

Effect Strengthen of Reinforced Concrete Beams with Created Central Opening with CFRP around These Opening Under Combined Torsion and Bending

Dr Ghandi Jahjah*
Dr . Ihsan Altarsha**
Dareen Alsalamah***

(Received 30 / 10 / 2019. Accepted 16 / 2 / 2020)

□ ABSTRACT □

The effect of torsion moments on reinforced concrete beams have much attention and complicate ,that if these moments are combined with shear and bending moments or act alone (pure torsion) . creating opening in these beams will reduce their strong a lot. This research study the effect of strengthening these beams , if we create opening in them , with CFRP to improve the ultimate torsion . The research conclude that creating an opening in the beams reduce the strength about 70% , while strengthen with CFRP increase the strength about three times compared with beams with opening.

Keywords: Beams, Torsion , CFRP , Strengthening .

* Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Albaath University, Homs, Syria.

*** Postgraduate Student (Doctorate), Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

تأثير تقوية الجوائز البيتونية المسلحة عند إحداث فتحات مركزية بها باستخدام شرائح CFRP حول الفتحات على مقاومتها لعزوم الفتل والانعطاف

د. غاندي ججاج*

د. إحسان الطرشة**

دارين شعبان السلامة**

(تاريخ الإيداع 30 / 10 / 2019. قَبْلُ للنشر في 16 / 2 / 2020)

□ ملخص □

بعد تأثير عزوم الفتل على الجوائز البيتونية المسلحة موضوع بغاية الأهمية والتعقيد ، سواء أكانت عزوم الفتل هذه مترافقة مع الأفعال الإنشائية الأخرى من قص وعزوم انعطاف أو عزوم فتل صافية ، وعند إحداث فتحة بهذه الجوائز تنقص مقاومتها بشكل كبير. تناقش الدراسة الحالية تأثير تقوية الجوائز البيتونية المسلحة الخاضعة لعزوم فتل وانعطاف، التي تحدث فيها فتحات أثناء الاستمرار وذلك باستخدام شرائح الألياف الكربونية CFRP . توصل البحث إلى عدة نتائج تؤكد أن إحداث الفتحات يؤدي إلى انخفاض المقاومة بنسبة تصل إلى 70% ، بينما يزيد التدعيم بشرائح الألياف الكربونية المقاومة بنسبة كبيرة تصل إلى ثلاثة أضعاف مقاومته مع فتحات .

الكلمات المفتاحية: الجوائز، الفتل ، التدعيم ، الانعطاف ، CFRP.

* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

*** طالبة دكتوراه - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

توجد عدة دراسات حول سلوك الجوائز البيتونية المدعمة بالألياف تحت تأثير عزوم الفتل سواء كانت عزوم الفتل صافية كما في بعض الدراسات [4]، أو مترافقة مع أحد الأفعال الإنشائية [3]، إلا أنه لم يتم التوصل لعلاقة نهائية لأخذ أثر الألياف وما تضيفه على المقاومة النهائية، ولاسيما في حال الحاجة لإحداث فتحة في هذه العناصر أثناء الاستثمار أو لأسباب أخرى، وتعد الطريقة الأمثل لدراسة سلوك هذه الجوائز هي اختبارها، ولإنجاز الاختبار نحن بحاجة لمنصة اختبار تمكننا من تطبيق عزوم الفتل والأهم من ذلك تفصيل مساند خاصة لا تعيق عزوم الفتل المطبقة بأية نسبة حتى لو كانت ضئيلة، قمنا بتجريب عدد من الجوائز البيتونية المصمتة، وجوائز بيتونية بفتحة بدون تدعيم، وجوائز بيتونية بفتحة مع تدعيم.

أهمية البحث وأهدافه:

تتبع أهمية هذا البحث من الحاجة إلى تحسين أداء الجوائز البيتونية المسلحة تحت تأثير عزوم الفتل والانعطاف، من خلال التدعيم بشرائح من الألياف الكربونية CFRP، عند إحداث فتحات عند الاضطرار لضمان سلامة المنشأ، والذي ينعكس إيجاباً على تلبية المتطلبات الإنشائية المرورية أو عند انخفاض فعالية العناصر الإنشائية لأي سبب من الأسباب. هدف البحث تقييم فعالية طريقة التدعيم بشرائح من الألياف الكربونية للعناصر الإنشائية المعرضة لعزوم فتل وانعطاف من خلال دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بدون وجود فتحات والمحدث بها فتحات أثناء الاستثمار تحت تأثير عزوم الفتل والانعطاف، ثم تقييم سلوك هذه الجوائز بعد تدعيمها بشرائح من الألياف الكربونية.

