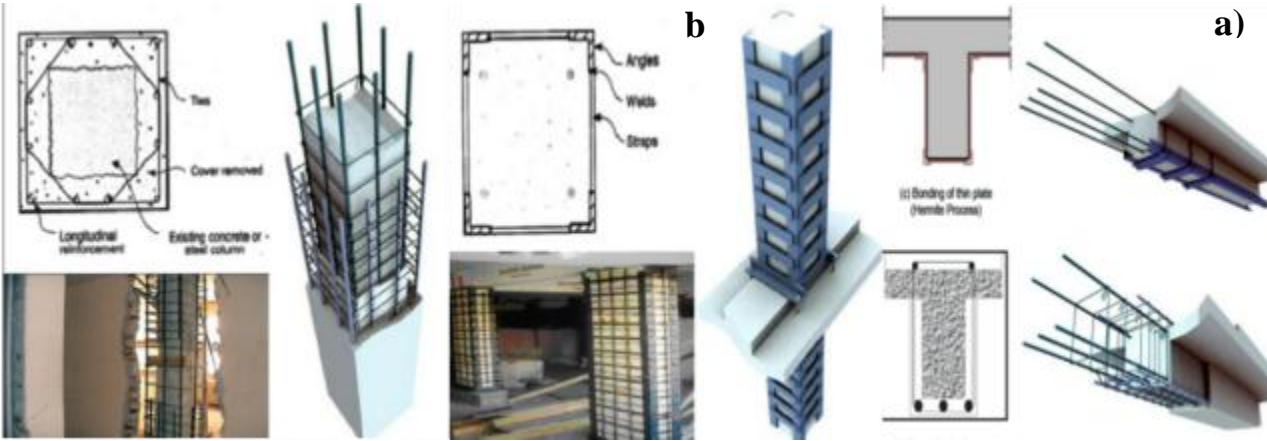
### 3.1 لمحة عن الطرق المستخدمة في تدعيم الجمل الإطارية Techniques of strengthening RC Frames



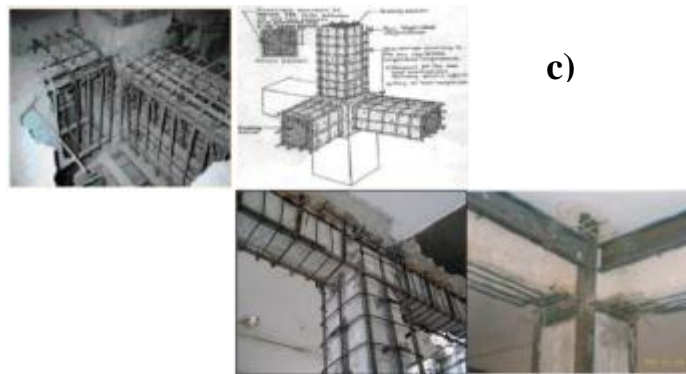
استخدمت الكثير من طرق تدعيم الجمل الإطارية بغية زيادة مقاومتها أو مطاوعتها أو تحويل مسار الانهيار إلى شكل أكثر تبيدياً للطاقة، على اعتبار أن المطاوعة أساس عمل تلك الجمل في مقاومة الأحمال الجانبية.

ومن الطرائق التقليدية المستخدمة في التدعيم (Murty, 2006):

- استبدال الجزء التالف وذلك في حالة وجود نقاط ضعف في البيتون.
  - تدعيم الأعمدة بزوايا معدنية أو بقمصان فولاذية.
  - القميص البيتوني، حيث يغلف العنصر الإنشائي بطبقة جديدة من البيتون المسلح.
- يلحظ في جميع الطرائق السابقة أن مقاطع العناصر سوف تزداد بشكل ملحوظ مما يؤدي إلى زيادة عطالة المقطع وبالتالي مقاومته.
- تبيين الأشكال (6-1) التالية عدة طرق لتدعيم عناصر الإطار أو العقدة نفسها:



(a) تدعيم الجوائز بقمصان فولاذية أو بيتونية. (b) تدعيم الأعمدة بقمصان فولاذية أو بيتونية.



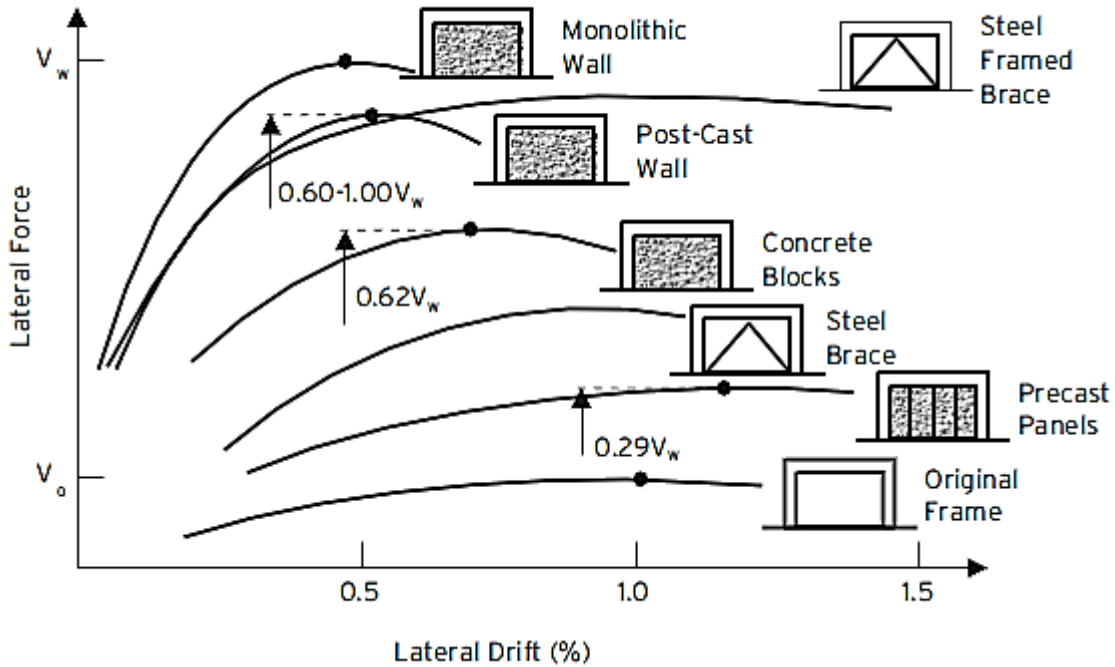
(c) تدعيم عقد الإطارات بقمصان فولاذية أو بيتونية.

الشكل (6-1): طرق تقليدية في تدعيم عقد الإطارات بقمصان بيتونية أو فولاذية. (Murty, 2006)



كما يبين الشكل (7-1) استخدام أثر إدخال عناصر إنشائية إضافية لتقوية الإطارات البيتونية على الأحمال الأفقية، حيث يمثل المحور الأفقي الانزياح الطائفي النسبي (Drift ratio) والمحور الشاقولي يمثل القص القاعدي.

يلاحظ أن تدعيم الإطار الأساس (Original Frame) باستخدام ألواح مسبقة الصنع (Precast Panels) يزيد من مقاومة الإطار على القص بمقدار 37% عن الإطار العادي بدون تدعيم، ويعطي تدعيم الإطار بوضع عناصر تريبط فولاذية (Steel framed brace) مقاومة أعلى من الإطار العادي بدون تدعيم تصل إلى 52%، أما وضع عناصر تريبط فولاذية وإطار فولاذي فيعطي مقاومة أعلى بحدود 90% من الإطار العادي بدون تدعيم، وعلى الرغم من الحصول على نفس المقاومة بحالة وضع جدار قص مائل للإطار (Post cast wall)، ولكنه يعطي مطاوعة أقل من التدعيم بإطار فولاذي مع عناصر تريبط فولاذية، ويتم التوصل إلى أعلى مقاومة بحالة تحويل الإطار إلى جدار قص مع انخفاض ملحوظ للمطاوعة.

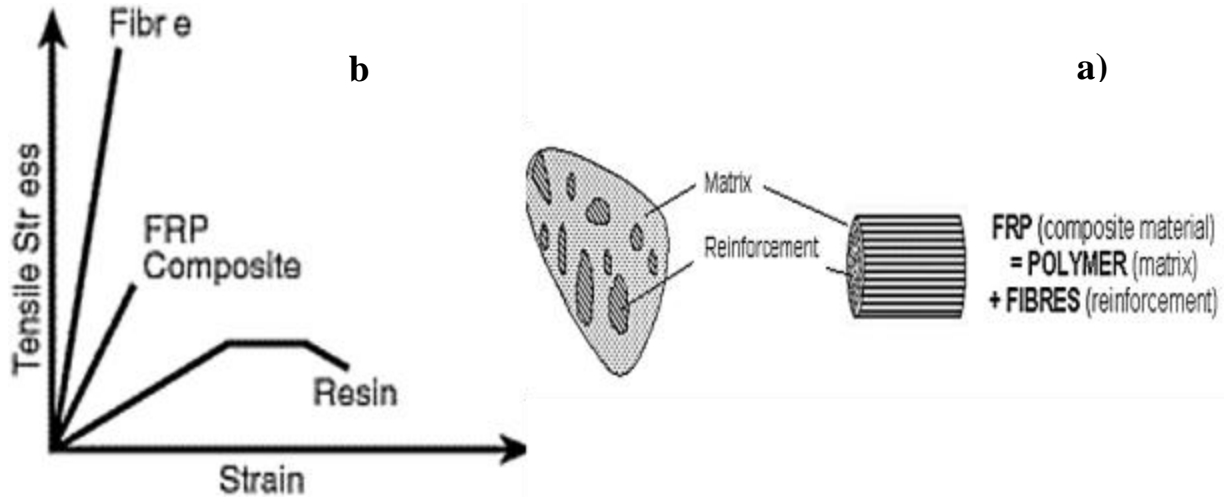


الشكل (7-1): مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة للإطار. (Rai, 2009)

#### 4.1 البوليمرات المسلحة بالألياف Fiber-Reinforced Polymer (FRP)

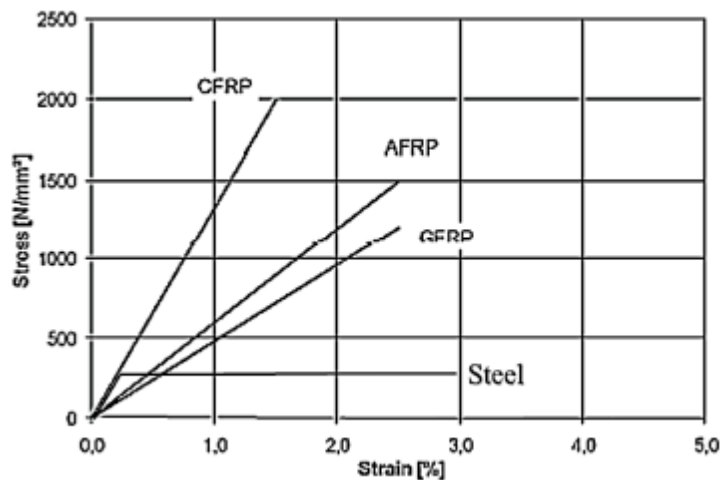
تعتبر البوليمرات المسلحة بالألياف إحدى الطرق الحديثة التي استخدمت لتقوية المنشآت، حيث يدخل في تركيبها مادتين أساسيتين ذات خواص متجانسة (Isotropic) وهما الألياف (Fibres) والمادة الرابطة (Matrix)، لتشكل مادة مركبة (Composite material) بخواص ميكانيكية جديدة سلوكها خطي مرن حتى الانهيار، حيث لا يوجد حد خضوع لها الشكل (8-1-a).

كما يوضح الشكل (b-8-1) و الذي يمثل علاقة التشوه النسبي – الإجهاد على الشد للمواد منفصلة و لمادة FRP المركبة، حيث تؤمن الألياف المقاومة لشرائح FRP، بينما تؤمن المادة الرابطة ربط الألياف ونقل القوى فيما بينها.



الشكل (8-1): المواد الداخلة في تركيب FRP و سلوكها. (Baghpour, 2012)

يختلف تصرف تلك الشرائح تبعاً لنوع مادة الألياف كما مخطط الإجهاد-تشوه المبين في الشكل (9-1)، حيث يبين تصرف عدة أنواع لمادة FRP منها الألياف الكربونية (CFRP) والزجاجية (GFRP) والألياف من مادة الأرميد (AFRP). يوضح الشكل أن التشوه النسبي للألياف من نوع (GFRP) أكبر منها في الألياف من النوع (CFRP) حيث يستخدم النوع الأول لتدعيم العناصر بغرض زيادة مطاوعة العنصر الإنشائي بينما يستخدم النوع الثاني لمتطلبات زيادة مقاومة العنصر على حساب مطاوعته. كما يوضح الشكل زيادة مقاومة تلك الألياف بأنوعها 10 مرات أكبر مقارنةً مع فولاذ التسليح. بالمقارنة مع مادة الفولاذ (Steel) فإن تصرف الـ FRP خطي مرن حتى الانقطاع دون وجود عتبة سيلان كما الفولاذ.



الشكل (9-1): علاقة إجهاد-تشوه لأنواع متعددة من مادة FRP مقارنة مع الفولاذ. (Baghpour, 2012)

استخدمت مادة FRP في تدعيم العناصر الإنشائية من الببتون (Concrete)، والحجرية (Masonry)، والخشبية (Timber)، والعناصر المعدنية (Steel)، وذلك للإيجابيات التالية ( *Technical report No. 55 of Concrete Society*):

- مقاومتها العالية نسبة إلى وزنها.
  - سرعة وسهولة التركيب واختصار معدات الرفع، تخفيض العمالة والتكلفة.
  - الديمومة (Durability)، وهناك أمثلة كثيرة تظهر أن وحدات الكسوة الخارجية GFRP دامت 25 سنة بأداء جيد ولكنها تتطلب طلاء بشكل دوري .
  - مرونة التطبيق على الأسطح المنحنية.
  - السلامة العالية وعدم قابلية التمدد في أنظمة تعمل بالطاقة الكهربائية، باستثناء ألياف الكربون.
  - سهولة تعدد الطبقات القابلة لللف حول العنصر وذلك لطبيعة المادة المرنة.
  - زيادة مطاوعة العنصر المدعم بتلك الألياف وبالتالي زيادة فعالية التدعيم على الزلازل .
- من المساوئ الرئيسية لاستخدام مادة FRP: الأثر البيئي الناتج من تفاعل المواد الكيميائية المنتجة من المادة نفسها مع البيئة، والصعوبات في إعادة التدوير. وعلاوة على ذلك، قابلية امتصاصها للرطوبة يؤثر على خصائص FRP، ومع ذلكم مؤخراً إنتاج ألياف أقل حساسية للرطوبة أو درجة الحرارة. بالإضافة إلى مقاومتها الضعيفة للنار حيث أن معظم البوليمرات تتأثر عندما تتعرض للنار بسبب سيلان المادة الرابطة.

## 5.1 مشكلة البحث وأهميته

### Importance and problem of this thesis

تتأثر العقدة الإطارية بالحركات الزلزالية، حيث يؤدي فشلها إلى خروج العمل الإطارية عن العمل، ونظراً لسهولة تطبيق مادة FRP على المنشآت فإن البحث يعني بدراسة مدى فعالية هذا التطبيق على زيادة مقاومة العقد الإطارية ومطاوعتها حيث دلت أبحاث سابقة على ذلك.

## 6.1 هدف البحث

### Research Objectives

يهدف البحث إلى دراسة تأثير سلوك العقدة الإطارية بعد تقويتها باستعمال البوليمرات المسلحة بالألياف FRP مقارنة مع العقدة الإطارية غير المقواة.

كما يهدف البحث إلى تحديد السماكة والطول الأمثلين للحصول على أفضل فعالية ممكنة بالإضافة إلى الاقتصادية في استخدام المادة.

## 7.1 محتويات الأطروحة Contents of Thesis

تتألف هذه الأطروحة من أربعة فصول كالتالي :

**الفصل الأول:** يحتوي مقدمة عامة عن العناصر الأساسية في هذا البحث، حيث يبدأ بمقدمة عن الجمل الإنشائية المقاومة للزلازل وأنواعها المستخدمة، ثم أنواع الإطارات البيتونية المسلحة واستخداماتها، بالإضافة إلى مقدمة عن مادة البوليميرات المسلحة بالألياف FRP ومكوناتها وأنواعها، وأخيراً تم التحدث عن مشكلة البحث والهدف منه ومحتويات هذه الأطروحة.

**الفصل الثاني:** تم فيه استعراض الدراسات المرجعية السابقة لمكونات البحث، حيث تم التركيز على السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح وميكانيكات انهيارها تحت تأثير الأحمال الجانبية، كما تم إعطاء لمحة عن الخواص الميكانيكية لمادة البوليميرات المسلحة بالألياف FRP، وتوضيح سلوكها الزلزالي عند تعرضها لحمولات جانبية وأنماط انهيارها المعروفة، ثم تم تسليط الضوء من خلال الدراسات المرجعية السابقة على السلوك الزلزالي لعقد الإطارات وإمكانية تدعيمها باستخدام شرائح مادة FRP، والذي هو موضوع البحث .

**الفصل الثالث:** يتضمن الدراسة التحليلية التي تمت في هذا البحث، حيث تم توصيف النموذج المعتمد في التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method) وبرنامج ( ABAQUS Ver 6.12 ) من حيث توصيف المواد الداخلة في النموذج وشروط الاستناد والأحمال المطبقة و بما يحقق هدف البحث، ومن ثم استعراض المنحنيات التي تعبر عن نتائج هذا البحث.

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

## الفصل الثاني

### الدراسة المرجعية (Literature Review)

## الفصل الثاني

### الدراسة المرجعية (Literature Review)

#### 1.2 مقدمة

#### Introduction

يستعرض هذا الفصل السلوك الزلزالي (Seismic behavior) للإطارات البيتونية المسلحة من ناحية الصلابة الإنشائية (Structural stiffness)، والمطاوعة (Ductility). كما سيرد في هذا الفصل ميكانيكات انهيار الإطارات البيتونية وتحديد الميكانيكية التي تؤمن كل من المقاومة والمطاوعة في آن معاً، واستخدام مادة الـ FRP في إعادة تأهيل العقد الإطارية والذي هو هدف البحث وذلك من خلال استعراض أهم الدراسات المرجعية في هذا المجال.

#### 2.2 السلوك الزلزالي لإطارات البيتون المسلح

#### Seismic behavior of RC Frame

يعتبر تأمين حدوث تشوهات انعطاف غير مرنة (مفاصل لدنة, Plastic Hinges)، مع تأمين مقاومة جيدة على القص أكبر من المقاومة على الانعطاف هدف عند التصميم على الأحمال الزلزالية، لتجنب أنماط الانهيار المفاجئة الناجمة عن القص (Brittle Collapse)، ولقد بات معلوماً أن التعامل مع الزلازل في الطور المرن غير اقتصادي، وغالباً ليس ضرورياً حيث أن الكلفة الناتجة عن تأمين المقاومة المطلوبة لمثل هذه القوى باهظة جداً.

يتم تصميم الجمل الإطارية لمقاومة القوى الجانبية باتخاذ الاعتبارات التي تؤمن أفضل أداء على الزلازل في أن تمتلك تلك الجمل مستوى محدد من المطاوعة يعمل على تخفيض القوى الزلزالية بسبب نشر الطاقة أثناء تشكل التشوهات الغير مرنة.

#### 2.2.1 مفهوم المطاوعة (Ductility Concept)

يعبر عن مفهوم المطاوعة وفق مايلي (Eurocode 8-2, 2005):

- **مطاوعة المادة (التشوّهات):** إن قابلية المواد المكونة للعناصر الإنشائية البيتونية المسلحة لإبداء تشوّهات كبيرة دون خسارة هامة في مقاومتها تمثل المصدر الأساس للمطاوعة (تشكل المفاصل اللدنة)، و تعطي مطاوعة المادة من خلال العلاقة:

$$\mu_\varepsilon = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y}$$

حيث  $\varepsilon_u$  : التشوّهات القصوى عند الانهيار.

$\varepsilon_y$  : التشوّهات عند بدء الخضوع.

من التعريف السابق للمطاوعة يبين أن الفولاذ هو مادة مطاوعة مع عامل مساوٍ 20 أو أكثر، أما للبيتون فإن التشوّهات على الضغط محدودة جداً ولكن يمكن زيادتها عن طريق التطويق الفعال وكذلك باستخدام الألياف الفولاذية بنسب محددة .

- **مطاوعة المقطع (الانحناء):** أي قابلية المقطع للدوران (المفاصل اللدنة)، وهي تمثل المصدر الأساس والهام للتشوّهات، وتعطي مطاوعة الانحناء من خلال العلاقة :

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

حيث  $\phi_u$  : الانحناء الأعظمي المتوقع عند الانهيار.

$\phi_y$  : الانحناء عند بدء الخضوع للتسليح.

تزداد مطاوعة الانحناء بزيادة التشوّهات الأعظمية على الضغط عن طريق التطويق أو بتخفيض نسبة التسليح.

- **مطاوعة الجملة (الانتقال):** تعتبر مطاوعة الجملة من أكثر المعايير استعمالاً في تقدير الاستجابة الإنشائية ويعبر عنها كما يلي الشكل (1-2) كما عرفها الكود الأوروبي:

$$\mu_d = d_u/d_y$$

حيث  $d_u$  : الانتقال الحدي عند الانهيار.

$d_y$  : الانتقال عند بدء الخضوع للتسليح.

$F_{Rd}$  : القوة التصميمية المقاومة للزلازل.

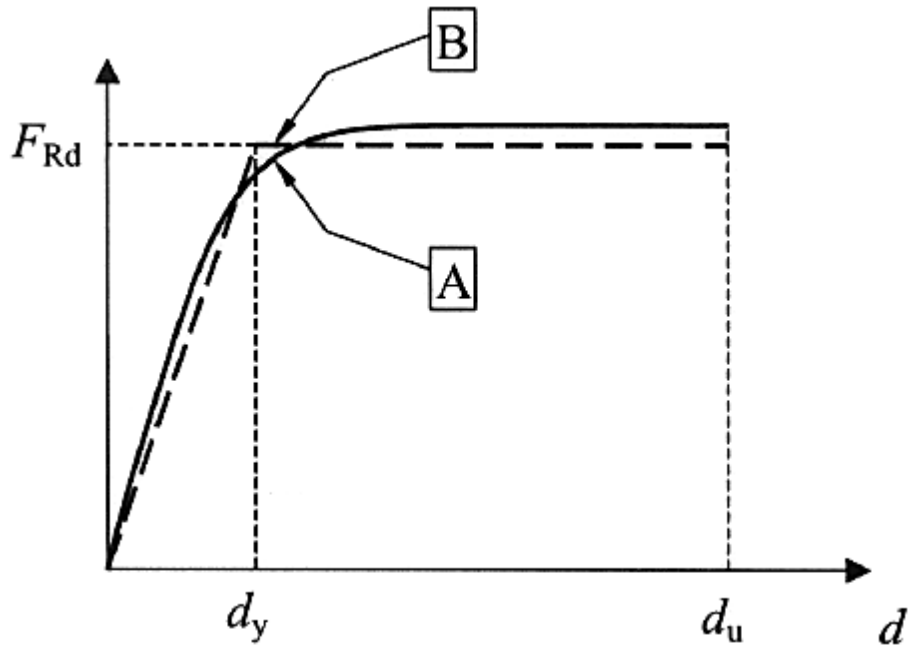
حيث A المنحني التصميمي (Design) ، و B المنحني التقريبي (Elastoplastic).

أشار الكود الأوروبي إلى تعريف الانتقال الأقصى الذي يحقق مطاوعة العنصر بحيث يسمح للمنشأ بالانتقال خمس مرات كاملة أثناء حدوث الزلزال كحد أدنى بحيث يتحقق:

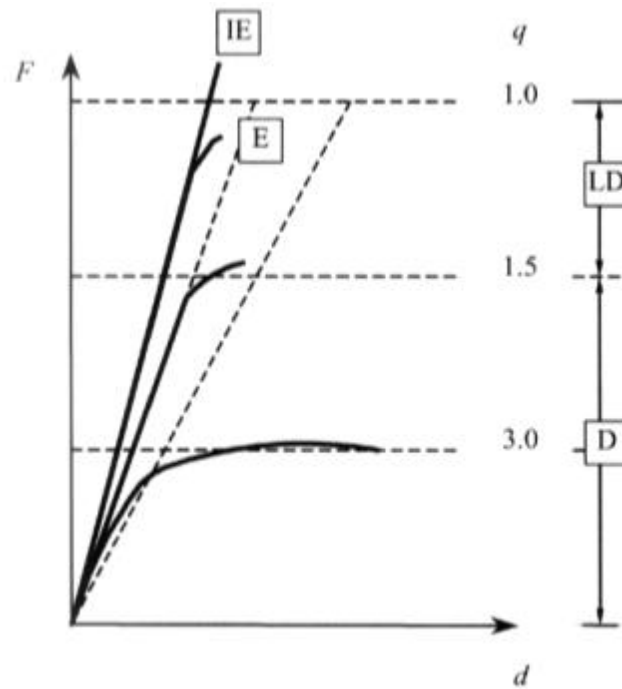
- دون انهيار أي من العناصر البيتونية المسلحة والمطوقة.

- دون انخفاض مقاومة مقاطع العناصر البيتونية المسلحة لأكثر من 20%.

كما يبين الشكل (2-2) حدود المطاوعة حيث يعتبر المنشأ ذي مطاوعة مرتفعة عندما تحقق النسبة  $\mu_d > 3$  .



الشكل (1-2): المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي.  
(Eurocode 8-2, 2005)

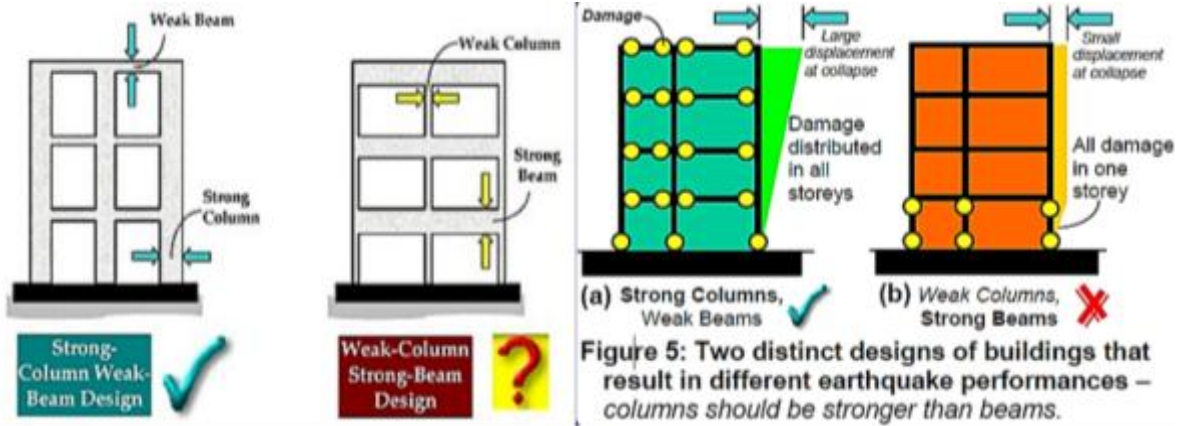


الشكل (2-2): حدود المطاوعة كما عرفها الكود الأوروبي.  
(Eurocode 8-2, 2005)

بناءً على ما سبق يمكن تصنيف الحالة التصميمية للجمل إلى نوعين:



- **جمل ذات مطاوعة محدودة (Limited Ductile, LD):** وهي الجمل التي تتعرض إلى انهيارات مفاجئة (Brittle Collapse) حيث أن مقاومتها الأفقية تكون كافية ولكنها تترافق مع آلية انهيار غير مرغوبة عند تعرضها للزلازل.
- **جمل مطاوعة (Ductile, D):** مع تفصيلات تسليح خاصة تؤمن أداءً مطاوعاً (Ductile performance) بما يحققه سلوك جانز ضعيف – عمود قوي (Strong column – Weak beam)، الذي يتلخص كما يبين الشكل (3-2) بتشكيل مفاصل لدنة في الجوائز وهو التصميم الأفضل لإعطاء أكبر انتقالات ممكنة قبل الانهيار.



الشكل (3-2): الأداء الأفضل للجمل الإطارية بسلوك عمود قوي - جانز ضعيف.  
(Murty, 2006)

### 3.2 الانهيار الهش والسلوك المطاوع للإطارات

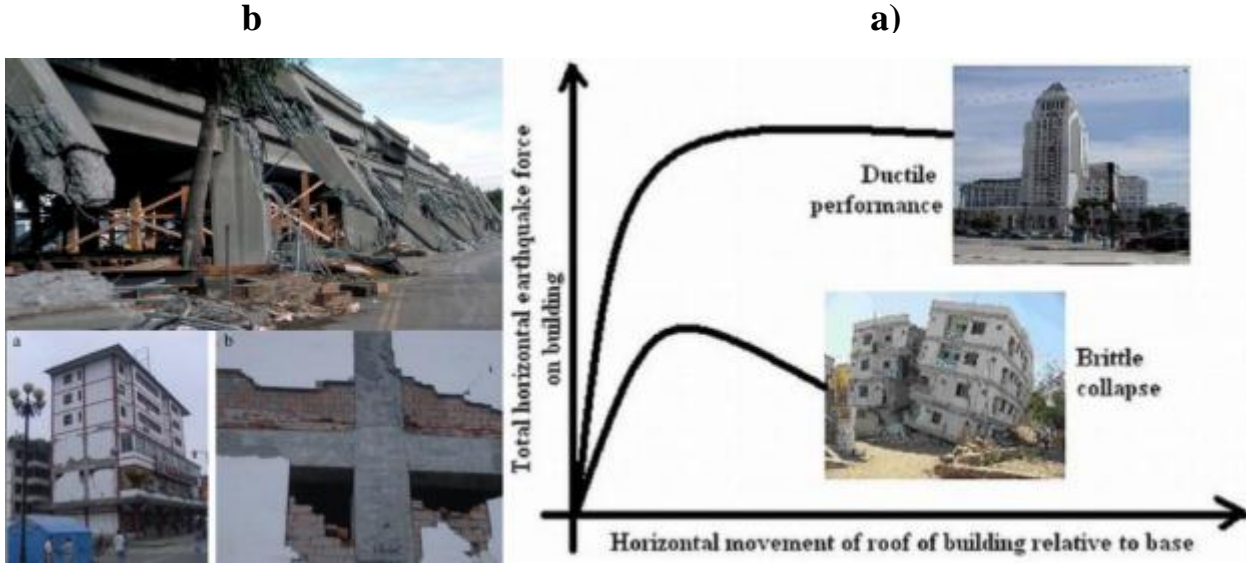
#### Brittle and Ductile Performance

يحدث الانهيار في العناصر الإنشائية وفق نمطي انهيار (سمارة ، 2006):

- **الانهيار الهش (Brittle Collapse):** هو الانهيار الذي يحدث بشكل أساسي على القص وهو نمط انهيار غير مرغوب به في التصميم الزلزالي.
- **الأداء المطاوع (Ductile Performance):** حيث يحصل الانهيار بعد تبديد كبير للطاقة الزلزالية عن طريق حصول تشوهات كبيرة بعد انتهاء المرحلة المرنة حيث يؤدي إلى انهيار آمن نوعاً ما وهو نمط الانهيار المطلوب.

تعتبر المطاوعة أحد أهم العوامل في الأداء الزلزالي للبناء لذلك يسعى التصميم الزلزالي لتحديد مواقع الضرر المتوقعة مسبقاً ومن ثم تزويد هذه المناطق بتفاصيل تسليح جيدة للتأكد من السلوك المطاوع للبناء، حيث يبين الشكل (a-4-2) الفرق بين الانهيار المفاجئ والأداء المطاوع للأبنية الموضح من خلال تمثيل علاقة قوة القص – الانتقال الطابق الأخير حيث يوضح الشكل أن الانتقالات في الأداء المطاوع كبيرة بعد انتهاء

مرحلة الأداء المرن للمنشأ مقارنة مع تلك التي تحدث للمنشآت ذات الانهيار المفاجئ ، كما يوضح الشكل (b-) (4-2) الانهيار المفاجئ لجملة إطارية الحاصل في العقدة أثناء زلزال أوكلاند 1989، بينما يبين الشكل (c-) (2) الانهيار المطواع على الانعطاف في طرف الجائز أثناء زلزال في الصين 2008 ( Architect in ) (earthquake engineering, 2010).

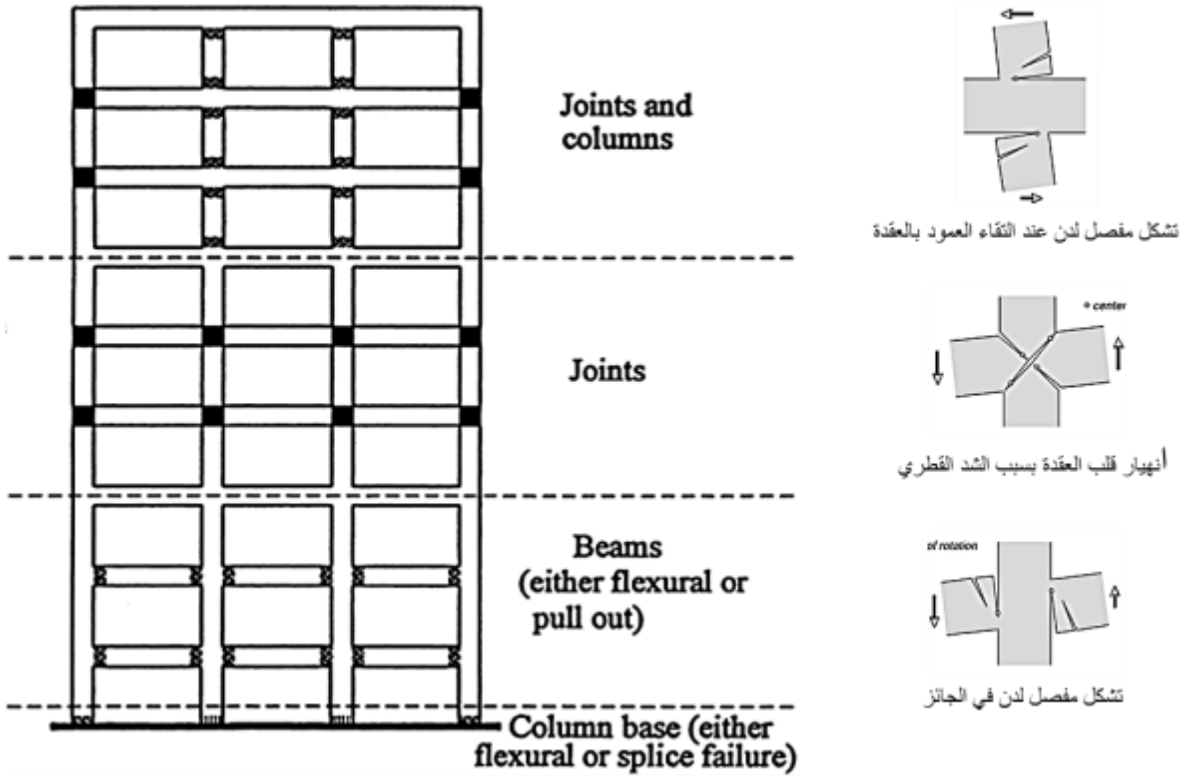


c. (a) الانهيار الهش و الأداء المطواع للأبنية. (b) الانهيار الهش في الأعمدة و العقد أثناء زلزال في أوكلاند 1989 (c) الأداء المطواع للإطار أثناء زلزال في الصين 2008. الشكل (4-2): أنواع الانهيارات التي تتعرض لها الأبنية و الجملة الإطارية.

## 4.2 ميكانيكيات الانهيار في الإطارات الخرسانية المسلحة

### Mechanisms of Failure of RC frames

تتركز الإجهادات العظمى، ولاسيما إجهادات عزوم الإنحناء في الجوائز والأعمدة الناتجة عن الأحمال الأفقية، في مناطق العقد مما يجعلها أكثر المناطق في الإطار الخرساني المسلح خطورة، وأي خلل في سلوك تلك العقد ينعكس مباشرة على سلوك الإطار بالكامل فيترجم هذا الانعكاس عن طريق نشوء تشققات وبالتالي أنماط انهيار، والتي تعتبر مؤشر لكفاءة الجملة في إبداء مطوعة ممكنة. يوضح الشكل (2-5) أشكال الانهيار الممكنة في جملة الإطارات الخرسانية المسلحة بأنواعها العادية و المتوسطة و الخاصة.

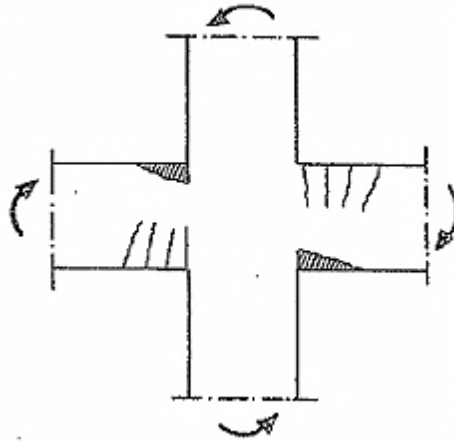


الشكل (5-2): النمط العام لميكانيكيات الانهيار في الإطارات.  
(Ghobarah and Biddah, 1999)

تقسم ميكانيكيات انهيار الإطارات البيتونية المسلحة إلى:

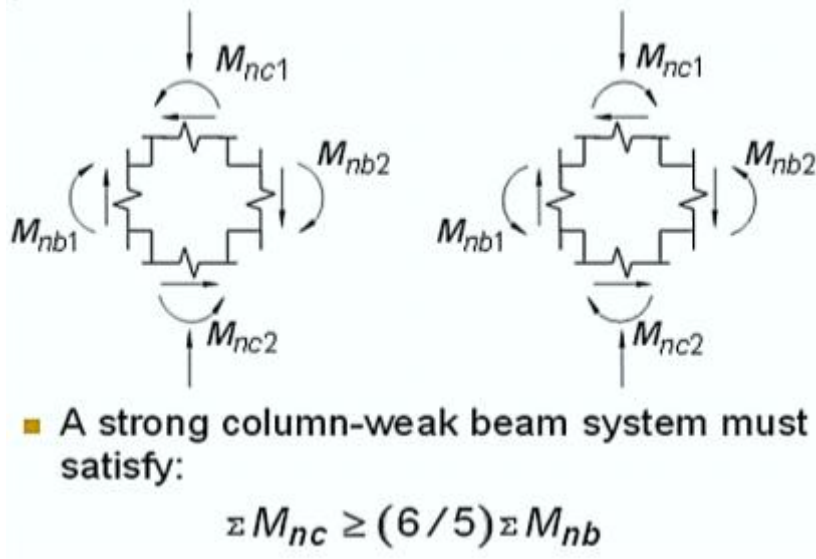
### ● جملة عمود قوي - جائز ضعيف Strong column-Weak beam

حيث أن قساوة الجوائز أقل من قساوة الأعمدة، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز أولاً الشكل (6-2) وبالنتيجة فإن الانهيار يكون مطواعاً.



الشكل (6-2): تشكل مفصل لدن عند التقاء الجائز بالعقدة على يمين و يسار العقدة.  
(Penelis and Kappos, 1997)

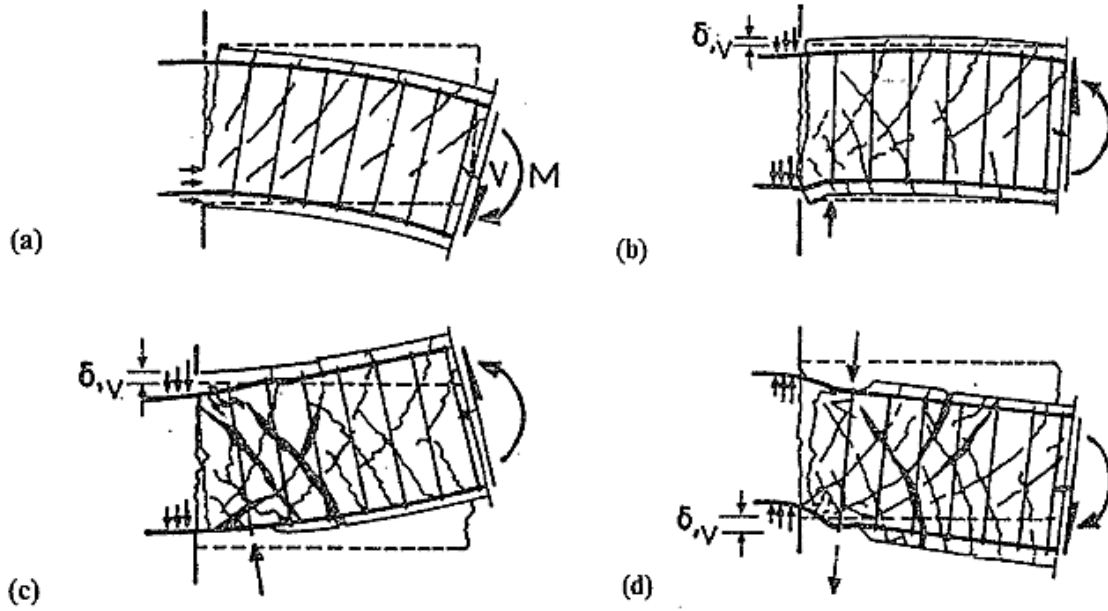
من أجل رفع مطاوعة المنشأة الإطارية عند تعرضها للزلازل في حالة الحد الأقصى ومن أجل تشكل المفاصل اللدنة في الجوائز أولاً، أشار الكود الأمريكي (ACI-318) باختيار الأبعاد النسبية لأعمدة وجوائز كل عقدة وتسليحها بتحقيق الشرط التالي الشكل (7-2):



الشكل (7-2): شرط تحقيق السلوك المطاوع للإطار.  
(ACI 318, 2008)

حيث  $M_{nc1}$  و  $M_{nc2}$  هي طاقات تحمل العزوم للأعمدة عند أوجه العقدة، آخذين بالحسبان القوى المحورية التي تقابل أقل قيم للعزوم، بينما تعبر  $M_{nb1}$  و  $M_{nb2}$  عن طاقات تحمل العزوم للجوائز عند أوجه العقدة. يبين الشكل (8-2) السلوك الإنشائي لجوائز بيتوني تحت تأثير تحميل دوري (Cyclic Loading)، حيث أن التحميل الدوري ينتج مرحلة متقدمة من التشوهات اللامرنة (Inelastic deformation) والتي تؤدي إلى توسع الشقوق وانتشارها على كامل ارتفاع المقطع حيث تصل إلى مرحلة، من التشققات التي لا تنغلق أثناء إعادة التحميل (Penelis and Kappos, 1997)، عندها يتم نقل القص بشكل رئيسي عند منطقة الشق من خلال قضبان التسليح الطولية الشكل (8-2-b). إلا أن دخول هذه القضبان في مرحلة السيلان يؤدي إلى انتقال شاقولي كبير وبالتالي فقدان كبير في قساوة العنصر. إن الانتقال الكبير يؤدي إلى تحطم ودهس (Bearing) منطقة الضغط عند وجه الشق الشكل (8-2-c).

