

تأثير الألياف الفولاذية على مقاومة الضغط والشد للخرسانة عالية المقاومة

عبدالرحيم المبروك الأسطى¹، يخلف زكري يخلف²، نوري محمد الباشا³، خالد محمد عمرو⁴
قسم الهندسة المدنية و المعمارية - الاكاديمية الليبية - جنزور¹ ، قسم الهندسة المدنية -المعهد
العالي للتقنيات الهندسية - طرابلس²، قسم الهندسة المدنية- كلية الهندسة - جامعة صبراتة³، قسم
الهندسة المدنية- كلية الهندسة - جامعة غريان⁴.

Abduelraheem.alostaa@academy.edu.ly¹ , Yakhlefzkri@yahoo.com²,
nuri.elbasha@sabu.edu.ly³, khaled200473@gmail.com⁴

Abstract:

The marked brittleness with low tensile strength and strain capacities of high-strength concrete (HSC) can be overcome by the addition of steel fibers. This research investigated the effects of hooked-end steel fiber content with different silica fume (S.F.) content on the mechanical properties of HSC.

This study depends on 3 main reference concrete mix contains silica fume (5%, 10%, 15%) as a percentage of the weight of cement. and Also, 3.5% of the super plasticizers type (Plastocrete ®-N) has been added to all concrete mixes.

The steel fibers were added at the volume fractions of (0.2 %, 0.4 %, 0.6 %, 0.8 %, 1 %). Compressive and splitting tensile strengths were conducted.

The main conclusions were that the compressive strength and splitting tensile strengths of the fiber-reinforced concrete enhanced by 10% and 50% respectively at 1.0% volume fraction, and 10% of S.F .

Strength models were established to predict the splitting tensile strengths by knowing the compressive strength and a model to predict a compressive Strength by using enhancement factor.

Key Words: High resistance concrete, steel fibers, silica dust, pressure resistance and direct tensile strength.

المُلخَص

يمكن التغلب على الهشاشة الملحوظة مع قوة الشد المنخفضة وقدرات التحمل للخرسانة عالية القوة (HSC) عن طريق إضافة ألياف الصلب. بحث هذا البحث في آثار محتوى الألياف الفولاذية المعقدة بمحتوى دخان السيليكا المختلف على الخواص الميكانيكية لـ HSC. تعتمد هذه الدراسة على مزيج أساسي مرجعي من الخرسانة يحتوي على دخان السيليكا (5% ، 10% ، 15%) كنسبة مئوية من وزن الإسمنت. وأيضًا ، تمت إضافة 3.5% من نوع الملدنات الفائقة (Plastocrete®-N) إلى جميع الخلطات الخرسانية. تمت إضافة الألياف الفولاذية عند نسبة الكسور (0.2% ، 0.4% ، 0.6% ، 0.8% ، 1%) . وأجريت اختبارات مقاومة الشد و الضغط على عدة عينات . كانت الاستنتاجات الرئيسية هي أن القوة الانضغاطية وقوة الشد الانقسامية للخرسانة المسلحة بالألياف معززة بنسبة 10% و 50% على التوالي في جزء حجم 1.0% ، و 10% من S.F. تم إنشاء نماذج القوة للتنبؤ بقوة الشد المجزأة عن طريق معرفة قوة الضغط ونموذج للتنبؤ بقوة الضغط باستخدام عامل التعزيز .

الكلمات الدالة : الخرسانة عالية المقاومة ، الألياف الفولاذية ، غبار السيليكا ، مقاومة الضغط ومقاومة الشد غير المباشر .

1. المقدمة

من المعروف أن الخرسانة عالية المقاومة (HSC) لها مقاومة ضغط مرتفعة مقارنة بالخرسانة العادية، مما جعلها الأكثر طلبًا لتلاؤمها مع التطور في أعمال البناء و التشييد، والفترة الحالية تشهد ثورة في تكنولوجيا الخرسانة حيث تم التغلب على التناقض الناشئ بين القابلية المنخفضة للتشغيل و المقاومة العالية بإضافة الملدنات الفائقة والإضافات المعدنية التي تسمح باستخدام نسبة قليلة من الماء في الخرسانة مع قابلية عالية للتشغيل.

إن للملدنات القدرة على تفكيك جزيئات الإسمنت مما يحرر المياه المحجوزة بين الجزيئات المؤدية إلى تعزيز قابلية التشغيل و إعطاء الفرصة إلى الإضافات المعدنية الدقيقة للتغلغل بين حبيبات الإسمنت مما يزيد من كثافة الخرسانة والذي يحسن بدوره من مقاومة الضغط وأهم هذه الإضافات غبار السيليكا [1]. إن

الزيادة في مقاومة الخرسانة تعني مباني أعلى ومساحات أكبر مما يترتب عليه ضرورة تحسين مقاومة الشد للخرسانة. ولهذا يتم اللجوء إلى بعض الإضافات ذات التكلفة البسيطة والتشغيلية الجيدة لزيادة مقاومة الشد للخرسانة مع ضمان التحسين لمقاومة الضغط أو على الأقل دون التأثير عليها سلباً. لذلك يتم استخدام الألياف الفولاذية لينتج عن هذه الإضافة خرسانة ليفية عالية المقاومة (HSFRC) تعزز مقاومة الشد للخرسانة وأيضاً تقاوم الشقوق وتقلل من انتشارها [2]. حيث تعتبر الخرسانة المسلحة بالألياف وسيلة للتعويض عن الحديد والمشبكات الحديدية لدورها في تحسين المطيلية والمتانة للخرسانة وأيضاً تقليل قابلية الخرسانة للانفجار عند التعرض للحرائق. كما تتميز بسهولة في الاستخدام والإنهاء وتعطي عامل أمان جيد [3].

