

العلاقة التجريبية بين مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالفلق للخرسانة المسلحة بألياف البولي بروبيلين

الدكتور سهيل الجنزير*

(تاريخ الإيداع 11 / 2 / 2010. قُبل للنشر في 3 / 6 / 2010)

□ ملخص □

يحظى موضوع دراسة تأثير إضافة الألياف إلى الخلطات الخرسانية بأهمية متزايدة بسبب تأثيرها على تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة ومقاومة ظهور ونمو التشققات فيها. يظهر البحث نتائج الدراسة التجريبية لتأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين للخرسانة على المقاومة الأسطوانية ومقاومة الشد بالفلق عند العمر (28 يوماً و 90 يوماً) باستخدام ألياف بولي بروبيلين مفردة الشعيرات بطول (30mm) وقطر (1.1 mm) وينسب (0.3% , 0.2% , 0.1%) من حجم الخرسانة، وهذا ما يوافق كمية ألياف تساوي (0.9 , 1.8 , 2.7) kg/m³ على الترتيب، حيث تم إعداد ثلاث خلطات، واحدة من أجل كل كمية من الألياف.

وتضمن البحث عرض للعلاقة التجريبية المقترحة بين مقاومة الشد بالفلق والمقاومة الأسطوانية للخرسانة المسلحة بألياف البولي بروبيلين مع مقارنة للنتائج التي تعطيها العلاقة مع النتائج التجريبية. بينت الدراسة أن إضافة ألياف البولي بروبيلين للخرسانة يكون ذا تأثير بسيط في تحسين مقاومة الخرسانة على الضغط، إذ تراوحت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط (2% - 14%) من مقاومة الضغط للخرسانة العادية من دون إضافة ألياف البولي بروبيلين، وذلك تبعاً لنسبة الألياف في الخلطة الخرسانية وعمر العينات، في حين أن إضافة تلك الألياف إلى الخرسانة أدى إلى زيادة مقاومة الشد بالفلق بنسبة تراوحت (24%-69%) من مقاومة الشد بالفلق للخرسانة العادية من دون إضافة ألياف البولي بروبيلين، وذلك تبعاً لنسبة الألياف في الخلطة الخرسانية وعمر العينات.

الكلمات المفتاحية: ألياف البولي بروبيلين، المقاومة الاسطوانية، مقاومة الشد بالفلق.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب - حلب.

The Experimental Relationship Between Compressive Strength and Splitting Tensile Strength of Polypropylene Fibers Reinforced Concrete

Dr. Souheil Al Janzir*

(Received 11 / 2 / 2010. Accepted 3 / 6 / 2010)

□ ABSTRACT □

Adding fibers to cement concrete is having an increased interest in the construction field. Fibers of any material play an important role in improving the strength and deformation characteristics of cement mixture in which they are incorporated.

This paper presents the results of an experimental investigation the effect of adding polypropylene fiber to concrete mixtures.

The length of the fibers used was (30mm) and the diameter was (1.1mm). Fiber dosages used were (0.9, 1.8, 2.7) kg/m³.

Three concrete mixtures were used in this study; one for each fiber dosage was made.

The test program included the evaluation of compressive strength, split tensile strength, on typical cylindrical specimens.

The increase of compressive strength are higher by (2%, 14%) comparing to plain concrete according to the fibers ratio in the concrete mixtures and the age of specimens.

The increase of split tensile strength are higher by (24%, 69%) comparing to plain concrete.

Also, this paper describes an experimental investigation into the relationship between the splitting tensile strength and compressive strength of polypropylene fibers reinforced concrete (PFRC).

Keywords: Polypropylene fiber, Cylindrical compressive strength, Splitting tensile strength.

*Associate professor, Structures Department, Faculty of Civil Engineering, Aleppo University, Aleppo.

مقدمة:

ازداد استخدام الخرسانة المسلحة بالألياف في المنشآت المختلفة، فالألياف المضافة إلى الخلطات الخرسانية تعمل على تحسين المتانة ومقاومة الشد ومقاومة الصدم بالإضافة إلى تغيير نمط الانهيار في الخرسانة. تعرف الخرسانة المسلحة بالألياف [1] بأنها خرسانة عادية تم تسليحها بالألياف الموزعة بشكل عشوائي، حيث إنّه في الخرسانة المسلحة بالألياف هناك الآلاف من الألياف الصغيرة المفترقة والموزعة بشكل عشوائي في الخرسانة التي تحسّن خصائصها خلال الخلط في كل الاتجاهات.

من المعلوم أن سلوك الخرسانة محكوم بمقاومتها على الضغط، إذ إنّ مقاومة الخرسانة على الشد أقل بكثير من مقاومتها على الضغط، ومع ذلك فإن مقاومة الشد تكون مهمّة لما لها من تأثير على التشقق والمتانة، وبالرغم أن تأثير الألياف المضافة إلى الخرسانة على مقاومة الضغط ومعامل المرونة يكون ضعيفاً [2]، إلا أن هذا التأثير يكون واضحاً على مقاومة الشد.

إن العمل على إعطاء علاقة تعطي المقاومة على الشد بدلالة المقاومة على الضغط هو هدف تسعى إليه الكثير من الدراسات والأنظمة، وبشكل عام تم افتراض أن مقاومة الشد للخرسانة تكون نسبة من الجذر التربيعي لمقاومة الخرسانة على الضغط [3].

إن الأبحاث المنشورة والمتعلقة بالعلاقة بين مقاومة الشد بالفلق ومقاومة الضغط للخرسانة المسلحة بالألياف والمستندة إلى دراسات تجريبية قليلة جداً.

