



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

”تأثير المواصفات الميكانيكية لجدران البلوك المقواة بالبوليميرات المسلحة بالألياف
(FRP) على السلوك الإنشائي للإطارات البيتونية في مستويها”

”The effect of mechanical properties of masonry wall
strengthened by FRP on the in-plane structural of RC frames”

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية - قسم الهندسة الإنشائية

إعداد:

م. فراس علقم

إشراف:

د.م. مصطفى بطيخة



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

"تأثير المواصفات الميكانيكية لجدران البلوك المقواة بالبوليميرات المسلحة بالألياف
(FRP) على السلوك الإنشائي للإطارات البيتونية في مستويها"

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية - قسم الهندسة الإنشائية

إعداد:

م. فراس علقم

إشراف:

د.م. مصطفى بطيخة

دمشق 2014

لجنة الحكم السادة الاساتذة:

كلية الهندسة المدنية
عضواً

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
الاختصاص: ديناميك الإنشاءات

أ. د. محمد نزيه اليغثي إيلوش
جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية
عضواً

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
الاختصاص: مقاومة المواد

أ. د. رياض العيسى
جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية
عضواً مشرفاً

المدرس في قسم الهندسة الإنشائية
الاختصاص: إنشاءات معدنية

د. مصطفى بطيخة
جامعة دمشق

ملخص البحث Abstract

أثبتت المشاهدات التي حدثت مؤخراً بعد حدوث الزلازل في مناطق مختلفة من العالم ضرورة إعادة تأهيل المباني القائمة لتحمل الأحمال الزلزالية المختلفة وخاصة تلك المباني التي تم إنشاؤها قبل صدور التوصيات الحديثة المتعلقة بإنشاء المباني لمقاومة الأحمال الزلزالية.

تعتبر عملية إعادة تأهيل المباني من العمليات المعقدة والمكلفة اقتصادياً ما أدى إلى ظهور العديد من الدراسات التي تبحث في طرق إعادة تأهيل المباني بكفاءة عالية وبما يحقق الجدوى الاقتصادية. وقد ركزت العديد من الأبحاث الحديثة على استثمار جدران القواطع المعمارية عن طريق اعتبارها عناصر إنشائية ورفع كفاءتها عن طريق تقويتها بوسائل عديدة منها استخدام شرائح الألياف البوليميرية المسلحة بالألياف FRP المستخدمة حديثاً.

تم في هذا البحث دراسة تأثير تغيير الخواص الميكانيكية لجدران البلوك على سلوك الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران البلوك المقواة بشرائح ال CFRP تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها عن طريق إجراء دراسة عددية، باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method, FEM) بواسطة البرنامج الإنشائي (ABAQUS, V6.12-1)، حيث تم إجراء تحليل عددي لا خطي يأخذ تأثير لا خطية المادة (Material Non-Linearity) بعين الاعتبار وذلك بتطبيق انتقالات دورية في مستوى جوائز الإطار البيتوني المسلح (In-Plane Cyclic Displacements).

أظهرت الدراسة الحالية دور جدران البلوك الإسمنتي في رفع كفاءة الجمل الإطارية تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها، بالإضافة إلى مساهمة الشرائح البوليميرية (CFRP) في رفع كفاءة الجمل الإطارية وتعزيز دور الجدران لمقاومة الأحمال الجانبية في مستوي الجملة. كما بينت الدراسة تأثير تغيير الخواص الميكانيكية لجدران البلوك الإسمنتي حيث أن فعالية تقوية الجدران باستعمال ال FRP تكون أكبر في حال الجدران ذات المقامات المتوسطة على الضغط. كما بين هذا البحث تأثير عرض الشرائح على فعالية طريقة التقوية المستخدمة، حيث أن أخذ زيادة عرض الشرائح لتغطي زوايا الجدار يعطي فعالية أكبر.

شكر وتقدير *Acknowledgments*

أتوجه بالشكر لكل العاملين في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق من أعضاء هيئة تعليمية وفنية وإداريين. وأخص بتقديري وامتناني الكبيرين الدكتور المهندس مصطفى بطيخة على الساعات الطويلة التي قضاها معي لانجاز هذا العمل، وعلى صبره ومتابعته الحثيثة ونصائحه الغنية وتشجيعه المستمر طيلة فترة البحث والتي كان لها الدور الكبير في إنجاح العمل. وأتوجه بالشكر أيضاً لأعضاء لجنة الحكم على قراءتهم المتأنية لهذه الأطروحة وملاحظاتهم الهامة لإغنائها. أتوجه بامتناني ومحبيتي لزملائي وأصدقائي على تشجيعهم ودعمهم، وأحتفظ بجل الامتنان لرفاقي في مخبر البيبتون ومواد البناء.

أتقدم بخالص محبتي لعائلتي الكريمة وأخص بها والدي ووالدتي وعمي على دعواتهم وعطائهم الدائمين وإخوتي لدعمهم وتشجيعهم، وأتقدم وبالعرفان والجميل الكبيرين لزوجتي وأولادي على سهرهم وكدهم معي ودعمهم المعنوي وصبرهم وتشجيعهم لي لإكمال هذا البحث.

فهرس المحتويات Contents

ii.....	ملخص البحث	
iii	شكر وتقدير	
iv.....	فهرس المحتويات	
vi.....	فهرس الأشكال	
viii	فهرس الجداول	
ix.....	الرموز	
xi.....	المختصرات	
1.....	مقدمة	1.1
1.....	نظرة عامة	1.1
3.....	مشكلة البحث وأهميته	2.1
3.....	الهدف من البحث:	3.1
3.....	طرائق البحث:	4.1
3.....	محتويات الأطروحة:	5.1
5.....	المراجعة البحثية	2.
5.....	مقدمة	1.2
7.....	جدران وحدات البلوك الإسمنتية غير المسلحة	2.2
7.....	مقدمة	1.2.2
7.....	وحدات البلوك الإسمنتية	2.2.2
9.....	المونة الإسمنتية	3.2.2
10.....	الخواص الميكانيكية لجدران وحدات البلوك الإسمنتية	4.2.2
11.....	مقاومة الجدار على الضغط (Masonry Compressive Strength):	1.4.2.2
15.....	مقاومة الجدار على القص (Masonry Shear Strength):	2.4.2.2
16.....	مقاومة الجدار على الشد (Masonry Tensile Strength):	3.4.2.2
16.....	أشكال انهيار جدران وحدات البلوك الإسمنتية	5.2.2
18.....	الإطارات البيتونية المسلحة	3.2
18.....	الخواص الميكانيكية للبيتون	1.3.2
19.....	مقاومة البيتون على الضغط (Concrete Compressive Strength):	1.1.3.2
20.....	مقاومة البيتون على الشد (Concrete Tensile Strength):	2.1.3.2
21.....	الخواص الميكانيكية لفولاذ التسليح	2.3.2
22.....	التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح	3.3.2
24.....	الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية	4.2
25.....	سلوك الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية	1.4.2
25.....	أنماط انهيار الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية	2.4.2
27.....	البوليميرات المسلحة بالألياف	5.2
27.....	مقدمة	1.5.2
27.....	الخواص الميكانيكية لشرائح ال FRP أحادية الاتجاه	2.5.2
28.....	انهيار التماسك بين البيتون وشرائح ال FRP	3.5.2
30.....	سلوك الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية المدعمة بال FRP:	6.2
31.....	دراسة (Erdem et al., 2006)	1.6.2
31.....	دراسة (Binici and Ozcebe, 2006)	2.6.2
32.....	دراسة (Altin et al., 2008)	3.6.2
35.....	دراسة (Yuksel et al., 2010)	4.6.2
37.....	دراسة (Ozkaynak et al., 2011)	5.6.2
40.....	نتيجة الفصل الثاني	7.2
41.....	التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة	3.
41.....	مقدمة	1.3
41.....	البرنامج الإنشائي المستخدم	2.3
42.....	النماذج البنيوية للمواد	3.3
42.....	النموذج البنيوي للبيتون	1.3.3
43.....	تصرف البيتون في حالة الشد الأحادي المحور	1.1.3.3
44.....	تصرف البيتون في حالة الضغط الأحادي المحور	2.1.3.3

45.....	تصرف البيتون تحت تأثير الأحمال الدورية.....	3.1.3.3
46.....	توصيف مادة البيتون في النموذج العددي في الدراسة الحالية	4.1.3.3
48.....	النموذج البنيوي لجدران البلوك.....	2.3.3
48.....	توصيف مادة جدار البلوك في النموذج العددي.....	1.2.3.3
49.....	النموذج البنيوي لفولاذ التسليح.....	3.3.3
50.....	النموذج البنيوي لسرايح الـ CFRP الأحادية الاتجاه.....	4.3.3
50.....	العناصر المحدودة.....	4.3
51.....	العنصر المحدود CPS4R.....	1.4.3
51.....	العنصر المحدود T2D2.....	2.4.3
52.....	العنصر المحدود Spring2.....	3.4.3
53.....	ربط العناصر المحدودة.....	5.3
53.....	ربط البيتون مع فولاذ التسليح الطولي.....	1.5.3
54.....	ربط البيتون مع الأساور العرضية.....	2.5.3
54.....	ربط الإطار البينيوي المسلح وجدار البلوك الإسمنتي.....	3.5.3
55.....	ربط جدار البلوك مع سرايح الـ CFRP.....	4.5.3
56.....	الشروط المحيطة.....	6.3
57.....	التحليل المستخدم.....	7.3
58.....	دراسة تقارب الشبكة.....	8.3
58.....	التحقق من النموذج العددي.....	9.3
59.....	التحقق من نموذج الإطار البينيوي المسلح (F_o).....	1.9.3
62.....	التحقق من نموذج الإطار البينيوي المسلح المملوء بجدار البلوك (F_w).....	2.9.3
64.....	التحقق من نموذج الإطار البينيوي المملوء بجدار البلوك والمقوى بالـ CFRP ($F_{w,FRP}$).....	3.9.3
67.....	ملخص نتائج النموذج العددي ($F_o, F_w, F_{w,FRP}$).....	4.9.3
68.....	نتيجة الفصل الثالث.....	10.3
69	الدراسة الباراميتريية	4.
69.....	مقدمة.....	1.4
69.....	الدراسة الإحصائية لنتائج كسر عينات البلوك المحلي.....	2.4
72.....	النموذج العددي الخاص بالدراسة الباراميتريية.....	3.4
72.....	دراسة أثر تغيير الخواص الميكانيكية لجدار البلوك.....	4.4
76.....	دراسة أثر تغيير عرض سرايح الـ CFRP.....	5.4
79.....	نتيجة الفصل الرابع.....	6.4
80	النتائج والتوصيات	5.
80.....	مقدمة.....	1.5
80.....	النتائج.....	2.5
81.....	الأعمال المستقبلية.....	3.5
82	المراجع6
85	Abstract7

فهرس الأشكال List of Figures

- الشكل (1-1) انهيار المباني بسبب الزلازل..... 1
- الشكل (2-1) بعض طرق تقوية الجمل الإطارية..... 2
- الشكل (1-2) بعض الظواهر الناتجة عن ملء الجمل الإطارية بالجدران (Tabeshpour, 2012)..... 5
- الشكل (2-2) تأثير وجود الجدران على زيادة مقاومة الإطارات لتحمل الأحمال الأفقية (Crisafull, 2010)..... 6
- الشكل (3-2) مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة للإطارات (Rai, 2000)..... 7
- الشكل (4-2) بعض أشكال الوحدات البلوك الإسمنتية (Hendry et al., 2004)..... 8
- الشكل (5-2) مخطط الإجهاد-التشوه لمادة الجدران تحت تأثير الضغط المحوري الأحادي الاتجاه (Özen, 2006)..... 11
- الشكل (6-2) تأثير الضغط الأحادي على الجدران المطبق بشكل عمودي..... 12
- الشكل (7-2) التشققات الحاصلة نتيجة الضغط الأحادي على الجدران المطبق بشكل عمودي على مستوى طبقة المونة (McKenzie, 2001)..... 12
- الشكل (8-2) تغيير مقاومة الجدران بتغير سماكة المونة (Hendry et al., 2004)..... 13
- الشكل (9-2) منحني الإجهاد-التشوه للجدران على الضغط (BS EN 1996-1-1, 2005)..... 14
- الشكل (10-2) تصرف الجدران تحت تأثير القص المباشر (Özen, 2006)..... 16
- الشكل (11-2) تصرف الجدران تحت تأثير الشد المباشر (Özen, 2006)..... 16
- الشكل (12-2) أنماط انهيار الجدران - حالة الأحمال عمودية على سطح الجدار (McKenzie, 2001)..... 17
- الشكل (13-2) أنماط انهيار الجدران - حالة الأحمال في مستوي الجدار (Vaughan, 2010)..... 17
- الشكل (14-2) التشققات في الجدران نتيجة القص تحت تأثير الأحمال في مستويها (Elgwady et al., 2002)..... 18
- الشكل (15-2) منحني الإجهاد-التشوه للبيتون تحت تأثير الضغط الأحادي (BS EN 1992-1-1, 2004)..... 19
- الشكل (16-2) مرحلة تدهور المادة (Tension Softening) تحت تأثير الشد الأحادي (Johnson, 2006)..... 20
- الشكل (17-2) منحني نموذجي للعلاقة بين الإجهاد-التشوه لفولاذ التسليح (Obaidat, 2011)..... 21
- الشكل (18-2) منحني الإجهاد-التشوه لفولاذ التسليح المعتمد في الدراسة الحالية (Obaidat, 2011)..... 22
- الشكل (19-2) تأثير الشقوق في عمل البيتون المسلح (Kwak and Filippou, 1990)..... 23
- الشكل (20-2) منحني التماسك - الانزلاق في البيتون المسلح (CEB-FIP, 2010)..... 24
- الشكل (21-2) العمل الشبكي للإطار نتيجة وجود الجدران (Murty and Jain, 2000)..... 25
- الشكل (22-2) أنماط انهيار الجملة الإطارية المملوءة بجدران الوحدات البلوك الإسمنتية (Sattar, 2013)..... 26
- الشكل (23-2) رسم توضيحي لشرائح ال FRP أحادية الاتجاه (Obaidat, 2011)..... 27
- الشكل (24-2) سلوك مادة ال FRP (CEB-FIP, 2010)..... 28
- الشكل (25-2) أنماط انهيار التماسك بين البيتون وال FRP (Obaidat, 2011)..... 29
- الشكل (26-2) مخطط جهد التماسك - الانزلاق بين البيتون وال FRP (CEB-FIP, 2010)..... 30
- الشكل (27-2) فعالية الطرائق مختلفة لزيادة قساوة الإطارات (Erdem, 2006)..... 31
- الشكل (28-2) طرق التقوية المستخدمة في الدراسة التجريبية (Binici and Ozcebe, 2006)..... 32
- الشكل (29-2) النتائج التحليلية للحالات المدروسة في الدراسة التجريبية (Binici and Ozcebe, 2006)..... 32
- الشكل (30-2) أبعاد وتفصيل النموذج (Altin et al., 2008)..... 33
- الشكل (31-2) تفاصيل أسافين تثبيت ال CFRP (Altin et al., 2008)..... 34
- الشكل (32-2) ترتيبات تدعيم الجدران (Altin et al., 2008)..... 34
- الشكل (33-2) مغلفات الحلقات الهستيرية لحالة تدعيم وجهي الجدران (Altin et al., 2008)..... 35
- الشكل (34-2) أبعاد وتسليح النموذج (Yuksel et al., 2010)..... 36
- الشكل (35-2) الأشكال المختلفة للتدعيم (Yuksel et al., 2010)..... 36
- الشكل (36-2) نتائج الدراسة (Yuksel et al., 2010)..... 37
- الشكل (37-2) أبعاد وتسليح الإطار البيتوني المسلح (Ozkaynak et al., 2011)..... 38
- الشكل (38-2) ترتيبات التجربة (Ozkaynak et al., 2011)..... 38
- الشكل (39-2) الانتقالات الدورية المطبقة (Ozkaynak et al., 2011)..... 38
- الشكل (40-2) مراحل إجراء التجارب (Ozkaynak et al., 2011)..... 39
- الشكل (41-2) مغلفات الحلقات الهستيرية للنماذج الأربعة (Ozkaynak et al., 2011)..... 39
- الشكل (1-3) تصرف البيتون في حالة الشد المحوري (ABAQUS V6.12-1, 2012)..... 43
- الشكل (2-3) تصرف البيتون في حالة الضغط المحوري (ABAQUS V6.12-1, 2012)..... 45
- الشكل (3-3) تصرف البيتون تغير الحمل لدورة واحدة شد-ضغط-شد (ABAQUS V6.12-1, 2012)..... 46
- الشكل (4-3) منحني الإجهاد-التشوه للبيتون على الضغط (الدراسة الحالية)..... 47
- الشكل (5-3) منحني الإجهاد-التشوه للبيتون على الشد (الدراسة الحالية)..... 47
- الشكل (6-3) منحني الإجهاد-التشوه لجدار البلوك الإسمنتي على الضغط (الدراسة الحالية)..... 49
- الشكل (7-3) منحني الإجهاد-التشوه لجدار البلوك الإسمنتي على الشد (الدراسة الحالية)..... 49

- الشكل (3-8) منحني الإجهاد-التشوه لفلاذ التسليح المستخدم (الدراسة الحالية). 50
- الشكل (3-9) منحني الإجهاد-التشوه لشرائح الـCFRP المستخدمة (الدراسة الحالية). 50
- الشكل (3-10) العنصر CPS4R (ABAQUS V6.12-1, 2012). 51
- الشكل (3-11) العنصر T2D2 (ABAQUS V6.12-1, 2012). 51
- الشكل (3-12) العنصر Spring2 (ABAQUS V6.12-1, 2012). 52
- الشكل (3-13) السلوك اللاخطي للعنصر Spring2 (ABAQUS V6.12-1, 2012). 52
- الشكل (3-14) علاقة إجهاد التماسك - الانزلاق النسبي بين البيتون وفلاذ التسليح الطولي (الدراسة الحالية). 53
- الشكل (3-15) علاقة قوة التماسك - الانزلاق النسبي بين البيتون وفلاذ التسليح الطولي (الدراسة الحالية). 54
- الشكل (3-16) ميكانيكية انتقال القوى في سطوح التماس (ABAQUS V6.12-1, 2012). 54
- الشكل (3-17) سطح التماس Contact Pair (ABAQUS V6.12-1, 2012). 55
- الشكل (3-18) مخطط جهاد التماسك - الانزلاق بين البيتون والـFRP (الدراسة الحالية). 56
- الشكل (3-19) مخطط قوة التماسك - الانزلاق بين البيتون والـFRP (الدراسة الحالية). 56
- الشكل (3-20) الشروط المحيطة المطبقة على الإطار البيتوني في النموذج العددي (الدراسة الحالية). 57
- الشكل (3-21) تفاصيل الشروط المحيطة المطبقة (الدراسة الحالية). 57
- الشكل (3-22) دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج العددي (الدراسة الحالية). 58
- الشكل (3-23) نموذج الإطار البيتوني بدون جدار البلوك (F_0) (الدراسة الحالية). 59
- الشكل (3-24) نتائج النموذج الرياضي (F_0) (الدراسة الحالية). 60
- الشكل (3-25) مقارنة تشوهات النموذج الرياضي (F_0) مع الدراسة التجريبية عند نهاية التحليل. 61
- الشكل (3-26) مقارنة نتائج الرياضي (F_0) مع الدراسة التجريبية. 61
- الشكل (3-27) نموذج الإطار البيتوني مع جدار البلوك (F_w) (الدراسة الحالية). 62
- الشكل (3-28) نتائج النموذج الرياضي (F_w) (الدراسة الحالية). 63
- الشكل (3-29) التشوهات النسبية الرئيسية للنموذج (F_w). 63
- الشكل (3-30) مقارنة تشوهات النموذج الرياضي (F_w) مع الدراسة التجريبية عند نهاية التحليل. 64
- الشكل (3-31) مقارنة نتائج الرياضي (F_w) مع الدراسة التجريبية. 64
- الشكل (3-32) نموذج الإطار البيتوني مع جدار البلوك المقوى بالـCFRP ($F_{w,FRP}$) (الدراسة الحالية). 65
- الشكل (3-33) نتائج النموذج الرياضي ($F_{w,FRP}$) (الدراسة الحالية). 65
- الشكل (3-34) التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 2.5mm للنموذج ($F_{w,FRP}$). 66
- الشكل (3-35) ملخص النموذج الرياضي ($F_0, F_w, F_{w,FRP}$) (الدراسة الحالية). 67
- الشكل (4-1) نتائج اختبار البلوك المحلي على الضغط f_b للفترة بين الأعوام 2011 - 2013 (الدراسة الحالية). 70
- الشكل (4-2) التوزيع الطبيعي لنتائج اختبار البلوك المحلي على الضغط f_b للفترة بين 2011 - 2013 (الدراسة الحالية). 71
- الشكل (4-3) التوزيع الطبيعي لنتائج اختبار البلوك المحلي على الضغط f_b للفترة بين 2011 - 2013 (الدراسة الحالية). 71
- الشكل (4-4) النموذج الرياضي الخاص بالدراسة البارامترية (الدراسة الحالية). 72
- الشكل (4-5) أثر تغيير مقاومة الجدار - النموذج (P- F_w) (الدراسة الحالية). 73
- الشكل (4-6) أثر تغيير مقاومة الجدار - النموذج (P- $F_{w,FRP}$) (الدراسة الحالية). 73
- الشكل (4-7) أثر تغيير مقاومة الجدار (الدراسة الحالية). 74
- الشكل (4-8) فاعلية تغيير مقاومة الجدار نسبة للنموذج (P- F_0) (الدراسة الحالية). 74
- الشكل (4-9) فاعلية تقوية الجدار نسبة للنموذج (P- F_w) (الدراسة الحالية). 75
- الشكل (4-10) تغيير عرض شرائح الـCFRP (الدراسة الحالية). 76
- الشكل (4-11) نتائج تغيير عرض شرائح الـCFRP (الدراسة الحالية). 77
- الشكل (4-12) التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 2.5mm (الدراسة الحالية). 77
- الشكل (4-13) فاعلية تغيير عرض شرائح الـCFRP (الدراسة الحالية). 78

فهرس الجداول *List of Tables*

9.....	الجدول (1-2) معامل الشكل δ (Shape Factor) (BS EN 772-1, 2000)
10.....	الجدول (2-2) أصناف المونة الإسمنتية (McKenzie , 2001)
10.....	الجدول (3-2) أصناف المونة الإسمنتية (BS EN 998-2, 2003)
14.....	الجدول (4-2) المعامل k (BS EN 1996-1-1, 2005)
15.....	الجدول (5-2) أصناف وحدات البلوك (BS EN 1996-1-1, 2005)
28.....	الجدول (6-2) بعض خواص الـ FRP والماد المكونة لها (Batikha, 2008)
29.....	الجدول (7-2) بعض خواص المواد اللاصقة المستخدمة مع الـ FRP (Batikha, 2008)
33.....	الجدول (8-2) خواص المواد المستخدمة في النموذج (Altin et al., 2008)
34.....	الجدول (9-2) ملخص نتائج الدراسة (Altin et al., 2008)
36.....	الجدول (10-2) ملخص نتائج الدراسة (Yukselet al., 2010)
71.....	الجدول (1-4) مقاومة الجدار على الضغط [MPa] (الدراسة الحالية)

الرموز Symbols

معامل انخفاض القساوة المرنة للبيتون على الضغط	d_c
معامل انخفاض القساوة المرنة للبيتون على الشد	d_t
الإجهاد المقابل للتلدن الأولي للبيتون على الضغط	σ_{co}
الإجهاد الحدي للبيتون على الضغط	σ_{cu}
إجهاد الانهيار على الشد والموافق لتشكل أول شق دقيق في البيتون	σ_{to}
تشوه التحطم للبيتون على الضغط	$\tilde{\epsilon}_c^{in}$
تشوهات لدنة على الضغط في البيتون	$\tilde{\epsilon}_c^{pl}$
تشوه التشققات على الشد	$\tilde{\epsilon}_t^{ck}$
تشوهات لدنة على الشد في البيتون	$\tilde{\epsilon}_t^{pl}$
معامل مرونة البيتون القاطع مقدراً بالـ N/mm^2	E_{cm}
معامل المرونة الأني لمادة جدار البلوك مقدراً بالـ N/mm^2	E_m
معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للبيتون	E_o
معامل مرونة فولاذ التسليح	E_s
طاقة انهيار التماسك بين جدار البلوك وشرائح الـ FRP	G_f
الانزلاق النسبي بين جدار البلوك وشرائح الـ FRP الموافق لإجهاد التماسك الأعظمي مقدراً بالـ mm	S_m
الانزلاق النسبي الأعظمي بين جدار البلوك وشرائح الـ FRP مقدراً بالـ mm	S_u
طاقة انهيار التماسك بين جدار البلوك وشرائح الـ FRP	G_f
مقاومة الضغط الاسمية المكافئة لعينة بأبعاد $100 \times 100 \times 10$ mm مجففة إلى درجة حرارة الغرفة مقدرة بالـ N/mm^2	f_b
المقاومة المميزة لمادة البيتون على الضغط عند عمر 28 يوم مقدرة بالـ N/mm^2	f_{ck}
المقاومة على الضغط بعد 28 يوم بشروط الحفظ النظامية مقدرة بالـ N/mm^2	f_{cm}
إجهاد الشد الأعظمي الذي يتحمله البيتون مقدراً بالـ N/mm^2	f_{ctm}
المقاومة المميزة لمادة الجدار على الضغط مقدرة بالـ N/mm^2	f_k
مقاومة المونة المتصلبة على الضغط بعد 28 يوم بشروط الحفظ النظامية مقدرة بالـ N/mm^2	f_m
المقاومة الأعظمية لمادة الجدار على الشد	f_{tm}
إجهاد السيلان في فولاذ التسليح	f_y

معامل استعادة قساوة البيتون على الضغط.	W_c
معامل استعادة قساوة البيتون على الضغط.	W_c
معامل استعادة قساوة البيتون على الشد.	W_t
قيم التشوهات النسبية للبيتون الموافقة للإجهاد الأعظمي f_{cm} .	ε_{c1}
قيمة التشوه النسبي الأعظمي للبيتون على الضغط.	ε_{cu1}
التشوه النسبي لمادة جدار البلوك الموافقة للمقاومة الأعظمية على الضغط.	ε_{m1}
التشوه النسبي الأعظمي لمادة جدار البلوك.	ε_{mu}
التشوه المرن الموافق للبيتون قبل التحطم على الضغط.	ε_{oc}^{el}
التشوه المرن الموافق للبيتون قبل التشقق على الشد.	ε_{ot}^{el}
التشوه النسبي الأعظمي لمادة الجدار على الشد عند الانهيار.	ε_{tmu}
إجهاد الضغط الشاقولي المطبق على الجدار مقدراً بالـ N/mm^2 .	σ_c
إجهادات الشد في البيتون.	σ_t
إجهاد التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح عند الانهيار مقدراً بالـ N/mm^2 .	τ_f
إجهاد التماسك الأعظمي بين جدار البلوك وشرائح FRP مقدراً بالـ N/mm^2 .	τ_m
إجهاد التماسك الأعظمي بين البيتون وفولاذ التسليح مقدراً بالـ N/mm^2 .	τ_{max}
القص الأولي لمادة جدار البلوك عند إجهاد ضغط مساوية للصفر مقدراً بالـ N/mm^2 .	τ_o
معامل القص لمادة جدار البلوك مقدراً بالـ N/mm^2 .	G
معامل يتعلق بتصنيف وحدات البلوك من حيث حجم الفراغات الداخلية وطريقة توزيعها.	k
معامل الاحتكاك بين سطحي المونة ووحدات البلوك.	μ

المختصرات Abbreviations

البوليميرات المسلحة بالألياف (Fiber Reinforced Polymer).	FRP
جدران البلوك الإسمنتي غير المسلحة (Unreinforced Concrete Masonry Walls)	UCRM
البيتون المسلح (Reinforced Concrete)	RC
البوليميرات المسلحة بألياف الأرميد (Armid Fiber Reinforced Polymer).	AFRP
البوليميرات المسلحة بالألياف (Glass Fiber Reinforced Polymer).	GFRP
البوليميرات المسلحة بالألياف (Carbon Fiber Reinforced Polymer).	CFRP
طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method)	FEM
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح بدون وجود جدار (Bare Frame)	F ₀
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار (Infilled Frame)	F _w
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار مقوى بالـCFRP (Strengthened Infilled Frame)	F _{w,FRP}
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح بدون وجود جدار (Bare Frame) - الدراسة الباراميتريية	P-F ₀
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار (Infilled Frame) - الدراسة الباراميتريية	P-F _w
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار مقوى بالـCFRP (Strengthened Infilled Frame) - الدراسة الباراميتريية	P-F _{w,FRP}
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار مقوى بالـCFRP (Strengthened Infilled Frame) بعرض 50mm - الدراسة الباراميتريية	P-F _{FRP50}
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار مقوى بالـCFRP (Strengthened Infilled Frame) بعرض 100mm - الدراسة الباراميتريية	P-F _{FRP100}
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار مقوى بالـCFRP (Strengthened Infilled Frame) بعرض 150mm - الدراسة الباراميتريية	P-F _{FRP150}
النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار مقوى بالـCFRP (Strengthened Infilled Frame) بعرض 200mm - الدراسة الباراميتريية	P-F _{FRP200}
نموذج اللدونة-التلف للبيتون (Concrete Damaged Plasticity Model)	CDP
درجات الحرية (Degree of Freedoms)	DOF

الفصل الأول

Chapter 01

مقدمة

Introduction

1.1 نظرة عامة Overview

تؤثر الهزات الأرضية (Earthquakes) الكبيرة التي تحدث في المناطق النشطة زلزالياً في مناطق متفرقة من العالم على المنشآت المدنية المختلفة وتؤدي في بعض الأحيان إلى تدميرها بشكل كامل. يعود السبب الرئيسي في ذلك في لعدم امتلاك المنشآت القائمة للقساوة الجانبية (Lateral Stiffness) المطلوبة لمقاومة الأحمال التي تسببها القوى الزلزالية، يبين الشكل (1-1) بعض آثار الدمار والانهيارات التي تسببت بها بعض الزلازل حول العالم.

تم في السنوات الأخيرة وضع الكثير من المواصفات والمتطلبات التصميمية الملزمة لتصميم المنشآت الهندسية لمقاومة الأحمال الزلزالية. تفترض المواصفات العالمية (BS EN 1998-1, 2004) وجود جمل إنشائية مقاومة للزلازل



b. صور من زلزال في الصين



a. صور من زلزال في تركيا



d. صور من زلزال في اليابان

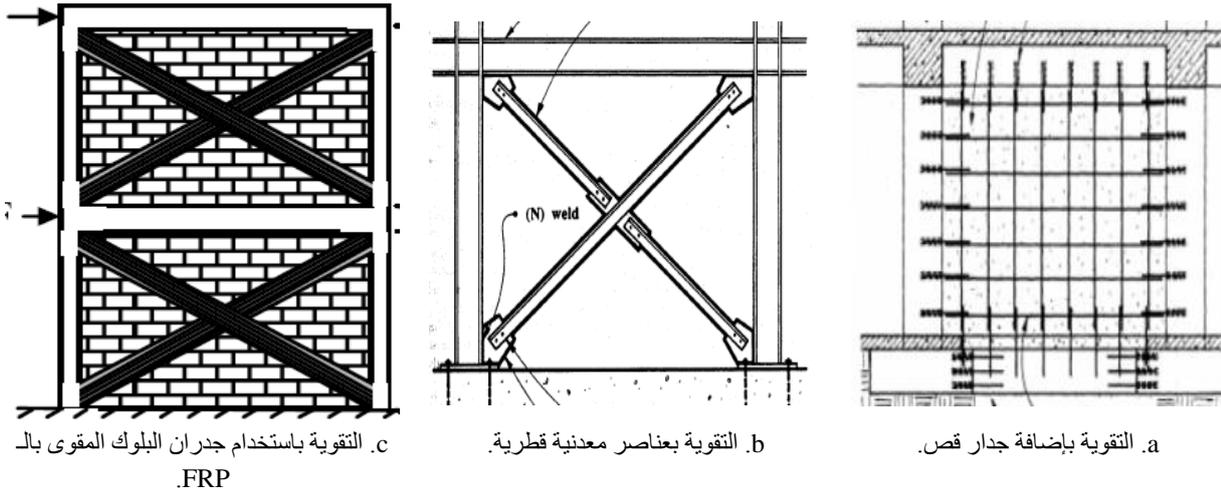


c. صور من زلزال في الجزائر

الشكل(1-1) انهيار المباني بسبب الزلازل

كالجمل الإطارية أو جمل جدران القص أو الجمل المختلطة من الإطارية والجدارية، حيث تتضمن المواصفات كافة التفاصيل الواجب تأمينها لتأمين مقاومة المباني للأحمال الزلزالية.

تعتبر مقاومة (Resistance) ومطاوعة (Ductility) الكثير من الأبنية التي تم إنشاؤها قبل صدور التوصيات الزلزالية الحديثة غير كافية لتحمل الأحمال الزلزالية ولذلك لا بد من رفع كفاءتها لتكون آمنة في حال تعرضها للهزات الأرضية (Altin et al., 2008). قامت العديد من الأبحاث بدراسة فاعلية واقتصادية الطرق المختلفة لرفع كفاءة المباني كما في الشكل (2-1)، والذي يبين أكثر الطرق شيوعاً كزيادة أبعاد العناصر البيتونية المختلفة أو إضافة جدران القص ضمن فتحات الإطارات البيتونية أو تقوية الإطارات بربطها قطرياً بعناصر معدنية (Erdem et al., 2006).



الشكل (2-1) بعض طرق تقوية الجمل الإطارية.

أثبتت العديد من الأبحاث والدراسات الحديثة أثر جدران البلوك في تغيير سلوك الإطارات البيتونية، حيث تساهم هذه الجدران إيجابياً في زيادة مقاومة وقساوة الجمل الإطارية، بينما في الوقت نفسه تحول نمط انهيار الإطار البيتوني إلى النمط الهش نتيجة للانهايار الحاصل في جدار البلوك وانهايار السطح الفاصل بين كل من الإطار البيتوني وجدار البلوك (Sattar, 2013).

ساعد تطور المواد اللاصقة الإنشائية (Resin) في الآونة الأخيرة بإدخال استخدام مادة البوليميرات المسلحة بالألياف (Fiber Reinforced Polymer, FRP) في عمليات تقوية العناصر الإنشائية، حيث تتميز شرائح الـ FRP بخفة الوزن وبسهولة القطع لتشكيلها بالأبعاد الهندسية المطلوبة، كما تتميز بسهولة تثبيتها على العناصر البيتونية المختلفة (Obaidat, 2011). تتمتع شرائح الـ FRP إضافة لذلك بالكثير من الميزات حيث تجمع بين المقاومة (Strength) العالية والديمومة (Durability)، إلا أن لها في الوقت نفسه بعض الخصائص السلبية، مثل مقاومتها الضعيفة للحريق والرطوبة (Batikha, 2008).

يعتبر انهيار التماسك (Debonding) من المشاكل الرئيسية التي تعاني منها العناصر المقواة بشرائح الـ FRP، حيث يؤدي فقدان التماسك إلى إنهاء العمل المشترك بين الشرائح وسطح العنصر الإنشائي، ويحصل انهيار التماسك بعدة أشكال تتلخص بانهايار إحدى المادتين أو انهيار سطوح الاتصال بين المواد المختلفة، وهذا ما يؤكد ضرورة إيلاء عمليات التنفيذ العناية اللازمة لضمان سلوك أفضل للعناصر المقواة (Obaidat, 2011).

توصلت العديد من الأبحاث (Erdem et al., 2006; Altin et al., 2008) إلى أن استخدام شرائح الـ FRP في تقوية جدران البلوك يؤدي إلى رفع كفاءة الإطارات البيتونية المسلحة لمقاومة الأحمال الأفقية في مستوياتها إضافة إلى اقتصاديتها وسهولة تنفيذها مقارنة مع الطرق التقليدية الأخرى، وتتابع هذه الدراسة العددية البحث في فاعلية استخدام هذه الطريقة في التقوية.

2.1 مشكلة البحث وأهميته

Problem and Importance of this Research

تعتبر الجمل الإطارية من البيتون المسلح في المباني أحد أهم الجمل الإنشائية لمقاومة الأحمال الإنشائية ويمكن استخدامها بمفردها لارتفاعات محددة، وتأتي أهميتها في أنها تؤمن المطاوعة (Ductility) للمبنى فيما لو تم الاعتناء بتفاصيل التسليح. يتغير سلوك الجمل الإطارية بوجود القواطع المعمارية من البلوك غير المسلح ضمن مجازها بحيث بينت الأبحاث بأن المقاومة تزداد ويصبح الانهيار من النوع الهش (Brittle)، ومن هنا كان التوجه حديثاً لأخذ تأثير هذه الجدران على السلوك الإنشائي بعين الاعتبار عند تصميم المباني المختلفة، لا بل استخدامها كعناصر إنشائية. ولرفع كفاءة هذه الجدران ومساهمتها في مقاومة الأحمال الجانبية كان لابد من تقوية هذه الجدران بطرق مختلفة سواء التقليدية أو الحديثة منها، حيث تمت في الآونة الأخيرة تقوية القواطع من البلوك غير المسلح بمادة الـ FRP كونها تحوي ميزات تختلف عن الطرق التقليدية كالمقاومة المرتفعة نسبة للوزن وسرعة وسهولة التنفيذ دون الحاجة لإخلاء المبنى من شاغليه على سبيل المثال. كما تبين أنها تقلل من انهيار الجدران خارج مستويها (Out-of-Plane failure) بالإضافة إلى رفع درجة مطاوعة الجمل ككل.

من هنا فإن أهمية هذا البحث تأتي في تقصي سلوك الجمل الإطارية مع جدران بلوك ضمن مجازها بعد تقوية هذه الجدران بالـ FRP.

3.1 الهدف من البحث:

Objective of this research

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التغيير في الخصائص الميكانيكية لجدران البلوك الإسمنتي المألثة للإطارات والمقواة باستخدام مادة الـ CFRP على تغيير سلوك هذه الإطارات عند تعرضها للأحمال الجانبية في مستويها.

4.1 طرائق البحث:

Methods of Research

تم في هذا البحث إجراء دراسة عددية، باستخدام طريقة العناصر المحدودة (Finite Element Method, FEM) بواسطة البرنامج الإنشائي (ABAQUS, V6.12-1)، لسلوك الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران البلوك المقواة بشرائح الـ CFRP تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستويها، حيث تم إجراء تحليل عددي لا خطي يأخذ تأثير لا خطية المادة (Material Non-Linearity) بعين الاعتبار وذلك بتطبيق انتقالات دورية في مستوي جائر الإطار البيتوني المسلح (In-Plane Cyclic Displacements).

5.1 محتويات الأطروحة:

Research Outline

تم تقسيم هذه الأطروحة إلى خمسة فصول كما يلي:

الفصل الأول: نظرة عامة ومقدمة عن البحث بالإضافة إلى مشكلة البحث والهدف منه وطرائق البحث المتبعة فيه ومحتويات هذه الأطروحة.

الفصل الثاني: تم فيه تسليط الضوء على الأبحاث التي بينت دور الجدران في رفع كفاءة الجمل الإطارية لمقاومة الأحمال الجانبية في مستويها بالإضافة إلى فعالية استخدام شرائح الـ FRP لرفع كفاءة الجمل الإطارية المملوءة بجدران، ومن ثم تم التركيز على الخواص المختلفة للمواد المشكلة للجمل حيث تم البدء بالحديث عن المواد المشكلة للجدران من

وحدات ومونة وخصائص كل منهما وكيفية حساب الخصائص الميكانيكية للجدران، بالإضافة إلى الإضاءة على طرق انهيار هذه الجدران تحت تأثير الأحمال المختلفة. ثم تم الانتقال للحديث عن خصائص المواد المكونة للإطارات البيتونية المسلحة من بيتون وفولاذ تسليح والعمل المشترك للمادتين لتكوين مادة البيتون المسلح. بعدها تم التطرق لأشكال انهيار الجمل الإطارية المملوءة بجدران تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها. ومن ثم تم عرض خصائص مادة الـ CFRP وطريقة عملها والتماسك بينها وبين السطح الحامل من بيتون أو جدار. في النهاية تم عرض بعض الدراسات السابقة التي تتناول هدف البحث.

الفصل الثالث: يتضمن التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة، حيث تم في البداية الحديث عن البرنامج الإنشائي المستخدم ومن ثم تم التطرق إلى النماذج البنيوية لكل من المواد المشكلة للجملة كالبيتون وفولاذ التسليح وجدران البلوك إضافة إلى شرائح الـ CFRP. بعدها تم استعراض العناصر المحدودة المستخدمة في بناء النموذج والطرق التي تم اختيارها لربط العناصر الممثلة للمواد المختلفة ومن ثم تم اختيار التحليل المناسب والشروط المحيطة. فيما بعد تم شرح عملية بناء النموذج بمراحله المختلفة. تم في نهاية الفصل التحقق من صحة النموذج العددي بمقارنة نتائجه مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة.

الفصل الرابع: تم التعرض فيه للدراسة الإحصائية التي تمت على نتائج اختبار عينات من البلوك المحلي، ليتم بعدها عرض الدراسة البارامترية والتي قسمت إلى مرحلتين: **المرحلة الأولى** تناولت تأثير تغيير الخواص الميكانيكية لجدران البلوك على سلوك الجملة الإطارية المملوءة بجدران البلوك والمقواة بالـ CFRP. بينما تطرقت **المرحلة الثانية** إلى تأثير تغيير عرض الشرائح على فعالية الجملة.

الفصل الخامس: يتضمن استعراض النتائج التي خرج بها هذا البحث، بالإضافة إلى التوصيات التي يمكن أخذها بعين الاعتبار في الدراسات المستقبلية.

الفصل الثاني

Chapter 02

المراجعة البحثية Literature Review

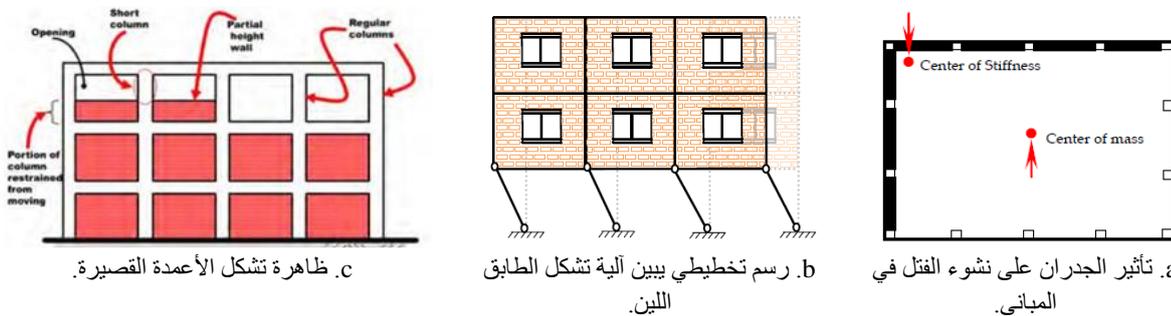
1.2 مقدمة

Introduction

تقسم الجمل الإنشائية المستخدمة لتصميم المنشآت لمقاومة الأحمال الأفقية إلى جمل تعتمد جدران القص (Shear wall system)، فيما تعتمد جمل أخرى البنية الإطارية (Frame system)، كما ويتم اللجوء إلى دمج الجملتين لإنتاج جمل ثنائية (Dual system) جدارية وإطارية معاً. ولكل من هذه الجمل ما يميزها عن الأخرى إيجاباً أو سلباً (ملحق الكود العربي السوري الثاني، 2005).

تعتبر الجمل الإطارية المستخدمة في تصميم المنشآت المختلفة ذات أهمية كبيرة كونها تجمع بين مقاومة الأحمال الشاقولية والمطواعة العالية لمقاومة الأحمال الأفقية المطبقة على المنشأ ما يعطيها قدرة أكبر على تبديد الطاقة خلال تعرض المنشأ للأحمال الأفقية.

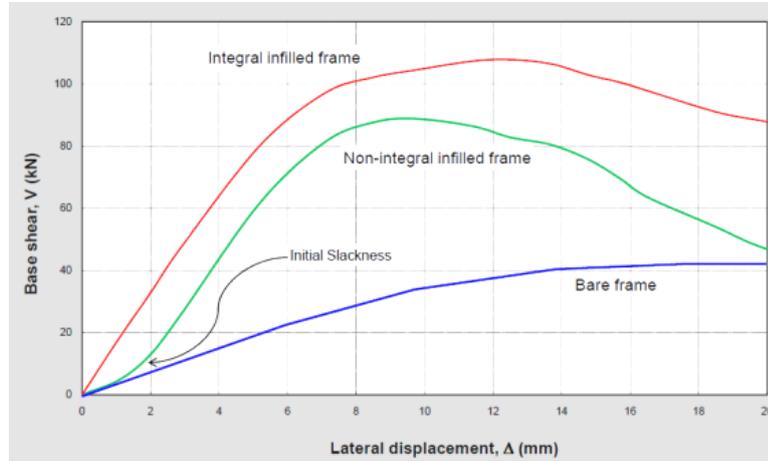
عادة ما يتم ملء الجمل الإطارية في المنشآت بجدران مصنعة من مواد مختلفة تستخدم كقواطع معمارية لتأمين العمل الوظيفي للمنشأ ولا يتم التطرق إليها إنشائياً. أثبتت المشاهدات المختلفة لتصرف المنشآت تحت تأثير الأحمال الأفقية أن وجود هذه الجدران يؤثر في تغيير أنماط انهيارها، وغالباً لا يتم التطرق لهذا التأثير في مرحلة التصميم، حيث أن وجود هذه الجدران يؤدي إلى العديد من الظواهر الإيجابية منها والسلبية، فمن الظواهر السلبية مثلاً ظاهرة الطابق اللين والعمود القصير وظهور عزوم قتل في المنشآت تختلف عن التصميمية، ويبين الشكل (1-2) أشكالاً مختلفة للظواهر السلبية السابق ذكرها (Tabeshpour, 2012).



الشكل (1-2) بعض الظواهر الناتجة عن ملء الجمل الإطارية بالجدران (Tabeshpour, 2012).

ومن جهة أخرى تؤثر هذه الجدران إيجابياً بزيادة قساوة (Stiffness) ومقاومة (Resistance) الجمل الإطارية (Infilled Frame) للأحمال الجانبية في مستوياتها، حيث يمكن من خلال الشكل (2-2) استنتاج تأثير هذه الجدران في رفع قيم القص القاعدي للإطارات البيتونية لقيم تصل إلى أكثر من 100% مما هي عليه عندما تكون غير مملوءة (Bare Frame) (Crisafull, 2010). إن فعالية الجمل الإطارية المملوءة وخصائصها تختلف باختلاف طبيعة وخواص المادة

المالئة المستخدمة وطريقة ربطها مع الإطارات، حيث يؤثر اختلاف القوة النسبية بين الإطارات والمادة المالئة في تغيير نسبة زيادة فعالية الجمل وأنماط الانهيار المتوقعة، بينما تتأثر مطاوعة الجمل الجديدة بخواص المادة المالئة ومطاوعة عقد الإطارات البيتونية وتسليح الجدران المالئة في حال وجودها ضمن الإطارات (Murty and Jain, 2000).

