

سلوك العتبات الخرسانية المسلحة بشرايح ألياف الكربون

حلا جاسم محمد الحمداني
مدرس مساعد

أ.د. بيار جعفر السليفاني
أستاذ

جامعة الموصل / كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

تعددت الطرق والوسائل لزيادة قابلية تحمل المنشآت الخرسانية فقد استخدمت تقنية حديثة تمثلت باستخدام قضبان من ألياف الكربون كتسليح داخلي بدلاً من التسليح الاعتيادي نظراً إلى خصائصها المتعددة التي تجعلها مفضلة على معدن الحديد أهمها عدم إصابتها بالصدأ. إذ تم في هذا البحث دراسة سلوكية عتبات خرسانية مسلحة بشرايح من الألياف الكربونية بدلاً من قضبان التسليح. إذ تم وضع شرايح من ألياف الكربون بطبقة واحدة وبطبقتين عند منطقة الشد لتلك العتبات وبعرض مختلف لتلك الشرايح بدل التسليح الاعتيادي لدراسة سلوكية تلك العتبات من ناحية قابلية التحمل وشكل الفشل وتأثير زيادة عدد الشرايح في زيادة الاحتكاك بين الخرسانة وشرايح الألياف الكربونية في زيادة تحمل العتبة. بعد إجراء الفحوصات اللازمة أظهرت النتائج عن وجود مساهمة فعالة ودور واضح لشرايح الألياف الكربونية في زيادة مقاومة التحمل للأعضاء الخرسانية وتقليل الأود إضافة إلى تحسين سلوكية العتبات وزيادة صلابة ومطيلية تلك العتبات وينسب مختلفه تعتمد على زيادة إجهادات الربط لشرايح الألياف الكربونية مع الخرسانة المحيطة بزيادة عدد الشرايح وتقليل عرضها، إضافة إلى زيادة عدد الطبقات المستخدمة لتلك الشرايح.

Behavior of Carbon Fiber Sheets Reinforced Concrete beam

Dr. Bayar J. Al-Sulayfani
Professor

Hala Jassim AL Hamdany
Assistant Lecturer

Abstract

One of the new technologies used in increasing the bearing capacity of concrete structures is the replacing of standard (normal) reinforcement by bars made of carbon fibers making use of its properties, which gives an advantage by being antirust. In this research, an experimental study of the behavior of concrete beams reinforced with strips of carbon fibers, (one or two layers), in the tension zone of the beams, with a variable width is performed to study the behavior of the beams from the point of view of their flexural capacity, failure mode, and the effect of the friction between the concrete and the fiber strip on load failure. After conducting the tests, the results revealed that an effective contribution and an obvious role of carbon strips fiber in improving the members bearing capacity and the overall behavior, also increasing the stiffness and ductility at different rates depending on the bond stress and number of strips.

المقدمة

يسعى العديد من الباحثين والمهتمين ذوي الاختصاص إلى اللجوء إلى تقوية الاعضاء الخرسانية وزيادة تحملها لذلك فالزيادة في ابعاد مقاطع الاعضاء كانت وسيلة جيدة ولكنها في نفس الوقت تؤثر على ابعاد الفضاء وخاصة في حالة الجسور العميقة مما أدى إلى استخدام وسائل أخرى بديلة كزيادة نسبة التسليح في المقطع الخرساني أو استخدام التسليح مسبق الجهد [1].

رغم كل محاسن حديد التسليح وفوائده إلا انه لا يخلو من المشاكل منها ثقل وزنه، ومشكلة الصدأ حال تعرض معدن الحديد إلى الرطوبة، الخ. لذا اتجه المختصين إلى البحث عن مواد بديلة يتلائم استعمالها مع جميع المنشآت ومع جميع الظروف الجوية التي يتعدى فيها استخدام معدن الحديد.

فقد تم استخدام الألياف الكربونية بديلاً عن حديد التسليح لما تمتلكه من خواص وميزات تجعلها مفضلة على معدن الحديد منها مقاومتها للرطوبة وللأكل والحرارة والظروف القاسية والعامل الكيميائي، فضلاً عن خواصها الفيزيائية وسهولة استعمالها، [1] كما وإنها تتميز بان لها قابلية تحمل جيدة وتمتلك قابلية على الاستطالة، لذا تم استعمال هذه الألياف في عملية تصليح وترميم وإعادة تأهيل المنشآت الخرسانية القديمة المتضررة ببعض الكوارث (كالزلازل)، [2,3] واقتصر استخدام هذه الألياف في التغليف من الخارج. لقد تم التركيز في هذا البحث على استخدام شرائح الألياف الكربونية في التسليح الداخلي كتسليح رئيسي أو مساعد في الأعتاب الخرسانية المسلحة إذ استخدمت بشكل شرائح صغيرة مثبتة في منطقة الشد بدلاً من قضبان التسليح.

الهدف من البحث

الهدف الرئيسي لهذا البحث هو معرفة تأثير التسليح الداخلي بشرائح من الألياف الكربونية على سلوكية العتبات الخرسانية ومعرفة تأثير مساحة الربط بين الألياف الكربونية والخرسانة المحيطة على قابلية التحمل للعتبات الخرسانية وعن اعتماد هذا التسليح في تحسين أداء هذه الأعضاء الإنشائية

1. المواد المستخدمة

1.2: الإسمنت: الإسمنت المستخدم هو إسمنت اعتيادي (O.P.C)، مُصنَّع بموجب المواصفة القياسية العراقية (IQS:No5) لسنة (1984) [4] المنتج في معمل بادوش والجدول (1) يوضح التحليل الكيميائي أما الجدول (2) فيوضح التحليل الفيزيائي للإسمنت المستخدم ومقارنتها مع حدود المواصفة.