أجريت العديد من الأبحاث لدراسة تأثير الألياف الفولاذية على الخرسانة عالية المقاومة . حيث أجرى [4] دراسة أضيفت فيها الألياف بنسبة ($V_f = 1\%$) وبطول ($l = 50\text{ mm}$) و بقطر ($d = 1\text{ mm}$) أدت الى تحسن ملحوظ في مقاومة الضغط والشد غير المباشر. كما أظهرت دراسة أجراها [5] أضيفت بها الألياف بنسبة 3 % وبطول 30 ملم و بقطر 0.5 ملم. وأجرى [6] دراسة بإضافة الألياف بنسبة 2 % وبطول 35 ملم و بقطر 55 ملم أدت كلاهما إلى تحسن كبير ولكن متفاوت في مقاومة الخرسانة للضغط والشد غير المباشر. ويرجع الاختلاف في نسبة تأثير الألياف على مقاومة الخرسانة بنسبة كبيرة الى ما يعرف في الكثير من المراجع بمعامل التعزيز وهو عبارة ($l/d \times V_f$) فمن هنا استمدت فكرة هذا البحث لتوفير البيانات التجريبية على مقاومة الضغط و الشد للخرسانة عالية المقاومة المضاف إليها الألياف الفولاذية (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1) % كنسبة حجمية و غبار السيليكا بنسب وزنية (5، 10، 15) % من الإسمنت و باستخدام مواد محلية أثناء تعرضها لظروف المعالجة المعتادة.

2. البرنامج العملي

1.2.1 المواد المستخدمة

1.1.2 الإسمنت

أستخدم الإسمنت البورتلاندي العادي في جميع الخلطات المورد من (شركة اتحاد المقاولون العرب) نوع (N42.5)، والجدول رقم (1) يوضح الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت، المطابقة للمواصفة القياسية البريطانية [7].

جدول (1) نتائج الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت

حدود المواصفة البريطانية	النتيجة	الإختبار
	3.15	الوزن النوعي
45 <	90 دقيقة	زمن الشك الابتدائي
600 >	2:15 ساعة	زمن الشك النهائي
41 <	48.70 م/ن/م2	مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عند 28 يوم

2.1.2 الركام الناعم

أستخدم في هذا البحث رمل زليتن حيث يبين الجدول (2) الخواص الفيزيائية والميكانيكية و الجدول (3) يبين التحليل المنخلي للركام ومدى مطابقته للمواصفات البريطانية [8] و [9].

جدول (2) نتائج الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم

حدود المواصفة البريطانية	النتيجة	الإختبار
2.7-2.5	2.71	الوزن النوعي
لا تزيد عن 3%	1 %	نسبة الإمتصاص
4 >	1.53	معامل النعومة

جدول (3) التحليل المنخلي للركام الناعم

0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	قطر المنخل (ملم)
4	35.2	97.4	100	100	نسبة المار (%)
0-15	5-70	55-100	70-100	80-100	المواصفة البريطانية

3.1.2 الركام الخشن

تم استخدام ركام مورد من محجر رأس اللقع وأخذت عينات لإجراء التحليل المنخلي و الجدولان (4)،(5) يبينان الخواص الفيزيائية و الميكانيكية والتحليل المنخلي للركام الخشن ومدى مطابقته للمواصفات البريطانية [8] ، [9] ، [10] ، [11].

جدول (4) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

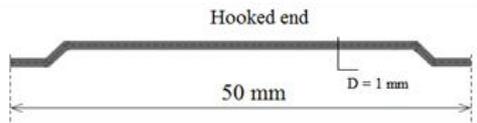
الإختبار	الوزن النوعي	نسبة الإمتصاص	معامل الصدم	معامل التهشيم
النتيجة	2.71	% 2.38	% 18.84	% 26.25
حدود المواصفة البريطانية	2.7-2.5	لا تزيد عن 3%	لا يزيد عن 45%	لا يزيد عن 45%

جدول (5) التحليل المنخلي للركام الخشن

قطر المنخل (ملم)	37.5	19	14	9.5	4.75	2.36
نسبة المار (%)	100	100	73.04	26.8	0.08	4
المواصفة البريطانية	-	100	85-100	0-50	0-10	-

4.1.2 الألياف الفولاذية

استخدمت ألياف الفولاذ معقوفة الجانبين وبيين الشكل (1) والجدول (6) نوع ومواصفات الألياف المستخدمة.