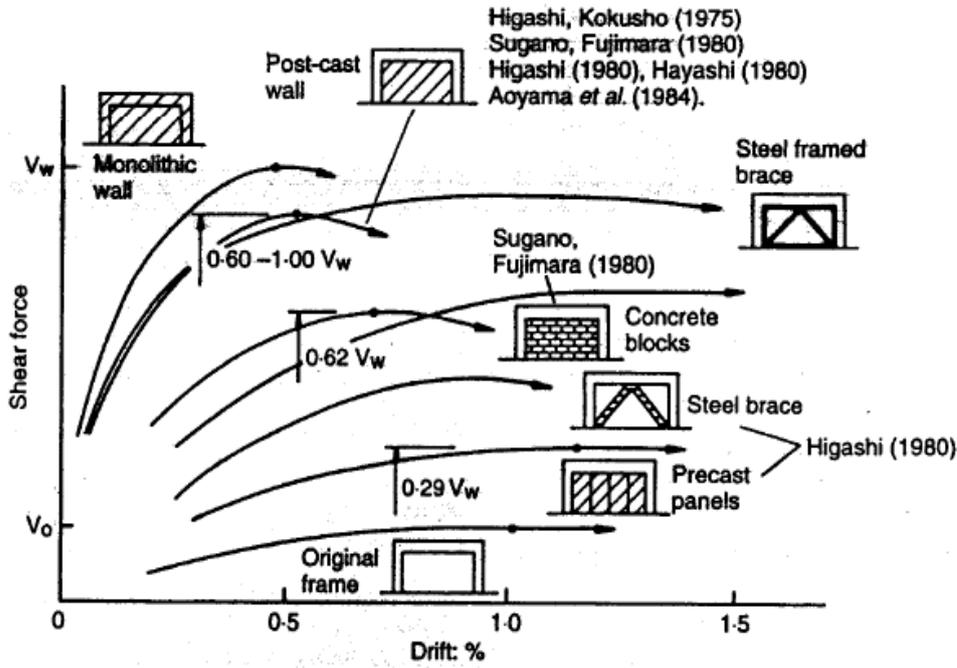


الشكل (2-2) تأثير وجود الجدران على زيادة مقاومة الإطارات لتحمل الأحمال الأفقية (Crisafull, 2010).

ومن هنا جاءت الدراسات الحديثة لتؤكد على ضرورة أخذ تأثير الجدران المالئة على سلوك الجمل الإنشائية المعرضة للأحمال الأفقية لمنع الانهيارات غير المرغوب بها والتأثيرات السلبية لها على سلوك الجمل الإطارية المملوءة (Tabeshpour, 2012)، إلا أن توصيات أخرى (Binici, 2007) مضت إلى ضرورة أخذ مساهمة هذه الجدران بعين الاعتبار كونها موجودة حكماً ولها مساهمة ملموسة وفعالة وذلك عن طريق اعتبار هذه الجدران عناصر إنشائية وإدخال الأثر المتبادل بينها وبين الإطارات في رفع كفاءة الجملة المختلطة الجديدة لمقاومة الأحمال الجانبية. وقد استخدم ذلك في مناطق مختلفة عبر العالم لتأهيل وإعادة تأهيل المباني القائمة زلزالياً، ويبين الشكل (2-3) فعالية هذه الطريقة مقارنة مع الطرق الأخرى المتبعة لتدعيم الجمل الإطارية، حيث أن مقاومة جملة الإطار البيتوني المملوء بجدار من البلوك الإسمنتي (Concrete Blocks) أكبر بقيم تصل إلى أكثر من 100% مقارنة مع الإطارات غير المملوءة من جهة، ومقاومة أكبر من بعض الطرق الأخرى المعروفة في التدعيم كنظام التبريط (Steel Brace).

ولأهمية كون انهيار مادة الجدار سيؤدي إلى انهيار الجملة ككل ولضمان استمرار عمل هذه الجدران إلى مراحل متقدمة من عمل الجملة الجديدة لمقاومة الأحمال الأفقية، فقد انطلقت دراسات أخرى تعنى بدراسة الطرق المتاحة لتقوية الجدران المالئة ورفع كفاءتها، وكان من أهم هذه الطرق الحديثة استخدام مادة الـ FRP بأشكالها المختلفة كونها تجمع الفعالية وسهولة وسرعة التنفيذ.

يمكن أن نخلص إلى أهمية أخذ تأثير الجدران المالئة بعين الاعتبار لرفع مقاومة الجمل الإطارية لمقاومة الأحمال الجانبية بما فيها الأحمال الزلزالية، وخاصة لإعادة تقييم وتأهيل المنشآت القائمة والمصممة قبل صدور تعليمات التصميم الزلزالي القائمة حالياً، كما أن رفع كفاءة الجدران المالئة بالطرق الحديثة مثل استخدام شرائح الـ FRP تعطي قيمة مضافة لهذه الجدران وتساهم في الوصول إلى النتيجة المرجوة مع تحقيق اقتصادية عالية، كون أغلب المنشآت الموجودة حالياً مطابقة للحالة المذكورة. ركزت هذه الدراسة على فعالية الجدران المالئة المدعمة بالـ FRP في تحسين ورفع كفاءة الجمل الإطارية وتم الاقتصار في هذا البحث على دراسة الجدران المصنوعة من وحدات بلوك إسمنتية غير مسلحة كونها الأكثر انتشاراً وشيوعاً في البيئة المحلية.



الشكل (3-2) مقارنة بين فعالية طرق التدعيم المختلفة للإطارات (Rai, 2000)

2.2 جدران وحدات البلوك الإسمنتية غير المسلحة *Unreinforced Concrete Masonry Walls (URCM)*

1.2.2 مقدمة *Introduction*

يعتمد إنشاء الجدران بشكل عام على استخدام وحدات البلوك الإنشائية (Units) المصنعة من مواد مختلفة كالمواد الإسمنتية الشائعة الاستخدام في البيئة المحلية وربطها باستخدام المونة الإسمنتية (Mortar)، وبالتالي تعتمد خصائص الجدران بشكل أساسي على خصائص كل من الوحدات المستخدمة والمونة وطريقة ربطها والتصرف المتبادل فيما بينها. يمكن أن تكون هذه الجدران غير مسلحة أو مسلحة وفي بعض الحالات يتم استخدام سبق الإجهاد (Hendry et al., 2004).

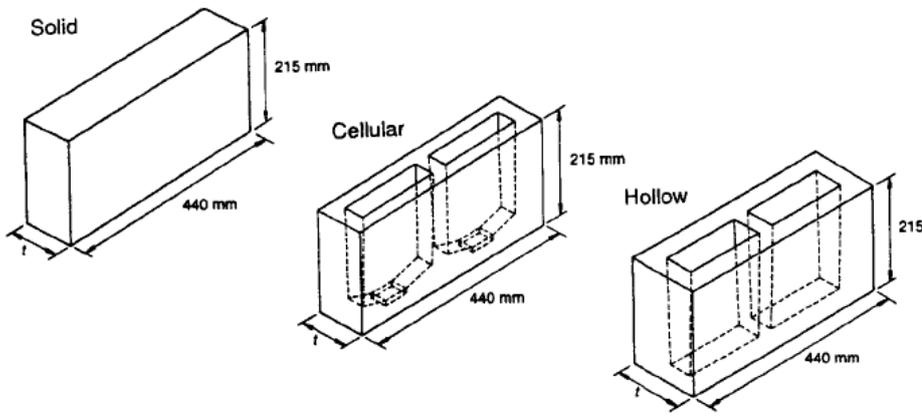
تنطرق الفقرات التالية إلى خصائص الجدران غير المسلحة المصنعة من وحدات البلوك الإسمنتية والمرتبطة فيما بينها باستخدام المونة الإسمنتية، إضافة لسلوك هذه الجدران وأشكال انهيارها.

2.2.2 وحدات البلوك الإسمنتية *Concrete Masonry Blocks*

يتم اختيار وحدات البلوك الإسمنتية اعتماداً على معايير مختلفة تتعلق بخاصية المنشأ أو مكان الاستخدام مثل القوة والديمومة ومقاومة الحريق والعازلية الحرارية أو الصوتية إضافة للمعايير الجمالية. وتختلف أبعاد وحدات البلوك حيث تصنع بأبعاد مختلفة تلبي احتياجات البناء المختلفة بحيث تقلل من عمليات قص وحدات البلوك أثناء البناء ما أمكن، وتشكل بأشكال تلبي معايير البناء فنجد وحدات البلوك المصمتة (Solid) ووحدات البلوك المثقبة شاقولياً (Perforated) ووحدات البلوك المفرغة جزئياً (Hollow) ووحدات البلوك الخليوية (Cellular). يبين الشكل (4-2) بعض أشكال وحدات البلوك الإسمنتية.

من الناحية الإنشائية تعتبر مقاومة وحدات البلوك على الضغط (Compressive Strength) من أهم الخصائص التي تؤثر في تصرف وحدات البلوك والجدران المشكلة منها فيما بعد، حيث تعتمد مقاومة الضغط لوحدات البلوك على المواد المستخدمة في تشكيلها ونسب هذه المواد إضافة إلى شكل وحدات البلوك وأبعادها وحجم الفراغات وتوزعها ونسبة حجم الفراغات إلى الحجم الكلي لوحدة البلوك.

تفضل بعض المراجع (BS EN 771-3, 2003) اعتماد مقاومة الضغط المحسوبة باستخدام السطح الصافي لمقطع وحدة البلوك بعد طرح مساحة كل الفراغات الموجودة في مقطع الوحدة البلوك كما سيرد لاحقاً. وتختلف المقاومة على الضغط لوحدات بلوك البناء الإسمنتية مقاسة على السطح الصافي لوحدة البلوك وقد تصل إلى 40N/mm^2 ، كما وتتأثر خصائص وحدات البلوك المختلفة كثيراً بطريقة التصنيع المعتمدة وشروط حفظها ومستوى الجودة المتبعة أثناء عملية الإنتاج (Hendry et al., 2004).



الشكل (2-4) بعض أشكال الوحدات البلوك الإسمنتية (Hendry et al., 2004).

تم الاعتماد خلال هذه الدراسة على الطريقة المتبعة في المواصفة الأوربية (BS EN 771-3, 2003) والتي تعرف مقاومة وحدات البلوك على الضغط بالمقاومة المتوسطة f_m (Mean compressive strength) مقاسة بالـ N/mm^2 أو بالمقاومة المميزة f_c (Characteristic compressive strength) عند مستوى ثقة (Confidence level) بنسبة 95% مقاسة بالـ N/mm^2 .

يتم حساب مقاومة وحدات البلوك على الضغط من خلال فحص العينات وفق المواصفة الأوربية (BS EN 772-1, 2000)، حيث يتم حسابها بتقسيم الحمل الأقصى الذي تتحمله وحدة البلوك المختبرة على مساحة التحميل (Loaded Area). تحدد مساحة التحميل بالمساحة الصافية للسطح المعرض للضغط (Net Loaded Surface) عندما تتجاوز مساحة الفراغات في سطح التحميل 35% من السطح الكامل لوحدة البلوك (Gross Area)، وإلا فإنه يتم اعتماد السطح الكامل لوحدة البلوك المختبرة.

لا اعتماد قيمة مرجعية واحدة للعينات المختلفة بالأبعاد والأشكال يتم تحويل مقاومة الضغط لوحدات البلوك إلى مقاومة الضغط الاسمية f_b (Normalized compressive strength) المكافئة لعينة بأبعاد $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ مجففة إلى درجة حرارة الغرفة وذلك بضرب المقاومة الناتجة من الاختبار بمعامل الشكل δ المتعلق بأبعاد وحدات البلوك والموضح في الجدول (1-2)، حيث يمكن باستخدام عرض العينة المختبرة وارتفاعها بين سطوح التحميل تحديد معامل الشكل. وقد تم اعتماد هذه القيمة المرجعية في حساب مقاومة الجدار في الدراسة الحالية.

الجدول (1-2) معامل الشكل δ (BS EN 772-1, 2000) (Shape Factor).

Width mm	50	100	150	200	≥ 250
Height ^{d)} mm					
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

NOTE: Linear interpolation between adjacent values of shape factor is permitted.
^{d)} Height after surface preparation.

3.2.2 المونة الإسمنتية Cement Mortar

تعتبر المونة الوسط الرابط الذي يجمع وحدات البلوك مع بعضها لتصنع سويماً مادة الجدار وتقوم بتوزيع الأحمال بشكل منتظم بين وحدات البلوك. إضافة لعملية الربط، فإن المونة تقوم بملء الفراغات بين وحدات البلوك وبالتالي تحسن من مقاومة الجدران لانتقال الرطوبة والصوت والحرارة (McKenzie, 2001).

للمونة أنواع متعددة تختلف باختلاف المواد الأساسية المشكلة لها وتعتبر المونة الإسمنتية من الأنماط الشائعة الاستخدام في البيئة المحلية في سوريا، حيث يدخل في تركيبها كل من الرمل والإسمنت والماء بنسب مختلفة. وعادة ما يتم اللجوء لإضافة الكلس إلى المزيج (Hendry et al., 2004) لتحسين خصائص المونة الإسمنتية كاللزوجة وقابلية الفرد وقابلية التشغيل وقدرة المونة على الاحتفاظ بالماء للمونة الطازجة ومقاومة التجمد وخاصية الالتصاق ومقاومة مياه الأمطار والديمومة للمونة المتصلبة. بناءً على الخصائص السابقة يتم اختيار المونة المناسبة حيث يبين الجدول (2-2) المجتزأ من المواصفة البريطانية BS 5628:Part 1: 1992 تصنيف المونة إلى أربعة أصناف تتغير من (i) إلى (iv) والمرتبة تنازلياً من المقاومة المتوسطة الأعلى 11N/mm^2 للصف (i) إلى المقاومة المتوسطة الأدنى 1.0N/mm^2 للصف (iv) مقاسة بعد 28 يوم بشروط الحفظ النظامية (McKenzie, 2001).

تصنف المونة الإسمنتية وفق المواصفات الأوربية (BS EN 1996-1-1, 2005; BS EN 998-2, 2003) بطريقتين إما اعتماداً على نسب المواد الداخلة في عملية تحضير المونة والتي ترمز بـ الإسمنت:الكلس:الرمل (Cement:Lime:Sand) أو اعتماداً على مقاومة المونة المتصلبة على الضغط f_m بعد 28 يوم بشروط الحفظ النظامية مقدرة بالـ N/mm^2 وترمز بالحرف M متوابعاً بقيمة المقاومة (أي أن M5 ترمز إلى مونة ذات مقاومة على الضغط مقدارها 5N/mm^2) كما هو مبين بالجدول (3-2).

الجدول (2-2) أصناف المونة الإسمنتية (McKenzie , 2001)

	Mortar designation	Type of mortar (proportion by volume)			Mean compressive strength at 28 days	
		Cement : lime : sand	Masonry cement : sand	Cement : sand with plasticizer	Preliminary (laboratory) tests	Site tests
Increasing strength ↑ Increasing ability to accommodate movement, e.g. due to settlement, temperature and moisture changes ↓	(i)	1 : 0 to ¼ : 3	–	–	N/mm ² 16.0	N/mm ² 11.0
	(ii)	1 : ½ : 4 to 4¼	1 : 2 ½ to 3 ½	1 : 3 to 4	6.5	4.5
	(iii)	1 : 1 : 5 to 6	1 : 4 to 5	1 : 5 to 6	3.6	2.5
	(iv)	1 : 2 : 8 to 9	1 : 5 ½ : 6 ½	1 : 7 to 8	1.5	1.0
<i>Direction of change in properties is shown by the arrows</i>		Increasing resistance to frost attack during construction 				
		Improvement in bond and consequent resistance to rain penetration 				

الجدول (3-2) أصناف المونة الإسمنتية (BS EN 998-2, 2003)

Class	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Compressive strength N/mm ²	1	2,5	5	10	15	20	d
d is a compressive strength greater than 25 N/mm ² declared by the manufacturer.							

4.2.2 الخواص الميكانيكية لجدران وحدات البلوك الإسمنتية Mechanical Properties of URCM

تعتبر الجدران من المواد المختلطة (Composite material)، حيث تتشكل الجدران بشكل عام من وحدات البلوك (Units) المصنوعة من مواد مختلفة والمربوطة إلى بعضها باستخدام أنواع متعددة من المونة (Mortar). وبالتالي تعتبر الجدران من الأوساط غير المتجانسة (non-homogeneous) والتي تتمتع بخواص مختلفة في كل اتجاه من اتجاهات المادة (Orthotropic)، ما يجعل من المعقد تقدير قيم الخواص الميكانيكية المختلفة لمادة جدار البلوك ككل (Hendry et al., 2004)، حيث تختلف هذه الخواص باختلاف خواص وحدات البلوك والمونة الرابطة حيث أن جدراناً مصنوعة من نفس وحدات البلوك والمونة ولكن بتوجيه ومقاسات مختلفة لوحدات البلوكتملك خواصاً مختلفة، وهو ما يجعل الخواص المختلفة للجدران ترتبط بالكثير من العوامل التي تؤثر عليها ومن هذه العوامل:

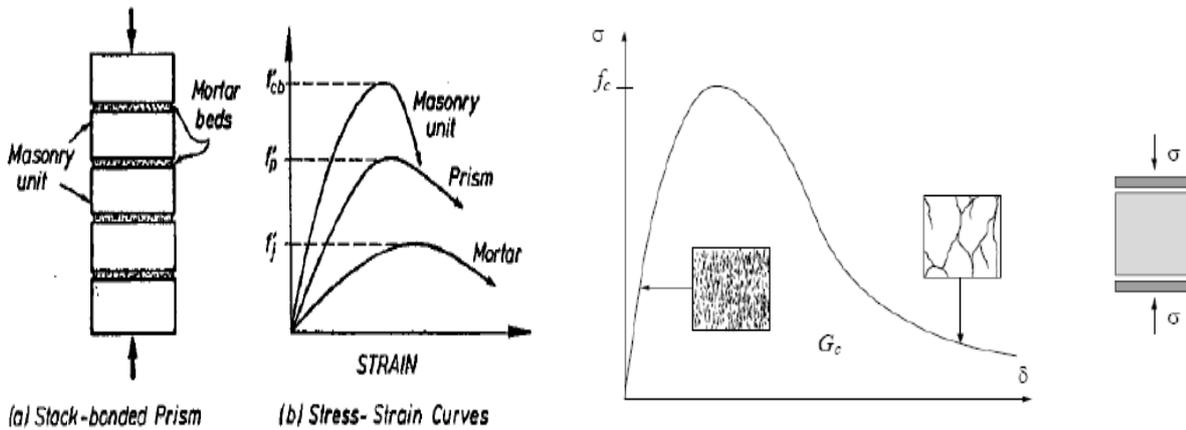
- خواص وحدات البلوك المستخدمة وخواص المونة الرابطة والاختلاف النسبي بين خواص هاتين المادتين.
- أبعاد وحدات البلوك وأشكالها وبنيتها المصممة أو المفرغة وطريقة توضعها في الجدار وطريقة الربط والبناء المستخدمة.
- سماكة المونة المستخدمة.

إن من أهم خواص الجدران والتي ترتبط بشكل وثيق بالتصميم الإنشائي لهذه الجدران هي الخواص المرتبطة بالمتانة والمرونة مثل مقاومة الجدار على الضغط والقص والانعطاف بالإضافة إلى معامل مرونة مادة الجدار والتمدد الحراري وغيرها من الخواص (McKenzie, 2001). وينطبق نفس الكلام على الجدران المكونة من وحدات بلوك إسمنتية مربوطة بمونة إسمنتية والتي هي جوهر الدراسة الحالية.

1.4.2.2 مقاومة الجدار على الضغط (Masonry Compressive Strength):

عادة ما تكون مقاومة الجدار على الضغط هي القيمة المسيطرة في التصميم كون الجدران بشكل عام تعمل على الضغط وخاصة في الجدران الحاملة (Load-bearing walls)، وكون مقاومة الجدران على الضغط أكبر بكثير مقارنة مع مقاومتها على الشد.

يبين الشكل (a-5-2) الشكل العام لعلاقة الإجهاد-التشوه لمادة الجدران تحت تأثير الضغط المحوري الأحادي الاتجاه (Uni-axial compression)، حيث يظهر جلياً العلاقة اللاخطية بين الإجهاد والتشوه في المراحل المختلفة وصولاً إلى الانهيار، بينما تمثل المساحة المحصورة تحت منحنى الإجهاد-التشوه طاقة الانهيار (Fracture Energy) أو الطاقة الممكن امتصاصها من قبل المادة حتى الوصول إلى الانهيار التام (Özen, 2006).



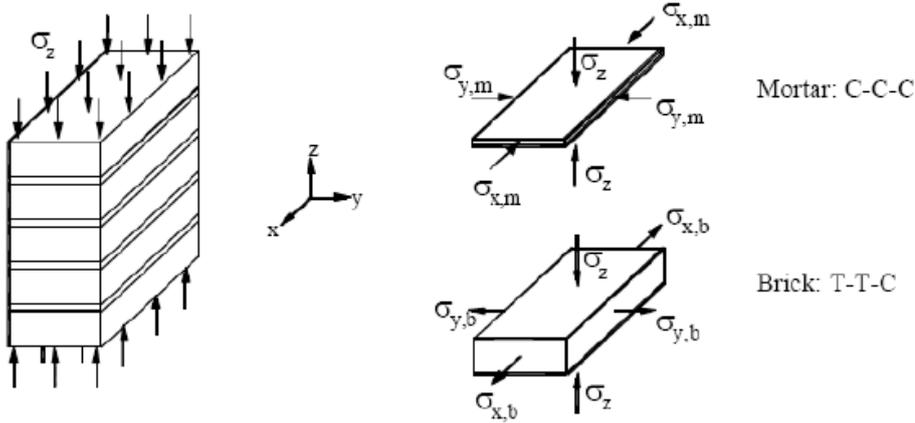
b. مخطط الإجهاد-التشوه للمواد المشكلة لمادة الجدار.

a. مخطط الإجهاد-التشوه لمادة الجدار

الشكل (5-2) مخطط الإجهاد-التشوه لمادة الجدران تحت تأثير الضغط المحوري الأحادي الاتجاه (Özen, 2006).

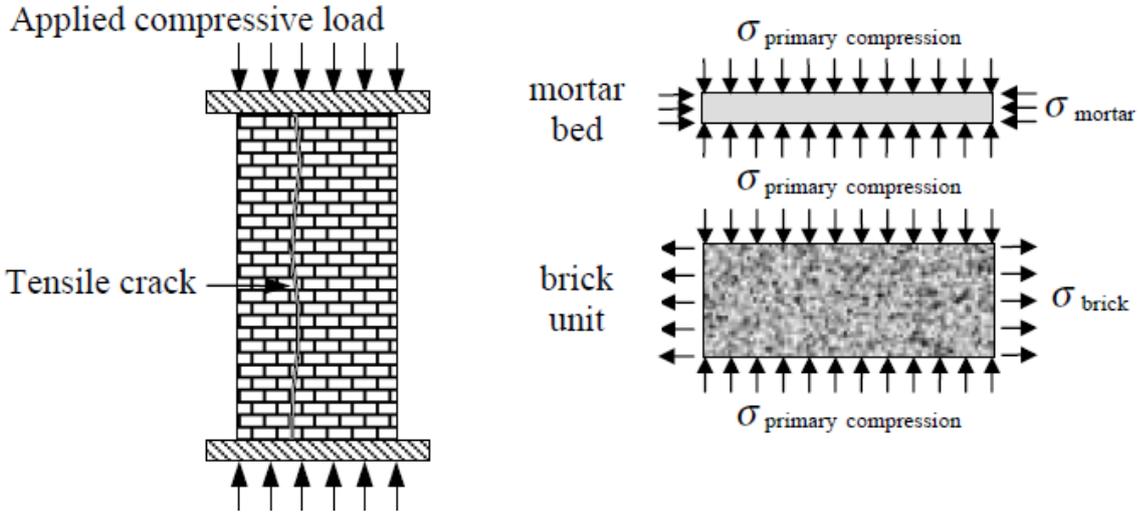
عادة ما تبدي المونة تصرفاً أضعف وأكثر حساسية إذا ما قورن بتصرف وحدات البلوك (الشكل b-5-2) وهذا ما يؤدي إلى الاختلاف في التشوهات والإجهادات الحاصلة في كل من المادتين، حيث أنه تحت تأثير الضغط الأحادي تحاول المونة أن تنتشوه جانبياً بشكل أكبر من تشوه وحدات البلوك، ولكن الاحتكاك والتماسك على سطح الاتصال مع وحدات البلوك يمنع المونة من التشوه ويشكل حصاراً لها يؤدي لتعريضها إلى ضغط ثلاثي المحاور، فيما تتعرض وحدات البلوك إلى ضغط أحادي المحاور متزامناً مع إجهادات شادة في الاتجاهين الآخرين وهذا ما هو موضح في الشكل (6-2) حيث يرمز الحرف (C) إلى الضغط بينما يرمز الحرف (T) إلى الشد.

عند تعرض الجدار لضغط منتظم عمودي على سطح المونة بين وحدات البلوك يكون الانهيار بشكل أساسي بسبب تشققات الشد الشاقولية الموازية لاتجاه التحميل نتيجة لتقييد تشوه المونة المذكور سابقاً، أو بسبب تشققات القص التي تظهر في المناطق الضعيفة ويتحدد نوع الانهيار حسب المقاومة النسبية بين المونة ووحدات البلوك، ويبين الشكل (7-2) التشققات الحاصلة نتيجة تعرض الجدار لضغط منتظم أحادي المحاور.



الشكل (6-2) تأثير الضغط الأحادي على الجدران المطبق بشكل عمودي على مستوي طبقة المونة (Özen, 2006).

ومن الملفت للنظر أن مقاومة الجدار تكون أقل من مقاومة وحدات البلوك المشكلة له بينما تزيد بكثير عن مقاومة المونة بين وحدات البلوك، حيث تبين أن مقاومة الجدار تتأثر بالجزر التريبيعي لمقاومة الوحدات مقارنة مع الجزر التكميبي أو الرباعي لمقاومة المونة. كما أنه ونتيجة لإجهادات الشد الناتجة في وحدات البلوك من تقبيد تشوه المونة، فإن زيادة ارتفاع وحدات البلوك يزيد من مقاومة الجدار ككل، وفي نفس الوقت فإنه لنفس ارتفاع وحدات البلوك تتناقص مقاومة الجدار بزيادة سماكة المونة ويتناقص هذا التأثير بتناقص نسبة سماكة المونة إلى ارتفاع وحدات البلوك المستخدمة (Hendry et al., 2004). يبين الشكل (8-2) تغير مقاومة الجدار وتأثره بسماكة المونة المستخدمة.



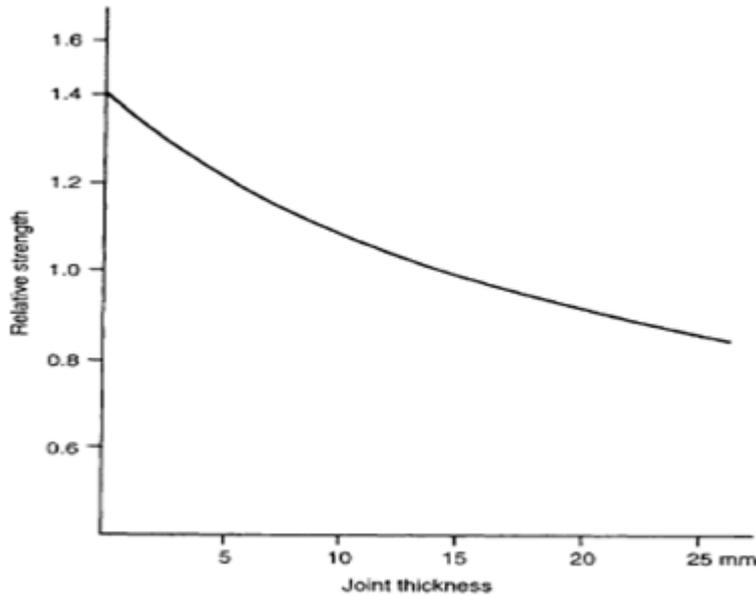
الشكل (7-2) التشققات الحاصلة نتيجة الضغط الأحادي على الجدران المطبق بشكل عمودي على مستوي طبقة المونة (McKenzie, 2001).

يتبين مما سبق العوامل الكثيرة التي تؤثر في مقاومة الجدار على الضغط ولذلك ولاعتماد أسس تصميمية للجدران قامت المواصفات العالمية باعتماد معادلات تجريبية تأخذ بعين الاعتبار تداخلات خواص المواد المختلفة واختلاف تصرفاتها والتأثير المتبادل بينها. تم خلال الدراسة الحالية الاعتماد على المواصفة الأوروبية (BS EN 1996-1-1, 2005) لحساب خواص الجدران، حيث تحدد مقاومة الجدار المصنوع باستخدام مونة للأغراض العامة (General Purpose Mortar) والتي لا تقل سماكتها عن 3mm بالعلاقة التالية:

$$f_k = k \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3} \quad (1-2)$$

حيث:

المقاومة المميزة لمادة الجدار على الضغط مقدرة بالـ N/mm^2 Characteristic compressive strength of the masonry, in N/mm^2	f_k
مقاومة الضغط الاسمية المكافئة لعينة بأبعاد $100 \times 100 \times 100$ mm مجففة إلى درجة حرارة الغرفة مقدرة بالـ N/mm^2 The normalized mean compressive strength of the units, in the direction of the applied action effect, in N/mm^2	f_b
مقاومة المونة المتصلبة على الضغط بعد 28 يوم بشروط الحفظ النظامية مقدرة بالـ N/mm^2 The compressive strength of the mortar, in N/mm^2	f_m
معامل يتعلق بتصنيف وحدات البلوك من حيث حجم الفراغات الداخلية وطريقة توضعها.	k



الشكل (8-2) تغير مقاومة الجدار بتغير سماكة المونة (Hendry et al., 2004).

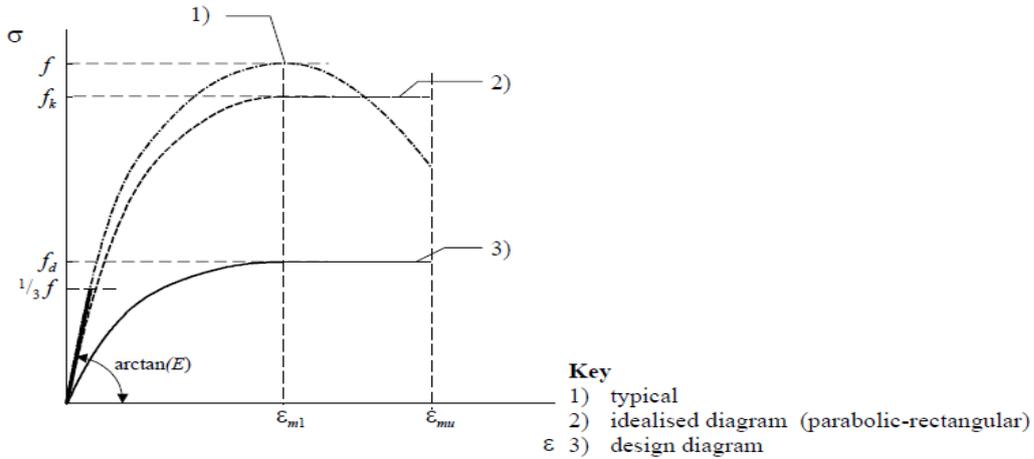
ويشترط لصحة تطبيق العلاقة (1-2) ألا تزيد مقاومة المونة عن $20 N/mm^2$ أو $2f_b$ ، بينما يتم تحديد المعامل k من الجدول (4-2) بعد تحديد صنف وحدات البلوك المستخدم من الجدول (5-2) وذلك حسب نوع المواد المستخدمة في تصنيع وحدات البلوك وحجم الفراغات الداخلية نسبة إلى الحجم الكلي لوحدة البلوك وطريقة توضع هذه الفراغات أثناء عملية البناء.

تتبع وحدات البلوك الإسمنتية الشائعة الاستخدام محلياً في أغلبها التصنيف الثاني (Group 2) وفق التصنيف الوارد أعلاه ما يعني أن قيمة المعامل $k=0.45$ هي القيمة التي تم اعتمادها خلال الدراسة الحالية.

تعطى العلاقة بين الإجهاد والتشوه للجدران تحت تأثير الضغط بعلاقة من الدرجة الثانية تتأثر بمقاومة الجدار على الضغط (BS EN 1996-1-1, 2005)، ويبين الشكل (9-2) منحنى الإجهاد-التشوه حيث يمثل المنحني رقم (1) العلاقة النموذجية (Typical) والتي تحدد تصرف مادة الجدار على الضغط كعلاقة خطية مرنة حتى الوصول إلى قيمة إجهاد مساوية لـ $0.33f$ ، حيث يعبر f عن المقاومة المتوسطة الأعظمية على الضغط لمادة الجدار، ثم تأخذ العلاقة شكلاً لا مرناً (Inelastic) حتى الوصول إلى الإجهاد الأعظمي f الذي تتحمله المادة، حيث تبلغ قيمة التشوه النسبي الموافقة ϵ_{m1} القيمة 0.0028 . بعد هذه المرحلة تبدأ مقاومة المادة بالتناقص تدريجياً حتى الوصول إلى التشوه النسبي الأعظمي ϵ_{mu} القيمة 0.0035 (Hendry et al., 2004). يعبر المنحني رقم (2) عن العلاقة النموذجية (Idealized) اعتماداً على

المقاومة المميزة على الضغط لمادة الجدار f_k ، حيث تزداد المقاومة مع زيادة التشوه النسبي حتى الوصول إلى الإجهاد المميز على الضغط f_k عند التشوه النسبي ϵ_{m1} ومن ثم يبقى هذا الإجهاد ثابتاً حتى الوصول إلى التشوه النسبي الأعظمي ϵ_{mu} . يعبر المنحني رقم (3) عن القيم التصميمية والتي يمكن الحصول عليها بقسمة الإجهاد f_k على معامل المادة γ_M . يحدد معامل المرونة الأني E_m (Short term Modulus of Elasticity) لمادة الجدار بميل الخط القاطع الواصل إلى ثلث الإجهاد الأعظمي على الضغط ويحدد في المواصفة الأوربية BS EN 1996-1-1 من العلاقة (2-2) كنسبة من مقاومة الجدار المميزة على الضغط f_k ، بينما يحدد معامل القص G (Shear Modulus) بـ 40% من قيمة معامل المرونة.

$$E_m = 1000 \cdot f_k \quad (2-2)$$



الشكل (9-2) منحنى الإجهاد-التشوه للجدران على الضغط (BS EN 1996-1-1, 2005).

الجدول (4-2) المعامل k (BS EN 1996-1-1, 2005).

Masonry Unit	General purpose mortar	Thin layer mortar (bed joint $\geq 0,5$ mm and ≤ 3 mm)	Lightweight mortar of density		
			$600 \leq \rho_a \leq 800$ kg/m ³	$800 < \rho_a \leq 1300$ kg/m ³	
Clay	Group 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Group 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Group 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Group 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Calcium Silicate	Group 1	0,55	0,80	‡	‡
	Group 2	0,45	0,65	‡	‡
Aggregate Concrete	Group 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Group 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Group 3	0,40	0,50	‡	‡
	Group 4	0,35	‡	‡	‡
Autoclaved Aerated Concrete	Group 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Manufactured Stone	Group 1	0,45	0,75	‡	‡
Dimensioned Natural Stone	Group 1	0,45	‡	‡	‡

‡ Combination of mortar/unit not normally used, so no value given.

الجدول (5-2) أصناف وحدات البلوك (BS EN 1996-1-1, 2005).

	Materials and limits for Masonry Units							
	Group 1 (all materials)	Units	Group 2		Group 3		Group 4	
			Vertical holes				Horizontal holes	
Volume of all holes (% of the gross volume)	≤ 25	clay	> 25; ≤ 55		≥ 25; ≤ 70		> 25; ≤ 70	
		calcium silicate	> 25; ≤ 55		not used		not used	
		concrete ^b	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50	
Volume of any hole (% of the gross volume)	≤ 12,5	clay	each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 2 gripholes up to a total of 12,5		each of multiple holes ≤ 30	
		calcium silicate	each of multiple holes ≤ 15 gripholes up to a total of 30		not used		not used	
		concrete ^b	each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 30 gripholes up to a total of 30		each of multiple holes ≤ 25	
Declared values of thickness of webs and shells (mm)	No requirement		web	shell	web	shell	web	shell
		clay	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6
		calcium silicate	≥ 5	≥ 10	not used		not used	
		concrete ^b	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Declared value of combined thickness ^a of webs and shells (% of the overall width)	No requirement	clay	≥ 16		≥ 12		≥ 12	
		calcium silicate	≥ 20		not used		not used	
		concrete ^b	≥ 18		≥ 15		≥ 45	

^a The combined thickness is the thickness of the webs and shells, measured horizontally in the relevant direction. The check is to be seen as a qualification test and need only be repeated in the case of principal changes to the design dimensions of units.

^b In the case of conical holes, or cellular holes, use the mean value of the thickness of the webs and the shells.

2.4.2.2 مقاومة الجدار على القص (Masonry Shear Strength):

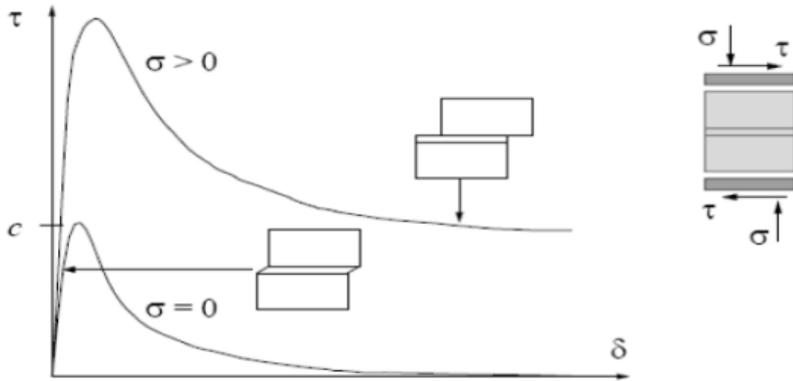
تعتبر مقاومة الجدار على القص من القيم التصميمية الهامة وخاصة للجدران المعرضة لأحمال جانبية في مستوياتها، حيث يمتلك الجدار مقاومة أولية على القص تتأثر بشكل كبير بالالتصاق بين وحدات البلوك والمونة وتزداد بزيادة التأثير المتبادل بين الضغط المحوري والقص بشكل كبيراً (Hendry et al., 2004)، حيث تزداد مقاومة الجدار على القص بزيادة الضغط المطبق (Özen, 2006) كما هو مبين بالشكل (10-2). وتحدد من العلاقة (3-2):

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_c \quad (3-2)$$

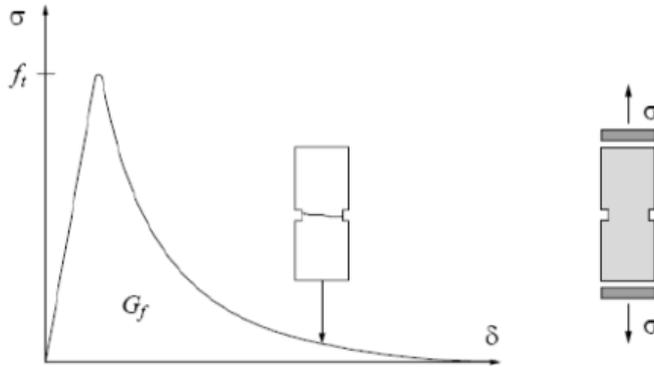
حيث τ_0 القص الأولي عند إجهاد ضغط مساوية للصفر بينما يمثل μ معامل الاحتكاك بين سطحي المونة ووحدات البلوك و σ_c يمثل إجهاد الضغط الشاقولي المطبق (Hendry et al., 2004). يبين الشكل (10-2) أن وجود الضغط الشاقولي ($\sigma_c > 0$) يؤدي لزيادة الإجهاد المماسي بشكل كبير، بينما تنخفض قيم الإجهاد المماسي في حال ($\sigma_c = 0$).

3.4.2.2 مقاومة الجدار على الشد (Masonry Tensile Strength):

تنشأ الإجهادات الشادة في الجدران عند تعرضها للأحمال الجانبية في مستوياتها كأحمال الرياح والهزات الأرضية والإجهادات الناشئة عن التثوهات الحرارية، وتتأثر مقاومة الجدران على الشد بقوة الالتصاق بين المونة ووحدة البلوك وتتميز الجدران بمقاومة صغيرة نسبياً على الشد تجعل من اعتبارها كقيم تصميمية قليل الأهمية ما يؤدي عادة إلى إهمال تحمل الجدران على الشد عند التصميم. ويعتبر انهيار الجدران على الشد انهياراً هشاً ومفاجئاً ويمكن التعبير عنه بالمنحني الموضح بالشكل (11-2) والذي يمثل علاقة إجهاد الشد (σ) واتساع الشق (δ)، حيث تزداد المقاومة على الشد حتى الوصول إلى إجهاد الشد الأعظمي (f_t) ومن ثم تتخفف بشكل مفاجئ حتى خروجه عن العمل عند قيمة معينة لاتساع الشق (δ)، ويعبر عن مساحة المنطقة تحت منحنى الإجهاد-اتساع الشق بطاقة التصدع (Fracture Energy, G_f).



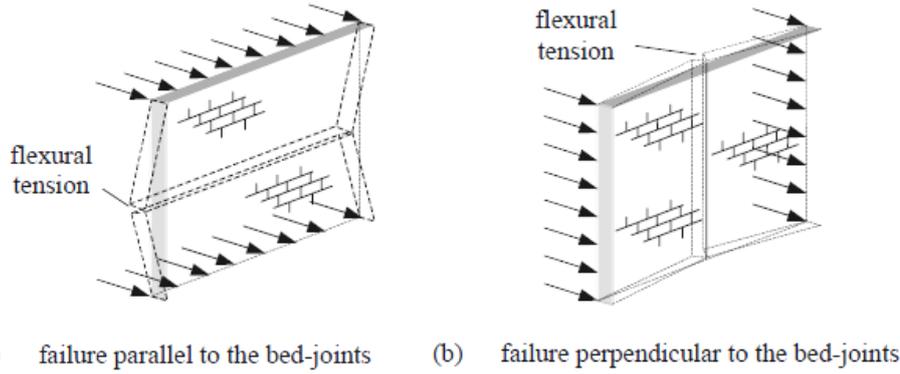
الشكل (10-2) تصرف الجدار تحت تأثير القص المباشر (Özen, 2006).



الشكل (11-2) تصرف الجدار تحت تأثير الشد المباشر (Özen, 2006).

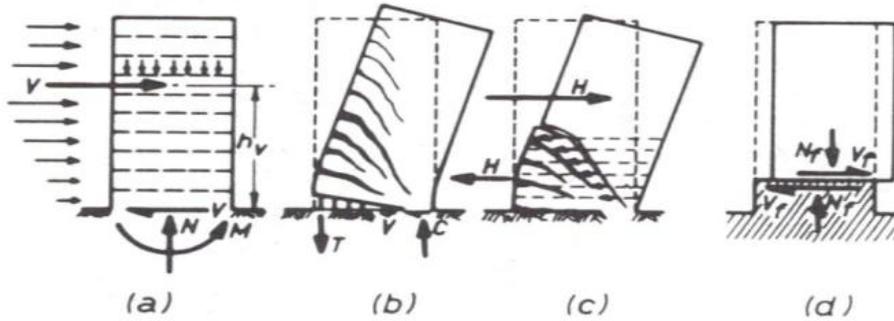
5.2.2 أشكال انهيار جدران وحدات البلوك الإسمنتية Failure Modes of URCM

تتعلق أشكال الانهيارات في الجدران غير المسلحة بشكل رئيسي بالأحمال المطبقة على الجدار، ففي الوقت الذي تؤدي فيه الأحمال الشاقولية لنشوء تشققات شاقولية موازية للأحمال المطبقة كما سبق ذكره في الفقرة (1.4.2.2)، يؤدي تطبيق أحمال عمودية على سطح الجدار إلى حدوث انهيارات خارج مستوى الجدار (Out-of-Plane) تسمى بانهايار الانعطاف (Flexural Failure)، والذي يحدث في طبقة المونة بأحد النمطين المبيينين في الشكل (12-2) ويتأثر بمقاومة المونة ومقاومة الالتصاق بين المونة ووحدة البلوك (McKenzie, 2001).



الشكل (12-2) أنماط انهيار الجدران - حالة الأحمال عمودية على سطح الجدار (McKenzie, 2001).

أما في الحالة التي تكون فيه الأحمال مطبقة في مستوي الجدار (In-Plane) كما هو الحال في الدراسة الحالية، فإن أشكال الانهيار المحتملة يمكن تلخيصها بثلاثة أنماط مبيّنة في الشكل (13-2)، وتتأثر بشكل كبير بمقدار الأحمال الشاقولية المتزامنة مع الأحمال في مستوي الجدار ومقاومة مادة الجدار، إضافة لتأثرها بنسبة ارتفاع الجدار إلى عرضه أو ما يسمى بنسبة الواجهة (Aspect Ratio).



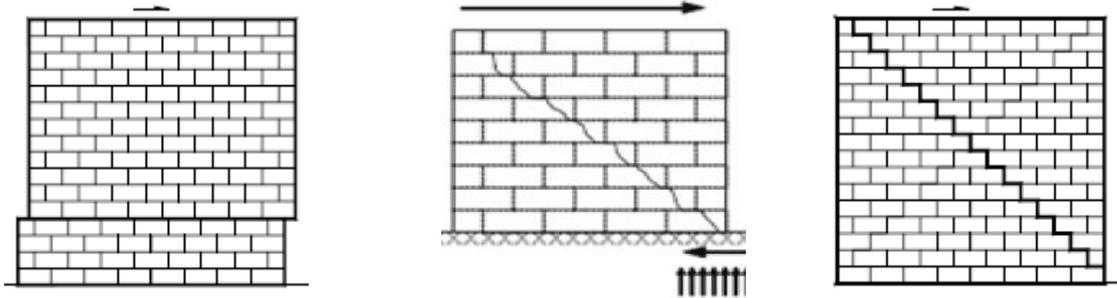
الشكل (13-2) أنماط انهيار الجدران - حالة الأحمال في مستوي الجدار (Vaughan, 2010).

يسمى النمط الأول من الانهيار، انهيار الانعطاف مع الانقلاب (Flexure Rocking Failure) ويبدو واضحاً في الشكل (b-13-2) ويعرف أيضاً بنمط الانقلاب (Overturning)، ويحصل عندما تكون نسبة الأحمال الشاقولية إلى الأفقية صغيرة وتكون نسبة الواجهة للجدار مرتفعة، عندها تكون نسبة عزم الانعطاف المطبق على الجدار إلى قوى القص مرتفعة، أو/و يمكن أن تحصل عندما تكون مقاومة المونة ووحدات البلوك والالتصاق بينهما كافية لتحمل الأحمال المطبقة ما يؤدي إلى انقلاب الجدار حول إحدى زواياه التي بدورها يمكن أن تتحطم نتيجة لحصول إجهادات الضغط مرتفعة في هذه النقطة.

النمط الثاني للانهيار وهو انهيار القص (Shear Failure) ويتميز بحدوث تشققات قطرية في الجدار تظهر بسبب تجاوز إجهادات الشد الرئيسية في الجدار لإجهاد الشد الذي تتحملة مادة الجدار ويتأثر بشكل كبير بمقدار الأحمال الشاقولية المتزامنة ومقاومة مادة الجدار إضافة لتأثرها بنسبة الواجهة (Aspect Ratio)، حيث أنه كلما نقصت هذه النسبة زادت مساهمة تشوهات القص في حدوث الانهيار، ويبين الشكل (c-13-2) توضع التشققات القطرية في الجدار نتيجة لانهيار القص (Vaughan, 2010). ويمكن أن يحصل هذا الانهيار على القص قطعياً بشكل متدرج بسبب التشققات التي تحصل في السطح الفاصل بين المونة الإسمنتية ووحدات البلوك وتتزامن مع كون مقاومة المونة الإسمنتية أضعف من مقاومة وحدات البلوك، أما في حال كون مقاومة وحدات البلوك أضعف من مقاومة المونة الإسمنتية عندها تحصل الشقوق القطرية

بشكل مستمر في مادة وحدات البلوك، ويبين الشكلين (a-14-2) و (b-14-2) كلا النمطين من انهيار (Elgwady et al., 2002).

النمط الثالث هو جزء من انهيار القص الانزلاقي (Sliding Shear Failure) والذي يحصل في حال تعرض الجدار لأحمال شاقولية صغيرة نسبياً، و/أو في حال كان معامل الاحتكاك بين وحدات البلوك والمونة صغيراً نسبياً، كون مقاومة المونة بين وحدات البلوك ضعيفة مثلاً، وهذا ما يؤدي إلى حدوث تشققات أفقية غالباً ما تكون قريبة من قاعدة الجدار (Elgwady et al., 2002). ويمكن التعرف على شكل هذا النمط من خلال الشكلين (d-13-2) و (c-14-2).



a. تشققات القص بشكل قطري متدرج b. تشققات القص بشكل قطري مستمر c. تشققات القص بشكل انزلاق أفقي.

