

## استعمال البوليميرات المسلحة بالألياف الزجاجية في زيادة مقاومة الإطارات البيتونية المملوءة بجدران بلوك على الأحمال الجانبية- دراسة عددية

رهف منير شيخ الأرض، مصطفى حسين بطيخة

### Using Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) to improve the resistance of masonry-infilled concrete frames under lateral loading – Numerical study

#### Abstract:

The Unreinforced-Concrete Masonry walls (URCM) are commonly used in buildings. Recently, Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) has been used to strengthen the URCM against the lateral loading. This study aims to explore the effect of using GFRP-strengthened masonry wall on the behavior of URCM-infilled frame structures against in-plane lateral loads. Finite Element Method (FEM) and Materially Non-Linear Analysis (MNLA) are performed in this paper. The effect of dimensions properties of GFRP strips is studied. Moreover, the influence of the compressive masonry strength was undertaken in this study. This study demonstrates that using small amount of GFRP to strengthen URCM can increase the resistance to lateral loads.

#### الخلاصة:

تعتبر الجدران البيتونية غير المسلحة شائعة الاستخدام في المباني، حيث تتحمل جدران البلوك جزءاً من الأحمال الشاقولية، كما يمكن أن تساهم في مقاومة الأحمال الجانبية. تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير استعمال شرائح البوليميرات المسلحة بالألياف الزجاجية (GFRP) في تقوية جدران البلوك على رفع مقاومة الجمل الإطارية المملوءة بجدران البلوك على الأحمال الجانبية في مستوياتها. تم في هذه الدراسة استعمال طريقة التحليل العددية باستخدام طريقة العناصر المحددة - واستخدام التحليل اللاخطي الذي يأخذ بعين الاعتبار لاختية المادة، حيث تمت دراسة تأثير الخصائص البعدية لشرائح الـ GFRP، وأثر مقاومة الضغط لجدران البلوك على تصرف الجملة الإنشائية المقواة. تبين هذه الدراسة أن لجدران البلوك مساهمة كبيرة في مقاومة الأحمال الأفقية، كما أن التقوية باستعمال الـ GFRP بمساحات وسماكات صغيرة أدت إلى رفع هذه المقاومة.

الكلمات المفتاحية (Key Words): جدران بيتونية غير مسلحة، أحمال جانبية، تقوية، FRP، تحليل لاخطي.

## مقدمة:

تُستخدم جدران البلوك غير المسلحة (URM) لملي مجازات الإطارات البيتونية أو كقواطع (أي كعناصر إنشائية غير حاملة). تُصنف جدران البلوك كعناصر إنشائية غير متجانسة، حيث تتألف من وحدات بلوك (Units) تربط بينها فواصل مونة (Mortar). يعطي الكود الأوروبي (Eurocode6, 2005) المقاومة المميزة  $f_k$  ( $N/mm^2$ ) على الضغط لجدران البلوك (URM) وفق العلاقة (1) كما يلي:

$$f_k = k \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (1)$$

حيث  $f_b$  مقاومة وحدات البلوك على الضغط ( $N/mm^2$ )،  $f_m$  مقاومة المونة على الضغط ( $N/mm^2$ )، أما  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $k$  فتوابت تتعلق بنوع وسماكة المونة وتصنيف قطع البلوك.

تُشير الدراسات المرجعية (Crisafull, 2010; Binici and Ozcebe, 2006) إلى أنه عندما يتعرض الإطار البيتوني المسلح والمملوء مجازة بجدار بلوك (URM) إلى حمل جانبي في مستويه ينشأ في جدار البلوك (URM) حقل ضغط قطري وحقل شد قطري متعامد معه، حيث تتفكك الروابط بين الإطار البيتوني وجدار البلوك عند طرفي حقل الشد. وبعد تفكك الروابط بين الإطار البيتوني وجدار البلوك يسلك المنشأ (إطار بيتوني + جدار بلوك) سلوك الجائز الشبكي (Truss)، حيث يُمثل جدار البلوك بعنصر تربيط مضغوط ويُهمل العنصر المشدود كما هو مبين في الشكل (1). ويُقدر  $w$  عرض حقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك (URM)، عند التحميل الجانبي في مستواه، بـ  $d$ ، حيث  $d$  طول قطر جدار البلوك كما هو مبين بالشكل (2) (Penelis and Kappos, 1997).

تُحدد الدراسات المرجعية ومنها (Crisafull, 2010) ثلاثة أنماط انهيار رئيسية لجدران البلوك (URM) تحت تأثير الأحمال الجانبية في مستويها. يبين الشكل (3-أ) نمط الانهيار على القص حيث تظهر على جدار البلوك شقوق قطرية على شكل درج، أما الشكل (3-ب) فيبين نمط الانهيار على الشد القطري حيث تظهر على جدار البلوك شقوق على طول الحقل المضغوط، في حين يبين الشكل (3-ج) نمط الانهيار الثالث وهو تكسر زوايا حقل الضغط المتشكل في جدار البلوك.

تمّ استعمال البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) في تقوية العديد من المنشآت البيتونية (Teng et al., 2002; Concrete Society, 2004) ومن ثم تم التوسع في استخدامه ليشمل المادة الخشبية (Triantafillou, 1997)، والمنشآت المعدنية (Batikha, 2008). تتميز مادة (FRP) بالمقاومة العالية نسبة إلى الوزن، والمرونة في التشكيل، وسهولة القص بالأطوال المناسبة في موقع العمل، وإكساب العنصر خاصية المطيلية. أما سلوك مادة (FRP) فهو خطي مرن حتى الانهيار (2004).

قامت العديد من الأبحاث بدراسة فعالية استخدام الـ FRP في تحسين سلوك جدران البلوك (URM) تحت تأثير الأحمال الجانبية سواء أكانت هذه الأحمال في مستوى جدران البلوك، أم خارج مستواها.

تمّ في (Erdem et al., 2006; Binici and Ozcebe, 2006) استخدام (FRP) في تقوية جدران البلوك على الأحمال الجانبية في مستويها وقد تبين بأن جدار البلوك، بعد إضافة شرائح (FRP)، يتصرف كجدار قص من حيث المقاومة الجانبية ولكن من حيث المطاوعة كان تصرف جدار القص أفضل كما في الشكل (4) والذي يبين الدراسة التي قام بها (Binici and Ozcebe, 2006) حيث تبين أن إضافة جدار بلوك بمقاومة  $MPa2$  على الضغط أدت إلى زيادة المقاومة بمقدار 30% عما لو كان من دون جدار، كما يبين نموذج الإطار المملوء بجدار مقوى خارجياً بشرائح FRP بشكل قطري (FRP retrofit) ارتفاعاً للمقاومة بمقدار 50% عما هو الحال من دون تقوية.

بعد انفصال شرائح الـ FRP عند زوايا الإطار هو نمط الانهيار الشائع عند استعمال هذا النوع من التقوية وهو ما يفسر انخفاض المقاومة المفاجئ عند التقوية بالـ FRP (الشكل 4)، وقد دلت التجارب أن منع هذا الانفصال يؤدي إلى زيادة المقاومة بشكل ملحوظ (Binici and Ozcebe, 2006).