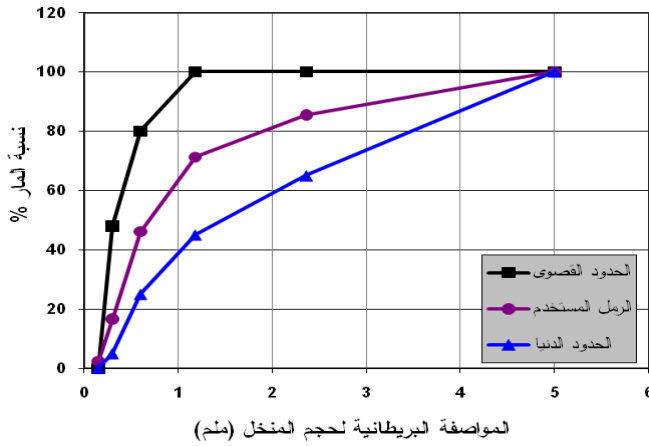
2.2: الماء: استُخدم ماء الشرب الاعتيادي الخالي من الشوائب.

الجدول (1): يوضح التحليل الكيميائي للإسمنت المستخدم ومركباته الرئيسية [4]

حدود المواصفة (IQS:5/1984)(%)	النسبة المئوية (%)	أكاسيد عناصر الاسمنت
3-8	5.6	أكسيد الألمنيوم Al_2O_3
17-25	21.52	أكسيد السليكا SiO_2
0.5-6	2.74	أكسيد الحديد Fe_2O_3
60-67	62.55	أكسيد الكالسيوم CaO
لا يزيد عن 2.8 %	2.54	ثلاثي أكسيد الكبريت SO_3
لا يزيد عن 5%	3.23	أكسيد المغنيسيوم MgO
مركبات الاسمنت الرئيسية		
31.03-41.05	36.44	ثلاثي سليكات الكالسيوم C_3S
28.61-37.9	34.20	ثنائي سليكات الكالسيوم C_2S
11.96-12.3	12.07	ثلاثي ألومينات الكالسيوم C_3A
7.72-8.02	7.98	رباعي ألومينات الكالسيوم الحديدية C_4AF

الجدول (2): يوضح التحليل الفيزيائي للإسمنت المستخدم [4]

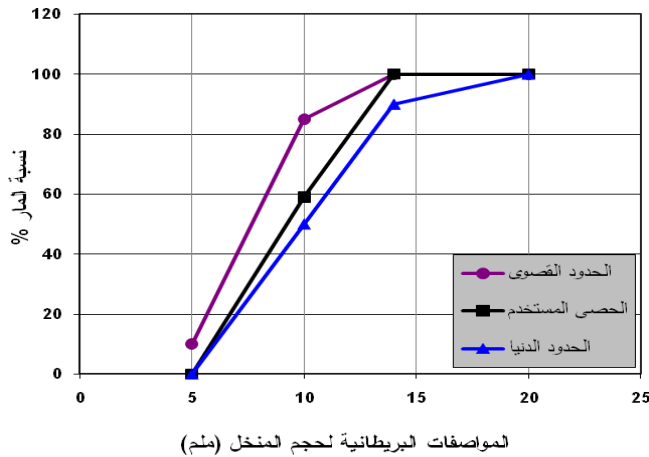
الخصائص	نتيجة الفحص	حدود المواصفة (IQS:5/1984) (%)
النعومة (نسبة المتبقي على منخل رقم 170)	2 %	لا تزيد عن 10 %
وقت التماسك		
الابتدائي (دقيقة)	140	لا تقل عن 45 دقيقة
النهائي (دقيقة)	385	لا تزيد عن 600 دقيقة
مقاومة الانضغاط (MPa)		
3 أيام	19.22	لا تقل عن (16 MPa)
7 أيام	27.88	لا تقل عن (24 MPa)
مقاومة الشد (MPa)		
3 أيام	1.8	لا تقل عن (1.6 MPa)
7 أيام	2.5	لا تقل عن (2.4 MPa)



3.2: الركام الناعم (الرمل):

الرمل المستخدم رمل نهري ذو معامل نعومة (2.8) ومطابق للمواصفات البريطانية (BS 882:1992) [5,6]، والشكل (1) يبين نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم.

الشكل (1): يوضح التحليل المنخلي للركام الناعم المستخدم



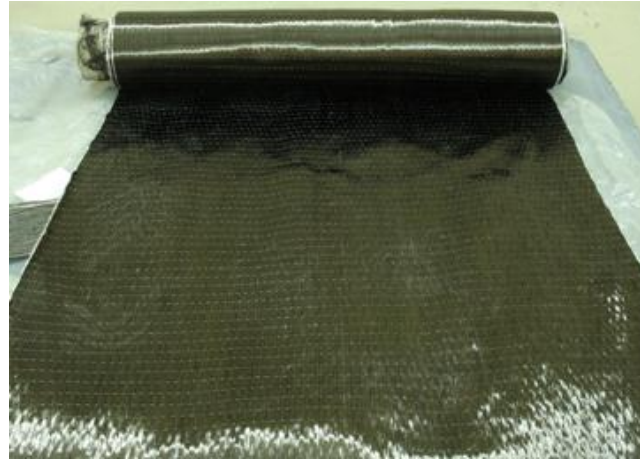
4.2: الركام الخشن (الحصى):

تم استخدام الحصى النهري المحلي المدور وبمقاس أقصى (10mm)، والشكل (2) يوضح تدرج الحصى والمطابق للمواصفات البريطانية [5,6] (BS 882:1992)

الشكل (2): يوضح التحليل المنخلي للركام الخشن (الحصى)

5.2: ألياف الكربون (CFRP) وخواصها

تم استخدام ألياف الكربون من نوع (Sika Wrap Hex-230C) [7]. والشكل (3) يوضح شكل هذه الألياف، والجدول (3) يبين خصائص الألياف الفيزيائية [7]. وهذه النوعية من الألياف لها القابلية الجيدة على تقوية المنشآت الخرسانية المسلحة، وكذلك أعمال الطابوق وألواح الخشب المستخدمة في البناء في مقاومة القص والانثناء.