يهدف هذا البحث إلى إيجاد علاقة تربط بين المقاومة الأسطوانية على الضغط ومقاومة الشد بالفلق للخرسانة المسلحة بألياف البولي بروبيلين، وذلك من خلال تحليل نتائج التجارب التي تم الحصول عليها من البرنامج التجريبي للبحث.

أهمية البحث وأهدافه:

يعد استخدام الخرسانة المسلحة بالألياف (FRCC) Fiber Reinforced Concrete أحد الحلول لمشكلة التشققات التي يمكن أن تظهر في مناطق الشد، فالخرسانة العادية التي هي إلى حد ما مادة هشة، تتحول بإضافة الألياف في أثناء خلط مكونات الخرسانة إلى خرسانة شبه لدنة مسلحة بالألياف، وهذا يحسن نوعاً ما الخصائص الميكانيكية للخرسانة قبل الانهيار [4]، وتأتي أهمية هذا البحث من خلال اقتراح علاقة تجريبية تربط بين مقاومة الشد بالفلق ومقاومة الضغط للخرسانة المسلحة بالألياف، بحيث تأخذ هذه العلاقة نسبة الألياف المضافة بعين الاعتبار.

طرائق البحث ومواده:

من أجل اقتراح علاقة تجريبية تربط بين مقاومة الشد بالفلق ومقاومة الضغط للخرسانة المسلحة بالألياف تم تحضير عينات أسطوانية لإجراء تجارب الضغط والشد بالفلق على تلك العينات عند العمر (28) يوماً و(90) يوماً باستخدام ألياف بولي بروبيلين مفردة الشعيرات بطول (30mm) وقطر (1.1 mm) وبنسب (0.3% , 0.2% , 0.1%) من حجم الخرسانة، وهذا ما يوافق كمية ألياف تساوي $0.9, 1.8, 2.7 \text{ kg/m}^3$ على الترتيب، ومن أجل ذلك تم إعداد ثلاث خلطات تختلف فيما بينها بكمية الألياف المضافة فقط.

المواد المستخدمة في تحضير الخلطة الخرسانية:

- إن المواد المستعملة في تحضير الخلطة الخرسانية كانت على النحو الآتي:
- الاسمنت: اسمنت بورتلندي عادي عيار (350Kg/m3) ذو وزن نوعي 32.5 .
- الحصىات الخشنة:
- ❖ البحص: من النوع الحسواني، والقطر الأعظمي للحصنة (19 mm).
- ❖ الزرادة: من النوع الحسواني.
- الرمل: تم استخدام خليط من الرمل الكلسي والرمل النهري، وكان معادل النعومة للخليط 3.28
- الماء: الماء القابل للشرب، ونسبة الماء إلى الإسمنت $\frac{W}{C} = 0.4$.
- الملدن: من نوع Super Plasticizer ويكمية تعادل (1.5% - 1%) من وزن الإسمنت تبعاً لنسبة الألياف المضافة، وذلك للحصول على قابلية تشغيل جيدة للخلطة الخرسانية، بحيث تراوحت قيمة هبوط مخروط أبرامز بعد إضافة الألياف والملدن (10-12 cm)، في حين كانت قيمة هبوط مخروط أبرامز (4-5 cm) من أجل نسبة $\frac{W}{C} = 0.4$.
- ألياف البولي بروبيلين: البولي بروبيلين مادة مرنة حرارياً يتم إنتاجها عن طريق بلمرة مجموعة وحدات جزيئات البولي بروبيلين الكيميائية بوجود محفز لعملية البلمرة تحت ضغط وحرارة مضبوطين بعناية، وموضوع دراسة وتحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية لألياف البولي بروبيلين كان مادةً للعديد من الدراسات التجريبية حيث تعتمد تلك الخصائص على درجة الحرارة والضغط ودرجة التبلور، وعليه فقد تنوعت خصائص البولي بروبيلين مع تعدد الشركات المصنعة له، ونتائج مختلف تلك الدراسات أشارت إلى مقاومة الشد العالية لتلك الألياف، وبما أن الغاية من البحث دراسة تأثير الألياف على مقاومة الخرسانة وليس دراسة خصائص هذه الألياف، فإننا نورد على سبيل المثال الجدول (1) الذي يبين الخصائص الفيزيائية لألياف البولي بروبيلين مفردة الشعيرات وفق دراسة Hsie [5].
- تم في هذا البحث استخدام ألياف البولي بروبيلين مفردة الشعيرات متموجة بطول (30mm) و قطر (1.1mm) ، يبين الشكل (1) الألياف المستخدمة في هذا البحث.

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية لألياف البولي بروبيلين

النوع	الطول mm	الكثافة t / m^3	مقاومة شد Mpa	معامل المرونة Mpa	مقاومة الحموض والقلويات	ناقلية الحرارة والكهرباء	امتصاص الماء
ألياف مفردة الشعيرات	30	0.90	310-540	4120-5760	عالية	منخفضة	معدوم

تحضير الخلطة الخرسانية:

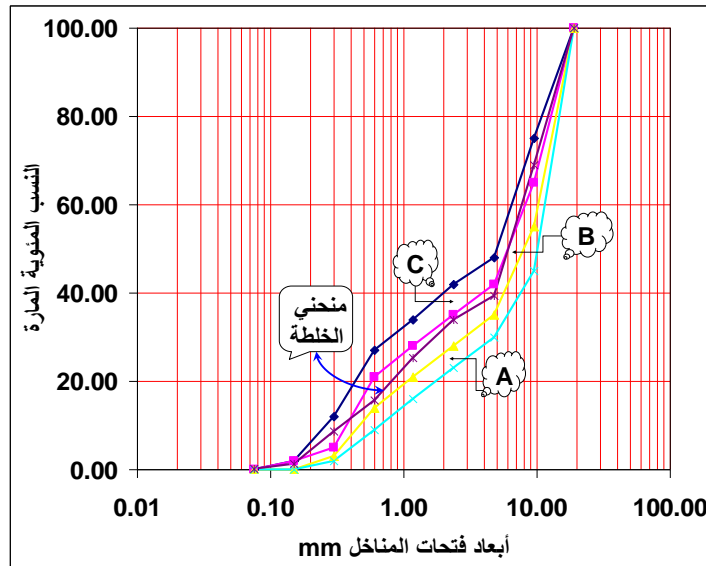
بعد دراسة مواصفات المواد المكونة للخلطة الخرسانية تم تحديد نسب المواد في واحدة الخلطة فكانت: (30%) بحص حسواني ، (25%) زرادة حسوانية ، (11%) رمل كلسي ، (34%) رمل نهري (فراقي)، وذلك بالاعتماد على طريقة خلط المواد الحصىية للحصول على تدرج حبي وفق منحنيات حدية تبعاً للمواصفات البريطانية من أجل قطر

أعظمي (19mm) لحبات البحص [6] ، وهذه المنحنيات تشكل فيما بينها ثلاثة مجالات: المجال A: ويُعدُّ منطقة مفضلة ، المجال B: ويُعدُّ منطقة جيدة ، المجال C: ويُعدُّ منطقة مقبولة.

يبين الشكل (2) المنحني الحبي للخلطة الخرسانية المستعملة وموقعه ضمن المنحنيات الحبية الحديدية، ونلاحظ أن الجزء الأكبر من المنحني الحبي للخلطة الخرسانية المستعملة وقع ضمن المجال B. أما كمية الألياف فتم تحديد كميتها باعتبار أن كثافة ألياف البولي بروبيلين $0.9t/m^3$. فمن أجل نسبة ألياف تعادل (0.1%) من حجم الخرسانة يكون وزن الألياف في المتر المكعب: $(0.001*0.9=900gr/m^3)$



الشكل (1) شكل ألياف البولي بروبيلين المستخدمة



الشكل (2) المنحني الحبي للخلطة الخرسانية المستعملة في صب العينات

وموقعه ضمن المنحنيات الحبية الحديدية (القطر الأعظمي للحبات 19mm)

تم قياس الهبوط من أجل كل خلطة باستخدام مخروط أبرامز قبل وبعد إضافة الألياف، يبيّن الجدول (2) قيم هبوط المخروط المقاسة قبل وبعد إضافة الألياف، بالإضافة إلى كمية الملدن اللازمة من أجل هبوط المخروط

cm (12-14)، وذلك تبعاً لنسبة الألياف في الخلطة الخرسانية، وذلك للحصول على خلطة خرسانية ذات قابلية تشغيل جيدة.

الجدول (2) قيم هبوط المخروط وكمية الملدن.

طول الألياف (mm)	نسبة الألياف (%)	هبوط المخروط قبل إضافة الملدن والألياف cm	كمية الملدن اللازمة من أجل هبوط مخروط بدون ألياف cm (12-14)	الهبوط بعد إضافة الألياف cm	كمية الملدن الإضافية من أجل هبوط مخروط cm (12-14)
-	0	6	0.2 Liter	12.5	0
30	0.1	6	0.2 Liter	11	0.02 Liter
	0.2	6	0.2 Liter	10.5	0.03 Liter
	0.3	6	0.2 Liter	9.5	0.05 Liter

من أجل معرفة تأثير إضافة الألياف على المقاومة مع تقدم العمر للخرسانة تم تحضير مجموعتين من العينات: المجموعة الأولى: من أجل الاختبارات عند العمر 28 يوماً. والمجموعة الثانية: من أجل الاختبارات عند العمر 90 يوماً. ومن أجل كل مجموعة تم صب العينات الآتية:

- ثلاث عينات أسطوانية بأبعاد cm (15*30) من الخرسانة العادية بدون إضافة ألياف من أجل اختبار مقاومة الضغط .
 - تسع عينات أسطوانية بأبعاد cm (15*30) من الخرسانة المسلحة بالألياف (ثلاث أسطوانات من أجل كل نسبة معينة من الألياف) من أجل اختبار مقاومة الضغط.
 - ثلاث عينات أسطوانية بأبعاد cm (15*30) من الخرسانة العادية من دون إضافة ألياف من أجل اختبار مقاومة الشد بالفلق.
 - تسع عينات أسطوانية بأبعاد cm (15*30) من الخرسانة المسلحة بالألياف (ثلاث أسطوانات من أجل كل نسبة معينة من الألياف) من أجل اختبار مقاومة الشد بالفلق.
- تم نزع القوالب عن العينات بعد (24) ساعة من صبها ثم حفظت في خزان مملوء بالماء بدرجة حرارة (24°C) لمدة (26) يوماً.

النتائج والمناقشة:

تم إجراء الاختبارات في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية بجامعة حلب، حيث طبقت الحمولة على العينات باستخدام مكبس هيدروليكي يولد قوة بشكلٍ متزايد حتى الانهيار .

