مجلة العلوم البحتة والتطبيقية
Journal of Pure & Applied Sciences
www.Suj.sebhau.edu.ly ISSN 2521-9200
Received 09/03/2020 Revised 02/08/2020 Published online 07/10/2020

دراسة سلوك الكمرات الخرسانية المسلحة المقواة خارجيا بشرائط ألياف الكربون

مروان بالقاسم صالح و ربيع امبارك المرضي و خالد ادريس حمد و هبة احمد خليفة و ساجدة خالد سالم
قسم الهندسة المدنية– جامعة عمر المختار، ليبيا
*للمراسل: mrwanalferjani@gmail.com

الملخص أصبح استخدام البوليمرات المقواة بالألياف كتعزيز خارجي أحد الحلول البديلة لإصلاح عيوب القص والانحناء في الانشاءات الخرسانية المسلحة. تحتاج العناصر الخرسانية إلى التقوية عندما تكون مقاومتها غير كافية نتيجة التغير في استخدام المنشأة أو نتيجة أخطاء في التصميم أو التنفيذ. أيضاً قد تحتاج العناصر الإنشائية إلى الترميم والإصلاح في حالات نقص تحميلتها نتيجة لتعرضها للتأثيرات البيئية المختلفة أو تعرضها لأعمال التخريب المتعمد أو أي أخطاء أخرى تنشأ بفعل الأنسان. حاليا وجدت ألياف البوليمر طريقها للاستخدام في تطبيقات الهندسة المدنية، حيث استخدمت التقوية الخارجية لتحسين اداء المنشآت مثل تقوية الأعمدة الخرسانية وذلك عن طريق عمل طوق بألياف البوليمر حول المحيط الخارجي للعمود لزيادة المقاومة والليونة، وكذلك تستخدم لزيادة مقاومة الانحناء والقص بإلصاق ألياف البوليمر على السطح الخارجي للكمرات والأسقف.تستخدم ألياف البوليمر المركبة في التقوية الخارجية للمنشأة لغرض تحسين ادائها للانحناء والقص بالنسبة للكمرات الخرسانية وذلك عن طريق إلصاق ألياف البوليمر بالسطح الخارجي للكمرات. هناك نقص في الدراسات التي تغطي عيوب القص والانحناء التي تحتاج الي تقوية في الكمرات لذلك تحتاج إلى المزيد من العمل لدراسة تقوية الكمرات وبالتالي، لحل هذه المشكلة هناك حاجة للتحقيق من فاعلية شرائط ألياف الكربون المغلفة خارجيا لتقوية القص والانحناء في الكمرات. في هذه الدراسة، تم اختيار مجموع 4 كمرات خرسانية مسلحة مستطيلة متطابقة بأبعاد(1000 x 200 x 120 مم). كمرتين لم يتم تقويتها او تعزيزها بشرائط ألياف الكربون (كمرات مرجعية)، في حين تم تقوية الكمرتين المتبقيتين بشرائط ألياف الكربون ثنائية الاتجاه. . اظهرت النتائج المعملية ان شرائط الكربون زادت وحسنت من قدرة القص والانحناء في الكمرات بشكل ملحوظ حوالي 23 % إلي 53 % علي التوالي مقارنة بالكمرات المرجعية.

الكلمات المفتاحية: ألياف البوليمر، القص، الإنحناء ، كمرات خرسانية مسلحة مستطيلة ، شرائط ألياف الكربون.

Study the behavior of reinforcement concrete beams externally reinforced with carbon fiber strips

*Marwan B.S Alferjani , Rabie A Almardi Amnisi, Khaled Idris Hamad, Heba Ahamed Khalifa, Sajada Khaled Salem
Department of Civil Engineering, Omar Al-Mukhtar University, Libya
*Corresponding author: mrwanalferjani@gmail.com

Abstract The use of fiber reinforced polymers as an external reinforcement has become one of the alternatives solutions for repairing defect of shear and flexure in reinforced concrete structure. Concrete elements need to be reinforced when their resistance is insufficient as a result of a change in the facility's use or as a result of design or implementation errors. Also, the structural elements may need restoration and repair in cases of lack of tolerance as a result of exposure to various environmental influences or exposure to acts of deliberate sabotage or any other errors that arise from human action. Currently, polymer fibers have found their way for use in civil engineering applications, as external reinforcement has been used to improve the performance of installations such as reinforcing concrete columns by creating a collar on the polymeric fibers, transforming the outer perimeter of the column to increase resistance and ductility, and also used to increase the bending resistance and shear with polymer fibers adhesives on the outside of the beams and roofs. The central polymer fibers are used in the external reinforcement of the installations for the purpose of improving their bending and shear performance relative to the concrete beams by attaching the polymer fibers to the outer surface of the beams. There is a lack of studies that cover shear and bending defects that need to be strengthened in the beams, and therefore more work needs to be done to study the strengthening of the beams, and therefore, to solve this problem there is a need to investigate the effectiveness of the carbon-coated strips externally to strengthen the shear and bending in the beams. In this study, a total of 4 identical rectangular reinforced concrete beams were selected with dimensions of 120x200x1000 mm.