الشكل (14-2) التشققات في الجدران نتيجة القص تحت تأثير الأحمال في مستويها (Elgwady et al., 2002).

3.2 الإطارات البيتونية المسلحة Reinforced Concrete Frames

تعد الجمل الإطارية من الجمل الإنشائية الهامة المقاومة للأحمال الجانبية وخاصة الزلزالية منها لما تتمتع به من مقاومة ومطووعة عاليتين، ولمقاومة الأحمال الجانبية في مستويها تعتمد هذه الجمل بشكل أساسي على مقاومة عزوم الانعطاف الناتجة في عقد الإطارات، أي نقاط اتصال الجوائز والأعمدة. تم مؤخراً وضع الكثير من الاشتراطات والمعادلات الخاصة لتصميم الإطارات لمقاومة الأحمال الجانبية وخاصة الزلزالية منها. هذا التطور في التصميم يستدعي مراجعة المباني التي تم إنشاؤها قبل صدور التوصيات الحديثة ومحاولة رفع كفاءتها لتجاري ما تم التوصل إليه من توصيات وتضمن بذلك سلامة هذه الأبنية واستمراريتها، والبحث الحالي يعد جزءاً من هذه الجهود كونه يُعنى برفع كفاءة المباني القائمة باستخدام التقنيات الحديثة. ولهذا تم الاكتفاء بالتطرق للإطارات البيتونية المصممة قبل صدور التوصيات الحديثة ولم يتم التعمق في الاشتراطات والترتيبات الملزمة عند استخدام الجمل الإطارية.

تتألف الإطارات البيتونية بشكل أساسي من الأعمدة والجوائز المرتبطة إلى بعضها بعقد وتعمل هذه الجملة معاً لمقاومة الأحمال المختلفة، وتتأثر بشكل كبير بأبعاد العناصر المختلفة وخواص المواد المكونة لها والتأثير المتبادل بين أداء هذه المواد. تتكون الإطارات البيتونية من مادتين أساسيتين هما البيتون وفولاذ التسليح اللتان ترتبطان بدورهما معاً لتشكيل العمل المشترك لمادة البيتون المسلح. سيتم التطرق فيما يلي إلى خواص كل من البيتون وفولاذ التسليح وتبسيط الضوء على كيفية عملهما المشترك ليتم الاستفادة منها لاحقاً في نمذجة مادة البيتون المسلح.

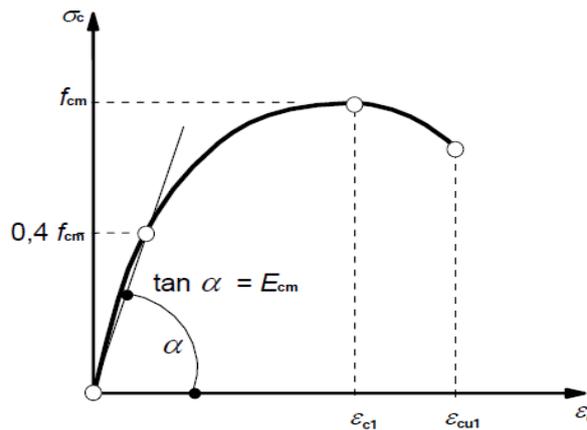
1.3.2 الخواص الميكانيكية للبيتون Concrete Mechanical Properties

إن العديد من الأبحاث والدراسات جرت على مادة البيتون وقامت بوضع تصور واضح عن تصرف هذه المادة تحت تأثير الإجهادات والتشوهات المختلفة. وتعتبر مادة البيتون من المواد غير المتجانسة (Composite Materials)

المصنوعة من خليط من الحصىات ومادة الاسمنت الرابطة، وتتميز بشكل عام بمقاومة جيدة على الضغط (Compressive Strength) مقارنة بمقاومتها الصغيرة على الشد (Tensile Strength)، ويعتمد انهيار مادة البيتون على معيارين أساسيين: أولهما انهيار المادة بسبب تشكل الشقوق (Cracking) في حالة الانهيار على الشد، والثاني هو تحطم المادة (Crushing) في حالة الانهيار على الضغط (Obaidat, 2011). وسيتم فيما يلي تفصيل بعض خواص البيتون الهامة لموضوع البحث الحالي.

1.1.3.2 مقاومة البيتون على الضغط (Concrete Compressive Strength):

يصنف البيتون عادة حسب المقاومة المميزة الاسطوانية على الضغط الأحادي عند عمر 28 يوم f_{ck} ، وتزود الكثير من المراجع علاقة الإجهاد- التشوه للبيتون تحت تأثير الضغط الأحادي (Uni-axial)، وتم في الدراسة الحالية اعتماد النموذج المعطى في المواصفة الأوربية BS EN 1992-1-1 المخصص للبيتون العادي (Normal weight concrete) والمبين بالشكل (15-2)، حيث يكون تصرف البيتون مرناً خطياً حتى الوصول إلى إجهاد مساوٍ لـ 40% من الإجهاد الأعظمي حيث تبدأ التشققات الدقيقة بالتشكل، ثم تأخذ العلاقة شكلاً لا مرناً (Inelastic) حتى الوصول إلى الإجهاد الأعظمي الذي تتحمله المادة. بعد هذه المرحلة تبدأ مقاومة المادة بالتناقص تدريجياً بسبب اتساع التشققات واتصالها فيما بينها حتى الوصول إلى الانهيار الكامل للمادة.



الشكل (15-2) منحنى الإجهاد-التشوه للبيتون تحت تأثير الضغط الأحادي (BS EN 1992-1-1, 2004).

بالنسبة للبيتون ذي المقاومة على الضغط أقل من 50MPa تحدد المواصفة المعتمدة قيم التشوهات النسبية ϵ_{c1} الموافقة للإجهاد الأعظمي بالعلاقة (4-2) في حين تحدد قيمة التشوه النسبي الأعظمي ϵ_{cu1} بالقيمة 0.0035 عند الانهيار.

$$\epsilon_{c1} = 0.7 f_{cm}^{0.31} \leq 2.8 \quad (\%) \quad (4-2)$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad (MPa) \quad (5-2)$$

حيث:

f_{ck} المقاومة المميزة لمادة البيتون على الضغط عند عمر 28 يوم مقدرة بالـ N/mm^2 .
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days, in N/mm^2

f_{cm} المقاومة المتوسطة على الضغط بعد 28 يوم بشروط الحفظ النظامية مقدرة بالـ N/mm^2 .
The mean compressive cylinder strength at 28 days, in N/mm^2

وتحدد علاقة الإجهاد-التشوه المبينة في الشكل (15-2) بمنحني من الدرجة الثانية مبين في العلاقة (6-2) لقيم التشوه

$$\text{النسبي ضمن المجال } |\epsilon_c| < |\epsilon_{cu1}| < 0 :$$

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta} \quad (6-2)$$

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1} \quad (7-2)$$

$$k = 1.05 \cdot E_{cm} \cdot |\varepsilon_{c1}| / f_{cm} \quad (8-2)$$

حيث:

E_{cm} معامل مرونة الببتون مقدر بالـ N/mm^2 .

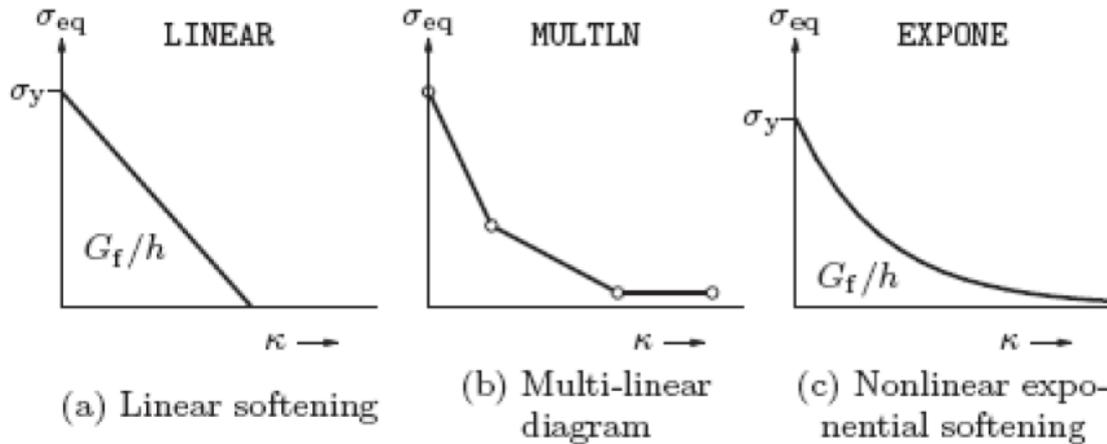
Concrete modulus of elasticity, in N/mm^2

تحدد المواصفة الأوربية BS EN 1992-1 معامل بواسون بالقيمة 0.2، فيما تعتمد معامل مرونة الببتون E_{cm} (Modulus of elasticity)، والمبين في الشكل (2-15)، بميل الخط القاطع الواصل بين مبدأ الإحداثيات والنقطة على منحنى الإجهاد-التشوه الموافقة لإجهاد مساو لـ $0.4f_{cm}$ ، ويمكن الحصول عليه حسابياً من العلاقة التالية:

$$E_{cm} = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} \quad (MPa) \quad (9-2)$$

2.1.3.2 مقاومة الببتون على الشد (Concrete Tensile Strength):

تعتبر مقاومة الببتون على الشد قليلة إذا ما قورنت بتحملة على الضغط، حيث يؤدي تعرض الببتون إلى إجهادات شادة أحادية المحور (Uniaxial tension) إلى ظهور تشققات دقيقة (micro-cracks) تبدأ غالباً في السطوح بين الحصى والمونة الإسمنتية، ما تلبث هذه التشققات أن تتسع مع زيادة الإجهادات الشادة المطبقة وتتصل مع بعضها مما يؤدي إلى انخفاض قساوة المادة وتستمر هذه العملية حتى الانهيار التام لمجمل المادة. رغم كون الإجهادات والتشوهات الشادة التي يتحملها الببتون صغيرة نسبياً، إلا أنه يجب أخذ تصرف الببتون في هذه الحالة بعين الاعتبار لتمثيل تصرف المادة بشكل دقيق. تعطي المراجع أشكالاً متقاربة لتصرف الببتون على الشد حيث يبدي الببتون تصرفاً على الشد مرناً خطياً بميل مساو لمعامل مرونة الببتون حتى الوصول إلى إجهاد الشد الأعظمي الذي تتحملة المادة حيث تبدأ التشققات الدقيقة بالظهور وتسمى هذه المرحلة بمرحلة التقسية التشوهية (Strain Hardening)، ومن ثم تبدأ مرحلة التراجع حيث تنخفض الإجهادات الشادة التي تتحملها المادة مع زيادة التشوهات النسبية حتى الوصول إلى الانهيار التام (Failure) وتعرف هذه المرحلة بمرحلة الليونة التشوهية (Strain softening).



الشكل (2-16) مرحلة تدهور المادة (Tension Softening) تحت تأثير الشد الأحادي (Johnson, 2006).

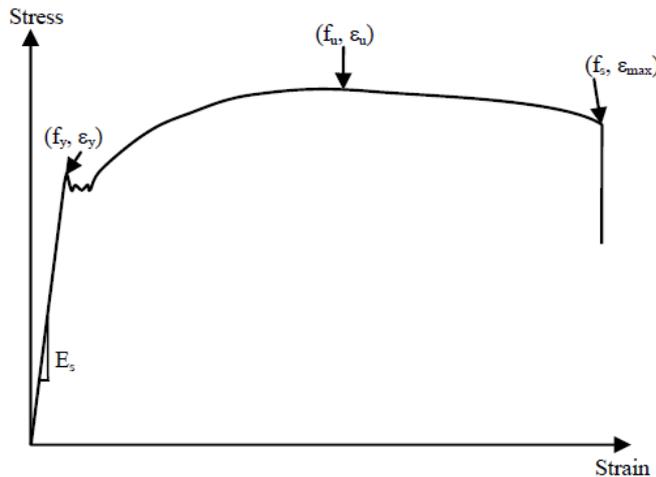
يبين الشكل (c-16-2) مرحلة تدهور المادة التي عادة ما تأخذ هذه المرحلة شكلاً أسياً (Johnson, 2006)، ويتم مقاربتها بخطوط مستقيمة منكسرة (b-16-2)، ويمكن للتبسيط ضمن حدود الدقة المطلوبة اعتبارها خطية حتى الانهيار (Linear softening) كما في الشكل (a-16-2)، حيث تمثل القيمة σ_y في الشكل إجهاد الشد الأعظمي الذي يتحمله البيتون f_{ctm} وتحدد المواصفة الأوروبية BS EN 1992-1-1 المعتمدة في هذه الدراسة هذه القيمة بالعلاقة (10-2) وذلك للبيتون ذي المقاومة الاسطوانية المميزة على الضغط f_{ck} حتى 50MPa.

$$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3} \quad (MPa) \quad (10-2)$$

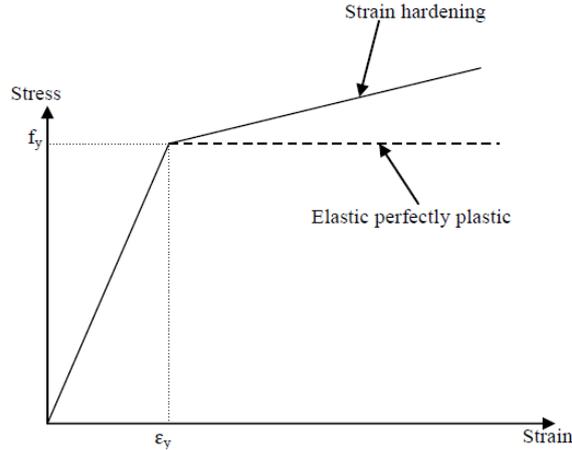
2.3.2 الخواص الميكانيكية ل فولاذ التسليح Reinforcement Steel Mechanical Properties

تمر مادة فولاذ التسليح بمراحل متعددة قبل الانهيار تبدو واضحة من خلال منحنى الإجهاد-التشوه كما في الشكل (17-2)، الذي يبين شكلاً نموذجياً لمنحنى الإجهاد-التشوه لفولاذ التسليح المطاوع القليل والمتوسط المقاومة، حيث تبدأ مادة الفولاذ بالتصرف بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى حدد المرونة (Elastic Limit) بعدها تبدأ المادة بالتشوه اللدن وتدخل مرحلة المطاوعة (Yielding) والتي تتميز بازدياد التشوه مع زيادة منخفضة في قيمة الإجهاد وهي القيمة التي تعتمد عادة في التصميم، في نهاية هذه المرحلة تبدأ المادة مرحلة اكتساب قساوة جديدة (Strain Hardening) ما يؤدي إلى زيادة الإجهاد الذي تتحمله المادة حتى الوصول إلى الإجهاد الحدي (Ultimate stress)، حتى هذه المرحلة يكون تشوه المادة مازال منتظماً (Uniform Deformation)، ليبدأ بعدها التشوه غير المنتظم للعينة حيث تتشكل أعناق في النقاط الضيقة (Necking) تنتهي بانتهيار المادة بشكل كامل (Obaidat, 2011).

يمكن في التطبيقات الهندسية العامة، اعتبار تصرف فولاذ التسليح المطاوع تصرفاً مرناً-لدناً (elasto-Plastic) وذلك بأخذ مرحلة ازدياد قساوة المادة (Strain Hardening) بعين الاعتبار الشكل (18-2) أو باعتبار تصرف فولاذ التسليح المطاوع تصرفاً مرناً-كاملاً اللدونة (Elastic-perfectly Plastic) حتى الوصول إلى انهيار المادة وهذا يعطي نتائج مرضية عند استخدامه في نمذجة البيتون المسلح. تم اعتماد التصرف المرن-كاملاً اللدونة لمادة فولاذ التسليح وهذا متوافق مع المواصفة الأوروبية (BS EN 1992-1-1) الخاصة بالبيتون المسلح والمعتمدة في الدراسة الحالية (Obaidat, 2011).



الشكل (17-2) منحنى نمذجي للعلاقة بين الإجهاد-التشوه لفولاذ التسليح (Obaidat, 2011).



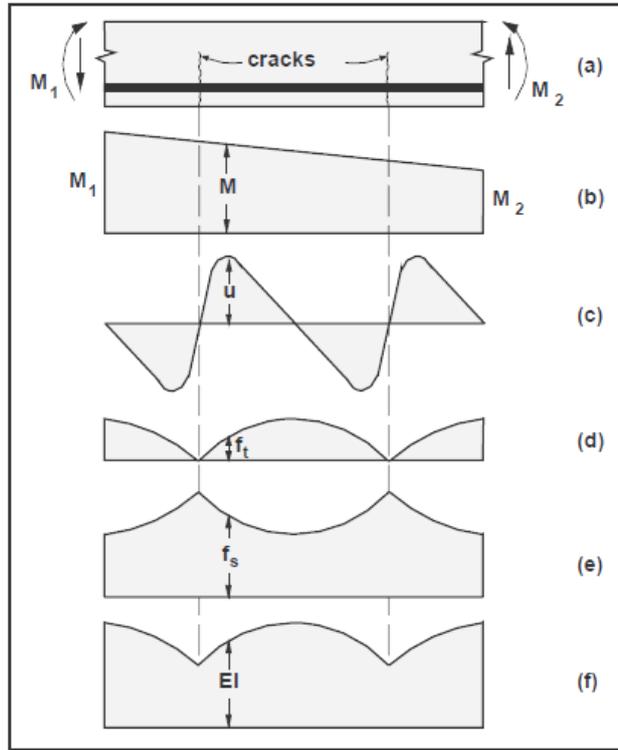
الشكل (18-2) منحنى الإجهاد-التشوه لفولاذ التسليح المعتمد في الدراسة الحالية (Obaidat, 2011).

3.3.2 التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح Concrete-Reinforcement Steel Bond Slip

للحصول على العمل المشترك بين البيتون والفولاذ لابد من تأمين التماسك اللازم بين المادتين والذي يؤدي لنقل الإجهادات والتشوهات بين المادتين. يتعلق التماسك بعوامل متعددة منها مقاومة كل من البيتون وفولاذ التسليح بالإضافة إلى سماكة طبقة التغطية لفولاذ التسليح وطبيعة سطوح قضبان التسليح وأقطارها وتباعدها، ويعتبر سلوك التماسك محصلة لثلاثة ميكانيزمات هي الالتصاق الكيميائي (chemical adhesion) والاحتكاك (Friction) والارتباط الميكانيكي (Mechanical Interlocking) بين البيتون والنقوءات (ribs) على سطح القضبان الفولاذية (Lundgren, 1999). بينت الدراسات (CEB-FIP, 2010) أن للتماسك دوراً أساسياً في عمل البيتون المسلح كمادة مختلطة وتصرفه تحت تأثير الأحمال المختلفة، فضمن مرحلة حد الاستمرار (Serviceability Limit State) للعنصر البيتوني المسلح يؤثر التماسك في عرض الشقوق المتشكلة وتباعدها وتصلب الشد (Tension Stiffening) للبيتون في المنطقة حول فولاذ التسليح، بينما يكون في مرحلة الحد الأقصى (Ultimate Limit State) مسؤولاً عن تأمين عمل أطوال الإرساء (Anchorage length) والتراكبات (Lap Splices) في فولاذ التسليح بالإضافة إلى أثره الكبير في دوران مقطع العنصر (Rotation Capacity) عند تشكل المفاصل اللدنة (Plastic Hinges).

لفهم أعمق لطبيعة التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح سيتم أخذ جزء من البيتون المسلح معرض للانعطاف (الشكل 19-2)، إن التصرف اللاخطي للبيتون ينتج من التشققات التي تنشأ بشكل متلاحق في المقطع البيتوني عند تجاوز الإجهادات الشادة للقيم التي يتحملها البيتون. يمكن وصف كل شق بأنه انهيار موضعي (Local Failure) في نقطة تشكله. ففي نقطة تشكل الشق، يتحمل فولاذ التسليح كامل الإجهادات الشادة، بينما في المنطقة المتشكلة بين شقين متتالين يبقى البيتون قادراً على تحمل جزء من إجهادات الشد مع فولاذ التسليح ما يساهم في رفع قساوة الانعطاف (flexural stiffness) في هذه المنطقة وهذا التغيير هو الذي يرسم توزيع الإجهادات في كل من البيتون وفولاذ التسليح بين الشقوق (الشكل 19-2). مع تطور الحالة تتشكل مزيد من الشقوق بين الشقين الأولين وتستمر العملية حتى تعجز قوى التماسك بين الشقوق الجديدة عن نقل قوى الشد بين البيتون وفولاذ التسليح.

نتيجة لتشكل الشقوق تصبح الانتقالات النسبية في كل من البيتون وفولاذ التسليح غير متساوية ما يؤدي إلى حصول انتقالات نسبية بين المادتين وهو ما يعرف بالانزلاق (Slip)، ما يعني أن فرضية التماسك الكامل (Perfect Bond) بين المادتين لا تعبر عن العمل الحقيقي في البيتون المتشق (Kwak and Filippou, 1990).



- (a) المقطع البيتوني المسلح المعرض للانعطاف
 (b) توزيع عزم الانعطاف
 (c) توزيع إجهادات التماسك (Bond Stress Distribution)
 (d) توزيع إجهادات الشد في البيتون (Concrete Tensile Stresses)
 (e) توزيع إجهادات الشد في فولاذ التسليح (Reinforcement Tensile Stresses)
 (f) توزيع قساوة الانعطاف (Flexure Stiffness)

الشكل (19-2) تأثير الشقوق في عمل البيتون المسلح (Kwak and Filippou, 1990)

قامت العديد من الأبحاث بإيجاد العلاقة بين إجهاد التماسك-الانزلاق (Bond stress-Slip relation) والتي أعطت فهماً أعمق للعمل المشترك بين البيتون وفولاذ التسليح. عادة ما يتم استخدام علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق لتمثيل العمل الفعلي عند نمذجة مادة البيتون المسلح، وقد تم خلال الدراسة الحالية استخدام النموذج الموجود في المواصفة الأوربية (CEB-FIP, 2010) والمتوافق مع المواصفة الأوربية الخاصة بالبيتون (BS EN 1992-1-1) التي تم اعتمادها سابقاً لتمثيل تصرف مادتي البيتون والفولاذ.

يبين الشكل (20-2) علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق في البيتون المسلح حيث تكون العلاقة لاخطية في البداية حتى الوصول إلى إجهاد التماسك الأعظمي τ_{max} عند انزلاق موافق S_1 ، بعدها يثبت إجهاد التماسك عند القيمة الأعظمية τ_{max} حتى وصول الانزلاق إلى القيمة S_2 ، عندها يبدأ إجهاد التماسك بالتناقص خطياً حتى الوصول إلى القيمة τ_f عند انزلاق موافق S_3 مساوٍ للمسافة الصافية بين نتوءات فولاذ التسليح. للبيتون المسلح ذي قيم التماسك الضعيفة، فإن قيم المتغيرات السابقة يمكن تحديدها من خلال الجداول الخاصة في المواصفة المعتمدة (CEB-FIP, 2010) حيث تعطى $S_1 = 1.8mm$ و $S_2 = 3.6mm$ ويمكن تحديد باقي المتغيرات من خلال العلاقات (2-15) إلى (2-16) الواردة أدناه. ولاستنتاج منحنى إجهاد التماسك - الانزلاق المبين في الشكل (20-2) عددياً يمكن استخدام العلاقات من (2-12) إلى (2-14) باعتبار قيمة المعامل α مساوية لـ 0.4.

$$\tau_o = \tau_{max}(s/s_1)^\alpha \quad \text{for } 0 \leq s \leq s_1 \quad (11-2)$$

$$\tau_o = \tau_{max} \quad \text{for } s_1 \leq s \leq s_2 \quad (12-2)$$

$$\tau_o = \tau_{max} (\tau_{max} - \tau_f)(s - s_2)/(s_3 - s_2) \quad \text{for } s_2 \leq s \leq s_3 \quad (13-2)$$

$$\tau_o = \tau_f \quad \text{for } s_3 < s \quad (14-2)$$

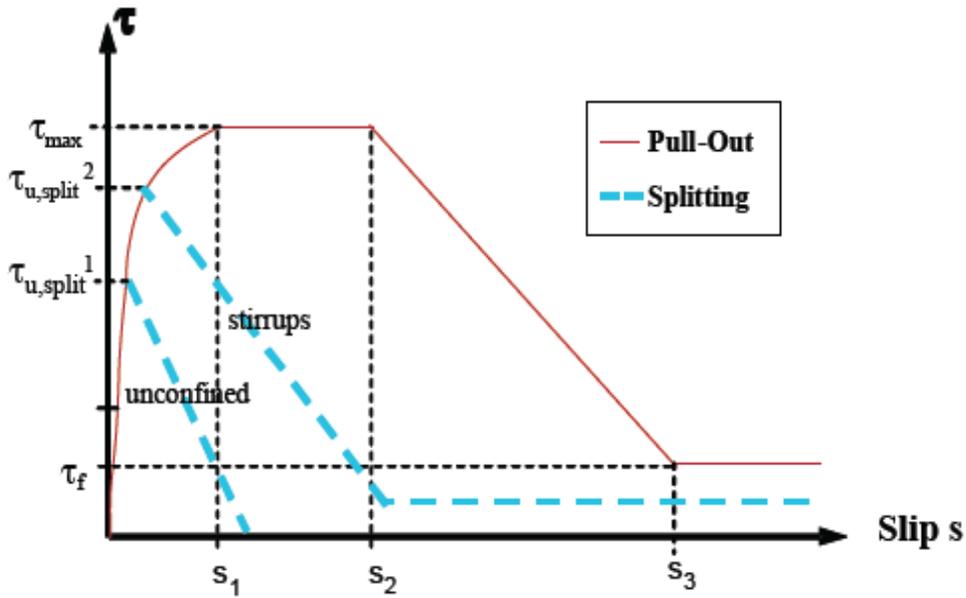
$$\tau_{max} = 1.25\sqrt{f'_c} \quad (15-2)$$

$$\tau_f = 0.04 \tau_{max} \quad (16-2)$$

حيث:

τ_{max} إجهاد التماسك الأعظمي مقدراً بالـ N/mm^2 .
Maximum bond stress, in N/mm^2

τ_f إجهاد التماسك عند الانهيار مقدراً بالـ N/mm^2 .
Bond stress at Failure, in N/mm^2



الشكل (20-2) منحنى التماسك - الانزلاق في البيتون المسلح (CEB-FIP, 2010).

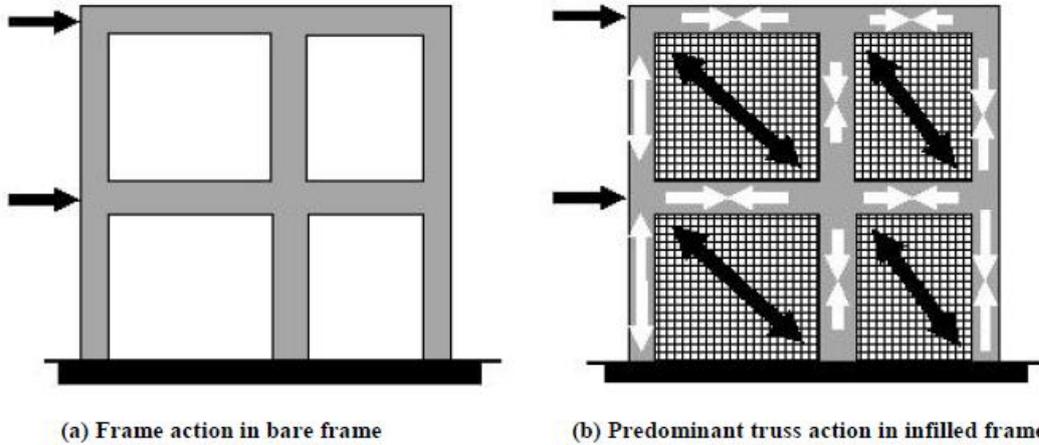
4.2 الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية URCM in-filled RC Frames

يتم استخدام جدران وحدات البلوك لتلبية المتطلبات الوظيفية للمبنى دون التطرق إلى دورها في تحمل الأحمال التي يتعرض لها المبنى سواءً الشاقولية أو الأفقية منها، وعادة ما يتم ملء الإطارات البيتونية بالجدران بشكل كلي أو جزئي دون أن يتم أخذ تأثيرها في تغيير سلوك الجملة الإنشائية الجديدة عما هو عليه في الدراسة التصميمية. سيتم التطرق فيما يلي إلى تأثير هذه الجدران في تغيير السلوك الإطاري للمنشأ بشيء من التفصيل.

1.4.2 سلوك الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية *Behavior of URCM in-filled RC Frames*

تقوم جدران البلوك المألئة للإطارات البيتونية المسلحة بتغيير السلوك الإنشائي لهذه الإطارات عما سبق ذكره في الفقرة (2-3) وذلك عند تعرضها للأحمال الجانبية في مستوياتها، حيث يتحول عملها إلى ما يشبه الجائز الشبكي (Truss) نتيجة لقوى الضغط القطرية التي تنشأ في جدران وحدات البلوك وقوى الضغط والقص التي تنشأ في نقاط التماس بين الجدران والإطار البيتوني، والتي تؤدي إلى زيادة القوى المحورية في عناصر الإطار. يبين الشكل (2-21) تغيير سلوك الإطار عند إضافة تأثير الجدران تحت تأثير الأحمال الجانبية المطبقة في مستوي الإطار حيث يلاحظ سيطرة القوى المحورية على عمل الجملة الجديدة سواء في الإطار البيتوني أو في جدار وحدات البلوك الإسمنتية وهو السبب وراء اعتماد تسمية العمل الشبكي.

إن وجود الجدران المألئة يؤدي إلى رفع قساوة الإطارات بشكل كبير، ما يفيد في رفع كفاءتها لمقاومة الأحمال الجانبية في مستوياتها ويساهم في رفع مطاوعة الجملة ككل، يمكن استثمار ذلك في المناطق الزلزالية المتوسطة الشدة ما يعطي قيمة مضافة لهذه الجدران ووفرأ اقتصادياً كبيراً عند تأهيل المباني القائمة لمقاومة الأحمال الزلزالية، إلا أنه رغم ذلك يجب التوقف ملياً عند هذا التغيير حيث يؤدي إلى عمل الإطارات بشكل مغاير تماماً لما تم خلال عملية تصميم الجملة الإطارية دون أخذ تأثير وجود الجدران بعين الاعتبار، حيث تتشكل العديد من ميكانيزمات الانهيار الجديدة التي لا يتم عادة أخذها بعين الاعتبار عند التصميم وقد تم التطرق إلى بعضها في الفقرة (1.2) (Murty and Jain, 2000).



الشكل (2-21) العمل الشبكي للإطار نتيجة وجود الجدار (Murty and Jain, 2000).

2.4.2 أنماط انهيار الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية *Failure modes of URCM in-filled RC Frames*

إن التآثر المتبادل بين الإطارات البيتونية وجدران وحدات البلوك الإسمنتية هو أمر معقد ويخضع للكثير من العوامل وهذا ما يجعل من الصعب التكهّن بشكل دقيق بطريقة تصرف هذه الجملة. حيث يتغير نمط انهيار الجملة الجيدة بتغير المقاومة النسبية لكل من الإطار والجدار، بينما تعتمد مطاوعة الجملة الجديدة على خواص المواد المختلفة المكونة للجدران وتفصيل تسليح عقد الإطار وطريقة توزيع الجدران ضمن الجملة الإطارية (Murty and Jain, 2000).

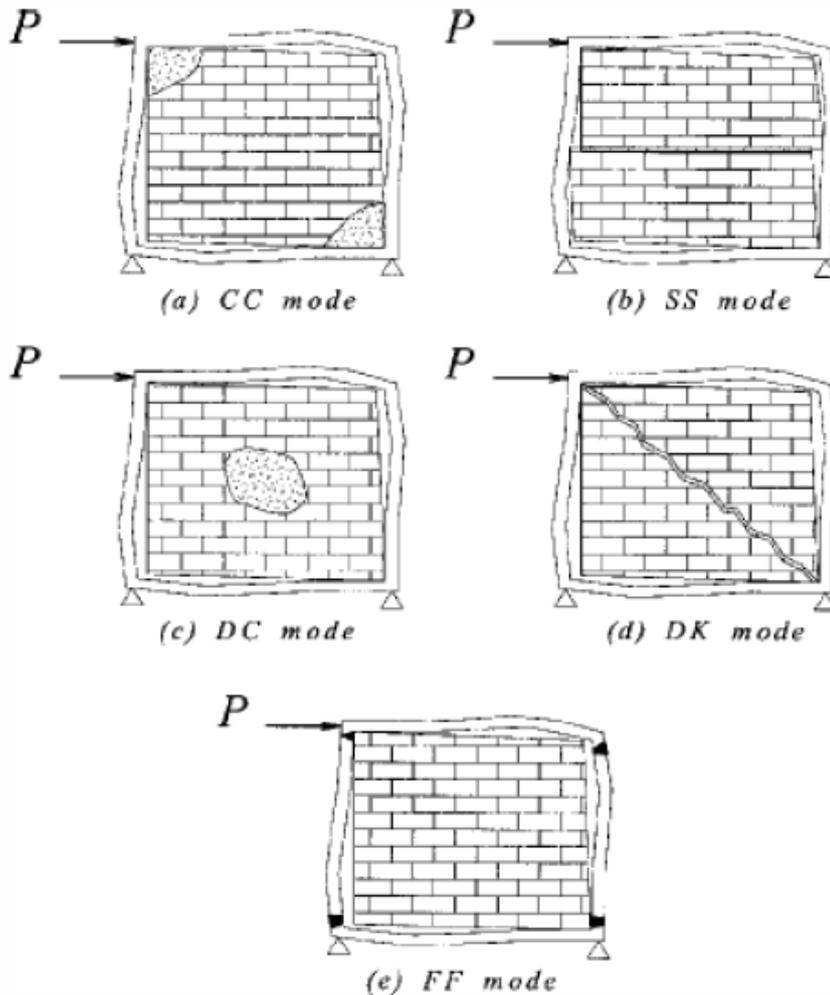
يمكن تصنيف أنماط الانهيار المختلفة بخمسة أنماط أساسية (Sattar, 2013) موضحة في الشكل (2-22) يمكن أن تحصل كل على حدة أو أن يحصل تراكم بينها.

يمثل **النمط الأول** الموضح بالشكل (a-22-2) تحطم زوايا الجدار (Corner Crushing Failure, CC)، ويحدث هذا النمط عندما تكون مقاومة الإطار مرتفعة في حين تكون مقاومة الجدار ضعيفة.

يسمى **النمط الثاني** للانهييار والموضح بالشكل (b-22-2) انهيار القص الانزلاقي (Sliding Shear Failure, SS) ويترافق مع وجود مونة إسمنتية ضعيفة في جدار وحدات البلوك الإسمنتية بوجود إطار بيتوني ذي مقاومة مرتفعة. ويمثل **النمط الثالث** الانهييار القطري على الضغط (Diagonal Compression Failure, DC) ويحصل في الجدران ذات النحافة المنخفضة كما في الشكل (c-22-2).

يحدث **النمط الرابع** في حالة الإطار البيتوني ذي المقاومة المنخفضة نسبياً بالنسبة لمقاومة الجدار فيحصل انهيار بشكل شق قطري (Diagonal Cracking Failure, DK) كما هو مبين في الشكل (d-22-2) ويميز عادة بنوعين مرتبطين بالمقاومة النسبية لكل من وحدات البلوك الإسمنتية والمونة الرابطة حيث يكون الانهييار على القص قطعياً بشكل متدرج ويتزامن مع كون مقاومة المونة الإسمنتية أضعف من مقاومة وحدات البلوك ويحصل بسبب التشققات التي تحصل في السطوح الفاصلة بين المونة الإسمنتية ووحدات البلوك، أما في حال كون مقاومة وحدات البلوك أضعف من مقاومة المونة الإسمنتية عندها تحصل الشقوق القطرية بشكل قطري مستمر في مادة وحدات البلوك.

النمط الخامس والأخير يعرف بانهييار الانعطاف لعقد الإطار (Frame Bending Failure, FF) ويحصل عندما يتزامن وجود مقاومة منخفضة لكل من الإطار البيتوني و الجدار معاً وهو موضح بالشكل (e-22-2).



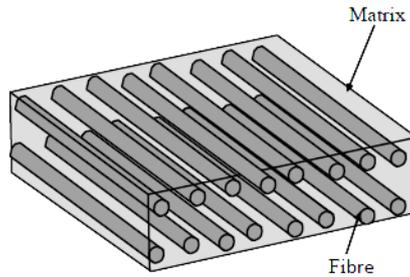
الشكل(22-2) أنماط انهيار الجملة الإطارية المملوءة بجدران الوحدات البلوك الإسمنتية (Sattar, 2013).

5.2 البوليميرات المسلحة بالألياف *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

1.5.2 مقدمة *Introduction*

تعتبر البوليميرات المسلحة بالألياف (Fiber Reinforced Polymer, FRP) من المواد المستعملة حديثاً في عمليات إعادة تأهيل المنشآت، وهي مادة مختلطة (Composite Material) تتكون من ألياف عالية المقاومة (High Strength Fiber) مرتبطة فيما بينها بوسط لاصق (Resin Matrix)، في حين يقوم الوسط اللاصق بضمان نقل القوى بين الألياف وحمايتها من العوامل المحيطة، فيما تقوم الألياف بتحمل القوى وتأمين القساوة اللازمة للمادة المختلطة (Batikha, 2008).

تختلف خواص مادة الـ FRP باختلاف خواص المواد الداخلة في تركيبها وتتأثر كثيراً بنوع الألياف المستخدمة واتجاه توزيعها وكثافتها، وتصنع بأشكال مختلفة كالمقاطع (Profiles) والقضبان (Bars) والشرائح (Laminates). وتصنف مادة الـ FRP حسب نوع مادة الألياف المستخدمة إلى ثلاثة أنواع: النوع الأول يسمى الـ GFRP عند تكون الألياف من الزجاج (Glass Fiber)، بينما يسمى النوع الثاني الـ AFRP نسبة إلى استخدام ألياف الأراميد (Armid Fiber)، في حين يسمى النوع الذي تستخدم فيه الألياف الكربونية (Carbon Fiber) بالـ CFRP (CEB-FIP, 2010). تم الاقتصار في الدراسة الحالية على استخدام الشرائح المصنوعة من البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية أحادية الاتجاه (Uni-directional CFRP Laminates) وهي من الأنواع الشائعة الاستخدام في تقوية جدران وحدات البلوك المختلفة ويبين الشكل (2-23) رسماً توضيحياً للمادة المذكورة.



الشكل (2-23) رسم توضيحي لشرائح الـ FRP أحادية الاتجاه (Obaidat, 2011).

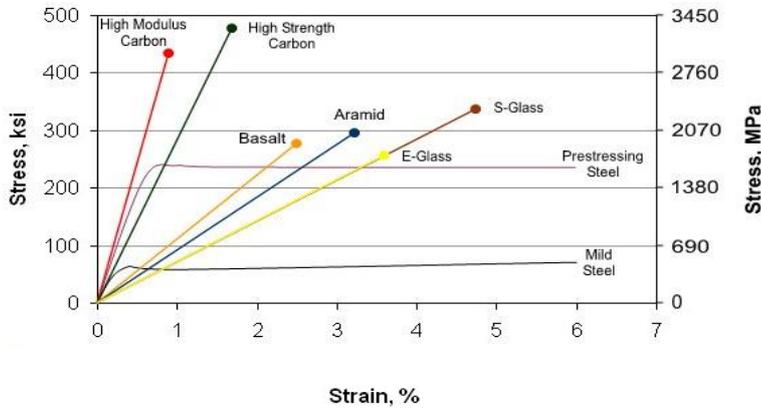
2.5.2 الخواص الميكانيكية لشرائح الـ FRP أحادية الاتجاه *Mechanical Properties of Uni-directional FRP Laminates*

باعتبار الحالة الإجهادية المستوية (Planar Stress State)، تعبر شرائح الـ CFRP أحادية الاتجاه بأنها مواد غير متجانسة الخواص في الاتجاهات الثلاثة للمادة (Orthotropic Material)، حيث يكون عمل المادة بشكل أساسي في اتجاه عمل الألياف فيما يؤدي اختلاف خواص الألياف والوسط الرابط إلى جعل المادة ككل تعمل بشكل مختلف في الاتجاهين المغايرين لاتجاه الألياف (Batikha, 2008). ويبين الجدول (2-6) بعض خواص الألياف المكونة للـ FRP.

تتميز مادة الـ FRP بسلوكها المرن الخطي حتى الانهيار، إضافة إلى مقاومتها العالية على الشد مقارنة مع الفولاذ والتي تختلف باختلاف نوع الألياف المستخدمة وكثافتها وطريقة توزعها ضمن المادة الرابطة. ويبين الشكل (2-24) مقارنة بين سلوك مادة الـ FRP باستخدام أنواع مختلفة من الألياف وكذلك مقارنتها مع تصرف فولاذ التسليح، والذي يتميز بوجود حد للخضوع.

الجدول (6-2) بعض خواص الـ FRP والماد المكونة لها (Batikha, 2008)

Fibre	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)	Strain to failure (%)	Density (t/m ³)	Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /C)
Carbon: High strength	4300-4900	230-240	1.9-2.1	1.8	-0.38
Carbon: High modulus	2740-5490	294-329	0.7-1.9	1.78-1.81	-0.83
Carbon: Ultra high modulus	2600-4020	540-640	0.4-0.8	1.91-2.12	-1.1
Aramid: High strength and high modulus	3200-3600	124-130	2.4	1.44	2.1
Glass	2400-3500	70-85	3.5-4.7	2.6	4.9



الشكل (24-2) سلوك مادة الـ FRP (CEB-FIP, 2010).

3.5.2 انهيار التماسك بين البيتون وشرائح الـ FRP Concrete - FRP Laminates Bond Failure

تستخدم العديد من المواد اللاصقة لتثبيت شرائح الـ FRP إلى سطوح المواد الأخرى مثل البيتون. أكثر المواد اللاصقة استخداماً هي الأكريليك (Acrylic) والايبوكسي (Epoxy) واليورثان (Urethane)، وينتج عن استخدام الايبوكسي مقاومة تماسك كبيرة ومقاومة كبيرة للحرارة، في حين أن استخدام الأكريليك يعطي مقاومة متوسطة للحرارة ومقاومة تماسك جيدة مع زمن قليل للمعالجة (Obaidat, 2011). يبين الجدول (7-2) خواص بعض المواد اللاصقة المستخدمة في تصنيع وتثبيت شرائح الـ FRP على السطوح المختلفة. يعتبر الايبوكسي من أكثر المواد اللاصقة استخداماً لتثبيت الشرائح كونه يجمع بين المقاومة العالية وتشوه الانهيار الكبير إضافة لمقاومته الجيدة للحرارة والأوساط الكيميائية والظروف المحيطية المختلفة (Batikha, 2008).

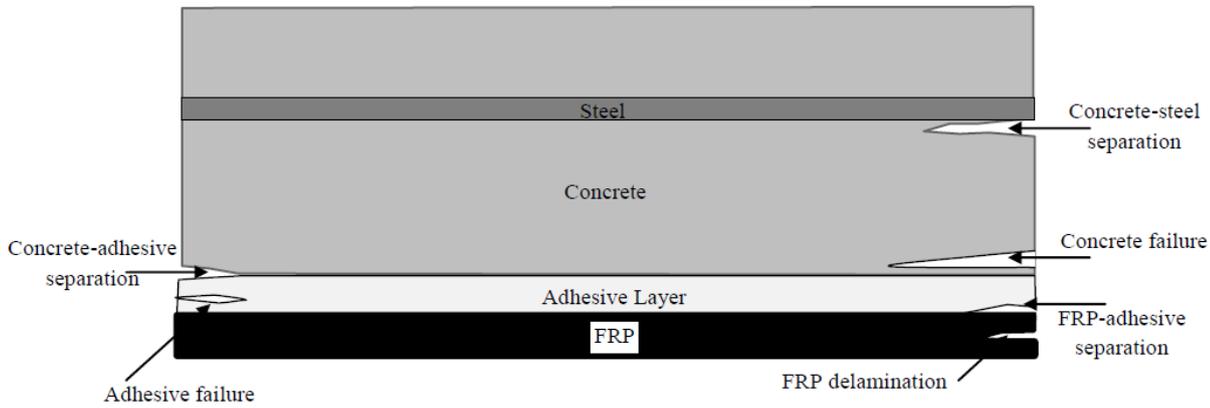
إن استخدام شرائح الـ FRP في رفع كفاءة العناصر الإنشائية المختلفة يرتبط بشكل كبير بفعالية التثبيت المستخدم وذلك لا بد من إيلاء عملية التثبيت العناية اللازمة، فلا بد من إعداد سطوح التماس (Interface Surfaces) قبل وضع المادة اللاصقة حيث يصار إلى صقل هذه السطوح وتأمين استوائيتها وتنظيفها بشكل جيد للتخلص من أية نتوءات أو تموجات أو مواد تؤدي إلى إضعاف التماسك (Obaidat, 2011).

إن انهيار التماسك يؤدي إلى انهيار العمل المشترك بين البيتون والشرائح ما يؤدي إلى خروجها عن العمل المطلوب، ويحصل انهيار التماسك في مستويات عدة موضحة بالشكل (25-2) حيث يمكن أن تنهار المادة نفسها فيحصل الانهيار في

مادة البيتون أو في المادة اللاصقة أو في مادة الـ FRP، أو أن يحصل الانهيار في سطوح التماس المختلفة بين المواد (Obaidat, 2011).

الجدول (7-2) بعض خواص المواد اللاصقة المستخدمة مع الـ FRP (Batikha, 2008)

Resin	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (GPa)	Strain to failure (%)	Density (t/m ³)	Poisson's ratio	Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /C)
Epoxy	60-85	2.6-3.8	1.5-8	1.11-1.2	0.3-0.4	30-70
Polyester	50-75	3.1-4.6	1-2.5	1.11-1.25	0.35-0.38	30-70
Phenolic	60-80	3-4	1-1.8	1-1.25	Not available	80
Polyurethane	15-25	0.5	10	1.15-1.2	0.4	40



الشكل (25-2) أنماط انهيار التماسك بين البيتون والـ FRP (Obaidat, 2011).

