



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

التطويق غير الكامل للجوائز البيتونية المسلحة بأشرطة من البوليمرات المسلحة بالألياف
الكربونية (CFRP) لتقويتها على القص - نموذج عناصر منتهية

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير

في الهندسة الإنشائية

إعداد المهندسة: ربي جمال

إشراف

الدكتور

سامر سليمان

المدرس في قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق
مشرفاً مشاركاً

الدكتور

حافظ الصادق

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق
مشرفاً رئيساً

جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

رسالة ماجستير

إعداد: المهندسة ربي جمال

عنوان الرسالة: " التطويق غير الكامل للجوائز البيتونية المسلحة بأشرطة من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP) لتقويتها على القص - نموذج عناصر منتهية "

إشراف: الدكتور المهندس حافظ صادق

مشرف مشارك: الدكتور سامر سليمان

لجنة الحكم

كلية الهندسة المدنية
عضواً

الأستاذ في قسم الهندسة الإنشائية
الاختصاص: مقاومة المواد

أ.د. رياض العيسى
جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية
عضواً مشرفاً

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية
الاختصاص: ديناميك إنشائي

د.م حافظ صادق
جامعة دمشق

كلية الهندسة المدنية
عضواً

الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الإنشائية
الاختصاص: خرسانة مسلحة

د.م عبد الحميد كيخيا
جامعة دمشق

كلمة شكر

في نهاية مشواري هذا لا بد من شكر كل من كان عوناً لي في إتمام عملي، فبعد الله سبحانه وتعالى بالشكر الكبير لمن كان عوناً وسنداً لي في طريق حياتي منذ بدايته ولم يدخر جهداً في إيصالني إلى هذه اللحظة..... إلى والديّ الحبيبين وإخوتي الأعزاء.
إلى أصدقاء دربي يا من كنتم بحق تشجيعكم المستمر ودعمكم الدائم حتى

كما أتقدم بالشكر الكبير والامتنان للدكتور حافظ الصادق الذي تـ بالإشراف على عملي هذا والذي لم يدخر يوماً وقتاً جهداً في سبيل إتمام العمل حيث كان لملاحظاته دوراً كبيراً في إنجاز العمل على أفضل وجه.
والشكر الكبير للدكتور سامر سليمان الذي تكرم أيضاً بالمشاركة في الإشراف على رسالتي وإغناءها بملاحظاته ومعلوماته العلمية القيمة جداً والذي كان له دور هام وكبير في إنجاز هذا العمل خاصة فيما يتعلق بموضوع النمذجة .

لكم جميعاً

يهدف هذا إلى دراسة سلوك الجوائز البيتونية المقواة بالبوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية بطريقة عددية. حيث استخدم برنامج العناصر المنتهية ANSYS سلوك الجائز البيتوني قبل وبعد التدعيم.

بداية عمل نموذج عناصر منتهية لجائز بيتوني لدراسة سلوكه تحت تأثير الأحمال الستاتيكية، النتائج مع نتائج تجريبية لجائز مماثل. الجائز بيتوني مقو البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP) لدراسة سلوكه تحت تأثير الحمولات الستاتيكية أيضاً مع نتائج تجريبية لجائز مماثل.

أظهرت الدراسة العددية البرامترية لجائز بيتوني ضعيف على القص ومقو بشرائح من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية بشكل U-Wrap زيادة في الحمولة الحدية مقارنة مع الحمولة الحدية للجائز دون تقوية، على تزايد واضح في قيمة عامل المطاوعة.

CFRP وأظهرت النتائج أنه يمكن توفير كمية شرائح CFRP المستعملة مقابل انخفاض قليل بالحمولة الحدية ومعامل المطاوعة وذلك عند استعمال شرائح CFRP 1 - 0.75 - 0.5 - 0.25

الجائز البيتوني CFRP إلى زيادة بالحمولة الحدية بمقدار ضئيل مما يعني هدراً CFRP الحصول على زيادة تذكر بقدرة تحمل الجائز.

لتأثير مقاومة البيتون على الضغط f_c ، أظهرت الدراسة أن زيادة قيمة مقاومة البيتون على الضغط ستؤدي إلى التقليل من فعالية استخدام شرائح CFRP حيث أن الجوائز البيتونية على الضغط أظهرت زيادة الحمولة الحدية عند تقويتها بشرائح CFRP وذلك مقارنة بنفس قيم المقاومات للجوائز ولكن دون تقوية.

أن تقوية الجوائز البيتونية CFRP وكذلك مطاوعته، حيث يظهر الانهيار المطاوع على الانعطاف بدلاً من الانهيار الهش على القص.

المحتويات

| | | |
|----|--|-------|
| 1 | : | |
| 1 | | 1-1 |
| 2 | أسباب حدوث عيوب و قصور في المنشآت الخرسانية | 2-1 |
| 2 | ترميم المنشآت الخرسانية وتقويتها | 3-1 |
| 3 | البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP) | 4-1 |
| 5 | الخصائص الميكانيكية لمركبات FRP | 5-1 |
| 6 | سلوك الجوائز البيتونية تحت تأثير قوى القص | 6-1 |
| 7 | ميكانيكيات الانهيار | 7-1 |
| 9 | نقل قوى القص ضمن البيتون المتشقق | 8-1 |
| 11 | | 9-1 |
| 11 | الهدف من البحث | 10-1 |
| 12 | مراجعة بحثية | 11-1 |
| 19 | بالألياف الكربونية بالبوليميرات الأمريكي ACI 440.2R-02 | 12-1 |
| 22 | | 13-1 |
| 23 | ني: أسس نمذجة الجوائز البيتونية المدعمة بشرائح CFRP | |
| 23 | | 1-2 |
| 23 | سلوك مادة البيتون | 2-2 |
| 23 | saenz's | 1-2-2 |
| 24 | hognestad | 2-2-2 |
| 25 | Desayi and Krishnan | 3-2-2 |
| 26 | البيتون على الشد | 4-2-2 |

| | | |
|----|---|---|
| 27 | بناء نموذج عناصر منتهية للبيتون | 3-2 |
| 27 | Solid65 | 1-3-2 |
| 28 | فرضيات العنصر Solid65 | 2-3-2 |
| 28 | الخصائص الواجب إدخالها للعنصر البيتوني Solid65 | 3-3-2 |
| 29 | معياري الانهيار للبيتون | 4-3-2 |
| 31 | التسليح | 4-2 |
| 31 | صفائح الاستناد و صفائح تطبيق الأحمال | 5-2 |
| 32 | مادة البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP) | 6-2 |
| 35 | : تحليل سلوك جائر بيتوني قبل التدعيم بشرائح CFRP | |
| 35 | | 1-3 |
| 35 | التمثيلية | تسمية 2-3 |
| 37 | نمذجته | التجريبي 3-3 |
| 38 | | 4-3 |
| 41 | الدراسة التحليلية للجائر غير المدعم | 5-3 |
| 41 | (Mesh Convergence) | 1-5-3 |
| 43 | | الشروط المحيطة 2-5-3 |
| 45 | العناصر المنتهية AM | مقارنة النتائج بين الجائر التجريبي EM 3-5-3 |
| 47 | | الدراسة التحليلية للجائر المدعم 6-3 |
| 47 | (CFRP) | 1-6-3 |
| 50 | u-wrap | CFRP البيتوني تقوية 2-6-3 |
| 52 | CFRP | تأثير 3-6-3 |
| 53 | | تغير سماكة شرائح CFRP 4-6-3 |

55 تأثير المقاومة المميزة الأسطوانية (f_c) على الجوائز البيتونية المقواة بالبوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP 5-6-3

60 تأثير استخدام شرائح CFRP على مطاوعة الجوائز البيتوني 6-6-3

62 تحليل 7-3

67 : النتائج والتوصيات

67 1-4

67 2-4

68 التوصيات 3-4

فهرس الأشكال

| | | |
|----|---|--------|
| 1 | ق التقوية باستعمال FRP | (1-1) |
| 4 | أنماط توزع الألياف ضمن شرائح FRP | (2-1) |
| 5 | محاور شريحة FRP ذات ألياف باتجاه واحد | (3-1) |
| 7 | تمثيل الجانز البيتوني كجانز شبكي | (4-1) |
| 8 | ميكانيكيات الانهيار على القص | (5-1) |
| 9 | العوامل المؤثرة في نقل القص في البيتون المتشقق | (6-1) |
| 12 | أبعاد المقطع العرضي للجوانز وتفصيلات التسليح | (7-1) |
| 13 | أشكال تقوية الجوانز | (8-1) |
| 14 | مقطع عرضي في الجانز يوضح الأبعاد والتسليح | (9-1) |
| 14 | مكان تطبيق الحمل و أشكال التقوية المستخدمة | (10-1) |
| 15 | | (11-1) |
| 16 | انز وشكل التقوية المستخدم | (12-1) |
| 16 | | (13-1) |
| 16 | (- انتقال) للجانز مع/بدون تقوية | (14-1) |
| 17 | CFRP | (15-1) |
| 18 | (-) | (16-1) |
| 18 | المنتھية المقواة بأشرطة CFRP بزواوية 90° | (17-1) |
| 18 | شكل المقطع العرضي و تفاصيل التسليح للجوانز المختبرة | (17-1) |
| 19 | التقوية المستعملة | (18-1) |
| 21 | FRP | (19-1) |
| 21 | (ACI 440.2R-02) | (20-1) |
| 21 | التقوية | (20-1) |
| 23 | مخطط (الإجهادات - saenz's (| (1-2) |
| 25 | hognestad ((الإجهادات -) | (2-2) |

| | | |
|----|---|--------|
| 26 | هذه الدراسة (الإجهادات –) | (3-2) |
| 26 | سلوك البيتون على الشد | (4-2) |
| 27 | (للبيتون في حالة مخطط) الإجهادات – | (5-2) |
| 28 | Solid 65 | (6-2) |
| 30 | سطح انهيار البيتون – | (7-2) |
| 31 | Link180 | (8-2) |
| 31 | سلوك مادة التسليح | (9-2) |
| 31 | Solid45 | (10-2) |
| 32 | (للألياف الكربونية CFRP مخطط) إجهادات – | (11-2) |
| 33 | Solid185 | (12-2) |
| 34 | بعض أشكال توزيع الألياف ضمن الطبقات | (13-2) |
| 37 | تفاصيل المقطع العرضي والطولي للجائز EM | (1-3) |
| 38 | تأثير شكل تقيد | (2-3) |
| 39 | ارتباط حديد التسليح مع البيتون بشك | (3-3) |
| 40 | نمذجة حديد التسليح ضمن البيتون المسلح | (4-3) |
| 41 | منحني (الإجهادات –) للبيتون | (5-3) |
| 42 | | (6-3) |
| 43 | (–انتقال) للجائز EM والنموذج التحليلي | (7-3) |
| 43 | ANSYS | (8-3) |
| 44 | | (9-3) |
| 45 | (–انتقال) للجائز AM EM | (10-3) |
| 45 | AM عند مراحل تحميل مختلفة | (11-3) |
| 47 | لجائز التجريبي المقوى بالألياف SEM | (12-3) |

| | | |
|----|---|--------|
| 48 | ASM1 | (13-3) |
| 48 | ASM1 مع الجائز التجريبي (-) | (14-3) |
| | SEM | |
| 49 | 227 kN ASM1 AM الجائز في التشققات | (15-3) |
| 50 | 257 kN ASM1 | (16-3) |
| 50 | ASM2 AM للجائز (-) | (17-3) |
| 51 | 227 kN ASM2 | (18-3) |
| 51 | 227 kN AM الجائز دون تقوية | (19-3) |
| 52 | ASM2 عند حمولة الانهيار | (20-3) |
| 52 | (ASM3) CFRP | (21-3) |
| 53 | ASM3 ASM2 بين الجائز (انتقال -) | (22-3) |
| 54 | ASM4 بعد مضاعفة سماكة الألياف | (23-3) |
| 54 | (انتقال -) بين الجائز ASM2) | (24-3) |
| | CFRP (وبين الجائز ASM4 المدعم بطبقتين من CFRP | |
| 55 | نحنيات (انتقال -) للجائز دون تقوية | (25-3) |
| 56 | ASMf20 AMf20 للجائز (انتقال -) | (26-3) |
| 57 | AMf20 AMSf20 الجائز في التشققات | (27-3) |
| 57 | ASMf30 AMf30 للجائز (انتقال -) | (28-3) |
| 58 | AMf30 ASMf30 الجائز في التشققات | (29-3) |
| 58 | AMf40,ASMf40 للجائز (انتقال -) | (30-3) |
| 59 | AMf40 ASMf40 الجائز في التشققات | (31-3) |
| 59 | ASMf50 AMf50 للجائز (انتقال -) | (32-3) |
| 60 | AMf50 ASMf50 الجائز في التشققات | (33-3) |
| 61 | y u | (34-3) |
| 64 | تأثير تغير مقاومة البيتون على الحمولة الحدية للجائز البيتونية | (35-3) |
| | CFRP | |

فهرس الجداول

| | |
|----|---|
| 5 | (1-1) الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف |
| 6 | (2-1) مقارنة بين الخصائص الميكانيكية لصفائح FRP مع البيتون |
| 13 | (3-1) |
| 15 | (4-1) مقارنة الحمولة الحديدية للجوائز المقواة مع ج |
| 21 | (5-1) قيمة المعامل f |
| 29 | (1-2) رامترات معيار الانهيار |
| 36 | (1-3) تسمية النماذج |
| 37 | (2-3) العناصر المستخدمة لنمذجة الجوائز البيتوني |
| 40 | (3-3) خصائص مادة البيتون |
| 41 | (4-3) خصائص حديد التسليح |
| 42 | (5-3) |
| 47 | (6-3) الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف |
| 61 | (7-3) قيم معامل المطاوعة المقابلة لتغير قيم f^c للجوائز البيتونية |
| 65 | (8-3) تغير قيم معامل المطاوعة وحمولة الانهيار بتغير شكل وعدد CFRP |
| 66 | (9-3) تغير قيم معامل المطاوعة وحمولة الانهيار بتغير قيم f^c |

1-1

مادة البيتون المسلح المادة الأ
تتمتع به هذه المادة من مواصفات من حيث المتانة
نشائية المختلفة عمدة والجوائز وغيرها.
ما جعلها مناسبة لبناء العناصر

يمكن ن ي
الوظيفة الإنشائية المطلوبة منه، لذا يتم اللجوء إلى طرق متعددة لتقوية العناصر الإنشائية
قادرة على أداء دورها الإنشائي ضمن المبنى، ومن طرق التقوية الحديثة التي انتشرت كثيراً التقوية
باستخدام مادة البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP) لميزات التي تتمتع بها.

يمكن استعمال هذه المادة لتقوية مختلف العناصر الإنشائية كالجوائز البلاطات البيتونية
غيرها
الحجرية العناصر البيتونية مسبقة الإجهاد.

التقوية باستعمال FRP لها نوعان: هو استعمال أشرطة أو صفائح يتم لصقها باس
(b-1-1) تسمى طريقة التقوية هذه باللصق

(Externally Bonded)، أما النوع الثاني للتقوية فيتم باستعمال
العنصر لتقويته يتم عمل شقوق ضمن العنصر و وضع القضبان ضمنها، تسمى هذه الطريقة
(Near surface mounted) (NSM). ويوضح الشكل (a-1-1) طريقة وضع



(a)



(b)

(1-1): التقوية باستعمال FRP [1]

2-1 سباب حدوث عيوب

الخرسانية

تتعدد الأسباب المؤدية لحدوث قصور في المنشآت الخرسانية فمنها ما يعود لأسباب تتعلق بالتصميم
همال التفاصيل الإنشائية
الشعرية المتوسطة والكبيرة الانهيار ومن أهم
الأسباب التصميمية المؤدية حدوث قصور في أداء العناصر الإنشائية هي
القياسية لتصميم تنفيذ الخرسانة ولاسيما فيما يتعلق بحساب الأحمال المعرض لها المبنى
اختيار نظام نشائي غير نشائية طريقة
التنفيذ أيضاً مهماً حيث إهمال تنفيذ
نشوء عيوب قصور بالعناصر الإنشائية.
من أهم الأسباب التنفيذية التي يمكن أن تؤدي

غير معروف المصدر و تاريخ انتهاء الصلاحية، و طريقة التخزين يؤدي
غير مطابق

حصىات غير م إهمال غسلها للتخلص من الأ
أن يت أيضاً التصميم
حديد التسليح جواء الصناعية
للزلازل والهزات الأرضية زيادة ارتفاع المباني عن التصميم.

بتأثير هذه الأ يصبح العنصر الإنشائي ضعيفاً فهل يعني ذلك هذا
أم أن هنالك طر
يصبح هذا العنصر من جديد

3-1 ترميم الخرسانية تقويتها

ترميم الخرسانية وتقويتها يعني عمل العلاج والتعديلات اللازمة للعناصر الإنشائية الأساسية
بغرض زيادة قوة تحملها لتقاوم الإجهادات التي يتعرض لها المنشأ الخرساني يتفق مع ما
جاء في المواصفات القياسية القواعد التطبيقية لتصميم الخرسانية وتنفيذها[2].

ق التقوية شيوعاً سيتم التركيز هنا على تقوية الجوائز
البيتونية باعتبارها الموضوع الرئيسي لهذا البحث.

تقوية للجوائز البيتونية استعمال القمصان البيتونية لزيادة متانة الجائز البيتوني
ولكن هنالك مساوئ لهذه الطريقة التقليدية في التقوية نها تتطلب عمل
لوضع التشاريك مر الذي قد يتسبب في ضعاف الجائز البيتوني ذا كان عرضه
قليلاً نوعية المستخدمة غير جيدة ن البيتون المضاف حديثاً لتقوية العنصر يتط
جيد مع البيتون القديم سيؤدي زيادة [3].^{هـ}

يمكن أيضاً ن تتم تقوية العناصر الإنشائية باستعمال القمصان الفولاذية حديثاً انشتر
التقوية باستعمال البوليمرات الألياف التي تفوقت على التقوية باستعمال العناصر
الفولاذية ذلك لأسباب متعددة نذكر منها نسبة المقاومة
(
التنفيذ في الموقع [4].

عام يمكن
مناسبة لتقوية
البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP)
نشائية تدعيمها ترميمها [5]:

- FRP رقيقة خفيفة مرنة لذا فهي سهلة الاستعمال في الأماكن الضيقة خلف
نابيب قنية التمديدات الميكانيكية الكهربائية.
- تستعمل هذه المادة دون الحاجة لى تخريب
التنفيذ قليل بالتالي وقت تعطيل استثمار العنصر يصبح .
- ن خفة وزن هذه المادة لا تسبب ي زيادة ملحوظة في وزن العنصر .
- نسبة متانة هذه المادة بالنسبة لها مرتفعة.
- خاملة كيميائياً بالتالي لا تتعرض للتخريب الكيميائي.
- جيدة للتعب بالتالي هي مناسبة للعناصر الإنشائية التي يحدث فيها تقلب في تطبيق

على الرغم من ارتفاع سعر هذه المادة مقارنة بسعر
والتدعيم كالبيتون الحديد ن الجهد والمعدات
(FRP) هو سهل بكثير من استعمال القمصان البيتونية الفولاذية ولا سيما في المناطق التي يصعب
ليها.

بعض النواحي السلبية (FRP) تصنيع هذه المادة له تأثير
على البيئة عادة تصنيع هذه المادة نها
المستعملة ومقاومتها للحريق [6].

4-1 البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP)

البوليمرات المسلحة بالألياف هي مواد مركبة من مواد طبيعية مؤلفة من مكونين مختلفين على
مختلفة عن المكونات الأساسية كما أنها تكون كثر فعالية
مكونات المؤلفة لها.

ن البوليمرات المسلحة بالألياف ساسي : هو القالب
البوليميري وهو عبارة عن مواد راتنجية معالجة كمادة الإيبوكسي مثلاً وظيفته الأساسية العمل
للألياف يعطي ما المكون الثاني فهو الألياف يعطي المركب
وهو الألياف :

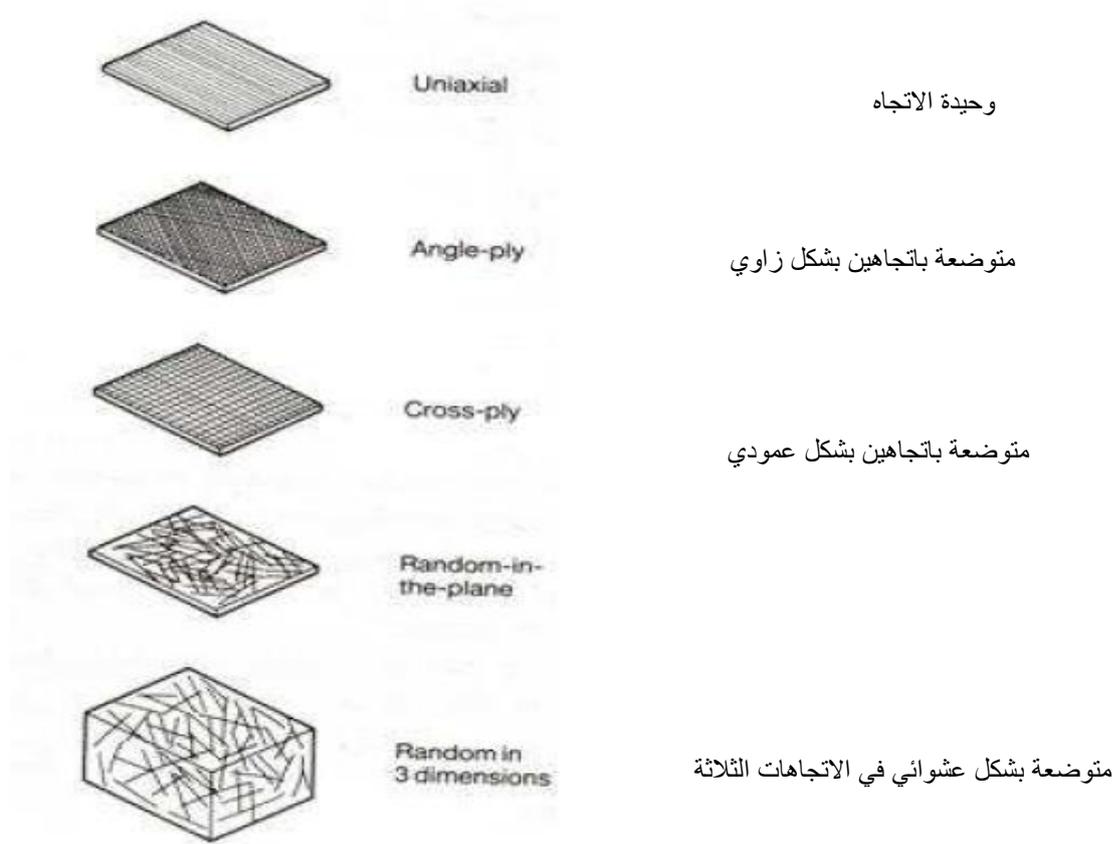
- 1- ليف الزجاجية (Glass fiber).
- 2- ليف الكربونية (Carbon fiber).
- 3- ليف الأراميدية (Aramid fiber).

المثبتات الحرارية

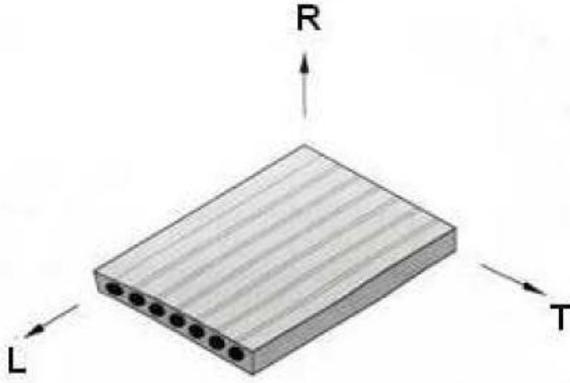
ما المكون الثالث فهو عبارة عن الإ
وغيرها من [4].

يمكن ليف باتجاه واحد (unidirectional fiber) وقد تتوضع هذه الألياف باتجاهات متعددة (اتجاهين على الأ). يوضح (2-1) توزيع الألياف ضمن شرائح FRP يوضح (3-1) محاور شريحة FRP ذات ألياف باتجاه واحد.