مع استمرار التحميل الدوري -وبسبب تراكم الاستطالة نتيجة التلدن في قضبان التسليح الطولية- يحدث استطالة في الجوائز البيتوني مما يبقي الشق مفتوحاً طوال عملية التحميل الدوري المتبقية الشكل (8-2-d)، وبالتالي يحدث الانهيار نتيجة تعرض التسليح الطولي المتقاطع مع هذا الشق غير المغلق لإجهادات القص و الإجهادات النازمة وهذا الانهيار يحدث غالباً بتحنيب قضبان التسليح (Penelis and Kappos, 1997). يعرف هذا النوع من الانهيار باسم انهيار القص الانزلاقي (Sliding Shear Failure) والذي لا يمكن تجنبه حتى ولو تمت عملية تكثيف الأساور بسبب أن الشق الحرج هو شق شاقولي مواز للأساور.

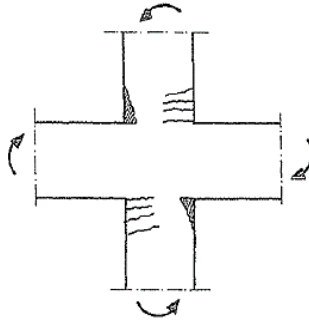


الشكل (8-2): سلوك الجوائز على الأحمال الزلزالية.  
(Penelis and Kappos, 1997)

### Strong beam – weak column

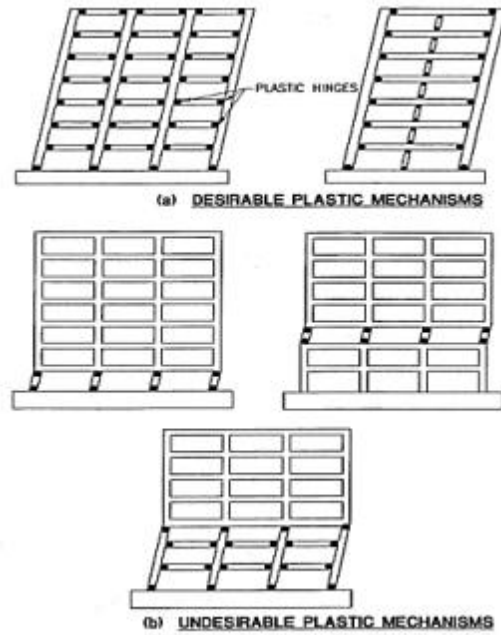
### ● جملة جوائز قوي عمود ضعيف

حيث قساوة الأعمدة أقل من قساوة الجوائز، الأمر الذي يؤدي إلى تشكل المفاصل لدنة في الأعمدة أولاً الشكل (9-2) و بالتالي حدوث انهيار مفاجئ للمبنى.



الشكل (9-2): تشكل مفصل لدن في العمود أعلى و أسفل العقدة  
(Penelis and Kappos, 1997)

إن وجود القوة المحورية إلى جانب عزم الانعطاف المطبق على العمود، يساعد على إغلاق شقوق الانعطاف والقص ولاسيما في المناطق ذات عزوم الانعطاف الصغيرة نسبياً. كما تؤدي زيادة القوة المحورية إلى زيادة قساوة العمود مما يؤدي إلى جعل الحلقة الهستيريرية (Hysteresis Loops) أعرض عما هي الحال في الجوائز حيث القوة المحورية مهمة مقارنة مع أثر عزم الانعطاف (Penelis and Kappos, 1997).  
يبين الشكل (a-10-2) أشكال الانهيار التي تعطي مطاوعة للجملة ناتجة عن تشكل مفاصل لدنة في الجوائز وحصول انتقالات كبيرة بينما يظهر في الشكل (b-10-2) أنماط انهيار مفاجئة ناتجة عن تشكل مفاصل لدنة في الأعمدة في طوابق معينة .

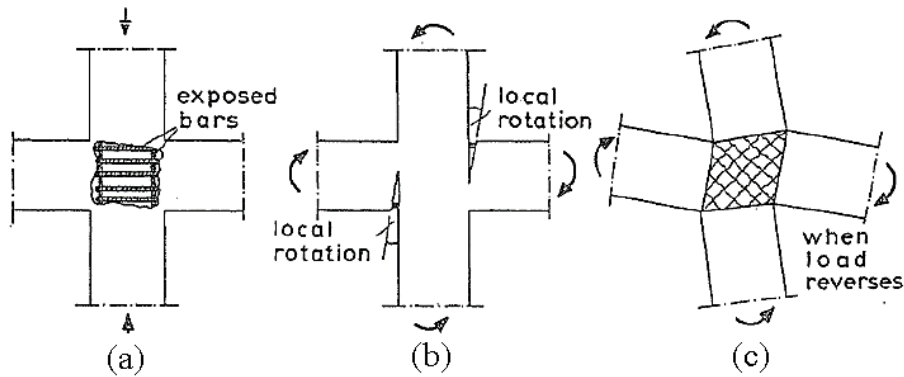


الشكل (10-2): حالات تشكل المفاصل اللدنة.  
(Seaoc blue book, 1997)

### ● انهيار العقد Nodes Failure

وهو انهيار قلب عقدة جوائز عمود حيث تم تصنيف أنماط انهيار العقد إلى ثلاثة أنماط (Penelis and Kappos, 1997):

- تكسر طبقة الغطاء البينوني لوجهي العقدة الشكل (a-11-2) ويجب تجنبه لأنه يؤدي إلى إضعاف قدرة تحمل العمود.
- انهيار إرساء قضبان الجوائز داخل العقدة الشكل (b-11-2) ويجب 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 (c-11-2) وهو ناتج عن القص الدوري و يجب تجنبه لأنه يؤدي إلى هبوط شديد في المقاومة و في الصلابة

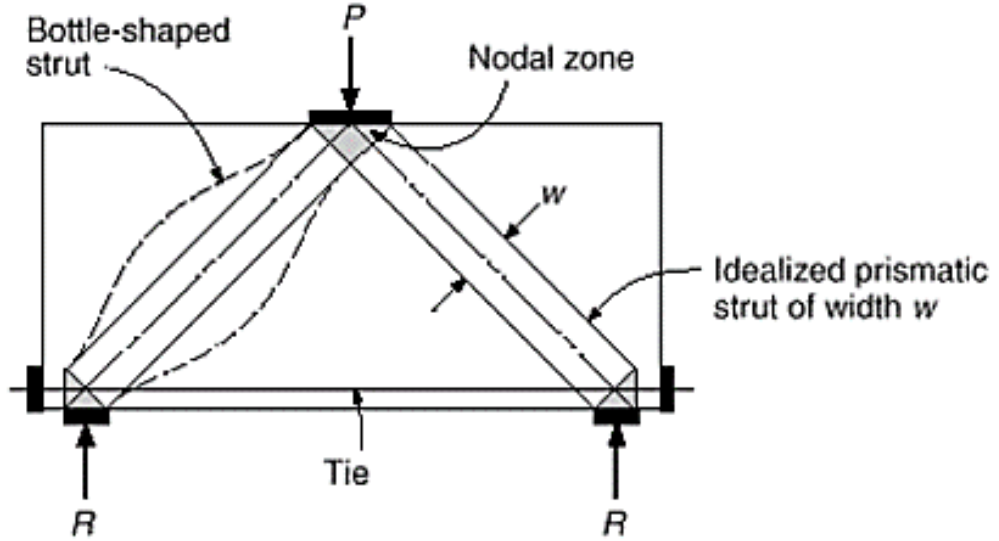


الشكل (11-2): أنماط انهيار عقد الإطارات البينونية المسلحة على الأحمال الزلزالية.  
(Penelis and Kappos, 1997)



## 5.2 نموذج الشد و الضغط في توصيف انهيار عقد الإطارات على القص Strut and Tie model for joint shear failure

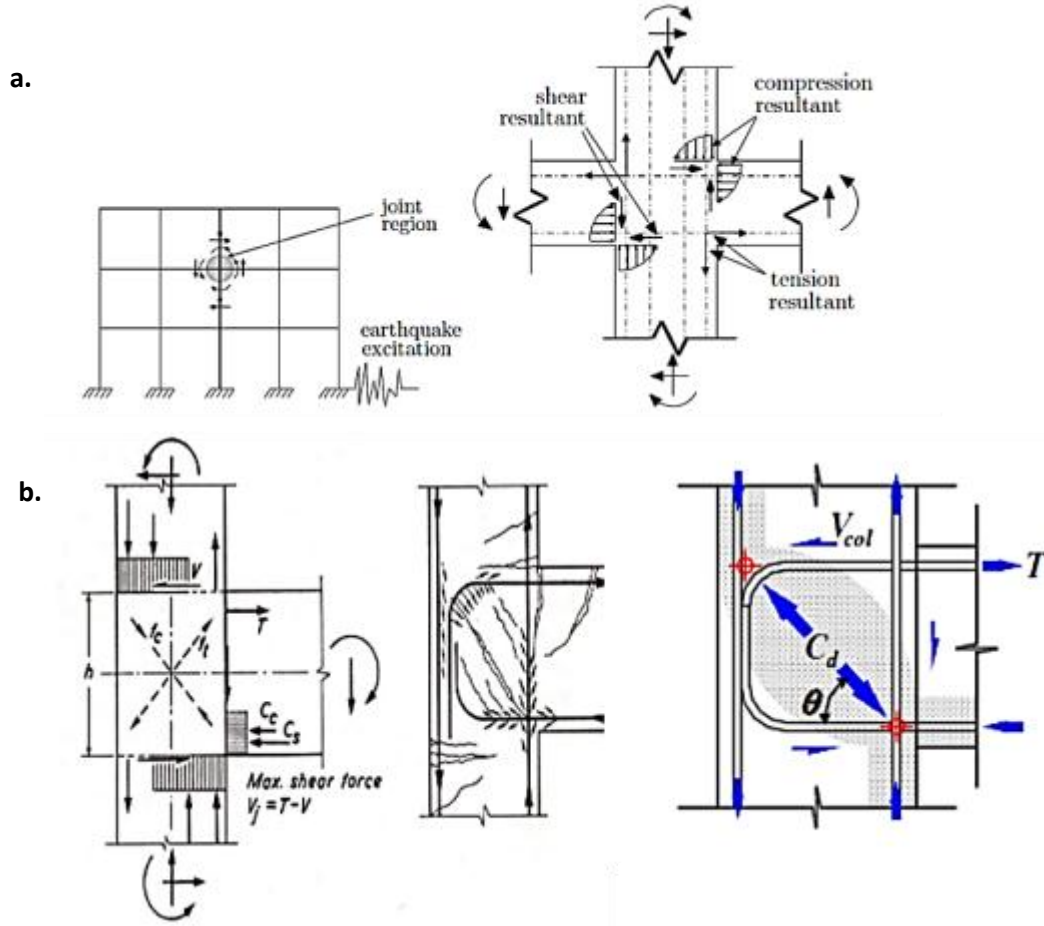
إن آلية الانهيار داخل عقدة عمود - جانز على القص توصف بنموذج تشكل التشققات الذي يدعى نموذج الشد والضغط (Strut and Tie model) وهي الميكانيكية التي بينتها الكثير من التجارب، حيث يتم تمثيل القوى التي تنشأ في العناصر الإنشائية من خلال ذلك النموذج بعناصر مشدودة (Tie) وأخرى مضغوطة (Strut) تلتقي مع بعضها بمناطق عقدية (Nodal Zones)، كما يوضح الشكل (12-2).



الشكل (12-2): نموذج الشد و الضغط (Strut and Tie)  
(ACI 318, 2008)

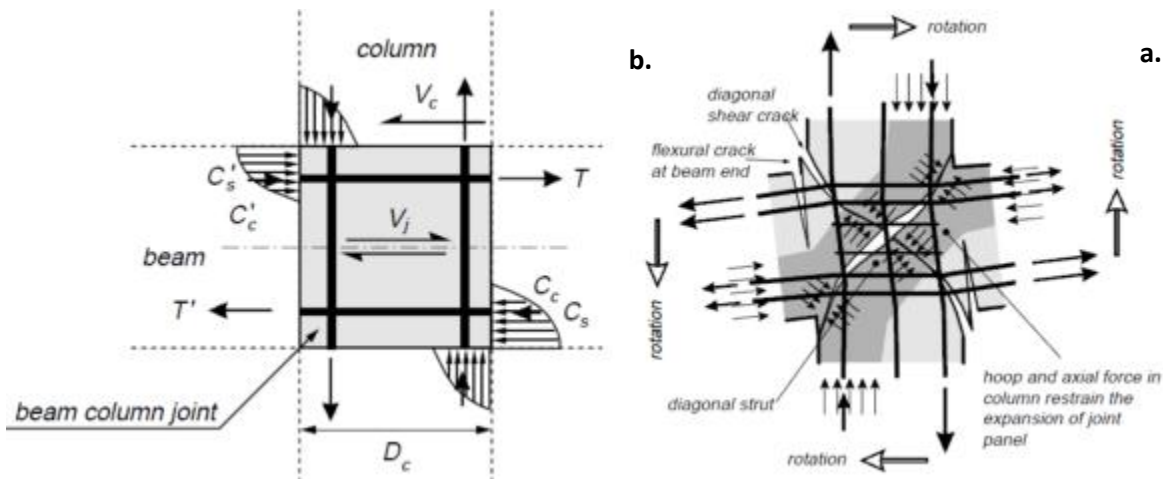
يتلخص نموذج الشد والضغط داخل عقدة عمود - جانز، كما في الشكل (a-13-2) بتشكيل حقل ضغط في قلب العقدة مما ينتج تشققات فلق قطرية مائلة يوضحها الشكل (b-13-2) بسبب التأثير الزلزالي في عقدة إطار ذهاباً وإياباً.

بحسب القص الأفقي المطلوب مقاومته لتجنب الانهيار على القص في نواة العقدة والنتائج من مخطط القوى الداخلية الأفقية والشاقولية الموضحة في الشكل (b-14-2) الناتجة عن تحليل القوى الخارجية المطبقة على العقدة من مقطع الجانز والعمود، وبافتراض عدم وجود قوى محورية في الجانز وأن قوة الضغط في الجانز على أحد طرفي العقدة مساوية لقوة الشد على نفس الطرف.



(a) الإجهادات الناتجة من تأثير القوى على عقدة من إطار يتعرض لقوى زلزالية. (b) تشققات الفلق القطرية لعقدة خارجية والقوى الأفقية والشاقولية حول العقدة وحقل الضغط المتشكل داخل العقدة.

الشكل (13-2): نموذج الشد والضغط لتوصيف انهيار العقدة على القص. (Park and Paulay, 1997)



(a) الانهيار القطري بسبب القص في العقدة. (b) القوى الشاقولية والأفقية الناشئة في العقدة.

الشكل (14-2): نموذج الشد والضغط لتوصيف انهيار العقدة على القص (Park and Paulay, 1997).



حيث :

$V_j$  : قوة القص الأفقية الناتجة في العقدة.

$C_c'$  : محصلة منطقة الضغط ( قوة الضغط ) في البيتون للجائز.

$C_s'$  : قوة الضغط لتسليح الجائز في المنطقة المضغوطة.

$T, T'$  : قوة الشد في فولاذ التسليح للجائز يمين و يسار العقدة.

$A_{s1}, A_{s2}$  : مساحات تسليح الشد على جانبي الجائز يمين و يسار العقدة.

$f_s, f_s'$  : إجهاد الشد لفولاذ تسليح الجائز .

$V_c$  : قوة القص في العمود.

حيث ينتج القص الأفقي في العقدة من العلاقة:

$$V_j = T + C_s' + C_c' - V_c \quad (1-2)$$

$$C_s' + C_c' = T' \quad (2-2)$$

و منه:

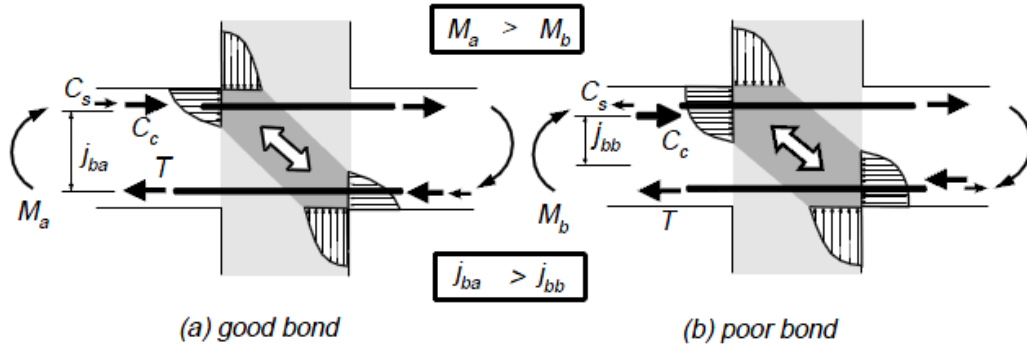
$$V_j = T + T' - V_c \quad (3-2)$$

$$V_j = A_{s1} \cdot f_s + A_{s2} \cdot f_s' - V_c \quad \text{أي:}$$

حيث تنتج قوة ضغط قطرية  $C_d$  من قوة القص الأفقية و تعبر الزاوية  $\theta$  عن ميل قوة الضغط الحاصلة داخل العقدة، كما هي موضحة بالشكل (b-13-2):

$$C_d = V_j / \cos\theta \quad (4-2)$$

تعتبر آليات انتقال القص في العقدة معقدة جداً، بحيث تلعب عدة قوى دوراً في هذه المساحة الصغيرة، وهي قوى القص و قوى التماسك و القوى الناتجة عن التطويق العرضي و غيرها، حيث أن مساحة ذلك الحقل تزداد بانخفاض عطالة مقطع الجائز بسبب تشكل المفاصل اللدنة عند كل مستوى تحميل باعتبار أنها تتعرض لحمولة دورية (Cyclic loading) تمثل التأثير الزلزالي الذي يتعرض له الإطار، يوضح الشكل (2-15) تأثير انخفاض التماسك بين قضبان التسليح و البيتون بسبب التشققات الحاصلة بعد كل تحميل أو لعدم تأمين إرساء كافٍ (Bond) لحديد الجائز في العقدة منذ البداية، مما يؤدي لانزلاق التسليح و ينتج تشققات تخفض من مقاومة العقدة، وبالتالي انخفاض ذراع محصلتي الضغط و الشد، مما يزيد مساحة حقل الضغط أي الانهيار القطري داخل العقدة (Shiohar, 1998).

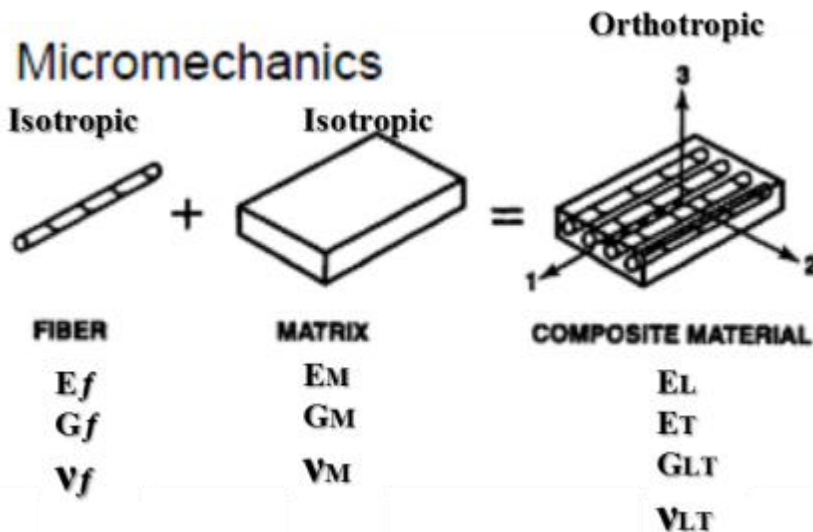


الشكل (15-2): اتساع مساحة حقل الضغط حسب جودة التماسك بين حديد التسليح و البيتون.  
(Shiohar, 1998)

## 6.2 الخواص الميكانيكية للبوليميرات المسلحة بالألياف FRP Mechanical properties for fiber reinforced polymer FRP

كما ذكر في الفقرة (4.1)، تتألف شرائح البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) من الألياف (Fiber) والتي يرمز لها في هذا الفصل بـ  $f$ ، والمادة الرابطة (Matrix) والتي يرمز لها في هذا الفصل بـ  $m$ ، ولتحديد الخواص الميكانيكية لشريحة البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP)، لابد من معرفة طريقة توزيع الألياف في الشريحة المستخدمة.

تعتبر شريحة البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) مادة غير متجانسة (Orthotropic) بالحالة الإجهادية المستوية، بينما تعد المواد المؤلفة لها متماثلة الخواص (Isotropic) حيث ينتج للشريحة ثوابت هندسية جديدة ناتجة عن الاختلاف في الخواص بين الألياف والاصق، وهذه الثوابت ضرورية للتمكن من توصيف سلوك المادة كما يبينه الشكل (16-2).



الشكل (16-2): مكونات مادة FRP و الخواص الميكانيكية لكل منها.  
(Reddy, 1997)

تبيين العلاقات التالية، الخواص الميكانيكية لشريحة البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP)، وذلك بفرض أن الألياف معزولة كل منها على حدى ضمن المادة الرابطة، حيث تعطى معاملات المرونة ( $G_{Lt}$ ,  $E_t$ ,  $E_L$ ) ومعامل بواسون  $\nu$  لشريحة مادة FRP بالعلاقات التالية (Batikha, 2008):

حيث:

$E_f$ : معامل مرونة الألياف.

$\nu_f$ : معامل بواسون للألياف.

$E_m$ : معامل مرونة المادة الحاضنة.

$G_m$ : معامل مرونة القصل للمادة الحاضنة.

$\nu_m$ : معامل بواسون للمادة الرابطة.

$E_L$ : معامل المرونة لصفحة الـ FRP بالاتجاه الموازي للألياف.

$E_T$ : معامل المرونة لصفحة الـ FRP بالاتجاه العمودي على الألياف.

$G_{LT}$ : معامل مرونة القص في المستوي لصفحة الـ FRP.

$\nu_{LT}$ : معامل بواسون لصفحة الـ FRP.

تُعطى الخواص الميكانيكية لشريحة الـ FRP في المستوي بالعلاقات التالية:

$$E_L = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (5 - 2)$$

$$\frac{E_T}{E_m} = \frac{1 + \xi \eta V_f}{1 - \eta V_f} \quad (6 - 2)$$

حيث:

$V_f$ : نسبة حجم الألياف.

$V_m = 1 - V_f$ : نسبة حجم المادة الحاضنة.

$\xi$ : معامل يسمح بأخذ تأثير طريقة رزم الألياف وتوزعها ضمن المادة الحاضنة وشروط التحميل بعين

الاعتبار، مثلاً تُستخدم قيمة ( $\xi = 2$ ) في حساب  $E_T$ ، والقيمة ( $\xi = 1$ ) في حساب  $G_{LT}$ .

$\eta$ : معامل يُعطى بالعلاقة (3-2).

$$\eta = \frac{\frac{E_f}{E_m} - 1}{\frac{E_f}{E_m} + \xi} \quad (7 - 2)$$

يُعطى معامل مرونة القص  $G_{LT}$  في المستوي بالعلاقة (4-2):

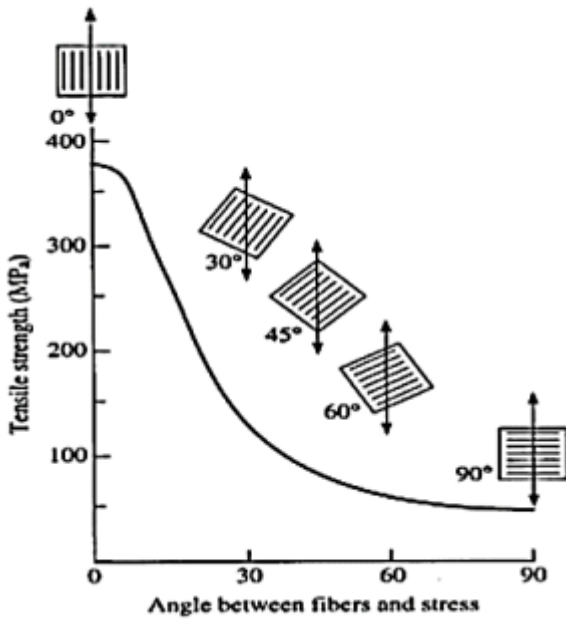
$$\frac{G_{LT}}{G_m} = \frac{1 + \xi\eta V_f}{1 - \eta V_f} \quad (8 - 2)$$

يُعطى معامل معامل بواسون ( $\nu_{LT}$ ) (Poisson's Ratio) في المستوي بالعلاقة (5-2):

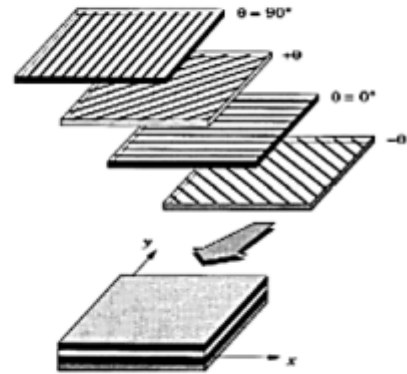
$$\nu_{LT} = \nu_f \cdot V_f + \nu_m \cdot V_m \quad (9 - 2)$$

يؤثر توزيع الألياف ضمن المادة الرابطة في شريحة FRP على خواصها الميكانيكية، بشكل كبير حيث يوضح الشكل (17-2) العلاقة بين ميل توزيع الألياف بالنسبة للإجهادات وتأثير ذلك على مقاومة مادة FRP على الشد، فيلاحظ أن توزيع الألياف ضمن الرابط، تبدي أقصى مقاومة على الشد عندما تكون الألياف باتجاه الإجهادات المطبقة. بالمقابل، تنخفض مقاومة تلك الألياف حتى تصل إلى أخفض قيمة عندما تكون الإجهادات متعامدة مع اتجاه الألياف.

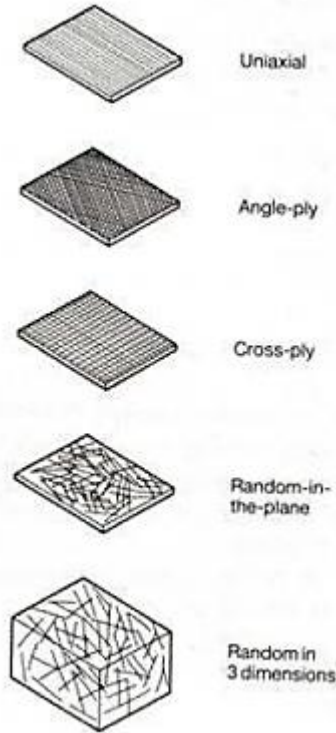
قد تتوضع الألياف ضمن المادة الرابطة بشكل عشوائي أو باتجاهين الشكل (18-2) إلا أنه في هذا البحث سيتم التركيز على الألياف باتجاه واحد (uniaxial).



#### Macromechanics

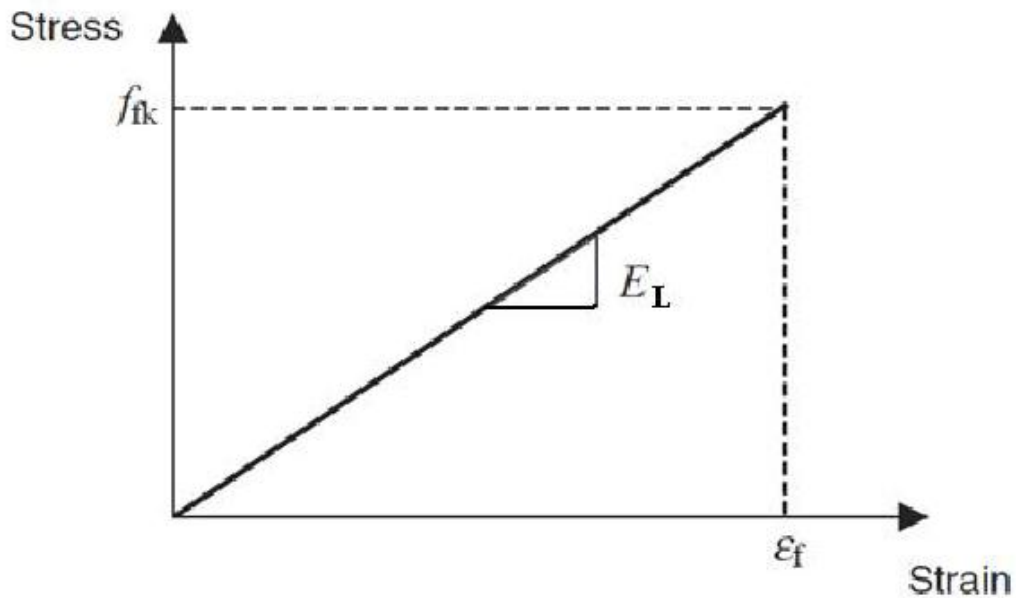


الشكل (17-2): تأثير ميل ألياف مادة FRP في المادة الرابطة على مقاومتها على الشد.  
(Baghpou, 2012)



الشكل (18-2): أنماط ترتيب الألياف في شريحة FRP.  
(Batikha, 2008)

إن سلوك مادة FRP سلوك خطي مرن حتى الانهيار، دون وجود مرحلة لاخطية أو حد خضوع، كما يوضح الشكل (19-2) (علاقة إجهاد – تشوه نسبي)، حيث:  $(f_{tk})$  هو إجهاد الشد الأعظمي لمادة FRP،  $(\epsilon_f)$  التشوه النسبي الحدي عند الانقطاع،  $E_L$  معامل مرونة مادة FRP باتجاه الألياف.



الشكل (19-2): علاقة (إجهاد – تشوه) لمادة FRP.  
(Concrete society, 2004)

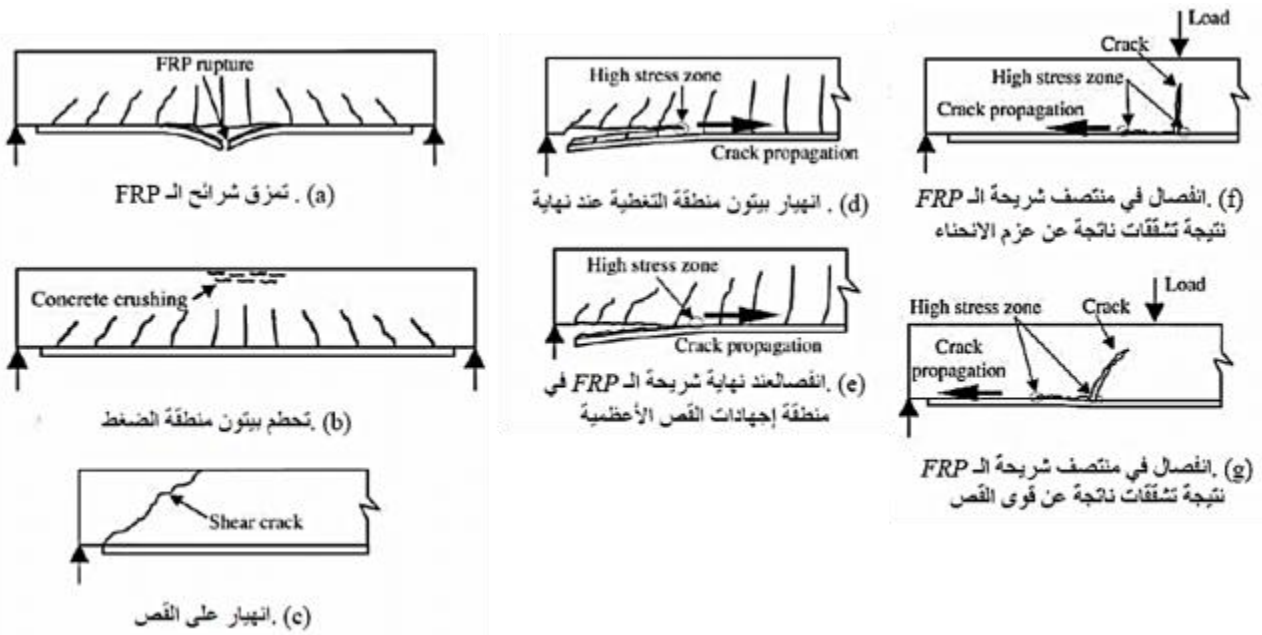
## 7.2 ميكانيكات انهيار العناصر المقواة باستخدام البوليميرات المسلحة بالألياف Failure Mechanism of fiber reinforced polymer

تم استخدام البوليميرات المسلحة بالألياف في تقوية العديد من العناصر الإنشائية (الشكل 2-20)، كالعناصر البيتونية (Enochsson et al., 2007); Mosallam and Sallom, 2003، والعناصر المعدنية (Batikha, 2008)، والخشبية (Borri et al., 2005)، والحجرية (Baratta and Corbi, 2007)، وجميع هذه الأبحاث أثبتت الفاعلية الكبيرة لمادة FRP في رفع قدرة تحمل المنشآت (Capacity)، وزيادة المطاوعة (Ductility).



الشكل (20-2): تقوية العناصر الإنشائية باستخدام مادة FRP.

عند استعمال شرائح مادة FRP لتقوية العناصر البيتونية المسلحة (موضوع البحث)، تتحدد المقاومة القصوى التي يحققها العنصر بعد تقويته بمادة FRP وفق إحدى ميكانيكات الانهيار والتي جرى تصنيفها وفق (Teng et al., 2003) كالتالي: تمزق شرائح مادة FRP الشكل (a-21-2)، تحطم بيتون منطقة الضغط الشكل (b-21-2)، انهيار على القص الشكل (c-21-2)، انهيار بيتون منطقة التغطية عند نهاية الشريحة الشكل (d-21-2)، انفصال عند نهاية الشريحة في منطقة إجهادات القص الأعظمية الشكل (e-21-2)، انفصال في منتصف شريحة مادة FRP نتيجة شقوق الانعطاف وتغلغل الانفصال حتى نهاية الشريحة الشكل (f-21-2)، انفصال الشريحة نتيجة شقوق القص وتغلغل الانفصال حتى نهاية الشريحة الشكل (g-21-2).



الشكل (21-2): ميكانيكيات انهيار جوائز مقوى بمادة FRP. (Smith and teng, 2001)

## 8.2 استخدام البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) في تقوية عقد الإطارات الخرسانية المسلحة لمقاومة الأحمال الزلزالية

### Seismic strengthening of RC joints by using Fiber Reinforced Polymer (FRP) technique

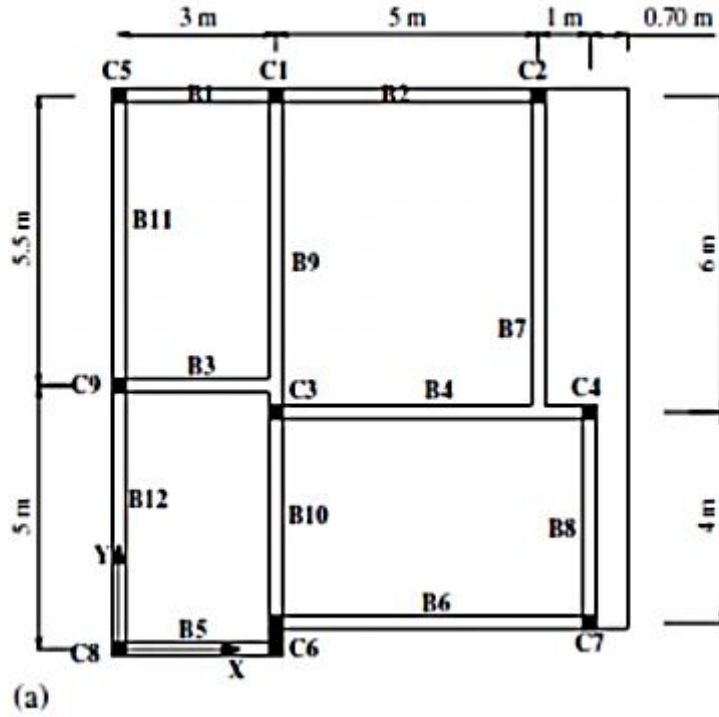
أجريت العديد من الدراسات والأبحاث حول موضوع تقوية عقد الإطارات الخرسانية المسلحة المعرضة لحمولات جانبية باستعمال مادة FRP، وفيما يلي بعض الأبحاث التي ركزت على دراسة أثر تدعيم عقد الإطارات الخرسانية:

➤ دراسة Di Ludovico et al., 2007 :

درس الباحث Di Ludovico et al., 2007 تجريبياً تأهيل الأبنية البيتونية القائمة بالبوليميرات المسلحة بالألياف لرفع كفاءتها على الزلازل، وذلك بإجراء تجربة على نموذج لبناء بأبعاد حقيقية (Full Scale) مكون من ثلاثة طوابق، حيث يبين الشكل (2-22) مسقط البناء التجريبي المدروس وأماكن تدعيم عقد المبنى الموضحة على المسقط.

كما يبين الشكل (2-23) طريقة التدعيم المستعملة بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف على عقد الإطارات، حيث يبين الشكل (2-23-a) تدعيم العقد الخارجية الذي تم فيه تطويق كامل للعقدة وامتداد العمود المتصل بها من أعلى وأسفل مع امتداد بسيط على الجوائز وذلك بعدة شرائح حيث سماكة الشريحة الواحدة 0.48 mm، والشكل (2-23-b) كامل النموذج المدعم في البناء التجريبي المؤلف من ثلاثة طوابق.



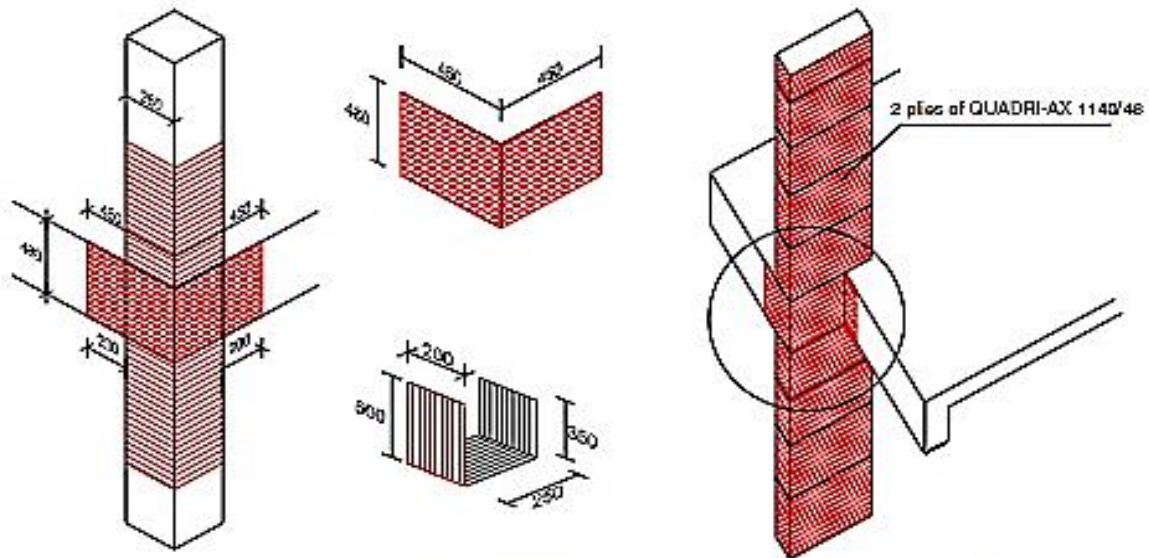


(a) مسقط البناء المدروس. (b) شكل ثلاثي الأبعاد للمبنى المدروس تجريبياً.

الشكل (22-2): آلية التدعيم لبناء تجريبي.

(Di Ludovico, 2007)





(a)



(b)

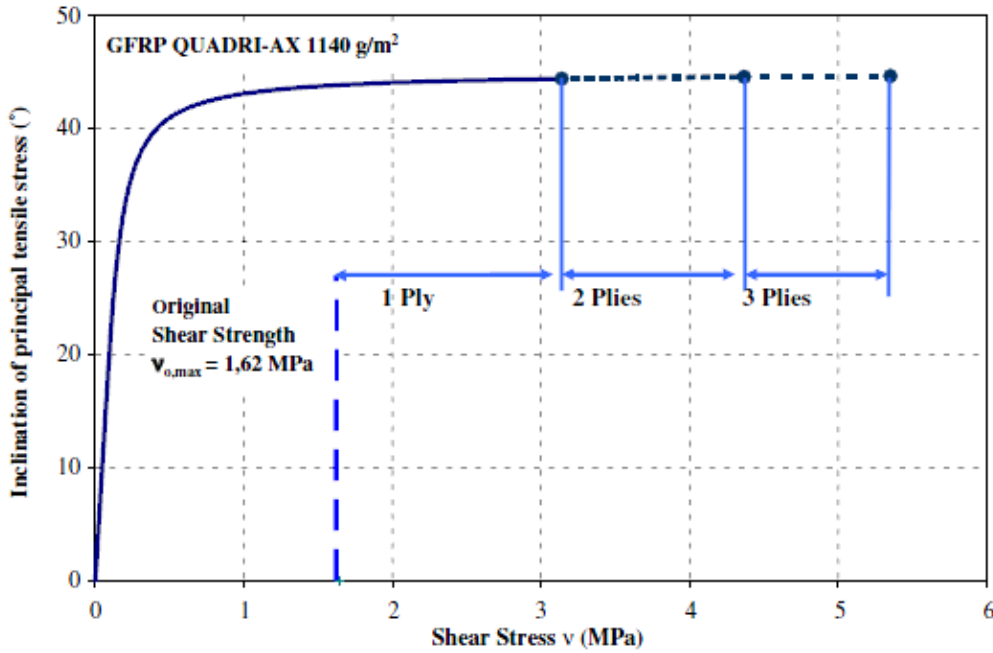
(a) عقدة خارجية مدعمة. (b) كامل النموذج المدعم.

الشكل (23-2): تفاصيل تدعيم العقد بشرائح مادة FRP.

(Di Ludovico, 2007)

يبين الشكل (24-2) العلاقة بين إجهاد القص (المحور الأفقي)، و ميل إجهادات الشد الرئيسية لعقدة ركنية في الطابق الثالث (المحور الشاقولي). يلاحظ أنه عندما يكون إجهاد القص منخفضاً وعزم الانعطاف هو المسيطر فإن ميل إجهادات الشد الرئيسية صغير، وبزيادة إجهاد القص يزداد ميل إجهادات الشد الرئيسية حتى يصل إلى  $(45^\circ)$ . كما يتبين من الشكل أن استخدام عدة شرائح (Plies) من البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP)،

يؤدي إلى زيادة مقاومة العقدة على إجهادات القص قبل التدعيم (1.62 Mpa)، ويمنع انهيار العقدة على القص وقد وجد الباحث أن استخدام شريحتين كافٍ لمقاومة إجهاد القص المطلوب.