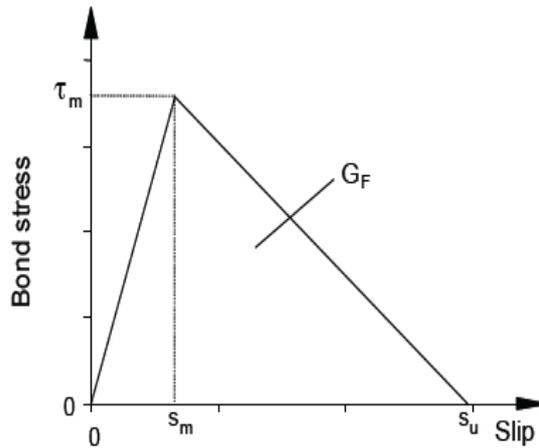
وبالتالي كان لا بد من إيجاد نموذج لمحاكاة انهيار التماسك بشكل دقيق حيث إن اعتماد التماسك التام (Perfect Bond) بين المادتين يؤدي إلى نتائج لا تعبر عن السلوك الصحيح للعنصر المركب حيث يؤدي فرض التماسك الكامل إلى قساوة أكبر للنموذج العددي وتصرف مغاير للتجربة في مرحلة ما بعد الوصول إلى المقاومة العظمى (شيخ الأرض، بطيخة 2014). تم في الدراسة الحالية اعتماد النموذج الموجود في (CEB-FIP, 2010)، والذي يعتمد على مفهوم طاقة الانهيار (Fracture Energy) G_f وعلاقة الإجهاد-الانتقال النسبي (Bond Stress - Slip) بين البيتون والـ FRP، حيث يبين الشكل (26-2) مخطط إجهاد التماسك - الانزلاق بين البيتون وشرائح الـ CFRP، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقال النسبي بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد التماسك الذي يزداد مع زيادة الانتقال وصولاً إلى إجهاد التماسك الأعظمي بين المادتين τ_m ، ومن بعدها يبدأ إجهاد التماسك بالتناقص حتى الوصول إلى انفصال المادتين عند انزلاق حدي S_u ، ويمكن حساب المخطط من تطبيق العلاقات (17-2) و (18-2):

$$\tau_o = \tau_m (s/s_m) \quad \text{for } 0 \leq s \leq s_m \quad (17-2)$$

$$\tau_o = \tau_m - \tau_m (s - s_m)/(s_u - s_m) \quad \text{for } s_m \leq s \leq s_u \quad (18-2)$$

حيث:

Maximum bond stress, in N/mm ²	إجهاد التماسك الأعظمي مقدراً بالـ N/mm ² .	τ_m
Slip at maximum Bond stress, in mm	الانزلاق النسبي الموافق لإجهاد التماسك الأعظمي مقدراً بالـ mm.	S_m
Slip at Failure, in mm	الانزلاق النسبي الأعظمي مقدراً بالـ mm.	S_u



الشكل (26-2) مخطط جهد التماسك - الانزلاق بين البيتون والـ FRP(CEB-FIP, 2010)

لتحديد قيم المتغيرات استخدمت المواصفة (CEB-FIP, 2001)، حيث تحدد قيمة الإجهاد الأعظمي من خلال العلاقة (19-2) كنسبة من إجهاد الشد للبيتون f_{ctm} ، بينما تحدد نفس المواصفة قيمة الانتقال النسبي الأعظمي S_u بـ 0.225mm

$$\tau_m = 1.8 f_{ctm} \quad (19-2)$$

لحساب قيمة الانتقال S_m الموافق للإجهاد الأعظمي لابد من حساب قيمة طاقة الانهيار G_f والتي تعطى في نفس المواصفة السابقة بالعلاقة (20-2):

$$G_f = 0.202 f_{ctm} \quad (20-2)$$

6.2 سلوك الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران وحدات البلوك الإسمنتية المدعمة بالـ FRP

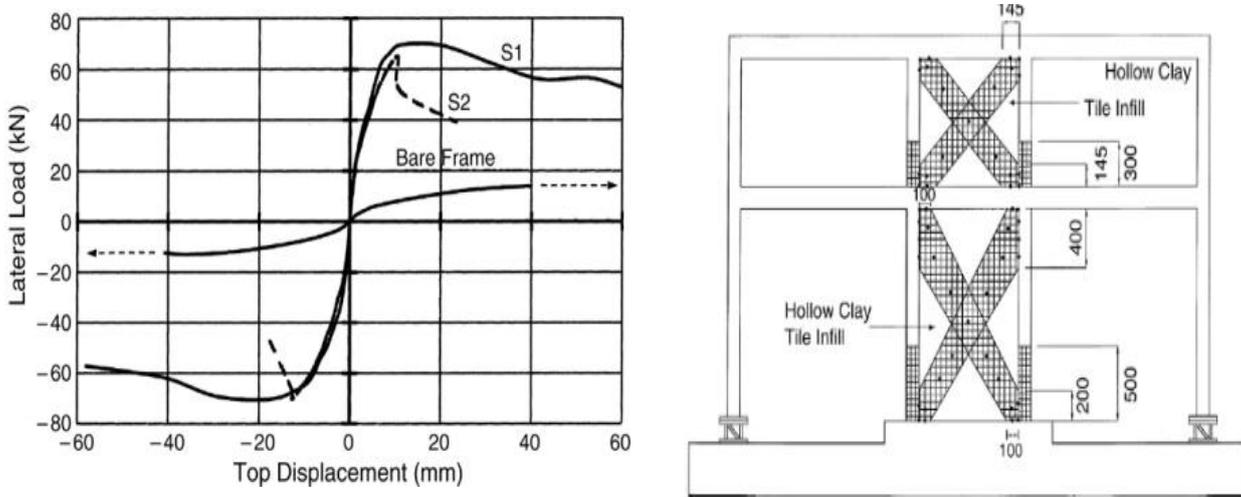
Behavior of URCM-infilled RC Frames strengthened by FRP

أثبتت الدراسات والأبحاث العديدة التي أجريت مؤخراً فعالية استخدام مادة الـ FRP بأشكالها وأنواعها المتعددة لتقوية الجدران لمقاومة الأحمال المختلفة، فقد تناولت بعض الأبحاث رفع كفاءة الجدران لمقاومة الأحمال المتعامدة مع سطح الجدران لمنع انهيار الجدران خارج مستوياتها، فيما تعرضت أخرى لتقوية الجدران لمقاومة الأحمال الجانبية في مستوياتها، ولم تقتصر الدراسات والأبحاث على ذلك بل تطرقت لتقوية الجدران لمقاومة الأحمال الخاصة كأحمال التفجيرات وغيرها. وسيتم فيما يلي عرض بعض الدراسات والأبحاث المتوافقة مع موضوع الدراسة الحالية حول رفع كفاءة الجدران على الأحمال الجانبية في مستوياتها باستخدام الـ FRP.

1.6.2 دراسة (Erdem et al., 2006)

قام الباحثون بإجراء دراسة تجريبية على إطار بيتوني مؤلف من ثلاث فتحات وطابقين، حيث تم بناء نموذج مصغر بنسبة الثلث، وقد تمت تقوية الإطار بطريقتين: الأولى كانت بإضافة جدار من البيتون المسلح ضمن الفتحة الوسطية، والثانية بإضافة جدار من البلوك مع تقويته باستخدام شرائح الـ FRP بشكل قطري كما هو مبين بالشكل (a-27-2).

تمت دراسة أثر إضافة كل من الجدارين على سلوك الجملة الإطارية، حيث يبين الشكل (b-27-2) أن مساهمة الجدران التي تتمتع بمقاومة على الضغط مقدارها 2.6MPa بعد تقويتها بألياف الـ FPR قارباً قد يصل إلى قيم قريبة من مساهمة جدران القص البيتونية التي تتمتع بمقاومة اسطوانية على الضغط مقدارها 32.2MPa فيما لو استخدمت الأخيرة لزيادة كفاءة الإطارات المعرضة للأحمال الأفقية في مستوياتها، وقد أدت الطريقتان إلى رفع كفاءة الإطارات خمس مرات عنها بدون تقوية إلا أن جدران القص أعطت مطاوعة (Ductility) أكبر وذلك بسبب الانفصال المفاجئ لشرائح الـ FRP.



a. الإطار المقوى بجدار بلوك مع شرائح الـ CFRPb. نتائج الدراسة التجريبية

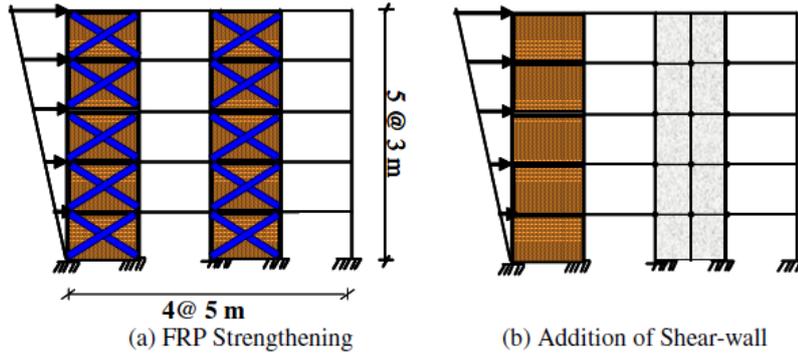
Bare Frame: إطار غير مملوء، S1: إطار مملوء مدعم بجدار بيتون مسلح، S2: إطار مملوء بجدار مقوى بالـ CFRP

الشكل (27-2) فعالية الطرائق مختلفة لزيادة قساوة الإطارات (Erdem, 2006)

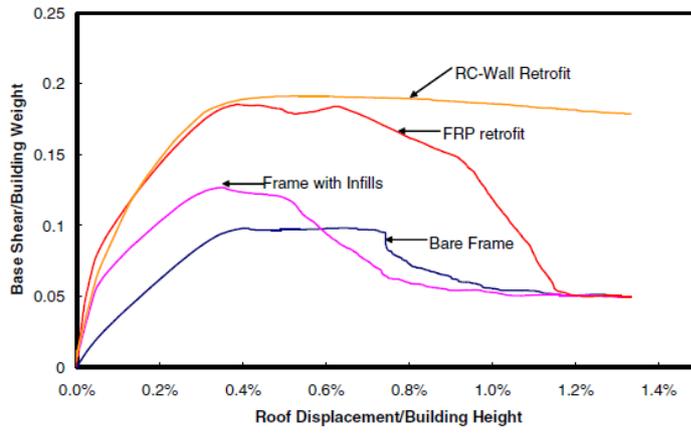
2.6.2 دراسة (Binici and Ozcebe, 2006)

أجريت هذه الدراسة التجريبية للحصول على فاعلية استخدام شرائح الـ FRP في تقوية الجدران المصنوعة من الآجر والمالئة للإطارات البيتونية في المباني ومقارنة استخدام هذه الطريقة مع الطريقة التقليدية المتبعة باستخدام جدار قص من البيتون المسلح (الشكل 2-28)، حيث تمت إضافة جدار قص من البيتون المسلح يتمتع بمقاومة اسطوانية على الضغط مقدارها 10.0MPa، ومن ثم إضافة جدران مالئة من الآجر والذي يتمتع بمقاومة على الضغط مقدارها 2.0MPa بعد تقويتها قطرياً بشرائح مصنوعة من ألياف الـ FPR.

يبين الشكل (29-2) نتائج الدراسة ويبدو جلياً بأن مساهمة الجدران المالئة والمقواة بالـ FRP تصل لقيم قريبة جداً من مساهمة جدران القص وترفع كفاءة الإطارات بنسبة تصل إلى 200%، إلا أنه لوحظ أن مطاوعة الجملة في حالة جدران الآجر المقواة أقل بسبب انهيار التماسك المفاجئ الذي يحصل في شرائح الـ FRP.



الشكل (28-2) طرق التقوية المستخدمة في الدراسة التجريبية (Binici and Ozcebe, 2006).



الشكل (29-2) النتائج التحليلية للحالات المدروسة في الدراسة التجريبية (Binici and Ozcebe, 2006).

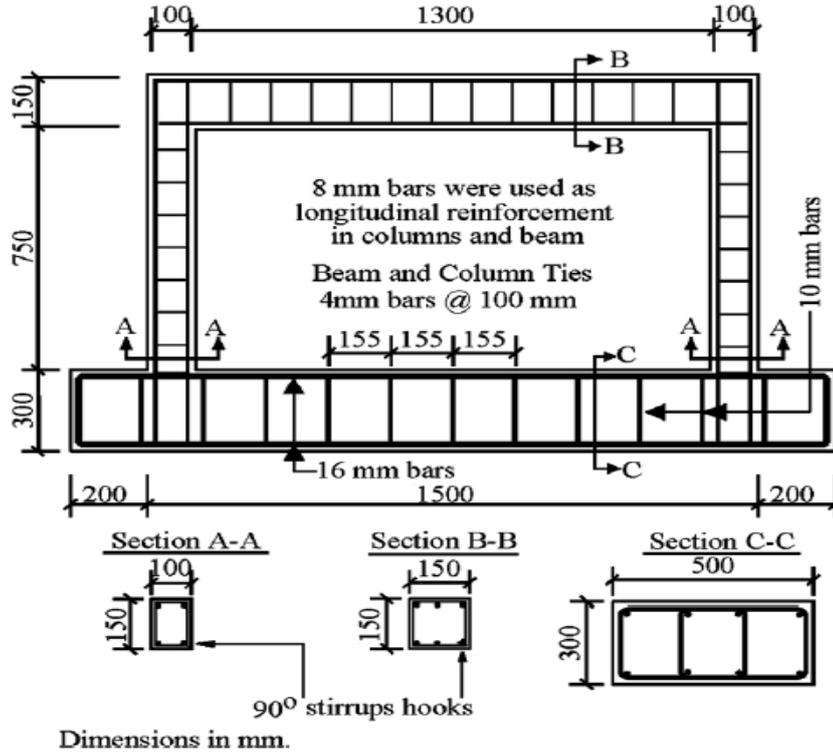
3.6.2 دراسة (Altin et al., 2008)

دراسة تجريبية أُجريت للتحقق من تصرف الإطارات البيتونية المملوءة بجدران مصنوعة من وحدات الأجر ومدعمة قطرياً بشرائح الـ CFRP تحت تأثير الأحمال الدورية (Cyclic Loads). النموذج هو إطار بيتوني من فتحة واحدة وطابق واحد، وقد تم بناء عدد من النماذج المصغرة بنسبة تصغير مقدرها 3/1 مقارنة مع الأبعاد الواقعية للنموذج (1/3 scaled specimens).

يبين الشكل (30-2) أبعاد وتسليح النموذج المعتمد في الدراسة حيث بلغت نسبة الواجهة للجدار (Aspect Ratio) القيمة 0.58. وقد تم ملء الإطار البيتوني المسلح بجدار من الأجر المثقب (Perforated Brick) وتدعيمه قطرياً بشرائح من الـ CFRP بشكل متناظر على أحد وجهي الجدار أو على الوجهين معاً.

تم إنشاء الإطار البيتوني المسلح من البيتون منخفض المقاومة ليحاكي الأبنية الموجودة في المناطق قيد الدراسة، وقد بلغت المقاومة المتوسطة للبيتون المستخدم 17.5MPa ومعامل مرونة البيتون 30GPa. وحدات الأجر المستخدمة مصغرة الأبعاد بمقدار الثلث بمقاومة على الضغط بلغت 6.6MPa محسوبة نسبة للسطح الكلي لوحدة الأجر، بينما بلغ معامل مرونة وحدات الأجر 3629MPa. المونة المستخدمة لبناء الجدار مصنوعة بنسب مواد وقيم مقاومة على الضغط مبينة في الجدول (6-2) وبمقاومة وسطية على الضغط بلغت 3.8MPa. شرائح الـ CFRP المستخدمة بسماكة 0.12mm، مقاومتها على الشد بلغت 4100MPa، بينما بلغ معامل مرونتها 231GPa، التشوه الأعظمي عند الانهيار بلغ 1.7%. تم تثبيت الشرائح على سطح الجدار باستخدام الإيبوكسي بمقاومة شد 30MPa ومعامل مرونة 2800MPa، ولضمان التثبيت

الكامل مع كل من الجدار والإطار البيتوني تمت إضافة أسافين تثبيت (anchorages) بتفاصيل مبينة بالشكل (31-2) عن طريق عمل ثقوب في كل من الجدار والإطار البيتوني وملئها بقصاصات من بال CFRP وتثبيتها باستخدام الإيبوكسي. تم بناء تسعة نماذج مدعمة بشرائح الـ CFRP وتم تغيير عرض الشرائح لتكون 400-300-200mm، ولكل عرض تم إنشاء ثلاثة نماذج وذلك بتدعيم الوجه الداخلي للجدار فقط أو الوجه الخارجي فقط أو الوجهين معاً. ترتيبات التدعيم المستخدمة مبينة بالشكل (32-2) بينما يبين الجدول (8-2) تفاصيل تسمية النماذج المختلفة.

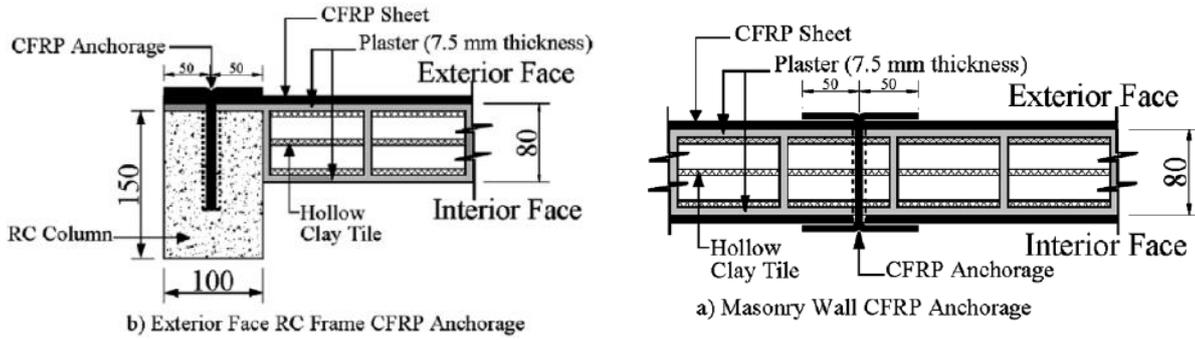


الشكل (30-2) أبعاد وتفاصيل النموذج (Altin et al., 2008).

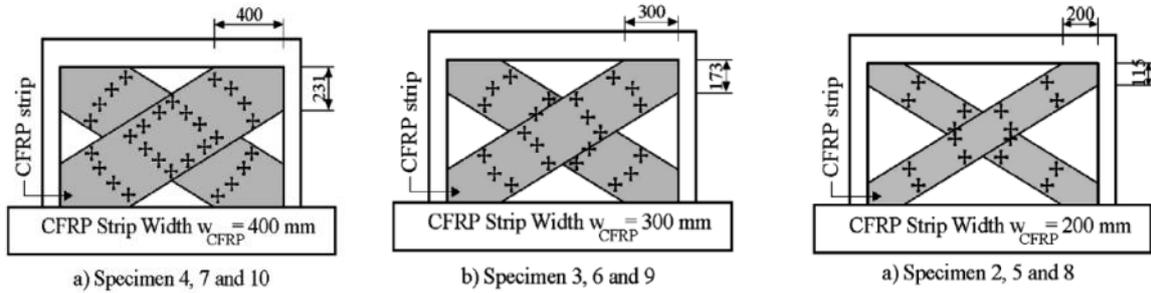
الجدول (8-2) خواص المواد المستخدمة في النموذج (Altin et al., 2008)

Specimen no.	Frame f_c (MPa)	Mortar plaster f_c (MPa)	CFRP strip	
			Width (mm)	Application
1	17.3	4.0	Reference specimen with masonry wall	
2	18.0	3.8	200 – 13	Both sides of masonry wall
3	16.8	4.2	300 – 20	wall
4	17.1	3.7	400 – 27	
5	18.2	3.6	200 – 13	Interior side of the masonry wall
6	17.8	4.1	300 – 20	
7	17.7	3.9	400 – 27	
8	17.0	3.8	200 – 13	Exterior side of the masonry wall
9	17.5	3.5	300 – 20	
10	17.6	3.7	400 – 27	

^a Ratio: (width of CFRP × 100)/diagonal length of masonry infill wall.



الشكل (31-2) تفاصيل أسافين تثبيت الـ CFRP (Altin et al., 2008).



3. التدعيم بشرائح 400mm

2. التدعيم بشرائح 300mm

1. التدعيم بشرائح 200mm

الشكل (32-2) ترتيبات تدعيم الجدار (Altin et al., 2008).

يبين الجدول (9-2) ملخص نتائج الدراسة، حيث وجد أن تدعيم وجهي الجدار معاً أدى إلى زيادة نسبة المقاومة الجانبية للجملة المدعمة إلى مقاومة الجدار المرجع دون تدعيم، حيث تراوحت بين 2.18 و 2.61 لشرائح بعرض بين 200mm و 400mm على الترتيب. كانت فعالية التدعيم أقل عند وضع الشرائح على وجه واحد للجدار حيث تراوحت بين 1.57 و 1.85، وكانت النسب متقاربة سواء تم التدعيم للوجه الداخلي أو الوجه الخارجي كل على حدة. وهذا يثبت فعالية استخدام شرائح الـ CFRP لتدعيم الإطارات المملوءة بالجدران، وخاصة أن هذه الطريقة لا تحتاج لإفراغ المبنى من ساكنيه ولا تسبب إعاقة حركتهم داخل المبنى أثناء عملية التدعيم.

الجدول (9-2) ملخص نتائج الدراسة (Altin et al., 2008)

Specimen no.	Ultimate load (kN)		Ratio ^a	Drift ratio at ultimate load (%)	Initial stiffness (kN/mm)	Ratio ^b
	Push	Pull				
1 (reference)	76.7	-67.4	1.00	0.40	50.00	1.00
2	167.0	-161.0	2.18	0.57	200.00	4.00
3	187.2	-183.3	2.44	0.80	300.00	6.00
4	200.4	-199.6	2.61	0.82	320.00	6.40
5	114.0	-120.7	1.57	0.55	190.48	3.81
6	131.5	-136.9	1.78	0.50	250.00	5.00
7	139.5	-140.6	1.83	0.61	265.00	5.30
8	118.3	-111.0	1.54	0.50	196.22	3.92
9	131.0	-127.0	1.71	0.52	266.67	5.33
10	142.1	-136.6	1.85	0.58	285.00	5.70

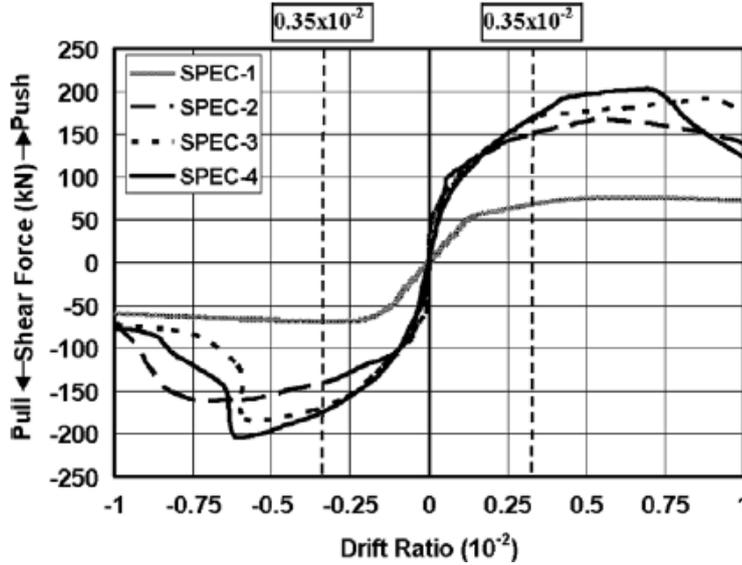
^a Ratio of ultimate load of strengthened infilled frame to ultimate load of reference specimen.

^b Ratio of initial stiffness of strengthened infilled frame to that of the reference specimen; initial stiffness was calculated as using first push half cycles.

الشكل (33-2) يُظهر نتائج التدعيم للعينات 4-3-2 المدعمة بشرائح بعرض 400-300-200mm على الترتيب على وجهي الجدار معاً، حيث يبين الشكل مغلفات الحلقات الهستيرية لكل من الحالات 4-3-2 مع مغلف الحلقات الهستيرية للجدار المرجع دون تدعيم، ويمكن من الشكل التثبيت من زيادة فعالية التدعيم مع زيادة عرض الشرائح حيث بلغت الفعالية القيم 118% - 144% - 161% لعرض شرائح 400mm - 300mm - 200mm على الترتيب نسبة إلى الجملة دون

تدعيم. إن النسب السابقة تؤكد تأثير عرض شرائح الـ CFRP عند زيادتها من $0.13d_w$ عند شرائح بعرض 200mm (حيث d_w هو البعد القطري للجدار) إلى $0.2d_w$ عند شرائح بعرض 300mm ومن ثم إلى $0.27d_w$ عند شرائح بعرض 400mm.

لا تتوقف فعالية التدعيم بالشرائح عند زيادة المقاومة الجانبية للجملة وإنما تتعدها لزيادة القساوة الجانبية للجملة، والتي زادت بمقدار يتراوح بين 4-6 مرات متأثرة بعرض الشرائح أيضاً كما هو مبين بالجدول (7-2).



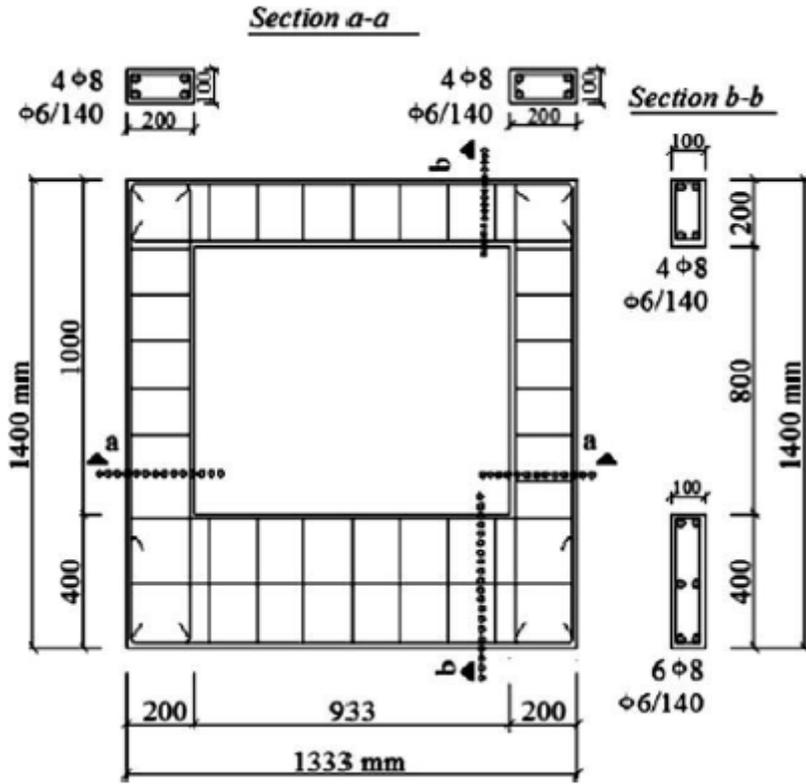
الشكل (33-2) مغلفات الحلقات الهستيرية لحالة تدعيم وجهي الجدار (Altin et al., 2008).

4.6.2 دراسة (Yuksel et al., 2010)

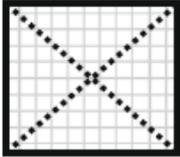
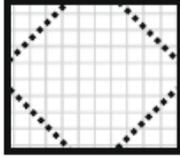
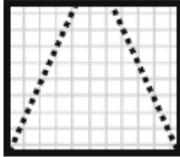
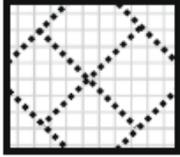
أجريت الدراسة التجريبية على إطارات بيتونية من فتحة واحدة وطابق واحد، الإطارات مملوءة بجدران مصنوعة من وحدات الأجر المفرغ ومدعمة بأشكال مختلفة بشرائح الـ CFRP، أبعاد النموذج التجريبي مصغرة بنسبة الثلث مقارنة مع الأبعاد الواقعية للنموذج، وقد تم تطبيق أحمال دورية شبيهة بالاستاتيكية (Quasi-static) على النماذج. أبعاد وتسليح النموذج المستخدم في الدراسة مبينة بالشكل (34-2)، الهدف من الدراسة مقارنة سلوك الجملة المدعمة باستخدام أشكال متعددة لتثبيت الشرائح على الجدار مبينة بالشكل (35-2).

استخدم لإنشاء النموذج البيتون بمقاومة اسمية على الضغط بعد 28 يوم مقدرة بـ 19MPa. وقد بلغ حد السيولان لفولاذ التسليح المستخدم للتسليح الطولي 420MPa، لإنشاء الجدار تم تصنيع وحدات مصغرة من الأجر المفرغ مصغرة بمقدار الثلث ولمعرفة مقاومة الجدار تم اختبار نماذج من الجدار بأبعاد 500x500mm حيث بلغت مقاومة الجدار على الضغط 4.85MPa. تم تدعيم النماذج باستخدام شرائح الـ CFRP أحادية الاتجاه، معامل مرونة الشرائح 230GPa ومقاومتها على الشد بلغت 3900MPa، كما بلغت الاستطالة الأعظمية عند الانقطاع 1.5%.

الشكل (36-2) يبين مغلفات الحلقات الهستيرية لكل حالة وقد أعطيت نتائج الدراسة رقمياً في الجدول (10-2)، حيث يظهر أن طريقة التدعيم المسماة (Cross diamond-braced) أعطت أكبر فعالية للتدعيم مقارنة بالطرق الأخرى حيث وصلت قيم القص القاعدي لهذه الطريقة إلى 203kN مقارنة مع 61.4kN للإطار البيتوني الفارغ (Bare Frame) و119.9kN للإطار المملوء بجدار (Infilled Fame) أي بفعالية بلغت 230% و69% على الترتيب.



الشكل (34-2) أبعاد وتسليح النموذج (Yuksel et al., 2010).

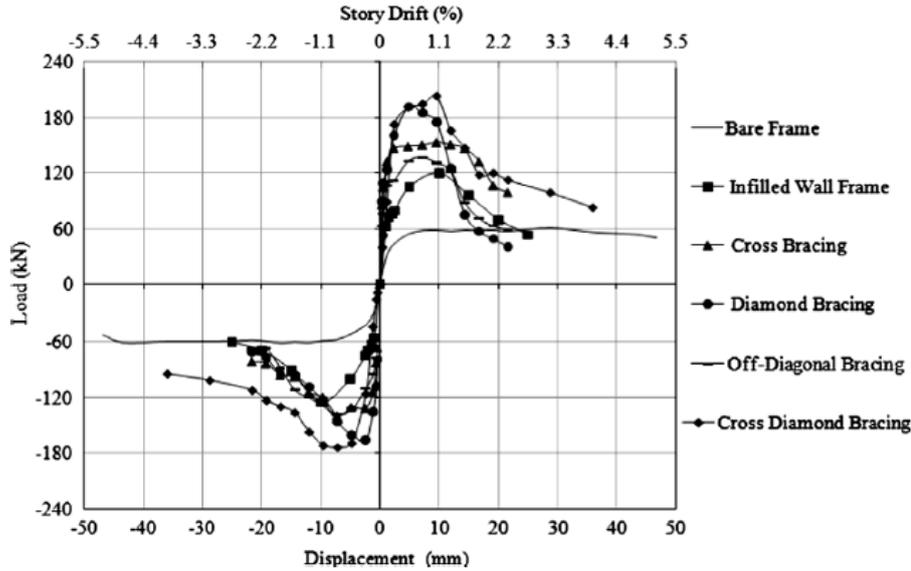
			
<i>Cross-braced</i>	<i>Diamond-braced</i>	<i>Off-diagonal-braced</i>	<i>Cross diamond-braced</i>

الشكل (35-2) الأشكال المختلفة للتدعيم (Yuksel et al., 2010).

أعطت الطرق الأخرى المستخدمة فعالية أقل حيث حلت الطريقة المسماة بـ (Diamond-braced frame) المرتبة الثانية ثم الطريقة (Cross-braced Frame) فيما أعطت الطريقة (off-diagonal-braced frame) أقل فعالية. حيث بلغت قيم فعالية التدعيم مقارنة مع الإطار الفارغ دون جدار القيم 211%، 149%، 123% على الترتيب، بينما بلغت قيم فعالية التدعيم مقارنة مع الإطار المملوء بجدار القيم 59%، 28%، 14% على الترتيب.

الجدول (10-2) ملخص نتائج الدراسة (Yuksel et al., 2010)

Specimen	Push (kN)	Pull (kN)
<i>Bare frame</i>	61.4	-62.2
<i>Infilled frame</i>	119.9	-126.0
<i>Cross-braced frame</i>	153.0	-139.9
<i>Diamond-braced frame</i>	191.8	-166.2
<i>Off-diagonal-braced frame</i>	137.0	-138.0
<i>Cross diamond-braced frame</i>	203.0	172.0



الشكل (2-36) نتائج الدراسة (Yuksel et al., 2010).

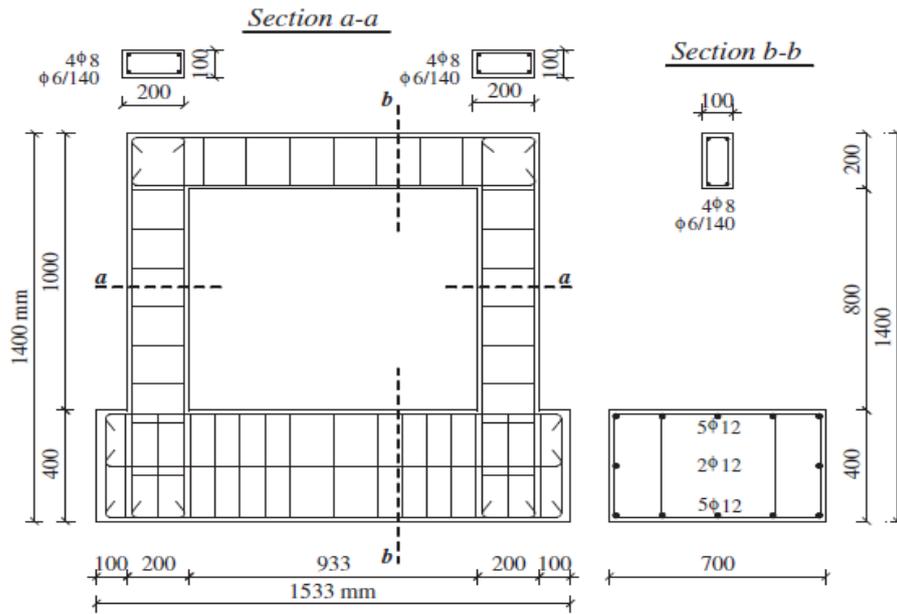
5.6.2 دراسة (Ozkaynak et al., 2011)

قام الباحثون بإجراء دراسة تجريبية لزيادة فعالية التدعيم للجمل الإطارية المملوءة بجدران باستخدام شرائح الـ CFRP تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها. لانجاز الدراسة تم بناء 12 نموذجاً مصغراً بنسبة الثلث وحيد الطابق ومؤلف من فتحة واحدة بالأبعاد والتسليح المبين بالشكل (2-37)، بينما يبين الشكل (2-38) ترتيبات التجربة حيث تم تطبيق انتقالات دورية (Cyclic loads) مبينة بالشكل (2-39) في مستوى جانز الإطار بعد أن تم تثبيت الإطار بشكل كامل عند مستوى الأساس.

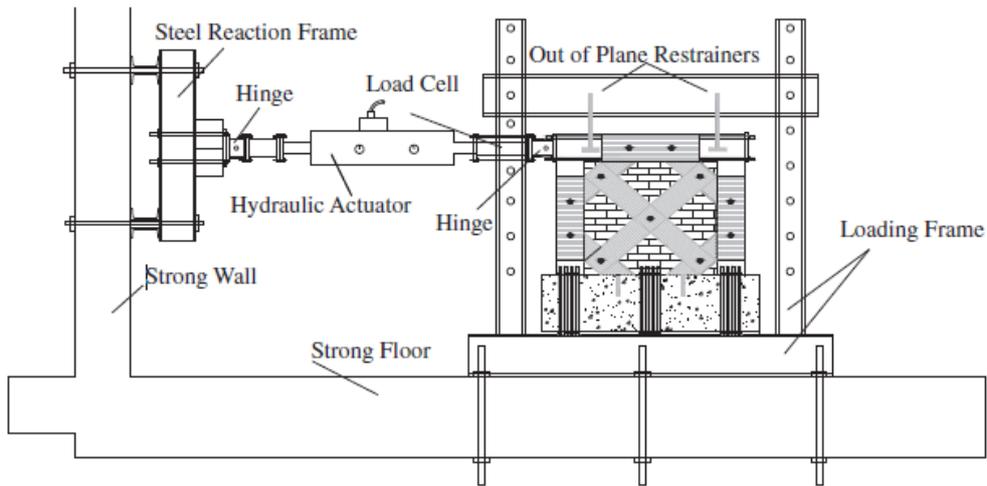
تم إنجاز الدراسة على أربعة مراحل، حيث تضمنت المرحلة الأولى (الشكل 3-40-a) دراسة الإطار البيتوني دون ملئه بجدار (Bare Frame) (النموذج a)، ومن ثم تم إنشاء نماذج جديدة لإطار مملوء بجدار (infilled Frame) من الأجر المفرغ (النموذج b) مبين بالشكل (3-40-b)، في المرحلة التالية أنجزت بناء نماذج جديدة لإطارات مملوءة وتدعيمها بطريقتين مختلفتين (النموذج c) و(النموذج d) كما هو مبين بالشكلين (3-40-c) و (3-40-d).

بلغت المقاومة الاسطوانية المتوسطة للبيتون المستخدم في بناء النماذج 19MPa، فيما بلغ حد السيلاان لقضبان التسليح المستخدمة 420MPa. تم استخدام وحدات من الأجر المفرغ بأبعاد مصغرة بنسبة الثلث لملء الإطارات البيتونية وقد بلغت مقاومة الجدار على الضغط 5.0MPa لعينات بأبعاد 350x350x70mm، بينما وصلت المقاومة على القص إلى 0.95MPa. تم استخدام شرائح الـ CFRP بعرض 150mm في عملية التدعيم، الشرائح المستخدمة أحادية الاتجاه (Uni-directional Laminates) بسماكة 0.17mm وقد بلغت مقاومتها الحديدية على الشد 3900MPa ومعامل مرونتها 230GPa واستطالتها الحديدية عند الانهيار 1.5%.

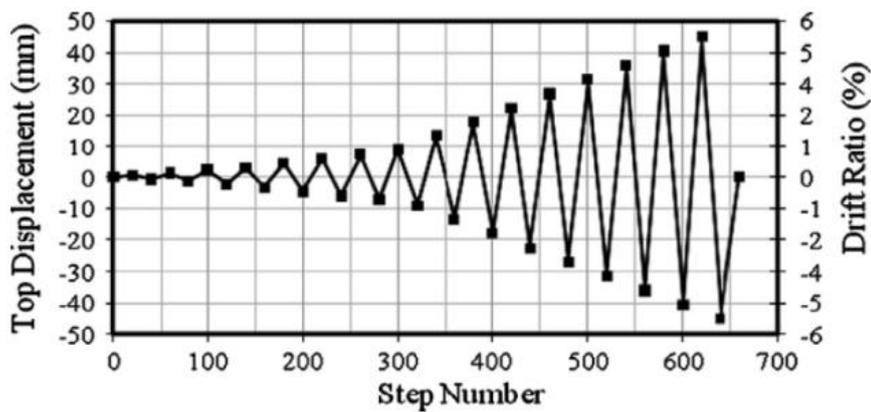
بلغت قيم قوة القص القاعدي الحديدية لنموذج الإطار البيتوني دون جدار (النموذج a) 41.56kN موضحة من خلال الشكل (2-41-a) الذي يبين مغلفات الحلقات الهستيرية للنموذج المذكور حيث يمثل المحور الأفقي الانتقال عند أعلى الإطار بينما يمثل المحور الشاقولي قيمة القص القاعدي المسجلة عند كل انتقال. في المرحلة الثانية من الدراسة أدت إضافة الجدار (النموذج b) إلى رفع قيمة القص القاعدي الحديدية إلى 91.8kN، يبين بالشكل (2-41-b) مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج b ويتضح أن إضافة الجدار أدت إلى رفع قيمة القص القاعدي للجمل بنسبة 120% مقارنة مع النموذج a وهذا ما أكد على أهمية أخذ أثر الجدران بعين الاعتبار لرفع كفاءة الجمل الإطارية.



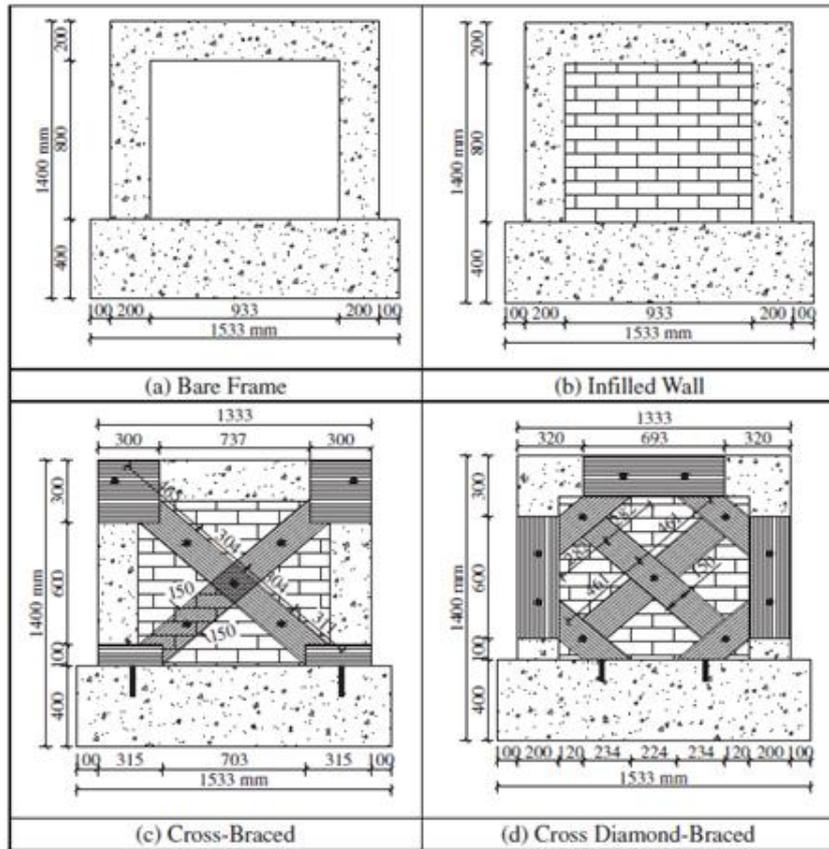
الشكل (2-37) أبعاد وتسليح الإطار البيتوني المسلح (Ozkaynak et al., 2011).



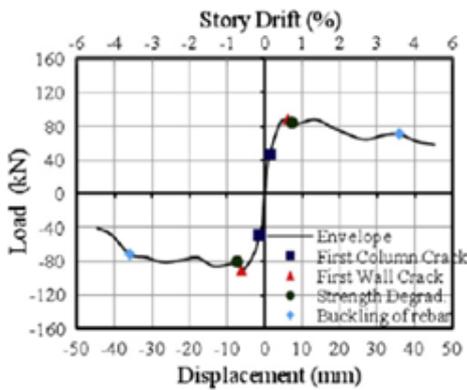
الشكل (2-38) ترتيبات التجربة (Ozkaynak et al., 2011).



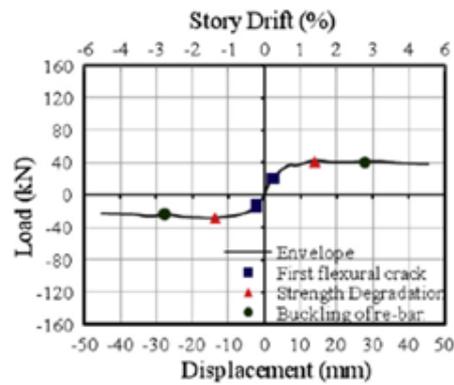
الشكل (2-39) الانتقالات الدورية المطبقة (Ozkaynak et al., 2011).



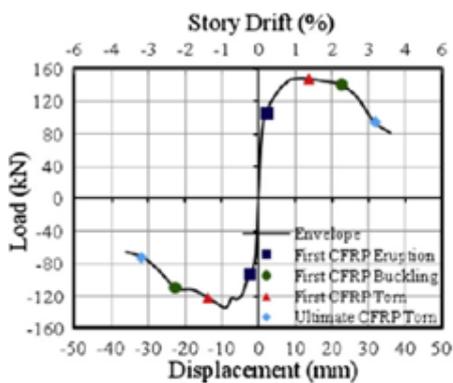
الشكل (2-40) مراحل إجراء التجارب (Ozkaynak et al., 2011).



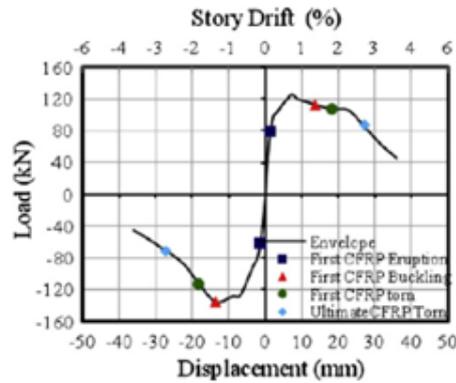
b. مغلف الحلقات الهستيرية (النموذج b)



a. مغلف الحلقات الهستيرية (النموذج a)



d. مغلف الحلقات الهستيرية (النموذج d)



c. مغلف الحلقات الهستيرية (النموذج c)

الشكل (2-41) مغلفات الحلقات الهستيرية للنماذج الأربعة (Ozkaynak et al., 2011).

مغلف الحلقات الهستيرية للنموذج c المملوء بجدار مدعم بالشرائح مبين في الشكل (c-41-2)، ويظهر من خلاله ارتفاع قيمة القص القاعدي الحدية عما كانت عليه في (النموذج b)، حيث بلغت 133.17kN وبالتالي أدت إلى زيادة فعالية الجملة بمقدار 45% مقارنة مع النموذج b، بينما تصل الفعالية إلى 220% مقارنة مع النموذج a. أعطت طريقة التدعيم في النموذج d القيمة الأكبر للقص القاعدي الحدي مقارنة ببقية النماذج حيث بلغت 150kN وهذا يعطي أفضلية لإتباع هذه الطريقة في التدعيم. ويبين الشكل (d-41-2) مغلفات الحلقات الهستيرية ويظهر من خلاله فعالية النموذج الجديد والتي بلغت 63% مقارنة مع النموذج b، بينما تصل الفعالية إلى 260% مقارنة مع النموذج a.

7.2 نتيجة الفصل الثاني

Chapter 02 Conclusion

تم من خلال هذا الفصل إجراء مراجعة بحثية لمواضيع ذات صلة بالدراسة الحالية، حيث تم استعراض الخواص الميكانيكية المختلفة للمواد المشكلة للإطارات البيتونية المسلحة كالبيتون وفولاذ التسليح والعمل المشترك للمادتين معاً. وتم التطرق للخواص الميكانيكية لجدران وحدات البلوك الإسمنتية والمواد التي تشكلها من مونة إسمنتية ووحدات بلوك إسمنتية وتم توضيح كيفية تصرف هذه الجدران وأنماط انهيارها المختلفة.

كما تم استعراض العديد من الأبحاث والدراسات السابقة التي تناولت أثر إدخال مقاومة الجدران لرفع مقاومة الإطارات البيتونية المسلحة تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها، بالإضافة إلى فعالية استخدام شرائح الـ FRP في رفع مقاومة الجدران وبالتالي الإطارات الممتلئة بها.

كل ماسبق سلط الضوء على أهمية استخدام شرائح الـ FRP في رفع مقاومة الإطارات المملوءة بجدران نظراً لفعالية الجملة الجديدة ومزاياها المتعددة من خفة الوزن وسهولة التنفيذ وإمكانية التنفيذ دون حاجة لإخلاء المباني وبالتالي تقليل الإزعاج للسكان القاطنين.

إلا أن الدراسات والأبحاث رغم تطرقها لأثر تغيير خواص الخواص الميكانيكية للجدران على مقاومة الجملة الإطارية، لم تتطرق إلى تأثيرها على فعالية شرائح الـ FRP في رفع مقاومة الجملة المدعمة. لذلك سيتم فيما يلي دراسة هذا الأثر عن طريق دراسة تحليلية باستخدام برامج التحليل الإنشائي، وذلك بإجراء محاكاة لنموذج تجريبي من بحث سابق ومحاولة إيجاد أثر تغير المواصفات الميكانيكية لجدران البلوك الإسمنتي على فعالية استخدام شرائح الـ CFRP في تقوية الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران البلوك الإسمنتي تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها.

الفصل الثالث

Chapter 03

التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة *Structural Analysis using Finite Element Method (FEM)*

1.3 مقدمة

Introduction

يتضمن هذا الفصل عملية بناء نموذج عددي (Numerical Model) يحاكي الدراسة التجريبية التي قام الباحثون (Ozkaynak et al., 2011) والتي سبق ذكرها في الفقرة (5.6.2)، وأجريت على إطارات بيتونية مسلحة مملوءة بجدران مقواة بشرائح الـ CFRP تحت تأثير الأحمال الجانبية المطبقة في مستوي الإطار.