Keywords: Polymer fibers, Shear, Flexure, Rectangular reinforced concrete beams, Carbon fiber strips.

1. المقدمة تزايد الاهتمام للتعزيز والترميم للمنشآت الخرسانية، باستخدام ألياف (البوليمر FRP) أصبح واضحاً في السنوات الأخيرة بسبب الخواص لهذه المواد المركبة بشكل عام، حيث ان الألياف هي خفيفة الوزن ولا تتآكل، وقوة الشد فيها عالية،

بالإضافة إلى ذلك هذه المواد متوفرة بسهولة في عدة أشكال تتراوح بين شرائح إلى ألواح الألياف الجافة التي يمكن أن تكون ملفوفة لتتوافق مع هندسة المبني، حيث توفر هذه الصفات فرصا لمركبات (البوليمرFRP) لاستخدامها كبديل للمواد التقليدية حيث وجدت حالياً ألياف البوليمر طريقها للاستخدام في تطبيقات الهندسة المدنية (بيار ج.م وبختارع.م2010)، وتم استخدامها في التقوية الخارجية لتحسين اداء المنشآت مثل تقوية الاعمدة الخرسانية والكمرات وذلك عن طريق عمل طوق بألياف البوليمر

حول المحيط الخارجي للعمود او الكمرة لزيادة المقومة والليونة، وكذلك لزيادة مقاومة الانحناء والقص بإلصاق ألياف البوليمر على السطح الخارجي للكمرات والأسقف .(ابوقاسم م.ا و عمران ك.م 2016).

2. اهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة الي معرفة السلوك الانشائي للكمرات الخرسانية المسلحة والمقواة بألياف الكاربون ومدى تأثير هذه الالياف علي رفع قوة التحميل في منطقتي القص والانحناء والاستفادة من الدراسة في معالجة وترميم المباني الخرسانية.

3. البرنامج العملي للدراسة

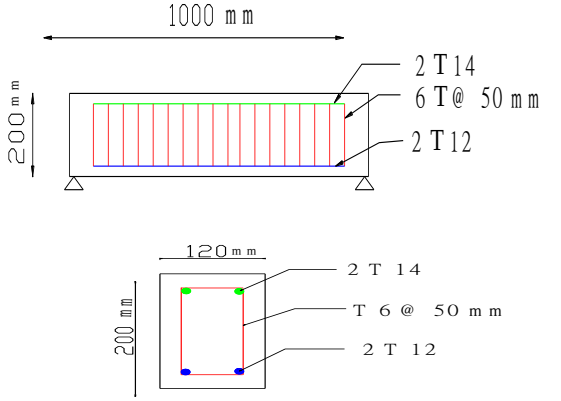
تم اعداد ستة كمرات ببعاد (1000 x 200 x 120 مم) أثنين من هذه الكمرات كانت هي المرجعية، اما الكمرات الاخرى المتبقية، فقد تم اعتماد عدد من المتغيرات المؤثرة علي سلوك القص والانحناء منها حديد التسليح والتغليف باستخدام الالياف الكربونية حسب تفاصيل حديد التسليح، حيث كانت مره مغلفة من اسفل في منطقة فشل الانحناء، ومرة مغلفة بزاوية 90° على مسافات معينة مطلوبة في منطقة فشل القص، وتم اختيار رموز لتمييز الكمرات كما هو مبين في الجدول 1.