تبين هذه الدراسة تأثير استعمال الـ GFRP في تقوية جدران البلوك على الأحمال الجانبية في مستوياتها. كما تدرس تأثير الخصائص البعدية لشرائح الـ GFRP، وأثر مقاومة الضغط لجدران البلوك على تصرف الجملة الإنشائية المقواة، حيث لم تتناول الدراسات المرجعية السابقة هذه الخصائص وأثرها على المقاومة الجانبية لهذه الجملة الإنشائية.

## التحليل باستخدام طريقة العناصر المحدودة:

### ١،٢ دراسة فعالية الـ GFRP في تقوية جدران البلوك على الأحمال الجانبية في مستوياتها:

تم في هذه الدراسة تحليل النموذج المدروس تجريبياً في مقالة (Almusallam et al, 2007) والمبين بالشكل (٥) باستخدام البرنامج (ABAQUS 6.5). الإطار المدروس هو إطار بيتوني وحيد الفتحة والطابق. ارتفاع الإطار البيتوني H، ومجازه (بين محاور الأعمدة) L، 250cm. أبعاد المقطع العرضي للعمود 20x20cm. التسليح الطولي للعمود T16<sup>٨</sup>، أما التسليح العرضي  $10 \phi 8 / m'$ . أبعاد المقطع العرضي للجائز فيه 20x20cm. كل من التسليح الطولي العلوي والسفلي T16<sup>٣</sup>، أما التسليح العرضي للجائز فهو  $10 \phi 8 / m'$ . المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون  $f_{ck}$  تساوي 40 MPa، وإجهاد الخضوع لحديد التسليح  $f_y$  يساوي 420 MPa. يملأ مجاز الإطار البيتوني المذكور أعلاه جدار بلوك بيتوني غير مسلح (URCM) ارتفاعه 155cm×h وطوله 210cm، وحدات البلوك المستعملة بيتونية مفرغة أبعادها 20x40cm<sup>١</sup>. المقاومة المميزة لجدار البلوك على الضغط  $f_k$  تساوي 7.1 MPa.

تم في (Almusallam et al, 2007) القيام بدراسة تجريبية على ثلاث عينات. العينة الأولى (Control Specimen, I-C) عبارة عن النموذج المبين بالشكل (٥). العينة الثانية (Repaired Specimen, I-R) وهي عبارة عن العينة (I-C) وقد تم تعريضها للأحمال الجانبية في مستوى جدار البلوك وحقن الشقوق الناتجة عن هذه الأحمال في جدار البلوك بمادة الإيبوكسي (Epoxy) أولاً، ومن ثم إضافة شرائح (GFRP) بشكل أفقي لجدار البلوك. العينة الثالثة (Strengthened Specimen, I-S) وهي عبارة عن العينة (I-C) وقد تم إضافة شرائح (GFRP) بشكل أفقي لجدار البلوك قبل تعريض العينة للأحمال الجانبية. يبين الشكل (٦) كيفية وضع شرائح (GFRP) على جدار البلوك في كل من العينتين (I-R) و (I-S).

تبين التجربة أن إضافة شرائح الـ (GFRP) على جدران البلوك (URM) بشكل أفقي لم تؤد إلى زيادة ملحوظة في مقاومة الإطار البيتوني على الأحمال الجانبية في مستوى جدار البلوك في كل من العينتين (I-R) و (I-S)، في حين أدت إلى ارتفاع المطيلية كما هو مبين بالشكل (٧).

تم استخدام التحليل اللاخطي باعتماد لاخطية المواد المستخدمة في النموذج. حيث تم استخدام مادة البيتون بمعامل مرونة (Elastic Modulus)  $E=35000$  MPa ومعامل بواسون (Poisson's ratio)  $\nu=0.2$ . يبين الشكل (a-٨) مخطط الإجهاد-التشوه النسبي (Stress-Strain) المعتمد في (Eurocode2, 2004) لتصرف البيتون على الضغط، والذي يبين أن السلوك المرن ينتهي عند  $0.4 f_{cm}$ ، حيث  $f_{cm}$  المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبيتون على الضغط، ثم يبدأ السلوك اللاخطي حتى الوصول إلى إجهاد ضغط أعظمي مقداره  $f_{cm} = 48$  MPa والتي يقابلها التشوه النسبي  $\epsilon_{c1} = 0.23\%$ ، حيث تنخفض بعدها المقاومة وصولاً إلى الانهيار عند التشوه النسبي الحدي للبيتون  $\epsilon_{c11} = 0.35\%$ . تم تحديد الخواص السابقة من الكود الأوروبي (Eurocode2, 2004) وذلك اعتماداً على قيمة المقاومة المميزة الاسطوانية للبيتون  $f_{ck}$  المستخدمة في التجربة والمساوية 40 MPa. كما يبين الشكل (b-٨) تصرف مادة البيتون على الشد، حيث يحدث الشق الأول عند إجهاد شد أعظمي  $f_t=4.8$  MPa وتشوه نسبي حرج  $\epsilon_{cr}$  يساوي 0.137%، ومن ثم تنخفض مقاومة البيتون على الشد حتى الوصول إلى تشوه نسبي  $\epsilon_0$ ، والذي تُقدر قيمته بعشرة أضعاف قيمة التشوه النسبي عند التشقق (ABAQUS, Ver-6.5)، حيث تفقد مادة البيتون القدرة على مقاومة الشد.

تم استخدام مادة البلوك بمعامل مرونة (Elastic Modulus)  $E=7100$  MPa ومعامل بواسون (Poisson's ratio)  $\nu=0.2$ . يبين الشكل (a-٩) مخطط الإجهاد-التشوه النسبي المعتمد في (Eurocode6, 2005) لتصرف البلوك في الضغط، والذي يبين أن السلوك المرن ينتهي عند  $1/3 f$ ، حيث  $f$  المقاومة المتوسطة الاسطوانية للبلوك في الضغط، ثم يبدأ السلوك اللاخطي حتى الوصول إلى إجهاد ضغط أعظمي مقداره  $f = 9$  MPa والتي يقابلها التشوه النسبي  $\epsilon_{m1} = 0.28\%$  (Hendry et al., 2004). حيث تنخفض بعدها المقاومة وصولاً إلى الانهيار عند التشوه النسبي الحدي لجدار البلوك  $\epsilon_{mu} = 0.35\%$  (Eurocode6, 2005). كما يبين الشكل (b-٩) تصرف مادة البلوك في

الشد، حيث يحدث الشق الأول عند إجهاد شد  $f_t=0.9 \text{ MPa}$  وتشوه نسبي حرج  $\epsilon_{cr}$  يساوي  $0.0127\%$ ، ومن ثم تتخفص مقاومة البلوك على الشد حتى الوصول إلى تشوه نسبي  $\epsilon_0$ ، والذي تُقدر قيمته بعشرة أضعاف قيمة التشوه النسبي عند التشقق  $\epsilon_{cr}$ ، حيث تفقد مادة البلوك القدرة على مقاومة الشد.

تم استخدام العنصر S4R لنمذجة مادة البيتون، جدار البلوك وشرائح (GFRP). وهو عنصر مساحي مؤلف من أربع عقد (Nodes)، كل عقدة تحوي ست درجات حرية، والرمز R للدلالة على أنه قد تم تخفيض عدد نقاط غاوس إلى نقطة واحدة. في حين تم استخدام العنصر T2D2 لنمذجة حديد التسليح الطولي والعرضي. وهو عنصر شبكي مؤلف من عقدتين، وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية. تم اعتبار شروط الاستناد في النموذج المدروس وثيقة تامة لجميع العقد عند نقاط الاستناد بالقاعدة بما يتوافق مع النموذج التجريبي. تم تطبيق حمل جانبي متزايد في مستوى جدار البلوك (URCM) في أعلى الإطار البيتوني.