تم في هذا الفصل استخدام برنامج التحليل الإنشائي (ABAQUS, V6.12-1) واعتماد طريقة العناصر المحدودة (FEM)، حيث مرت عملية بناء النموذج العددي بعدة خطوات تبدأ باختيار أبعاد ومقاطع النموذج ومن ثم اختيار العناصر المحدودة المناسبة لكل عنصر من عناصر الجملة. الخطوة التالية تتضمن اختيار الطرق المناسبة لنمذجة تصرف المواد المشكلة للنموذج ومن ثم ربط العناصر المختلفة لتأمين الترابط والعمل المشترك فيما بينها، بعدها تم اختيار الشروط المحيطية المناسبة لمحاكاة النموذج التجريبي وإجراء عملية التحليل واستخراج النتائج. ومن ثم تمت دراسة أثر تقارب الشبكة (Mesh Convergence) لتحديد الأبعاد الأمثلية للعناصر والتي تجمع دقة النتائج والاقتصادية في زمن التحليل. وللتأكد من جودة النموذج ونتائجه لابد من مقارنة النتائج مع نتائج النموذج التجريبي المعتمد.

تم تقسيم عملية بناء النموذج إلى ثلاث مراحل: **المرحلة الأولى** هي بناء الإطار البيتوني المسلح بدون وجود جدار (Bare Frame, F_0)، في **المرحلة الثانية** تم ملء الإطار البيتوني المسلح بجدار (Infilled Frame, F_w)، بعدها تم في **المرحلة الثالثة** تقوية الجملة بإضافة شرائح الـ CFRP (Strengthened Infilled Frame, $F_{w,FRP}$).

2.3 البرنامج الإنشائي المستخدم

Structural Analysis Software

تم خلال الدراسة العددية استخدام برنامج التحليل الإنشائي (ABAQUS, V6.12-1) الذي يعتمد بشكل أساسي طريقة العناصر المحدودة (FEM). يتميز ABAQUS بامتلاكه مكتبة واسعة من العناصر المختلفة (Elements) والمواد (Materials) مع إمكانية نمذجة تصرف المواد في المراحل الإجهادية المختلفة، إضافة لامتلاكه طرقاً عديدة ومتقدمة لربط العناصر المختلفة (Element Interfaces and Contacts). يمكن من خلال البرنامج إجراء تحليل خطي (Linear Analysis) أو لاخطي (Non-Linear Analysis)، مع إمكانية أخذ لاختية المادة بعين الاعتبار أثناء التحليل (Material Non-linearity).

3.3 النماذج البنيوية للمواد Materials Constitutive Models

يمتلك برنامج التحليل الإنشائي (ABAQUS V6.12-1, 2012) العديد من النماذج البنيوية (Constitutive Models) التي تحاكي تصرف المواد الإنشائية المختلفة مثل المواد التي تجمع التصرف اللامرن (Inelastic behavior) واللاخطي (Non-Linear behavior) والانهيار الشبيه بالهش (Quasi-Brittle Failure) كالبيتون وجدران البلوك، والمواد ذات التصرف المرن-اللدن (Elasto-Plastic behavior) كالفولاذ، والمواد ذات التصرف المرن التام (Fully Elastic behavior) حتى الانهيار كال-FRP. تأخذ هذه النماذج بعين الاعتبار تغير تصرف المادة في الحالات الإجهادية المختلفة وتراكيبها المحتملة وكذلك تغير الحالة الإجهادية من حالة إلى أخرى مثل تغير تصرف المادة من حالة الضغط إلى حالة الشد أو بالعكس وصولاً إلى محاكاة انهيار المادة بشكل دقيق كانهيار المواد الهشة بسبب تشكل الشقوق (Cracking) في حالة الشد أو تحطم المادة (Crushing) في حالة الضغط.

1.3.3 النموذج البنيوي للبيتون Concrete Constitutive Models

تضم مكتبة ال- (ABAQUS V6.12-1, 2012) ثلاثة نماذج تحاكي تصرف المواد ذات الانهيار الشبيه بالهش كالبيتون:

النموذج الأول: هو نموذج (Smearred Crack Model) الذي يفترض تشكل الشق عند تجاوز الإجهاد الرئيسي على الشد لمقاومة البيتون على الشد عندها يعتبر معامل مرونة المادة مساوياً للصفر في الاتجاه الموازي لإجهادات الشد الرئيسية، ويعتبر استخدام هذا النموذج مثالياً في حالات تعرض البيتون لحالة إجهادية باتجاه واحد (Monotonic Straining) أي في حال انهيار البيتون إما بسبب تشققات الشد (Tensile Cracking) أو التحطم عند التعرض للضغط (Compressive Crushing)، ما يجعله غير ملائم لموضوع الدراسة الحالية.

النموذج الثاني: هو نموذج التشققات الهشة (Brittle Cracking Model) ويستخدم عندما يكون الانهيار بسبب تشققات الشد هو المسيطر ولا أهمية للانهيار على الضغط، حيث يتم اعتماد سلوك خطي للمادة على الضغط، وبالتالي من غير المناسب استخدام هذا النموذج في الدراسة الحالية.

النموذج الثالث: هو نموذج (Concrete Damaged Plasticity Model, CDP) والذي يعتمد على دمج مفهوم التلف المرن للمادة (Isotropic Damaged Elasticity) مع مفهوم لدونة المادة في حالتي الضغط والشد (Isotropic Tensile and Compressive Plasticity). يستخدم هذا النموذج عند تعرض البيتون لأحمال متغيرة مثل الأحمال الدورية. يعتمد مفهوم الانهيار في هذا النموذج على ميكانيزمين هما تشكل الشقوق (Cracking) في حالة الانهيار على الشد أو تحطم المادة (Crushing) في حالة الانهيار على الضغط، ويأخذ بعين الاعتبار تناقص القساوة المرنة (Elastic Stiffness) بسبب التشوهات اللدنة (Plastic Straining) الحاصلة في كل من حالتي الشد والضغط، كما أنه يدخل تأثير استعادة القساوة (Stiffness Recovery) عند تغير الحالة الإجهادية من شد إلى ضغط أو بالعكس.

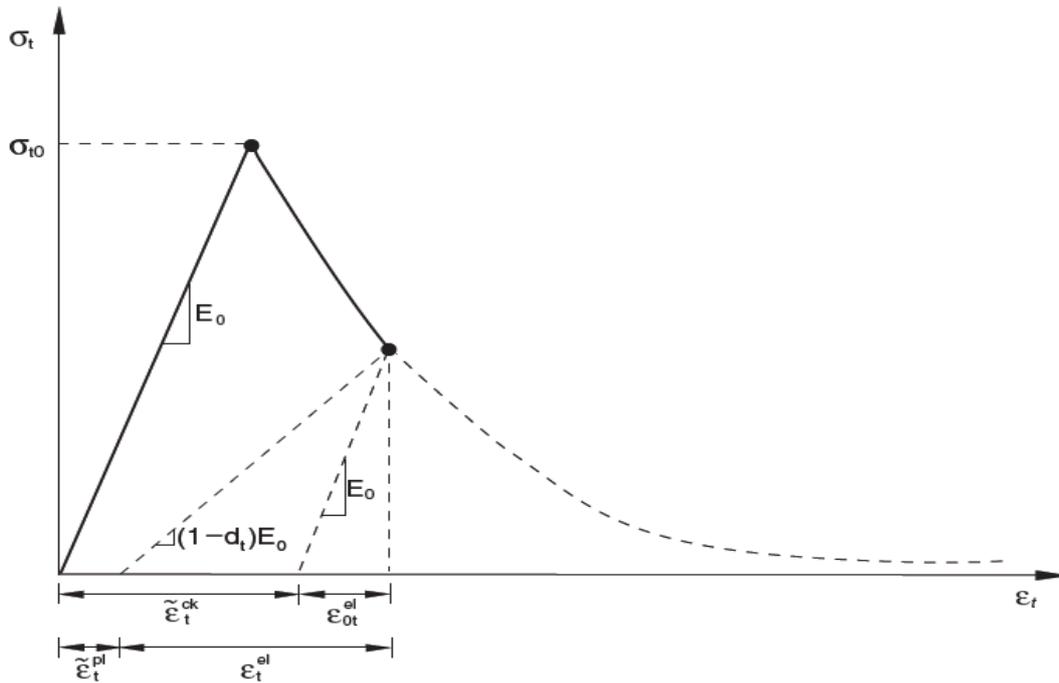
تم اعتماد النموذج الثالث (CDP) لملاءمته للحالة المدروسة حيث يأخذ بعين الاعتبار انهيار المادة في كل من حالتي الضغط والشد مع أخذ تأثير الأحمال الدورية بعين الاعتبار.

من الأمور الهامة والدقيقة في نموذج CDP تعريف سلوك البيتون بشكل دقيق في حالة الضغط الأحادي المحور (Uni-axial Compression) وحالة الشد الأحادي المحور (Uni-axial Tension)، وذلك لإعطاء تمثيل دقيق لتصرف المادة في الحالتين.

1.1.3.3 تصرف البيتون في حالة الشد الأحادي المحور

Concrete Uni-axial Tensionbehavior

في حالة الشد الأحادي المحور الشكل (1-3)، يبدأ سلوك البيتون بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى إجهاد الانهيار (Failure stress) على الشد σ_{t0} والموافق لتشكل أول شق دقيق (micro-cracking) في البيتون، بعدها يتوالى تشكل الشقوق واتساعها وتتصل مع بعضها مترافقة مع انحدار في علاقة الإجهاد-التشوه (Strain softening)، وتمثل هذه المرحلة مرحلة ما بعد الانهيار (Post-Failure) أو مرحلة البيتون المتشقق، وتسمى بمرحلة تصلب الشد (Tension Stiffening).



الشكل (1-3) تصرف البيتون في حالة الشد المحوري (ABAQUS V6.12-1, 2012).

نتيجة لتشكل الشقوق في هذه المرحلة تنخفض القساوة المرنة للمادة ولكن بإهمال تأثير انخفاض القساوة المرنة المذكور آنفاً، وفي حال الحمل عند أي نقطة في هذه المرحلة تعود المادة بميل E_0 ، حيث E_0 هو معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للمادة (initial undamaged modulus) فينشأ ما يسمى بتشوه التشققات على الشد $\tilde{\epsilon}_t^{ck}$ (Cracking Strain) (الشكل 1-3)، ويعطى بالعلاقة (1-3) ويعرف بأنه الفرق بين التشوه الكلي للمادة والتشوه المرن ϵ_{ot}^{el} الموافق للمادة قبل التشقق والذي يعطى بدوره بالعلاقة (2-3). يعتبر تشوه التشققات على الشد $\tilde{\epsilon}_t^{ck}$ (Cracking Strain) من المعطيات الأساسية الواجب تعريفها في الـ ABAQUS لنمذجة مرحلة تصلب الشد، حيث يتم تعريف مرحلة تصلب الشد بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول الإجهادات الشادة σ_t الموافقة لكل تشوه، ويضم الحقل الثاني تشوه التشققات على الشد $\tilde{\epsilon}_t^{ck}$.

$$\tilde{\epsilon}_t^{ck} = \epsilon_t - \epsilon_{ot}^{el} \quad (1-3)$$

$$\epsilon_{ot}^{el} = \sigma_t / E_0 \quad (2-3)$$

يحدد انخفاض القساوة المرنة للمادة على الشد بالمعامل d_t والذي يغير من تصرف المادة عند إزالة الحمل عند أي نقطة في مرحلة تصلب الشد، حيث تعود المادة بميل $(1 - d_t)E_0$ أصغر من الميل السابق، ويترافق ذلك مع ظهور تشوهات لدنة على الشد (tensile equivalent plastic strains) في المادة تعرف بـ $\tilde{\varepsilon}_t^{pl}$.

يمكن حساب المعامل d_t من خلال العلاقة (3-3) (Jankowiak and Lodygowski, 2005) وتتراوح قيمته بين الصفر، عندما تكون المادة ما تزال سليمة غير منشفقة، إلى الواحد عندما تنهار المادة بشكل كامل، ويعتبر من المعطيات الأساسية في الـ ABAQUS لتعريف انحدار القساوة المرنة للمادة على الشد، حيث يتم تعريف انخفاض القساوة المرنة للمادة على الشد في مرحلة تصلب الشد بشكل جدول من حقلين: يعرف الحقل الثاني المعامل d_t بينما يعرف الحقل الأول الإجهادات σ_t الموافقة لكل تشوه.

$$d_t = (\sigma_{t0} - \sigma_t) / \sigma_{t0} \quad (3-3)$$

يعتمد الـ ABAQUS قيمة التشوه اللدن $\tilde{\varepsilon}_t^{pl}$ للمادة كمياري لتقييم سطح الانهيار (Failure Surface) وميكانيكية انهيار المادة ويقوم بحسابه بشكل آلي من خلال العلاقة (4-3):

$$\tilde{\varepsilon}_t^{pl} = \tilde{\varepsilon}_t^{ck} - \frac{d_t}{1 - d_t} \cdot \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (4-3)$$

2.1.3.3 تصرف البيتون في حالة الضغط الأحادي المحور

Concrete Uni-axial Compression behavior

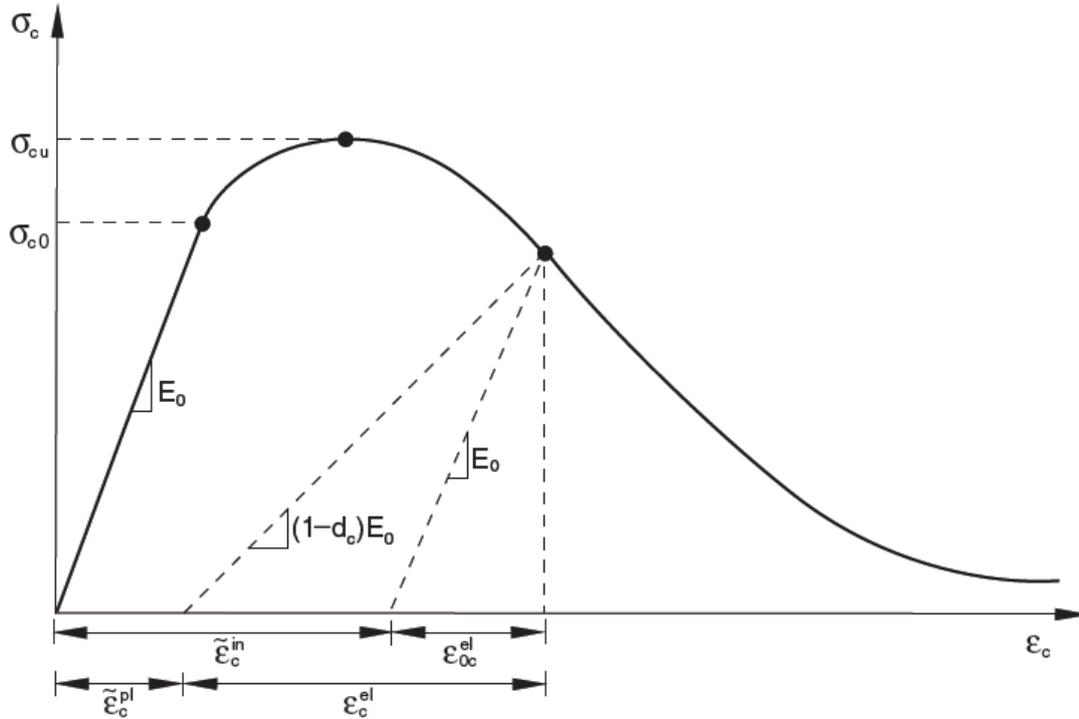
في حالة الضغط الأحادي المحور (الشكل 2-3)، يبدأ سلوك البيتون بشكل خطي مرن حتى الوصول إلى التلدين الأولي (σ_{co} Initial yield)، تتحول العلاقة بين الإجهاد والتشوه إلى علاقة لدنة غير خطية حتى الوصول إلى الإجهاد الحدي (Ultimate stress) على الضغط σ_{cu} وتسمى بمرحلة تقسية الضغط (Compression Hardening). بعدها تبدأ مرحلة انحدار في علاقة الإجهاد-التشوه (Strain softening) وتمثل هذه المرحلة مرحلة ما بعد الانهيار (Post-Failure).

نتيجة لتشكيل الشقوق في هذه المرحلة تنخفض القساوة المرنة للمادة ولكن بإهمال تأثير انخفاض القساوة المرنة المذكور آنفاً، وفي حال الحمل عند أي نقطة في هذه المرحلة تعود المادة بميل E_0 ، حيث E_0 هو معامل المرونة الابتدائي غير المتشقق للمادة (Initial Undamaged Modulus) فينشأ ما يسمى بتشوه التحطم على الضغط $\tilde{\varepsilon}_c^{in}$ (Inelastic Crushing Strain)، (الشكل 2-3)، ويعطى بالعلاقة (3-5) ويعرف بأنه الفرق بين التشوه الكلي للمادة والتشوه المرن الموافق للمادة قبل المتشقق والذي يعطى بدوره بالعلاقة (3-6). يعتبر تشوه التحطم على الضغط $\tilde{\varepsilon}_c^{in}$ (Crushing Strain) من المعطيات الأساسية الواجب تعريفها في الـ ABAQUS لنمذجة مرحلة تقسية الضغط، حيث يتم تعريف مرحلة تقسية الضغط بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول هو الإجهادات σ_c الموافقة لكل تشوه، بينما يتم إدخال تشوه التحطم على الضغط $\tilde{\varepsilon}_c^{in}$ في الحقل الثاني.

$$\tilde{\varepsilon}_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{oc}^{el} \quad (5-3)$$

$$\varepsilon_{oc}^{el} = \sigma_c / E_0 \quad (6-3)$$

يحدد انخفاض القساوة المرنة للمادة على الضغط بالمعامل d_c والذي يغير من تصرف المادة عند رفع الحمل عند أي نقطة في مرحلة تقسية الضغط، حيث تعود المادة بميل $(1 - d_c)E_0$ أضعف من الميل السابق، ويترافق ذلك مع ظهور تشوهات لدنة على الضغط (Compressive Equivalent Plastic Strains) في المادة تعرف بـ $\tilde{\epsilon}_c^{pl}$.



الشكل (2-3) تصرف البيتون في حالة الضغط المحوري (ABAQUS V6.12-1, 2012).

يمكن حساب المعامل d_c من خلال العلاقة (7-3) (Jankowiak and Lodygowski, 2005) وتتراوح قيمته بين الصفر، عندما تكون المادة ما تزال سليمة غير متحطمة، إلى الواحد عندما تنهار المادة بشكل كامل، ويعتبر من المعطيات الأساسية في الـ ABAQUS لتعريف انحدار القساوة المرنة للمادة على الشد، حيث يتم تعريف انخفاض القساوة المرنة للمادة على الضغط في مرحلة تقسية الضغط بشكل جدول من حقلين: الحقل الأول يضم الإجهادات σ_c الموافقة لكل تشوه، بينما يضم الحقل الثاني المعامل d_c .

$$d_c = (\sigma_{cu} - \sigma_c) / \sigma_{cu} \quad (7-3)$$

يعتمد الـ ABAQUS قيمة التشوه اللدن $\tilde{\epsilon}_c^{pl}$ للمادة كمعيار لتقييم سطح الانهيار (Failure Surface) وميكانيكية

انهيار المادة ويقوم بحسابه بشكل آلي من خلال العلاقة (8-3)

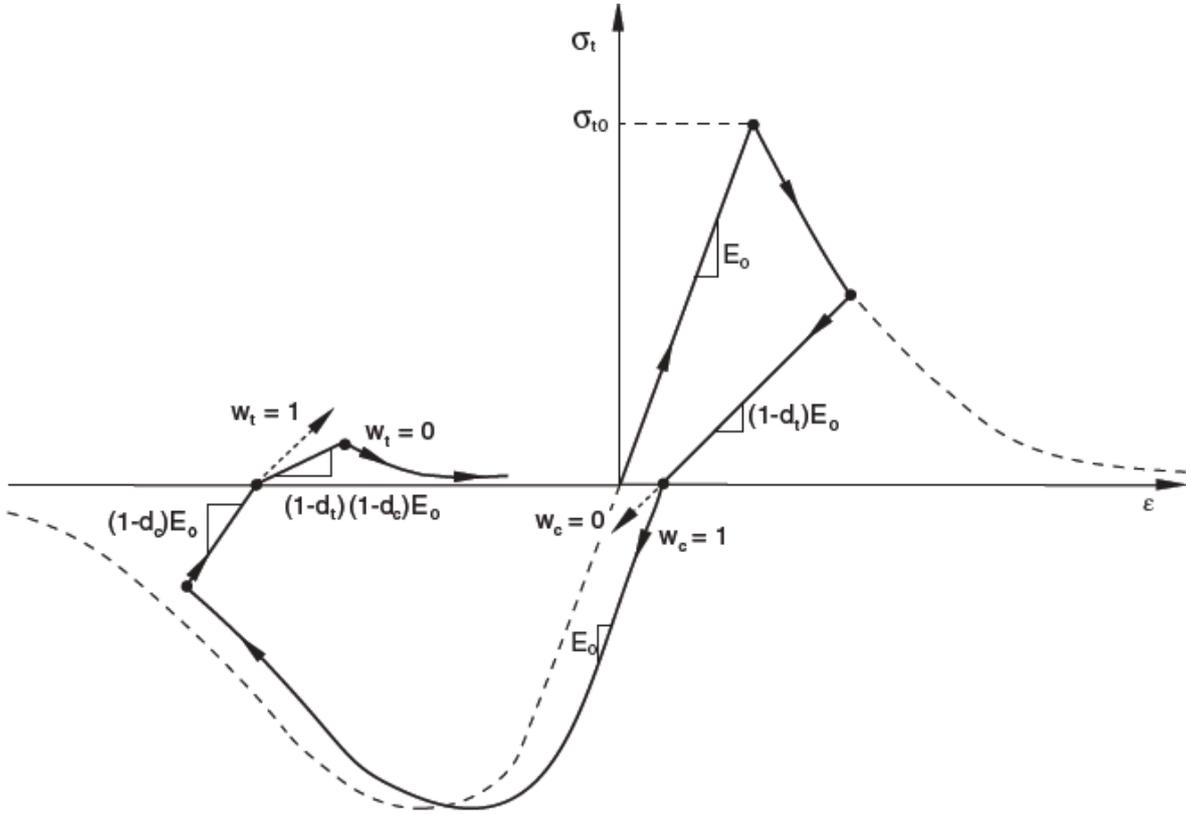
$$\tilde{\epsilon}_c^{pl} = \tilde{\epsilon}_c^{in} - \frac{d_c}{1 - d_c} \cdot \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (8-3)$$

3.1.3.3 تصرف البيتون تحت تأثير الأحمال الدورية

Concrete behavior under Cyclic Loads

أثبتت التجارب التي أجريت على المواد ذات الانهيار الشبيه بالهش (Quasi-Brittle) أن المادة تستعيد بعضاً من قساوتها عند تحول الحمل من الشد إلى الضغط نتيجة لانغلاق بعض الشقوق المتشكلة في مرحلة الشد عند تعرض المادة للضغط، وعلى العكس عند تحول الحمل من الشد إلى الضغط فإن التشققات لا تعود لتكتسب أية قساوة.

يأخذ برنامج ABAQUS تأثير استعادة القساوة (Stiffness Recovery) عند تغير الحالة الإجهادية من شد إلى ضغط أو بالعكس، من خلال عاملين هما w_c و w_t ، حيث يمثل المعامل w_c معامل استعادة القساوة على الضغط (Compression Recovery) وقيمته الافتراضية $w_c = 1$ ، ما يعني استعادة القساوة بشكل كامل عند تحول الحمل من الشد إلى الضغط، بينما يمثل المعامل w_t معامل استعادة القساوة على الشد (Tension Recovery) وقيمته الافتراضية $w_t = 0$ ، ما يعني عدم استعادة أي من قساوة المادة عند تحول الحمل من الضغط إلى الشد، ويبين الشكل (3-3) تصرف المادة عند تغير الحمل لدورة كاملة (شد-ضغط-شد) وتأثير عوامل استعادة القساوة بافتراض $w_c = 1$ و $w_t = 0$.



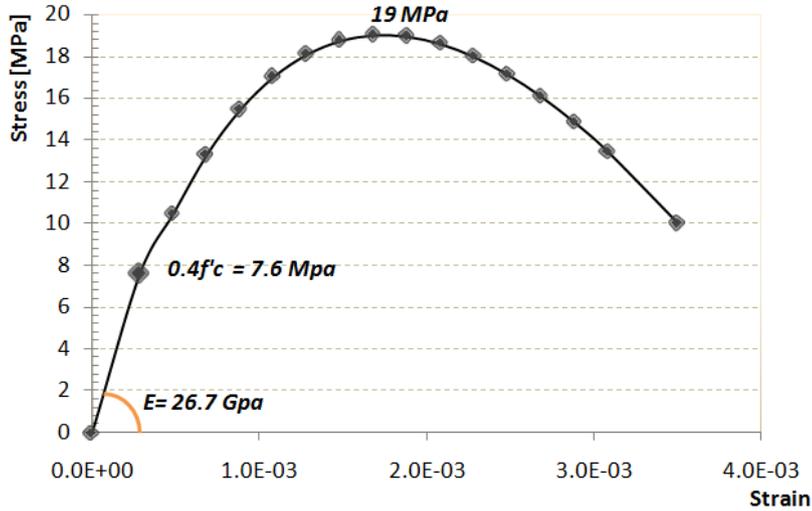
الشكل (3-3) تصرف البيتون تغير الحمل لدورة واحدة شد-ضغط-شد (ABAQUS V6.12-1, 2012).

4.1.3.3 توصيف مادة البيتون في النموذج العددي في الدراسة الحالية

Concrete Modeling in numerical model in this study

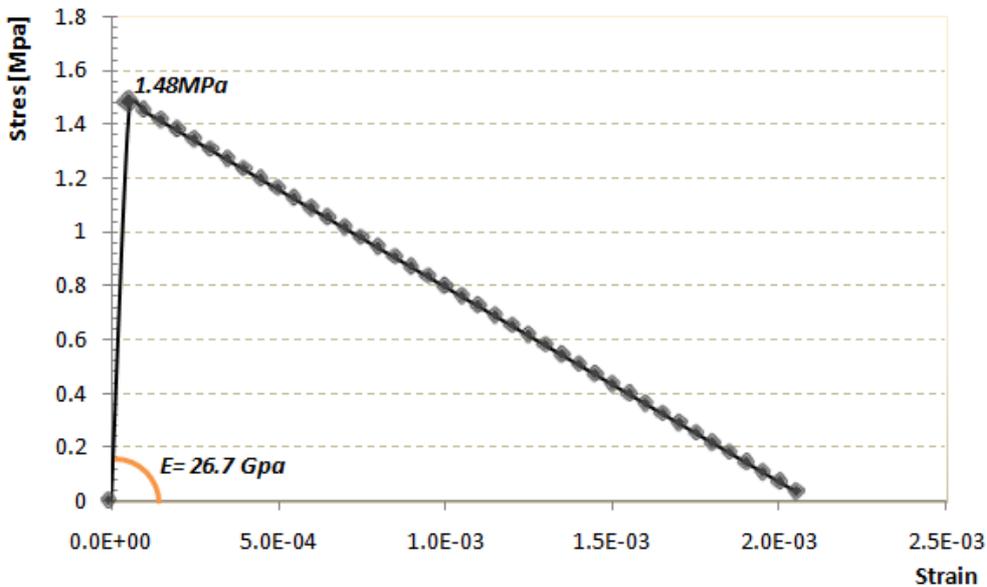
يحتاج نموذج الـ CDP إلى العديد من المتحولات التي تعتمد الفحص التجريبي المتقدم لمادة البيتون المستخدمة، ونظراً لعدم توفر المعلومات الكافية فقد تم إعطاء هذه المتحولات القيم المنصوح باستخدامها من قبل ABAQUS حيث تعطى قيمة زاوية التمدد للبيتون (Dilation angle) $\psi = 36^\circ$ ، لامركزية التدفق الكامن (Flow potential ratio of initial equibiaxial) $\epsilon = 0.1$ (eccentricity the)، نسبة الضغط الثنائي المحاور إلى الضغط الأحادي المحاور (compressive yield stress to initial uniaxial compressive yield stress ratio of the second stress invariant on the tensile meridian, $q(TM)$ ، to that on the compressive meridian, $q(CM)$) $k_c = 2/3$ ، معامل اللزوجة (Viscosity parameter) $\mu = 0$ ، معامل استعادة القساوة على الضغط (Compression Recovery) $w_c = 1$ ، معامل استعادة القساوة على الشد (Tension Recovery) $w_t = 0$.

لتوصيف مادة البيتون في النموذج العددي (Numerical Model) ليحاكي الدراسة التجريبية التي قام الباحثون (Ozkaynak et al., 2011) والتي سبق ذكرها في الفقرة (5.6.2)، حيث بلغت مقاومة البيتون على الضغط 19MPa، لابد من تعريف مخطط الإجهاد-التشوه للمادة أولاً وبغياض المعلومات التجريبية تم اعتماد تصرف البيتون المذكور سابقاً في الفقرة (1.3.2).



الشكل(4-3) منحنى الإجهاد-التشوه للبيتون على الضغط (الدراسة الحالية).

لإيجاد منحنى الإجهاد-التشوه في حالة البيتون على الضغط تم اعتماد النموذج المذكور بالفقرة (1.1.3.2) والمعطى في المواصفة الأوروبية BS EN 1992-1-1 والمبين بالشكل (2-15)، ومن خلال استخدام العلاقة (2-6) تم الحصول على منحنى الإجهاد-التشوه للبيتون المستخدم في الدراسة التجريبية والموضح في الشكل (3-4) بينما تم استخدام العلاقة (2-9) لحساب معامل مرونة البيتون E_{cm} حيث بلغت قيمته 26675MPa، واعتبار معامل بواسون للبيتون 0.2، وقد بلغت قيمة التشوه النسبي الأعظمي عند الانهيار $\epsilon_{cu1} = 0.0035$ ، بينما بلغ التشوه الموافق للإجهاد الأعظمي على الضغط $\epsilon_{c1} = 0.0017$ (العلاقة 4-2).



الشكل(5-3) منحنى الإجهاد-التشوه للبيتون على الشد (الدراسة الحالية).

أما في حالة البيتون على الشد ولإيجاد منحنى الإجهاد-التشوه (الشكل 3-5)، تم اعتماد النموذج المذكور بالفقرة (2.1.3.2)، حيث تم استخدام العلاقة (2-10) للحصول على المقاومة الأعظمية للبيتون على الشد f_{ctm} والموافقة للبيتون المستخدم في الدراسة التجريبية وقد بلغت $1.48MPa$ ، وباعتماد معامل المرونة المحسوب سابقاً، تم اعتبار مرحلة تدهور المادة (Tension softening) خطية حتى الانهيار (Linear softening) كما في الشكل (2-16a). وقد تم اعتبار قيمة التشوه النسبي الأعظمي عند الانهيار موافقة لوصول فولاذ التسليح الطولي إلى إجهاد السيلان أي $\epsilon_{tu} = f_y/E_s = 0.0021$. حيث يعبر E_s عن معامل مرونة فولاذ التسليح $E_s = 200GPa$ ، فيما يعبر f_y عن إجهاد السيلان لفولاذ التسليح الطولي $f_y = 420MPa$.

2.3.3 النموذج البنيوي لجدران البلوك Masonry Constitutive Models

تعتبر مادة الجدران المصنوعة من البلوك الإسمنتي مادة غير متجانسة تتصرف بشكل مشابه لمادة البيتون وتتهار بشكل شبيه بالهش (Quasi-Brittle) (ABAQUS V6.12-1, 2012)، وبالتالي تم خلال الدراسة الحالية اعتماد نفس النموذج البنيوي لمادة البيتون الوارد في الفقرة (1.3.3) باستخدام الخواص الميكانيكية لمادة الجدار.

1.2.3.3 توصيف مادة جدار البلوك في النموذج العددي

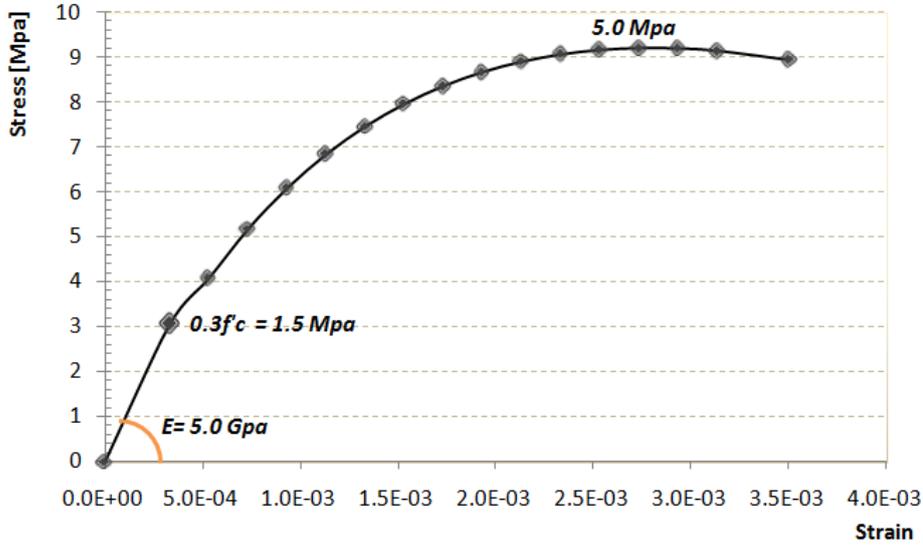
Masonry modeling in numerical model

تم استخدام نموذج الـ CDP وباستخدام نفس قيم المتحولات المنصوح باستخدامها من قبل ABAQUS تماماً كما تم في نمذجة البيتون في الفقرة (4.1.3.3). وتم اعتماد (Homogenized Model) والتي تعتبر مادة الجدار وسطاً واحداً باعتبار مواصفات مادة الجدار المكافئة والتي تعبر عن تصرف كل من وحدات البلوك والمونة الرابطة والتفاعل فيما بينهما. وقد أثبتت الدراسات أن هذه الطريقة تعطي نتائج صحيحة في كل من الأحمال الستاتيكية والديناميكية وزمن تحليل معقول نسبياً إذا ما قورن مع (Distinct Model) الذي يتم فيه نمذجة كل من وحدات البلوك والمونة الإسمنتية كعناصر مختلفة مرتبطة فيما بينها، حيث تعتبر الطريقة الأخيرة معقدة نسبياً وتحتاج إلى زمن تحليل كبير (Su, 2008). بالإضافة إلى ذلك فإن انهيار جدار البلوك ضمن فتحة الإطار نادراً ما يحدث ضمن صفوف المونة (الشكل 2-14-a أو c)، وإنما بشكل قطري يتقاطع مع وحدات البلوك (الشكل 2-14-b) بسبب المقاومة المنخفضة للبلوكة على الضغط.

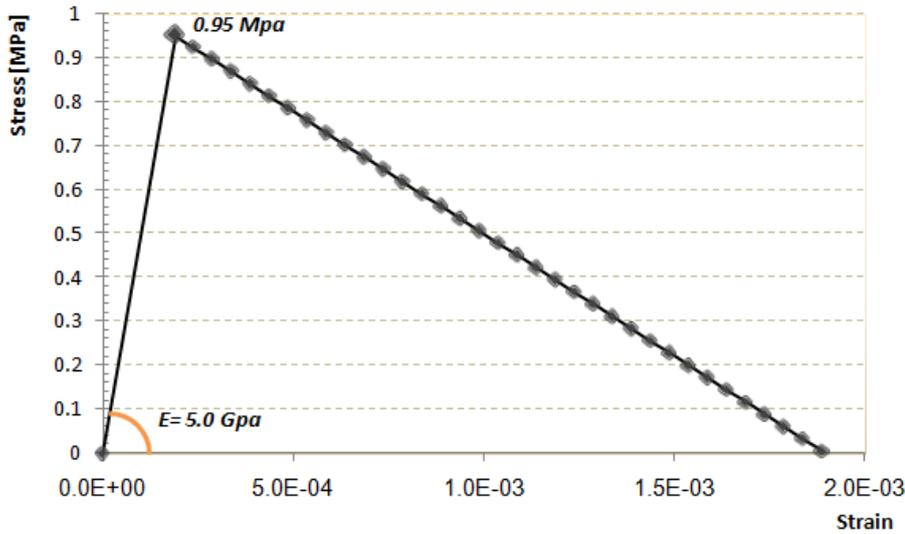
لتوصيف مادة جدار البلوك الإسمنتي في النموذج العددي (Numerical Model) ليحاكي الدراسة التجريبية التي قام الباحثون (Ozkaynak et al., 2011) والتي سبق ذكرها في الفقرة (7.3.2)، حيث بلغت مقاومة الجدار على الضغط $5.1MPa$ ، تم البدء بتعريف مخطط الإجهاد-التشوه للمادة أولاً باعتماد تصرف الجدران المذكور سابقاً في الفقرة (4.2.2). لإيجاد منحنى الإجهاد-التشوه في حالة الجدران على الضغط تم اعتماد النموذج المذكور بالفقرة (1.4.2.2) والمعطى في المواصفة الأوروبية BS EN 1996-1-1 والمبين بالشكل (2-9)، ومن خلال استخدام العلاقة (2-6) الخاصة بالبيتون تم الحصول على منحنى الإجهاد-التشوه للبيتون المستخدم في الدراسة التجريبية وتم توضيحه في الشكل (3-6) بينما تم استخدام العلاقة (2-2) لحساب معامل مرونة مادة الجدار E_m حيث بلغت قيمته $5000MPa$ ، واعتبار معامل بواسون لمادة الجدار 0.2 ، وقد بلغت قيمة التشوه النسبي الأعظمي عند الانهيار $\epsilon_{mu} = 0.0035$ ، بينما بلغ التشوه الموافق للإجهاد الأعظمي على الضغط $\epsilon_{m1} = 0.0028$ (Hendry et al., 2004).

أما في حالة الجدار الإسمنتي على الشد ولإيجاد منحنى الإجهاد-التشوه (الشكل 3-7)، تم اعتماد النموذج المذكور بالفقرة (2.1.3.2)، حيث تم اعتبار المقاومة الأعظمية لمادة الجدار على الشد f_{tm} الواردة في الدراسة التجريبية (Ozkaynak et al., 2011) وقد بلغت $0.95MPa$ ، وباعتماد معامل المرونة المحسوب سابقاً، تم اعتبار مرحلة ليونة

الشدة (Tension softening) خطية حتى الانهيار (Linear softening) كما في الشكل (a-16-2). وقد تم اعتبار قيمة التشوه النسبي الأعظمي عند الانهيار ϵ_{tmu} مساوية لـ $10\epsilon_{tm1}$ (ABAQUS V6.12-1, 2012)، أي $(\epsilon_{tu} = 10 f_{tm}/E_m)$ ، حيث ϵ_{t1} التشوه النسبي الموافق للإجهاد f_{tm} أي $(\epsilon_{tu} = 0.0019)$.



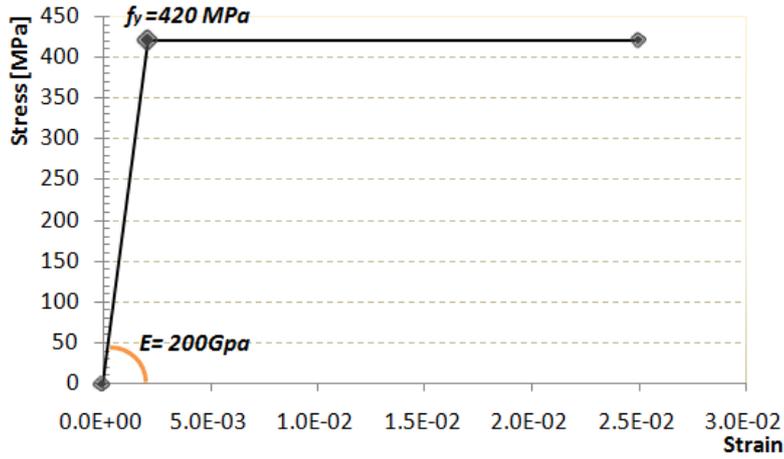
الشكل (6-3) منحنى الإجهاد-التشوه لجدار البلوك الإسمنتي على الضغط (الدراسة الحالية).



الشكل (7-3) منحنى الإجهاد-التشوه لجدار البلوك الإسمنتي على الشد (الدراسة الحالية).

3.3.3 النموذج البنوي لفولاذ التسليح Steel Reinforcement Constitutive Models

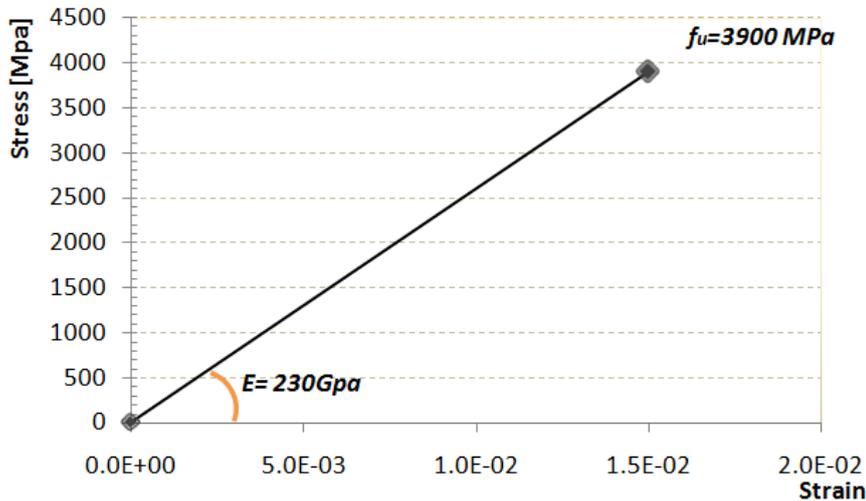
كما ذكر في الفقرة (2.3.2) فإنه يمكن اعتبار تصرف فولاذ التسليح المطاوع تصرفاً مرناً- كامل اللدونة (Elastic- perfectly Plastic) حتى الوصول إلى انهيار المادة كما هو موضح بالشكل (2-18)، ولنمذجة التصرف المرن في ABAQUS يجب إدخال كل من معامل مرونة فولاذ التسليح والذي بلغ حسب الدراسة التجريبية المعتمدة (Ozkaynak et al., 2011)، ومعامل بواسون 0.3، ولتعريف التصرف اللدن للمادة يجب إدخال قيمة الإجهاد الذي تبدأ عنده المرحلة اللدنة وهو حد السييلان لفولاذ التسليح والبالغ 420MPa، وقد تم توضيح ذلك من خلال الشكل (3-8).



الشكل (8-3) منحنى الإجهاد-التشوه لفلوآذ التسليح المستخدم (الدراسة الحالية).

4.3.3 النموذج البنيوي لشرائح الـ CFRP الأحادية الاتجاه Uni-directional CFRP Constitutive Models

ورد في الفقرة (2.5.2) أن سلوك شرائح الـ CFRP أحادية الاتجاه هو سلوك تام المرونة (Fully Elastic) حتى الوصول إلى انهيار المادة كما هو موضح بالشكل (2-24)، ولنمذجة التصرف المرن في الـ ABAQUS يكفي إدخال كل من معامل مرونة الشرائح باتجاه الألياف، والذي بلغ حسب الدراسة التجريبية المعتمدة 230GPa، ومعامل وبواسون 0.35، ويبين الشكل (3-9) مخطط الإجهاد-التشوه للشرائح المستخدمة. بالإضافة إلى ذلك فقد تم إدخال حدود الانهيار المرن بتعريف إجهاد تمزق المادة (3900MPa) والتشوه المقابل لهذه التمزق (1.5%).



الشكل (9-3) منحنى الإجهاد-التشوه لشرائح الـ CFRP المستخدمة (الدراسة الحالية).

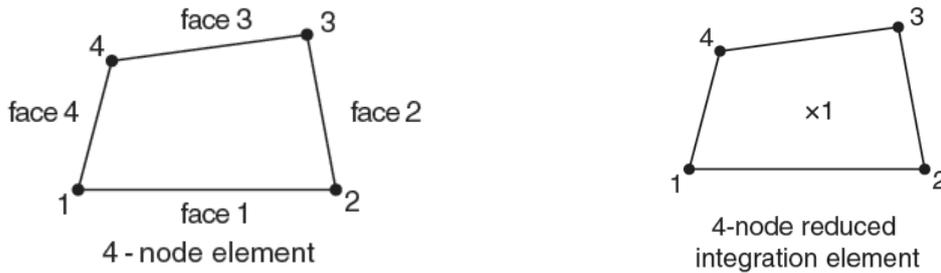
4.3 العناصر المحدودة Finite Elements

يملك برنامج التحليل الإنشائي (ABAQUS V6.12-1, 2012) العديد من العناصر المحدودة (Finite Elements)، والتي تختلف فيما بينها بعدد العقد وعدد درجات الحرية لكل عقدة، ويجب اختيارها بدقة وفقاً للحالة الإجهادية المدروسة وسيتم فيما يلي اختيار العناصر المحدودة المناسبة لنمذجة كل عنصر من عناصر الجملة المدروسة.

1.4.3 العنصر المحدود CPS4R CPS4R Finite Element

تعتبر حالة الإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار بلوك من الحالات الإجهادية المستوية (Plane Stress) كون الإجهادات في مستوي الجملة هي المسيطرة مع انعدام الإجهادات في المستوي العمودي على مستوي الجملة رغم إمكانية وجود تشوهات في هذا الاتجاه، وبمعنى آخر في حال اعتبار مستوي الجملة هو المستوي 1،2 والمستوي العمودي على الجملة 3، عندها يكون في مستوي الجملة $(\sigma_{11} \neq 0, \sigma_{22} \neq 0)$ ، بينما يكون في المستوي العمودي على الجملة $(\epsilon_3 \neq 0, \sigma_{33} = 0)$.

لذلك تم اختيار العنصر CPS4R (4-node bilinear, reduced integration with hourglass control) (الشكل 10-3)، وهو عنصر مساحي مصمت خاص بحالة الإجهادات المستوية (Solid Plane Stress Element) يتألف من أربعة عقد ولكل عقدة درجتين حرة 1،2 في مستوي العنصر، الرمز (R) في نهاية اسم العنصر يرمز إلى التخفيض في نقاط التكامل (Gauss Points) من أربعة إلى واحدة وفق ما يناسب الحالة المدروسة. وقد تم استخدام هذا العنصر لنمذجة كل من عناصر الإطار البيتوني وفولاذ التسليح الطولي إضافة لجدار البلوك الإسمنتي.



الشكل(10-3) العنصر CPS4R (ABAQUS V6.12-1, 2012).

2.4.3 العنصر المحدود T2D2 T2D2 Finite Element

إن العنصر T2D2 (2-D stress/displacement truss elements) المبين بالشكل (11-3)، وهو عنصر يتألف من عقدتين ولكل عقدة درجتين حرة 1،2 في مستوي العنصر، يستطيع العنصر نقل القوى المحورية فقط (Axial Forces). وقد تم استخدام هذا العنصر لنمذجة كل من عناصر الأساور (Stirrups) في جوائز وأعمدة الإطار البيتوني المسلح إضافة لشرائح الـ CFRP أحادية الاتجاه.



الشكل(11-3) العنصر T2D2 (ABAQUS V6.12-1, 2012).

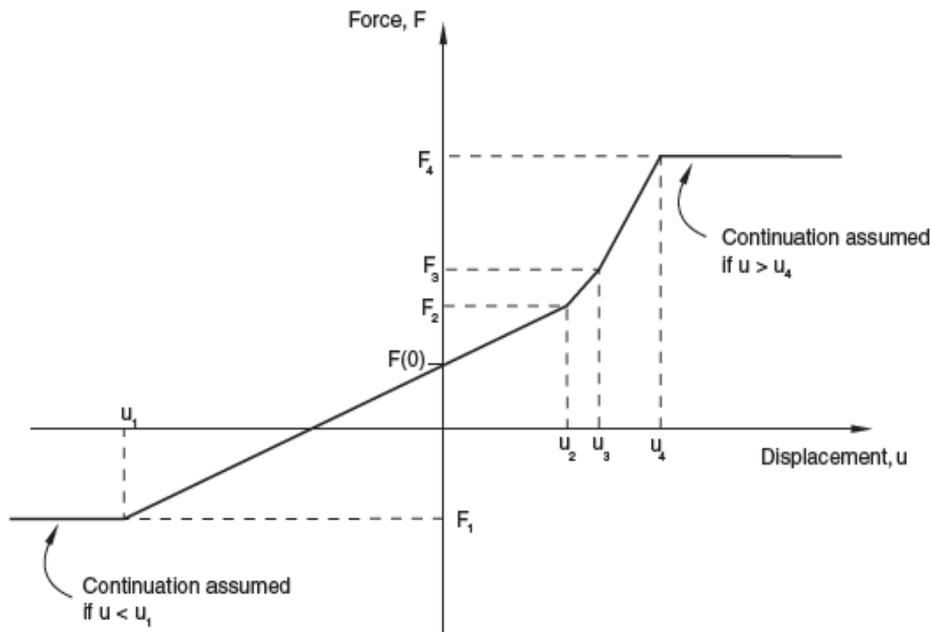
3.4.3 العنصر المحدود Spring2 Spring2 Finite Element

إن العنصر Spring2 (Spring between two nodes, acting in a fixed direction) الشكل (3-12)، وهو عنصر يربط بين القوة (Force) وإما الانتقال النسبي (Relative Displacement) أو الدوران النسبي (Relative Rotation) بين عقدتين باعتبار أحد درجات الحرية لكل من العقدتين، ويستخدم عادة لنمذجة النوابض الفيزيائية أو لتقييد الحركة بين العقد (Restrain).

