Shear Strength of Carbon Fiber Reinforced Concrete Without Transverse Reinforcement

Dr. Ghandi Ali Jahjah[*]
Dr. Tarek Soulaiman Aslan[**]
Ramia Badee Ghalia[***]

(Received 11 / 9 / 2019. Accepted 2 / 3 / 2020)

□ ABSTRACT □

A couple of Decades ago research began in different laboratories in the world about the material of fiber reinforced concrete: glass, plastic, steel, carbon, with a view to its use in civil construction, fibers increase the resistance of the concrete on pressure and tensile but the primary role of it lies in improving concrete behavior and converting it from brittle to plastic. beams are subjected to effect of bending moment and shear strength, It is necessary to present an adequate resist to shear strength, to avoid the happening of any kind of the sudden shear failure. Several studies have recently been conducted to improve the shear strength of concrete beams, Some included add fibers(steel, glass and carbon)to concrete.
This research present an experimental and analytical study for adding carbon fibers to the concrete of non-reinforced beams on shear in order to estimate the effect of its on shear strengthof concrete beams. Fifteen concrete beams were tested at different volume fraction of carbon fibers ranging from (0.00-0.25-0.5-0.75-1)%, in groups containing 3 similar beams.
The addition of carbon fibers increased the loads causing the first moment crack by (20-30)% and the loads causing the first shear crack by (16.7-33.3)% as well as the failure load by (10.8-32.3)% compared to the non-fiber reinforced beam. There was good agreement were between experimental and analytical results at all loading stages.

Keywords: Shear strengthening –carbon Fiber– shear failure.

[*] **Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Associate Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Postgraduate Student– Department of Structural Engineering – Faculty Of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.**

مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بألياف الكربون بدون تسليح عرضي

د. غاندي علي جحجاح*
د. طارق سليمان أصلان**
رامية بديع غالية***

(تاريخ الإيداع 11 / 9 / 2019. قُبِل للنشر في 2/ 3 / 2020)

□ ملخّص □

بدأت منذ عشرات السنين أعمال البحث في مخابر مختلفة في العالم حول مادة البيتون المسلح بألياف: زجاجية، بلاستيكية، فولاذية، كربونية، بهدف استخدامها في المنشآت المدنية، فهي تزيد مقاومة البيتون على الضغط والشد، لكن الدور الأساسي للألياف يكمن في تحسين سلوكه وتحويله من مادة هشة إلى مادة لدنة.

تترافق في الجوائز عزوم الانعطاف مع قوى القص، فيلزم تأمين مقاومة قص كافية لتجنب حدوث أي شكل من أشكال الانهيار المفاجئ الناتجة عن القص، أجريت حديثاً عدة دراسات لتحسين مقاومة الجوائز البيتونية على القص شمل بعضها إضافة الألياف الفولاذية والزجاجية والكربونية إلى البيتون.

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية و تحليلية لإضافة ألياف الكربون إلى بيتون الجوائز غير المسلحة على القص بهدف تقييم أثرها على مقاومة القص للجوائز البيتونية. وقد جرى اختبار 15 جائزاً بيتونياً أضيف إلى بيتونها ألياف الكربون بنسب حجمية مختلفة هي%(1–0.75–0.5–0.25–0.00)، وذلك ضمن مجموعات تحوي كل مجموعة 3 جوائز لكل نسبة.

أدت إضافة ألياف الكربون إلى زيادة الحمولات المسببة لشق الانعطاف الأول بنسبة %(30–20) وزيادة الحمولات المسببة لشق القص الأول بنسبة %(33.3–16.7) وكذلك حمولة الانهيار بنسبة %(32.3–10.8) مقارنة مع الجائز غير المقوى بالألياف، وكان هناك توافق جيد بين النتائج التجريبية والتحليلية في مراحل التحميل كافةً.

الكلمات المفتاحية: مقاومة القص –ألياف الكربون–انهيار القص.

*أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
**أستاذ مساعد – قسم الهندسة الإنشائية–كلية الهندسة المدنية–جامعة تشرين–اللاذقية–سورية.
***طالبة دراسات عليا(دكتوراه)– قسم الهندسة الإنشائية– كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.

مقدمة:

ينتج البيتون المسلح بالألياف من إضافة الألياف: الفولاذية، الزجاجية، الكربونية، الأراميدية، البازلتية، أو ألياف البولي بروبلين وغيرها إلى البيتون. تلعب الشقوق الداخلية الدقيقة في البيتون الدور الأكبر في تشكل شقوق أكبر تقلل مقاومة البيتون لقوى الشد، يمكن التغلب على هذه المشكلة بإضافة الألياف لتحسين أداء البيتون حيث تقلل هشاشته وتزيد لدونته، تعاني الألياف من بعض العيوب فالألياف الفولاذية يمكن أن تصدأ وقد تتفاعل الألياف الزجاجية في الوسط الاسمنتي عالي القلوية غير أن الألياف الكربونية هي أكثر أماناً فلا تصدأ كالألياف الفولاذية ولا تتأثر بالوسط الإسمنتي القلوي كالألياف الزجاجية كما أنها أقل كثافة منهما[1].

قدمت أبحاث عديدة لتحسين سلوك العناصر البيتونية في حالة: الانعطاف، الضغط، مقاومة القص، المطاوعة، وغيرها حيث قام بعض الباحثين بتحسين سلوك البيتون الهش من خلال إضافة الألياف الفولاذية، الزجاجية، الكربونية وغيرها وكان لكل نوع منها فائدة محددة، في البداية استخدمت الألياف الفولاذية وهي أكثر انتشاراً من باقي الأنواع [2].