تم تقوية النموذج المدروس بإضافة ثلاثة شرائح (GFRP) أفقية موزعة بتباعدات متساوية على كلا وجهي جدار البلوك (URCM). عرض الشريحة الواحدة من شرائح ( $w_f$ ) (GFRP)، 300 mm وسماكة الشريحة على كل من وجهي جدار البلوك  $t_f$ ، 1.3 mm كما هو مبين بالشكل (٦). إجهاد الشد الحدي لشرائح (GFRP) المستعملة  $f_{fu}$ ، 552MPa، والتشوه النسبي الحدي لها على الشد  $\epsilon_{fu}$ ، 1.9%، أما معامل المرونة باتجاه الألياف  $E_L$ ، فيساوي ٢٧,٦ GPa وفق التجربة (Almusallam et al 2007). تم اعتماد معامل المرونة للاتجاه المتعامد مع الألياف  $E_T=3\text{GPa}$  ومعامل بواسون ومعامل القص في مستوى الشريحة  $v_{LT}=0.35$  و  $G_{LT}=0.85\text{GPa}$  على الترتيب من العلاقات المذكورة في (Batikha, 2008).

تمت دراسة دقة تقسيم الشبكة المستخدمة (Mesh convergence)، وذلك للوصول للتقسيم الاقتصادي من حيث زمن التحليل ودقة النتائج معاً، حيث تم اعتماد أبعاد العنصر المساحي S4R في النموذج المدروس (5x5 cm) كما هو مبين بالشكل (١٠).

٢,٢ دراسة أثر خصائص جدار البلوك (URCM) على نسبة مساهمة شرائح (GFRP) في تقوية جدار البلوك (URCM):

لدراسة تأثير خصائص جدار البلوك الذي يملأ مجاز الإطار البيتوني في نموذج الدراسة، تم تخفيض قيمة  $f_k$  المقاومة المميزة الأسطوانية لجدار البلوك في الضغط في النموذج الأساسي، والذي سنرمز له في هذه الفقرة بـ (Infilled Frame1)، من  $7.1 \text{ MPa}$  إلى  $2 \text{ MPa}$ . وبناء على هذه القيمة تم اعتماد قيمة المقاومة المتوسطة في الضغط لجدار البلوك  $f$  مساوية لـ  $2.5 \text{ MPa}$ ، ومعامل المرونة للبلوك  $E$  بناء على (Eurocode6, 2005) مساوياً لـ  $2000 \text{ Mpa}$ . سنرمز في هذه الفقرة لنموذج الإطار البيتوني المملوء مجازه بجدار البلوك بالخصائص الجديدة بـ (Infilled Frame2).

### النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (١١) مخطط الانتقال - القوة للنموذج المدروس، حيث تعبر  $P$  عن الحمولة الجانبية في حين تعبر  $u$  عن الانتقال الجانبي للنموذج المدروس في أعلى الإطار. يُوضح الشكل (١١) أن المقاومة الجانبية للإطار البيتوني المدروس مع جدار بلوك (Infilled Frame)، والتي تبلغ (KN٣٨٨,٥)، قد ارتفعت بمقدار ١٦٢% عن المقاومة الجانبية للإطار البيتوني بدون جدار البلوك، والتي تبلغ (KN ١٤٨)، وهو ما يدل على تأثير جدار البلوك في رفع المقاومة الجانبية للحملة الإنشائية. وهذا موافق لما ذكر في الدراسات المرجعية (Binici and Ozcebe, 2006). كما يبين الشكل (١١) أن الفرق بين قوة الانهيار التحليلية للنموذج المدروس مع جدار بلوك، والتي تبلغ (KN٣٨٨,٥)، وقوة الانهيار التجريبية في (Almusallam et al, 2007)، والتي تبلغ (KN ٤١٧) كما هو مبين بالشكل (٧)، لا يتجاوز ٨% وبالتالي فإن النتائج التحليلية مقبولة.

كما يبين الشكل (١١) منحنى الانتقال - القوة للنموذج المدروس بعد التقوية بشرائح (GFRP). حيث تم بالتحليل الحصول على قوة حدية مقدارها (KN ٤٣٩) وهي قيمة متوافقة مع القيمة التجريبية للقوة الحدية للعينة (I-S)، والتي تبلغ (KN ٤٤٢) كما هو مبين بالشكل (٧)، مما يجعل النتائج التحليلية والتجريبية شبه متطابقة. كما يوضح الشكل

(١١) زيادة طفيفة في المقاومة الجانبية للنموذج المدروس بعد التقوية بشرائح (GFRP) أفقية عن المقاومة الجانبية للنموذج المدروس مع جدار بلوك بدون تقوية، حيث كانت الزيادة بنسبة ١٣%، وهذا موافق لما ذكر في الدراسة التجريبية والموضح في الشكل (٧).

لم يتم في هذه الدراسة الحصول على الانتقال نفسه المُسجل في التجربة والمبين في الشكل (٧) بسبب طريقة النمذجة المعتمدة، حيث لم يتم أخذ خصائص التماسك بين البيتون وحديد التسليح، ولا بين القطع الحجرية وشرائح (GFRP)، وتم فرض التماسك بين شرائح (GFRP) وجدار البلوك تاماً وهو ما يؤثر على الانتقال.

يبين الشكل (١٢) التشوهات النسبية الرئيسية في الإطار البيتوني مع جدار البلوك حيث نلاحظ خروج منطقتين فقط عن العمل في جدار البلوك، وهما المنطقتان المحددتان لحقل الضغط القطري المتشكل في جدار البلوك تحت تأثير الحمل الجانبي في مستويته، وهذا يتوافق مع الشكل (١) المشار إليه في (Crisafull, 2010). يوضح الشكل (١٢) أن عرض حقل الضغط المتشكل في هذه الدراسة يساوي  $(d \cdot 0,4)$ . وهي قيمة أكبر من القيمة  $(d \cdot 0,2)$  المذكورة في (Penelis and Kappos, 1997) والمبينة بالشكل (٢). يمكن تفسير ذلك بأن عرض حقل الضغط مرتبط بانحناء الجائز وطول نصف موجة انحناء الجائز الضاغطة على الجدار.

يبين الشكل (١٣) التشوهات النسبية الرئيسية في الإطار البيتوني مع جدار البلوك، بعد التقوية بشرائح (GFRP) أفقية. حيث نلاحظ عدم خروج أي ليف عن العمل في جدار البلوك، وأن الانهيار تم في أسفل العمود الأيسر من الإطار كما هو مشار إليه في الشكل (١٣). ويمكن تفسير ذلك كما ورد في الدراسات المرجعية (Erdem et al., 2006; Binici and Ozcebe, 2006) بأن جدار البلوك بعد إضافة شرائح (FRP) أصبح يتصرف كجدار قص وبما أن تصرفه أصبح كتصرف جدار قص فإن الانهيار أصبح في العمود، في حين تم الانهيار قبل التقوية في جدار البلوك كما هو مشار إليه في الشكل (١٢).