الشكل (1) نوع الألياف الفولاذية المستخدمة

جدول (6) مواصفات الألياف الفولاذية

نوع الألياف	أقصى استطالة %	معامل يونج (GPa)	مقاومة الشد (MPa)	الوزن النوعي
hooked end Steel	30-25	200	>1000	7.85

5.1.2 الماء

أستخدم الماء المتوفر بالمعمل في الخلطات الخرسانية حيث أن مجموع الأملاح الذاتية لا يتعدى 2000 ملي جرام / لتر وهو مطابق للمواصفات القياسية للبيبة م. ق ل. (1988-294).

6.1.2 الملدن الفائق

في هذا البحث أستخدم ملدن فائق بإسم (Plastocrete ®-N) بنسبة (3.5 %) بالنسبة لوزن الإسمنت كما هو موصى من قبل الشركة المنتجة وهو مطابق للمواصفات الأمريكية [12] .

7.1.2 غبار السيليكا

هي مادة عبارة عن ناتج ثانوي من صناعة سبائك السيليكون والفيروسليكون وتتكون من حبيبات دقيقة مساحتها السطحية حوالي أربعة إلى خمسة أمثال المساحة السطحية للإسمنت، والجدول (7) الخصائص الفيزيائية لغبار السيليكا .

جدول (7) الخصائص الفيزيائية لغبار السيليكا

حجم الجسيمات	الوزن النوعي	المساحة السطحية
$\mu m >$	2.2	30,000-13,000 كجم م ²

2.2 الخلطة الخرسانية

أستخدم ملدن فائق بنسبة ثابتة (3.5 %) في كل الخلطات وثلاث نسب من غبار السيليكا(5% ، 10 % ، 15 %) والألياف بنسبة (0.2% ، 0.4% ، 0.6% ، 0.8% ، 1%)، والجدول (8) يبين نسب المواد المقترحة لهذه الدراسة.

جدول (8) كمية المواد الداخلة في الخلطة الخرسانية

الماء لتر	المملدن الفائق لتر	الركام الخشن كجم	الرمل الناعم كجم	السيليكا كجم	الاسمنت كجم	مكونات الخلطة نسبة السيليكا
150	17.5	1162	659	25	475	السيليكا 5%
150	17.5	1162	659	50	450	السيليكا 10%
150	17.5	1162	659	75	425	السيليكا 15%

3.2 طريقة الخلط

تم ضبط نسب الخلط لمكونات الخرسانة وذلك باستعمال الميزان الحساس، وخلطة ميكانيكية تتناسب مع الكمية المطلوبة. مع ثبات زمن الخلط لجميع الخلطات وترتيب وضع مكونات الخلط في الخلاطة، ثم بدأ الخلط بإضافة غبار السيليكا إلى الإسمنت وخطهما لمدة 3 دقائق ثم إضافة الركام الناعم والخشن ويستمر الخلط لمدة ثلاث دقائق ثم تضاف الألياف الفولاذية والخلط لفترة تضمن الانتشار الجيد للألياف الفولاذ ومن ثم إضافة خليط الماء والمملدن الفائق الممزوجان مسبقا وتخلط كل المواد حتي يتم الوصول للتجانس المطلوب. بعد ذلك يتم صب العينات وتدمك يدويا في قوالب حديدية مكعبة بأبعاد $150 \times 150 \times 150$ مم وفقا للمواصفات البريطانية [13] و أسطوانية بحجم 300×150 مم، وفقا لنفس المواصفات [14] ، ويتم صب القوالب على ثلاث طبقات ثم يتم تسوية أسطح القوالب.

4.2 إعداد العينات

يتم تجهيز القوالب الخاصة بالاختبارات لصب الخلطات الخرسانية فيها تم تترك لمدة 24 ساعة لتجف و تصل إلي مرحلة الثبات في الحجم، والعينات تتمثل في عدد 36 مكعب لكل خلطة لغرض إجراء اختبار الضغط، 6 مكعبات منها لغرض اختبار الخلطة المرجعية من دون الألياف الفولاذية ثلاثة مكعبات لكل فترة زمنية (7 أيام ، 28 يوم) ، و 30 مكعب منها للخلطة المرجعية مضافة إليها الألياف الفولاذية بالنسب المطلوبة وكل خلطة بنسبة معينة من الألياف الفولاذية يتم اختبار ثلاثة مكعبات منها لكل فترة زمنية (7 أيام ، 28 يوم). وعدد 30 أسطوانة لكل خلطة لحساب مقاومة الشد غير المباشر، 6 منها لغرض اختبار الخلطة المرجعية من دون الألياف الفولاذية ثلاثة لكل فترة زمنية (7 أيام ، 28 يوم)، و 30

أسطوانة منها للخلطة المرجعية مضافة إليها الألياف بنسبة (0.2 ، 0.4 ، 0.6 ، 0.8 ، 1) % وكل خلطة بنسبة معينة من الألياف الفولاذية يتم اختبار ثلاث أسطوانات لكل فترة زمنية (7 أيام ، 28 يوم).