جدول (1): يوضح رموز العينات وزاوية التغليف

تسلسل	رقم العينة	رمز العينة	زاوية التغليف	التحميل
1	383	ك 1	بدون تغليف	تحميل حتى الفشل (منطقة القص)
2	8	ك 3	بدون تغليف	تحميل حتى الفشل (منطقة الانحناء)
3	1	ك 2	90°	تقوية في البداية ثم تحميل حتى الفشل (منطقة القص)
4	0	ك 4	90°	تقوية في البداية ثم تحميل حتى الفشل (منطقة الانحناء)

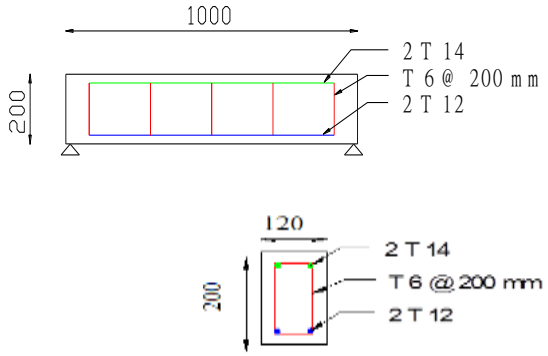
1.3 أبعاد وتفاصيل التسليح الداخلي للكمرات

1.1.3 تفاصيل حديد التسليح في منطقة فشل الانحناء.



شـــكل 1: يوضح حديد تسليح في منطقة فشل الانحناء

2.1.3. تفاصيل حديد التسليح في منطقة فشل القص



شـــكل 2: يوضح حديد تسليح في منطقة فشل القص

3.1.3. مكونات الخلطة الخرسانية

تم استخدام مواد محلية للخلطة الخرسانية المطابقة للموصفات الليبية وكذلك الموصفات البريطانية. جميع العينات الخرسانية التي تم تنفيذها في هذه الدراسة تتكون من الإسمنت البورتلاندي العادي من إنتاج مصنع الفتائح التابع للشركة الأهلية للإسمنت وفق الموصفات القياسية الليبية رقم(340 لسنة 1972م) للإسمنت البورتلاندى[5]. الركام الناعم والخشن تم توريده من محاجر جنوب مدينة القبة والتي تنطبق عليها الموصفات القياسية الليبية رقم(49 لسنة 2002م) لركام الخرسانة من مصادرة الطبيعية(6) .حديد التسليح الرئيسي بقطر14 مم وحديد الكانات بقطر6 مم، حيث ان إجهادات الخضوع كانت 380 نيوتن/مم2 و275 نيوتن/مم2علي التوالي. وتمت عملية الصب في قوالب خشبية مصممة على حسب المقاسات المطلوبة كما موضح بالشكل (3)

شكل 3: خطوات صب العجينة الاسمنتية داخل القوالب الخشبية

4.1.3. تجهيز القوالب الخاصة بالمكعبات وطريقة الصب

الشكل 4: خطوات إعداد المكعبات الخرسانية

جميع العينات تمت معالجتها بالخيش المبلل خلال 24 ساعة الاولي ثم غمرها بالماء وبدرجة حرارة الغرفة (22-27م)حتي تاريخ الاختبار والجدول (2.3) يوضح نتائج كسر المكعبات الخرسانية بعد اختبارها. حيث ان نسب الخلط (1 : 1.6 : 9.2)

(سمنت ، ركام ناعم ، ركام خشن) ونسبة الماء الي الاسمنت 0.4

جدول (2): نتائج كسر المكعبات الخرسانية

الكمية	الايام	قوة الانضغاط (نيوتن/ملم2)	الوزن (جرام)	معدل قوة الانضغاط (نيوتن/ملم2)
3	7	22.45 22.34 21.66	8033 8024 8011	22.15
3	28	26.66 24.89 25.77	8199 8038 8130	25.77

3. الكمرات:

بعد عملية فك الفورمات الخشبية تم استخدام طريقة المعالجة بالرش، حيث عند وصول الخرسانة إلي مرحلة التصلب تمت المعالجة عن طريق الرش في فترة الصباح الباكر و فترة المساء بعد غياب الشمس.

والهدف من الرش توفير البيئة المناسبة للخرسانة المصبوبة لاستكمال عمليات التفاعل الداخلي بين مكونات الصبة لتعطي في النهاية كتلة خرسانية متصلدة وبشكل متجانس. لذا يجب رش الصبة الخرسانية بالماء وبشكل كامل وشامل خصوصا في الأجواء الحارة عدة مرات في الأيام الثلاثة الأولى من عمر الصبة وبمعدل أقل بعد ذلك في بقية أيام الأسبوع الأول من عمر الصبة، وهذا يكفي لأن الصبة حينئذ تكون قد استقرت وأخذت الوضع شبه النهائي لها.