FRP هي مادة مرنة خطية حتى الانهيار



(2-1) : أنماط توزيع الألياف ضمن شرائح FRP [7]



(3-1): محاور شريحة FRP ذات ألياف

[7]

5-1 الخصائص الميكانيكية لمركبات FRP

الميكانيكية لمركبات FRP ليست متماثلة بكافة الاتجاهات هو ما يعبر عنه بأنها مادة (anisotropic) تكون الخصائص الميكانيكية الأفضل لهذه المركبات باتجاه الألياف. يو (1-1) الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف بأنواعها الثلاث الكربونية الزجاجية والأراميدية [8].

(1-1): الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف

| Fiber name | Strength | Elastic modulus (GPa) | Tensile strength (MPa) | Failure Strain (%) |
|------------|---------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| Carbon | High strength | 215-235 | 3500-4800 | 1.4-2.0 |
| | Ultra high strength | 215-235 | 3500-6000 | 1.5-2.3 |
| | High modulus | 350-500 | 2500-3100 | 0.5-0.9 |
| | Ultra high modulus | 500-700 | 2100-2400 | 0.2-0.4 |
| Glass | E- Glass | 70 | 1900-3000 | 3.0-4.5 |
| | S- glass | 85-90 | 3500-4800 | 4.5-5.5 |
| Aramid | low modulus | 70-80 | 3500-4100 | 4.3-5.0 |
| | High modulus | 115-130 | 3500-4000 | 2.5-3.5 |

(2-1) يوضح مقارنة بين الخصائص الميكانيكية لـ FRP بالاتجاه الطولي لهذه
(الألياف 40% ضمن المركب) مع البيتون

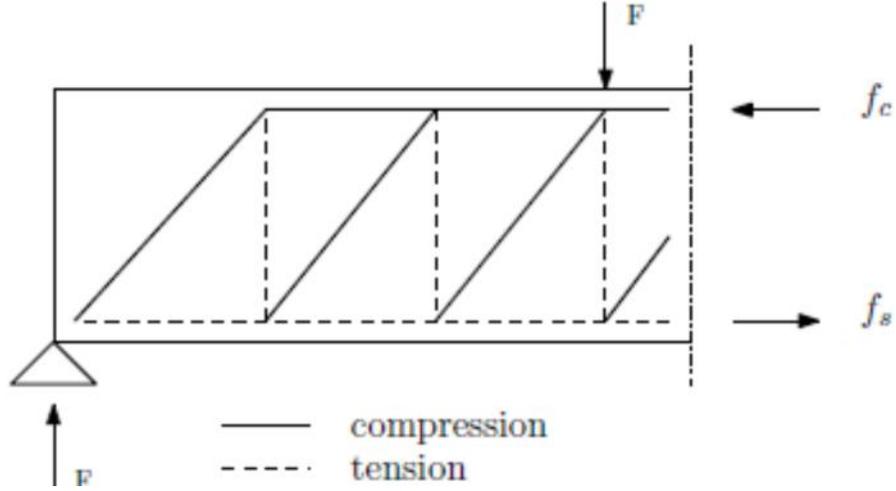
[9] (2-1): مقارنة الخصائص الميكانيكية لصفائح FRP البيتون

| | E- Glass | Aramid (Kevlar 49) | High strength Carbon | High modulus Carbon | Steel (Grade S275) | concrete |
|----------------------------------|----------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| Tensile strength (Mpa) | 650 | 900 | 1000-1900 | 800- 1400 | 275 Yield 430 Ultimate | 2-5 |
| Compressive strength (Mpa) | 550 | 250 | ~1000 | ~600 | 275 Yield 430 Ultimate | 25-60 |
| Tensile modulus (Gpa) | 30 | 50 | 100-120 | 140-240 | 205 | 25-36 |
| Tensile Failure Strain (%) | 2.3 | 2.2 | 1.5-2.2 | 0.6-1.4 | 20 | 0.01 |
| Density (Kg/m3) | 1700 | 1300 | 1440 | 1480 | 7900 | 2400 |

6-1 سلوك الجوائز البيتونية تحت تأثير [10]

تسلح الجوائز البيتونية بنوعين من التسليح ول هو التسليح الطولي والثاني هو التسليح
() ولكن كيف تتوزع القوى ضمن الجوائز

يمكن تمثيل الجوائز البيتونية كجوائز شبكية تكون فيه
البيتون المحمل على الضغط ما الوتر السفلي فمؤلف من التسليح المحمل على الشد، القوى بين
الوترين العلوي والسفلي تنتقل من خلال () ()
ذرع المائلة تمثل البيتون المحمل على الضغط في حين الأ
كما هو موضح (4-1).



(4-1): تمثيل الجائز البيتوني كجائز شبكي [10]

باستعمال التمثيل السابق يمكن استنتاج عدد من ميكانيكيات و الانهيار التي يمكن

7-1 ميكانيكيات الانهيار على القص

1- انهيار – (Flexural shear failure):

في ميكانيكية الانهيار هذه يسبب الانعطاف تشكل شقوق بزواوية معينة ها . ولتوضيح هذا النوع من الانهيار لنعبر وجود جائز محمل من خلال ربع نقاط تحميل بين المساند ونقطة التحميل سيتشكل قوة يتزايد خطياً ضمن المسافة بين المسند ونقطة التحميل.

ذا استعملنا تسليح طولي سيكون لدى الجائز مقاومة عالية لعزوم الانعطاف قرب المساند حيث تكون العزوم ذات قيم صغيرة ن تكون الشقوق عمودية على التسليح الطولي تصبح هذه الشقوق مائلة بزيادة الحمولات تصبح هذه الشقوق كبر لتؤدي في النهاية لى حدوث الانهيار في الجائز البيتوني كما هو م (a-5-1).

2- انهيار قص – (Shear Tension failure):

في ميكانيكية الانهيار هذه يتشكل شق قطري بسبب وجود إجهادات رئيسية شاداً يكون هذا الشق مائلاً بزواوية 30°-45°

هذا النوع من الانهيار هو انهيار هش (يحدث بشكل فجائي) دون ن يعطي يحدث في الجوائز التي يكون مستو إجهادات القص فيها عالياً بينما تك إجهادات الانعطاف قليلة نسبياً مثلا المناطق في الجائز التي تكون قريبة من المساند تكون معرضة لهذا النوع من الانهيار b) (5-1) يوضح ميكانيكية الانهيار هذه.

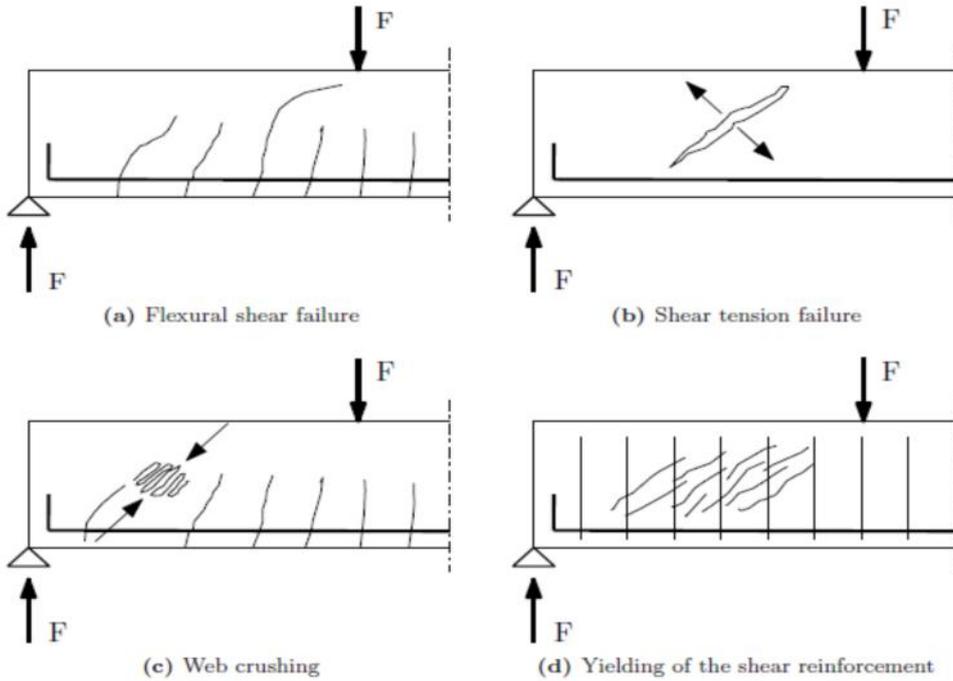
3- (Web crushing)

يحدث هذا النوع من الانهيار عندما يكون هنالك نسبة عالية من تسليح القص العرضي للجائز قليلة. إذا تم تسليح الجائز بكمية ساور كبيرة فتنهار بسبب تحطم البيتون (c-5-1).

4- سيلان تسليح القص (Yielding of the shear reinforcement)

يتوقع حدوث ميكانيكية الانهيار هذه عندما يكون التصميم للجائز البيتوني صحيحاً وهنا يحدث سيلان ليح القص قبل حدوث فشل في الجائز. هذا النوع من الانهيار يكون مصحوباً بتشوهات يمكن ملاحظتها لذا فهو يعطي قبل حدوثه.

ليس هنالك شكل محدد للتحميل قد يسبب هذا النوع من الانهيار. نما نوع العنصر وكيفية تصميمه هي التي تحكم حدوث هذا النوع من الانهيار. ويوضح (d-5-1) ميكانيكية الانهيار هذه.



(5-1): ميكانيكيات الانهيار على القص [10]

1- 8 نقل قوى القص ضمن البيتون المتشقق

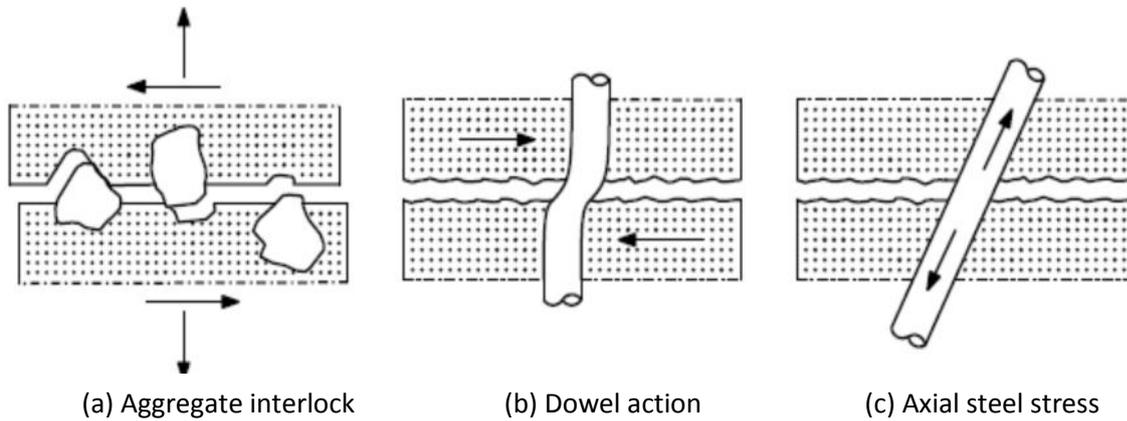
نقل قوى القص في البيتون المتشقق يتعلق بعدد من العوامل المعقدة وهي: تداخل الحصىات الإجهادات المحورية للتسليح تأثير وجود قضبان التسليح (dowel action) إجهادات الشد المتبقية جهادية
يضاً بشكل كبير بالتفاعل بين العوامل

عندما تتزايد إجهادات يبدأ طرفا الشق بالابتعاد عن بعضهما ما يتسبب بتوسع تقوم قضبان التسليح بدمين مقاومة لتوسع الشق وذلك بتأثير (dowel action) بتأثير الإجهادات المحورية للتسليح [10].

1- تداخل الحصىات (Aggregate interlock)

في البيتون ذو المقاومة العادية تكون مقاومة الحصىات أكبر من مقاومة المادة الرابطة (الإلا) لذا فإن التشقق سيحدث في المادة الرابطة وفي مناطق التماس بين المادة الرابطة والحصىات الحصىات البارزة عند سطح الشق تكون لذا يكون سطح الشق خشناً فإن سطح الشق سيؤمن مقاومة لانزلاق طرفي الشق وبالتالي سيؤمن إمكانية لنقل قوى القص كما هـ (a-6-1).

إن عمل هذه الميكانيكية يعتمد بشكل أساسي على عرض الشق تداخل الحصىات سيكون أقل بسبب انخفاض سطح التماس بين الحصىات وسطح الشق هنالك عاملاً آخر يؤثر في هذه الميكانيكية وهو حجم الحصىات بحد ذاتها من الحصىات ذات وبالتالي يكون احتكاكها معه .



(6-1) : العوامل المؤثرة في نقل القص في البيتون المتشقق [10]

2- تأثير وجود قضبان التسليح (dowel action)

مفهوم الورد هنا هو قضيب التسليح المحمل بقوة عرضية ن ميكانيكية الورد هذه تستند قضيب التسليح والبيتون المحيط به كما هو موضح بالشكل (b-6-1) يتألف مكونين: ول يسمى تأثير والثاني هو تأثير القص لقضيب التسليح. تأثير ميكانيكية الورد لبيتوني لقضبان التسليح الطولية.

3- الإجهادات المحورية في التسليح

ما تخترق قضبان التسليح التشققات بزوايا مختلفة وهذا ما يحصل لتسليح هو م (c-6-1). عندما يكون جهاد في التسليح عمودياً فإنه يؤمن إسهاماً جهادات عبر الشق وهذا يتعلق ساسي بكمية التسليح وخصائص تماسكه مع البيتون. في العناصر البيتونية المزودة بتسليح للقص يتم حمل قسم كبير من القص من قبل التسليح بعد نشوء التشقق القطري ن التسليح يؤدي في تقييد نمو التشققات المائلة وبالتالي يؤمن بذلك سلوك .

4- الإجهادات المتبقية

عندما تتشكل التشققات في البيتون يبقى ضمن البيتون القدرة على الإجهادات ويبقى ذلك صحيحاً ن يصبح عرض الشق كبيراً.

يمكن تفسير ذلك بن مقاومة البيتون للشد لا تتحد القيمة f_t وهي مقاومة البيتون للشد نما يحصل ان تدريجي في مقاومة البيتون للشد. الإجهادات

9-1

البيتونية نتيجة للحمولات المطبقة من بينها التشققات مائلة بزاوية 45° تقريباً وتمتد هذه التشققات من المساند وصولاً إلى نقطة تطبيق الحمولة.

الأبحاث على تقوية الجوائز باستعمال أشرطة من CFRP بحيث تطوّر بكامل ارتفاعه في حين لم تنجح التقوية عندما تمت باستعمال أشرطة ذات طول ثابت وذلك يعود إلى أن التشقق يجتاز هذه الأشرطة قرب نهايتها المنطقة وسط مقطع الجائز هي منطقة حادة في عملية الانهيار وأن نهاية هذه الأشرطة تقع في هذه المنطقة CFRP هي مادة ذات تكلفة عالية جديد لتقوية الجوائز البيتونية يسهم في توفير هذه المادة سيكون أمراً جيداً.

10-1 الهدف من البحث

يهدف البحث إلى بناء نموذج عناصر منتهية لجوائز بيتونية مقو CFRP والتحقق من صحة هذا النموذج من خلال مقارنة النتائج مع نتائج تجريبية ومن ثم استخدام هذا النموذج لاختبار عدة متغيرات من ضمنها الشكل الجديد للتقوية الذي يعتمد على CFRP

11-1 مراجعة بحثية

استعراض عدد من الدراسات والأبحاث السابقة التي تناولت موضوع تقوية الجوائز البيتونية على القص باستعمال البوليمرات المسلحة بالألياف FRP.

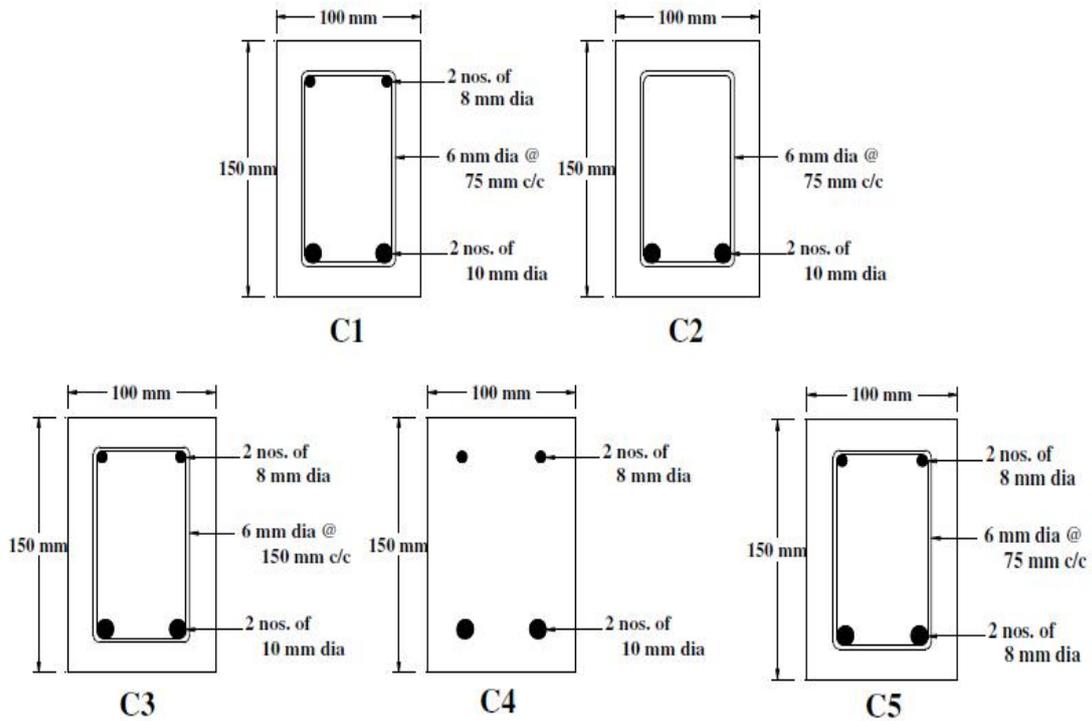
في دراسة قام بها (Sundarraja, 2009) [11] تم دراسة شكلين من أشكال تقوية الجوائز البيتونية GFRP تم لصقها على جانبي الجوائز للتقوية تم باستعمال أشرطة من GFRP .u-wrap

C1 تم تصميمه بشكل مناسب على القص في حين أن

الباقية صممت بحيث تكون ضعيفة على القص ذلك إما بتغيير التسليح الطولي بتغيير المسافات بين تسليح القص. RF2, RF3, RF4, RF5 تمت تقويتها على القص RUF2, RUF3, RUF4 RUF5

تمت تقويتها على القص باستعمال .u-wrap يوضح (7-1) تفصيلات التسليح كما يبين الجدول (3-1) GFRP

بينها.



(7-1): أبعاد المقطع العرضي للجوائز وتفصيلات التسليح [11]

[11]

:(3-1)

| Beam designation | External reinforcement of GFRP in the shear span |
|------------------|--|
| RF2 and RFU2 | 15 mm strips @ 45 mm spacing |
| RF3 and RFU3 | 20 mm strips @ 45 mm spacing |
| RF4 and RFU4 | 40 mm strips @ 45 mm spacing |
| RF5 and RFU5 | 30 mm strips @ 45 mm spacing |

مع العلم أنه تم تقوية الجوائز الضعيفة على القص باستعمال أشرطة GFRP بحيث تعوض هذه الأشرطة الفارق في مقاومة القص بين جائز المقارنة C1 بين جوائز المقارنة المتبقية الضعيفة على القص C2, C3, C4, C5 (8-1) يوضح أشكال التقوية المستعملة.



(8-1): أشكال تقوية الجوائز [11]

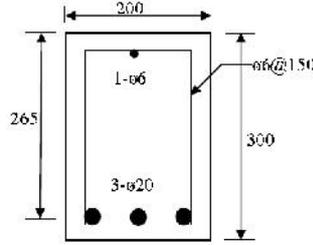
تم تطبيق الحمولة على الجائز من خلال نقطتين متناظرتين بالنسبة . انهارت جوائز المقارنة على القص، في حين انهارت الجوائز المقواة بأشكال تنوعت بين انهيار على الانعطاف لغالبية الجوائز المقواة انهيار بسبب انقطاع بأشرطة GFRP الحمولة الحديدية لجوائز المقارنة نجد أن الجائز C1 له أكبر حمولة حديدية وذلك كونه صمم بشكل مناسب على القص في حين انهارت جوائز المقارنة الأخرى على القص عند حمولات حديدية أقل. نسبة زيادة للمقاومة كانت بمقدار 50% RF3, RF4, RF5 في حين تجاوزت نسبة الزيادة في المقاومة 50% .RUF3, RUF4, RUF5

ذلك مقارنة مع جوائز المقارنة المماثلة لها u-wrap كانت أعلى من الحمولة الحديدية

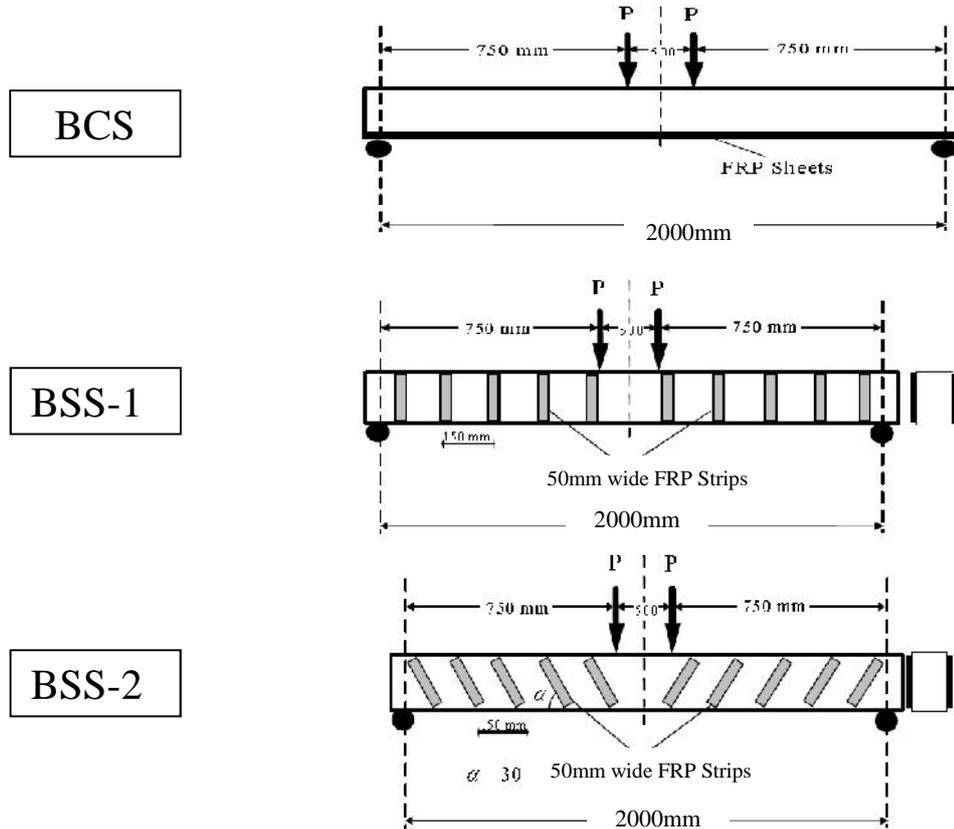
التشققات القطرية، كما لوحظ أن سلوك منحني (-) الانهيار شيوعاً من الانهيار على القص عند جود الأشرطة المائلة، وذلك يعني تجنب الانهيار المفاجئ للجوائز.

لدراسة تأثير اتجاه لصق الألياف الجائز البيتوني لتقويته على القص قام (Nadeem,2009) [12] دراسة ثلاثة جوائز بيتونية مسلحة بسيطة الاستناد تم تصميمها بحيث تكون قوية على الانعطاف

ضعيفة على القص، الجائز الأول ترك دون تقوية ليكون جائز مقارنة تم تقويته على CFRP بزواوية 90° أما الجائز الثالث تم تقويته على القص باستعمال CFRP بزواوية 30° وقد تم لصق هذه الأشرطة على الجوائز باستعمال مادة لاصقة هي الأيبوكسي. يوضح الشكل (9-1) أشكال التقوية المستخدمة.