5.2 فترة المعالجة

المعالجة هي عملية تستعمل لتحفيز إماهة الإسمنت والحفاظ على درجة الحرارة وثبات حركة الرطوبة من وإلى الخرسانة في محيط ملائم أثناء المراحل المبكرة لصب الخلطة الخرسانية. فبعد مرور 24 ساعة علي صب عينات الاختبارات في القوالب الخاصة بتنزع العينات من القوالب وتبدأ مرحلة المعالجة وذلك بغمر العينات في أحواض ماء نقي درجة حرارتها 20 درجة مئوية وتبقي هذه العينات مغمورة بالماء إلي حين انتهاء المدة المحددة للمعالجة وفقا للمواصفات البريطانية [15]. وبعد انتهاء مدة المعالجة يتم إخراج العينات الخرسانية من أحواض الماء وتترك حتى تجف ثم تنقل لإجراء اختبارات الضغط والتشد غير المباشر عليها حسب المواصفات البريطانية [16] و [17].

3 . مناقشة النتائج

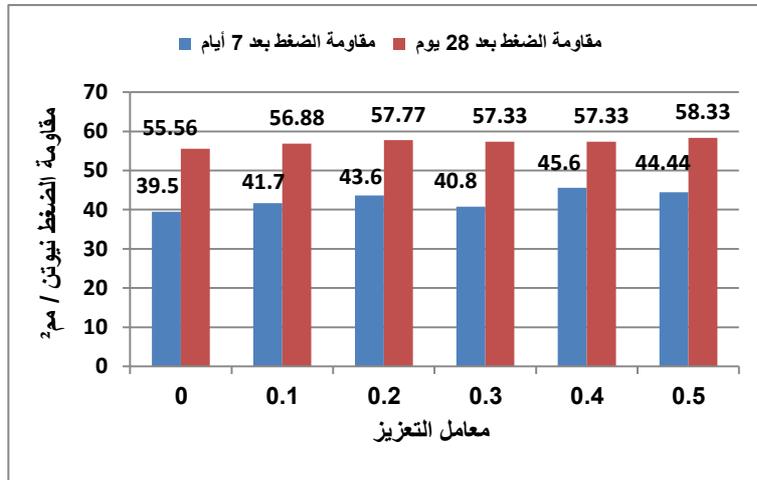
1.3 عند إضافة غبار السيليكا بنسبة 5 %

1.1.3 الضغط

من خلال النتائج المبينة في الجدول (9) و الشكل رقم (2) يلاحظ زيادة تدريجية في مقاومة الضغط تتزامن مع الزيادة في نسبة الألياف الفولاذية حيث أن أعلى قيمة لمقاومة الضغط بعد 7 أيام كانت عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 0.8 % ومعامل تعزيز 0.4 وصلت 45.6 نيوتن/م² بنسبة تحسن 15 % مقارنة بنتائج الخلطة المرجعية، بينما كانت أعلى مقاومة بعد 28 يوم بنسبة تحسن 5 % عند إضافة الألياف بنسبة 1 % ومعامل التعزيز 0.5 . وهذه النتائج اختلفت مع المرجع [4] حيث أن إضافة الألياف أثرت سلبيا على الخرسانة ويرجع ذلك إلى استخدامهم عينات مكعبة بأبعاد 10 × 10 سم وركام خشن بمقياس اعتباري 10 ملم وألياف فولاذية متموجة. بينما اتفقت نتائج المرجع [18] مع نتائج هذه الدراسة تقريبا ويرجع السبب إلى استخدامه ألياف فولاذية ذات الأطراف المعقوفة وركام خشن بمقياس اعتباري أكبر من 12-19 ملم وأيضا نتيجة استخدام العينات الأسطوانية ذات الأبعاد 150 × 300 ملم .

جدول (9) نتائج إختبارات الضغط والشد غير مباشر عند نسبة غبار السيليكا 5 % لكل فترة زمنية

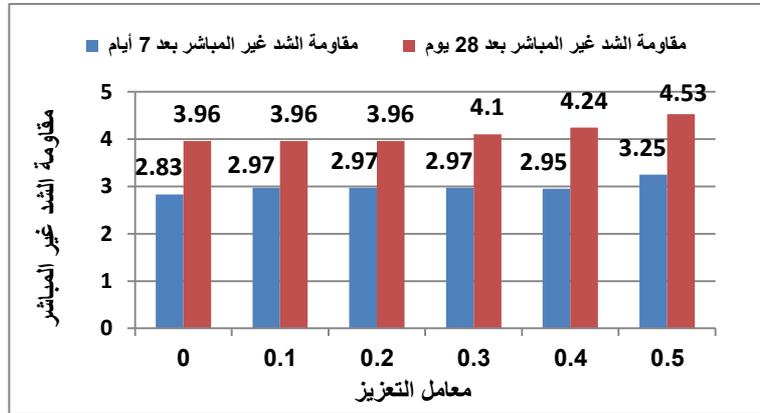
نسبة السيليكا %	نسبة الألياف %	معامل التعزيز	مقاومة الضغط نيوتن / مم ²		مقاومة الشد غير المباشر نيوتن / مم ²	
			7 أيام	28 يوم	7 أيام	28 يوم
			0	0	39.5	55.56
5	0.2	0.1	41.7	56.88	2.97	3.96
	0.4	0.2	43.6	57.77	2.97	3.96
	0.6	0.3	40.8	57.33	2.97	4.1
	0.8	0.4	45.6 (15%)	57.33	2.95	4.24
	1	0.5	44.44	58.33 (5 %)	3.25 (15 %)	4.53(14 %)