تم في الشكل (١٤) دراسة تأثير سماكة شرائح (GFRP) الأفقية على القوة الحدية للنموذج المدروس بدلالة النسبة  $(E_{L_f} \cdot t_f / E_m \cdot t_m)$  وهي نسبة لا بعدية تتعلق بخواص شرائح (GFRP) وخواص جدار البلوك حيث  $E_{L_f}$  معامل مرونة الشرائح باتجاه الألياف و  $t_f$  سماكة الشرائح المستخدمة و  $E_m$  معامل مرونة الجدار و  $t_m$  سماكة الجدار، بينما تمثل  $P_u$  على الشكل قوة الانهيار للإطار البيتوني المملوء مجازة بجدار البلوك المقوى بشرائح (GFRP) أفقية، في حين تمثل  $P_o$  قوة الانهيار للإطار البيتوني المملوء مجازة بجدار البلوك بدون تقوية. يوضح الشكل (١٤) زيادة طفيفة في المقاومة الجانبية للنموذج المدروس مع زيادة سماكة شرائح (GFRP) لا تتجاوز ١٣%، ويمكن الملاحظة أن الزيادة كانت صغيرة جداً ما بعد السماكة  $t_f = 0.8 \text{ mm}$  أو  $E_{L_f} t_f / E_m t_m = 0.031$  وبالتالي فإن  $t_f = 0.8 \text{ mm}$  هي السماكة المناسبة (Suitable Thickness) واستخدام سماكة أعلى من هذه القيمة كالقيمة  $(2,6 \text{ mm})$  المستخدمة في تجربة (Almusallam et al, 2007) لن تكون مفيدة في رفع قدرة التحمل. بناءً عليه نجد أنه يمكن الوصول إلى المقاومة الجانبية المطلوبة باستخدام قيمة صغيرة لسماكة شرائح (GFRP)، وأن القيمة المعتمدة في تجربة (Almusallam et al, 2007) هي قيمة غير اقتصادية كما تبين تحليلياً.

تمت دراسة تأثير نسبة المساحة التي تغطيها شرائح (GFRP) من المساحة الوجيهة لجدار البلوك على المقاومة الجانبية للإطار البيتوني المملوء مجازة بجدار البلوك المقوى بشرائح (GFRP) أفقية كما هو مبين بالشكل (١٥). حيث يوضح الشكل أنه يمكن الوصول إلى المقاومة الجانبية المطلوبة بتغطية ٢٠% فقط من المساحة الوجيهة لجدار البلوك بشرائح (GFRP)، وأن تغطية مساحة أكبر من جدار البلوك بشرائح (GFRP) كما تم في تجربة (Almusallam et al, 2007)، حيث بلغت النسبة ٥٨%، لن تكون مفيدة في رفع قدرة التحمل وسيكون حلاً غير اقتصادي كما تبين تحليلياً.

يبين الشكل (١٦) مخطط الانتقال - القوة للنموذج (Infilled Frame1) و (Infilled Frame2) قبل التقوية وبعد التقوية بشرائح (GFRP) أفقية. حيث يوضح الشكل أن المقاومة الجانبية للإطار البيتوني المدروس مع جدار بلوك (Infilled Frame1) بمقاومة ضغط متوسطة  $9 \text{ MPa}$ ، والتي تبلغ  $(388,5 \text{ KN})$ ، قد ارتفعت بمقدار ١٦٢% عن المقاومة الجانبية للإطار البيتوني بدون جدار البلوك، والتي تبلغ  $(148 \text{ KN})$ ، في حين أن المقاومة الجانبية للإطار البيتوني المدروس مع جدار بلوك (Infilled Frame2) بمقاومة ضغط متوسطة  $2,5 \text{ MPa}$ ، والتي تبلغ  $(195 \text{ KN})$ ، قد ارتفعت بمقدار ٣١% عن المقاومة الجانبية للإطار البيتوني بدون جدار البلوك، وهو ما يدل على أن جدار البلوك هو من يسيطر على عمل الجمل الإنشائية في حال وجوده. وهذا موافق لما ذكر في الدراسة المرجعية (Binici and Ozcebe, 2006) في الشكل (٤) حيث أن مقاومة جدار البلوك المنخفضة أدت إلى ارتفاع ضئيل (٣٠%) في المقاومة.

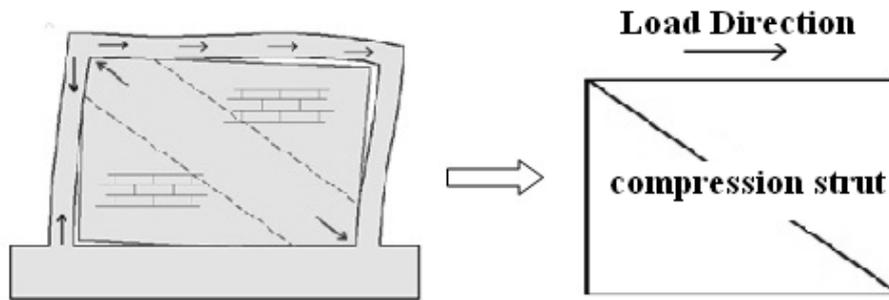
كما يوضح الشكل (١٦) أن تطبيق شرائح (GFRP) بشكل أفقي على جدار البلوك (URCM) في (١) Infilled Frame) أدى إلى زيادة المقاومة الجانبية بنسبة ١٣% عن المقاومة الجانبية لنفس النموذج بدون تقوية، في حين أدى ذلك في النموذج (٢) Infilled Frame) إلى زيادة المقاومة الجانبية بنسبة ٣٠% عن المقاومة الجانبية للنموذج بدون تقوية. نلاحظ أن فعالية (GFRP) أصبحت أكبر عند اعتماد جدار بلوك بمقاومة ضغط منخفضة كما ورد في ( Binici and Ozcebe(2006 (الشكل ٤).