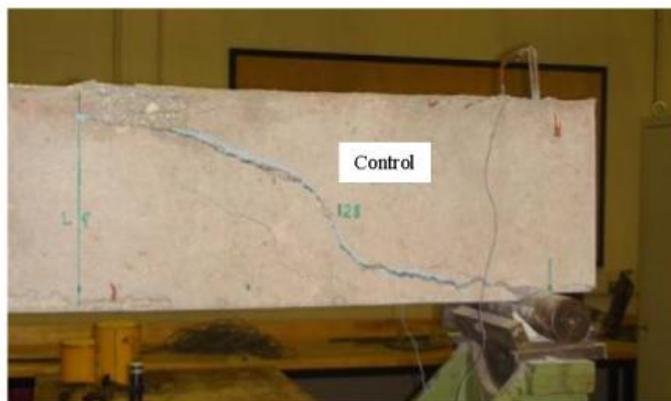
(9-1) مقطع عرضي في الجائز يوضح الأبعاد والتسليح المستخدم [12]



(10-1) مكان تطبيق الحمل وأشكال التقوية المستخدمة [12]

ظهر زيادة ملحوظة في قدرة المقطع على تحمل القص كما أظهرت أيضاً CFRP المائلة ذات فعالية أكبر في زيادة قدرة تحمل المقطع في زيادة قدرته على التشوه مقارنة مع استعمال أشرطة بزواوية 90° يعود ذلك إلى قدرة الأشرطة المائلة على الحد من توسع الشقوق الناتجة عن قوى الشد القطرية بشكل أفضل من الأشرطة العمودية.

الانهيار في جائز المقارنة كان على القص، حيث بدأ التشقق عند المسند وامتد بزواوية 45° تقريباً مع ايد الحمولة المطبقة وذلك حتى حدوث الانهيار كما يوضح (11-1)، أما الانهيار في الجوائز المقواة فيعود بشكل رئيسي إلى حدوث فقدان في التماسك بين أشرطة CFRP حدث بشكل أكبر في حالة الأشرطة العمودية مقارنة مع حالة الأشرطة المائلة. يوضح (4-1) القوى الحديدية ومقدار الزيادة في قدرة تحمل الجوائز المقواة مقارنة مع جائز المقارنة.

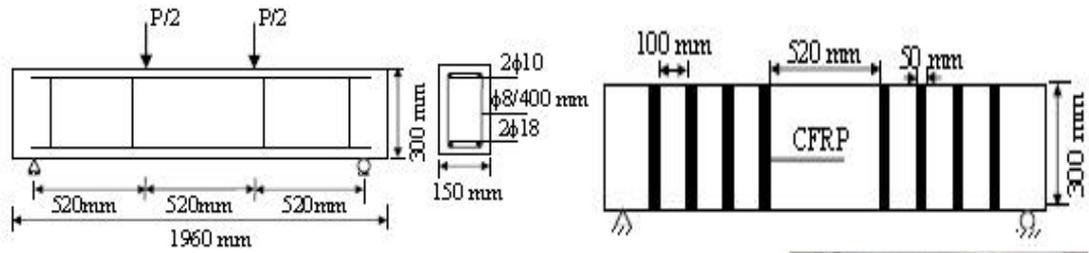


(11-1): [12]

(4-1) مقارنة الحمولة الحديدية للجوائز المقواة مع ج [12]

| Beam Specimens | Ultimate load (kN) | % increase with respect to control | Ultimate displacement (mm) | % decrease with respect to control |
|----------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| BCS | 81.98 | - | 15.98 | - |
| BSS-1 | 95.97 | 17.06 | 7.78 | 51.31 |
| BSS-2 | 111.01 | 35.41 | 9.92 | 37.92 |

(Obaidat.et al, 2010) [13] إجراء اختبار على أربعة جوائز متماثلة ترك اثنان منها دون تقوية على القص للمقارنة في حين تم تقوية الجائزين المتبقين على القص بأشرطة من CFRP 50mm .300mm. يوضح (12-1) شكل التقوية



(12-1) : شكل وأبعاد مقطع الجائز وشكل التقوية

[13]



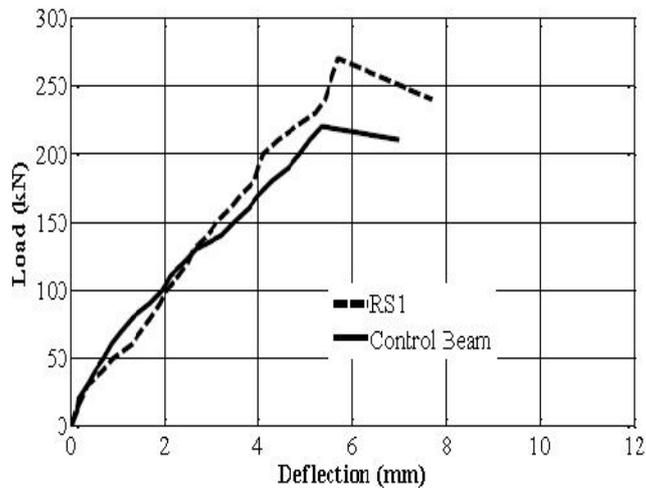
الجائزان اللذان لم تتم تقويتها انهارا على القص بشكل هش، في حين أن الجائزين اللذين تم تقويتها حدث الانهيار فيها نتيجة لحدوث فقدان لتماسك بين الأشرطة و سطح البيتون كما هو موضح (13-1).



[13]

:(13-1)

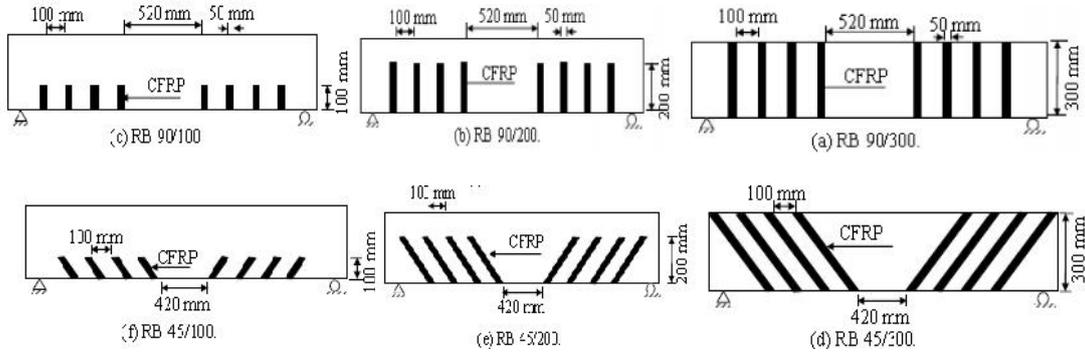
الحمل الحدي للجوائز دون تقوية 220kN في حين أن الحمل الحدي للجوائز المقواة 270kN وبالتالي الزيادة في قدرة الجائز على تحمل القص بلغت 23% . يظهر (14-1) العلاقة بين (السهم والحمل المطبق)



(14-1) : (-) للجائز مع/بدون تقوية

[14](Obaidat.et al, 2010)
لتقوية

تأثير CFRP
باستعمال طريقة العناصر المحدودة لبناء نموذج للجب
يوضحها (15-1).



[14] CFRP : (15-1)

تم نمذجة سلوك البتتون باستعمال (plastic damage model) الذي يفترض

وجود انهيارين أساسيين للبتتون،

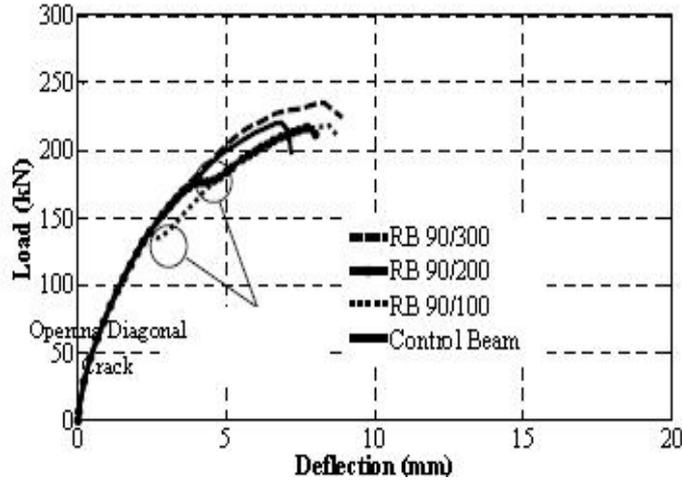
سلوك حديد التسليح باستعمال (Elastic perfectly plastic model) تم فرض أن سلوك مادة الألياف الكربونية CFRP هو

(ABAQUS)

مناظرة تماما لهذا الربع. قامت الباحثة بدراسة تأثير CFRP جميع الجوائز انهارت بسبب فقدان التماسك بين السطح البتتوني و CFRP وذلك بسبب حدوث تركيز للإجهادات

يوضح الشكل (16-1) 200 mm 100 mm لم يظهر أنها قامت بأي تقوية للجوائز وذلك يعود إلى أن التشقق يجتاز هذه الأشرطة قرب نهايتها، كما يلاحظ انهيار الأشرطة

الجوائز هي منطقة حدية في عملية الانهيار وأن نهاية الأشرطة ذات الطول 200 mm تقع في هذه

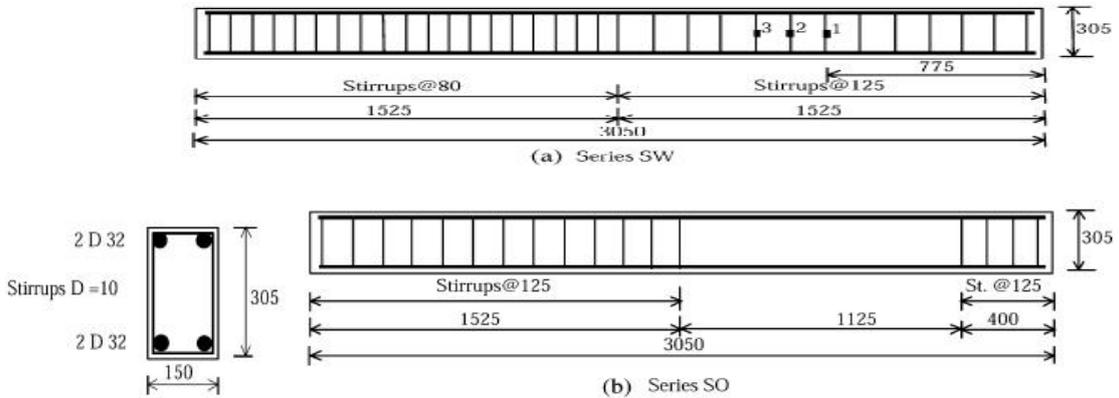


(-) : (16-1)

العناصر المنتهية المقواة بأشرطة CFRP بزوايا 90° [14]

باعتبار أن تشقق القص ينتشر بشكل قطري لذا فإن اتجاه الأشرطة لابد أن يكون له تأثير، حيث قامت دراسة أشرطة بزوايا 45° بزوايا 90° أظهرت الأشرطة ذات الزاوية 45° وذلك لجميع الأطوال مقارنة مع الأشرطة ذات الزاوية 90°. ن الزيادة في قدرة تحمل القص للجوائز البيتونية المقواة با 45/300, 45/200, 45/100 20.1%, 2%, 5% في حين أن التغيير في قدرة التحمل للأشرطة 90/300 هي 11.9% 90/200 هي -1.8% 90/100 هي -1.1% هذا يؤكد تأثير اتجاه الأشرطة .

في دراسة قام بها (Khalifaa and Nanni, 2002) [15] 12 مجموعتين الأولى SW والثانية SO كل منهما مكون من أربع جوائز الاختلاف بينهما هو توزيع تسليح القص كما هو موضح في الشكل (17-1).



(17-1): شكل المقطع العرضي وتفاصيل التسليح للجوائز المختبرة [15]

تم تقسيم العينات مجموعتين ذلك حسب نسبة مجاز القص إلى العمق الفعال الذي اختير ليكون
 $a/d=3, a/d=4$ وهي 4 SW4-1, SO4-1, SW3-1 SO3-1 حيث تركت دون تقوية على القص أشكال التقوية المستعملة موضحة في الشكل (1- 18).



(a) One ply of CFRP U-wrap strips (specimens SO3-2, SO3-3 and SO4-2)



(b) One ply of continuous CFRP U-wrap, 90° (specimens SO3-4, and SO4-3)



(c) Two plies of CFRP, 90°/0° (specimens SW3-2, SW4-2, and SO3-5)

التقوية المستعملة [15]: (18 - 1)

أظهرت النتائج وجود علاقة بين إسهام التدعيم البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية زيادة طاقة التحمل على القص للجائز البيتوني بين النسبة a/d (حيث a هي طول مجاز القص)، كما أظهرت أيضاً أن زيادة كمية شرائح CFRP زيادة كمية الشرائح بنسبة 250% أسهمت بزيادة قدرة تحمل الجائز 10% بينت النتائج أيضاً إسهام CFRP بزيادة طاقة تحمل المقطع للقص تزداد كلما كان المقطع ضعيفاً على القص.

12-1 حساب الجوائز المدعمة بالبوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية وفق الكود الأمريكي ACI 440.2R-02

تقوية الجوائز البيتونية على القص نستعرض هنا ملخص
 ACI 440.2R-02 عن كيفية حساب تقويتها FRP.

الاسمية لـ (V_n) (V_u)

بينهما هي :

$$V_n \geq V_u \quad (1-1)$$

حيث :

V_n : المقاومة الاسمية على القص للجائز البيتوني المقوى بأشرطة FRP.

: V_u

: معامل تخفيض مقاومة القص.

ACI 440.2R-02 يمكن حساب المقاومة النهائية للجائز عند استعمال أشرطة FRP (2-1).

$$V_n = (V_c + V_s + f V_f) \quad (2-1)$$

حيث:

V_c : إسهام الببتون في مقاومة القص.

V_s : إسهام تسليح القص.

V_f : إسهام

f : تخفيض يتعلق بشكل التطويق (كامل أو جزئي).

: معامل تخفيض مقاومة القص.

إسهام (3-1).

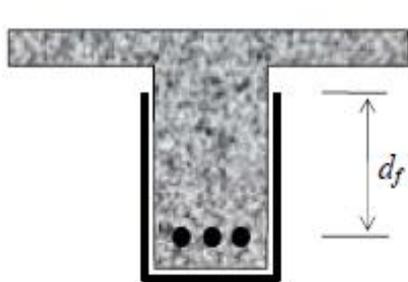
$$V_f = A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f / s_f \quad (3-1)$$

حيث:

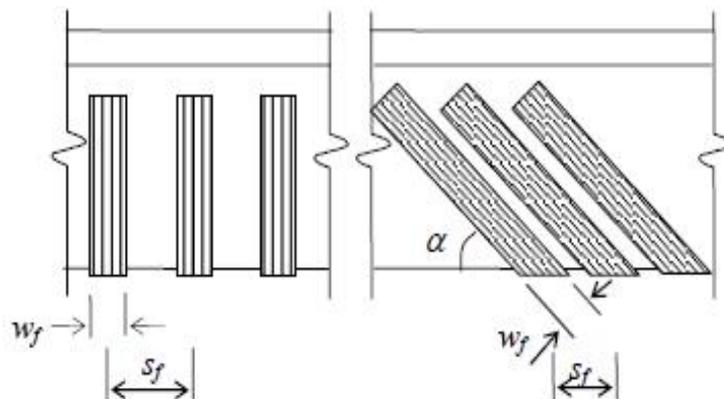
$$A_{fv} = 2n.t_f \cdot w_f \quad f_{fe} = f_e E_f$$

يوضح (19-1) السابقة كما يوضح الشكل (20-1)

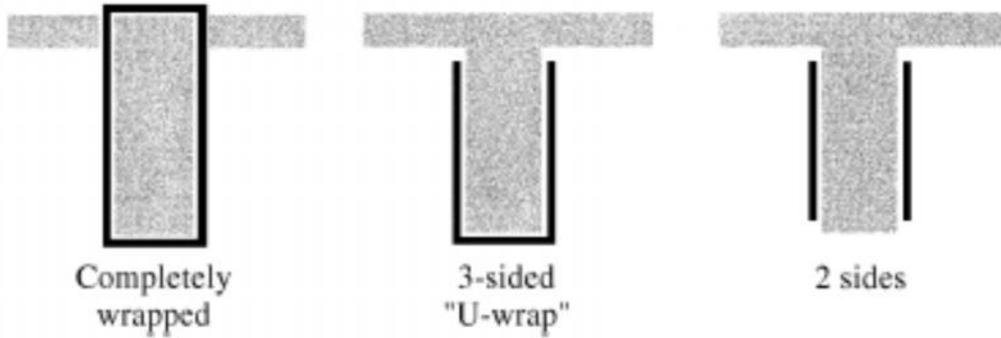
التقوية التي وردت في الكود (ACI 440.2R-02) [16].



(ACI 440.2R-02) FRP



(19-1):



(20-1): أشكال التقوية [16] (ACI 440.2R-02)

تؤخذ قيمة المعامل f (5-1) الذي يعطي قيم هذا المعامل بحسب شكل التقوية
 .(ACI 440.2R-02)

[16] (5-1): قيمة المعامل f

| | |
|-----------------|--|
| $\psi_f = 0.95$ | Completely wrapped members |
| $\psi_f = 0.85$ | Three-sided U-wraps or bonded face piles |

13-1

يتضمن الفصل ل مقدمة عامة عن موضوع البحث، حيث يتم من خلاله التعرف على أهم أسباب في أداء العناصر الإنشائية والتعرّف على مفهوم تقوية المنشآت الخرسانية. بعد ذلك لتعرف على مادة البوليميرات المسلحة بالألياف أنواعها خصائصها الميكانيكية.

ثم ننتقل للتعرف على سلوك الجوائز البيتونية تحت تأثير قوى القص الميكانيكيات المختلفة لانهايار الجوائز البيتونية تحت تأثير القوى القاصّة، كما مفهوم القص ضمن البيتون المتشقّق وفي نهاية الفصل الأول عدداً من الدراسات المرجعية

يبحث الفصل الثاني في أسس نمذجة الجوائز البيتونية المدعمة بشرائح CFRP، ويتضمن تمثيل سلوك مواد الجائز البيتوني من بيتون وحديد تسليح CFRP اختيار العناصر المناسبة ضمن البرنامج لتمثيل هذه المواد مع توضيح خصائص هذه

يتضمن الفصل الثالث نمذجة لجائز بيتوني تجريبي غير مقوى إضافة لنمذجة جائز بيتوني تجريبي CFRP، ولكلا الحالتين تمت مقارنة النتائج التحليلية مع النتائج التجريبية.

ية التي تضمنت تقوية الجائز البيتوني بشرائح CFRP دراسة تأثير تغير قيمة f_c u-wrap تأثير تدريج أطوال الشرائح الجوائز المدعمة إضافة لتأثير المتغيرات السابقة مطاوعة الجائز البيتوني وفي نهاية الفصل تم

أهم النتائج والتوصيات التي خلص إليها البحث.

أسس نمذجة الجوائز البيتونية المدعمة بشرائح CFRP

1-2

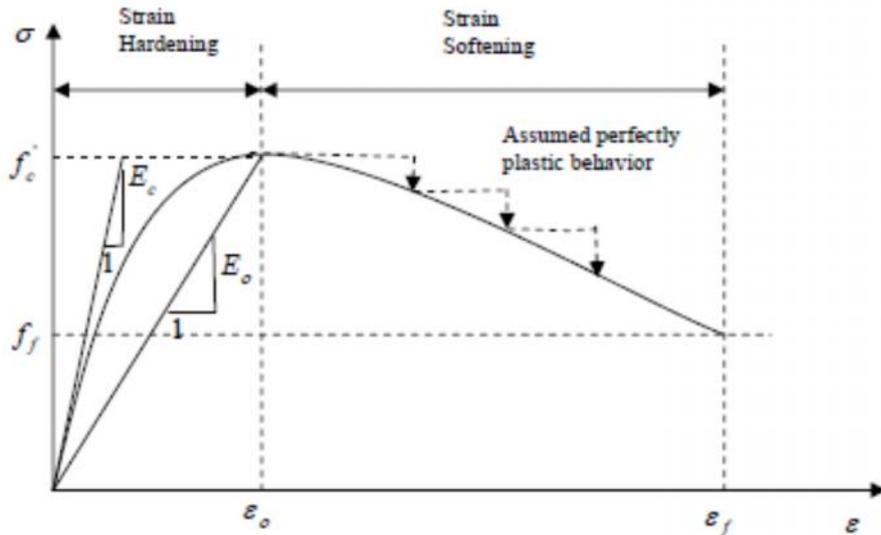
نتعرف في هذا الفصل على كيفية تمثيل الجائز البيتوني، أهم النماذج المستعملة لتمثيل سلوك مادة البيتون في حالتي الضغط والشد وأهم خصائص العنصر solid65 المستعمل لتمثيل هذه المادة ANSYS معيار الانهيار المستخدم لتمثيل سلوك كل من حديد التسليح لتمثيل هذه المواد CFRP

2-2 البيتون

إن دقة النتائج التي نريد التوصل إليها تعتمد بشكل كبير على دقة توصيف سلوك المواد المراد نمذجتها، فكلما اقترب توصيف سلوك المادة من السلوك الحقيقي كانت النتائج عدة نماذج لتمثيل سلوك البيتون ورسم مخطط (الإجهادات –) نستعرض منها ما يلي.

1-2-2 saenz's [17]

يمثل إجهادات (1-2) (الإجهادات –) saenz's وذلك لحالة تطبيق محورية.



(1-2): (الإجهادات –) saenz's [17]

المعادلات المعبرة عن العلاقة بين الإجهادات والـ (1-2) (8-2).

$$=E_c \cdot / (1+R_3 (/ o)-R_2 (/ o)^2+R_1 (/ o)^3) \quad (1-2)$$

حيث:

$$R_1= R_E (R_F-1)/ (R_e-1)^2 - 1/R_e \quad (2-2)$$

$$R_2=2R_1-1 \quad (3-2)$$

$$R_3=R_1+R_E-2 \quad (4-2)$$

$$R_E=E_c/E_o \quad (5-2)$$

$$R_f=f'_c/f_f \quad (6-2)$$

$$R_e= f / o \quad (7-2)$$

$$E_o=f'_c / o \quad (8-2)$$

E_c : ولي للبيتون.

: الإجهاد في البيتون.

: في البيتون.

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون على .

f_f : المقاومة المميزة للبيتون عند التشوه الأعظمي.

: f'_c في البيتون عند الإجهاد الأعظمي

: f في البيتون عند الانهيار .

2-2-2 [18] hognestad

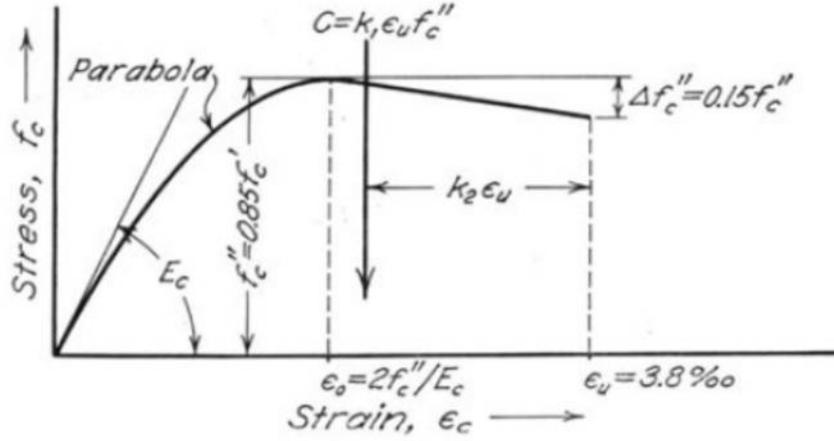
وهي من العلاقات الشهيرة المستعملة في نمذجة سلوك البيتون و تعطى وفق العلاقات التالية:

$$f=f''c \cdot ((\frac{2\varepsilon}{\varepsilon_o}) - (\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o})^2) \quad (9-2)$$

$$f''c=0.9f'_c \quad (10-2)$$

$$o = 1.8f''c/Ec \quad (11-2)$$

يوضح (2-2) (الإجهادات -) hognestad .