الشكل (2) نتائج مقاومة الضغط عند إضافة غبار سيليكيا 5 %

2.1.3 الشد غير المباشر

بعد المقارنة بنتائج الخلطة المرجعية كانت أعلى زيادة في مقاومة الشد غير المباشر بنسبة 15 % عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 1 % ومعامل تعزيز 0.5 بعد 7 أيام، و بينما كانت أعلى نسبة زيادة بعد 28 يوم هي 14 % عند إضافة نفس نسبة الألياف ونفس معامل التعزيز كما هو موضح بالشكل (3). وهذه النتائج اتفقت نوعا ما مع نتائج كل من المرجعين [4] و [18] من حيث نسبة التحسن في مقاومة الشد غير مباشر لأن العامل الأهم هو تواجد الألياف الفولاذية في طريق خط الكسر مما يحسن من مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة.



الشكل (3) نتائج مقاومة الشد غير المباشر عند إضافة غبار سيليكيا 5 %

ويمكن مقارنة ذلك من خلال النتائج بالجدول (10) لمقاومة الضغط و الشد بعمر 28 يوم ومعامل

التعزيز والمقاومة للخطة المرجعية عند كل نسبة غبار السيليكيا بالمعادلات التالية :-

$$\hat{f}_c = \hat{f}_{ci} + 8.82 RI - 9.2 RI^2 \quad (1)$$

$$\hat{f}_{sp} = \hat{f}_{spi} - 0.7 RI + 3.58 RI^2 \quad (2)$$

$$f_{sp}^* = 1.44 RI - 0.082 \hat{f}_c + 8.5 \quad (3)$$

جدول (10) نتائج مقاومة الضغط والشد غير مباشر المتوقعة عن طريق المعادلات ونسبة

الخطأ بعد 28 يوم

السليكا %	نسبة الألياف %	معامل التعزيز	مقاومة الضغط نيوتن / مم ²			مقاومة الشد غير المباشر نيوتن / مم ²		
			نتيجة الاختبار	النتيجة المتوقعة	نسبة الخطأ (%)	نتيجة الاختبار	النتيجة المتوقعة	نسبة الخطأ (%)
5	0	0	55.56	55.56	0	3.96	3.96	0
	0.2	0.1	56.88	56.35	-0.9	3.96	3.92	-1.01
	0.4	0.2	57.77	56.95	-1.41	3.96	3.96	0
	0.6	0.3	57.33	57.37	0.07	4.1	4.07	-0.73
	0.8	0.4	57.33	57.61	0.48	4.24	4.25	0.23
	1	0.5	58.33	57.67	-1.13	4.53	4.5	-0.66

بحيث : \hat{f}_c = مقاومة الضغط ، \hat{f}_{sp} = مقاومة الشد غير المباشر ، \hat{f}_{spi} = مقاومة الشد غير المباشر الابتدائية

بدون ألياف ، f_{sp}^* = مقاومة الشد غير المباشر بدلالة مقاومة الضغط ، RI = معامل التعزيز .

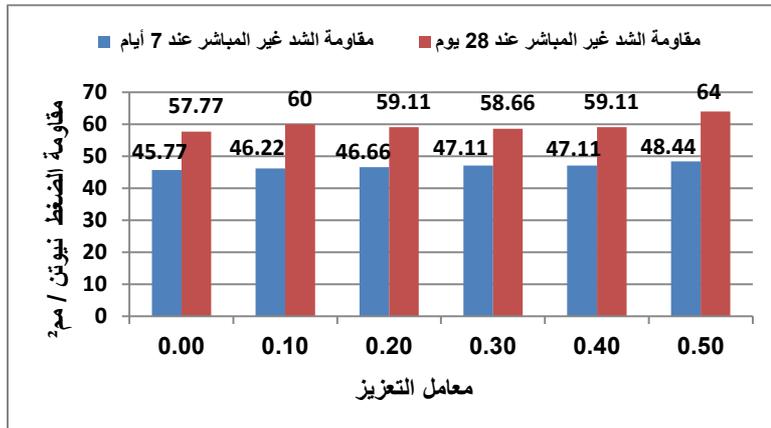
2.3 عند إضافة غبار السيليكا بنسبة 10 %

1.2.3 الضغط

من النتائج المبينة في الجدول (11) و البيانات الموضحة بالشكل (4) يلاحظ زيادة في مقاومة الضغط تتزامن مع الزيادة في نسبة الألياف حيث كانت أعلى قيمة لمقاومة الضغط بعد 7 أيام عند إضافة الألياف بنسبة 1 % ومعامل تعزيز 0.5 وصلت إلى 48.44 نيوتن/مم² بنسبة تحسن 6 % مقارنة بنتائج الخلطة المرجعية، وكانت أعلى مقاومة بعد 28 يوم بنسبة تحسن 11% عند نسبة ألياف 1% ومعامل التعزيز 0.5. و النتائج اتفقت مع المراجع [6] ، [19] ، [20] حيث أن إضافة الألياف أثرت إيجابيا بدرجة متفاوتة على الخرسانة ويرجع ذلك للاختلاف البسيط في معامل التعزيز والتوزيع العشوائي للألياف الفولاذية.

