

تدعيم وتقوية العناصر البيتونية باستخدام البولمرات المسلحة بالألياف (FRP)

د. م. وعد ابراهيم الخطيب*

الملخص

انتشرت مؤخراً تقنية التدعيم بشرائح وصفائح الربط الخارجي من مواد بوليميرية مسلحة بالألياف (FRP) وهي عبارة عن راتنجات مسلحة بألياف لها ثلاثة أنواع رئيسية: البولمرات المسلحة بالألياف الزجاجية (GFRP)، والبولمرات المسلحة بالألياف الكربونية (CFRP)، والبولمرات المسلحة بألياف الأريمد (AFRP).

تستخدم هذه المواد لتقوية وتدعيم المنشآت القائمة التي تحتاج لتدعيم بسبب انخفاض قدرة بعض عناصرها الإنشائية لتحمل الحمولات المؤثرة نتيجة عوامل عدة منها: التغيير الوظيفي للمنشأة، تعرضها لأعمال ارهابية تخريبية، التعرض لعوامل بيئية مخربة....، وتتميز بخفة الوزن، ومقاومتها العالية للشد، وللعوامل الجوية (غير قابلة للصدأ) الأمر الذي يجعلها مختلفة عن باقي مواد وطرائق التدعيم التقليدية الأخرى.

يبين في البحث أمثلة على تقوية جوائز خرساني مسلح على القص، تقوية جوائز خرساني على الانعطاف مع المقارنة مع أبحاث تجريبية، ومثال على تقوية عمود خرساني مع الضغط المركزي وفق ACI Committee 440، حيث أظهرت النتائج التجريبية للجيزان المدعمة على القص فروقات تراوحت بين % (7-14) مقارنةً بطريقة الحساب وفق ACI Committee 440، كذلك الأمر بالنسبة للنتائج التجريبية للجيزان المدعمة على الانعطاف حيث لم تتجاوز الفروقات % (12).

الكلمات المفتاحية: التدعيم - التقوية - البولمرات المسلحة بالألياف

* مشرف أعمال - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

1. مقدمة:

إن الخصائص والميزات التي تتفوق فيها تقنية تدعيم وتقوية المنشآت البيتونية بشرائح وصفائح البولمرات المسلحة بالألياف (FRP) على باقي الطرائق التقليدية في التدعيم (تكبير المقطع العرضي، تثبيت صفائح معدنية،...) أدى لانتشارها على نطاق واسع خصوصاً في المنشآت الهامة نظراً لكلفة التنفيذ الكبيرة مقارنةً ببقية تقنيات التدعيم، ودخلت هذه الطريقة إلى السوق السورية منذ عدة سنوات واستعملت في تدعيم العديد من المنشآت على مساحة الوطن، حيث تم العمل على توطين طريقة حساب التدعيم اللازم على القص والانعطاف لجائز بيتوني مسلح وعلى الضغط المركزي لعمود بيتوني مسلح وذلك بما يتوافق مع ما ورد في لجنة كود المعهد الأمريكي للبيتون (ACI 440.2R-08).

2. أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في العمل على توطين طريقة حساب التقوية اللازمة على القص والانعطاف والضغط المركزي للعناصر البيتونية المسلحة باستخدام شرائح وصفائح (FRP) وذلك بما يتوافق مع ما ورد في لجنة كود المعهد الأمريكي للبيتون (ACI 440.2R-08).

3. هدف البحث:

يهدف البحث إلى التعريف بطريقة تدعيم وتقوية المنشآت البيتونية المسلحة وعناصرها الانشائية باستخدام شرائح وصفائح البولمرات المسلحة بالألياف (FRP) والعمل على توطين طريقة حساب التقوية اللازمة على القص والانعطاف والضغط المركزي وفق الكود الأمريكي (ACI) وتوصيات اللجنة ACI (440.2R-08).

4. منهجية البحث:

يعتمد البحث منهج تجريبي- تحليلي حيث يتعرض لطرائق التدعيم التقليدية للمنشآت والعناصر البيتونية المسلحة، وطريقة التقوية باستخدام البولمرات المسلحة بالألياف (Glass, Carbon, Aramid Fibers) مع شرح طريقة حساب التقوية اللازمة على القص والانعطاف والضغط المركزي وفق الكود الأمريكي (ACI) وتوصيات اللجنة (ACI 440.2R-08) متضمناً أمثلة تطبيقية لكل نوع من التقوية، ثم مقارنة نتيجة الحساب بهذه الطريقة مع نتائج تجريبية من بحث Khatib- [6]Jahjah2008 تم إجراؤه في جامعة تشرين لتدعيم الجوائز على القص باستخدام شرائح (GFRP) ونتائج تجريبية لبحث آخر أجري في جامعة تشرين من أجل تدعيم الجوائز على الانعطاف Jahjah [7]Heshmi2008-.

5. الطرائق التقليدية لتدعيم العناصر والمنشآت:

5-1. تقنية الشد اللاحق Post Tensioning:

تعتبر إحدى وسائل التقوية المناسبة لزيادة مقاومة الجيزان على الانعطاف والقص [2]، حيث تستخدم أوتار أو أسلاك أو كابلات فولاذية لنقل قوى الشد إلى البيتون إما على كامل طول الوتر أو عند نهايته وبالتالي يجب تثبيت الوتر بشكل جيد لمقاومة القوى العالية التي سينقلها، وتقسم هذه التقنية إلى تقنية الشد اللاحق الخارجي وتقنية الشد اللاحق الداخلي.

5-2. تقنية زيادة أبعاد المقطع Jacketing:

تعتبر هذه التقنية من أقدم طرائق التقوية حيث تتم زيادة مساحة المقاطع العرضية وبالتالي عزوم عطالتها، إلا أنه يجب الانتباه إلى مواصفات المواد المضافة لتلبي احتياجات عملية التقوية في حال كانت مشكلة الجائر نقص في تسليح العزم أو القص فمن الطبيعي إضافة قضبان تسليح طولية أو أساور عرضية جديدة وذلك على السطح الخارجي له، ويؤخذ على هذه الطريقة عدم ضمان تماسك البيتون القديم مع الجديد بالرغم من ظهور مواد تحسن هذا التماسك بشكل مستمر [3].

5-3. تقنية الربط بصفائح فولاذية Steel Plates:

يتم في هذه التقنية تثبيت صفائح فولاذية على سطح العنصر المعرض لإجهادات شد ناجمة عن العزوم أو القص، وذلك بواسطة براغي تثبيت أو لاصق.... حيث يؤخذ على هذه الطريقة إمكانية صدأ وتآكل الصفائح الفولاذية بالرغم من ظهور مواد حماية من الصدأ بشكل مستمر [5].