يتميز العنصر بإمكانية نمذجة التصرف بين القوة والانتقال/الدوران بشكل خطي (Linear) أو لاخطي (Nonlinear) كما في الشكل (3-13). درجات الحرية للعنصر هي درجة حرية واحدة عند كل عقدة يتم اختيارها من أحد درجات الحرية من 1 إلى 6، والتي تمثل ثلاثة انتقالات وثلاثة دورانات، ويمكن تعريف درجة الحرية باعتماد نظام الإحداثيات العامة (Global Degrees of Freedom) أو تعريف نظام إحداثيات محلية (Local Degrees of Freedom) حسب الحاجة. ومخرجات العنصر هي القوة المحورية (Force) والانتقال النسبي (Relative Displacement).



الشكل (3-12) العنصر Spring2 (ABAQUS V6.12-1, 2012).



الشكل (3-13) السلوك اللاخطي للعنصر Spring2 (ABAQUS V6.12-1, 2012).

وقد تم استخدام هذا العنصر لتعريف التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح الطولي، وكذلك لتعريف التماسك بين الـ CFRP وكل من جدار البلوك الإسمنتي والبيتون.

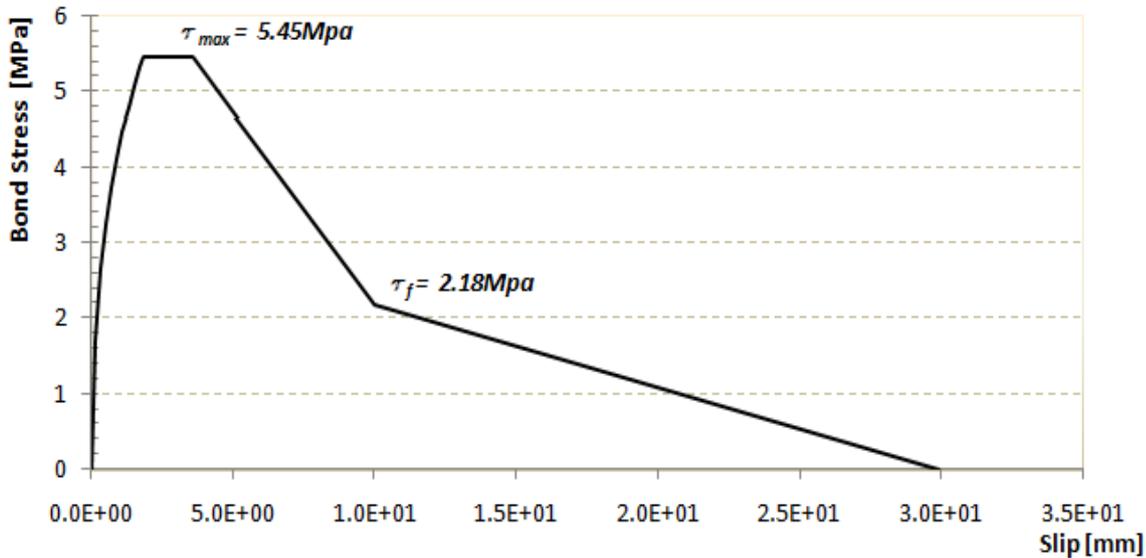
5.3 ربط العناصر المحدودة Finite Elements Interface

لا بد للحصول على التصرف الدقيق للجملة من ربط العناصر المختلفة، ولذلك سيتم فيما يلي تأمين الربط الصحيح بين كل من العناصر الممثلة للبيتون والعناصر الممثلة لفولاذ التسليح الطولي والعرضي، ومن ثم تأمين الربط الصحيح بين الإطار البيتوني المسلح والعناصر الممثلة لجدار البلوك الإسمنتي، وكذلك ربط كل من العناصر الممثلة للـ CFRP والعناصر الممثلة لكل من البيتون وجدار البلوك الإسمنتي.

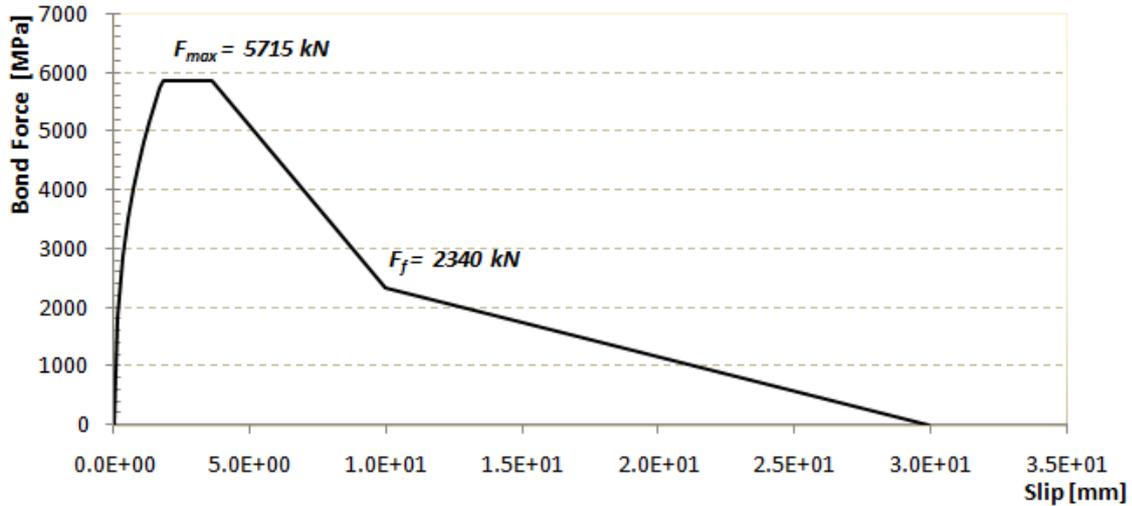
1.5.3 ربط البيتون مع فولاذ التسليح الطولي Concrete - Steel Reinforcement Interface

في الاتجاه الموازي للسطح بين البيتون وقضبان التسليح تم أخذ تأثير التماسك-الانزلاق بين البيتون وفولاذ التسليح بعين الاعتبار، حيث تم اعتماد نموذج التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح الذي تم توضيحه في الفقرة (3.3.2) والمأخوذ من (CEB-FIP, 2010). تم في البدء رسم المنحني علاقة إجهاد التماسك - الانزلاق النسبي والذي تم توضيحه من خلال الشكل (2-20). لذلك تم تعويض قيم خواص المواد المأخوذة من الدراسة التجريبية المعتمدة (Ozkaynak et al., 2011) في العلاقات من (2-11) إلى (2-16). تم اعتماد القيم التالية للانزلاق المعرف للمنحني السابق 1.8، 3.6، 10mm للعوامل S_1, S_2, S_3 على التوالي، ويبين الشكل (3-14) منحني إجهاد التماسك - الانزلاق الناتج.

تمت نمذجة هذه العلاقة باستخدام ABAQUS باستخدام العنصر SPRING2 الذي سبق ذكره في الفقرة (3.4.3) لربط عقد العناصر الممثلة للبيتون مع عقد العناصر الممثلة لقضبان التسليح، وكان لابد في البداية من تحويل علاقة إجهاد التماسك-الانزلاق (الشكل 3-14) إلى علاقة قوة التماسك - الانزلاق للتوافق مع مدخلات العنصر SPRING2 المبينة بالشكل (3-15) وهي القوة والانتقال النسبي. للقيام بذلك تم احتساب القوة من خلال ضرب إجهاد التماسك بسطح التماس بين القضبان والبيتون والذي هو عبارة عن محيط قضيب التسليح مضروباً بالطول الذي يغطيه النابض الواحد بين فولاذ التسليح والبيتون. في النهاية تم إيصال إجهاد التماسك إلى الصفر عند انتقال افتراضي مقداره ثلاث أضعاف الانزلاق النسبي S_3 أي 30mm (CEB-FIP, 2010)، واعتباره حد انهيار التماسك بين البيتون وفولاذ التسليح بشكل كامل ما يضمن خروج العنصر SPRING2 عن العمل عند الانهيار.



الشكل (3-14) علاقة إجهاد التماسك - الانزلاق النسبي بين البيتون وفولاذ التسليح الطولي (الدراسة الحالية).



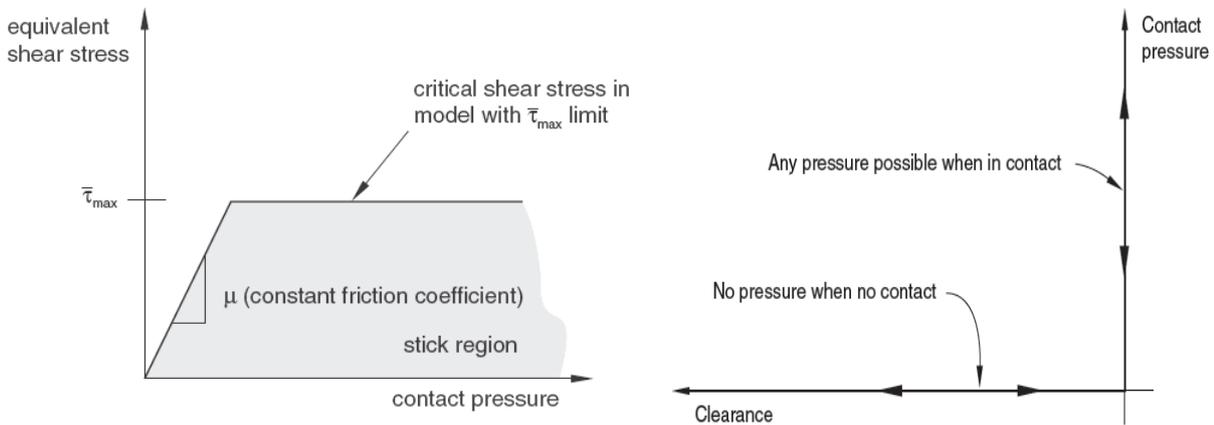
الشكل (15-3) علاقة قوة التماسك - الانزلاق النسبي بين البيتون وفولاذ التسليح الطولي (الدراسة الحالية).

2.5.3 ربط البيتون مع الأساور العرضية Concrete - Stirrups Interface

تم في هذه الدراسة اعتبار التماسك بين الأساور العرضية في كل من أعمدة وجائز الإطار البيتوني المسلح كتماسك مطلق وتام (Perfect bond) وبذلك تم إهمال الانتقال النسبي بين المادتين، كون هذا الافتراض كاف ولا يؤثر في دقة النتائج، ذلك أن الأساور تستخدم للتطويق العرضي ومنع تحنيب التسليح الطولي والتماسك فيها مؤمن.

3.5.3 ربط الإطار البيتوني المسلح وجدار البلوك الإسمنتي RC Frame - Masonry Wall Interface

أثناء عملية التشييد عادة ما يتم وصل الجدران إلى الإطارات البيتونية باستخدام المونة الإسمنتية، ويعتبر هذا الرابط ضعيف نسبياً حيث ينهار عند حصول انتقال نسبي صغير في السطح الفاصل بين الجدار والإطار البيتوني المسلح. وهذا ما يحصل عادة عند تعرض الجملة المكونة من الإطار البيتوني والجدار المائل له للأحمال الجانبية في مستوي الجملة، حيث تؤدي الحركة في مستوي الجملة إلى انفصال الجدار عن الإطار في بعض نقاط التماس عندها ينعدم أي انتقال للقوى بين السطحين الشكل (3-16-a)، بينما في نفس الوقت يحصل تماس في نقاط أخرى يؤدي إلى حدوث ضغط بين السطحين (Contact Pressure).



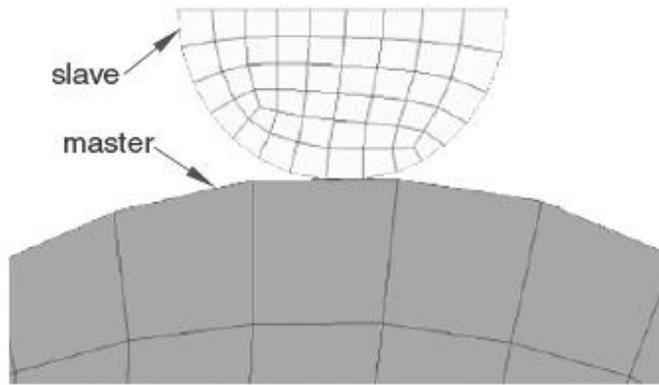
b. حصول الانزلاق عند وصول إلى الإجهاد المماسي الأعظمي

a. انتقال الضغط عند حصول الانغلاق بين سطحي التماس

الشكل (16-3) ميكانيكية انتقال القوى في سطوح التماس (ABAQUS V6.12-1, 2012).

إن ترافق حصول الضغط بين السطحين مع انتقال نسبي في نفس نقطة التماس يؤدي لنشوء قوى احتكاك (Friction) أو ما يسمى إجهاد قص سطحي (Shear Stress). يزداد إجهاد القص السطحي مع زيادة الضغط بين السطحين حتى الوصول إلى الإجهاد الحدي τ_{max} عندها يحصل انزلاق بين السطحين (Slip) مع استمرار انتقال قوى الضغط بين السطحين كما هو مبين بالشكل (b-16-3). تحت تأثير الأحمال الدورية تتكرر هذه الميكانيكية في نقاط عديدة من سطوح التماس وتتحول بين حصول انغلاق بين السطحين أو انفصال وتؤدي إلى نقل القوى والتشوهات بين الإطار البيتوني وجدار البلوك.

لتأمين هذه الميكانيكية تم استخدام سطح التماس (Contact Pair) من النوع (Surface to Surface) المبين بالشكل (17-3)، ويضمن منع اختراق عقد أحد السطحين للسطح الآخر فيحصل تماس بين السطحين يترافق مع نقل قوى الضغط في نقاط التماس. لإدخال أثر الاحتكاك بين السطحين، تم تعريف معامل احتكاك μ بين السطحين بقيمة 0.4 موافقة للاحتكاك الحاصل بين مادتي البلوك والبيتون. كذلك تم استخدام نفس الطريقة لربط جدار البلوك الإسمنتي مع أساس الإطار البيتوني المسلح.



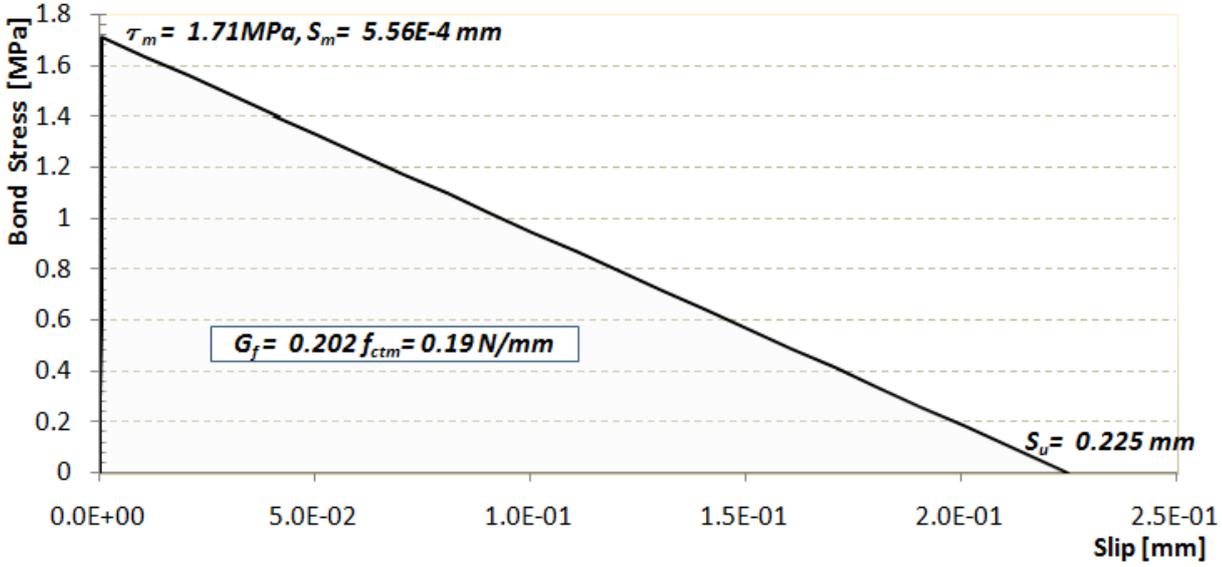
الشكل (17-3) سطح التماس (Contact Pair) (ABAQUS V6.12-1, 2012).

4.5.3 ربط جدار البلوك مع شرائح الـ CFRP Masonry - CFRP Interface

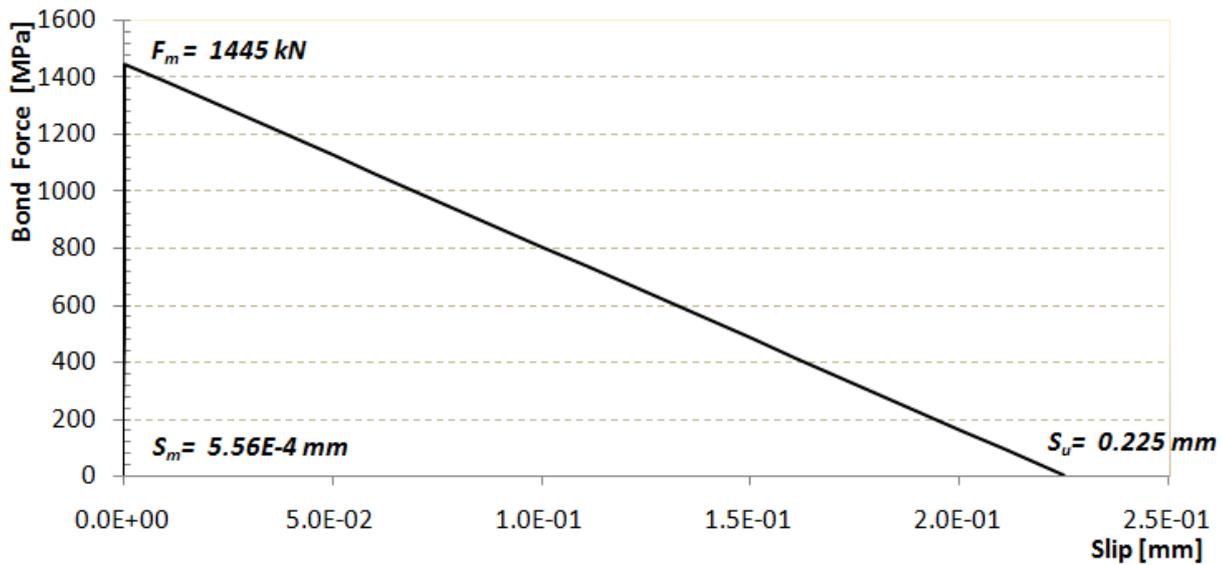
تم في هذه الدراسة اعتماد نموذج لمحاكاة انهيار التماسك الموجود في (CEB-FIP, 2010)، والذي يعتمد على مفهوم طاقة الانهيار G_f (Fracture Energy) وعلاقة إجهاد التماسك-الانزلاق التي تم إيضاحها سابقاً بالشكل (2-26). وتطبيق العلاقات من (17-2) إلى (20-2) تم الحصول على المنحني الممثل للتماسك-الانزلاق بين مادة الجدار ومادة الـ CFRP والموافق للخصائص الميكانيكية الواردة في الدراسة التجريبية (Ozkaynak et al., 2011) والمبين بالشكل (3-18)، حيث يمثل المحور الأفقي الانزلاق، بينما يمثل المحور الشاقولي إجهاد التماسك الذي يزداد مع زيادة الانتقال وصولاً إلى إجهاد التماسك الأعظمي بين المادتين $\tau_m = 1.71\text{MPa}$ موافق لانزلاق نسبي بين المادتين مقداره $S_m = 5.56 \cdot 10^{-4}\text{mm}$ ، ومن بعدها يبدأ إجهاد التماسك بالتناقص حتى الوصول إلى انفصال المادتين عند انزلاق نسبي حدي صغير مقداره $S_u = 0.225\text{mm}$.

تمت نمذجة هذه العلاقة باستخدام الـ ABAQUS باستخدام العنصر SPRING2 الذي سبق ذكره في الفقرة (3.4.3) لربط عقد العناصر الممثلة لجدار البلوك مع عقد العناصر الممثلة لشرائح الـ CFRP، لذلك تم تحويل علاقة إجهاد التماسك - الانزلاق (الشكل 3-18) إلى علاقة قوة التماسك - الانزلاق للتوافق مع مدخلات العنصر SPRING2 المبينة

بالشكل (19-3) وهي القوة والانزلاق. حيث تم احتساب القوة من خلال ضرب إجهاد التماسك بسطح التماس بين الشرائح والجدار الذي يغطيه النابض الواحد بين الجدار وال FRP.



الشكل (18-3) مخطط جهاد التماسك - الانزلاق بين البيتون وال FRP (الدراسة الحالية).

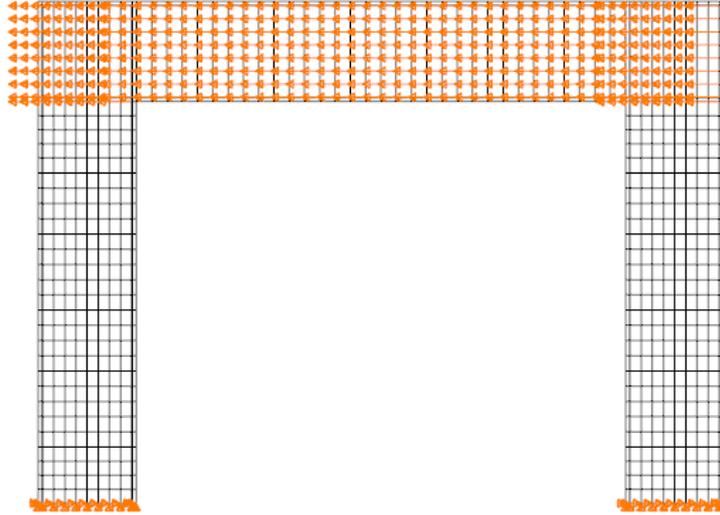


الشكل (19-3) مخطط قوة التماسك - الانزلاق بين البيتون وال FRP (الدراسة الحالية).

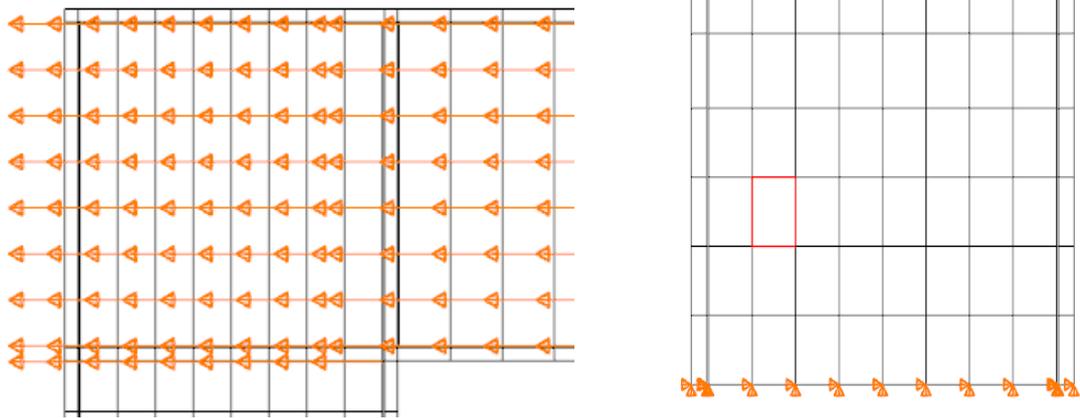
6.3 الشروط المحيطة Boundary Conditions

لمحاكاة ترتيبات النموذج التجريبي (Ozkaynak et al., 2011) والمبينة بالشكل (38-2) بشكل واقعي، تم اعتماد الشروط المحيطة الموضحة بالشكل (20-3)، حيث تم منع العقد الممثلة لكل من البيتون وفولاذ التسليح في أسفل أعمدة الإطار من الحركة بالاتجاهين الأفقي والاشاقولي كما هو مبين بالشكل (3-21-a)، ولتطبيق الانتقالات الدورية المطبقة في مستوي جانز الإطار، تم استخدام تعليمة Amplitude والتي تم من خلالها تعريف سجل تغير الانتقالات الدورية مع الزمن المبينة بالشكل (2-39) حتى الوصول إلى انتقال أعظمي 20mm، والموافق لانزياح نسبي (Drift ratio) مقداره 2.5%

حسب توصيات المواصفات الخاصة بالزلازل (BS EN 1998-1, 2004)، وتم تقييد عقد البيتون في مستوي جانز الإطار بهذا السجل كما هو مبين في الشكلين (20-3) و (b-21-3).



الشكل (20-3) الشروط المحيطية المطبقة على الإطار البتوني في النموذج العددي (الدراسة الحالية).



b. تفاصيل تطبيق الانتقالات الدورية في منسوب جانز الإطار

a. تفاصيل تقييد أسفل أعمدة الإطار البتوني

الشكل (21-3) تفاصيل الشروط المحيطية المطبقة (الدراسة الحالية).

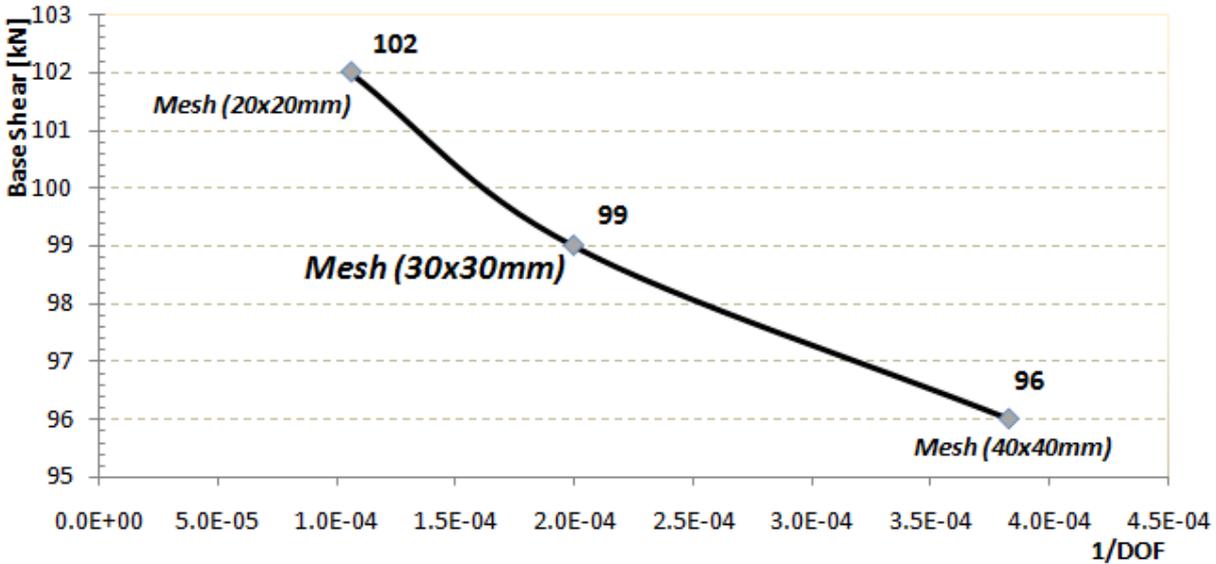
7.3 التحليل المستخدم Analysis Type

تم تحليل النموذج العددي باستخدام ABAQUS/Standard لإجراء تحليل ضمني (Implicit) ولاخطي (Nonlinear)، يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة (Materially Non-linear Analysis, MNA). يعتمد التحليل الضمني على حل تكاملات معادلات الحركة (Equations of Motion) باستخدام طريقة Hilber-Hughes-Taylor، حيث يقوم بحل جملة معادلات التوازن اللاخطية (Nonlinear Equilibrium Equations) عند كل زيادة في الزمن (Time Increment)، ويتم الحل بالإعادة والتكرار (Iteratively) باستخدام طريقة نيوتن (Newton's Method). تعتبر الطريقة الضمنية (Implicit) من التحليل مناسبة للأحمال الستاتيكية (Static) والديناميكية ذات السرعات القليلة (Low-speed Dynamic).

8.3 دراسة تقارب الشبكة Mesh Convergence

لتحديد الأبعاد الأمثلية للعناصر المختلفة في النموذج التي تحقق في الوقت نفسه دقة النتائج المناسبة مع زمن التحليل الأمثلي، تم بناء نموذج الإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار بلوك بأبعاد مختلفة للعناصر 20x20mm, 30x30mm, 40x40mm. يبين الشكل (22-3) دراسة أثر تقارب الشبكة، حيث يمثل المحور الأفقي مقلوب عدد درجات الحرية (Degree of Freedom, DOF) للنموذج المدروس، بينما يمثل المحور الشاقولي قوة القص القاعدية العظمى الناتجة من التحليل. يلاحظ من خلال الشكل (22-3) أن النتائج التي أعطتها النماذج الثلاثة متقاربة حيث بلغت قوة القص القاعدي الأعظمية 96,99,102kN للنماذج ذات أبعاد العناصر 40x40mm, 30x30mm, 20x20mm على التوالي، وبالتالي فإن نتائج النموذجين 40x40mm, 30x30mm تشكل قيماً أقل بـ 3%، 6% على التوالي إذا ما قورنت مع نتائج النموذج 20x20mm، بينما كان زمن التحليل في النموذج 20x20mm أكبر بنسبة 60% مقارنة مع النموذج 30x30mm و120% مقارنة مع النموذج 40x40mm. لذلك تم اعتماد النموذج بأبعاد العناصر 30x30mm حيث أعطى هذا النموذج وفضلاً في زمن التحليل مقارنة مع النموذج ذي الأبعاد 20x20mm ضمن فرق 3% في النتائج.

بالتالي تم بناء كافة النماذج الرياضية اللازمة لإجراء البحث الحالي باستخدام النموذج بأبعاد عناصر 30x30mm لكل من مرحلتي التحقق من مطابقة النموذج للدراسة التجريبية ومن ثم الدراسة الباراميتريية كما سيرد لاحقاً في الفصل الرابع.



الشكل(22-3) دراسة أثر تقارب الشبكة للنموذج العددي (الدراسة الحالية).

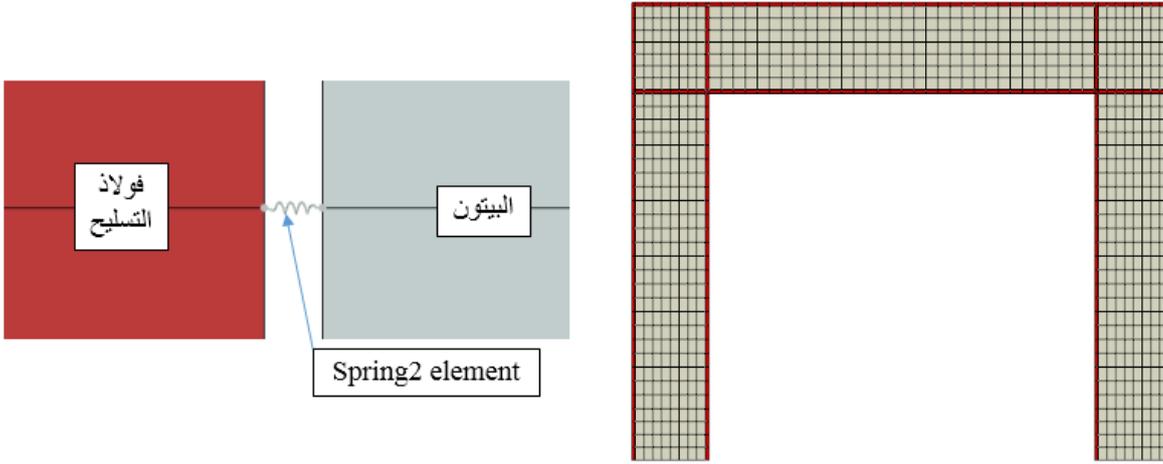
9.3 التحقق من النموذج العددي Numerical Model Verification

بعد أن تمت دراسة أثر تقارب الشبكة في الفقرة (8.3)، تم التحقق من نتائج النموذج العددي عن طريق مقارنتها مع نتائج الدراسة التجريبية (Ozkaynak et al., 2011). ولذلك تم تقسيم عملية التحقق للنموذج العددي إلى ثلاث مراحل: المرحلة الأولى هي مرحلة بناء الإطار البيتوني المسلح بدون وجود جدار (Bare Frame, F_0) ومن ثم التحقق منه، في المرحلة الثانية تم ملء الإطار البيتوني المسلح بجدار (Infilled Frame, F_w) بعدها تم التحقق من نتائج النموذج الجديد.

تم في المرحلة الثالثة تقوية الجملة بإضافة شرائح الـ CFRP (Strengthened Infilled Frame, $F_{w,FRP}$) وتم التحقق من النموذج الثالث.

1.9.3 التحقق من نموذج الإطار البيتوني المسلح (F_0) Verification of RC Bare Frame (F_0)

في المرحلة الأولى تم بناء النموذج (F_0) الذي يحاكي النموذج التجريبي للإطار البيتوني المفرغ (Bare Frame) المبين بالشكل (a-40-2). يبين الشكل (a-23-3) صورة توضيحية للنموذج الرياضي (F_0)، حيث تم بناء النموذج بأبعاد عناصر $30 \times 30 \text{mm}$ حسبما ورد في نتائج دراسة أثر الشبكة (الفقرة 8.3)، وقد تم استخدام العناصر المحدودة المختارة في الفقرة (4.3)، حيث استخدم العنصر CPS4R لكل من البيتون وفولاذ التسليح الطولي بينما استخدم العنصر T2D2 لنمذجة الأساور العرضية في كل من جوائز الإطار وأعمدته. تم ربط العناصر المختلفة فيما بينها (الشكل b-23-3) بالطريقة الموضحة بالفقرة (1.5.3) والفقرة (2.5.3) للربط بين البيتون وكل من فولاذ التسليح الطولي والعرضي على الترتيب. في الخطوة الأخيرة تمت إضافة الشروط المحيطة المبينة بالفقرة (6.3) واستخدام التحليل الوارد في الفقرة (7.3).



a. عناصر الإطار البيتوني

b. تفاصيل ربط عناصر البيتون وفولاذ التسليح الطولي

الشكل (23-3) نموذج الإطار البيتوني بدون جدار البلوك (F_0) (الدراسة الحالية).

للحصول على المنحني الذي يربط الانتقال في أعلى الإطار البيتوني مع قوة القص القاعدي تم رسم الحلقات الهستيريرية (Hysterical Loops) ومن ثم تم رسم مغلف هذه الحلقات (الشكل 24-3)، وقد لوحظ من مغلف الحلقات الهستيريرية أن قساوة الجملة تبدأ بالتغير عند الوصول إلى انتقال مقداره $\Delta = 2.5 \text{mm}$ حيث يبدأ ميل المغلف بالتغير بشكل كبير ما يعني أن انخفاضاً حاداً في قساوة الجملة قد حدث عند هذه النقطة نتيجة لتشكيل ميكانيكية الانهيار اللدنة الموضحة بالشكل (a-26-3) باللون الرمادي أعلى وأسفل أعمدة الإطار البيتوني المسلح. تظهر ميكانيكية الانهيار اللدن بتحول مغلف الحلقات الهستيريرية إلى خط شبه أفقي ما يعني ثبات القص القاعدي مع ازدياد الانتقالات بسبب تشكل المفاصل اللدنة في أعلى وأسفل الأعمدة وهو نمط الانهيار في التجربة. بلغت قيمة القص القاعدي العظمى 41.28kN في الهزة الموجبة و 41.72kN في السالبة، ولوحظ أن المغلف متناظر تقريباً في كل من حالتي الهزة الموجبة والسالبة.

للتحقق من صحة نتائج النموذج العددي، تمت مقارنة النتائج مع النموذج التجريبي في الدراسة المرجعية، حيث يبين الشكل (25-3) مقارنة مغلفات الحلقات الهستيريرية للنموذج العددي في الدراسة الحالية للإطار البيتوني دون وجود جدار

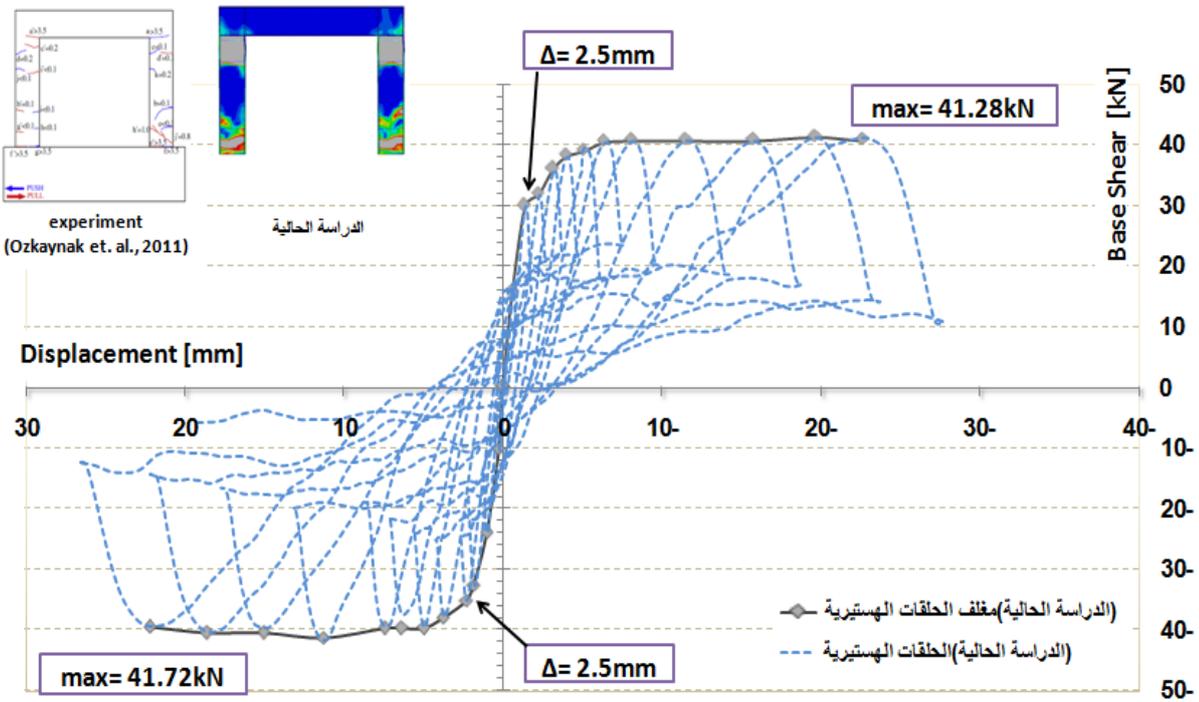
البلوك الإسمنتي مع الحلقات الهستيرية للدراسة التجريبية، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقالات الأفقية النسبية لأعلى الإطار مقاسة بـ mm، بينما يمثل المحور الشاقولي قوة القص القاعدي مقاسة بالـ kN.

يتبين من الشكل (3-25) مدى التقارب الواضح بين الحلقات الهستيرية للدراسة التجريبية ومغلف الحلقات في النموذج العددي، وبمقارنة قوى القص الأعظمية في كل من النموذجين تبين أن الاختلاف وصل إلى 0.6% في حالة الهزة الموجبة، و35.4% في حالة الهزة السالبة.

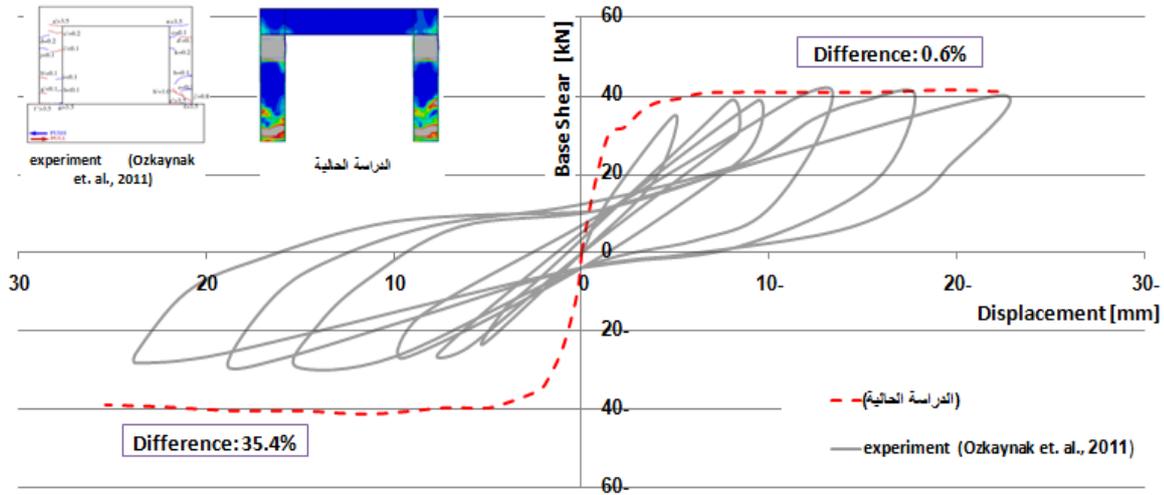
إن الاختلاف الملحوظ في الهزة السالبة (35.4%) بين الدراستين العددية والتجريبية يبرره عدم وجود شبه التناظر في نتائج الدراسة التجريبية لحالة الهزة السالبة عما هي في حالة الهزة الموجبة دون وجود سبب واضح لهذا الاختلاف، وقد ظهر عدم التناظر في حالة الإطار البيتوني المسلح غير المملوء بجدار (Bare Frame) فقط، بينما لوحظ وجود شبه تناظر وتطابق في قيم القص القاعدي في حالتي الهزة الموجبة والسالبة في كل من نموذجين الإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار البلوك والنموذج المقوى بالـ CFRP.

كما أن نتائج الدراسات المرجعية الأخرى والموضحة بالأشكال (2-33) و(2-36) تؤكد ضرورة وجود شبه تناظر في النتائج في كل من الهزتين الموجبة والسالبة. بناءً عليه تم اعتبار شبه التناظر الناتج في الدراسة العددية صحيحاً، ويعكس صحة نتائج النموذج العددي (F_0) وخاصة أن نتائج النموذجين (F_w) و($F_{w,FRP}$) المعتمدة في الدراسة متطابقة مع نتائج الدراسة التجريبية المعتمدة كما سيرد في الفقرتين (2.9.3) و(3.9.3).

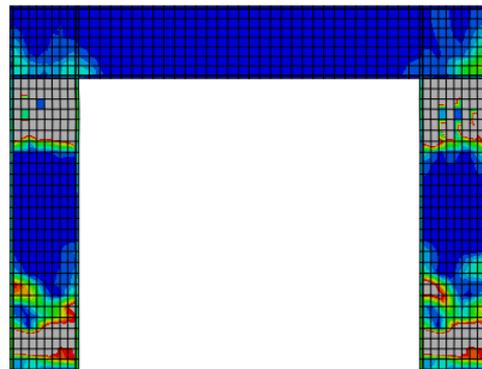
يبين الشكلان (b-26-3) و (c-26-3) أشكال انهيار كل من النموذجين التجريبي والعددي ويتضح جلياً بمقارنة الشكلين التقارب الكبير في أماكن وعدد الشقوق المتشكلة بشكل رئيسي في عقد الإطار البيتوني وأسفل الأعمدة، وهو ما يعزز من موثوقية النموذج الرياضي، ويمكن ضمن حدود قبول هذا الفرق اعتماد نتائج النموذج العددي واعتباره مناسباً لاستكمال الدراسة البارامترية فيما بعد.



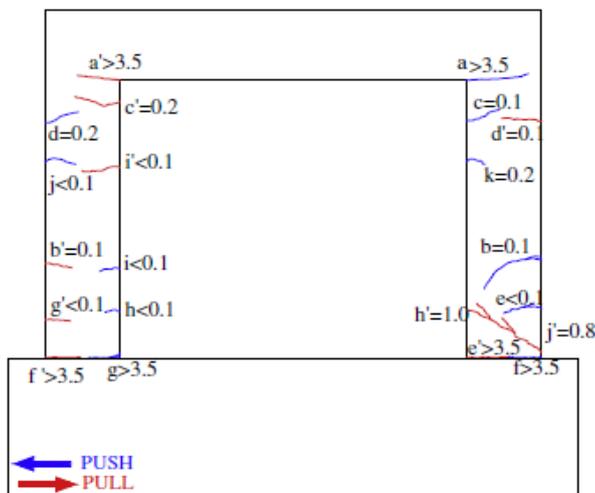
الشكل (3-24) نتائج النموذج الرياضي (F_0) (الدراسة الحالية).



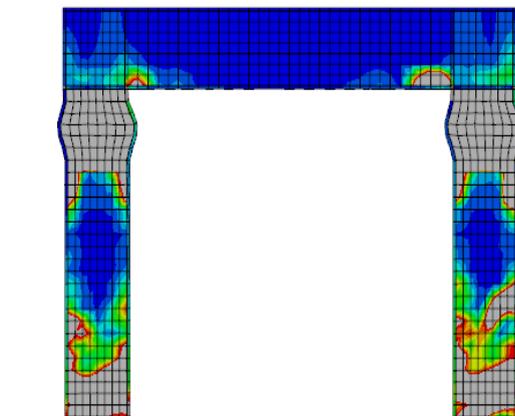
الشكل (26-3) مقارنة نتائج الرياضي (F_0) مع الدراسة التجريبية.



a. التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 2.5mm (الدراسة الحالية)



c. التشوهات الحاصلة في النموذج التجريبي (Ozkaynak et al., 2011)

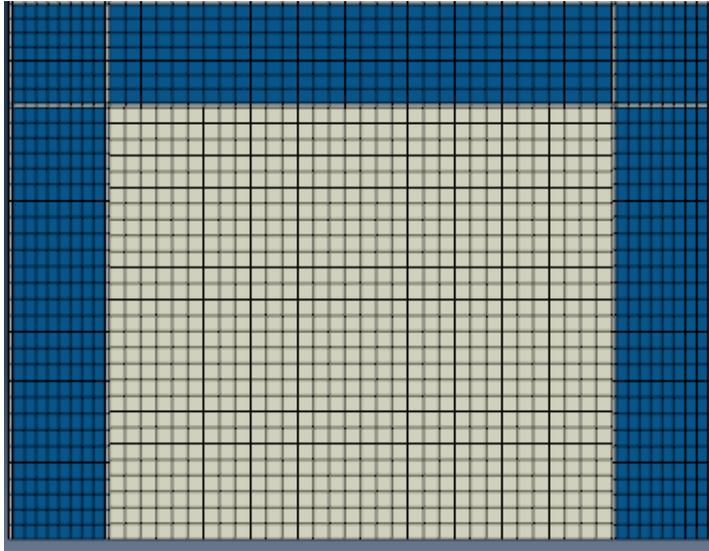


b. التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 20mm (الدراسة الحالية)

الشكل (25-3) مقارنة تشوهات النموذج الرياضي (F_0) مع الدراسة التجريبية عند نهاية التحليل.