الدراسة النظرية للبحث:

يتم حساب عزم الفتل للعناصر البيتونية المسلحة وفق الكود العربي السوري [5] بالعلاقات التالية:

يعطى الإجهاد المماسي الذي يسببه عزم الفتل في القطاعات المستطيلة بالعلاقة:

$$\tau_{tu} = \frac{3 \cdot T_u}{\sum x^2 \cdot y} \quad (1)$$

$$A_{st} = \frac{(\tau_{tu} - \tau_{tc}) \cdot S \cdot \sum x^2 \cdot y}{3 \cdot \alpha_t \cdot x_1 \cdot y_1 \cdot f_y} \quad (2)$$

حيث:

- T_u : عزم الفتل الحدي الأقصى .
- X : عرض مستطيل المقطع العرضي .
- Y : ارتفاع مستطيل المقطع العرضي .
- τ_{tu} : إجهاد الفتل المماسي .
- τ_{tc} : إجهاد الفتل المماسي الذي يقاومه البيتون .
- S : خطوة الأساور .

- A_{st} : مقطع اسوارة التسليح العرضي.
- x_1 : عرض اسوارة التسليح المستطيل .
- y_1 : طول اسوارة التسليح المستطيل.
- f_y : حد مرونة فولاذ الأساور .
- α_t : معامل يؤخذ من العلاقة :

$$\alpha_t = 0.66 + 0.33 \frac{y_1}{x_1} \leq 1.5 \quad (3)$$

كما تعطى علاقة عزم الفتل للجوائز البيتونية المسلحة عند إحداث الفتحاح حسب AKHTARUZZAMAN بجامعة الملك عبد العزيز بالسعودية (1990) [1]، الذي أدخل تعديلاً على معادلات الكود ACI -89 الخاصة بالجوائز البيتونية المسلحة المصممة الخاضعة لعزوم فتل لتشمل ذات الجوائز بعد إحداث الفتحاح معتمداً على دراسات تجريبية عديدة.

$$T = T_C + T_S \quad (4)$$

حيث : T : عزم الفتل الكلي ، T_C : عزم الفتل الذي يقاومه البيتون ، T_S : عزم الفتل الذي يقاومه فولاذ التسليح وبحسب بالعلاقة :

$$T_C = 0.8 \sqrt{f'_c} b^2 h (1 - \lambda \frac{d_o}{h}) \quad (5)$$

$$T_S = n A_t a_t x_1 f_y \quad (6)$$

حيث :

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (Psi).

b : عرض المقطع العرضي (in) .

h : ارتفاع المقطع العرضي (in) .

λ : عامل مساوي لقيمة 1 للفتحات المستطيلة .

d_o : ارتفاع الفتحة (in) .

x_1 : عرض الاسوارة (in) .

n : تمثل عدد الأفرع الشاقولية للأساور بمقطع انهيار 45°

وبحسب توصيات (2001) FIB [2] تعطى علاقة مقاومة شرائح الألياف لعزوم الفتل بالعلاقات:

للتطويق الكامل:

$$T_{n,frp} = 2\varepsilon_{ke,f} E_{fu} \frac{t_f b_f}{s_f} bh \cot \alpha \quad (7)$$

للتطبيق بشكل حرف U :

$$T_{n,frp} = \varepsilon_{ke,f} E_{fu} \frac{t_f b_f}{s_f} bh \cot \alpha \quad (8)$$

حيث أن التشوه الفعال لألياف الكربون :

$$\varepsilon_f = 0.17 \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \cdot \rho_f} \right)^{0.3} \cdot \varepsilon_{fu} \quad (9)$$

التشوه الفعال لألياف الزجاج .

$$\varepsilon_f = 0.048 \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \cdot \rho_f} \right)^{0.47} \cdot \varepsilon_{fu} \quad (10)$$

حيث :

ε_{fu} : التشوه الحدي لطبقة الـ FRP .

f_{cm} : مقاومة البيتون على الضغط (MPa) .

E_{fu} : معامل يونغ لطبقة الـ FRP (GPa) .

t_f : سماكة طبقة الـ FRP (mm) .

b_f : عرض طبقة الـ FRP (mm) .

s_f : التباعد بين شرائح الـ FRP (mm) .

bh : عرض وارتفاع المقطع العرضي المطوق (mm) .

w_f : عرض شريحة الـ FRP .

θ : زاوية ميل الشقوق القطرية عن المحور الطولي للجائز .