جدول (11) نتائج اختبارات الضغط والشد غير مباشر عند نسبة غبار السيليكا 10 %

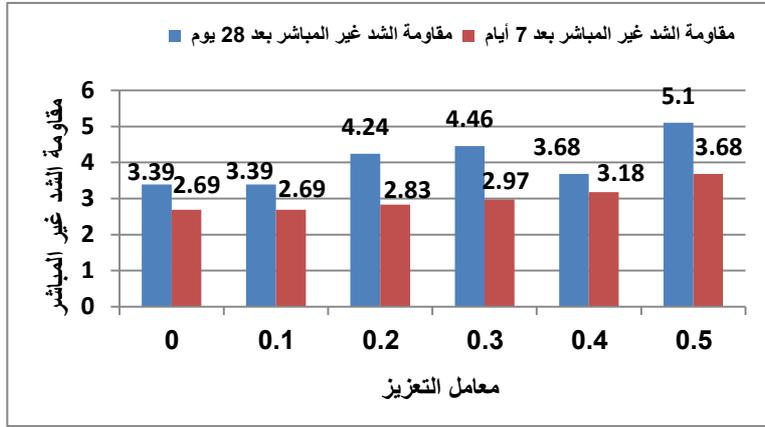
السيليكا %	نسبة الألياف %	معامل التعزيز	مقاومة الضغط نيوتن / مم ²		مقاومة الشد غير المباشر نيوتن / مم ²	
			7 أيام	28 يوم	7 أيام	28 يوم
10	0	0	45.77	57.77	2.69	3.39
	0.2	0.1	46.22	60	2.69	3.39
	0.4	0.2	46.66	59.11	2.83	4.24
	0.6	0.3	47.11	58.66	2.97	4.46
	0.8	0.4	47.11	59.11	3.18	3.68
	1	0.5	48.44 (6%)	64 (11%)	3.68(37%)	5.1(50%)



الشكل (4) نتائج مقاومة الضغط بإضافة غبار سيليكيا 10%

2.2.3 الشد غير المباشر

من الشكل (5) يلاحظ أعلى زيادة في مقاومة الشد غير المباشر بنسبة 37 % عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 1 % ومعامل تعزيز 0.5 بعد 7 أيام، وبينما كانت أعلى نسبة زيادة بعد 28 يوم هي 50 % عند إضافة نفس نسبة الألياف وبنفس معامل التعزيز. واتفقت النتائج مع المرجعين [6] ، [19] ويرجع سبب تأثير الألياف الفولاذية الكبير نسبيا على مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة إلى أن نسبة غبار السيليكا 10 % أدت إلى وصول الخلطة الخرسانية إلى أفضل تجانس مما أدى إلى مقاومة ضغط جيدة حيث أن هذه المقاومة زادت من الضغط حول الألياف الفولاذية .



الشكل (5) نتائج مقاومة الشد غير المباشر بإضافة غبار سيليكيا 10 %

وتمثل العلاقة بين مقاومة الضغط والشد غير المباشر بعمر 28 يوم ومعامل التعزيز كما في الجدول

(12) من نتائج المعادلات التالية :-

$$\hat{f}_c = \hat{f}_{ci} - 8.65 RI + 33.32 RI^2 \quad (4)$$

$$\hat{f}_{sp} = \hat{f}_{spi} + 2.236 RI + 1.035 RI^2 \quad (5)$$

$$f_{sp}^* = 1.87 RI + 0.11 \hat{f}_c - 3.01 \quad (6)$$

الجدول (12) نتائج مقاومة الضغط والشد غير مباشر المتوقعة عن طريق المعادلات ونسبة الخطأ بعد

28 يوم

نسبة السليكا %	نسبة الألياف %	معامل التعزيز	مقاومة الضغط نيوتن / مم ²			مقاومة الشد غير المباشر نيوتن / مم ²		
			نتيجة الاختبار	النتيجة المتوقعة	نسبة الخطأ %	نتيجة الاختبار	النتيجة المتوقعة	نسبة الخطأ %
10	0	0	57.77	57.77	0	3.39	3.39	0
	0.2	0.1	60	57.23	-4.61	3.39	3.62	6.78
	0.4	0.2	59.11	57.37	-2.94	4.24	3.87	-8.72
	0.6	0.3	58.66	58.17	-0.83	4.46	4.15	-6.95
	0.8	0.4	59.11	59.64	0.89	3.68	4.45	20.9
	1	0.5	64	61.77	-3.48	5.1	4.76	-6.66