الشكل (3): يوضح شكل ألياف الكربون (Sika Wrap Hex-230C)

الجدول (3): يوضح الخصائص الفيزيائية لألياف الكربون (Sika Wrap Hex-230C) [7].

1-	Fiber type	high strength carbon fibers
2-	Fiber orientation	0° (unidirectional)
3-	Construction	Warp: Carbon fibers(99% of total a real weight) Weft: Thermoplastic heat-set fiber (1% of total a real weight)
4-	Areal weight	10gm/m ² ± 220gm/m ²
5-	Fiber density	1.78 gm/cm ³
6-	Fabric design thickness	0.12mm (Based on total carbon content)
7-	Tensile strength of fiber	4,100N/mm ² (nominal)
8-	Tensile E- modulus of fibers	231,000 N/mm ² (nominal)
9-	Strain at break of fibers	1.7% (nominal)
10-	Fabric length /roll	>= 50m
11-	Fabric width	300/600 mm
12-	Shelf life	2 years from Date of production
13-	Package	1 roll in card board box

3- الخلطة الخرسانية

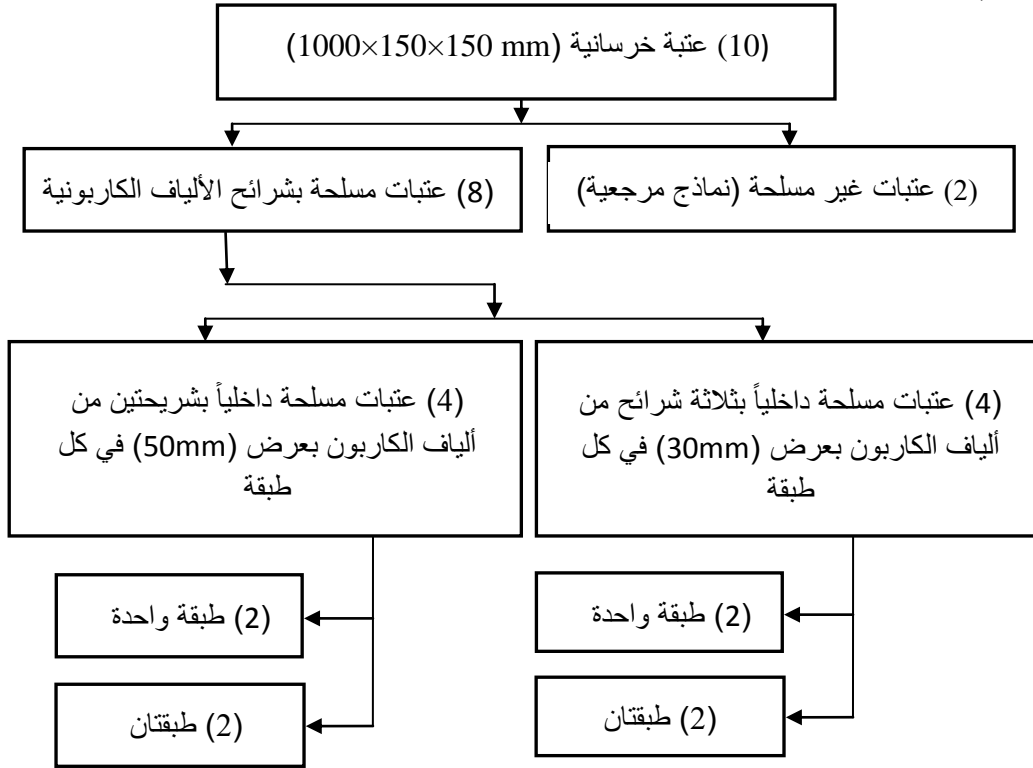
تم اختيار المقاومة التصميمية للخلطة الخرسانية المستخدمة في صب العتبات الخرسانية بحدود (28MPa) عند عمر (28) يوماً وتم الحصول على هذه المقاومة بعد القيام بصب العديد من الخلطات التجريبية وبنسب مختلفة للمكونات الخرسانية وبهطول يتراوح بين (100-120mm) وبعد فحص الاسطوانات القياسية وبأبعاد (150*300mm) وحسب المواصفة الأمريكية (ASTM C39-04) [8] تم اختيار الخلطة الخرسانية (سمنت:الرمل:الحصي:الماء) حسب النسب الوزنية (1:1.75:2.9:0.46) وبمعدل مقاومة انضغاط (28MPa) بعمر (28) يوماً وبمعدل هطول (100mm). وهي الخلطة المعتمدة في هذا البحث.

4. تحضير النماذج

تم إعداد (10) أعتاب خرسانية بطول (1m) وعرض (150mm) وارتفاع (150mm)، اثنان منها غير مسلحة باعتبارها نماذج سيطرة، أما ما تبقى من العتبات فقد استخدم فيها التسليح الداخلي بشرائح ألياف الكربون وقسمت اعتماداً على عرض شرائح ألياف الكربون وعدد طبقاتها المستخدمة كما موضح في الشكل (4)، إذ شملت الآتي:

سلوك العتبات الخرسانية المسلحة بشرايح ألياف الكربون

- 1- استخدمت (4) عتبات مسلحة بشريحتين من ألياف الكربون بعرض (50mm) في كل طبقة كما موضح في الشكل (5-a,b) اثنان منها مسلحة بطبقة واحدة من الألياف الكربونية واثنان منها مسلحة بطبقتين من الألياف.
- 2- استخدمت (4) عتبات مسلحة بثلاثة شرايح من ألياف الكربون بعرض (30mm) في كل طبقة كما موضح في الشكل (5-a,c), اثنان منها مسلحة بطبقة واحدة من الألياف الكربونية واثنان منها مسلحة بطبقتين من الألياف.