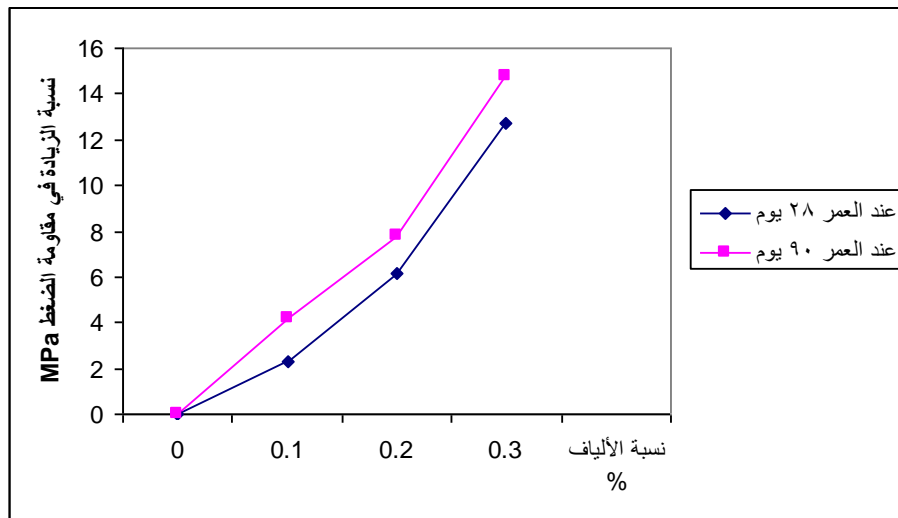
مقاومة الضغط:

تم قياس مقاومة الضغط للعينات الأسطوانية المحضرة من الخرسانة العادية (RCC) والعينات الأسطوانية المحضرة من الخرسانة المسلحة بالألياف (PFRC) بعد (28) يوماً، وكذلك بعد (90) يوماً.

يبين الجدول (3) قيم المقاومة المتوسطة على الضغط تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات، كما يبين الشكل (3) المخطط البياني لنسبة الزيادة في مقاومة الشد بالفلق تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات.

الجدول (3) القيم الوسطية لنتائج تجارب المقاومة الأسطوانية على الضغط ونسبة الزيادة في المقاومة تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات

عمر العينات يوم	نسبة الزيادة في المقاومة %	مقاومة الضغط الوسطية Mpa	نسبة الألياف %	طول الليف mm
28	0	28.9	0	0
	2	29.6	0.1	30
	6	30.7	0.2	
	12	32.6	0.3	
90	0	31.3	0	0
	4	32.6	0.1	30
	7	33.7	0.2	
	14	35.9	0.3	



الشكل (3) نسبة الزيادة في المقاومة تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات

نلاحظ من النتائج السابقة أن إضافة ألياف البولي بروبيلين للخرسانة يؤدي إلى زيادة بسيطة في مقاومة الخرسانة للضغط، إذ بلغت الزيادة (2% , 6% , 12%) عند العمر (28) يوماً، و(4% , 7% , 14%) عند العمر (90) يوماً من أجل نسبة ألياف (0.1% , 0.2% , 0.3%) على الترتيب، وذلك بالمقارنة مع نتائج العينات المحضرة من دون إضافة ألياف البولي بروبيلين، وهذه الزيادة في المقاومة تتناسب مع زيادة كمية الألياف في الخرسانة.

كما لوحظ في أثناء إجراء الاختبارات أن العينات الحاوية على ألياف لم تتكسر بشكل قطع وشظايا بل بقيت متماسكة نتيجة وجود الألياف، يبين الشكل (4) عينة اسطوانية مسلحة بالألياف بعد إجراء تجربة الضغط عليها، حيث نلاحظ تماسك العينة بعد انهيارها.



الشكل (4) عينة اسطوانية مسلحة بالألياف بعد إجراء تجربة الضغط عليها

بشكلٍ عام يمكن القول إنّ إضافة ألياف البولي بروبيلين للخرسانة يكون ذا تأثير بسيط في تحسين مقاومة الخرسانة على الضغط .
مقاومة الشد بالفلق:

$$f_{st} = \frac{P}{\pi * r * h} \quad \text{تحتسب مقاومة الشد بالفلق من العلاقة:}$$

حيث: f_{st} (MPa) - مقاومة الشد بالفلق.

P (N) - حمولة الانهيار الكلية.

r (mm) - نصف قطر العيّنة الاسطوانية.

h (mm) - ارتفاع العيّنة الاسطوانية.

يبين الجدول (4) قيم المقاومة المتوسطة على الشد بالفلق والشكل (5) التمثيل البياني لتلك المقاومات، وذلك تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات، في حين يبين الشكل (6) المخطط البياني لنسبة الزيادة في مقاومة الشد بالفلق تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات.

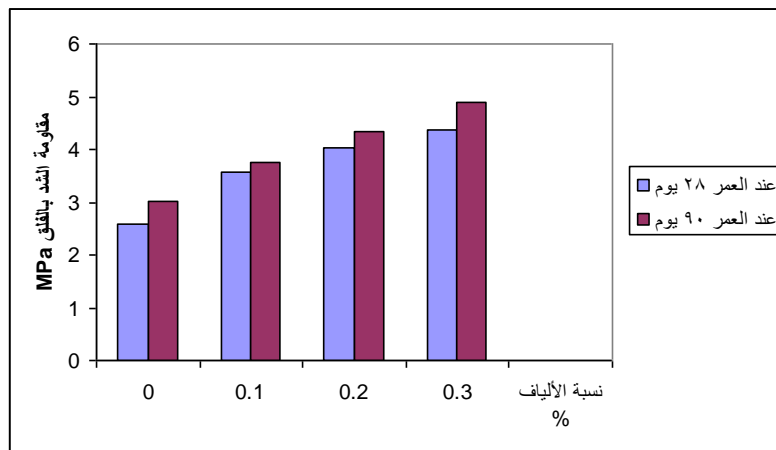
نلاحظ من النتائج السابقة أنه عندما تزداد كمية الألياف فإن مقاومة الشد بالفلق للعينات الخرسانية المسلحة بألياف البولي بروبيلين تزداد بنسبة (69.09% , 55.43% , 37.26%) عند العمر (28) يوماً، وبنسبة (24.23%)

(61.73% , 43.76% , عند العمر (90) يوماً من أجل نسبة ألياف (0.3% , 0.2% , 0.1%) على الترتيب.