4. المكعبات الخرسانية:

بعد عملية فك القوالب الحديدية تم وضع جميع المكعبات في الماء حيث تتم عملية المعالجة بالغمر الكلي بالماء على حسب المدة المطلوبة لأجراء الاختبارات ، والجدول (2.3) يوضح نتائج كسر المكعبات الخرسانية بعد اختبارها.

5 خصائص الايبوكسي والالياف الكربونية:

في هذا البحث ، تم استخدام الياف الكربون منتج سيكا من نوع SikaWrap-160 C160 ثنائية الاتجاه (90/0) درجة BI C/15 ، للتعزيز الخارجي. بما أن الألياف موجهة في الاتجاه الطولي والعرضي ، فإنها تُسمى بنظام النسيج ثنائي الاتجاه. تم استخدام نظام Sikadur-330 epoxy كمواد لاصقة في نظام التعزيز المركب. تم ربط شرائط الألياف بسطح الخرسانة باستخدام نظام الايبوكسي ثنائي المكونات. تظهر خصائص الراتنجات أو الايبوكسي في الجدول 3.

جدول (3): Sikadur-330

الاستطالة عند الكسر(%)	الشد(N/mm2)	الكثافة (kg/lite	قوة الشد (N/m2)
0.9	4500	3800	30

كانت ألياف الكربون المستخدمة في هذا البرنامج البحث علي شكل ألياف ليفية ثنائية الاتجاه جافة وتم توجيه الألياف في اتجاه X و Y (الشكل 5) المنتج متوفر في لفة بعرض 600 ملم وطول 50 م . السمك لورقة ثنائي الاتجاه CFRP هو أقل من ورقة الألياف أحادية الاتجاه وتم جدولة خصائص المواد في

الجدول 4 و الشكل 5 ثم تم تحديد قيم قوة الشد ، معامل المرونة من خلال اختبار الشد لعينات CFRP من قبل مختبر أبحاث EMPA سويسرا .Sika Date Sheet

جدول (4): SikaWrap-160 BI C/15

معامل الشد للمرونة (%)	الشد(N/mm2)	السمك (kg/lite)	اتجاه الألياف
230000	3800	/0.0046 اتجاه	90/0 (ثنائي الاتجاه)

الشكل 5: SikaWrap-160 BI C/15

6.إعداد وتجهيز سطح الخرسانة لاستقبال ألياف الكاربون (Surface Preparation):

في هذه المرحلة سوف نتحدث عن كيفية تطبيق شرائط ألياف الكاربون علي الكمرات الخرسانية المسلحة، حيث يتكون من اربع كمرات ، كمرتين سوف تؤخذ كمرجعية اما باقي الكمرات سوف يتم تغليفها بشرائط الياف الكربون حيث جميع الكمرات سوف يتم اختبارها حتي الفشل .

و للحصول على ترابط وتماسك قوي بين سطح الخرسانة المراد تغليفها وبين ألياف الكربون يجب ان يكون سطح الخرسانة خالياً تماماً من أي مواد عالقة به كالغبار او أي شوائب اخرى وأن يكون مستوياً وغير خشن، ولا يوجد به أي نتوءات أو فراغات .

وفي هذه الدراسة، للحصول على ترابط قوي بين سطح الخرسانة و شرائط الكاربون تم تجهيز سطح عينات الكمرات الخرسانية وفق الخطوات التالية :

1. تم ترك جميع العينات مدة لتجف تماماً بعد عملية المعالجة بالمياه قبل وضع الأيبوكسي عليها .
2. تسوية السطح قبل وضع الياف الكاربون عليه باستخدام القشاطة كم في الشكل (6).
3. تنظيف الغبار بعد الخطوة السابقة بالهواء المضغوط.

الشكل 6: تسوية السطح قبل وضع الياف الكاربون

7.خطوات إلصاق ألياف الكاربون (Bonding OF FRP Sheet Procedures):

اولاً يتم قص وتجهيز شرائح ألياف الكاربون بالطول و العرض المطلوبين باستخدام المقص حيث كان عرض الشريط 80 ملم وطول 200 ملم للتغليف منطقة القص ، وعرض 100 ملم وطول مناسب لتغطية منطقة الانحناء وذلك علي حسب المواصفات الامريكية، بعد ذلك يتم التأكد من تنظيف سطح العينة الخرسانية، يتم خلط مركبي مادة الأيبوكسي المركب 1 مع المركب 2 بنسبة (1:4) بالوزن، ويتم الخلط في زمن لا يقل عن 5 دقائق حتى يصبح الخليط متجانس . كما في الشكل (7).