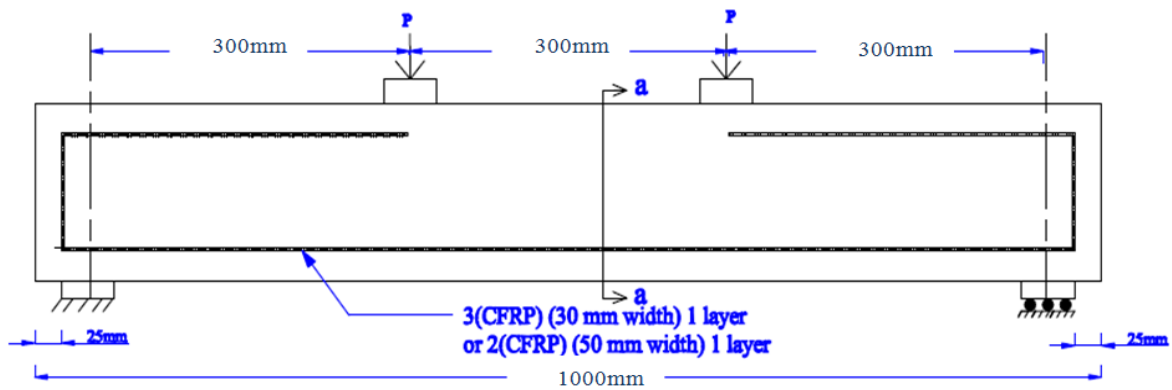
الشكل (4): يوضح مخططاً للنماذج المستخدمة في البحث

وقد تضمنت عملية إعداد النماذج وطريقة تثبيت شرايح الألياف الكربونية عدة خطوات تُستهل بتهيئة قوالب الصب بتنظيفها جيدا وطلاء الأوجه الداخلية بالزيت. ومن ثم تبدأ الخطوة الثانية إذ تتضمن تهيئة لمواد الخلطة الخرسانية إذ توزن جميع المواد وتوضع في المازجة ويقاس الهطول للخلطة ليبدأ صب الخلطة الخرسانية. أما الخطوة الثالثة شملت طريقة الصب داخل القالب فبالنسبة للنماذج المسلحة بشرايح الألياف الكربونية يتم وضع طبقة من الخلطة الخرسانية داخل القالب ويعمق مساويا لعمق الغطاء الخرساني الذي يساوي (25mm) ومن ثم رصها باستخدام الهزاز الكهربائي. يليها عملية تثبيت شرايح الألياف الكربونية فوق الخلطة الخرسانية ومن ثم توضع الخلطة الخرسانية فوق هذه الشرايح إلى حد الغطاء الخرساني العلوي لضمان تثبيت هذه الشرايح من الأعلى أيضا بجعل أطراف الشرايح الكربونية بشكل كلاب (Hook) وتثبيت الطول المتبقي منها في الأعلى. ويعود السبب في وضع الألياف بشكل كلاب (Hook) لضمان عدم حصول فشل بالربط (Bonding) أي لتوفير طول التثبيت الكافي بحيث يضمن عدم حصول انسحاب للألياف أثناء عملية تسليط الحمل للعتبة لتكون اقرب للحقيقة من حديد التسليح كما موضح في الشكل (5) يليها عملية صب القالب بالكامل ورصه. وأخيرا ترك النماذج لمدة (24) ساعة، ثم تفتح القوالب وتترك النماذج لمدة (28) يوماً للمعالجة بالماء ومن ثم فحصها.

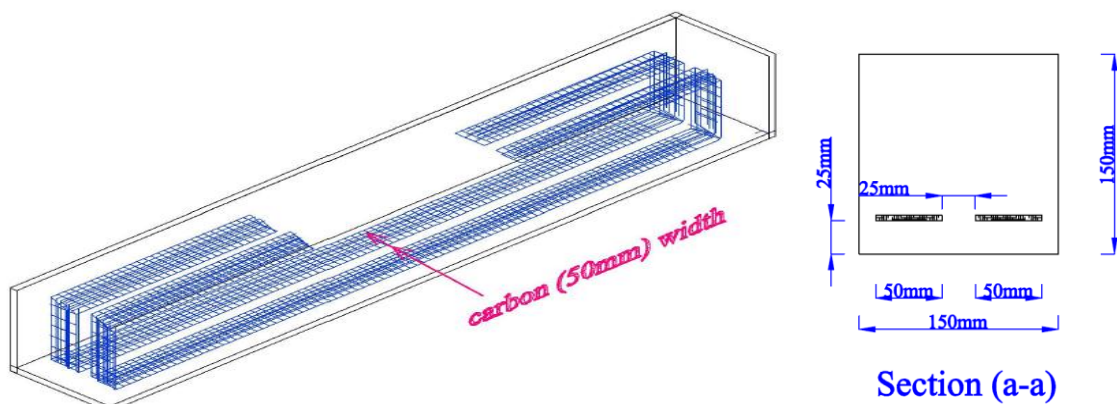
5. الفحوصات والقياسات المستخدمة في البحث

استخدام جهاز فحص هيدروليكي (Universal Test Machine) ذو سعة قدرها (500KN) لإجراء فحص نقطتين تحميل في الأعتاب الخرسانية والشكل (6) يوضح طريقة إجراء الفحص إذ أشتمل الفحص القياسات التالية.