ρ_f : نسبة تسليح الفايبر بالنسبة للبيتون وتحسب من المعادلة :

$$\rho_f = \frac{2 \cdot t_f \cdot w_f}{b \cdot s_f} \quad (11)$$

الدراسة التجريبية للبحث:

تم إجراء تجارب على عدد من الجوائز البيتونية المسلحة باستخدام جهاز التحميل الموجود في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث الشكل (1) ، والذي يعطي قوة تحميل حتى 1000KN .



الشكل (1) جهاز التحميل الموجود في مخبر البيتون بكلية الهندسة المدنية في جامعة البعث

حيث تم تعديل الجهاز بشكل يمكننا من تطبيق عزم فتل مع عزم انعطاف.

وصف ملحقات الجهاز والمساند المعدلة بجهاز الاختبار:

الأذرع الفولاذية:

الأذرع التي سنقوم من خلالها بتطبيق مزدوجة الفتل هي أذرع معدنية ، كل ذراع عبارة عن صفيحة معدنية بسماكة 4cm ويعرض 8cm لتطبيق الحمل ، ملحومة إلى مقطع معدني حلقي سيتم لفه حول الجائز ، وتم تقوية القطعتين بلحمهما إلى صفيحة أخرى مثلثية لتأمين الصلابة ، تم تفصيل ذراعين معدنيين يوضع كل منهما بجهة بالنسبة لمنتصف الجائز وعلى بعد 30cm عن المساند لتأمين مزدوجة الفتل ، تم بذلك نقل الحمل المركز P في منتصف الجائز إلى حقلين مركزيين خارج الجائز من كل طرف بقيمة $P/2$ بلامركزية قيمتها 0.435m.

جائز نقل الأحمال:

نقل الحمل من الجهاز الرئيسي إلى ذراعي التحميل تم تفصيل جائز معدني ، وتم تقويته بلحم صفائح معدنية إلى الجسد في المنتصف ، أي تحت الحمل الرئيسي تماماً.

المساند:

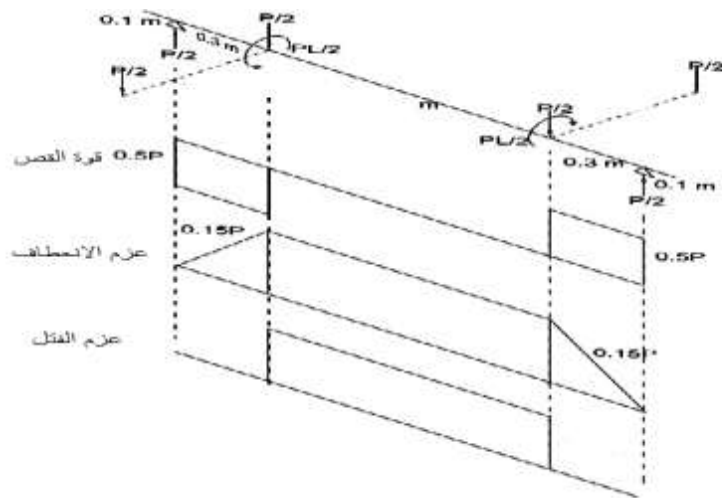
أما المساند فقد تم تفصيلها معدنياً بحيث تؤمن دوران حول المحور الطولي للجائز ، فإن تم وضع الأذرع الفولاذية فوق المساند تماماً فإنها لا تمنع الدوران أبداً ويتم عندها تطبيق عزم فتل صافي ، وكلما تم انزياح الأذرع الفولاذية عن المساند باتجاه المنتصف ، تم تطبيق عزم فتل مترافقة مع عزم انعطاف بنسب تختلف حسب بعد هذه الأذرع الفولاذية عن المساند ، حتى إن طبقنا الحمولة بمنتصف الجائز تماماً فقط ، أصبح عزم الفتل مساوياً للصفر . أصبح الجهاز بعد التعديل بالشكل (2) والذي يبين أيضاً توزيع الحساسات ، ويبين الشكل (3) شكل المسند الذي تم تفصيله لتأمين تطبيق عزم الفتل بالشكل الصحيح ، كما يبين الشكل (4) مخطط توزيع عزم الفتل وعزم الانعطاف وقوى القص بحالة التحميل المطبقة بعد التعديل .