(2-2): مخطط (الإجهادات -) hognestad (

(Suleiman,2009) [8] وجود عدد من النماذج المقترحة لتمثيل سلوك البيتون، إلا أن العلاقة الأبسط هي التي اقترحها (Desayi and Krishnan,1964) [19].

3-2-2 [19] Desayi and Krishnan

سلوك مادة البيتون

وهو النموذج المستعمل في العديد من بساطته الإجهادات

:

$$f = E_c \cdot \left(1 + \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_o}\right)^2\right) \quad (12-2)$$

$$\epsilon_o = 2f_c/E_c \quad (13-2)$$

ولدينا [19]:

$$E_c = f/ \quad (14-2)$$

حيث:

f : الإجهاد المقابل لقيمة الانفعال .

: الانفعال المقابل لقيمة الإجهاد f .

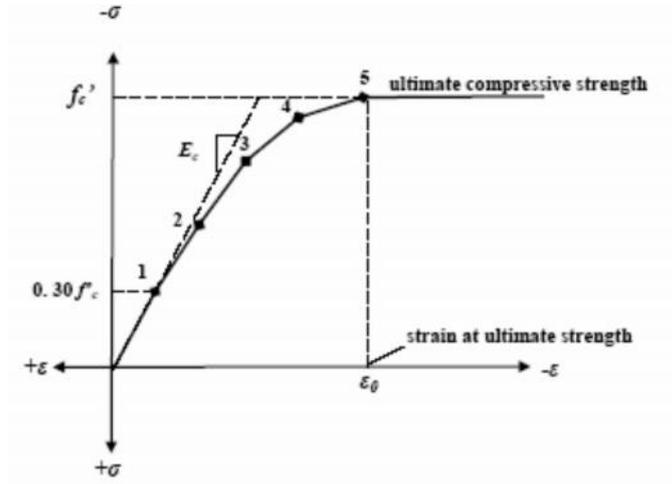
ϵ_o : لقيمة الحديدية لإجهاد f_c .

(12-2) (13-2) (14-2) نمذجة سلوك البيتون في هذا البحث وفيه

يكون سلوك مادة البيتون هو سلوك خطي من بد التحميل قيمة للإجهادات

الإجهادات المطبقة لهذه القيمة يصبح سلوك البيتون غير $0.3 * f_c$

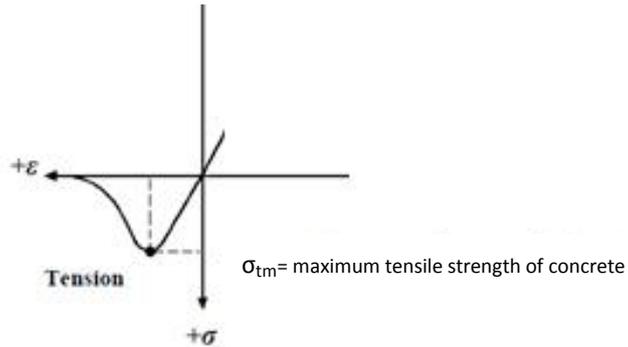
(14-2) تطبق في مرحلة السلوك الخطي للبيتون، في حين أن العلاقتين (12-2) (13-2) مرحلة السلوك اللاخطي للبيتون تم رسم المنحني الممثل للعلاقة بين الإجهادات خلال حساب وتحديد عدد من النقاط يمر منها المنحني (3-2).



(3-2): (الإجهادات -) في هذه الدراسة

2- 4-2 سلوك البيتون على الشد

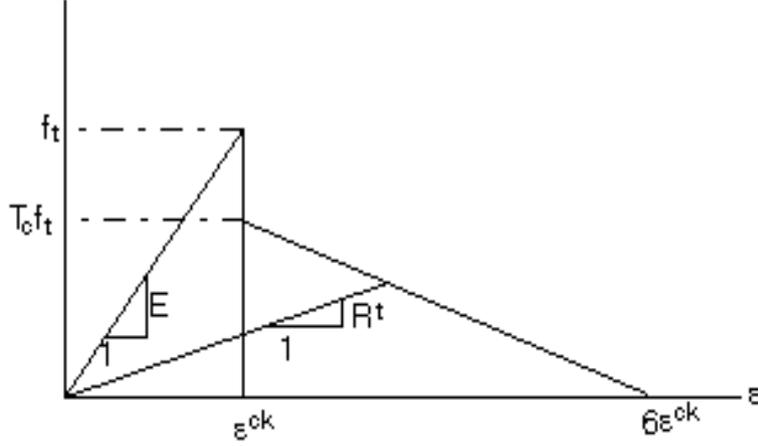
(ft) سلوك البيتون على الشد هو سلوك خطي وبعد الوصول إلى هذه القيمة تبدأ مقاومة البيتون على الشد تتناقص تدريجياً [21] يوضح (4-2) سلوك البيتون على الشد.



(4-2): سلوك البيتون على الشد [21]

العنصر البيتوني يبقى العنصر البيتوني قادراً
تداخل الحصويات (aggregate interlock) (dowel action)
يتم تخفيض معامل مرونة القص G وقيمة معامل التخفيض
تتراوح بين 0-1 [22].

يعطى مخطط (الإجهادات -) للبيتون في حالة الشد بالشكل (5-2) الذي يعتبر سلوك البيتون في حالة الشد سلوكاً خطياً هذه النقطة وحدث التشقق يعدّ البيتون مادة متعامدة الخصائص (orthotropic)[23].



(5-2) : مخطط (الإجهادات -) للبيتون في حالة الشد [23]

حيث:

f_t : مقاومة البيتون على الشد.

T_c : معامل يتعلق بحدوث استرخاء للإجهادات الشادة (القيمة الافتراضية ضمن البرنامج هي 0.6).

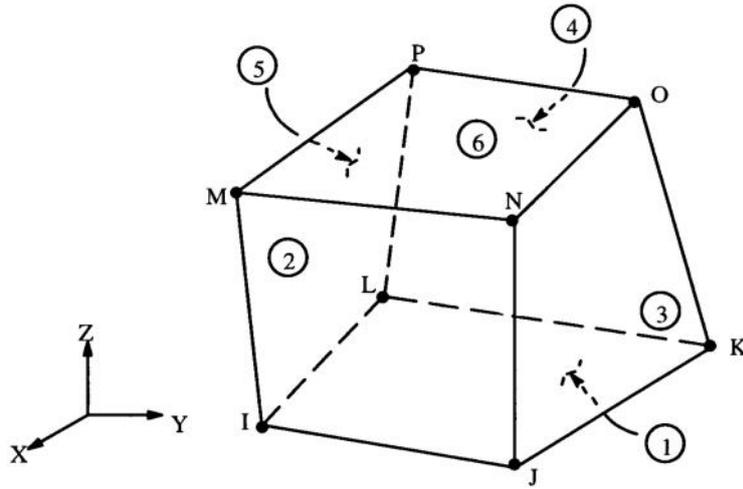
3-2 بناء نموذج عناصر منتهية للبيتون

ANSYS.13 لبناء نموذج عناصر منتهية للجائز البيتوني،

Solid 65

Solid65 1-3-2

Solid65 هو (3-D) مكون من ثمانية عقد، لكل عقدة ثلاث درجات من الحرية وهي الانتقالات باتجاه المحاور الأساسية x, y, z . يوضح (6-2) الشكل الهندسي Solid 65.



[23] Solid 65 : (6-2)

يتميز العنصر Solid65 بقدرته على التشقق لقدرته على هذا العنصر قابل للتشقق (بالاتجاهات الثلاثة المتعامدة)، هي أمور مهمة عند تمثيل مادة البيتون وبالتالي يمكن القول أن Solid65 هو عنصر ملائم لنمذجة البيتون.

2-3-2 فرضيات العنصر solid 65 [23]

- 1- التشقق مسموح في الاتجاهات المتعامدة الثلاثة في كل نقطة تكامل (integration point).
- 2- فإن التشقق يتم نمذجته عن طريق تعديل في خصائص المادة الذي يتعامل مع التشقق على أنه "Smearred band" "Discrete cracks".
- 3- مادة البيتون الاتجاهات.
- 4- إمكانية تسليح العنصر، فإن هذا التسليح يفرض على أنه "Smearred".
- 5- للتشقق والتكسر، فإن البيتون يمكن أن يدخل مرحلة اللدونة.

3-3-2 إدخالها للعنصر البيتوني Solid65

- 1- معامل يونغ لمادة البيتون E.
- 2- المقاومة الحدية أحادية f_c .
- 3- المقاومة الحدية أحادية f_t .
- 4- .
- 5- t .
- 6- (الإجهادات -) للبيتون.

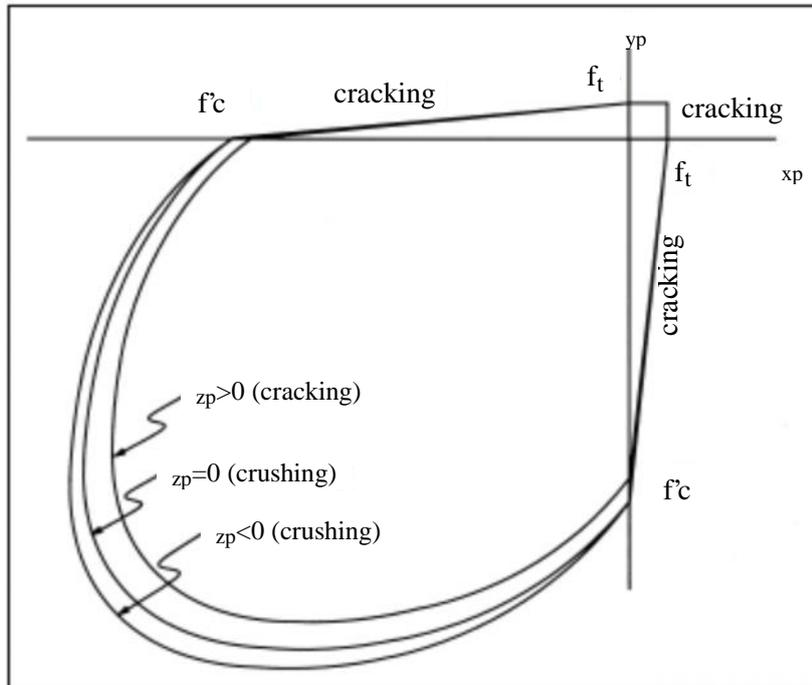
(شد)، سيكون التشقق متوقعا بالاتجاه المتعامد مع z_p فيفترض أن المادة سوف تتعرض للتحطم [23].

يحدث التشقق في العنصر البيتوني عندما يقع الإجهاد الرئيسي في اتجاه خارج سطح الانهيار حدوث التشقق يتم معامل مرونة البيتون في الاتجاه الموازي لإجهاد الشد الرئيسي يحدث عندما تكون جميع الإجهادات الرئيسية هي إجهادات الانهيار وبعد معامل مرونة البيتون في هذه الحالة معدوماً جميع الاتجاهات وتزول فعالية هذا [23].

عند تفعيل خاصية التحطم للبيتون فإن نموذج العناصر المنتهية للجائز البيتوني سيتعرض للفشل يبدأ التحطم في البيتون بالتطور في العناصر الواقعة تحت الحمل مباشرة العناصر القريبة للتحطم أيضا مما يخفض القساوة المحلية وفي النهاية يظهر النموذج انتقالات كبيرة ويحدث انحراف في الحل [8] [21].

انهيار البيتون على الضغط الصافي . تخضع العينات شد بسبب تأثير

البيتون ضعيف نسبياً نتيجة لذلك التشققات ويحدث الانهيار النهائي [26] [27] في هذه الدراسة تعطيل إمكانية والتشقق في البيتون سي عملية انهيار نموذج العناصر المنتهية.



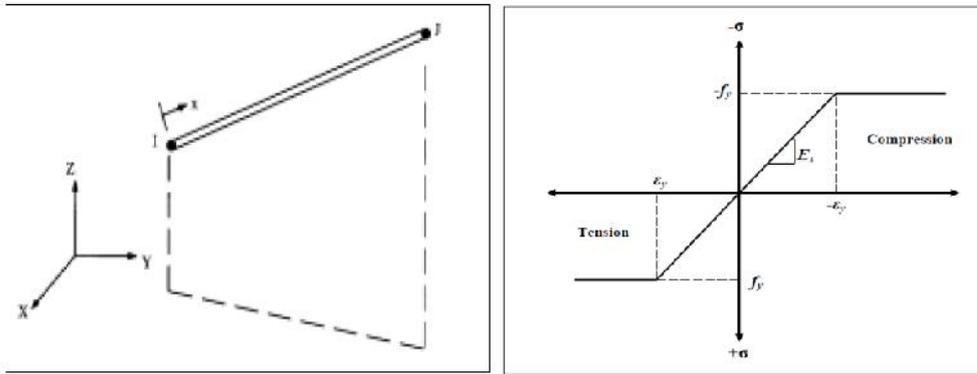
[23] (7-2): سطح انهيار البيتون -

التسليح

4-2

Link180 وهو عنصر مؤلف من نقطتين لكل منها ثلاث درجات من الحرية وهي الانتقالات على المحاور x, y, z وهذا العنصر قابل للتشوه اللدن. يوضح (8-2) Link180.

سلوك حديد التسليح هو سلوك مرن خطي حتى الوصول لقيمة f_y بعدها يكون سلوكه تام هذا السلوك هو نفسه سواء في حالة الشد أو الضغط. يـ (9-2)

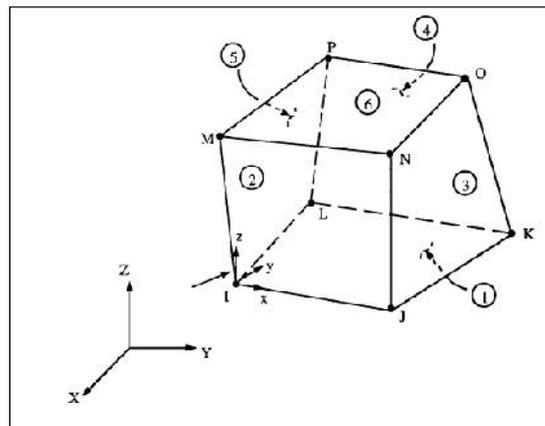


[23] Link180 : (8-2)

(9-2): سلوك مادة التسليح [21]

5-2 مادة صفائح الاستناد و صفائح تطبيق

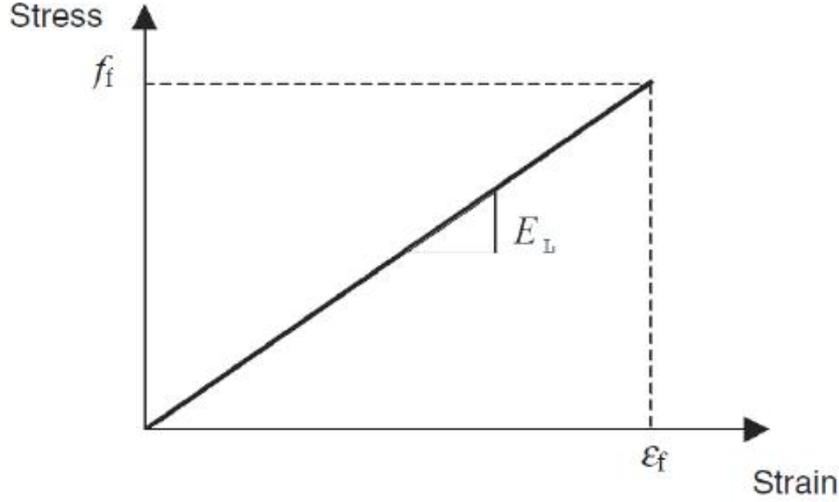
Solid45 (10-2) و هو عنصر مؤلف من ثماني منها ثلاث درجات من الحرية وهي الانتقالات على المحاور x, y, z وسلوك هذه الصفائح المعدنية مطابق التسليح.



[23] Solid45 (10-2)

6-2 البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP)

البوليمرات المسلحة بـ ألياف الكربونية في الفصل
نوعها وتركيبها
البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية هو سلوك مرن خطي حتى الوصول
الانهيار
نها لا تدخل ضمن مرحلة اللدونة كما يوضح الشكل (11-2).



(11-2): (إجهادات –) للألياف الكربونية CFRP [28]

يمكن حساب المعاملات G_{LT}, E_T, E_L الكربونية (CFRP) كلا من الألياف و المسلحة بالألياف (FRP) V_{LT} لشريحة البوليمرات المسلحة بالألياف (isotropic) بينما شريحة البوليمرات (orthotropic) [7].

$$E_L = E_f V_f + E_m V_m \quad (19-2)$$

$$\frac{E_T}{E_m} = \frac{1 + \zeta \eta V_f}{1 - \eta V_f} \quad (20-2)$$

$$v_{LT} = v_f V_f + v_m V_m \quad (21-2)$$

$$\frac{G_{LT}}{G_m} = \frac{1 + \zeta \eta V_f}{1 - \eta V_f} \quad (22-2)$$

حيث:

E_T, E_L : هي معاملات المرونة لشريحة البوليمرات المسلحة بالألياف باتجاه الألياف

: $L_T \quad G_{LT}$

$f \quad E_f$: معامل يونغ ومعامل بواسون للألياف.

معامل يونغ $m \quad G_m \quad E_m$: للقلب البوليميري.

معامل يأخذ بعين الاعتبار تأثير ربط الألياف وشروط التحميل ويؤخذ كما يلي:

$$G_{LT} = 1, \quad E_T = 2$$

معامل يحسب من المعادلة (23-2)

$$\eta = \frac{E_f/E_m - 1}{E_f/E_m + \zeta} \quad (23-2)$$

V_f حجم الألياف في الشريحة V_m حجم اللاصق في الشريحة ويحسب من العلاقة (24-2)

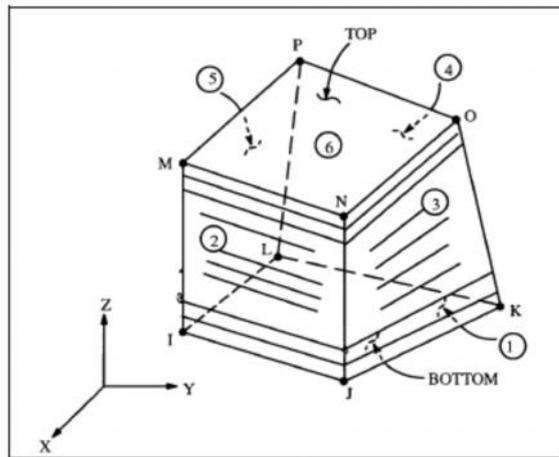
$$V_m = 1 - V_f \quad (24-2)$$

(composite material) البوليمرات المسلحة بالألياف ضمن

ANSYS فإن البرنامج يحوي عدداً من العناصر المناسبة لتمثيل CFRP تتنوع بين

عناصر ذات طبيعة Solid أخرى ذات طبيعة layer. نمذجة الألياف

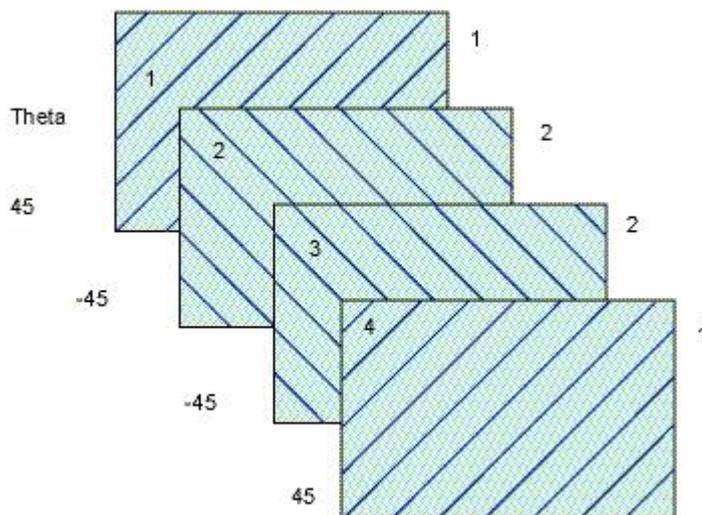
Solid185 يوضح (12-2) الشكل الهندسي لـ Solid185.



[23] Solid185 (12-2)

Solid185 هو عنصر يمكن استخدامه لتمثيل المادة على أنها Solid أنها layer
وهو عنصر ثلاثي الأبعاد له ثماني عقد لكل منها ثلاث درجات من الحرية وهي
المحاور الرئيسية x,y,z .

يسمح هذا العنصر بنمذجة عدد من الطبقات بمواصفات مختلفة لكل طبقة وباتجاهات مختلفة لتوضع
الألياف في هذه الطبقات. يوضح (13-2) كيف يمكن يتم نمذجة الألياف باتجاهات مختلفة



[23]

الألياف

(13-2)

تحليل سلوك جوائز بيتوني قبل التدعيم بشرائح CFRP

1-3

يتضمن هذا الفصل دراسة سلوك جوائز بيتوني قبل تدعيمه بشرائح CFRP بداية
جائز بيتوني غير مدعم دراسة تجريبية سابقة ته تدعيمه
CFRP مقارنة النتائج للحالتين السابقتين. أيضا رامتري تتضمن تقوية الجائز
البيتوني التجريبي بشرائح CFRP u-wrap CFRP زيادة سماكة
CFRP ودراسة تأثير تغير المقاومة المميزة للبيتون f'_c وائز البيتونية قبل
التدعيم . ANSYS 13.

2-3 تسمية النماذج والعناصر التمثيلية

اعتماد مجموعة من الرموز لتسمية الجوائز التي تم التعامل معها ضمن هذا الفصل كما يبين
حيث ترمز الأحرف إلى ما يلي: (1-3)

(Analytical) :A تحليلي.

(Experimental) :E تجريبي.

(Model) :M .

(Strengthened) :S . CFR

البيتون على قيمة $f_{20}, f_{30}, f_{40}, f_{50}$.

أنواع العناصر التي استخدمت في تمثيل مواد الجوائز البيتوني ضمن الفصل الثاني وي
(2-3) أسماء هذه العناصر.

(1-3): تسمية النماذج

| | |
|--------|--|
| | |
| EM | Experimental model without strengthening |
| SEM | Experimental model with CFRP strengthening on both faces |
| AM | Analytical model without strengthening(simulation for EM) |
| ASM1 | Analytical model with CFRP strengthening on both faces(simulation for SEM) |
| ASM2 | Analytical model with u-wrap CFRP strengthening |
| ASM3 | Analytical model with graded u-wrap CFRP strengthening |
| ASM4 | Analytical model with 2 layers u-wrap CFRP strengthening |
| AMf20 | Analytical model without strengthening , $f'_c=20\text{MPa}$ |
| AMf30 | Analytical model without strengthening , $f'_c=30\text{MPa}$ |
| AMf40 | Analytical model without strengthening , $f'_c=40\text{MPa}$ |
| AMf50 | Analytical model without strengthening, $f'_c=50\text{MPa}$ |
| ASMf20 | Analytical model with u-wrap CFRP strengthening , $f'_c=20\text{MPa}$ |
| ASMf30 | Analytical model with u-wrap CFRP strengthening , $f'_c=30\text{MPa}$ |
| ASMf40 | Analytical model with u-wrap CFRP strengthening , $f'_c=40\text{MPa}$ |
| ASMf50 | Analytical model with u-wrap CFRP strengthening , $f'_c=50\text{MPa}$ |

الجائز البيتوني

(2-3):

| المادة المراد نمذجتها | |
|--|----------|
| البيتون | Solid65 |
| حديد التسليح | Link180 |
| صفائح تطبيق الحمولات | Solid45 |
| البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP) | Solid185 |

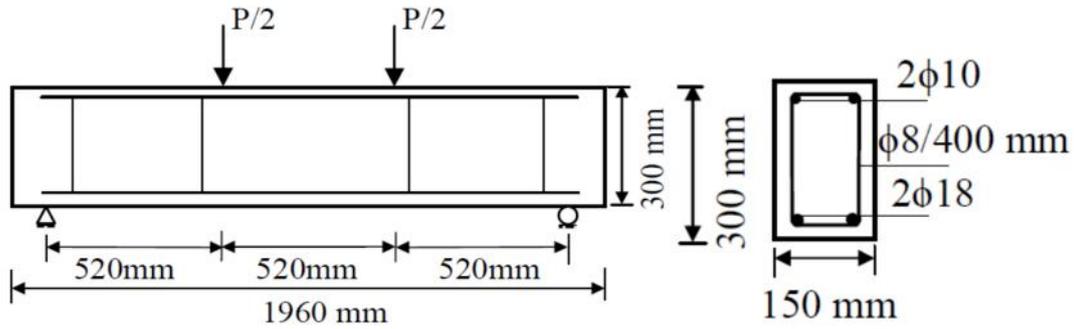
3-3 لتجريبي الذي تمت نمذجته

الجائز التجريبي EM ه هو الجائز التجريبية [13] هو عبارة عن جائز بيتوني مسلح عرض المقطع 150 mm وارتفاعه 300 mm 1960 mm تصميم هذا الجائز بحيث يكون ضعيفاً

تم وضع قضبيي تسليح طوليين ين قضبيي تسليح 18mm 8 mm 10 mm 400 mm

معامل مرونة البيتون $E_c=26\text{GPa}$ معامل مرونة حديد التسليح $E_s=209\text{GPa}$ وإجهاد الخضوع لحديد التسليح $f_y=507\text{MPa}$ $f'_c=30\text{MPa}$ معامل مرونة حديد

يوضح الشكل (1-3) تفاصيل المقطع العرضي والطولي للجائز التجريبي حيث يوضح الشكل وطول الجائز والتسليح المستعمل.