3.3 عند إضافة غبار السليكا بنسبة 15 %

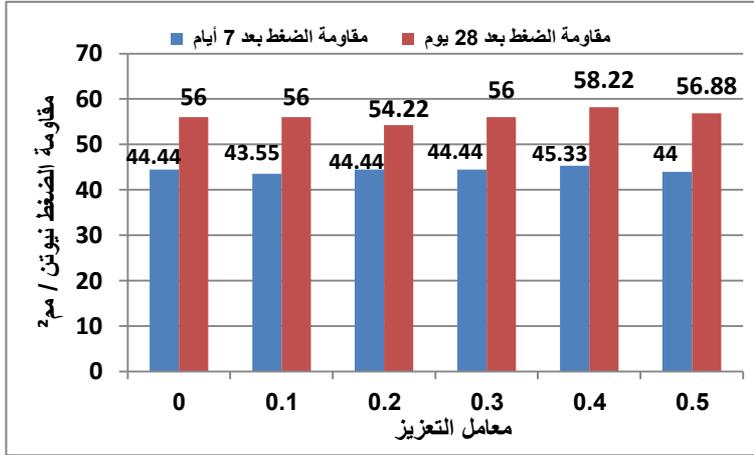
1.3.3 الضغط

من النتائج المبينة في الجدول (13) و الموضحة بالمخطط شكل (6) يلاحظ زيادة طفيفة في مقاومة الضغط تتزامن مع زيادة نسبة الألياف حيث أن أعلى نسبة تحسن لمقاومة الضغط بعد 7 أيام عند نسبة ألياف 0.8 % ومعامل تعزيز 0.4 وكانت 2 % مقارنة بنتائج الخلطة المرجعية، وكانت أعلى مقاومة بعد 28 يوم بنسبة تحسن 4 % عند نسبة ألياف 0.8 % ومعامل التعزيز 0.4. وهذه النتائج قد تختلف جزئياً مع المرجعين [4] ، [18] ويرجع ذلك لعدم السيطرة على التوزيع المنتظم للألياف الفولانية.

جدول (13) نتائج اختبارات الضغط والشد غير مباشر عند نسبة غبار السليكا 15 %

لكل

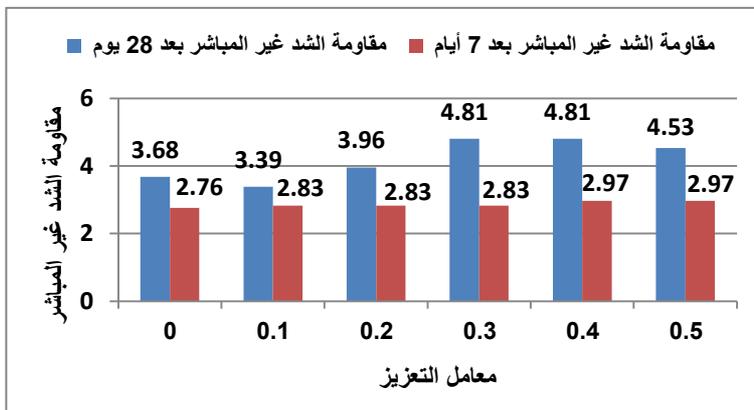
نسبة السليكا %	نسبة الألياف %	معامل التعزيز	مقاومة الضغط نيوتن / مم ²		مقاومة الشد غير المباشر نيوتن / مم ²	
			7 أيام	28 يوم	7 أيام	28 يوم
15	0	0	44.44	56	2.76	3.68
	0.2	0.1	43.55	56	2.83	3.39
	0.4	0.2	44.44	54.22	2.83	3.96
	0.6	0.3	44.44	56	2.83	4.81
	0.8	0.4	45.33(2%)	58.22(4%)	2.97	4.81
	1	0.5	44	56.88	2.97(8%)	4.53(23%)



الشكل (6) نتائج مقاومة الضغط عند إضافة غبار سيليكيا 15%

2.3.3 الشد غير المباشر

يمكن مقارنة نتائج الخلطة المرجعية مع نتائج الخلطات المضاف إليها غبار السيليكيا كما بالشكل (7) يلاحظ أعلى زيادة في مقاومة الشد غير المباشر بنسبة 8 % عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 1 % ومعامل تعزيز 0.5 بعد 7 أيام ، و بينما كانت أعلى نسبة زيادة بعد 28 يوم هي 23 % عند إضافة نفس نسبة الألياف ونفس معامل التعزيز . و اتفقت تقريبا النتائج مع المراجع [4] و [18] بسبب تأثير الألياف الفولاذية الكبير على مقاومة الشد غير المباشر للخرسانة والنقاوت البسيط بين النتائج يرجع إلى الاختلاف في معامل التعزيز .



الشكل (7) نتائج مقاومة الشد غير المباشر بإضافة غبار سيليكيا 15 %

وتمثل العلاقة بين مقاومة الضغط والشد غير المباشر بعمر 28 يوم ومعامل التعزيز كما في الجدول

(14) من نتائج المعادلات التالية :-

$$f'_c = f'_{ci} - 4.6 RI + 16.6 RI^2 \quad (7)$$

$$f'_{sp} = f'_{spi} + 4.66 RI - 3.98 RI^2 \quad (8)$$

$$f^*_{sp} = 2.46 RI + 0.057 f'_c + 0.33 \quad (9)$$

جدول (14) نتائج مقاومة الضغط والشد غير مباشر المتوقعة عن طريق المعادلات ونسبة

الخطأ بعد 28 يوم

نسبة السليكا %	نسبة الألياف %	معامل التعزيز	مقاومة الضغط نيوتن / مم ²			مقاومة الشد غير المباشر نيوتن / مم ²		
			نتيجة الاختبار	النتيجة المتوقعة	نسبة الخطأ (%)	نتيجة الاختبار	النتيجة المتوقعة	نسبة الخطأ (%)
15	0	0	56	56	0	3.68	3.68	0
	0.2	0.1	56	55.7	-0.53	3.39	4.1	20.9
	0.4	0.2	54.22	55.74	2.8	3.96	4.45	12.37
	0.6	0.3	56	56.11	0.196	4.81	4.72	-1.87
	0.8	0.4	58.22	56.81	-2.42	4.81	4.9	1.87
	1	0.5	56.88	57.85	1.7	4.53	5	10.37

