فعالية التدعيم بالبوليميرات المسلحة بالألياف

إشراف د. م منار تقلا

إعداد الطالبين

الياس ضاهر – مصطفى العبود

مقدمة

بدأ استخدام الألياف البوليميرية **FRP (Fiber Reinforced Polymer)** في تدعيم وتقوية العناصر الإنشائية منذ الستينيات من القرن الماضي عوضاً عن الأساليب التقليدية (القميص الخرساني– القميص المعدني) التي تعتمد على تكبير المقطع العرضي للعناصر المراد تدعيمها وما قد ينتج عن ذلك من تغيير في الأبعاد المعمارية للمنشأ غير مرغوبة في كثير من الأحيان. لذلك تم استعمال البوليميرات المسلحة بالألياف في تقوية العناصر الإنشائية المعدنية والخرسانية المسلحة المختلفة، كالبلاطات والجوائز والأعمدة والأساسات وغيرها. وتعني كلمة بوليمير مادة بلاستيكية ذات جزيء كبير يشكل من اتحاد جزيئات عديدة صغيرة بتموضع هندسي معين، من خلال عملية تصنيع مدروسة ومختبرة [1].

1. دراسات مرجعية:

تم إجراء العديد من الدراسات السابقة، ففي الدراسة التي قام بها Yang وآخرون [2]، لدراسة تأثير شكل المقطع العرضي، أظهرت النتائج أنه بالنسبة لعدد ثابت من طبقات FRP، يعتمد تأثير التطويق بشدة على شكل المقطع العرضي للعمود. وتبين أن نصف قطر الزاوية الصغير للمقطع العرضي يقلل بشكل كبير من القوة القصوى للتطويق المطبق بـ FRP بسبب تركيز الإجهاد في منطقة الزاوية، وبالتالي من المهم جداً تدوير حواف المقطع العرضي للأعمدة المربعة والمستطيلة لتكون فعالية التطويق أكبر.

قام Rousakis وآخرون [3] بدراسة 101 عمود خرساني ذو مقطع عرضي مربع تم تعرضها لأحمال ضغط محورية تدريجية. تم تغليف جميع العينات خارجياً باستخدام نسيج كامل (FRP sheet) زجاجي وكربوني، وكانت أبعاد جميع المقاطع($20 \times 20\ cm$). كانت للعينات سماكات مختلفة وعدد طبقات مختلفة كما هو مبين في الجدول (1) أبرزت النتائج أن المقطع الخرساني المربع يمكن أن يصل إلى مستويات مرتفعة من المقاومة والمطاوعة إذا تم تقوية العينات بشكل صحيح.

أجرى Wang وآخرون [4] اختبارات تجريبية على 108 من الأعمدة الخرسانية القصيرة على الضغط، تم تطويقها بالألياف الكربونية CFRP بسماكة ($\mathrm{tf} = 0.165\ \mathrm{mm}$). الأعمدة المختبرة بمقطع عرضي مربع بأبعاد ($15 \times 15\ cm$) وتدوير الحواف بنصف قطر يتراوح من (15 حتى 65 mm)؛ وكانت العينات مطوقة بطبقة وبطبقتين من الألياف. أبرزت النتائج أن التحسين في قوة الخرسانة المحصورة يتناسب مباشرة مع نصف قطر تدوير الحواف، وأن التغليف بزوايا حادة لم يوفر تحسيناً فعالًا في قوة العمود، بينما قدم تحسينًا في مطاوعة الأعمدة.

الجدول (1): نتائج الدراسات المرجعية السابقة

	$R\ (mm)$	ρ	n	ρ_f	$f_{co}(MPa)$	f_{cc}/f_{co}
Rousakiset al [3]	30	0.3	1	0.234	33.04	1.16
	30	0.3	1	0.234	33.04	1.17
	30	0.3	1	0.234	34.20	1.23
	30	0.3	3	0.234	34.20	1.23
	30	0.3	3	0.828	33.04	1.29
	30	0.3	3	0.828	33.04	1.27
	30	0.3	6	1.656	37.97	1.39
	30	0.3	6	1.656	37.97	1.38
Wang and Wu [4]	15	0.20	1	0.440	31.90	1.05
	30	0.40	1	0.440	32.30	1.23
	45	0.60	1	0.440	30.70	1.43
	60	0.80	1	0.440	54.10	1.57
	-----	1.00	1	0.440	30.90	1.80
	15	0.20	2	0.880	31.90	1.32
	30	0.40	2	0.880	32.30	1.75
	45	0.60	2	0.880	30.70	2.22
	60	0.80	2	0.880	54.10	2.48
	-----	1.00	2	0.880	30.90	2.74

حيث:

n: عدد طبقات ألياف الكربون.

t_f: سماكة طبقة الألياف.