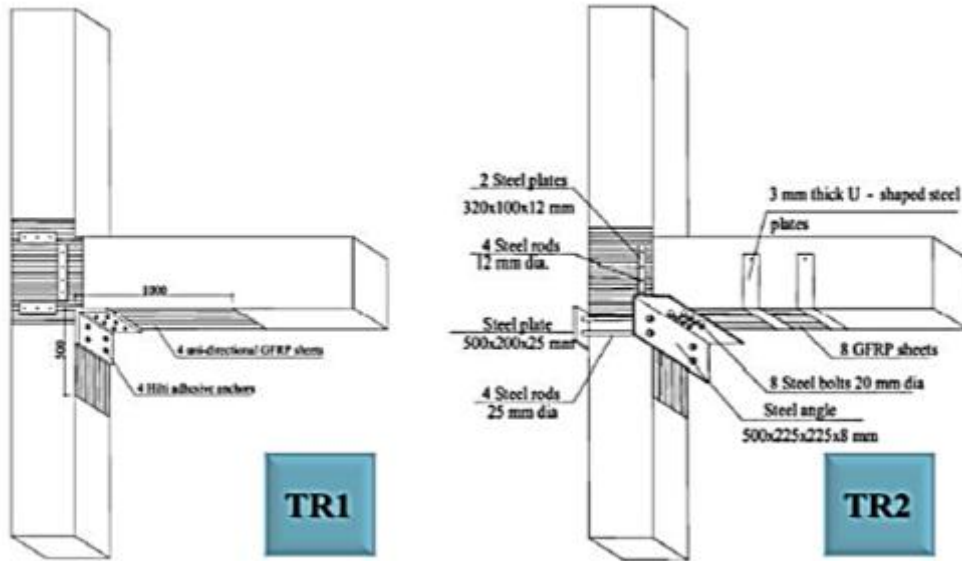
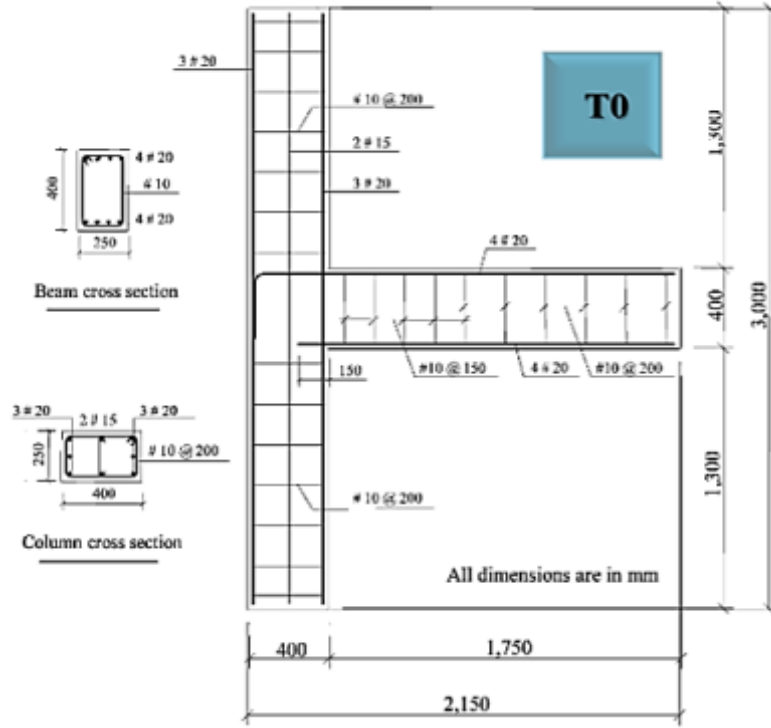


الشكل (24-2): العلاقة بين إجهاد القص الشد الرئيسي لعقدة ركنية في الطابق الثالث من البناء المدروس.

(Di Ludovico, 2007)

### ➤ دراسة (El-Amoury and Ghabarah (2002) :

قام الباحثان (El-Amoury and Ghabarah (2002) بدراسة تدعيم عقدة جائر – عمود بالبوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية لاختبار فعاليتها على الأحمال الزلزالية. تم اختبار ثلاثة نماذج موضحة في الشكل (26-2) قبل و بعد التقوية و أماكن تطبيق شرائح FRP. أخضعت النماذج TR1، TR2 بالإضافة إلى النموذج غير المدعم T0 إلى حمولة دورية في طرف الجائر، حيث يظهر الشكل (26-2) نمط الانهيار لكل منها. يحصل الانهيار في العقدة على القص للنموذج غير المدعم T0 بتشقق قطرية داخل العقدة (الشكل 26-2-a)، أما النموذج TR1 فقد حدثت تشققات شاقولية في العمود أسفل العقدة ومن ثم بدأ الـ FRP بالانفصال حتى الانفصال الكامل (الشكل 26-2-b). أما النموذج TR2 فقد حدثت فيه تشققات شاقولية وأخذت شريحة الـ FRP التي تغطي العقدة بالانفصال وذلك بسبب إجهادات القص الكبيرة في العقدة يحصل انفصال لشريحة الـ FRP المطبقة على العقدة (الشكل 26-2-c). يشير الباحث إلى أن النموذج TR2 كان أكثر مطاوعة بسبب منع انفصال نهاية الشريحة في الجائر بتثبيت فولاذي كما الشكل (25-2).

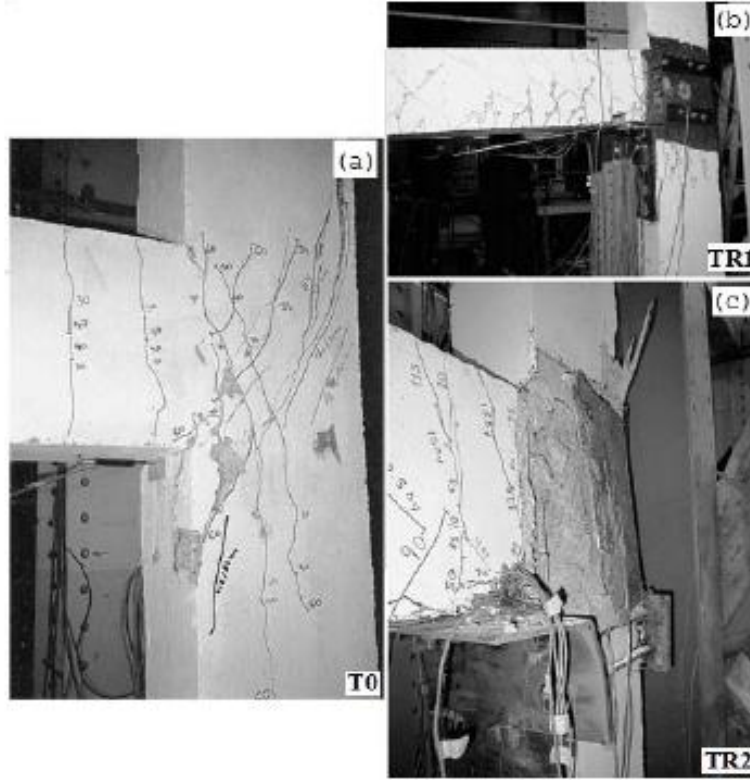


(T0) نموذج لعقدة غير مصممة وفق تفاصيل زلزالية.

(TR1) نموذج لعقدة مدعمة بشرائح FRP و صفائح معدنية عند الزاوية السفلى للعقدة.

(TR2) نموذج TR1 مع إضافة تطويق للشرائح الممتدة على الجانز.

الشكل (25-2): نموذج العقدة المدروسة ومخطط التدعيم بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف.  
(El-Amoury and Ghabarah, 2002)



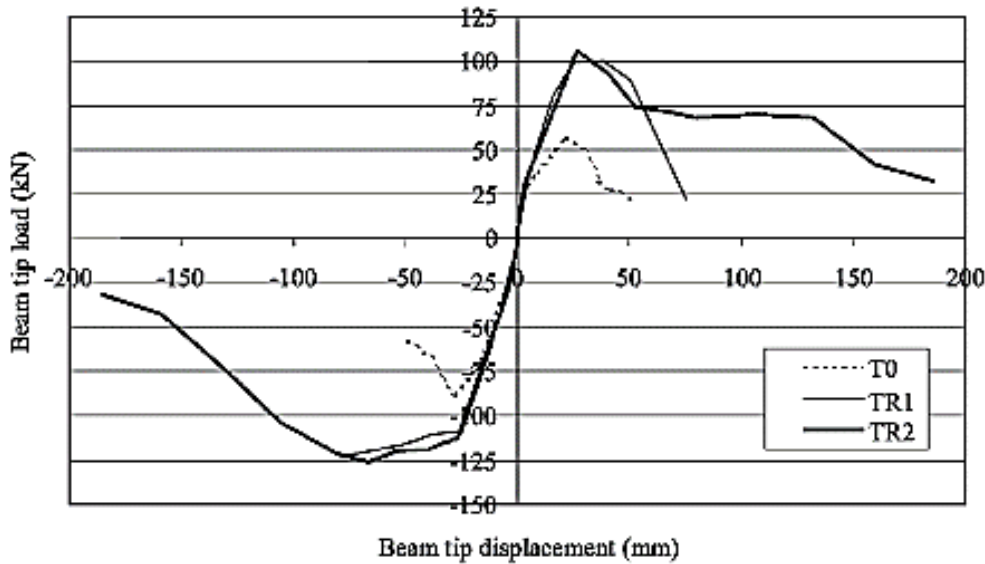
الشكل (26-2): شكل الانهيار للنماذج T0، TR1، TR2. (El-Amoury and Ghobarah, 2002)

يبين الشكل (27-2) مغلف الحلقة الهيستيرية للنماذج التي أجريت عليها التجربة، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقال في طرف الجائز والمحور الشاقولي يمثل الحمولة في طرف الجائز، حيث يمكن ملاحظة الانهيار المفاجئ للعينة T0 غير المقواة دون مطاوعة ملحوظة بسبب فقدان التماسك للتسليح السفلي في الجائز لعدم تأمين طول إرساء مناسب، مما أدى لانهيار مفاجئ في العقدة. كما يظهر الشكل أن المقاومة لكل من النموذجين TR1 و TR2 قد ازدادت بمقدار 100% عن النموذج غير المدعم.

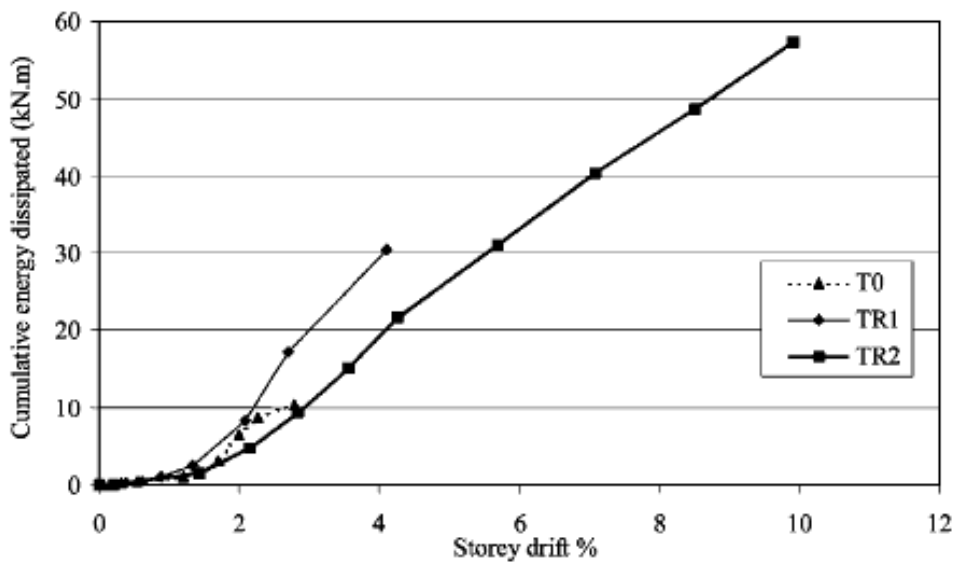
من ناحية تبديد الطاقة التي تعطي مؤشراً هاماً في استجابة المبنى للحمولات الزلزالية، يبين الشكل (28-2) العلاقة بين الانزياح الطائفي النسبي (Story Drift) وكمية الطاقة المجمعة والمبددة (Cumulative Energy Dissipated) لكل من النماذج الثلاثة.

يلاحظ أن النموذج TR1 بدد الطاقة بمقدار ثلاث مرات أكثر من النموذج T0 غير المقوى، بينما زاد مقدار تبديد الطاقة في النموذج TR2 بسبب التطويق العرضي للجائز الذي أدى إلى منع انفصال الشريحة، إلى ست مرات أكثر من النموذج T0.

مما سبق فقد أوصى الباحث بضرورة تطويق نهاية شرائح الـ FRP لتأمين المقاومة والمطاوعة معاً.



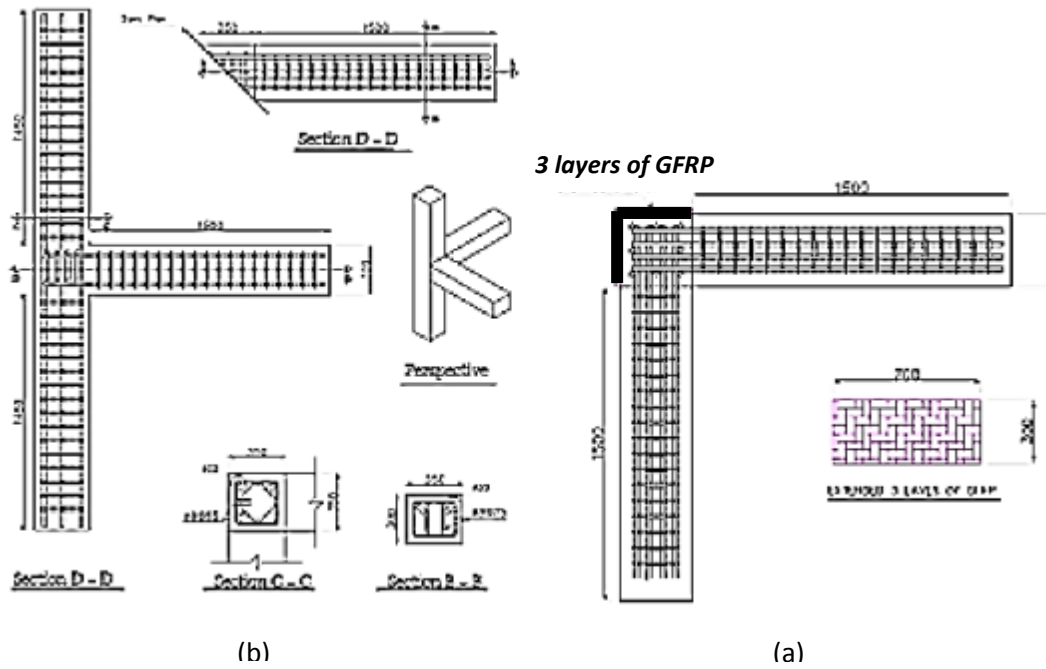
الشكل (27-2): مغلف الحلقة الهستيرية للعلاقة بين الانتقال في طرف الظفر و الحمولة المطبقة للنماذج المدروسة. (El-Amoury and Ghobarah, 2002)



الشكل (28-2): مخطط الطاقة المبذولة للنماذج المدروسة. (El-Amoury and Ghobarah, 2002)

➤ دراسة Danesh et al., 2008 :

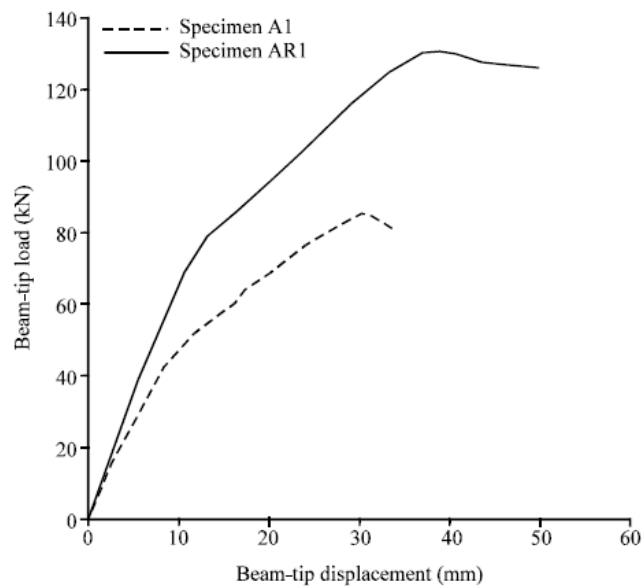
في دراسة لـ Danesh et al., 2008 ، تمت دراسة تحليلية للنموذج السابق T0 التجريبي في دراسة El-Amoury and Ghobarah (2002) للعقدة غير المدعمة باستخدام برنامج ANSYS وذلك بعد ربط العقدة بجائزين بشكل ثلاثي الأبعاد، وتعريضها لحمولة دفعية وحيدة الاتجاه (Monotonic Load) مطبقة في طرف كل من الجائزين معاً، لدراسة الأثر التفاعلي لقوى الجائزين المرتبطين بالعقدة على تصرف العقدة نفسها. ومن ثم تم تدعيم منطقة العقدة الركنية فقط بشرايح الـ FRP (الشكل 2-29).



(a) آلية توضع شرائح GFRP على العقدة الثلاثية الأبعاد (AR1). (b) تفاصيل النموذج قبل التدعيم (A1).  
الشكل (29-2): تفاصيل تدعيم العقد بشرائح مادة GFRP.

(Danesh et al., 2008)

يبين الشكل (30-2) علاقة قوة – انتقال في طرف كل من الجانزين لكل من حالتَي الجملة قبل التدعيم (A1) والجملة بعد تقوية منطقة العقدة (AR1)، حيث أن آلية التدعيم المقترحة رفعت من قوة التحمل الحدية (Ultimate load) بمقدار 54%.



الشكل (30-2): علاقة قوة – انتقال في طرف الجانزين للعقدة قبل و بعد التدعيم.

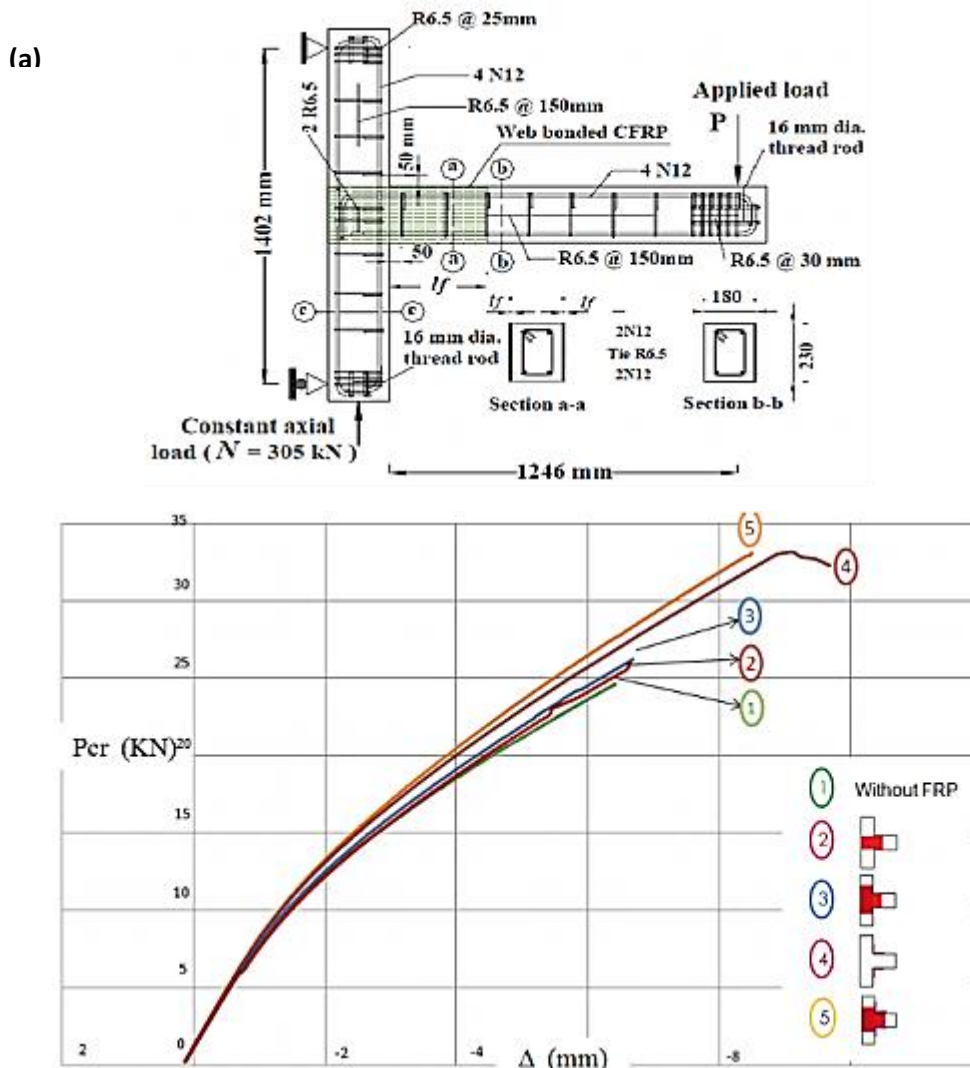
(Danesh et al., 2008)



## ➤ دراسة السباعي, 2012:

في دراسة (السباعي، 2012)، تمت دراسة تقوية عقدة جوائز - عمود على الأحمال الزلزالية باستخدام البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP)، حيث استخدم التحليل الستاتيكي اللاخطي بطريقة الدفع المتتالي (Monotonic Load) و بأخذ لا خطية المادة مع فرض التماسك تماماً بين جميع المواد ( Perfectly Bond).

تم أخذ أشكال توضع مختلفة لشرائح مادة FRP التي استخدمت لتقوية عقدة خارجية متوسطة المقاومة، بتفاصيل موضحة بالشكل (2-31)، والمقارنة بين عدة حالات لتدعيم العقدة من خلال علاقة القوة (المحور الشاقولي)، إلى الانتقال في طرف الجائز (المحور الأفقي).



(a) النموذج لعقدو متوسطة قبل التدعيم. (b) فعالية التدعيم بFRP بعدة توضعات للشرائح.

الشكل (2-31):فعالية تدعيم العقدة بشرائح مادة FRP.

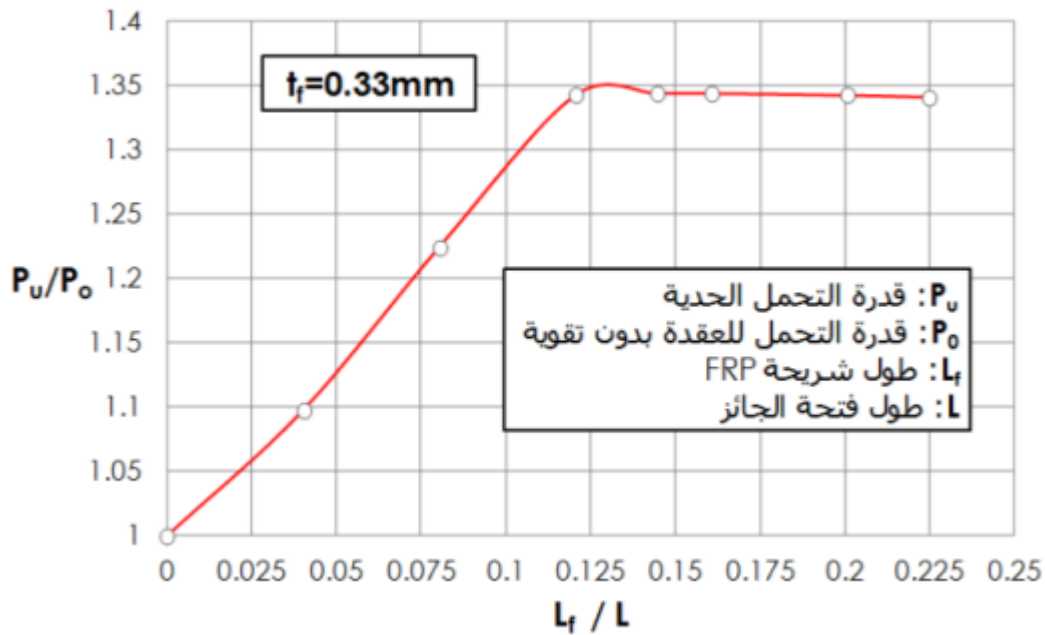
(السباعي، 2012)

إن فعالية توضع شريحة FRP يتعلق بنوع الانهيار الذي يحدث في العقدة والذي كان في دراسة (السباعي، 2012) انهياراً على الانعطاف في الجائز بسبب فرض الاتصال التام بين عناصر النموذج والحمولة غير الدورية، وبالتالي كانت حالة تقوية الجائز من الأعلى والأسفل هي الحالة النموذجية لتوضع شريحة FRP والتي أدت إلى زيادة بمقدار 35% في المقاومة، بينما أعطت الحالات الأخرى زيادة طفيفة جداً بمقدار 6% في قدرة تحمل العقدة بدون تقوية.

تمت دراسة أثر تغيير سماكة شريحة الـ FRP و طول الشريحة للحالة (4) في الشكل (2-31-a)، والتي هي حالة وضع شرائح أعلى وأسفل الجائز والتي هي الحالة العملية والتي أعطت أعلى قوة حديدية.

يبين الشكل (2-32) تأثير طول شريحة FRP على الحمولة الحديدية القصوى، حيث يمثل المحور الأفقي طول الشريحة  $L_f$  منسوباً إلى طول الجائز ( $L = 2\ell$ )، حيث  $\ell$  طول الجائز الظرفي في دراسة (السباعي، 2012)، والمحور الشاقولي يمثل نسبة الحمولة الحديدية للعقدة المدعمة بشرائح FRP ( $P_u$ )، إلى الحمولة الحرجة للعقدة بدون تدعيم ( $P_o$ ).

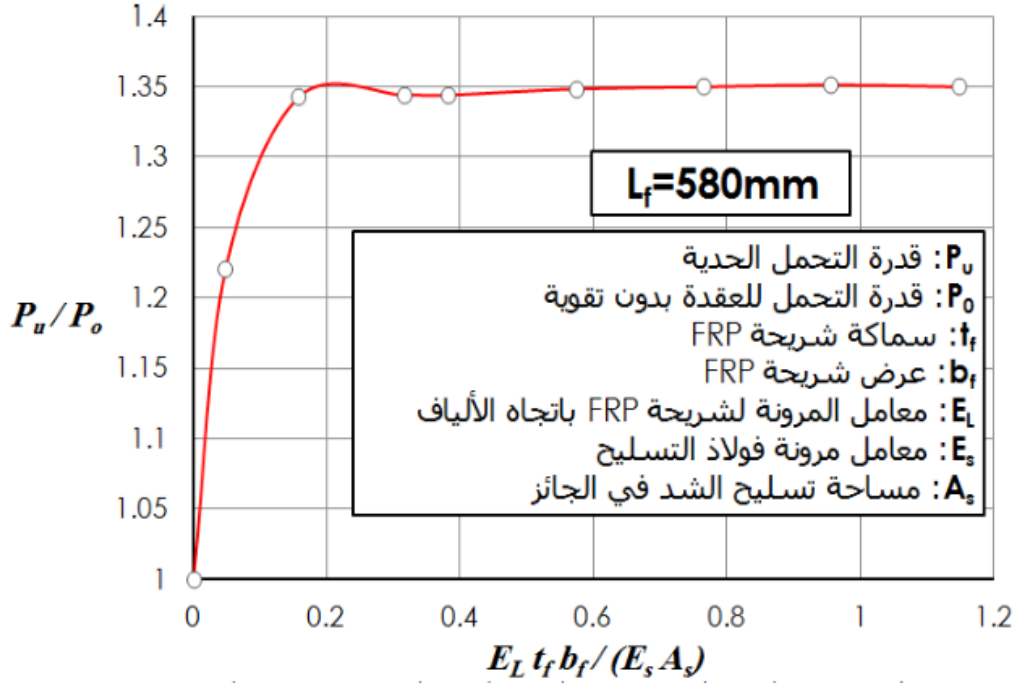
يتبين من الشكل أن قدرة تحمل العقدة تزداد بشكل شبه خطي مع زيادة الطول  $L_f$  حتى الوصول إلى قيمة ( $L_f / L = 0.12$ )، تثبت عندها قدرة تحمل العقدة وأن أي زيادة في طول الشريحة لا تؤدي إلى زيادة في المقاومة.



الشكل (2-32): تأثير تغيير امتداد شريحة FRP النسبي على نسبة الحمولة الحرجة مع FRP إلى حمولة النهيار بدون FRP. (السباعي، 2012)



يمثل الشكل (2-33) تأثير تغيير سماكة شريحة FRP النسبي  $[ E_L t_f b_f / (E_s A_s) ]$  على نسبة الحمولة الحرجة مع FRP إلى حمولة الانهيار بدون FRP  $(P_u / P_0)$ ، حيث تبين أن المقاومة تزداد حتى الوصول إلى النسبة  $E_L t_f b_f / (E_s A_s) = 0.16$  حيث لا تؤثر بعد ذلك زيادة سماكة الشريحة على المقاومة.



الشكل (2-33): تأثير السماكة النسبية FRP على الحمولة الحرجة النسبية مع FRP إلى الحمولة الانهيار بدون FRP (السباعي، 2012).

## 9.2 الخلاصة (Conclusion):

تم في هذا الفصل استعراض الدراسات المرجعية حول تقوية عقد الإطارات البيتونية المسلحة لمقاومة الأحمال الزلزالية باستعمال شرائح الـ FRP، حيث تبين مايلي:

- ✓ أكدت الدراسات السابقة على أن شرائح الـ FRP أدت إلى رفع المقاومة بشكل ملحوظ (ما بين 35% و 100%)، كما أن منع انفصال هذه الشرائح أدى إلى رفع المطاوعة أيضاً بنسب تصل إلى 6 مرات العقد غير المقواة، إلا أن التقوية لهذه الحالات كانت تتم ضمن منطقة اتصال الجانز بالعمود (العقدة بحد ذاتها) وهي حالة غير عملية حيث أن تقاطع الجانزين عند منطقة الاتصال يمنع الوصول إلى هذه المنطقة. من هنا فإن أهمية هذا البحث تأتي في أنه يسלט الضوء على مقدار فعالية الحالة العملية للتقوية من ناحية تقوية الجانز والعمود فقط.
- ✓ إن فعالية الـ FRP التي ظهرت في الكثير من الدراسات السابقة كانت تشاركها أسباب أخرى، كزيادة مقاومة البيتون أو فرض التماسك الكلي ما بين عناصر النموذج، وعدم تطبيق حمولات دورية. من هنا فإن هذا البحث سيحاول تلافي العوامل الأخرى للتحقق من بقاء هذه الفعالية من عدمها.

## 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)

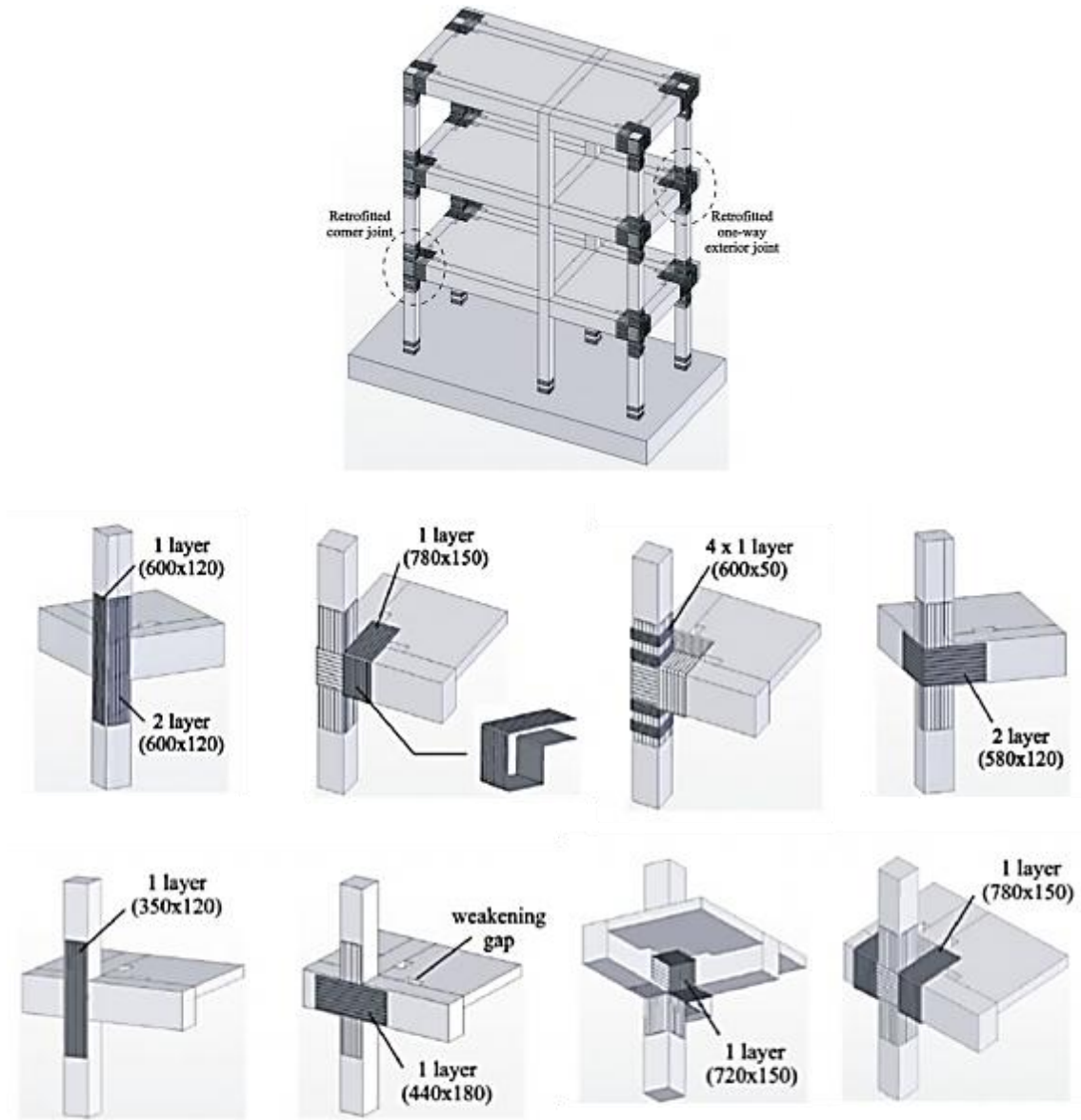
### 1.3 مقدمة

#### Introduction

تم في هذا الفصل استعراض خطوات التحليل الإنشائي التي تمت في هذا البحث باستعمال طريقة العناصر المحدودة (Finite element Method-FEM) والبرنامج (ABAQUS ver 6.12)، في محاولة للاقتراب من الواقع ما أمكن، تم بناء نموذج يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة (Materially Nonlinear analysis- MNA)، كما تم أخذ شروط التماسك (Bond) بين العناصر المختلفة في النموذج المدروس بعين الاعتبار. بالإضافة إلى ما ذكر أعلاه، تم اعتماد الحمولة الدورية (Cyclic load) في هذه الدراسة العددية.

### 2.3 توضع التدعيم تنفيذياً لعقد الإطارات الخرسانية باستخدام البوليميرات المسلحة بالألياف Seismic strengthening techniques of RC frame structure using FRP

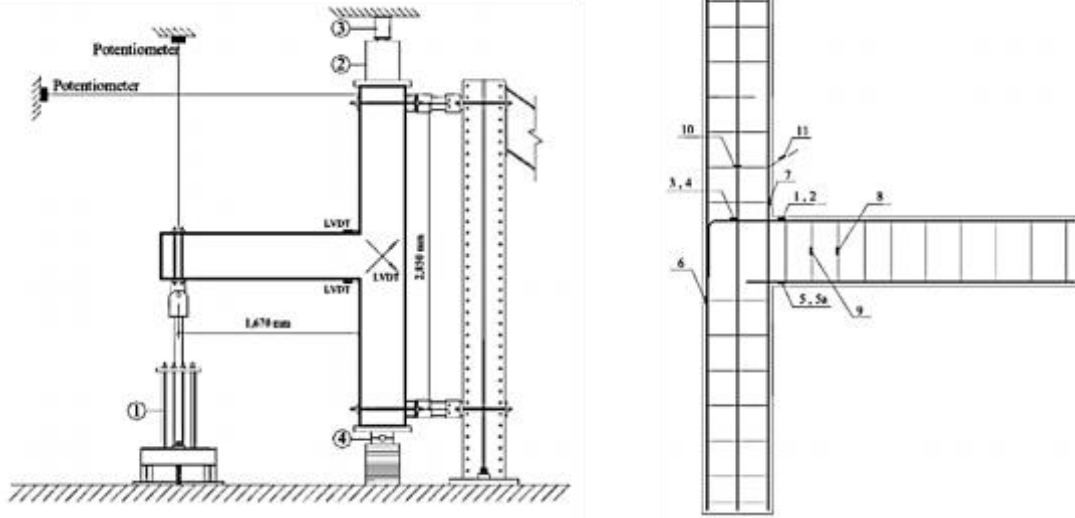
ذكر في مقالة لـ (Akguzel et al., 2011) الأوضاع الممكنة لتدعيم العقد الخارجية والداخلية لعقد الإطارات الخرسانية المسلحة بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف FRP، حيث يبين الشكل (1-3) عدة طرائق تنفيذية لتقوية العقدة، حيث أشار إلى صعوبة تدعيم العقدة الداخلية لمبنى قائم كما هو الحال في تدعيم عقد خارجية. اقتصر التدعيم على العقد الخارجية لسهولة تنفيذ الشرائح بحيث تطوق العقدة بشكل كلي مع امتداد كل من الجائز والعمود المرتبط بها، وذلك لزيادة مقاومة العقدة نفسها وتجنب الانهيارات على القص وتغيير مسار تلك الانهيارات، لتحقيق مفاصل لدنة على وجه الجائز مما يعطي مطاوعة أكبر للإطار.



الشكل (3-1): آليات التدعيم الممكنة لعقد الإطارات الخارجية باستخدام FRP.  
(U. Akguzel et al., 2011)

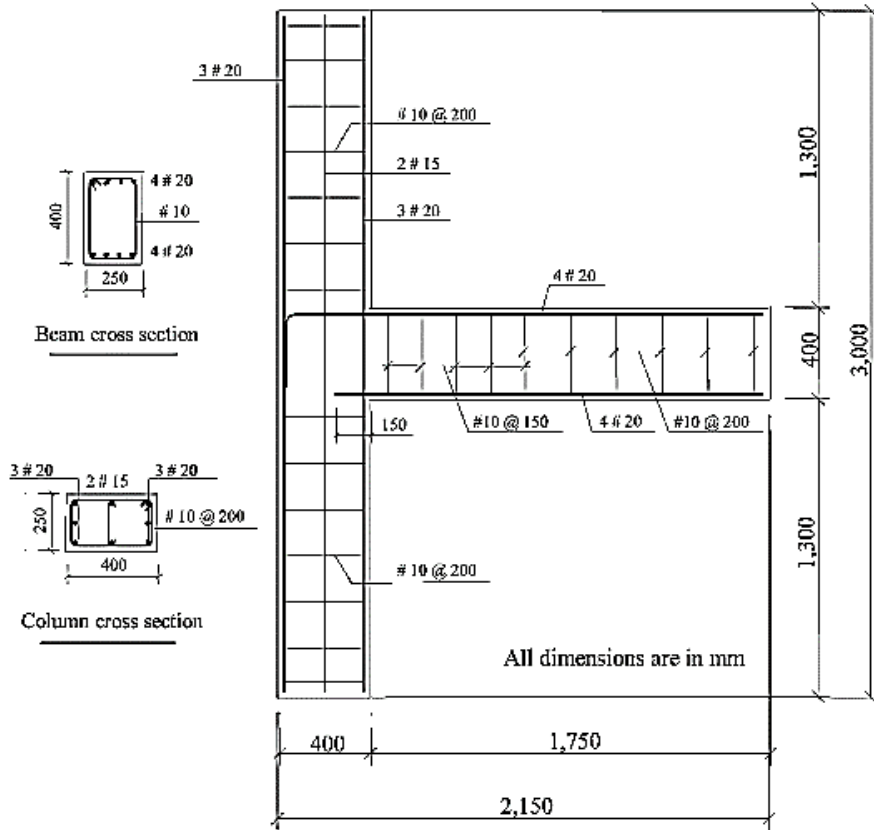
### 3.3 توصيف النموذج Description of Model

تم تحليل النموذج المدروس تجريبياً (T0) في مقالة (Al-Amoury and Ghojarah, 2002) والمبين في الشكل (3-2) وهو عبارة عن عقدة مرتبطة بعمود أعلى وأسفل العقدة مع امتداد للجائز حيث طبق على طرفه الحر حمولة دورية (Cyclic load).



الشكل (3-2): العقدة المدروسة وشكل تطبيق الحمولة الدورية.  
(Amoury and Ghobarah, 2002)

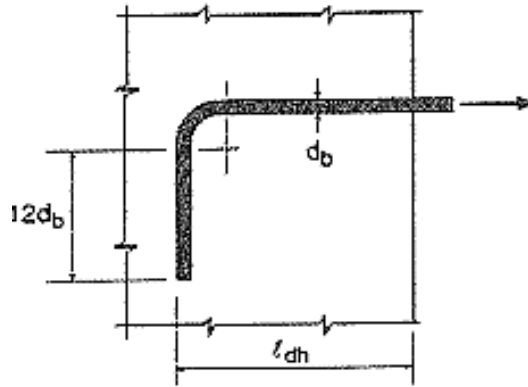
إن هدف الدراسة، إحداث دوران في العقدة لملاحظة الانهيار الحاصل فيها وفعالية توضع شرائح FRP لمقاومة العقدة و مطاوعتها، حيث أن العقدة كما يوضح الشكل (3-3) عقدة عادية لا تحوي أساور عرضية لمقاومة القص داخل العقدة.



الشكل (3-3): تفاصيل تسليح العقدة المدروسة (T0).  
(Amoury and Ghobarah, 2002)

من الملاحظ في الشكل (3-3) أن مقطع الجائز بعرض 250 mm و ارتفاع 400 mm، وطول الجائز 1750 mm، وأما التسليح فهو موضح في الشكل، حيث يلاحظ أن الأساور العرضية بتباعدات 15 cm عند العقدة على امتداد الثلث الأول للجائز، ثم يصبح التباعد 20 cm. لم يتم تكثيف التسليح العرضي للعمود بمقطع 250x400 mm قرب العقدة كما لم تحو العقدة على أساور داخلها.

تم تأمين إرساء التسليح العلوي للجائز داخل العقدة، بينما يلاحظ من الشكل (3-3) عدم تأمين إرساء كاف لتسليح الجائز السفلي ضمن العقدة، حيث امتدت فقط بمقدار 150 mm في العقدة، مع العلم أن الإرساء الكافي يقارب إلى تأمين إرساء بطول  $L_{dh}$  في الشكل (4-3).



الشكل (4-3): الطول المناسب لتأمين إرساء داخل العقدة.  
(سمارة, 2006)

إن المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون  $f_{ck}$  تساوي 30.6 MPa، بينما إجهاد الخضوع لحديد التسليح  $f_y$  يساوي 408 MPa للتسليح الطولي لكل من الجائز والعمود، وإجهاد الخضوع للتسليح العرضي للجائز والعمود يساوي إلى 450 MPa.

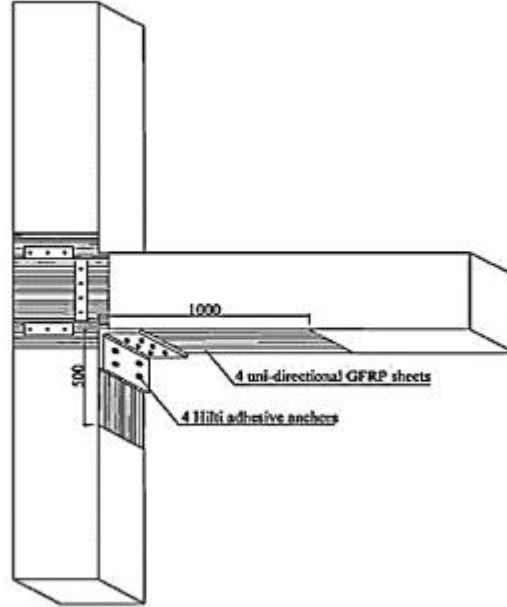
الشكل (5-3) يبين النموذج بعد التدعيم (TR1) بشرائح البوليميرات الزجاجية المسلحة بالألياف GFRP، باستخدام شرائح على امتداد 500 mm من جهة العمود أسفل العقدة، وامتداد 1000 mm أسفل الجائز.