### الاستنتاجات:

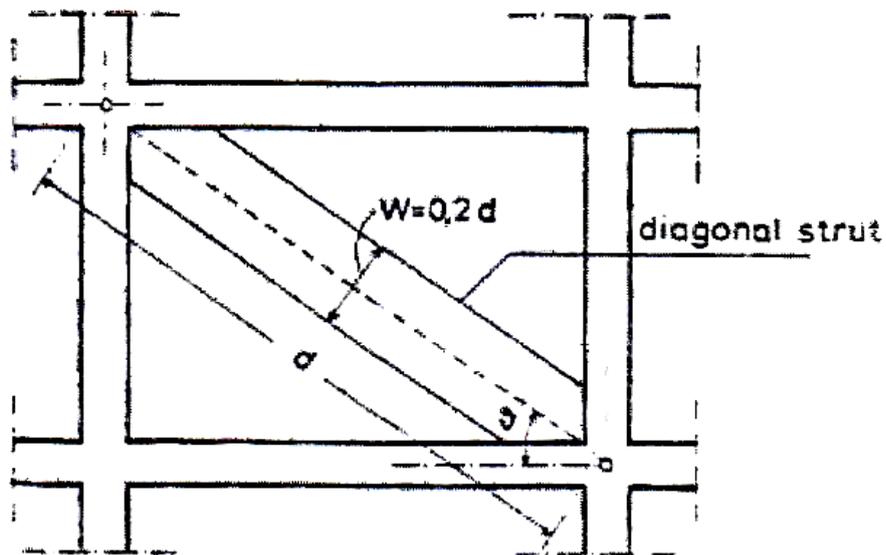
تم في هذه المقالة دراسة تأثير تقوية جدار البلوك باستعمال شرائح GFRP على تصرف الإطار المملوء بجدار البلوك على الأحمال الجانبية، حيث تم استعمال طريقة العناصر المحدودة وتحليل لاخطي يأخذ بعين الاعتبار لاخطية المادة. تبين هذه الدراسة أن جدار البلوك يؤدي إلى زيادة مقاومة الجملة الإطارية على الأحمال الجانبية بشكل ملحوظ، وإن نسبة الزيادة ترتبط بالموصفات الميكانيكية لجدار البلوك حيث أن استخدام جدار بلوك بمقاومة ضغط مرتفعة يؤدي إلى زيادة المقاومة، من هنا فإن إهمال جدار البلوك لا يعكس التصرف الحقيقي للجملة الإنشائية. كما بينت هذه المقالة أن تقوية جدار البلوك باستعمال شرائح (GFRP) بمساحات صغيرة (سماكة وعرض) أدت إلى الحصول على المقاومة المطلوبة للإطار البيتوني المملوء بالجدار على الأحمال الجانبية، وتختلف نسبة الزيادة باختلاف مقاومة جدار البلوك حيث أن فعالية التقوية تكون أكبر مع مقاومة منخفضة لجدار البلوك على الضغط.

## المراجع

- [1] ABAQUS, Version 6.5-4. 2005. ABAQUS/Standard User's Manual, ABAQUS Inc, USA.
- [2] Almusallam, T & Al-Salloum, Y. 2007. Behavior of FRP Strengthened Infill Walls under In-Plane Seismic Loading. *Journal of Composites for Construction*, 11(3), 308-318.
- [3] Batikha, M. 2008. Strengthening of thin metallic cylindrical shells using fiber reinforced polymers. *PhD thesis, Edinburgh University, UK*.
- [4] Binici, B & Ozcebe, G. 2006. Seismic Evaluation of In filled Reinforced Concrete Frames Strengthened with FRPS. *Proc., 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, April 18-22, San Francisco, California, USA, paper no.1717.
- [5] BS EN 1992-1, Eurocode2. 2004. Design of Concrete Structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings, *Brussels, CEN*.
- [6] BS EN 1996-1, Eurocode6. 2005. Design of Masonry Structures, Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, *Brussels, CEN*.
- [7] Concrete Society. 2004. Design Guidance for Strengthening Concrete Structure Using Fiber Composite Materials. *Technical Report 55, Second Edition, Camberley, UK*.
- [8] Crisafull, F. 2010. [http://www.msc-sahc.org/upload/docs/01\\_francisco\\_crisafull\\_seminar.pdf](http://www.msc-sahc.org/upload/docs/01_francisco_crisafull_seminar.pdf), Analysis of In-filled Frame Structure. *Universidad Nacional de Cuyo, Argentina*. Accessed 08-June-2010.
- [9] Erdem, I; Akyuz, U; Ersoy, U & Ozcebe, G. 2006. An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames. *Journal of Engineering Structures*. 28, 1843–1851.
- [10] Hendry, A.W; Sinha, B.P & Davies, S.R. 2004. Design of Masonry Structures. *E&FN Spon, London, UK*.
- [11] Penelis, G.G & Kappos, A.J. 1997. Earthquake Resistant Concrete Structures. *E & FN Spon, London, UK*.
- [12] Teng, JG; Chen, JF; Smith, ST & Lam, L. 2002. FRP Strengthened RC Structures. *John Wiley and Sons, Chichester, UK*.
- [13] Triantafillou, T.C. 1997. Shear reinforcement of wood using FRP materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 9(2), 65–69.

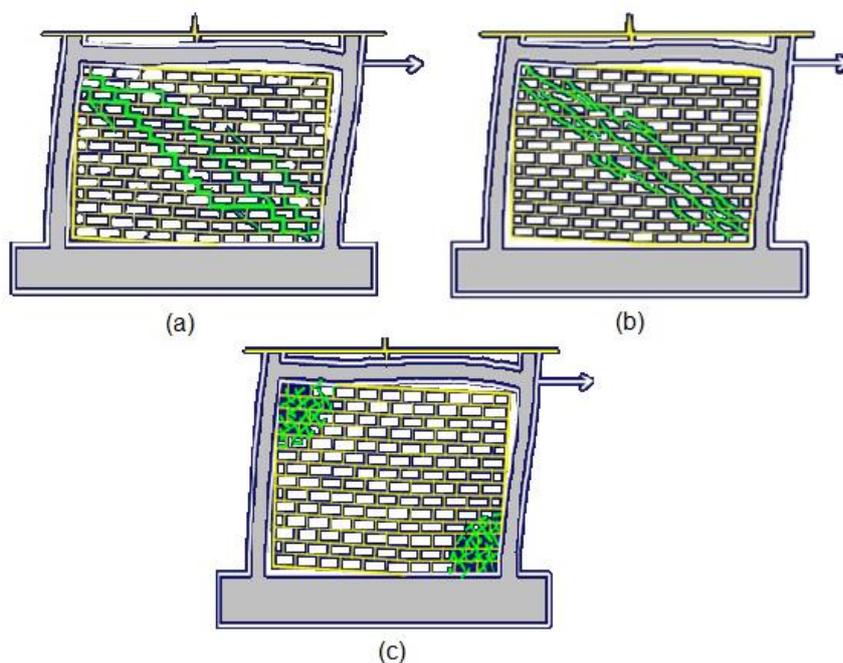


الشكل (1): تصرف جدار البلوك (URM) عند التحميل الجانبي في مستويه (Crisafull, 2010)



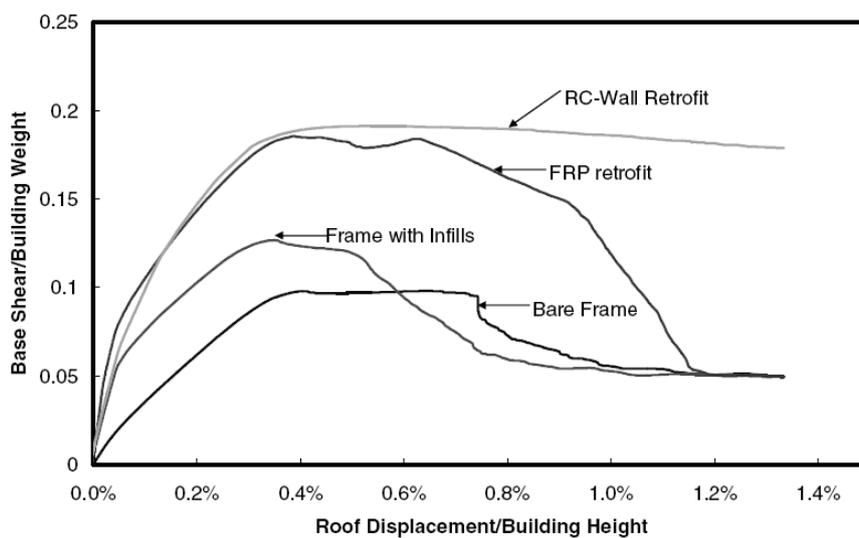
الشكل (2): نموذج الضغط القطري في جدار البلوك (URM) عند التحميل الجانبي في مستويه (Penelis and