6. استخدام البوليمرات المسلحة بالألياف لتدعيم المنشآت البيتونية:

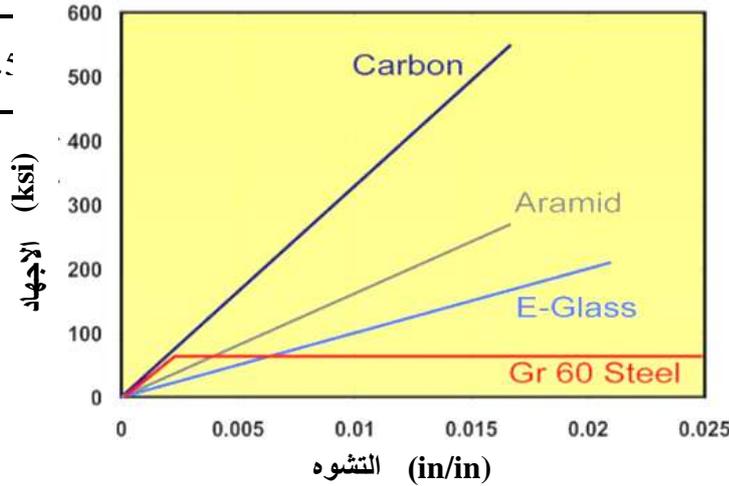
تعتبر (FRP) البوليمرات المسلحة بالألياف خلطات متطورة تتمتع بمقاومة شد عالية وصلابة عالية مقارنة بوزنها الخفيف الذي يجعل تطبيقها أكثر سهولة [5]، حيث يتم لصقها على سطوح الجيزان التي تحتاج تدعيماً باستخدام مواد لاصقة مناسبة، وتقسم إلى ثلاثة أنواع ألياف الكربون (CFRP)، ألياف الزجاج (GFRP)، ألياف الأريمد (AFRP) ويبين الجدول (1) مقارنة بين خصائصها، والشكل (1) يوضح مخطط (اجهاد- تشوه) لمواد FRP مقارنة مع فولاذ التسليح.

الجدول (1) الخصائص الميكانيكية للبوليمرات المسلحة بالألياف [1].

المادة	الكثافة (kg/m ³)	مقاومة الشد (Mpa.)	عامل المرونة (Gpa.)	التشوه النسبي عند الانهيار %
ألياف الكربون (CFRP)	1600-1500	7500-700	800-200	2.5-0.4
الألياف الزجاجية (GFRP)	2100-1200	3700-3400	77-72	4.8-3.3

4.4-1.4

ألياف الأريدي



الشكل (1). مخطط (اجهاد- تشوه) لمواد FRP مقارنة مع فولاذ التسليح [1].

6-1. منهجية تطبيق شرائح التدعيم (FRP):

قبل البدء بتركيب شرائح الألياف FRP يتم تحضير السطح البيتوني لضمان لصق جيد للشرائح [2] حيث تتم إزالة الأجزاء البيتونية الضعيفة وغير الثابتة باستخدام أدوات ميكانيكية (صاروخ حف) للوصول إلى السطح البيتوني السليم والمتماسك، ثم تطبيق ضغط هوائي عالي على السطح البيتوني لإزالة الحبيبات المفككة المحتجزة والتي تحطمت أثناء المرحلة الأولى.

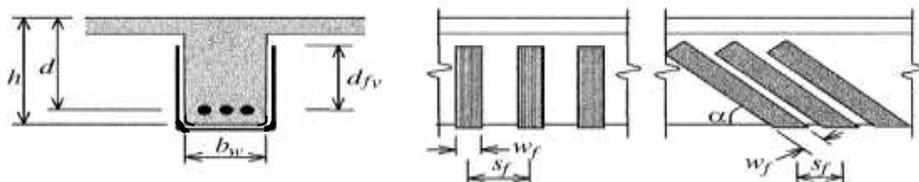
ثم يتم لصق شرائح الألياف FRP في مواقعها الدقيقة وفق الخطوات التالية:

- طلاء السطح البيتوني بطبقة الاساس primer حتى الاشباع ويترك فترة زمنية لتبدأ المادة بالتفاعل.
- مد طبقة معجونة التسوية بسماكة 2-3mm ثابتة تؤمن سطحاً صقيلاً تتوضع عليه شرائح الألياف.
- طلاء طبقة أولى من لاصق الإيبوكسي.
- تركيب شرائح الألياف FRP باستخدام رول مطاطي صلب وذلك بالضغط بالاتجاهين للوصول إلى تجانس كامل.
- طلاء طبقة ثانية من لاصق الإيبوكسي فوق الشرائح المركبة.

7. طريقة الكود الأمريكي (ACI) لحساب التدعيم اللازم للعناصر الانشائية [1]:

7-1. تدعيم الجيزان البيتونية المسلحة على القص:

يتم تدعيم الجيزان البيتونية المسلحة لزيادة مقاومتها على القص بلصق شرائح التقوية (FRP) على الوجهين الجانبيين للمقطع العرضي أو بشكل حرف (U) على الوجوه الثلاثة للمقطع العرضي، كما يتم تقوية الأعمدة لزيادة مقاومتها على القص بتغليف مقطعها العرضي على كامل طول العمود أو بشكل منقطع والشكل (2) يظهر أشكال التدعيم على القص.



الشكل (2) نماذج تدعيم الجائز على القص.

نتيجة تعرض نظام التقوية للظروف البيئية المحيطة يتم تخفيض مقاومة الشد الأعظمية وتشوه الشد الأعظمي المستخدم في التصميم بعامل التخفيض البيئي الذي يتعلق بنوع الليف والظروف البيئية التي يتعرض لها ويعطى بالجدول (2).

وتحسب مساهمة شرائح التقوية في مقاومة قوى القص بالعلاقة التالية: (1)

$$V_f = \frac{A_{fv} \times f_{fe} \times (\sin \alpha + \cos \alpha) \times d_f}{S_f} \quad (1)$$

$$A_{fv} = 2n \times t_f \times w_f \quad (2) \quad \text{مساحة شرائح التقوية تعطى بالعلاقة:}$$

حيث n : عدد طبقات التقوية، t_f, w_f : سماكة وعرض شرائح التقوية.

S_f : التباعد بين شرائح التقوية، d_f : ارتفاع شرائح التقوية زاوية ميل شرائح التقوية.

f_{fe} : الاجهاد الفعال في شرائح التقوية ويرتبط بشكل مباشر بالتشوه الفعال فيها ويعطى بالعلاقة

$$f_{fe} = E_f \times \varepsilon_{fe} \quad (3) \quad \text{التالية:}$$

حيث ε_{fe} : التشوه الفعال في شرائح التقوية ويحسب كما يلي:

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75 \varepsilon_{fu} \quad (4) \quad \text{تطويق كامل للمقطع العرضي:}$$

$$\varepsilon_{fe} = k_v \times \varepsilon_{fu} \leq 0.004 \quad (5) \quad \text{باقي الحالات:}$$

حيث:

$$k_v = \frac{k_1 \times k_2 \times L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \quad (6)$$

$$k_1 = \left(\frac{f_c'}{27} \right)^{2/3} \quad (7)$$

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} & \text{for } U \text{ wraps} \\ \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} & \text{for two Sides} \end{cases} \quad (8)$$

$$L_e = \frac{23300}{(n_f \times t_f \times E_f)^{0.58}} \quad (9)$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \times \varepsilon_{fu}^* \quad (10) \quad \text{التشوه الحدي في شرائح التقوية ويعطى بالعلاقة:}$$

حيث C_E : عامل التخفيض البيئي المعطى في الجدول (2).

ε_{fu}^* : التشوه الحدي الأعظمي في شرائح التقوية.

وبالتالي تحسب مقاومة المقطع الاجمالية على القص بالعلاقة التالي:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \Psi V_f) \quad (11)$$

حيث: ϕ : عامل تخفيض المقاومة. V_c : مساهمة البيتون في مقاومة قوى القص.
 V_s : مساهمة فولاذ التسليح العرضي في مقاومة قوى القص.
 V_f : مساهمة شرائح في مقاومة قوى القص.
 ψ : عامل تخفيض المقاومة لشرائح التقوية ويساوي (0.95) في حالة التطويق الكامل للمقطع العرضي، و(0.85) لباقي الحالات.

جدول (2) عامل التخفيض البيئي [1].

الظروف البيئية التي تتعرض لها العناصر	نوع الألياف	عامل التخفيض البيئي C_E
ظروف بيئية داخلية (داخل المنشآت)	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
ظروف بيئية خارجية عادية	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
ظروف بيئية خارجية مخربة	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

ملاحظة: إن مساهمة فولاذ التسليح العرضي وشرائح التقوية في مقاومة القص يجب أن تحقق اشتراط

$$V_f + V_s \leq 0.66\sqrt{f'_c}b_w \times d \quad \text{الكود الأمريكي (ACI 318-05) المحدد بالعلاقة التالية:}$$

1-1-7. تطبيق طريقة الحساب وفق الكود (ACI) على نتائج اختبار عملية للبحث-Khatib-Jahjah2008[6]:

تم إجراء بحث في جامعة تشرين Khatib-Jahjah2008 [6] لتدعيم جوائز بيتونية أبعادها (300x160x2000mm) مسلحة على الانعطاف بـ 3T16 وعلى القص ($\phi 6/250mm$) (تم تصميم الجوائز لتكون ضعيفة على القص بحيث تنهار بتأثيره) ومن ثم تمت تقويتها بطبقة واحدة من شرائح (GFRP) خصائصها مبينة في الجدول (3) والمطلوب حساب طاقة تحمل الجوائز المقواة باستخدام طريقة الكود الأمريكي (ACI) ومقارنتها بالنتائج التجريبية المعطاة في الجدول (4):

$$f'_c = 22.5Mpa., f_y = 535Mpa.$$

جدول (3) خصائص شرائح التقوية [6]

0.4mm	سماكة شرائح التقوية t_f
100mm	عرض شرائح التقوية w_f

170mm	التباعد بين شرائح التقوية S_f
300mm	ارتفاع شرائح التقوية d_f
70000Mpa.	عامل مرونة شرائح التقوية E_f
0.033mm/mm	التشوه الحدي لشرائح التقوية ε_{fu}^*
1	عدد طبقات التقوية
شرائح U، شرائح جانبية بزوايا (°90)، (°60)، (°45).	شكل التقوية

جدول (4) النتائج التجريبية لاختبار الجوائز [6]

القوة التجريبية للجوائز المدعم (KN)	مساهمة شرائح التدعيم في القوة التجريبية للجوائز (KN)	القوة التجريبية للجوائز دون تدعيم (KN)	الجوائز المدعمة
170	45.5	124.5	شرائح جانبية شاقولية
185	60.5	124.5	شرائح جانبية مائلة بزاوية (°45)
172	47.5	124.5	شرائح منقطعة بشكل حرف U

الحل:

1. حساب التشوه الحدي في شرائح التقوية: $\varepsilon_{fu} = C_E \times \varepsilon_{fu}^* = 0.95 \times 0.033 = 0.03135$

2. حساب التشوه والاجهاد الفعال في شرائح التقوية ε_{fe}, f_{fe} :

$$L_e = \frac{23300}{(n_f \times t_f \times E_f)^{0.58}} = \frac{23300}{(1 \times 0.4 \times 70000)^{0.58}} = 61.4mm$$

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27}\right)^{2/3} = \left(\frac{22.5}{27}\right)^{2/3} = 0.8855$$

$$k_2 = \begin{cases} \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} = \frac{300 - 61.4}{300} = 0.795 \text{ for } Uwraps \\ \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} = \frac{300 - 2 \times 61.4}{300} = 0.5908 \text{ for two Sides} \end{cases}$$

شرائح جانبية:

$$k_v = \frac{k_1 \times k_2 \times L_e}{11900\varepsilon_{fu}} = \frac{0.8855 \times 0.5908 \times 61.4}{11900 \times 0.03135} = 0.086 < 0.75ok$$

التشوه الفعال في شرائح التقوية الجانبية:

$$\varepsilon_{fe} = k_v \times \varepsilon_{fu} = 0.086 \times 0.03135 = 0.0027 < 0.004ok$$

$$A_{fv} = 2n \times t_f \times w_f = 2 \times 1 \times 0.4 \times 100 = 80mm^2$$

مساحة شرائح التقوية الجانبية:

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} \times E_f = 0.0027 \times 70000 = 189Mpa.$$

شرائح التقوية المنقطعة بشكل حرف U:

$$k_v = \frac{k_1 \times k_2 \times L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} = \frac{0.8855 \times 0.795 \times 61.4}{11900 \times 0.03135} = 0.1159 < 0.75ok$$

التشوه الفعال في شرائح التقوية U:

$$\varepsilon_{fe} = k_v \times \varepsilon_{fu} = 0.11588 \times 0.03135 = 0.00363 < 0.004 ok$$

$$A_{fv} = 2n \times t_f \times w_f = 2 \times 1 \times 0.4 \times 100 = 80mm^2$$

مساحة شرائح التقوية U:

$$f_{fe} = E_f \times \varepsilon_{fe} = 0.00363 \times 70000 = 254Mpa.$$

الاجهاد الفعال في شرائح التقوية U:

3. حساب مساهمة شرائح التقوية في مقاومة القص V_f :

شرائح التقوية الشاقولية:

$$V_f = \frac{A_{fv} \times f_{fe} \times (\sin \alpha + \cos \alpha) \times d_f}{S_f} = \frac{80 \times 189 \times (\sin 90 + \cos 90) \times 300}{170} = 26.68KN$$

شرائح التقوية الجانبية المائلة بزاوية (45°):

$$V_f = \frac{A_{fv} \times f_{fe} \times (\sin \alpha + \cos \alpha) \times d_f}{S_f} = \frac{80 \times 189 \times (\sin 45 + \cos 45) \times 300}{170} = 37.7KN$$

شرائح التقوية المتقطعة بشكل حرف U:

$$V_f = \frac{A_{fv} \times f_{fe} \times (\sin \alpha + \cos \alpha) \times d_f}{S_f} = \frac{80 \times 254 \times (\sin 90 + \cos 90) \times 300}{170} = 35.9KN$$

جدول (6) المقارنة بين نتائج الحساب وفق (ACI) والنتائج التجريبية.

الجائز المدعم	المقاومة التجريبية للجائز المدعم (KN)	المقاومة الحسابية للجائز المدعم (KN)	نسبة اختلاف نتائج الحساب وفق ACI عن النتائج التجريبية
شرائح جانبية شاقولية	170	151	11%
شرائح جانبية مائلة بزاوية (45°)	185	162	14%
شرائح متقطعة بشكل حرف U	172	160	7.5%

2-7. تدعيم الجيزان البيتونية المسلحة على الانعطاف:

يتم تثبيت صفائح التقوية (FRP) على الوجه المشدود (الليف المشدود) للمقطع العرضي للجائز حيث تتجه الألياف باتجاه المحور الطولي للجائز، والنسبة الأعظمية المسموحة وفق توصيات لجنة ACI 440 لزيادة مقاومة العنصر على الانعطاف 40%.

تعتمد الفرضيات التالية عند حساب المقطع العرضي المقوى على الانعطاف:

1. تبقى المقاطع قبل التشوه وبعده مستوية بما فيها مقاطع (FRP).

2. تشوه البيتون الأعظمي على الضغط $\varepsilon_{cu} = 0.003$.

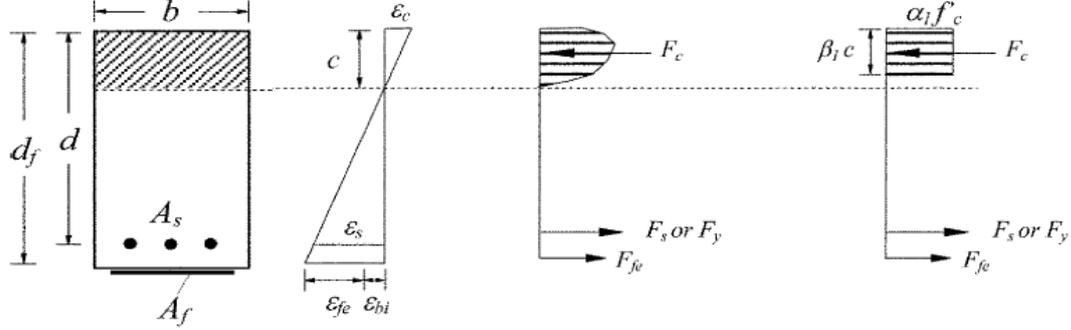
3. تهمل مقاومة البيتون على الشد.

4. سلوك (FRP) مرن خطي حتى الانهيار.

5. التماسك بين البيتون وشرائح وصفائح التقوية تام.

6. يهمل التشوه القصي في طبقة اللاصق.

7. بحب التحقة، من، مقاومة المقطع على القص، عند تقابته على الانعطاف.



شكل (3) مخطط الاجهاد والتشوه للمقطع العرضي المقوى وفق الطريقة الحديدية.

إن منهج الحساب للعناصر البيتونية المسلحة والمقواة على الانعطاف يجب أن يحقق توازن القوى على المقطع العرضي، وتوافق تشوهات المقطع العرضي، ويحدد نموذج انهيار المقطع، وهذا يمكن أن يتم بأكثر من طريقة، اعتمد الكود (ACI 440) الطريقة التكرارية حيث يتم فرض لموقع المحور المحايد للإجهادات (ارتفاع منطقة الضغط C)، ثم حساب مستوى التشوه لكل مكون في المقطع العرضي اعتماداً على توافق تشوهات مواد المقطع العرضي، ثم حساب مستوى الاجهاد في مكونات المقطع العرضي، والتأكد من توازن القوى ضمنه وفي حال عدم حصول هذا التوازن يعاد حساب موقع المحور المحايد وارتفاع منطقة الضغط كما هو مبين في المخطط النهجي شكل (4).

وبالتالي يعطى العزم المقاوم للمقطع العرضي المقوى بالعلاقة التالية:

$$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \Psi M_{nf}] \quad (12)$$

حيث: ϕ : عامل تخفيض المقاومة ويعطى بالعلاقة:

$$\phi = \begin{cases} 0.9 & \text{for } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & \text{for } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{sy} \end{cases}$$

Ψ : عامل تخفيض المقاومة لشرائح التقوية ويساوي (0.95) في حالة التطويق الكامل للمقطع العرضي، و(0.85) لباقي الحالات.

$$M_{ns} = A_s \times f_s \times (d - \frac{\beta_1 c}{2}) \quad (13) \quad M_{ns}: \text{العزم الذي يقاومه المقطع غير المقوى}$$

حيث: A_s : مساحة التسليح المشدود.

$$f_s = |E_s \times \varepsilon_s| \leq f_y \quad (14) \quad f_s: \text{الاجهاد في فولاذ التسليح ويحسب كما يلي:}$$

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d-c}{d_f - c} \right) \quad (15) \quad \text{مستوى التشوه في فولاذ التسليح:}$$

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(h-k \times d)}{I_{cr} \times E_c} \quad (16) \quad \text{مستوى التشوه في البيتون:}$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{h-c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \quad (17) \quad \text{مستوى التشوه الفعال في صفائح التقوية:}$$

c : ارتفاع منطقة الضغط.

$$\beta_1 = \frac{4\varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6\varepsilon'_c - 2\varepsilon_c} \quad (18) \quad \text{عامل يتعلق بتشوه البيتون ويحسب من العلاقة:}$$

$$\varepsilon'_c = \frac{1.71f'_c}{E_c} \quad (19) \quad \text{حيث التشوه في البيتون المضغوط:}$$

$$M_{sf} = A_f \times f_{fe} \times \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (20) \quad \text{العزم الذي تقاومه صفائح التقوية } M_{sf} :$$

$$f_{fe} = |E_f \times \varepsilon_{fe}| \quad \text{حيث الاجهاد في شرائح التقوية يعطى بالعلاقة:}$$

(ε_{fe}): مستوى التشوه الفعال في صفائح التقوية، ويجب ألا يزيد عن مستوى التشوه التصميمي فيها
(ε_{fd}) أي أن:

$$\varepsilon_{fe} \leq \varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{n \times E_f \times t_f}} \quad (21)$$

يتم تحديد شكل انهيار الجائز كما يلي: إذا كان $\varepsilon_{fe} < \varepsilon_{fd}$ انهيار البيتون على الضغط، وفي حين كان $\varepsilon_{fe} \geq \varepsilon_{fd}$ ، يتم الانهيار بانفصال صفائح التقوية، حيث ε_{fd} التشوه التصميمي في صفائح التدعيم (FRP).

ويتم التأكد من صحة فرض موقع المحور المحايد بحساب ارتفاع منطقة الضغط من العلاقة التالية ومقارنتها مع المفروضة.

$$C_{est} = \frac{A_s \times f_s + A_f \times f_{fe}}{\beta_1 \times \alpha_1 \times f'_c \times b} \quad (22)$$

$$\alpha_1 = \frac{3\varepsilon'_c \times \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3\beta_1 \times \varepsilon_c'^2} : \quad (23) \quad \text{حيث}$$

ويشترط الكود ACI ألا يزيد مستوى الاجهاد في كل من البيتون وفولاذ التسليح و صفائح التقوية عن القيم التالية بالترتيب:

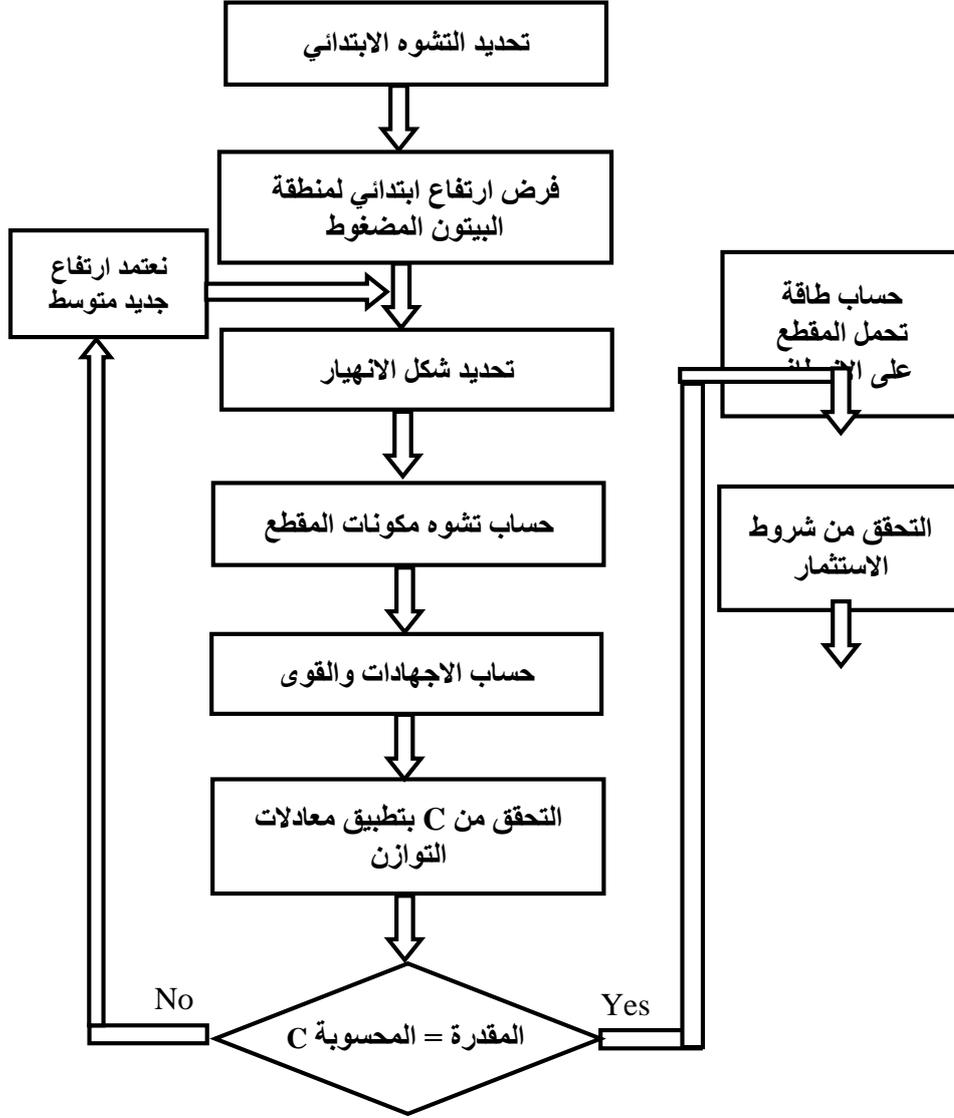
$$f_{f,s} \leq \begin{cases} 0.55f_{fu} \text{ for (CFRP)} \\ 0.20f_{fu} \text{ for (GFRP)} \\ 0.30f_{fu} \text{ for (AFRP)} \end{cases} \quad f_{s,s} \leq 0.8f_y \quad f_{c,s} \leq 0.45f'_c,$$

1-2-7. نماذج الانهيار للعنصر المدعم على الانعطاف:

تصادف أشكال مختلفة لانهيار العناصر المدعمة على الانعطاف بشرائح (FRP) تتعلق بطبيعة الاختبار وجودة تنفيذ الأعمال نذكر منها:

1. انفصال صفائح التدعيم (FRP) عن البيتون.
2. انهيار البيتون على الضغط قبل وصول فولاذ التسليح لحد الخضوع.
3. وصول فولاذ التسليح لحد الخضوع يتبعه انهيار البيتون على الضغط.
4. وصول فولاذ التسليح لحد الخضوع يتبعه انهيار صفائح التدعيم (FRP).

5. انفصال طبقة التغطية البيتونية عن فولاذ التسليح.
ونموذج الانهيار المفضل حسب الكود ACI هو (3) او (4).



شكل (4) منهجية حساب التدعيم اللازم لجائز على الانعطاف

7-2-2. تطبيق طريقة الحساب وفق الكود (ACI) على نتائج اختبار عملية للبحث

: Jahjah- Heshmi2008 [7]

أجري في جامعة تشرين بحث [7] Jahjah- Heshmi2008 لتدعيم جوائز بسيطة الاستناد أبعادها (300*160*2000mm) مسلحة على الانعطاف بـ (2φ14) وعلى القص (φ6/160mm) تمت تقويتها بشرائح (GFRP) خصائصها مبينة في الجدول (7) والمطلوب حساب طاقة تحمل الجوائز

المقواة (العزم) باستخدام طريقة الكود الأمريكي (ACI) ومقارنتها بالنتائج التجريبية المعطاة في الجدول (8).

$$f'_c = 30\text{Mpa.}, f_y = 600\text{Mpa.}, I_{cr} = 15179513\text{mm}^4$$

جدول (7) خصائص صفائح التقوية [7].

5mm	سمائة صفيحة التقوية (FRP) t_f
2310 Mpa.	اجهاد الشد الحدي f_{fu}^*
0.033mm/mm	التشوه الحدي ε_{fu}^*
70000Mpa.	عامل مرونة صفائح التدعيم (FRP): E_f

جدول (8) النتائج التجريبية لاختبار الجوائز [7].

0.486 KN.m	عزم الأحمال الميتة M_{DL}
79 KN.m	طاقة تحمل الجائز (B3-I) على الانعطاف

الحل:

1. حساب خصائص صفائح التقوية: $f_{fu} = C_E \times f_{fu}^* = 0.95 \times 2310 = 2195\text{Mpa.}$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \times \varepsilon_{fu}^* = 0.95 \times 0.033 = 0.0315\text{mm/mm}$$

2. الحسابات الأولية: خصائص البيتون:

$$\beta_1 = 1.05 - 0.05 \frac{f'_c}{6.9} = 1.05 - 0.05 \frac{30}{6.9} = 0.83 \geq 0.65$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{30} = 25740\text{Mpa.}$$

$$A_s = 308\text{mm}^2, \rho_s = 0.00713$$

مساحة فولاذ التسليح ونسبته:

مساحة صفائح التقوية (FRP) ونسبتها:

$$A_f = n \times t_f \times w_f = 1 \times 5 \times 160 = 800\text{mm}^2, \rho_f = 0.0185$$

3. حساب التشوه الحالي في المقطع:

$$k = \sqrt{(\rho_s \times \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \times \frac{E_f}{E_c})^2 + 2(\rho_s \times \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \times \frac{E_f}{E_c} (\frac{d_f}{d}))} - (\rho_s \times \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \times \frac{E_f}{E_c})$$

$$= \sqrt{(0.00713 \times \frac{200}{25.74} + 0.0185 \times \frac{70}{25.74})^2 + 2(0.00713 \times \frac{200}{25.74} + 0.0185 \times \frac{70}{25.74} \times (\frac{300}{270}))} - (0.00713 \times \frac{200}{25.74} + 0.0185 \times \frac{70}{25.74}) = 0.367$$

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(h - k \times d)}{I_{cr} \times E_c} = \frac{0.486 \times (300 - 0.367 \times 270)}{15179513 \times 25740} = 0.000025$$

4. حساب التشوه التصميمي في (FRP):

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{n \times E_f \times t_f}} = 0.41 \sqrt{\frac{30}{1 \times 70000 \times 5}}$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.0134 \leq 0.9 \times (0.0315) = 0.02835$$

$$c = 0.2 \times d = 0.2 \times 270 = 54mm$$

5. تحديد الارتفاع الأولي لمنطقة الضغط:

6. حساب التشوه الفعال في (FRP):

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{h-c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} = 0.003 \times \left(\frac{300-54}{54} \right) - 0.000025 = 0.0137 > 0.0038$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{fd} = 0.0038$$

وبالتالي سيتم الانهيار بانفصال صفائح التدعيم (FRP).

7. حساب التشوه في البيتون:

$$\varepsilon_c = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{c}{d_f - c} \right) = (0.0038 + 0.000025) \left(\frac{54}{300-54} \right) = 0.00084$$

8. حساب التشوه الفعال في فولاذ التسليح:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \left(\frac{d-c}{d_f - c} \right) = (0.0038 + 0.000025) \left(\frac{270-54}{300-54} \right) = 0.00336$$

9. حساب الاجهاد في فولاذ التسليح و صفائح (FRP):

$$f_s = E_s \times \varepsilon_s = 2 \times 10^5 \times 0.00336 = 672Mpa. \geq f_y = 600Mpa. \Rightarrow f_s = 600Mpa.$$

$$f_{fe} = E_f \times \varepsilon_{fe} = 70000 \times 0.0038 = 265.7Mpa.$$

10. حساب القوى الداخلية وتوازنها:

$$\varepsilon'_c = \frac{1.71 f'_c}{E_c} = \frac{1.71 \times 30}{25740} = 0.001993$$

$$\beta_1 = \frac{4\varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6\varepsilon'_c - 2\varepsilon_c} = \frac{4 \times 0.001993 - 0.00084}{6 \times 0.001993 - 2 \times 0.00084} = 0.694$$

$$\alpha_1 = \frac{3\varepsilon'_c \times \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3\beta_1 \times \varepsilon_c'^2} = \frac{3 \times 0.001993 \times 0.00084 - (0.00084)^2}{3 \times 0.694 \times (0.001993)^2} = 0.522$$

$$C_{est} = \frac{A_s \times f_s + A_f \times f_{fe}}{\beta_1 \times \alpha_1 \times f'_c \times b} = \frac{308 \times 600 + 800 \times 265.7}{0.694 \times 0.522 \times 30 \times 160} = 228.5mm \neq 54mm$$

11. يعاد الحل بتكرار الخطوات (6-7-8-9-10) حتى يتساوى ارتفاع منطقة الضغط

المحسوبة مع المفروض نجد:

$$C = 115.15mm, \varepsilon_s = 0.0032, f_s = f_y = 600Mpa.,$$

$$\beta_1 = 0.777, \alpha_1 = 0.925, f_{fe} = 265.71Mpa.$$

$$C_{est} = \frac{A_s \times f_s + A_f \times f_{fe}}{\beta_1 \times \alpha_1 \times f'_c \times b} = \frac{308 \times 600 + 800 \times 265.71}{0.777 \times 0.925 \times 30 \times 160} = 115.15mm = 115.15mm$$

12. حساب مساهمة فولاذ التسليح وصفائح التقوية (FRP) في مقاومة العزم المؤثر:

$$M_{ns} = A_s \times f_s \times \left(d - \frac{\beta_1 c}{2}\right) = 308 \times 600 \times \left(270 - \frac{0.777 \times 115.15}{2}\right) = 41.6 \text{KN.m}$$

13. حساب العزم المقاوم للمقطع المقوى:

$$M_{sf} = A_f \times f_{fe} \times \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2}\right) = 800 \times 265.7 \times \left(300 - \frac{0.777 \times 115.15}{2}\right) = 54.3 \text{KN.m}$$

$$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \eta M_{nf}] = 0.9 \times [41.6 + 0.85 \times 54.3] = 79 \text{KN.m}$$

14. التحقق من مستوى الاجهادات في فولاذ التسليح وصفائح التقوية (FRP):

$$f_{s,s} = \frac{[M_s + \varepsilon_{bi} \times A_f \times E_f (d_f - \frac{k \times d}{3})] \times (d - k \times d) \times E_s}{A_s \times E_s \times (d - \frac{k \times d}{3}) \times (d - k \times d) + A_f \times E_f \times (d_f - \frac{k \times d}{3}) \times (d_f - k \times d)} \leq 0.8 f_y$$

$$f_{s,s} = \frac{[41.6 + 0.000025 \times 800 \times 70 \times (300 - \frac{99}{3})] \times (270 - 99) \times 2 \times 10^5}{308 \times 2 \times 10^5 \times (270 - \frac{99}{3}) \times (270 - 99) + 800 \times 7 \times 10^4 \times (300 - \frac{99}{3}) \times (300 - 99)} = 392.5 \text{Mpa.} \leq 0.8 f_y = 480 \text{Mpa.}$$

وبالتالي مستوى الاجهاد في فولاذ التسليح ضمن الحدود المسموحة.

$$f_{f,s} = f_{s,s} \times \frac{E_f}{E_s} \times \left(\frac{d_f - k \times d}{d - k \times d}\right) - \varepsilon_{bi} \times E_f \leq 0.2 f_{fu}$$

$$f_{f,s} = 392.5 \times \frac{70}{200} \times \left(\frac{300 - 99}{270 - 99}\right) - 0.000025 \times 70000$$

$$f_{f,s} \approx 161 \text{Mpa.} \leq 0.2 f_{fu}$$

وبالتالي مستوى الاجهاد في صفائح التقوية (FRP) ضمن الحدود المسموحة.

وبالمقارنة مع النتائج التجريبية للبحث [7] Jahjah- Heshmi 2008 يلاحظ أن الفرق لا يتعدى

12% كما هو مبين في الجدول (9).

جدول (9) المقارنة بين نتائج الحساب وفق (ACI) والنتائج التجريبية.

نسبة اختلاف نتائج الحساب وفق ACI عن النتائج التجريبية	العزم المقاوم الحسابي للجائز المدعم (KN.m)	العزم المقاوم التجريبي للجائز المدعم (KN.m)	الجوائز المدعمة
%12	69	79	شرائح جانبية شاقولية

3-7. تدعيم الأعمدة البيتونية المسلحة على الضغط المركزي:

يتم استخدام شرائح التقوية (FRP) لزيادة مقاومة العمود على الضغط والقص حيث تطوق هذه الشرائح المقطع العرضي للعمود وبالتالي تزيد مقاومته على الضغط وتعطى مقاومة المقطع العرضي المعرض للضغط المركزي والمسلح بتسليح عرضي عادي وحلزوني بالعلاقتين التاليتين:

$$\phi P_n = 0.8 \times \phi \times [0.85 f'_{cc} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \quad (24)$$

$$\phi P_n = 0.85 \times \phi \times [0.85 f'_{cc} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \quad (25)$$

حيث:

ϕ : عامل تخفيض المقاومة حسب الكود ACI 318-05.

A_{st} : مساحة التسليح الطولي للعمود. ، A_g : مساحة المقطع العرضي للعمود.

f'_{cc} : مقاومة البيتون المطوق على الضغط مبينة في الشكل (5)، وتعطى بالعلاقة التالية:

$$f'_{cc} = f'_c + \Psi \times 3.3K_a \times f_l \quad (26)$$

حيث f_l : الاجهاد الأعظمي الناجم عن تطويق المقطع العرضي، ويعطى بالعلاقة:

$$f_l = \frac{2E_f \times n \times t_f \times \varepsilon_{fe}}{D} \quad (27)$$

D : القطر الفعال للمقطع العرضي ويساوي قطر العمود الدائري أو $D = \sqrt{b^2 + h^2}$

للمعمود المستطيل.

ε_{fe} : التشوه الفعال في شرائح (FRP)، ويحسب من العلاقة:

$$\varepsilon_{fe} = 0.55 \times \varepsilon_{fu}$$

k_a, k_b : عوامل الشكل وهي تساوي الواحد للمقاطع الدائرية، أما المقاطع الأخرى فتعطى العلاقات

$$k_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b}\right)^{0.5}, \quad k_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h}\right)^2 \quad (28)$$

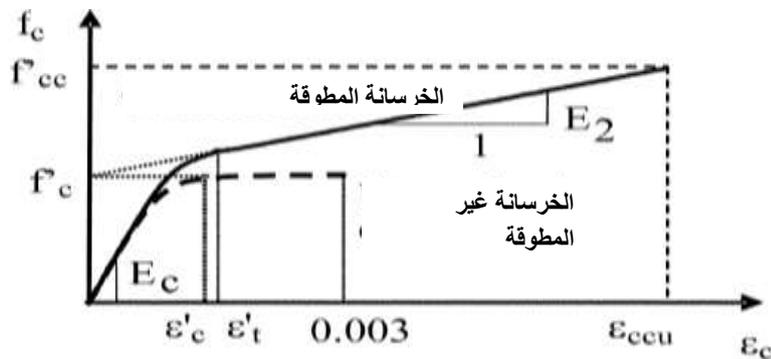
التالية: $\frac{A_e}{A_c}$: نسبة مساحة المقطع الفعال إلى المساحة الكلية للمقطع العرضي مبينة في الشكل (6) وتعطى

بالعلاقة:

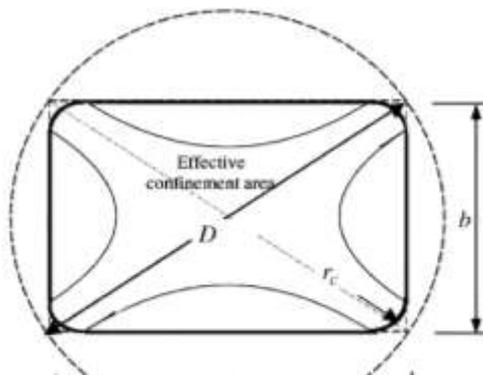
$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h}\right) \times (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b}\right) \times (b - 2r_c)^2 \right] \rho_g}{3A_g - \rho_g} \quad (29)$$

(Ψ): عامل تخفيض المقاومة لشرائح التقوية ويساوي (0.95) في حالة التطويق الكامل للمقطع

العرضي، و(0.85) لباقي الحالات.



شكل (5) مخطط إجهاد-تشوه للبيتون المطوق بشرائح (FRP) [4].



ملاحظة: يجب التأكد مما يلي:

- تشوه الضغط الأعظمي في البيتون المطوق بشرائح (FRP) يحقق المتراجحة التالية:

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.5 + 12k_b \frac{f_L}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$$

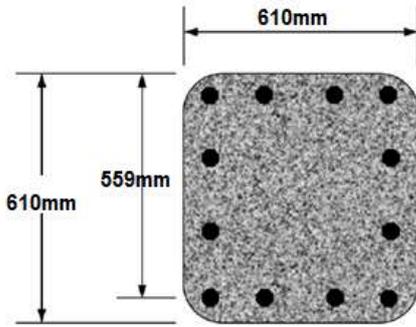
$$\frac{f_L}{f'_c} > 0.08$$

- نسبة التطويق الأصغرية:

1-3-7. تطبيق عددي:

عمود مقطعه العرضي مربع $610 \times 610 \text{mm}$ يتعرض لزيادة 20% في الحمولات المركزية التي يتحملها $\phi P_n = 9281 \text{KN}$, $\phi P_{n(req)} = 11138 \text{KN}$ ، تفاصيل العمود والتسليح مبينة في الجدول (10) والشكل المرافق. العمود داخلي ويراد تقويته بشرائح خصائصها مبينة في الجدول (11).

جدول (10) تفاصيل العمود.



45Mpa.	f'_c
414Mpa.	f_y
25mm	r_c
$12\phi 32 = 98 \text{cm}^2$	A_{st}
3716cm^2	A_g
%2.65	ρ_g
التسليح العرضي أساور عادية	

جدول (11) خصائص شرائح التقوية.