مراجعة بحثية:

يتضمن البحث [3] دراسة تأثير إضافة الألياف الفولاذية على مقاومة البيتون في حالة الضغط والشد ، حيث تمت إضافة الألياف الفولاذية بنسب حجمية مختلفة 0.1%,0.5%,1%، مع عينة معيارية بدون ألياف، واستخدمت مواد البيتون بنسب خلط 1:1.5:3 للتوصل لقابلية تشغيل جيدة بدون استخدام المواد المحسنة مثل غبار السيليكا، وكان الهدف الأساسي للبحث هو دراسة مقاومة الضغط ومقاومة الشد للعينات جميعها ومقارنة نتائجها، وتميز البحث باستخدام الألياف المقطعة من سلك التربيط العاديذات قطر 0.498mm وقطعت بطول 50mmوبالتالي عامل شكل 100.

قدمت الدراسة [4] عرضاً لمركبات خلطات الاسمنت الحاوية على ألياف كربونية قصيرة، وهي تتميز بخصائص شد وانعطاف جيدة وانكماش منخفض أثناء الجفاف وحرارة عالية وتوصيل حراري منخفض وتوصيل كهربائي عالٍ ومقاومة صدأ عالية وسلوك كهرو حراري ضعيف، وهي تسهل الحماية المهبطية (الكاثودية) للتسليح الفولاذي ضمن البيتون، وتتميز بالإحساس بتشوهاتها وتضررها ودرجة حرارتها، لذا فهي تصنف ضمن المواد الذكية. إن معالجة سطح الألياف قد يحسن خصائص المركبات التي تحتويها، تتفوق مركبات ألياف الكربون على مركبات الألياف الفولاذية بقدرتها على استشعار التشوه ولكنها أقل منها في السلوك الكهرو حراري.

أهمية البحث وأهدافه:

إن ألياف الكربون (ذات المقاومة العالية على الشد ومعامل المرونة الكبير) تساعد عند إضافتها إلى البيتون في تحسين أداء البيتون وزيادة مقاومته لقوى القص الناتجة عن حالات التحميل المختلفة للجوائز البيتونية غير المسلحة عرضياً على القص وبالتالي تحول السلوك الهش للبيتون إلى لدن، وتكمن أهمية البحث في أنه رغم غلاء ثمن ألياف الكربون إلا انها تستخدم في المنشآت الخاصة التي تؤثر عليها مركبات كيميائية ممكن أن تتفاعل مع الفولاذ أو المنشآت البحرية أو التي تحوي أجهزة تتأثر بالمغنطة والتشويش مثل أجهزة الرنين المغناطيسي وغيرها وفي هكذا منشآت لا يؤخذ العامل الاقتصادي بالاعتبار لأن الهدف يكون المحافظة على فعالية المنشأة وأداءها في الظروف البيئية المحيطة.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير إضافة ألياف الكربون بنسب حجمية مختلفة Vf% إلى الخلطة البيتونية على مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بتسليح طولي فقط، وغير المسلحة عرضياً لمقاومة القص، وحساب نسبة الزيادة في مقاومة القص الناتجة عن إضافة هذه الألياف، تجريبياً وتحليلياً باستخدام برنامج ANSYS 15، بهدف الحساب لاحقاً لمساهمة البيتون الحاوي على ألياف الكربون في تحمل قوى القص، وليس اعتبارها بديلاً عن الأساور، ومن ثم يأتي حساب حصة الأساور من مقاومة القص وذلك لضرورة استخدامها في المنشآت الخاصة سابقة الذكر.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدت في هذا البحث الطريقة التجريبية لدارسة سلوك عدد من الجوائز البيتونية المسلحة طولياً فقط، باستخدام بيتون مضاف إليه ألياف الكربون بنسب حجمية مختلفة Vf%، وذلك لدراسة تأثير إضافة ألياف الكربون إلى الخلطة البيتونية على مقاومة القص للجوائز المصبوبة من هذه الخلطات. والطريقة التحليلية لدراسة الجوائز ذاتها باستخدام برنامج ANSYS 15.

البرنامج التجريبي والعينات المختبرة والمواد المستخدمة:

تم تحضير واختبار 15عينة ضمن خمس مجموعات كل مجموعة تحوي 3جوائزمتماثلة، الجوائز بأبعاد (2000*200*120mm) مسلحة طولياً يقضبان 2T14mm تسليح سفلي و 2Φ8mm تسليح علوي وتم تثبيت التسليح بثلاث أساور اثنتان في الأطراف وواحدة في المنتصف بقطر Φ6mm. اختلفت المجموعات بالنسبة الحجمية لألياف الكربون Vf% وكانت (0,0.25,0.5,0.75,1%). وحضرت عينات اسطوانية من كل خلطة بيتونية أثناء صب الجوائز البيتونية، واختبرت على الضغط بعد 28 يوم لمعرفة مقاومة الضغط حسب النسبة الحجمية للألياف لاعتمادها في الدراسة، بواسطة جهاز اختبار الاسطوانات في مخبر تجريب المواد في الكلية، الشكل (1) جهاز اختبار الاسطوانات البيتونية على الضغط، ونتائج اختبار العينات الاسطوانية موضحة بالجدول(1) بالقيمة المتوسطة لكل مجموعة اسطوانات حسب النسبة الحجمية للألياف، وحصلنا بالنتيجة على مقاومة الضغط الموافقة، حيث اعتمت مقاومة 20MPa لتصميم خلطة البيتون بدون ألياف لأنها مقاومة البيتون الأكثر انتشاراً عملياً، وحصلنا على القيمة المتوسطة لمقاومة الضغط للبيتون العادي 21.34MPaوازدادت بإضافة الألياف الكربونية حتى قيمة متوسطة 27.45MPaللأسطوانات بنسبة حجمية 1%، تم حساب هذه المقاومات على الضغط لاستخدامها في الدراسة التحليلية اللاحقة بهدف دراسة تأثير إضافة الألياف على مقاومة القص وليس على مقاومة الضغط فهي ليست محور دراستنا الحالية.