(1-3): تفاصيل المقطع العرضي والطولي للجائز EM [13]

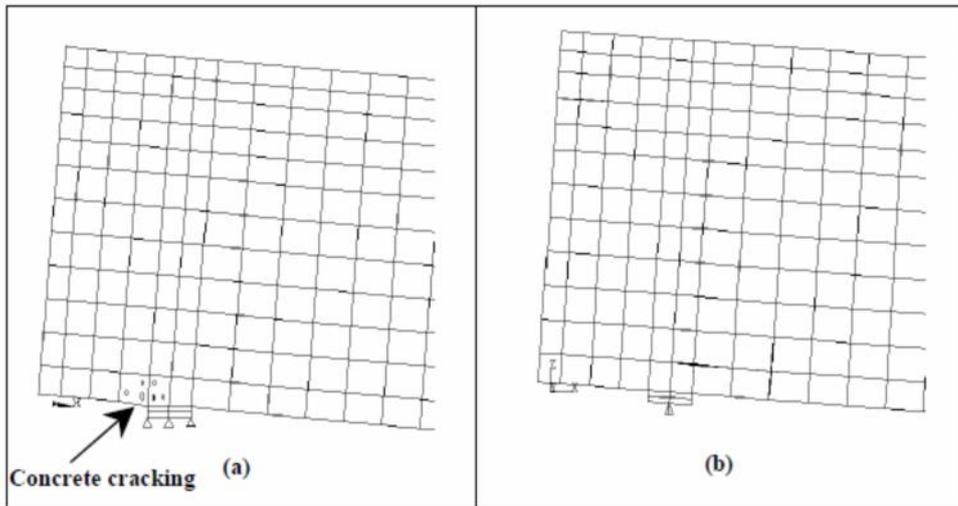
تم تطبيق الحمولة على الجائز من خلال نقطتين كما يوضح الشكل (1-3) بحيث يتم نقل الحمولة من جهاز تطبيق الحمولة الجائز البيتوني عن طريق صفائح لنقل

4-3

ذكرنا سابقا العناصر التي تم استخدامها لتمثيل البيتون وحديد التسليح في الجائز والتسليح المستخدم. التقسيم (mesh) عناصر منتهية يجب مراعاة ما يلي:

- نعومة التقسيم (mesh) يجب حصوية مستخدمة [8].
- يفضل يكون شكل العنصر الصغير الواحد عملية التقسيم (mesh) مستطيلاً مستطيلاً [29].

عندما يبد بالتشوه نتيجة تطبيق الخارجية عليه يجب السماح بدوران صفائح الاستناد لا ستظهر تشققات بشكل مفرط في العناصر البيتونية الواقعة فوق صفيحة الاستناد [29] كما يوضح (2-3) حيث تبين الحالة (a) تقييد نقط الخط الأوسط من صفيحة الاستناد في حين تم تقييد كامل نقاط صفيحة الاستناد في الحالة (b).
Solid45 والسبب في نمذجة هذه الصفائح هو تجنب حدوث تركيز في الإجهادات و صفائح تطبيق تطبيق القيود [8].



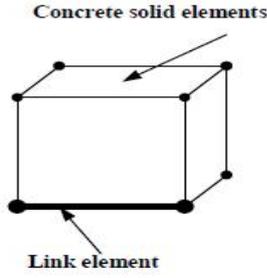
[8]

(2-3) تأثير شكل تقييد

(perfect bond) بين مادة البيتون وحديد التسليح

(3-3).

التسليح على نقاط العناصر البيتونية كما هو م



(3-3): ارتباط حديد التسليح مع البيتون

نمذجة حديد التسليح باستعمال العناصر المحدودة (FEM) يوجد

[30] هي:

1- Discrete Model

2- Embedded Model

3- Smeared Model

الطريقة (Discrete Model):

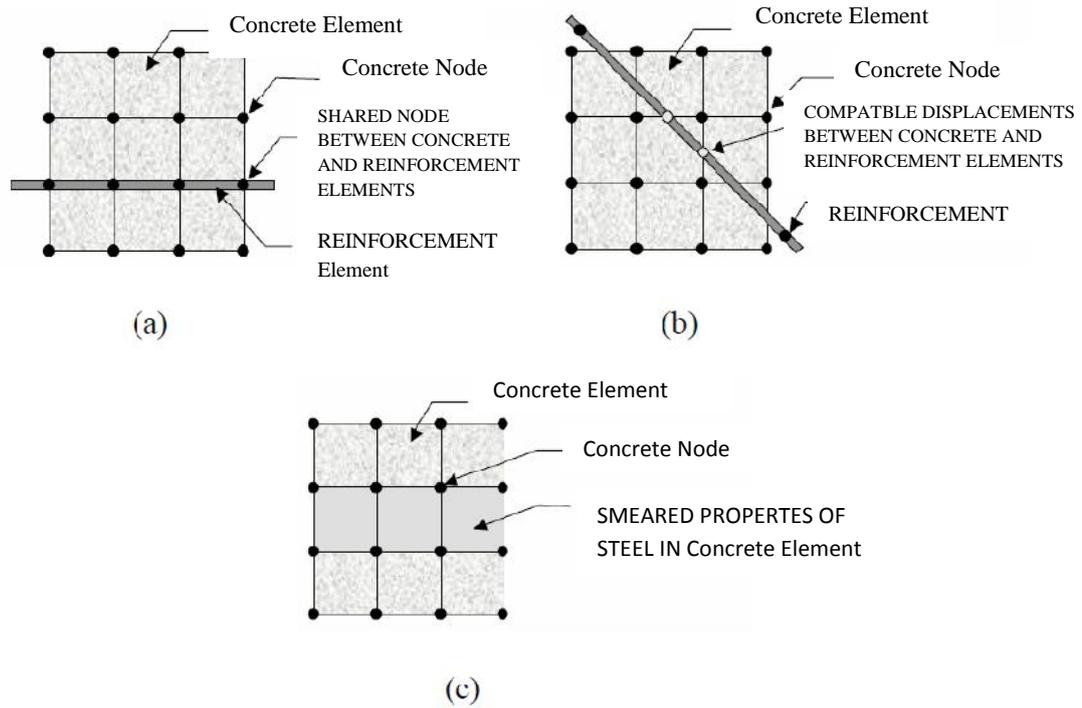
يتم نمذجة حديد التسليح باستعمال عنصر قضيب (bar element) (beam element) تكون عقد هذه العناصر متصلة بعقد البيتون ذلك بعد عمل تقسيم (mesh) له كما هو (a-4-3) وبالتالي سيشارك حديد التسليح مع البيتون بالعقد ويشغل نفس المنطقة. المشكلة في هذه الطريقة هي تقسيم البيتون وحديد التسليح سيكون مقيداً لوجود انطباق عقد البيتون مع عقد التسليح.

الطريقة الثانية (Embedded Model):

لن يكون هنالك مشكلة التقييد في تقسيم البيتون وحديد التسليح يتم حساب صلابة التسليح باعتباره عن عنصر البيتون نه يتم الحفاظ على التوافق بين انتقالات التسليح العناصر البيتونية المجاورة كما هو موضح بالشكل (b-4-3). هذه الطريقة مناسبة جداً عندما يكون هنالك تعقيد في شكل حديد التسليح ولكن من جهة إنها تزيد من عدد العقد في النموذج وبالتالي تزيد من درجات الحرية الذي يتطلب زيادة في وقت التحليل ته.

الطريقة الثالثة (Smeared Model):

تفترض توزيع حديد التسليح بشكل منتظم ضمن طبقة من العناصر البيتونية، تستعمل هذه الطريقة في النماذج الكبيرة التي لا يكون لحديد التسليح إسهام يوضح بالشكل (c-4-3) هذه الطريقة.



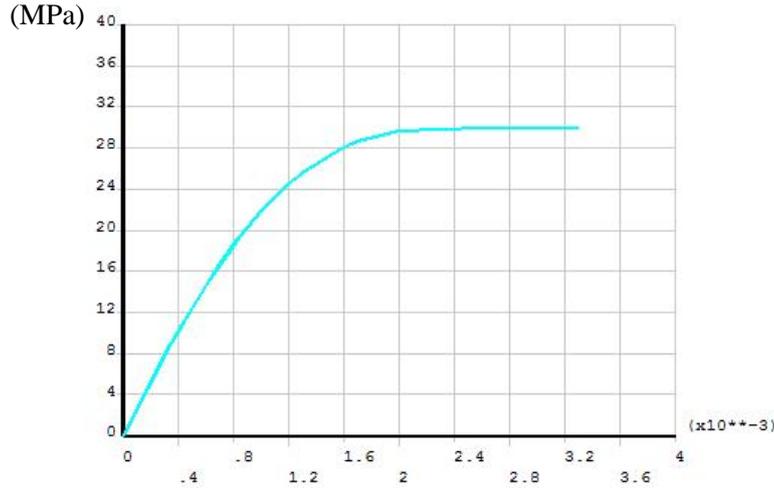
[30] (4-3): نمذجة حديد التسليح ضمن البيد

نمذجة حديد التسليح بطريقة (Discrete Model) هي الطريقة [29] وهي التي دها في هذا البحث. خصائص مادة البيتون التي تم إدخالها إلى البرنامج موضحة ضمن الجدول (3-3).

(3-3): خصائص مادة البيتون

| | E MPa | f' _c MPa | F _t MPa | | | |
|--------|----------|------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
| القيمة | 26000 | 30 | 2.9 | 0.2 | 0.3 | 0.7 |

(5-3) (الإجهادات –) للبيتون (13-2) (14-2) (15-2)



(5-3): منحنى (الإجهادات –) للبيتون

(4-3) يبين خصائص حديد التسليح التي تم إدخالها .

(4-3): خصائص حديد التسليح

| | E_s GPa | f_y MPa | |
|--------|--------------|--------------|-----|
| القيمة | 209 | 507 | 0.3 |

5-3 الدراسة التحليلية للجائز غير المدعم

(Mesh Convergence)

1-5-3

اختيار التقسيم (mesh density) هي عملية جوهرية أساسية، الحصول عليها تتحقق عندما تصبح زيادة تعميم التقسيم ذات تأثير مهمل .

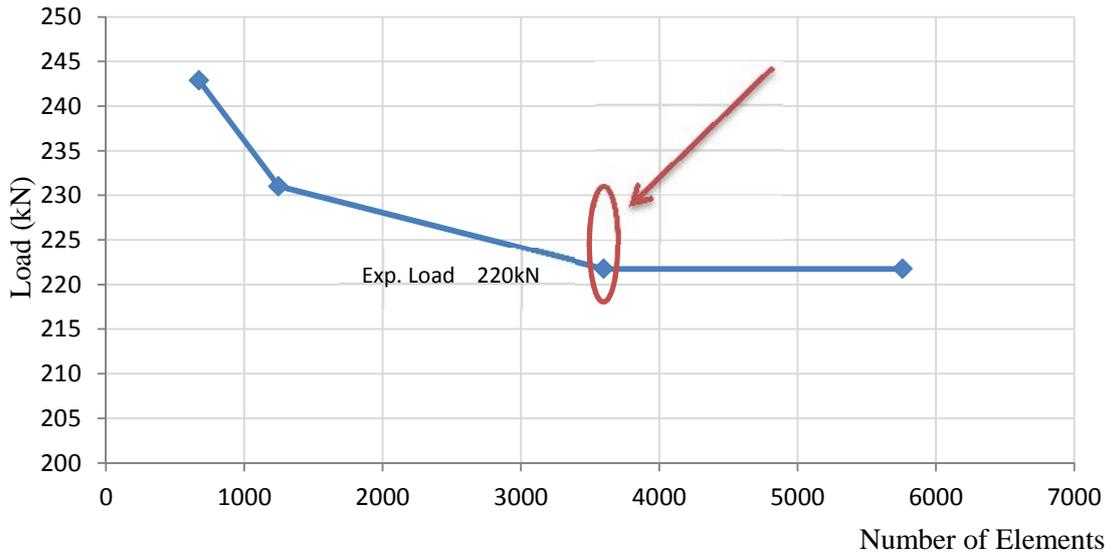
تمام عملية الدراسة عليه

تم دراسة تقارب الشبكة بهدف تحديد النموذج هو الذي يعطي الدقة المطلوبة بـ

حمولة الانهيار لهذه النماذج مع حمولة الانهيار

(1248 672 3600 5760)

التجريبية (220kN) كما يوضح الشكل (6-3).



:(6-3)

:(5-3)

| | كN | الفرق كنسبة مئوية % |
|------|-------|---------------------|
| 672 | 242.9 | 10.4 |
| 1248 | 231.0 | 5.0 |
| 3600 | 222.4 | 1.0 |
| 5760 | 221.8 | 0.8 |

672

(5-3) يتبين

5760

دقة بعيدة عن المطلوب بالتالي هو غير

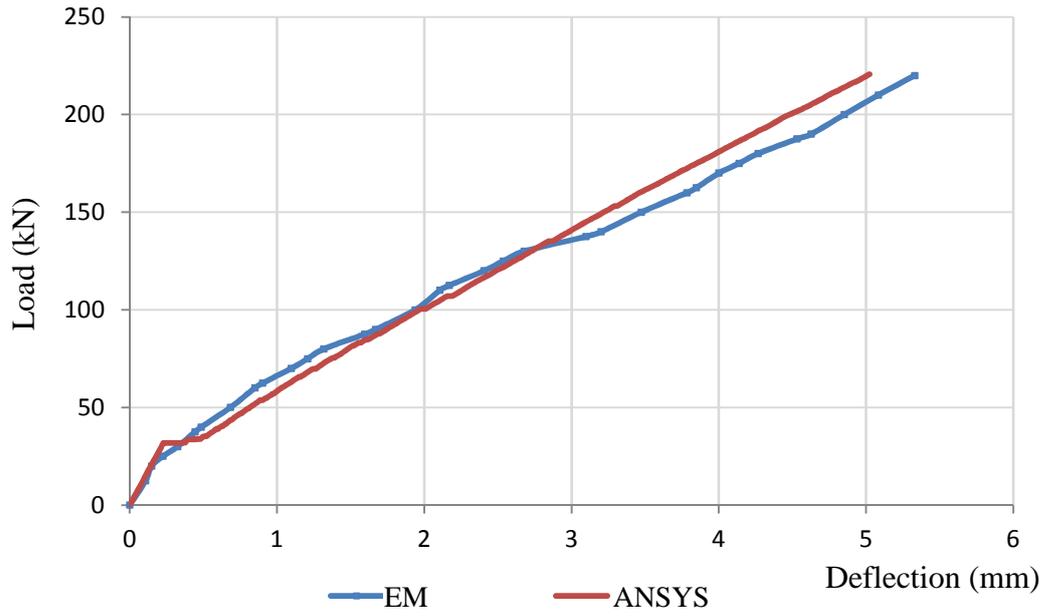
3600 من حيث النتيجة مع أن عدد عناصره كبير بالتالي هو

غير اقتصادي من ناحية وقت التحليل اللازم

هو النموذج الذي لا تقل عدد عناصره 3600.

يبين الشكل (7-3) مقارنة بين الجائز الذي تم اعتماده بين الجائز التجريبي من ناحية) -

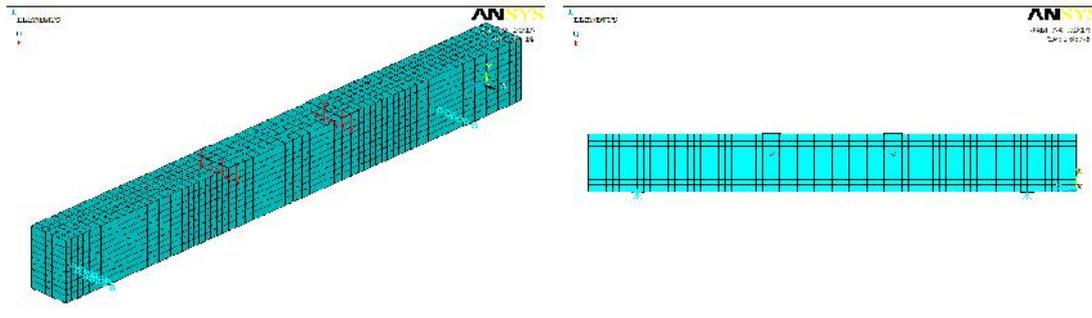
(



(انتقال) للجائزين EM والنموذج التحليلي (7-3):

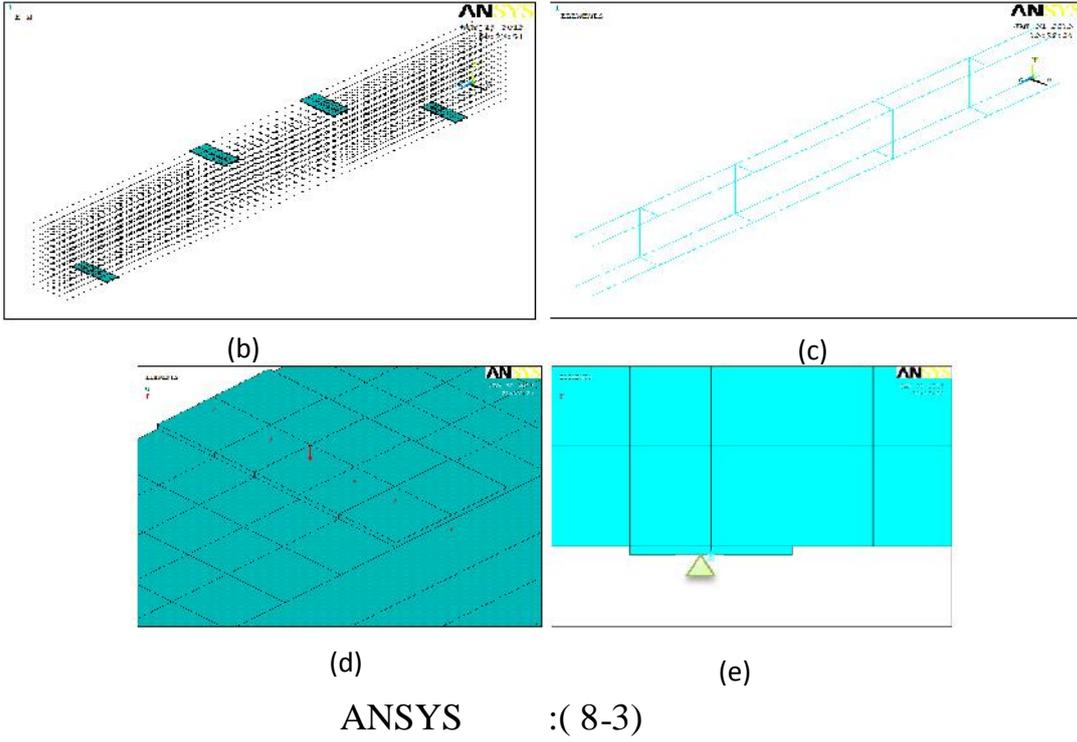
5-3- 2 الشروط المحيطة والاستفادة من خواص التناظر في الجائز

(a-8-3) (d-8-3) على الترتيب توضح ما يلي: شكل الجائز الذي تمت نمذجته
 أماكن صفائح تطبيق الحمولات وصفائح الاستناد، تقييد المساند شكل التسليح ضمن الجائز
 تطبيق الحمولات.



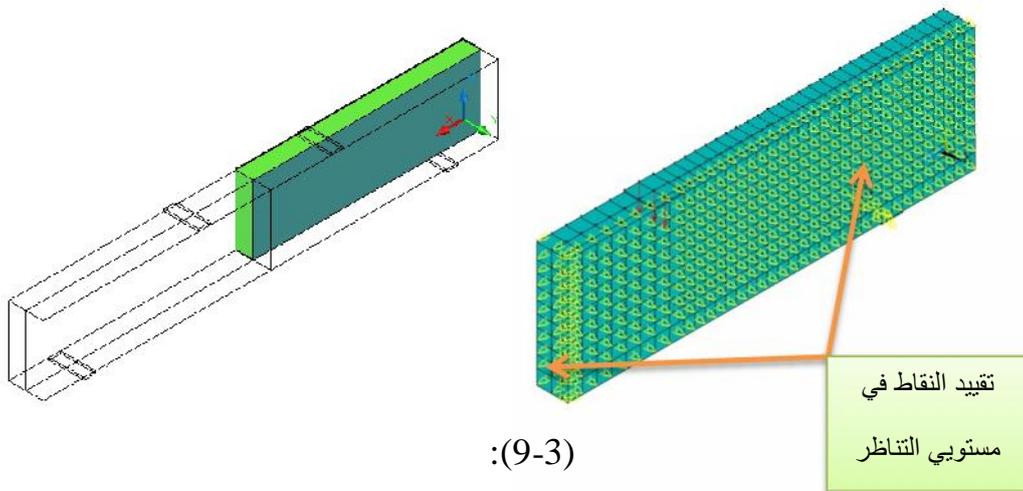
(a)

ANSYS (8-3):



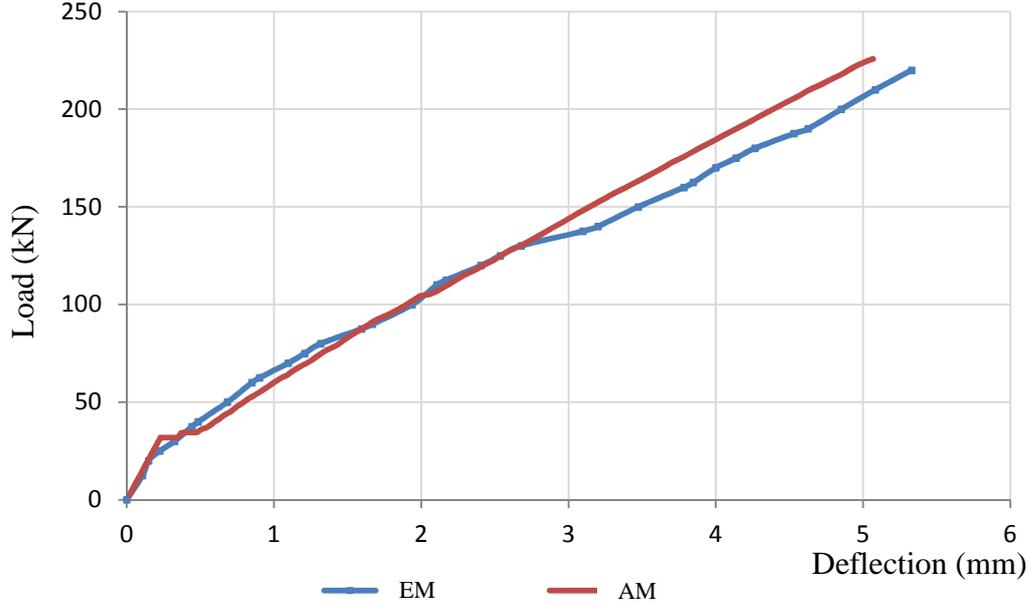
تم تقييد النقط ضمن الخط لصفحة الاستناد كما تم توزيع الحمل الكلي لصفحة تطبيق الأحمال (e-8-3) (d-8-3).