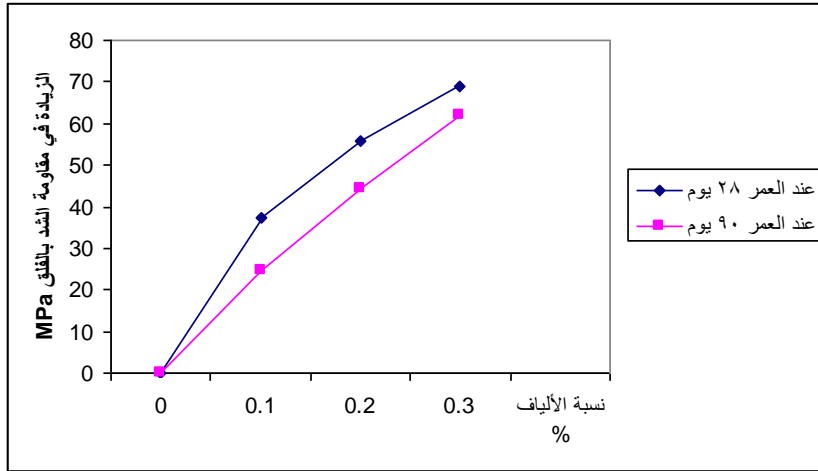
كما لوحظ في أثناء إجراء الاختبارات أن العينات الحاوية على ألياف بقيت متماسكة، أي لم ينفصل نصفاً العينة بعد انهيارها نتيجة الحمولة المطبقة وفق مولد الأسطوانة، وهذا يدل على التلاحم العالي للألياف مع الخرسانة. إن تحسن مقاومة الشد بالفلق في العينات يمكن إرجاعه إلى وجود الألياف التي تعمل على تجسير التشققات الشعرية الناتجة عن إجهادات الشد المؤثرة على العينات وتمنع انتشارها ونموها.

الجدول (4) القيم الوسطية لنتائج تجارب مقاومة الشد بالفلق ونسبة الزيادة في المقاومة تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات

عمر العينات يوم	نسبة الألياف %	مقاومة الشد بالفلق الوسطية Mpa	نسبة الزيادة في المقاومة على الشد %	طول الليف mm
28	0	2.6	0	0
	0.1	3.5	37	30
	0.2	4.0	55	
	0.3	4.4	69	
90	0	3.0	0	0
	0.1	3.7	24	30
	0.2	4.3	44	
	0.3	4.9	62	



الشكل (5) مقاومة الشد بالفلق تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات



الشكل (6) نسبة الزيادة في مقاومة الشد بالفلق تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات

نلاحظ من الشكل (6) أن النسبة المئوية لزيادة مقاومة الشد بالفلق عند العمر (28) يوماً أكبر منها عند العمر (90) يوماً لمختلف نسب الألياف، ويمكن تعليل ذلك بأن الألياف تلعب دوراً مهماً وأساسياً في العمر المبكر للخرسانة، حيث تمنع الألياف التشققات الناتجة عن التقلص عند تصلب الخرسانة، مما يعطي قيمة مرتفعة لمقاومة الشد بالفلق عند العمر المبكر للعينات المسلحة بالألياف قياساً لتلك غير المسلحة بالألياف، وإجراء المزيد من التجارب يسمح لنا بالتحقق من هذه النتيجة .

يبين الجدول (5) نسبة المقاومة المتوسطة على الشد بالفلق إلى المقاومة الأسطوانية لعينات الخرسانة المسلحة بالألياف تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات.

الجدول (5) نسبة المقاومة على الشد بالفلق إلى المقاومة الأسطوانية

تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات

طول الليف mm	نسبة الألياف %	مقاومة الضغط الوسطية Mpa f_{st}	مقاومة الشد بالفلق الوسطية Mpa f_{st}	$\frac{\bar{f}_{st}}{f_{st}} * 100$	عمر العينات يوم
0	0	28.9	2.6	8.95	28
30	0.1	29.6	3.5	12.03	
	0.2	30.7	4.0	13.11	
	0.3	32.6	4.4	13.43	
0	0	31.3	3.0	9.62	90
30	0.1	32.6	3.7	11.5	
	0.2	33.7	4.3	12.86	
	0.3	35.9	4.9	13.58	

نلاحظ من النتائج السابقة أن نسبة المقاومة على الشد بالفلق إلى المقاومة الأسطوانية تزداد بازدياد كمية الألياف تزداد من 8.95 % إلى 13.43% عند العمر (28) يوماً ، ومن 9.62 % إلى 13.58 % عند العمر (90) يوماً وذلك تبعاً لنسبة الألياف في الخلطة الخرسانية.