شكل 7: خلط مركبي الأيبوكسي

يتم وضع مادة الأيبوكسي على السطح المستهدف من العينة الخرسانية باستخدام الفرشاة بعد ذلك يتم وضع شرائط ألياف الكاربون بعناية على السطح الخرساني المستهدف بعد أن تم قصها وتجهيزها ويتم الضغط على ألياف الكاربون بواسطة الرولة للتخلص من أي فراغات ولضمان التصاقها مع سطح الخرسانة ، وتترك العينات مدة 48 ساعة للتأكد من التصاق الشرائط وثبات مادة الأيبوكسي تماماً كم في الشكل (8) .

شكل 8: العينة بعد 48 ساعة من وضع ألياف الكاربون عليها

8. طريقة اجراء الاختبار :

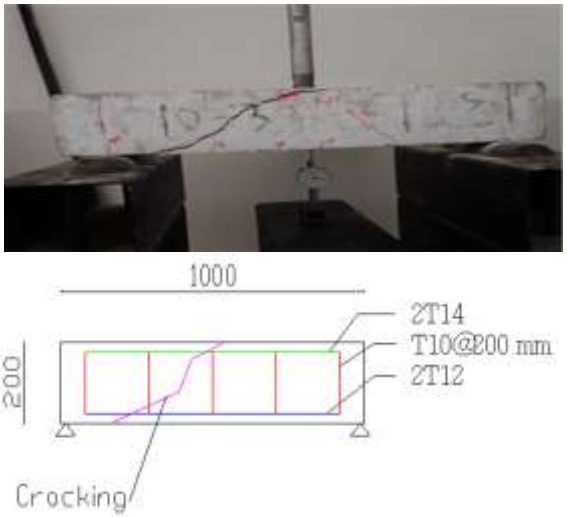
اولاً اختبار مقاومة الانحناء : تم إخضاع عدد 2 من الكمرات الخرسانية إلي اختبار الانحناء حيث كانت واحدة مدعمة بشرائط ألياف الكربون و الاخرى غير مدعمة (مرجعية) و كان التحميل تدريجياً وتسجيل قراءات الحمل و الترخيم مع كل زيادة في الحمل .

ثانياً اختبار مقاومة القص : تم إخضاع عدد 2 من الكمرات الخرسانية إلي اختبار القص حيث كانت واحدة مدعمة بشرائط ألياف الكاربون و الاخرى غير مدعمة (مرجعية) وكان التحميل تدريجياً وتسجيل القراءات مع ملاحظة ظهور التشققات عند كل زيادة في الحمل وتم وضع جميع الكمرات علي جهاز (Magnus Fram) لاختبارها.

9. نتائج المعمل:

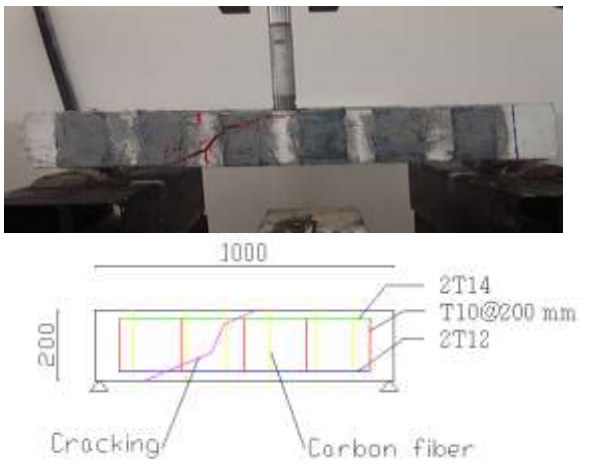
1.9. الحمل الاقصى ونمط الفشل :

اولاً العينة (ك 1) : جُهزت العينة حيث كانت مصممة للفشل في القص وكانت من ضمن العينات المرجعية بدون تغليف بألياف الكربون، فكان اول ظهور للتشققات كان عند حمل (10 كيلو نيوتن) اي بنسبة 26.3% من الحمل الأقصى، اي ان الحمل الأقصى التي كان عندها الفشل (38 كيلو نيوتن) ووجد ان نمط الفشل هو (انهيار قص). شكل 9 يوضح نمط فشل للعينة.



شكل 9: يوضح نمط الفشل للعينة (ك1)

ثانياً العينة (ك 2) : جُهزت العينة حيث كانت مصممة للفشل في تشققات القص حيث لوحظ الفشل عند الحمل (58 KN) ، وكانت من ضمن العينات المغلفة بألياف الكربون ، وكان اول ظهور للتشققات عند الحمل (35 كيلو نيوتن) اي بنسبة 60.3 % من الحمل الأقصى ، وكانت نسبه التحسين في القص حوالي 53% من العينة المرجعية حيث ان نمط الفشل كان (انهيار قص و تمزق الكربون) . الشكل 10 يوضح نمط الفشل للعينة (ك 2).