ρ_f: النسبة الحجمية لألياف الكربون.

ρ: نسبة نصف القطر لطول العينة $\rho = \frac{2r}{l}$

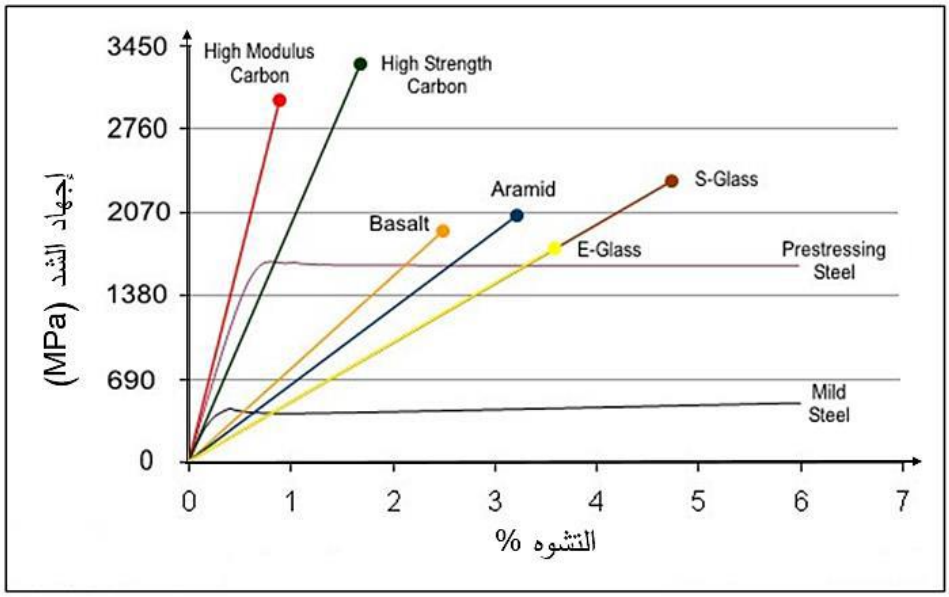
2. أشكال البوليميرات المسلحة بالألياف:

يوجد ثلاثة أنواع للألياف وفقاً للمادة المصنعة، فيكون التسليح المستعمل للبوليميرات بشكل ألياف كربونية CFRP إذا كانت الألياف من مادة الكربون وتسمى أليافاً زجاجية GFRP إذا كانت من مادة زجاج وفي حال كانت المادة أراميد فتسمى أليافاً أراميدية AFRP، ويبين الشكل (1) أشكال البوليميرات المسلحة بالألياف.

الشكل (1): أشكال البوليميرات المسلحة بالألياف

3. الخواص الميكانيكية لمركبات FRP:

يعتبر مخطط الإجهاد–التشوّه في حالة الشد لمركبات الـ FRP من أهم الخواص الميكانيكية الواجب دراستها، حيث أكدت الدراسات، أن مخطط الإجهاد–التشوّه، يكون خطياً حتى يحدث الانهيار بشكل مفاجئ، وبطريقة هشة، مع إصدار صوت ناتج عن تمزق تلك الألياف. وللمقارنة مع فولاذ التسليح، يظهر الشكل (2)، مخططات الإجهاد–التشوّه على الشد الأحادي الاتجاه، لأنواع مختلفة من مركبات (FRP) (Carbon, Glass, Aramid)، عند تعرضها لحمولة مستمرة قصيرة الأمد، ويتضح من هذا الشكل المزايا العديدة لهذه المركبات على فولاذ التسليح، من زيادة المقاومة، ونقص للشوّه [5].



الشكل (2): مخططات الإجهاد–التشوّه على الشد لأنواع مختلفة منFRP ، ولفولاذ التسليح [5]

ويجدر التنويه أن الخواص الفيزيائية والميكانيكية لهذه الألياف يختلف بعضها عن بعض وفقاً للجدول (2).