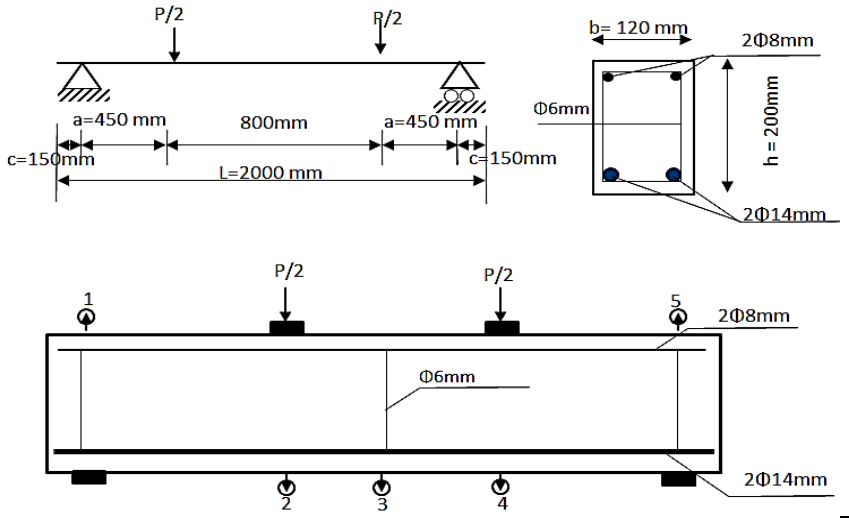
الشكل (1) جهاز اختبار الاسطوانات البيتونية على الضغط

يبين الجدول(1) تفاصيل الجوائز المختبرة وقيمة مقاومة الضغط المتوسطة للبيتون المستخدم حسب نسبة الألياف الكربونية.

الجدول(1)نتائج اختبار الجوائز تبعاً للنسبة الحجمية للألياف الكربونية المستخدمة.

المجموعة	اسم الجائز	التسليح الطولي الفولاذي السفلي	التسليح الفولاذي العلوي	النسبة الحجمية لألياف الكربون Vf%	نوع التسليح العرضي المقترح	متوسط مقاومة الضغط للبيتون f'c MPa
الأولى	B1,B2,B3	2T14	2Φ8	0	---	21.34
الثانية	Bc4,Bc5, Bc6			0.25	مسلح بألياف الكربون في الخلطة	22.29
	Bc7, Bc8, Bc9			0.5		23.10
	Bc10, Bc11, Bc12			0.75		26.06
	Bc13, Bc14, Bc15			1		27.45

اختبرت العينات كجوائز بسيطة الاستناد محملة بحمولتين مركزتين التباعد بينهما 80cmويبين الشكل (2) تفاصيل جوائز الاختبار الطولية والعرضية. وتم اختبارها باستخدام الجهاز المعدل المتوفر في مخبر تجريب المواد ، ويبين الشكل (3) جهاز الاختبار المستخدم، يظهر عليه مواضع مقاييس الانتقالات فقط ليتم حساب السهوم فقط لم نستخدم مقاييس التشوهات لأن حساب التشوهات والاجهاد اتليس موضوع بحثنا الحالي، ويظهر في الشكل (4) بعض الجوائز المصبوبة في القوالب والأسطوانات المرافقة.

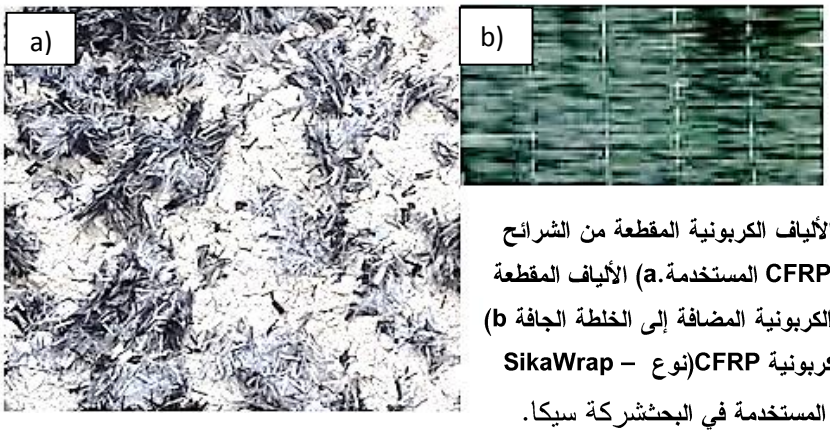


الشكل (2) تفاصيل جوائز الاختبار الطولية والعرضية.(1،2،3،4،5) - مقاييس الانتقالات

الشكل (3) جهاز الاختبار المستخدم.

الشكل (4) بعض الجوائز المصبوبة في القوالب والأسطوانات المرافقة.

أما الشكل(5) فيبين الشرائح المستخدمة وهي شرائح ألياف الكربون من شركة سيكا، نوع SikaWrap – 231C، والألياف وهي بطول10mmوالمستخدمة في الخلطة البيتونية حسب النسبة الحجمية المطلوبة لكل حالة، ويبين الشكل(6) الهيكل الفولاذي ضمن القوالب الخاصة الجاهزة للصب.



الشكل(5) الألياف الكربونية المقطعة من الشرائح البوليميرية CFRP المستخدمة.a) الألياف المقطعة من الشرائح الكربونية المضافة إلى الخلطة الجافة b) الشرائح الكربونية CFRP(نوع SikaWrap – 231C) المستخدمة في البحثشركة سيكا.

الشكل(6) الهيكل الفولاذي ضمن القوالب الخاصة الجاهزة للصب.

ركبت خمسة أجهزة لقياس السهوم والانتقالات وفق الشكل(2) و(3) حيث وضع اثنان على محوري الاستناد فوق الجائز واثنان على محوري التحميل تحت الجائز وواحد في منتصف مجاز الجائز، وأخذت قياسات السهوم والانتقالات وفق مراحل التحميل.

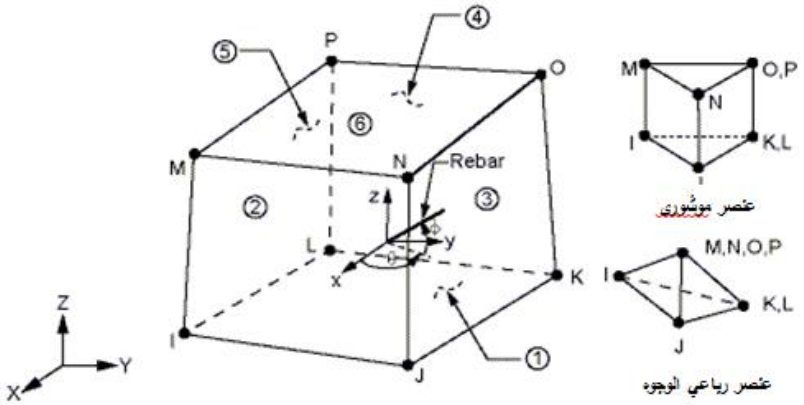
البرنامج التحليلي لنمذجة باستخدام برنامج [5]ANSYS15:

تتم النمذجة باستخدام ANSYS وفق الخطوات التالية:

1 – تعريف أنواع العناصر:

آ–نمذجة البيتون:

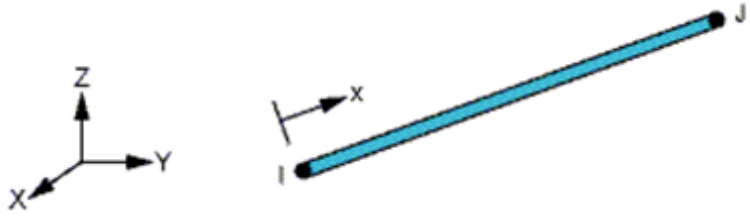
تمت نمذجة البيتون في برنامج ANSYS باستخدام العنصر اللاخطي الحجمي (Solid65) هو عنصر حجمي لاخطي يتألف من ثمان عقد تملك كل منها ثلاث درجات حرية هي الانتقالات باتجاه المحاور الثلاثة، ويتمتع بقابلية التشقق تحت تأثير الشد والتحطم في الضغط ونمذجة التسليح ضمنه بالاتجاهات الثلاثة ويبين الشكل (7)العنصر الحجمي (Solid65).



الشكل (7)العنصر الحجمي (Solid65)[5].

ب- نمذجة فولاذ التسليح :

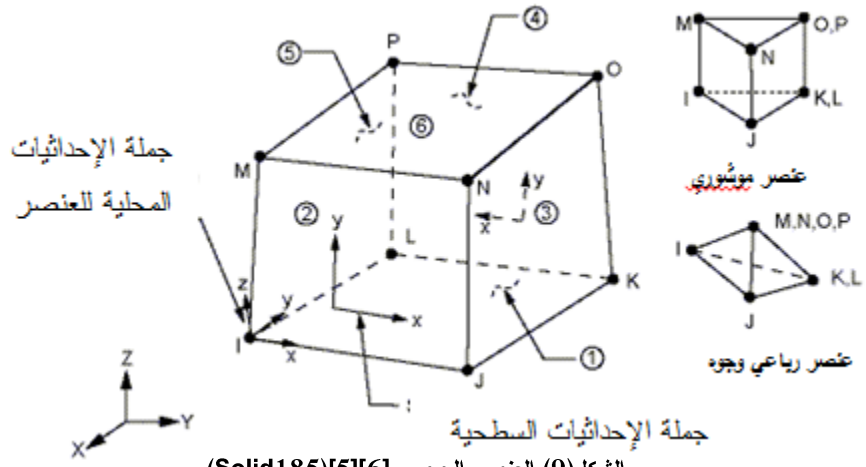
تمت نمذجة فولاذ التسليح كعنصر خطي (Link180) يشترك مع البيتون بالعقد ذاتها وبالتالي فإن ارتباطه معه تام يتألف هذا العنصر من عقدتين (i,j) تتمتع كل عقدة بثلاث درجات حرية هي الانتقالات بالاتجاهات الثلاثة (Ux, Uy, Uz) يبين الشكل (8) العنصر الخطي (Link 180).



الشكل (8) العنصر الخطي [5](Link 180)

جـ - نمذجة صفائح الاستناد:

أجريت نمذجة صفائح الاستناد كعناصر حجمية كما هو مبين في الشكل (5)، هذا العنصر الحجمي هو (Solid185) الذي يتألف من ثمان عقد تتمتع كل واحدة منها بثلاث درجات حرية هي الانتقالات بالاتجاهات الثلاثة (Ux,Uy,Uz)، وهي صفائح فولاذية بأبعاد 120*100*50mm، وعامل مرونتها Es=200000 MPa وعامل بواسون[10][9]v=0.3.



الشكل(9) العنصر الحجمي [6][5](Solid185).

بعد عملية النمذجة وتحديد الخواص الخطية واللاخطية لعناصر الجوائز والحمولات وشروط الاستناد تم إجراء التحليل اللاخطي باعتماد خيارات البرنامج الافتراضية بالنسبة لمعيار التقارب، طريقة نيوتن –رافسون التكرارية للتحليل اللاخطي وتم توثيق النماذج التحليلية مع الجوائز التجريبية، ومن ثم معالجة النتائج ومناقشتها.

تمت نمذجة البيتون حسب منحني الاجهاد- التشوه لكل نسبة حجمية للألياف الناتج من تجارب الضغط على الاسطوانات المحضرة من قبلنا، وبمعامل بواسون يساوي 0.2 ومعامل مرونة من منحني الاجهاد التشوه التجريبي، أما فولاذ التسليح تمت نمذجته باعتبار معامل مرونته Es=200000Mpa ومعامل بواسون يساوي 0.3 واعتمدنا

القيمة الوسطية لإجهاد الخضوع لثلاث عينات مختبرة لكل قطر. أما شروط الاستناد فكانت تقييد الانتقالات وفق المحاور x,y,z للمسند الثابت وتقييد الانتقال وفق المحور y للمسند المتحرك.

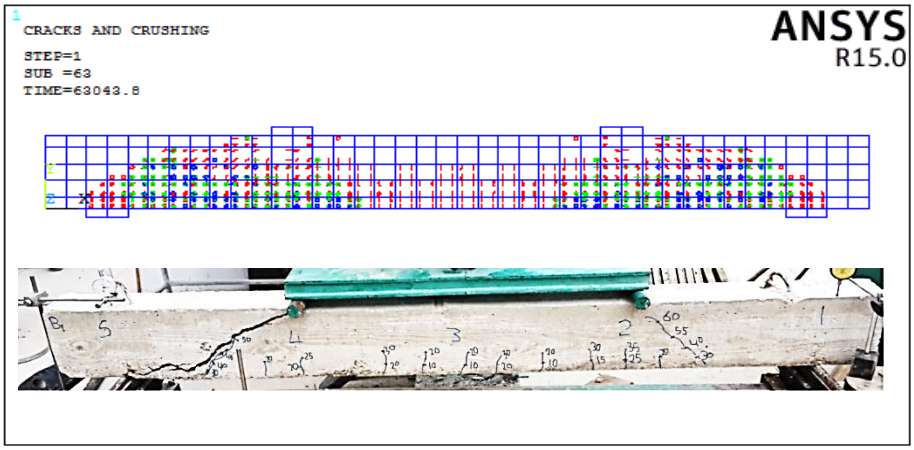
النتائج والمناقشة:

تم اختبار الجوائز تحت تأثير حمولتين مركزتين باستخدام جهاز كسر الجوائز المتوفر في المخبر بحمولة قصوى 100kN، طبقت على الجوائز بواسطة موزع أحمال وبقيمة ثابتة لمجاز القص a=450mm ونسبة a/d=450/170=2.64،جرى التحميل بزيادة الحمولة بمقدار5kN تدريجياً مع توقف لأخذ القراءات مع كل زيادة. يبين الجدول (2) نتائج اختبارات الجوائز المدروسة.

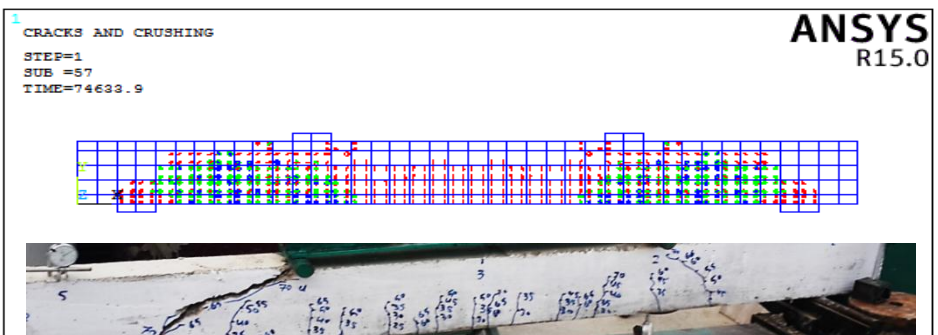
الجدول(2) نتائج الاختبارات للجوائز المدروسة

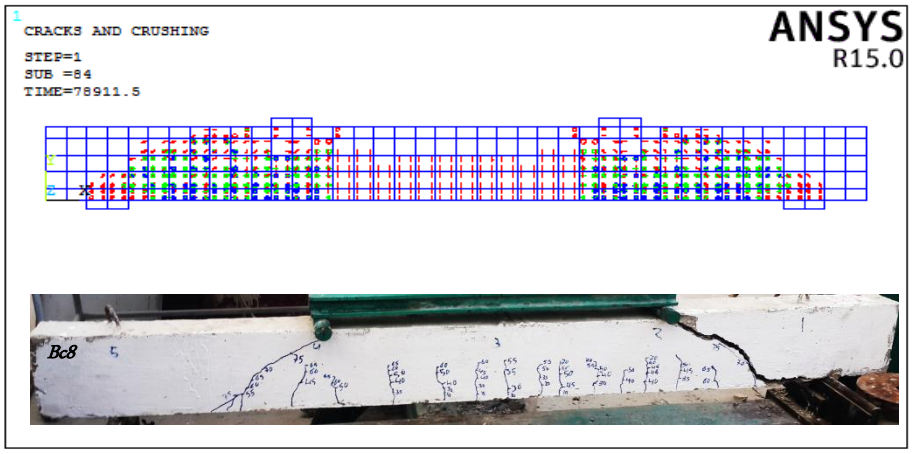
الجائز	الحمولة عند ظهور شق الانعطاف الأول kN		الحمولة عند ظهور شق القص الأول kN		الحمولة عند الانهيار kN		السهم الأعظميmm عند حمولة الانهيار	
	تجريبي	ANSYS	تجريبي	ANSYS	تجريبي	ANSYS	تجريبي	ANSYS
B1,B2,B3	10	10.15	30	32.756	65	63.043	5.9	5.39
BC4,BC5,BC6	10	10.65	35	35.26	72	74.634	6	6.58
BC7,BC8,BC9	12	11.403	35	36.393	74	78.912	6.6	6.95
BC10,BC11,BC12	13	14.187	40	34.865	80	81.327	6.3	6.76
BC13,BC14,BC15	13	12.403	40	40.582	86	87.915	7.3	7.21

تبين الأشكال (14),(13),(12),(11),(10)التشققات وأنماط الانهيار في الجوائز المدروسة تجريبياً وتحليلياً، حيث انهارت جميع الجوائز بالقص مع اختلاف في الحمولات المسببة للتشققات والانهيار.