4. الإستنتاجات

- 1- أعلى مقاومة ضغط سجلت للخلطات المرجعية كانت عند إضافة غبار السليكا بنسبة 10% وأعلى مقاومة للشد غير المباشر عند نسبة 5% غبار سيليكيا.
- 2- عند إضافة الألياف الفولاذية كانت أعلى نسبة تأثير لمقاومة الضغط 11% عند إضافة الألياف الفولاذية بنسبة 1% وأعلى نسبة تأثير إيجابي لمقاومة شد الغير المباشر كانت 50% لنسبة الألياف نفسها.
- 3- الزيادة في قيم مقاومة الضغط والشد غير المباشر يرجح إلى تماسك مكونات الخرسانة حيث أن الألياف لعبت دورا كبيرا في مقاومة وإعادة توزيع الشروخ ومنعها من التتامي بالخرسانة.
- 4- نتائج الدراسة تكاد تتفق في نسبة التحسن لمقاومة الضغط بغض النظر عن نسبة غبار السليكا ومعامل التعزيز مع نتائج أغلب الدراسات السابقة. ويرجع ذلك لأن طول الألياف ونسبتها لهما تأثير جيد وواضح على مقاومة الضغط ولكن لا يحاكي الزيادة في نسبة الألياف أو طولها لأن الخرسانة تنهار قبل أن يستفاد من الزيادة في نسبة الألياف.

- 5- نتائج الدراسة تختلف في نسبة التحسن لمقاومة الشد غير المباشر بغض النظر عن نسبة غبار السيليكيا مع نتائج أغلب الدراسات السابقة، والسبب بلا أدنى شك هو معامل التعزيز وذلك لأن طول الألياف ونسبتها لهما تأثير جيد وواضح على مقاومة الشد غير مباشر حيث أن كل مازادت نسبة الألياف وطولها تزيد إحصائية تواجدتها ضمن مسار خط الكسر في الخرسانة مما يزيد من مقاومتها للشد.
- 6- لابد من وجود تفاوت في النتائج بين المراجع أو حتى عند إعادة نفس النسب لهذه الدراسة وذلك يرجع إلى صعوبة السيطرة على توزيع الألياف بطريقة متساوية أثناء عملية الخلط .

5. المراجع

- [1] Z. Li, *Advanced Concrete Technology*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011, pp. p 270-271.
- [2] C. Tasdemir, M. . A. Tasdemir, F. . D. Lydon and B. I. G. Barr, "EFFECTS OF SILICA FUME AND AGGREGATE SIZE ON THE BRITTLINESS OF CONCRETE," *Cement and Concrete Research*, vol. 26, no. 1, pp. 63-68, 1996.
- [3] K. D. Raithby, J. W. Galloway and R. I. T. Williams, "Polypropylene-reinforced cement composites for surface reinforcement of concrete structures," *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, vol. 3, no. 4, pp. 237-246, 1981.
- [4] D. Yousif and H. Shams-Aldeen, "Mechanical Properties of High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete," *Iraq Academic Scientific Journal*, pp. P 27-39, 2013.
- [5] H. M. Al-Hassani, W. I. Khalil and L. S. Danha, "Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete (RPC) with Various Steel Fiber and Silica Fume Contents," *Engineering and Technology Journal*, vol. 31, no. 16, pp. 3090-3108, 2013.
- [6] P. S. Song and S. Hwang, "Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 18, no. 9, pp. 669-673, 2004.
- [7] BS 12:1996: Specification for Portland cement.
- [8] BS812: Part2: 1995: Methods for determinations of density and absorption..
- [9] BS 812: Part 103: 1992: Method for determination of particle size

distribution..

- [10] BS812: Part110: 1990: Method for determination of aggregate impact..
- [11] BS812: Part112: 1990: Method for determination of aggregate crushing value..
- [12] ASTM C 494-81 type A.
- [13] BS 1881: Part 108: 1983: Method for making test cubes from fresh concrete..
- [14] BS 1881: Part 110: 1983: Method for making test cylinders from fresh concrete..
- [15] BS 1881: Part 111: 1983: Method for normal curing of test specimens (20oC Method)..
- [16] BS1881: Part 116: 1983: Method for determination of compressive strength concrete cubes..
- [17] BS 1881: Part 117: 1983: Method for determination of tensile splitting strength..
- [18] F. Köksal, F. Altun, İ. Yiğit and Y. Şahin, "Combined effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of high strength concretes," *Construction and building materials*, vol. 22, no. 8, pp. 1874-1880, 2008.
- [19] J. Gao, W. Sun and K. Morino, "Mechanical Properties of Steel Fiber-reinforced High-strength, Lightweight Concrete," *Cement and Concrete Composites*, vol. 19, no. 4, pp. 307-313, 1997.
- [20] V. Afroughsabet and T. Ozbakkaloglu, "Mechanical and durability properties of high-strength concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 94, pp. 73-82, 2015.