العلاقة التجريبية المقترحة لمقاومة الشد بالفلق للخرسانة المسلحة بالألياف:

اعتماداً على تحليل نتائج التجارب التي تم الحصول عليها في هذا البحث، تم اقتراح علاقة تجريبية تربط مقاومة الشد بالفلق مع المقاومة الأسطوانية بحيث تأخذ هذه العلاقة بعين الاعتبار نسبة ألياف البولي بروبيلين المضافة إلى الخلطة الخرسانية.

إن صيغة العلاقة التجريبية المقترحة هي:

$$(f_{st})_j = n * (f_c)_j^n + n * ((f_c)_j * i)^n; \dots \dots \dots (1)$$

حيث: $(f_{st})_j$ - مقاومة الشد بالفلق (MPa) عند العمر (j) يوم للخرسانة.

$(f_c)_j$ - المقاومة الأسطوانية على الضغط (MPa) عند العمر (j) يوم للخرسانة.

i - نسبة الألياف.

n - عامل، وقيمته في حالة ألياف البولي بروبيلين $n = 0.5$

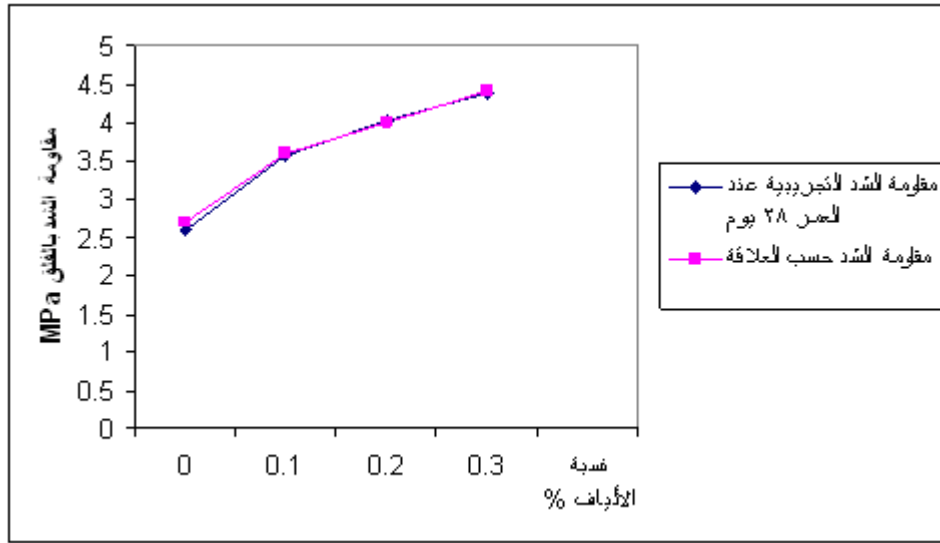
يبين الجدول (6) قيم مقاومة الشد بالفلق المحسوبة وفق العلاقة التجريبية المقترحة مع الانحراف عن القيم التجريبية، وذلك تبعاً لكل من نسبة الألياف وعمر العينات.

الجدول (6) مقاومة الشد بالفلق المحسوبة وفق العلاقة التجريبية المقترحة مع الانحراف عن القيم التجريبية تبعاً لكل من نسبة الألياف وعمر العينات

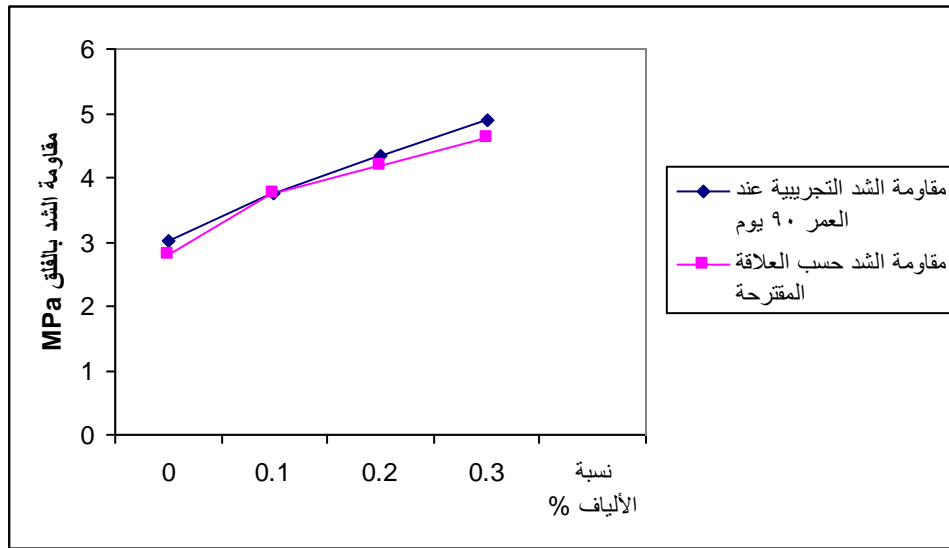
عمر العينات يوم	$\frac{\bar{f}_{st} - f_{st}}{f_{st}} * 100$	مقاومة الشد بالفلق Mpa وفق العلاقة \bar{f}_{st}	مقاومة الشد بالفلق Mpa f_{st}	مقاومة الضغط الوسطية Mpa	نسبة الألياف %	طول الليف mm
28	3.07	2.68	2.6	28.9	0	0
	2.28	3.58	3.5	29.6	0.1	30
	0	4.01	4.0	30.7	0.2	
	0	4.41	4.4	32.6	0.3	
90	-7.0	2.79	3.0	31.3	0	0
	1.35	3.75	3.7	32.6	0.1	30
	-2.32	4.2	4.3	33.7	0.2	
	-5.51	4.63	4.9	35.9	0.3	

نلاحظ من الجدول (6) أن نسبة انحراف قيم مقاومة الشد بالفلق الناتجة عن العلاقة المقترحة تراوحت بين (0%-7.%) من قيم مقاومة الشد بالفلق الناتجة عن التجارب.