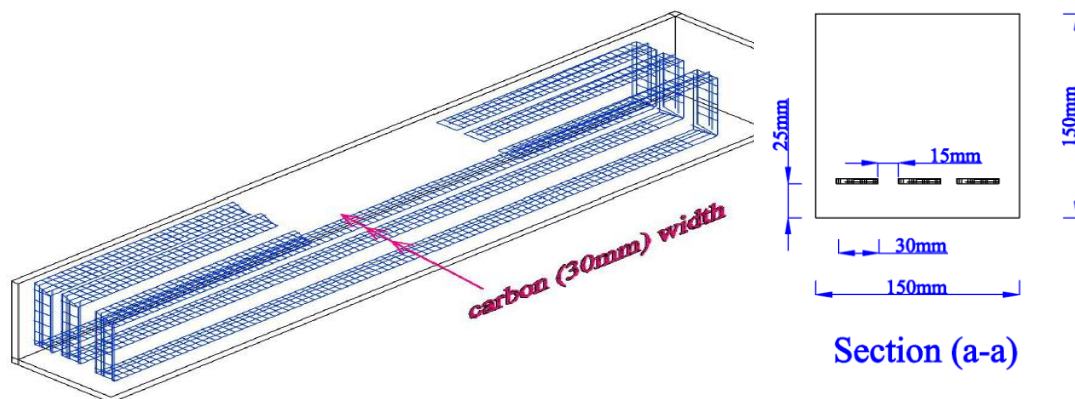
- 1- قياس قابلية التحمل للعتبات الخرسانية.
- 2- قياس الأود في وسط العتبة وذلك باستخدام مقياس قرصي مدرج (Dial gauge) بدقة (0.01mm).



(a): أبعاد وتفاصيل التسليح الداخلي للعتبة الخرسانية



(b): يوضح هيكل التسليح لنموذج من العتبات الخرسانية المسلحة بشريحتين من ألياف الكربون بعرض (50mm) في الطبقة وبطبقة واحدة



(c): يوضح هيكل التسليح لنموذج من العتبات الخرسانية المسلحة بثلاثة شرائح من ألياف الكربون بعرض (30mm) في الطبقة وبطبقة واحدة

الشكل (5): أبعاد وشكل تسليح العتبة الخرسانية ونموذج لهيكل التسليح داخلياً بألياف الكربون

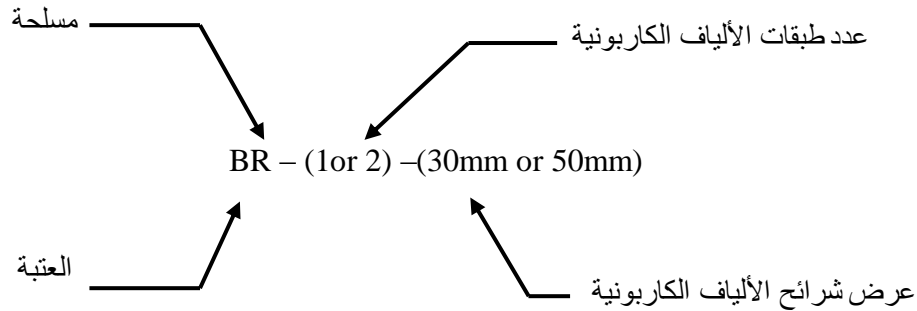


الشكل (6): يوضح جهاز فحص النماذج ونقاط التحميل في الأعتاب الخرسانية

6. النتائج والمناقشة

وشملت كل من:

1.6: دراسة تأثير التسليح بشرايح الألياف الكربونية على حمل الفشل للعتبات الخرسانية



الشكل (7): يوضح ترميز للعتبات الخرسانية المستخدمة

الشكل (7) يوضح ترميز للعتبات الخرسانية المستخدمة في هذا البحث. فحصت جميع العتبات بجهاز (Universal Test Machine) في مختبر فحص المواد في جامعة الموصل. إذ كان نوع الإسناد لهذه العتبات هو إسناد بسيط بفضاء (900mm) سلط الحمل مركزيا ومن ثم وزع على نقطتين تبعدان (150mm) عن منتصف العتبة من كل جهة. حيث ثبت المقياس لقياس الأود في وسط العتبة أخذت قراءات هذا المقياس عند كل معدل زيادة للحمل (1 كيلونيوتن). لوحظ أن الفشل الناتج عن تحميل هذه العتبات هو فشل انثناء لجميع النماذج.

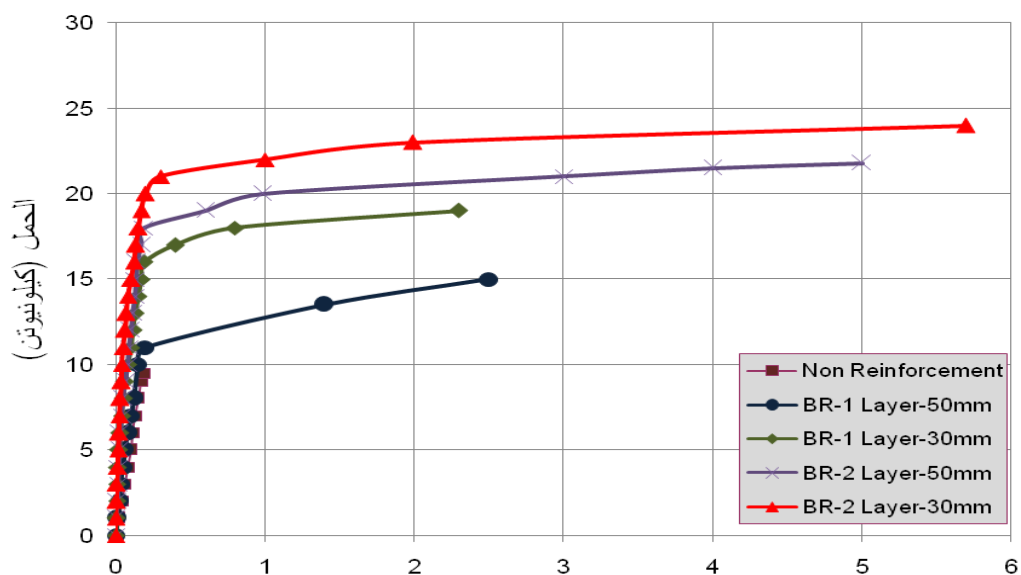
الجدول (4) يوضح نتائج الفحص إذ يبين نتائج أقصى حمل للعتبات عند الفشل والأود عند أقصى حمل كما يتبين من نتائج الفحص أن حمل الفشل للعتبات يزداد بفعل التسليح بشرايح الألياف الكربونية وان هذه الزيادة تعتمد بالدرجة الأولى على عدد طبقات شرايح الألياف الكربونية وعلى زيادة قوة الربط بين الخرسانة وتلك الشرايح من خلال تقليل عرض الشريحة الكربونية وزيادة عددها للطبقة الواحدة فتزداد قوة الاحتكاك بين الألياف والخرسانة المحيطة وبالتالي زيادة تحمل العتبة.