وجود بالجائز (تناظر بالشكل الهندسي والحمولات المطبقة والتسليح) يمثل ربع الجائز (المحيطية المناسبة من حيث وضع قيود التناظر حيث تم تقييد كافة النقاط الموجودة في مستوى الموازي والمتعامد مع الجائز كما هو موضح بـ (9-3)).



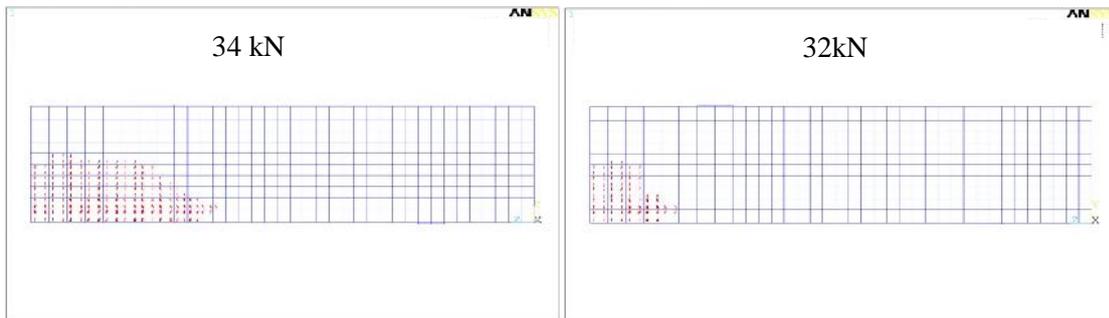
3-5-3 مقارنة النتائج بين الجائز التجريبي EM نموذج العناصر المنتهية AM

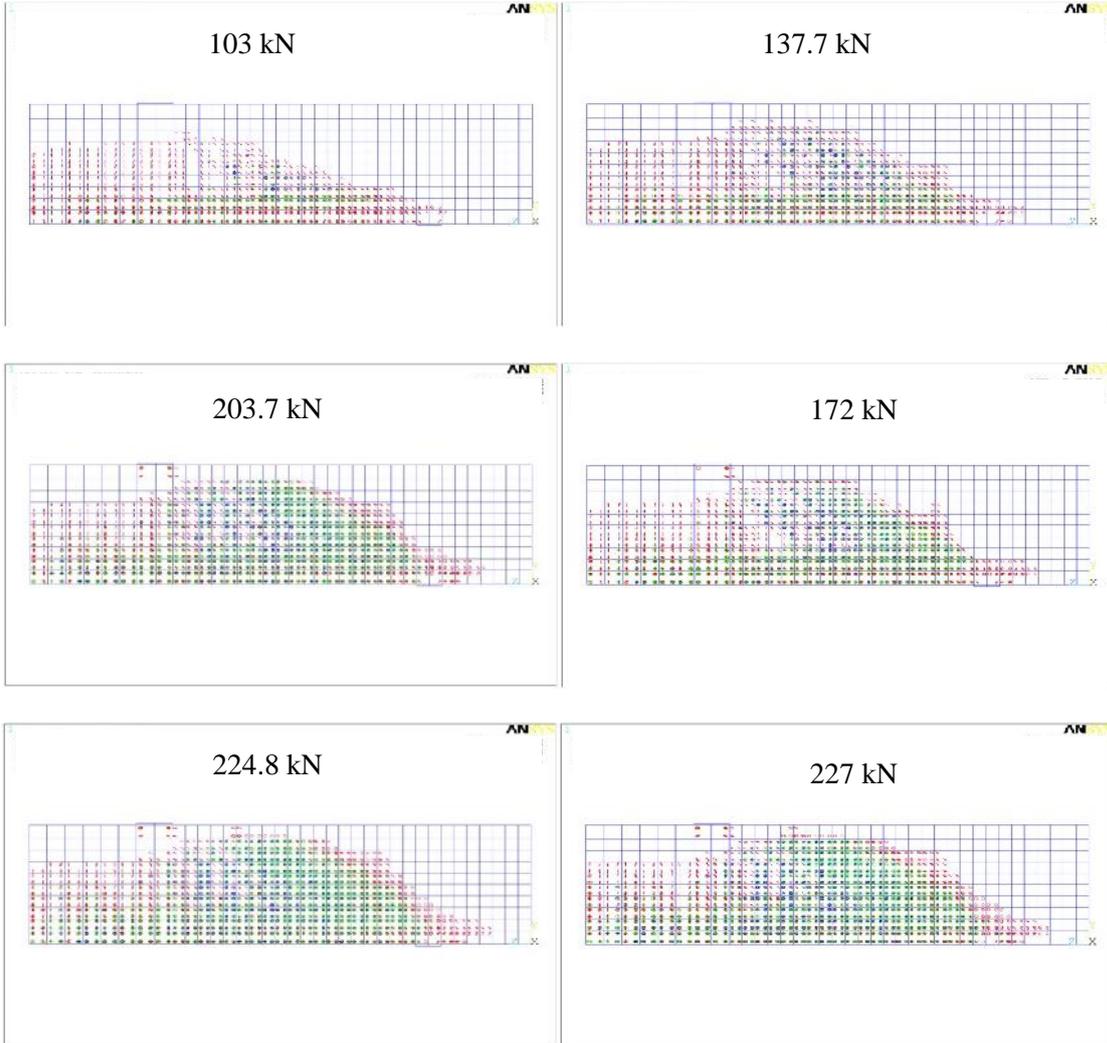
بمقارنة الانتقالات في وسط الجائز بين الجائز التجريبي EM وبين الجائز AM (10-3) نجد أن هنالك تقارباً من ناحية حمولة الانهيار والانتقالات في وسط الجائز حيث كانت حمولة انهيار الجائز EM (220 kN) في حين كانت حمولة انهيار الجائز AM (227 kN) الدراسة باستعمال النموذج الذي يمثل ربع الجائز (AM) لتقليل زمن التحليل اللازم نتيجة عدد العناصر التي يتعامل معها البرنامج.



(10-3): (انتقال) للجائزين AM EM

ي (11-3) ها AM مع تزايد الحمولة المطبقة لحمولة الانهيار.





AM عند مراحل تحميل مختلفة

(11-3):

توضيح لرموز التشققات التي يظهرها برنامج ANSYS:



رمز لتشققين (الأول لشق مائل بسبب الشد والثاني لشق بسبب الضغط).

منحنيات الشكل (10-3) للعلاقة بين الحمولة المطبقة وبين الانتقالات،

الناتج عن الجائز التجريبي يكون في بداية التحميل مقارباً
المنتھية بينما يصبح فيما بعد أقل قساوة، يمكن تفسير ذلك كما يلي:

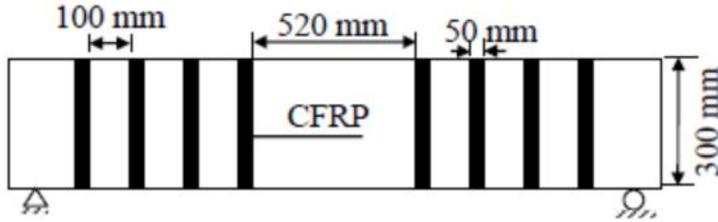
في نموذج العناصر المنتھية يتم فرض ارتباط تام بين البيتون وحديد التسليح (perfect bond)، بينما
في الجائز التجريبي الارتباط بين حديد التسليح والبيتون ليس ارتباطاً هذا يعني احتمال
انزياح انزلاق للحديد عن البيتون المجاور له الذي يقلل من قساوة الجائز التجريبي، بينما
يحتفظ جائز العناصر المنتھية بارتباط تام حتى نهاية التحليل.

6-3 الدراسة التحليلية للجائز المدعم

(CFRP)

1-6-3

تم بداية عمل نمذجة لجائز تجريبي مقو بالألياف (SEM) [14]
تفصيلات التسليح (1-3). شكل التقوية المستعملة فموضحة
(12-3). تم استعمال شرائح من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية بعرض 50 mm
وطول يغطي كامل ارتفاع المقطع، التباعد بين الشرائح 100 mm الخصائص الميكانيكية للبوليمرات
بالألياف الكربونية مبينة (6-3) حيث مادة البوليمرات المسلحة بالألياف
الكربونية (Orthotropic).



(12-3): لجائز التجريبي المقوى بالألياف SEM [14]

(6-3): الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف

| | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $E_{11}=165 \text{ GPa}$ | $E_{22}=9.65 \text{ GPa}$ | $E_{33}=9.65 \text{ GPa}$ |
| $G_{12}=5.3 \text{ GPa}$ | $G_{13}=5.3 \text{ GPa}$ | $G_{23}=3.4 \text{ GPa}$ |
| $\nu_{12}=0.3$ | $\nu_{13}=0.3$ | $\nu_{23}=0.45$ |

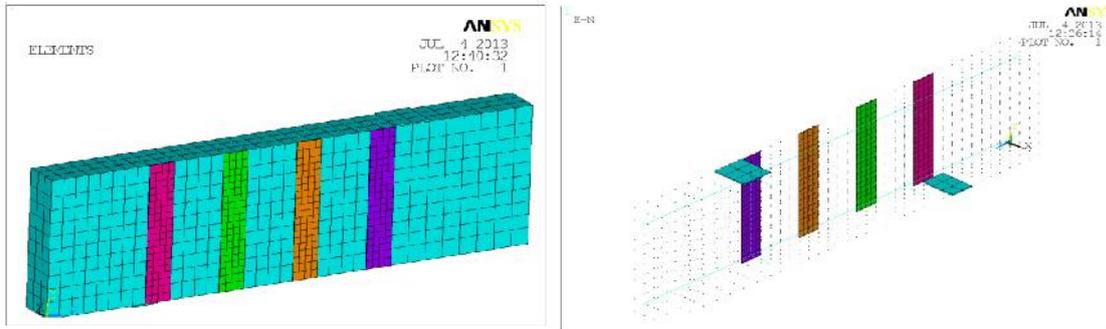
حيث:

E_{11} : الألياف.

E_{22} E_{33} : الألياف.

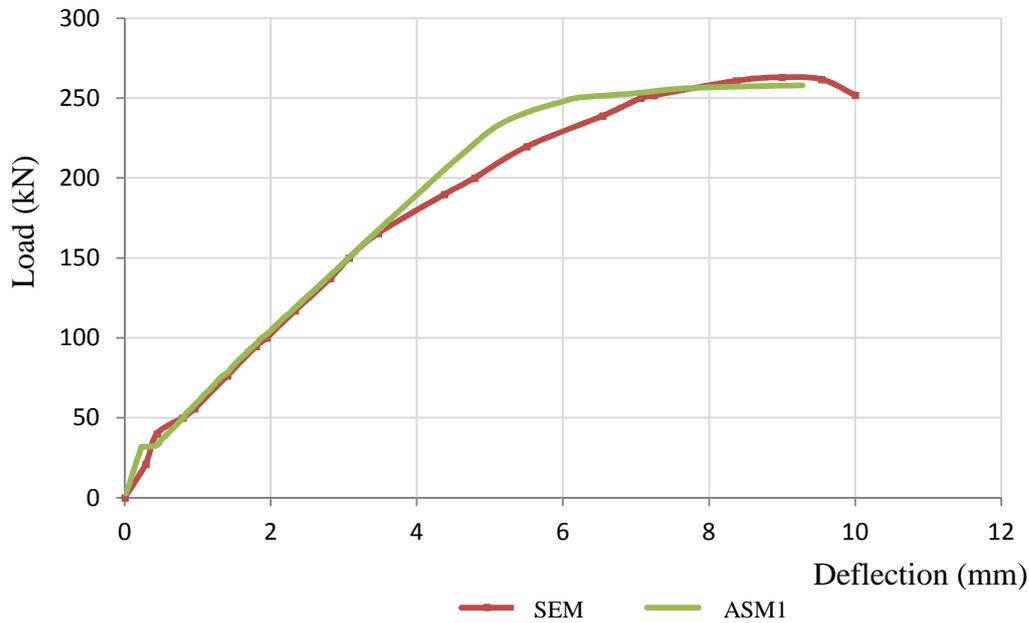
G_{12} G_{13} G_{23} :

يوضح الشكل (13-3) كيفية وضع شرائح البوليمرات المسلحة بالألياف على نموذج العناصر المنتهية .ASM1



ASM1 : (13-3)

بمقارنة النتائج بين كل من الجائز التجريبي SEM ونموذج العناصر المنتهية ASM1
 هيار للجائز التجريبي 270kN في حين هيار لنموذج العناصر المنتهية ASM1
 4.8% 257 kN

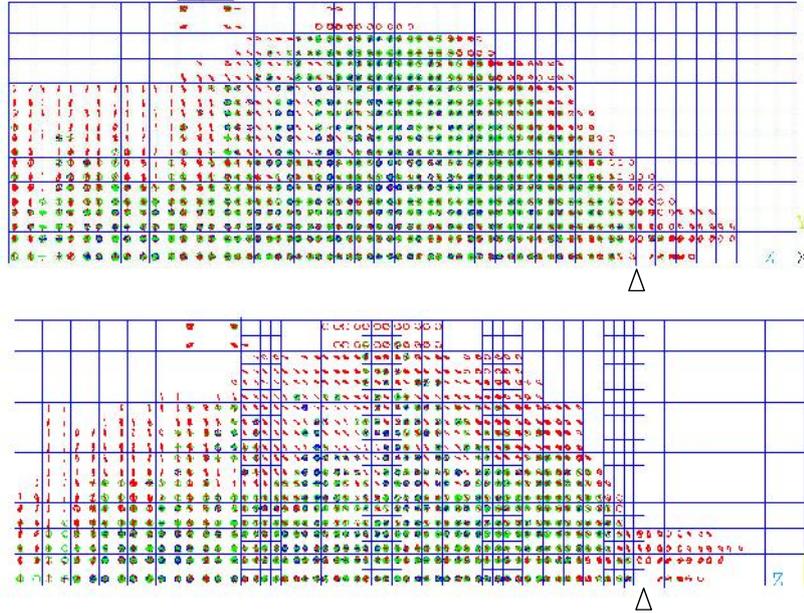


SEM مع الجائز التجريبي المقوى ASM1 (-) : (14-3)

يوضح الشكل (14-3) مقارنة بين النتائج التجريبية SEM بين نتائج نموذج العناصر المنتهية ASM1 ذلك من ناحية الانتقالات في وسط ، حيث نلاحظ أن ASM1 يبدأ ميلاً من بدء ظهور التشققات حتى الوصول 227kN بعدها نلاحظ حصول تغير كبير في ميل المنحني، ميل المنحني يمثل قساوة الجائز (14-3)

انخفاض كبير في . يمكن تفسير سبب حدوث ذلك بسيلان حديد التسليح عند
 227kN حديد التسليح يؤدي إجهادات
 الشد الناشئة في البيتون وصوله حد السيلان تنتشر وتزداد تشققات الانعطاف الناتجة عن
 الإجهادات الشادة بشكل سريع وبالتالي يحدث انخفاض كبير في قساوة الجائز يقابلها
 كبيرة.

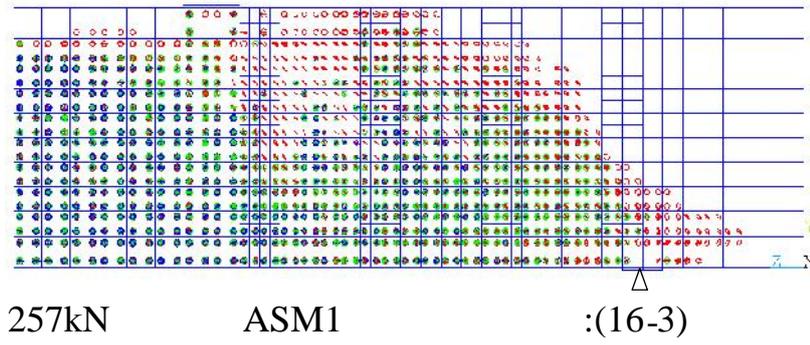
تطور التشققات بين الجائز دون تقوية AM والجائز الذي تم تقويته بشرائح من البوليمرات
 بالألياف الكربونية ASM1 فيوضح الشكل (3-15) شكل التشققات في كلا الجائزين عند
 227kN.



(3-15): التشققات في الجائز AM ASM1 227 kN

(3-15) شرائح البوليمرات الم بالألياف الكربونية قد أسهمت بشكل كبير
 AM الذي ترك دون تقوية وذلك عند نفس قيمة الحمولة المطبقة لكلا الجائزين.

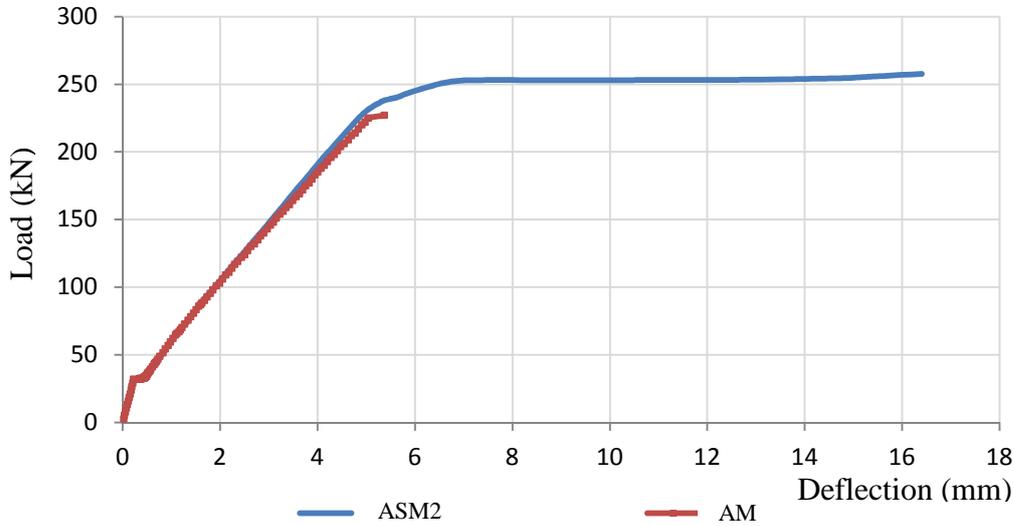
يوضح (3-16) شكل وانتشار التشققات عند حمولة الانهيار للجائز ASM1)
 من البوليمرات المسلحة بالألياف كما أن هناك كبير لتشققات الانعطاف ضمن مجاز
 في حين لم تتم ملاحظة ذلك ضمن الجائز AM (دون تقوية).



2-6-3 تقوية الجانز البيتوني بشرائح CFRP u-wrap

تم تقوية الجانز بشرائح من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية (12-3) حيث تباعد الشرائح عن بعضها أيضا من ناحية الخواص الميكانيكية للشرائح التي تم ذكرها ضمن رامتريية سنعتمد شكل التقوية بشكل حرف u. (6-3)

يظهر الشكل (17-3) (-) لكل من الجانزين AM (الجانز البيتوني غير المقوى) ASM2 (الجانز البيتوني المقوى CFRP u-wrap).



(17-3): (- انتقال) للجانزين AM ASM2

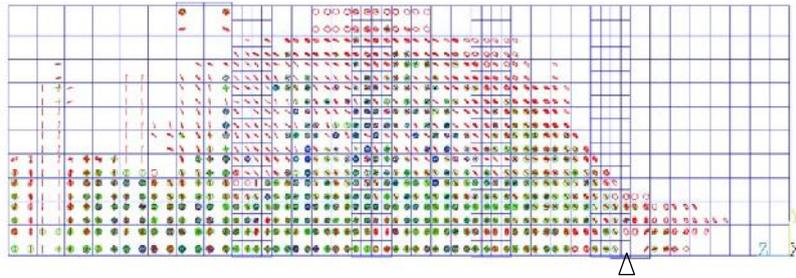
وية الجانز البيتوني الضعيف على القص باستعمال شرائح البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية أسهم

نهيار بين جوائز التجريبي AM دون تقوية وبين النموذج الذي تمت تقويته
 نهيار للجائزين 227kN 259kN على الترتيب، وهذا يظهر زيادة
 ASM2
 14%.

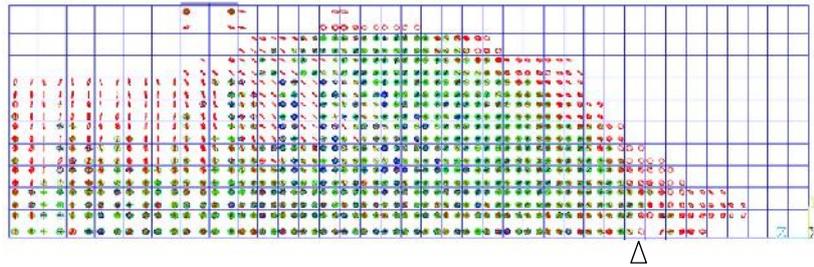
يظهر الشكلان (18-3) (19-3) ها ها
 قيمة معينة وهي 227kN.
 لجائز البييتوني مع تقوية

AM (1.09) هذه قيمة منخفضة تتوافق مع كون الانهيار لهذا الجائز هو
 انهيار على القص ذو طبيعة هشة بتقوية هذا الجائز CFRP u-wrap
 (ASM2) ترتفع قيمة معامل المطاوعة القيمة 2.8 هي قيمة مرتفعة
 من تغير نمط انهيار الجائز من انهيار هش على القص انهيار .

قارنة الشكلين (18-3) (19-3) يظهر CFRP أسهمت

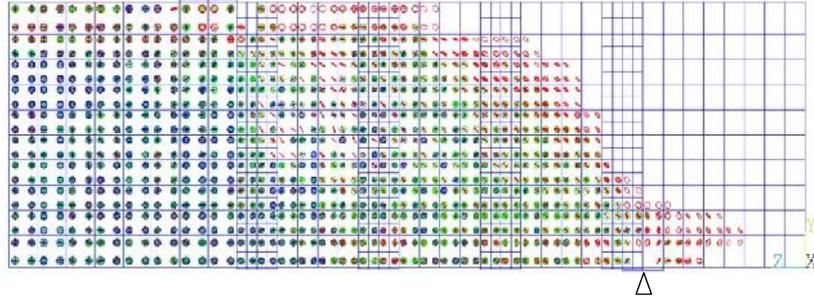


227 kN ASM2 (18-3):



227 kN دون تقوية AM (19-3):

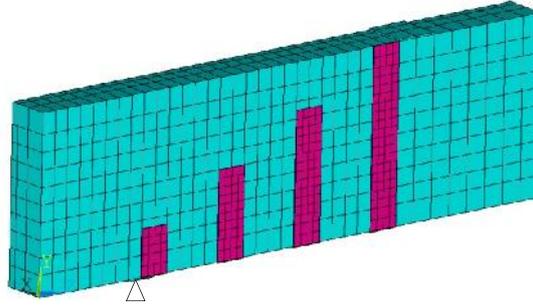
CFRP ها (20-3)
 نلاحظ الانتشار الكبير للتشققات ضمن منطقة الانعطاف.



ASM2 عند حمولة الانهيار (20-3):

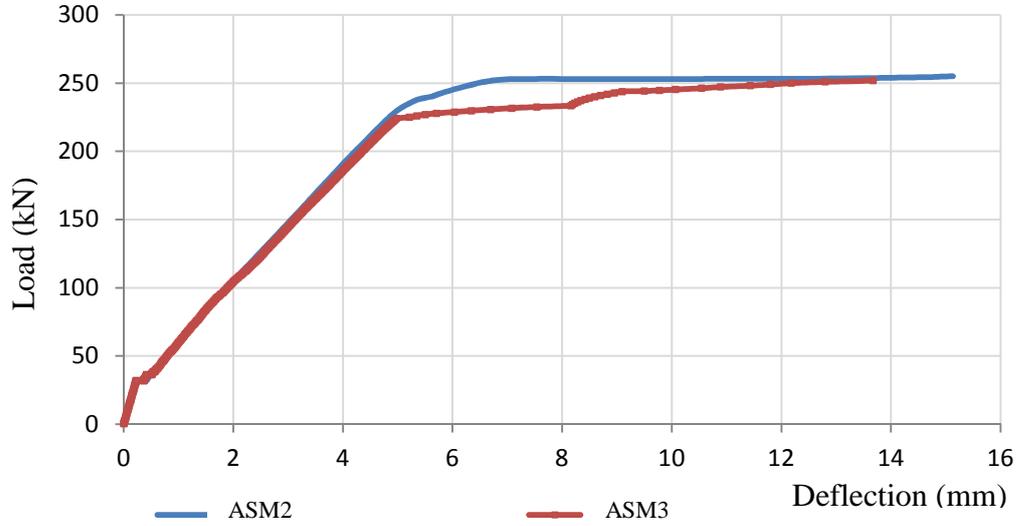
3-6-3 تأثير تدرج CFRP

البوليمرات بالألياف الكربونية فعالة لتدعيم الجوائز البيتونية على القص، ولكنها تع سهولة تنفيذها من مواد التدعيم الية الثمن. من ذلك تم تجريب شكل للتدعيم بـ يث الألياف حول الجوائز البيتوني بشكل حرف u ولكنها تكون متدرجة الأطوال بحيث تتناسب مع شكل تشقق الفص الذي ينشأ في الجوائز البيتونية والذي يبدأ عند المساند و يتجه نقطة تطبيق الحمولة بزاوية تتراوح بين 30° - 60° (1,0.75,0.5,0.25) يظهر شكل التدعيم (21-3) .



