

Improving the Ductility of Externally Supported Reinforced Beams with Reinforced Polymer Fibers and their Increase

Dr. Abdul Rahman Issa^{*}

Ahmed Al-Sayed^{**}

(Received 18 / 2 / 2024. Accepted 2 / 6 / 2024)

□ ABSTRACT □

In the past two decades, there has been an increasing use of advanced composite materials such as Fiber Reinforced Polymers (FRP) to strengthen concrete elements. Research and design codes have allowed for externally bonded Fiber Reinforced Polymers to enhance the structural capacity of concrete elements. The linear relationship between stress and strain of the fibers has shown a negative impact on the overall ductility without the appearance of a yielding zone in the reinforced elements until collapse. Using composite strips consisting of carbon fibers along with glass fibers changes the behavior of flexible materials to a more rigid behavior. The research aims to study the behavior of concrete beams reinforced with a mix of fiber-reinforced polymers.

Keywords: Ductility - Reinforcement - Strengthening - Rehabilitation - FRP – Flexure

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

^{*}Professor- Faculty of Civil Engineering- al-Ba'ath University- Homs- Syria.

^{**} Ph.D. Student - Faculty of Civil Engineering- al-Ba'ath University- Homs- Syria.
ahmedal-sayed@gmail.com

تحسين مطاوعة الجوائز المسلحة المدعمة خارجياً بألياف البوليمرات المسلحة وزيادتها

د. عبد الرحمن عيسى*

احمد السيد**

(تاريخ الإيداع 18 / 2 / 2024. قُبِلَ للنشر في 2 / 6 / 2024)

□ ملخص □

تزايد في العقود الماضية استخدام المواد المركبة المستحدثة كألياف البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP) لتقوية العناصر البيتونية وتوصلت الأبحاث وكودات التصميم لاستخدام البوليمرات المسلحة بالألياف الملصقة خارجياً على العناصر البيتونية لتزويد كفاءة قدرتها الإنشائية. وأظهرت العلاقة الخطية للإجهاد والانفعال للألياف انعكاساً سلبياً على المطاوعة الكلية دون ظهور منطقة خضوع للعناصر المدعمة المقواة حتى الانهيار. فاستخدام الشرائح المؤلفة من الألياف المكونة من استخدام الألياف الكربونية مع الألياف الزجاجية تغير من تصرف المواد المرنة للتصرف غير المرن. ويهدف البحث لدراسة تصرف الجوائز البيتونية المدعمة بمزيج من البوليمرات المسلحة بالألياف.

الكلمات المفتاحية: المطاوعة - التدعيم - التقوية - التأهيل - FRP - الانعطاف.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* استاذ- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث - حمص - سورية.

** طالب دكتوراه- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث - حمص - سورية. ahmedal-sayed@gmail.com

مقدمة:

زاد استخدام المواد المركبة المستحدثة في العقود الماضية كالألياف البوليمرات المسلحة بألياف (FRP) لتقوية العناصر البيتونية وتوصلت الأبحاث والكودات لاستخدام البوليمرات بالألياف الملصقة خارجياً على العناصر البيتونية لزيادة كفاءتها وقدرتها. وأعطت خصائص (FRP) نتائج مشجعة. وأظهرت العلاقة الخطية للإجهاد والانفعال للألياف انعكاساً سلبياً لعدم ظهور منطقة خضوع على المطاوعة الكلية للعناصر المدعمة حتى الانهيار. فاستخدم مزيج الشرائح المكونة من ألياف الـ (FRP) و (GFRP) تغير من تصرف المواد المرنة لغير المرنة. ويهدف البحث لدراسة أداء الجوائز المقواة المدعمة بهجين البوليمرات المسلحة (HFRP) إضافة لبرنامج مخبري للجوائز المدعمة بهذا النوع من الـ (HFRP) فصب اثني عشر جائزاً بشكل T بأبعاده الكاملة وكانت ((460,300,3250mm. وجريت الجوائز بحمولة دورية حتى الانهيار لدراسة سلوكها على الانعطاف. وأخذت نسب مختلفة من (التسليح، اتجاه الألياف، توضعها، ومجموعات مركبة من الألياف المقواة بـ (CFRP) وشرائح الـ (GFRP)) وضعت على الجوائز لتحديد أفضل نظام للتقوية. واعتمد النموذج التحليلي لخصائص (الإجهاد-الانفعال للبيتون)، ولحديد التسليح والشرائح. واستخلصت التوصيات والنتائج ومبادئ التصميم للجوائز وتدعيمها بالـ FRP وبالـ HFRP الهجينة.

أهمية البحث وأهدافه:**هدف البحث:**

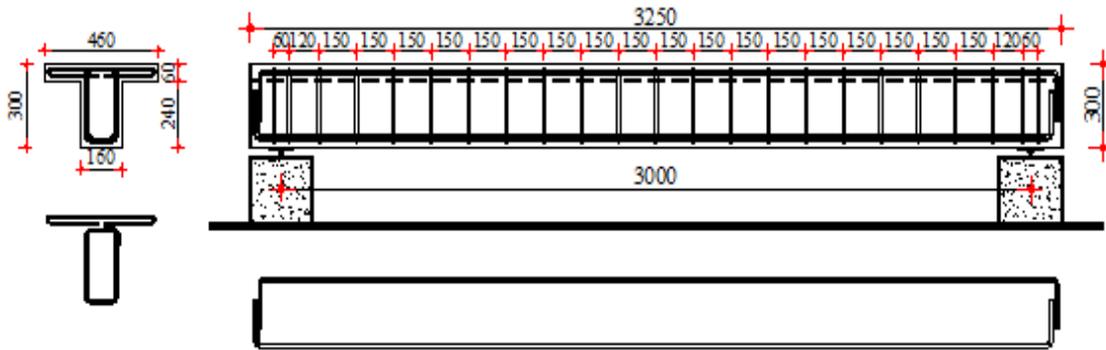
في العقود الماضية، ضربت زلازل بشدات معتدلة وشديدة أماكن مختلفة من العالم مسببة أضراراً للمنشآت البيتونية وهياكلها. وتطلب هذا رفع مستوى أداء هياكلها لمقاومة الحمولات الكبيرة. فبالإضافة لعديد المزايا المتنوعة للـ (FRP) ك (عدم قابليته للصدأ - عدم التآكل - خفة الوزن - قوته العالية)، وهذا الأسلوب بالتدعيم لا يؤدي لزيادة صلابة الهيكل الإنشائي، وإنما زيادة الحمولات الزلزالية لعناصر الهياكل المدعمة والمقواة بشكل أكثر. وتوصلت الأبحاث والكودات لاستخدام البوليمرات الملصقة خارجياً على العناصر البيتونية لتزيد كفاءتها. وتحققت للأعمدة المطوقة بـ (HFRP) مطاوعة أفضل بسبب تطويق البيتون، وكانت مطاوعة الجوائز المدعمة بالـ (FRP) منخفضة. وظهرت العلاقة الخطية للإجهاد والانفعال انعكاساً سلبياً على المطاوعة الكلية دون ظهور منطقة خضوع للعناصر المدعمة. فاستخدم شرائح مؤلفة من الألياف مع الألياف الزجاجية تغير من تصرف المواد المرنة للتصرف غير المرنة. ففي المناطق الزلزالية، فأن مطاوعة العناصر البيتونية معيار التصميم الأساسي. واقترح من قبل الباحثين عدة مقترحات للتدعيم وتعزيز هذا الأداء:

- 1- تطويق المناطق المضغوطة [5] أسلوب عملي للجوائز المستطيلة. (عدم وجود بلاطات).
- 2- التقوية الجزئية بشرائح من الـ (FRP) بمناطق مختلفة [4].
- 3- تصميم جائز للانهيار بالضغط [6] ، ولا يتحقق هذا في الجوائز ذات المقطع T.
- 4- استخدام هجين البوليمرات [1]. فتقوية الجوائز بهجين الـ (HFRP) لزيادة قدرتها ومطاوعتها. فشرائح الـ (HFRP) المكونة من ألياف الكربون والزجاج فايبر أو الزجاج فايبر لها سلوك غير خطي للإجهاد - والانفعال [1]. أجريت التجارب لدراسة سلوك الجوائز المقواة بشرائح (HFRP)، فصب اثني عشر جائزاً بشكل T بارتفاع 300mm وبطول إجمالي 3250mm. وحملت الجوائز بأربعة نقاط بحمولة دورية لتقييم المطاوعة وتبديد الطاقة وتراكيب مختلفة من

الشرايح المقواة بالـ (CFRP و GFRP) للتبؤ بأفضل مخطط للتقوية والتدعيم. واخذت نسب مختلفة للتسليح والتوضع للـ FRP واتجاه الألياف. واعتمد النموذج التحليلي على خصائص الإجهاد الانفعال للبيتون، وللفلواذ والـ FRP. وأدخلت مختلف توصيات الكودات لتصميم الجوائز البيتونية المسلحة المقواة بشرايح الـ (FRP و HFRP).

1- العمل التجريبي المخبري:

صبت الجوائز بشكل T وتركت (28) يوم ارتفاعها 300mm وطولها 3250mm وعرض جناحها 460mm وبسماكة 60mm الشكل (1). وضع الجائز على مسندين بسيطين وبمجاز صافي 3000mm. ويتسليح علوي 2Ø10mm وسفلي 2Ø16mm للجوائز من F₀₀-F₁₀ ، ونسبة للتسليح الرئيسي 0.9% . والعرضي ب Ø10 كل 50mm ونسبة 0.63%. ويتسليح الرئيسي للجائز (F₁₁) 2Ø10mm ونسبة 1.76%. وأنظمة الهجين مزيج من شرايح الـ (CFRP و GFRP) لتقويتها. لصقت مع الألياف بالاتجاه الطولي لزيادة قدرتها على الانعطاف. وسماكة شرايح الـ CFRP ب 0,117mm، واستطالتها النسبية 1,55% وعامل مرونتها 240GPa. وسماكة لشرايح الـ GFRP 0,135mm واستطالتها النسبية 2,88% وعامل مرونتها 65GPa. وبمقاومة مميزة 25Mpa، وإجهاد خضوع للتسليح الطولي 415Mpa وللعرضي 240MPa.



(للجائز 11) 2Ø22 & (للجوائز من 1 حتى 10) 2Ø16

الشكل (1) يبين تفاصيل حديد التسليح للعينات المختبرة

2- عينات الجوائز المختبرة والمتغيرات الرئيسية :

كانت المتغيرات (نسبة التسليح - نوع الـ HFRP الهجين -توضع الـ FRP والنسبة بين CFRP و GFRP) الجدول (1). واختبرت سبعة جوائز حتى الزمن المحدد على ورقة الجهاز الموضوعية. والجائز المرجعي F₀₀ ومخطط تقوية الجوائز الثلاثة الأخرى كالتالي:

1- وضع على الوجه السفلي للجائز F₀₁ طبقتين من الـ CFRP بعرض 150mm ونسبة حجمية لشرايح الـ CFRP 0,073%، الشكل (2).

2 - وضع على الوجه السفلي للجائز F₀₂ مزيج من الـ CFRP و GFRP. وعرض شرايح الـ (GFRP)، 415mm وضعت على ثلاث طبقات. ووضعت فوق الوجه السفلي شرايح الـ (CFRP) بعرض 40mm على جانبي الجائز. وبنسب حجمية لشرايح الـ (GFRP) وشرايح الـ CFRP 0,117% و 0,02% على التوالي، الشكل (2).

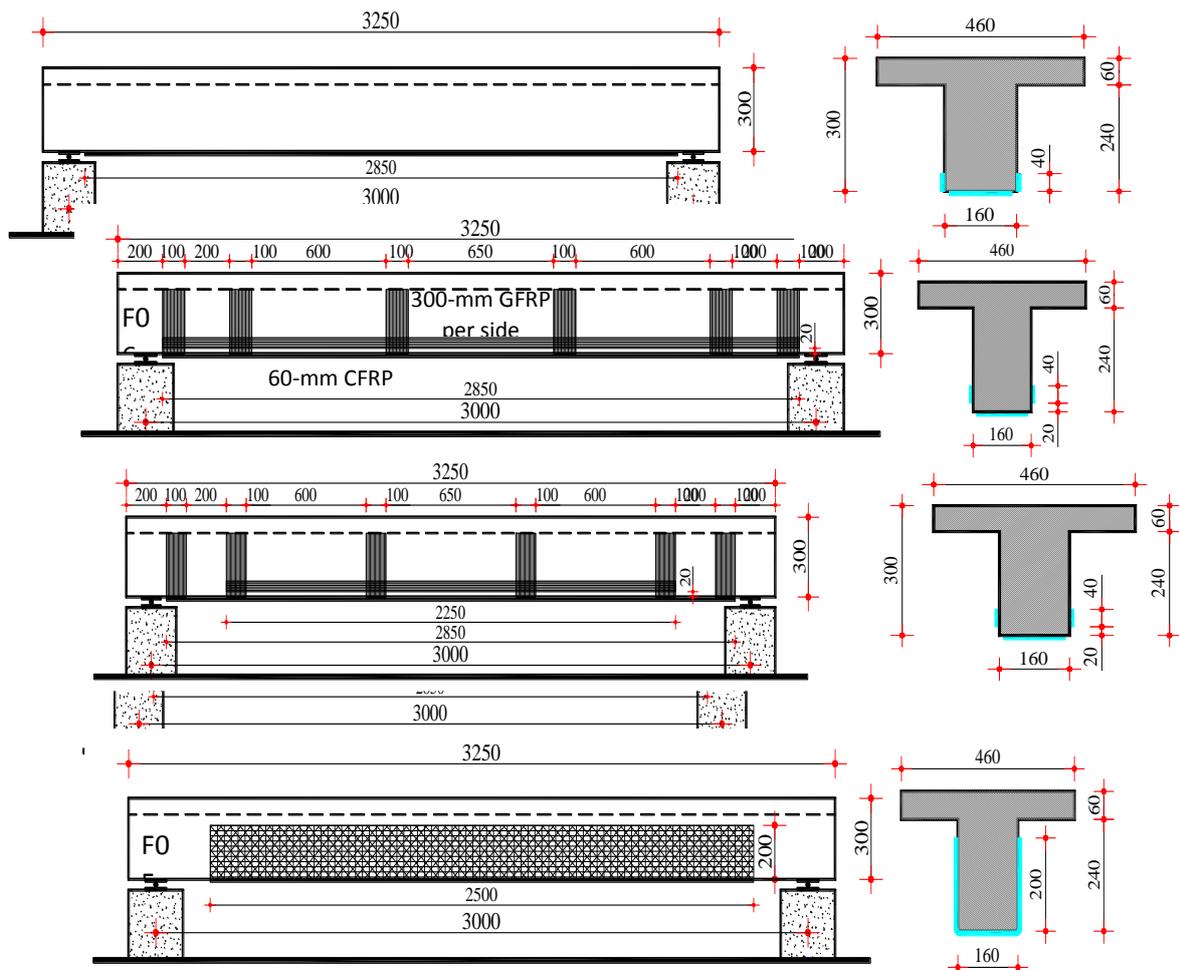
3- وضع على الوجه السفلي للجائز F₀₃ مزيج من الـ (CFRP و GFRP). بعرض لشرايح الـ (GFRP)، 440mm وضعت على ثلاث طبقات. ووضعت شرايح الـ (CFRP) بعرض 40mm على جانبي الجائز فوق الوجه السفلي ب

20mm. ووضعت ستة شرائح من (GFRP) بشكل U أعلى من غيرها ويعرض 100mm لمنع عدم الالتصاق لل FRP. وبنسب حجمية لشرائح GFRP و CFRP 0,124% و 0,02% على التوالي، الشكل (2).

4- وضع على الوجه السفلي للجائز F₀₄ ثلاث طبقات طولية لشرائح من (GFRP) بعرض 440mm. وبنسبة حجمية لشرائح (GFRP) 0,124%. الشكل (2).

5- وضع على الجائز F₀₅ شرائح GFRP باتجاهات (0°,45°,90°) على الوجه السفلي وجوانبها على طبقتين باتجاهات مختلفة. وضعت الأولى باتجاهات (0°,45°,90°)، و الطبقة الثانية بالاتجاه (0°,45°,90°)، الشكل (2).

6- وضع مزيج الشرائح الطولية على الوجه السفلي للجائز F₀₆ (GFRP و CFRP)، ويعرض لل (CFRP) 60mm وضعت على الوجه السفلي. ووضعت شرائح الـ (GFRP) بعرض 300mm على خمس طبقات على كل جانب للجائز فوق الوجه السفلي بـ 20mm. وستة شرائح GFRP بشكل U بعرض 100mm وضعت أعلى من البقية لمنع عدم الالتصاق. وبنسب حجمية لشرائح GFRP و CFRP هي 0,169% و 0,015% على التوالي، الشكل (2) لصقت شرائح FRP بعد عمر 28 يوماً. وتضمنت إجراءات اللف والتطويق بعد إعداد السطوح وتنظيفها باستخدام مطرقة ومنفاخ ولصق الإيبوكسي الثنائي وفقاً لتعليمات الشركة الصانعة. ولفت الزوايا بنصف دائرة قطرها 15mm لتصل لشرائح GFRP بشكل U.



الشكل (2) يبين نموذج تقوية الجوائز (F₀₁-F₀₂-F₀₃-F₀₄-F₀₅-F₀₆)

3- العمل المخبري (واجراء التجارب):

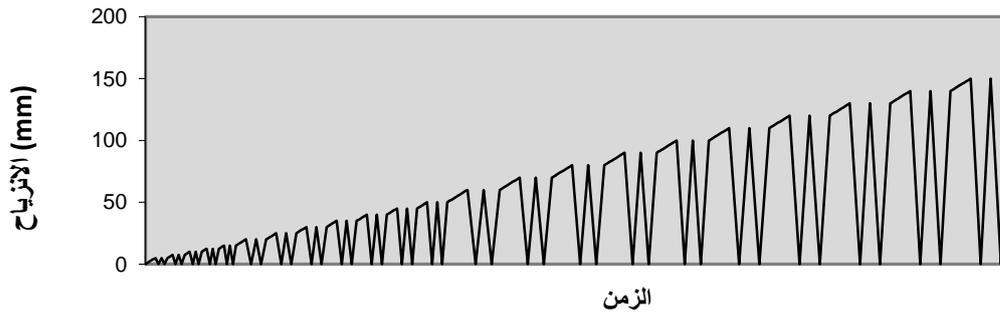
تعرضت الجوائز لحمولة دورية حتى الانهيار بألة هيدروليكية قدرتها 300Kn. وقيست الحمولة بخلية حمولة قدرتها 1000Kn الشكل(3). وطبقت حمولتان مركزتان على بعد 375mm من منتصف الجائز بنظام التحكم المستخدم لحالات السكته الدماغية. وضبطت الحمولة الدورية بزيادة السكته الدماغية بـ 2,5mm لتصل لـ 15mm وبزيادة 5mm لـ 50mm وأخيرا بزيادة 10mm، الشكل(4) وطبقت دورتين لكل طريقة. والحد الأدنى للحمولة لكل دورة 5Kn للحفاظ على استقرار منصة الاختبار. وجمعت البيانات بنظام الحصول على البيانات والمشاهدة المخبرية (البرمجيات) بمعدل عينة واحدة في الثانية. وقيست الإجهادات الطولية والعرضية للجوائز بأسلوبين مختلفتين؛ خطي لمحاولات الفرق المتغير (LVDT)، وبأجهزة قياس الضغط الكهربائية. وقيست إجهادات البيتون-الفلواز والـ FRP بالاتجاه الطولي. والتشوهات بمنتصف الجائز وبنقطتين معاكستين له.



الشكل(3) يبين الية التحميل

الجدول(1) يبين تفاصيل تدعيم الجوائز

رقم الجائز	نوع ال FRP	خصائص CFRP		خصائص GFRP		اتجاه الفايبر بالنسبة لمحور الجائز	حالة الجائز خلال وقت التحميل	نظام التثبيت	ملاحظات
		النسبة %	مكان الشريحة	النسبة %	مكان الشريحة				
F ₀₀		عينة المراقبة							
F ₀₁	CFRP	0.073	في الأسفل	-	-	0°	-	-	-
F ₀₂	CFRP + GFRP	0.020	على الجوانب	0.117	في الأسفل	0°	غير محمل	-	شرائح CFRP فوق الطرف السفلي
F ₀₃	CFRP + GFRP	0.020	على الجوانب	0.124	في الأسفل	0°	غير محمل	6-U	شرائح CFRP فوق الطرف السفلي بـ 20mm
F ₀₄	GFRP	-	-	0.124	في الأسفل	0°	غير محمل	GFR P	-
F ₀₅	GFRP	-	-	-	-	0/90°/+ 45°	غير محمل	2-U	طبقتان
F ₀₆	CFRP + GFRP	0.015	في الأسفل	0.169	على الجوانب	0/90°/+ 45°	غير محمل	GFR P	شرائح GFRP فوق الطرف السفلي بـ 20mm
F ₀₇	CFRP + GFRP	0.030	في الأسفل	0.338	على الجوانب	0°	غير محمل	-	شرائح GFRP فوق الطرف السفلي بـ 20mm
F ₀₈	CFRP + GFRP	0.020	على الجوانب	0.124	في الأسفل	0°	محمل	6-U	شرائح CFRP فوق الطرف السفلي بـ 20mm
F ₀₉	CFRP + GFRP	0.015	في الأسفل	0.169	على الجوانب	0°	محمل	GFR P	شرائح GFRP فوق الطرف السفلي بـ 20mm
F ₁₀	CFRP	0.073	في الأسفل	-	-	0°	محمل	6-U	-
F ₁₁	CFRP + GFRP	0.030	في الأسفل	0.338	على الجوانب	0°	غير محمل	GFR P	شرائح GFRP فوق الطرف السفلي بـ 20mm