كما تظهر النتائج أن نسب الزيادة الحاصلة في حمل الفشل وما ينتج عنه من نقصان في الأود تبعاً للزيادة الحاصلة في عدد الطبقات والزيادة في عدد شرائح الطبقة الواحدة.

الجدول (4): يوضح مقدار الفرق في الحمل الأقصى فضلاً عن الفرق الحاصل في قيمة الأود للعتبات الخرسانية المسلحة بالألياف الكربونية مقارنة بالحمل الأقصى للعتبة غير المسلحة

النماذج	الأود Δ (ملم)	حمل الفشل (كيلونيوتن)	% نسبة الزيادة في حمل الفشل	الأود (ملم) عند الحمل (9.5) كيلونيوتن	% نسبة النقصان في الأود عند الحمل (9.5) كيلونيوتن
No Reinforcement	0.19	9.5	-----	0.19	-----
BR-1Layer-50mm	2.5	15.0	57.8	0.14	25.2
BR-2Layer-50mm	5.0	21.8	129.4	0.07	61.8
BR-1Layer-30mm	2.3	19.0	100.0	0.07	63.1
BR-2Layer-30mm	5.7	24.0	152.6	0.04	80.0

الشكل (8) يوضح منحنى علاقة (الحمل - الأود) للعتبات غير المسلحة والعتبات المسلحة داخلياً بطبقة واحدة وطبقتين من شرائح الألياف الكربونية ذي العرض (30mm,50mm). ويلاحظ من الشكل (8) أن منحنيات (الحمل - الأود) للعتبات المسلحة بالشرائح الكربونية تتكون من طورين الخطي الأول يبدأ بتحمل العتبة للأحمال المسلطة عليها وينتهي بظهور الشق الخرساني في منتصف العتبة (Crack) وعندها يبدأ الطور الثاني الذي يبدأ عنده الشق بالتوسع وحصول فشل الخرسانة مع استمرار تحمل الشرائح الكربونية إلى حين حصول انقطاع الشرائح وحصول الفشل النهائي. لوحظ أن استخدام الشرائح ساعد على تأخير ظهور الشقوق وتأخير الفشل الحاصل في العتبات وهذا مايفسر الزيادة في قيمة الحمل الذي يظهر فيه الشق الأول. كما ويمكن ملاحظة النقصان الحاصل في الأود نتيجة زيادة عدد الطبقات وزيادة الربط بين الألياف الكربونية والخرسانة بتقليل عرض الشرائح وزيادة عددها للطبقة الواحدة ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة قوة الاحتكاك بين تلك الشرائح الكربونية والخرسانة المحيطة بكل شريحة فتزداد إجهادات الربط (Bonding Stress) مسبباً زيادة حمل الفشل.



الأود منتصف العتبة (ملم)

الشكل (8): يوضح منحنى علاقة (الحمل - الأود) للعتبات غير المسلحة و المسلحة داخلياً بطبقة واحدة وطبقتين من شرائح الألياف الكربونية ذي العرض (30mm,50mm)

كما يمكن ملاحظة الزيادة الحاصلة في حمل الفشل والنقصان الحاصل في الأود بزيادة عدد طبقات الألياف الكربونية، إذ يوضح الجدول (5) أن نسب الزيادة الحاصلة في حمل الفشل وما ينتج عنه من نقصان في الأود عند استخدام طبقة واحدة من الألياف الكربونية كانت أكبر من الزيادة الحاصلة عند استخدام طبقتين من تلك الألياف.

الجدول (5): يوضح مقدار الفرق في كل من الحمل الأقصى والأود للعتبات الخرسانية المسلحة بالألياف الكربونية عند استخدام 3 شرايح بعرض 30mm مقارنةً بالعتبات ذات الشريحتان بعرض 50mm عند كل طبقة

النماذج	حمل الفشل (كيلونيوتن)	% نسبة الزيادة في حمل الفشل	الأود عند الحمل (9.5 كيلونيوتن)	% نسبة النقصان في الأود عند الحمل (9.5 كيلونيوتن)
BR-1Layer-50mm	15.0	26.7	0.14	50.7
BR-1Layer-30mm	19.0		0.07	
BR-2Layer-50mm	21.8	10.1	0.07	47.6
BR-2Layer-30mm	24.0		0.04	

2.6: دراسة تأثير التسليح بشرايح الألياف الكربونية على صلابة العتبات الخرسانية

لا يقتصر دور شرايح الألياف الكربونية على زيادة قوة تحمل العتبات الخرسانية مع النقصان في الأود وإنما تعمل ألياف الكربون على زيادة صلابة العتبات الخرسانية والمحسوبة بالاعتماد على الحمل الأقصى للعتبات وذلك بأخذ نسبة (45%) من الحمل الأقصى وتسقيطها على منحنى (الحمل-الأود) واستخراج قيمة الأود والتي تقابل مقدار هذا الحمل [9]، ومن قسمة مقدار الحمل على الأود الناتج يتم إيجاد صلابة العتبة الخرسانية، والجدول (6) يبين قيم الصلابة (Stiffness)(k) ومقدار الزيادة الحاصلة التي تزداد بزيادة عدد طبقات الألياف الكربونية.