(Kappos, 1997)

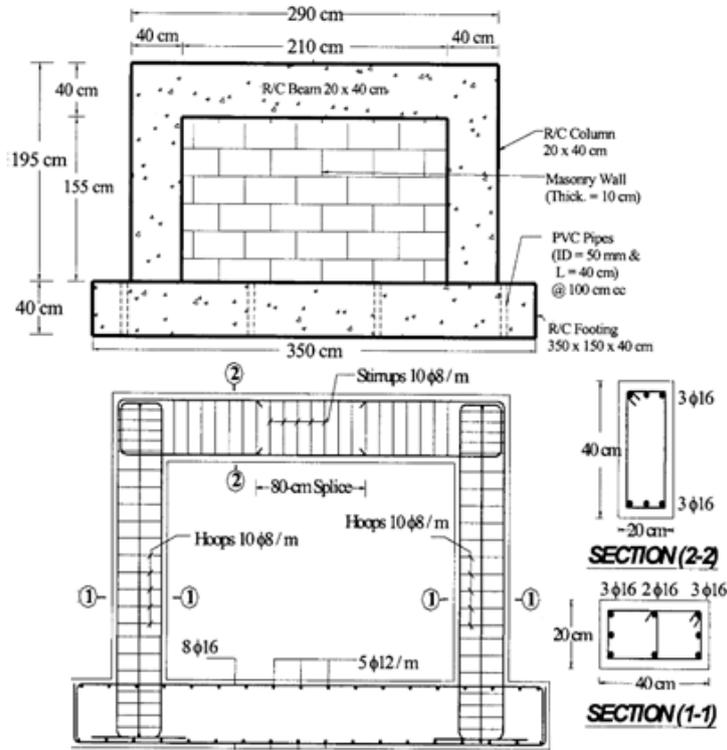


الشكل (٣): ميكانيكيات انهيار جدار البلوك (URM) عند التحميل الجانبي في مستويه (Crisafull, 2010)

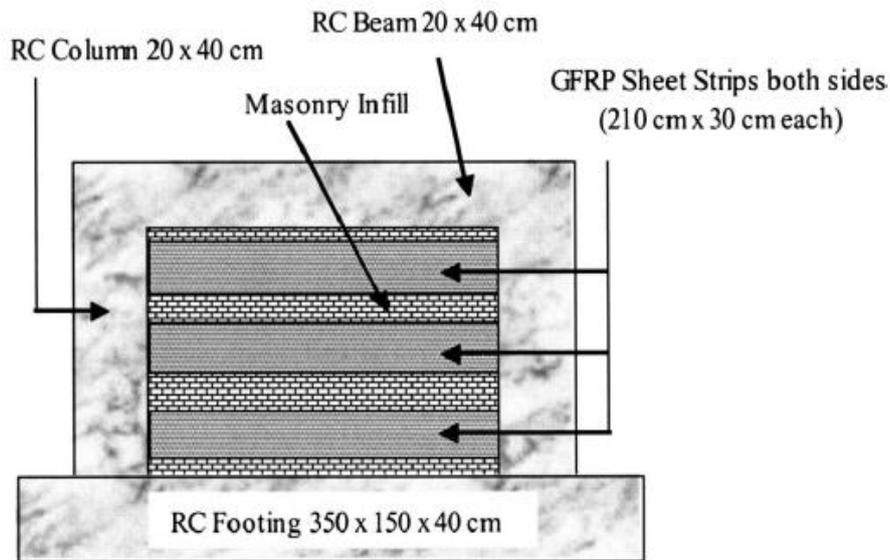
a. انهيار القص، b. انهيار الشد القطري، c. تحطم الزوايا المضغوطة



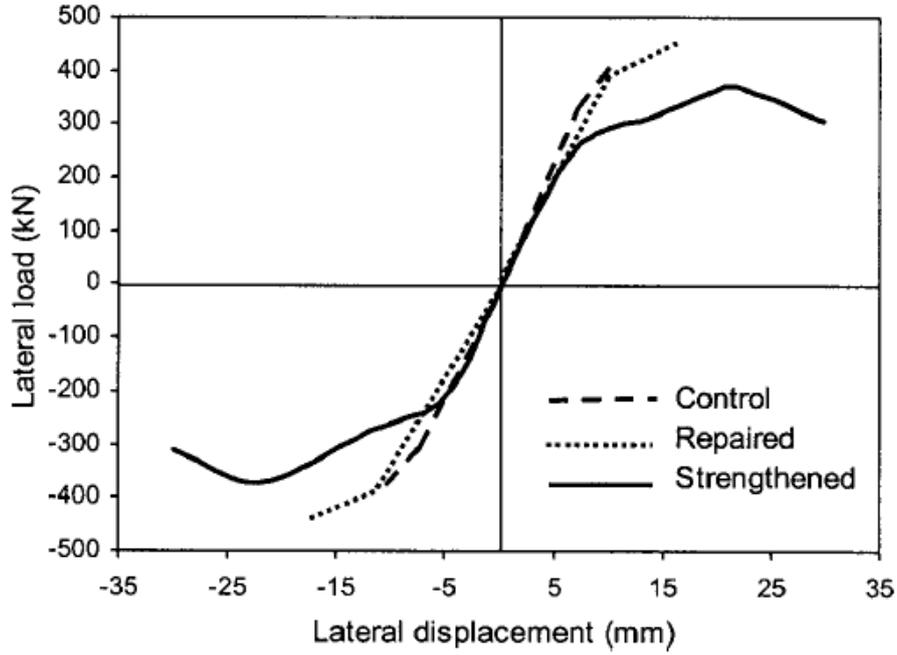
الشكل (٤): النتائج التحليلية لنموذج إطار مدرّوس مع حالات تقوية مختلفة (Binici and Ozcebe, 2006)



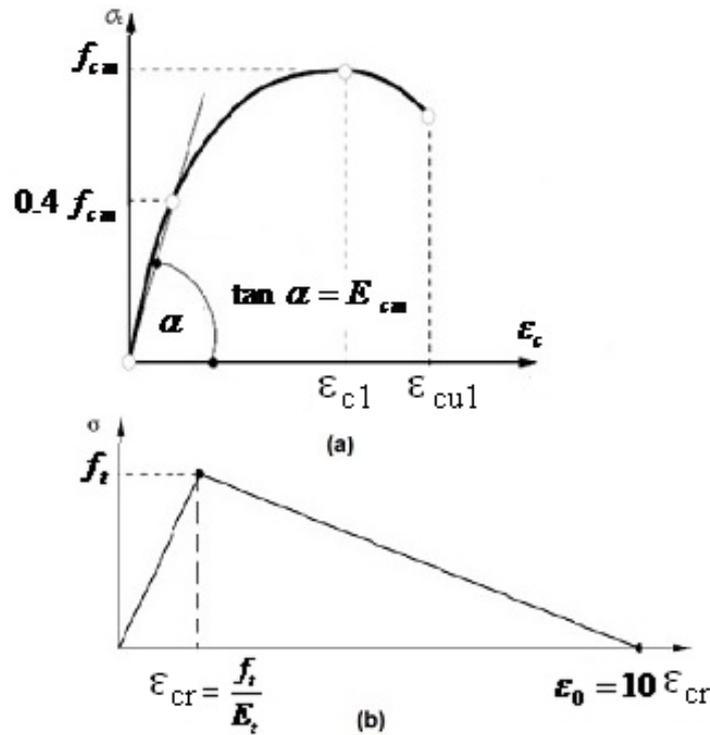
الشكل (٥): نموذج الإطار المدروس وتسليحه في (Almusallam et al, 2007)