الشكل (2) جهاز التحميل المعدل لاختبار الجوائز البيتونية المسلحة تحت تأثير الفعل المركب للفتل والانعطاف



الشكل (3) المسند المعدني المنفذ

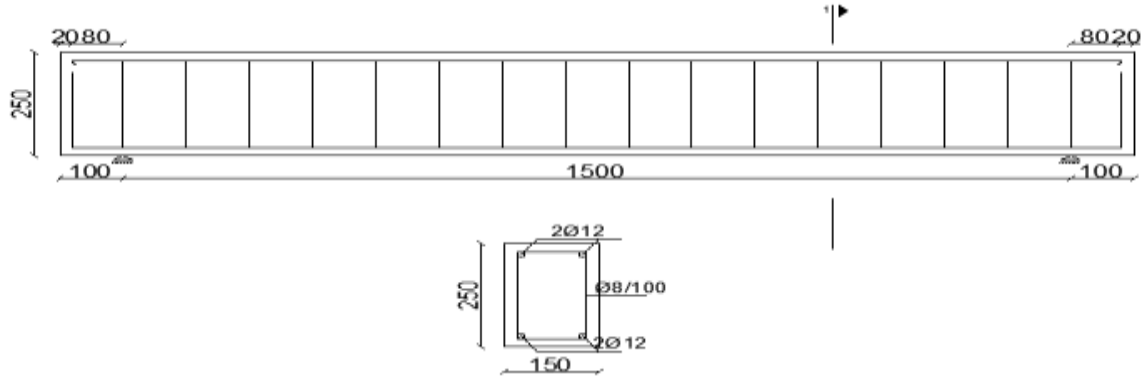


الشكل (4) مخططات القوى الداخلية للعينات المختبرة تحت تأثير الانعطاف والفتل المركب

البرنامج التجريبي:

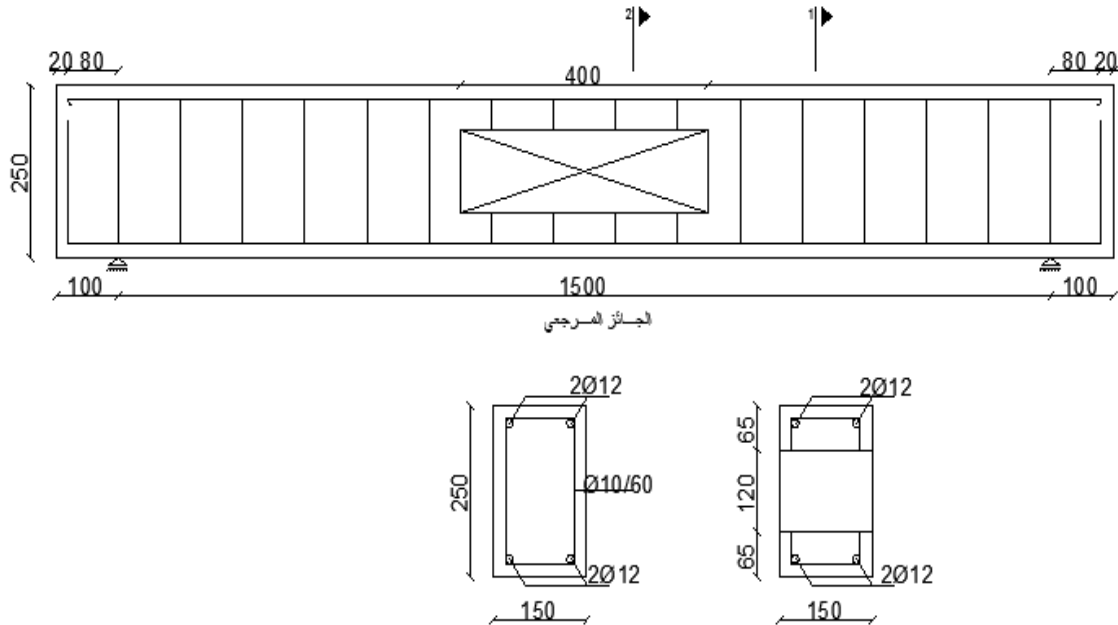
يتضمن اختبار عدد من الجوائز مصبوبة من نفس الخلطة البيتونية ($f'_c = 21Mpa$) ذات مقطع مستطيل ثابت لكل الجوائز المختبرة ومسلحة ولها نفس تفاصيل التسليح الطولي والعرضي . الجوائز بمقطع عرضي $15*25$ Cm ويطول 170 Cm مسلحة بـ $4T12$ بالاتجاه الطولي ($f_y = 450Mpa$) ، أساور $\varnothing 8/100mm$ ، وتشمل ثلاث مجموعات: ($f_y = 370Mpa$) ،

المجموعة الأولى: تضمنت الجوائز CB1,CB2,CB3 وهي جوائز مرجعية مصممة بدون فتحة مبيّنة بالشكل (5).