الجدول (6): يوضح قيم الصلابة للعتبات الخرسانية

النماذج	عدد الطبقات	حمل الفشل (كيلو نيوتن)	الصلابة (k) (كيلونيوتن/ملم)
No Reinforcement	0	9.5	50.0
BR-1Layer-50mm	1	15.0	71.1
BR-2Layer-50mm	2	21.8	127.2
BR-1Layer-30mm	1	19.0	154.1
BR-2Layer-30mm	2	24.0	225.0

الجدول (6) يبين أن نسبة الزيادة الحاصلة في صلابة العتبات الخرسانية المسلحة داخلياً بالألياف الكربونية وبطبقة واحدة وبعرض (30mm) وصلت (116.8%) مقارنةً بالعتبات المسلحة بطبقة واحدة من الشرايح الكربونية وبعرض (50mm) وإن نسبة الزيادة قد انخفضت قليلاً لتكون (76.8%) عند استخدام طبقتين من شرايح الألياف الكربونية بعرض (30mm) مقارنةً بالعتبات التي أستخدم فيها شرايح بعرض (50mm).

3.6: دراسة تأثير التسليح بشرايح الألياف الكربونية على مطيلية ومتانة العتبات الخرسانية

يمكن ملاحظة الزيادة الحاصلة في المطيلية الحاصلة في العتبات الخرسانية المسلحة بشرايح الألياف الكربونية وبشكل واضح وخاصة بعد ظهور الشقوق في العتبات وتكون هذه الزيادة قليلة نوعاً ما قبل حدوث الشقوق. وهذه الزيادة تزداد مع زيادة عدد طبقات الألياف الكربونية. إذ يبين الجدول (7) المطيلية (Ductility) للعتبات الخرسانية الغير مسلحة والمسلحة داخلياً بالألياف الكربونية والمتمثلة بقابلية العتبة لامتصاص الطاقة إذ يمكن التعبير عنها بنسبة التشوه الأقصى إلى التشوه في نقطة الخضوع ($\mu = \Delta u / \Delta y$) [10]. كما ويوضح قيم المتانة للعتبات الخرسانية والمحسوبة من خلال حساب المساحة تحت منحنيات (الحمل - الأود).

الجدول (7): يوضح قيم المطيلية وطاقة الامتصاص للعتبات المستخدمة

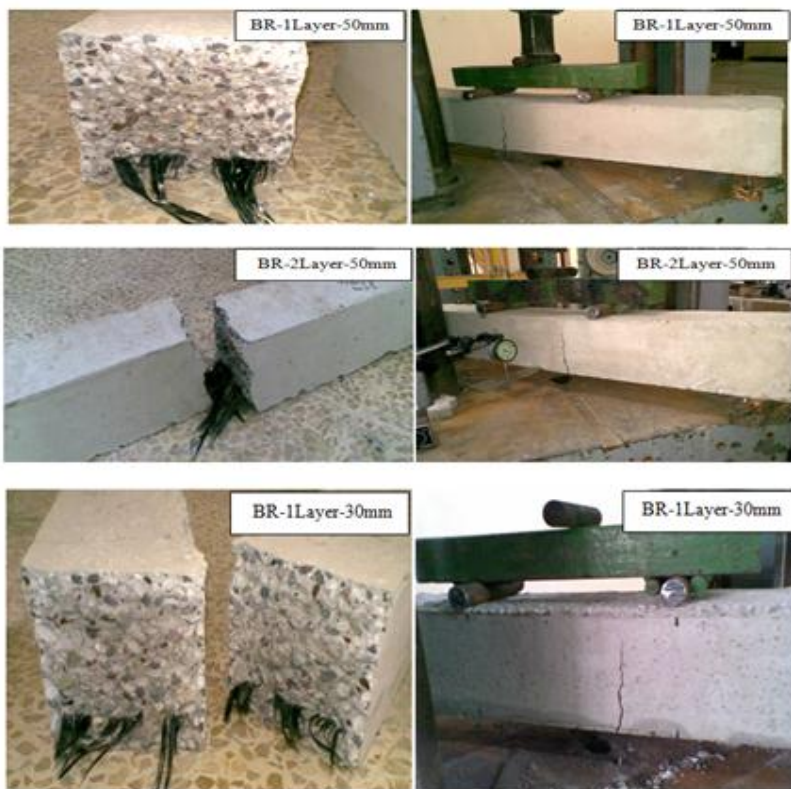
النماذج	عدد الطبقات	حمل الفشل (كيلونيوتن)	المطيلية (μ)	المتانة (المساحة تحت المنحني) (كيلونيوتن.ملم)
No Reinforcement	0	9.5	0.0	1.0
BR-1Layer-50mm	1	15.0	16.7	32.0
BR-2Layer-50mm	2	21.8	35.7	100.7
BR-1Layer-30mm	1	19.0	17.7	38.9
BR-2Layer-30mm	2	24.0	57.0	129.1

كما يبين الجدول أن نسب الزيادة الحاصلة في مطيلية ومتانة العتبات الخرسانية المسلحة داخلياً بالألياف الكربونية وبطبقة واحدة وبعرض (30mm) تساوي على التوالي (6.1%، 21.6%) مقارنة بالعتبات المسلحة بطبقة واحدة من الشرائح الكربونية وبعرض (50mm) وإن هذه النسبة ازدادت عند استخدام طبقتين من هذه الألياف لتكون (28.3%، 59.64%) على التوالي.

كما ويبين كل من الجدول (6) والجدول (7) الزيادة الحاصلة في كل من صلابة ومطيلية ومتانة العتبات الخرسانية المسلحة عند استخدام 3 شرائح بعرض 30mm مقارنة بالعتبات المستخدمة فيها شريحتان بعرض 50mm عند كل طبقة. ويعود السبب في ذلك إلى أن زيادة عدد الشرائح وتقليل عرضها يسبب زيادة إجهادات الربط المحيطة بكل شريحة من شرائح الألياف الكربونية مما يزيد من قوة الاحتكاك بين تلك الشرائح والخرسانة المحيطة مما يسبب زيادة في صلابة ومطيلية ومتانة العتبة الخرسانية وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة حمل الفشل لتلك العتبات.