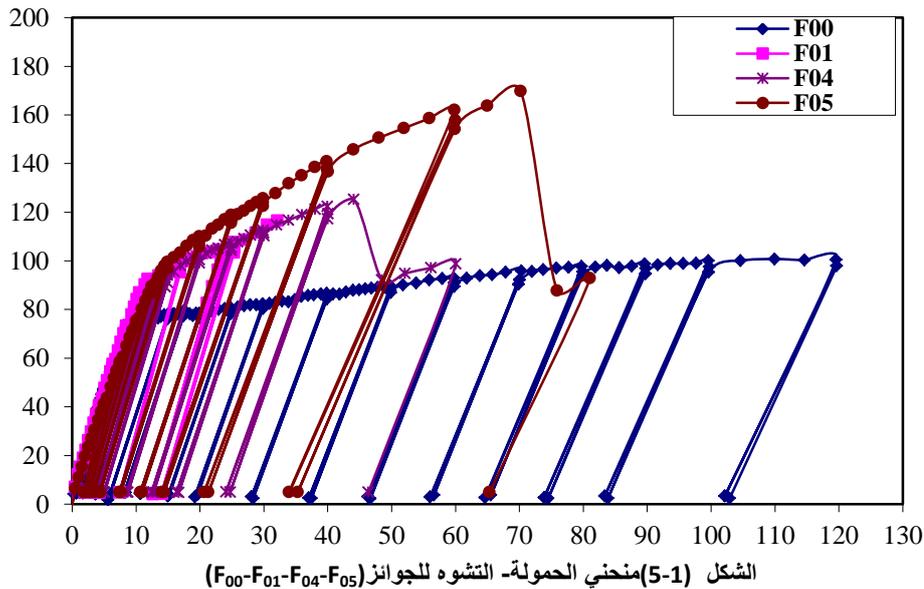


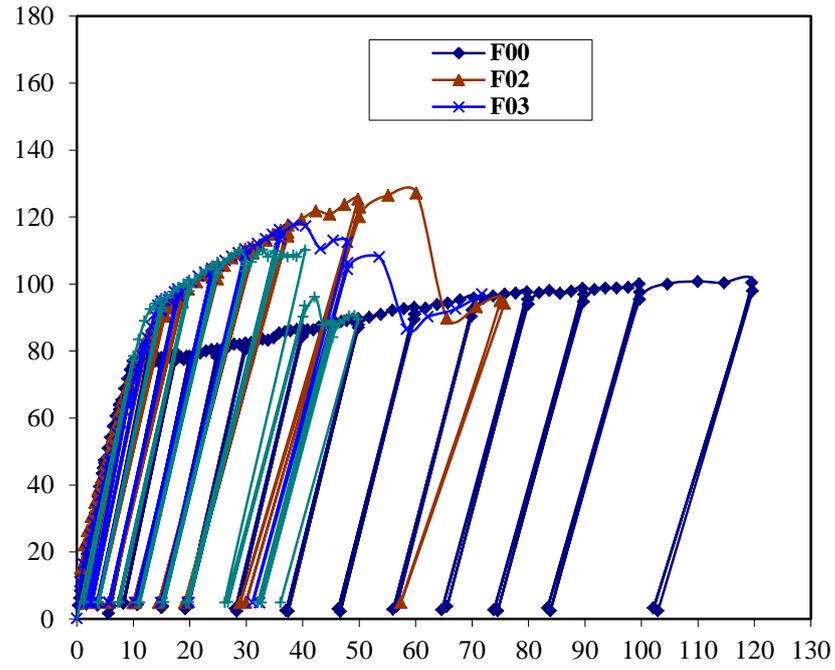
الشكل (4) يبين نموذج تحميل دوري

النتائج والمناقشة:

كانت النتائج للجوائز ($F_{01}, F_{00}, F_{02}, F_{03}, F_{04}, F_{05}, F_{06}$). ويظهر الشكل (1-5) منحنيات (الحمولة-التشوه) للجوائز ($F_{00}, F_{01}, F_{04}, F_{05}$). و(2-5) (الحمولة-التشوه) للجوائز ($F_{00}, F_{02}, F_{03}, F_{06}$) الجدول (1) يبين تفاصيل الجوائز. فكانت حمولات الانهيار على التوالي: (100, 116.5, 127.2, 117.3, 125.25, 169.7, 110.25)Kn. وازادت القدرة الاستيعابية الحديدية للجوائز ($F_{01}, F_{02}, F_{03}, F_{04}, F_{05}, F_{06}$) بنسبة (16.5, 27.2, 17.3, 25.3, 69.7, 10.3%) على التوالي مقارنة بجائز المراقبة F_{00} . وتجدر الإشارة إلى أن إجهاد حديد التسليح في بداية الانهيار لجائز المراقبة كانت أعلى من إجهاد الخضوع بسبب الانهيار بالانعطاف والإجهادات الكبيرة المقاسة والهضبة الصغيرة العائدة للحديد المستخدم. والحد الأقصى للإجهادات المقاسة بحديد التسليح لجائز المراقبة 2.8%، وتراوحت بين 1.0%-1.5% للجوائز المدعمة. ويشير هذا إلى أن انهيار البيتون، بسبب الضغط في حديد التسليح للجوائز المدعمة أقل منه في جائز المراقبة. والتشوهات الأعظمية المقاسة للجوائز على التوالي (120, 32.1, 60.1, 53.6, 44.1, 70.2, 42.1)mm. وقيست التشوهات الأعظمية للجوائز المدعمة بال (HFRP) وتمزقت الشرائح متزامنة مع انخفاض بقدرة تحملها، وقيست التشوه لجائز المراقبة فكان انسحاق كامل للجناح العلوي. وكان الانهيار لجائز المراقبة مطاوعاً عند تشوه الانهيار واثنا عشر ضعفاً للتشوه الحاصل في حديد التسليح. وباستخدام شرائح الـ (CFRP) كان الانهيار أقل مطاوعاً بكثير، والتشوه الحدي أكبر بـ 2.5 ضعفاً من تشوه الفولاذ. وباستخدام مزيج من الـ (CFRP والـ GFRP) توصلت الجوائز لمطاوعة أكبر بستة أضعاف، عنها للجوائز المقواة بنوع واحد من شرائح الـ (FRP) والذي هو 2.4 مرة. وكان الانهيار الأعلى في الجائز F_{01} المدعم بـ (CFRP) هشاً "وظهرت تصدعات بالانعطاف في منتصف الجائز تلاها حديد التسليح وتمزق بالشرائح الشكل (6). وكان الانهيار في الجائز F_{02} مطاوعاً وأكبر بستة أضعاف تشوه الانهيار العائد لحديد التسليح. وظهرت تصدعات بالانعطاف في منتصف الجائز تلاها حديد التسليح وتمزق بـ (CFRP) بجانب واحد. ولوحظت شقوق طولية موازية لشرائح الـ (GFRP) ويرجع ذلك للطاقة المرنة الكبيرة الصادرة في بداية تمزق شرائح الـ (CFRP). وسببت هذه الطاقة أيضاً ضرراً موضعياً في الوجه بين شرائح الـ (GFRP) والبيتون. وحدث الانهيار النهائي لعدم الالتصاق الكامل لشرائح الـ (GFRP) الشكل (7). وكان الانهيار تدريجياً وهبطت الحمولة تدريجياً ويرجع لاستخدام مزيج من الشرائح المقواة بألياف الكربون (CFRP و GFRP). وكان الانهيار في الجائز F_{03} مطاوعاً وأكبر بـ 5.5 ضعفاً من تشوه الانهيار حديد التسليح. وظهرت تشققات بالانعطاف في منتصف الجائز تلاها حديد التسليح وتمزق بـ (CFRP) بجانب واحد تلاها تمزق شرائح الـ (CFRP) في الجانب الآخر. والطاقة المرنة الكبيرة الصادرة في بداية تمزق شرائح الـ (CFRP) أدت لشقوق طولية موازية لشرائح الـ (GFRP). ويعتقد أن

الأتاري الستة بشكل U (GFRP) ساهمت بسلامة الجائز بعد تمزق الشرائح المقواة بألياف الكربون الـ (CFRP). وحدث الانهيار النهائي بتمزق شرائح الـ (GFRP) الشكل (8). مماثلاً للجائز F_{02} ، فكان الانهيار تدريجياً وهبطت الحمولة تدريجياً، ويرجع هذا لاستخدام مزيج من الشرائح المقواة بألياف الكربون (CFRP و GFRP). وكان الانهيار في الجائز F_{04} المدعم بالـ (GFRP) هشاً وأكبر بـ 3 أضعاف من تشوه انهيار حديد التسليح. وظهرت تشققات بالانعطاف في منتصف الجائز تلاها العائد لحديد التسليح وتمزق بشرائح الـ (GFRP) الشكل (9) وكان الانهيار في الجائز F_{05} المدعم بالـ (GFRP) هشاً. وحدث لعدم الالتصاق من شرائح الـ (GFRP) الشكل (10) وهذا يرجع للسماعة الكبيرة لشرائح الـ (GFRP) المستخدمة. وكان تشوه الانهيار الجائز F_{06} أكبر بـ 5 أضعاف تشوه حديد التسليح. وظهرت تشققات بالانعطاف في منتصف الجائز تلاها العائد لحديد التسليح وتمزق بشرائح الـ (CFRP) الشكل (11). بداية تمزقت شرائح الـ CFRP، وانخفضت الحمولة من 100-110kn. واختير تحميل ليصل مرة أخرى للمستوى 110KN حتى حدث تمزق بشرائح الـ (GFRP)، الشكل (12) وكان الانهيار تدريجياً وهبطت الحمولة تدريجياً، ويرجع هذا لاستخدام مزيج من الشرائح المقواة بألياف الكربون (CFRP و GFRP). ولوحظ انهيار تدريجي للجائز بسبب تمزق غير متزامن للشرائح المقواة بألياف الكربون (CFRP و GFRP)، فضلاً عن تمزق تدريجي لشرائح الـ (GFRP) المعلقة والملصوقة على جانبي الجائز. والشرائح الست الملصوقة U من الـ (GFRP) منعت الأضرار على الوجه المدعم الـ FRP وقد تكون وقعت بسبب تمزق شرائح الـ (FRP) المقواة بألياف الكربون. وتجدر الإشارة إلى أن جميع الجائز المختبرة، بعد تمزق شرائح الـ (FRP) كان سلوك الحمولة - التشوه مماثلاً لجائز المراقبة.





الشكل (5-2) منحنى الحمولة- التشوه للجوائز (F_{00} - F_{02} - F_{03} - F_{06})



الشكل (6) يبين انهيار الجائز F_{01}



الشكل (7) يبين انهيار الجائز F_{02}



الشكل (8) يبين انهيار الجائز F_{03}



الشكل (9) يبين انهيار الجائز F_{04}



الشكل (10) يبين انهيار الجائز F_{05}

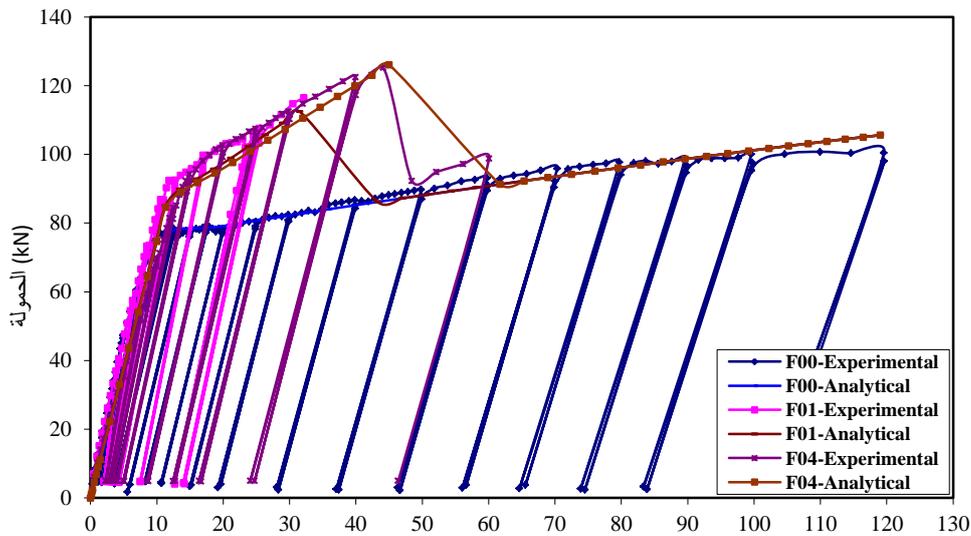


الشكل (11) يبين تمزق صفائح CFRPR

الشكل (12) يبين انهيار الجائز F₀₆

الدراسة التحليلية:

استخدم نهجاً "توافيقاً" للتنبؤ بالقدرة الاستيعابية النهائية للجوائز. وكان مفترضاً "منحنى الإجهاد-الانفعال المكافئ للبيتون (2)، وكان مفترضاً السلوك المرن-اللدن لحديد التسليح. والسلوك المرن الخطي لشرائح FRP استناداً للبيانات المقدمة من قبل الشركة المصنعة. وتم حساب التشوه للجوائز باستخدام التكامل بين انحناء طول المجاز من كل جائز. الشكل (13) يظهر وجود علاقة جيدة بين التشوه المقاس والمتوقع للجوائز. وتجدر الإشارة إلى أن الاجهادات القصوى 50% من قيم الاجهادات النهائية المقدمة من قبل الشركة المصنعة وتم استخدامه باعتباره الحد الأعلى ليتزامن مع أقصى قياس الضغط على شرائح FRP.

مقارنة بين الدراسة التحليلية- والتجريبية الحمولة- التشوه للجوائز (F₀₀-F₀₁-F₀₄)

الاستنتاجات والتوصيات:

استناداً للدراسات التجريبية والتحليلية المجرى، يمكننا استخلاص الاستنتاجات التالية:

1- استخدام الشرائح المقواة بألياف الكربون (CFRP) أو شرائح (GFRP) لتقوية الجوائز البيتونية المسلحة بشكل T وسيلة فعالة لزيادة قدرتها الاستيعابية النهائية. ويقل بشكل كبير من مطاوعة الجوائز. وباستخدام مزيج الشرائح المقواة بألياف الكربون (GFRP-CFRP) وسيلة فعالة لزيادة مطاوعة الجوائز المدعمة.

- 2- الطاقة المرنة المفرجة بتمزق شرائح الـ CFRP تؤثر سلبا على الوجه بين البيتون وشرائح الـ GFRP.
- 3- شرائح FRP بشكل U المستخدمة لتثبيت الشرائح الطولية من الـ GFRP منعت وقوع الإنهيار وحدثت بتمزق شرائح الـ CFRP.
- 4- أفضل مخطط يمكن استخدامه لتقوية الجوائز البيتونية لصق شرائح الـ CFRP على جانبي الجائز بـ 20mm فوق السطح السفلي وشرائح الـ GFRP على الوجه السفلي.
- 5- يمكننا باستخدام النهج التوافقي للتنبؤ بدقة سلوك الجوائز. واستخدام الحد 50% لقيم الاجهادات القصوى من القيم المذكورة من قبل الشركة المصنعة لكلا من CFRP و GFRP في التحليل.

REFERENCES:

1. Belarbi A., Chandrashekhara K. and Watkins S. 1999, "Performance Evaluation of Fiber Reinforced Polymer Reinforcing Bar Featuring Ductility and Health Monitoring Capability", Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymers (FRP) for Reinforced Concrete Structures, Baltimore, Maryland, U.S.A., ACI SP 188-29, pp. 1-12.
2. Collins M., and Mitchell D. 1997, "Prestressed Concrete Structures", Response Publications, Canada, pp. 168-250.
3. El-Afandy T., "Applications of Hybrid Fiber Reinforced Polymers in Strengthening RC Elements", PhD Dissertation, Ain Shams University, Cairo, Egypt, 2006, 238 p.
4. Lees and Burgoyne 2000, "Analysis of Concrete Beams with Partially Bonded Composite Reinforcement", ACI Structural Journal, Vol.97, No.2, March-April, pp.252-258.
5. Naaman A. 1993, " Ductility Implications for Prestressed and Partially Prestressed Concrete Structures Using Fiber Reinforced Plastic Reinforcements", FIP Symposium, Kyoto, Japan, pp.757-766.
6. Yost J., Goodspeed C., and Schmeckpeper E., 2001, "Flexural Performance of Concrete Beams Reinforced with FRP Grids", Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol.5, February, pp. 18-25.