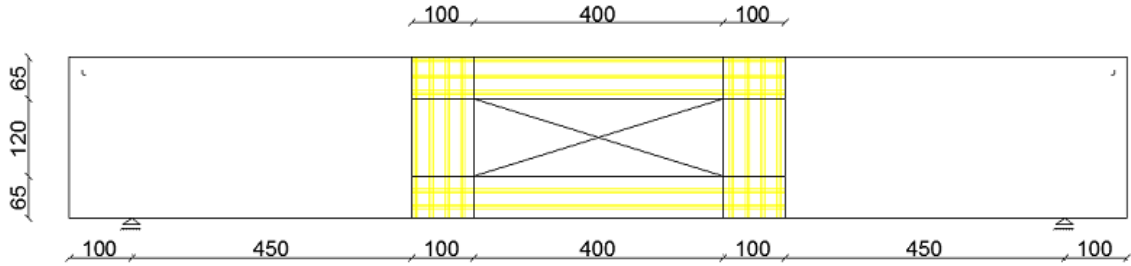
الشكل (5) مقطع طولي وعرضي بجوائز المجموعة الأولى

المجموعة الثانية: تضمنت ثلاثة جوائز CBWO1,CBWO2,CBWO3 في كل منها فتحة مستطيلة الشكل ومركزة أبعادها $120*400mm$ في منتصف الجائز تماماً، أيضاً اعتبرت هذه الجوائز مرجعية بفتحة وبدون تدعيم، مبيّنة بالشكل (6).



الشكل (6) مقطع طولي وعرضي بجوائز المجموعة الثانية

المجموعة الثالثة : الجوائز CBWO-HVALL1 , CBWO-HVALL2 , CBWO-HVALL3 مدعمة بطبقة أفقية واحدة في منطقة الفتحة وبامتداد 600mm مع طبقة أخرى بميل 90 وبتراكب 10cm في الجزء الصلب حول الفتحة مبينة بالشكل (7).



الشكل (7) مقطع طولي بجوائز المجموعة الثالثة

ويبين الجدول (1) ملخص بيانات مجموعات الاختبار الثلاث.

الجدول (1) بيانات مجموعات الاختبار

ملاحظات	شكل العنصر	التسليح العرضي	التسليح الطولي	المقطع العرضي (mm ²)	اسم الجائز	مجموعات الاختبار
جوائز مصممة بدون فتحات		ø8/100m	4T12	150*250	CB1-CB2-CB3	المجموعة الأولى
تم إحداث فتحة بأبعاد 400*120mm بمنصف الجائز تماماً بعد الصب وتم قص الأساور بمنطقة الفتحة		ø8/100m	4T12	150*250	CBWO1CBWO2CBWO3	المجموعة الثانية
جوائز ذات فتحة محدثة بمنصف الجائز بأبعاد 400*120mm مع تدعيم بشرائح الألياف الكربونية بشكل كامل حول الفتحة		ø8/100m	4T12	150*250	CBWO-HVALL1 CBWO-HVALL2 CBWO-HVALL3	المجموعة الثالثة

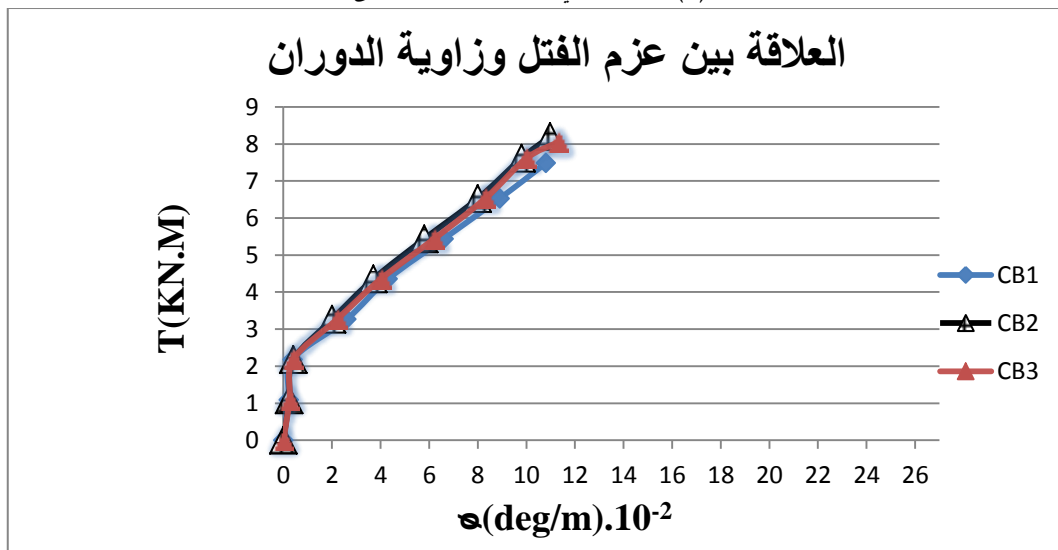
النتائج والمناقشة:

اختبار الجوائز البيتونية المسلحة المصمتة (جوائز المجموعة الأولى):

أبدت جوائز هذه المجموعة نفس السلوك تقريباً وبقيم متقاربة جداً ، تم تطبيق الحمولة ، فظهر أول شق عند عزم قتل وسطي مقداره 2 KN.m وكانت زاوية الفتل النسبية 0.004 deg/m و تطورت الشقوق بشكل قطري لتلف الجائز بشكل حلزوني بزاوية تقريباً 45° ، وحصل انهيار الجائز عند عزم قتل مقداره 7.91 KN.m نتيجة زيادة في عرض الشقوق القطرية و كانت زاوية الفتل النسبية 0.11 deg/m و يبين الشكل (8) شكل الشقوق القطرية في هذه المجموعة ، كما يبين الشكل (9) العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الفتل النسبية لهذه المجموعة ونلاحظ تطابق في قيم زوايا الفتل لجوائز المجموعة الثلاث عند قراءات محددة من عزوم الفتل .



الشكل (8) التشققات في جوائز المجموعة الأولى CB



الشكل (9) العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الدوران لجوائز المجموعة الأولى

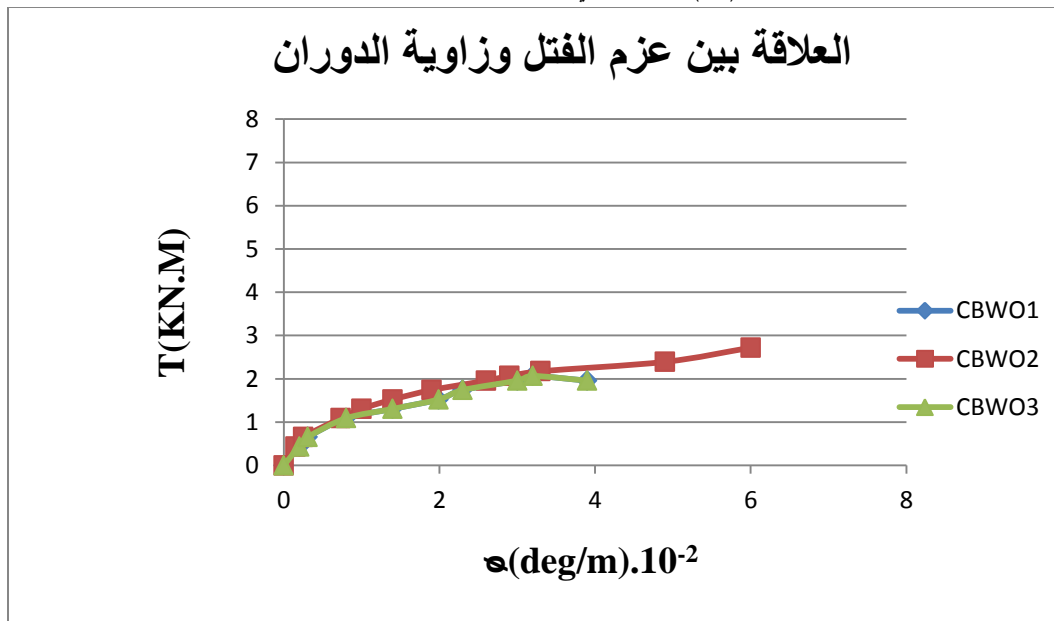
اختبار الجوائز البيتونية المسلحة بعد إحداث الفتحات بها (جوائز المجموعة الثانية) :

ظهرت الشقوق الأولى عند حمولة أقل من حمولة التشقق للمجموعة الأولى و توضع عند زاوية الفتحة الأمامية اليسارية والخلفية اليمينية ، الشكل (10) ، كان ظهور الشق الأول مرافقاً لعزم فتل مساوي لـ 0.65 KN.m حيث بلغت زاوية الفتل النسبية 0.0033 deg/m ، ثم تطورت الشقوق بشكل قطري بزاوية تقريباً 45° عند أطراف الفتحة ، وتم الانهيار عند عزم فتل مساوي لـ 2.28 KN.m نتيجة زيادة عرض الشقوق وكانت زاوية الفتل النسبية المرافقة مساوية لـ 0.0413 deg/m .