2.9.3 التحقق من نموذج الإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار البلوك (F_w) Verification of Infilled RC Frame (F_w)

في المرحلة الثانية تم بناء النموذج (F_w) الذي يحاكي النموذج التجريبي للإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك (Infilled Frame) المبين بالشكل (b-40-2). يبين الشكل (3-27) صورة توضيحية للنموذج الرياضي (F_w)، حيث تمت إضافة جدار البلوك إلى النموذج السابق (F_0)، حيث استخدم العنصر CPS4R كما ورد في الفقرة (4.3) بأبعاد عناصر $30 \times 30 \text{mm}$ حسبما ورد في نتائج دراسة أثر الشبكة (الفقرة 8.3). تم ربط العناصر الجدار مع الإطار البيتوني المسلح بالطريقة الموضحة بالفقرة (3.5.3) وباعتبار وجود انزلاق بين السطوح المتقابلة لكل من الإطار البيتوني المسلح وجدار البلوك في الخطوة الأخيرة تمت إضافة الشروط المحيطة المبينة بالفقرة (6.3) واستخدام التحليل الوارد في الفقرة (7.3).

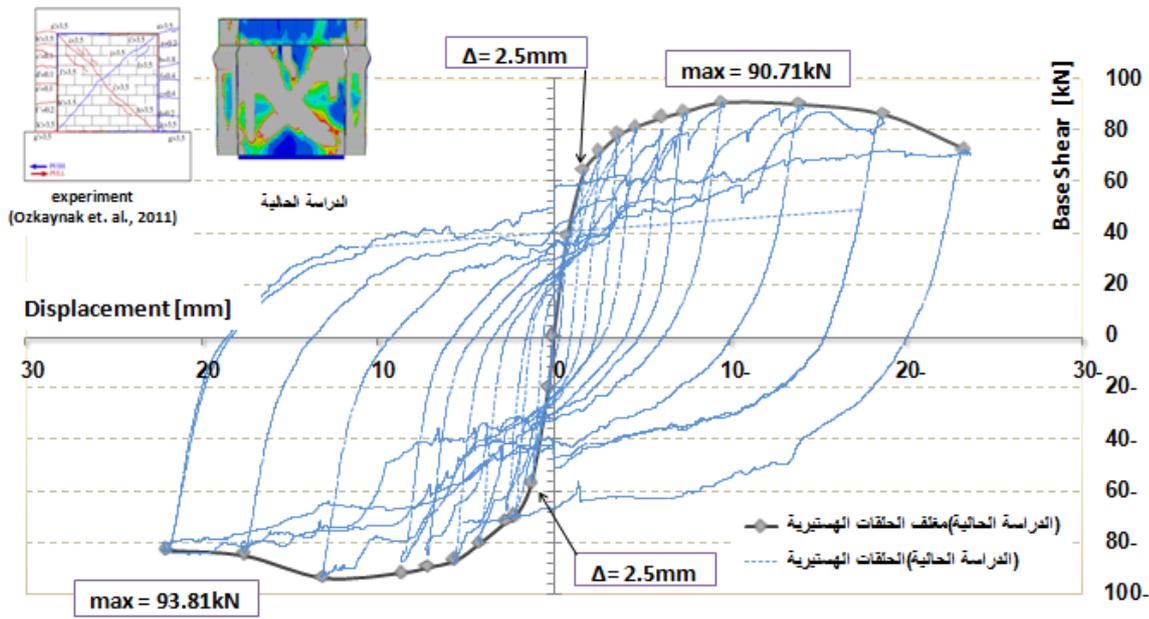


الشكل (3-27) نموذج الإطار البيتوني مع جدار البلوك (F_w) (الدراسة الحالية).

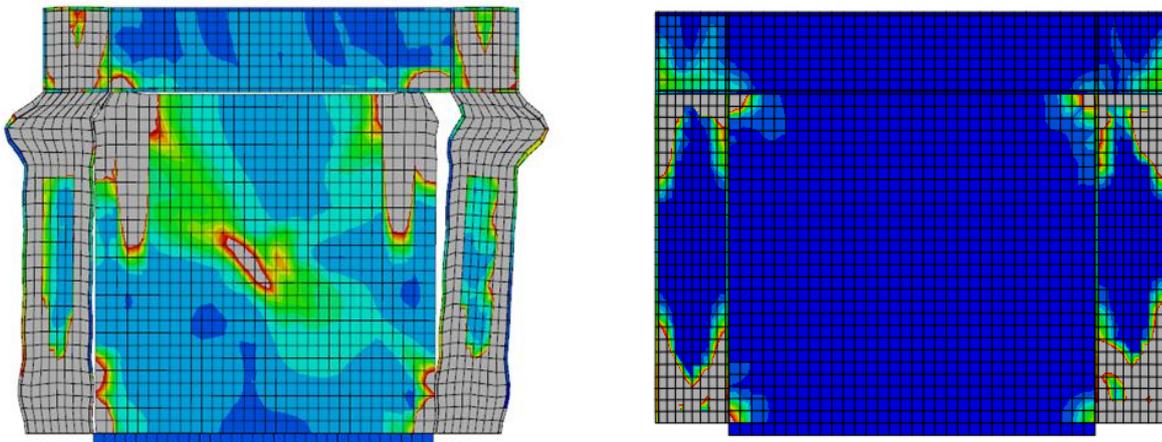
تم رسم المنحني الذي يربط الانتقال في أعلى الإطار البيتوني مع قوة القص القاعدي، وكذلك مغلف للحلقات الهستيرية (Hysterical Loops) الناتجة من نتائج التحليل (الشكل 3-28). يلاحظ من مغلف الحلقات الهستيرية أن قساوة الجملة تتغير عند الوصول إلى انتقال مقدار $\Delta = 2.5 \text{mm}$ حيث يبدأ ميل المغلف بالتغير بشكل كبير ما يعني أن انخفاضاً واضحاً في قساوة الجملة قد حدث عند هذه النقطة نتيجة لتشكّل المفاصل اللدنة في أعلى وأسفل أعمدة الإطار البيتوني المسلح (الشكل 3-29-a)، ومن ثم يستمر المغلف بصعود طفيف حتى الوصول إلى انتقال $\Delta = 15 \text{mm}$ لتبدأ عندها مقاومة الجملة بالانخفاض حيث يلاحظ بدء تشكّل التشققات القطرية عند هذه النقطة وهذا يظهر واضحاً من خلال شكل التشوهات النسبية الرئيسية المبينة بالشكل (3-29-b)، حيث يظهر الشق القطري باللون الرمادي في مركز الجدار. بعد هذه المرحلة استمر تشكّل التشققات القطرية واتساعها لتصبح في نهاية التحليل عند الانتقال $\Delta = 20 \text{mm}$ بشكل شقين قطريين متقاطعين في مركز الجدار كما هو مبين في الشكل (3-30-a). بلغت قيمة القص القاعدي العظمى 90.71kN في الهزة الموجبة و 93.81kN في السالبة، ولوحظ أن المغلف متناظر تقريباً في كل من حالتي الهزة الموجبة والسالبة.

للتحقق من صحة نتائج النموذج العددي في الدراسة الحالية، تمت مقارنة النتائج مع النموذج التجريبي في الدراسة المرجعية (Ozkaynak et al., 2011)، حيث يبين الشكل (3-31) مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية للنموذج العددي للإطار البيتوني المملوء بجدار البلوك الإسمنتي مع الحلقات الهستيرية للدراسة التجريبية، حيث يمثل المحور الأفقي

الانتقالات الأفقية النسبية لأعلى الإطار مقاسة بـ mm، بينما يمثل المحور الشاقولي قوة القص القاعدي مقاسة بالـ kN. ويتبين من الشكل (3-31) ومن خلال مقارنة الحلقات الهستيرية للدراسة التجريبية ومغلف الحلقات في النموذج العددي التقارب الكبير بين الدراسة التجريبية والدراسة العددية، كما أنه وبمقارنة قوى القص الأعظمية في كل من النموذجين تبين أن الاختلاف وصل إلى 2.3% في حالة الهزة الموجبة، و2.2% في حالة الهزة السالبة. بالنظر إلى التشوهات الحاصلة عند نهاية التحليل في كل من النموذجين العددي والتجريبي (الشكل 3-31)، يتبين التطابق في التشققات في كل من الجدار والإطار البيتوني وهو ما أعطى دليلاً إضافياً على صحة النموذج العددي المستخدم في الدراسة الحالية. وقد تم اعتبار الاختلاف البسيط بين النموذجين ضمن الحدود المسموحة وبناء عليه فقد تم قبول نتائج النموذج العددي واعتباره مناسباً لاستكمال الدراسة البارامترية فيما بعد.



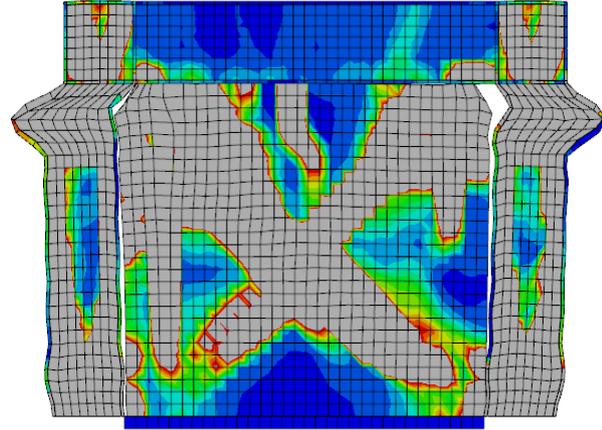
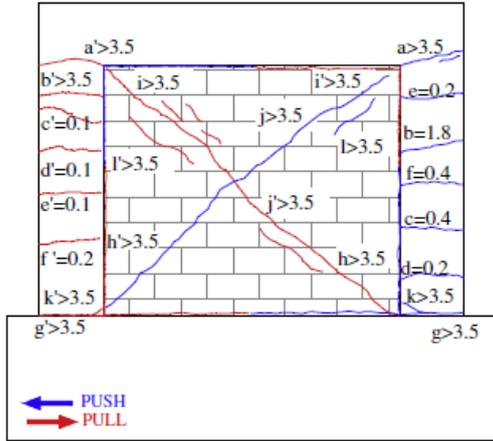
الشكل (28-3) نتائج النموذج الرياضي (F_w) (الدراسة الحالية).



b. التشوهات الرئيسية الرئيسية عند انتقال 15mm (الدراسة الحالية)

a. التشوهات الرئيسية الرئيسية عند انتقال 2.5mm (الدراسة الحالية)

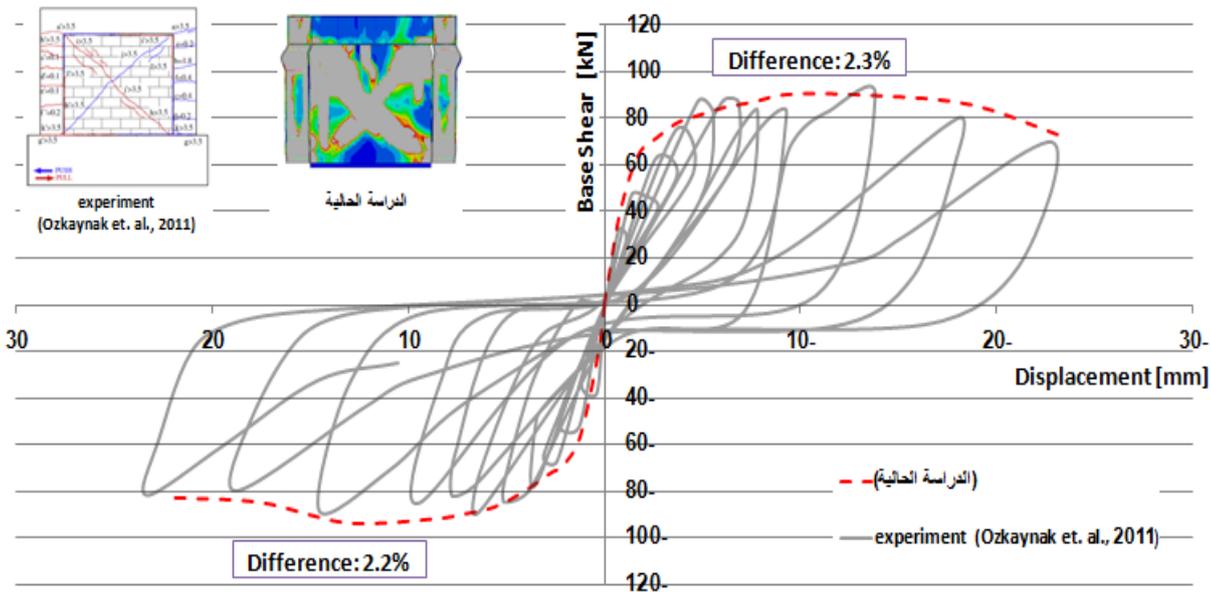
الشكل (29-3) التشوهات الرئيسية الرئيسية للنموذج (F_w).



b. التشوهات الحاصلة في النموذج التجريبي (Ozkaynak et al., 2011)

a. التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 20mm (الدراسة الحالية)

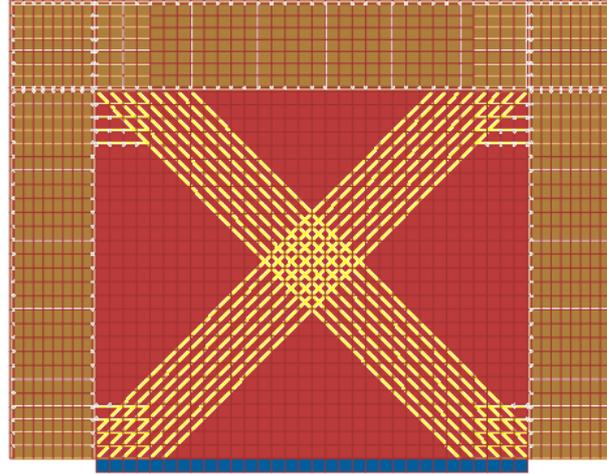
الشكل (30-3) مقارنة تشوهات النموذج الرياضي (F_w) مع الدراسة التجريبية عند نهاية التحليل.



الشكل (31-3) مقارنة نتائج الرياضي (F_w) مع الدراسة التجريبية.

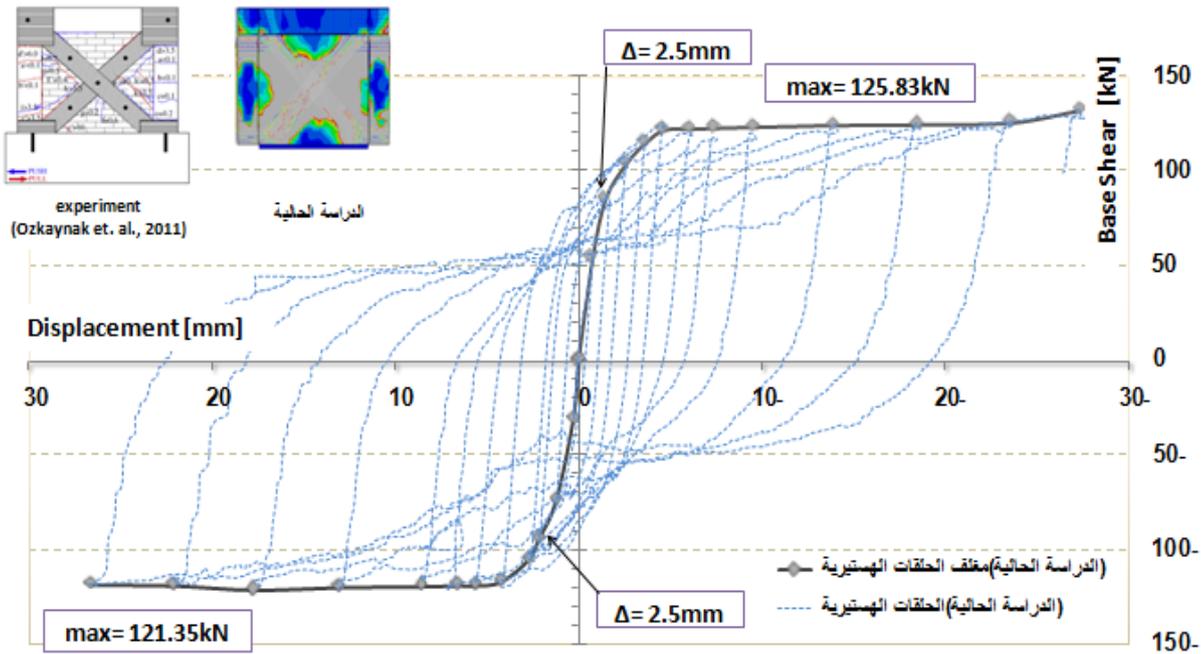
3.9.3 التحقق من نموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار البلوك والمقوى بالـ CFRP ($F_{w,FRP}$) Verification of Strengthened Infilled RC Frame ($F_{w,FRP}$)

في المرحلة الثانية تم بناء النموذج ($F_{w,FRP}$) الذي يحاكي النموذج التجريبي للإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك والمقوى بالـ CFRP (Strengthened Infilled Frame) المبين بالشكل (c-40-2)، حيث تمت تقوية الجدار بشكل قطري بشرائح الـ CFRP بالإضافة لربط زوايا الإطار البيتوني، عند الجائز وفي أسفل الأعمدة، مع زوايا الجدار والشرائح القطرية بشرائح أفقية. يبين الشكل (32-3) صورة توضيحية للنموذج الرياضي ($F_{w,FRP}$)، حيث تمت إضافة كل من شرائح الـ CFRP القطرية والأفقية المذكورة أعلاه إلى النموذج السابق (F_w). تم استخدام العنصر T2D2 كما ورد في الفقرة (2.4.3)، تم ربط العناصر الـ CFRP مع كل من الجدار والإطار البيتوني المسلح بالطريقة الموضحة بالفقرة (4.5.3). في الخطوة الأخيرة تم إضافة الشروط المحيطية المبينة بالفقرة (6.3) واستخدام التحليل الوارد في الفقرة (7.3).



الشكل (32-3) نموذج الإطار البيتوني مع جدار البلوك المقوى بالـ CFRP (الدراسة الحالية).

تم رسم المنحني الذي يربط الانتقال في أعلى الإطار البيتوني مع قوة القص القاعدي بالإضافة إلى مغلف الحلقات الهستيرية (Hysterical Loops) الناتجة من نتائج التحليل (الشكل 33-3).

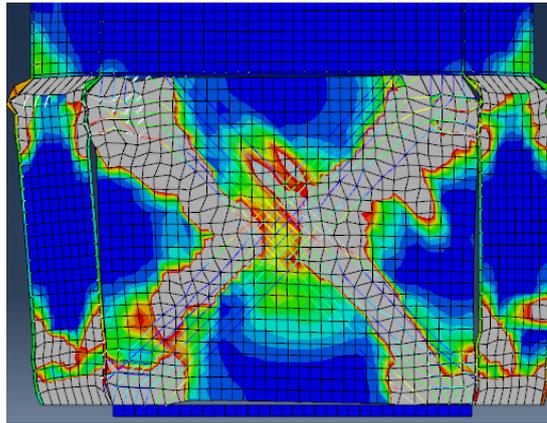


الشكل (33-3) نتائج النموذج الرياضي (F_{w,FRP}) (الدراسة الحالية).

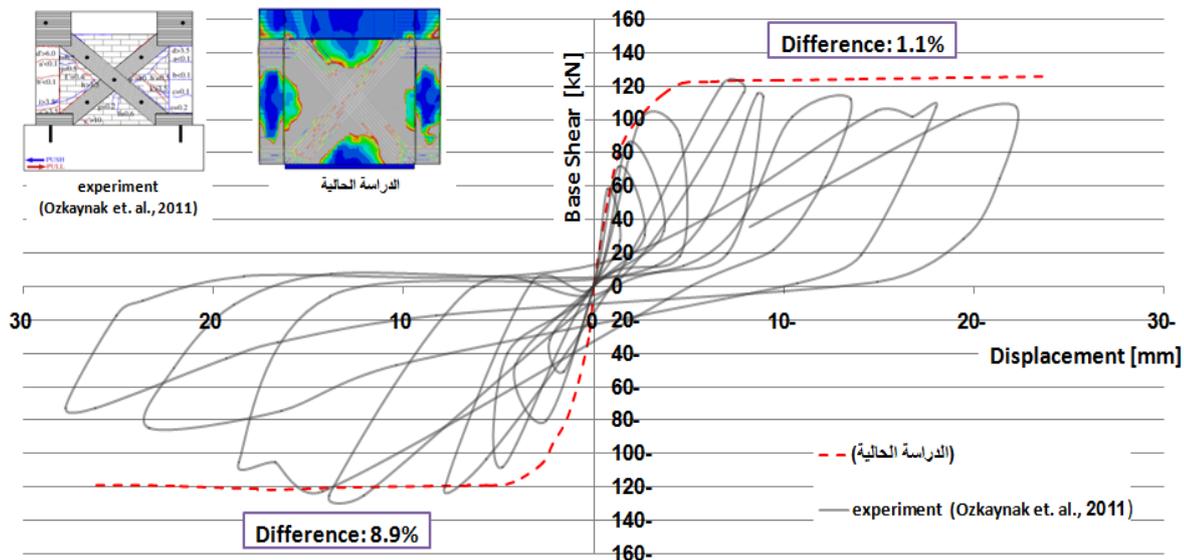
يلاحظ من مغلف الحلقات الهستيرية أن قساوة الجملة تبدأ بالتغير عند الوصول إلى انتقال مقداره $\Delta = 2.5\text{mm}$ ، حيث يبدأ ميل المغلف بالتغير بشكل كبير ما يعني أن تغييراً في قساوة الجملة قد حدث عند هذه النقطة نتيجة لتشكيل المفاصل اللدنة في أعلى وأسفل أعمدة الإطار البيتوني، ومن ثم يستمر المغلف بصعود طفيف ليتحول بعدها إلى خط شبه أفقي ما يعني ثبات القص القاعدي مع ازدياد الانتقالات بسبب تشكل المفاصل اللدنة في أعلى وأسفل الأعمدة وهو نمط الانهيار في التجربة. بلغت قيمة القص القاعدي العظمى 125.83kN في الهزة الموجبة و 121.35kN في السالبة، ولوحظ أن المغلف متناظر تقريباً في كل من حالتي الهزة الموجبة والسالبة. يمكن من الشكل (34-3) ملاحظة التشققات الحاصلة في كل من الإطار البيتوني والجدار عند انتقال $\Delta = 2.5\text{mm}$ ، حيث تظهر التشققات باللون الرمادي متركزة بشكل رئيسي في مركز الجدار في المناطق المتوضعة حول شرائح الـ CFRP، إضافة إلى التشققات الحاصلة في أعلى وأسفل الأعمدة.

للتحقق من صحة نتائج النموذج العددي تم مقارنة النتائج مع النموذج التجريبي في الدراسة المرجعية، حيث يبين الشكل (35-3) مقارنة مغلفات الحلقات الهستيرية للنموذج العددي للإطار البيتوني مع وجود جدار البلوك الإسمنتي المقوى بال CFRP مع الحلقات الهستيرية للدراسة التجريبية، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقالات الأفقية النسبية لأعلى الإطار مقاسة بـ mm، بينما يمثل المحور الشاقولي قوة القص القاعدي مقاسة بالـ kN.

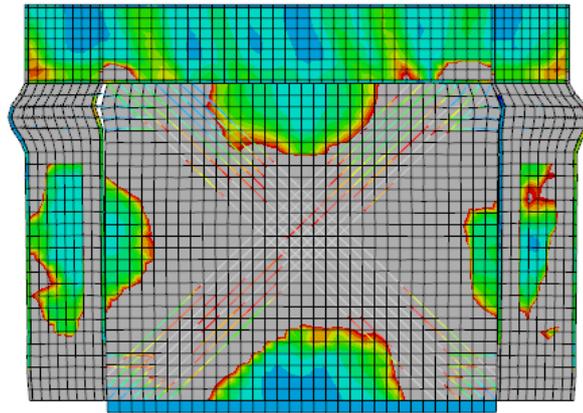
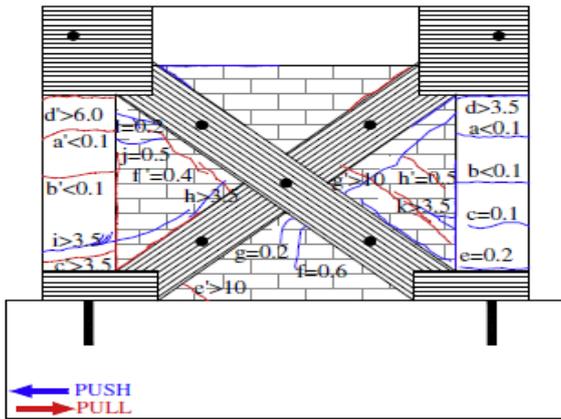
يتبين من الشكل (35-3) مدى التقارب الواضح بين الحلقات الهستيرية للدراسة التجريبية ومغلف الحلقات في النموذج العددي حتى مراحل متقدمة من التحليل حتى الوصول إلى انتقال بين 15-18mm، حيث يظهر في الدراسة التجريبية هبوط في قوة القص القاعدي بسبب انهيار التماسك وانفصال الشرائح عن السطح الحامل لها بينما تستمر قوة القص القاعدي في النموذج العددي بنفس القيمة تقريباً ما يدل على تشكل ميكانيكية انهيار لدن للجملة في هذه المرحلة دون حدوث انهيار في النموذج الرياضي. وبمقارنة قوى القص الأعظمية في كل من النموذجين تبين أن الاختلاف وصل إلى 1.1% في حالة الهزة الموجبة، و8.9% في حالة الهزة السالبة. بالنظر إلى التشوهات الحاصلة عند نهاية التحليل في كل من النموذجين الرياضي والتجريبي (الشكل 3-36)، يتبين التطابق في التشققات في كل من الجدار والإطار البيتوني وهو ما أعطى دليلاً إضافياً على صحة النموذج العددي المستخدم في الدراسة الحالية. وبناءً عليه فقد تم قبول نتائج النموذج العددي واعتباره مناسباً لاستكمال الدراسة البارامترية فيما بعد.



الشكل(34-3) التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 2.5mm للنموذج ($F_{w,FRP}$).



الشكل(35-3) مقارنة نتائج الرياضي ($F_{w,FRP}$) مع الدراسة التجريبية.



b. التشوهات الحاصلة في النموذج التجريبي

(Ozkaynak et al., 2011)

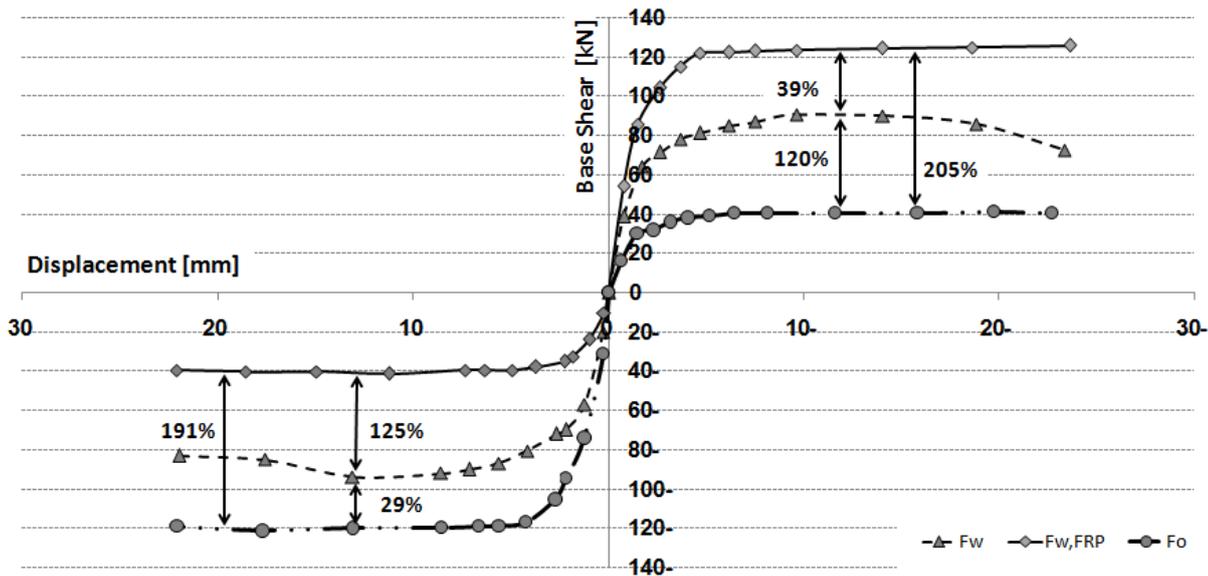
a. التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 20mm (الدراسة الحالية)

الشكل (36-3) مقارنة تشوهات النموذج الرياضي ($F_{w,FRP}$) مع الدراسة التجريبية عند نهاية التحليل.

4.9.3 ملخص نتائج النموذج العددي ($F_o, F_w, F_{w,FRP}$)

Results' Summary of Numerical model ($F_o, F_w, F_{w,FRP}$)

يتبين من خلال الشكل (37-3) والذي يلخص نتائج المراحل الثلاثة من بناء النموذج الرياضي، فعالية أخذ تأثير جدران البلوك لرفع مقاومة الجمل الإطارية في تحمل الأحمال الجانبية في مستويها حيث أدت إضافة الجدار إلى الإطار البيتونى المسلح إلى رفع قيمة القص القاعدي للجملة بنسبة 120% في الهزة الموجبة و 125% في الهزة السالبة مقارنة مع قيم القص القاعدي للإطار المفرغ دون جدار (F_o). بينما أدت تقوية الجدار بشرائح الـ CFRP في النموذج ($F_{w,FRP}$) إلى زيادة قيمة القص القاعدي للجملة بنسبة 39% في الهزة الموجبة و 29% في الهزة السالبة مقارنة مع قيم القص القاعدي للإطار المملوء بجدار (F_w). وبالتالي أدى أخذ أثر جدار البلوك المقوى بالـ CFRP في النموذج ($F_{w,FRP}$) إلى زيادة قيمة القص القاعدي للجملة بنسبة 205% في الهزة الموجبة و 191% في الهزة السالبة مقارنة مع قيم القص القاعدي للإطار غير المملوء بجدار (F_o) وهذا يؤكد مجدداً على فاعلية استخدام الشرائح في رفع كفاءة الجمل الإطارية لمقاومة الأحمال الجانبية في مستويها.



الشكل (35-3) ملخص النموذج الرياضي ($F_o, F_w, F_{w,FRP}$) (الدراسة الحالية).

10.3 نتيجة الفصل الثالث Chapter 03 Conclusion

تم من خلال هذا الفصل استعراض عملية بناء النموذج العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة، حيث تم في البداية استعراض إمكانيات البرنامج الإنشائي (ABAQUS V6.12-1, 2012)، وإيجاد النماذج البنوية للمواد المشكلة للنموذج من البيتون وفولاذ التسليح وجدار البلوك ومن ثم تم اختيار العناصر المحدودة المناسبة لبناء النموذج العددي الذي يحاكي النموذج التجريبي. بعدها تم توصيف طريقة ربط العناصر المختلفة لتأمين العمل المشترك للجملة ككل، واختيار الشروط المحيطية والتحليل المناسبين. من ثم تم بناء النموذج العددي والتحقق من نتائجه ومدى مطابقتها لنتائج الدراسة التجريبية.

من خلال عملية مطابقة النتائج تم اعتماد النموذج العددي الذي تم بناؤه في هذا الفصل لإجراء الدراسة البارامترية كما سيرد في الفصل الرابع.

الفصل الرابع

Chapter 04

الدراسة الباراميتريّة Parametric Study

1.4 مقدمة

Introduction

يستعرض هذا الفصل الدراسة الباراميتريّة التي تمت في هذا البحث، حيث تم البدء بتغيير الخواص الميكانيكية لجدار البلوك لإيجاد مدى تأثيرها على سلوك الإطارات البيتونية المسلحة تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها وكذلك مدى تأثيرها على فعالية تقوية جدران البلوك بشكل قطري باستخدام شرائح الـ CFRP. لإيجاد الخواص الميكانيكية لجدران البلوك، تم في البدء إجراء دراسة إحصائية لنتائج كسر عينات من البلوك المحلي ومقارنتها بالقيم الموجودة في المواصفات الأوربية، من خلال الدراسة الإحصائية تم تحديد قيم مقاومة جدران البلوك المتوقعة والتي اعتمدت لإجراء الدراسة الباراميتريّة. ومن ثم تم في المرحلة الثانية تغيير عرض شرائح الـ CFRP وإيجاد مدى تأثيرها على فعالية التقوية.

2.4 الدراسة الإحصائية لنتائج كسر عينات البلوك المحلي

Statistical Study on Testing Results of Local Concrete Blocks

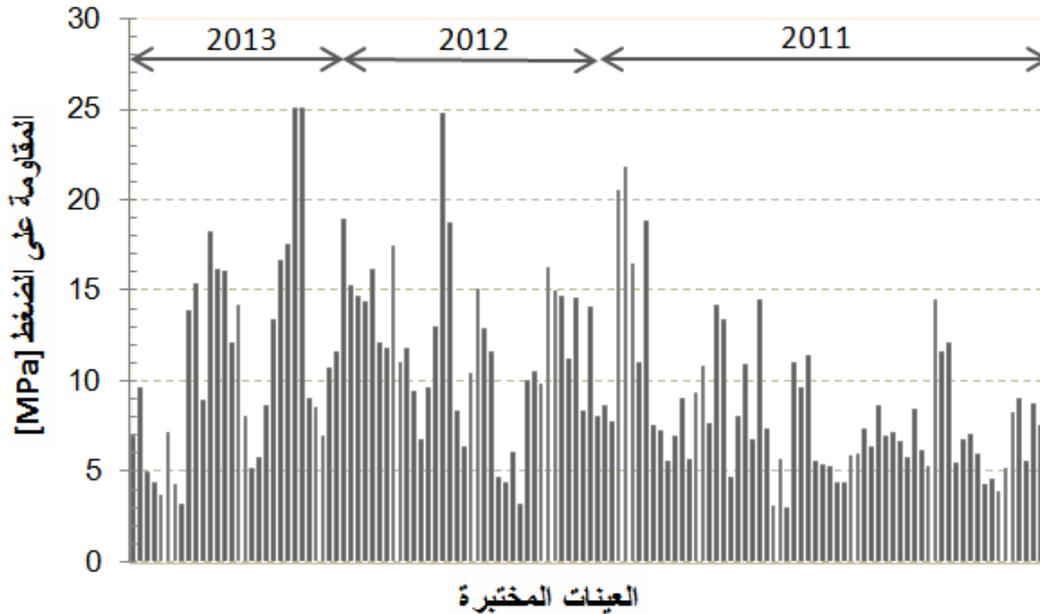
بهدف الاطلاع على نوعية البلوك المحلي ومقاومته المحتملة، تم الاستعانة بقاعدة بيانات مخبر مواد البناء بكلية الهندسة المدنية والذي يعتبر من المخابر الرئيسية الهامة التي تخدم قطاعاً واسعاً من اختبارات البيتون ومواد البناء في الجمهورية العربية السورية. حيث تم استخراج نتائج الاختبار الخاصة باختبار عينات البلوك الإسمنتي المفرغ على الضغط (الشكل 1-4)، للفترة الزمنية الممتدة بين عامي 2011 و 2013. وقد بلغ عدد العينات المختبرة خلال الفترة المذكورة (200) عينة من الأبعاد 400x200x100mm و 400x200x150mm و 400x200x200mm، وموزعة على مشاريع متنوعة كبيرة ومتوسطة وصغيرة الحجم، وتعود هذه المشاريع للقطاعات العام والخاص.

كما مر سابقاً في الفقرة (2.2.2)، تم الاعتماد خلال الدراسة الحالية على الطريقة المتبعة في المواصفة الأوربية (BS EN 771-3, 2003) حيث تم حساب مقاومة وحدات البلوك على الضغط بتقسيم الحمل الأقصى الذي تتحمله وحدة البلوك المختبرة على مساحة التحميل (Loaded Area) التي تحدد بدورها بالمساحة الصافية للسطح المعرض للضغط (Net Loaded Surface) عندما تتجاوز مساحة الفراغات في سطح التحميل 35% من السطح الكامل لوحدة البلوك (Gross Area)، أو بالسطح الكامل لوحدة البلوك المختبرة عند عدم تحقق الشرط السابق.

لا اعتماد قيمة مرجعية واحدة للعينات المختلفة بالأبعاد تم تحويل مقاومة الضغط لوحدة البلوك المختبرة إلى مقاومة الضغط الاسمية f_b (Normalized compressive strength) المكافئة لعينة بأبعاد 100x100x100mm مجففة إلى درجة حرارة الغرفة كما ورد في الفقرة (2.2.2).

بعد إجراء دراسة إحصائية تبين أن متوسط قيمة الضغط للعينات 10MPa بينما بلغ الانحراف المعياري $SD=4.88$. تمت إجراء دراسة التوزيع الطبيعي للنتائج الأخيرة (الشكل 2-4)، وللحصول على توزيع متناظر للنتائج حول

القيمة الوسطية تم استبعاد العينات التي تقع خارج المجال المحدد بـ $(1.65 \times SD)$ وبالنتيجة بلغت قيمة المقاومة العظمى على الضغط 17.53MPa ، بينما بلغت القيمة الدنيا للمقاومة على الضغط 2.97MPa مع الإشارة إلى أن هذه القيم محسوبة على السطح الصافي للعينات المختبرة، وأن هذه القيم تعبر عن القيم المكافئة لعينات بأبعاد $100 \times 100 \times 100\text{mm}$. بمراجعة القيم المتوفرة لتحمل البلوك الإسمنتي على الضغط مقاساً على السطح الصافي للعينات الواردة في المواصفات الأوربية (McKenzie, 2001)، وجد أن القيم تتراوح بين 4MPa - 42 ، ويبين الشكل (4-3) مقارنة قيم البلوك المحلي مع القيم الواردة في المواصفات الأوربية.

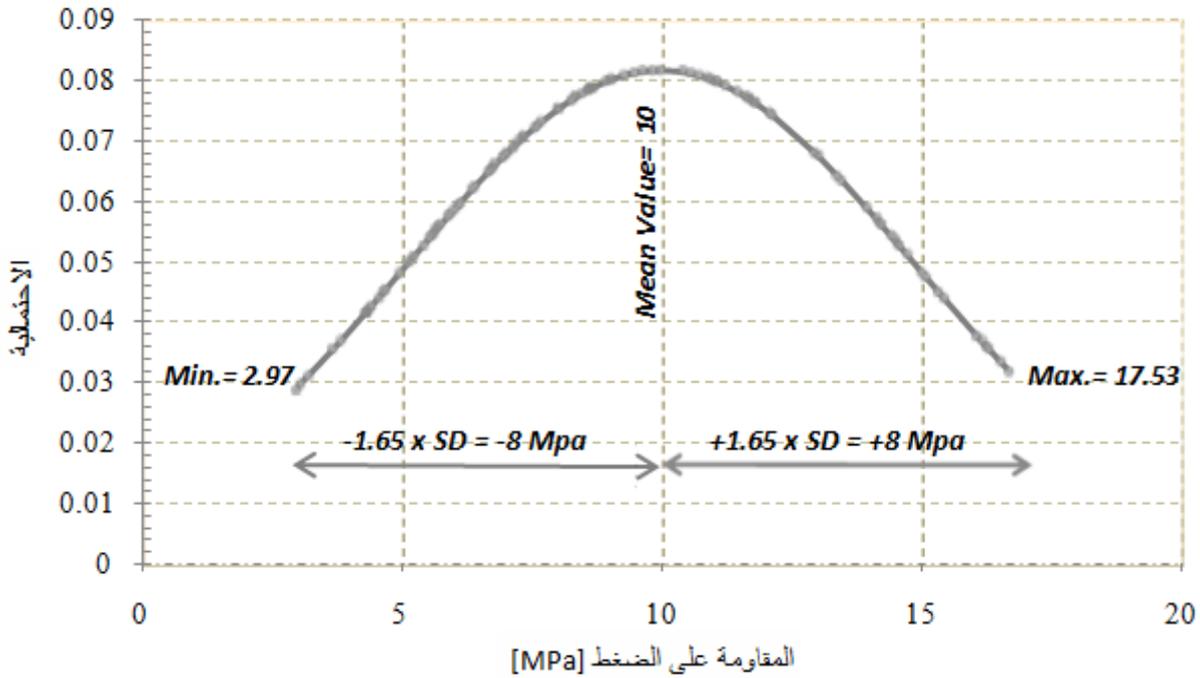


الشكل (4-1) نتائج اختبار البلوك المحلي على الضغط f_b للفترة بين الأعوام 2011 – 2013 (الدراسة الحالية).

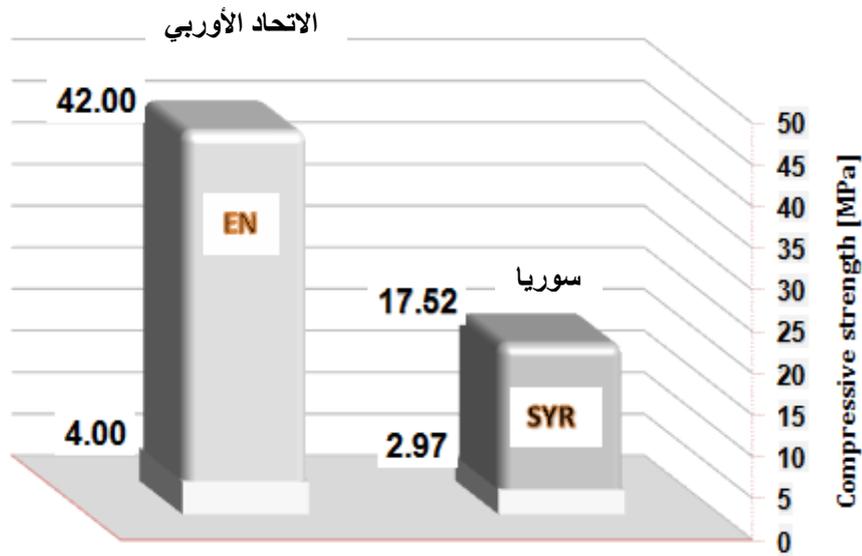
بالنسبة للمونة المحلية فقد تم إجراء استعلام عن نسب المواد الداخلة بتركيبها وتبين أن غالبية النسب المستخدمة هي 1 للاسمنت إلى (5 to 6) للرمال دون استخدام الكلس، أي بالمقارنة مع التصنيف الأوربي للمونة والمبين بالجدول (2-2)، يمكن استنتاج أن المونة المحلية تقع ضمن التصنيف الثالث للمونة (iii) وبالتالي فإن مقاومة المونة على الضغط يمكن أن تصل إلى 3.6MPa ، وبناءً عليه تم اعتبار مقاومة المونة على الضغط خلال الدراسة الحالية 3.5MPa .

تم حساب قيمة مقاومة الجدار وفق العلاقة (2-1) باعتبار قيم مقاومة وحدات البلوك على الضغط تتراوح بين 4MPa - 42 واعتبار قيمة مقاومة المونة على الضغط تتراوح بين $(1.5\text{MPa}$ - $16)$ ، حسب المواصفات الأوربية (McKenzie, 2001). القيم الناتجة مبيّنة في الجدول (4-1).

لاعتماد مقاومة الجدار على الضغط في الدراسة الحالية تم استخدام القيم الواردة أعلاه لكل من مقاومة وحدات البلوك على الضغط محلياً وعالمياً أي ضمن المجال $(4\text{MPa}$ - $42)$ ، وكذلك قيمة مقاومة المونة على الضغط المعتمدة محلياً (3.5MPa) ، ومن القيم المحسوبة تم اعتماد كل من القيم $1.7, 3.5, 5.0, 7.0, 9.0$ ، والموافقة لمقاومة مونة على الضغط مقدارها (3.6MPa) ، لإجراء الدراسة الباراميتريّة.



الشكل (2-4) التوزيع الطبيعي لنتائج اختبار البلوك المحلي على الضغط f_b للفترة بين 2011 – 2013 (الدراسة الحالية).



الشكل (3-4) التوزيع الطبيعي لنتائج اختبار البلوك المحلي على الضغط f_b للفترة بين 2011 – 2013 (الدراسة الحالية).

الجدول (1-4) مقاومة الجدار على الضغط [MPa] (الدراسة الحالية)

f_m [MPa]	f_b [MPa]						
	4	10	18	20	27.5	35	42
16	2.7	5.2	7.8	8.4	10.5	12.5	14.1
5	1.9	3.7	5.5	5.9	7.4	8.8	10.0
3.6	1.7	3.3	5.0	5.4	6.7	8.0	9.0
1.5	1.3	2.5	3.8	4.1	5.2	6.1	7.0

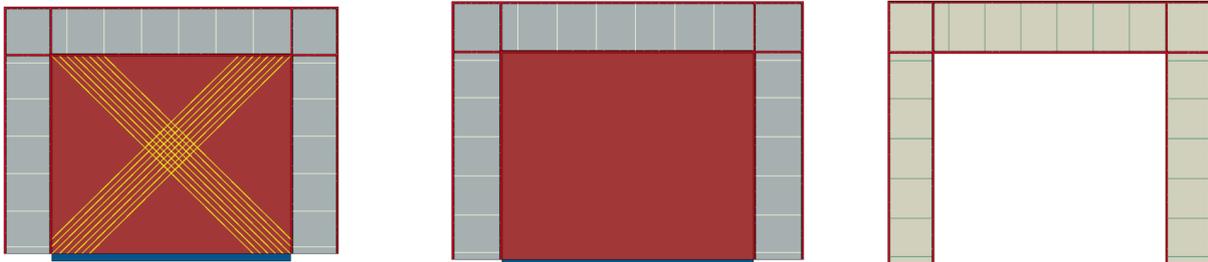
3.4 النموذج العددي الخاص بالدراسة الباراميتريّة Numerical Model of Parametric Study

تم بناء النماذج التي استعملت خلال الدراسة الباراميتريّة اعتماداً على النماذج الثلاثة ($F_o, F_w, F_{w,FRP}$)، والتي تم التحقق من صحتها في الفقرة (9.3)، حيث تم اعتماد نفس الأبعاد الهندسية لكل من الإطار البيتوني المسلح وجدار البلوك وشرائح الـ CFRP مع المحافظة على كمية التسليح الموجودة في المقاطع البيتونية وأبعاد العناصر المحدودة، مع تغيير قيم المواصفات الميكانيكية للمواد المستخدمة، حيث تم تقسيم العمل إلى ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى: هي مرحلة بناء النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح بدون وجود جدار البلوك الإسمنتي (Bare Frame, P- F_o) (الشكل 4-4-a)، باعتماد المقاومة المتوسطة للبيتون على الضغط 25MPa، وقيمة إجهاد السيلان لفولاذ التسليح 400MPa.

المرحلة الثانية: تم فيها بناء النموذج العددي للإطار البيتوني المسلح المملوء بجدار بلوك إسمنتي (Infilled Frame, P- F_w) (الشكل 4-4-b)، وتم فيها اعتماد مقاومة الجدار على الضغط متغيرة حسب القيم الخمس الواردة في الفقرة (2.4).

المرحلة الثالثة: تمت بتقوية الجملة بإضافة شرائح الـ CFRP (Strengthened Infilled Frame, P- $F_{w,FRP}$) (الشكل 4-4-c)، ولكن بشكل قطري فقط كون هذه الطريقة تعطي الفعالية الأكبر حسب ما ورد في الدراسات المرجعية، حيث أن التشققات في الجدار تحدث بشكل قطري وبالتالي تساهم الشرائح القطرية بالحد من هذه التشققات، وفي نفس الوقت تم عند وضع شرائح الـ FRP ربط الإطار البيتوني والجدار من خلال أوتاد التثبيت (Anchors) المزروعة في عقد الإطار البيتوني العلوية والسفلية.