الجدول (2): الخواص النموذجية لأنواع مختلفة من مواد الألياف [1]

المادة		عامل المرونة (GPa)	معامل الشد (MPa)	الانفعال الأقصى في الشد (%)
كربون	عالي المقاومة	215–235	3500–4800	1.4–2.0
	عالي المقاومة جداً	215–235	3500–6000	1.5–2.3
	عالي المعامل	350–500	2500–3100	0.5–0.9
	عالي المعامل جداً	500–700	2100–2400	0.2–0.4
زجاج	E	70	1900–3000	3.0–4.5
	S	85–90	3500–4800	4.5–5.5
أراميد	معامل منخفض	70–80	3500–4100	4.3–5.0
	معامل عالٍ	115–130	3500–4000	2.5–3.5

4. ميزات استخدام الألياف الكربونية: [1,6,7]

1. لا تغير من أبعاد العناصر المدعمة بشكل عام نظراً لسماكة هذه الألياف والتي لا تتجاوز عدة مليمترات.

2. عدم الحاجة إلى إخلاء المنشأ أو وقف استثماره.

3. عدم إضافة أحمال جديدة و خاصة على الأعمدة و الأساسات نظراً لخفة وزن هذه الألياف.

4. سهولة التنفيذ و عدم الحاجة لقالب أو (كوفراج) كبير.

5. إمكانية تغطيتها و إخفائها بالورقة الإسمنتية التي تلتصق معها بشكل جيد.

6. عدم تأثرها بالصدأ والمواد الكيميائية.

يتم تأمين تلاحم الألياف مع العناصر الإنشائية المدعمة (خرسانية، حجرية، معدنية) باستخدام لاصق خاص تنتجه الشركة المصنعة للألياف وهو من مادة **أيبوكسي** خاص لكل نوع من الألياف.

5. عيوب التدعيم باستخدام الألياف البوليميرية (FRP): [1,6,7]

1. رقيقة جداً، لذلك يجب الانتباه لحواف الجوائز والأعمدة وجعلها دائرية لتجنب تكسر الألياف.

2. ليس لها مقاومة للحريق، لذا يجب طلائها بدهانات مقاومة للحريق وذلك سيزيد التكلفة.

3. تكلفتها مرتفعة.

4. تحتاج لمهارة في التركيب ودقة في النقل والتقطيع.

5. التشوه المنخفض عند الانهيار مما يتطلب اتباع أساليب تصميم جيدة.

6. انخفاض قدرة التحمل الجانبية بسبب ضعف الخصائص الميكانيكية وخاصة بالنسبة لـ FRP من نوع أراميد.

6. التطبيقات العملية لمركبات الـ FRP:

1- التقوية للعناصر الخاضعة للانعطاف: يمكن تقوية عناصر الخرسانة المسلحة باستعمال مركبات الـ FRP في مناطق الشد، حيث يكون اتجاه الألياف موازياً لإجهادات الشد العالية (باتجاه محور العنصر) [1].

2- التقوية للقص: تقوية العناصر الخرسانية المسلحة للقص باستعمال FRP يتم بلصق عناصر FRP، حيث ينطبق اتجاه الألياف الرئيسي مع اتجاه موازٍ قدر الإمكان لاتجاه الإجهادات الشادة الرئيسية وبذلك تكون التقوية

البوليميرية بأقصى فعاليتها. وقد يكون اتجاه الإجهادات الرئيسية مائلاً 45 دجة مئوية على محور العنصر، وفي هذه الحالة يتم لصق عناصر الـ FRP بحيث تكون متعامدة على محور العنصر [1].

المراجع:

1. الملحق (4) للكود العربي السوري لتصميم المنشآت وتنفيذها بالخرسانة المسلحة، دمشق2016، نقابة المهندسين، الطبعة الأولى.
2. X. Yang, J. Wei, A. Nanni, and L. R. Dharani, "*Shape effect onthe performance of carbon fiber reinforced polymer wraps*,"Journal of Composites for Construction, vol. 8, no. 5,pp. 444–451, 2004.
3. T. C. Rousakis, A. I. Karabinis, and P. D. Kiousis, "*FRPconfined concrete members: axial compression experiments and plasticity modelling*," Engineering Structures, vol. 29,no. 7, pp. 1343–1353, 2007.
4. L. M. Wang and Y. F. Wu, "*Effect of corner radius on the performance of CFRP–confined square concrete column: test*," Engineering Structures, vol. 30, no. 2, pp. 493–505, 2008.
5. A. Belarbi, M. Dawood and A. Mirmiran, "Synthesis of Concrete Bridge Piles Prestressed with CFRP Systems," Texas Department of Transportation, 2017.
6. C.Ershad "BEHAVIOUR OF FIBRE REINFORCED POLYMER CONFINED REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER FIRE CONDITION" Kingston, Ontario, Canada,2009.
7. Bagherpour.S (2012). "Fiber Reinforced Polyster Composite". In Saleh H.E.M Editor "Polyester", InTesh, Croatia, pp:167-198.