(ASM3) CFRP (21-3):

يظهر الشكل (22-3) انهيار (-) حيث انهيار قريبة جداً .



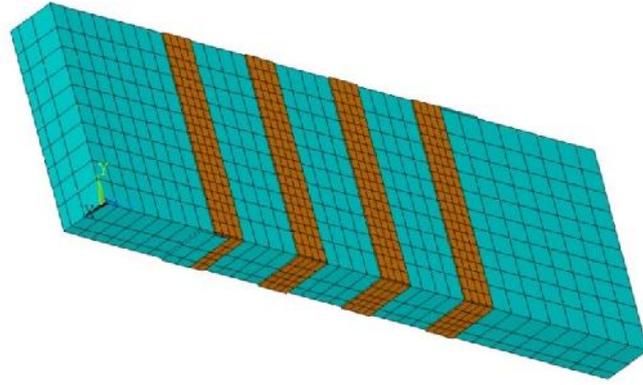
(22-3): (انتقال) بين الجائزين ASM2,ASM3

الفرق بين حمولتي الانهيار بين الجائز ياف على كامل ارتفاع المقطع ASM2 وبين الجائز ياف ذات ASM3 الفارق صغير بين حمولتي انهيار ير الذي يمكن الحصول عليه جراء تدريج شرائح البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية الذي كانت قيمته 30%. كمان أن المطاوعة كانت متماثلة أيضاً نه بمقارنة قيم معامل المطاوعة بين الجائزين ASM2 ASM3 شرطه تدرجة الطول لا يسبب انخفاض مطاوعة الجائز 2.74 على الترتيب. قيم المطاوعة للجائزين هي 2.76

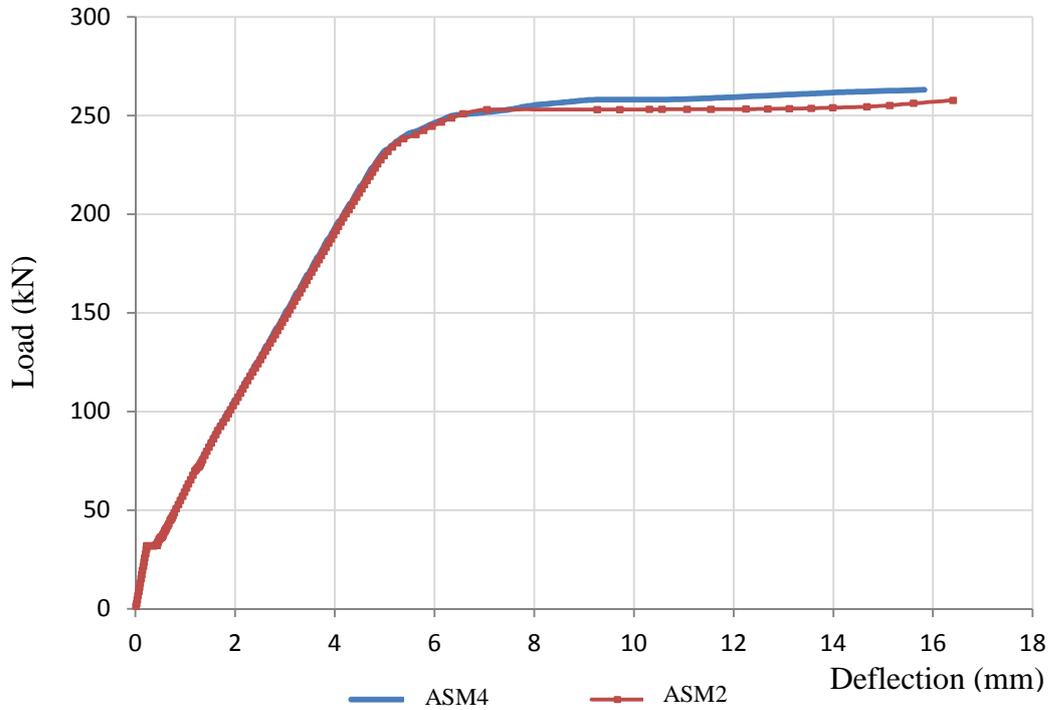
4-6-3 تغير سماكة CFRP

مضاعفة كمية CFRP المستعملة للتقوية 2.4mm 1.2 mm فما تأثير وهل سيؤدي إلى زيادة في قدرة تحمل الجائز للحمولات المطبقة وتغير في قيم مطاوعته.

يُبين الشكل (23-3) شكل الجائز بعد وضع طبقتين من الألياف CFRP (ASM4) يوضح الشكل (24-3) (انتقال) للجائز المدعم بطبقتين من الألياف ASM4.



(23-3) : ASM4 بعد مضاعفة سماكة الألياف



(24-3) : (انتقال) بين الجائز ASM2)
(CFRP) وبين الجائز ASM4 (المدعم بطبقتين من CFRP)

(24-3) وجود تقارب كبير بين الجائزين من ناحية قيمة حمولة الانهيار والانتقالات
نسبة الفرق بين حمولتي انهيار الجائزين 2.3% حيث كانت حمولة الانهيار
للجائزين ASM4 (259,265kN) على الترتيب، وهو فرق قليل جداً يتم الحصول عليه

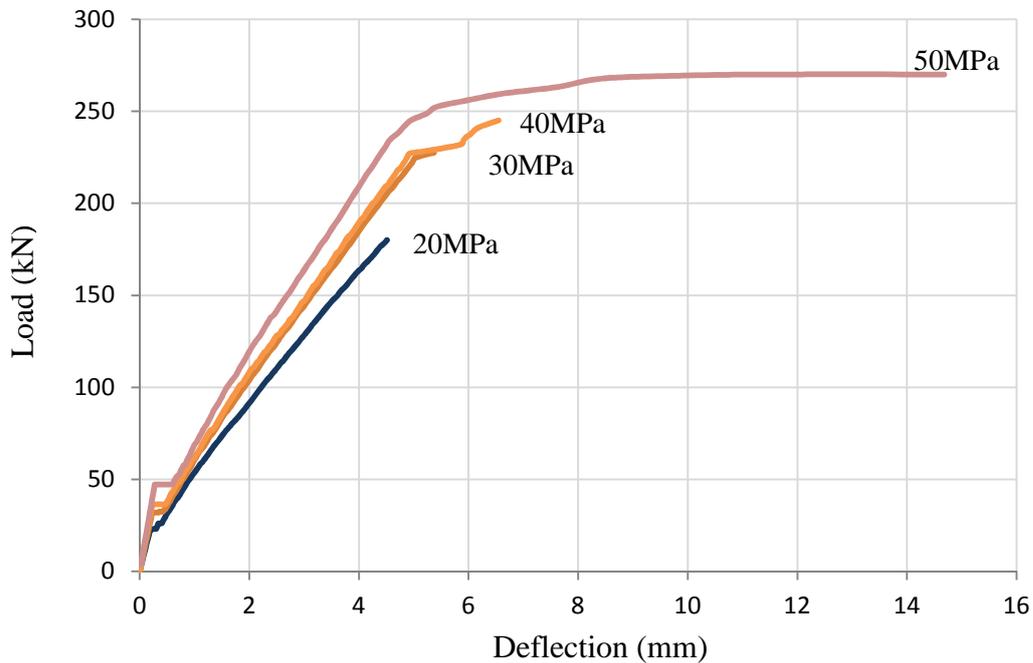
كزيادة في مقاومة الجائز مقابل مضاعفة كمية الألياف المستعملة أنه لم يتم الحصول على مطاوعة إضافية جراء زيادة سماكة الألياف.

إضافية CFRP لا تسبب تغير في مطاوعة الجائز البيتوني مقارنة مع CFRP حيث كانت قيم معاملات المطاوعة للجائزين 2.83 2.80 ASM4 ASM2 على الترتيب.

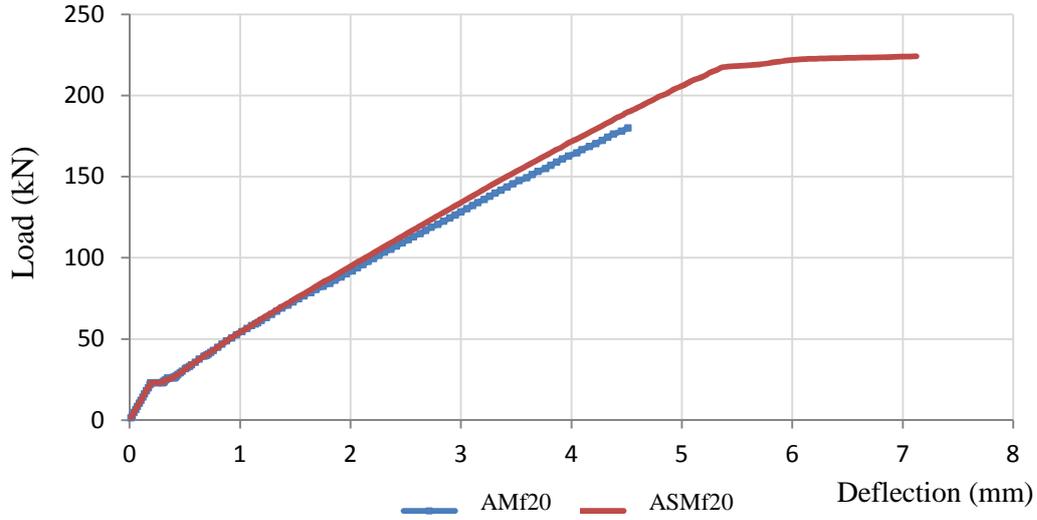
5-6-3 تأثير المقاومة المميزة الأسطوانية (f_c) الجوائز البيتونية المقواة بالبوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP

مقاومة الجائز البيتوني للحمولات الخارجية تزداد عند استعمال الألياف الكربونية CFRP، ولكن قيمة هذه الزيادة ليست ثابتة .

دراسة تأثير تغير مقاومة الجائز البيتوني (f_c) لحمولات خارجية عند تدعيمه بالبوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP كما يبين الشكل (3-25)، حيث قمناب تجريب عدة قيم للمقاومة المميزة الأسطوانية للبيتون (f_c) حيث تم تحليل تأثير المقومات (20 30 40 50) MPa.



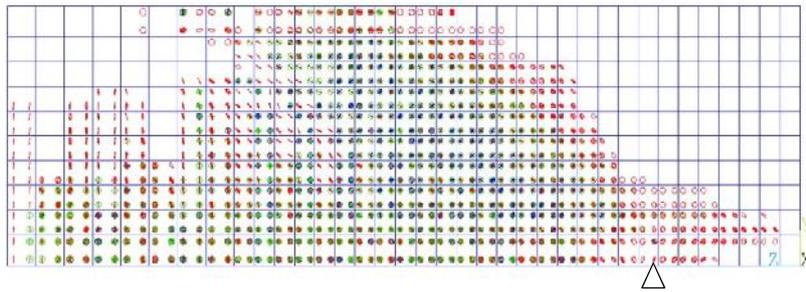
الشكل (3-25): منحنيات (حمولة - انتقال) للجوائز دون تقوية

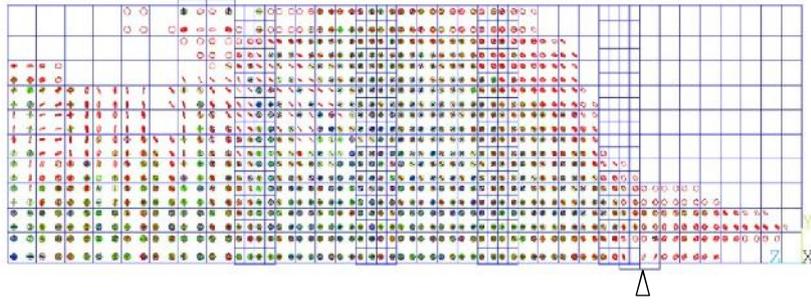


(26-3): (انتقال) للجائزين
AMf20, ASMf20

ن تقوية الجائز البيتوني المقاومة المميزة الأسطوانية $f'_c=20$ البوليمرات
بالألياف الكربونية ساعدت على رفع مقاومته للحمولات الخارجية بنسبة % 24.4 حيث
انهيار AMf20 (دون تقوية) في حين انهيار للجائز البيتوني
ASMf20 الذي تم تقويته بشرائح CFRP 224 kN كما هو مبين بالشكل (26-3)

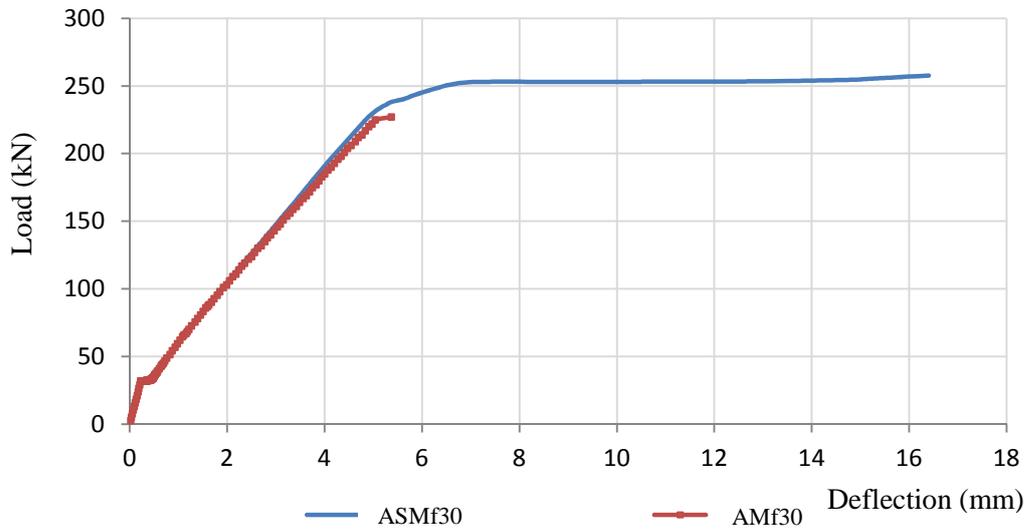
بتأثير الحمولات المطبقة عليه للحالتين مع التقوية
ها (27-3) ها فهو م



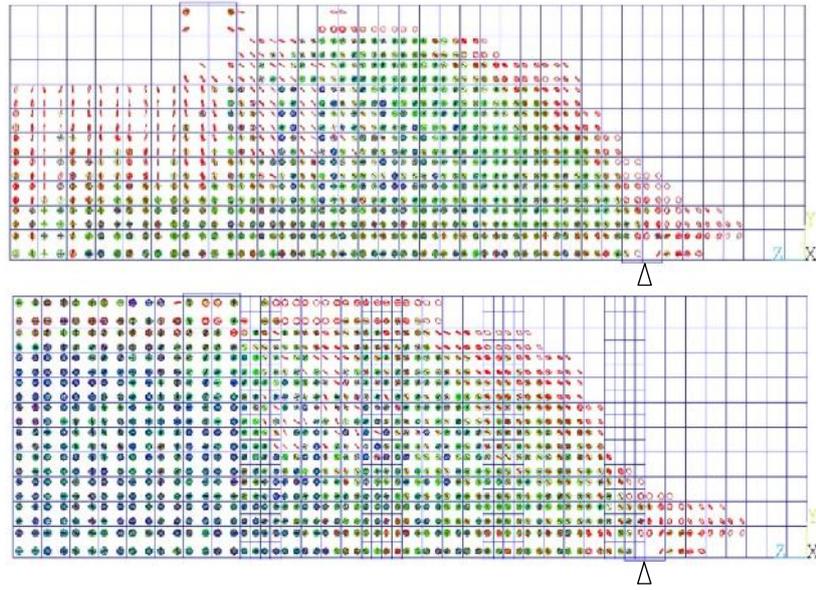


الجائزين AMf20 ,AMSf20 : (27-3)

انهيار AMf30 غير المدعم التي قيمتها 227 kN انهيار
 البيتوني ASMf30 259 kN زيادة قدرة تحمل الجائز نتيجة
 تقويته هي % 14. يبين (28-3) مقارنة بين الجائزين AMf30 ASMf30
 (- انتقال) لكلا الجائزين شكل التشققات في الجائزين AMf30 ASMf30
 حمولة الانهيار لكل منهما فهو (29-3).

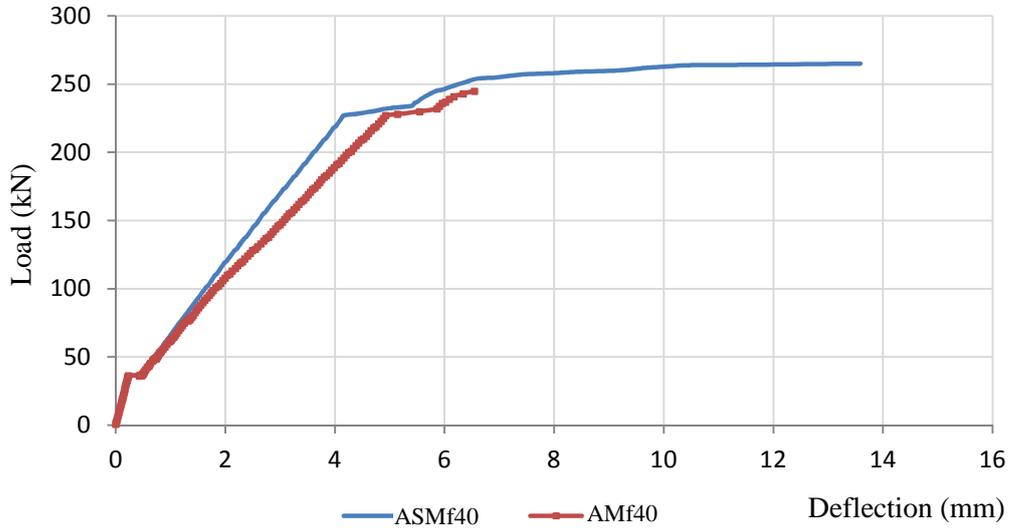


(- انتقال) للجائزين AMf30 ASMf30 : (28-3)

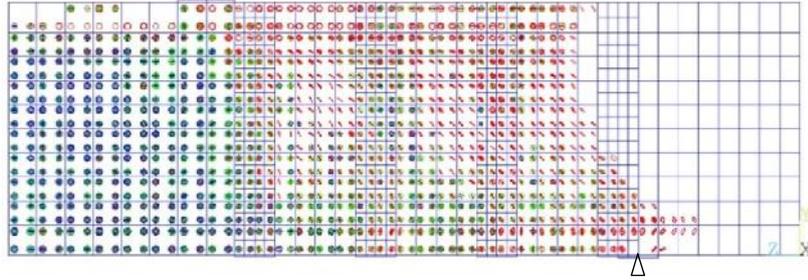
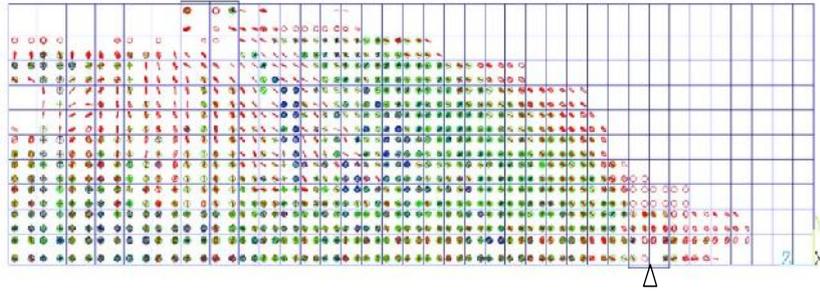


الجائزين AMf30,ASMf30 : (29-3)

يبين (30-3)) (انتقال) لنموذج جائز بيتوني بمقاومة مميزة أسطوانية مقدارها 40 MPa دون تقوية AMf40 CFRP أسهمت بزيادة مقاومة الجائز للحمولات الخارجية بنسبة 9%، و يوضح الشكل (31-3) النشقات في الجائز قبل التدعيم .

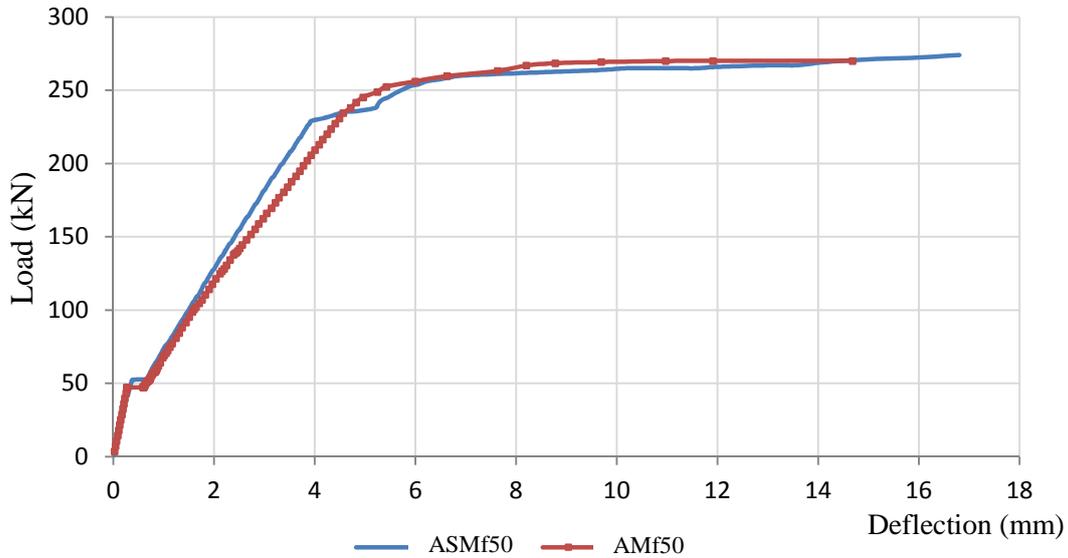


AMf40,ASMf40 : (30-3)) (انتقال) للجائزين

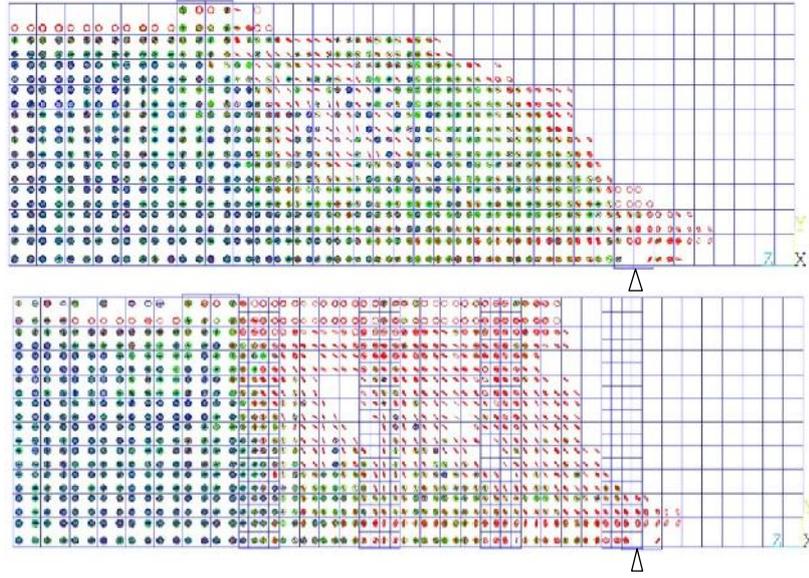


الجائزين AMf40,ASMf40 : (31-3)

بالمقارنة بين مخطط (الحمولة -) ي AMf50 غير المدعم المميزة الأسطوانية $f_c=50\text{MPa}$ وبين نفس الجائز ولكن مع تقويته بشرائح من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية ASMf50، يتضح أن المخططين تقريباً أن الألياف لم تقم بأي نوع من أنواع التقوية للجائز حيث لم تتجاوز نسبة زيادة قدرة تحمل الجائز باستعمال شرائح CFRP 1.5% كما يتضح من الشكل (32-3). يبين الشكل (33-3) الانهيار لكل من الجائزين AMf50,ASMf50.