4.6: دراسة تأثير التسليح بشرائح الألياف الكربونية على شكل الفشل للعتبات الخرسانية

فشل العتبات الخرسانية غير المسلحة كان فشلاً قسفاً وفجائياً (Brittle and Sudden Failure) لا يسبقه أي



الشكل (9): يوضح شكل الفشل للعتبات الخرسانية المسلحة داخلياً بألياف الكربون

تحذير حيث تفشل العتبة بظهور شق (Crack) في منطقة الانثناء نتيجة ضعف مقاومة الخرسانة لقوى الشد مقارنة بقوة الضغط إذ يمتد هذا الشق متجهاً إلى الأعلى كما يمتد على عرض العتبة مما يسبب كسر العتبة مسبباً حصول الفشل. أما العتبات المسلحة بشرائح الألياف الكربونية فقد كان الفشل مختلفاً إذ كان الفشل تدريجياً مع ظهور شق وسطي يبدأ بالاتساع بشكل تدريجي متجهاً إلى الأعلى وقبل وصول العتبة إلى الفشل النهائي تم تسجيل قيم أود عالية بسبب حصول الفشل للخرسانة مع بقاء الألياف تتحمل القوى المسلطة على العتبات. وأخيراً حصول الفشل النهائي وهو فشل انثناء أيضاً ولكن بشكل تدريجي إلى حين حصول انقطاع للألياف الكربونية أيضاً بين نقطتي التحميل. والشكل (9) يوضح شكل الفشل للعتبات الخرسانية المسلحة داخلياً بألياف الكربون.

7. الاستنتاجات

- من خلال الفحوصات المختبرية التي أجريت في هذه الدراسة، واستناداً على النتائج التي تم الحصول عليها خلصت الدراسة الحالية إلى الاستنتاجات الآتية:
- 1- إن لألياف الكربون قابلية جيدة على زيادة الحمل الأقصى للعتبات الخرسانية، فقد أسهمت في زيادة تحمل العتبات الخرسانية المسلحة بشرائح الألياف الكربونية بنسبة تتراوح بين (57.8% - 100% - 129.4% - 152.6%) مقارنة بالعتبات غير المسلحة، وهذه النسب تعتمد على عدد الطبقات من جهة وعلى عرض الشرائح وعددها في الطبقة الواحدة من جهة أخرى.
 - 2- كان للألياف الكربونية دور كبير في التقليل من قيمة الأود الحاصل وسط العتبة وعند قيم حمل معينة وإن نسبة النقصان في الأود قلت من النسبة (50.7%) إلى (47.6%) عند زيادة عدد طبقات الألياف الكربونية.
 - 3- إن استعمال ألياف الكربون في التسليح الداخلي كان لها دور مهم وفعال في زيادة صلابة ومطيلية وطاقة الامتصاص (المساحة تحت المنحني) للعتبات الخرسانية المسلحة بالألياف الكربونية وبنسب مختلفة اعتماداً على المتغيرات المأخوذة في البحث. كما ولوحظ أن نسبة الزيادة الحاصلة في صلابة العتبات المسلحة بطبقة واحدة من الألياف الكربونية تراوحت بين (42.2-208.2%) وزادت هذه النسبة وبشكل إيجابي عند العتبات المسلحة بطبقتين من الألياف لتكون (154.4-350%).
 - 4- أعطت الألياف الكربونية تغيراً واضحاً في أنماط الفشل الحاصلة في النماذج إذ تحول الفشل من فشل قصيف وفجائي بظهور شق وسطي إلى فشل تدريجي يبدأ بظهور الشق الوسطي واتساعه بشكل تدريجي بزيادة الأحمال المسلطة لحين حصول فشل الخرسانة مع استمرار تحمل الشرائح الكربونية لحين حصول انقطاع لهذه الشرائح وهذا يعود إلى المطيلية العالية التي تمتاز بها هذه الألياف.

References

المصادر

- [1] Lamanna, A.J., "Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Mechanically Fastened Fiber Reinforced Polymer Strips", Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 2002, 287pp
- [2] Wong, R.Sh., "Towards Modelling of Reinforced Concrete Members with Externally-Bonded Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites", MSc. Thesis, University of Toronto, 2001, 320pp.
- [3] Buell, T.W. and Saadatmanesh, H., "Strengthening Timber Bridge Beams Using Carbon Fiber", Journal of Structural Engineering, Vol. 131, No. 1, January, 2005, pp. 173-187.
- [4] المركزي للمواصفات القياسية العراقية (رقم 5)، (1984)، "خصائص الإسمنت البورتلاندي الاعتيادي"، الجهاز المركزي للقياس والسيطرة النوعية، العراق، 1984.
- [5] (BS 882 : 1983), "Aggregates from Natural Sources for Concrete", British Standards, Institute, London, 1983.
- [6] (BS.882-1992), "Aggregates from Natural Source for Concrete", British Standard Institution, 1992.
- [7] "Structural Strengthening With Sika Wrap Fabric System", Sika Services AGCH-8048 Zurich, Switzerland, p.415, www.Sika.com.
- [8] ASTM C39-04, "Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", American Society for Testing and Materials.
- [9] ACI committee 544.4R-88, "Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete", American Concrete Institute, 1999, pp.1-18.
- [10] Davies, P., Tanin, D.B. and Delpak, R., "Further Investigations in to the Ductility and Deformability of FRP Strengthened RC Elements", FRPRCS-8, University of Patras, Greece, Vol. 3, No. 11, July 2007, pp. 1-10.

تم إجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل