

The Effect of the Steel Fibers to Increase the Shearing Strength of the High- Strength Self-Compacting Concrete Beams

Dr . Ali Turikieh*
Fadi Zallokh**

(Received 11 / 3 / 2019. Accepted 16 / 10 / 2019)

□ ABSTRACT □

This research gives an experimental study of the effect of steel fibers on shear strength of the high- strength self-compacting concrete beams under of the continuous static loading effect . A mixture of self- compacting concrete was designed with two strength to (25-60) MPa and steel fibers were added ratio (0%,0.4%,0.8%,1.2%),ten beams were designed for each strength, five beams were tested on the shear as slender beams with shear field ratio($a/d=3.3$), and the other five beams were tested as deep beams with shear field ratio ($a/d = 2.2$). The test results showed that the addition of steel fibers to the self- compacting concrete mix resulted in increased shear strength in slender concrete beams with strength (25 MPa) between (18% - 100.9%) as well as increased shear strength in slender concrete beams with strength (60 MPa) between (48.4% - 51.9%) when the percentage ratio of steel fibers increased from (0.4% - 0.8%) but this increase decreased to (36.1%) when the percentage of steel fibers ratio (1.2%) , for deep concrete beams with strength (25 MPa), shear strength increased between (21% - 99.2%) when the ratio of steel fibers increased from (0.4% - 0.8%), but this increase decreased to (74.5%) at the ratio of steel fibers (1.2%), With regard to deep beams with strength (60 MPa), shear strength increased by increasing the ratio of steel fibers between (17.5% - 73.6%), The results also showed that steel fibers can replace the stirrups in bearing shear strength at(0.8%) for slender beams, and deep beams.

Keywords: high-strength concrete, self-compacting concrete , steel fibers, shear behavior, slender beam, deep beam.

* Associate Professor - Structural Engineering Department - Faculty of Civil Engineering Tishreen University – Lattakia - Syria .

** Master Student - Department Of Construction Engineering – Tishreen University, Lattakia , Syria.

مساهمة الألياف الفولاذية في زيادة قوة القص لجوائز مصنعة من البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة

د. علي تريكه*

فادي زلوح**

(تاريخ الإيداع 11 / 3 / 2019. قُبل للنشر في 16 / 10 / 2019)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية لتأثير الألياف الفولاذية على قوة القص للجوائز المصنعة من البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة تحت تأثير التحميل الستاتيكي المستمر.

تم تصميم خلطة بيتونية ذاتية التوضع بمقاومتين MPa (25 - 60) وإضافة الياف فولاذية إليها بنسب (0%، 0.4%، 0.8%، 1.2%) وتم تحضير عشرة جوائز لكل مقاومة، واختبار خمسة منها على القص كجوائز نحيفة بنسبة مجال القص ($a/d = 3.3$) والخمسة الباقية كجوائز عميقة بنسبة ($a/d = 2.2$). أظهرت نتائج الاختبار أن إضافة الألياف الفولاذية أدى إلى زيادة قوة القص في الجوائز البيتونية النحيفة ذات المقاومة (25 MPa) بين (18% و 100.9%) وكذلك زادت قوة القص في الجوائز النحيفة ذات المقاومة (60 MPa) بين (48.4% و 51.9%) عند زيادة نسب الألياف من (0.4% - 0.8%) لكنها انخفضت إلى (36.1%) عند نسبة الألياف (1.2%)، وبالنسبة للجوائز العميقة ذات المقاومة (25 MPa) زادت قوة القص بين (21% و 99.2%) عند زيادة نسبة الألياف الفولاذية من (0.4% - 0.8%) ولكنها انخفضت إلى (74.5%) عند نسبة حجم الألياف (1.2%) وفيما يتعلق بالجوائز العميقة ذات المقاومة (60 MPa) زادت قوة القص بزيادة نسب الألياف وتراوح هذه الزيادة بين (17.5% - 73.6%)، وكذلك بينت النتائج بأنه يمكن للألياف الفولاذية أن تحل مكان الأساور في تحمل قوة القص عند النسبة (0.8%) للجوائز النحيفة والعميقة.

الكلمات المفتاحية: البيتون عالي المقاومة، بيتون ذاتي التوضع، سلوك القص، الألياف الفولاذية، جوائز نحيف، جوائز عميق.

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

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

مقدمة:

إن سلوك القص للعناصر البيتونية المسلحة في المنشآت الهندسية المصبوبة في المكان أو مسبقة الصنع هو مجال بحث مهم في الهندسة الإنشائية وذلك كون انهيار العنصر بتأثير اجهادات القص يحدث بشكل هش ويؤدي لانهيارات كارثية و نرى أن العديد من الابحاث قد ركزت على دراسة تأثير العوامل التي تؤثر على مقاومة العناصر البيتونية للقص [1] ، [2] ومن جهة أخرى يتميز البيتون عالي المقاومة بالانهيار المفاجئ مقارنةً مع البيتون ذات المقاومة العادية وإن إضافة الألياف الفولاذية تعزز من قدرة البيتون على التشكل وبالتالي تحسن من سلوك البيتون بعد حدوث التشققات [3] وبالإضافة إلى ذلك تتحمل الألياف الفولاذية إعادة توزيع اجهادات الشد وإبطاء انتشار الشقوق القطرية والتحكم في السيطرة على فتحة الشق ومنع انهيار سابق لأوانه على طول تسليح الشد وكذلك تزيد من مقاومة العناصر للقص وبالتالي تلعب الألياف الفولاذية في الجوائز البيتونية دوراً مشابهاً لتلك التي تلعبها الاساور في الجوائز المسلحة كما درسها (Dinh وآخرون 2010) [4] .

ومن جهة أخرى وُجد بأن إضافة الألياف الفولاذية إلى الخلطة البيتونية يُقلل بشكل ملحوظ من قابلية تشغيل البيتون ، ومع استخدام البيتون ذاتي التوضع اعطى حلاً للتغلب على نقص قابلية التشغيل للبيتون لذلك ازداد الاهتمام بالبيتون ذاتي التوضع (self-compacting concrete -SCC) الذي يعتبر جيلاً جديداً من البيتون عالي الاداء بحيث يستطيع التوضع تحت تأثير وزنه الذاتي بدون ضغط و بدون استخدام رجاكات وبالتالي يتدفق بسلاسة عبر حديد التسليح ويملأ القالب دون حصول مشاكل في انفصال الحصىيات.

بالرغم من أن دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة على القص بدأ بالعقود الأخيرة من القرن الماضي وتم القيام بالكثير من الدراسات والأبحاث في هذا المجال وتم إنشاء قواعد بيانات لها منذ التطبيق الأول لنموذج الجائز الشبكي لعناصر من القص الذي أهمل مساهمة البيتون في مقاومة القص لكن ما تزال المحاولات جارية حتى تاريخه لاعتماد منهجية واضحة لطريقة حساب العناصر على القص وإدخال كافة المتحولات التي تؤثر فيها (ارتفاع المقطع - نسبة التسليح - مقاومة البيتون - النسب الحجمية للألياف - أنواع البيتون .الخ) وخاصة بعد التوصل لخصائص جديدة للبيتون والحصول على بيتون خفيف، بيتون عالي المقاومة ، وبيتون ذاتي التوضع ، وفيما يلي بعض الدراسات التي اهتمت بهذا المجال :

- درس كلاً من (Narayanan and Darwish -1987) [5] سلوك القص في جوائز البيتون المدعم بالألياف الفولاذية عن طريق اختبار / 49 جانز / ، عشرة منها تحتوي على اساور بدون ألياف ، والباقي وعددها /39 جانز / مدعمة بألياف فولاذية ذات شكل مجعد وبدون أساور في مجال القص (لمسافة a من المسند) ، وأظهرت نتائج الاختبار أن شقوق القص في الجوائز المدعمة بالألياف كانت غير مماثلة لتلك الموجودة في الجوائز غير الحاوية على الالياف وكان التباعد بين الشقوق في جوائز المدعمة بالألياف أقرب من تلك التشققات في الجوائز غير الحاوية على الالياف ، وعزا الباحث ذلك إلى إعادة توزيع الاجهادات بعد حدوث التشققات، والألياف تصبح أكثر فعالية بعد التشقق من خلال مقاومة اجهادات الشد الرئيسية حتى الانسحاب الكامل لجميع الألياف من احد الشقوق الحرجة .

- أجرى كلاً من (Kwan, Eberhard, Kim, & Kim -2002) [6] تحقيقات تجريبية وتحليلية عن تأثير الألياف الفولاذية على قوة القص من البيتون المسلح حيث تم إجراء اثنا عشر اختباراً على جوائز منفذة من البيتون المسلح وكانت المتغيرات التي تمت دراستها هي حجم الألياف الفولاذية (0.5% , 0.75% , 0%)، حيث نسبة مجال

القص إلى العمق الفعال [$a/d = 2, 3, 4$] والمقاومة المميزة للبيتون (31- 65 MPa)، وأظهرت النتائج أنه مع زيادة محتوى الألياف زادت قوة القص النهائية و تغير في طريقة الانهيار.

- قام (Nemkumar - 2002) [7] باختبار جوائز من البيتون المسلح على القص مع استخدام نوعين من الألياف الفولاذية كل منهما بطول 50mm، واحد بنهايتين مستقيمتين ومقطع دائري والآخر مموج ومقطع عرضي هلالى وتمت دراستهما بنسب حجمية تتراوح بين ($V_f = 0 - 2\%$) وأجريت مقارنة مع الاساور ووجد أن كلا الليفين وقّر تحسينات في قوة الجوائز على القص وأن هذه التحسينات كانت أكبر في النسب العالية من الألياف.

- أجرى كلا من (2012 Aoude, Belghiti, Cook, & Mitchell) [8] تجارب لدراسة سلوك الجوائز المدعمة بالألياف الفولاذية على القص وشملت التجارب تسع جوائز كاملة المقياس قسمت إلى ثلاث مجموعات وشملت مجموعتين جوائز مختلفة الحجم لدراسة تأثير الحجم على مقاومة القص في الجوائز المدعمة بالألياف وتضمنت الجوائز من المجموعة الثالثة ألياف فولاذية واساور.

وأظهرت نتائج الاختبار أن إضافة الألياف الفولاذية في البيتون زاد من مقاومة القص في الجوائز المدعمة بالألياف وتتطلب الجوائز ذات الحجم الأصغر كميات أقل من الألياف الفولاذية (حوالي 1%) لتغيير طريقة الانهيار من انهيار القص الهش إلى انهيار بالانعطاف وبالنسبة للعينات الأكبر لم تكن هذه الكمية كافية لتغيير نمط الانهيار من انهيار القص الهش إلى انهيار الشبي المرن أما بالنسبة للجوائز الحاوية على ألياف واساور فإن إدراج الألياف الفولاذية لم يؤدي إلى زيادة في قوة القص ولكن استخدام الألياف الفولاذية عزز توزيع التشققات وخفض عرض الشقوق الذي قدم بعض التحذيرات قبل الانهيار.

اهمية البحث واهدافه:

تأتي أهمية البحث من دراسة مساهمة نسب الألياف الفولاذية في زيادة مقاومة القص لجوائز مصنعة من البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة ودراسة تغيرات نسبة مجال القص إلى العمق الفعال ($a/d=2.2-3.3$) على مقاومة القص وامكانية استبدال الاساور بالألياف الفولاذية في الجوائز المعرضة للانعطاف وذلك من خلال تحقيق ما يلي:

- تصميم بيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة من مواد محلية مع نسب مختلفة من الألياف الفولاذية، وإجراء اختبارات على البيتون في الحالة الطرية.

- تحضير جوائز بيتونية بنسب مختلفة من الألياف الفولاذية واختبارها على القص، وذلك لدراسة تأثير بعض العوامل الهامة على مقاومة القص وتحديد منحنى الاستجابة حمولة - سهم، وشكل التشققات وانماط الانهيار وتأثير النسبة (a/d) على سلوك هذه الجوائز وامكانية استبدال الأساور بالألياف الفولاذية في الجوائز .

طرائق البحث ومواده:

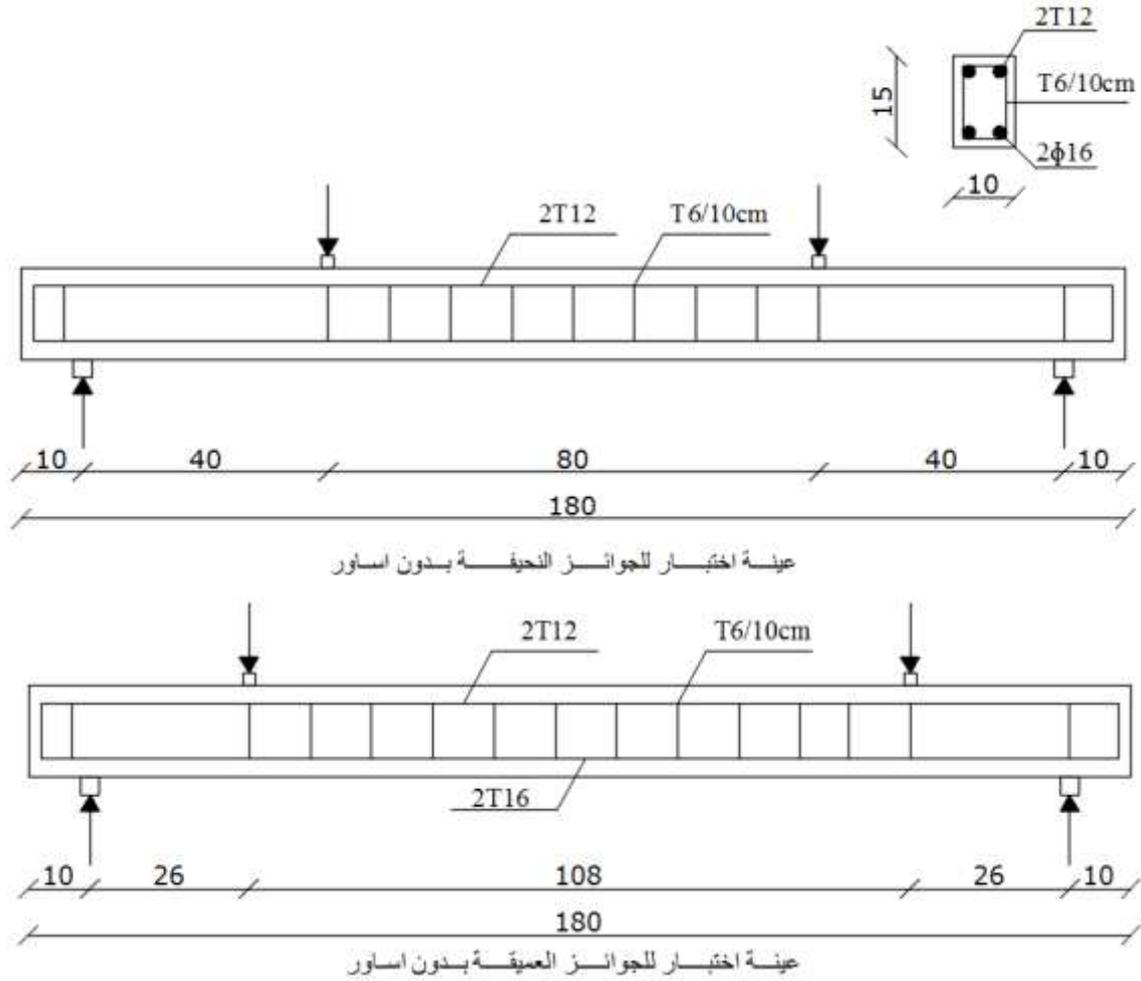
تم اعتماد الطريقة التجريبية في اعداد هذا البحث لتصميم البيتون ذاتي التوضع وتحقيق كافة اشتراطاته وفق المواصفات الأوروبية [9] و تم تطوير برنامج اختبار، باستخدام نسب مختلفة من الألياف الفولاذية مع مقاومتين مختلفتين للبيتون ذاتي التوضع لدراسة تأثيرها على سلوك القص في الجوائز ، مع نسب مختلفة من مجال القص إلى العمق الفعال حيث تتألف الجوائز المختبرة من مجموعتين A و B حيث بلغت قيمة المقاومة المميزة للمجموعة (A)

25 Mpa في حين بلغت قيمة المقاومة المميزة في المجموعة (B) 60 Mpa واختبرت في كل مجموعة خمسة جوائز كجوائز نحيفة والخمسة الباقية كجوائز عميقة مع استخدام اربع نسب مختلفة من الألياف الفولاذية في الجوائز البيتونية المعدة لتجهيزها (1.2 % ، 0.8 % ، 0.4 % ، 0 %) ويعتبر الجائز الذي يحتوي على نسبة ألياف (0 %) وبدون اساور هو جائز المقارنة ، كما تم اختبار جائز المقارنة مع الجائز الحاوي على اساور بدون الياف لمقارنة النتائج مع الجوائز التي تحتوي على ألياف فولاذية فقط ، ويظهر الجدول (1) برنامج الاختبار المعتمد في الدراسة.

الجدول (1) برنامج الاختبار التجريبي المعتمد في الدراسة				
المجموعة	نوع الجائز	نسبة الألياف $V_f\%$	رمز الجائز	مصطلح الجائز
A ($f'_c = 25$ MPa)	نحيف ($a/d = 3.3$)	0	S25- V_{f0} -St	جائز نحيف مع اساور بدون الياف
		0	S25- V_{f0}	جائز نحيف بدون الياف وبدون اساور
		0.4	S25- $V_{f0.4\%}$	جائز نحيف مع الياف بدون اساور
		0.8	S25- $V_{f0.8\%}$	جائز نحيف مع الياف بدون اساور
		1.2	S25- $V_{f1.2\%}$	جائز نحيف مع الياف بدون اساور
	عميق ($a/d = 2.2$)	0	D25- V_{f0} -St	جائز عميق مع اساور بدون الياف
		0	D25- V_{f0}	جائز عميق بدون الياف وبدون اساور
		0.4	D25- $V_{f0.4\%}$	جائز عميق مع الياف بدون اساور
		0.8	D25- $V_{f0.8\%}$	جائز عميق مع الياف بدون اساور
		1.2	D25- $V_{f1.2\%}$	جائز عميق مع الياف بدون اساور
B ($f'_c = 60$ MPa)	نحيف ($a/d = 3.3$)	0	S60- V_{f0} -St	جائز نحيف مع اساور بدون الياف
		0	S60- V_{f0}	جائز نحيف بدون الياف وبدون اساور
		0.4	S60- $V_{f0.4\%}$	جائز نحيف مع الياف بدون اساور
		0.8	S60- $V_{f0.8\%}$	جائز نحيف مع الياف بدون اساور
		1.2	S60- $V_{f1.2\%}$	جائز نحيف مع الياف بدون اساور
	عميق ($a/d = 2.2$)	0	D60- V_{f0} -St	جائز عميق مع اساور بدون الياف
		0	D60- V_{f0}	جائز عميق بدون الياف وبدون اساور
		0.4	D60- $V_{f0.4\%}$	جائز عميق مع الياف بدون اساور
		0.8	D60- $V_{f0.8\%}$	جائز عميق مع الياف بدون اساور
		1.2	D60- $V_{f1.2\%}$	جائز عميق مع الياف بدون اساور

تفاصيل العينة:

عينة الاختبار للجوائز البيتونية المسلحة طولها ($L = 180$ cm) و يبلغ الارتفاع الكلي للمقطع ($h = 15$ cm) والعرض ($b=10$ cm)، العمق الفعال للجائز ($d=12$ cm) وسماكة الغطاء البيتوني 1 cm كما هو موضح بالشكل رقم (1) .



الشكل (1) عينة اختبار للجوائز النحيفة والعسيقة بدون اساور

لابد من الإشارة هنا إلى أن البحث قد تم على أنواع محددة من الإحضارات المحلية لدراسة قابليتها للاستخدام في خلطات البيتون ذاتي التوضع.

الإحضارات:

استخدمت المواد التالية في البحث لتحضير خلطات البيتون ذاتي التوضع وهي:

- 1 - إسمنت بورتلاندي عادي من نوعين:
- الأول من صنف 32.5 صنع معمل إسمنت طرطوس وفق المواصفات السورية رقم 63/1987 لتحضير العينات التجريبية ذات المقاومة 25MPa.
- والثاني اسمنت بورتلاندي اسمنت الجمل وذلك لتحضير العينات التجريبية ذات المقاومة 60 MPa.
- 2 - حصويات من حسية بمعامل لوس انجلوس (LA = 19 %) قطرها الأعظمي ($D_{max} = 13.2 \text{ mm}$) .
- 3 - رمل نهري خشن بمعامل نعومة قدره $Mf = 3.7$.
- 4 - رمل ناعم بمعامل نعومة قدره $Mf = 1.76$.
- 5 - فيلر كلسي سطحه النوعي يساوي 2000 cm²/g و وزنه الحجمي الصلب ($\rho_s = 2.6 \text{ g/cm}^3$) .

- 6 - غبار السيلكا: تم استخدام مادة Mapefluid PZ 500 وهي من الإضافات المنيرالية والكيميائية تساهم في مقاومة البيتون على الضغط من جهة وتحسين قابلية التشغيل من جهة أخرى.
- 7 - ملدن عالي الفعالية مصنع من مواد كيميائية خاصة خالية من الكلور ومن النيترات من شركة محلية مختصة.
- 8 - الألياف الفولاذية: تم استخدام الألياف الفولاذية المموجة و يبلغ طول الألياف الفولاذية المستخدمة 45mm وقطرها 0.7mm مما يجعل نسبة العرض إلى الارتفاع ($L_f/D_f=64$) وبمقاومة شد 987 Mpa حيث تعمل الألياف الفولاذية على منع الانهيار المفاجئ للبيتون وتقلل من التشققات وتحد من اتساعها.
- 9 - حديد التسليح: قطر حديد التسليح الطولي الرئيسي المستخدم 16mm مع مقاومة الخضوع الاسمية من 400Mpa وقطر التسليح العرضي المستخدم 6mm مع مقاومة الخضوع الاسمية من 240Mpa.
- 10 - ماء للجب: ماء قابل للشرب.
- بعد اجراء عدة تجارب في مخبر تجريب المواد في كلية الهندية المدنية بجامعة تشرين لتصميم الخلطات البيتونية وبعتماد على عدة دراسات وتجارب مخبرية [10، 11، 12] تمكنا من تحديد مكونات الخلطة اللازمة لصناعة $1m^3$ من البيتون ذاتي التوضع بمقاومة 25MPa بدون الياف كما في الجدول (2).

المواد	البحص	رمل ناعم	رمل خشن	الاسمنت	الفيلر	الماء	الملدن
وزن المواد kg/m ³	750	370	566	380	250	190	12.16
النسبة إلى الاسمنت %	-	-	-	1	0.66	0.5	0.032

تم اختبار التوافق الذاتي للبيتون باستخدام اختبار تدفق الركود و T50 والعلبة واستقرار المنخل وبالمقارنة مع قيم المواصفات الأوروبية [9] كما هو مبين في الجدول (3).

المواصفات الأوروبية	0 %	0.4 %	0.8 %	1.2 %
نسبة الألياف ($V_f\%$)	0	0.4	0.8	1.2
تدفق الركود (mm)	695	670	640	610
T50	2	2.6	3.8	4.4
L-BOX TEST	95	92	88	85
الاستقرار بالمنخل	4.2	3.5	2.4	0.9

وكذلك بعد اجراء تجارب عدة في مخبر تجريب المواد في كلية الهندية المدنية بجامعة تشرين وبعتماد منهجية دراسات وتجارب مخبرية عدة [10، 11، 12] تمكنا من تحديد مكونات الخلطة اللازمة لصناعة $1m^3$ من البيتون ذاتي التوضع بمقاومة 60MPa بدون الياف ، الجدول (4) يبين مكونات الخلطة لـ $1m^3$ من البيتون ذاتي التوضع بمقاومة 60MPa.

المواد	البحص	رمل ناعم	رمل خشن	الاسمنت	الفيلر	الماء	الملدن
وزن المواد kg/m ³	885	285	470	500	35	160	16
النسبة إلى الاسمنت %	-	-	-	1	0.07	0.32	0.032

تم اختبار التوافق الذاتي للبيتون باستخدام اختبار تدفق الركود و T50 و العلبة واستقرار المنخل وبالمقارنة مع قيم المواصفات الاوروبية [9] كما هو مبين في الجدول (5).

الجدول (5) قيم اختبار التوافق الذاتي للبيتون باستخدام تدفق الركود، و T50 والعلبة واستقرار المنخل للمقاومة 60MPa					
نسبة الألياف (% V_f)	0 %	0.4 %	0.8 %	1.2 %	المواصفات الأوروبية
تدفق الركود (mm)	690	680	635	605	(700 – 600)mm
T50	2.4	3.3	4.2	5	(5 – 2)sec
L-BOX TEST	91	80	85	82	(100 – 80) %
الاستقرار بالمنخل	3.7	2.6	1.3	0.76	15% > π > 0%

تم إجراء التجارب في مخبر تجريب المواد بكلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين والشكل (3) يوضح إحدى التجارب.



الشكل (2) عينة اختبار للجوائز في مخبر تجريب المواد بكلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين

النتائج والمناقشة:

1. نتائج الاختبار المجموعة A – (25 MPa):

1 - نتائج اختبار الجوائز النخيفة على القص في المجموعة A.

تم تلخيص نتائج الاختبار الرئيسية في الجدول (6) حيث (P_u) الحمولة النهائية العظمى التي يمكن أن يتحملها كل جائز ، (Δ_u) السهم عند الحمولة العظمى ، (V_c) قوة قص البيتون في الجوائز بدون التسليح العرضي وتحسب من عينة المقارنة (S25- V_{f0}) حيث القوة V_u في هذه العينة هي قوة قص البيتون فقط ($V_u = V_c$) . أما

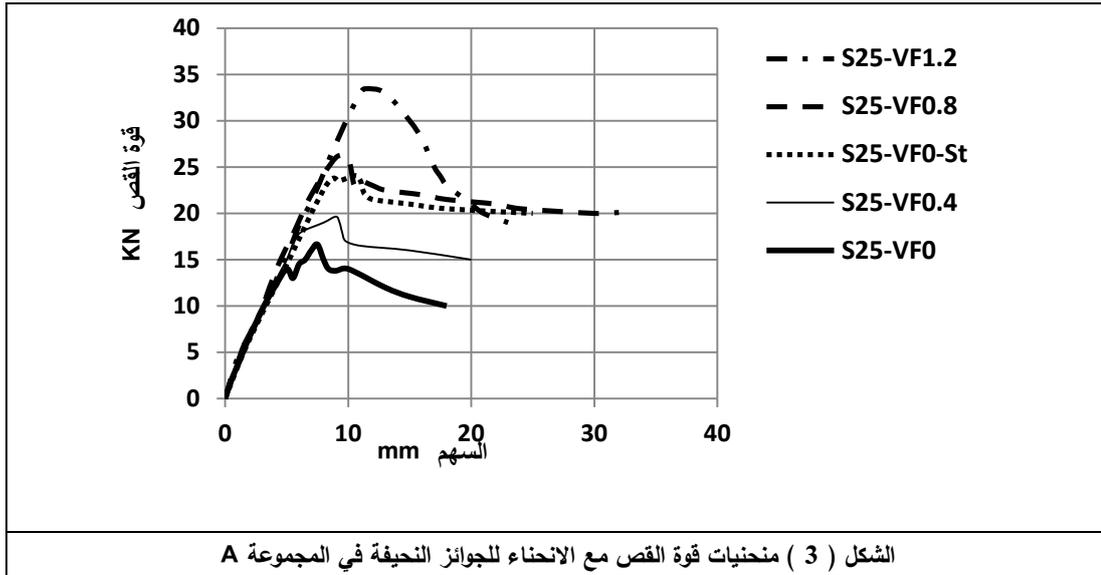
قوة القص (V_s) التي تتحملها الاساور وتحسب من العينة ($S25-V_{f0}-St$) كما يلي ($V_s = V_u - V_c$) . اما قوة القص (V_{sf}) التي تتحملها الألياف الفولاذية وتحسب كما يلي ($V_{sf} = V'_u - V_c$) و يبين العمود الأخير نسبة الزيادة في قوة القص الناجمة من إضافة الألياف الفولاذية للخلطة البيتونية للعينات التالية ($S25-V_{f1.2\%}$, $S25-V_{f0.8\%}$, $S25-V_{f0.4}$) وهي على التوالي (18.4%, 45.4%, 61.2%) ومن الملاحظ إن (P_u) من أجل العينات ($S25-V_{f0.8\%}$, $S25-V_{f1.2\%}$) هي أعلى من العينة ($S25-V_{f0}-St$) التي تشير إلى إمكانية استبدال الاساور بالألياف الفولاذية كتدعيم للقص.

الجدول (6) نتائج الاختبار للجوائز النحيفة في المجموعة (A)

اسم الجائز	P_u KN	V_u KN	V'_u KN	Δ_u mm	V_c KN	V_s KN	V_{sf} KN	نسبة الزيادة في قوة القص (%)
S25-V _{f0} -St	24.07	24.07	-	10.3	16.65	7.42	-	-
S25-V _{f0}	16.65	16.65	-	7.5	16.65	-	-	-
S25-V _{f0.4%}	19.65	-	19.65	9	16.65	-	3	18
S25-V _{f0.8%}	26.02	-	26.02	8.7	16.65	-	9.37	56.3
S25-V _{f1.2%}	33.45	-	33.45	11.4	16.65	-	16.8	100.9

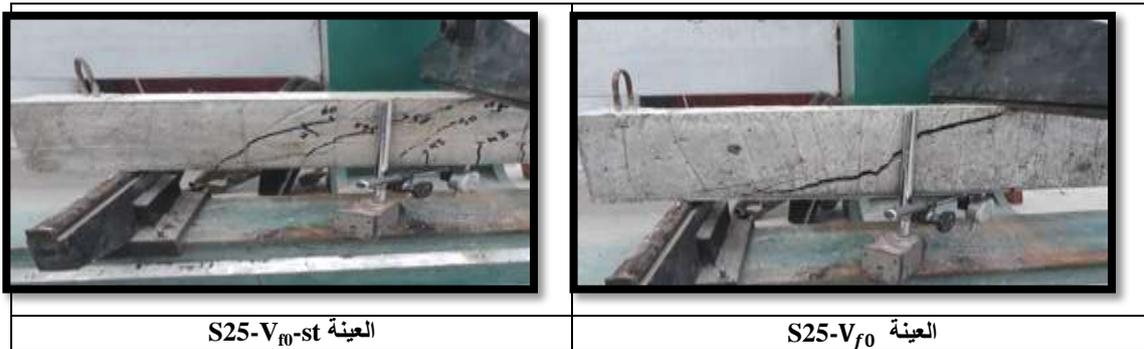
2 - استجابة السهم في الجوائز النحيفة للمجموعة A:

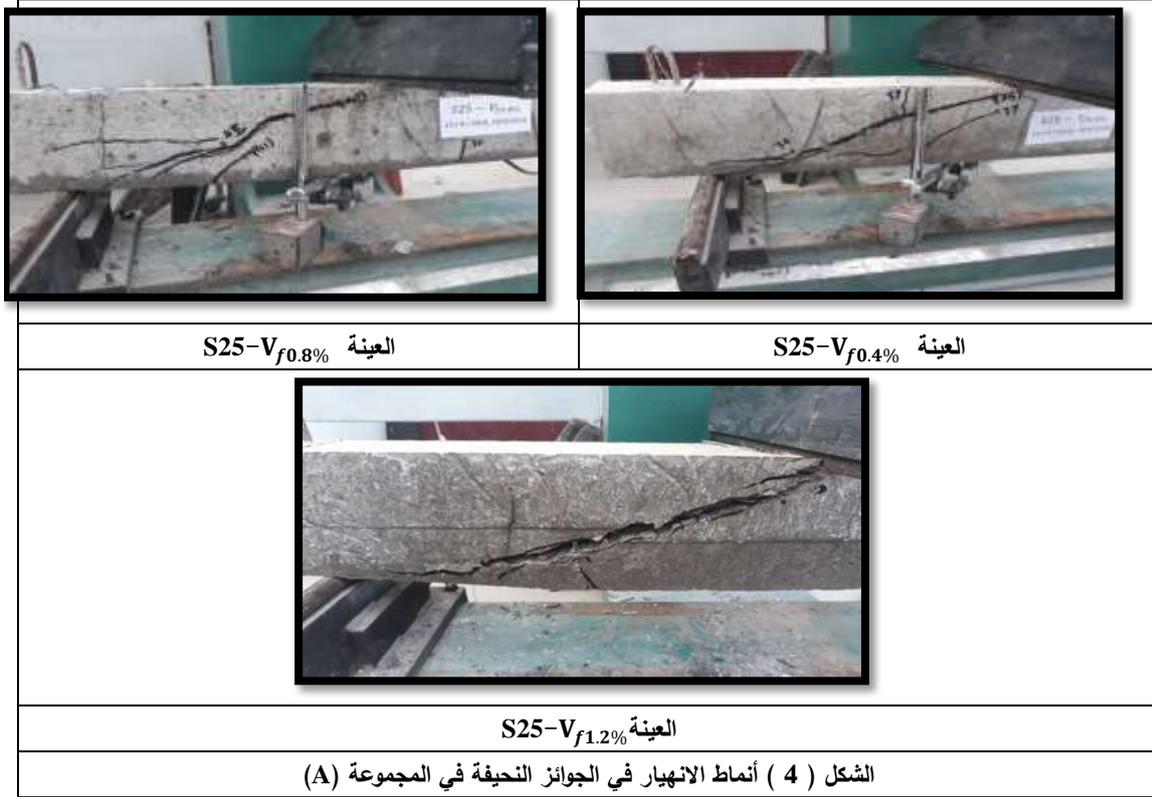
يبين الشكل (3) منحنيات قوة القص - السهم من أجل الجوائز النحيفة في المجموعة A من الواضح أن إضافة الألياف الفولاذية تزيد من مقاومة القص وامتصاص الطاقة في العينات ، تبدي العينات سلوك سهم - قوة قص شبه خطية حتى يتشكل التشقق المائل الكبير الأول كما في العينات ($S25-V_{f0}$, $S25-V_{f0}-St$, $S25-V_{f0.4}$) حيث كانت قيمة القص لهذه العينات تساوي KN (14.1, 23.4 , 17.2) على التوالي وبعد حدوث التشقق الرئيسي انخفضت صلابة تلك العينات مسببة زيادة واضحة في السهم مع ازدياد قوة القص وبتزايد نسبة الألياف الفولاذية (V_f) يلاحظ أن قوة القص المسببة للتشقق المائل الكبير تصل إلى قوة القص النهائية كما في العينات ($S25-V_{f0.8\%}$, $S25-V_{f1.2\%}$) ، يبين منحنى قوة القص - السهم بأن قوة القص تزداد بإدخال الألياف الفولاذية أو الاساور، من المهم أيضاً تسليط الضوء إلى مسألة أن قوة القص القصوى للعينات $S25-V_{f0.8\%}$, $S25-V_{f1.2\%}$ كانت أعلى من تلك الخاصة بالعينة $S25-V_{f0}-St$ على سبيل المثال قوة القص القصوى من أجل العينات ($S25-V_{f1.2\%}$, $S25-V_{f0.8\%}$.8, $S25-V_{f0.4\%}$, $S25-V_{f0}$, $S25-V_{f0}-St$) كانت KN (33.45 , 26.025 , 19.65 , 24.075 , 16.65) على التوالي وانخفضت قوة القص بصورة ملحوظة بعد قوة القص القصوى من أجل جميع العينات وبعد ذلك ازداد السهم بسرعة ومن المهم أيضاً الإشارة إلى أن السهم الأقصى من أجل العينة $S25-V_{f1.2\%}$ كان أعلى منه في العينة $S25-V_{f0}-St$.



3 - طريقة انهيار الجوائز النحيفة في المجموعة A :

يبدأ انهيار القص بعدة تصدعات تتشكل في الجهة المشدودة تحت الحمولة المطبقة ويزيادة الحمولة تظهر عدة تصدعات مائلة عند منتصف ارتفاع الجائز ضمن امتداد قص في اتجاه الذراع الرئيسي وينتشر (على نحو أفقي تقريباً) نحو نقطة التحمل ونحو الركيزة وعندما تزداد الحمولة أكثر يتسع الشق الموجود ويزداد طولاً ونلاحظ الأنماط التالية من انهيار القص: شد مائل حيث يظهر تصدع مائل في منتصف ارتفاع الجائز وينتشر نحو نقطة التحمل والركيزة ، تحطم شبكي بحيث يتحطم البيتون في منتصف ارتفاع الجائز على امتداد القص ، وتتهار الجوائز النحيفة في المجموعة A كما في الأشكال (4) بطريقة شد مائلة وإن إضافة الألياف الفولاذية إلى العينة S25-V_f1.2% حدّ من نمو واتساع تصدعات القص المتشكلة على امتداد القص وسمح بالتالي للعينة في تطوير قوة القص التامة الخاصة بها.





4 - نتائج اختبار الجوائز العميقة على القص في المجموعة A :

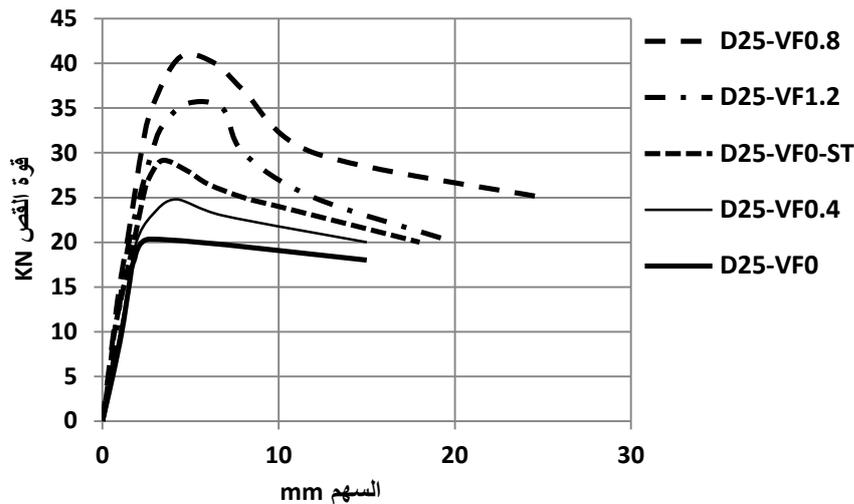
وتتلخص نتائج الاختبار الرئيسية في الجدول (7) أدناه وتكون زيادة قوة القص من أجل العينات التالية (D25-V_f0.4% ، D25-V_f0.8% ، D25-V_f1.2%) هي (74.5 % ، 99.2 % ، 21.8 %) على التوالي تكون (P_u) من أجل العينتين (D25-V_f0.8% ، D25-V_f1.2%) أعلى منها بالنسبة للعيونة (D25-V_f0-St) التي تشير إلى إمكانيات استبدال التقوية العرضانية (الاساور) بالألياف الفولاذية كتقوية للقص.

الجدول (7) نتائج اختبار الجوائز العميقة في المجموعة (A)

اسم الجائز	P _u KN	V _u KN	V' _u KN	Δ _u mm	V _c KN	V _s KN	V _{sf} KN	نسبة الزيادة في قوة القص (%)
D25-V _f 0-St	29.14	29.14	-	3.4	20.35	8.9	-	-
D25-V _f 0	20.35	20.35	-	2.7	20.35	-	-	-
D25-V _f 0.4%	24.79	-	24.79	4.2	20.35	-	4.44	21.8
D25-V _f 0.8%	40.70	-	40.70	4.4	20.35	-	13.75	99.2
D25-V _f 1.2%	35.51	-	35.51	5.0	20.35	-	15.16	74.5

5 - استجابة السهم في الجوائز العميقة للمجموعة A :

يبين الشكل (5) منحنيات قوة القص - السهم من أجل الجوائز العميقة في المجموعة A ، تبدي العينات سلوك سهم قوة قص شبه خطية حتى قوة القص القصوى ولوحظ أن قوة القص المسببة للتصدع الكبير تترافق مع قوة القص النهائية من أجل جميع العينات ، كما نلاحظ أن قوة القص تزداد بإدخال الألياف الفولاذية وكذلك قوة القص القصوى من أجل الجائزين ($D25-V_{f0.8\%}$ ، $D25-V_{f1.2\%}$) كانت أعلى منها في الجائز ($D25-V_{f0}-St$) حيث كانت قوى القص للجائز ($D25-V_{f1.2\%}$ ، $D25-V_{f0.8\%}$ ، $D25-V_{f0.4\%}$ ، $D25-V_{f0}-St$) هي (35.51 ، 40.7 ، 24.79 ، 29.145 ، 20.35) KN على التوالي، وازداد السهم الأقصى بإدخال الألياف الفولاذية حيث كان السهم للجائز ($D25-V_{f1.2\%}$) أعلى منه في الجائزين ($D25-V_{f0}-St$ ، $D25-V_{f0}$) .



الشكل (5) منحنيات قوة القص مع الانحناء للجوائز العميقة في المجموعة A

6 - طريقة انهيار الجوائز العميقة في المجموعة A :

يبدأ انهيار القص بتصدعات في الجانب المشدود تحت الحمولة المطبقة ويزيادة الحمولة تظهر التصدعات المائلة في منتصف ارتفاع الجائز ضمن امتداد قص في اتجاه الذراع الرئيسي وينتشر (أفقياً تقريباً) نحو نقطة التحميل ونحو الركيزة وعندما تزداد الحمولة أكثر تتسع التصدعات وتزداد طولاً ، وطرائق انهيار الجوائز العميقة في المجموعة A موضحة في الشكل (6) انهيارت العينات $D28-V_{f0}$ ، $D28-V_{f0}-St$ ، and $D28-V_{f0.4\%}$ بطريقة الانضغاط القصي بسبب تحطم البيتون عند رأس التصدعات القصية المائلة تحت نقطة قوة القص وانهارت العينتان العميقتان ($D28-V_{f0.8\%}$ and $D28-V_{f1.2\%}$) بطريقة تصدع ركائز البيتون المائلة وكان ذلك جلياً في العينة $D28-V_{f1.2\%}$ المزودة بأجزاء حجمية أكبر من الألياف الفولاذية ($V_f = 1.2\%$) .

العينة D25-V_{f0}-Stالعينة D25-V_{f0}العينة D25-V_{f0.8%}العينة D25-V_{f0.4%}العينة D25-V_{f1.2%}

الشكل (6) أنماط الانهيار في الجوائز العميقة في المجموعة (A)

II. نتائج الاختبار المجموعة B (60 MPa):

1 - نتائج اختبار الجوائز النحيفة على القص في المجموعة B:

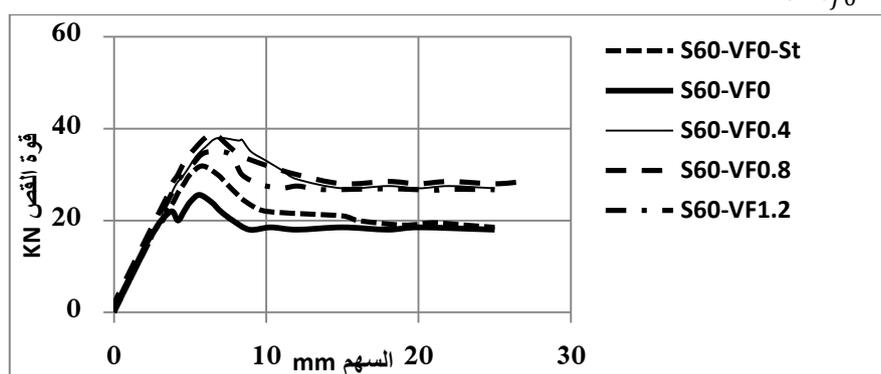
نتائج الاختبار الرئيسية ملخصة في الجدول (8) كانت الزيادة في قوة القص من أجل الجوائز التالية (S60-V_{f0}, S60-V_{f0.8%}, and S60-V_{f1.2%}) هي (48.4%, 51.9% , 36.1%) على التوالي وكانت (P_u) من أجل العينات (S60-V_{f0.4%}, S60-V_{f0.8%} and S60-V_{f1.2%}) أعلى منها في العينة S60-V_{f0}-St ما يشير إلى إمكانيات استبدال التقوية العرضية (الاساور) بالألياف الفولاذية كدعائم للقص. وتجدر الإشارة إلى أنه عندما تزداد (V_f) لا تزداد قوة القص كثيراً.

الجدول (8) نتائج الاختبار للجوائز النحيفة في المجموعة (B)

اسم الجائز	P_u KN	V_u KN	V'_u KN	Δ_u mm	V_c KN	V_s KN	V_{sf} KN	نسبة الزيادة في قوة القص (%)
S60- V_{f0} -St	31.87	31.87	-	5.8	25.57	6.3	-	-
S60- V_{f0}	25.57	25.57	-	5.6	25.57	-	-	-
S60- $V_{f0.4\%}$	37.95	-	37.95	10.2	25.57	-	12.37	48.4
S60- $V_{f0.8\%}$	38.85	-	38.85	10	25.57	-	13.27	51.9
S60- $V_{f1.2\%}$	34.8	-	34.8	7.6	25.57	-	9.22	36.1

2 - استجابة السهم في الجوائز النحيفة للمجموعة B:

يبين الشكل (7) منحنيات قوة القص - السهم للجوائز النحيفة في المجموعة B وتبدي العينات سلوك سهم - قوة قص شبه خطية حتى يحدث التشقق المائل الكبير الأول ، حيث كان في العينة S60- V_{f0} هو 22KN وبعد هذا التشقق انخفضت صلابة هذه العينة مسببة زيادة في السهم بصورة ملحوظة مع زيادة قوة القص وبإدخال الألياف الفولاذية لوحظ أن قوة القص المسببة للتشقق المائل الكبير تقترب من قوة القص النهائية كما في العينات : (S60- $V_{f0.4\%}$, S60- $V_{f0.8\%}$, S60- $V_{f1.2\%}$) وكذلك يبين أن قوة القص النهائية تزداد بعد إدخال الألياف الفولاذية ومن المهم أيضاً الإشارة إلى أن قوة القص القصوى من أجل العينات S60- $V_{f0.4\%}$, S60- $V_{f1.2\%}$, S60- $V_{f0.8\%}$ كانت أعلى منها في العينة S60- V_{f0} وكانت قوة القص القصوى للعينات (S60- V_{f0} , S60- $V_{f0.4\%}$, S60- $V_{f0.8\%}$, S60- $V_{f1.2\%}$) هي على التوالي (25.575 , 31.875 , 37.95 , 38.85 , 34.8)KN وهبطت قوة القص بصورة ملحوظة بعد قوة القص النزوية من أجل جميع الجوائز وبعدئذ ازداد السهم على نحو مهم وازداد السهم الأقصى بإدخال الألياف الفولاذية أو الاساور ومن المهم الإشارة إلى أن السهم الأقصى للعينات S60- $V_{f0.4\%}$, S60- $V_{f0.8\%}$, S60- $V_{f1.2\%}$ كان أعلى منه بالنسبة للعينة S60- V_{f0} -St.



الشكل (7) منحنيات قوة القص مع الانحناء للجوائز النحيفة في المجموعة B

3 - طريقة انهيار الجوائز النحيفة في المجموعة B :

يبدأ انهيار القص ببضع تصدعات في الجانب المشدود تحت الحمولة المطبقة وبتزايد الحمولة تظهر التصدعات المائلة في منتصف ارتفاع الجائز ضمن امتداد القص وينتشر (أفقياً تقريباً) نحو نقطة التحميل والركيزة وبتزايد الحمولة أكثر تتسع التصدعات الموجودة ويزداد طولها ويبين الشكل (8) انهيار الجوائز النحيفة من المجموعة B حيث اظهرت جميع الجوائز لهذه المجموعة نمط الشد المائل من الانهيار ولم تبدل إضافة الألياف الفولاذية ($V_f = 1.2\%$) في العينة ($S60-V_{f1.2\%}$) من نمط الانهيار بصورة مهمة لكنها سمحت للجوائز بتحمل قوة قص إضافية وزيادة عرض التصدع ما يوفر مؤشراً جيداً قبل الانهيار .



العينة S60-V_{f0}-St



العينة S60-V_{f0}



العينة S60-V_{f0.8%}



العينة S60-V_{f0.4%}



العينة S60-V_{f1.2%}

الشكل (8) أنماط الانهيار في الجوائز النحيفة في المجموعة (B)

4 - نتائج اختبار الجوائز العميقة على القص في المجموعة B :

نتائج الاختبار الرئيسة ملخصة في الجدول (9) حيث زادت قوة القص لجميع العينات وكانت هذه الزيادة للعينات : ($D60-V_{f0.4\%}$, $D60-V_{f0.8\%}$, $D60-V_{f1.2\%}$) هي (73.6% , 55.2% , 17.5%) وكانت قيمة (P_u) للعينتين ($D60-V_{f0.8\%}$, $D60-V_{f1.2\%}$) أعلى منها بالنسبة للعينة ($D28-V_{f0}-St$) ما يشير إلى إمكانيات استبدال التقوية العرضانية (الاساور) بالألياف الفولاذية كتقوية للقص .

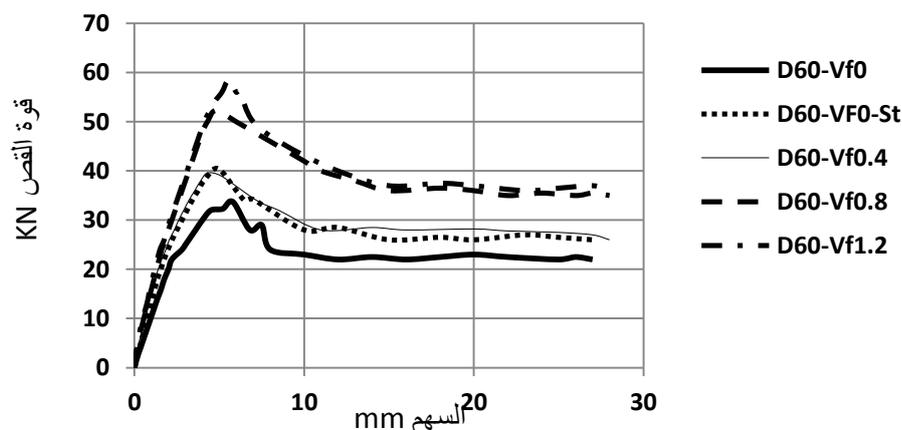
الجدول (9) نتائج الاختبار للجوائز العميقة في المجموعة (B)

اسم الجائز	P_u KN	V_u KN	V'_u KN	Δ_u mm	V_c KN	V_s KN	V_{sf} KN	نسبة الزيادة في قوة القص (%)
D60- V_{f0} -St	40.5	40.5	-	4.9	33.7	6.8	-	-
D60- V_{f0}	33.7	33.7	-	4.2	33.7	-	-	-
D60- $V_{f0.4\%}$	39.6	-	39.6	5.3	33.7	-	5.9	17.5
D60- $V_{f0.8\%}$	52.3	-	52.3	5	33.7	-	18.6	55.2
D60- $V_{f1.2\%}$	58.5	-	58.5	6	33.7	-	24.8	73.6

5- استجابة السهم في الجوائز العميقة للمجموعة B :

يبين الشكل (9) منحنيات قوة القص - السهم للجوائز العميقة في المجموعة B و تبدي العينات سلوك شبه خطي حتى يحدث التصدع المائل الكبير الأول ، حيث كانت قيمة قوة القص عند هذا التصدع بالنسبة للعيينة D60- V_{f0} هو 22.5KN بعد هذا التصدع انخفضت صلابة هذه العينة قليلا (حتى قوة القص القصوى) مسببة زيادة في السهم بصورة ملحوظة ولوحظ أن قوة القص المسببة للتصدع الكبير حدثت عند قوة القص القصوى لجميع العينات ماعدا العينة (D60- V_{f0}) حيث يظهر منحنى قوة القص - السهم أن قوة القص تزداد بإدخال الألياف الفولاذية أو الاساور ومن المهم الإشارة إلى أن قوة القص القصوى للعينات التالية :

(S60- V_{f0} ، S60- V_{f0} -St ، S60- $V_{f0.4\%}$ ، S60- $V_{f0.8\%}$ ، S60- $V_{f1.2\%}$) على التوالي (KN) (33.7 ، 40.5 ، 39.6 ، 52.3 ، 58.5) وتبين ان قوة القص للعينتين D60- $V_{f0.8\%}$ ، D60- $V_{f1.2\%}$ كانت أعلى منها في العينة D60- V_{f0} -St وهبطت قوة القص على نحو ملحوظ بعد أن وصلت إلى قوة القص القصوى لجميع الجوائز وبعد ذلك زاد السهم وازداد السهم الأقصى بإدخال الألياف الفولاذية أو الاساور ومن الإشارة إلى أن السهم الأقصى للعينات (D60- $V_{f0.4\%}$ ، D60- $V_{f0.8\%}$ ، D60- $V_{f1.2\%}$) كان أعلى منه في العينتين D60- V_{f0} ، D60- V_{f0} -St.



الشكل (9) منحنيات قوة القص مع الانحناء للجوائز العميقة في المجموعة B

6 - طريقة انهيار الجوائز العميقة في المجموعة B:

يبدأ انهيار القص عادة بوضع تصدعات في الجانب المشدود تحت الحمولة المطبقة ويزيادة الحمولة تظهر التصدعات المائلة في منتصف ارتفاع الجائز ضمن امتداد القص وينتشر (أفقياً تقريباً) نحو نقطة التحميل والركيزة ويزيادة الحمولة أكثر تتسع التصدعات الموجودة ويزداد طولها ويبين الشكل (10) أنماط انهيار الجوائز العميقة من المجموعة B حيث انهارت العينات $D60-V_{f0}$ ، $D60-V_{f0.4}$ ، $D60-V_{f0}$ -St ، بطريقة الانضغاط القصي مع تصدع مائل كبير و تحطم الببتون قرب الركيزة وفيما يتعلق بالعينات $D60-V_{f1.2}$ ، $D60-V_{f0.8}$ كانت طريقة الانهيار مشابهة وكان ذلك بسبب تشكل تصدع مائل كبير.



العيينة $D60-V_{f0}$ -St



العيينة $D60-V_{f0}$



العيينة $D60-V_{f0.8}$



العيينة $D60-V_{f0.4}$

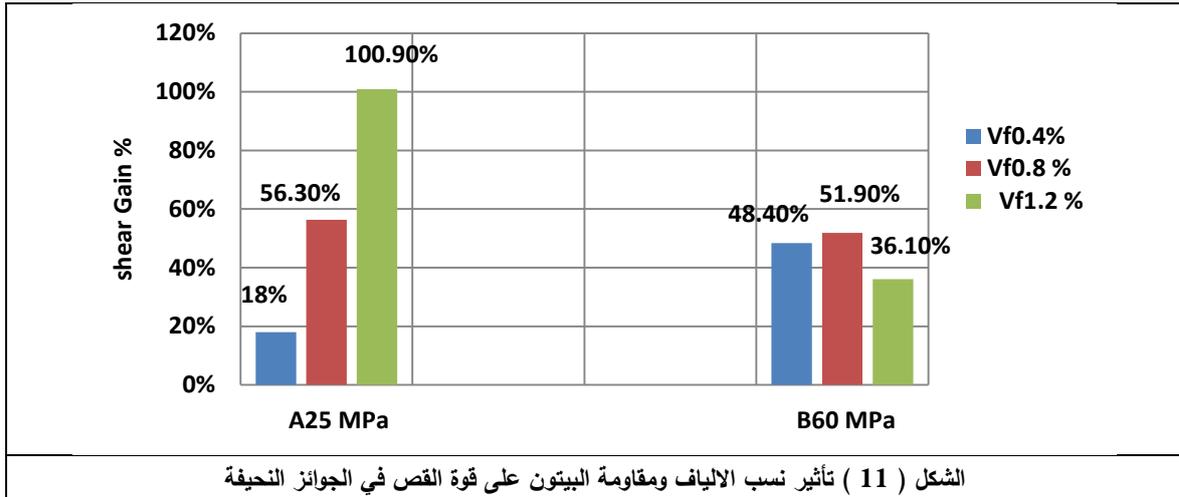


العيينة $D60-V_{f1.2}$

الشكل (10) أنماط الانهيار في الجوائز العميقة في المجموعة (B)