يبين الشكل (10) موقع وشكل الشقوق القطرية في هذه المجموعة ، كما يبين الشكل (11) العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الفتل النسبية لهذه المجموعة ونلاحظ تطابق تقريباً في زوايا الفتل النسبية عند عزوم فتل محددة .



الشكل (10) التشققات في جوائز المجموعة الثانية CBWO



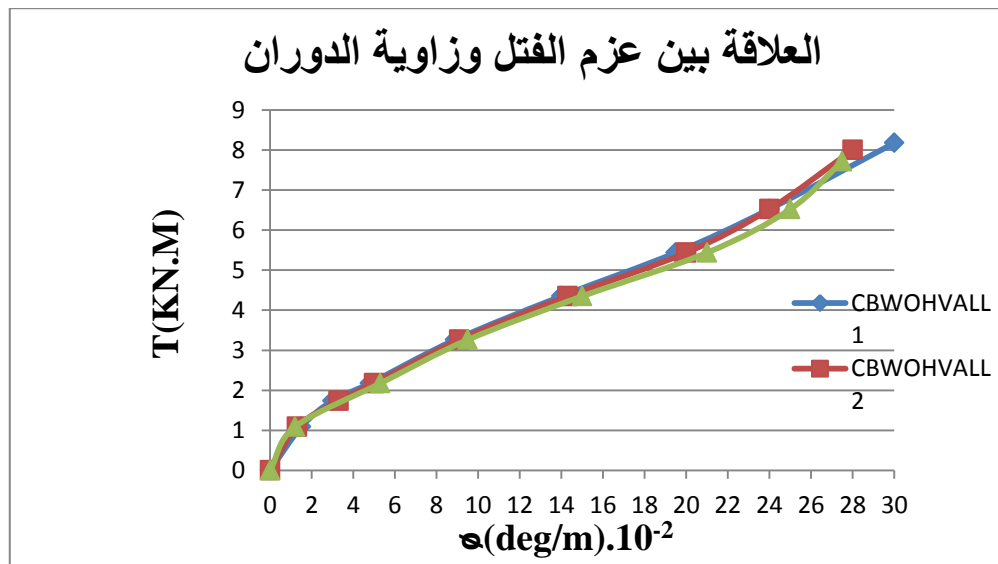
الشكل (11) العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الدوران لجوائز المجموعة الثانية

اختبار الجوائز البيتونية المسلحة بعد إحداث الفتحات بها وتدعيمها بالشرايح الكربونية بشكل كامل حول الفتحة (جوائز المجموعة الثالثة):

عند بدء تطبيق الحمولة بدأ فتل الجائز بدون شقوق ولكن مع الاستمرار بتطبيق الحمولة ظهرت أصوات توحى بشقوق تحت شرائح الألياف الكربونية ولكن ظهر الشق الأول الواضح للعيان عند الوجه الشاقولي الداخلي للفتحة مرافقاً لعزم فتل مساوي لـ 1.03 KN.m ، و كانت زاوية الفتل النسبية عندها مساوية لـ 0.0133 deg/m . وتم الانهيار عند عزم فتل مساوي لـ 7.97 KN.m نتيجة زيادة عرض الشقوق وبلغت زاوية الفتل النسبية المرافقة 0.285 deg/m . يبين الشكل (12) شكل الشقوق القطرية في هذه المجموعة، كما يبين الشكل (13) العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الفتل النسبية لهذه المجموعة.