استخدمت أربع شرائح FRP وحيدة الاتجاه (Unidirectional) بسماكة 0.353 mm في تدعيم امتداد كل من الجائز والعمود وتوثيقها ببراغ موضحة بالشكل (5-3) في الزاوية السفلى للعقدة، بينما استخدمت شريحتين باتجاهين (Bi-directional) لتدعيم العقدة بسماكة 0.864 mm.

يوضح الجدول (1-3) خصائص الشرائح المستخدمة و يحدد مقاومتها على الشد (tensile strength)، نسبة الاستطالة عند الانقطاع (Elongation at break)، و السماكات المستخدمة (Thickness).

الجدول (1-3): خصائص الشرائح المستخدمة في تدعيم العقدة (Amoury and Ghobarah, 2002).

GFRP	Tensile strength in 0° direction (MPa)	Elongation at break (%)	Tensile modulus (GPa)	Thickness (mm)
Bi-directional ( $\pm 45^\circ$ )	279	1.5	19	0.864
Unidirectional	1700	2	71	0.353



الشكل (5-3): تفاصيل تسليح العقدة المدروسة بعد التدعيم (TR1).  
(Amoury and Ghobarah, 2002)

### ➤ النمذجة باستخدام برنامج ABAQUS, 2012:

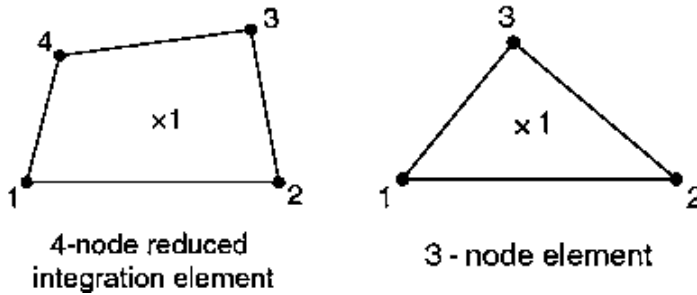
يعتبر برنامج ABAQUS والذي يعتمد على طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Analysis) من البرامج الهامة والضخمة في الدراسات البحثية لما يتمتع به من ميزات من ناحية توفر العديد من العناصر التي تلائم المشكلة الإنشائية بالإضافة إلى إمكانية تطبيق كافة أنواع الحملات الستاتيكية والدورية والديناميكية، بالإضافة إلى إمكانية استخدام التحليل اللاخطي للمادة وأثر التشوهات الكبيرة. سيتم في هذه الفقرة استعراض ماتم تناوله من برنامج الـ ABAQUS وبما يخدم هدف البحث:

#### • العناصر المستخدمة (Elements):

تحتوي مكتبة برنامج ABAQUS على مكتبة كبيرة من العناصر الخطية، والمستوية والحجمية، حيث يتم اختيار نوع العنصر اعتماداً على المشكلة الإنشائية، حيث يمكن استخدام عناصر تعتمد على فرضيات مبسطة وبحيث توفر في زمن التحليل. تم في هذا البحث استخدام العنصرين التاليين:

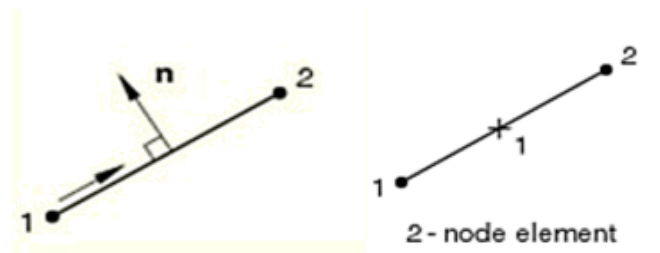
- العنصر CPS4R: وهو عنصر مساحي مؤلف من أربع عقد لكل عقدة درجتين حرة (انتقالين في المستوي)، وهو عنصر من نوع (Plane Stress) أو الإجهادات في المستوي – حيث أن مشكلة البحث

من حيث النموذج والقوى المطبقة تؤدي إلى إجهادات في المستوي فقط- و الرمز R للدلالة على أنه تم تخفيض عدد نقاط غاوس إلى نقطة واحدة. يبين الشكل (6-3) العنصر المساحي المستخدم ( *ABAQUS* ) . (6.12 Documentation, 2012)



الشكل (6-3): تمثيل العنصر المساحي ذو أربع عقد.  
(*ABAQUS 6.12 Documentation* , 2012)

- **العنصر T2D2**: وهو عبارة عن عنصر شبكي (Truss Element) مؤلف من عقدتين و كل عقدة تحتوي درجتي حرية ( انتقالين فقط)، وهذا العنصر ملائم لتوصيف العناصر والتي لا تنشأ فيها إلقاء شادة أو ضاغطة كفولاذ التسليح في النموذج. يوضح الشكل (7-3) العنصر الشبكي ( *ABAQUS 6.12* ) .(Documentation, 2012)



الشكل (7-3): تمثيل العنصر الشبكي بعقدتين.  
(*ABAQUS 6.12 Documentation* , 2012)

### • سلوك المواد (Materials behavior):

يوفر برنامج الـ *ABAQUS* القدرة على أخذ التصرف اللاخطي للمادة، كما يراعي مسألة انخفاض القساوة نتيجة الأحمال الدورية والديناميكية. بما أن موضوع البحث يعني بالإطارات البيتونية المسلحة فسيتم على سبيل المثال استعراض الطرق المختلفة لنمذجة البيتون وفق برنامج *ABAQUS*، حيث أن كل طريقة من هذه الطرق معدة من أجل إمكانية نمذجة البيتون (Plain Concrete) والبيتون المسلح (Reinforced Concrete)، وذلك لجميع أنواع العناصر الإنشائية كالإطارات (Frames)، العناصر الشبكية (Truss Elements)، العناصر المساحية المستوية (Shells) والعناصر المستوية الفراغية (Solids)، وكذلك نوع التحميل. وهذه الطرق ( *ABAQUS 6.12 Documentation*, 2012):

### ❖ Concrete Smeared Cracking Model



## ❖ Cracking Model for Concrete (Brittle Cracking Model)

## ❖ Concrete Damage Plasticity

تستخدم الطريقة الأولى في نمذجة البيتون (Concrete Smeared Cracking Model) عندما يسبب تحميل البيتون 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)، وانهيار البيتون فيها إما أن يكون بسبب التشقق على الشد (Tensile Cracking) أو التحطم على الضغط (Compressive Crushing)، أما الطريقة الثانية (Brittle Cracking Model) تستخدم في حالات التحليل التي يكون فيها سلوك انهيار البيتون على الضغط والشد غير مهم حيث يعتبر سلوك البيتون على الضغط سلوكاً مرناً (Elastic Behavior).

أما الطريقة الثالثة (Concrete Damage Plasticity) فتستخدم في حالات التحميل العشوائي (Arbitrary Loading) حيث يأخذ بعين الاعتبار تأثير إزالة القوة و التناقص التدريجي في الصلابة المرنة (Elastic Stiffness) في حالتي الشد و الضغط بسبب التشوهات اللدنة أيضاً يأخذ بالاعتبار آثار استرداد القساوة المرنة (Recovery of the Elastic Stiffness) تحت تأثير التحميل الدوري (Cyclic Loading) عند انعكاس الحمولة من الشد إلى الضغط، وبالتالي بناءً على ما سبق فإن طريقة (Concrete Damage Plasticity) هي التي تلي متطلبات الدراسة في نمذجة سلوك البيتون.

يعبر الشكل (3-8) عن منحنى إجهاد-تشوه نسبي على الضغط المحوري لطريقة Concrete Damage Plasticity، حيث يمثل المحور الأفقي التشوه النسبي (Strain) للبيتون على الضغط  $\epsilon_c$  بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد الضغط في البيتون  $\sigma_c$  حيث يكون سلوك البيتون على الضغط في البداية سلوكاً خطياً مرناً حتى الوصول إلى الخضوع الابتدائي (Initial Yield) عند قيمة الإجهاد الابتدائي (Initial Stress)  $\sigma_{co}$ ، يبدأ بعدها السلوك اللاخطي للمادة، حيث توصف المرحلة التالية بمرحلة التقسية الاجهادية (Stress Hardening) حيث تستمر الاجهادات و التشوهات بالازدياد بشكل لاخطي حتى الوصول إلى القيمة الحدية لإجهاد البيتون على الضغط (Ultimate Stress)  $\sigma_{cu}$ ، 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 منحنى الإجهاد - التشوه النسبي 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 المتشققة إلى الواحد عندما تفقد المادة كامل مقاومتها، حيث يعبر الخط المنقط ذي الميل  $(1-d_c)E_0$  في الشكل (3-9) عن حالة إزالة الحمولة، حيث يسلك البيتون سلوكاً لدنناً وبالمقارنة مع الخط المنقط ذي الميل  $E_0$  الذي يعبر عن سلوك المادة المرنة عند إزالة الحمولة حيث  $E_0$  معامل المرونة الابتدائي (Initial modulus of elasticity) نلاحظ انخفاض ميل الخط المنقط الأول

إلى  $(1-d_c)E_0$  بمقدار  $d_c$  و هذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الضغط اللدنة المتبقية في المادة  $\epsilon_c^{pl}$  (Compressive Equivalent Plastic Strain) التي تعطى بالعلاقة (1-3):

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

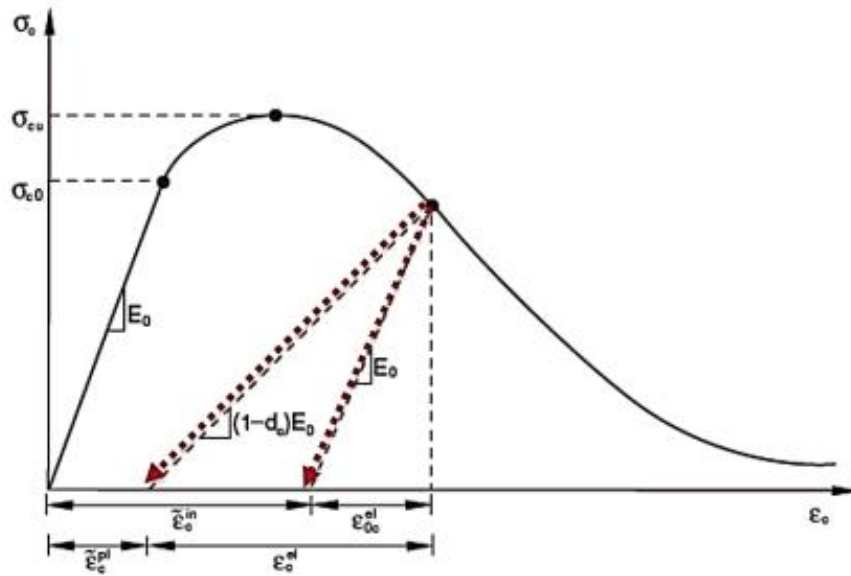
حيث  $\epsilon_c^{in}$  هو التشوه غير المرن (Inelastic Strain) و يحدد بالعلاقة (2-3) وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة  $\epsilon_c$  من منحنى الإجهاد- التشوه على الضغط غير المحوري و التشوه المرن عند هذه النقطة  $\epsilon_{0c}^{el}$  (Elastic Strain) الذي ينتج من تقسيم إجهاد الضغط الناتج عند النقطة المذكورة  $\sigma_c$  على معامل المرونة الابتدائي  $E_0$ .

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

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

يعطى  $d_c$  بالعلاقة التالية (Jankowiak and Lodygowski, 2005):

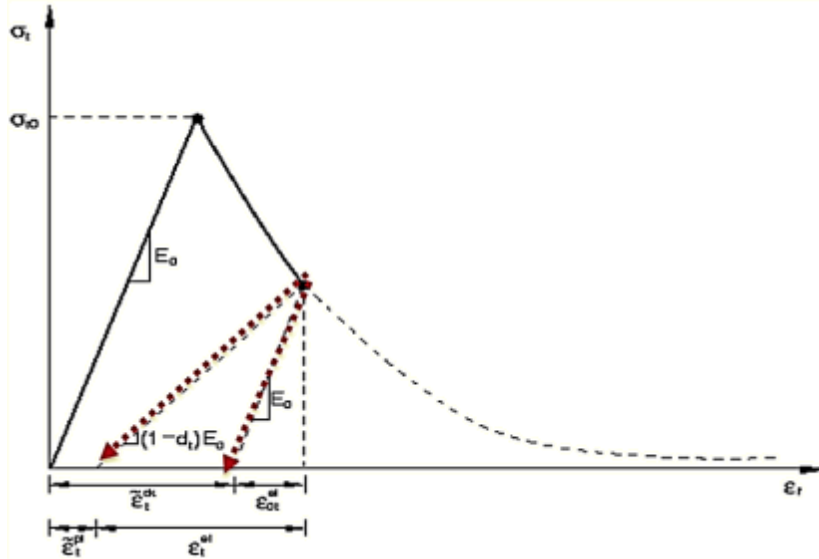
$$d_c = \frac{\sigma_{cu} - \sigma_c}{\sigma_{cu}} \quad (4-3)$$



الشكل (8-3): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الضغط (ABAQUS Documntation, 2012)

يكون تصرف البيتون تحت تأثير الشد المحوري خطي حتى الوصول إلى قيمة الإجهاد الحدي للبيتون على الشد  $\sigma_{t0}$  الشكل (9-3) الذي يترافق مع ظهور أول شق في مادة البيتون، و بعد الوصول إلى الإجهاد الحدي

تسلك المادة سلوكاً لاخطياً حيث تبدأ التشققات بالظهور و يصبح بالإمكان رؤيتها بالعين المجردة و تبدأ الإجهادات في هذه المرحلة بالانخفاض مع استمرار التشوهات بالتزايد حيث تسمى هذه المرحلة بـ ( Strain Softening) وتصبح المادة ضعيفة بسبب ازدياد الشقوق و اتساعها .



الشكل (9-3): مخطط الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون على الشد (ABAQUS Documentation, 2012).

كما في حالة الضغط عند إزالة الحمولة عند أي نقطة من المرحلة (Strain Softening) من منحنى الإجهاد- التشوه النسبي 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، حيث يعبر الخط المنقط ذو الميل  $(1-d_t)E_0$  في الشكل (9-3) عن حالة إزالة الحمولة حيث يسلك البيتون سلوكاً لدناً وبالمقارنة مع الخط المنقط ذو الميل  $E_0$  الذي يعبر عن سلوك المادة المرنة عند إزالة الحمولة، يمكن ملاحظة انخفاض ميل الخط المنقط إلى  $(1-d_t)E_0$  بمقدار  $d_t$  وهذا ناتج عن انخفاض قساوة المادة عند إزالة الحمولة بسبب ظهور تشوهات الشد اللدنة المتبقية في المادة  $\epsilon_t^{pl}$  (Tensile Equivalent Plastic Strain) التي تعطى بالعلاقة التالية :

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

حيث  $\epsilon_t^{ck}$  هو تشوه التشقق (Cracking Strain) و يحدد بالعلاقة (6-3) وهو الفرق بين التشوه الكلي الحاصل عند نقطة معينة  $\epsilon_t$  من منحنى الإجهاد- التشوه على الشد غير المحوري و التشوه المرنة عند هذه النقطة  $\epsilon_{0t}^{el}$  (Elastic Strain)، الذي ينتج من تقسيم إجهاد الشد الناتج عند النقطة المذكورة  $\sigma_t$  على معامل المرونة الابتدائي  $E_0$ .

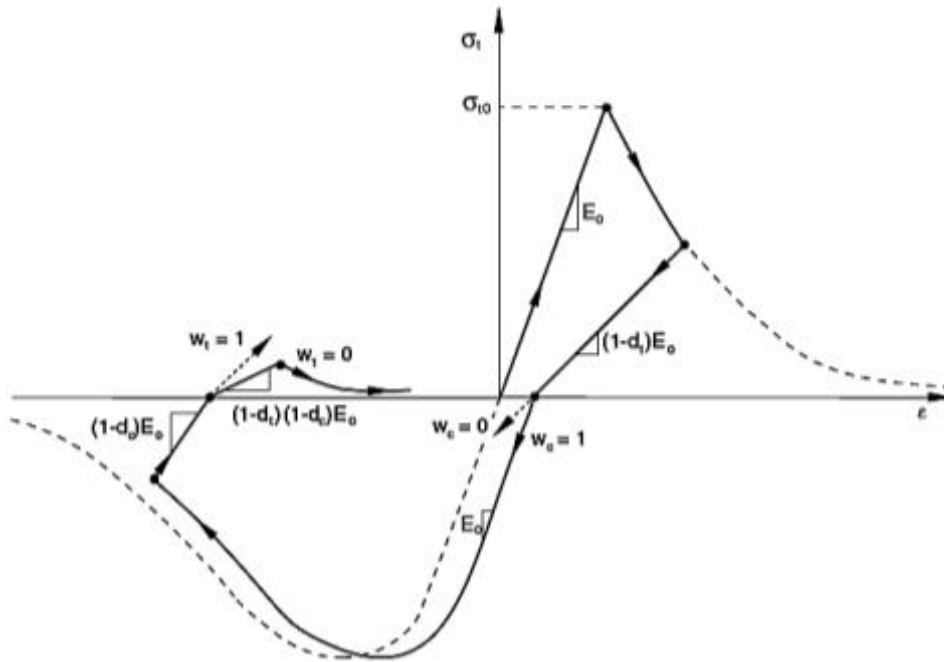
$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{0t}^{el} \quad (6 - 3)$$

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

يعطى  $dt$  بالعلاقة التالية (Jankowiak and Lodygowski, 2005) :

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

تحت تأثير التحميل الدوري المحوري (Cyclic Load) يكون سلوك الببتون معقداً نوعاً ما متضمناً انغلاق وانفتاح الشقوق نتيجة انعكاس جهة الحمولة، 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، حيث يوضح الشكل (10-3) التحميل الدوري اللاخطي (شد- ضغط- شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ( $w_t=0$ ) والذي يمثل انغلاق الشقوق عند الانتقال من العمل على الضغط إلى العمل على الشد، ( $w_c=1$ ) والتي تمثل انغلاق الشقوق عند الانتقال من العمل على الشد إلى العمل على الضغط.



الشكل (10-3): التحميل الدوري اللاخطي (شد - ضغط - شد) مع أخذ القيم الافتراضية لمعاملات استرداد القساوة ( $w_c=1, w_t=0$ ). (ABAQUS Documntation, 2012)

### 4.3 التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة Structural Analysis Using Finite Elements Method (FEM)

#### 1.4.3 العناصر المستخدمة في النموذج باستخدام برنامج ABAQUS (ver 6.12) Elements Used by ABAQUS (ver 6.12)

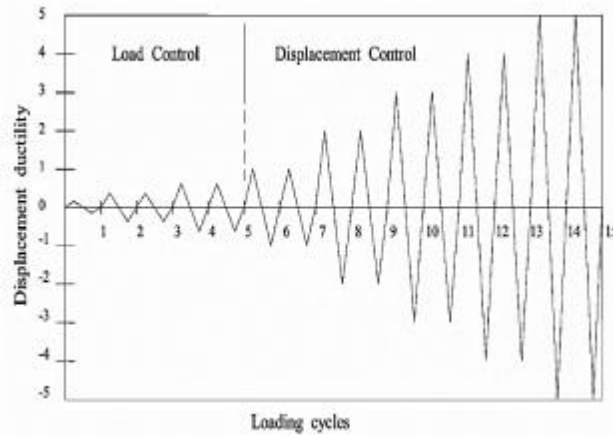
تم استخدام العنصر CPS4R لنمذجة العناصر البيتونية وحديد التسليح الطولي، بينما استخدم العنصر T2D2 لنمذجة التسليح العرضي لكل من العمود والجائز. كما يوضحها كل من الشكلين (3-6/7).

#### 2.4.3 شروط استناد النموذج المدروس Model's Boundary Conditions

تم اعتماد شروط الاستناد في النموذج المدروس كما اعتمدت في التجربة ( EL-Amoury and Ghobarah, 2002)، وهي عبارة عن وثاقة تامة لجميع العقد عند النهاية السفلية للعمود من الأسفل، أما نهاية العمود العلوي من الأعلى، فقد تم اعتبارها وثاقة متدرجة على الشاقول.

#### 3.4.3 الأحمال المطبقة على النموذج Applied Loads to The Model:

تم تطبيق حمولة دورية (Cyclic Load)، حيث تم اعتماد الاختبار المنفذ على الشوط (الانتقال) (Displacement Time History)، وتم تطبيق انتقالات دورية متزايدة على الطرف الحر للجائز كما هو في التجربة (EL-Amoury and Ghobarah, 2002)، حيث يبدو السجل الزمني المستخدم واضحاً بالشكل (3-11).



الشكل (3-11): مخطط الزمن- الانتقال المطبق Displacement Time History  
(EL-Amoury and Ghobarah, 2002)

أيضاً تم تطبيق حمولة محورية عند أعلى العمود العلوي كما في التجربة بقيمة  $(0.2A_g f_c)$ ، التي توافق في التجربة 600 KN، حيث تم توزيعها على نقاط العناصر شاقولياً، بينما منعت نقط تطبيق الحمولة المحورية على العمود من الأعلى من الحركة الأفقية.

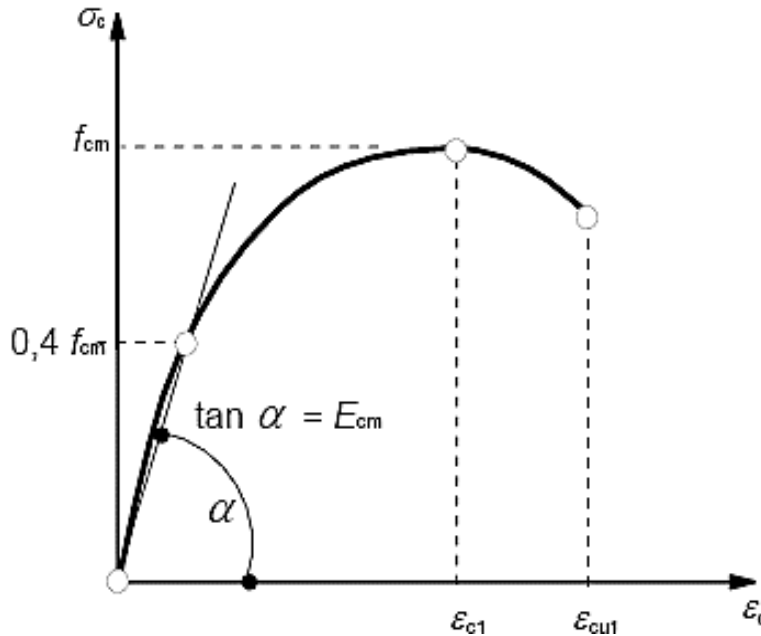
### 4.4.3 نوع التحليل المستخدم في النموذج Type of Used Analysis

تم اعتماد تحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (-Materially non-linear analysis) (MNA).

### 5.4.3 توصيف المواد المستخدمة في النمذجة Materials Used in Modeling

تم توصيف سلوك الببتون بسلوكه اللاخطي كما ورد في الشكل (3-10). تم توصيف منحنى الضغط في الببتون (الشكل 3-8) باستخدام مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للببتون على الضغط وفق الكود الأوروبي (Eurocode2, 2004) كما هو واضح في الشكل (3-12). حيث تكون علاقة الإجهاد - التشوه النسبي للببتون على الضغط علاقة خطية حتى وصول قيمة الإجهاد إلى  $0.4 f_{cm}$ ، حيث  $f_{cm}$  هي المقاومة المتوسطة الاسطوانية للببتون على الضغط (Mean compressive strength of concrete cylinder)، ومن ثم يتحول سلوك المادة إلى سلوك لاخطي (Inelastic behavior) حتى الوصول إلى المقاومة  $f_{cm}$  والتي يقابلها التشوه النسبي  $\epsilon_{c1}$  (Compressive strain in the concrete at the peak stress)، تنخفض بعدها المقاومة وصولاً إلى الانهيار عند التشوه النسبي الحدي للببتون (Ultimate compressive strain  $\epsilon_{cu1}$  in the concrete).

حيث  $E_{cm}$  هو معامل المرونة الأولي للببتون (Initial modulus of elasticity of concrete)



الشكل (3-12): مخطط الإجهاد - التشوه النسبي للببتون على الضغط (Eurocode 2, 2004)

تحدد قيمة كل من  $f_{cm}$  ،  $E_{cm}$  ،  $\epsilon_{c1}$  ،  $\epsilon_{cu1}$  من الجدول (3-1) (Eurocode2, 2004) اعتماداً على قيمة المقاومة المميزة الاسطوانية للببتون على الضغط  $f_{ck}$  (Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days) المستخدمة في التجربة و المساوية 30.6 MPa.

بالعودة إلى الجدول (2-3) نجد أن :

$f_{cm}$  المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط 30.6 MPa.

$E_{cm}$  معامل المرونة الثاني للبيتون 30000 MPa.

$\epsilon_{c1}$  التشوه النسبي للبيتون على الضغط المقابل لذروة الإجهاد  $f_{cm}$  تؤخذ قيمته 0.23%.

$\epsilon_{cu1}$  التشوه النسبي الحدي للبيتون على الضغط تعتمد قيمته في النمذجة 0.35%.

$\nu_c$  معامل بواسون للبيتون تم افتراض قيمته 0.2 وفق الكود الأوروبي (Eurocode2, 2004).

- من أجل تحديد قيم اجهادات الضغط لنقاط منحنى الإجهاد - التشوه النسبي للبيتون في المرحلة اللامرنة، تم استخدام العلاقة التالية التي تربط إجهاد الضغط مع التشوه النسبي في البيتون وفق الكود الأوروبي

*(Kmieciak and Kaminski, 2011)*:

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

$$\eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \quad (10 - 3)$$

حيث :  $\epsilon_c$  التشوه النسبي للبيتون على الضغط عند النقطة المدروسة ،  $K$  معامل يعطى بالعلاقة (3-11) :

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

أما في حالة الشد (الشكل 3-9) فتم في النمذجة اعتماد منحنى خطي مبسط لعلاقة الإجهاد - التشوه النسبي

للبيتون على الشد كما هو واضح في الشكل (3-13). حيث يصل البيتون لمقاومته العظمى على الشد  $f_{ctm}$

التي تعطى بالعلاقة (3-12) *(Kmieciak & Kaminski, 2011)*، و تعطى قيمة التشوه النسبي الابتدائي

للبيتون على الشد المرافق لذروة الإجهاد  $\epsilon_{t0}$  (Initial tensile strain in the concrete) بالعلاقة (3-13)

(3)، ثم تبدأ المقاومة بعدها بالانخفاض بشكل خطي حتى انعدامها عند قيمة التشوه الحدي للبيتون على الشد

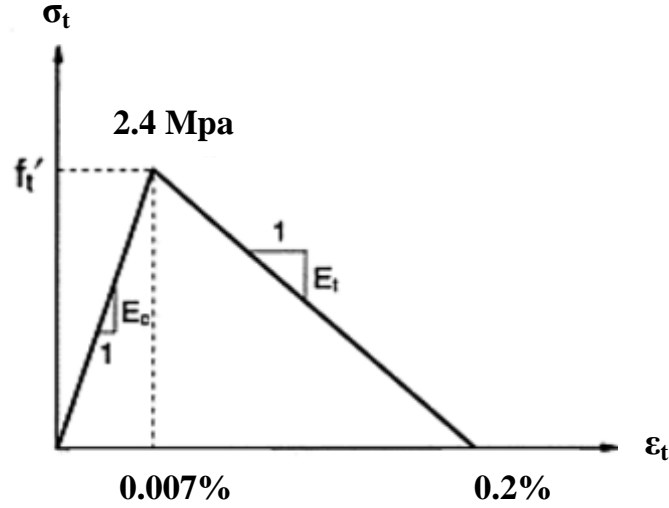
$\epsilon_{total}$  (Ultimate tensile strain in the concrete) التي تعطى بالعلاقة (3-14) حيث تم الاعتبار أن

البيتون يخرج عن العمل على الشد عند وصول فولاذ التسليح للسيلان .

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

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

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



الشكل (3-13): مخطط الاجهاد-التشوه النسبي المبسط للبيتون على الشد المعتمد في النمذجة.

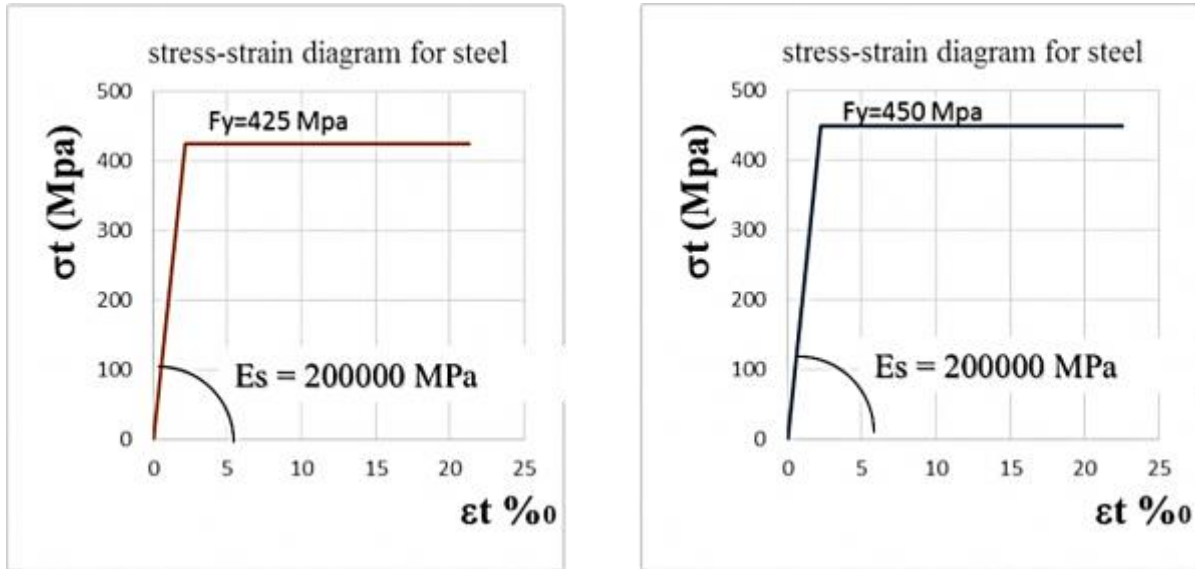
يوضح الشكل (3-14) علاقة الإجهاد- التشوه النسبي لفولاذ التسليح ، حيث يبدأ سلوك الحديد مرناً خطياً حيث تزداد التشوهات النسبية مع ازدياد الاجهادات حتى الوصول إلى إجهاد الخضوع  $f_y$  الذي يرافقه التشوه النسبي عند الخضوع  $\varepsilon_y$  و يحسب من العلاقة (3-15) حيث  $E_s$  معامل مرونة الحديد ، بعدها تم فرض سلوك فولاذ التسليح لدناً مثالياً (Perfectly Plastic) .

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (15 - 3)$$



الجدول (3-2): المقامات و التشوهات النسبية للبيتون.  
(Eurocode 2, 2004)

Strength classes for concrete													Analytical relation / Explanation		
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70		80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	2.8
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
$f_{cm}$ (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	$f_{cm} = 0.30 \sqrt{f_{ck}^{0.67}} \leq C50/60$ $f_{cm} = 2.12 \ln(1 + \sqrt{f_{ck}^{0.67}} / 10) > C50/60$
$f_{ck,0.05}$ (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	$f_{ck,0.05} = 0.7 \times f_{cm}$ 5% fractile
$f_{ck,0.95}$ (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	$f_{ck,0.95} = 1.3 \times f_{cm}$ 95% fractile
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{1.66}$ ( $f_{cm}$ in MPa)
$\epsilon_{c1}$ (‰)	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	2.8	see Figure 3.2 $\epsilon_{c1,0.01} = 0.7 \times \epsilon_{c1,0.05} \leq 2.8 \text{‰}$
$\epsilon_{c11}$ (‰)	3.5														
$\epsilon_{c2}$ (‰)	2.0														
$\epsilon_{c12}$ (‰)	3.5														
$\eta$	2.0														
$\epsilon_{c3}$ (‰)	1.75														
$\epsilon_{c13}$ (‰)	3.5														



الشكل (3-14): مخطط الاجهاد-التشوه النسبي لحديد التسليح الطولي و العرضي المعتمد في النمذجة.

### 5.3 نمذجة ظاهرة التماسك Bond Modelling

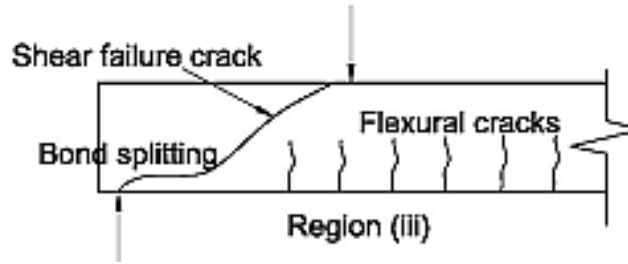
#### 1.5.3 التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح

#### Bond-Slip Relationship between Concrete and Reinforcement

يتعرض البيتون إلى عدة أنواع من التشققات الحاصلة من تطبيق قوى خارجية على المقطع، ولتبسيط مفهوم تشكل التشققات، تم إهمال تأثير التفاعل بين حصويات البيتون ودورها في نقل الإجهادات الداخلية. يبين الشكل (3-15) أنواع التشققات الممكن حصولها في مقطع بيتوني مسلح، حيث تتشكل في مادة البيتون تشققات انعطاف (Flexural cracks) بشكل عمودي على قضبان التسليح، أو تشققات مائلة بزاوية (45°) سببها القص في المقطع (Shear cracks)، وعندما يبدأ فولاذ التسليح بالسيلان، يحل محل انخفاض عطالة المقطع الحاصلة جرّاء تشققات البيتون في منطقة الشد.

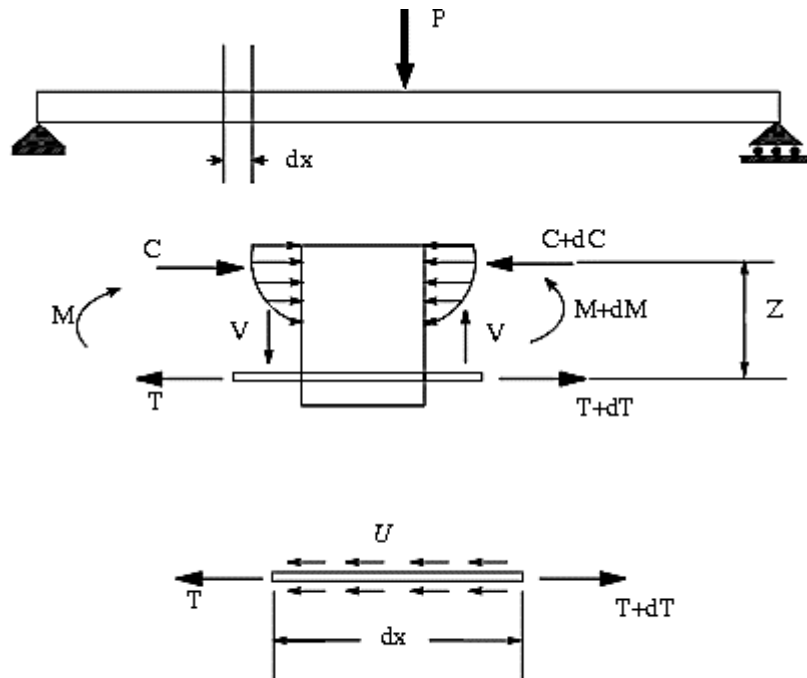
يلحظ نوع آخر من التشققات نتيجة انسحاب التسليح ضمن البيتون وهو ما يعبر عنه بظاهرة التماسك (Bond Splitting) بين قضبان الفولاذ والبيتون وما تسببه من تشققات أفقية موازية للقضبان حيث تؤثر على العمل المشترك بين البيتون وقضبان التسليح، والتي استدعت كودات التصميم تأمين إرساءات كافية للتسليح تجنباً لانزلاق فولاذ التسليح.

بينت الكثير من الدراسات التجريبية، أن احتمالية حصول تشققات ناتجة عن انسحاب التسليح من قوى الشد، تأتي في مقدمة التشققات الناتجة عند تطبيق الحمولات الخارجية قبل أنواع التشققات السابقة التي تحصل في البيتون، لأنها سبب أولي لنشوء انهيارات مفاجئة على القص، وهذا يؤكد أهمية أخذ أثر تلك الظاهرة بعين الاعتبار أثناء النمذجة (Pang and Hsu, 1995).



الشكل (3-15): أنواع التشققات التي تحصل في المقطع البيتوني المسلح.  
(BS 5400-part4, 1990)

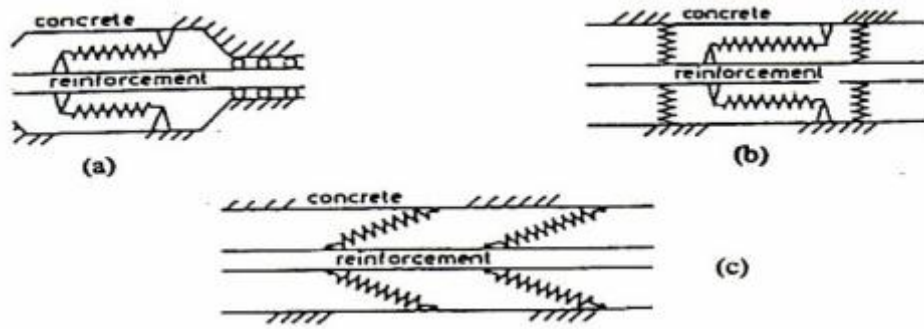
يعتبر سلوك التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح في الإطارات البيتونية ظاهرة مهمة تسمح للقوى الطولية بالانتقال من فولاذ التسليح إلى البيتون المحيط به، حيث يعد توصيف سلوك التماسك ذا أهمية كبيرة عند دراسة البيتون المتشقق، فعند ظهور أول شق تتحرر الإجهادات في البيتون بالقرب من الشق الحاصل لكن إجهادات الشد في التسليح تتراد بشكل كبير، عندها تنتقل إجهادات الشد الكبيرة المتشكلة في الفولاذ عند الشق إلى البيتون المحيط من خلال سطوح التماسك (Interface Bond)، وبالتالي فإن وجود التماسك يعتبر الشرط الأساسي لمادتي البيتون والفولاذ لكي يعملوا سوياً كنوع من أنواع المواد المركبة (Composite Material)، حيث أنه بدون التماسك يصبح فولاذ التسليح غير قادر على مقاومة أي قوى خارجية ويتصرف الجانز البيتوني كعنصر من البيتون فقط (Plain Concrete member) (Li,2007) .  
يوضح الشكل (3-16) القوى الداخلية التي تنشأ على طرفي القضيب ضمن البيتون، التي تنتج من قوة الشد  $T$  لمزدوجة العزم  $M$ ، الناتج عن الحمولة  $P$ .



الشكل (3-16): القوى التي تعبر عن ظاهرة التماسك بين قضبان التسليح و البيتون.  
(ACI-318, 2008)

بالنتيجة فإن التشوه الوسطي والتشوه الكلي الناتج في قضبان الفولاذ أصغر من ذاك التشوه الناتج تحت تأثير نفس الحمولة فيما لو كان قضيب الفولاذ موجود بمفرده بدون بيتون، هذه الآلية التي تسمى التماسك تقلل من عرض التشققات المتشكلة و تزيد من قساوة العنصر الإنشائي، و بسبب أهمية التماسك فان علاقة التماسك – الانزلاق (Bond-Slip Relationship) تعتبر من أكثر الأمور التي يتم الاهتمام بها في التحليل.

أعطت الأبحاث دراسات متعددة لتوصيف مكونات علاقة إجهاد التماسك- الانزلاق، كما استخدمت عدة طرق لتمثيل طبيعة هذه العلاقة في مجال التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Analysis) حيث استخدمت النواض بأشكال مختلفة ويوضح الشكل (3-17) أشكال متعددة للنواض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك.

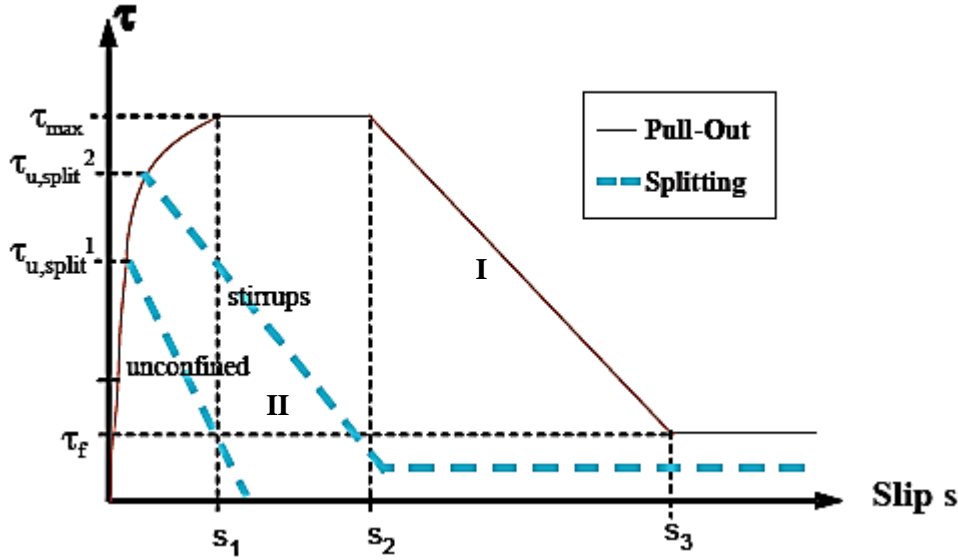


الشكل (3-17): أشكال مختلفة من النواض المستخدمة لتمثيل ظاهرة التماسك (CEB-FIP, 2000)

لتمثيل علاقة إجهاد التماسك – الانزلاق (Bond-Slip Relationship) يعطي (CEB-FIP, 2010) المنحني I الموضح بالشكل (3-18)، حيث يمثل المحور الأفقي الانزلاق (Slip-mm) في قضبان فولاذ التسليح، بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد التماسك (Bond Stress) بين البيتون و الفولاذ . حيث تبدأ إجهادات التماسك وانزلاق قضبان التسليح بالتزايد بشكل لاخطي حتى الوصول إلى قيمة إجهاد التماسك الأعظمي  $\tau_{max}$  و تكون قيمة الانزلاق عنده مساوية لـ  $S_1$ ، ثم تليها مرحلة تثبت فيها قيمة إجهاد التماسك الأعظمي مع استمرار تزايد قيمة الانزلاق حتى الوصول إلى قيمة انزلاق مساوية لـ  $S_2$ ، بعدها تبدأ إجهادات التماسك بالانخفاض عن القيمة الأعظمية مع ازدياد الانزلاق حتى وصوله إلى قيمة  $S_3$  عند قيمة إجهاد تماسك أصغري  $\tau_f$ ، حيث يفقد العنصر تماسكه كلياً.

قام الباحث Engstrom بتعديل منحنى علاقة الانزلاق – إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح ليأخذ بعين الاعتبار تأثير وصول فولاذ التسليح إلى السيلان (CEB-FIP, 2010)، حيث وجد أن إجهادات التماسك عندما تتجاوز التشوهات في قضبان التسليح تشوه السيلان (Yield Strain) تتناقص بشكل أكبر عند مقارنته مع حالة كون قضبان التسليح مازال في مرحلة المرونة ، يوضح الشكل (3-18)

3) الفرق بين الحالتين في علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك، حيث يعبر المنحني I عن حالة القضبان في المرحلة المرنة، أما المنحني II فيعبر عن حالة بلوغ قضبان التسليح مرحلة السيلان حيث نلاحظ في هذا المنحني انخفاض إجهادات التماسك مباشرة بعد وصول التسليح للسيلان حيث  $\tau_{u,split}$  إجهاد التماسك عند وصول فولاذ التسليح إلى الخضوع، بينما نلاحظ عدم وجود مرحلة ثبات الإجهادات الأعظمية كما في حالة قضبان التسليح في المرحلة المرنة (المنحني I).



الشكل (3-18): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح (Bond-slip relationship) (CEB-FIP,2010)

تعطى قيمة إجهاد التماسك في المرحلة اللاخطية حتى الوصول لإجهاد التماسك الأعظمي بالعلاقات التالية:

$$\begin{aligned}
 \tau_0 &= \tau_{max} (s/s_1)^\alpha & \text{for } 0 \leq s \leq s_1 \\
 \tau_0 &= \tau_{max} & \text{for } s_1 \leq s \leq s_2 \\
 \tau_0 &= \tau_{max} (\tau_{max} - \tau_f) (s-s_2)/(s_3-s_2) & \text{for } s_2 \leq s \leq s_3 \\
 \tau_0 &= \tau_f & \text{for } s_3 < s
 \end{aligned} \tag{16-3}$$

حيث:  $\tau_0$  قيمة إجهاد التماسك عند النقطة المدروسة

$\tau_{max}$  قيمة إجهاد التماسك الأعظمي

$s$  قيمة انزلاق قضبان التسليح عند النقطة المدروسة

$s_1$  قيمة الانزلاق عند وصول الإجهاد إلى القيمة الأعظمية و تعطى من الجدول (3-3)

$\alpha$  تعطى قيمتها في الجدول (3-3)

حيث يعطي الجدول (3-3) قيم الانزلاقات  $S_1, S_2, S_3$ ، قيم إجهاد التماسك الأعظمي  $\tau_{max}$ ، قيم إجهاد التماسك الأصغري  $\tau_f$  وقيم المعامل  $\alpha$  في حال كان البيتون ذا مقاومة عادية ( Normal Strength Concrete, ) أو ذا مقاومة عالية ( High Strength Concrete, ) (Concrete, All other bond condition). (Good bond condition

الجدول (3-3): قيم بارامترات منحني علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح (CEB-FIP, 2010)

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

<sup>1)</sup>  $c_{clear}$  is the clear distance between ribs

حيث:  $f_{ck}$  هي المقاومة المميزة للبيتون على الضغط MPa

Clear rib spacing هو التباعد بين الحلزنة و الأخرى في قضيب فولاذ التسليح.

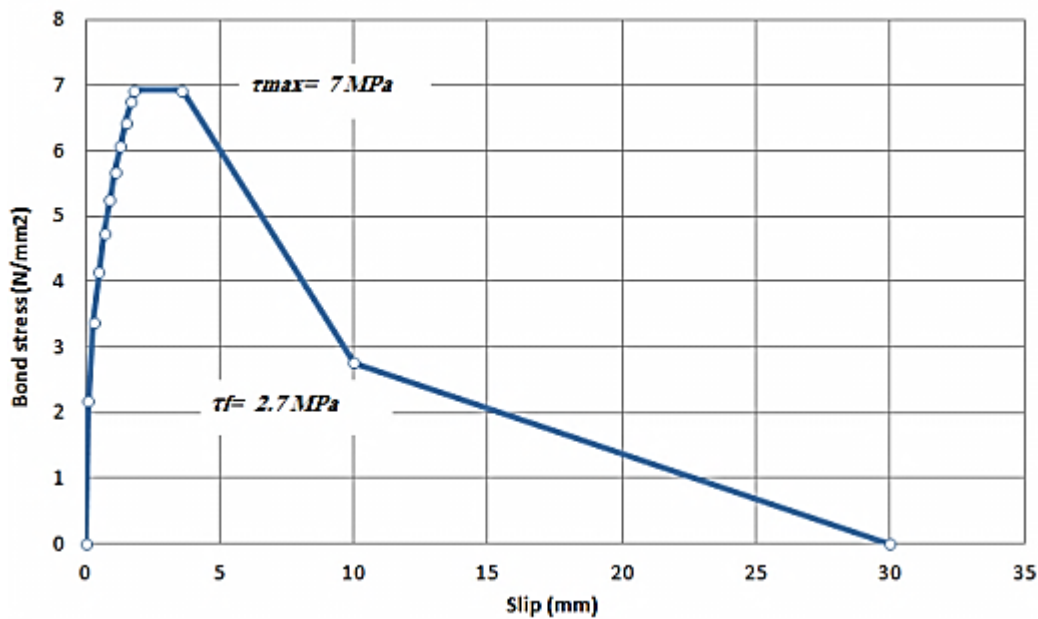
تم في هذه الدراسة الاعتماد على المنحني البيتون عادي المقاومة كما التجربة ( $f_{cm}=30.6\text{MPa}$ ) للتعبير عن منحني علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح الموضح بالشكل (3-18)، لأن تطبيق سلوك المنحني II يتطلب برمجة معقدة نوعاً ما.

للتعبير عن ظاهرة التماسك في النمذجة تم استخدام عناصر اتصال عبارة عن نوابض من نوع (Spring 2) وهو نابض يصل بين عقدتين كما هو واضح بالشكل (3-19):



الشكل (3-19): شكل النابض المستخدم في النمذجة من نوع (Spring2).  
(ABAQUS 6.12 Documentation, 2012)

بتطبيق العلاقات (3-16)، واستخدام الجدول (3-3) ينتج منحنى علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون و فولاذ التسليح المستخدم في النمذجة والموضح بالشكل (3-20).



الشكل (3-20): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح المعتمد في النمذجة (Bond-slip relationship)

### 2.5.3 نمذجة التماسك لمادة FRP

#### Local Bond-Slip model of externally bonded FRP

أظهرت عدة دراسات مرجعية في إطار التدعيم باستخدام البوليميرات المسلحة بالألياف FRP، أهمية مادة الربط بين الشرائح و سطح المقطع المدعم، حيث أشير في الفقرة (2.7) على احتمالية حصول الانهيار في هذا النوع من التدعيم بسبب انفصال مادة FRP مع طبقة التغطية للبيتون بسبب تركيز إجهادات القص، وهذا يبين أهمية نمذجة سلوك الربط بين مادة FRP والمقطع كما يبين الشكل (3-21).



الشكل (21-3): التشقق في منطقة اتصال مادة FRP بالبيتون.  
(CEB-FIP, 2010)

أخذ كود التصميم CEB-FEP, 2010 أثر الانفصال بعين الاعتبار في نمذجة التماسك لمادة FRP على السطح الخارجي للمقطع، حيث يبين الشكل (22-3) علاقة الانزلاق – إجهاد التماسك لمادة FRP.

يلاحظ في هذا المنحني انخفاض إجهادات التماسك بعد وصولها إلى قيمة عظمى  $\tau_m$  وصولاً إلى فقدان تام للتماسك عند مسافة انزلاق  $S_u$ .

تعطى قيمة إجهاد التماسك في المرحلة اللاخطية حتى الوصول لإجهاد التماسك الأعظمي بالعلاقة التالية : (CEB-FIP, Bulliten 14, 2001)

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_m (s/s_m) & \text{for } 0 \leq s \leq s_m \\ \tau &= \tau_m - \tau_m (s-s_m)/(s_u-s_m) & \text{for } s_m \leq s \leq s_u \end{aligned} \quad (17-3)$$

حيث:  $\tau$  قيمة إجهاد التماسك عند النقطة المدروسة

$\tau_m$  قيمة إجهاد التماسك الأعظمي.

$S_m$  مسافة الانزلاق الموافقة لإجهاد التماسك الأعظمي.

$S_u$  قيمة الانزلاق عند انفصال الشريحة بشكل تام عن المقطع وأعطيت بقيمة 0.255 mm.

$G_F$  طاقة التمزق (Fracture Energy).

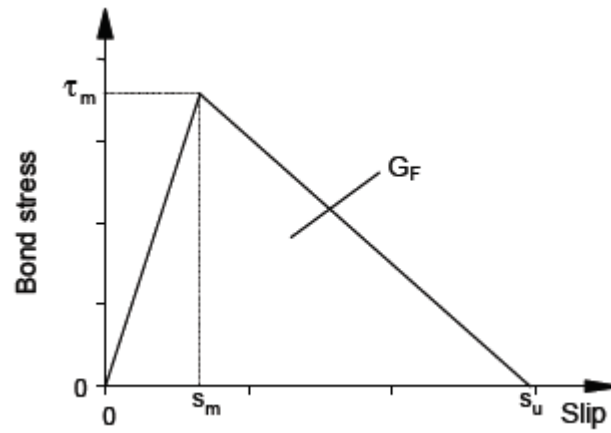
حيث:

$$G_F = cF \cdot f_{ctm}; cF = 0.202$$

$$\tau_m = 1.8 \cdot f_{ctm}$$

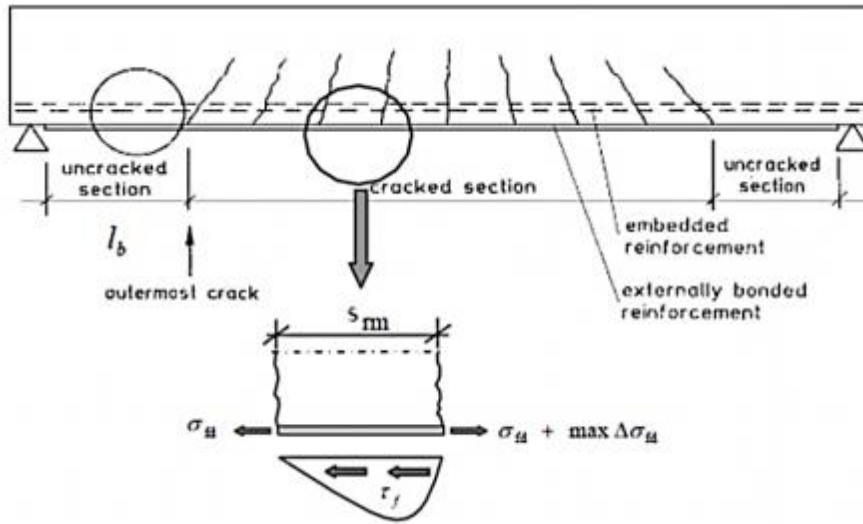
حيث المقاومة المتوسطة للبيتون المستخدم على الشد  $f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$ .





الشكل (3-22): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك لمادة FRP.  
(CEB-FIP, 2010)

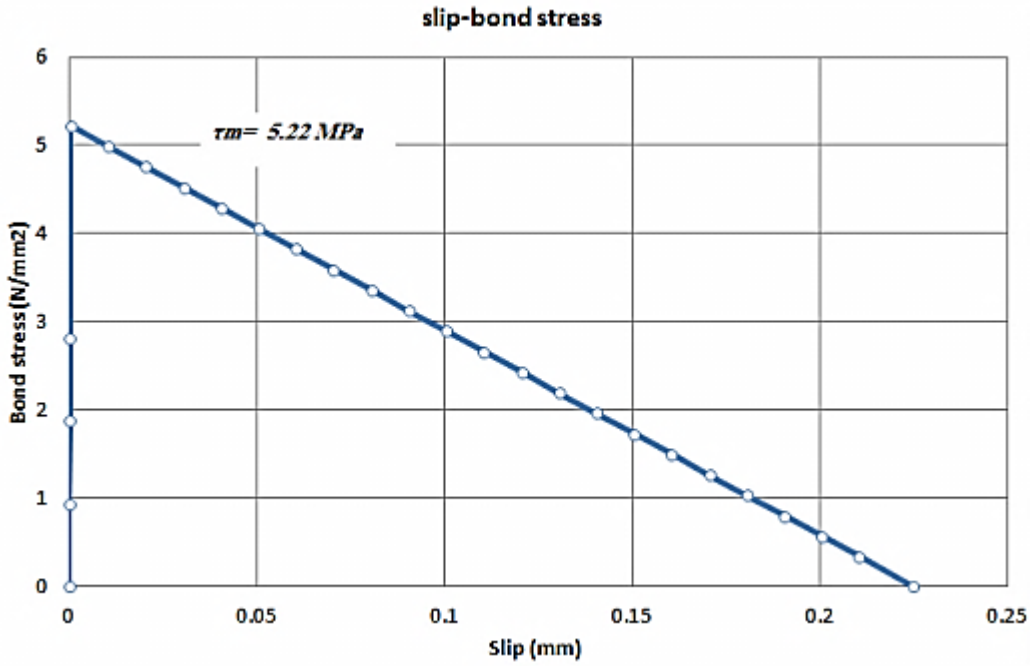
يوضح الشكل (3-23) إجهاد التماسك  $\tau$  الذي يؤثر على الشريحة والمسافة  $S$  المعتبرة التي تدل على المسافة بين شقين على امتداد شريحة الـ FRP.



الشكل (3-23): الإجهادات ومسافات الانزلاق في شريحة FRP.  
(CEB-FIP, 2010)

وباستخدام العلاقات (3-17) ينتج منحنى علاقة الانزلاق- إجهاد لشريحة FRP المستخدم في النمذجة والموضح بالشكل (3-24).

بالمقارنة مع المنحنى في الشكل (3-20) والذي يعبر عن علاقة الانزلاق- إجهاد التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح، يلاحظ أن قيمة الانزلاق الذي يتم عنده الانفصال التام بين فولاذ التسليح و البيتون هو 30 mm بينما في حالة الشريحة فإن الانزلاق في كود التصميم بقيمة 0.255 mm، الأمر الذي يدل على الضعف الكبير للتماسك بين شريحة FRP والبيتون مقارنة مع فولاذ التسليح، حيث أن الانهيار في شريحة FRP عادةً يتم بانفصال الشريحة مع طبقة التغطية للبيتون أي أن مادة البيتون هي التي تنفصل وليس مادة الرابط. من هنا فإن الشكل (3-22) تم بناؤه اعتماداً على مقاومة الشد للبيتون.



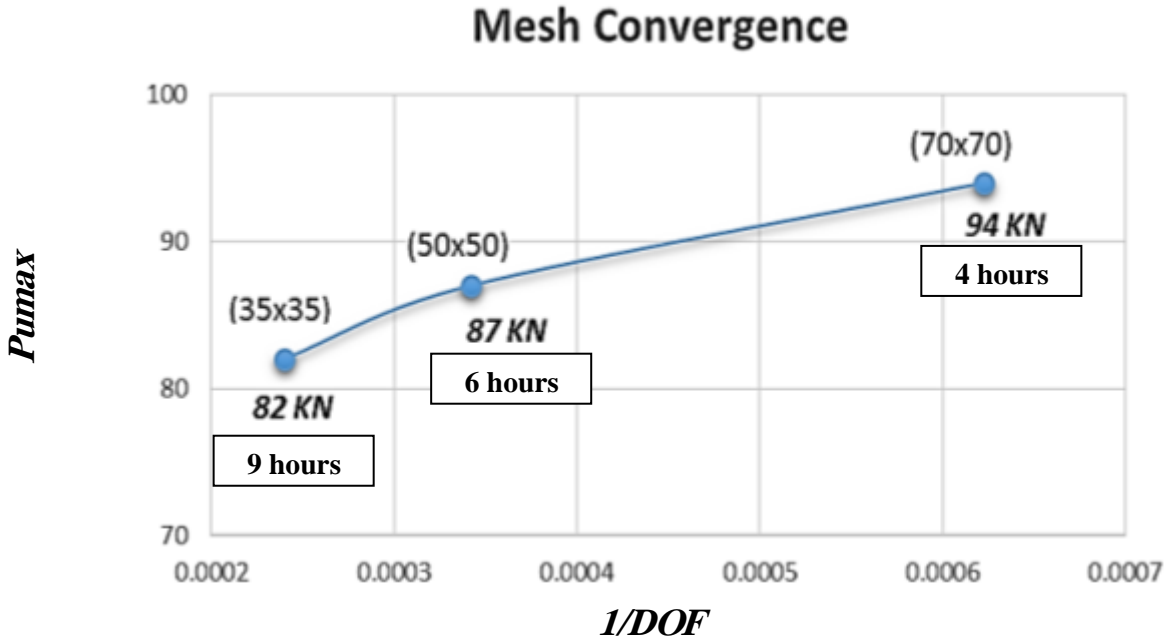
الشكل (24-3): منحنى علاقة الانزلاق - إجهاد التماسك لشريحة FRP (Bond-slip relationship)

### 6.3 دراسة أثر تقارب الشبكة

#### Mesh Convergence

تمت دراسة أثر تقارب الشبكة (Mesh Convergence) للنموذج المدروس كما هو واضح في الشكل (25-3)، حيث أنه لا بد من تحديد الأبعاد المناسبة لتقسيم العناصر المحدودة المستخدمة من أجل الوصول إلى التقسيم الأمثل للشبكة التي تكون أكثر اقتصادية في زمن الحل بما أن طريقة العناصر المحدودة هي طريقة عددية، وبالتالي الوصول إلى دقة في النتائج حيث يمثل المحور الأفقي مقلوب عدد درجات الحرية (Degree of Freedom, DOF) في النموذج بينما يمثل المحور الشاقولي تغير قيمة المقاومة العظمى للعقدة المدروسة، وذلك من أجل تقسيمات شبكة (Mesh) مختلفة.

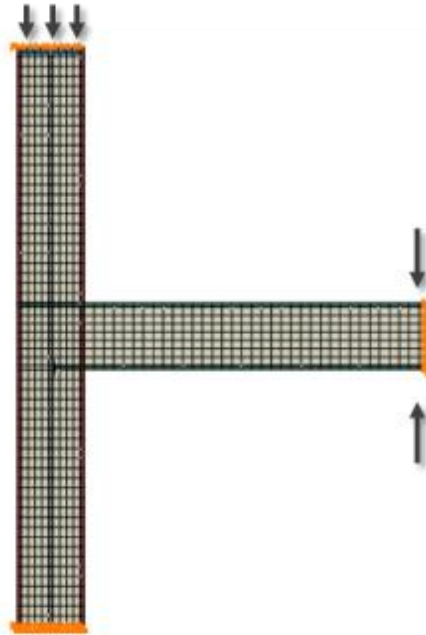
يلاحظ أن استخدام العنصر المساحي CPS4R بأبعاد (50X50mm) أعطى نتائج متقاربة عند استخدام نفس العنصر لكن بأبعاد (35X35 mm)، وبالتالي اعتماد العنصر المساحي بأبعاد (50X50mm) كافٍ للحصول على حل دقيق، فاعتماد أبعاد أكبر للعنصر المساحي CPS4R عند النمذجة (70X70mm) أعطى حلاً غير دقيق، في حين يؤدي استخدام العنصر المساحي ذو الأبعاد الأصغر (35X35 mm) إلى عدم اقتصادية في زمن الحل.



الشكل (3-25): دراسة أثر تقارب تقسيم الشبكة للنموذج المدروس مبيناً القوة العظمى و زمن كل تحليل.

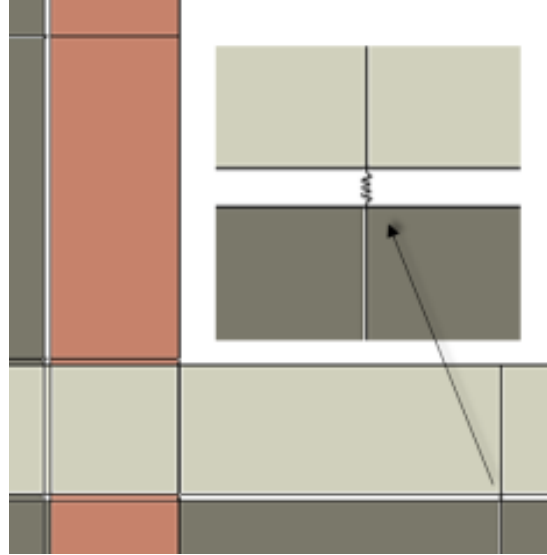
### 7.3 النموذج المدروس في برنامج ABAQUS ver 6.12

يبين الشكل (3-26) النموذج النهائي المدروس قبل التدعيم وفق برنامج (ABAQUS Ver 6.12)، حيث يظهر في الشكل عقدة بعمودين وجائز، ويوضح أيضاً التسليح الطولي والعرضي للنموذج المدروس، كما يوضح أماكن تطبيق كل من الحمولة المحورية عند نهاية العمود العلوي والحمولة الدورية على طرف الجائز.



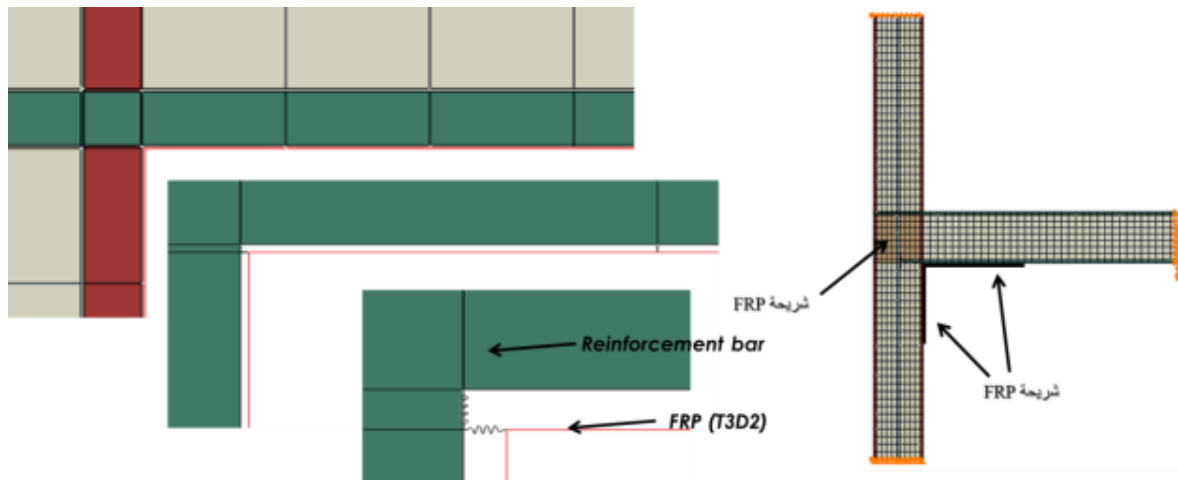
الشكل (3-26): شكل نموذج العقدة المدروسة موضحاً عليه شبكة التسليح باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)

أيضاً يوضح الشكل (3-27) توضع النواض التي تم استخدامها لنمذجة التماسك بين قضبان التسليح والبيتون حيث يلاحظ توضعها بشكل عمودي على حركة تلك النواض لتمثل ظاهرة الانزلاق أفقياً على سطح التماس بين الحديد و البيتون.



الشكل (3-27): توضع النواض في نمذجة ظاهرة التماسك بين الحديد و البيتون باستخدام (ABAQUS Ver6.12)

يلاحظ بأنه لم يتم نمذجة طبقة التغطية وذلك بسبب انهيارها السريع الذي قد يؤدي بدوره إلى توقف التحليل، حيث أن نمذجة النواض أخذت بعين الاعتبار دور طبقة التغطية. يبين الشكل (3-28) النموذج المدروس بعد التدعيم وفق برنامج (ABAQUS (Ver 6.12) للعقدة المدروسة، حيث يوضح توضع شرائح FRP على العقدة كما التجربة في الشكل (3-5) و امتداد الشرائح على الجائز والعمود من جهة العقدة من الأسفل.

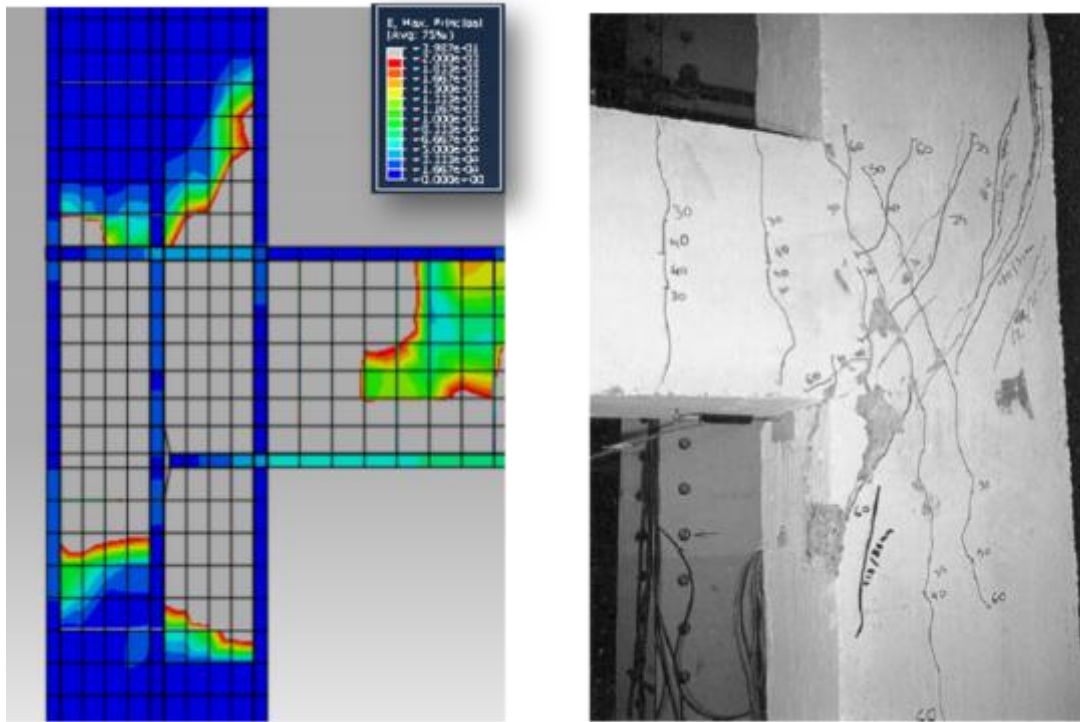


الشكل (3-28): شكل نموذج العقدة المدروسة موضحاً عليه توضع شرائح FRP بعد التدعيم وتوضع النواض الممثلة لظاهرة التماسك باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)

### 8.3 مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية للدراسة المرجعية

#### 1.8.3 النموذج T0 قبل التدعيم

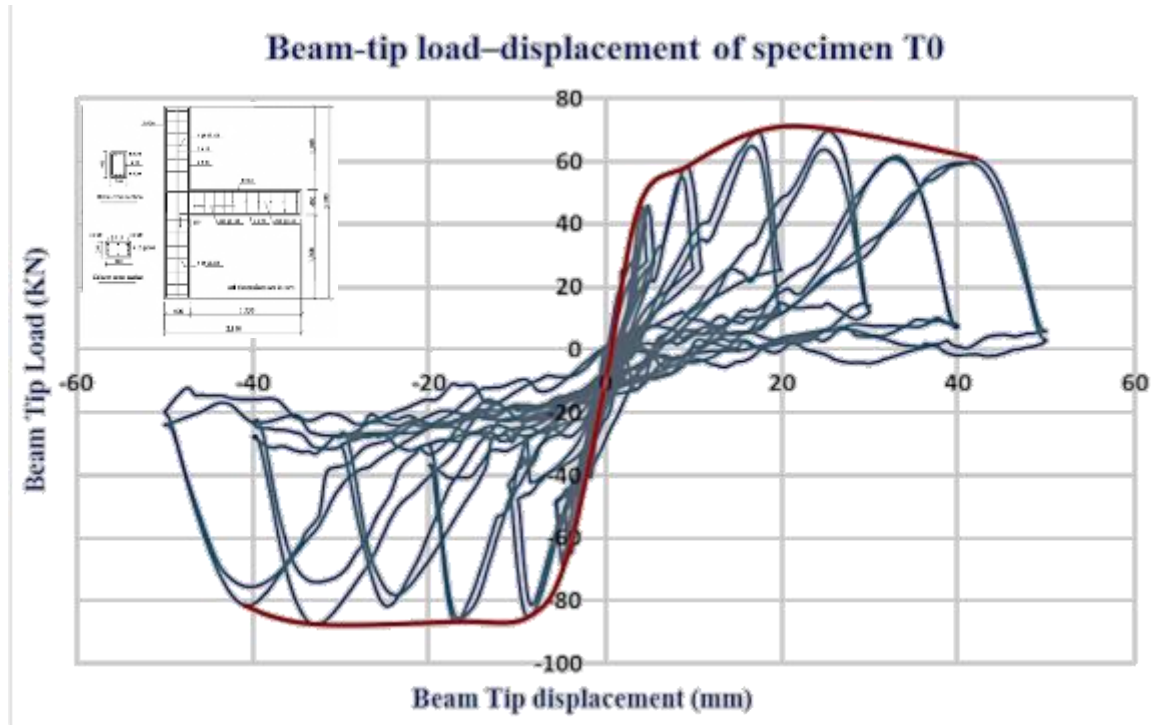
يبين الشكل (3-29) أثر الانهيارات الحاصلة داخل العقدة في الدراسة التجريبية ( *Al-Amoury and Ghobarah, 2002* )، ومقارنتها مع التشوهات النسبية الرئيسية (Principle strain) عند تحليل العقدة باستخدام برنامج (ABAQUS Ver 6.12)، حيث يوضح اللون الرمادي، مناطق خروج البيتون عن العمل على الشد عند تجاوز التشوه الرئيسي النسبي لقيمة 0.2% (الشكل 3-13)، حيث يبدأ الانهيار بتشكيل تشققات شاقولية على وجه العقدة من جهة الجائز على الانعطاف في الخطوات الأولى من تطبيق الحمولة الدورية حتى الخطوة الرابعة التي توافق إلى انتقال بمقدار 5.7 mm، ثم ينتقل سلوك الانهيار في الخطوة الخامسة عند انتقال بمقدار 10 mm ليصبح على القص داخل العقدة عند انعكاس جهة الحمولة الدورية للأعلى، بسبب انسحاب الحديد السفلي للجائز من العقدة، وبالتالي يلاحظ تقارب آليتي الانهيار بين النتائج التجريبية والتحليلية.



الشكل (3-29): الانهيار الحاصل في العقدة لكل من النموذجين التحليلي و التجريبي.

يوضح الشكل (3-30) الحلقة الهستيرية (منحنيات الانتقال – القوة في طرف الجائز) لنموذج العقدة (T0) قبل التدعيم، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقال في طرف الجائز (mm)، بينما يمثل المحور الشاقولي القوة في طرف الجائز (KN)، ومنه يلاحظ تضيق الحلقات الهستيرية المبينة، بسبب الانهيار المفاجئ (Brittle failure) للعقدة على القص، وبالتالي انخفاض كمية الطاقة المبددة التي تعبر عنها مساحات تلك الحلقات في كل دورة كاملة لتطبيق الحمولة الدورية.

يلاحظ من الشكل قوة التحمل العظمى عند تطبيق القوة للأعلى كانت 69 KN، بينما وصلت إلى 87 KN عند عكس القوة للأسفل، حيث أن هذا الاختلاف في قيم القوى بأنه عند تطبيق القوة للأعلى، كان الانهيار الحاصل بسبب انزلاق قضبان الجائز السفلية لعدم تأمين إرساء كاف للقضبان داخل العقدة (Bond Slip)، أما الانهيار الحاصل عند تطبيق القوة للأعلى، بسبب تلدن فولاذ التسليح و لكنها لم تعط القيمة المفترض الوصول إليها نظرياً والتي هي 110 KN بسبب الانهيار المفاجئ داخل العقدة على القص (Joint shear failure) كما ذكر في الدراسة التجريبية (El-Amoury and Ghabarah, 2002).



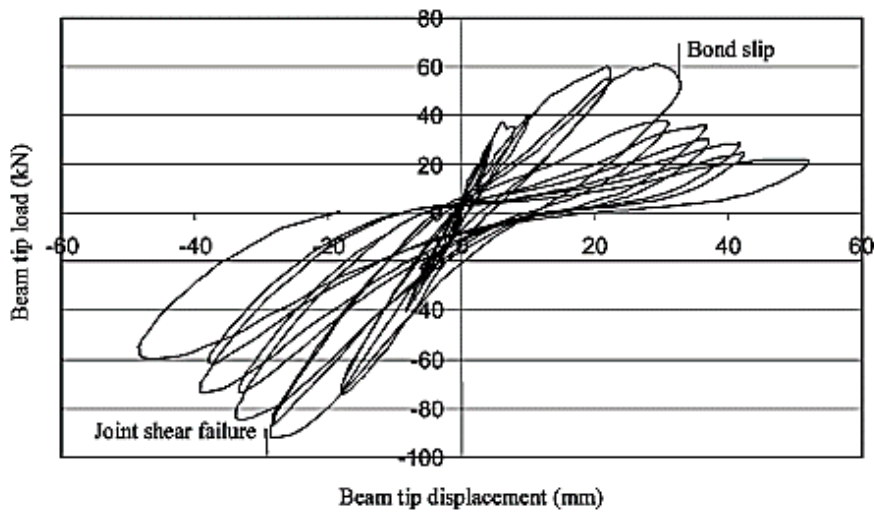
الشكل (30-3): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة قبل التدعيم باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)

يبين الشكل (31-3) الحلقات الهستيرية الناتجة في الدراسة التجريبية (Al-Amoury and Ghabarah, 2002)، حيث كانت قوة التحمل العظمى عند تطبيق القوة للأعلى 60 KN، بينما وصلت إلى 86 KN عند عكس القوة للأسفل. كما يلاحظ من الشكل (31-3) تضيق الحلقات الهستيرية دلالة تبديد الطاقة المنخفض نتيجة انهيار العقدة على القص.

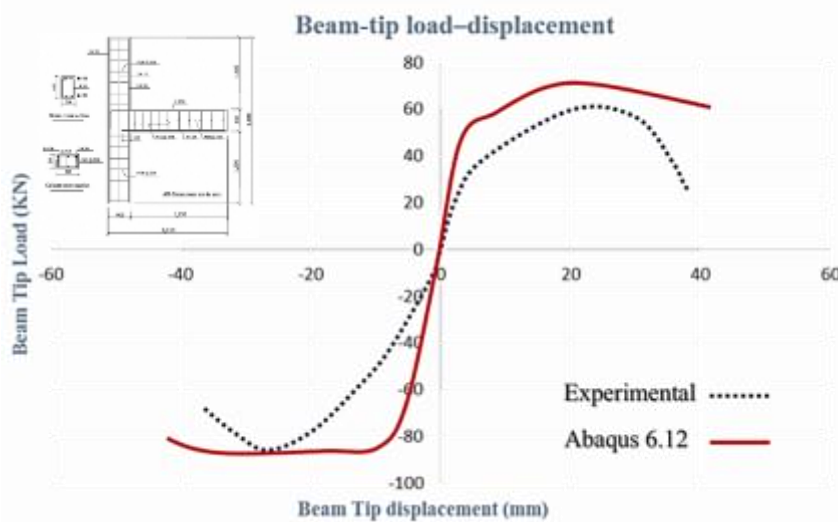
يبين الشكل (32-3) مغلف الحلقات الهستيرية لكل من نتائج النموذج التحليلي في الدراسة الحالية وفق برنامج ABAQUS Ver 6.12، وتجريبياً نسبة إلى الدراسة المرجعية (Al-Amoury and Ghabarah, 2002)، حيث يلاحظ أن نسبة الخطأ في النتائج إلى 13% بمقارنة قوة التحمل العظمى عند تطبيق القوة للأعلى، بينما تساوي إلى 1% عند تطبيقها للأسفل. من ناحية القساوة، فإن قساوة النموذج التحليلي كانت أعلى من النموذج التجريبي حيث دلت دراسات سابقة أن عرض منطقة سيلان فولاذ التسليح تجريبياً أكبر، وهذا يؤثر على ازدياد الشقوق وفقدان التماسك الأمر الذي يؤدي إلى نقصان القساوة.



بالمقارنة بين الحلقات الهستيرية في الدراسة الحالية (الشكل 3-30) والدراسة التجريبية (الشكل 3-31)، يمكن ملاحظة أنه على الرغم من الحصول على التقارب في النتائج بالنسبة إلى المقاومة العظمى إلا أن التصرف فيما بعد المقاومة العظمى بين الدراستين كان مختلفاً، حيث أن التجربة أبدت انهياراً ملحوظاً في المقاومة مع تضيق للحلقات شديد، بينما كان انخفاض المقاومة بنسبة منخفضة في الدراسة الحالية وكانت الحلقات الهستيرية أوسع مما هو الحال عليه في التجربة. يمكن أن يعزى السبب في ذلك، إلى استخدام منحنيات نموذجية لتوصيف البيتون والتماسك كما وردت في الكودات (الشكلان 3-12 و 3-18)، إضافة إلى أن آلية انغلاق الشقوق وتوسعها والتي تم اعتمادها في الدراسة الحالية أو ما يعرف بظاهرة (Recovery of the Elastic Stiffness) (البند 3-4-5) مختلفة عما هو الحال في التجربة، إلا أن هذه النقطة تحتاج إلى مزيد من البحث.



الشكل (3-31): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة قبل التدعيم من الدراسة التجريبية. (Amoury and Ghobarah, 2002)

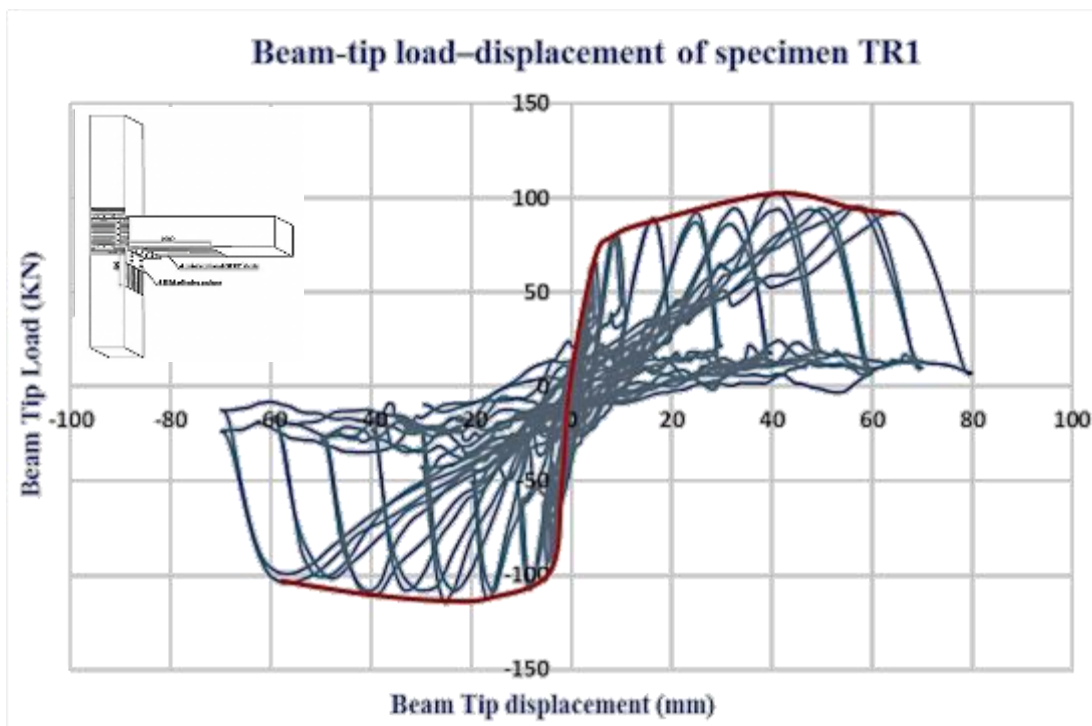


الشكل (3-32): مغلف الانتقال- قوة لكل من الدراسة التحليلية و التجريبية.

## 2.8.3 النموذج TR1 بعد التدعيم

يستوجب التنويه إلى اختلاف المقاومة المتوسطة للبيتون قبل وبعد التدعيم للنموذجين المدروسين تجريبياً في مقالة (Al-Amoury and Ghobarah, 2002)، حيث أن مقاومة بيتون العقدة كانت قبل التدعيم  $f_{cm}=30.6$  MPa، بينما كان النموذج المدعم (TR1) ذا مقاومة متوسطة على الضغط للبيتون أكبر  $f_{cm}=43.5$  MPa.

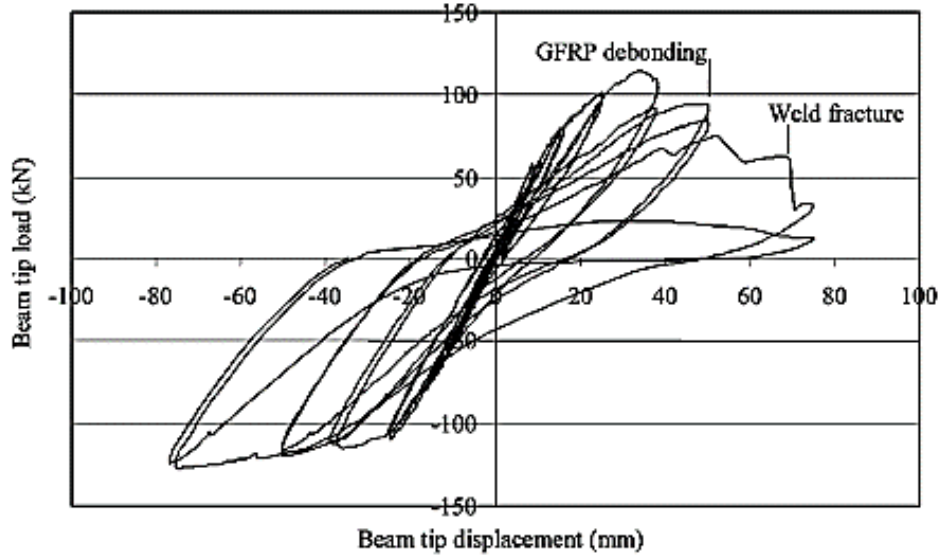
يوضح الشكل (33-3) الحلقة الهستيرية (منحنيات الانتقال - القوة في طرف الجائز) لنموذج العقدة (TR1) بعد التدعيم نتيجة الدراسة الحالية، حيث يلاحظ من الشكل قيمة قوة التحمل العظمى عند تطبيق القوة للأعلى إلى 102 KN، بينما وصلت إلى 115 KN عند عكس القوة للأسفل.



الشكل (33-3): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة بعد التدعيم باستخدام برنامج (ABAQUS Ver6.12)

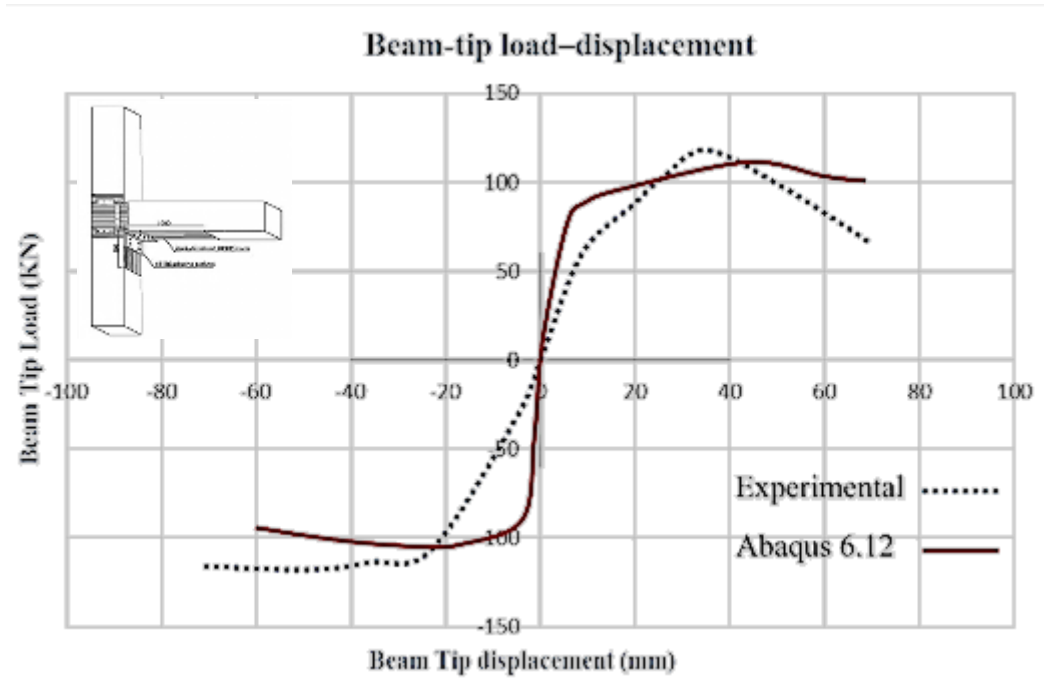
بالمقارنة مع الحلقات الهستيرية الناتجة في الدراسة التجريبية (Al-Amoury and Ghobarah, 2002) كما يوضحها الشكل (34-3)، كانت قوة التحمل العظمى عند تطبيق القوة للأعلى 114.5 KN، بينما وصلت إلى 131 KN عند عكس القوة للأسفل، و يمكن ثانية ملاحظة تضيق الحلقات الهستيرية دلالة على انخفاض الطاقة المبددة وذلك بسبب الانهيار المفاجئ الناتج عن انفصال شريحة ال-FRP.





الشكل (3- 34):مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة بعد التدعيم من الدراسة التجريبية.  
(Amoury and Ghobarah, 2002)

يبين الشكل (3-35) مغلف الحلقات الهيسترية لكل من نتائج النموذج تحليلياً وفق برنامج ABAQUS Ver 6.12، وتجريبياً نسبة إلى الدراسة المرجعية (Al-Amoury and Ghobarah, 2002)، حيث يلاحظ أن نسبة الخطأ في النتائج تصل إلى 11% بمقارنة قوة التحمل العظمى عند تطبيق القوة للأعلى، بينما تساوي إلى 13% عند تطبيقها للأسفل.



الشكل (3- 35):مغلف الانتقال- قوة لكل من الدراسة التحليلية و التجريبية.

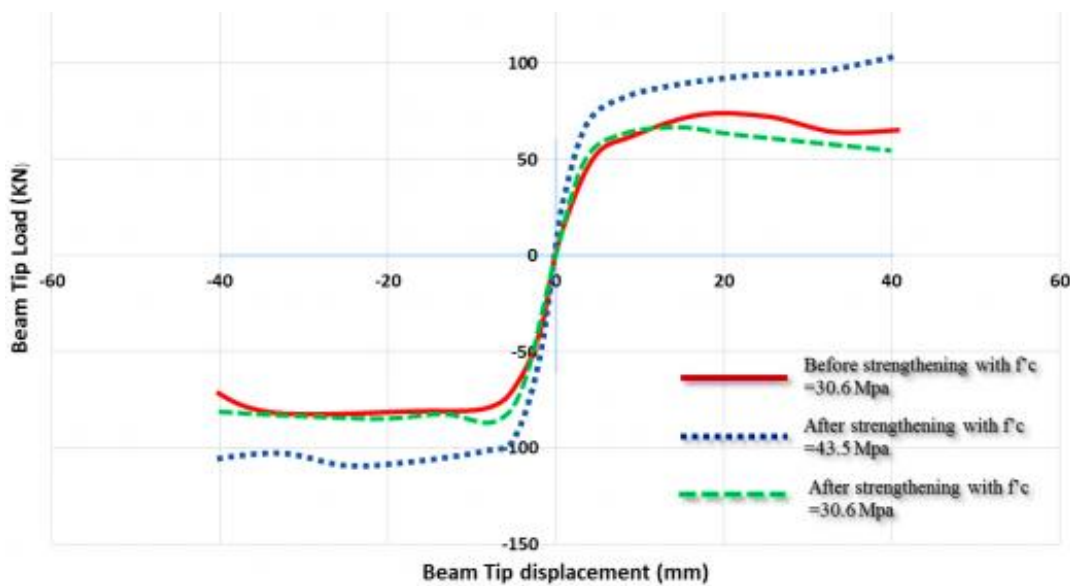
### 3.8.3 مناقشة النتائج بين الدراسة التجريبية والتحليلية

بمقارنة فعالية آلية التدعيم الموضحة في التجربة، فإن النموذج المدعم رفع من مقاومة العقدة بنسبة 50%، كما أوضح منحني انتقال-قوة في الشكل (2-22) من الفقرة 2.8 من الدراسة المرجعية (Al-Amoury and Ghobarah, 2002)، وأيضاً كما بينت نتائج الدراسة التحليلية التي تمت في الفقرة السابقة.

إن مقاومة البيتون قد تغيرت في النموذج بعد التدعيم (TR1) عما كانت عليه قبل التدعيم (T0)، حيث أن زيادة مقاومة البيتون ترفع من مقاومة المقطع على القص بشكل كبير، وقد يدخل أثر تغيير مقاومة البيتون على نتائج فعالية التدعيم بالآلية السابقة، ومن أجل ذلك، تم إعادة تحليل النموذج بعد التدعيم بتثبيت مقاومة البيتون في كلا النموذجين قبل و بعد التدعيم بشرائح مادة FRP، وذلك لاستنتاج فعالية الشرائح وحدها مع تثبيت بقية عوامل الدراسة.

يوضح الشكل (3-36) مغلفات انتقال-قوة في طرف الجانز لكل من النموذج قبل التدعيم (T0)، والنموذج (TR1) بعد التدعيم مع تغيير مقاومة البيتون المتوسطة على الضغط من 30.6 MPa إلى 43.5 MPa، وأيضاً النموذج بعد التدعيم و لكن مع تثبيت قيمة المقاومة المتوسطة للبيتون بقيمة 30.6 MPa.

بالمقارنة، يلاحظ بأنه عند تدعيم النموذج مع تثبيت مقاومة البيتون (30.6MPa)، فإن آلية التدعيم وحدها رفعت من مقاومة العقدة عند تطبيق الحمولة الدورية للأعلى إلى قيمة 69.5 KN، بينما وصلت المقاومة إلى 89 KN عند تطبيق الحمولة للأسفل أي نسبة ضئيلة عن النموذج غير المدعم بمقدار 2%، أي أن آلية التدعيم باستعمال FRP في نموذج (Al-Amoury and Ghobarah, 2002) لم تكن السبب وراء المقاومة و إنما زيادة مقاومة البيتون على الضغط، ويوضح الجدول (3-4) قيم المقاومات العظمى للنماذج وأثر ذلك على نسبة فعالية التدعيم.

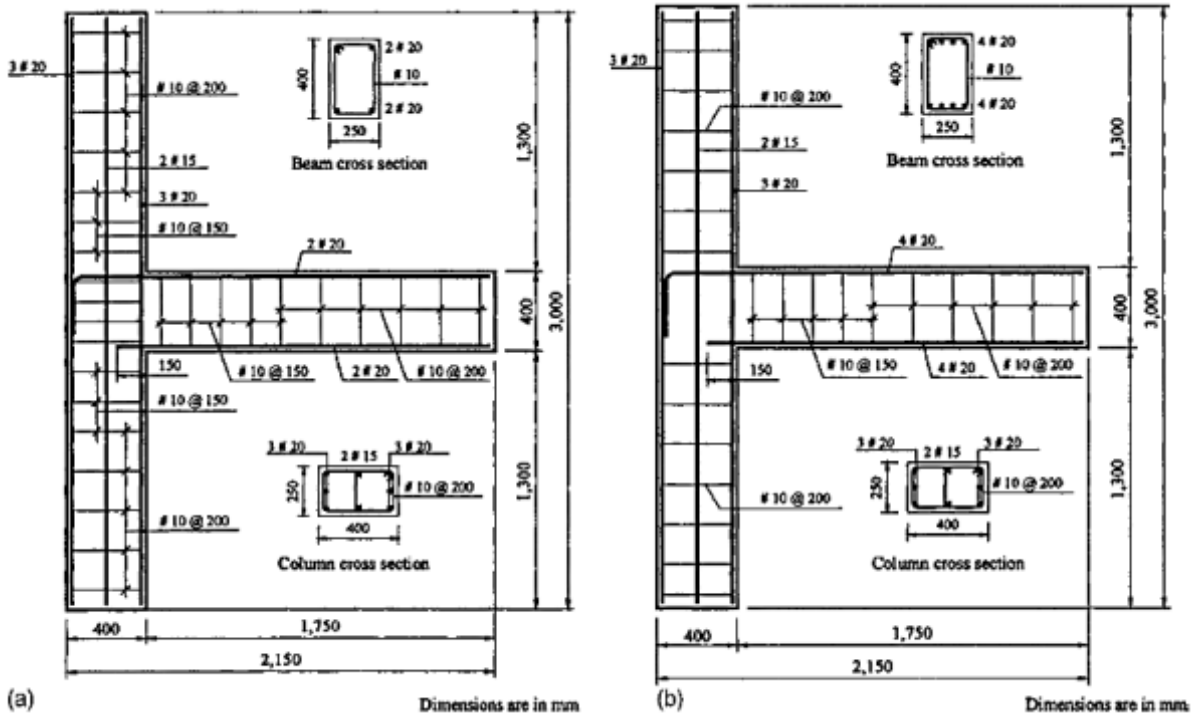


الشكل (3-36):مقارنة مغلف الانتقال-قوة لكل من النماذج بعد التدعيم مع و بدون تغيير مقاومة البيتون .

الجدول (3-4): مقارنة فعالية التدعيم مع ودون تغيير مقاومة البيتون (الدراسة الحالية)

النموذج	قبل التدعيم	بعد التدعيم	
مقاومة البيتون على الضغط $f'c$ Mpa	30.6	43.5	30.6
المقاومة العظمى للأعلى $P_{umin}$ KN	67	102	69.5
المقاومة العظمى للأسفل $P_{umax}$ KN	87.5	115	89
فعالية التدعيم بمادة FRP	-	%31	%2

إن عدم فعالية آلية التدعيم بالتوضع السابق لشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف FRP، سببه انهيار العقدة قطعياً على القص رغم إضافة شريحة FRP على العقدة. في دراسة مرجعية لـ **Al-Amoury and Ghobarah, 2005**، أعاد كل من الباحثان دراسة النموذج نفسه (T0) للعقدة العادية قبل التدعيم والتي أصبح اسمها في البحث الجديد (T-B10)، كما تمت إضافة أساور عرضية ضمن العقدة، مع تكثيف الأساور أعلى وأسفل العقدة في العمود، لتصبح عقدة متوسطة مقاومة للعزوم، كما يبين الشكل (3-37-a)، مع إبقاء التسليح السفلي في الجائز بإرساء غير كاف ضمن العقدة لكلا النموذجين، وليبقى الانهيار بسبب انزلاق التسليح السفلي للجائز في العقدة فقط (Anchorage-Deficient Joints).

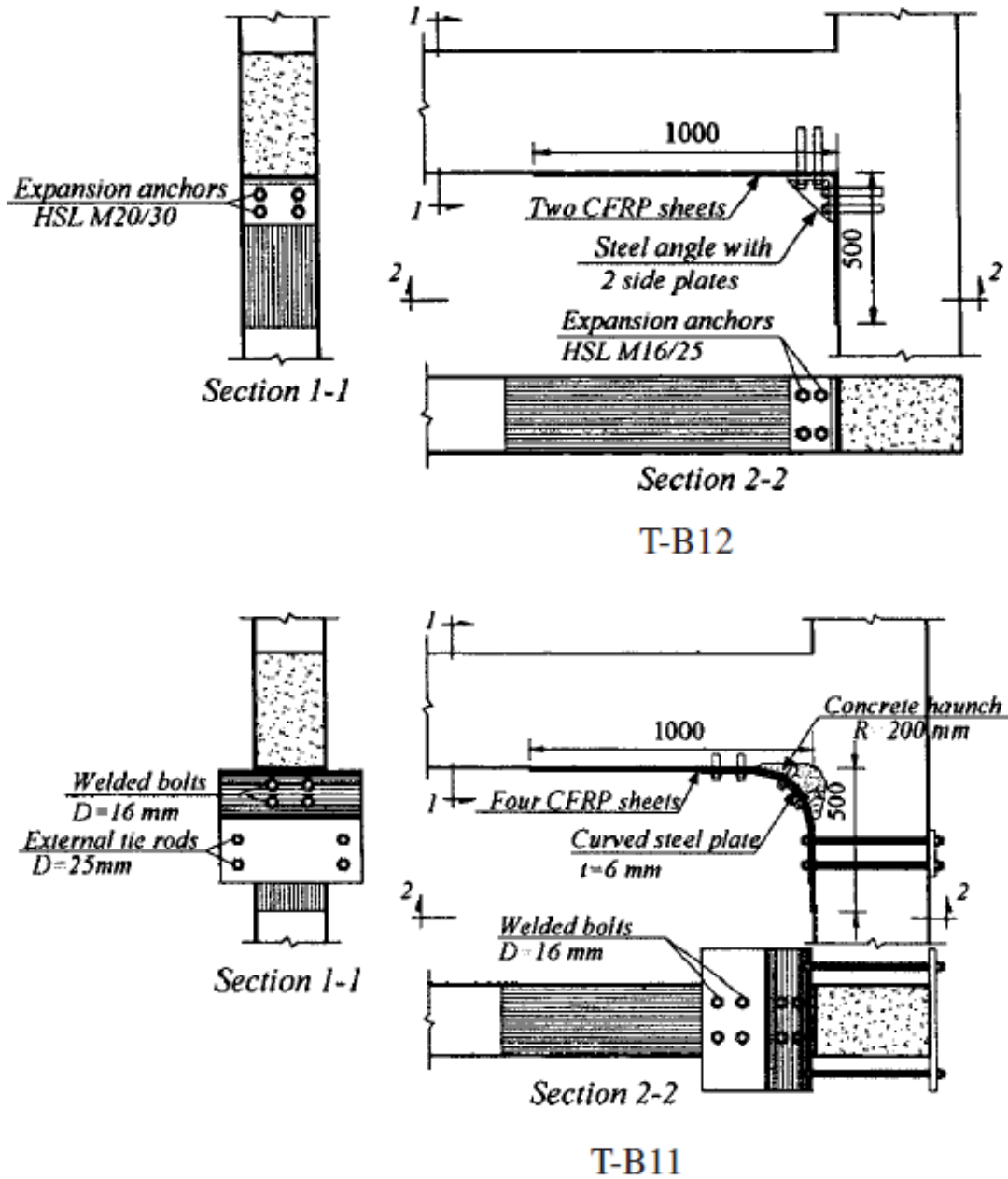


(a) النموذج قبل التدعيم مع تقوية العقدة على القص T-B10.

(b) النموذج دون إضافة أساور عرضية قبل التدعيم.

الشكل (3-37): النماذج التجريبية في الدراسة المرجعية للعقدة قبل التدعيم (Amoury and Ghobarah, 2005).

أعيدت تقوية النموذج T-B10 بطريقتين: الأولى هي النموذج (T-B12) بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP بنفس طريقة التوضع والتثبيت بالبراغي عند زاوية العقدة في الدراسة السابقة Al-Amoury and Ghobarah, 2002، والثانية النموذج (TB11) حيث تم زيادة الارتفاع بشطفة بيتونية (Concrete Haunch) عند وجه العمود (الشكل 3-38). تم تعريض النماذج السابقة لحمولة دورية بنفس التسجيل الزمني للانتقال السابق (Displacement time history) الموضح بالشكل (8-3) في طرف الجانز للدراسة التجريبية السابقة Al-Amoury and Ghobarah, 2002.



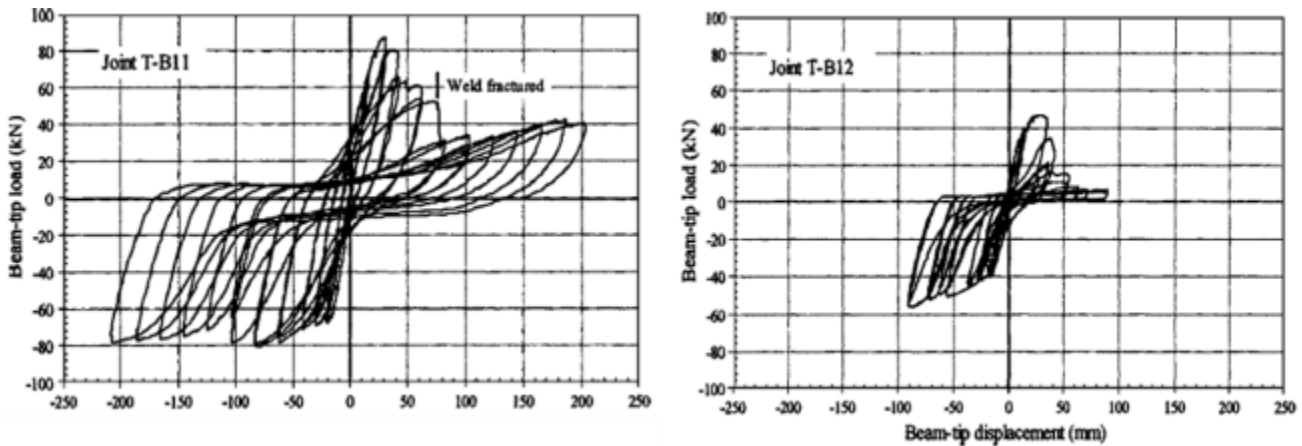
الشكل (38-3): تفاصيل النماذج T-B11 و T-B12  
(Amoury and Ghobarah, 2005)

يوضح الشكل (3-39) الحلقات الهستيرية للنموذجين T-B11 و T-B12 حيث يظهر بأن النموذج T-B11 قد أعطى مقاومة أعلى وحلقات هستيرية أعرض دلالة على تبديد الطاقة. يعود ذلك إلى أن النموذج T-B11 قد أدى إلى تشكل مفصل لدن بعيداً عن وجه العمود بسبب وضع الشطفة (Haunch).

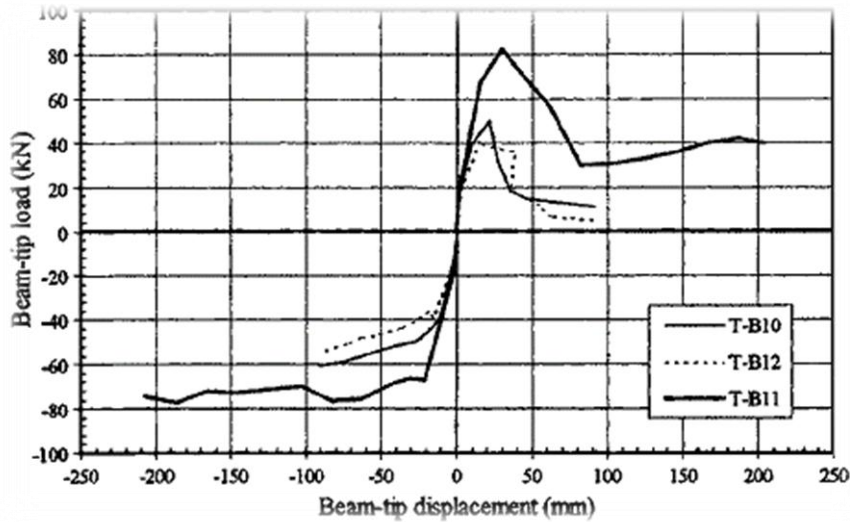
يبين الشكل (3-40) مغلف الحلقات الهيستيرية للنماذج الثلاثة قبل التدعيم وبعد التدعيم، حيث أن مقاومة النموذج T-B12 عند تطبيق الحمولة الدورية 55KN للحمولة للأسفل و 46.8 KN للحمولة للأعلى، بينما كانت المقاومة للنموذج غير المدعم (T-B10) 61.5 KN للحمولة للأسفل و 52.9 KN للحمولة للأعلى، بينما كانت المقاومة للنموذج (T-B11) 80kN للحمولة للأسفل و 86 للحمولة للأعلى. أي أن وضع الـ FRP فقط قد أدى لانخفاض في المقاومة بمقدار 12%، بينما أدى وضع الشطفة مع الـ FRP إلى زيادة المقاومة بمقدار 30%.

أما من ناحية تبديد الطاقة، فيوضح الشكل (3-41) مخطط يمثل فيه المحور الشاقولي كمية تبديد الطاقة المجمعة (Cumulative energy dissipated)، والمحور الأفقي يعبر عن نسبة انتقال طرف الجائز إلى طوله الكلي (Story Drift)، حيث يلاحظ أن النموذج (T-B12) لم يبد مطاوعة، بل بدد كمية أقل للطاقة بمقارنته بالنموذج (T-B10) قبل التدعيم بسبب انفصال شريحة CFRP. بينما أدى وضع شطفة إضافية إلى تبديد للطاقة يعادل 370%.

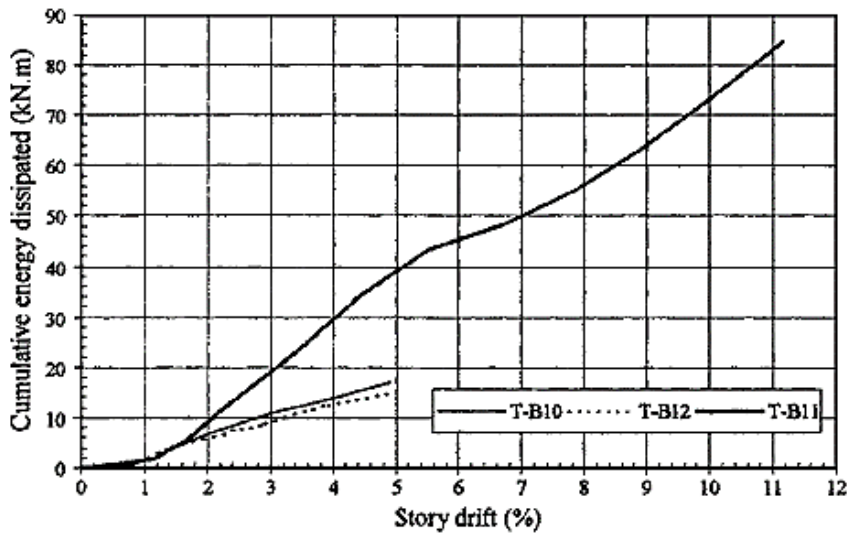
إن الدراسة التجريبية (Al-Amoury and Ghobarah, 2005) تؤكد النتائج التي تم التوصل لها في هذه الدراسة (الشكل 3-36) من حيث الفعالية الضئيلة باستخدام الـ FRP فقط بسبب انهيار القص المفاجئ الذي يبقى ليحدث في العقدة.



الشكل (3-39): الحلقات الهستيرية للنموذجين T-B11 و T-B12  
(Amoury and Ghobarah, 2005)



الشكل (3-40): مغلف الانتقال- قوة لحالة العقدة الممتوسطة قبل وبعد التدعيم من الدراسة التجريبية (Amoury and Ghobarah, 2005).

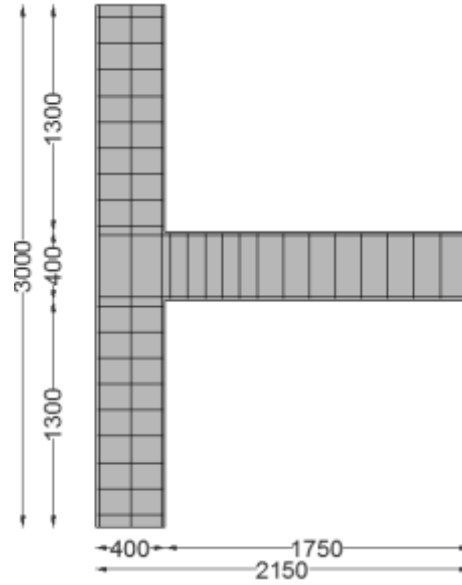


الشكل (3-41): مخطط الطاقة المبذولة للنماذج المدروسة (Amoury and Ghobarah, 2005).

### 9.3 الدراسة التحليلية ضمن هدف البحث

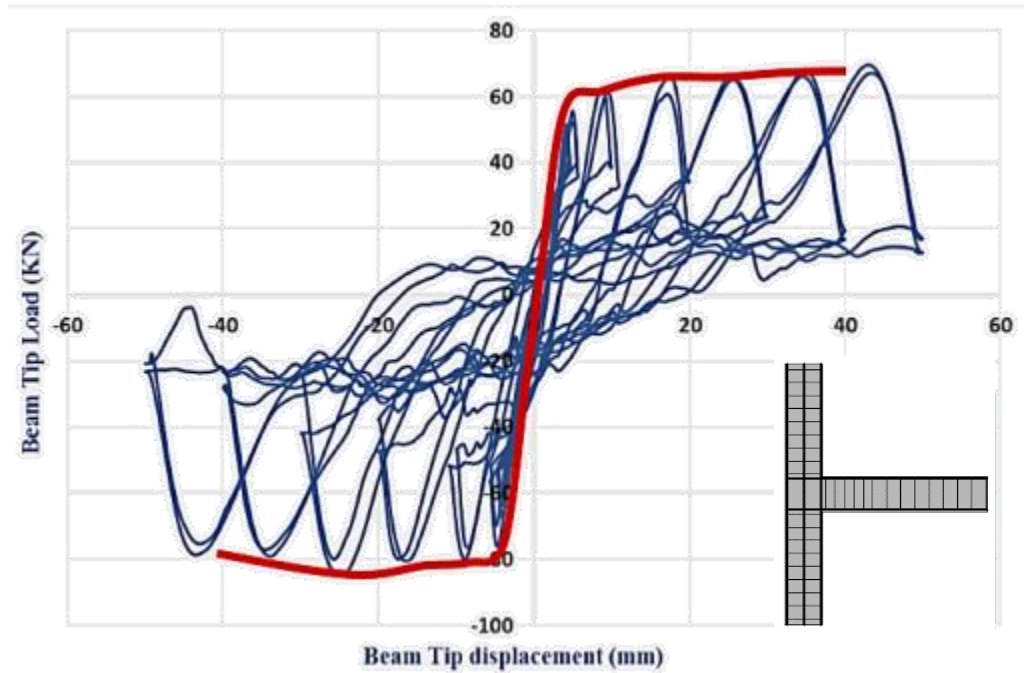
#### 1.9.3 تحليل النموذج بمواصفات محلية قبل وبعد التدعيم (عقدة عادية)

سيتم في هذه الفقرة تغيير مواصفات النموذج (T0) المبين في الشكل (3-3) ودراسة تأثير التدعيم بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف على رفع مقاومة و مطاوعة العقدة بالمواصفات المعدلة. تم تغيير مواصفات النموذج لعقدة عادية قبل التدعيم بتأمين إرسات كافية لحديد تسليح الجائز ضمن العقدة، وتغيير قيمة المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط  $f_{cm} = 25 \text{ MPa}$ ، ومقاومة الخضوع لحديد التسليح مع ما يتناسب والمواصفات المحلية حيث أصبحت  $f_y = 400 \text{ MPa}$  كما يوضحه الشكل (3-42)، مع بقاء العقدة عادية وبدون تسليح قص بداخلها.



الشكل (42-3): النموذج قبل التدعيم (MO).

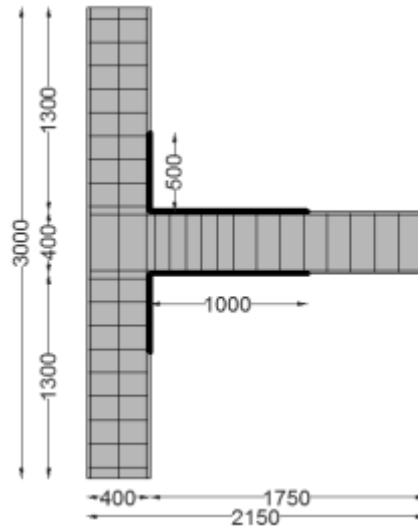
يبين الشكل (43-3) الحلقات الهستيرية مع المغلف لعلاقة انتقال-القوة المطبقة للنموذج قبل التدعيم. إنالقوة العظمى التي وصلت إليها مقاومة العقدة عند تطبيق الحمولة الدورية للأعلى 69.5 KN ، بينما كانت المقاومة 85 KN عند تطبيق الحمولة للأسفل.



الشكل (43- 3):الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج قبل التدعيم (MO) من الدراسة التحليلية. (ABAQUS ver.6.12)

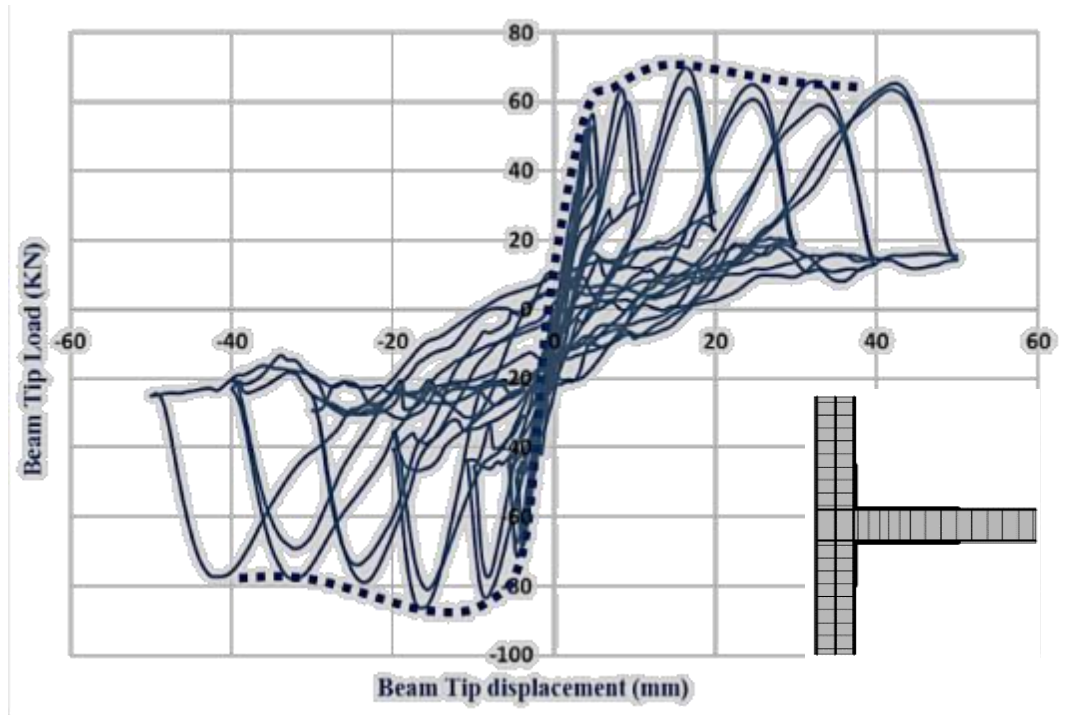
أما النموذج المدعم، فقد تم وضع أربع شرائح على امتداد 1000 mm على طول الجائز و 500 mm على امتداد العمود، وقد وضعت تلك الشرائح بالطريقة السابقة بشكل متناظر بالنسبة للجائز كما يوضحه الشكل (44-3).





الشكل (3-44): النموذج بعد التدعيم (MOR).

يبين الشكل (3-45) الحلقات الهستيرية مع المغلف لعلاقة انتقال - قوة للنموذج بعد التدعيم، حيث بلغت القوة العظمى للعقدة عند تطبيق الحمولة الدورية للأعلى 69.7 KN، بينما المقاومة 86 KN عند تطبيق الحمولة للأسفل.



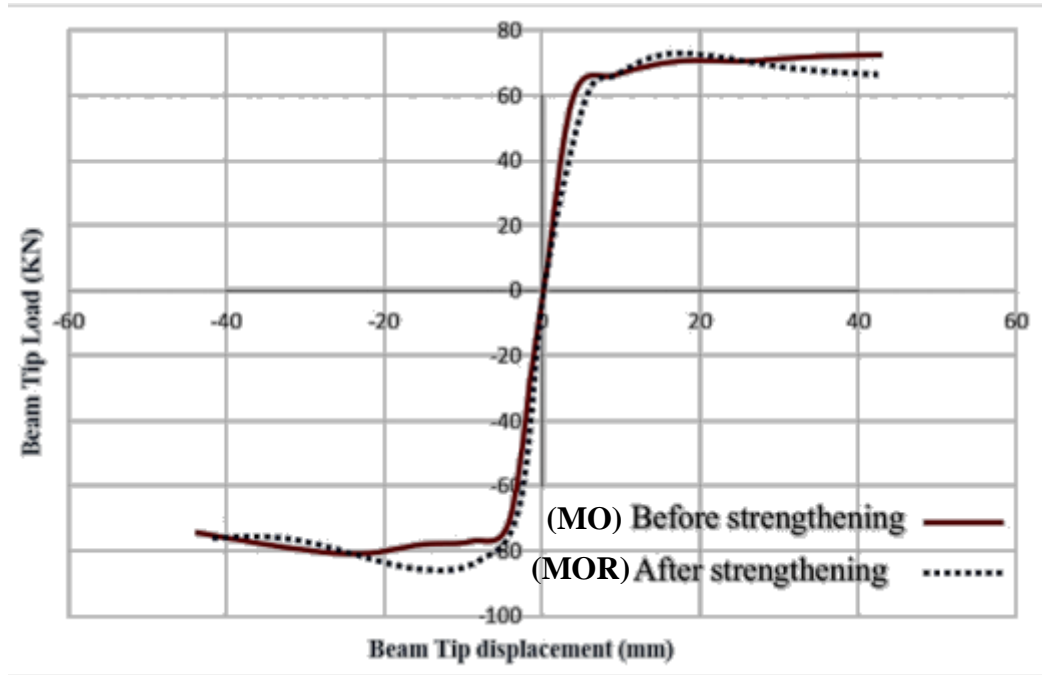
الشكل (3-45): الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج بعد التدعيم (MOR) من الدراسة التحليلية. (ABAQUS ver.6.12)

#### - فعالية التدعيم من ناحية المقاومة:

من الشكل (3-46) يلاحظ بمقارنة مغلفات الحلقات الهيستيرية لكل من النموذجين قبل التدعيم (MO) وبعد التدعيم (MOR)، أن التدعيم بشرائح البوليميرات المسلحة FRP وبطريقة التوضع السابقة للشرائح، لم تعط



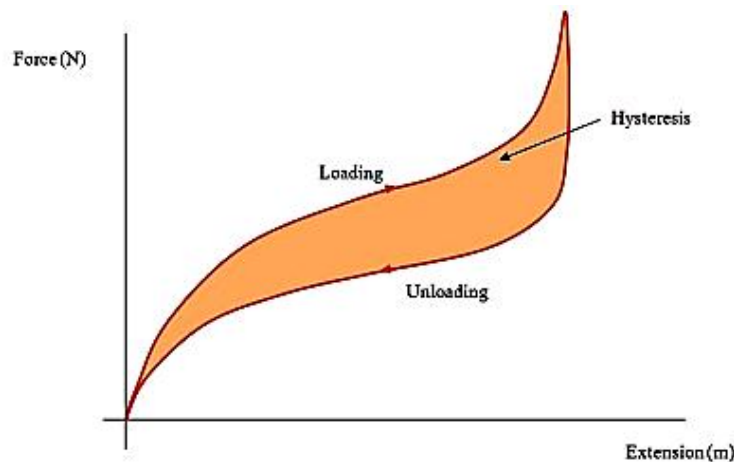
فعالية ملحوظة من ناحية رفع مقاومة العقدة، حيث لا تتجاوز كفاءة التدعيم 1%، بسبب الانهيار المفاجئ الذي يحدث ضمن العقدة، وتوضع الشرائح على وجه كل من العمود والجائز فقط والتي تؤدي لرفع مقاومة العقدة على الانعطاف فقط.



الشكل (3-46): مقارنة مغلقات الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج قبل و بعد التدعيم من الدراسة التحليلية. (ABAQUS ver.6.12)

#### - فعالية التدعيم من ناحية المطاوعة:

إن قابلية التشوهات اللاخطية لتبديد الطاقة، أحد العوامل المهمة لتقييم كفاءة التدعيم وإعطاء فكرة عن مقدار المطاوعة التي تعطيها آلية التدعيم المستخدمة. حيث يبين الشكل (3-47) الطاقة المبددة (Dissipated Energy) خلال دورة واحدة وهي المساحة المغلقة الواقعة داخل الحلقة من منحنيات انتقال - قوة .



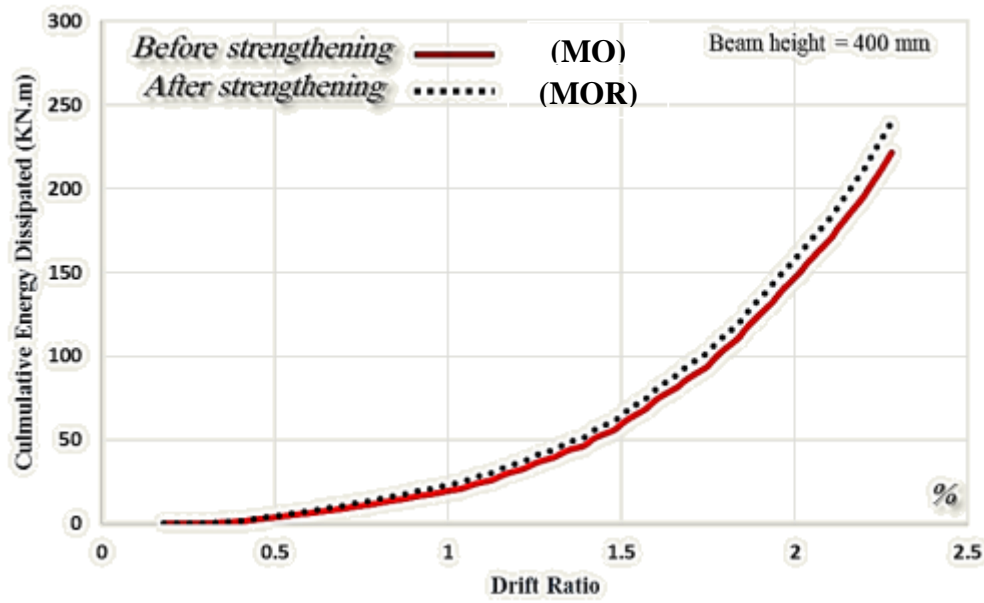
الشكل (3-47): الطاقة المبددة خلال دورة واحدة من مساحة الحلقة الهستيرية بتطبيق الحمولة وإزالتها (antonine-education.co.uk), Accessed 2013

حيث تعطى معادلة الطاقة المبدة بالمعادلة (3-18) (*Pesarinko, 1969*)، حيث أن برنامج (ABAQUS, ver 2012) يقوم بحساب الطاقة المبدة عند كل مستو من مستويات تحميل الانتقالات ورسم منحنى الطاقة المبدة المجمعة (Cumulative dissipated energy) حيث تعبر  $E_i$  عن كمية الطاقة المبدة للحلقة المغلقة الواحدة خلال دورة واحدة،  $P_j$ : هي القوة عند نقطة  $j$  من منحنى تبديد الطاقة،  $\Delta_i$ : الانتقال الموافق للقوة  $P_j$ .

$$E_i = \int P_j \cdot d\Delta_i = A_i \quad (18 - 3)$$

يوضح الشكل (2-48) فعالية التدعيم من ناحية تبديد الطاقة، حيث يبين منحنى كمية الطاقة المبدة لكل من النموذجين قبل وبعد التدعيم إلى نسبة الانتقال في طرف الجانز إلى الطول الكلي للجانز، حيث وصلت كمية الطاقة المبدة إلى قيمة 240 KN.m بعد التدعيم (MOR)، بينما كانت 221 KN.m قبل التدعيم (MO) عند قيمة انتقال نسبي يوافق الدورة الثانية عشرة التي يتم فيها تطبيق انتقال بمقدار 35mm وهو الانتقال الأعظمي المسموح في طرف الجانز الذي يوافق إلى قيمة  $0.02 * L$  حيث  $L$ : طول الظفر في حالة النموذج المدروس (ACI 318-2008)، وبالتالي يكون الانتقال النسبي موافقاً إلى  $\text{Drift ratio} = 2.28\%$ .

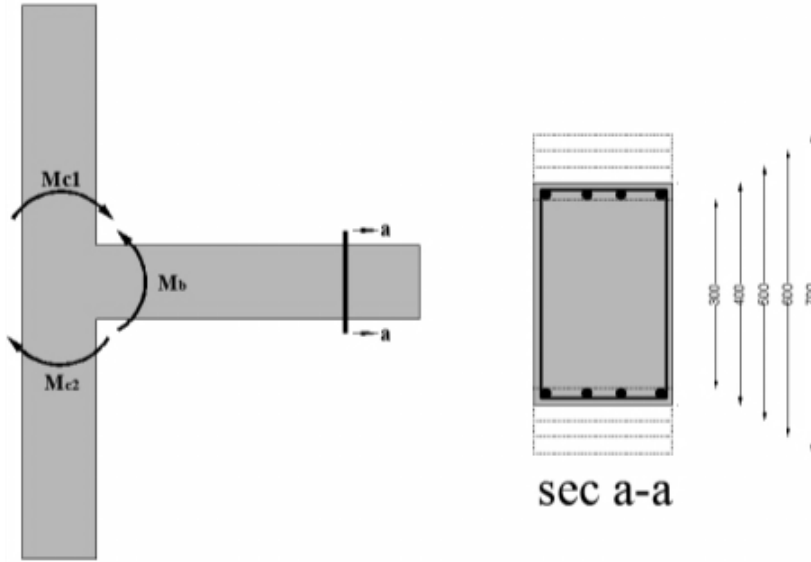
لم تبد آلية التدعيم تبديداً ملحوظاً للطاقة حيث زادت نسبة تبديد الطاقة بعد التدعيم بمقدار 8% فقط، وسببها حدوث انهيار مفاجئ داخل العقدة قبل تشكل مفاصل لدنة عند طرف الجانز. إن هذه النتيجة تؤكد دراسة (*Al-Amoury and Ghobarah, 2005*) كما الشكل (3-41).



الشكل (2-48): مخطط الطاقة المبدة للنماذج التحليلية المدروسة قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)

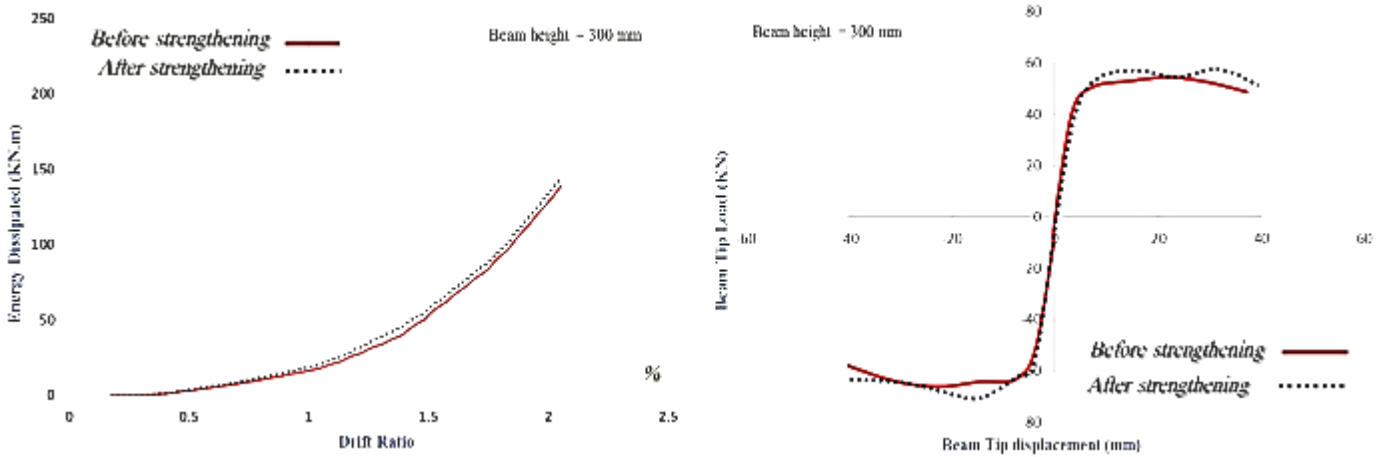
### 2.9.3 أثر تغيير قساوة الجانز

استناداً للنتائج السابقة، تم تغيير النسبة بين مجموع العزوم المقاومة لمقاطع الأعمدة  $M_c$  إلى مجموع العزوم المقاومة لمقطع الجانز  $M_b$  حول العقدة، وذلك بتغيير مقطع الجانز، حيث تم تغيير ارتفاع مقطع الجانز بحيث يتراوح الارتفاع بين (300-700) بما يوافق نسبة  $(\sum M_c / \sum M_b)$  بين (1.14-3.14)، بينما تم تثبيت مقطع العمود (400x250) كما يبينه الشكل التوضيحي (3-49).

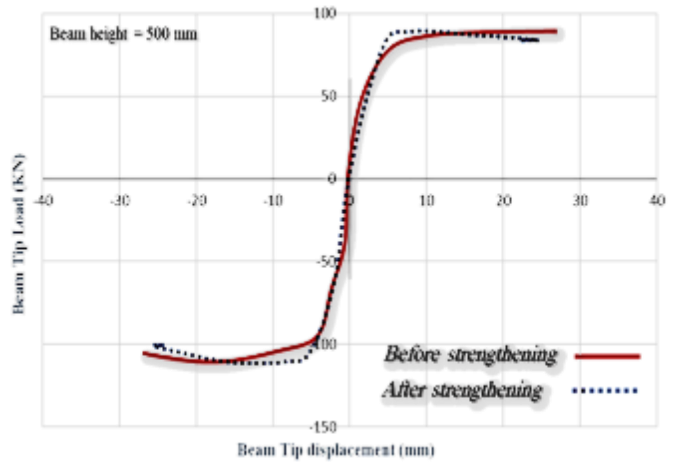
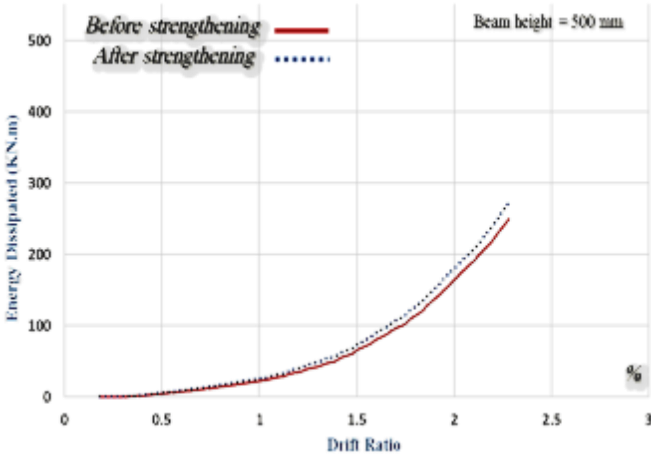


الشكل (3-49): شكل توضيحي لتغيير نسبة عزوم الأعمدة إلى عزم الجانز عن طريق تغيير مقطع الجانز.

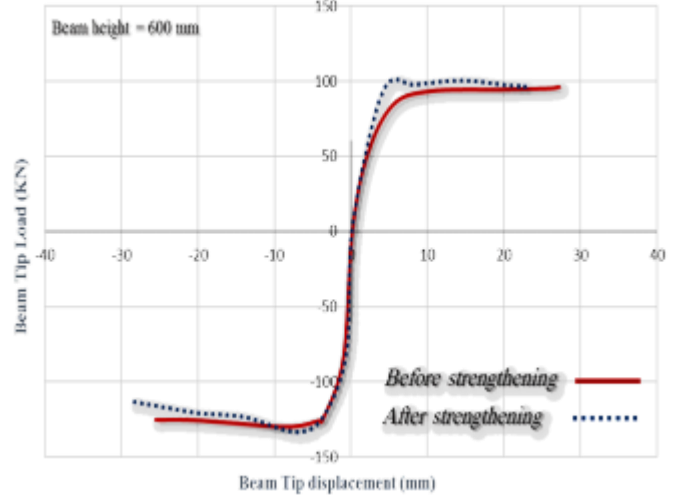
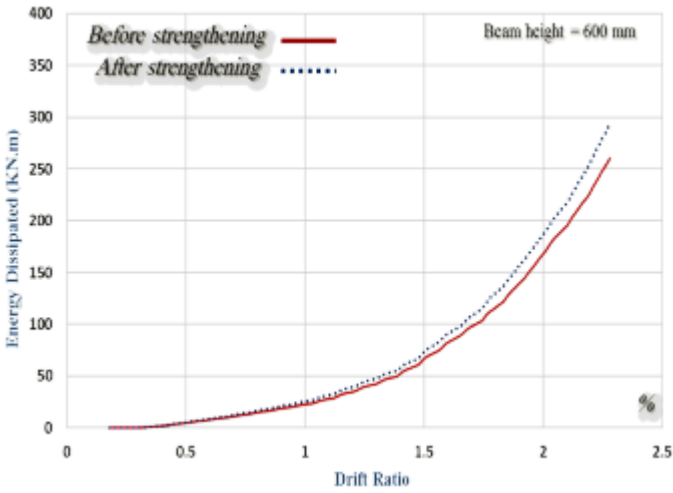
توضح الأشكال (3-50, 51, 52, 53) كل من مغلفات الحلقات الهستيرية و كمية الطاقة المبذوبة لكل من النماذج بارتفاع جوائز 300, 500, 600, 700 على الترتيب، قبل و بعد التدعيم.



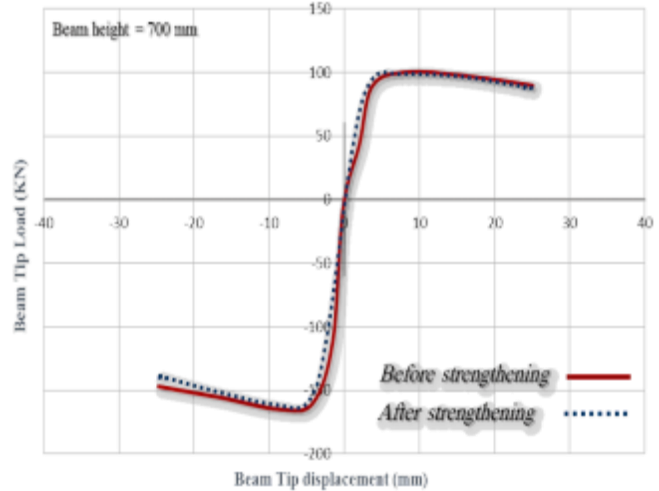
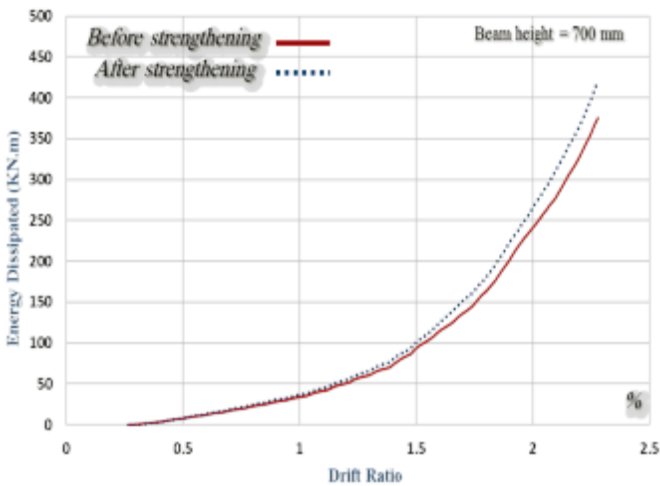
الشكل (3-50): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 300 قبل وبعد التدعيم (ABAQUS ver.6.12). (a) مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج ذي ارتفاع جانز 300 mm. (b) كمية الطاقة المبذوبة للنموذج ذي ارتفاع جانز 300 mm.



(a) مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج ذي ارتفاع جانز 500 mm. (b) كمية الطاقة المبذوبة للنموذج ذي ارتفاع جانز 500 mm. الشكل (53-3): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 500 قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)



(a) مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج ذي ارتفاع جانز 600 mm. (b) كمية الطاقة المبذوبة للنموذج ذي ارتفاع جانز 600 mm. الشكل (52-3): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 6300 قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)



(a) مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج ذي ارتفاع جانز 700 mm. (b) كمية الطاقة المبذوبة للنموذج ذي ارتفاع جانز 700 mm. الشكل (53-3): تأثير التدعيم على كل من المقاومة والمطاوعة للنموذج بارتفاع جانز 700 قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)

يوضح الجدول (3-5) القيم السابقة لكل من مقاومة العقدة العظمى عند تطبيق الحمولة للأعلى، أما الجدول (3-6) لقيم مقاومة العقدة عند تطبيق الحمولة للأسفل، ونسبة فعالية التدعيم الناتجة عند تغيير نسبة مجموع العزوم المقاومة لمقاطع الأعمدة  $M_{c1}$ ,  $M_{c2}$  إلى مجموع العزوم المقاومة لمقطع الجائز  $M_b$  حول العقدة  $(2M_c/M_b)$ ، حيث تم حساب العزم المقاوم للعمود بأخذ أثر القوة المحورية (600kN).

الجدول (3-5): فعالية التدعيم بشرائح FRP على المقاومة العظمى عند تطبيق الحمولة الدورية للأعلى و تغيير نسبة  $\Sigma M_c/M_b$ .

ارتفاع مقطع الجائز	العزم المقاوم للجائز	العزم المقاوم للعمود	$2*M_c/M_b$	مقاومة النموذج العظمى عند تطبيق الحمولة للأعلى قبل التدعيم	مقاومة النموذج العظمى عند تطبيق الحمولة للأعلى بعد التدعيم	نسبة المقاومة العظمى قبل إلى بعد التدعيم	فعالية التدعيم
				Pumax (KN)	Pumax (KN)		
mm	KN.m	KN.m					%
300	103	162	3.15	63	66	1.05	5
400	148	162	2.19	85	86	1.02	2
500	194	162	1.67	109	108	0.99	1
600	240	162	1.35	125	126	1.01	1
700	284	162	1.14	148	150	1.01	1

الجدول (3-6): فعالية التدعيم بشرائح FRP على المقاومة العظمى عند تطبيق الحمولة الدورية للأسفل و تغيير نسبة  $\Sigma M_c/M_b$ .

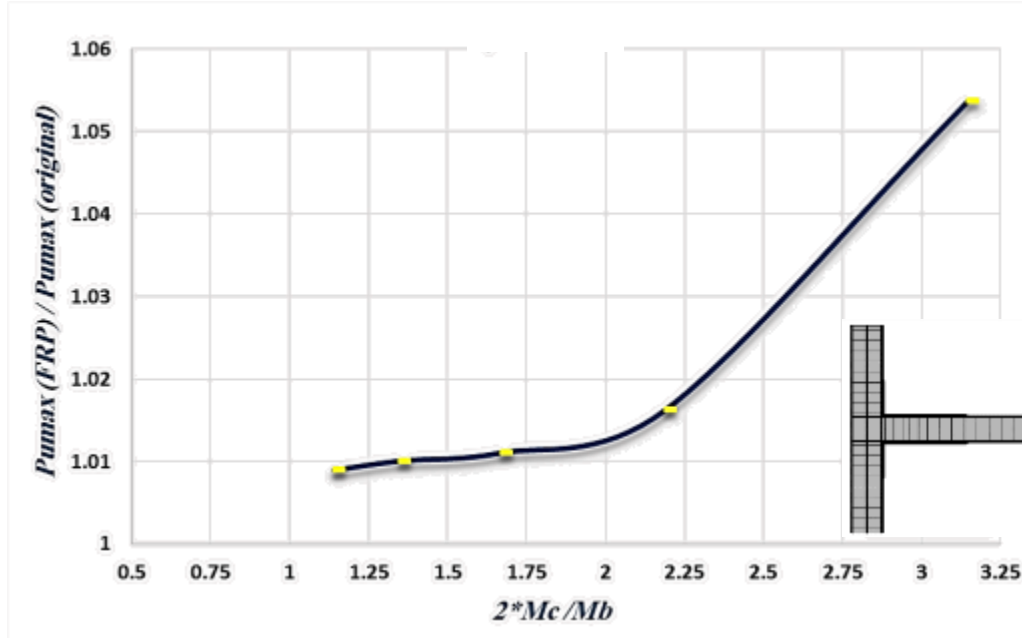
ارتفاع مقطع الجائز	العزم المقاوم للجائز	العزم المقاوم للعمود	$2*M_c/M_b$	مقاومة النموذج العظمى عند تطبيق الحمولة للأسفل قبل التدعيم	مقاومة النموذج العظمى عند تطبيق الحمولة للأسفل بعد التدعيم	نسبة المقاومة العظمى قبل إلى بعد التدعيم	فعالية التدعيم
				Pumin (KN)	Pumin (KN)		
mm	KN.m	KN.m					%
300	103	162	3.15	53	56	1.07	7
400	148	162	2.19	70	70	1.00	0
500	194	162	1.67	85	84	0.99	0
600	240	162	1.35	94	94	1.00	0
700	284	162	1.14	106	101	0.96	- 4

يبين الجدول (3-7) قيم الطاقة المبذولة للنماذج المدروسة عند انتقال نسبي 2.28% قبل وبعد التدعيم وتأثير تغيير النسبة  $(2M_c/M_b)$ ، على فعالية التدعيم من حيث المطاوعة.

الجدول (3-7): فعالية التدعيم بشرائح FRP من حيث المطاوعة وقيم الطاقة المبذولة عند انتقال نسبي 2.28% عند تغيير نسبة  $\Sigma M_c/M_b$ .

ارتفاع مقطع الجائز	العزم المقاوم للجائز	العزم المقاوم للعمود	$2*M_c/M_b$	كمية الطاقة المبذولة قبل التدعيم	كمية الطاقة المبذولة بعد التدعيم	نسبة الطاقة المبذولة قبل إلى بعد التدعيم عند انتقال نسبي 2.28%	فعالية التدعيم
				Pumin (KN)	Pumin (KN)		
mm	KN.m	KN.m					%
300	103	162	3.15	191	202	1.06	6
400	148	162	2.19	221	240	1.09	9
500	194	162	1.67	221	249	1.13	13
600	240	162	1.35	260	293	1.13	13
700	284	162	1.14	375	421	1.12	12

مما سبق، يبين الشكل (3-54) فعالية التدعيم بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف FRP لعقدة عادية، حيث يمثل المحور الأفقي نسبة مجموع العزوم المقاومة لمقاطع الأعمدة  $M_{c1}$ ,  $M_{c2}$  إلى مجموع العزوم المقاومة لمقطع الجائز  $M_b$  حول العقدة  $(2M_c/M_b)$ ، ويمثل المحور الشاقولي نسبة المقاومة العظمى للعقدة بعد التدعيم  $P_{max}(FRP)$  إلى نسبتها قبل التدعيم  $P_{max}(original)$  لكل من النماذج التحليلية السابقة.



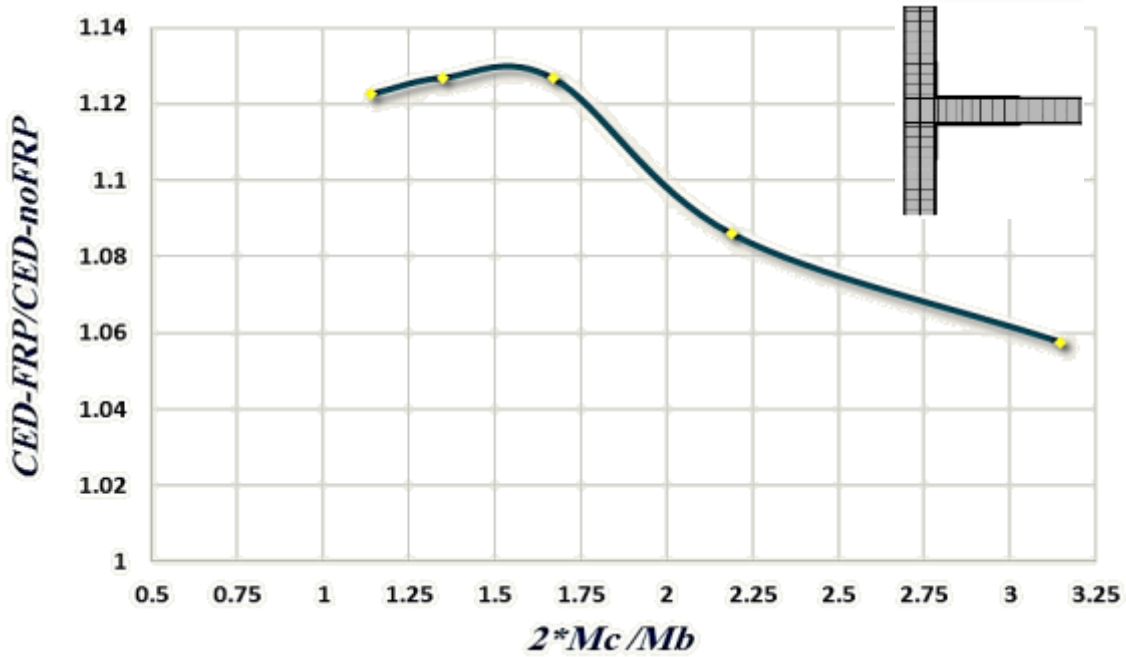
الشكل (3-54): علاقة بين نسبة المقاومة العظمى للنموذج قبل و بعد التدعيم إلى نسبة مجموع عزوم العمود إلى الجائز  $2M_c/M_b$  للنماذج التحليلية السابقة.

يتبين من الشكل (3-54) ازدياد فعالية التدعيم من ناحية المقاومة في النماذج التي تحقق نسبة  $2M_c/M_b$  تصل إلى 3، وذلك بسبب انخفاض ارتفاع مقطع الجائز وبالتالي انخفاض العزم المقاوم لمقطع الجائز نسبةً إلى مقطع العمود، فإن ذلك يسمح ببداية تشكل مفاصل لدنة عند وجه العقدة نوعاً ما، رغم عدم تقوية العقدة بأساور عرضية، مما أدى إلى زيادة مقاومة العقدة ولكنها زيادة قليلة، إذ تصل كفاءة التدعيم في حدها الأقصى إلى 5% وهي نسبة لا تذكر.

إن تفسير ذلك أن الشرائح في تلك النماذج المدعمة والمدروسة سابقاً، تتوضع في أماكن تشكل المفاصل اللدنة لمقاومة انهيارات الانعطاف على وجه الجائز، بينما كان نمط الانهيار الأساسي الناتج هو انهيار مفاجئ ضمن العقدة العادية على القص.

أما الشكل (3-55) فيبين فعالية التدعيم بشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف FRP لعقدة عادية من ناحية زيادة مطاوعة العقدة، حيث يمثل المحور الأفقي نسبة مجموع العزوم المقاومة لمقاطع الأعمدة  $M_{c1}$ ,  $M_{c2}$  إلى مجموع العزوم المقاومة لمقطع الجائز  $M_b$  حول العقدة  $(2M_c/M_b)$ ، ويمثل المحور الشاقولي نسبة كمية

الطاقة المجمعة (Cumulative energy dissipated-CEB) للعقدة بعد التدعيم (FRP)-CEB إلى نسبتها قبل التدعيم CEB-noFRP لكل من النماذج التحليلية السابقة.

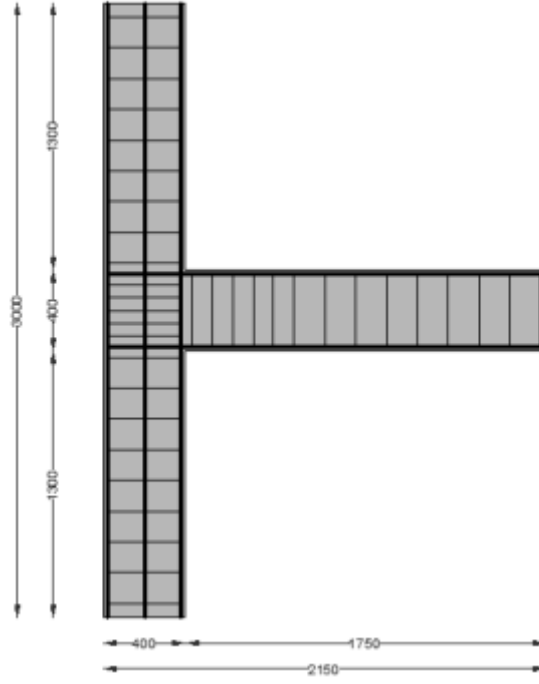


الشكل (3-55): علاقة بين كمية الطاقة المبددة التراكمية للنماذج بعد التدعيم إلى نسبة مجموع عزوم العمود إلى الجوائز  $\Sigma M_c / M_b$  للنماذج التحليلية السابقة.

يتبين من المنحني أن فعالية التدعيم من حيث المطاوعة التي أكسبتها للعقدة، ازدادت عند قيم صغيرة للنسبة  $2M_c/M_b$ ، أي كلما زاد مقطع الجوائز، تزداد احتمالية انهيار العقدة على القص بزيادة العزم المقاوم للجوائز وبالتالي تعطي آلية التدعيم دور في إمكانية تبديد أكبر للطاقة بإعطاء قدرة أكبر على التشوه اللدن، ولكنها رغم فعاليتها في زيادة مطاوعة العقدة، إلا أن أكبر نسبة زيادة لم تصل إلى 13% وهي نسبة قليلة جداً.

### 3.9.3 تحليل نموذج عقدة متوسطة

تم تقوية العقدة بإضافة أساور عرضية ضمن العقدة لتصبح عقدة متوسطة مقاومة للعزوم كما يبينها الشكل (3-56).



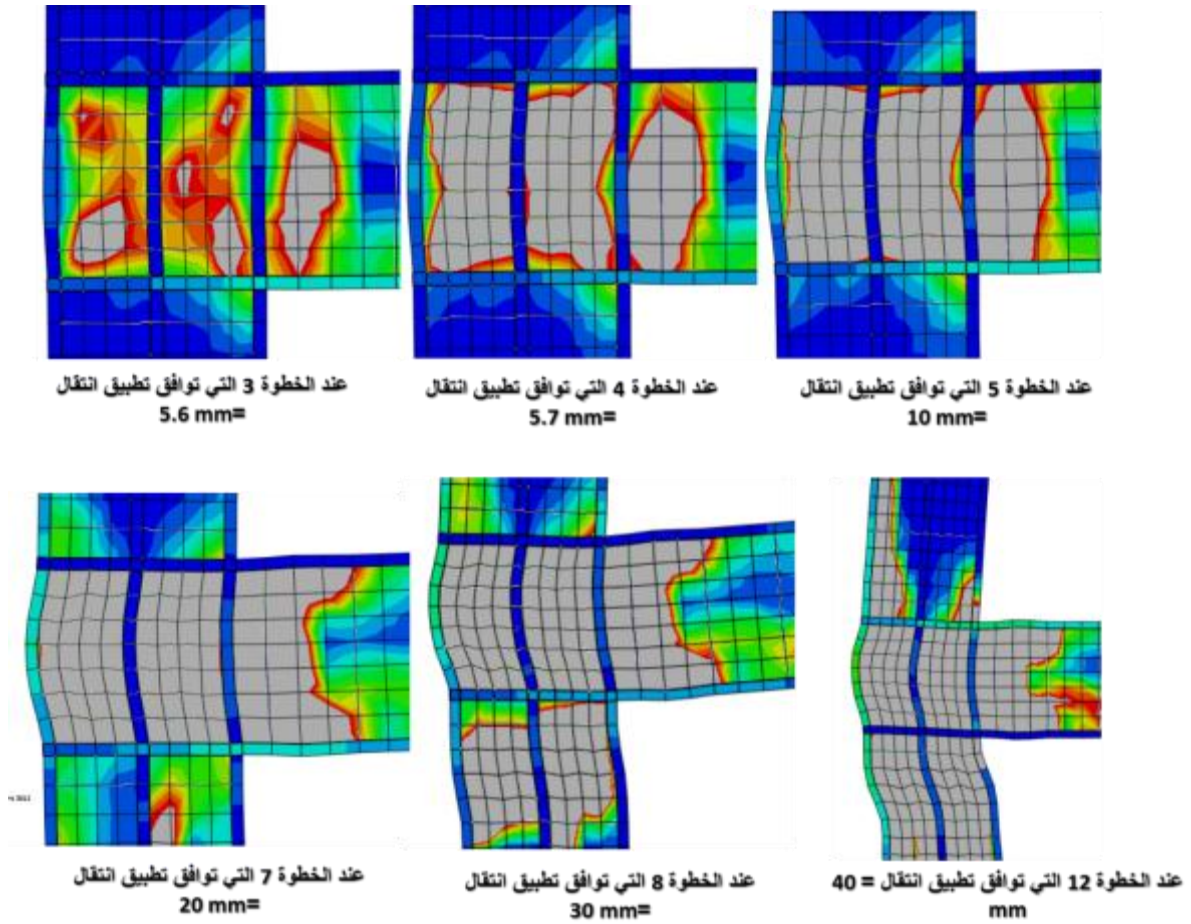
الشكل (3-56): النموذج لعقدة متوسطة (MI).

عند التحليل باستخدام برنامج ABAQUS ver 6.12 فقد تم أخذ شكل الانهيار الحاصل عند كل مرحلة وصولاً للمرحلة التي يتم عندها تطبيق انتقال أعظمي يوافق إلى 40 mm عند الدورة الثانية عشرة، حيث يوضح الشكل (3-57) مراحل الانهيارات الناتجة في النموذج و يعبر اللون الرمادي عن مناطق خروج البيتون عن العمل على الشد عند تجاوز التشوه النسبي الرئيسي القيمة 0.2% الشكل (3-13).

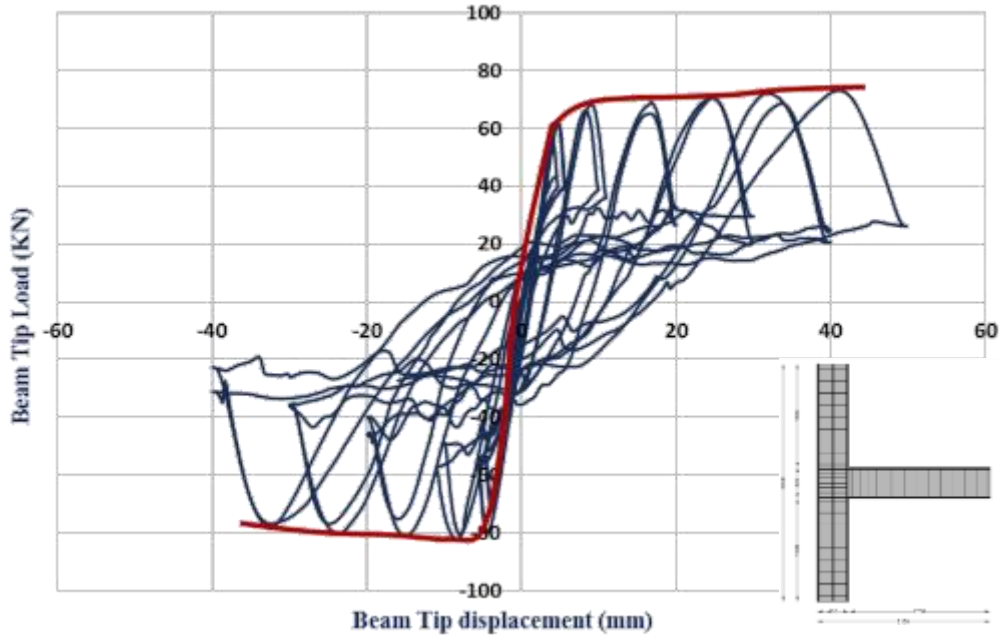
يلاحظ بأن السلوك يبدأ بتشكيل تشققات شاقولية على وجه العقدة من جهة الجائز على الانعطاف في الخطوات الأولى من تطبيق الحمولة الدورية حتى الخطوة الرابعة التي توافق إلى انتقال بمقدار 5.7 mm، مترافقاً مع بداية تشكل حقل ضغط قطري في العقدة، ثم ينتقل سلوك الانهيار في الخطوة الخامسة عند انتقال بمقدار 10mm ليصبح على القص داخل العقدة رغم إضافة أساور عرضية مقاومة للقص، ليتوسع عرض الحقل القطري على كامل العقدة و يمتد إلى أعلى و أسفل العمود عند الدورة الثامنة إلى الثانية عشرة عند انتقال قدره 40 mm.

يبين الشكل (3-58) من منحنيات انتقال - قوة للنموذج قبل التدعيم، أن القوة العظمى التي وصلت إليها مقاومة العقدة عند تطبيق الحمولة الدورية للأعلى 72 KN ، بينما كانت المقاومة 82 KN عند تطبيق الحمولة للأسفل.



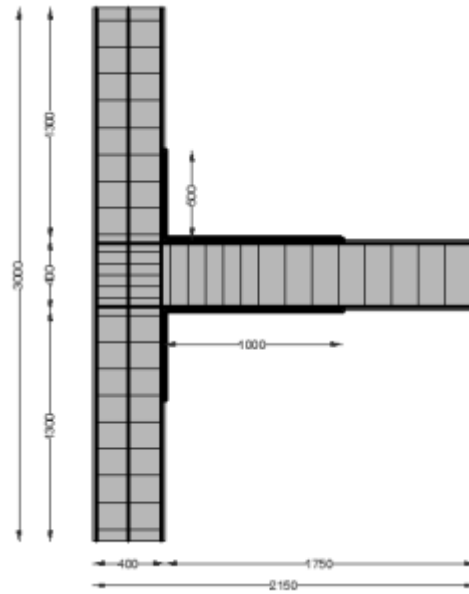


الشكل (3- 57): مراحل انهيار النموذج قبل التدعيم (MI) لعقدة متوسطة.  
(ABAQUS ver.6.12)



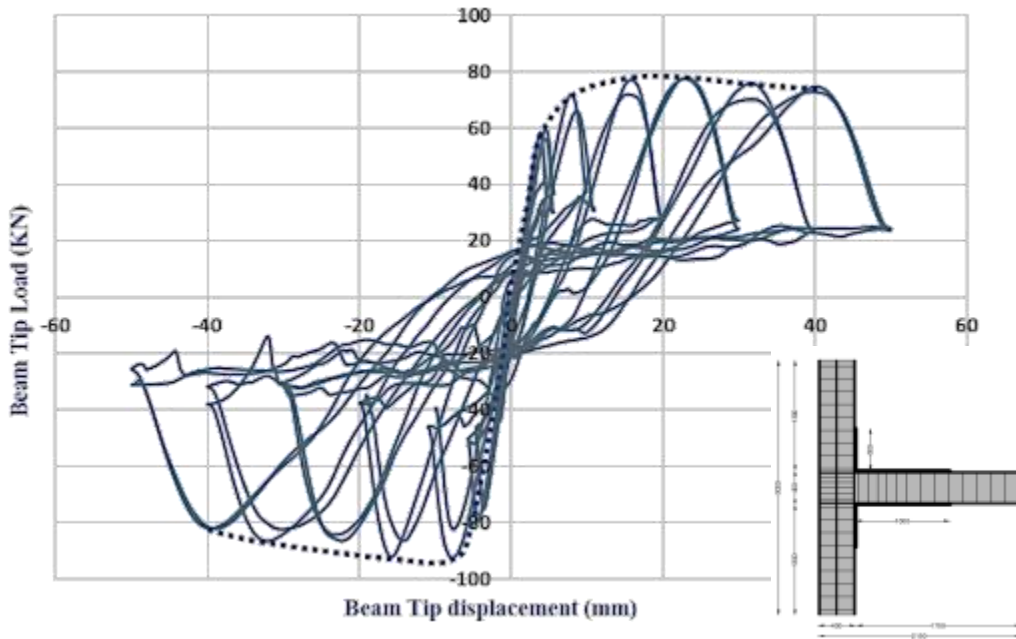
الشكل (3- 58): الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج قبل التدعيم لعقدة متوسطة (MI).  
(ABAQUS ver.6.12)

أما النموذج المدعم للعقدة المتوسطة، فقد تم وضع شرائح FRP بنفس طريقة التدعيم لعقدة عادية والموضح بالشكل (59-3).



الشكل (59-3): النموذج بعد التدعيم لعقدة متوسطة (MIR).

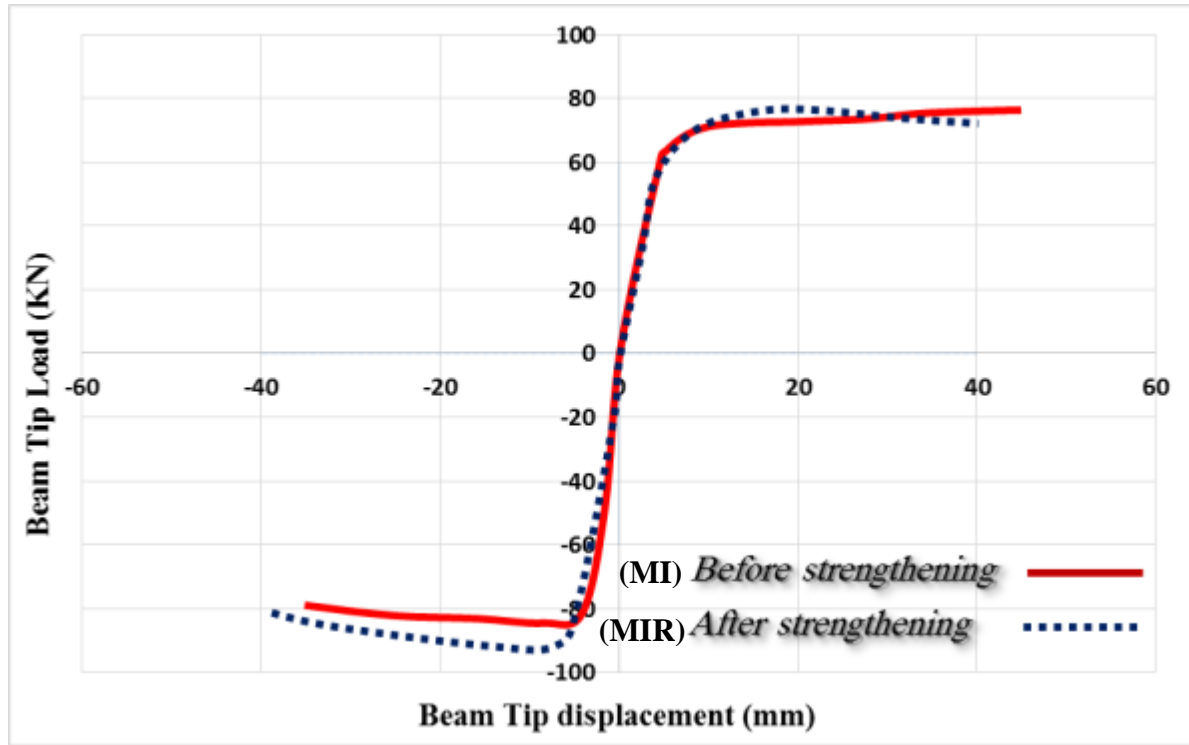
يبين الشكل (60-3) علاقة الانتقال-القوة للنموذج بعد التدعيم، حيث أن القوة العظمى التي وصلت إليها مقاومة العقدة عند تطبيق الحمل الدوري للأعلى 77.6 KN ، بينما كانت المقاومة 92.4 KN عند تطبيق الحمل للأسفل.



الشكل (60-3): الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج بعد التدعيم لعقدة متوسطة (ABAQUS ver.6.12).

### - فعالية التدعيم من ناحية المقاومة:

من الشكل (3-61) يلاحظ بمقارنة مغلقات الحلقات الهيسترية لكل من النموذجين قبل التدعيم (MI) وبعد التدعيم (MIR) للعقدة المتوسطة، أن التدعيم بشرائح البوليميرات المسلحة FRP وبطريقة التوضع السابقة للشرائح، أعطت فعالية بمقدار 12%.

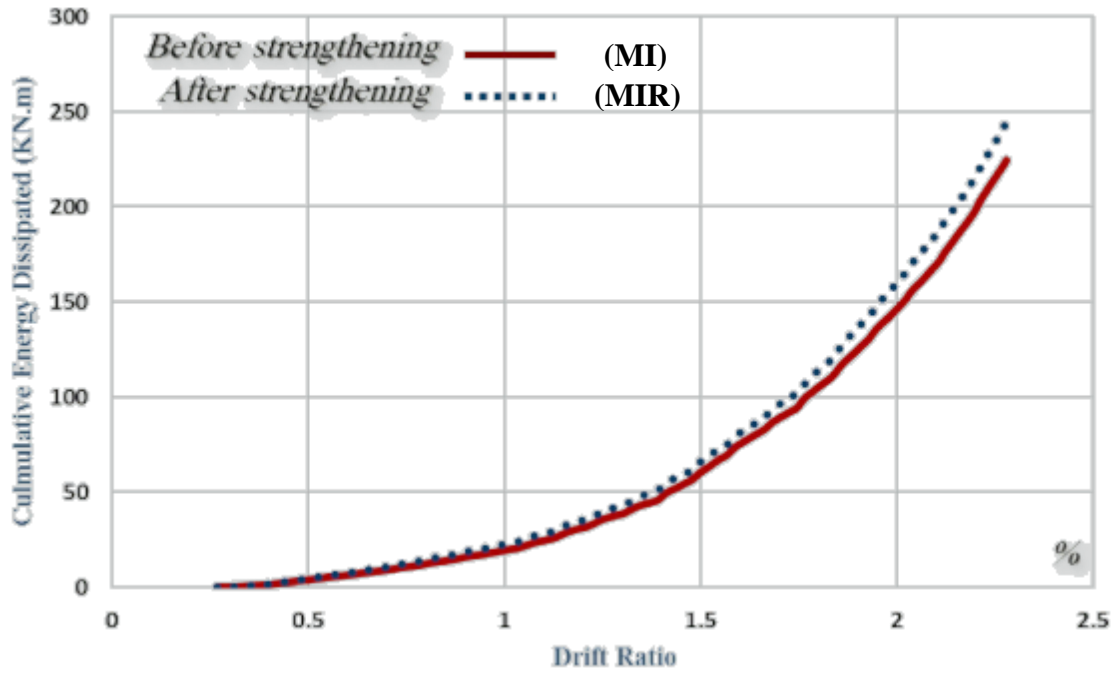


الشكل (3-61): مقارنة مغلقات الحلقات الهيسترية لمنحنيات الانتقال- قوة للنموذج قبل و بعد التدعيم لعقدة متوسطة. (ABAQUS ver.6.12)

### - فعالية التدعيم من ناحية المطاوعة:

يوضح الشكل (3-62) فعالية التدعيم من ناحية تبديد الطاقة، حيث يبين منحنى كمية الطاقة المبذوبة لكل من النموذجين قبل وبعد التدعيم إلى نسبة الانتقال في طرف الجانز إلى الطول الكلي للجانز، حيث وصلت كمية الطاقة المبذوبة إلى قيمة 245 KN.m بعد التدعيم (MIR)، بينما كانت 224 KN.m قبل التدعيم (MI) عند قيمة انتقال نسبي  $Drift\ ratio = 2.28\%$ .

لم تبد آلية التدعيم بشرائح FRP للعقدة المتوسطة مطاوعة ملحوظة حيث زادت نسبة المطاوعة بعد التدعيم بمقدار 9%.



الشكل (3-62): مخطط الطاقة المبددة للنماذج التحليلية المدروسة قبل وبعد التدعيم.  
(ABAQUS ver.6.12)

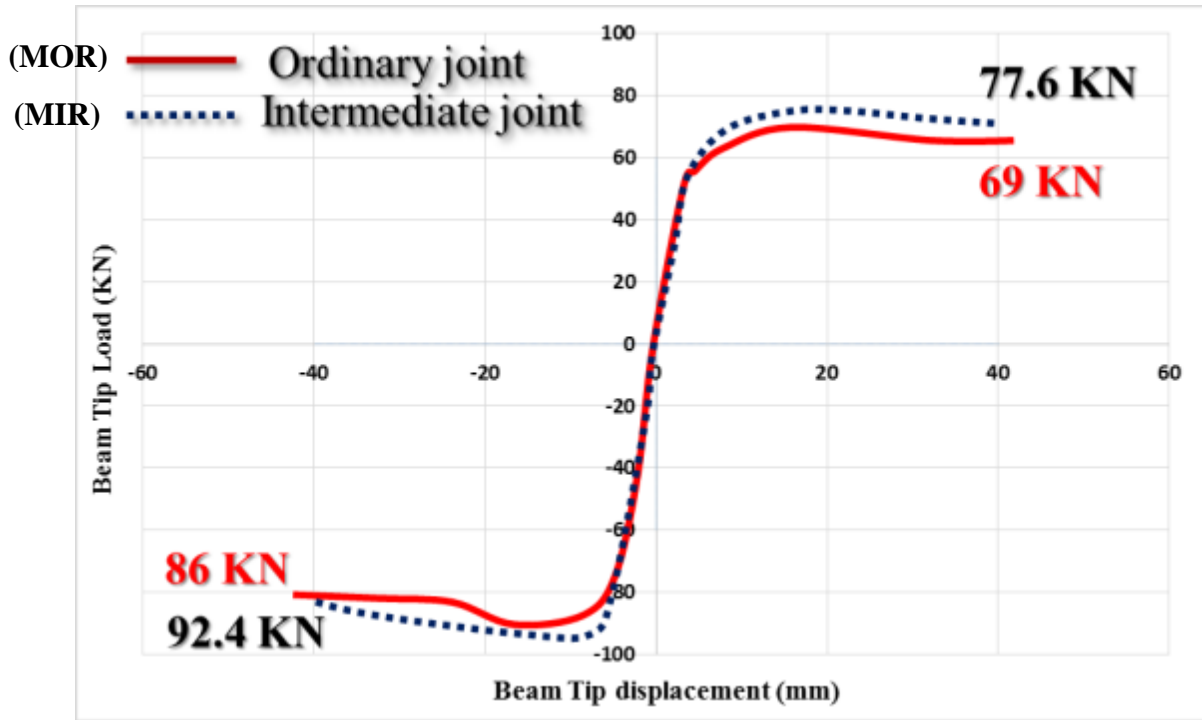
### 4.9.3 مقارنة نتائج النموذجين التحليليين لعقدة عادية (MO1) ومتوسطة (MI1)

بمقارنة فعالية التدعيم لكل من النموذج بعقدة عادية وعقدة متوسطة بعد إضافة أساور عرضية في العقدة، يبين الشكل (3-63) مغلفات الحلقات الهيسترية لكل من النموذجين بعد التدعيم، حيث يلاحظ أن التدعيم لعقدة متوسطة (MIR) أعطى فعالية أكبر من التدعيم لعقدة عادية (MOR) ولكن زيادة المقاومة لم تكن بفرق ملحوظ، إذ لم تتجاوز 5% بالمقارنة مع كفاءتها في تدعيم عقدة عادية.