كما يبين الشكل (7) والشكل (8) تمثيلاً بيانياً لمقاومة الشد بالفلق التجريبية ومقاومة الشد بالفلق المحسوبة وفق العلاقة المقترحة تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات.



الشكل (7) التمثيل البياني لمقاومة الشد بالفلق التجريبية ومقاومة الشد بالفلق الحسابية تبعاً لنسبة الألياف عند العمر 28 يوماً



الشكل (8) التمثيل البياني لمقاومة الشد بالفلق التجريبية ومقاومة الشد بالفلق الحسابية تبعاً لنسبة الألياف عند العمر 90 يوماً

علاقة [7] Yeol Choi, Robert L. Yuan:

أعطى الباحثان Yeol Choi, Robert L. Yuan [7] في دراستهم التجريبية على عينات من الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية وعينات من الخرسانة المسلحة بألياف البولي بروبيلين والمنشورة عام (2005)، علاقة تجريبية تتناسب فيها مقاومة الشد بالفلق مع الجذر التربيعي للمقاومة الأسطوانية على الضغط:

$$(f_{st})_j = K * \sqrt{(f_c)_j}; \dots \dots \dots (2)$$

حيث:

$$j(f_{st}) - \text{مقاومة الشد بالفلق (MPa) عند العمر } (j) \text{ يوم للخرسانة.}$$

$$K = 0.60 - \text{من أجل الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية.}$$

$$K = 0.55 - \text{من أجل الخرسانة المسلحة بألياف البولي بروبيلين.}$$

$$j(f_c) - \text{المقاومة الاسطوانية على الضغط (MPa) عند العمر } (j) \text{ يوم للخرسانة.}$$

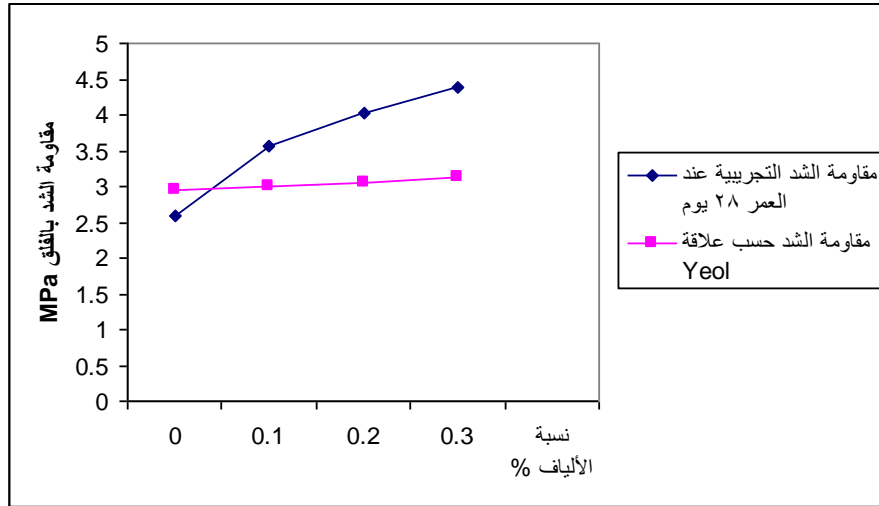
يبين الجدول (7) قيم مقاومة الشد بالفلق المحسوبة وفق علاقة Yeol Choi, Robert L. Yuan مع الانحراف عن القيم التجريبية، وذلك تبعاً لكلٍ من نسبة الألياف وعمر العينات.

الجدول (7) مقاومة الشد بالفلق المحسوبة وفق علاقة Yeol Choi, Robert L. Yuan مع الانحراف عن القيم التجريبية تبعاً لكلٍ من نسبة الألياف وعمر العينات

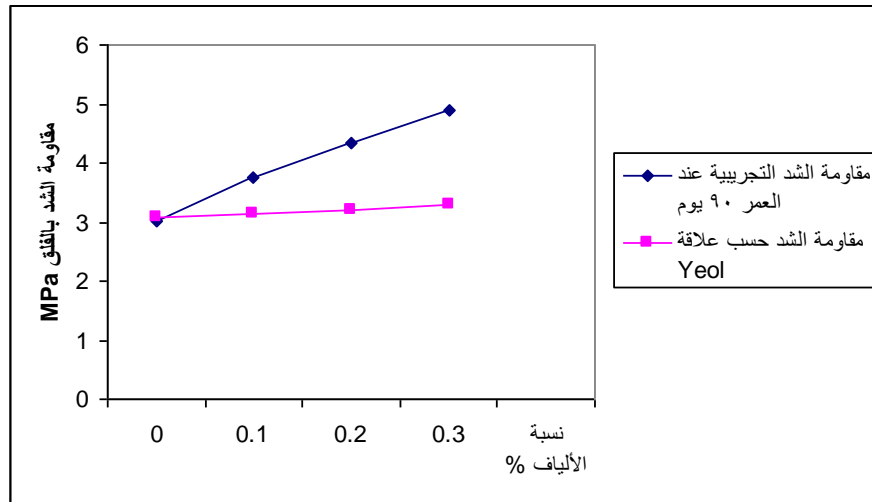
طول الليف mm	نسبة الألياف %	مقاومة الضغط Mpa	مقاومة الشد بالفلق Mpa	مقاومة الشد بالفلق وفق علاقة yeol Mpa	$\frac{\bar{f}_{st} - f_{st}}{f_{st}} * 100$	عمر العينات يوم
0	0	28.9	2.6	2.95	13.46	28
30	0.1	29.6	3.5	2.99	-14.57	
	0.2	30.7	4.0	3.04	-24.0	
	0.3	32.6	4.4	3.14	-28.63	
0	0	31.3	3.0	3.07	2.33	90
30	0.1	32.6	3.7	3.14	-15.13	
	0.2	33.7	4.3	3.19	-25.81	
	0.3	35.9	4.9	3.29	-32.85	