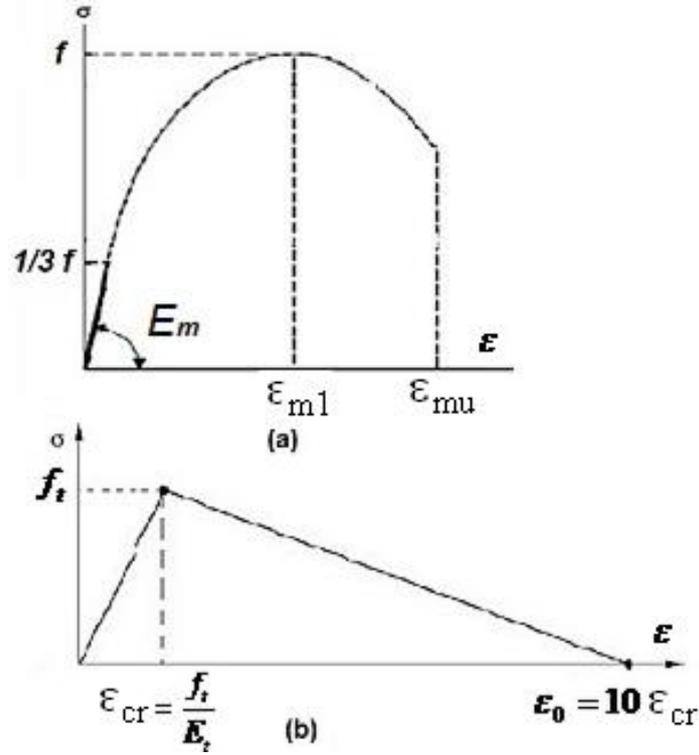
الشكل (٦): كيفية وضع شرائح (GFRP) في النموذج المدروس وأبعاد هذه الشرائح (Almusallam et al, 2007)



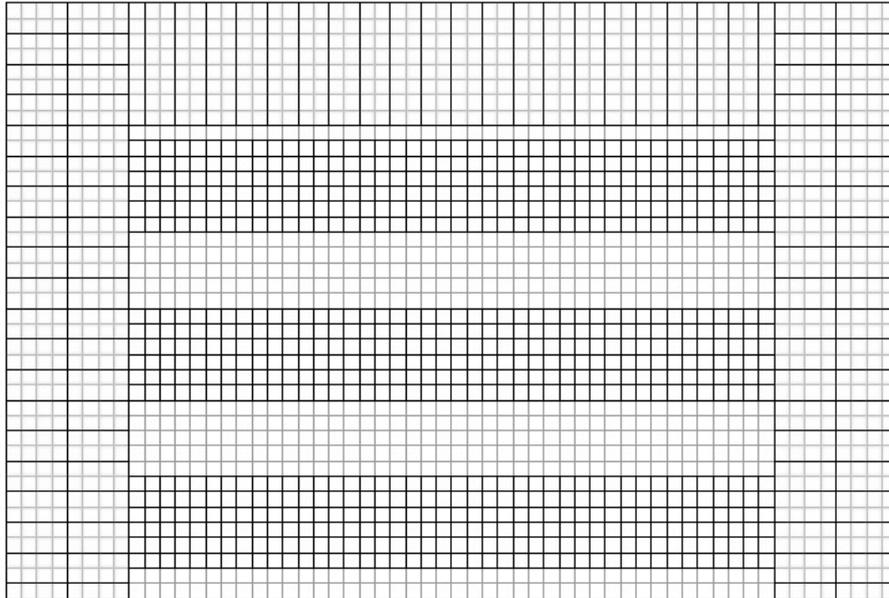
الشكل (٧): مقارنة بين مغلطات القوة - الانتقال للعينات الثلاث المدروسة (Almusallam et al, 2007)



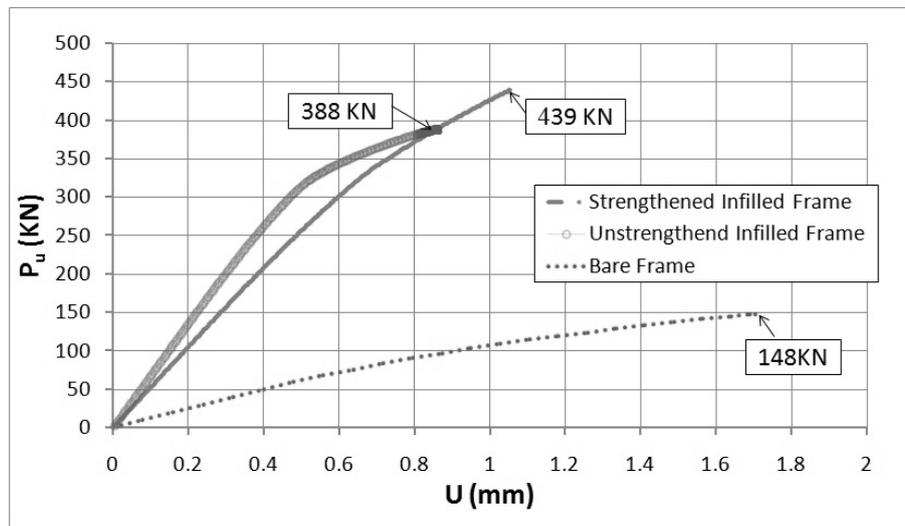
الشكل (٨): a. سلوك البليتون المعتمد في النمذجة في الضغط (Eurocode2, 2004) b. علاقة الإجهاد-التشوه النسبي للبليتون في الشد (ABAQUS 6.5-1 Documentation)



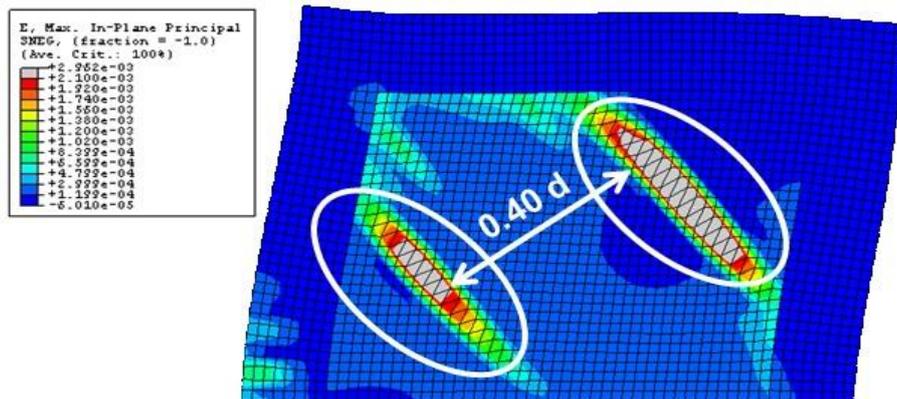
الشكل (٩): a. سلوك البلوك المعتمد في النمذجة في الضغط (Eurocode6, 2005) b. علاقة الإجهاد-التشوه النسبي للبيتون في الشد (ABAQUS 6.5-1 Documentation)