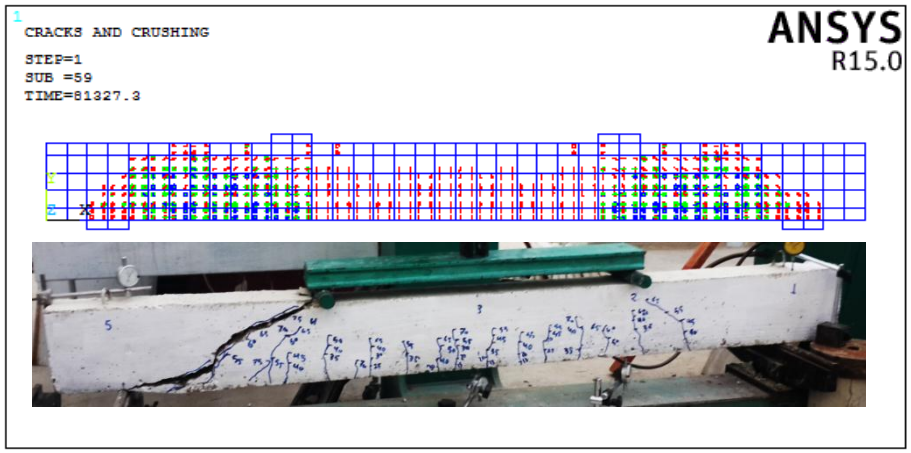


الشكل(10) التشققات ونمط الانهيار في الجائز B1 من جوائز المجموعة الأولى بدون

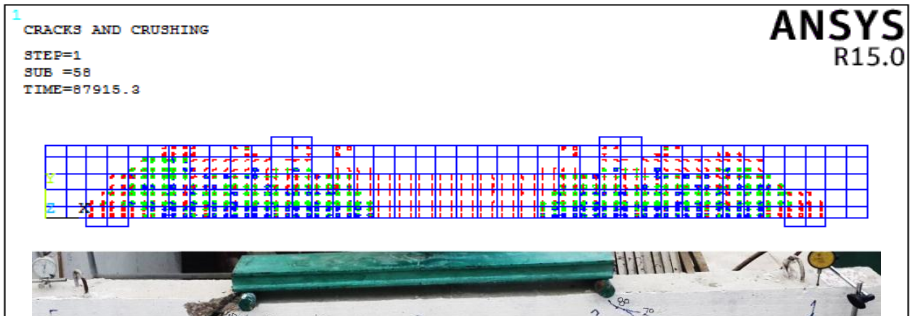




الشكل(12) التشققات ونمط الانهيار في الجائز Bc8من جوائز المجموعة الثانية Vf%=0.5%.



الشكل(13) التشققات ونمط الانهيار في الجائز Bc10 من جوائز المجموعة الثانية



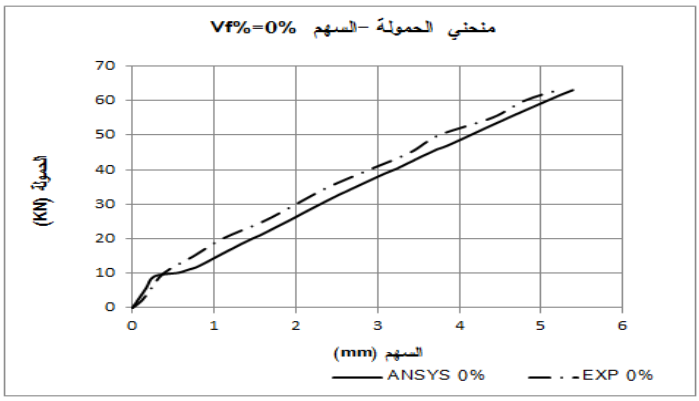
يلاحظ من الأشكال من(10)إلى (14) أنه:

– تشكلت تشققات الانعطاف الشاقولية في مراحل التحميل الأولى ثم ازدادت وانتشرت مع زيادة الحمولة باتجاه المساند، بدأت تميل لتشكل تشققات قطرية، ثم تشكل (في منطقة مجاز القص)شق القص القطري الرئيسي الذي استمر بالامتداد والتوسع حتى الانهيار ولوحظ أن ذروته تقع تحت الحمولة المركزة تماماً.

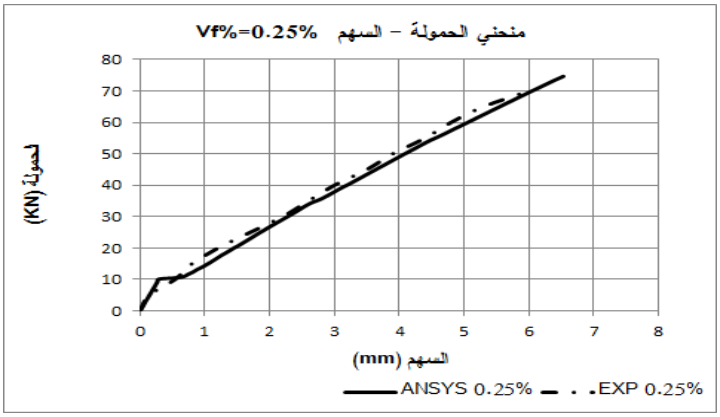
– أدت إضافة ألياف الكربون إلى زيادة الحمولات المسببة لشق الانعطاف الأول بنسبة %(20–30)وزيادة الحمولات المسببة لشق القص الأول بنسبة %(16.7–33.3)وكذلك حمولة الانهيار بنسبة %(10.8–32.3)مقارنة مع الجائز غير المقوى بالألياف، حافظت الحمولات المسببة لشق الانعطاف الأول على نسبتها إلى حمولة الانهيار بقيمة وسطية 15.4%، وكذلك حافظت الحمولة المسببة لشق القص الأول على نسبتها إلى حمولة الانهيار بقيمة وسطية 47% تجريبياً.