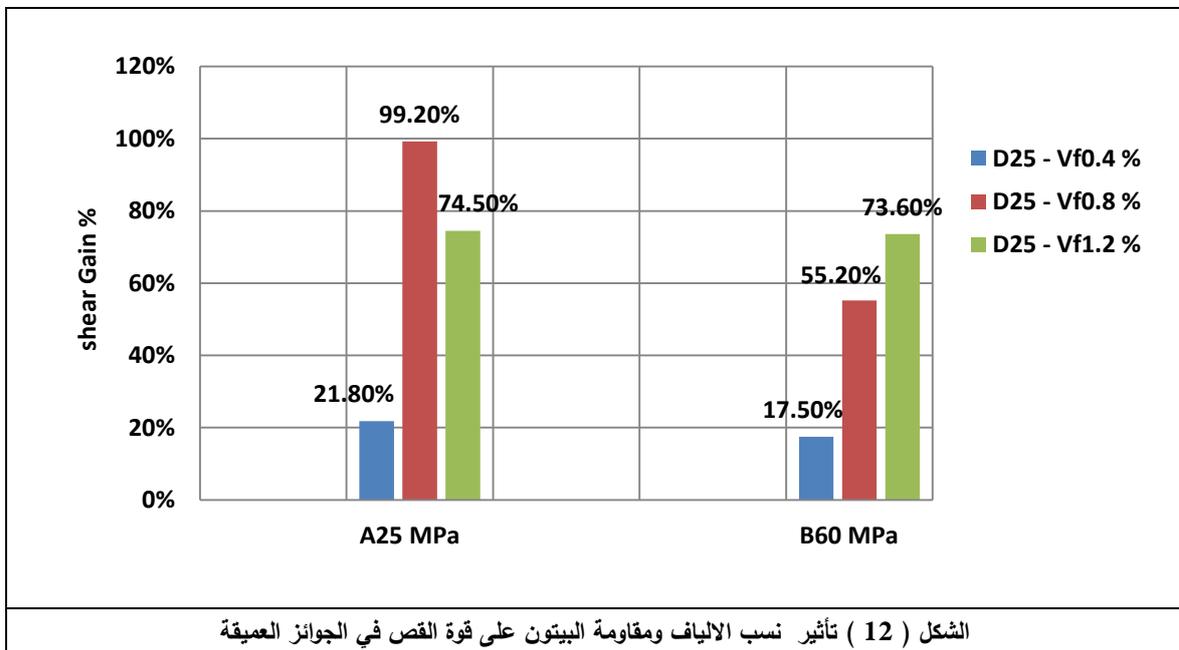
III. تأثير تغيرات نسب الالياف الفولاذية والمقاومة المميزة للببتون على قوة القص في الجوائز النخيفة الخالية من الأساور:

التفاعل بين الألياف الفولاذية والمقاومة المميزة للببتون وزيادة قوة القص من أجل الجوائز النخيفة موضح في الشكل (11) حيث تزداد قوة القص بزيادة نسب الألياف الفولاذية في الجوائز الببتونية النخيفة ذات المقاومة (25 MPa) وتتراوح هذه الزيادة بين (18 % - 100.9 %) في حين تزداد قوة القص في الجوائز الببتونية النخيفة ذات المقاومة (60 MPa) بين (48.4 % - 51.9 %) عند إضافة نسب الألياف الفولاذية (0.4% ، 0.8%) وبعد هذه النسب تنخفض قوة القص.



.IV تأثير تغيرات نسب الالياف الفولاذية والمقاومة المميزة للببتون على قوة القص في الجوائز العميقة الخالية من الأساور:

التفاعل بين الألياف الفولاذية والمقاومة المميزة للببتون وزيادة قوة القص من أجل الجوائز العميقة موضح في الشكل (12) حيث تزداد قوة القص بزيادة نسب الألياف الفولاذية في الجوائز الببتونية العميقة ذات المقاومة (60 MPa) وتتراوح هذه الزيادة بين (17.5 % - 73.6 %) في حين تزداد قوة القص في الجوائز الببتونية العميقة ذات المقاومة (25 MPa) بين (21.8 % - 99.2%) عند إضافة نسب الألياف الفولاذية (0.4 ، 0.8) ويعد هذه النسب تنخفض قوة القص.



الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

استناداً للنتائج التجريبية، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

- 1 - بالنسبة للجوائز النحيفة من المجموعة A (25 MPa) تزداد قوة القص بازدياد نسبة للألياف الفولاذية وتتراوح الزيادة في قوة القص بين (18% و 100.9%) .
- 2 - بالنسبة للجوائز النحيفة من المجموعة B (60 MPa) فإن إضافة الألياف الفولاذية بنسب (0.4% ، 0.8%) تزيد من قوة القص بين (48.4% - 51.9%) لكن هذه الزيادة تتخفف إلى (36.1%) عند إضافة نسبة (1.2%) من هذه الألياف ، مما يدل على أنه تتخفف قوة القص بعد إضافة نسبة أكبر من (0.8%) من الألياف الفولاذية .
- 3 - فيما يتعلق بالجوائز العميقة من المجموعة A (25 MPa) تتراوح الزيادة في قوة القص بين (21.8% - 99.2%) عند إضافة الألياف الفولاذية بنسب (0.4% ، 0.8%) لكن هذه الزيادة انخفضت إلى (74.5%) عند إضافة النسبة (1.2%) من الألياف ، مما يدل على أنه تتخفف قوة القص بعد إضافة نسبة أكبر من (0.8%) من هذه الألياف.
- 4 - بالنسبة للجوائز العميقة من المجموعة B (60 MPa) تزداد قوة القص بزيادة نسبة الألياف الفولاذية وتتراوح هذه الزيادة بين (17.5% - 73.6%) .
- 5 - في الجوائز البيتونية النحيفة والعميقة ذات المقاومة (25 - 60) MPa تزداد قوة القص بزيادة نسب الألياف الفولاذية من (0% - 0.8%) .
- 6 - في الجوائز البيتونية النحيفة والعميقة وعند النسبة (0.8%) من الألياف الفولاذية تكون الزيادة في قوة القص الناجمة عن هذه الألياف أكبر من الزيادة في قوة القص الناجمة عن الأساور (التسليح العرضي) مما يدل على أنه يمكن للألياف الفولاذية أن تحل مكان الأساور في تحمل قوة القص عند هذه النسبة .

التوصيات:

يقدم هذا العمل البحثي شواهد حول فعالية استخدام الألياف الفولاذية كتنقية للقص وهناك حاجة لدراسات إضافية لإغناء المصادر ودعم تطور الإرشادات التصميمية والمعايير حول هذا الموضوع وفيما يلي بعض التوصيات من أجل الدراسات المستقبلية في هذا المجال:

تأثير استخدام الألياف الفولاذية بالمشاركة مع التقوية العرضانية (الأساور) كمقويات للقص.

دراسة أداء البيتون المدعم بالألياف الفولاذية على المقطعين T و I وتأثير مساهمة الألياف الفولاذية في الشبكة الرقيقة.

دراسة أداء قوة قص البيتون المدعم بالألياف الفولاذية تحت تأثير الحمولة المكررة أو المجهدة.

أداء القص في ظروف بيئية قاسية وإمكانية تآكل الألياف الفولاذية يجب أيضاً أن تدرس.

المراجع:

- [1] - YAKOUB, H. E. *Shear Stress Prediction: Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups* , ACI Structural Journal, 2011 , 304-314.
- [2] - CUCCHIARA, C. MENDOLA, L. L. & PAPIA, M. *Effectiveness of stirrups and steel fibres as shear reinforcement. Cement & Concrete Composites*, 2004 , 777-786.

- [3] - JUA'REZ, C., VALDEZ, P., DURAN, A., & SOBOLEV, K. *The diagonal tension behavior of fiber reinforced concrete beams. Cement & Concrete Composites*, 2007, 402-408.
- [4] - DINH, H.H. *Shear behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete beams without Stirrup reinforcement*, ACI Structural Journal, 2010 , 597-606.
- [5] - NARAYANAN, R. & DARWISH, I. *Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement*. ACI Structural Journal, 1987, 216-277.
- [6] - KWAK, Y. K. EBERHARD, M. O. KIM, W. S. & KIM, J. *Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups*. ACI Structural Journal, 2002, 530-538.
- [7] - NEMKUMAR, M. A. *Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete* , ACI Materials Journal, 2002, 473-479.
- [8] - AOUDE, H. BELGHITI, M. COOK, W. & MITCHELL, D. *Response of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams with and without Stirrups*, ACI Structural Journal, 2012, 359-367.
- [9] - The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use, www.efca.info or www.efnarc.org, May 2005, 63.
- [10] - حويجة ، بسام ؛ تريكية ، علي ؛ خيريك ، زيد . *دراسة تجريبية على خلطة البيتون ذاتي الارتصاص المصنع من مواد محلية المنشأ* . مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (37) ، العدد (4)، 2015 ، 601 – 620 .
- [11] - خيريك ، علي ؛ نوار ، ترك . *منهجية جديدة لتحسين خلطات البيتون ذاتي التوضع* . مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية ، سلسلة العلوم الهندسية ، المجلد (35) ، العدد 8 ، 2013 ، 173 – 188 .
- [12] - ججاج، غاندي؛ خيريك، علي؛ زينه، تمام. *تأثير إضافةلياف البولي البروبيلين على الخصائص الريولوجية والميكانيكية للبيتون ذاتي التوضع*. مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية ، سلسلة العلوم الهندسية ، المجلد (35) ، العدد 7 ، 2013 ، 189 – 202 .