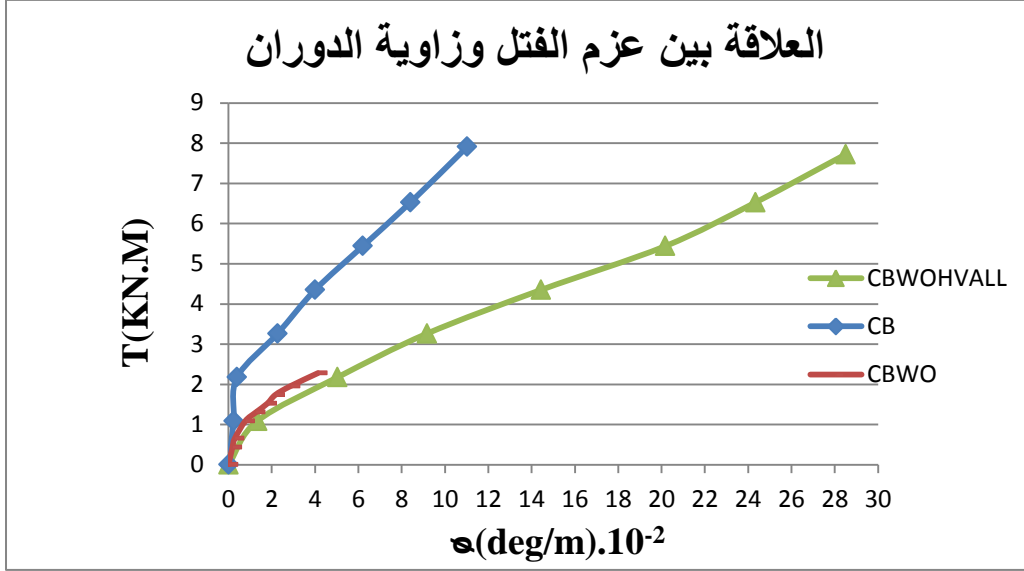


الشكل (12) التشققات في جوائز المجموعة الثالثة CBWO-HVALL



الشكل (13) العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الدوران لجوائز المجموعة الثالثة

يبين الشكل (14) مقارنة بين قيم عزم الفتل للجوائز المصممة المرجعية والجوائز بعد إحداث الفتحات بها والجوائز المدعمة.



الشكل (14) مقاومة الفتل للجوائز المختبرة

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

- إن إحداث فتحة بالجائز أدى لانخفاض المقاومة بمقدار % 70 تقريباً عن الجوائز البيتونية المسلحة بدون فتحة.
- التدعيم بشرائح الألياف الكربونية CFRP بشكل كامل زاد المقاومة بنسبة كبيرة بمقدار حوالي 300% أي أكثر من ثلاثة أضعاف المقاومة للجوائز البيتونية المسلحة ذات الفتحات المحدثة بدون تدعيم.

التوصيات:

- لابد من دراسة واختبار أشكال أخرى من التدعيم بالألياف حول الفتحة واختيار الحل الأكثر فعالية واقتصادية وعملية.
- ضرورة دراسة تأثير العوامل الأخرى (حرارة - حمولات ديناميكية) على تدعيم الفتحات.

References:

- 1- AKHTARUZZAMAN,A. *ACI Code Torsion Equations Modified for Rectangular Concrete Beams with an Opening* , IKAU: Eng. Sci., Vol. 2,1990, 95-117.
- 2-FIB BULLETIN 14. *Externally bonded FRP reinforcement for RC structures*, The International Federation for Structural Concrete, Technical report, 2001,138.
- 3-SANTHAKUMAR, R.; Dhanarag ,R.; Chandrasekaran , E. *Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study*, Electronic Journal of Structural Engineering, 2007,7.
- 4-ABEER, A. M. ; Allawi A. A.; Chai, H. K. *Theoretical Study on Torsional Strengthening of Multi-cell RC Box Girders* ,World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil Science and Engineering Vol.7, No.2, 2013,8.
- 5 –SYNDICATE OF SYRIAN ENGINEERS, *Syrian Arab code for the design and implementation of reinforced concrete structures*, Fourth Edition, Damascus, 2012.

References:

- [1] Safwan AlAssaf, *Towards Better Climatic Responses in Architectural and Urban Design*, College of Architecture, Al Baath University, 2002.
- [2] Safwan AlAssaf, *An Intelligent Spatial Data Base for Strategic Housing Management*, International Regional and Planning Studies / Middle East Forum, 1996, 41-61.
- [3] Safwan AlAssaf, *Methods of Predicting Housing Requirements for Local Housing Policy in Syria*, Beirut Arab University Publication, 1995, 137-155.
- [4] Safwan AlAssaf, *A Conceptual Model for housing Planning Information System*, Arab Cities Organization (G.C.A.C.O) 10th, Dubai 3, 1994, 2475-2524.
- [5] Safwan AlAssaf, *Data and Information requirements for Housing Planning*, Arab Cities Organization (G.C.A.C.O) 10th, Dubai 3, 1994, 2445-2473.
- [6] Alshaikh R, said N, issa Y. Contemporary vision of architecture that is in harmony with its place. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*; 2011; 33: 223–241.
- [7] Alshaikh R, Nassra M, Kannab C. Modern membrane coverings and their usage standards in long span structures. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series*; 2014; 36: 395–415.