– تشكلت تشققات القص المائلة في كل الجوائز من الجهتين ولكن تمدد الشق في إحداها أكثر من الثانية ويعزى هذا لأن البيتون مادة غير متجانسة، وبالتالي لا تكون التشققات متناظرة تجريبياً كما هي تحليلياً إذ تعتبر مادة متجانسة في الدراسات التحليلية. وهذا يفسر عدم تناظر الشق المائل عند إضافة 0.5%، وتطوره من الطرفين وشبه تناظره عند إضافة 1%، وحصول الانهيار في الجهة التي تصل إلى حد المقاومة على القص أولاً بسبب عدم التجانس في المادة وتبعاً لمقاومة المونة والحصويات، إن الانهيار على القص دائماً مفاجئ وتلعب الألياف دوراً في زيادة الحمولة التي يمكن أن يتحملها الجائز.

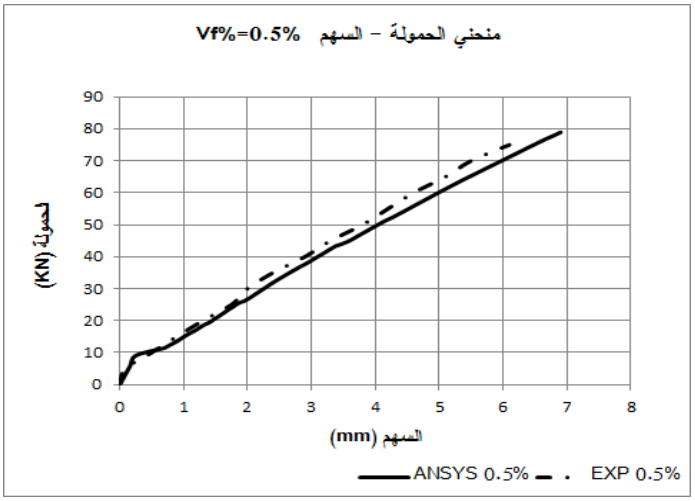
تظهر الأشكال من(15) إلى (19)منحنيات الحمولة – السهم في منتصف الجائز المدروس تجريبياً وتحليلياً.



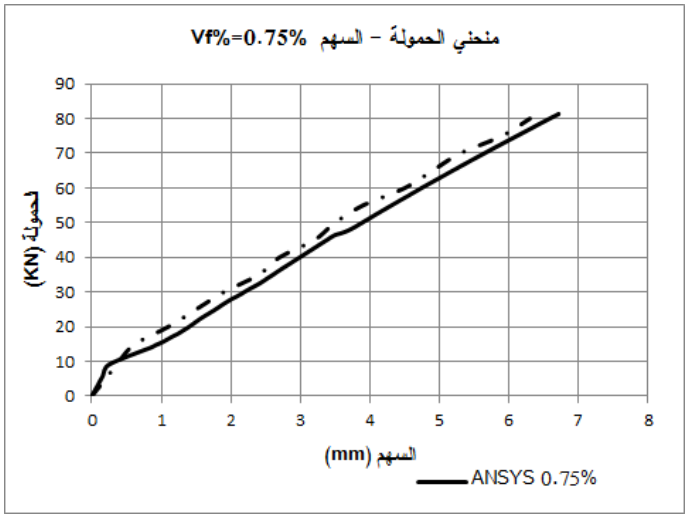
الشكل(15) مخطط الحمولة – السهم للجائز Vf%=0%.



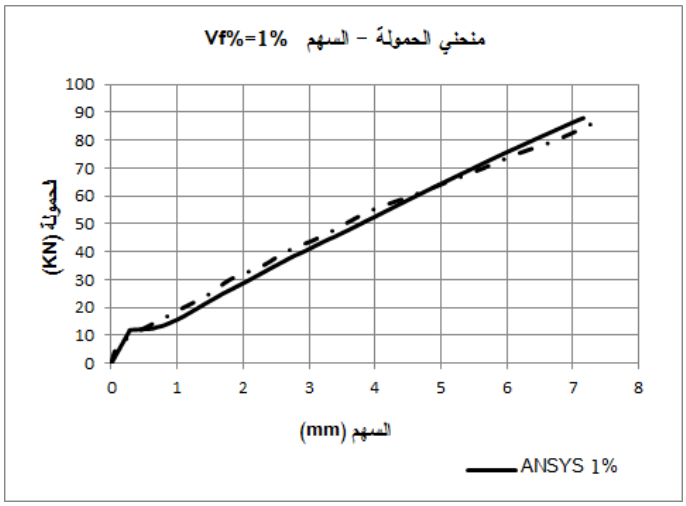
الشكل(16) مخطط الحمولة – السهم للجائز Vf%=0.25%.



الشكل(17) مخطط الحمولة – السهم للجائز Vf%=0.5%.



الشكل(18) مخطط الحمولة – السهم للجائز Vf%=0.75%.



الشكل(19) مخطط الحمولة – السهم للجائز Vf%=1%.

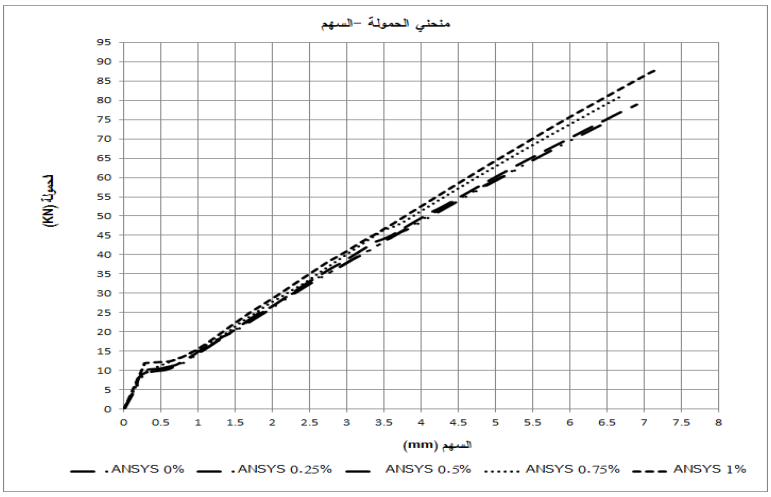
تبين المخططات من (15) إلى (19) والجدول (2) وجود توافق جيد بين النتائج التجريبية والتحليلية في مراحل التحميل كافةً، وهذا يؤدي إلى إمكانية اعتماد النماذج التحليلية للدراسة وتوقع نتائج الجوائز التجريبية، في حالات تحميل وشروط أخرى.