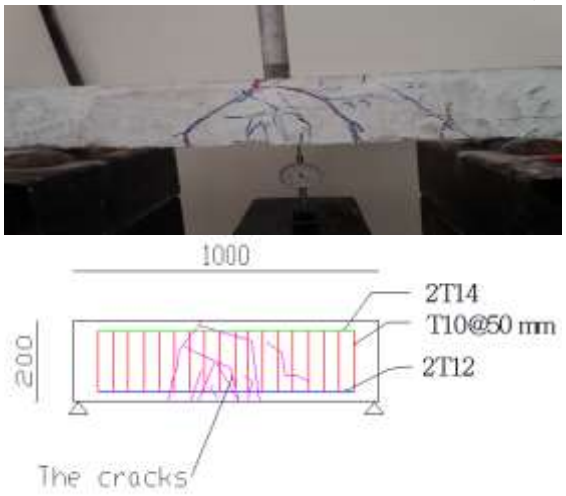
شكل 10: يوضح نمط الفشل للعينة (ك2)

ثالثاً العينة (ك 3) : جُهزت العينة حيث كانت مصممة للفشل في الانحناء وكانت من ضمن العينات المرجعية بدون تغليف بألياف الكربون وبعد اختبارها كانت النتائج كالاتي :

الحمل الاقصى (70 كيلونيوتن) .

نمط الفشل (انهيار انحناء) .

اول ظهور للتشققات كان عند حمل (25 كيلونيوتن) اي 35 % من الحمل الاقصي . الشكل 11 يوضح نمط الفشل للعينة (ك 3) .



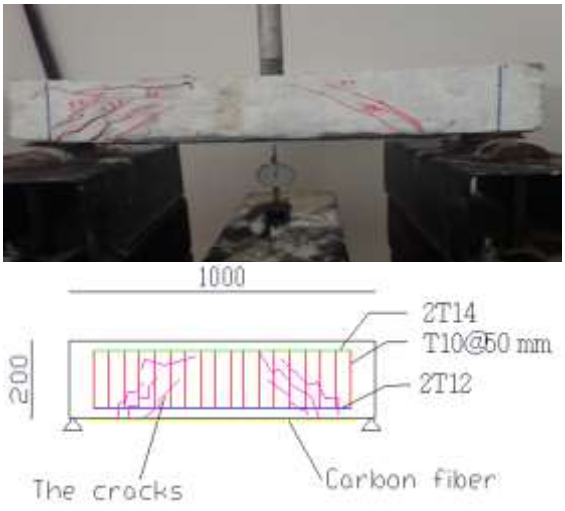
شكل (11): يوضح نمط الفشل للعينة (ك3)

رابعاً العينة (ك 4) : جُهزت العينة حيث كانت مصممة للفشل في الانحناء وكانت من ضمن العينات المغلفة بألياف الكربون وبعد اختبارها كانت النتائج كالاتي :

الحمل الاقصى (86 كيلو نيوتن)

نمط الفشل (انهيار انحناء) كما في الشكل 12

اول ظهور للتشققات كان عند حمل (58 كيلو نيوتن) اي بنسبة 67.4 % من الحمل الأقصى حيث اي نسبة التحسين للكربون فايبر في الانحناء حوالي 23 %.



شكل 12: يوضح نمط الفشل للعينة (ك4)

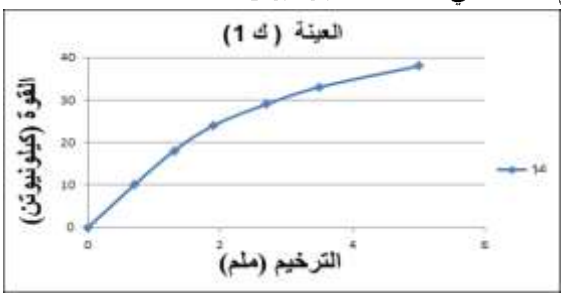
2.9. العلاقة بين الحمل و الترخيم

المقارنة بين سلوك العينات المرجعية (الغير مدعمة بألياف الكربون)، و سلوك العينات المدعمة بألياف الكربون، حيث أثبتت تحسن ملحوظ في مقاومة الانحناء و القص عند استخدام الياف الكربون مقارنة بالعينات المرجعية(غير مغلفة)

3.9 دراسة سلوك عينات القص:

اولاً العينة المرجعية غير مغلفة :

كما هو موضح في الشكل (5.4) للعينة (ك1)، أظهر السلوك الأولي للمنحنى سلوكًا مرنًا خطيًا في بداية الاختبار. ومع ذلك ، عندما بلغت القوة 23 كيلو نيوتن ، تغير ميل المنحنى واتجه نحو التصرف غير الخطي نتيجة لتطور وانتشار تشققات القص والانحناء. تم قياس أقصى انحراف او ترخيم للكمرة بحوالي 5 ملم عند اقصي حمل 38 كيلو نيوتن.

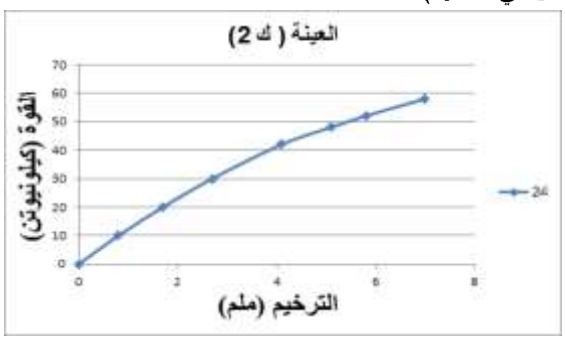


شكل (12): سلوك القص للعينة (ك 1) الغير مدعمة

ثانياً العينة المغلفة بألياف الكربون :

بالنسبة للكمرة ك2، كان الحد الأقصى للترخيم المسجل 7 ملم عند اقصي حمل 85 كيلو نيوتن.

كانت قيمة الانحراف او الترخيم هذه أعلى بشكل هامشي من الكمرة المرجعية بمقدار 2 ملم او بزيادة 40% يشير هذا الاختلاف إلى أن وجود شرائط الياف الكربون (ضمن نطاق القص في الكمرة).

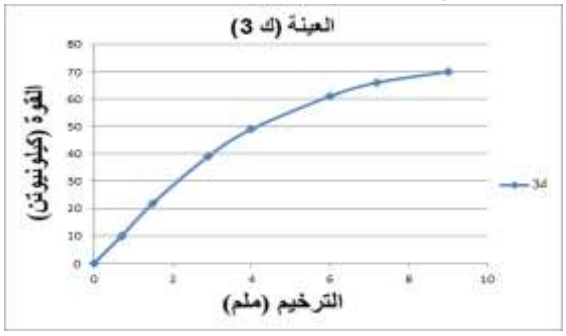


شكل 13: سلوك القص للعينة (ك 2) المدعمة بألياف الكربون

4.9 . دراسة سلوك عينات الانحناء:

اولاً العينة المرجعية الغير مغلفة :

بالنسبة للكمرة المرجعية (ك3)، أظهر المنحنى في البداية سلوكًا خطيًا حتى عند القوة حوالي 50 كيلو نيوتن ، عندما بدأت الكمرة تتصرف بطريقة غير خطية (سلوك مرن–بلاستيكي) حتى تم الوصول إلى فشل الكمرة عند القوة 70 كيلو نيوتن . تم تسجيل الحد الأقصى للانحراف الذي تحقق عند الفشل بحوالي 9 ملم كما موضح في الشكل (14).

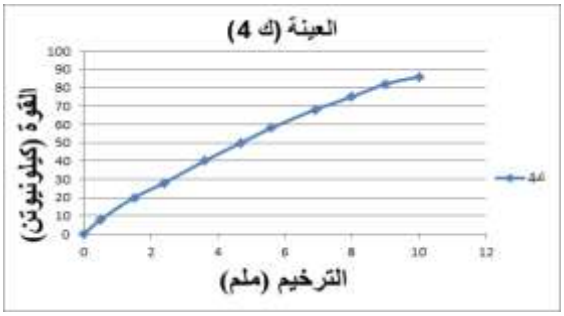


الشكل 14: سلوك الانحناء للعينة (ك 3) الغير مدعمة

ثانياً العينة المغلفة بألياف الكربون :

العينة (ك 4)، أظهرت بداية منحنى الحمل–الانحراف سلوك خطي يصل إلى قوة القص حوالي 27 كيلو نيوتن. ومن بعد هذه القوة، بدأ المنحنى في تغيير اتجاه ميله ، مما يشير إلى سلوك غير خطي حتى الفشل في القوة البالغة 86 كيلو نيوتن. تم تسجيل الحد الأقصى للانحراف المسجل عند الفشل 10 مم مع زيادة بنسبة 11.11٪ أكثر من الكمرة المرجعية (انظر الجدول

4). بخلاف ذلك ، سجلت الكمرة ك4 أيضاً قيمة قوة أعلى من الكمرة المرجعية من خلال إظهار زيادة قدرها كيلو نيوتن 16 أو 22.85 %.يدعم هذا الاتجاه الحجة القائلة بأن تعزيز تقوية الكمرة باستخدام شرائط الياف الكربون او CFRP يمكن أن يحسن صلابة وقوة الكمرة.



الشكل 15: سلوك الانحناء للعينة (ك 4) المدعمة بألياف الكربون

جدول 4: جدول يبين نتائج الاختبار

رمز العينة	نوع الياف البوليمر	عدد طبقات التغليف	الحمل الاقصي kn	مساهمة الياف الكربو kn	تحسين في القص والانحناء %	الترخيم عند اقصي حمل mm	شكل الانهيار
1ك	بدون تدعيم عينة مرجعية	بدون تغليف	38	-	-	5	انهيار قص
2ك	بدون تدعيم عينة مرجعية	بدون تغليف	70	-	-	9	انهيار انحناء
3ك	الياف الكربون ثنائي الاتجاه	1	58	20	53	7	انهيار قص وتمزيق الكربون
4ك	الياف الكربون ثنائي الاتجاه	1	86	16	23	10	انهيار انحناء

الاستنتاج

تم إجراء هذا البحث للتحقق من سلوك القص والانحناء للكمرات البسيطة للخرسانة المسلحة المقواه بشرائط الياف الكربون ثنائية الاتجاه. مجموع 4 كمرات مسلحة تم تجهيزها واختبارها في مختبر الهندسة المدنية التابع لجامعة عمر المختار. هذه الشرائط تم تغليفها خارجيا للكمرات علي طول منطقة القص والانحناء لتحسينهما.

1- الياف الكربون المعززة خارجيا تزيد من قوة القص والانحناء في الكمرات الخرسانية المسلحة المغلفة. بالنسبة للكمرات التي تم اختبارها في المعمل، الزيادة في تحسين مقاومة القص والانحناء تتراوح 23- 53 % اكبر من الكمرات المرجعية.

2- نمط الفشل للكمرات المرجعية (القص) انهيار القص و (الانحناء) انهيار الانحناء، بينما باقي الكمرات المغلفة بشرائط الياف الكربون(للقص) هو تمزق الكربون و(الانحناء) انهيار الانحناء. لا يوجد انسلاخ حدث للكربون من سطح الخرسانة وذلك بسب ان الالياف الكربون ثنائية الاتجاه وليست احادية.

3- في الكمرات المغلفة بشرائط الياف الكربون لوحظ زيادة في الترخيم مقارنة بالكمرات المرجعية (الغير مغلفة)، حيث وجد نسبة الزيادة في الكمرات المنهارة بسبب القص (المغلفة) حوالي 40 % مقارنة بالكمرات المرجعية، اما الكمرات المنهارة بسبب الانحناء (المغلفة) حوالي 11.11 % مقارنة بالكمرات المرجعية. مما يدل علي ان شرائط الياف الكربون تزيد من نسبة تحمل الكمرات للإجهادات المسلطة عليها.

المراجع

[1]- بيار ج.م وبختار ع.م (2010).تأثير التقوية الخارجية بشرائط من ألياف البوليمر علي مقاومة القص في العتبات الخرسانية المسلحة. مجلة جامعة كركوك – الدارسات العلمية المجلد (5)- العدد (1).

[2]- ابوقاسم م.ا و عمران ك.م (2016).اختبارات علي سلوك الانحناء بالكمرات الخرسانية المدعمة بألياف البوليمر. المجلة الجامعة العدد الثامن عشر. المجلد الثالث، جامعة طرابلس ليبيا

[3]- الموصفات القياسية الليبية (رقم340) للإسمنت البورتلاندي، المركز الوطني للموصفات والمعايير القياسية، سنتة 1972م

[4]- الموصفات القياسية الليبية (رقم49) لركام الخرسانة من مصادرة الطبيعية، المركز الوطني للموصفات والمعايير القياسية، سنتة 2002م

[5]- Sika Kimia Sdn Bhd. (2009). Sikadar-330:2-Part Epoxy Impregnation Resin. Malaysia, P.2