0.33mm	سماكة الشرائح t_f
3792Mpa.	إجهاد الشد الحدي f_{fu}^*
0.0167mm/mm	تشوه الانهيار ε_{fu}^*
227527Mpa.	عامل المرونة E_f

الحل:

A. حساب الخصائص التصميمية لشرائح (FRP):

$$f_{fu} = C_E \times f_{fu}^* = 0.95 \times 3792 = 3603 \text{Mpa.}$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \times \varepsilon_{fu}^* = 0.95 \times 0.0167 = 0.0159 \text{ mm/mm}$$

B. حساب مقاومة الضغط الأعظمية المطلوبة للبيتون المدعم f'_{cc} :

$$\varphi P_n = 0.8 \times \varphi \times [0.85 f'_{cc} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \Rightarrow$$

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85(37612 - 9832)} \left[\frac{11138 \times 10^3}{0.8 \times 0.65} - 414 \times 9832 \right] = 56.4 \text{ Mpa.}$$

C. حساب مقاومة الضغط الأعظمية في شرائح التقوية (FRP):

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) \times (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) \times (b - 2r_c)^2 \right]}{3A_g} - \rho_g}{1 - \rho_g} = 0.425$$

$$K_a = \frac{A_e}{A_c} \times \left(\frac{b}{h} \right)^2 = 0.425 \times \left(\frac{609.6}{609.6} \right)^2 = 0.425$$

$$f'_{cc} - f'_c = \Psi \times 3.3 K_a \times f_l \Rightarrow f_l = \frac{f'_{cc} - f'_c}{\Psi \times 3.3 \times K_a} = \frac{56.4 - 44.8}{0.95 \times 3.3 \times 0.425} = 8.7 \text{ Mpa.}$$

D. حساب مقاومة الضغط الأعظمية في شرائح التقوية (FRP):

$$f_l = \frac{2E_f \times n \times t_f \times \varepsilon_{fe}}{D} \Rightarrow n = \frac{f_l \times \sqrt{b^2 + h^2}}{2 \times E_f \times t_f \times \varepsilon_{fe}}$$

$$K_\varepsilon = 0.55 \Rightarrow \varepsilon_{fe} = 0.55 \times 0.0159 = 0.0087$$

$$n = \frac{8.7 \times \sqrt{(609.6)^2 + (609.6)^2}}{2 \times 227527 \times 0.33 \times 0.0087} = 5.4 \approx 6$$

E. التحقيقات:

$$\frac{f_l}{f_c} = \frac{8.7}{44.8} = 0.1942 > 0.08 \text{ ok} \quad \text{التحقق من نسبة التطويق الأصغرية:}$$

التحقق من التشوه المحوري الأعظمي للبيتون المطوق ε_{ccu} :

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon'_c \left[1.5 + 12k_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\varepsilon_{fe}}{\varepsilon'_c} \right)^{0.45} \right] \leq 0.01$$

$$k_b = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{h}{b} \right)^{0.5} = 0.425 \times \left(\frac{609.6}{609.6} \right)^{0.5} = 0.425$$

$$\varepsilon_{ccu} = 0.002 \left[1.5 + 12 \times 0.425 \times \frac{8.7}{44.8} \left(\frac{0.0087}{0.002} \right)^{0.45} \right] = 0.00685 < 0.01 \text{ ok}$$

8. توصيات اللجنة (ACI 440.2R-08) لتدعيم المنشآت والعناصر البيتونية المسلحة

باستخدام شرائح وصفائح (FRP) بمايلي:

- يجب تدوير زوايا المقطع العرضي للعنصر (نصف قطر أصغري 13mm) عند تقويته بشرائح (FRP) شكل U.

- يجب تأمين طول إرساء كاف لصفحة التقوية على الانعطاف يعطى بالعلاقة $L_{df} = \sqrt{\frac{nE_f t_f}{f'_c}}$

ولتفاصيل أكثر يمكن مراجعة الفقرة رقم 14.1.3 في ACI440.

- يجب تأمين طول تماسك كاف بين صفائح التقوية (حالة عدة طبقات من صفائح التقوية)

$$\geq L_{df} + 15mm$$
 - يجب اختبار مواد التدعيم وفق اشتراطات ACI 440.3R قبل استخدامها عملياً.
 - في حال تعرض نظام التدعيم لأي ضرر يجب أن يكون المنشأ قادراً على مقاومة مستوى محدد من الحمولات لضمان عدم انهياره لحين الاصلاح يحدد بالمتراجحة التالية:

$$(\phi R_n)_{existing} \geq 1.1W_{DL} + 0.75W_{LL}$$
 - يجب تأمين حماية كافية لصفائح وشرائح (FRP) ضد الحريق ودرجات الحرارة المنخفضة وتطبيق توصيات الكود ACI 216 بهذا الخصوص.
- 9. توصيات ونتائج البحث:**
- أعطى حساب الجيزان المدعمة على القص وفق طريقة الكود الأمريكي نتائج قريبة جداً من التجريبية للبحث [6] Khatib-Jahjah2008 الفرق بينهما تراوح (7-14%).
 - أثبتت المقارنة بين نتائج حساب الجيزان المدعمة على الانعطاف وفق طريقة الكود الأمريكي والنتائج التجريبية للبحث [7] Jahjah- Heshmi2008 إعطاءها نتائج متقاربة (12%).

المراجع References

- [1] ACI 440, American Concrete Institute, "Guide for the design and construction of externally bonded (FRP) systems for Strengthening concrete structures", American Concrete Institute, Farmington, Michigan, 2008.
- [2] ACI 546, American Concrete Institute, "Concrete Repair Guide", American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001.
- [3] Al-Aieshy, "Repair of concrete Structure, in Swedish", Stockholm: Royal institute of Technology–Master Thesis Issn 1103–4297,1997
- [4] Lam, L. and Teng, J.G. (2003a). "Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete", Construction and Building Materials, 17(6–7): 471–489.
- [5] Andres Carolin, "Strengthening of concrete structure with CFRP shear strengthening and full-scale applications", Lulea University of Technology, Sweden,2001
- [6] "مساهمة لدراسة فعالية تقوية الجيزان البيتونية المسلحة على القص بشرائح مائلة من GFRP" الخطيب وعد-ججاج غاندي-صقور أكرم، اللاذقية، جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، رسالة ماجستير 2008
- [7] "دراسة سلوك الجوائز البيتونية المقواة بصفائح من الالياف الزجاجية GFRP" حشمة مرفت-ججاج غاندي-نداف قصي اللاذقية، جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، رسالة ماجستير 2008

Strengthening and Retrofitting R.C. Members Using Fiber Reinforced Polymers (FRP)

*Dr.Eng.Waad Ibrahim Alkhatib

Abstract

Recently, A Technique of structures strengthening and retrofitting using externally bonded fiber reinforced polymers (FRP) has sprung up which are Resins reinforced with three types of Fibers: (GFRP) Glass Fiber Reinforced Polymers, (CFRP) Carbon Fiber Reinforced Polymers, (AFRP) Aramid Fiber Reinforced Polymers, These materials are used for the Retrofitting of existing structures that need to strengthen due to decreasing the structural capability of its elements caused by several factors, including: function change of the facility, Terrorist attacks, Environmental destroying factors ...

This Technique has important characteristics that make it better than the other of traditional Retrofitting Materials and Methods, including: Light weighing, high resistance of tensile, high resistance of weathering and environmental impacts.

This paper includes these methods:

- Calculation Method of Beam Shear strengthening comparing with test results of Khatib–Jahjah2008[6] Research.
- Calculation Method of Beam Moment strengthening comparing with test results of Jahjah – Heshmi2008[7] Research.
- Calculation Method of Column strengthening.
- Specifications of ACI Committee 440 for Strengthening and Retrofitting Members and structures using (FRP).

Key Words: Retrofitting, Strengthening, Fiber Reinforced Polymers

* Academic Assistant –Structure Engineering Department–Civil Engineering College–
Tishreen University–Latakia–Syria.