نلاحظ من الجدول (7) أن نسبة انحراف قيم مقاومة الشد بالفلق الناتجة عن علاقة Yeol Choi, Robert L. Yuan تراوحت بين (1.99%-32.59%) من قيم مقاومة الشد بالفلق الناتجة عن التجارب تبعاً لكلٍ من نسبة الألياف وعمر العينات.

كما يبيّن الشكل (9) والشكل (10) تمثيلاً بيانياً لمقاومة الشد بالفلق التجريبية ومقاومة الشد بالفلق المحسوبة وفق علاقة Yeol Choi, Robert L. Yuan تبعاً لنسبة الألياف وعمر العينات.



الشكل (9) التمثيل البياني لمقاومة الشد بالفلق التجريبية ومقاومة الشد بالفلق وفق علاقة Yeol Choi, Robert L. Yuan تبعاً لنسبة الألياف عند العمر 28 يوماً



الشكل (10) التمثيل البياني لمقاومة الشد بالفلق التجريبية ومقاومة الشد بالفلق وفق علاقة Yeol Choi, Robert L. Yuan تبعاً لنسبة الألياف عند العمر 90 يوماً

الاستنتاجات والتوصيات:

1- إن إضافة ألياف البولي بروبيلين إلى الخرسانة يكون ذا تأثير بسيط في تحسين مقاومة الخرسانة على الضغط، حيث بلغت نسبة هذه الزيادة (12.71% ، 6.18 % ، 2.28 %) للعينات بعمر (28) يوماً و (14.76% ، 7.82% ، 4.21%) للعينات بعمر (90) يوماً من أجل نسبة ألياف (0.3% ، 0.2% ، 0.1%) على الترتيب .

2- إن إضافة ألياف البولي بروبيلين إلى الخرسانة له تأثير فعال على زيادة مقاومة الشد بالفلق، حيث بلغت نسبة الزيادة (69.11 % ، 55.59% ، 37.45 %) عند العمر (28) يوماً ، و (62.12 % ، 44.18 % ، 24.58 %) عند العمر (90) يوماً من أجل نسبة ألياف (0.3% ، 0.2% ، 0.1%) على الترتيب .

3- أظهرت النتائج ازدياد نسبة مقاومة الشد بالفلق إلى المقاومة الأسطوانية على الضغط من % 8.95 إلى % 13.43 عند العمر (28) يوماً ومن % 9.62 إلى % 13.58 عند العمر (90) يوماً وذلك تبعاً لنسبة الألياف في الخلطة الخرسانية.

4- أعطت العلاقة المقترحة من قبل Yeol Choi, Robert L. Yuan التي لم تأخذ بعين الاعتبار نسبة الألياف، قيمة مرتفعة نسبياً للانحراف بين القيم النظرية والتجريبية عند تطبيقها على نتائج هذا البحث، حيث تراوحت نسبة الانحراف بين (% 28.32 - 16.02) عند العمر (28) يوماً كما تراوحت بين (% 32.59-16.27) عند العمر (90) يوماً.

5- أعطت العلاقة التجريبية (1) المقترحة لإيجاد مقاومة الشد بالفلق للخرسانة المسلحة بألياف البولي بروبيلين اعتماداً على المقاومة الاسطوانية على الضغط وعلى نسب الألياف قيمة نظرية لمقاومة الشد قريبة من قيم مقاومة الشد بالفلق الناتجة عن التجارب، حيث تراوحت نسبة الانحراف بين (% 0.68-0.5) عند العمر 28 يوماً كما تراوحت بين (% 5.13-0) عند العمر (90) يوماً.

6- الاقتراح بإجراء المزيد من الأبحاث لتأكيد العلاقة المقترحة ، ودراسة تأثير كمية الألياف ونوعها وطولها على مقاومة الشد، إضافة إلى دراسة تأثير مختلف العوامل على هذه المقاومة

المراجع:

- [1] COX, H.L. *The elasticity and strength of paper and other fibrous materials*. British Journal of Applied Physics, 1952 ,V3(3), 72-79.
- [2] ACI Committee 544, *Measurements of properties of Fiber Reinforced Concrete*. ACI Mat.J.85 , 6, 1988, 583-
- [3] FRANCIS, A.O.; EDWIN, G.B.; DEATHERAGE, J.H. *Splitting tensile strength and compressive strength relationship at early ages*. ACI Mater. J. 88 , 2, 1991, 115-121.
- [4] HANNANT, D.J. *Fiber reinforced concrete, advanced concrete technology*. V3 processes, 2003, 1-17.
- [5] HSIE; CHIJEN TUA; P.S. SONG, *Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete*. Materials science and Engineering journal ,A 494, 2008, 153-157.
- [6] الحصري؛ محمد ساطع، مواد البناء واختباراتها. منشورات جامعة حلب، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، 1994، 315.
- [7] YEOL CHOI; ROBERT, L. YUAN, *Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC*. Cement and Concrete Research, vol 35, 2004, 1587-1591.