انتقال) للجائزين AMf50 ASMf50 : (32-3)



الجانزين AMf50 ASMf50 : (33-3)

6-6-3 تأثير استخدام شرائح CFRP على مطاوعة الجانز البيتوني

إن المنشأ البيتوني الذي لا يحتوي على شكل من أشكال التسليح يتشقق بفشل عند حمولات صغيرة نسبياً ويكون الانهيار طبيعة هشة ومفاجئة. يمكن تعريف المطاوعة بأنها طاقة تحمله القصوى.

كالبوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRP

فمثلاً يمكن أن تؤدي تقوية المنشأ على القص إلى تغيير طبيعة انهياره من انهيار هش على القص انهيار أكثر مطاوعة على الانعطاف [31].

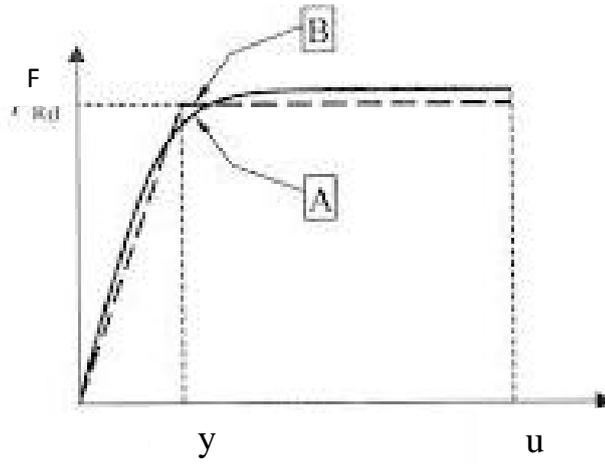
يمكن حساب معامل المطاوعة μ (1-3) :

$$\mu = u / y \quad (1-3)$$

يوضح الشكل (34-3) كيفية حساب كل من u و y حيث:

: y

: u



$$y \quad u \quad : (34-3)$$

بحساب معاملات المطاوعة لنماذج الجوائز البيتونية نجد ما يلي :

- معامل المطاوعة للجائز البيتوني دون تقوية 1.09 هـ قيمة منخفضة تتوافق مع كون انهيار هذا الجائز هو انهيار على القص ذو طبيعة هشّة.
- بتقوية هذا الجائز CFRP u-wrap ترتفع قيمة معامل المطاوعة القيمة 2.80 هي قيمة مرتفعة من تغير نمط انهيار الجائز من انهيار هش انهيار .
- بمقارنة قيم معامل المطاوعة بين الجائز CFRP u-wrap وبين تقويته CFRP كما تم توضيحه سابقاً الفرق صغير جداً شرطه تدرجة الطول لا يسبب انخفاض قيم المطاوعة للجائزين هي 2.76 2.74 على الترتيب.
- إضافية CFRP لا تسبب تغير في مطاوعة الجائز البيتوني مقارنة مع CFRP حيث كانت قيم معاملات المطاوعة 2.80 2.83 للجائزين على الترتيب.
- زيادة قيم المقاومة المميزة للبيتون على الضغط تؤدي زيادة قيم معامل المطاوعة كما يوضح (7-3).

(7-3): قيم معامل المطاوعة المقابلة لتغير قيم $f'c$ للجوائز البيتونية

| $f'c$ (MPa) | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-------------------|------|------|------|------|
| μ (دون تقوية) | 1.00 | 1.09 | 1.32 | 2.98 |
| μ (مع تقوية) | 1.32 | 2.80 | 3.00 | 3.85 |

في قيم المطاوعة كما يوضح

u-wrap

CFRP

(7-3).

زيادة قيمة f'_c ترفع من قيم معامل المطاوعة CFRP من جهة
قيم المطاوعة هو مر مطلوب في الجوائز البيتونية كون ذلك يسهم بشكل كبير
بإعطاء تحذير قبل حدوث الانهيار بالجائز البيتوني.

7-3 تحليل

تقوية الجوائز البيتونية الضعيفة على القص باستعمال شرائح من البوليمرات المسلحة بالألياف الكربونية أثبتت فعالية في زيادة قدرة تحمل الجائز للقوى المطبقة عليه.

تم عمل نموذج لجائز من دراسة تجريبية سابقة وذلك بهدف التحقق من صحة النمذجة عن طريق مقارنة النتائج بين الجائز التجريبي بين نموذج العناصر المنتهية الذي تم بناؤه باستعمال برنامج ANSYS وبينت النتائج وجود تقارب كبير بين النموذج التجريبي نموذج العناصر المنتهية سواء هيار بين مقارنة الانتقالات الحاصلة في منتصف الجائزين خلال مراحل التحميل المختلفة كما يبين (7-3).

مخطط الناتج عن الجائز التجريبي يكون في بداية التحميل مقارباً العناصر المنتهية بينما يصبح فيما بعد أقل قساوة. يمكن تفسير ارتباط بين البيتون حديد التسليح نموذج العناصر المنتهية هو ارتباط بينما وفي الجائز التجريبي الارتباط بين حديد التسليح والبيتون ليس ارتباطاً وهذا يعني إمكانية انزلاق للحديد عن البيتون المجاور له الذي يقلل من قساوة الجائز التجريبي، بينما يحتفظ جائز العناصر المنتهية بارتباط تام حتى نهاية التحليل.

بالألياف الكربونية CFRP جائز تجريبي وتم مقارنة النتائج بين نموذج العناصر المنتهية وبين الجائز التجريبي حيث تبين النتائج متقاربة بشكل جيد كما يبين (14-3).

بناء نموذج عناصر منتهية لجائز تجريبي ثم تقويته باستعمال شرائح CFRP

زيادة قدرة تحمل الجائز بمقدار 14%

u-wrap u

التجريبي دون تقوية.

(17-3) انهيار الجائز البيتوني التجريبي غير هو انهيار هش

يكون هنالك تطور واضح للانتقالات، في حين ظهر سلوك

فضل بكثير في مراحل التحميل المتقدمة، ها

ضمن نموذج الجائز التجريبي غير هذه التشققات تتركز بشكل كبير

وهي ماثلة وهو ما يتوافق مع كون هذا الجائز قد انهيار على القص
الشكلين (19-3) (20-3) البوليمرات بالألياف الكربونية قد أسهمت

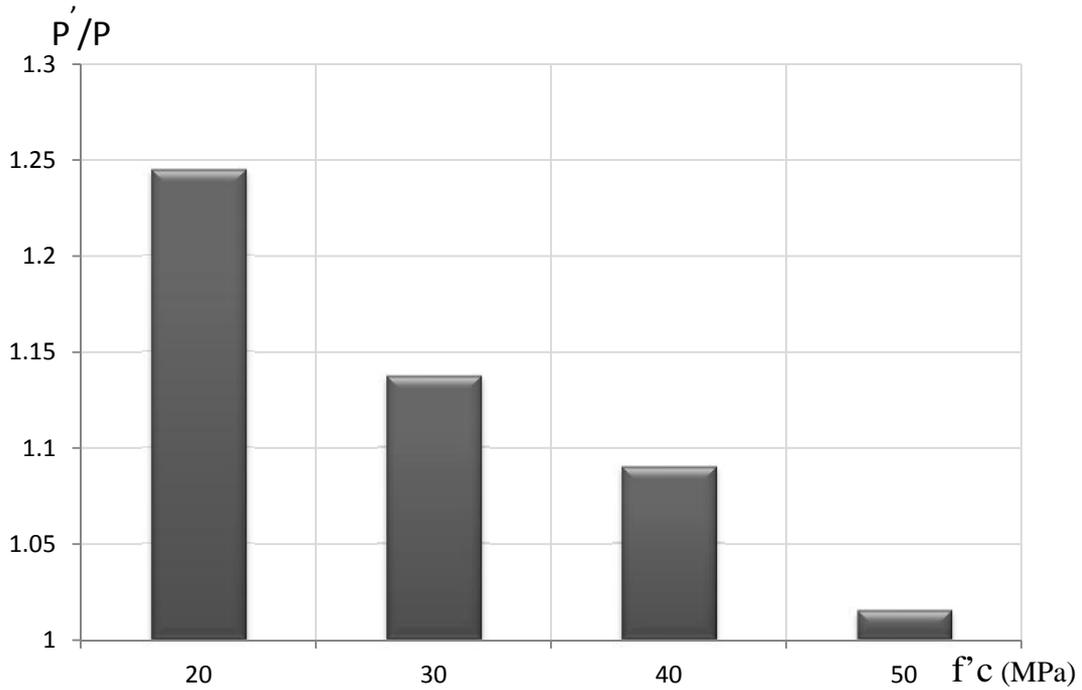
تدقيق ها (-انهيار) لكل من نموذج الجائز التجريبي
يمكن أن نستنتج شكل الانهيار قد تغير من انهيار على القص للجائز دون
تقوية انهيار على للجائز البيتوني البوليمرات بالألياف
CFRP يتوافق هذا [32] (Abed,2010) [31] (Al-Tai,2007)
[33] (Collins and Roper,1990) كالبوليمرات
المسلحة بالألياف يمكن أن تعطي كمثل على ذلك اذا تم تقوية منشأ على القص
فيمكن يتغير نمط الانهيار من انهيار هش على القص انهيار

CFRP بحيث تغطي (0.25,0.5,0.75,1)
مقطع الجائز البيتوني وبينت التجارب تقارب هذا النموذج مع نموذج الجائز بألياف
يمكن تفسير ذلك بكون نمط الانهيار قد تغير انهيار على الانعطاف وليس
كما يبين (22-3).

مضاعفة كمية شرائح البوليمرات بالألياف الكربونية CFRP وذلك عن طريق
شريحة (24-3) إضافية
CFRP لم يكن له تأثير يذكر في زيادة قدرة تحمل الجائز يمكن تفسير
CFRP أسهمت بزيادة مقاومة الجائز لحو
الانهيار قد تحول من انهيار هش على القص انهيار
إضافية CFRP لن يكون لها تأثير على زيادة مقاومة الجائز
البيتوني

تأثير تغير المقاومة المميزة الأسطوانية للبيتون f^c الجائز البيتوني الضعيف على
القص بعد تقويته بشرائح من البوليمرات بالألياف الكربونية CFRP حيث f^c
ربع قيم وهي 20-30-40-50 MPa بتغير هذه القيم.

تزايدت مقاومات الجائز البيتوني مع زيادة قيمة f^c 24.4 % 14 % 9 % 1.5
من هذه القيم العالية البوليمرات بالألياف الكربونية
المقاومة المميزة الأسطوانية للبيتون. يوضح الشكل (3-35) فعالية استخدام شرائح
CFRP بازدياد قيمة f^c حيث P' حمولة الانهيار للجائز المقوى بشرائح CFRP بينما P
حمولة الانهيار للجائز دون تقوية.



(35-3) : تأثير تغير مقاومة البيتون على الحمولة الحدية للجوائز البيتونية المقواة CFRP

(27-3) (29-3) (31-3) (33-3)، نلاحظ أنه بزيادة قيمة $f'c$

قيمة $f'c = 50 \text{ MPa}$

التركز الأكبر للتشققات هو ضمن منطقة الانعطاف ليس بالتالي نمط الانهيار لم يعد انهيار هشد صبح انهيار لهذه الجوائز تدل على الانهيار النهائي ذو طبيعة مطاوعة ليس هشاً.

بدراسة تغير قيم معامل المطاوعة للجوائز البيتونية عند الشرائح تسهم بزيادة مطاوعة الجوائز البيتونية كما نجد الطول لا يسبب تغير مهم يم يوجد تغير يذكر بقيم معامل المطاوعة.

يمكن تلخيص النتائج بـ بين (8-3) (9-3)، حيث يبين الجدول (8-3) تغير قيم الانهيار والمطاوعة بتغير شكل التقوية وسماكة شرائح CFRP (9-3) فيبين تأثير تغير مقاومة البيتون حمولة انهيار ومطاوعة الجوائز البيتوني نتيجة التقوية CFRP.

CFRP

(8-3): تغير قيم معامل المطاوعة حمولة الانهيار بتغير شكل

| المتغير | | الانهيار kN | | مئوية بين الحالتين (b) (a) % | مئوية EM % | |
|-----------------------------------|---|------------------------------|------|---------------------------------------|------------------|----|
| (EM) (الجائز التحليلي غير المدعم) | | 227 | 1.00 | - | - | |
| CFRP | a | تدعيم بشكل u-wrap (ASM2) | 259 | 2.76 | 2.8 | 14 |
| | b | تدعيم بشكل u-wrap (ASM3) | 252 | 2.74 | | 11 |
| CFRP | a | (ASM2) | 259 | 2.76 | 2.3 | 14 |
| | b | طبقتين (ASM4) | 265 | 2.82 | | 17 |

(9-3): تغير قيم معامل المطاوعة حمولة الانهيار بتغير قيم f_c'

| | قيمة f_c' MPa | قيمة معامل | حمولة الانهيار kN | نسبة الزيادة الانهيار % |
|--------|--------------------|------------|----------------------|----------------------------|
| AMf20 | 20 | 1.00 | 180 | 24.4 |
| ASMf20 | 20 | 1.32 | 224 | |
| AMf30 | 30 | 1.09 | 227 | 14.0 |
| ASMf30 | 30 | 2.80 | 259 | |
| AMf40 | 40 | 1.32 | 245 | 9.0 |
| ASMf40 | 40 | 3.00 | 265 | |
| AMf50 | 50 | 2.98 | 270 | 1.5 |
| ASMf50 | 50 | 3.85 | 274 | |

النتائج والتوصيات

1-4

تناول هذا البحث موضوع تقوية الجوائز البيتونية المسلحة الضعيفة على القص بشرائح من البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية. ANSYS.v13 وهو برنامج يعتمد على نظرية العناصر المحدودة إضافة لقدرته على التعامل مع السلوك اللاخطي للمنشأ و CFRP متدرجة الطول بحيث تغطي الشق المتوقع نتيجة الانهيار على القص رامترية على أثر مقاومة البيتون f'_c لياف في فعالية التقوية على القص، وقد خلص البحث إلى مجموعة من النتائج والتوصيات.

2-4

تم في هذا البحث بناء نموذج عناصر منتهية لجائز بيتوني تجريبي عن طريق مقارنة النتائج بين الجائز التجريبي ونموذج العناصر المنتهية المتغيرا تأثيرها ي، و يمكن تلخيص النتائج التي تم إليها ما يلي:

- 1- إن تدعيم الجوائز البيتونية CFRP يسهم في تغيير ميكانيكية الانهيار من الانهيار المفاجئ على القص إلى الانهيار المطاوع على الانعطاف.
- 2- طريقة التدعيم باستخدام شرائح CFRP u-wrap u كما أن ميكانيكية الانهيار كانت للحالتين.
- 3- يعطي تدعيم الجوائز باستخدام شرائح CFRP فعالية أكبر كلما كانت قيمة المقاومة المميزة الأسطوانية للبيتون على الضغط f'_c أقل، وتقل هذه الفعالية إلى حد كبير عندما تزيد هذه المقاومة عن 50MPa.
- 4- إن زيادة عدد طبقات شرائح CFRP المستخدمة في تدعيم الجوائز بغرض زيادة سماكة الشرائح لا تعطي زيادة ذات أهمية في قيمة المقاومة والمطاوعة مقارنة بالجائز المدعم بطبقة واحدة.
- 5- النموذج التحليلي باستخدام برنامج ال ناصر المنتهية ANSYS نتائج النموذج التجريبي وذلك لحالتي الجائز المدعم والجائز غير .

3.4 التوصيات

- 1- يوصى CFRP بميكانيكية الانهيار التذعيم.
- 2- يوصى إمكانية تطبيق ميكانيكية الانهيار المسيطرة إليها هذا ميكانيكية الانهيار هي انهيار بين نتيجة .x
- 3- تأثير تطويق البيتون تحسين البيتون f_c' حيث يمكن البيتون .
- 4- تدريج أطوال شرائح CFRP نتائج جيدة من حيث المقاومة مقابل التوفير في هذه المادة، يوصى بإجراء تجارب مخبرية لدراسة إمكانية حدوث فقدان للتماسك بين الشرائح والبيتون وتأثير هذا الشكل من التقوية.

-
- [1]- Nanni A., "Carbon fibers in Civil Structures: Rehabilitation and New Construction," Proc., The Global Outlook for Carbon Fiber 2000, Intertech, San Antonio, Texas, December 4-6, 2000, 6 pp.
- [2]- "الطرق الحديثة لترميم و تقوية و حماية المنشآت الخرسانية (2000)
- [3]- Sengupta (2007), " retrofit of reinforced concrete buildings", HANDBOOK ON SEISMIC RETROFIT OF BUILDINGS (APRIL2007)
- [4]- Hota V.S. GangaRao, Narendra Taly P.V. Vijay(2007). " Reinforced Concrete Design with FRP Composites" .Taylor & Francis Group
- [5]- Alagusundaramoorthy(2007), "Retrofit Using Fiber Reinforced Polymer Composites". HANDBOOK ON SEISMIC RETROFIT OF BUILDINGS.
- [6]- مايا السباعي(2012) " تقوية عقد الاطارات البيتونية المسلحة ضد الأحمال الزلزالية باستخدام البوليميرات المسلحة بالالياف " رسالة ماجستير ,
- [7]- Batikha M (2008), "Strengthening of thin metallic cylinder shells using fiber reinforced polymers". PhD thesis, Edinburgh university ,UK.
- [8]- Suleiman S, "Cyclic Performance of RC Beams Strengthened With CFRP Sheets : Experimental and FE studies",2009. Doctorate of philosophy's Thesis, University of Nottingham.
- [9]- NGCC, The Network Group for Composites in Construction (NGCC) (see:<http://www.ngcc.org.uk/DesktopDefault.aspx?tabindex=38&tabid=460>) accessed in May 2004.
- [10]- Thijs Claus, 2009, " Non-Linear Finite Element Analysis of Shear Critical Reinforced Concrete Beams", DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- [11]- M.C. Sundarraja *, S. Rajamohan (2009), " Strengthening of RC beams in Shear Using GFRP Inclined Strips – An experimental study" Construction and Building Materials 23 (2009) 856–864.
- [12]- Nadeem A. Siddiqui (2009). " Experimental Investigation of RC Beams Strengthened with Externally Bonded FRP Composites". Latin American Journal of Solid and Structures , 6(2009) 343 – 362.
- [13]- Yasmeen Taleb Obaidat⁽¹⁾, Susanne Heyden, Ola Dahlblom, Ghazi Abu-Farsakh and Yahia Abdel-Jawad (2010) . " Retrofitting of Reinforced Concrete Beams using Composite Laminates". Composite Structures 92 (2010) 1391–1398.

- [14]- Yasmeeen Taleb Obaidat⁽²⁾, Ola Dahlblom and Susanne Heyden(2010). "Nonlinear FE Modelling of Shear Behaviour in RC beam Retrofitted with CFRP" .Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-5879-1.
- [15]- Khalifaa A, Nanni A (2002),"Rehabilitation of Rectangular Simply Supported RC Beams with Shear Deficiencies Using CFRP Composites". Construction and Building Materials 16 (2002) 135–146.
- [16]- ACI 440.2R-02,"Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", 2002 American Concrete Institute.
- [17]- Saenz and Luis, P., 1964, "Discussion of 'Equation for the stress-strain curve of concrete' by Prakash Desayi and S. Krishnan", ACI Journal, V. 61, N. 9, pp. 1229-1235.
- [18]- Hognestad E (1951)."A STUDY OF COMBINED BENDING AND AXIAL LOAD IN REINFORCED CONCRETE MEMBERS". PhD thesis, UNIVERSITY OF ILLINOIS.
- [19]- Desayi, P. and Krishnan, S.,(1964) "Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete," Journal of the American Concrete Institute, 61, pp. 345-350, March 1964.
- [20]- Gere, J. M. and Timoshenko, S. P., Mechanics of Materials, PWS Publishing Company, Boston, Massachusetts, 1997.
- [21]- Kachlakev D, Miller T, and Yim S (2001)" FINITE ELEMENT MODELING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES STRENGTHENED WITH FRP LAMINATES ",Report for Oregon and Federal Highway Administration.
- [22]- The Hu.H and Schnobrich c.w 1990"Nonlinear Analysis of Cracked Reinforced Concrete",ACI STRUCTURAL JOURNAL, no.87-S21.
- [23]- ANSYS, Inc. (2009). Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications. Canonsburg: © 2009 SAS IP, Inc.
- [24]- K. J. Willam and E. D. Warnke. "Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete". Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering. Vol. 19. ISMES. Bergamo, Italy. p. 174. 1975.
- [25]- Mindess, S. and Young, J. F., Concrete, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- [26]- Shah, S. P., Swartz, S. E., and Ouyang, C., Fracture Mechanics of Concrete, John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, 1995.
- [27]- Concrete Society, 2004."Design guidance for strengthening concrete structures using Fiber composite materials" .Technical report 55, second edition ,Camberley.

- [28]- Anthony J. Wolanski, B.S.2004,," FLEXURAL BEHAVIOR OF REINFORCED AND PRESTRESSED CONCRETE BEAMS, USING FINITE ELEMENT ANALYSIS Master's Thesis, University of Marquette,
- [29]- Tavárez F.A. (2001). Simulation of Behavior of Composite Grid Reinforced Concrete Beams using Explicit Finite Element Methods, Master's Thesis, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin.
- [30]- Saif Luay Hadi Al-Tai ,2007 ," NONLINEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE T-BEAMS STRENGTHENED WITH CFRP SUBJECTED TO SHEAR", Master's Thesis, University of Babylon , Iraq
- [31]- Bilal raheem abed, 2010," Shear Behavior of High Strength Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber Polymer laminates", Master's Thesis, University of Babylon, Iraq.
- [32]- Collins, F and Roper, H (1990): "Laboratory Investigation of Shear Repair of Reinforced Concrete Beams Loaded in Flexure". ACI Materials Journal, V. 97, No. 2, March-April, pp. 149-159.

ABSTRACT

This thesis aimed to study the behavior of RC beams strengthened by carbon fibers reinforced polymers (CFRP). Finite element method used to model the concrete beam before and after strengthening. At first, a FE model of RC beam was used to study its behavior under monotonic loading, and results were verified against a similar experimental study. Then, a second FE model of RC beam strengthened by CFRP was used to study its behavior under monotonic loading. Once again, results were verified against experimental study.

Parametric study of RC beam with insufficient shear capacity strengthened by CFRP in u-wrap arrangement showed an increase in the load carrying capacity when compared to unstrengthened RC beam. It also showed a remarkable increase of ductility factor. Furthermore, the continuity of CFRP sheets in vertical direction was investigated. Results indicated that third of CFRP amount could be saved when using a set of CFRP with heights of 1, 0.75, 0.5 and 0.25 of beam depth arranged consecutively from load point toward any of the supports. However, such a case led to a minor reduction in load-carrying capacity and ductility factor when being compared to a RC beam with CFRP on entire beam depth. Adding another CFRP layer led to a minor increase in load-carrying capacity, which is economically invisible. When talking about compressive strength of concrete f'_c , results indicated that any increase in compressive strength will lead to decrease in CFRP efficiency. RC beams with lower compressive strength values showed the highest increase in failure load when strengthening with CFRP compared to unstrengthened beams.

It was found that strengthening RC beams with CFRP enhance both strength and ductility, while ductile flexural failure took place instead of brittle shear failure.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Civil Engineering
Dept. of structural Engineering



Shear Strengthening of RC Beams by Using CFRP Sheets - Finite Element Modelling

Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Structural Engineering

By

Ruba Jamal

Supervisor

Dr. Hafez Al Sadeq

Associate Professor

Structural Engineering Department

Faculty of Civil Engineering

Damascus University

co-Supervisor

Dr. Samer Suleiman

Structural Engineering Department

Faculty of Civil Engineering

Damascus University

Damascus-2013