يبدي العنصر التحليلي صلابة أكبر من التجريبي في مراحل التحميل الأولى حتى حدوث شق الانعطاف الأول حيث يصبح شبه تطابق بين النموذج التحليلي والتجريبي.

تراوحت الفروقات بين قيمة حمولة الانهيار التجريبية والتحليلية لجوائز الدراسة كافةً بين (1.63–3.35)% وتراوحت نسب الاختلاف في قيمة السهم عند الانهيار بين (1.25–9.46)%.

تراوحت نسب الاختلاف في قيمة الحمولة المسببة لشق الانعطاف الأول بين (1.48–8.37)%، أما نسب الاختلاف في قيمة الحمولة المسببة لشق القص الأول فتراوحت بين (0.74–8.41)%.

يبين الشكل (20) مقارنة بين مخطط السهم – الحمولة لجوائز الدراسة وفيه يظهر أن إضافة ألياف الكربون للبيتون تزيد من صلابة الجوائز طرداً مع النسب الحجمية للألياف.



الشكل(20) مقارنة مخططات الحمولة – السهم للجوائز المدروسة تحليلياً وفق

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1 – إن إضافة ألياف الكربون تؤدي إلى زيادة الحمولات المسببة لشق الانعطاف الأول بنسبة %(20–30) وزيادة الحمولات المسببة لشق القص الأول بنسبة %(16.7–33.3) وكذلك حمولة الانهيار بنسبة %(10.8–32.3)مقابل زيادة في مقاومة الضغط تراوحت بين %(4.45–28.63).

2 – بلغت نسبة الحمولة المسببة لشق الانعطاف الأول إلى حمولة الانهيار15.4% وسطياً لكل الجوائز، وبلغت نسبة الحمولة المسببة لشق القص الأول إلى حمولة الانهيار بقيمة وسطية 47%، وبالتالي تماثلت نسبة الحمولات المسببة لشق الانعطاف الأول إلى حمولة الانهيار والحمولات المسببة لشق القص الأول إلى حمولة الانهيار بين الجوائز المدعمة بالألياف والجائز غير المدعم.

3 – توافقت النتائج التجريبية والتحليلية في مراحل التحميل كافةً، وهذا يقود إلى إمكانية اعتماد النماذج التحليلية للدراسة وتوقع نتائج الجوائز التجريبية، في حالات تحميل وشروط أخرى.

4 – تراوحت الفروقات بين قيمة حمولة الانهيار التجريبية والتحليلية لجوائز الدراسة كافة بين %(1.63–3.35) وتراوحت نسب الاختلاف في قيمة السهم عند الانهيار بين %(1.25–9.46)، وتراوحت نسب الاختلاف في قيمة الحمولة المسببة لشق الانعطاف الأول بين %(1.48–8.37)، أما نسب الاختلاف في قيمة الحمولة المسببة لشق القص الأول فتراوحت بين %(0.74–8.41).

5 – تزداد صلابة الجوائز البيتونية طرداً مع النسبة الحجمية لألياف الكربون المضافة عند نسب حجمية تتراوح بين %(0–1).

التوصيات:

1 –استخدام النماذج التحليلية الموثقة كطريقة عددية لدراسة بعض المتغيرات التي تحتاج الكثير من الوقت والكلفة في حال تمت دراستها تجريبياً.

2 –دراسة تأثير الحمولات الديناميكية على الجوائز المسلحة بألياف عموماً وبألياف الكربون خصوصاً، ودراسة تأثيرها على التقلص وعلى الزحف لحالات التحميل طويل الأمد.

3 – إجراء دراسات معمقة لإضافة ألياف الكربون إلى البيتون بنسب حجمية مختلفة أصغر وأكبر من 1% وبأطوال مختلفة، لدراسة ومقارنة قيم السهوم من أجل حمولات الاستثمار.

4– إجراء دراسات للمقارنة بين أنواع مختلفة من الألياف، وإجراء دراسات لاستخدام أكثر من نوع من الألياف معاً ودراسة تأثيرها على مقاومة الضغط للبيتون ومقاومة القص للجوائز وكذلك الانعطاف والسهوم والتشققات.

References:

1–KHALIL,WASANI.&ABDULRAZAQ, AKAR. *Mechanical Properties of High Performance Carbon Fiber Concrete.* Eng. & Tech. Journal, Vol.29, No.5, 2011,906-924.

2 - AL-LAMI, KARRAR ALI, *Experimental Investigation of Fiber Reinforced Concrete Beams.* Dissertations and Theses, Portland State University, 2015, pp.118.

3–TANOLI, WAQAS ARSHAD.NASEER, AMJAD.WAHAB, FAZLI. *Effect of Steel Fibers on Compressive and Tensile Strength of Concrete*. International Journal of

Advanced Structures and Geotechnical Engineering ISSN 2319-5347, Vol. 03, No. 04, 2014, 393-397.

4–CHUNG,D.D.L.*Cement reinforced with short carbon fibers: a multifunctional material*. Composites: Part B 31, 2000, P. 511-526.

5 - ANSYS,*ANSYS User's Manual Revision 15*. ANSYS, Inc, Canonsburg, Pennsylvania, 2015.

6 - ANTHONY, J. WOLANSKI, B. S. *Flexural Behavior Of Reinforced And Pre stressed Concrete Beams Using Finite Element Analysis*. Master Thesis, Marquette University, Milwaukee Wisconsin , 2004, pp87.