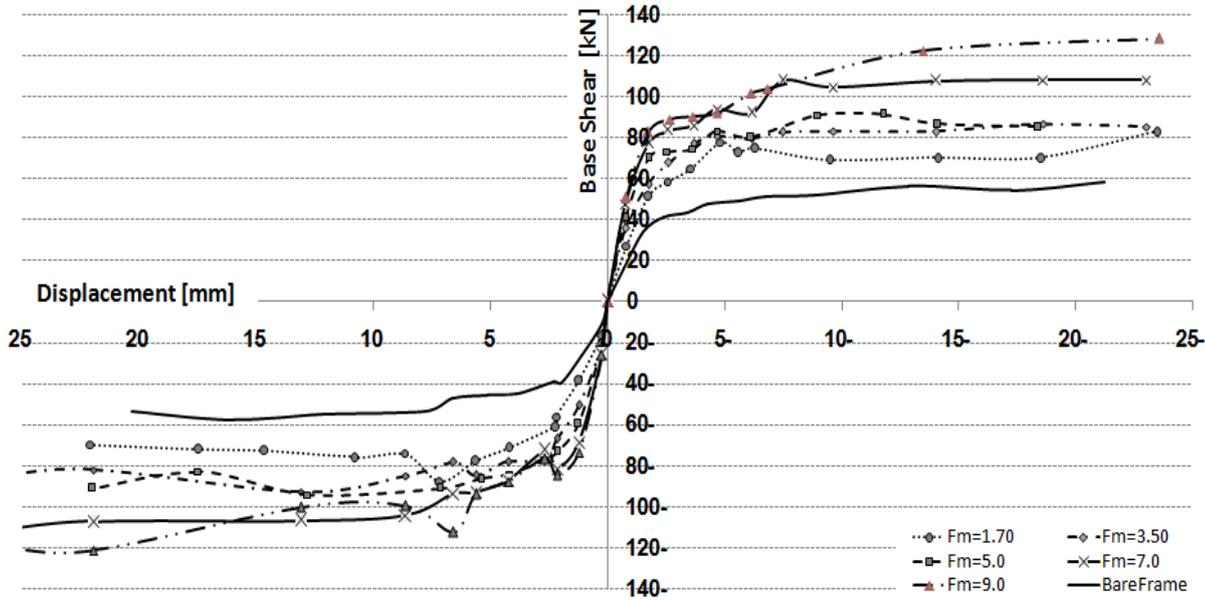


a. نموذج الإطار البيتوني بدون جدار (P- F_o)
b. نموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار (P- F_w)
c. نموذج الإطار البيتوني المملوء بجدار مقوى بـ شرائح CFRP (P- $F_{w,FRP}$)

الشكل (4-4) النموذج الرياضي الخاص بالدراسة الباراميتريّة (الدراسة الحالية).

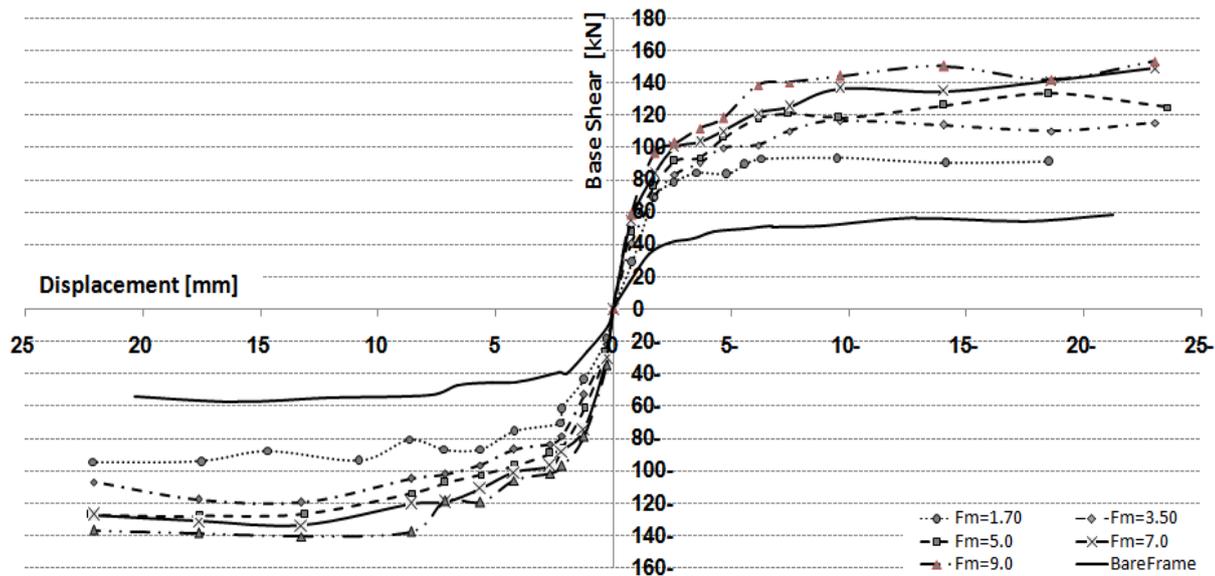
4.4 دراسة أثر تغيير الخواص الميكانيكية لجدار البلوك Effect of Changing the Mechanical Properties Masonry Block

تم باعتماد النماذج المبينة بالفقرة (3.4)، وبتغيير قيم مقاومة الجدار على الضغط حسب القيم الخمس الواردة في الفقرة (2.4)، إجراء التحليل الإنشائي للنماذج واستنتاج أثر تغيير الخواص الميكانيكية لجدار البلوك على سلوك الجملة في مراحلها الثلاث. يبين الشكل (5-4) نتائج النموذج (P- F_o) والنموذج (P- F_w) لكل مقاومة من مقاومات الجدار المعتمدة، حيث يمثل المحور الأفقي الانتقالات في مستوي أعلى الإطار البيتوني مقدرة بـ (mm)، بينما يمثل المحور الشاقولي قيم القص القاعدي مقدرة بالـ (kN). المنحنيات المرسومة تمثل مغلفات الحلقات الهستيرية الناتجة من تطبيق الانتقالات الدورية عند تحليل النماذج، ويلاحظ منها ازدياد قوى القص القاعدي عند إضافة الجدار إلى الإطار البيتوني وكذلك ازدياد قيمة القص القاعدي بزيادة مقاومة الجدار على الضغط بنسب مختلفة.



الشكل (5-4) أثر تغيير مقاومة الجدار - النموذج (P-F_w) (الدراسة الحالية).

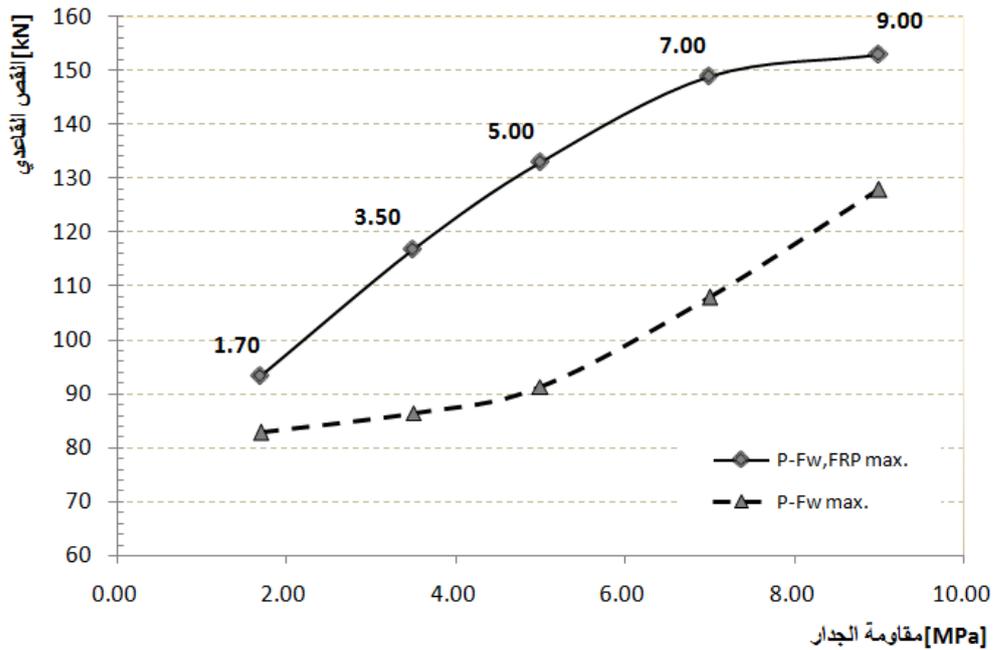
نتائج تحليل النموذج (P-F₀) والنموذج (P-F_{w,FRP}) لكل مقاومة من مقاومات الجدار المعتمدة مبينة في الشكل (4-4) حيث يمثل المحور الأفقي الانتقالات في مستوي أعلى الإطار البيتوني مقدرة بـ (mm)، بينما يمثل المحور الشاقولي قيم القص القاعدي مقدرة بالـ (kN). المنحنيات المرسومة تمثل مغلفات الحلقات الهستيرية الناتجة من تطبيق الانتقالات الدورية عند تحليل النماذج، حيث (F_m) تمثل مقاومة الجدار على الضغط، ويلاحظ منها ازدياد قوى القص القاعدي عند تقوية الجدار وكذلك زيادة قيمة القص القاعدي بزيادة مقاومة الجدار المقوى. ويمكن بمقارنة القيم الناتجة مع الشكل (4-5) ملاحظة زيادة قوى القص القاعدي عند تقوية الجدار لكل قيمة من قيم مقاومة الجدار على الضغط، ما يعكس فعالية الطريقة المتبعة في التقوية.



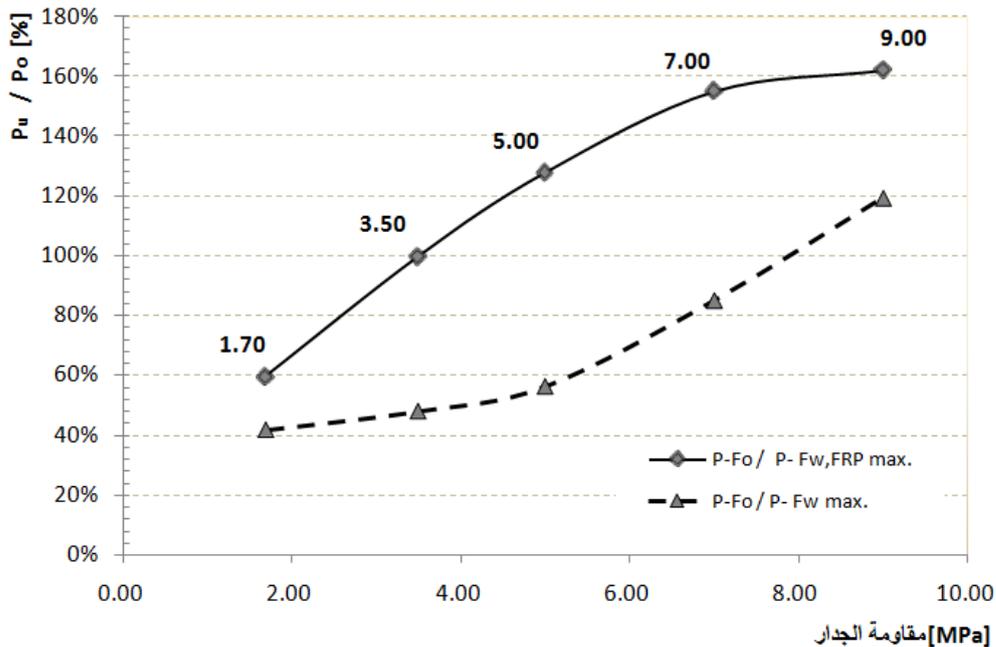
الشكل (6-4) أثر تغيير مقاومة الجدار - النموذج (P-F_{w,FRP}) (الدراسة الحالية).

يُظهر الشكل (4-7)، العلاقة بين مقاومة الجدار وقيمة القص القاعدي الأعظمي لكل نموذج، حيث يمثل المحور الأفقي مقاومة الجدار على الضغط مقدرة بالـ (MPa)، بينما يمثل المحور الشاقولي القص القاعدي مقدراً بالـ (kN). يلاحظ من خلال الخط المنقطع، والذي يمثل علاقة تغير قيمة القص القاعدي بتغير مقاومة الجدار على الضغط، ازدياد قيمة القص

القاعدي بزيادة مقاومة الجدار حيث ترسم هذه الزيادة علاقة لا خطية بتقعر نحو الأعلى وبميل خفيف حتى الوصول إلى مقاومة للجدار على الضغط مقدارها 5.0MPa ليزداد بعدها الميل بشكل كبير دلالة على زيادة فاعلية الجملة حتى الوصول إلى القيمة العظمى عند مقاومة للجدار على الضغط 9.0MPa. وبحساب قيمة فاعلية الجملة (P_u) مقارنة بالجملة دون جدار (P_o) الممثلة بالخط المتقطع في الشكل (4-8)، نجد أن فعالية إضافة جدار البلوك بدأت بـ 42% عند مقاومة الجدار 1.7MPa لتزداد بميل خفيف لتصل إلى 56% عند مقاومة جدار 5.0MPa ومن ثم يزداد ميل العلاقة بشكل كبير لتصل الفعالية إلى 119% عند مقاومة جدار 9.0MPa.



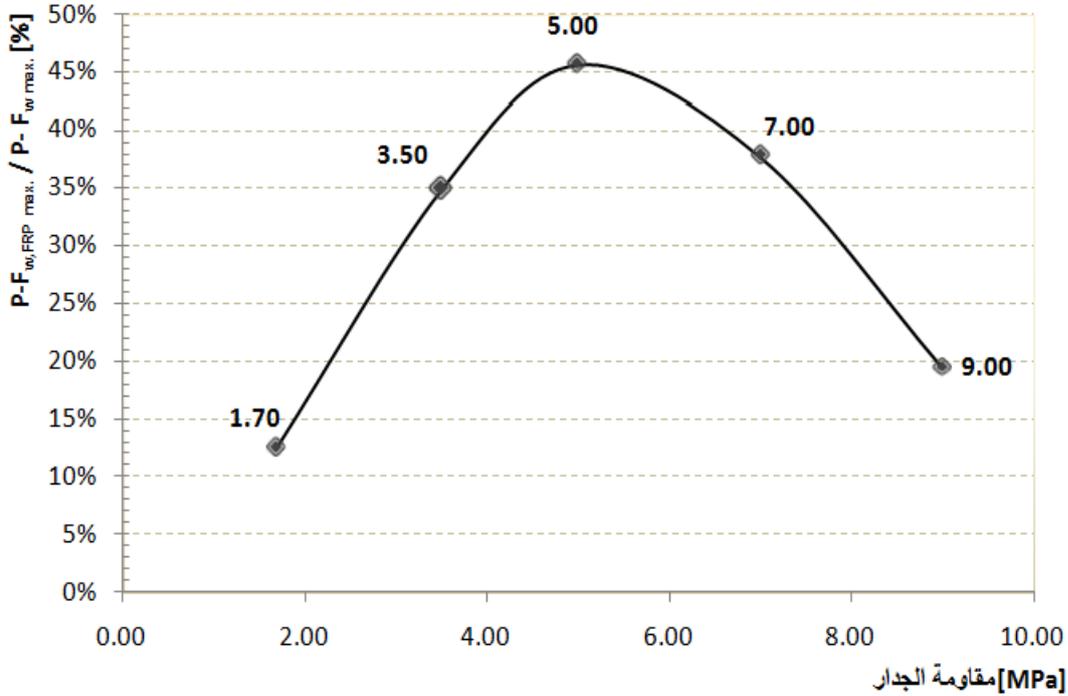
الشكل (4-7) أثر تغيير مقاومة الجدار (الدراسة الحالية).



الشكل (4-8) فاعلية تغيير مقاومة الجدار نسبة للنموذج ($P-F_o$) (الدراسة الحالية).

بينما يُظهر الخط المستمر في الشكل (4-7)، والذي يمثل علاقة تغيير قيمة القص القاعدي بتغيير مقاومة الجدار المقوى بال-CFRP، ازدياد قيمة القص القاعدي بزيادة مقاومة الجدار المقوى حيث ترسم هذه الزيادة علاقة لا خطية بتقعر

نحو الأسفل بميل يزداد تدريجياً حتى الوصول إلى مقاومة للجدار مقدارها 7.0MPa ليزداد بعدها الميل بشكل طفيف دلالة على انخفاض فاعلية الجملة حتى الوصول إلى القيمة العظمى عند المقاومة للجدار 9.0MPa. وبحساب قيمة فاعلية الجملة مقارنة بالجملة دون جدار الممثلة بالخط المستمر في الشكل (4-8) نجد أن فاعلية إضافة تقوية لجدار البلوك نسبة إلى الإطار البيتوني بدون جدار بدأت بـ 60% عند مقاومة الجدار 1.7MPa لتزداد تدريجياً إلى 155% عند مقاومة جدار 7.0MPa ومن ثم يقل ميل العلاقة بشكل كبير لتصل الفعالية إلى 162% عند مقاومة جدار 9.0MPa.

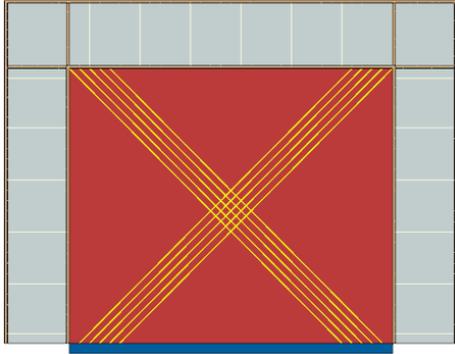


الشكل (4-9) فاعلية تقوية الجدار نسبة للنموذج (P-F_w) (الدراسة الحالية).

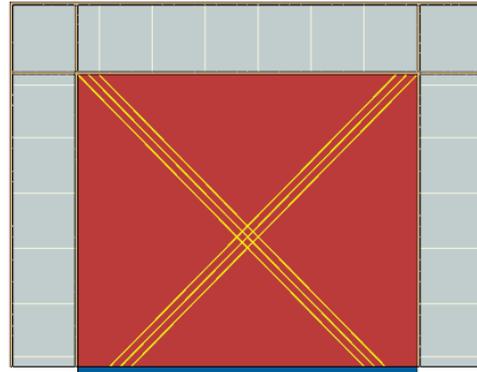
بمقارنة الخطتين المتقطع والمستمر في كل من الشكلين (4-7) و (4-8)، وبملاحظة أن زيادة فاعلية إضافة جدار البلوك تكون ملحوظة وترتفع بقيم كبيرة عند القيم المرتفعة لمقاومة الجدار على الضغط (7~9MPa) بينما زيادة فاعلية تقوية الجدار تكون أقل عند القيم المرتفعة لمقاومة الجدار على الضغط (7~9MPa)، وأن تقع الخطتين متعكس ما يعني أن فاعلية إضافة شرائح الـ CFRP تتأثر بزيادة مقاومة الجدار، وذلك وكما هو مبين في الشكل (4-9)، تم حساب فاعلية تقوية الجدار بالشرائح القطرية (P-F_{w,FRP}) نسبة إلى جملة الإطار المملوء بجدار البلوك (P-F_w) ويبدو جلياً أن فاعلية التقوية تزداد مع زيادة مقاومة الجدار على الضغط بدءاً من 13% عند 1.7MPa وتستمر بالزيادة حتى تبلغ قيمها العظمى (46%) عندما تبلغ قيم مقاومة جدار البلوك الإسمنتي على الضغط 5.0MPa، ومن ثم تعود للانخفاض مع زيادة مقاومة الجدار على الضغط لتصل إلى 20% عند مقاومة الجدار 9.0MPa. وبالتالي فإنه للإطار المعتمد بالموصفات المحددة أعلاه وتحت تأثير الانتقالات الدورية في مستوي الإطار، تظهر فاعلية استخدام شرائح الـ CFRP بشكل جيد في حال المقاومات المتوسطة (5.0MPa)، حيث أن استخدام جدران بلوك بمقاومات صغيرة (1.7MPa) ستؤدي إلى انهيار الجدار قبل دخول الـ CFRP في العمل بشكل فاعل، بينما وعند استخدام مقاومات مرتفعة (9.0MPa) فإن تشوهات الجدار ستكون أقل مما عليه في حالة المقاومات المنخفضة وسيؤخر انهيار الجدار إلى مراحل متقدمة، ما يؤدي إلى عدم دخول الـ CFRP في العمل بشكل فاعل وبالتالي فإن الاستفادة من التقوية ستكون قليلة وغير فاعلة. وبناءً عليه فإن لتغيير الخواص الميكانيكية لجدران البلوك أثراً كبيراً في سلوك الجمل الإطارية تحت تأثير الانتقالات الدورية في مستوياتها، وكذلك فإن فاعلية التقوية القطرية باستخدام الـ CFRP تكون أمثلية الاستخدام للمقاومات المتوسطة للجدران على الضغط.

5.4 دراسة أثر تغيير عرض شرائح الـ CFRP Effect of changing the width of CFRP Laminates

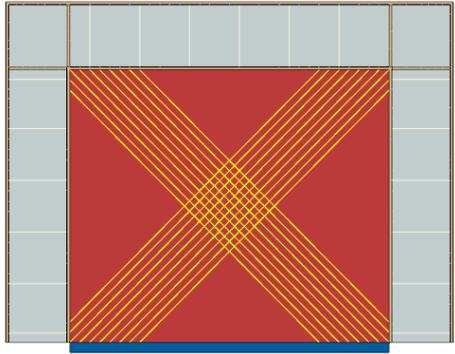
تم بناء أربعة نماذج مقواة بشرائح الـ CFRP بشكل قطري كما في الفقرة السابقة (4.4)، اعتمدت مقاومة الجدار 5.0MPa الموافقة لفاعلية التقوية الأمثلية، وتم تغيير عرض شرائح التقوية لتكون $200, 150, 100, 50\text{mm}$ كما هو مبين بالشكل (10-4). نتائج تحليل نماذج الشكل (10-4) مبينة في الشكل (11-4) حيث يمثل المحور الأفقي الانتقالات في مستوى أعلى الإطار البيتوني مقدر بـ (mm)، بينما يمثل المحور الشاقولي قيم القص القاعدي مقدر بـ (kN). المنحنيات



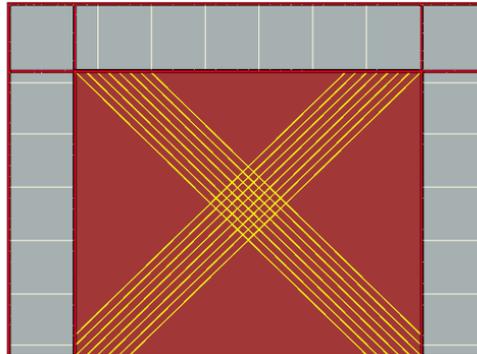
b. النموذج (P-F_{FRP100}) بعرض شرائح 100mm



a. النموذج (P-F_{FRP50}) بعرض شرائح 50mm



d. النموذج (P-F_{FRP200}) بعرض شرائح 200mm

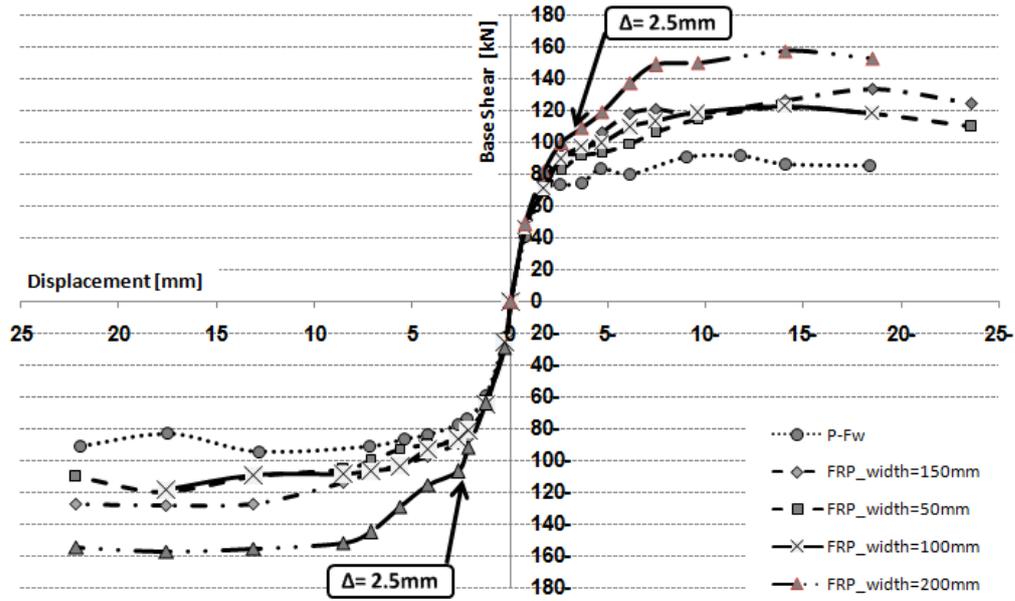


c. النموذج (P-F_{FRP150}) بعرض شرائح 150mm

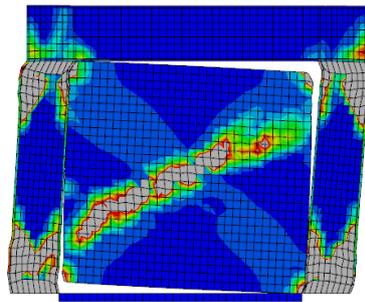
الشكل (10-4) تغيير عرض شرائح الـ CFRP (الدراسة الحالية).

المرسومة تمثل مغلفات الحلقات الهستيرية الناتجة من تطبيق الانتقالات الدورية عند تحليل النماذج، ويلاحظ منها ازدياد قوة القص القاعدي بين النموذج (P-F_w) غير المقوى وبين النماذج المقواة، كما يظهر ازدياد قوى القص القاعدي بزيادة عرض الشرائح المستخدمة إلا أن الزيادة كانت طفيفة حتى الوصول إلى عرض الشرائح 150mm ومن ثم ارتفعت قيم الزيادة بشكل ملحوظ عند الوصول إلى عرض الشرائح الموافق لـ 200mm.

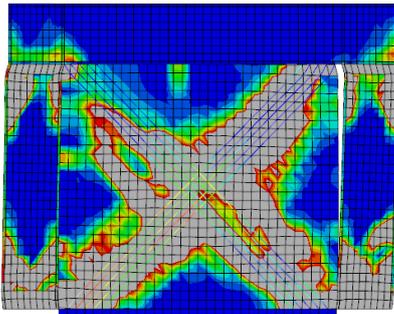
بالنظر في المنحنيات الممثلة لمغلفات الحلقات الهستيرية، يمكن استنتاج بعض النقاط المميزة حيث يلاحظ من شكل المنحنيات ازدياد قساوة الجملة بشكل مطرد حتى الوصول إلى انتقال جانبي مقدار 2.5mm، حيث يبدأ تغيير قساوة الجملة ومن ثم يقل ميل القساوة حتى الوصول إلى انتقال جانبي مقدر بـ 10mm حيث تنعدم القساوة ما يدل على تلدن الجملة. الشكل (12-4) يبين التشوهات النسبية الرئيسية الحاصلة في نماذج الشكل (10-4) عند الانتقال 2.5mm والموافق لبدء تغيير قساوة الجملة كما ذكر آنفاً، حيث يمثل اللون الرمادي الفاتح المناطق التي تجاوزت تشوهات الانهيار النسبية للمادة.



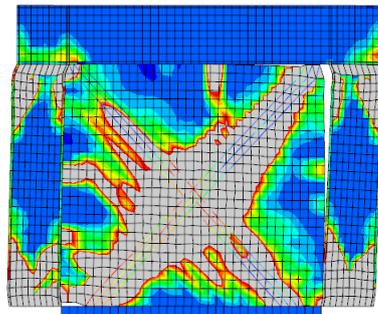
الشكل(4-11) نتائج تغيير عرض شرائح الـ CFRP (الدراسة الحالية).



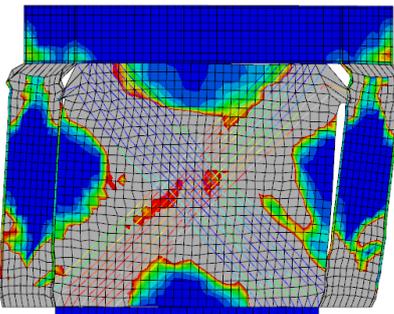
a. التشوهات النسبية الرئيسية - النموذج (P-F_w)



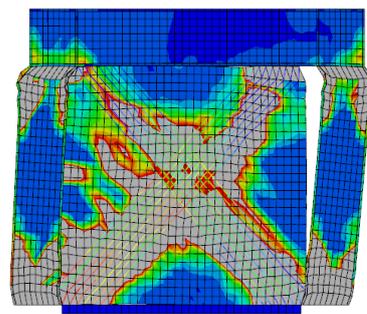
c. التشوهات النسبية الرئيسية - النموذج (P-F_{FRP100})



b. التشوهات النسبية الرئيسية النموذج (P-F_{FRP50})



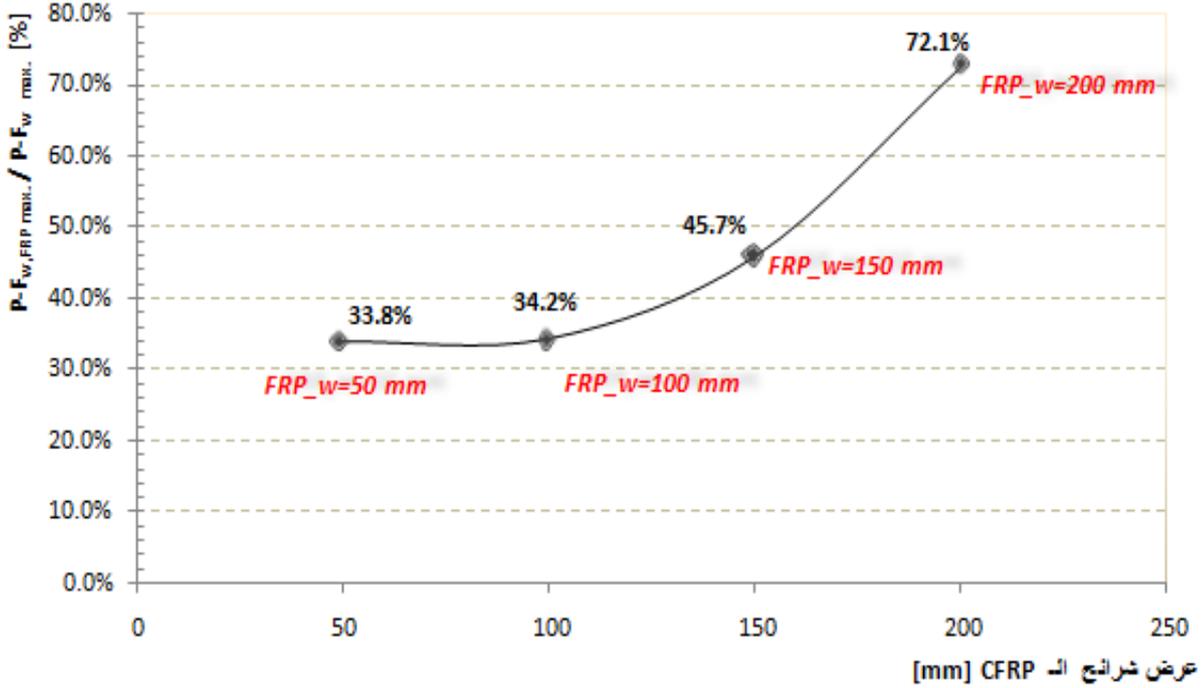
e. التشوهات النسبية الرئيسية - النموذج (P-F_{FRP200})



d. التشوهات النسبية الرئيسية - النموذج (P-F_{FRP150})

الشكل(4-12) التشوهات النسبية الرئيسية عند انتقال 2.5mm (الدراسة الحالية).

يبدو في الشكل (a-10-4) بدء ظهور تشكل التشققات القطرية وهذا ما يفسر التغير في قساوة الجملة عند الانتقال 2.5mm وبمقارنة هذا الشكل مع الأشكال (b-10-4) إلى (e-10-4) حيث يلاحظ ازدياد عرض المنطقة الفعالة من الجدار بازدياد عرض الشرائح ما يؤكد دور الشرائح في رفع كفاءة الجمل الإطارية لمقاومة الأحمال الجانبية في مستوياتها، حيث بلغت قيمة القص القاعدي عند انتقال 2.5mm للنموذج (P-F_w) لترتفع إلى 100,92,90,82kN عند عرض الشرائح 200,150,100,50mm على الترتيب. بالتالي تبلغ قيمة فاعلية التقوية في المرحلة المرنة 36,25,23,13% لنفس ترتيب عرض الشرائح السابق، ويظهر من القيم السابقة أن الفاعلية تبدأ بالزيادة بشكل ملحوظ عند الوصول إلى عرض شرائح 150mm.



الشكل(4-13) فاعلية تغيير عرض شرائح الـ CFRP (الدراسة الحالية).

وللبحث في فاعلية عملية التقوية حتى بلوغ الانتقال الأعظمي 20mm عند نهاية التحليل (الشكل4-11)، تم حساب فاعلية التقوية بأخذ القيم العظمى للقص القاعدي لكل نموذج من النماذج المدروسة (P-F_{w,FRP}) نسبة إلى القيم إلى العظمى للقص القاعدي في النموذج (P-F_w)، حيث يظهر ثبات فاعلية التقوية عند 34% عند زيادة عرض الشرائح من 50mm إلى 100mm، ومن ثم ازدادت الفاعلية بشكل طفيف لتصل إلى 45.7% عند الوصول إلى عرض شرائح 150mm، بعدها ازدادت الفاعلية بشكل ملحوظ لتصل إلى 72.1% عند الوصول إلى عرض شرائح 200mm. يعود السبب في ذلك إلى عدم قدرة الشرائح على تغطية منطقة زوايا الجدار والإطار البيتوني عند استخدام عرض للشرائح أقل من 150mm كما هو مبين في الشكلين (a-10-4) و (b-10-4). بينما نلاحظ أنه عند الوصول إلى شرائح بعرض 200mm ازدادت الفاعلية بشكل كبير نتيجة لتغطية الزوايا بشكل كامل كما هو مبين في الشكل (d-10-4).

وبناءً على ما سبق تؤكد هذه الدراسة أهمية تغطية زوايا الجدار بشكل كامل وربطها بشكل جيد بزوايا الإطار البيتوني لرفع كفاءة عملية التقوية، حيث أن الانهيار يبدأ عند زوايا الجدار وإن تغطيتها يؤدي إلى تأخير هذا الانهيار وتقليل الانتقال النسبي الحاصل بين الجدار والإطار البيتوني ما يزيد من مساهمة الجدار في مقاومة الانتقالات الأفقية المطبقة.

6.4 نتيجة الفصل الرابع Chapter 04 Conclusion

في نهاية هذا الفصل يتبين أثر تغيير الخواص الميكانيكية لجدران البلوك في رفع كفاءة الإطارات، حيث أدى وجود هذه الجدران الى رفع قيم القص القاعدي بنسب وصلت الى 120% عند استخدام جدران بلوك بمقاومات متوسطة ومرتفعة (9.0-5.0MPa)، إلا أن فاعلية إضافة جدران البلوك كانت قليلة عند المقاومات المنخفضة لهذه الجدران البلوك بين (3.5-1.7MPa). ويمكن كذلك أن نخلص إلى أهمية أخذ أثر الخواص الميكانيكية لجدران البلوك عند تقوية هذه الجدران باستخدام شرائح الـ CFRP للحصول على الفاعلية الأمثلية والجدوى الاقتصادية من استخدام هذه المادة في عمليات رفع كفاءة الإطارات البيتونية لمقاومة الأحمال الجانبية في مستوياتها، حيث يبين هذا الفصل أن فاعلية استخدام الـ CFRP تظهر في حال **المقاومات المتوسطة** لجدار البلوك (5.0MPa). كذلك يمكن التأكيد على دور عرض الشرائح في رفع كفاءة الجملة المدروسة وأهمية تغطية زوايا الجدار بشكل كامل وربطها بشكل محكم مع زوايا الإطار البيتوني. وبالطبع فإن النتائج التي تم التوصل إليها تعطي إجابات للعديد من النقاط التي وردت سابقاً في الفقرة (3.1) وتساهم في إعطاء إضاءة جديدة على عملية استخدام شرائح الـ CFRP في تقوية الجملة الإطارية المملوءة بجدران تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستوياتها.

الفصل الخامس

Chapter 05

النتائج والتوصيات

Conclusions and Future Works

1.5 مقدمة

Introduction

تم في هذا البحث إجراء دراسة عددية لدراسة تأثير تغيير الخصائص الميكانيكية لجدران البلوك على الإطارات البيتونية المسلحة المملوءة بجدران البلوك والمقواة باستخدام شرائح الـ CFRP تحت تأثير الانتقالات الدورية المطبقة في مستوي الإطار (In-plane Cyclic Displacements). تم بناء النموذج العددي باعتماد طريقة العناصر المحدودة (FEM) باستخدام برنامج التحليل الإنشائي ABAQUS، وبإجراء تحليل لا خطي يأخذ لاختية المادة بعين الاعتبار (Materially Non-linear Analysis, MNA).

اعتمد نموذج CPD لنمذجة كل من البيتون وجدار البلوك فيما اعتبر سلوك فولاذ التسليح مرناً-تام اللدونة مع إدخال تأثير التماسك (Bond) بين البيتون وفولاذ التسليح في النموذج، اعتبر سلوك شرائح الـ CFRP مرناً خطياً حتى الانهيار مع أخذ تأثير التماسك بين كل من الشرائح وجدار البلوك والبيتون في الحسبان. وسيتم فيما يلي استعراض نتائج البحث والأعمال المستقبلية الموصى إجراؤها.

2.5 النتائج

Conclusions

تم من خلال هذا البحث التوصل إلى النتائج التالية:

1. تتأثر الإطارات البيتونية عند تعرضها للأحمال الجانبية في مستوياتها بوجود الجدران ضمنها، وهذا يساهم في رفع مقاومة هذه الإطارات وتغيير سلوكها على الانهيار، وتتعلق زيادة المقاومة بتغيير الخصائص الميكانيكية لجدران البلوك، حيث أدت زيادة مقاومة الجدار من 1.7MPa إلى 9MPa إلى رفع قيم القص القاعدي بنسبة تتراوح بين 40% إلى 120%.
2. تتأثر فعالية استخدام شرائح الـ CFRP بمقاومة الجدار، حيث ازدادت فعالية الإطار البيتوني المملوء بجدار بلوك من 13% إلى 46% عند إضافة شرائح الـ FRP ولمقاومات للجدار على الضغط من 1.7MPa إلى 9MPa، وقد أدت الجدران ذات المقاومات المتوسطة (5MPa) إلى فعالية أكبر من تلك ذات المقاومات الدنيا (1.7MPa) والمرتفعة (9MPa).

3. يؤثر عرض شرائح الـ CFRP على فعالية التقوية، حيث أنه بزيادة عرض الشرائح من 50mm الموافقة لـ $0.14d_w$ (حيث d_w هو البعد القطري للجدار)، إلى عرض 200mm الموافق لـ $0.22d_w$ ، تزداد فعالية التقوية من 34% إلى 72%.
4. بين هذا البحث أن عرض شرائح الـ FRP يجب أن يؤخذ بحيث يشمل تغطية زوايا جدار البلوك، حيث أن الانهيار يبدأ في الجدار عند هذه الزوايا وبالتالي فإن تغطيتها تؤدي إلى تأخير انهيار الجدار وبالتالي زيادة في المقاومة.
5. يعتبر انهيار التماسك بين شرائح الـ FRP وجدار البلوك نمط الانهيار المسيطر على سلوك الإطار البيتوني مع جدار مقوى بـ FRP، من هنا يجب إيلاء عملية تثبيت الشرائح ولاسيما عند زوايا الجدار العناية الكافية لضمان عمل الجملة والحصول على فعالية أكبر.

3.5 الأعمال المستقبلية *Future Works*

يوصى بإيلاء النقاط التالية الاهتمام وإدخالها في الأبحاث المستقبلية:

1. استخدام منحنيات تجريبية أكثر تمثيلاً للتصرف الحقيقي للمواد ذات الانهيار الشبيه بالهش كالبيتون وجدار البلوك، حيث أنه تم في هذا البحث استخدام منحنيات نموذجية من الكودات، مما يؤثر على الحلقات الهستيرية للمنشأ وبالتالي على مقدار حساب تبديد الطاقة.
2. تم في الكودات تقدير العرض الفعال لجدار البلوك ضمن الإطار بـ $0.20d_w$ (حيث d_w هو البعد القطري للجدار)، وقد بين هذا البحث أن العرض الفعال للجدار يزداد بوضع شرائح الـ FRP، ويلزم المزيد من الدراسات لتحديد هذا العرض بوجود شرائح الـ FRP بشكل أكثر تفصيلاً.
3. إجراء تحليل ديناميكي باستخدام هزات زلزالية حقيقية بتسارعات مختلفة وزمن استمرار للهزة مختلف وبالتالي تقدير الفعالية من خلال هذه الحركات الأرضية الحقيقية.

المراجع References

- ABAQUS (2012), *version 6.12-1. DassaultSystemesSimulia Corp., USA.*
- Altin S., Anil Ö. Kara M. E., Kaya M. (2008). “**An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips**”, *Journal of Composites, Part B*, 39, 680-693.
- Batikha M. (2008). “**Strengthening of thin metallic cylindrical shells using fibre reinforced polymers**”, *Phd. Thesis, Institute for Infrastructure & Environment, The School of Engineering and Electronics, The University of Edinburgh, Scotland, UK.*
- Binici B., Ozcebe G. (2006). “**Seismic Evaluation Of Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened With FRPs**”, *IN: Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering April 18-22, San Francisco, California, USA, Paper No. 1717*
- BS EN 1992-1 (2004), “**Eurocode2, Design of Concrete Structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings**”, *European committee for standardization CEN.*
- BS EN 1996-1-1 (2005), “**Eurocode6, Design of masonry structures, Part1-1:general rules for reinforced and unreinforced masonry structures**”, *European committee for standardization CEN.*
- BS EN 1998-1 (2004), “**Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings**”, *European committee for standardization CEN.*
- BS EN 771-3 (2003), “**Specification for masonry units - Part 3: Aggregate concrete masonry units (dense and light-weight aggregates)**”, *European committee for standardization CEN.*
- BS EN 772-1 (2000), “**Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressivestrength**”, *European committee for standardization CEN.*
- BS EN 998-2 (2003), “**Specification for mortar for masonry - Part 2: Masonry mortar**”, *European committee for standardization CEN.*
- CEB-FIP. (2001), “**fib Bulletin 14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures**”. *The International Federation for Structural Concrete (fib), Switzerland.*

- CEB-FIP. (2010), “**Fib Bulletin 55: Model Code 2010, First complete draft – Volume 1**”. *The International Federation for Structural Concrete (fib), Switzerland.*
- Crisafull Francisco, “**Analysis of In-filled Frame Structure**”, *Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. Available at: www.msc-sahc.org/upload/docs/ (Accessed: 15-June-2012).*
- Elgwady M. A., Lestuzzi P., Badoux M. (2002). “**Dynamic In-Plane Behavior of URM Wall Upgraded with Composites**”, *Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland.*
- Erdem I., Akyuz U., Ersoy U., Ozcebe G. (2006). “**An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames**”, *Engineering Structures, 28, 1843–1851.*
- Hendry A.W., Sinha B.P., Davies S.R. (2004). “**Design Of Masonry Structures**”, *Third Edition, E & FN Spon, London, UK.*
- Jankowiak T., Lodygowski T. (2005). “**Identification Of Parameters Of Concrete Damage Plasticity Constitutive Model**”, *Poznan University of Technology, Institute of Structural Engineering, Poland, 6, 53–69.*
- Johnson S. (2006). “**Comparison of Nonlinear Finite Element Modeling Tools for Structural Concrete**”, *CEE561 Project, Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, University of Illinois, USA.*
- Kwak H., Filippou F. C. (1990). “**Finite Element Analysis Of Reinforced Concrete Structures Under Monotonic Loads**”, *Department Of Civil Engineering, University Of California Berkeley, California, USA.*
- Lundgren K. (1999). “**Three-Dimensional Modeling of Bond in Reinforced Concrete**”, *PhD. Thesis, Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.*
- McKenzie W.M.C. (2001). “**Design of Structural Masonry**”, *Palgrave Houndmills, New York, USA.*
- Murty C. V. R. and Jain S. K. (2000). “**Beneficial Influence Of Masonry Infill Walls On Seismic Performance Of Rc Frame Buildings**”, *In: Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Paper No. 1790.*
- Obaidat T.Y., (2011). “**Structural Retrofitting Of Concrete Beams Using FRP - Debonding Issues**”, *PhD. Thesis, Department of Construction Sciences, Division of Structural Mechanics, Lund University, Sweden.*

Özen G. Ö., (2006). “**Comparison of Elastic and Inelastic Behavior of Historic Masonry Structures at the Low Load Levels**”, *Master Thesis, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, Turkey.*

Ozkaynak H., Yuksel E., Buyukozturk O., Yalcin, C., Dindar A.A.(2011),“**Quasi-static and pseudo-dynamic testing of infilled RC frames retrofitted with CFRP material**”, *Journal of Composites, Part B, 42, 238-263.*

Rai D. C. (2009). “**Seismic Rehabilitation of Structures**”, *Department of Earthquake Engineering University of Roorkee.*

Sattar S. (2013). “**Influence Of Masonry Infill Walls And Other Building Characteristics On Seismic Collapse Of Concrete Frame Buildings**”, *Phd. Thesis, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado.*

Su Y. (2008). “**Numerical Simulation Strengthened Unreinforced Masonry (URM) Walls by New Retrofitting Technologies For Blast Loading**”, *Master Thesis, School of Civil, Environment and mining Engineering, The University of Adelaide.*

Tabeshpour M.R., Azad A. and Golafshani A. A. (2012). “**Seismic Behavior and Retrofit of Infilled Frames**”. In: *Moustafa Abbas, editors. “Earthquake-resistant structures – Design, assessment And Rehabilitation*”, *In Tech JanezaTrdine, Croatia, 279-306.*

Vaughan T. P., (2010). “**Evaluation Of Masonry Wall Performance Under Cyclic Loading**”, *Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, USA.*

Yuksel E., Ozkaynak H., Buyukozturk O., Yalcin C., Dindar A.A., Surmeli M., Tastan D. (2010), “**Performance of alternative CFRP retrofitting schemes used in infilled RC frames**”, *Journal Construction and Building Material, 24,596–609.*

الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة - الملحق رقم 2 (2005). "تصميم وتحقيق المباني والمنشآت لمقاومة الزلازل"، منشورات نقابة المهندسين، سوريا.

شيخ الأرض رفف، بطيخة مصطفى (2014). " استعمال البولييميرات المسلحة بالألياف الزجاجية في زيادة مقاومة الإطارات البيتونية المملوءة بجدران بلوك على الأحمال الجانبية- دراسة عددية"، مجلة جامعة أم القرى للهندسة والعمارة، جامعة أم القرى، المملكة العربية السعودية، قبلت للنشر بتاريخ 23-1-2014.

Abstract

Latest earthquakes around the world show the importance of the rehabilitation of existing buildings which have been built before the modern codes of seismic design.

Many researches focused on developing new methods of strengthening the existing buildings to fulfill the requirements of seismic design. The new methods should have both feasibility and easy installation together with the economic use. Recently many researches recommend that masonry walls need to be considered during the rehabilitation process. Other researches go forward to strengthen those walls using new techniques such as fiber reinforced polymer (FRP) laminates.

This research study the effect of the mechanical properties of concrete masonry walls on the behavior of infilled RC frame strengthened with CFRP laminates under in-plane cyclic displacements. Numerical study is performed depending on finite element method (FEM). Nonlinear material analysis is held in this study using ABAQUS/Standard package. Advanced 2D numerical models were built to simulate the experimental studies. Concrete damaged plasticity (CDP) method is used in modeling both concrete and masonry wall. The bond-slip effect between the concrete and reinforcement bars is undertaken in this study as well as contact properties between the concrete masonry wall and RC frame. On the other hand, the interface properties between wall and CFRP laminates is modeled considering the bond stress - slip effect.

This research shows that the infill wall can change significantly the behavior of the frame with masonry infill wall. It is explored that the mechanical properties of concrete masonry walls can affect the efficiency use of FRP where using wall of medium compressive strength provides more efficient strengthening. Moreover, the width of FRP laminates on the behavior of strengthened infilled RC frames is investigated. It is demonstrated that an FRP width which covers the wall corners offers more strengthening capacity.



Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Civil Engineering

**”The effect of mechanical properties of masonry wall
strengthened by FRP on the in-plane structural behavior of RC
frames”**

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

By
Feras Alkam

Supervisor
Dr. Mustafa Batikha

Damascus 2014