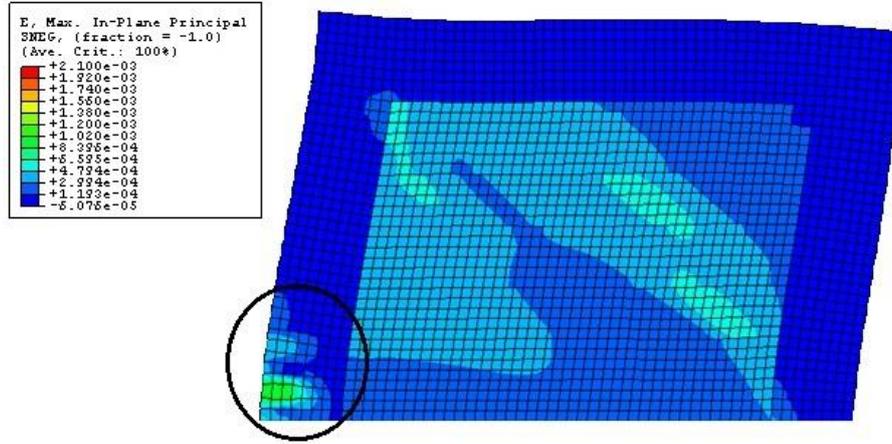
الشكل (١٠): شكل نموذج الإطار المدروس بعد التقوية بشرائح GFRP أفقية باستخدام برنامج (ABAQUS 6.5)



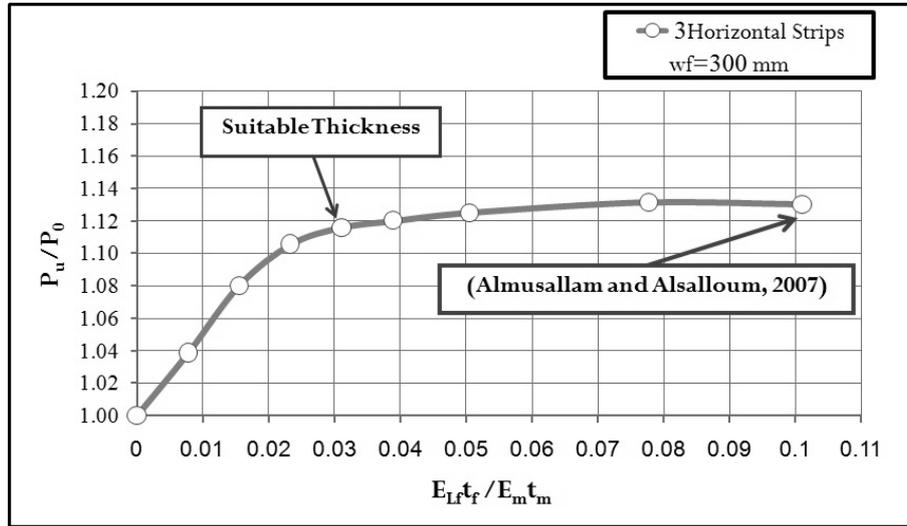
الشكل (١١): مخطط الانتقال – القوة للنموذج المدروس من دون جدار بلوك، ومع جدار بلوك قبل التقوية وبعدها بشرائح (GFRP) أفقية



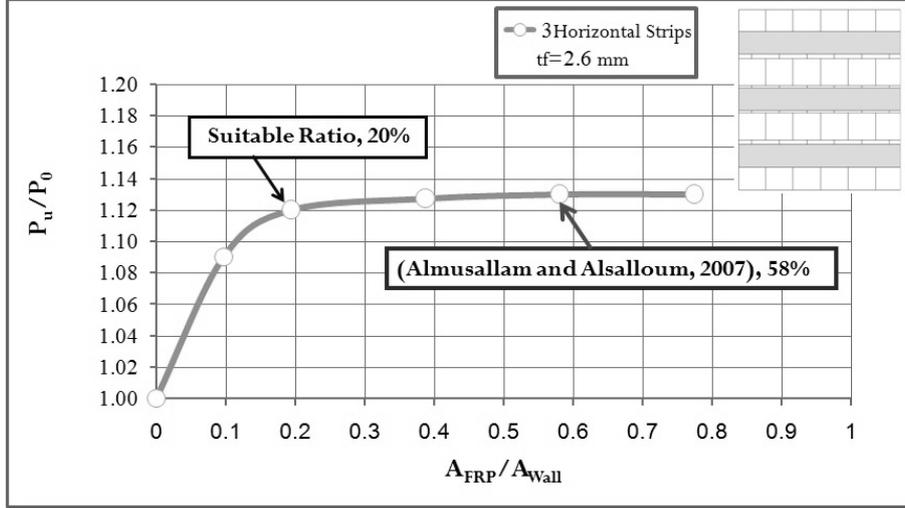
الشكل (١٢): التشوهات النسبية الرئيسية في الجملة الإطارية قبل التقوية عند الانهيار (ABAQUS 6.5)



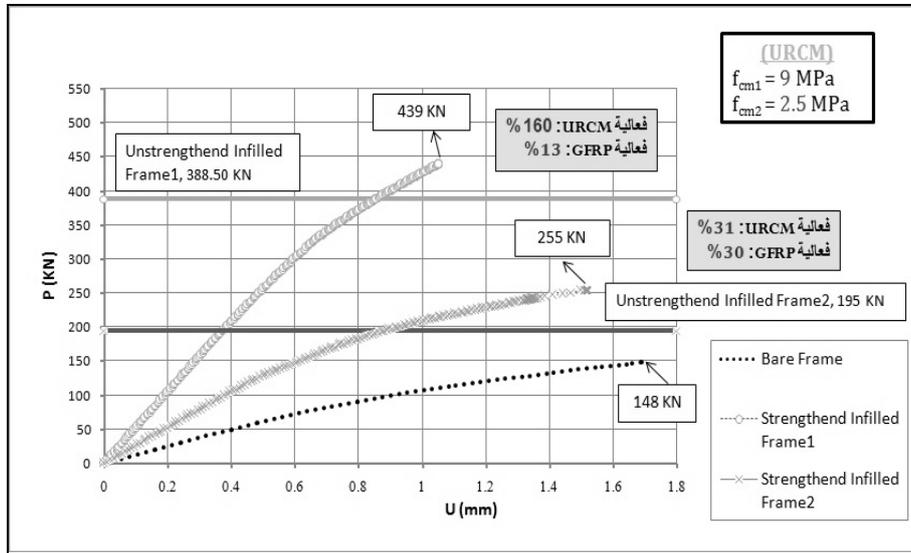
الشكل (١٣): التشوهات النسبية الرئيسية في الجملة الإطارية بعد التقوية بشرائح (GFRP) أفقية عند الانهيار (ABAQUS 6.5)



الشكل (١٤): تأثير سماكة شرائح (GFRP) الأفقية على القوة الحدية للنموذج المدروس بدلالة نسبة لا بعدية



الشكل (١٥): تأثير نسبة مساحة شرائح (GFRP) الأفقية من مساحة الجدار على القوة الحدية للنموذج المدروس



الشكل (١٦): مخطط الانتقال - القوة للنموذج المدروس قبل تغيير خواص جدار البلوك وبعده