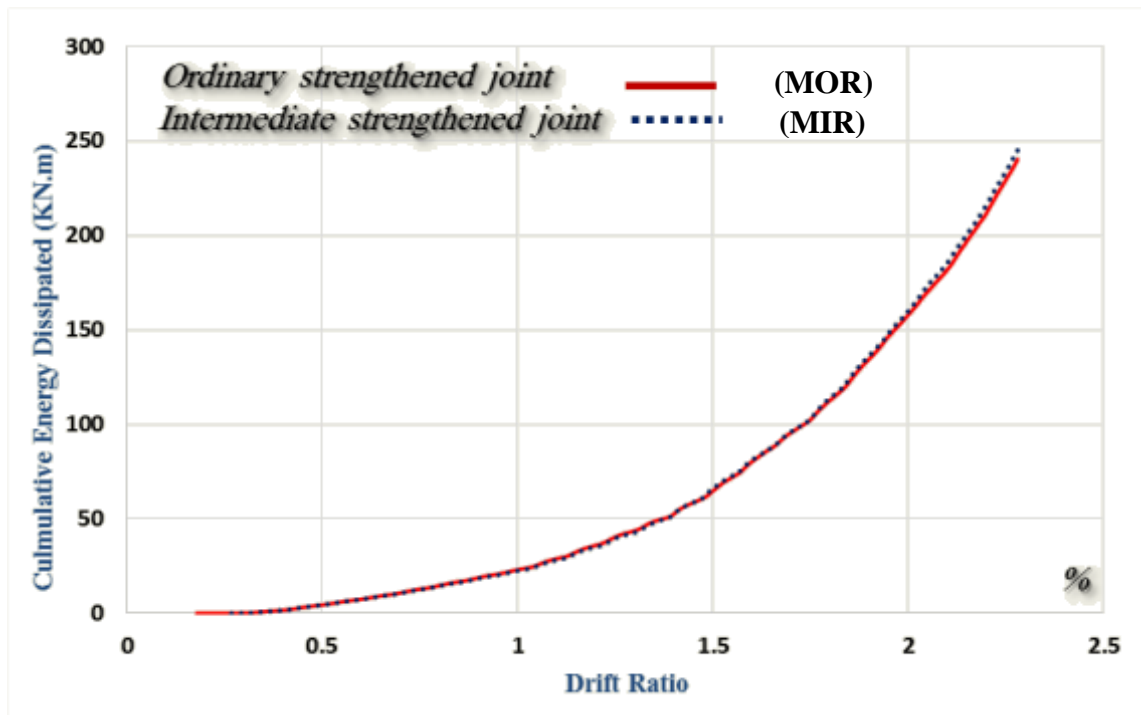
أما من ناحية المطاوعة فيبين الشكل (3-64) تقارب منحنى تبديد الطاقة، أي لم يكن لآلية التدعيم بوضعية الشرائح السابقة فعالية ملحوظة في رفع مطاوعة العقدة سواء بحالة عقدة عادية أو عقدة متوسطة.

يبين الجدول (3-8) فعالية التدعيم بشرائح مادة FRP، حيث يبين الجدول (3-8) قيم مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم، لكل من نمودجي العقدة العادية والمتوسطة.

كما يبين الجدول (3-9) قيم كمية الطاقة المبددة في العقدة قبل و بعد التدعيم، لكل من نمودجي العقدة العادية والمتوسطة و مقارنة فعالية التدعيم لكل من النموذجين.



الشكل (3-63): مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة لعقدة عادية و متوسطة، بعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)



الشكل (2-64): مخطط الطاقة المبذولة لعقدة عادية و متوسطة، بعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)

الجدول (8-3): مقارنة فعالية التدعيم بشرائح FRP للنموذجين بعقدة عادية و متوسطة من ناحية مقاومة العقدة.

نوع العقدة	قبل التدعيم		بعد التدعيم		فعالية التدعيم %
	مقاومة المقطع العظمى عند تطبيق الحمولة للأسفل	مقاومة المقطع العظمى عند تطبيق الحمولة للأعلى	مقاومة المقطع العظمى عند تطبيق الحمولة للأسفل	مقاومة المقطع العظمى عند تطبيق الحمولة للأعلى	
عادية	69.5	84.7	69.7	86.1	2
متوسطة	72.9	82.2	77.3	92.5	12

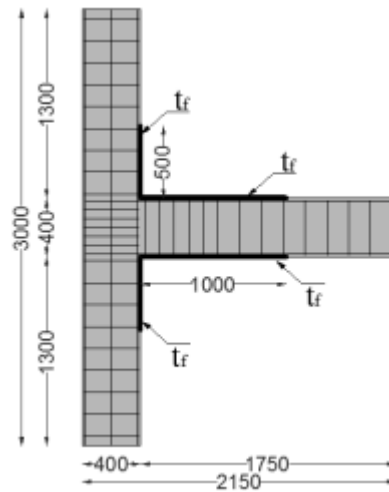
الجدول (9-3): مقارنة فعالية التدعيم بشرائح FRP للنموذجين بعقدة عادية و متوسطة من ناحية مطاوعة العقدة.

نوع العقدة	قبل التدعيم		بعد التدعيم		فعالية التدعيم %
	كمية الطاقة المبددة KN.m	كمية الطاقة المبددة KN.m	كمية الطاقة المبددة KN.m	كمية الطاقة المبددة KN.m	
عادية	221	242	242	242	9
متوسطة	224	245	245	245	9

مما سبق، يلاحظ بأن العقدة ذو ميكانيكية الانهيار المفاجئ الذي يحصل داخل العقدة، لا يعط فعالية تذكر بألية التدعيم المستخدمة بشرائح البوليميرات المسلحة، حيث أن تدعيم العقدة التي تمت تقويتها على القص (عقدة متوسطة)، أعطى فعالية أكبر نوعاً ما.

### 10.3 تأثير تغيير سماكة شريحة FRP

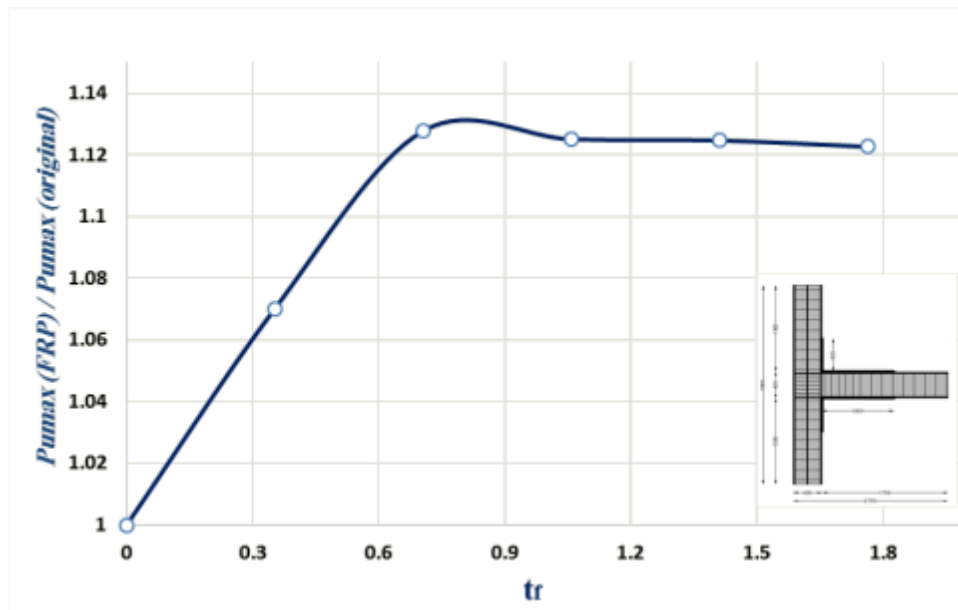
تم حساب السماكة الفعالة لشرائح البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP، وذلك من خلال تثبيت طول الشريحة على امتداد العمود بطول 500 mm، وامتداد الجائز 1000 mm، بشكل متناظر على طرفي الجائز، كما يوضح الشكل (3-65) وتغيير السماكة ( $t_f$ ).



الشكل (3-65): سماكة شرائح البوليميرات المسلحة بالألياف FRP.

يبين الشكل (3-66) تأثير تغيير سماكة الشريحة على نسبة المقاومة العظمى للعقدة مع التدعيم، إلى حمولة الانهيار بدون تدعيم بشرائح CFRP، حيث يمثل المحور الأفقي سماكة الشريحة ( $t_f$  (mm) والمحور الشاقولي يمثل نسبة المقاومة العظمى للعقدة بعد التدعيم  $P_{max}(FRP)$  إلى نسبتها قبل التدعيم  $P_{max}(original)$  لعقدة متوسطة الشكل (3-65)، يتبين من المخطط أن قدرة تحمل العقدة (Capacity) تزداد بشكل شبه خطي مع زيادة السماكة  $t_f$  حتى الوصول إلى قيمة تثبت عندها قدرة العقدة وأن أي زيادة إضافية في سماكة الشريحة لا تؤدي إلى زيادة في قدرة تحمل العقدة.

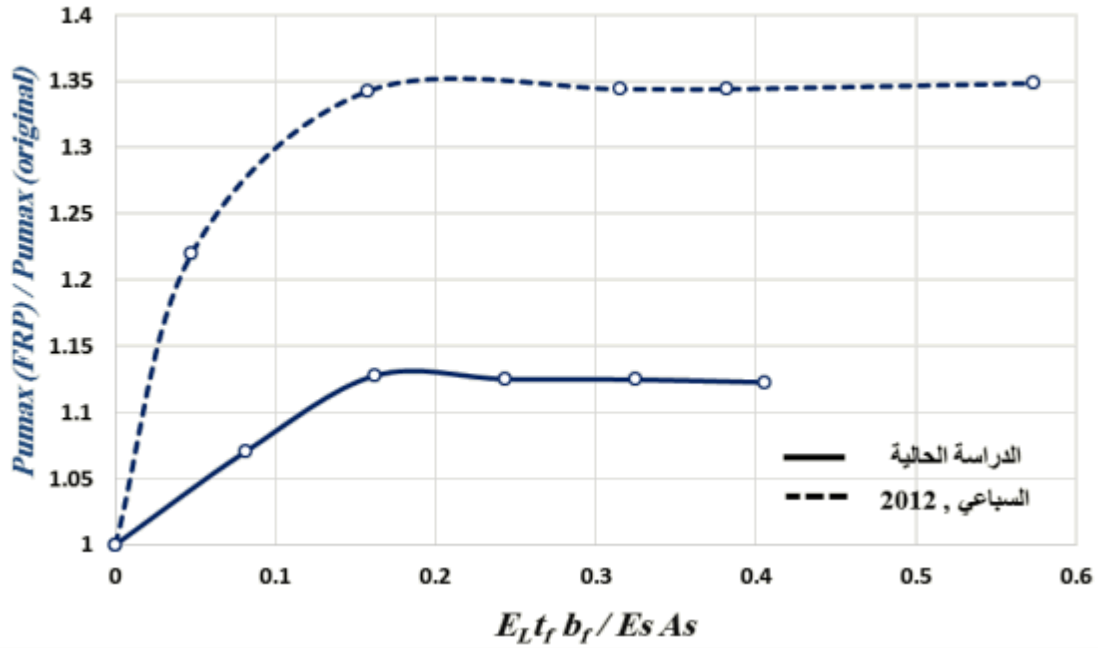
يتبين أن السماكة المطلوبة هي 0.71 mm أي شريحتي FRP وفق السماكة المستخدمة في تجربة (AI-1) (Amoury and Ghobarah, 2002) وعدم الحاجة إلى أربع شرائح كما تم استخدامها من قبل الباحثين.



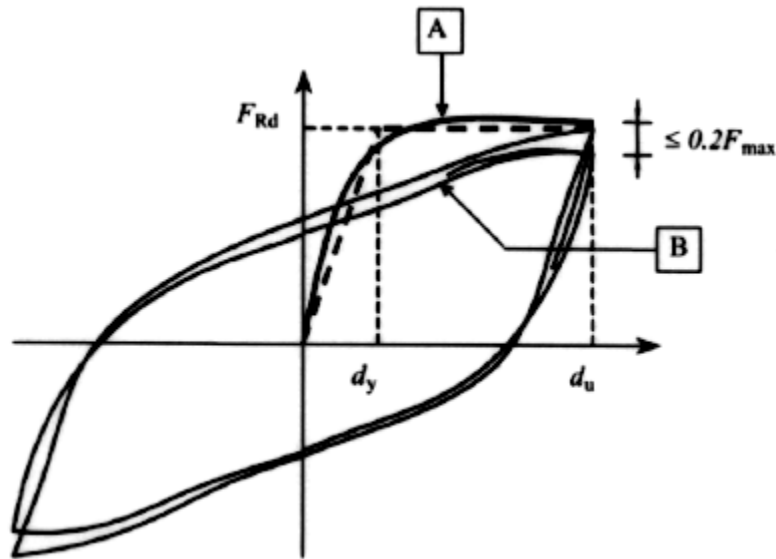
الشكل (3-66): تأثير تغير امتداد شريحة FRP النسبي على نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)

أما الشكل (3-67) فيوضح العلاقة بين تغيير سماكة شريحة CFRP النسبي  $[E_f t_f b_f / E_s A_s]$  حيث الرموز موضحة في الشكل (2-33)، مقارنة مع نسبة القوة الأعظمية للنموذج بوجود FRP ( $P_{max}(FRP)$ ) إلى القوة الأعظمية للنموذج بدون وجود FRP ( $P_{max}(original)$ )، كما يحتوي الشكل على المنحني الوارد في دراسة (السباعي، 2012). يمكن ملاحظة أن النسبة  $E_f t_f b_f / E_s A_s = 0.16$  في الدراسة الحالية توافق أعلى فعالية للتقوية باستعمال FRP وهي توافق النتيجة التي تم الحصول عليها في دراسة (السباعي، 2012) مع انخفاض في المقاومة في الدراسة الحالية بمقدار 22% كما هي عليه في دراسة (السباعي، 2012). إن السبب في انخفاض المقاومة هو اعتماد الحمولة الدورية (Cyclic load) في الدراسة الحالية بدلاً طريقة الدفع المتتالي (Pushover analysis) حيث بين الكود الأوروبي (Eurocode 8-2, 2005) على أن الفرق يكون بحدود 20% بين الحالتين (الشكل 3-68) بالإضافة إلى ذلك فإن دراسة (السباعي، 2012) لم تلاحظ أثر التماسك بين المواد المشكلة للنموذج.





الشكل (67-3): تأثير تغير السماكة النسبية على نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)



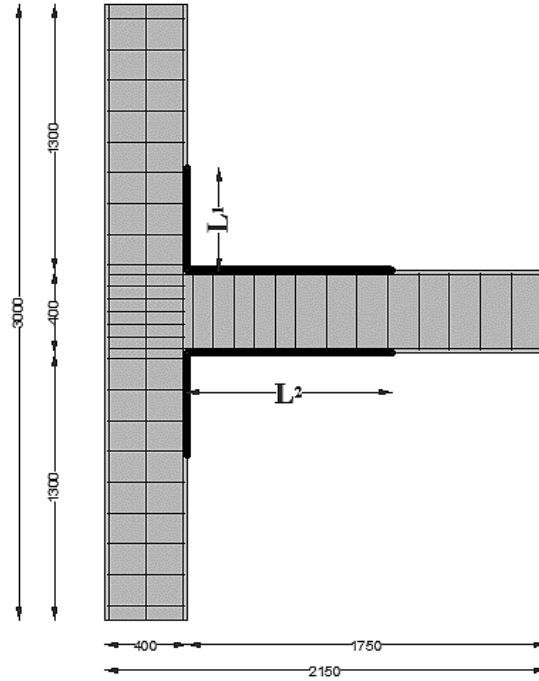
الشكل (68-3): الفرق بين التحليل باستخدام الدفع المتتالي (Pushover Analysis) والحمولة الدورية (Cyclic Load) (Eurocode 8-2, 2005)

### 11.3 تأثير تغيير طول شريحة FRP

تم حساب الطول الفعال لشرائح FRP، وذلك من خلال تثبيت سماكة الشريحة الأفضلية التي تم التوصل لها سابقاً (الشكل 67-3) إلى شريحتين بسماكة للشريحة الواحدة 0.353 mm، على امتداد كل من الجائز والعمود، ثم تغيير طولها انطلاقاً من وجه العقدة على امتداد الجائز مع تثبيت الطول 500 mm على امتداد العمود، حيث تم البدء بطول مساوٍ للصفر (أي دون وجود تدعيم)، ثم زيادة الطول تدريجياً بمقدار  $L_2$  وهو

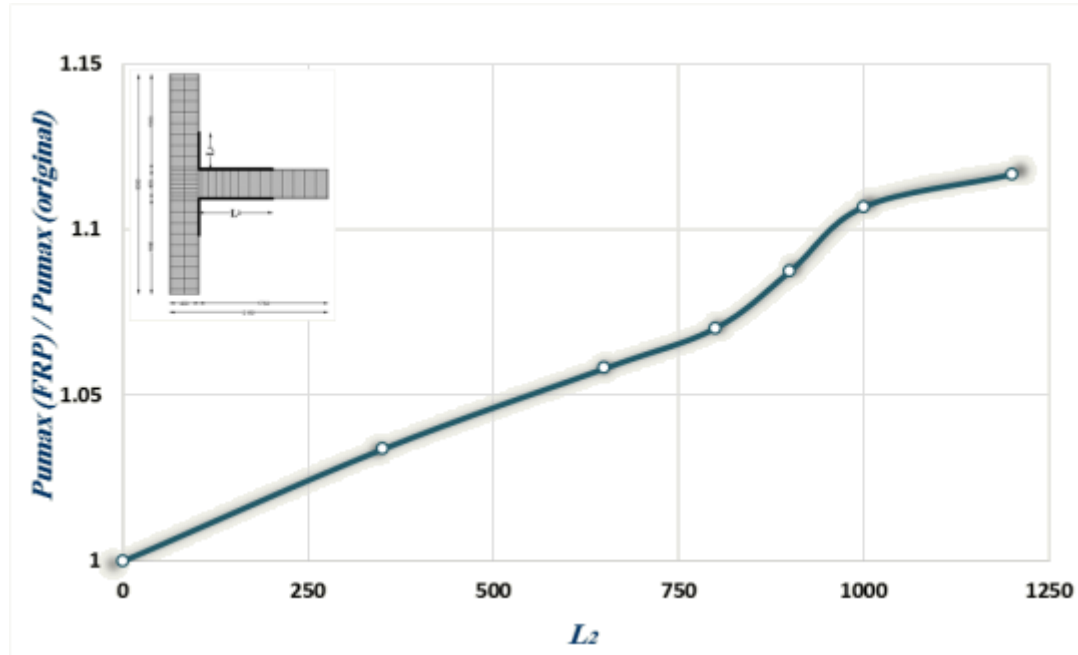


طول الشريحة المتصلة بالجائز، مع تثبيت الطول  $L_1$  الذي يعبر عن طول الشريحة المرتبطة بالعمود كما هو موضح بالشكل (69-3).

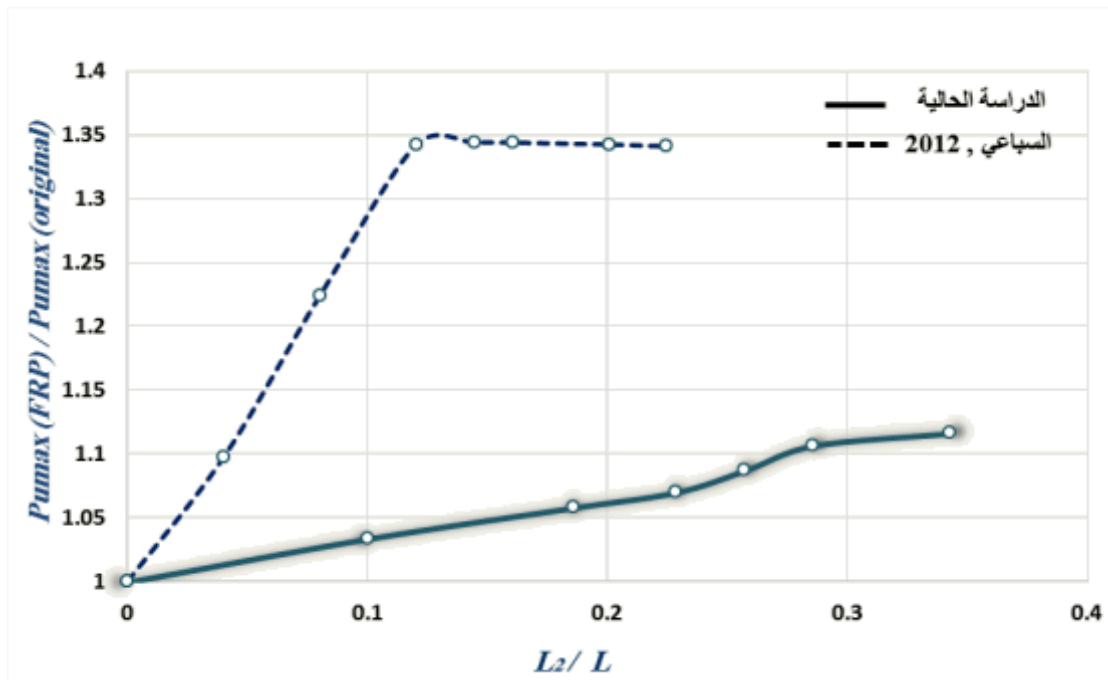


الشكل (69-2): أبعاد شرائح البوليميرات المسلحة بالألياف FRP.

يبين الشكل (70-3) تأثير تغيير امتداد شريحة FRP على نسبة المقاومة العظمى قبل وبعد التدعيم لعقدة متوسطة، حيث يمثل المحور الأفقي امتداد الشريحة  $L_2$  (mm) والمحور الشاقولي يمثل نسبة المقاومة العظمى للعقدة بعد التدعيم  $P_{max}(FRP)$  إلى نسبتها قبل التدعيم  $P_{max}(original)$ . كما يبين الشكل (71-3) هذا التأثير بشكل نسبي بعد أخذ المحور الأفقي وفق النسبة  $L_2/L$  حيث  $L$  تمثل طول الجائز الكلي ( $2\ell$ ) حيث  $\ell$  طول الجائز الظفري في الدراسة الحالية، وبالتالي  $L = 1750 * 2 = 3500$  mm. في الدراسة الحالية. كما تمت إضافة دراسة (السباعي، 2012) على نفس المخطط للمقارنة الشكل (32-3). يتبين من الشكل (71-3) أن مقاومة العقدة تزداد بشكل خطي حتى الوصول إلى قيمة  $L_2/L = 0.286$  ومن ثم فإن الميل ينخفض دلالة البدء بثبات المقاومة، أي أن استخدام نسبة طول أكبر من هذه النسبة لا تؤدي إلى زيادة المقاومة وإنما تسبب هدراً وهذه النتيجة أكبر من النتيجة التي توصلت لها دراسة (السباعي، 2012) والتي بلغت (0.12) (الشكل 32-2)، ويعود ذلك إلى تأثير التحميل الدوري وأخذ أثر التماسك بعين الاعتبار والذي يحتاج إلى طول فعال أكبر، وهو ماتم تجاهله في دراسة (السباعي، 2012).



الشكل (70-3): تأثير تغير طول الشريحة على امتداد الجائز على نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)



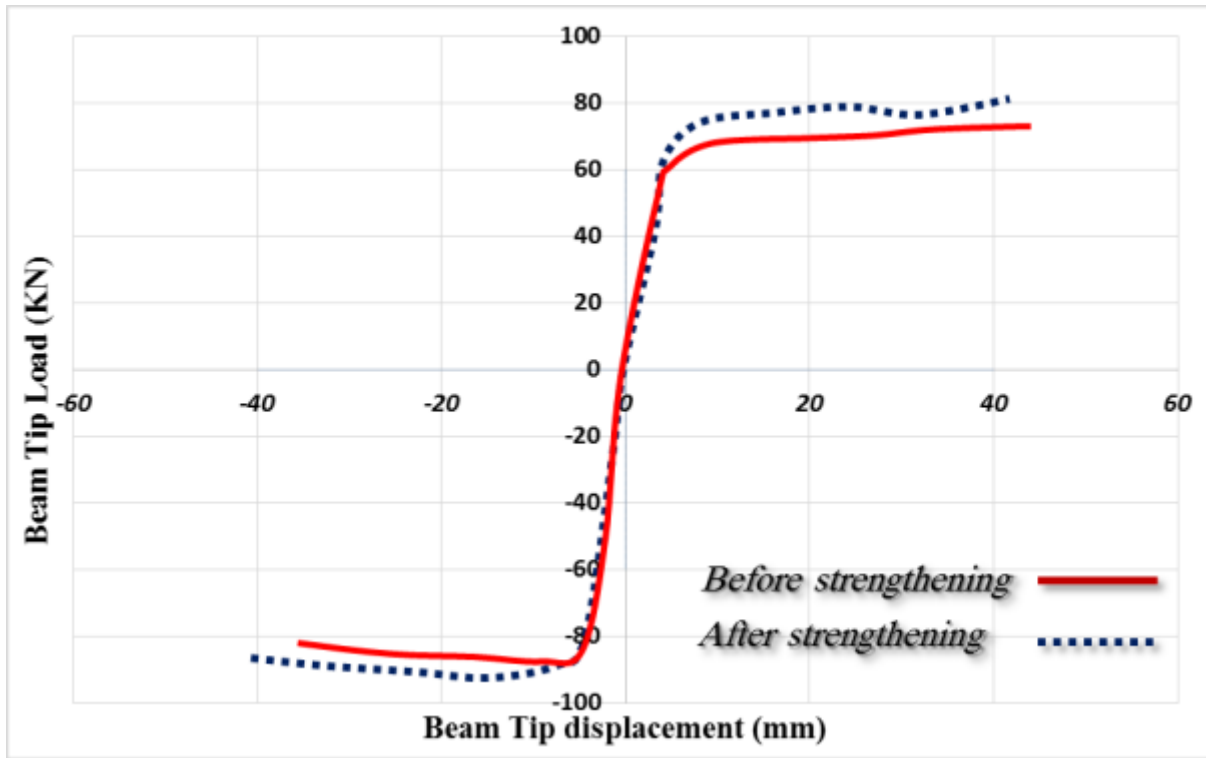
الشكل (71-3): نسبة طول الشريحة إلى طول الطفر إلى نسبة مقاومة العقدة قبل وبعد التدعيم. (ABAQUS ver.6.12)

يبين الجدول (10-3) المقارنة بين النموذج لعقدة متوسطة (MIR) والمبين في الشكل (3-59) والنموذج نفسه بعد أخذ الأبعاد الأفضلية بعين الاعتبار حيث تم تطبيق شريحتي FRP ( $t_f = 0.71$  mm) وطول ( $L_2 = 1000$  mm) حيث أعطت كلتا الحالتين مقاومات متقاربة إلا أن توفيراً بنسبة 100% في حجم الشرائح تم تحقيقه باستخدام النسب الأفضلية.

الجدول (10-3): مقارنة فعالية التدعيم بأخذ الأبعاد الأفضلية للسماعة و الطول.

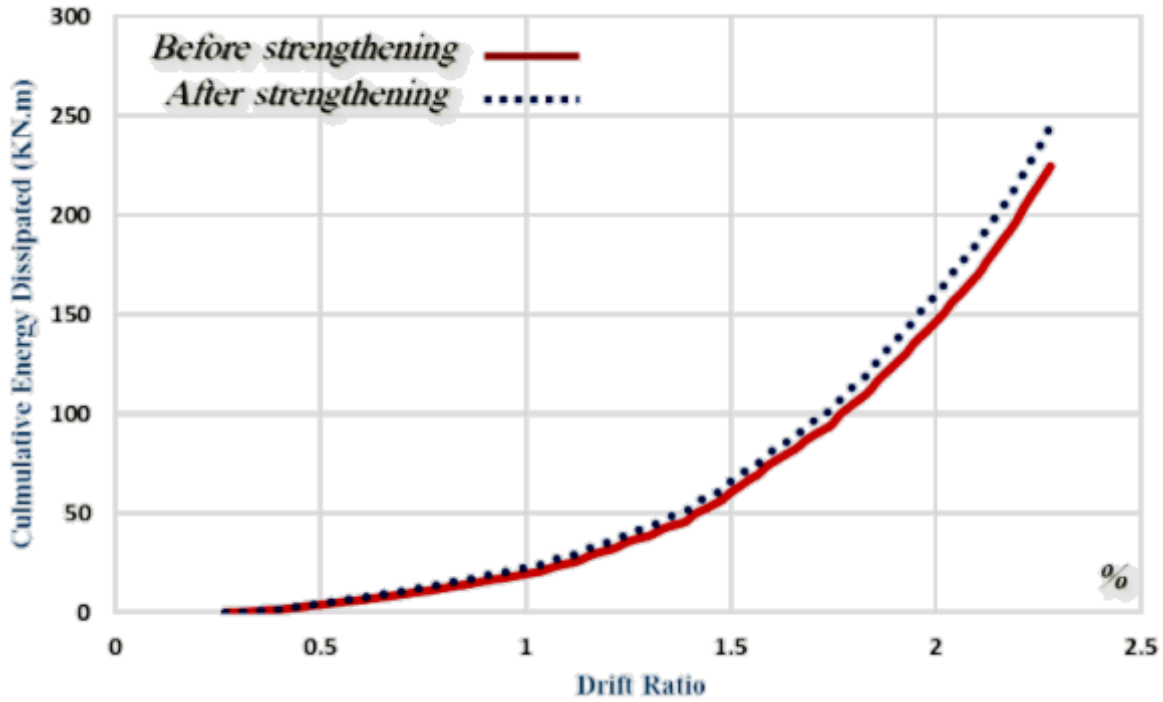
عدد شرائح CFRP	بعد التدعيم مقاومة المقطع العظمى عند تطبيق الحمولة		بعد التدعيم كمية الطاقة المبذولة KN.m
	للأسفل	للأعلى	
الحالة الأمثلية	77.2	92	243
MI1	77.3	92.5	245

يعطي الشكل (72-3) مغلقات الحلقات الهستيرية للنموذج التحليلي بعقدة متوسطة المقاومة قبل التدعيم و بعده، وذلك باعتماد الأبعاد المثلى لشرائح FRP، حيث زادت مقاومة العقدة إلى 13%.



الشكل (72-3): مقارنة مغلقات الحلقات الهستيرية لمنحنيات الانتقال- قوة لعقدة متوسطة قبل وبعد التدعيم أفضلية لشرائح FRP. (ABAQUS ver.6.12)

من حيث المطاوعة، يبين الشكل (73-3) منحني تبديد الطاقة، للنموذج التحليلي بعقدة متوسطة المقاومة قبل التدعيم وبعده، وذلك باعتماد الأبعاد الأفضلية لشرائح FRP، حيث زاد تبديد الطاقة للعقدة بعد التدعيم بشرائح FRP بأبعاد أفضلية إلى 9%.



الشكل (73-3): مخطط الطاقة المبذولة لعقدة متوسطة قبل وبعد التدعيم بأبعاد مثلى لسرايح FRP.  
(ABAQUS ver.6.12)

## الفصل الرابع

### النتائج والتوصيات

### (Conclusions and Recommendations)

## الفصل الرابع

### النتائج والتوصيات

### (Conclusions and Recommendations)

#### 4.1 النتائج

#### Conclusions

تم في هذا البحث دراسة تأثير استخدام البوليميرات المسلحة بالألياف FRP في تدعيم عقد الإطارات البيتونية المسلحة، وذلك بتطبيق دوران على العقدة ومعاينة ميكانيكيات انهيارها، ومن ثم فعالية التدعيم في رفع مقاومة العقدة أو رفع مطاوعتها باستخدام تلك الألياف.

تم في هذه الدراسة إجراء تحليل عددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة ( Finite Element Method, )، واستخدام التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المواد المستخدمة (Materially non-linear analysis- MNA)، مع تمثيل ظاهرة التماسك (Bond) وأخذ تأثيرها على العمل المتبادل بين البيتون وحديد التسليح بعين الاعتبار من جهة، وبين ألياف البوليميرات المسلحة بالألياف FRP والمقطع المدعم من جهة أخرى. تمت الدراسة بتطبيق تحميل دوري (Cyclic load) باستخدام تسجيل من نوع (Displacement time history).

استخدمت آلية تدعيم العقدة بشرائح FRP أعلى وأسفل الجانز، وهي طريقة التطبيق التي أكدت على فعاليتها عدة دراسات مرجعية، بالإضافة لإمكانية وسهولة تنفيذها عملياً في تدعيم كل من عقد المبنى الخارجية والداخلية، و تم اعتماد التوضع السابق لكل النماذج التحليلية المدروسة.

مما سبق، ومن إجراء دراسة تحليلية باستخدام برنامج (ABAQUS ver 6.12) للنموذج قبل التدعيم سواء لعقدة عادية أو متوسطة مقاومة للعزوم عن طريق تقويتها بأساور عرضية داخل العقدة، وبمقارنتها بعدة دراسات مرجعية، تم التوصل للنتائج التالية:

1. لم يعط تدعيم عقدة عادية مقاومة للعزوم باستخدام شرائح البوليميرات المسلحة بالألياف فعالية ملحوظة إذ لا تتجاوز كفاءتها في رفع مقاومة العقدة 5%، كما أن تبديد الطاقة لم يتجاوز فعاليتها 13% للنموذج المدعم، وتلك النسب تعتبر قليلة نسبياً، لاستدعي استخدام شرائح مادة FRP لتدعيم العقدة.

إن هذه النتيجة تنفي نتائج دراسات سابقة من قبيل الدراسة التجريبية (Al-Amoury and Ghobarah, 2002) حيث بينت الدراسة الحالية أن زيادة المقاومة سببها زيادة مقاومة البيتون في النموذج المدعم في دراسة (Al-Amoury and Ghobarah, 2002) وليس استخدام الـ FRP. إن هذه النتيجة قد تم تأكيدها في دراسة لاحقة لكلا الباحثين (Al-Amoury and Ghobarah, 2005).

2. لم يتغير نمط انهيار النموذج بتغيير نسبة مجموع العزوم المقاومة لمقاطع الأعمدة إلى مجموع العزوم المقاومة لمقطع الجانز، حيث بقي انهيار قلب العقدة على القص هو المسيطر حتى بعد التدعيم، الأمر الذي جعل فعالية التدعيم من ناحية المقاومة أو المطاوعة ضئيلة، ذلك أن طريقة التدعيم لا تتناسب وهذا النمط من الانهيار.

3. بإضافة أساور عرضية ضمن العقدة العادية لتصبح عقدة متوسطة مقاومة للعزوم، وتطبيق آلية التدعيم نفسها، زادت فعالية التدعيم باستخدام FRP بنسبة 5% عن تدعيم العقدة العادية، إذ رفعت من مقاومة العقدة المتوسطة إلى 12%، أما من ناحية مطاوعة العقدة المكتسبة من التدعيم، فقد أعطت فعالية بنسبة 9%.

4. تم في هذا البحث الحصول على أبعاد مثالية لشريحة البوليميرات المسلحة بالألياف FRP، حيث تبين أن الطول الفعال للشريحة (0.286 L) حيث L طول الجانز المتصل بالعقدة باعتبار أن نمط انهيار العقدة المدعمة على القص، وأن السماكة الأمثلية تعطى بالنسبة  $E_t t_f b_f / E_s A_s = 0.16$ ، وإن أي زيادة أكثر من هذه الأبعاد لن تؤدي إلى زيادة في مقاومة العقدة، وفي ذلك توفير في استخدام مادة FRP.

## 4.2 التوصيات

### Recommendations for future work

إضافة إلى ما ذكر أعلاه في البند (1-4) فإن البحث الحالي يحتاج إلى مزيد من الأعمال البحثية المستقبلية، كالتالي:

1. أكد البحث الحالي على أن الشكل العملي لتطبيق شريحة الـ FRP على العقدة لا يعطي الفعالية المطلوبة من ناحية المقاومة والمطاوعة معاً بسبب انهيار العقدة الدائم على القص رغم المحاولات العديدة في البحث الحالي لتغيير هذا النمط من الانهيار. من هنا فلا بد من المزج بين طرق تدعيم أخرى بالإضافة إلى مادة FRP، ولا سيما في جعل طرق التدعيم الأخرى تمنع انهيار العقدة على القص، حيث أن توضع شريحة FRP العملية والمتبعة في الدراسة الحالية، ترفع المقاومة والمطاوعة فيما لو كان الانهيار على الانعطاف فقط.

2. تم في البحث الحالي استخدام منحنيات نموذجية تقدمها الكودات في نمذجة مادة البيتون والتماسك، وافترض حالة نموذجية لظاهرة انغلاق واتساع الشقوق، الأمر الذي أثر على الحلقات الهستيرية في مرحلة مابعد الوصول للقوة العظمى. لذا يوصى بمحاولة استخدام منحنيات أخرى وفرضيات أخرى لظاهرة الشقوق وذلك للحصول على نفس التصرف مع النموذج التجريبي لمرحلة مابعد الوصول إلى المقاومة العظمى.
3. نمذجة إطار بشكل كلي مع تطبيق سجل زلزالي وتحليل ديناميكي، وفي ذلك تمثيل أكثر واقعية للتصرف الحقيقي للعقد الإطارية وتشكل ميكانيكيات الانهيار فيها.



## المراجع

## References

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

ACI Committee 318. 2008. **Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (ACI 318R-08)**. Farmington Hills, MI: ACI.

ATC-40 (1996), " **Seismic evaluation and Retrofit of Concrete Building** ", Applied Technology Council, Redwood City.

Bagherpour. Salar, (2012). " **Fibre Reinforced Polyester Composites** ", Chapter 6, Licensee in Tech. Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>).

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

[http://articles.architectjaved.com/earthquake\\_resistant\\_structures/building-construction-materials-for-earthquake-resistance/#more-63](http://articles.architectjaved.com/earthquake_resistant_structures/building-construction-materials-for-earthquake-resistance/#more-63).

BS 5400-4:1990, " **Steel, Concrete and composite bridges** ". Part4- Code of Practice for design of concrete bridges.

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

BS EN 1998-2 (2005), Eurocode8, " **Design of Structures for Earthquake resistance** ", Part 2: Bridges.

- CEB-FIP. (2010), "**Model Code 2010**". *Fib Bulletin 55: first complete draft- volume 1- fédération internationale du béton (fib)*.
- CEB-FIP. (2000), "**Externally bonded FRP reinforcement for RC structures**". *Fib Bulletin 14: fib Technical Report in spring 2001 by fib Task Group 9.3 FRP(Fibre Reinforced Polymer) reinforcement for concrete structures and the Chairman of Commission 9*.
- Concrete Society (2004). "**Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite materials**", *Technical Report 55, Camberley, UK*.
- Di Ludovico M., Porta A., Manfredi G. and Cosenza E., (2007). "**Seismic strengthening of an under- designed RC structure with FRP**", *Earthquake engineering and structural dynamics, 37, 141-162*.
- El-Amoury T. and Ghobarah A. (2002). "**Seismic rehabilitation of beam – beam joint using GFRP sheets**". *Earthquake engineering and structural dynamics, 24, 1397-1407*.
- El-Amoury T. and Ghobarah A. (2005). "**Seismic rehabilitation of Deficient Exterior Concrete Frame joints**". *Journal of composite for construction, 9(5),408-416*.
- F. Danesh, E. Esmaeel and Farid Alam, (2008). "**Shear strengthening of 3d RC beam- column connection using GFRP: FEM study**". *Asian journal of applied sciences I (3): 217-227*.
- Ghobarah A. and Biddah A. (1999). "**Dynamic analysis of reinforced concrete frames including joint shear deformation**", *Engineering Structures, 21, 971–987*.
- 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*.

- 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.
- 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 the Bond Slip Relationship Between Concrete and Reinforcement**", *PhD thesis, Auburn university, Auburn, Alabama*.
- Murty, C.V.R. (2006), "**Earthquake Tips – Learning Earthquake Design and Construction**", *National Information Center of Earthquake Engineering, IIT Kanpur, India*.
- Murty,C.V.R. and Jain S.K. ( 2000)." **Beneficial influence of Masonry infill on seismic performance of RC frame buildings**", *Proc. of the 12<sup>th</sup> World conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Jan-Feb, paper no.1790*.
- Park, R and Paulay.T., "**Behavior of Reinforced Concrete Beam-Column Joints Under Cyclic Loading**", *Proceedings Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, 1973*.
- Penelis G.G. and Kappos A.J. (1997). "**Earthquake Resistant Concrete Structures**", E & FN Spon, London, UK.
- Pisarenko, G.S., "**The equation of hysteresis loop contours characterizing the energy dissipation in a material during vibration**", *Volume 5, Issue2, pp 182-189*.
- Rai D. C. (2009), "**Seismic Rehabilitation of Structures**", *Department of Earthquake Engineering University of Roorkee*.

- Reddy J.N, (1997). “**Mechanics of laminated composite plates**”, *CRC press, New York*.
- Seaoc Blue Book (1999), "**Lateral force requirements and commentary**", *The structural Engineers association of California*.
- Sung Eom T., Yo Kim Jae and Park Hong-Gun, (2011). “**Building analysis for inelastic earthquake design of regular moment frames and dual systems addressing moment redistribution**“, *Engineering Structures, 34, 147-157*.
- Shiohara. Hitoshi, (1998). “**A new model for joint shear failure of reinforced concrete interior beam to column joint**”. *Journal of the school of engineering, vol XLV ,491*.
- Smith S.T and Teng J.G, (2001). “**FRP-strengthened RC beams. I: review of deboning strength models**“, *Engineering Structures, 24, 385–395*.
- U. Akguzel, P. Quintana Gallo and S. Pamoanin, (2011). “**Seismic strengthening of a non-ductile of RC frame structures using GFRP sheets**”. *Proceeding of the ninth pacific conference on Earthquake engineering building an earthquake resilient society, 14-16 April, 2011, Auckland, New Zealand*.

Site accessed:

[http://www.antonine-education.co.uk/Salters/SUR/Boning\\_up.htm](http://www.antonine-education.co.uk/Salters/SUR/Boning_up.htm), (Accessed: 25-November-2013).

الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (2004), الطبعة الثالثة, دمشق 2004  
الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (الملحق رقم 2): تصميم وتحقيق  
المباني و المنشآت لمقاومة الزلازل (2005). منشورات نقابة المهندسين، سوريا.  
السمارة، محمد (2006). "أساسيات ديناميك المنشآت و الهندسة الزلزالية"، دمشق، سوريا .  
السباعي مايا، (2012). "تقوية عقد الإطارات البيتونية المسلحة ضد الأحمال الزلزالية باستخدام  
البوليميرات المسلحة بالألياف"، أطروحة ماجستير، جامعة دمشق، المعهد العالي للدراسات و  
البحوث الزلزالية.

## **Abstract**

It is well known that RC frame depends extremely on its joints to provide the seismic demands of both resistance and ductility. Therefore, it is required to strengthen these joints to meet the seismic design provisions.

In this research, Fiber Reinforced Polymer (FRP) is used to enhance the behavior of RC frame joints as a new technique of strengthening structural elements.

Finite Element modeling using Materially Non-linear Analysis (MNA) is performed in this study to estimate the gain in resistance and ductility after FRP application. Moreover, the bond action between the model elements is taken in this research.

This research shows that the efficiency of FRP strengthening depends significantly on the failure mode of joint. It is explored that the practical application of the FRP strips to faces of beams and columns does not prevent the shear failure into the joint. This causes that using FRP is not valuable as an important result of this study. On the other hand, the optimal dimensions of FRP are explored to provide the economic FRP application.

---

Damascus University

Higher Institute of Earthquake Studies and Research

Department of Structural Engineering



**Seismic behavior and failure modes of RC frame joints  
strengthened by Fiber Reinforced Polymer  
(FRP)**

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

By

**Yara Mouna**

Supervisor

**Dr Mustafa Batikha**

**Damascus 2014**

---